



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

*Síntesis y caracterización física y mecánica de sales
alcalinamente activadas y su modificación con un biopolímero.*

T E S I S

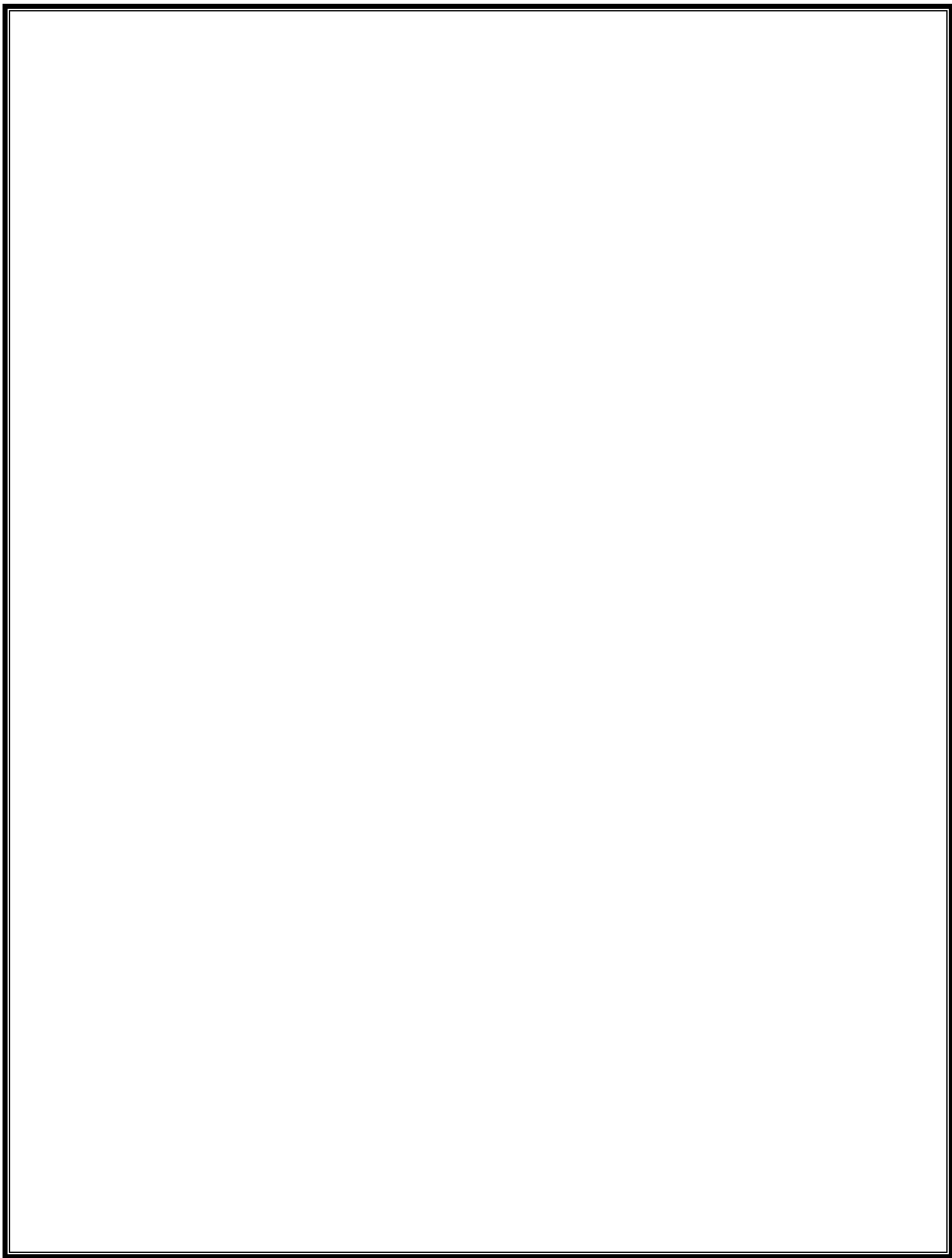
Para obtener el grado de
Ingeniero Civil

PRESENTA:
GERMÁN HUERTA ROBLEDO

ASESOR:
Dr. JOSÉ CARLOS RUBIO AVALOS



MARZO 2019, Morelia, Mich.



AGRADECIMIENTOS.

Agradezco a la UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO, por estos ocho años formando parte de esta “Cuna de Héroes, Crisol de Pensadores”.

Eternamente agradecido con mi Facultad, por brindarme la oportunidad de poder aprender la carrera en ingeniería Civil, estos cinco años.

Agradezco al departamento y laboratorio de materiales, Ing. Luis Silva Ruelas, por poder realizar mi servicio social y la investigación de esta tesis, “Síntesis y caracterización física y mecánica de cales alcalinamente activadas y su modificación con un biopolímero.”.

Agradezco a la sección de “INVESTIGACIÓN DE INNOVACIÓN TECNOLÓGICA EN MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN” por confiar en mí, para, realizar la culminación de mi carrera.

Le agradezco al Doctor José Carlos Rubio Avalos, por su cofinancia, tiempo, paciencia y por compartir parte de sus conocimientos conmigo para llevar a cabo esta tesis, también agradezco al M.I. Carlos Manuel Sánchez González, y Ing. Heriberto Luna, por todo el apoyo y consejos para, este proyecto de investigación.

DEDICATORIAS

Para comenzar, quiero extender mi entero agradecimiento con, Dios, en quien eh puesto mi fe y sé que gracias a Él estoy en este momento redactando esto, a mi abuelito Bonifacio, por sus palabras de aliento siempre, agradezco a mi padre que me enseñó grandes valores como la perseverancia, la consistencia y la responsabilidad, gracias a él logré hoy concluir mis estudios, y espero estar enorgulleciéndolo en el lugar donde esté, a mi madre que se merece todo de mí, por encaminar me siempre por las mejores decisiones, y todo el apoyo para terminar esta carrera, a mi hermano Emmanuel, por siempre estar al pendiente, y preocupado por mi comodidad, a mi hermana María, por acompañarme en momentos duros de esta carrera, a mi pareja Alondra, quien estuvo presente a lo largo de mi esta carrera, a todos mis compañeros que estuvieron conmigo en los días de desvelo y los extensos trabajos en nuestras clases. Creo me faltarían palabras para agradecer a todos los que han estado, desde que empezó esta carrera en el prescolar. También te dedico el esfuerzo y tiempo que puse en esta investigación a ti, que te darás el tiempo de leer mi trabajo, mucho éxito.

Gracias muchas gracias, mil gracias a todos.

Germán Huerta Robledo.

ÍNDICE:

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. . Estado del arte.	4
2.1. Introducción.	4
2.2Definiciones	4
2.3. Historia.	7
2.4. Historia del Cemento.....	8
2.4.1. Historia del Cemento Egipto y Grecia.	8
2.4.2. Historia del Cemento Grecia	9
2.4.3. Historia del Cemento Roma.	10
2.4.4. Historia del cemento en la antigua China.....	11
2.4.5. HISTORIA DEL CEMENTO PREHISPANICO	15
2.4.5.1. CEMENTOS MAYAS.....	16
2.4.6. Resto De Cronología De La Historia Del Cemento.	18
2.5Cemento portland.	22
2.5.1. Tipos de cementos portland.....	23
2.5.1.1. Cementos comunes.	23
2.5.1.2. Cementos blancos.	24
2.5.1.3. Cementos para usos especiales.	25
2.5.2. Clasificación del cemento portland.	25
2.5.2.1. Cementos ecológicos.	28
2.5.2.2. Concretos permeable.....	30
2.5.2.3. Cementos híbridos.	30
2.6. Puzolanas.....	31
2.6.1. Propiedades Físicas Y Químicas	31
2.6.2. Puzolanas Naturales.	32
2.6.3. Puzolanas artificiales.....	32
2.6.4. Los cementos puzolánicos.....	35
2.7. Cementos activados alcalinamente.....	36
2.7.1. La activación alcalina.....	37
2.7.1.1. Activadores alcalinos	38
2.7.1.2. Materiales con calcio: (Na, K) ₂ O - CaO – Al ₂ O ₃ – SiO ₂ – H ₂ O.....	40
2.7.1.3. Materiales pobres en calcio: (Na, K) ₂ O - Al ₂ O ₃ – SiO ₂ – H ₂ O.	41

2.7.1.4.	Hidróxidos.....	42
2.7.1.5.	Sales de ácido débil.....	42
2.7.2.	Cementos alcalinos.....	43
2.7.3.	Concretos alcalinos.	43
2.7.4.	Reseña histórica.....	44
2.7.5.	Definición general.	45
2.7.6.	Clasificación de los polímeros.	48
2.7.7.	Estructura De Los Polímeros.....	51
2.7.7.1.	Estructura química.	52
2.7.7.1.1.	Estructuras De Termoplásticos.	53
2.7.7.1.1.1.	Peso molecular	54
2.7.7.1.1.2.	Tacticidad	54
2.7.7.1.1.3.	Ramificación.	54
2.7.7.1.1.4.	Entrecruzamientos.....	55
2.7.7.1.1.5.	La vulcanización.	55
2.7.7.2.	Estructura física.	56
2.7.7.2.1.	Estado amorfo y estado cristalino.	56
2.7.7.2.1.1.	Polímeros amorfos.....	56
2.7.7.2.1.2.	Polímeros semicristalinos.....	57
2.7.7.2.1.3.	Polímeros cristalinos.	58
2.7.8.	Geopolímeros.	59
2.7.9.	Polímeros naturales.	61
2.7.9.1.	Almidón:	62
2.7.10.	Biopolímeros.	65
2.7.10.1.	Definición y reseña de los biopolímeros.....	67
2.7.10.2.	Tipos de biopolímeros.....	70
2.7.10.3.	Biopolímeros biológicos.	71
2.7.10.3.1.	Biopolímeros obtenidos a partir de monómeros bio-derivados.....	71
2.7.11.	Polímeros híbridos (Silicones.).	73
2.7.12.	Resinas.	75
2.7.13.	Bio-resinas.....	75
2.7.13.1.	TIPOS DE RESINAS	77
2.7.14.	Nano-resinas.....	78

2.7.14.1. Hidróxidos Dobles Laminares (LDH).	81
2.7.14.2. Estructura de Los hidróxidos dobles laminares	81
2.7.14.3. Composición de Los hidróxidos dobles laminares	82
2.7.15. Concretos poliméricos.....	84
2.8La Huella de Carbono y los proyectos de construcción.	90
3. <i>Diseño experimental</i>	93
4. <i>Resultados experimentales</i>	97
4.1.Cementos de baja emisión de dióxido de carbono	98
4.2.Graficas CAL comparada con las familias.....	926
CAL COMPARADA CON CAL, METACAOLIN, CARBONATO DE SODIO Y EL BIOPOLÍMERO.....	929
CAL COMPARADA CON CAL, METACAOLIN, CLORURO DE SODIO Y EL BIOPOLÍMERO.....	932
5. <i>ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS</i>	939
6. <i>CONCLUSIONES</i>	942
7. <i>Referencias</i>	943

LISTA DE FIGURAS.

FIGURA. 2. 1. Red conceptual de los polímeros. Fuente: [4]	6
FIGURA. 2. 2. Stonehenge Salisbury Inglaterra. Fuente: https://www.trover.com/d/1RkoY-stonehenge-wiltshire-england (consulta 21/8/2018)	7
FIGURA. 2. 3. Pirámides de Gizeh, Egipto.	8
FIGURA. 2. 4. The Great Sphinx of Giza.	8
FIGURA. 2. 5. islas griegas.	9
FIGURA. 2. 6. Templo panteón, grecia.	9
FIGURA. 2. 7. Templo de Baco, libano.	10
FIGURA. 2. 8. El Acueducto de Segovia es la obra de ingeniería civil romana más importante de España y su arquería es uno de los monumentos más sobresalientes y mejor conservados de los que dejaron los romanos en la Península Ibérica.	10
FIGURA. 2. 9. Panteón, Roma.	11
FIGURA. 2. 10. Torre Campana en el centro de la ciudad antigua. Fuente: https://guias-viajar.com/china/xian/torre-campana-centro-ciudad-antigua/ (Consulta 15 de noviembre de 2018)	15
FIGURA. 2. 11. Teotihuacán, MÉXICO.	16
FIGURA. 2. 12. Copán - la principal atracción turística de Honduras.	17
FIGURA. 2. 13. TAJÍN, MÉXICO.	18
FIGURA. 2. 14. Vuurtoren Van Eddystone (Eddystone Lighthouse).	19
FIGURA. 2. 15. Templo de San Agustín, París.	20
FIGURA. 2. 16. París Grand Palais.	21
FIGURA. 2. 17. Michel Pacewicz diseña la casa para el empresario Paulino Yáñez en la Alameda, París Francia.	21
FIGURA. 2. 18. Mezcla para obtener el cemento portland.	22
FIGURA. 2. 19. Fuente de las materias primas usadas en la fabricación del cemento portland.	23
FIGURA. 2. 20. Los tipos de cementos portland.	24
FIGURA. 2. 21. Construcción aplicando cemento blanco, otorga a cualquier proyecto un carácter exclusivo y diferenciador, una gran obra de hormigón vistosa, o en acabados superficiales y pequeños detalles.	24
FIGURA. 2. 22. Los cementos hidráulicos de endurecimiento rápido (CER) ofrecen varias ventajas, entre las que destacan, la durabilidad, la versatilidad, la ganancia de resistencia y la facilidad de uso; también ofrecen beneficios en lo que respecta a los costos.	25
FIGURA. 2. 23. Clases resistentes de los cementos Portland.	27
FIGURA. 2. 24. Características especiales de los cementos Portland.	27
FIGURA. 2. 25. Comparativa entre los cementos ecológicos y el portland ordinario.	29
FIGURA. 2. 26. Micrografía SEM/EDX de mezcla de 70% ceniza volante + 30% de cemento Portland a un año de activación con NaOH + “Waterglass” en cámara; b) Análisis de EDX (con micrografías de TEM) proyectado sobre el diagrama ternario SiO ₂ -Al ₂ O ₃ -CaO para los geles detectados en el sistema 70% ceniza volante + 30% de hidratados con solución alcalina y agua después de un año más de los análisis EDX que se localizaron dentro del gel tipo C-A-S-H.	31
FIGURA. 2. 27. Imagen de una micrografía de lo que son las puzolanas de origen volcánico.	32
FIGURA. 2. 28. imagen de una micrografía de una probeta de mortero para ensayos de flexión y compresión usando como adición de la ceniza de cáscara de arroz y la ceniza de lodo de depuradora. Los autores encontraron que todas las puzolanas (excepto las de Ceniza Volante), disminuyeron la trabajabilidad de los morteros cuando se reemplazaron en un 10% de cemento.	33

FIGURA. 2. 29Ladrillos de bloque sólido combustible siendo incinerados para producir ceniza con características puzolánicas.....	34
FIGURA. 2. 30. Puzolana natural de origen volcánico pumítico.	34
FIGURA. 2. 31. Micrografía de constituyentes del cemento portland, ceniza volante.	35
FIGURA. 2. 32. Concreto con Cemento Normal contra Concreto con Cemento Puzolánico.	36
FIGURA. 2. 33. Primera etapa de la activación alcalina de aluminosilicatos.	37
FIGURA. 2. 34. Esta segunda etapa se caracteriza por la acumulación de los productos formados anteriormente que conduce a un mayor contacto y a la formación de una estructura coagulada. .	38
FIGURA. 2. 35. Diagrama ternario CaO – SiO ₂ – Al ₂ O ₃ con los rangos composicionales de distintos materiales. Fuente: [12]consulta: 18/09/2018)	39
FIGURA. 2. 36. Ejemplo de polímeros, naturales (almidón y caucho natural) de los biopolímeros naturales (proteínas y ácidos nucleicos).....	44
FIGURA. 2. 37. Estructura de los polímeros en función de la funcionalidad de los monómeros.	46
FIGURA. 2. 38. Estructura del poli (óxido de etileno).	46
FIGURA. 2. 39. Polímeros de adición y Polímeros de condensación de uso frecuente.	47
FIGURA. 2. 40. Clasificación de los termoplásticos y termoestables.	49
FIGURA. 2. 41. Estructura polimérica de cadena lineal.	50
FIGURA. 2. 42. Ramificado: Con cadenas laterales unidas a la principal.	50
FIGURA. 2. 43. Si se forman enlaces entre cadenas vecinas.	51
FIGURA. 2. 44. Estructura del polietileno homopolímero, sólo con meros de etileno (C ₂ H ₄). ...	51
FIGURA. 2. 45. Copolímero de etileno (C ₂ H ₄) y tetra flúor-etileno (C ₂ F ₄).	51
FIGURA. 2. 46. Configuración sp ³ para los átomos de carbono de la cadena principal de la molécula de polietileno.	52
FIGURA. 2. 47. Estructura de diferentes polímeros.	53
FIGURA. 2. 48. Los entrecruzamientos tienden a incrementar la temperatura de transición vítrea.	55
FIGURA. 2. 49. Sistemas amorfos (a), semicristalino (b) y cristalino (c).	56
FIGURA. 2. 50. Gráfica Volumen específico vs. Temperatura.	57
FIGURA. 2. 51. Estructura de la Montmorillonita.	58
FIGURA. 2. 52. Estructura del idealizada del polímero cristalino.	59
FIGURA. 2. 53. fenoplasto poli-condensación entre fenol y formaldehído, en álcali medio. Fuente: [22] (consulta: 19/09/2018).....	60
FIGURA. 2. 54. Policondensación de caolinita si ₂ o ₅ , al ₂ (Oh) 4 en álcali medio.....	61
FIGURA. 2. 55. Ejemplos de polímeros naturales más comunes, encontrados cotidiana.	62
FIGURA. 2. 56. Microfotografías del poliuretano a partir de la suspensión aceite-almidón que contienen un porcentaje de almidón.	63
FIGURA. 2. 57. Estructura química de la amilosa.....	63
FIGURA. 2. 58. Estructura química de la amilopectina.	64
FIGURA. 2. 59. Ejemplos de biopolímeros naturales más comunes, en estructura.	65
FIGURA. 2. 60. Capacidades mundiales de producción de biopolímeros en 2010 según el tipo de polímero.	69
FIGURA. 2. 61. La estructura química de los biopolímeros más importantes: a) polihidroxiálkanoatos; b) poli (ácido láctico); c, d) los componentes principales del almidón, amilosa y amilopectina, respectivamente.	70

FIGURA. 2. 62. Poliésteres microbianos son producidos por biosíntesis función de un microorganismo y fácilmente biodegradado por microorganismos y dentro del cuerpo de mayor animal, incluidos los humanos.	70
FIGURA. 2. 63. Ejemplos y aplicaciones, de bio-resinas (resina epoxídicas base biológica).	76
FIGURA. 2. 64. Nano-partículas laminares potenciales en la obtención de nanoresinas.	78
FIGURA. 2. 65. Estructuras ideales de las nanoresinas derivados de materiales laminares.	79
FIGURA. 2. 66. Comparación del hinchamiento entre la montmorillonita cálcica y sódica, para apreciación del alojamiento de los polímeros entre las láminas.	80
FIGURA. 2. 67. Estructura de los compuestos tipo hidrotalcita.	81
FIGURA. 2. 68. Puentes de unión y anclaje de la resina polimérica en la interfaz adhesiva, cementoso/baldosa de gres porcelánico.	85
FIGURA. 2. 69. Tipos de compuestos resultantes del hormigón con polímeros.	87
FIGURA. 2. 70. Diagrama organico de los polímeros.	89
FIGURA. 2. 71. Integración de las medidas de reducción de las emisiones de dióxido carbono (CO ₂) en la producción de cemento portland.	91
FIGURA. 2. 72. Tablas, de balance aplicados a distintos tipos de cementos. Fuente: [40] Consulta (8/12/18).	91
 Figura. 3. 1. Nomenclatura de las Corridas experimentales.	 95
 Figura. 4. 1. Imágenes de la corrida C-1241018. Fuente: (Autoría propia).	 98
Figura. 4. 2. Microscopia de la C-1241018. Fuente: Autoría propia.	99
Figura. 4. 3. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1241018, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	100
Figura. 4. 4. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1241018, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	101
Figura. 4. 5. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1241018, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	102
Figura. 4. 6. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1241018, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	103
Figura. 4. 7. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1241018 a, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	104
Figura. 4. 8. Microscopia aumentada digitalmente de la C-1241018 a, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	105
Figura. 4. 9. Microscopia aumentada de la C-1241018 a, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	106
Figura. 4. 10. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1241018 a, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	107
Figura. 4. 11. Microscopia aumentada digitalmente de la C-1241018 a, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	108
Figura. 4. 12. Fotografía de la C-1241018, en la prensa. Fuente: (autoría propia).	108
Figura. 4. 13. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-1241018.	109
Figura. 4. 14. Imágenes de la corrida C-2241018. fuente; (autoría propia).	110
Figura. 4. 15. Microscopia de la C-2241018. Fuente: Autoría propia.	111

Figura. 4. 16. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2241018, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	112
Figura. 4. 17. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1241018, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	113
Figura. 4. 18. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2241018, bajo un filtro normal y una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	114
Figura. 4. 19. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2241018, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	115
Figura. 4. 20. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2241018, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	116
Figura. 4. 21. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2241018, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	117
Figura. 4. 22. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2241018, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	118
Figura. 4. 23. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2241018, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	119
Figura. 4. 24. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2241018, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	120
Figura. 4. 25. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2241018, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	121
Figura. 4. 26. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-18. Fuente: (autoría propia).	122
Figura. 4. 27. Imágenes de la corrida C-2251018. Fuente: (Autoría propia).	123
Figura. 4. 28. Microscopia de la C-2251018. Fuente: (autoría propia).	123
Figura. 4. 29. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2251018, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	124
Figura. 4. 30. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2251018, bajo un filtro normal y una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	125
Figura. 4. 31. Microscopia aumentada digitalmente de la C-2251018, bajo un filtro normal y una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	126
Figura. 4. 32. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2251018, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	127
Figura. 4. 33. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2251018, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	128
Figura. 4. 34. Microscopia parte inferior inversa de la C-2251018, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	129
Figura. 4. 35. Microscopia parte inferior aumentada digitalmente, de la C-2251018, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	130
Figura. 4. 36. Fotografía de la C-1241018, en la prensa. Fuente: (autoría propia).	130
Figura. 4. 37. Fotografía de la C-2251018, mostrando la fractura, después de ser probada en la prensa. Fuente: (autoría propia).	131
Figura. 4. 38. Imágenes de la corrida C-3251018. Fuente: (autoría propia).	132
Figura. 4. 39. Microscopia de la C-3251018. Fuente: (autoría propia).	132
Figura. 4. 40. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3251018, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	133
Figura. 4. 41. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3251018, bajo un filtro normal y una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	134

Figura. 4. 42. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1241018, bajo un filtro normal y una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).....	135
Figura. 4. 43. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3251018, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).....	136
Figura. 4. 44. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3251018, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).....	137
Figura. 4. 45. Microscopia de la C-3251018, sin filtros. Fuente: (autoría propia).....	138
Figura. 4. 46. Fotografía de la C-3251018, en la prensa. Fuente: (autoría propia).	138
Figura. 4. 47. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-18. Fuente: (autoría propia).	139
Figura. 4. 48. Imágenes de la corrida C-1261018. Fuente: (autoría propia).	140
Figura. 4. 49. Microscopia de la C-1261018. Fuente: (autoría propia).....	141
Figura. 4. 50. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1261018, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	142
Figura. 4. 51. Microscopia aumentada digitalmente de la C-1241018, bajo un filtro normal y una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	143
Figura. 4. 52. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1261018 a, bajo un filtro normal y una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).....	144
Figura. 4. 53. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1261018, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).....	145
Figura. 4. 54. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1261018, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).....	146
Figura. 4. 55. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1261018, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	147
Figura. 4. 56. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1261018, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	148
Figura. 4. 57. Imágenes de la corrida C-2261018. Fuente: (autoría propia)	150
Figura. 4. 58. Microscopia de la C-2261018. Fuente: (autoría propia).....	150
Figura. 4. 59. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2261018, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	151
Figura. 4. 60. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2261018, bajo un filtro normal y una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	152
Figura. 4. 61. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2261018, bajo un filtro normal y una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).....	153
Figura. 4. 62. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2261018, bajo un filtro blanco y negro con una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	154
Figura. 4. 63. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2261018, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).....	155
Figura. 4. 64. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2261018, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	156
Figura. 4. 65. Microscopia aumentada digitalmente. de la C-2261018, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	157
Figura. 4. 66. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2261018, con un filtro negativo. Fuente: (autoría propia).	158
Figura. 4. 67. Imágenes de la corrida C-3261018. Fuente: (autoría propia)	160
Figura. 4. 68. Microscopia de la C-3261018. Fuente: (autoría propia).....	160

Figura. 4. 69. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3261018, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	161
Figura. 4. 70. Microscopia aumentada de la C-3261018, bajo un filtro normal y una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	162
Figura. 4. 71. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3261018, bajo un filtro normal y una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).....	163
Figura. 4. 72. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3261018, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).....	164
Figura. 4. 73. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3261018, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	165
Figura. 4. 74. Microscopia de la C-3261018, sin filtros. Fuente: (autoría propia).....	166
Figura. 4. 75. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3261018. sin filtros. Fuente: (autoría propia).	167
Figura. 4. 76. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3261018, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	168
Figura. 4. 77. Microscopia de la C-3261018, sin filtros. Fuente: (autoría propia).....	169
Figura. 4. 78. Fotografía de la C-3261018, en la prensa. Fuente: (autoría propia).	169
Figura. 4. 79. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-326101818. Fuente: (autoría propia).	170
Figura. 4. 80. Imágenes de la corrida C-15118. Fuente: (autoría propia).	171
Figura. 4. 81. Microscopia de la C-151118. Fuente: (autoría propia).....	171
Figura. 4. 82. Microscopia aumentada de la C-151118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	172
Figura. 4. 83. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-151118, bajo un filtro normal y una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	173
Figura. 4. 84. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-151118, bajo un filtro normal y una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).....	174
Figura. 4. 85. Microscopia aumentada digitalmente de la C-151118, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	175
Figura. 4. 86. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-151118, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	176
Figura. 4. 87. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-151118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	177
Figura. 4. 88. Fotografía de la C-151118, en la prensa. Fuente: (autoría propia).	177
Figura. 4. 89. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-151118. Fuente: (autoría propia).	178
Figura. 4. 90. Imágenes de la corrida C-251118. Fuente: (autoría propia).	179
Figura. 4. 91. Microscopia de la C-251118. Fuente: (autoría propia).	179
Figura. 4. 92. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-251118 a, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	180
Figura. 4. 93. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-251118, bajo un filtro normal y una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).....	181
Figura. 4. 94. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-251118, bajo un filtro normal y una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	182
Figura. 4. 95. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-251118, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).....	183
Figura. 4. 96. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-251118, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	184

Figura. 4. 97. Microscopia aumentada digitalmente de la C-351118, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	185
Figura. 4. 98. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-351118, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	186
Figura. 4. 99. Microscopia parte inferior inversa de la C-351118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	187
Figura. 4. 100. Microscopia parte inferior inversa de Microscopia aumentada digitalmente de la C-351118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	188
Figura. 4. 101. Microscopia parte inferior inversa de la C-351118, con un filtro negativo. Fuente: (autoría propia).	189
Figura. 4. 102. Microscopia parte inferior inversa de Microscopia aumentada digitalmente, de la C-351118, con un filtro negativo. Fuente: (autoría propia).	190
Figura. 4. 103. Fotografía de la C-351118, en la prensa. Fuente: (autoría propia).	190
Figura. 4. 104. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-351118. Fuente: (autoría propia). Gráficas 4. 9. Curva Carga-Deformación de la C-18, en N-mm. Fuente: (autoría propia).	191
Figura. 4. 105. Imágenes de la corrida C-161118. Fuente: (autoría propia)	192
Figura. 4. 106. Microscopia de la C-161118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	192
Figura. 4. 107. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1241018, bajo un filtro normal y una luz fluorescente (autoría propia).	193
Figura. 4. 108. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-161118, bajo un filtro normal y una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	194
Figura. 4. 109. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-161118, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	195
Figura. 4. 110. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-161118, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	196
Figura. 4. 111. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-161118 a, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	197
Figura. 4. 112. Microscopia de la C-161118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	198
Figura. 4. 113. Microscopia de la C-161118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	199
Figura. 4. 114. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-161118, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).	200
Figura. 4. 115. Fotografía de la C-18, en la prensa. Fuente: (autoría propia).	200
Figura. 4. 116. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-18. Fuente: (autoría propia).	201
Figura. 4. 117. Imágenes de la corrida C-261118.	202
Figura. 4. 118. Fotografías de la corrida C-261118. Fuente: (Autoría propia).	202
Figura. 4. 119. Microscopia de la C-261118. Fuente: Autoría propia.	203
Figura. 4. 120. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-261118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	204
Figura. 4. 121. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-261118, filtro NEGATIVO bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	205
Figura. 4. 122. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-261118, filtro NEGATIVO bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	206
Figura. 4. 123. . Microscopia de la C-18, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	207
Figura. 4. 124. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-261118. Fuente: (autoría propia).	208

Figura. 4. 125. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-261118, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).	209
Figura. 4. 126. Fotografía de la C-261118, en la prensa. Fuente: (autoría propia).	210
Figura. 4. 127. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-261118. Fuente: (autoría propia).	211
Figura. 4. 128. Fotografías de la corrida C-171118. Fuente: (Autoría propia).	212
Figura. 4. 129. Microscopia de la C-171118. Fuente: Autoría propia.	213
Figura. 4. 130. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-171118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	214
Figura. 4. 131. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-71118, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	215
Figura. 4. 132. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-17118, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	216
Figura. 4. 133. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-18, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	217
Figura. 4. 134. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-171118, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	218
Figura. 4. 135. Microscopia de la C-171118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	219
Figura. 4. 136. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-171118, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).	220
Figura. 4. 137. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-171118, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).	221
Figura. 4. 138. Fotografía de la C-171118, en la prensa. Fuente: (autoría propia).	221
Figura. 4. 139. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-171118. Fuente: (autoría propia).	222
Figura. 4. 140. Fotografías de la corrida C-271118. Fuente: (Autoría propia).	223
Figura. 4. 141. Microscopia de la C-271118. Fuente: Autoría propia.	223
Figura. 4. 142. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-271118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	224
Figura. 4. 143. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-271118, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	225
Figura. 4. 144. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-271118, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	226
Figura. 4. 145. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-271118, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	227
Figura. 4. 146. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-271118, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	228
Figura. 4. 147. Fotografía de la C-271118, en la prensa. Fuente: (autoría propia).	228
Figura. 4. 148. Curva Carga-Deformación de la C-271118, en N-mm. Fuente: (autoría propia).	229
Figura. 4. 149. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-271118. Fuente: (autoría propia).	229
Figura. 4. 150. Fotografías de la corrida C-371118. Fuente: (Autoría propia).	230
Figura. 4. 151. Microscopia de la C-371118. Fuente: Autoría propia.	231
Figura. 4. 152. . Microscopia aumentada digitalmente, de la C-371118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	232

Figura. 4. 153. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-371118, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	233
Figura. 4. 154. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-37118, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	234
Figura. 4. 155. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-371118, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).	235
Figura. 4. 156. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-371118, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).	236
Figura. 4. 157. Microscopia de la C-371118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	237
Figura. 4. 158. Microscopia de la C-371118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	238
Figura. 4. 159. Fotografía de la C-18, en la prensa. Fuente: (autoría propia).	238
Figura. 4. 160. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-18. Fuente: (autoría propia).	239
Figura. 4. 161. Fotografías de la corrida C-181118. Fuente: (Autoría propia).	240
Figura. 4. 162. Microscopia de la C-181118. Fuente: Autoría propia.	240
Figura. 4. 163. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-181118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	241
Figura. 4. 164. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-181118, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	242
Figura. 4. 165. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-181118, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	243
Figura. 4. 166. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-181118, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	244
Figura. 4. 167. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-181118, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	245
Figura. 4. 168. Microscopia de la C-181118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	246
Figura. 4. 169. Microscopia de la C-181118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	247
Figura. 4. 170. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-181118, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).	248
Figura. 4. 171. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-181118, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente:	249
Figura. 4. 172. Fotografía de la C-181118, en la prensa. Fuente: (autoría propia).	251
Figura. 4. 173. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-181118. Fuente: (autoría propia).	251
Figura. 4. 174. Fotografías de la corrida C-281118. Fuente: (Autoría propia).	252
Figura. 4. 175. Microscopia de la C-281118. Fuente: Autoría propia.	253
Figura. 4. 176. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-281118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	254
Figura. 4. 177. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-281118, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	255
Figura. 4. 178. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-281118, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	256
Figura. 4. 179. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-281118, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	257
Figura. 4. 180. . Microscopia de la C-281118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	258
Figura. 4. 181. Microscopia de la C-281118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	259

Figura. 4. 182. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-281118, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).	260
Figura. 4. 183. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-281118, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).	261
Figura. 4. 184. Fotografía de la C-281118, en la prensa. Fuente: (autoría propia).	263
Figura. 4. 185. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-18. Fuente: (autoría propia).	263
Figura. 4. 186 . Fotografías de la corrida C-381118. Fuente: (Autoría propia).	264
Figura. 4. 187. Microscopia de la C-381118. Fuente: Autoría propia.	264
Figura. 4. 188. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-381118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	265
Figura. 4. 189. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-381118, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	266
Figura. 4. 190. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-381118, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	267
Figura. 4. 191. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-381118, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	268
Figura. 4. 192. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-381118, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	269
Figura. 4. 193. Figura. 4. 194. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-381118, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).	270
Figura. 4. 195. Microscopia de la C-381118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	271
Figura. 4. 196. Microscopia de la C-381118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	272
Figura. 4. 197. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-381118, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).	273
Figura. 4. 198. Imágenes de la corrida C-381118, con presencia de eflorescencias en su parte externa. (autoría propia).	273
Figura. 4. 199. Fotografía de la C-381118, en la prensa. Fuente: (autoría propia).	274
Figura. 4. 200. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-381118. Fuente: (autoría propia).	274
Figura. 4. 201. Fotografías de la corrida C-481118. Fuente: (Autoría propia).	276
Figura. 4. 202 . Microscopia de la C-481118. Fuente: Autoría propia.	276
Figura. 4. 203. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-481118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	277
Figura. 4. 204. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-481118, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	278
Figura. 4. 205. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-481118, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	279
Figura. 4. 206. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-481118, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	280
Figura. 4. 207. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-18, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	281
Figura. 4. 208. Microscopia de la C-481118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	282
Figura. 4. 209. Microscopia de la C-481118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	283
Figura. 4. 210. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-481118, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).	284

Figura. 4. 211. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-481118, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).	285
Figura. 4. 212. Fotografía de la C-481118, en la prensa. Fuente: (autoría propia).	287
Figura. 4. 213. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-481118. Fuente: (autoría propia).	287
Figura. 4. 214. Fotografías de la corrida C-581118. Fuente: (Autoría propia).	288
Figura. 4. 215. Microscopia de la C-581118. Fuente: Autoría propia.	289
Figura. 4. 216. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-581118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	290
Figura. 4. 217. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-581118, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	291
Figura. 4. 218. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-581118, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	292
Figura. 4. 219. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-581118, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	293
Figura. 4. 220. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-581118, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	294
Figura. 4. 221. Microscopia de la C-581118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	295
Figura. 4. 222. Microscopia de la C-581118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	296
Figura. 4. 223. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-581118, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).	297
Figura. 4. 224. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-581118, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).	298
Figura. 4. 225. Fotografía de la C-581118, en la prensa. Fuente: (autoría propia).	299
Figura. 4. 226. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-581118. Fuente: (autoría propia).	299
Figura. 4. 227. Fotografías de la corrida C-191118. Fuente: (Autoría propia).	301
Figura. 4. 228. Microscopia de la C-191118. Fuente: Autoría propia.	301
Figura. 4. 229. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-191118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	302
Figura. 4. 230. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-191118, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	303
Figura. 4. 231. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-191118, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	304
Figura. 4. 232. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-191118, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	305
Figura. 4. 233. Microscopia de la C-191118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	306
Figura. 4. 234. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-191118, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).	307
Figura. 4. 235. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-191118, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).	308
Figura. 4. 236. Microscopia de la C-191118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	309
Figura. 4. 237. Fotografía de la C-191118, en la prensa. Fuente: (autoría propia).	309
Figura. 4. 238. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-191118. Fuente: (autoría propia).	310
Figura. 4. 239. Fotografías de la corrida C-291118. Fuente: (Autoría propia).	312

Figura. 4. 240. Imágenes de la corrida C-291118, con presencia de eflorescencias en su parte externa. (autoría propia).	312
Figura. 4. 241. Microscopia de la C-291118. Fuente: Autoría propia.	313
Figura. 4. 242. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-291118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	314
Figura. 4. 243. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-291118, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	315
Figura. 4. 244. Microscopia aumentada digitalmente, de la C--291118, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	316
Figura. 4. 245. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-291118, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).....	317
Figura. 4. 246. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-291118, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	318
Figura. 4. 247. Microscopia de la C-291118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	319
Figura. 4. 248. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-291118, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).	320
Figura. 4. 249. Microscopia de la C-291118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	321
Figura. 4. 250. Fotografía de la C-291118, en la prensa. Fuente: (autoría propia).	321
Figura. 4. 251. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-291118. Fuente: (autoría propia).	322
Figura. 4. 252. Fotografías de la corrida C-391118. Fuente: (Autoría propia).	324
Figura. 4. 253. Microscopia de la C-391118. Fuente: Autoría propia.	324
Figura. 4. 254. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-391118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	325
Figura. 4. 255. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-391118, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	326
Figura. 4. 256. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-391118, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	327
Figura. 4. 257. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-391118, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	328
Figura. 4. 258. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-391118, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	329
Figura. 4. 259. Microscopia de la C-1391118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	330
Figura. 4. 260. Microscopia de la C-391118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	331
Figura. 4. 261. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-391118, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).	332
Figura. 4. 262. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-391118, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).	333
Figura. 4. 263. Fotografía de la C-391118, en la prensa. Fuente: (autoría propia).	335
Figura. 4. 264. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-391118. Fuente: (autoría propia).	335
Figura. 4. 265. Fotografías de la corrida C-18. Fuente: (Autoría propia).	336
Figura. 4. 266. Microscopia de la C-491118. Fuente: Autoría propia.	336
Figura. 4. 267. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-491118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	337
Figura. 4. 268. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-491118, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	338

Figura. 4. 269. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-491118, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	339
Figura. 4. 270. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-491118, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	340
Figura. 4. 271. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-491118, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	341
Figura. 4. 272. Microscopia de la C-491118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	342
Figura. 4. 273. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-491118, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).	343
Figura. 4. 274. Microscopia de la C-491118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	344
Figura. 4. 275. Imágenes de la corrida C-491118, con presencia de eflorescencias en su parte externa. (autoría propia).	345
Figura. 4. 276. Fotografía de la C-491118, en la prensa. Fuente: (autoría propia).	346
Figura. 4. 277. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-491118. Fuente: (autoría propia).	346
Figura. 4. 278. Fotografías de la corrida C-591118. Fuente: (Autoría propia).	348
Figura. 4. 279. Microscopia de la C-591118. Fuente: Autoría propia.	348
Figura. 4. 280. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-591118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	349
Figura. 4. 281. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-591118, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	350
Figura. 4. 282. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-591118, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	351
Figura. 4. 283. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-591118, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	352
Figura. 4. 284. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-591118, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	353
Figura. 4. 285. Microscopia de la C-591118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	354
Figura. 4. 286. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-591118, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).	355
Figura. 4. 287. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-591118, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).	356
Figura. 4. 288. Microscopia de la C-591118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	357
Figura. 4. 289. Fotografía de la C-591118, en la prensa. Fuente: (autoría propia).	359
Figura. 4. 290. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-591118. Fuente: (autoría propia).	359
Figura. 4. 291. Fotografías de la corrida C-1121118. Fuente: (Autoría propia).	360
Figura. 4. 292. Microscopia de la C-1121118. Fuente: Autoría propia.	361
Figura. 4. 293. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1121118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	362
Figura. 4. 294. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1121118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	363
Figura. 4. 295. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1121118, con filtro negativo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	364
Figura. 4. 296. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1121118, con filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	365
Figura. 4. 297. Microscopia de la C-1121118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	366

Figura. 4. 298. Microscopia de la C-1121118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).....	367
Figura. 4. 299. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1121118, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).	368
Figura. 4. 300. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1121118, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).	369
Figura. 4. 301. Fotografía de la C-1121118, en la prensa. Fuente: (autoría propia).	371
Figura. 4. 302. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-1121118. Fuente: (autoría propia).	371
Figura. 4. 303. Fotografías de la corrida C-2121118. Fuente: (Autoría propia).	372
Figura. 4. 304. Microscopia de la C-2121118. Fuente: Autoría propia.	373
Figura. 4. 305. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2121118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	374
Figura. 4. 306. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2121118, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	375
Figura. 4. 307. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2121118, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).....	376
Figura. 4. 308. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2121118, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	377
Figura. 4. 309. Microscopia de la C-2121118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).....	378
Figura. 4. 310. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2121118, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).	379
Figura. 4. 311. Fotografía de la C-2121118, en la prensa. Fuente: (autoría propia).	381
Figura. 4. 312. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-2121118. Fuente: (autoría propia).	381
Figura. 4. 313. Fotografías de la corrida C-3121118. Fuente: (Autoría propia).	382
Figura. 4. 314. Imágenes de la corrida C-3121118, con presencia de eflorescencias en su parte externa. (autoría propia).	382
Figura. 4. 315. Microscopia de la C-3121118. Fuente: Autoría propia.	383
Figura. 4. 316. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3121118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	384
Figura. 4. 317. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3121118, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	385
Figura. 4. 318. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3121118, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	386
Figura. 4. 319. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3121118, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).....	387
Figura. 4. 320. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-31218, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	388
Figura. 4. 321. Microscopia de la C-3121118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).....	389
Figura. 4. 322. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3121118, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).	390
Figura. 4. 323. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3121118, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).	391
Figura. 4. 324. Microscopia de la C-3121118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	392
Figura. 4. 325. Fotografía de la C-3121118, en la prensa. Fuente: (autoría propia).	394
Figura. 4. 326. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-3121118. Fuente: (autoría propia).	394

Figura. 4. 327. Fotografías de la corrida C-1161118. Fuente: (Autoría propia).	395
Figura. 4. 328. Imágenes de la corrida C-1161118, con presencia de eflorescencias en su parte externa. (autoría propia).	395
Figura. 4. 329. Microscopia de la C-1161118. Fuente: Autoría propia.	396
Figura. 4. 330. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1161118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	397
Figura. 4. 331. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1161118, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	398
Figura. 4. 332. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1161118, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	399
Figura. 4. 333. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1161118, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	400
Figura. 4. 334. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1161118, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	401
Figura. 4. 335. Microscopia de la C-1161118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	402
Figura. 4. 336. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1161118, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).	403
Figura. 4. 337. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1161118, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).	404
Figura. 4. 338. Fotografía de la C-1161118, en la prensa. Fuente: (autoría propia).	406
Figura. 4. 339. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-1161118. Fuente: (autoría propia).	406
Figura. 4. 340. Fotografías de la corrida C-2161118. Fuente: (Autoría propia).	407
Figura. 4. 341. Imágenes de la corrida C-2161118, con presencia de eflorescencias en su parte externa. (autoría propia).	407
Figura. 4. 342. Microscopia de la C-2161118. Fuente: Autoría propia.	408
Figura. 4. 343. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2161118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	409
Figura. 4. 344. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2161118, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	410
Figura. 4. 345. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2161118, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	411
Figura. 4. 346. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2161118, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	412
Figura. 4. 347. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2161118, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	413
Figura. 4. 348. Microscopia de la C-2161118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	414
Figura. 4. 349. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2161118, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).	415
Figura. 4. 350. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2161118, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).	416
Figura. 4. 351. Fotografía de la C-2161118, en la prensa. Fuente: (autoría propia).	418
Figura. 4. 352. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-2161118. Fuente: (autoría propia).	418
Figura. 4. 353. Fotografías de la corrida C-3161118. Fuente: (Autoría propia).	419
Figura. 4. 354. Imágenes de la corrida C-3161118, con presencia de eflorescencias en su parte externa. (autoría propia).	420

Figura. 4. 355. Microscopia de la C-3161118. Fuente: Autoría propia.	421
Figura. 4. 356. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3161118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	422
Figura. 4. 357. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3161118, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	423
Figura. 4. 358. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3161118, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	424
Figura. 4. 359. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3161118, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	425
Figura. 4. 360. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3161118, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	426
Figura. 4. 361. Microscopia de la C-3161118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	427
Figura. 4. 362. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3161118, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).	428
Figura. 4. 363. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3161118, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).	429
Figura. 4. 364. Fotografía de la C-3161118, en la prensa. Fuente: (autoría propia).	431
Figura. 4. 365. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-3161118. Fuente: (autoría propia).	431
Figura. 4. 366. Fotografías de la corrida C-4161118. Fuente: (Autoría propia).	432
Figura. 4. 367. Imágenes de la corrida C-416118, con presencia de eflorescencias en su parte externa. (autoría propia).	432
Figura. 4. 368. Microscopia de la C-4161118. Fuente: Autoría propia.	433
Figura. 4. 369. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-4161118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	434
Figura. 4. 370. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-4161118, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	435
Figura. 4. 371. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-4161118, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	436
Figura. 4. 372. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-4161118, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	437
Figura. 4. 373. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-4161118, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	438
Figura. 4. 374. Microscopia de la C-4161118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	439
Figura. 4. 375. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-4161118, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).	440
Figura. 4. 376. Microscopia de la C-4161118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	441
Figura. 4. 377. Fotografía de la C-4161118, en la prensa. Fuente: (autoría propia).	443
Figura. 4. 378. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-4161118. Fuente: (autoría propia).	443
Figura. 4. 379. Fotografías de la corrida C-1211118. Fuente: (Autoría propia).	444
Figura. 4. 380. Microscopia de la C-1211118. Fuente: Autoría propia.	444
Figura. 4. 381. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1211118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	445
Figura. 4. 382. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1211118, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	446

Figura. 4. 383. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1211118, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	447
Figura. 4. 384. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1211118, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	448
Figura. 4. 385. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1211118, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	449
Figura. 4. 386. Microscopia de la C-1211118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	450
Figura. 4. 387. . Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1211118, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).	451
Figura. 4. 388. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1211118, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).	452
Figura. 4. 389. Microscopia de la C-1211118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	453
Figura. 4. 390. Imágenes de la corrida C-1211118, con presencia de eflorescencias en su parte externa. (autoría propia).	453
Figura. 4. 391. Fotografía de la C-1211118, en la prensa. Fuente: (autoría propia).	455
Figura. 4. 392. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-1211118. Fuente: (autoría propia).	455
Figura. 4. 393. Fotografías de la corrida C-2211118. Fuente: (Autoría propia).	456
Figura. 4. 394. Microscopia de la C-221118. Fuente: Autoría propia.	456
Figura. 4. 395. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2211118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	457
Figura. 4. 396. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2211118, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	458
Figura. 4. 397. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2211118, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	459
Figura. 4. 398. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2211118, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	460
Figura. 4. 399. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2211118, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	461
Figura. 4. 400. Microscopia de la C-221118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	462
Figura. 4. 401. Microscopia de la C-2211118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	463
Figura. 4. 402. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2211118, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).	464
Figura. 4. 403. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2211118, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).	465
Figura. 4. 404. Fotografía de la C-2211118, en la prensa. Fuente: (autoría propia).	467
Figura. 4. 405. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-2211118. Fuente: (autoría propia).	467
Figura. 4. 406. Fotografías de la corrida C-3211118. Fuente: (Autoría propia).	468
Figura. 4. 407. Imágenes de la corrida C-3211118, con presencia de eflorescencias en su parte externa. (autoría propia).	469
Figura. 4. 408. Microscopia de la C-3211118. Fuente: Autoría propia.	470
Figura. 4. 409. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3211118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	471
Figura. 4. 410. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3211118, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	472

Figura. 4. 411. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3211118, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).....	473
Figura. 4. 412. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3211118, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).....	474
Figura. 4. 413. Microscopia de la C-3211118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).....	475
Figura. 4. 414. Microscopia de la C-3211118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).....	476
Figura. 4. 415. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3211118, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).....	477
Figura. 4. 416. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3211118, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).....	478
Figura. 4. 417. Microscopia de la C-3211118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).....	479
Figura. 4. 418. Fotografía de la C-3211118, en la prensa. Fuente: (autoría propia).....	481
Figura. 4. 419. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-3211118. Fuente: (autoría propia).....	481
Figura. 4. 420. Fotografías de la corrida C-4211118. Fuente: (Autoría propia).	482
Figura. 4. 421. Microscopia de la C-4211118. Fuente: Autoría propia.	482
Figura. 4. 422. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-4211118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	483
Figura. 4. 423. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-4211118, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	484
Figura. 4. 424. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-4211118, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	485
Figura. 4. 425. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-4211118, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).....	486
Figura. 4. 426. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-4211118, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).....	487
Figura. 4. 427. Microscopia de la C-4211118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).....	488
Figura. 4. 428. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-4211118, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).....	489
Figura. 4. 429. Microscopia de la C-4211118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).....	490
Figura. 4. 430. Fotografía de la C-4211118, en la prensa. Fuente: (autoría propia).....	492
Figura. 4. 431. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-4211118. Fuente: (autoría propia).....	492
Figura. 4. 432. Imágenes de la corrida C-1221118, con presencia de eflorescencias en su parte externa. (autoría propia).	493
Figura. 4. 433. Microscopia de la C-1221118. Fuente: Autoría propia.	494
Figura. 4. 434. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1221118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	495
Figura. 4. 435. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1221118, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).....	496
Figura. 4. 436. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1221118, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).....	497
Figura. 4. 437. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1221118, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).....	498
Figura. 4. 438. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1221118, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).....	499
Figura. 4. 439. Microscopia de la C-1221118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).....	500

Figura. 4. 440. Microscopia de la C-1221118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).....	501
Figura. 4. 441. Fotografía de la C-1221118, en la prensa. Fuente: (autoría propia).	503
Figura. 4. 442. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-18. Fuente: (autoría propia).	503
Figura. 4. 443. Fotografías de la corrida C-2221118. Fuente: (Autoría propia).	504
Figura. 4. 444. Imágenes de la corrida C-2221118, con presencia de eflorescencias en su parte externa. (autoría propia).	505
Figura. 4. 445. Microscopia de la C-2221118. Fuente: Autoría propia.	506
Figura. 4. 446. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-222111818, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	507
Figura. 4. 447. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2221118, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	508
Figura. 4. 448. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2221118, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	509
Figura. 4. 449. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2221118, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	510
Figura. 4. 450. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2221118, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	511
Figura. 4. 451. Microscopia de la C-2221118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	512
Figura. 4. 452. Microscopia de la C-2221118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	513
Figura. 4. 453. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2221118, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).	514
Figura. 4. 454. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2221118, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).	515
Figura. 4. 455. Fotografía de la C-2221118, en la prensa. Fuente: (autoría propia).	517
Figura. 4. 456. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-2221118. Fuente: (autoría propia).	517
Figura. 4. 457. Fotografías de la corrida C-1271118. Fuente: (Autoría propia).	518
Figura. 4. 458. Microscopia de la C-1271118. Fuente: Autoría propia.	518
Figura. 4. 459. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1271118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	519
Figura. 4. 460. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1271118, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	520
Figura. 4. 461. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1271118, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	521
Figura. 4. 462. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1271118, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	522
Figura. 4. 463. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1271118, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	523
Figura. 4. 464. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1271118, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).	524
Figura. 4. 465. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1271118, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).	525
Figura. 4. 466. Microscopia de la C-1271118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	526
Figura. 4. 467. Microscopia de la C-1271118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	527
Figura. 4. 468. Fotografía de la C-1271118, en la prensa. Fuente: (autoría propia).	529

Figura. 4. 469. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-1271118. Fuente: (autoría propia).	529
Figura. 4. 470. Fotografías de la corrida C-2271118. Fuente: (Autoría propia).	530
Figura. 4. 471. Microscopia de la C-2271118. Fuente: Autoría propia.	530
Figura. 4. 472. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2271118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	531
Figura. 4. 473. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2271118, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	532
Figura. 4. 474. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2271118, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	533
Figura. 4. 475. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2271118, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	534
Figura. 4. 476. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2271118, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	535
Figura. 4. 477. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2271118, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	536
Figura. 4. 478. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2271118, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).	537
Figura. 4. 479. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2271118, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).	538
Figura. 4. 480. Microscopia de la C-2271118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	539
Figura. 4. 481. Fotografía de la C-2271118, en la prensa. Fuente: (autoría propia).	541
Figura. 4. 482. Fotografía de la C-2271118, en la prensa. Fuente: (autoría propia).	541
Figura. 4. 483. Fotografías de la corrida C-3271118. Fuente: (Autoría propia).	542
Figura. 4. 484. Imágenes de la corrida C-327118, con presencia de eflorescencias en su parte externa. (autoría propia).	543
Figura. 4. 485. Microscopia de la C-3271118. Fuente: Autoría propia.	544
Figura. 4. 486. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3271118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	545
Figura. 4. 487. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3271118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	546
Figura. 4. 488. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3271118, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	547
Figura. 4. 489. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3271118, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	548
Figura. 4. 490. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3271118, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	549
Figura. 4. 491. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3271118, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).	550
Figura. 4. 492. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3271118, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).	551
Figura. 4. 493. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3271118, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).	552
Figura. 4. 494. Microscopia de la C-3271118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	553
Figura. 4. 495. Microscopia de la C-3271118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	554
Figura. 4. 496. Fotografía de la C-3271118, en la prensa. Fuente: (autoría propia).	556

Figura. 4. 497. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-3271118. Fuente: (autoría propia).	556
Figura. 4. 498. Fotografías de la corrida C-4271118. Fuente: (Autoría propia).	557
Figura. 4. 499. Imágenes de la corrida C-4271118, con presencia de eflorescencias en su parte externa. (autoría propia).	558
Figura. 4. 500. Fotografías de la corrida C-42771118. Fuente: (Autoría propia).	559
Figura. 4. 501. Microscopia de la C-4271118. Fuente: Autoría propia.	560
Figura. 4. 502. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-4271118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	561
Figura. 4. 503. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-4271118, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	562
Figura. 4. 504. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-4271118, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	563
Figura. 4. 505. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-4271118, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	564
Figura. 4. 506. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-4271118, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).	565
Figura. 4. 507. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-4271118, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).	566
Figura. 4. 508. Microscopia de la C-4271118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	567
Figura. 4. 509. Microscopia de la C-4271118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	568
Figura. 4. 510. Fotografía de la C-4271118, en la prensa. Fuente: (autoría propia).	570
Figura. 4. 511. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-4271118. Fuente: (autoría propia).	570
Figura. 4. 512. Fotografías de la corrida C-5271118. Fuente: (Autoría propia).	571
Figura. 4. 513. Microscopia de la C-5271118. Fuente: Autoría propia.	571
Figura. 4. 514. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-5271118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	572
Figura. 4. 515. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-5271118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	573
Figura. 4. 516. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-5271118, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	574
Figura. 4. 517. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-5271118, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	575
Figura. 4. 518. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-5271118, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	576
Figura. 4. 519. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-5271118, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	577
Figura. 4. 520. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-5271118, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).	578
Figura. 4. 521. Microscopia de la C-5271118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	579
Figura. 4. 522. Fotografía de la C-5271118, en la prensa. Fuente: (autoría propia).	581
Figura. 4. 523. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-5271118. Fuente: (autoría propia).	581
Figura. 4. 524. Fotografías de la corrida C-1281118. Fuente: (Autoría propia).	582
Figura. 4. 525. Imágenes de la corrida C-1281118, con presencia de eflorescencias en su parte externa. (autoría propia).	583

Figura. 4. 526. Microscopia de la C-1281118. Fuente: Autoría propia.	584
Figura. 4. 527. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1281118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	585
Figura. 4. 528. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1281118, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	586
Figura. 4. 529. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1281118, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	587
Figura. 4. 530. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1281118, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	588
Figura. 4. 531. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1281118, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	589
Figura. 4. 532. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1281118, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).	590
Figura. 4. 533. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1281118, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).	591
Figura. 4. 534. Microscopia de la C-1281118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	592
Figura. 4. 535. Microscopia de la C-1281118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	593
Figura. 4. 536. Fotografía de la C-1281118, en la prensa. Fuente: (autoría propia).	594
Figura. 4. 537. Fotografía de la C-1281118, en la prensa. Fuente: (autoría propia).	595
Figura. 4. 538. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-1281118. Fuente: (autoría propia).	595
Figura. 4. 539. Fotografías de la corrida C-18. Fuente: (Autoría propia).	596
Figura. 4. 540. Imágenes de la corrida C-129118, con presencia de eflorescencias en su parte externa. (autoría propia).	597
Figura. 4. 541. Microscopia de la C-1291118. Fuente: Autoría propia.	598
Figura. 4. 542. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1291118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	599
Figura. 4. 543. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1291118, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	600
Figura. 4. 544. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1291118, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	601
Figura. 4. 545. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1291118, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	602
Figura. 4. 546. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1291118, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	603
Figura. 4. 547. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1291118, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).	604
Figura. 4. 548. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1291118, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).	605
Figura. 4. 549. Microscopia de la C-1291118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	606
Figura. 4. 550. Microscopia de la C-1291118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	607
Figura. 4. 551. Fotografía de la C-1291118, en la prensa. Fuente: (autoría propia).	609
Figura. 4. 552. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-1291118. Fuente: (autoría propia).	609
Figura. 4. 553. Fotografías de la corrida C-1301118. Fuente: (Autoría propia).	610
Figura. 4. 554. Imágenes de la corrida C-1301118, con presencia de eflorescencias en su parte externa. (autoría propia).	610

Figura. 4. 555. Microscopia de la C-1301118. Fuente: Autoría propia.	611
Figura. 4. 556. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1301118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	612
Figura. 4. 557. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1301118, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	613
Figura. 4. 558.. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1301118, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	614
Figura. 4. 559. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1301118, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	615
Figura. 4. 560. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1301118, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	616
Figura. 4. 561. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1301118, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).	617
Figura. 4. 562. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1301118, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).	618
Figura. 4. 563. Microscopia de la C-1301118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	619
Figura. 4. 564. Microscopia de la C-18, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	620
Figura. 4. 565. Fotografía de la C-1301118, en la prensa. Fuente: (autoría propia).	622
Figura. 4. 566. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-1301118. Fuente: (autoría propia).	622
Figura. 4. 567. Fotografías de la corrida C-131218. Fuente: (Autoría propia).	623
Figura. 4. 568. Imágenes de la corrida C-131218, con presencia de eflorescencias en su parte externa. (autoría propia).	623
Figura. 4. 569. Microscopia de la C-131218. Fuente: Autoría propia.	624
Figura. 4. 570. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1301218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	626
Figura. 4. 571. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-131218, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	627
Figura. 4. 572. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-131218, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	628
Figura. 4. 573. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-131218, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	629
Figura. 4. 574. Microscopia de la C-131218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	630
Figura. 4. 575. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-131218, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).	631
Figura. 4. 576. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-131218, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).	632
Figura. 4. 577. Fotografía de la C-131218, en la prensa. Fuente: (autoría propia).	634
Figura. 4. 578. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-131218. Fuente: (autoría propia).	634
Figura. 4. 579. Fotografías de la corrida C-231218. Fuente: (Autoría propia).	635
Figura. 4. 580. Imágenes de la corrida C-231218, con presencia de eflorescencias en su parte externa. (autoría propia).	635
Figura. 4. 581. Microscopia de la C-231218. Fuente: Autoría propia.	636
Figura. 4. 582. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-231218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	637

Figura. 4. 583. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-231218, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	638
Figura. 4. 584. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-231218, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	639
Figura. 4. 585. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-231218, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	640
Figura. 4. 586. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-231218, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	641
Figura. 4. 587. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-231218, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).	642
Figura. 4. 588. Microscopia de la C-231218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	643
Figura. 4. 589. Microscopia de la C-231218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	644
Figura. 4. 590. Fotografía de la C-231218, en la prensa. Fuente: (autoría propia).	646
Figura. 4. 591. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-231218. Fuente: (autoría propia).	646
Figura. 4. 592. Fotografías de la corrida C-331218. Fuente: (Autoría propia).	647
Figura. 4. 593. Imágenes de la corrida C-331218, con presencia de eflorescencias en su parte externa. (autoría propia).	647
Figura. 4. 594. Microscopia de la C-18. Fuente: Autoría propia.	648
Figura. 4. 595. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-331218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	649
Figura. 4. 596. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-331218, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	650
Figura. 4. 597. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-331218, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	651
Figura. 4. 598. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-331218, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	652
Figura. 4. 599. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-331218, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	653
Figura. 4. 600. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-331218, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).	654
Figura. 4. 601. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-331218, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).	655
Figura. 4. 602. Microscopia de la C-331218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	656
Figura. 4. 603. Microscopia de la C-331218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	657
Figura. 4. 604. Imágenes de la corrida C-331218, con presencia de eflorescencias en su parte externa. (autoría propia).	657
Figura. 4. 605. Fotografía de la C-331218, en la prensa. Fuente: (autoría propia).	658
Figura. 4. 606. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-331218. Fuente: (autoría propia).	658
Figura. 4. 607. Fotografías de la corrida C-141218. Fuente: (Autoría propia).	659
Figura. 4. 608. Imágenes de la corrida C-141218, con presencia de eflorescencias en su parte externa. (autoría propia).	660
Figura. 4. 609. Microscopia de la C-141218. Fuente: Autoría propia.	661
Figura. 4. 610. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-141218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	662

Figura. 4. 611. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-141218, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	663
Figura. 4. 612. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-141218, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	664
Figura. 4. 613. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-141218, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	665
Figura. 4. 614. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-141218, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	666
Figura. 4. 615. Microscopia de la C-141218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	667
Figura. 4. 616. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-141218, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).	668
Figura. 4. 617. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-141218, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).	669
Figura. 4. 618. Microscopia de la C-141218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	670
Figura. 4. 619. Fotografía de la C-141218, en la prensa. Fuente: (autoría propia).	672
Figura. 4. 620. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-141218. Fuente: (autoría propia).	672
Figura. 4. 621. Fotografías de la corrida C-241218. Fuente: (Autoría propia).	673
Figura. 4. 622. Imágenes de la corrida C-241218, con presencia de eflorescencias en su parte externa. (autoría propia).	673
Figura. 4. 623. Microscopia de la C-241218. Fuente: Autoría propia.	674
Figura. 4. 624. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-241218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	675
Figura. 4. 625. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-241218, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	676
Figura. 4. 626. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-241218, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	677
Figura. 4. 627. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-241218, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	678
Figura. 4. 628. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-241218, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	679
Figura. 4. 629. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-241218, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).	680
Figura. 4. 630. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-241218, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).	681
Figura. 4. 631. Microscopia de la C-241218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	682
Figura. 4. 632. Microscopia de la C-241218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	683
Figura. 4. 633. Fotografía de la C-241218, en la prensa. Fuente: (autoría propia).	685
Figura. 4. 634. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-241218. Fuente: (autoría propia).	685
Figura. 4. 635. Fotografías de la corrida C-341218. Fuente: (Autoría propia).	686
Figura. 4. 636. Microscopia de la C-341218. Fuente: Autoría propia.	686
Figura. 4. 637. Fotografía de la C-341218, en la prensa. Fuente: (autoría propia).	688
Figura. 4. 638. Fotografía de la C-341218, en la prensa. Fuente: (autoría propia).	688
Figura. 4. 639. Fotografías de la corrida C-161218. Fuente: (Autoría propia).	689
Figura. 4. 640. Imágenes de la corrida C-16128, con presencia de eflorescencias en su parte externa. (autoría propia).	690

Figura. 4. 641. Microscopia de la C-161218. Fuente: Autoría propia.	691
Figura. 4. 642. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-161218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	692
Figura. 4. 643. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-161218, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	693
Figura. 4. 644. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-161218, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	694
Figura. 4. 645. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-161218, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	695
Figura. 4. 646. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-161218, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	696
Figura. 4. 647. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-161218, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).	697
Figura. 4. 648. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-161218, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).	698
Figura. 4. 649. Microscopia de la C-161218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	699
Figura. 4. 650. Fotografía de la C-161218, en la prensa. Fuente: (autoría propia).	701
Figura. 4. 651. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-161218. Fuente: (autoría propia).	701
Figura. 4. 652. Fotografías de la corrida C-261118. Fuente: (Autoría propia).	702
Figura. 4. 653. Imágenes de la corrida C-261218, con presencia de eflorescencias en su parte externa. (autoría propia).	702
Figura. 4. 654. Microscopia de la C-261218. Fuente: Autoría propia.	703
Figura. 4. 655. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-261218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	704
Figura. 4. 656. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-261218, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	705
Figura. 4. 657. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-261218, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	706
Figura. 4. 658. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-261218, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	707
Figura. 4. 659. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-261218, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	708
Figura. 4. 660. Fotografía de la C-261218, en la prensa. Fuente: (autoría propia).	710
Figura. 4. 661. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-261218. Fuente: (autoría propia).	710
Figura. 4. 662. Fotografías de la corrida C-361218. Fuente: (Autoría propia).	711
Figura. 4. 663. Imágenes de la corrida C-361218, con presencia de eflorescencias en su parte externa. (autoría propia).	711
Figura. 4. 664. Microscopia de la C-361218. Fuente: Autoría propia.	712
Figura. 4. 665. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-361218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	713
Figura. 4. 666. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-361218, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	714
Figura. 4. 667. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-361218, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	715

Figura. 4. 668. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-361218, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).....	716
Figura. 4. 669. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-361218, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).....	717
Figura. 4. 670. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-361218, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).....	718
Figura. 4. 671. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-361218, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).....	719
Figura. 4. 672. Microscopia de la C-361218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).....	720
Figura. 4. 673. Fotografía de la C-361218, en la prensa. Fuente: (autoría propia).....	722
Figura. 4. 674. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-361218. Fuente: (autoría propia).....	722
Figura. 4. 675. Fotografías de la corrida C-461218. Fuente: (Autoría propia).	723
Figura. 4. 676. Fotografías de la corrida C-1101218. Fuente: (Autoría propia).	725
Figura. 4. 677. Microscopia de la C-1101218. Fuente: Autoría propia.	725
Figura. 4. 678. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1101218, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).....	726
Figura. 4. 679. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1101218, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).....	727
Figura. 4. 680. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1101218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	728
Figura. 4. 681. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1101218, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	729
Figura. 4. 682. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1101218, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	730
Figura. 4. 683. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1101218, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).....	731
Figura. 4. 684. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1101218, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).....	732
Figura. 4. 685. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1101218, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).....	733
Figura. 4. 686. Fotografía de la C-1101218, en la prensa. Fuente: (autoría propia).	735
Figura. 4. 687. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-1101218. Fuente: (autoría propia).....	735
Figura. 4. 688. Fotografías de la corrida C-2101218. Fuente: (Autoría propia).	736
Figura. 4. 689. Imágenes de la corrida C-2101218, con presencia de eflorescencias en su parte externa. (autoría propia).	736
Figura. 4. 690. Microscopia de la C-2101218. Fuente: Autoría propia.	737
Figura. 4. 691. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2101218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	738
Figura. 4. 692. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2101218, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	739
Figura. 4. 693. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-18, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	740
Figura. 4. 694. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2101218, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).....	741

Figura. 4. 695. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2101218, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).	742
Figura. 4. 696. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2101218, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).	743
Figura. 4. 697. Microscopia de la C-2101218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	744
Figura. 4. 698. Fotografía de la C-2101218, en la prensa. Fuente: (autoría propia).	746
Figura. 4. 699. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-2101218. Fuente: (autoría propia).	746
Figura. 4. 700. Fotografías de la corrida C-3101218. Fuente: (Autoría propia).	747
Figura. 4. 701. Microscopia de la C-3101218. Fuente: Autoría propia.	747
Figura. 4. 702. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3101218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	748
Figura. 4. 703. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3101218, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	749
Figura. 4. 704. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3101218, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	750
Figura. 4. 705. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3101218, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	751
Figura. 4. 706. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3101218, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	752
Figura. 4. 707. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3101218, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).	753
Figura. 4. 708. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3101218, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).	754
Figura. 4. 709. Microscopia de la C-3101218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	755
Figura. 4. 710. Microscopia de la C-3101218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	756
Figura. 4. 711. Fotografía de la C-3101218, en la prensa. Fuente: (autoría propia).	758
Figura. 4. 712. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-3101218. Fuente: (autoría propia).	758
Figura. 4. 713. Fotografías de la corrida C-4101218. Fuente: (Autoría propia).	759
Figura. 4. 714. Imágenes de la corrida C-410128, con presencia de eflorescencias en su parte externa. (autoría propia).	759
Figura. 4. 715. Microscopia de la C-4101218. Fuente: Autoría propia.	760
Figura. 4. 716. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-4101218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	761
Figura. 4. 717. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-4101218, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	762
Figura. 4. 718. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-4101218, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	763
Figura. 4. 719. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-4101218, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	764
Figura. 4. 720. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-4101218, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	765
Figura. 4. 721. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-4101218, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).	766
Figura. 4. 722. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-4101218, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).	767

Figura. 4. 723. Microscopia de la C-4101218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).....	768
Figura. 4. 724. Fotografía de la C-4101218, en la prensa. Fuente: (autoría propia).	770
Figura. 4. 725. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-4101218. Fuente: (autoría propia).	770
Figura. 4. 726. Fotografías de la corrida C-5101218. Fuente: (Autoría propia).	771
Figura. 4. 727. Imágenes de la corrida C-5101218, con presencia de eflorescencias en su parte externa. (autoría propia).	771
Figura. 4. 728. Microscopia de la C-5101218. Fuente: Autoría propia.	772
Figura. 4. 729. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-5101218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	773
Figura. 4. 730. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-5101218, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	774
Figura. 4. 731. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-5101218, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	775
Figura. 4. 732. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-5101218, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).....	776
Figura. 4. 733. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-5101218, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	777
Figura. 4. 734. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-5101218, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).	778
Figura. 4. 735. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-5101218, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).	779
Figura. 4. 736. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-5101218, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).....	780
Figura. 4. 737. Microscopia de la C-5101218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).....	781
Figura. 4. 738. Microscopia de la C-5101218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).....	782
Figura. 4. 739. Fotografía de la C-5101218, en la prensa. Fuente: (autoría propia).	784
Figura. 4. 740. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-5101218. Fuente: (autoría propia).....	784
Figura. 4. 741. Fotografías de la corrida C-1131218. Fuente: (Autoría propia).	785
Figura. 4. 742. Microscopia de la C-1131218. Fuente: Autoría propia.	785
Figura. 4. 743. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1131218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	786
Figura. 4. 744. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1131218, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	787
Figura. 4. 745. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1131218, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	788
Figura. 4. 746. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1131218, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).....	789
Figura. 4. 747. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1131218, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	790
Figura. 4. 748. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1131218, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).	791
Figura. 4. 749. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1131218, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).	792
Figura. 4. 750. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1131218, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	793

Figura. 4. 751. Microscopia de la C-1131218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).....	794
Figura. 4. 752. Microscopia de la C-1131218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).....	795
Figura. 4. 753. Fotografía de la C-1131218, en la prensa. Fuente: (autoría propia).	797
Figura. 4. 754. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-1131218. Fuente: (autoría propia).	797
Figura. 4. 755. Fotografías de la corrida C-2131218. Fuente: (Autoría propia).	798
Figura. 4. 756. Microscopia de la C-2131218. Fuente: Autoría propia.	798
Figura. 4. 757. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2131218, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	800
Figura. 4. 758. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2131218, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	801
Figura. 4. 759. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2131218, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).....	802
Figura. 4. 760. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2131218, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).....	803
Figura. 4. 761. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2131218, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).	804
Figura. 4. 762. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2131218, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).	805
Figura. 4. 763. Microscopia de la C-2131218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).....	806
Figura. 4. 764. Microscopia de la C-2131218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).....	807
Figura. 4. 765. Fotografía de la C-2131218, en la prensa. Fuente: (autoría propia).	809
Figura. 4. 766. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-2131218. Fuente: (autoría propia).	809
Figura. 4. 767. Fotografías de la corrida C-3131218. Fuente: (Autoría propia).	810
Figura. 4. 768. Microscopia de la C-3131218. Fuente: Autoría propia.	810
Figura. 4. 769. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3131218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	811
Figura. 4. 770. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3131218, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	812
Figura. 4. 771. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3131218, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).....	813
Figura. 4. 772. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3131218, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).....	814
Figura. 4. 773. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3131218, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).	815
Figura. 4. 774. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3131218, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).	816
Figura. 4. 775. Microscopia de la C-3131218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).....	817
Figura. 4. 776. Microscopia de la C-3131218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).....	818
Figura. 4. 777. Fotografía de la C-3131218, en la prensa. Fuente: (autoría propia).	820
Figura. 4. 778. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-3131218. Fuente: (autoría propia).....	820
Figura. 4. 779. Fotografías de la corrida C-4131218. Fuente: (Autoría propia).	821
Figura. 4. 780. Microscopia de la C-4131218. Fuente: Autoría propia.	821
Figura. 4. 781. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-4131218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	822

Figura. 4. 782. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-4131218, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	823
Figura. 4. 783. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-4131218, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	824
Figura. 4. 784. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-4131218, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	825
Figura. 4. 785. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-4131218, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	826
Figura. 4. 786. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-4131218, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).	827
Figura. 4. 787. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-4131218, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).	828
Figura. 4. 788. Microscopia de la C-4131218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	829
Figura. 4. 789. Microscopia de la C-4131218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	830
Figura. 4. 790. Fotografía de la C-4131218, en la prensa. Fuente: (autoría propia).	832
Figura. 4. 791. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-4131218. Fuente: (autoría propia).	832
Figura. 4. 792. Fotografías de la corrida C-5131218. Fuente: (Autoría propia).	833
Figura. 4. 793. Microscopia de la C-5131218. Fuente: Autoría propia.	833
Figura. 4. 794. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-5131218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	834
Figura. 4. 795. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-5131218, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	835
Figura. 4. 796. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-5131218, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	836
Figura. 4. 797. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-5131218, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	837
Figura. 4. 798. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-5131218, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	838
Figura. 4. 799. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-18, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).	839
Figura. 4. 800. Microscopia de la C-5131218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	840
Figura. 4. 801. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-5131218, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).	841
Figura. 4. 802. Microscopia de la C-5131218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	842
Figura. 4. 803. Fotografía de la C-5131218, en la prensa. Fuente: (autoría propia).	844
Figura. 4. 804. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-5131218. Fuente: (autoría propia).	844
Figura. 4. 805. Fotografías de la corrida C-6131218. Fuente: (Autoría propia).	845
Figura. 4. 806. Microscopia de la C-6131218. Fuente: Autoría propia.	845
Figura. 4. 807. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-5131218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	846
Figura. 4. 808. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-18, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	847
Figura. 4. 809. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-18, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	848

Figura. 4. 810. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-6131218, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).....	849
Figura. 4. 811. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-6131218, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).....	850
Figura. 4. 812. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-6131218, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).....	851
Figura. 4. 813. Microscopia de la C-6131218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).....	852
Figura. 4. 814. Microscopia de la C-6131218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).....	853
Figura. 4. 815. Fotografía de la C-6131218, en la prensa. Fuente: (autoría propia).....	855
Figura. 4. 816. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-6131218. Fuente: (autoría propia).....	855
Figura. 4. 817. Fotografías de la corrida C-1171218. Fuente: (Autoría propia).....	856
Figura. 4. 818. Imágenes de la corrida C-1171218, con presencia de eflorescencias en su parte externa. (autoría propia).....	856
Figura. 4. 819. Microscopia de la C-1171218. Fuente: Autoría propia.....	857
Figura. 4. 820. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1171218, con un filtro negativo. Fuente: (autoría propia).....	858
Figura. 4. 821. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1171218, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).....	859
Figura. 4. 822. Microscopia de la C-1171218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).....	860
Figura. 4. 823. Fotografía de la C-1171218, en la prensa. Fuente: (autoría propia).....	862
Figura. 4. 824. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-1171218. Fuente: (autoría propia).....	862
Figura. 4. 825. Fotografías de la corrida C-1181218. Fuente: (Autoría propia).....	863
Figura. 4. 826. Fotografías de la corrida C-13019. Fuente: (Autoría propia).....	865
Figura. 4. 827. Microscopia de la C-130119. Fuente: Autoría propia.....	866
Figura. 4. 828. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-130119, sin filtros. Fuente: (autoría propia).....	867
Figura. 4. 829. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-130119, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).....	868
Figura. 4. 830. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-130119, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).....	869
Figura. 4. 831. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-130119, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).....	870
Figura. 4. 832. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-130119, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).....	871
Figura. 4. 833. Fotografía de la C-130119, en la prensa. Fuente: (autoría propia).....	873
Figura. 4. 834. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-130119. Fuente: (autoría propia).....	873
Figura. 4. 835. Fotografías de la corrida C-230119. Fuente: (Autoría propia).....	874
Figura. 4. 836. Microscopia de la C-230119. Fuente: Autoría propia.....	875
Figura. 4. 837. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-230119, sin filtros. Fuente: (autoría propia).....	876
Figura. 4. 838. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-230119, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).....	877
Figura. 4. 839. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-230119, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).....	878

Figura. 4. 840. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-230119, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).....	879
Figura. 4. 841. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-230119, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).....	880
Figura. 4. 842. Fotografía de la C-230119, en la prensa. Fuente: (autoría propia).....	882
Figura. 4. 843. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-230119. Fuente: (autoría propia).....	882
Figura. 4. 844. Fotografías de la corrida C-330119. Fuente: (Autoría propia).....	883
Figura. 4. 845. Microscopia de la C-330119. Fuente: Autoría propia.	883
Figura. 4. 846. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-330119, sin filtros. Fuente: (autoría propia).....	884
Figura. 4. 847. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-330119, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).....	885
Figura. 4. 848. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-330119, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).....	886
Figura. 4. 849. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-330119, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).....	887
Figura. 4. 850. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-330119, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).....	888
Figura. 4. 851. Curva Carga-Deformación de la C-330119, en N-mm. Fuente: (autoría propia).....	889
Figura. 4. 852. Fotografía de la C-330119, en la prensa. Fuente: (autoría propia).....	890
Figura. 4. 853. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-330119. Fuente: (autoría propia).....	890
Figura. 4. 854. Fotografías de la corrida C-430119. Fuente: (Autoría propia).....	891
Figura. 4. 855. Microscopia de la C-430119. Fuente: Autoría propia.	891
Figura. 4. 856. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-430119, sin filtros. Fuente: (autoría propia).....	892
Figura. 4. 857. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-430119, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).....	893
Figura. 4. 858. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-430119, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).....	894
Figura. 4. 859. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-430119, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).....	895
Figura. 4. 860. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-430119, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).....	896
Figura. 4. 861. Fotografía de la C-430119, en la prensa. Fuente: (autoría propia).....	898
Figura. 4. 862. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-430119. Fuente: (autoría propia).....	898
Figura. 4. 863. Fotografías de la corrida C-530119. Fuente: (Autoría propia).....	899
Figura. 4. 864. Microscopia de la C-530119. Fuente: Autoría propia.	899
Figura. 4. 865. Microscopia de la C-530119. Fuente: Autoría propia.	900
Figura. 4. 866. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-530119, sin filtros. Fuente: (autoría propia).....	901
Figura. 4. 867. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-530119, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).....	902

Figura. 4. 868. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-530119, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).....	903
Figura. 4. 869. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-530119, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	904
Figura. 4. 870. Fotografía de la C-530119, en la prensa. Fuente: (autoría propia).	906
Figura. 4. 871. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-530119. Fuente: (autoría propia).	906
Figura. 4. 872. Fotografías de la corrida C-150119. Fuente: (Autoría propia).	907
Figura. 4. 873. Microscopia de la C-150119. Fuente: Autoría propia.	907
Figura. 4. 874. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-150119, sin filtros. Fuente: (autoría propia).	908
Figura. 4. 875. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-150119, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).	909
Figura. 4. 876. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-150119, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	910
Figura. 4. 877. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-150119, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).....	911
Figura. 4. 878. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-150119, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).	912
Figura. 4. 879. Fotografía de la C-150119, en la prensa. Fuente: (autoría propia).	914
Figura. 4. 880. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-150119. Fuente: (autoría propia).	914

LISTA DE GRAFICAS.

Gráficas 4. 1. Curva Carga-Deformación de la C-1241018, en N-mm. Fuente: (autoría propia).	109
Gráficas 4. 2. Curva Carga-Deformación de la C-18, en N-mm. Fuente: (autoría propia).....	122
Gráficas 4. 3. Curva Carga-Deformación de la C-2251018, en N-mm. Fuente: (autoría propia).	131
Gráficas 4. 4. Curva Carga-Deformación de la C-18, en N-mm. Fuente: (autoría propia).....	139
Gráficas 4. 5. Curva Carga-Deformación de la C-1261018, en N-mm. Fuente: (autoría propia).	149
Gráficas 4. 6. Curva Carga-Deformación de la C-2261018, en N-mm. Fuente: (autoría propia).	159
Gráficas 4. 7. Curva Carga-Deformación de la C-326101818, en N-mm. Fuente: (autoría propia).	170
Gráficas 4. 8. Curva Carga-Deformación de la C-151118, en N-mm. Fuente: (autoría propia)..	178
Figura. 4. 104. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-351118. Fuente: (autoría propia). Gráficas 4. 9. Curva Carga-Deformación de la C-18, en N-mm. Fuente: (autoría propia).	191
Gráficas 4. 10. Curva Carga-Deformación de la C-161118, en N-mm. Fuente: (autoría propia).	201
Gráficas 4. 11. Curva Carga-Deformación de la C-18, en N-mm. Fuente: (autoría propia).....	211
Gráficas 4. 12. Curva Carga-Deformación de la C-18, en N-mm. Fuente: (autoría propia).....	222
Gráficas 4. 13. Curva Carga-Deformación de la C-3271118, en N-mm. Fuente: (autoría propia).	239
Gráficas 4. 14. Curva Carga-Deformación de la C-181118, en N-mm. Fuente: (autoría propia).	250
Gráficas 4. 15. Curva Carga-Deformación de la C-281118, en N-mm. Fuente: (autoría propia).	262
Gráficas 4. 16. Curva Carga-Deformación de la C-18, en N-mm. Fuente: (autoría propia).....	275
Gráficas 4. 17. Curva Carga-Deformación de la C-481118, en N-mm. Fuente: (autoría propia).	286
Gráficas 4. 18. Curva Carga-Deformación de la C-18, en N-mm. Fuente: (autoría propia).....	300
Gráficas 4. 19. Curva Carga-Deformación de la C-18, en N-mm. Fuente: (autoría propia).....	311
Gráficas 4. 20. Curva Carga-Deformación de la C-291118, en N-mm. Fuente: (autoría propia).	323
Gráficas 4. 21. Curva Carga-Deformación de la C-391118, en N-mm. Fuente: (autoría propia).	334
Gráficas 4. 22. Curva Carga-Deformación de la C-491118, en N-mm. Fuente: (autoría propia).	347
Gráficas 4. 23. Curva Carga-Deformación de la C-591118, en N-mm. Fuente: (autoría propia).	358
Gráficas 4. 24. Curva Carga-Deformación de la C-1121118, en N-mm. Fuente: (autoría propia).	370
Gráficas 4. 25. Curva Carga-Deformación de la C-2121118, en N-mm. Fuente: (autoría propia).	380
Gráficas 4. 26. Curva Carga-Deformación de la C-3121118, en N-mm. Fuente: (autoría propia).	393

Gráficas 4. 27. Imágenes de la corrida C-1161118, con presencia de eflorescencias en su parte externa. (autoría propia).	405
Gráficas 4. 28. Curva Carga-Deformación de la C-2161118, en N-mm. Fuente: (autoría propia).	417
Gráficas 4. 29 Curva Carga-Deformación de la C-3161118, en N-mm. Fuente: (autoría propia).	430
Gráficas 4. 30. Curva Carga-Deformación de la C-4161118, en N-mm. Fuente: (autoría propia).	442
Gráficas 4. 31. Curva Carga-Deformación de la C-1211118, en N-mm. Fuente: (autoría propia).	454
Gráficas 4. 32. Imágenes de la corrida C-2211118, con presencia de eflorescencias en su parte externa. (autoría propia).	466
Gráficas 4. 33. Curva Carga-Deformación de la C-3211118, en N-mm. Fuente: (autoría propia).	480
Gráficas 4. 34. Curva Carga-Deformación de la C-4211118, en N-mm. Fuente: (autoría propia).	491
Gráficas 4. 35. Curva Carga-Deformación de la C-1221118, en N-mm. Fuente: (autoría propia).	502
Gráficas 4. 36. Curva Carga-Deformación de la C-2221118, en N-mm. Fuente: (autoría propia).	516
Gráficas 4. 37. Curva Carga-Deformación de la C-1271118, en N-mm. Fuente: (autoría propia).	528
Gráficas 4. 38. Curva Carga-Deformación de la C-18, en N-mm. Fuente: (autoría propia).	540
Gráficas 4. 39. Curva Carga-Deformación de la C-3271118, en N-mm. Fuente: (autoría propia).	555
Gráficas 4. 40. Curva Carga-Deformación de la C-4271118, en N-mm. Fuente: (autoría propia).	569
Gráficas 4. 41. Curva Carga-Deformación de la C-5271118, en N-mm. Fuente: (autoría propia).	580
Gráficas 4. 42. Curva Carga-Deformación de la C-1281118, en N-mm. Fuente: (autoría propia).	594
Gráficas 4. 43. Curva Carga-Deformación de la C-1291118, en N-mm. Fuente: (autoría propia).	608
Gráficas 4. 44. Curva Carga-Deformación de la C-1301118, en N-mm. Fuente: (autoría propia).	621
Gráficas 4. 45. Curva Carga-Deformación de la C-131218, en N-mm. Fuente: (autoría propia).	633
Gráficas 4. 46. Curva Carga-Deformación de la C-231218, en N-mm. Fuente: (autoría propia).	645
Gráficas 4. 47. Curva Carga-Deformación de la C-18, en N-mm. Fuente: (autoría propia).	659
Gráficas 4. 48. Curva Carga-Deformación de la C-141218, en N-mm. Fuente: (autoría propia).	671
Gráficas 4. 49. Curva Carga-Deformación de la C-241218, en N-mm. Fuente: (autoría propia).	684
Gráficas 4. 50. Curva Carga-Deformación de la C-341218, en N-mm. Fuente: (autoría propia).	687

Gráficas 4. 51. Curva Carga-Deformación de la C-161218, en N-mm. Fuente: (autoría propia).	700
Gráficas 4. 52. Curva Carga-Deformación de la C-261218, en N-mm. Fuente: (autoría propia).	709
Gráficas 4. 53. Curva Carga-Deformación de la C-361218, en N-mm. Fuente: (autoría propia).	721
Gráficas 4. 54. Curva Carga-Deformación de la C-461218, en N-mm. Fuente: (autoría propia).	724
Gráficas 4. 55. Curva Carga-Deformación de la C-1101218, en N-mm. Fuente: (autoría propia).	734
Gráficas 4. 56. Curva Carga-Deformación de la C-2101218, en N-mm. Fuente: (autoría propia).	745
Gráficas 4. 57. Imágenes de la corrida C-3101218, con presencia de eflorescencias en su parte externa. (autoría propia).	757
Gráficas 4. 58. Curva Carga-Deformación de la C-4101218, en N-mm. Fuente: (autoría propia).	769
Gráficas 4. 59. Curva Carga-Deformación de la C-5101218, en N-mm. Fuente: (autoría propia).	783
Gráficas 4. 60. Curva Carga-Deformación de la C-1131218, en N-mm. Fuente: (autoría propia).	796
Gráficas 4. 61. Curva Carga-Deformación de la C-2131218, en N-mm. Fuente: (autoría propia).	808
Gráficas 4. 62. Curva Carga-Deformación de la C-3131218, en N-mm. Fuente: (autoría propia).	819
Gráficas 4. 63. Curva Carga-Deformación de la C-4131218, en N-mm. Fuente: (autoría propia).	831
Gráficas 4. 64. Curva Carga-Deformación de la C-5131218, en N-mm. Fuente: (autoría propia).	843
Gráficas 4. 65. Curva Carga-Deformación de la C-6131218, en N-mm. Fuente: (autoría propia).	854
Gráficas 4. 66. Curva Carga-Deformación de la C-1171218, en N-mm. Fuente: (autoría propia).	861
Gráficas 4. 67. Curva Carga-Deformación de la C-1181218, en N-mm. Fuente: (autoría propia).	864
Gráficas 4. 68. Curva Carga-Deformación de la C-130119, en N-mm. Fuente: (autoría propia).	872
Gráficas 4. 69. Curva Carga-Deformación de la C-230119, en N-mm. Fuente: (autoría propia).	881
Gráficas 4. 70. Curva Carga-Deformación de la C-430119, en N-mm. Fuente: (autoría propia).	897
Gráficas 4. 71. Curva Carga-Deformación de la C-530119, en N-mm. Fuente: (autoría propia).	905
Gráficas 4. 72. Curva Carga-Deformación de la C-150119, en N-mm. Fuente: (autoría propia).	913
Gráficas 4. 73. Curva Carga-Deformación de la C-2151018, en N-mm. Fuente: (autoría propia).	915

Gráficas 4. 74. Curvas comparativas de la CAL contra la CAL y el METACAOLIN en N-mm. Fuente: (Autoría propia).....	926
Gráficas 4. 75. Curvas comparativas de la CAL contra la CAL+METACAOLIN+BIOPOLÍMERO en N-mm. Fuente: (Autoría propia).....	926
Gráficas 4. 76. Curvas comparativas de la CAL contra la CAL+METACAOLIN+CLORURO DE SODIO en N-mm. Fuente: (Autoría propia).	927
Gráficas 4. 77. Curvas comparativas de la CAL contra la CAL+METACAOLIN+CARBONATO DE SODIO en N-mm. Fuente: (Autoría propia).....	927
Gráficas 4. 78. Curvas comparativas de la CAL contra la CAL vs CAL +METACAOLIN+SULFATO DE SODIO en N-mm. Fuente: (Autoría propia).	928
Gráficas 4. 79. Curvas comparativas de la CAL contra la CAL+METACAOLIN+CARBONATO DE SODIO+BIOPOLÍMERO en N-mm. Fuente: (Autoría propia).	928
Gráficas 4. 80. Curvas comparativas de la CAL contra la CAL+METACAOLIN+CARBONATO DE SODIO+10%BIOPOLÍMERO en N-mm. Fuente: (Autoría propia).	929
Gráficas 4. 81. Curvas comparativas de la CAL contra la CAL+METACAOLIN+CARBONATO DE SODIO+20%BIOPOLÍMERO en N-mm. Fuente: (Autoría propia).....	930
Gráficas 4. 82. Curvas comparativas de la CAL contra la CAL+METACAOLIN+CARBONATO DE SODIO+30%BIOPOLÍMERO en N-mm. Fuente: (Autoría propia).....	930
Gráficas 4. 83. Curvas comparativas de la CAL contra la CAL+METACAOLIN+CLORURO DE SODIO+BIOPOLÍMERO en N-mm. Fuente: (Autoría propia).	931
Gráficas 4. 84. Curvas comparativas de la CAL contra la CAL+METACAOLIN+CLORURO DE SODIO+10%BIOPOLÍMERO en N-mm. Fuente: (Autoría propia).	932
Gráficas 4. 85. Curvas comparativas de la CAL contra la CAL+METACAOLIN+CLORURO DE SODIO+30%BIOPOLÍMERO en N-mm. Fuente: (Autoría propia).	933
Gráficas 4. 86. Curvas comparativas de la CAL contra la CAL+METACAOLIN+CLORURO DE SODIO+20%BIOPOLÍMERO en N-mm. Fuente: (Autoría propia).	933
Gráficas 4. 87. Curvas comparativas de la CAL contra la CAL+METACAOLIN+SULFATO DE SODIO+BIOPOLÍMERO en N-mm. Fuente: (Autoría propia).	934
Gráficas 4. 88. Curvas comparativas de la CAL contra la CAL vs CAL+BIOPOLÍMERO en N-mm. Fuente: (Autoría propia).	934
Gráficas 4. 89. Curvas comparativas de la CAL contra la CAL +CLORURO DE SODIO en N-mm. Fuente: (Autoría propia).	935
Gráficas 4. 90. Curvas comparativas de la CAL contra la CAL +CARBONATO DE SODIO en N-mm. Fuente: (Autoría propia).	935
Gráficas 4. 91. Curvas comparativas de la CAL contra la CAL +SULFATO DE SODIO en N-mm. Fuente: (Autoría propia).	936
Gráficas 4. 92. Curvas comparativas de la CAL contra la CAL +CLORURO DE SODIO+BIOPOLÍMERO en N-mm. Fuente: (Autoría propia).	936
Gráficas 4. 93. Curvas comparativas de la CAL contra la CAL +CARBONATO DE SODIO+BIOPOLÍMERO en N-mm. Fuente: (Autoría propia).	937
Gráficas 4. 94. Curvas comparativas de la CAL contra la CAL +SULFATO DE SODIO+BIOPOLÍMERO en N-mm. Fuente: (Autoría propia).	937

Capítulo 1– Introducción.

1. INTRODUCCIÓN.

El agua es el material más utilizado por la población humana, desde siempre, las más grandes civilizaciones se establecieron al rededor o en cercanías de grandes aglomeraciones de agua como lo fue Tebas en Grecia lago Ylik, Egipto cerca del Gran Río Nilo, la ciudad de Londres a horillas del río Támesis, Tenochtitlan fundando sobre el lago de Texcoco, actual mente la CDMX. Todo esto para sacar el mayor provecho de la cercanía del agua que proporcionaron estos cuerpos del líquido vital, y el segundo material que más consume la población humana en la actualidad, por su versatilidad, como es mencionado en este proyecto de grado, es el Concreto o Hormigón, de cemento Portland, cabe resaltar que, para su fabricación, es requerida la utilización de agua.

Teniendo una producción anual de 44.9 millones de toneladas, en México en el año 2015, y generando un consumo per capita de 375.5 kilos por habitante, entonces según datos del INEGI la cantidad de habitantes en México es de 126500000, da un total de 47500.75 millones de toneladas requeridas anualmente en México, y si por cada tonelada en la producción del cemento portland es emitida a la atmósfera una tonelada de CO₂. Esto nos dice que es igual la producción de CO₂, que, la de cemento portland al año tan solo en la industria del de la fabricación, siendo más del 60% de total de las emisiones producidas anualmente, sumando el resto del mundo en la industria del cemento portland y todas las emisiones generas por el resto de las actividades diarias de los seres vivos, es que, se ha puesto como fecha límite y en mi opinión, punto sin retorno, el año 2030 para bajar la emisión, que estamos arrojando diariamente a la atmósfera. Por esto es que es imperativo, buscar nuevas alternativas, al llamado la roca del siglo XX, y basta con echar un vistazo a las civilizaciones que mencioné al principio.

Tanto la Antigua Grecia como en Egipto fue empleada la Cal como base de los cementos, debido a diversos factores, que, desde los yacimientos a las cercanías de este material hasta la fácil aplicación, y la poca experiencia que era requerida para su aplicación. Incluso en la innovación tecnológica, que fue implementada en las construcciones a. C. en la antigua China.

Es aquí en la antigua China donde se centrará mi atención, pues fueron encontrados muchos datos históricos, donde se ve la aplicación de materiales, orgánicos en morteros base Cal inorgánicos, jugando un importante papel el mortero de arroz, pues mostraba una buena resistencia, debido a lo cual puede considerarse como uno de los más grandes inventos para la construcción de la antigua China. Esto fue lo que despertó el interés en conocer, si con ayuda de este biopolímero el almidón de arroz, podría ayudar a mejora un cemento de Cal alcalinamente activada.

Siendo un cemento alcalinamente activado por sí mismo un cemento ya de buenas capacidades tanto de resistencia mecánica, presentado poco calor de hidratación, y una durabilidad, apreciable en las estructuras como las pirámides de Gizeh y las vistosas ruinas de Grecia como el Panteón, de milenios en pie, contrastando con construcciones de cemento portland, que cuando máximo, tienen cincuenta años para empezar a presentar deterioros y como máximo cien años de vida útil.

Además, que no es necesaria para su elaboración los consumos tan elevados de energía, como el caso en la producción del cemento Portland.

Siendo actualmente el estudio de los materiales cementantes alternativos al cemento Portland una línea de investigación de gran interés de manera mundial y prioritaria para reducir como ya fue mencionado, el total de emisiones de CO₂ a la atmosfera.

Desde los 90's, las investigaciones de cómo se lleva a cabo la activación alcalina, han ido al alza en todas partes, hay en este momento un grupo de investigadores, interesados en este tema, en alguno de los más de cien centros especializados en la investigación, de, los cementos alcalinamente activados.

Capítulo 2- Estado-Del-Arte.

2. Estado del arte.

2.1. Introducción.

Será enseñado el estado del actual en el avance de la investigación de “cementos activados alcalinamente”, describiéndose las características de los materiales a usarse.

Se hará una nueva investigación.

La capacidad de activación alcalina de materiales de Metacaolin en cementos alcalinamente activados y eco-cemento. Contiene, asimismo, la caracterización física, química y microestructural de los productos de reacción.

2.2. Definiciones

CEMENTO PORTLAND. Uno de los materiales aglomerantes más usados en el planeta, llamado: “la roca del siglo XX”; es un material en forma de polvo muy fino de color gris que, combinado con agua y otros materiales, forma una pasta que aporta a las construcciones, propiedades útiles y deseables, tanto adhesivas como cohesivas, aportando resistencia a la compresión, durabilidad y estética. Estas propiedades particulares dependen de su composición química, el grado de hidratación, la finura de las partículas, la velocidad de fraguado, el calor de hidratación y la resistencia mecánica que es capaz de desarrollar. [1]

EL CLINKER: O clinker Portland es el principal componente del cemento Portland, el cemento más común y, por tanto, del concreto. Se forma tras calcinar caliza y arcilla a una temperatura que está entre 1350 y 1450 °C. El clinker es el producto del horno que se muele para fabricar el cemento Portland. El promedio del diámetro de las partículas de un cemento típico es aproximadamente 15 micrómetros. Hay 4 compuestos principales en el cemento Portland que suman el 90% o más del peso del cemento Portland. Se compone aproximadamente de: 40-60% de silicato tricálcico o alita (C_3S), 20-30% silicato dicálcico o delita (C_2S), 7-14% aluminato tricálcico o felita (C_3A) y 5-12% ferrito aluminato tetracálcico (C_4AF). [1]

PUZOLANAS. Se consideran generalmente como puzolanas los materiales que, carentes de propiedades cementicias y de la actividad hidráulica por sí solos, contienen constituyentes que se combinan con cal a temperaturas ordinarias y en presencia de agua, dando lugar a compuestos permanentemente insolubles y estables que se comportan como conglomerantes hidráulicos. En tal sentido, las puzolanas dan propiedades cementantes a un conglomerante no hidráulico como es la cal. Materia esencialmente silicosa que finamente separada no posee ninguna propiedad hidráulica, pero posee constituyentes (sílice - alúmina) capaces, a la temperatura ordinaria, de fijar el hidróxido de cal para dar compuestos estables con propiedades hidráulicas. Las puzolanas pueden clasificarse:

- Puzolanas naturales:
- Materias de origen volcánico
- Materias sedimentarias de origen animal o vegetal.
- Puzolanas artificiales:
- Materias tratadas (tratamiento térmico 600 y 900°C).

- Subproductos de fabricación industrial
- Cenizas volantes • Humo de sílice
- Arcilla natural (subproductos de la industria del ladrillo cocido)
- Ceniza de cascarilla de arroz
- Tierra de diatomea (Cuando las algas mueren, todo el contenido orgánico se destruye, con excepción de su esqueleto de sílice, el cual generalmente va a depositarse al fondo de las aguas, formar al cabo de los siglos grandes depósitos de algas fosilizadas conocidos como tierra de diatomeas que es un material inerte, no tóxico. [2])
- Escorias granuladas de industrias metálicas no ferrosas

ACTIVACION ALCALINA. La activación alcalina de cenizas volantes es un proceso químico por el componente vítreo de este subproducto industrial es reformado en un material cementoso compacto (también "geopolymeler" o "hydroceramic") caracterizado por sus excelentes propiedades adherentes, desarrollo de resistencia mecánica y de otras propiedades atribuidas a las cerámicas. [2]

CEMENTOS ALCALINAMENTE ACTIVADOS: Los cementos alcalinos se obtienen mediante la reacción entre un material de aluminosilicatos, que puede o no contener calcio en su composición, con una solución alcalina denominada activador alcalino. Dependiendo de la composición química de la materia prima, el producto de reacción podría ser un gel tridimensional de aluminosilicato (para sistemas de bajo Ca) o un gel de silicato de calcio para altas cantidades de Ca. [3]

Caliza. Es un material de naturaleza inorgánica de origen mineral carbonatado, compuesto principalmente por carbonatos de calcio en forma de calcita. [4]

Polímero: La palabra polímero proviene del griego Polys y Meros, que significa muchos y partes respectivamente; y estos se definen como macromoléculas compuestas por una o varias unidades químicas que se repiten a lo largo de toda una cadena. [5]

Metacaolín: El metacaolín es una puzolana, probablemente el material puzolánico más efectivo para usar en el concreto. Es un producto que se fabrica para su uso en lugar de un subproducto y se forma cuando la arcilla china, el mineral caolín, se calienta a una temperatura entre 600 y 800°C. Su calidad se controla durante la fabricación, lo que da como resultado un material mucho menos variable que las puzolanas industriales que son subproductos. Utilizado por primera vez en la década de 1960 para la construcción de varias represas grandes en Brasil, el metacaolín se incorporó con éxito en el concreto con la intención original de suprimir cualquier daño debido a la reacción de la sílice alcalina. [5]

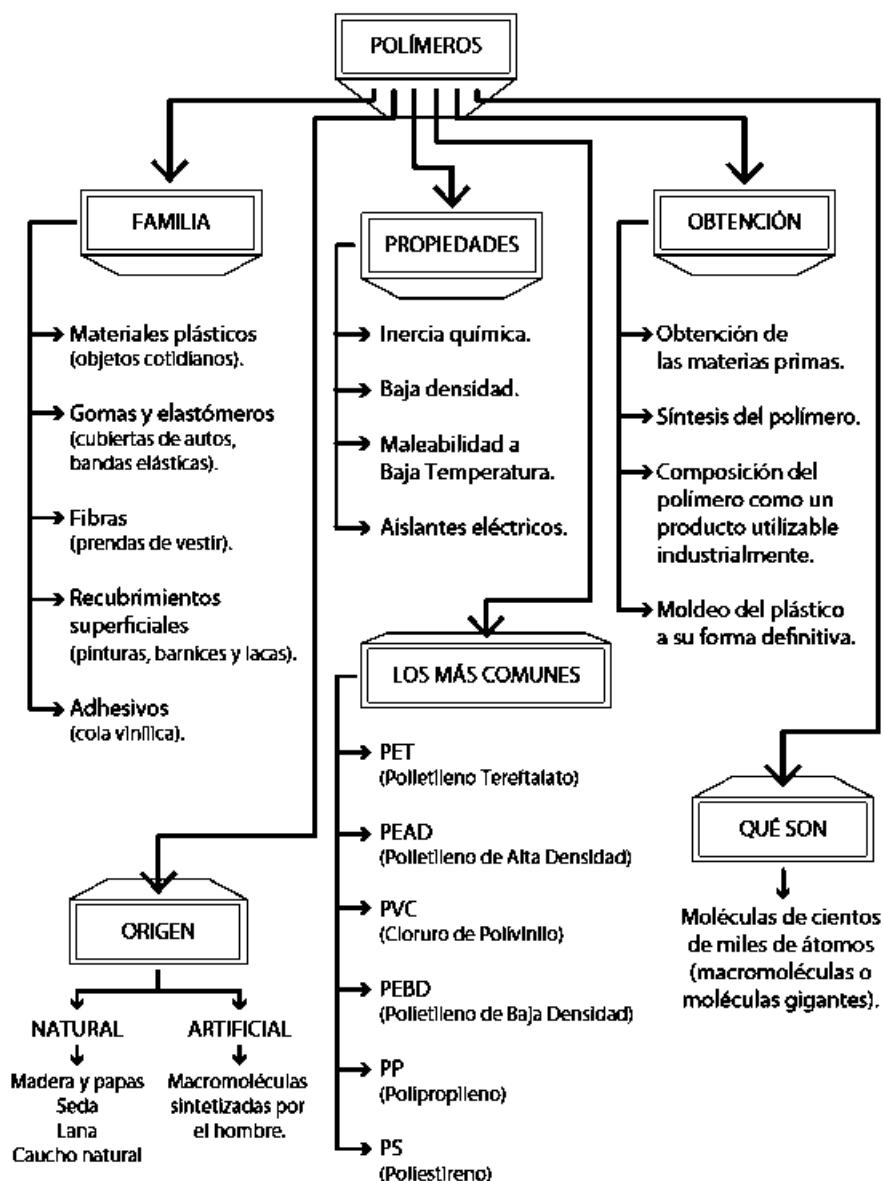


FIGURA. 2. 1. Red conceptual de los polímeros.

Fuente: http://www.inet.edu.ar/wp-content/uploads/2012/11/09_Polimeros.pdf [6](Consulta 29/09/18)

La mayoría de las sustancias orgánicas presentes en la materia viva, como proteínas, la madera, la quitina, el caucho y las resinas, son polímeros; también son muchos materiales sintéticos como plásticos, las fibras, los adhesivos, el vidrio y la porcelana. A pesar de la gran variedad de polímeros existentes, todos tienen una estructura interna similar y se rigen por las mismas teorías.

2.3. Historia.

A lo largo de la historia, los materiales de cementación han desempeñado un papel vital. Fueron utilizados generalmente en el mundo antiguo. Los egipcios utilizaron yeso calcinado como cemento. Los griegos y romanos utilizaban la cal, calentando la piedra caliza y añadían arena para hacer mortero, con piedras para el hormigón. Los romanos se dieron cuenta que el cemento podría utilizarse bajo el agua y esto se utilizó para la construcción de puertos. El cemento se hizo mediante la adición de ceniza volcánica triturada y más tarde fue llamado cemento “puzolánico”, el nombre de la localidad de Pozzuoli, cerca del Vesubio. En los lugares donde la ceniza volcánica era escasa, como Gran Bretaña, se utilizó el ladrillo o teja aplastada en su lugar. Los romanos eran, por tanto, probablemente los primeros en manipular sistemáticamente las propiedades de los materiales del cemento para ciertas aplicaciones y situaciones específicas. A ellas se hace mención cada día por las enseñanzas y los conocimientos vigentes hasta hoy. De diferentes formas los constructores se preocuparon en mostrar las características y conceptos de sus culturas, así como los periodos de la historia que estaban viviendo; perennes en el tiempo, intacta su belleza arquitectónica y su interrelación con el hombre. Estas obras son el enlace del pasado y el presente; son un libro de consulta para la ingeniería. El papel fundamental de las obras antiguas y las intervenciones presentes, hacen que la investigación, el estudio y la aplicación de nuevas técnicas constructivas se realice permanentemente; es así como se podrá continuar escribiendo nuestra historia. Nakheel Harbour & Tower. Historia del Cemento Prehistoria Se utilizaron bloques de piedra de gran tamaño y cuya estabilidad dependía de su colocación. (v.gr. Stonehenge de Inglaterra).



FIGURA. 2. 2. Stonehenge Salisbury Inglaterra. Fuente: <https://www.trover.com/d/1RkoY-stonehenge-wiltshire-england> (consulta 21/8/2018)

Se utilizan ladrillos de barro o adobe secados al sol y son puestos en forma regular pegándolos con una capa de arcilla del Nilo con o sin paja para crear una pared sólida de barro seco. Este tipo de construcción prevalece en climas desérticos donde la lluvia es nula. Este tipo de construcción todavía se practica en muchas partes del mundo.

2.4. Historia del Cemento



FIGURA. 2. 3. Pirámides de Gizeh, Egipto.

Fuente: <https://cuatrocircuitos.com/la-incognita-de-la-esfinge-de-giza/> (consulta 21/8/2018)

2.4.1. Historia del Cemento Egipto y Grecia.

Egipcios y griegos hicieron uso de morteros compuestos por cal, grasa, arena y agua. Pero la utilización del “Opus caementicium” (hormigón romano) fue moderno, ya que podían usar cualquier árido existente en cualquier provincia, mano de obra no calificada, era fácilmente moldeable, y reducía tiempos de construcción. Es de esta manera como en el antiguo Egipto (alrededor del año 2,570 a. C.) se utilizaron pastas obtenidas con mezclas de yesos y calizas disueltas en agua, para poder unir sólidamente sillares de piedra; como las que aún perduran entre los bloques calizos de la Gran Pirámide de Gizeh (Figura. 2.2). Los egipcios utilizaron este mortero para levantar sus prodigiosas construcciones, como es el caso también de las mezclas que se emplearon hacia el año 1950 a. C. en los muros de piedra del mural de Tebas. [1]



FIGURA. 2. 4. La Gran esfinge de Giza.

Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Gran_Esfinge_de_Guiza#/media/File:Great_Sphinx_of_Giza_May_2015.JPG (consulta: 21/8/2018)



FIGURA. 2. 5. Islas griegas.

Fuente: <https://didactalia.net/comunidad/materialeducativo/recurso/periplo-un-viaje-a-grecia/4458f482-f208-4eed-9df1-aa6704f06fe5> (consulta 21/8/2018)

2.4.2. Historia del Cemento Grecia

Los griegos fueron de los primeros en darse cuenta de las propiedades cementantes de los depósitos volcánicos al ser mezclados con cal y arena que hoy en día conocemos como puzolanas (latín: puteoli, un pueblo cercano a la bahía de Nápoles). [7]

Hacia el año 500 a. C., los griegos utilizaban en sus construcciones una mezcla de materiales provenientes de depósitos volcánicos, con caliza, agua y arena. Este mortero ofrecía entonces los mejores niveles de resistencia. [7]



FIGURA. 2. 6. Templo panteón, grecia.

Fuente: <https://pixabay.com/es/photos/templo-grecia-pante%C3%B3n-916230/> (consulta:21/8/2018)



FIGURA. 2. 7. Templo de Baco, libano.

Fuente: <https://br.depositphotos.com/34611325/stock-photo-baalbek-ruins-lebanon.html> (consulta 21/0818)

2.4.3. Historia del Cemento Roma.

Para el siglo II a. C., en la región de Puzzoli (cerca del Vesubio), los romanos desarrollaron el llamado cemento romano o puzolánico a partir de la mezcla de caliza calcinada con finas arenas de origen volcánico o cenizas volcánicas (lo que hoy llamamos puzolana). [1]



FIGURA. 2. 8. El Acueducto de Segovia es la obra de ingeniería civil romana más importante de España y su arquería es uno de los monumentos más sobresalientes y mejor conservados de los que dejaron los romanos en la Península Ibérica.

Fuente: <https://www.taringa.net/posts/ciencia-educacion/19997759/IC-El-secreto-del-antiguo-cemento-romano-LVL5.html> (consulta 21/08/2018)

Se utilizó en la cal mezclada con arena para hacer mortero en la isla de creta. Los romanos ajustaron y mejoraron esta técnica para lograr construcciones de gran durabilidad como son el Coliseo Romano y Panteón Roma, así como un sin número de construcciones esparcidas por todo el Imperio Romano.

La elaboración y estructura de este mortero consistía en puzolanas que daban la propiedad de fraguar en contacto con el agua, por su alto contenido en silicatos a diferencia del mortero de cal y grasa, que no fragua, sino que endurece por carbonatación y que presentaba un mal comportamiento en presencia de humedad.



FIGURA. 2. 9. Panteón, Roma.

Fuente: <https://www.101viajes.com/roma/panteon-agripa> (consulta 21/08/2018)

El teatro de Pompeya (55 años a.C.), se edificó con este material. Posteriormente se utilizó en la construcción de los baños públicos de Roma, el coliseo y la basílica de Constantino. La prolongada duración de estos edificios nos hace concluir que los constructores romanos utilizaban una dosificación perfectamente calculada y empleaban técnicas adicionales para mejorar la resistencia del material de construcción. [7]

2.4.4. Historia del cemento en la antigua China.

A mediados o finales del oeste de Zhou (1046-771B.C.), la cal se utilizaba ampliamente en el refuerzo de la base del pilar, la base y el techo. En el período Zhou del este, se usó limo en la construcción de la tumba. Por ejemplo, se registró en zhuo zhuan que "el duque Wen de Son murió en el segundo año del duque Cheng de Lu (635 a.C.) y se utilizó cal en su elaborada tumba". Aquí, la concha de almeja. Después de las dinastías Quin y Han, la cal se usó más ampliamente. Se descubrió que el suelo del sitio del palacio de Xianyang estaba construido con sangre de cerdo. La superficie de la cal y la piedra era matorral, lisa y hermosa, con la función de impermeabilizar y adornar. El expreso de Imperios Qin (221-206 a.C.) fue embestido con limo y loess local. [8]

En la dinastía Han (206 a.C. 8 d.C.), la cal se encontró con frecuencia en la construcción de tumbas, como la pintura de paredes) sellado de la puerta de la tumba) y la madera de limón del ataúd Vale la pena señalar que al menos en la dinastía Han, el material inorgánico híbrido gelificado llamado "tabia" (compuesto de loess limo y arena por las personas fue inventado y aplicado. En los Dieciséis

Estados y el Imperio de la Dinastía Tsin del Este (817- 420A.D.) el uso de tabia fue más amplio. La tumba construida por tabia fue encontrada en la antigua guarida del Norte También se descubrió que la ciudad de Tongwan, la capital del estado de Helian, se construyó con tabia. Después de ver la ciudad de Tongwan por su cuenta, Shen Kue, que era un científico de la dinastía Song del Norte, describió la ciudad como su libro El diario Dream Rivulet "Helian La ciudad es dura como la piedra. La referencia de la historia general de China también decía que la ciudad era "lo suficientemente dura para afilar el cuchillo y el hacha". La tenacidad de la tabia se puede ver desde estos registros. Al menos a más tardar en la Dinastía Sur-Norte (386 589A.D.), el mortero de cal pegajosa ya era una tecnología completamente desarrollada. La aparición del mortero híbrido orgánico / inorgánico como el mortero de cal pegajosa fue un gran avance en la tecnología de los materiales gelificados a base de cal. El trabajo de construcción Tian Gong Kai Wu escrito en la dinastía Ming registró en detalle la composición, el método de fabricación y el rendimiento de la misma: "sopa de arroz pegajoso y jugo de caña de actinidia chinas se agrega a la mezcla de 1/3 de tiempo y 2/3 de loess y arena de río bien agitado y se produce el mortero. Los edificios construidos por él son muy fuertes y permanentes y este tipo de material se denomina tabia. [8]

Este tipo de sopa de arroz pegajoso adicionada fue el mortero de cal pegajosa que mencionamos anteriormente. La adición de compuestos orgánicos naturales como la sopa de arroz pegajoso mejoró enormemente la duración de la construcción de material gelificado. Debido a la creatividad y al excelente rendimiento de la misma, como muchas otras personas, después de su invención, valoraron la alta resistencia adhesiva, la buena dureza y el mortero híbrido inorgánico orgánico tradicional resistente al agua como el mortero de cal pegajosa de arroz. El libro Linji Zazhi escrito por Jiang Xiufu en la dinastía Song dijo que "es tan duro como la piedra." Xusheng y otros pensaron que la aplicación de "mejorar enormemente la estabilidad de los edificios". Los resultados de la evaluación mostraron que las propiedades de adhesión eran buenas. suficiente para combinar con cemento moderno, además de sopa de arroz pegajoso, vegetales de jugo como la caña de fruta, la hoja de Polggonumhydropiper y Betilla striata, la clara de huevo y sangre animal se utilizaron alguna vez en de mortero tradicional. La masilla hecha de, aceite de pescado y cal también se aplicó en edificios, componentes de madera y construcción naval hace mucho tiempo debido al espacio limitación.

La historia de la aplicación de la cal en Europa fue muy larga también en la antigua Grecia (330a C-30d C). La cal de piedra de cal se usó como mortero de construcción. En la época romana, se emplearon materiales híbridos de arena de limo y yeso-cal en la construcción. Posteriormente se mejoró el mortero bicomponente de arena y cal mediante la introducción de ceniza volcánica de tierra o ladrillo triturado y cerámica en polvo cuando no se disponía de ceniza volcánica. En comparación, este mortero de arena de tres componentes compuesto de cal hidráulica tenía mejor resistencia e impermeabilidad que el mortero bimaternal de arena y cal Este mortero de arena componente hidráulico se denominó posteriormente mortero romano. La propiedad de Roman mortar. era similar a la tabia inorgánica en la antigua China. Hasta la aparición del cemento moderno, el mortero romano era el mejor mortero utilizado en Europa. En resumen, los morteros utilizados en la antigua Europa eran puramente inorgánicos; sin embargo, el mortero de cal pegajosa de arroz inventado en la antigua China era una especie de mortero híbrido orgánico / inorgánico. Este tipo de mortero híbrido orgánico inorgánico era mejor que los compuestos inorgánicos puros en la propiedad de unión, tenacidad e impermeabilidad. Debido a la invención de materiales híbridos orgánicos / inorgánicos como el mortero de arroz pegajoso, China siempre asumió el liderazgo en el mercado que ofrece su tecnología básica para la construcción de

materiales gelificados. El Dr. Joseph Needham, el famoso científico e historiador de Bretaña, pensó mucho en este tipo de inventos antiguos en China "Como invención en la China antigua, la introducción de materiales orgánicos en materiales inorgánicos gelificados fue única y fue muy valiosa en el avance de la construcción del edificio 2. El papel del mortero de arroz pegajoso jugó en la historia de la antigua China en Li Debido a su buena resistencia, dureza e impermeabilidad, el mortero de arroz pegajoso se utilizó ampliamente. De las evidencias arqueológicas, se encontró principalmente el mortero de arroz pegajoso. en las tumbas se construyeron ciudades e instalaciones de recursos hídricos. Anteriormente, en la Dinastía Sur-Norte, se utilizó en la construcción de tumbas. Por ejemplo, la tumba de ladrillo en el condado de Deng, Henan

En provincia de la de dinastía Song a oing, el arroz pegajoso mortero fue más ampliamente utilizado en la construcción de la tumba y este tipo de la tumba fue especialmente nombrado como "cal compartimiento" fue grabado de que el material de construcción de "cal compartimiento" fue pegajosa. Hermético y "duro como piedra", la tumba de D xupu y su esposa en dinastía Ming fue encontrado. esta tumba construida con arroz pegajoso mortero era tan firme que un bull- dozer nada pudo hacer al respecto contra él y Taladro roba shov- Els, fueron dañados cuando la desenterraban. En la ciudad de la pared y el templo de la construcción, arroz pegajoso también estaba implicado la Torre de guoging templo construido en dinastía SUI y re-construido en Song dinastías y de la piedra de la Torre con Sutra inscripciones en kaiyuan templo construido en la dinastía Tang tanto utilizado arroz pegajoso cal mortero y todavía están firme hoy en día.



FIGURA. 2. 10. Pagoda Liuhe, o pagoda de las Seis Armonías, en Hangzhou, de 60 m de altura, erigida en 1156 y terminada en 1165. Fuente:

https://es.wikipedia.org/wiki/Arquitectura_de_la_dynastia_Song#/media/File:Liuhe_Pagoda.jpg (Consulta: 15/11/2018)

Las antiguas torres, templos y puentes en Quan condado construido en Tang o Song dinastías aun sobrevivieron al terremoto de grado 7.5 de 1604. el Yuquan Iron torre en Dangyang. Hubei fue

construido en el norte de la Song, su piedra base fue stock junto con arroz pegajoso mortero de arroz pegajoso componente también se encuentran en las Torres de Shaolin templo construido en Song y Ming dinastías Fa Hua Torre en Jiading Distrito de Shanghai fue construido en dinastía Yuan y arroz pegajoso mortero se encuentran entre los ladrillos de la Torre de base. hubo 300 Y piedra vieja Torre construido en Qing dinastía en Baohe ciudad, Rongchang condado, Chongqing. aunque se inclinó 45, este a 10 metro de la Torre construido con arroz pegajoso cal mor- alquitrán todavía se encuentra alto y en posición vertical. La dureza del arroz pegajoso se demostró mejor que el cemento En los años 20 y 80, el arqueólogo encontró la pared y la base de la ciudad construidas en la dinastía Tang. La muralla y la base de la ciudad fueron construidas con ladrillos y mortero de arroz pegajoso. La muralla de la antigua ciudad de Haizhou en Dalian fue construida en la dinastía Song y los materiales de construcción compuestos también de arroz pegajoso. Varios edificios antiguos de la dinastía Ming, por ejemplo, la muralla de la ciudad de la dinastía Ming en Nanning, la puerta de la ciudad de Guide ancient city en Shangqiu Henan y la muralla de la ciudad de Jingzhou estaban construidas con mortero de arroz pegajoso, Owe con su propiedad a prueba de agua, el mortero de arroz pegajoso también se usó en recursos hídricos. instalaciones. El banco de Shaogong y la muralla de la tumba real de la dinastía Ming, la ribera del río Qiantang "y el banco del puente Lugou fueron construidos con mortero de arroz pegajoso y todavía estaban en buen estado. El arroz pegajoso también se empleó para construir piedra puente Este tipo de puentes incluyen el puente Shanben de Ming

dinastía de orzuelo en la provincia de Jiangsu. Puente sur de Yuan ue- Dinastía en Wuhan Puente de dragón de Shanany de la dinastía Yuan en la provincia de Shanxi y puente de Salvaguardia en la provincia de Yunnan Hasta los tiempos modernos, el arroz pegajoso era, todavía en uso, por ejemplo. Las arcillas de Kaiping en la provincia de Guangdong y el suelo encierran edificios históricos en su sudoeste de la provincia de Fujian. El mortero de cal pegajosa de arroz fue un maravilloso material gelatinoso a base de cal en la antigua China, incluso en la historia de la construcción mundial. Se puede considerar como uno de los grandes inventos de la antigua China. Sin embargo, este excelente material fue ignorado por la mayoría de nosotros. La importancia de esto fue cubierta por otros materiales de construcción y tecnología, tales como ladrillo y baldosas cocidas, vigas de madera y vigas talladas y pintadas, y así sucesivamente durante mucho tiempo en el pasado. Obviamente, sin morteros como el mortero de cal pegajosa de arroz, es muy difícil que los bellos edificios antiguos sobrevivan. Dependiendo completamente de su material de unión química moderna, como el cemento en lugar de la vinculación tradicional como el arroz pegajoso, el mortero de cal será dañino para la protección y reparación de antiguos edificios 3 El estudio científico del mortero de arroz pegajoso El mortero de arroz pegajoso inventado hace al menos 1500 años (fechado en la dinastía Sur-Norte) fue ampliamente utilizado en la antigüedad por sus excelentes propiedades, que incluyen buena resistencia adhesiva, dureza e impermeabilidad. Solo por sus buenas propiedades, el mortero pegajoso de cal atrajo la atención de los anticuarios gradualmente y fue estudiado por investigadores de la Universidad de Chongqing y la ciudad de Zhejiang. Song de la Universidad. Junliangl realizó una muestra de almidón de yodo para las muestras de mortero de varias torres de Song y Nassy. los resultados mostraron que había un componente de arroz pegajoso en ellos FTIR, TGA-DSC y el experimento de iobqrudina-almidón se emplearon en el estudio de muestras de murallas antiguas de la dinastía Ming de las muestras de Xi'an y Nanjing de la dinastía Qing desde un arco conmemorativo de Shaoxing. Zhejiang fueron analizados también. Los resultados también indicaron que había componente de arroz pegajoso en todos los resultados. [8]



FIGURA. 2. 11. Torre Campana en el centro de la ciudad antigua. Fuente: <https://guias-viajar.com/china/xian/torre-campana-centro-ciudad-antigua/> (Consulta: 15/11/2018)

el pico térmico a alrededor de 350°C se puede asignar a la reacción de combustión del material orgánico. Estos resultados confirman perfectamente los resultados de FTIR. La reacción del desarrollo del color del almidón con yodo es sensible y selectiva. La reacción del yodo con la amilosa produce un complejo azul, mientras que la reacción del yodo con la amilopectina produce una violeta. Los resultados de la reacción de yodo y almidón (Figura 3) muestran que el componente orgánico en la muestra de mortero debe ser una amiloespecificación. Debido a que el componente principal del arroz pegajoso es la amilopectina, la conclusión de que hay arroz pegajoso en las muestras de mortero es persuasiva. Los mismos experimentos se realizaron con las muestras de mortero del arco conmemorativo de la dinastía Oing y los resultados indicaron que también había componente de arroz pegajoso en el mortero. [8]

2.4.5. HISTORIA DEL CEMENTO PREHISPANICO

Por su parte, también en las culturas precolombinas se hizo presente el empleo de los materiales cementantes. En algunas ciudades y grandes estructuras como las construidas por los mayas, aztecas e incas, se utilizaron estas mezclas de aglomerantes primitivos fundamentalmente a base de cal y materiales puzolánicos. [1]

Al asombro de la extraordinaria visión urbanística mesoamericana hay que agregar la habilidad en el empleo de los recursos naturales y la elaboración de materiales constructivos, incluido el cemento. [9, 10]



FIGURA. 2. 12. Teotihuacán, MÉXICO.

Fuente: https://www.google.com.mx/search?q=piramides+mexicas&rlz=1C1NDCM_esMX786MX786&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ved=2ahUKewiL9MqV-JPdAhUEj1QKHelfDUEQsAR6BAgAEAE&biw=1636&bih=834&dpr=1.13#imgsrc=Hf9VH38z_vXIJM: (consulta 28/08/2018)

Trabajos recientes de investigadores mexicanos dan cuenta que los constructores mayas y aztecas, al carecer de bancos de piedra cercanos, desarrollaron la construcción de gran parte de sus estructuras con ladrillos (comúnmente denominados tabiques) unidos con morteros de cal adicionados con materiales puzolánicos y otros minerales de considerable resistencia y dureza. [1]

2.4.5.1. CEMENTOS MAYAS.

El origen de la aplicación en la cultura maya aún no está claro, pero se reconoce la gran influencia de los olmecas que se desarrollaron en las costas del Golfo de México desde el año 2500 A. C.; de hecho, existen datos que sugieren que el uso de la cal para obtener materiales cementantes lo heredaron los mayas de la cultura olmeca. Los mayas, en aproximadamente 3 mil años, desarrollaron una de las civilizaciones prehispánicas más sorprendentes. En su etapa de más

esplendor, el país maya llegó a abarcar 400 mil km², territorio actualmente ocupado por cinco naciones: México, Guatemala, Belice, Honduras y El Salvador;



FIGURA. 2. 13. Copán - la principal atracción turística de Honduras.

Fuente: <https://www.eturbonews.com/26314/copan-honduras-major-tourist-attraction> (consulta, 28/0/2018)

no se trataba de una nación en el sentido moderno, sino de una serie de ciudades-estado unidas por fuertes lazos culturales y comerciales, pero que en ocasiones tenían intensas disputas armadas. Los adelantos mayas en astronomía, matemáticas, cerámica, orfebrería, escritura, arquitectura e ingeniería han motivado la creación de departamentos o centros de investigación sobre estudios mayas en muchas partes del mundo. Sin embargo, resultan escasos los estudios técnicos sobre los materiales y técnicas constructivas; por ejemplo, se desconocen las propiedades químicas y mecánicas de los materiales utilizados. Después de alcanzar su máximo esplendor a fines del primer milenio, sobrevino lo que algunos autores señalan como un brusco colapso de esta cultura: cesa la influencia de la ciencia y la técnica. Aunque seguirían algunos resurgimientos con influencia tolteca, la decadencia fue manifiesta. [10]

La compleja majestuosidad constructiva desarrollada por las culturas americanas sólo se pudo lograr con la utilización, entre otros, de un material muy semejante al actual concreto respecto de la durabilidad y la resistencia, y que evolucionó de acuerdo con la época y el lugar. Hacia los años 500 y 110 de nuestra era, el pueblo totonaco consolidó el esplendor de su cultura en la ciudad capital del imperio de El Tajín -dios del trueno-, localizado en la región del Totonacapan, al norte del estado de Veracruz, inmersa en el clima tropical húmedo, circunstancia que propició el desarrollo de la tecnología de la construcción. Un acierto indudable fue, en principio, la producción

de mortero puzolánico y, después, de un concreto ligero que les permitió realizar techos de grandes claros.



FIGURA. 2. 14. TAJÍN, MÉXICO.

Fuente: <https://www.getyourguide.es/veracruz-l683/el-tajin-y-papantla-tour-desde-veracruz-t8211/> (consulta 28/08/2018).

En El Tajín se produjo un concreto de peso normal utilizando cal de piedra como agregado y cal puzolánica como cementante. El material resultante se colocó en el piso del edificio de administración y debido a su peso no se aplicó en las losas. Sin embargo, para resolver el problema, los ingenieros totonacos emplearon un agregado ligero de piedra pómez de un tamaño máximo de 10 cm, que les permitió obtener un concreto de 1050 a 1100 kg/m³, lo suficientemente ligero como para la construcción de pisos superiores y techos planos. En opinión de algunos estudiosos, la utilización de la cal y su acción puzolánica -endurecimiento como reacción química causada por el agua- fue descubierta gracias a la observación de que después de hacer la masa de maíz el agua sobrante o nejayote, que se tiraba, se endurecía. Esto se debía a que se encontraba impregnada de hidróxido de calcio y cutículas de grano de maíz. [9]

2.4.6. Resto De Cronología De La Historia Del Cemento.

Durante los siglos IX al XI Se pierde el arte de calcinar para obtener cal. Los morteros utilizados son de mala calidad. Siglos XII al XIV Revive el arte de preparar mortero con las técnicas utilizadas por los romanos.

A mediados del siglo XVIII, el reverendo inglés James Parker creó un cemento de manera accidental, al quemar unas piedras calizas. Este descubrimiento fue bautizado como cemento romano porque entonces se pensaba que era el que se había utilizado en los tiempos de esta civilización, empezándose a utilizar en diversas obras en el Reino Unido. [1]

Solamente hacia el siglo XVIII, en el cual se revivió el auge por la investigación, un ingeniero de Leeds fue comisionado para que construyera por tercera vez un faro en el acantilado de Eddystone en la costa Cornwall, situado a unos 8 km de Plymouth en Inglaterra. Los dos primeros habían sido construidos en madera, siendo destruidos la primera vez por un incendio y la segunda por un vendaval. El encargado, John Smeaton, decidió adelantar una serie de estudios tendientes a encontrar la mejor solución para que el faro pudiera soportar el azote casi continuo del agua y, de estos estudios dedujo que la única manera de garantizar la resistencia de la construcción debía ser empleando piedra unida con un mortero producido con cal calcinada para formar una construcción monolítica la cual debía soportar en la parte inferior, la acción constante de las olas y de los vientos con alto contenido de agua de mar. [7]



FIGURA. 2. 15. Vuurtoren Van Eddystone (Eddystone Lighthouse).

Fuente: https://nl.wikipedia.org/wiki/Eddystone_Lighthouse (consulta 21/08/2018)

En 1756 John Smeaton, un ingeniero inglés, encuentra las proporciones para el cemento. Aparecen los primeros concretos. En 1796 James Parker saca una patente para un cemento hidráulico natural (Cemento de Parker o Cemento Romano). Joseph Aspdin y James Parker patentaron el 21 de octubre de 1824 el primer Cemento Portland, obtenido a partir de caliza arcillosa y carbón; calcinados a alta temperatura. La denominación Portland responde a su color grisáceo, muy similar a la piedra de la isla de Portland del canal inglés. Más adelante, Isaac Johnson mejoró este proceso de producción aumentando la temperatura de calcinación, obteniendo en 1845 el prototipo del cemento moderno elaborado con base en una mezcla de caliza y arcilla calcinada a altas temperaturas, hasta la formación del clinker. Esta es la razón por la que hoy se conoce a Johnson como el padre moderno del cemento Portland. [1]

En el Siglo XIX L. J. Vicat prepara una cal hidráulica al calcinar una mezcla de creta y arcilla molida en forma de lodo (nace el método húmedo). De 1800 a 1850 Este periodo fue caracterizado por la aplicación de tres materiales: el acero, el cristal y el concreto; que permitirían la industrialización de la producción, la prefabricación, el rápido montaje y la pronta recuperación de capital; todo esto en busca de una prosperidad económica a través del libre mercado y en donde la competencia era la fuerza motriz del progreso. En 1820 Se asoció un entramado de barras de hierro con concreto en ambas caras, se aplicó en una iglesia de Courbevoie, Francia. Para 1824 Joseph Aspdin obtiene la primera patente británica para crear Cemento Portland por medio de un proceso de pasta (método húmedo).



FIGURA. 2. 16. Templo de San Agustín, París.

Fuente: <https://www.pinterest.com.mx/pin/181551428702897075/?lp=true> (consulta 21/08/2018)

En 1845 Isaac Johnson obtiene un prototipo del cemento moderno, al quemar una mezcla de arcilla y caliza hasta la formación de Clinker, con la cual produjo la reacción necesaria para la creación de un compuesto fuertemente cementoso. Es en París, en el año de 1885, donde se empieza a enfatizar sobre el uso del concreto. Durante la construcción del Palacio Industrial, fundado en los

Campos Elíseos, se realizaron las primeras investigaciones y los primeros productos de la técnica del concreto armado, planteando la integración de las artes y las técnicas.



FIGURA. 2. 17. Paris Grand Palais.

Fuente: <http://www.lecourrieraustralien.com/paris-grand-palais-to-get-half-billion-euro-facelift/?lang=en> (consulta 21/08/2018)

Para 1868 El jardinero Monier construyó un tanque de agua de 200 m³, y su proceso fue aplicado en la construcción de bóvedas armadas, y después, en vigas rectas. En 1873 Se construye el primer puente haciendo uso de concreto.

En 1900 empieza el crecimiento notable de la industria del cemento, al lograrse la creación de cemento de calidad uniforme de modo que pudo ser utilizado en la industria de la construcción; gracias a la invención de los hornos rotatorios para la calcinación y del molino tubular para la molienda, produciendo gran cantidad de cemento Portland, lo que indujo al crecimiento de la industria de la construcción.



FIGURA. 2. 18. Michel Pacewicz diseña la casa para el empresario Paulino Yáñez en la Alameda, París Francia.

Fuente: <http://vigoantesyhoy.blogspot.com/2017/01/vigo-antes-y-despues-1900.html> (consulta 21/08/2018).

En el mismo siglo, pero en 1904 Se creó la Institución Británica de Estándares, se publica la primera especificación del Cemento Portland por la American Society for Testing Materials (A.S T.M.) y comienzan las investigaciones sobre las propiedades del cemento en una base científica y sistemática. [1]

2.5. Cemento portland.

Desde la difusión del cemento llamado Portland, los morteros de cal han sido desplazados progresivamente por los morteros de cemento como único conglomerante. Con ello se han aumentado las prestaciones mecánicas (resistencia a la compresión, a la tracción, cohesión, etc.) pero también la rigidez de los elementos donde intervienen. [11]



FIGURA. 2. 19. Mezcla para obtener el cemento portland.

Fuente: <https://docplayer.es/43510370-Cemento-fabricacion-tipos-y-propiedades.html> (consulta 01/09/2018)

El cemento portland es el conglomerante hidráulico más importante en la actualidad, tanto por su elevado consumo como por servir de base a la mayoría de los conglomerantes hidráulicos utilizados. Por eso lo se va a presentar un breve resumen sobre los procesos de formación e hidratación del cemento portland. [4] El cemento portland se produce por la pulverización del clinker. [12]

La palabra "hormigón" tiene su origen en el parecido a un bizcocho preparado con almendras, harina, leche y huevos. Las almendras estaban enteras y recordaban a los áridos gruesos incluidos en el mortero. Este bizcocho tenía el nombre de "formigò" del cual ha derivado el vocablo hormigón. Del vocablo francés "béton" y el alemán "beton" derivan del latín "bitumen/bituminis" que significa "lodo que se iba espesando". El vocablo inglés "concrete" también deriva del latín teniendo el significado de denso, compacto. El vocablo "clinker" da nombre al producto intermedio en la fabricación del cemento, principal componente de este último. Se trata del producto obtenido por calcinación a 1500°C de una mezcla de caliza y arcilla. Este producto producía al deslizarse por los hornos rotatorios un ruido "clink, clink, ..." del que toma el nombre onomatopéyico de "clinker". La palabra "mortero" viene del vocablo romano "mortarium" que significa sartén para mortero, dónde se preparaba por percusión el antiguo mortero romano.

El clinker de un cemento portland se obtiene por cocción, hasta función parcial, de una mezcla homogénea, fijada con precisión, de materias primas (crudo-calizas+arcillas), firmadas por CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 y pequeñas cantidades de otros óxidos. [7]

El clinker de cemento portland está compuesto, en general, por un 67% de óxido de calcio (CaO), un 22% de óxido de silicio (SiO_2), un 5% de óxido de aluminio (Al_2O_3) y un 3% de óxido férrico (Fe_2O_3) aproximadamente; el 3% restante lo componen otros óxidos. Los óxidos mayoritarios del clinker se encuentran bajo la forma de cuatro fases mineralógicas principales:

Alita: C_3S o silicato tricálcico ($3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$) de 50 a 70%. Belita: C_2S silicato bicálcico ($2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$): de 15 a 30%. Fase aluminato: aluminato tricálcico C_3A ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$): de 5 a 10% Ferrito aluminato tetracálcico C_4AF ($\text{Ca}_4\text{Al}_2\text{Fe}_2\text{O}_{10}$): de 3 al 10%. El proceso de clinkerización se divide en varias etapas dependiendo de la temperatura. [3]

TABLA 2.1. Fuente de las materias primas usadas en la fabricación del cemento portland.

<u>Cal, CaO</u>	<u>Hierro Fe_2O_3</u>	<u>Silice SiO_2</u>	<u>Alúmina Al_2O_3</u>	<u>Yeso o Sulfato, $\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$</u>
Desechos industriales	Polvo de humo de horno	Silicato de calcio	Mineral de aluminio*	Anhidrita
Aragonita*	de fundición	Roca calcárea	Bauxita	Sulfato de calcio
Calcita*	Arcilla*	Arcilla*	Roca calcárea	Yeso*
Polvo del horno	Mineral de hierro*	Ceniza volante	Arcilla*	
de cemento	Costras de laminado*	Greda	Esconja de cobre	
Roca calcárea	Lavaduras de mineral	Caliza	Ceniza volante*	
Creta	Cenizas de piritita	Loes	Greda	
Arcilla	Esquistos	Marga*	Granodiorita	
Greda		Lavaduras de mineral	Caliza	
Caliza*		Cuarzo	Loes	
Mármol		Ceniza de	Lavaduras de mineral	
Marga*		de arroz	Esquistos*	
Coquilla		Arena*	Esconja	
Esquistos*		Arenisca	Estaurolita	
Esconja		Esquistos*		
		Basalto		

FIGURA. 2. 20. Fuente de las materias primas usadas en la fabricación del cemento portland. Fuente: Cemento portland, cementos adicionados y otros cementos hidráulicos, (TABLA 2.1. fuente de las materias primas usadas y la fabricación del cemento portland.)

2.5.1. Tipos de cementos portland.

Existen diferentes tipos de cementos portland para satisfacer varios requisitos físicos y químicos de acuerdo a lo que se quiera satisfacer. [12]

En Estados Unidos de América se producen de acuerdo a la norma técnica ASTM C 150, AASHTO M 85 o ASTM C 1157. [12]

2.5.1.1. Cementos comunes.

constituidos fundamentalmente en base a clinker de cemento portland, junto con una pequeña cantidad de yeso (retardador de fraguado). Una vez alcanzada la finura adecuada, se almacena en silos antes de su comercialización. [11]



FIGURA. 2. 21. Los tipos de cementos portland.

Fuente: <https://www.arqhys.com/arquitectura/tipos-cemento-portland.html> (consulta 4/09/2018)

2.5.1.2. Cementos blancos.

El cemento blanco se puede considerar como un cemento especial, sólo que se fabrica bajo demanda del mercado, generalmente las plantas de cemento capacitadas lo producen periódicamente para satisfacer la demanda de los fabricantes de pegazulejo y de otras industrias, se le puede encontrar comercialmente en bajas cantidades y se le emplea normalmente para propósitos decorativos. Este tipo de cemento se produce básicamente con los mismos ingredientes que el cemento normal, salvo que los materiales arcillosos que se emplean deben ser muy bajos en óxidos de hierro y de manganeso, ya que estos óxidos dan tonalidades grises en los cementos. En la producción del cemento blanco se tiene mucho cuidado en no causar contaminación de los ingredientes con los óxidos mencionados, de tal manera que tanto en la molienda como en la quema se evita el contacto con el fierro, por ejemplo, la molienda no se hace con bolas de acero no se quema carbón para calcinar la harina cruda, en su lugar se usan bolas de metales no ferrosos y gas. son cementos comunes con determinada composición e índice de blancura.



FIGURA. 2. 22. Construcción aplicando cemento blanco, otorga a cualquier proyecto un carácter exclusivo y diferenciador, una gran obra de hormigón vistosa, o en acabados superficiales y pequeños detalles.

Fuente: <http://www.cerroblanco.com.ar/portfolio-item/hormigon-blanco/> (consulta 06/09/2018)

2.5.1.3. Cementos para usos especiales.

Los cementos especiales (de alta resistencia inicial, resistentes a los sulfatos, de bajo calor de hidratación, cementos blancos) suelen ser cementos Portland especiales, solo que en estos se limitan o fortalecen alguno de los cuatro componentes básicos del clinker. En el caso del cemento siderúrgico, se refiere a que se obtiene por molturación conjunta de clinker de Portland con un regulador de fraguado, (yeso natural en proporciones oscilantes entre 5 y 7%); en proporción de entre 15 y 65%, con ceniza de carbón proveniente de las centrales termoeléctricas, o con escoria de fundiciones, en proporción oscilante entre 35 y 85%. Los cementos siderúrgicos forman parte de la familia de los llamados cementos fríos. En estos casos, la escoria se obtiene enfriando bruscamente en agua la espuma fundida, procedente de procesos siderúrgicos. En este enfriamiento la escoria se vitrifica y se vuelve activa hidráulicamente por su contenido en cal combinada, fraguando por sí misma y endureciendo lentamente; por lo que, para acelerar el endurecimiento, se añade el clinker de Portland. [1]

En estos cementos, el clinker de cemento portland ocupa un lugar secundario frente a las adiciones de escorias, puzolanas o cenizas volantes.



FIGURA. 2. 23. Los cementos hidráulicos de endurecimiento rápido (CER) ofrecen varias ventajas, entre las que destacan, la durabilidad, la versatilidad, la ganancia de resistencia y la facilidad de uso; también ofrecen beneficios en lo que respecta a los costos.

Fuente: <http://www.revistacyt.com.mx/index.php/contenido/posibilidades-del-concreto/579-cementos-especiales-cemento-de-endurecimiento-rapido-para-su-uso-de-la-construccion-parte-ii> (consulta 04/09/2018)

2.5.2. Clasificación del cemento portland.

La mencionada Instrucción establece las especificaciones que han de cumplir los distintos tipos de cemento.

Tipo I normal (según la norma ASTM)

Tipo IA Normal con aire incluido

Tipo II Moderada resistencia a los sulfatos

Tipo IIA Moderada resistencia a los sulfatos con aire incluido

Tipo III Alta resistencia inicial (alta resistencia temprana)

Tipo IIIA Alta resistencia inicial con aire incluido

Tipo IV Bajo calor de hidratación

Tipo V Alta a los sulfatos

CLASIFICACIÓN Según su composición de acuerdo a la N-CMT-2-02-001/02 (mexicana).

Según los materiales que los componen, los cementos Portland se clasifican como:

Tipo CPO (cemento Portland ordinario) El producido mediante la molienda del clinker Portland y sulfato de calcio. Cuando el proyecto no establezca el tipo de cemento Portland por usar en cada caso, se entenderá que se trata de cemento Tipo CPO. [13]

Tipo CPP (cemento Portland puzolánico) El que resulta de la molienda conjunta del clinker Portland, puzolanas y su feto de calcio. Tipo CPEG (cemento Portland con escoria granulada de alto horno). [13]

El producido mediante la molienda conjunta del clinker Portland, escoria granulada de alto horno y su feto de calcio. [13]

Tipo CPC (cemento Portland compuesto) El que se obtiene de la molienda conjunta del clinker Portland, puzolanas, escoria de alto horno, caliza y sulfato de calcio. En este tipo de cemento la caliza puede ser el único componente adicional al clinker Portland con el sulfato de calcio. [13]

Tipo CPS (cemento Portland con humo de sílice) El que resulta de la molienda conjunta del clinker Portland, humo de sílice y sulfato de calcio. [13]

Tipo CEG (cemento con escoria granulada de alto horno) El producido mediante la molienda conjunta del clinker Portland, sulfato de calcio y mayoritariamente escoria granulada de alto horno. [13]

Según Su resistencia a la compresión Según su resistencia mecánica a la compresión, determinada de acuerdo con el procedimiento descrito en el Manual Resistencia a la Compresión del Cemento, los cementos Portland se clasifican en las clases resistentes que se indican en la Tabla 2.2 [13]

Tabla 2.2. Clases resistentes de los cementos Portland.

Clase resistente	Unidades en MPa (kg/cm ²)		
	Resistencia a la compresión		
	A 3 días ^[1]	A 28 días ^[2]	
	mínimo	mínimo	máximo
20	-	20 (204)	40 (408)
30	-	30 (306)	50 (510)
30R	20 (204)	30 (306)	50 (510)
40	-	40 (408)	-
40R	30 (306)	40 (408)	-

[1] Corresponde a la resistencia inicial del cemento

[2] Corresponde a la resistencia normal del cemento

FIGURA. 2. 24. Clases resistentes de los cementos Portland.

Referencia Fuente: [13] N-CMT-2-02-001/02, SCT.

Para identificar un cemento Portland, la clase resistente se anotará inmediatamente después de la designación del tipo de cemento que se indica en el Inciso B.2.1. de esta Norma, por ejemplo:

CPO 30, cuando se trate de un cemento Portland ordinario con una resistencia normal mínima de treinta (30) megapascuales (306 kg/cm²). [13]

CPEG 40R, si se requiere un cemento Portland con escoria granulada de alto horno, que tenga una resistencia normal mínima de cuarenta (40) megapascuales (408 kg/cm²) y deba cumplir con una resistencia inicial mínima de treinta (30) megapascuales (306 kg/cm²). [13]

Según sus características especiales

Los cementos Portland pueden presentar una 0 más de las características especiales que se indican en la Tabla 2 de esta Norma. [13]

TABLA 2.3.- Características especiales de los cementos Portland.

Característica especial	Nomenclatura
Resistente a los sulfatos	RS
Baja reactividad álcali-agregado	BRA
Bajo calor de hidratación	BCH
Blanco	B.

FIGURA. 2. 25. Características especiales de los cementos Portland.

Referencia [13] fuente: N-CMT-2-02-001/02, SCT.

Para identificar un cemento portland con características especiales, a nomenclatura de ésta será anotada inmediatamente después de la designación del tipo de cemento según su composición y de la clase resistente que se señala según su resistencia a la compresión de tener dos 0 más características especiales, sus nomenclaturas se anotan siguiendo el orden descendente de la tabla 2.3, presentada como la Tabla 2 de la Norma N-CMT-2-02-001/02, separándolas con una diagonal, por ejemplo:

CPO 30 RS, cuando se trate de un cemento Portland ordinario con una resistencia normal mínima de treinta (30) megapascuales (306 kg/cm) y que sea resistente a los sulfatos. [13]

CPEG 40R BRA/BCH, si se requiere un cemento Portland con escoria granulada de alto horno, que tenga una resistencia normal mínima de cuarenta (40) megapascuales (408 kg/cm²), una resistencia inicial mínima de treinta (30) megapascuales (306 kg/cm), baja reactividad álcali agregado y bajo calor de hidratación. [13]

El cemento Portland actual se obtiene al calcinar mezclas de calizas y arcillas; preparadas artificialmente a una temperatura de aproximadamente 1.500 °C. El producto resultante que es el denominado clinker, se muele añadiendo una cantidad adecuada de regulador de fraguado; que suele ser piedra de yeso natural. [1]

Se presenta en la literatura especializada que la composición química media aproximada de un cemento Portland está formada por un porcentaje oscilante entre 61 y 67% de óxido de calcio (CaO), entre 19 y 23 % de óxido de silíceo (SiO₂), entre 2.5 y 6 % de óxido de aluminio (Al₂O₃), entre 0 y 6% de óxido de hierro (Fe₂O₃), y entre 1.5 y 4.5% de otros compuestos químicos minoritarios. Los cuatro primeros componentes (el primero básico y los otros tres ácidos) son los principales; sin embargo, no se encuentran libres, sino combinados formando los silicatos, aluminatos y ferrito aluminatos definidos anteriormente. [1]

2.5.2.1. Cementos ecológicos.

Las Conferencias Internacionales (Kioto, Copenhague, Lima, etc.) o las normativas medioambientales, obligan al sector cementero y a la comunidad científica a buscar soluciones para alcanzar el objetivo del desarrollo sostenible, ya sea a través de la eficiencia en los procesos o con el desarrollo de nuevos materiales conglomerantes más eco-eficientes. [14]

Los cementos ecológicos, se asocia con Ecología y Cemento, es un nuevo tipo de cemento producido a partir de ceniza de incineración municipal, lodo de alcantarillado y piedra caliza y arcilla adicionales. Hay dos tipos de tipo cementos ecológicos, tipo ordinario (Ordinary type) y de endurecimiento rápido (Rapid hardening). [15]

El proyecto de investigación sobre Eco cemento comenzó en 1994, la tecnología de fabricación Eco cemento se estableció en 1997. La primera y la segunda plantas de cemento ecológico comenzaron a funcionar en 2001 y 2004, respectivamente. [15]

En México no se tienen datos precisos de sus primeros usos, pero se sabe que debido a los problemas que atraviesan las grandes ciudades del país con la sequía de los mantos acuíferos, su uso se ha ido promoviendo cada vez más. [16]

Tipo ordinario.

El cemento ecológico Ordinario, que tiene prácticamente el mismo rendimiento que el cemento Portland ordinario, se puede aplicar a estructuras de hormigón armado o a una variedad de otros usos, incluido como estabilizador de suelos o agente solidificante para lodos de aguas residuales.

Tipo endurecimiento rápido.

El de tipo de endurecimiento rápido, se puede utilizar en el mercado de hormigón sin refuerzo, aprovechando su propiedad de endurecimiento rápido, que se refuerza más rápido que el cemento Portland de alta resistencia inicial. La ceniza de incineración municipal contiene minerales que son esenciales para la producción de cemento Portland. (Consulte la Tabla 2.4) Sin embargo, su alto contenido de cloro lo convierte en un obstáculo para usarlo como materia prima en el cemento Portland. Hemos encontrado una forma efectiva de eliminar el cloro junto con los metales pesados que lo acompañan, desarrollando así el tipo común, cuya composición química es similar a la del cemento Portland ordinario. El Cemento de endurecimiento rápido, por otro lado, convierte el cloro en un componente útil de un mineral especial de clinker de cemento ($C_{11}A_7CaCl_2$) que tiene una propiedad de endurecimiento muy rápida que se puede comparar con el cemento Jet.

Propiedades del cemento ecológico.

Tabla 2.4, muestra comparativamente las propiedades físicas y las propiedades de fraguado / endurecimiento del cemento ecológico (tipo ordinario y tipo de endurecimiento rápido) y cemento Portland ordinario. El tipo ordinario mostró que el tiempo de fraguado y el desarrollo de la fuerza son similares al cemento Portland ordinario. El tipo de endurecimiento rápido desarrolla la fuerza muy rápido. (Resistencia a la compresión de 3 horas de 12N / mm²).

Tabla 2.4. Comparativa entre los cementos ecológicos y el portland ordinario.

type of cement	density (g/cm ³)	specific surface area (m ² /g)	setting (hr:min)		compressive strength (N/mm ²)			
			initial	final	1d	3d	7d	28d
Ordinary type Ecocement	3.16	4.300	2:20	3:30	10.0	27.0	40.0	55.0
Rapid hardening type Ecocement	3.13	5.300	0:09	0:13	25.0	38.0	52.5	58.0
High early strength Portland Cement	3.13	4.340	2:03	2:50	27.0	43.0	57.0	65.0
Ordinary Portland Cement	3.15	3.220	2:22	3:20	14.5	27.5	43.0	59.0

FIGURA. 2. 26. Comparativa entre los cementos ecológicos y el portland ordinario.

Referencia

[15]. <http://www.jsce.or.jp/committee/concrete/e/newsletter/newsletter08/Ecocement.pdf>

Dentro de éstos cementos ecológicos también se encuentran otros con características muy diferenciadas de los CPO, y entre esos están los denominados cementos alcalinos (Alkali Activated Materials, AAMs), que se definen como los conglomerantes resultantes de la interacción química de disoluciones fuertemente alcalinas y aluminosilicatos de distintas composición (altos y bajos contenidos en CaO) y origen (fundamentalmente residuos y subproductos industriales como las escorias de horno alto, cenizas volantes, residuos cerámicos...).

[14]

2.5.2.2. Concretos permeable.

Es una aplicación propiamente a la construcción se considera como un concreto permeable debido a que su aplicación está destinada para permitir el paso de agua y recargar de esta manera los mantos acuíferos subterráneos.



FIGURA. 2. 27. cementos ecológicos y sus tipos de agregados hechos con materiales reciclables.

Fuente: https://cordis.europa.eu/result/rcn/173491_es.html (consulta 07/09/2018)

El término "concreto permeable" típicamente describe un material compuesto de cemento portland, agregado grueso, poco o nada de agregado fino, aditivos y agua. La combinación de estos ingredientes produce un material endurecido con poros conectados, que varían en tamaño de 2 a 8 mm, que permiten el paso del agua con facilidad. [16] El concreto permeable se compone principalmente de cemento portland normal, de un tamaño de agregado grueso uniforme y de agua. Esta combinación forma una aglomeración de agregados gruesos rodeada por una fina capa de pasta de cemento endurecido en sus puntos de contacto. [16]

2.5.2.3. Cementos híbridos.

Estos cementos son materiales conglomerantes que surgen de la simbiosis de los conocimientos del cemento Portland + cementos alcalinos. Esto permite elaborar cementos con bajos contenidos en clinker (30-20%) y elevados contenidos de adiciones minerales, sin que ello repercuta en el desarrollo mecánico-resistente a edades iniciales y en el tiempo de fraguado, gracias al empleo de un activador alcalino.

Los cementos híbridos alcalinos son mezclas cementicias complejas con contenidos iniciales de CaO , SiO_2 y Al_2O_3 de 20%. Sus productos de reacción son mezclas complejas de diferentes geles (el tipo de producto formado depende en gran parte de las condiciones de reacción). Los productos de reacción formados durante la activación alcalina de cemento y las mezclas de ceniza son un área de perspicacia científica y de interés tecnológico, y la compatibilidad entre los principales geles cementicios, N-A-S-H y C-S-H induce el interés de estudio en los dos sistemas. [3]

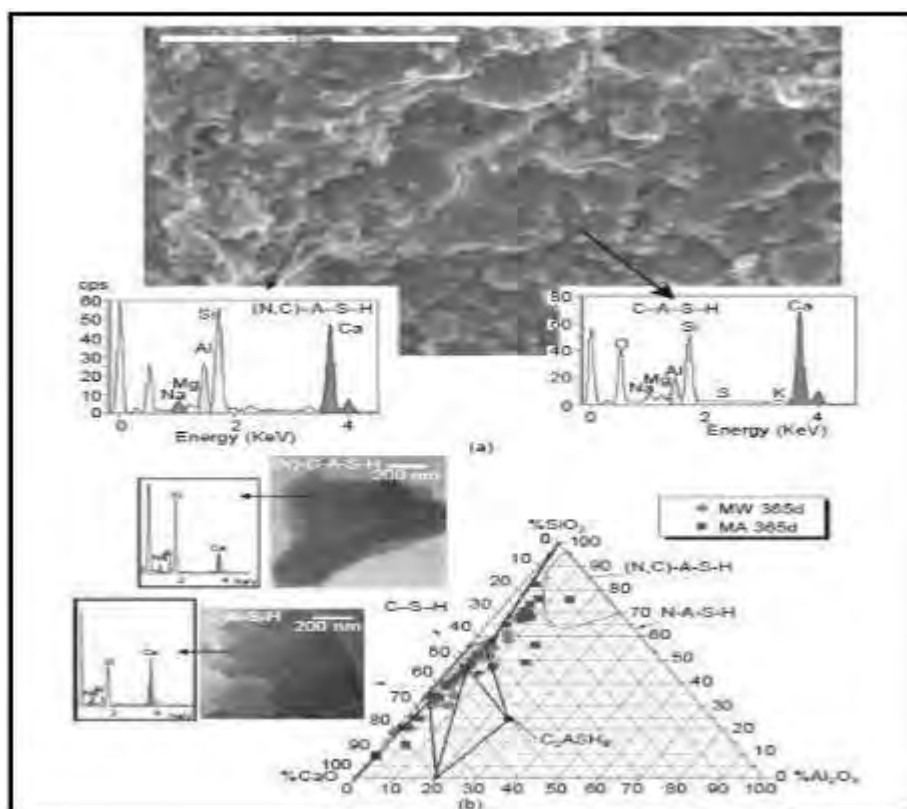


FIGURA. 2. 28. Micrografía SEM/EDX de mezcla de 70% ceniza volante + 30% de cemento Portland a un año de activación con NaOH + "Waterglass" en cámara; b) Análisis de EDX (con micrografías de TEM) proyectado sobre el diagrama ternario $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO}$ para los geles detectados en el sistema 70% ceniza volante + 30% de hidratados con solución alcalina y agua después de un año más de los análisis EDX que se localizaron dentro del gel tipo C-A-S-H.

Fuente: <https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt444.pdf> [3] (consulta 09/09/2018)

2.6. Pozolanas.

2.6.1. Propiedades Físicas Y Químicas

Son, materiales reactivos frente a la cal en las condiciones normales de utilización ordinaria de conglomerantes (morteros y hormigones). No se consideran como pozolanas aquellos otros materiales inertes que, en determinadas condiciones extraordinarias de estado físico de división (elevada finura, gran superficie específica) o de reacción (tratamientos hidrotérmicos con vapor de agua a presiones y temperaturas elevadas), pueden dar lugar a compuestos hidráulicos. Así sucede, por ejemplo, con el cuarzo, que finamente molido y mezclado con cal forma silicatos cálcicos hidratados por tratamiento en autoclave. [2]

La actividad pozolánica se refiere a la cantidad máxima de hidróxido de calcio con la que la pozolana puede combinar y la velocidad con la cual ocurre esta reacción. Pozolana + Cal + Agua Silicatos y Aluminatos de Calcio hidratados. La actividad pozolánica depende: de la naturaleza y proporción de las fases activa presentes en la pozolana (composición mineralógica), de la relación cal – pozolana de la mezcla, de la finura (o superficie específica) de la pozolana y de la temperatura de la reacción. Los productos de reacción pozolana/cal generalmente son del mismo tipo que los

productos de hidratación del Cemento Portland: Silicatos Cálccicos Hidratados (CSH), Aluminatos Cálccicos Hidratados (CAH) y Sílico- Aluminatos Cálccicos Hidratados (CSAH). [2]

2.6.2. Puzolanas Naturales.

Los materiales denominados puzolanas naturales pueden tener dos orígenes distintos, uno puramente mineral y otro orgánico. Las puzolanas naturales de origen mineral son productos de transformación del polvo y “cenizas” volcánicas que, como materiales piroclásticos incoherentes procedentes de erupciones explosivas, ricos en vidrio y en estado especial de reactividad, son aptos para sufrir acciones endógenas (zeolitización y cementación) o exógenas (agilización), de las cuales las primeras son favorables y las segundas desfavorables. Por una continuada acción atmosférica (meteorización) se convirtieron en tobas, esto es en rocas volcánicas, más o menos consolidadas y compactas, cristalinas, líticas o vítreas, según su naturaleza. El origen volcánico de las puzolanas naturales es determinante de su estructura. La estructura de las rocas, que se han originado por el enfriamiento de grandes masas de lava que han fluido completamente, depende de la velocidad en que se ha producido el fenómeno. Las puzolanas naturales de origen orgánico son rocas sedimentarias abundantes en sílice hidratada y formadas en yacimientos o depósitos que en su origen fueron submarinos, por acumulación de esqueletos y caparazones silíceos de animales (infusorios radiolarios) o plantas (algas diatomeas). Todas las propiedades de las puzolanas naturales y en particular aquellas que las hacen especialmente aptas para su aprovechamiento en la industria del cemento, dependen fundamentalmente de su composición y de su textura, las cuales a su vez están íntimamente relacionadas con su origen y formación. Los materiales puzolánicos naturales están constituidos principalmente por rocas eruptivas y en particular efusivas y volcánicas, y dentro de éstas, por extrusivas, salvo las de naturaleza orgánica que son de origen y formación sedimentaria. [2]

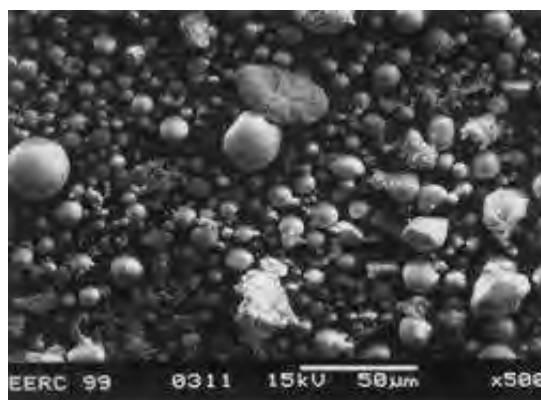


FIGURA. 2. 29. Imagen de una micrografía de lo que son las puzolanas de origen volcánico.

Fuente: <https://www.google.com.mx/search?q=PUZOLANA+NATURAL+DE+ORIGEN+VOLC%C3%81NICO+PUM%C3%8DTICO&rlz=1C1NDCM esMX786MX786&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiw9bqL043dAhWPK3wKHeoZBQQ AUICigB&biw=1636&bih=834&dpr=1.13#imgre=w-JeEaceGn4hkM>: (consulta 25/08/2018)

2.6.3. Puzolanas artificiales.

Se definen éstas como materiales que deben su condición de tales a un tratamiento térmico adecuado. Dentro de esta condición cabe distinguir dos grupos uno, el formado por materiales naturales silicatados de naturaleza arcillosa y esquistosa, que adquieren el carácter puzolánico por sometimiento a procesos térmicos “ex profeso”, y otro el constituido por subproductos de determinadas operaciones industriales, que, en virtud de su naturaleza y de las transformaciones

sufridas en las mismas, adquieren las propiedades puzolánicas. Al primero de estos grupos pueden asimilarse, por su analogía, las puzolanas designadas como mixtas o intermedias, o semiartificiales,

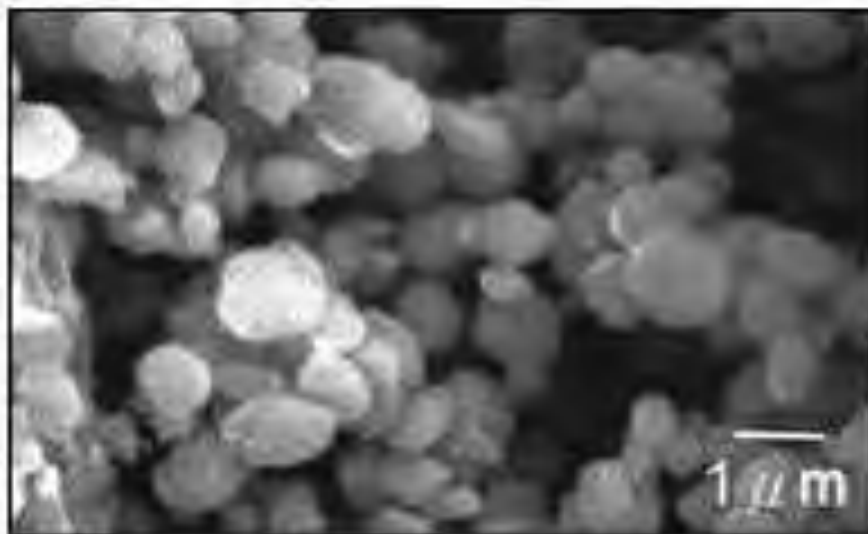


FIGURA. 2. 30. imagen de una micrografía de una probeta de mortero para ensayos de flexión y compresión usando como adición de la ceniza de cáscara de arroz y la ceniza de lodo de depuradora. Los autores encontraron que todas las puzolanas (excepto las de Ceniza Volante), disminuyeron la trabajabilidad de los morteros cuando se reemplazaron en un 10% de cemento.

Fuente: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/ingeinv/rt/prINTERfriendly/15728/34072> (consulta 05/09/2018)

Es decir, aquellas que, naturales por su origen, se mejoran por un posterior tratamiento. Representantes típicos de este grupo son el polvo de ladrillo obtenido de productos de desecho de la cerámica de alfarería y las bauxitas naturales. En el segundo grupo encajan los residuos de las bauxitas utilizadas para la obtención del aluminio, materiales a los que los alemanes designan como “Si-Stoff” (silicalita o amorfitita) y el polvo de chimeneas de altos hornos. También pueden incluirse en este grupo, aunque presentan bastantes concomitancias con las escorias, las cenizas volantes y de parrilla de las centrales termoeléctricas y las cenizas de lignitos. Por extensión, las mismas escorias siderúrgicas podrían acoplarse en el grupo. Como queda indicado, el representante más genuino de los materiales arcillosos elevables a la categoría de puzolana artificial es el polvo de ladrillo. Sometida la arcilla a tratamientos térmicos adecuados, se forman en ella compuestos puzolánicamente activos en virtud de reacciones y transformaciones en las que, junto a una estructura y constitución mineralógica de partida y a la composición química, juegan importantísimo papel como variables la temperatura y el tiempo. [2]



FIGURA. 2. 31 Ladrillos de bloque sólido combustible siendo incinerados para producir ceniza con características puzolánicas.

Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Puzolana#/media/File:Bsc_puzolana.jpg (consulta 05/09/2018)

Análoga importancia tiene la temperatura de tratamiento de los residuos de la combustión de carbones o esquistos bituminosos, en la calidad y comportamiento de las puzolanas artificiales a partir de dichos subproductos. Las temperaturas óptimas parecen estar en el mismo intervalo (700-800 °C) de las correspondientes a la activación de las arcillas, puesto que también en este caso se obtiene con ellas la máxima solubilización de los materiales. Si los esquistos abundan en silicato bicálcico y aluminato monocálcico, son ya conglomerantes “per se”, y si tienen poca cal y su temperatura de calcinación no ha sido muy elevada, constituyen buenas puzolanas artificiales, lo cual puede ser explicable por el contenido de sílice amorfa, que ya a 870 °C pierde su capacidad de reacción por transformarse en cristalina (cuarzo- α - > tridimita). Por esta razón, las temperaturas óptimas de activación de los esquistos se hallan en el intervalo 800 a 850 °C. Si se considera que, entre las puzolanas naturales y artificiales reunidas, los términos extremos en cuanto a composición y estructura pueden ser las tierras diatomeas (sílice hidratada), como producto más hidratado y silícico, y el polvo de ladrillo o arcilla cocida, como producto más anhidro, entre ambos se hallan las puzolanas naturales de origen volcánico. Entre los dos primeros materiales podrán existir diferencias en cuanto al mecanismo de su reacción con la cal, y el correspondiente a las últimas será intermedio.

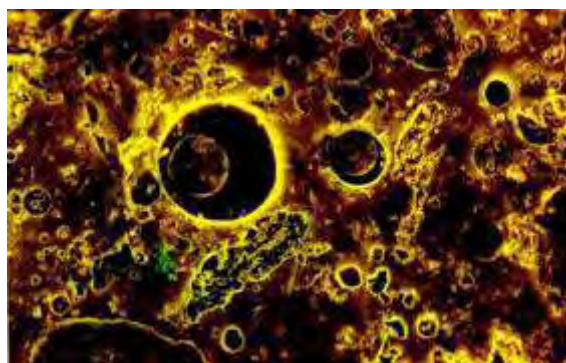


FIGURA. 2. 32. Puzolana natural de origen volcánico pumfítico.

Fuente: <http://www.ecoingenieria.org/docs/Puzolanas.pdf> [2] consulta (05/09/2018)

Los cementos puzolánico se han reconocido, desde hace mucho tiempo como más resistentes a los sulfatos. Y la adición de puzolana a un clinker portland, ya de por sí resistente, ha sido una conclusión lógica a la que se llegó hace bastante tiempo. Sin embargo, no se ha sacado igual o seguramente mayor partido del empleo de clinker con alto contenido de fase vítrea, mezclado con puzolanas, para obtener cementos aún más resistentes a los sulfatos. Internacionalmente se define al cemento portland puzolánico como al producto de una mezcla íntima y uniforme de cemento portland y puzolana de alta finura, obtenida por molienda conjunta de clinker de cemento portland y puzolana o por molienda separada y posterior mezcla de estos mismos materiales. La Norma ASTM C 595 especifica que la puzolana participa entre el 15 y el 40 % en peso del cemento Portland puzolánico.

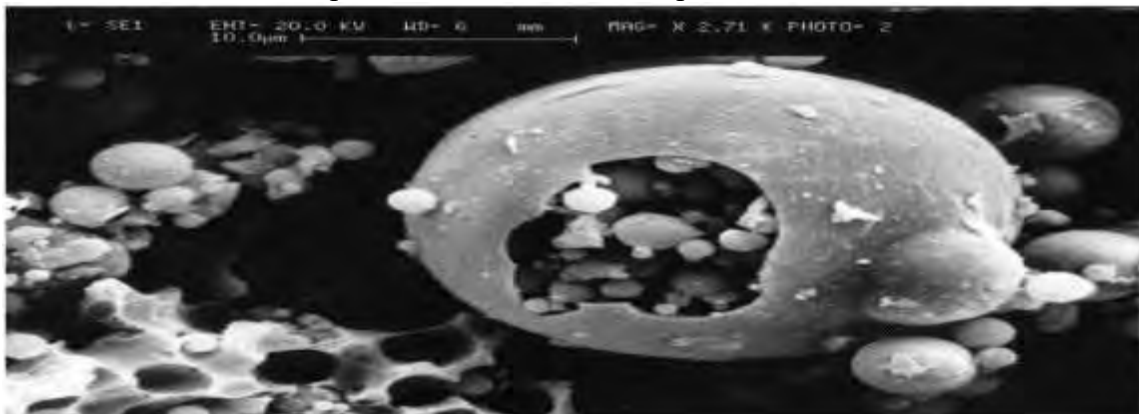


FIGURA. 2. 33. Micrografía de constituyentes del cemento portland, ceniza volante.

Fuente: <https://docplayer.es/43510370-Cemento-fabricacion-tipos-y-propiedades.html> (consulta 05/09/18)

Las Normas Españolas establecen dos categorías de cementos que pueden contener puzolanas; el cemento portland con adiciones activas que pueden llevar hasta un máximo del 20 % de puzolana en peso y los cementos puzolánico, que pueden estar en una en una proporción del 80 % máximo de clinker de cemento Portland más regulador de fraguado y un mínimo del 20 % en peso de puzolana. [2]

2.6.4. Los cementos puzolánicos

Los cementos puzolánicos resultan de una mezcla de clinker de Portland, y el mismo regulador de fraguado referido anteriormente, en proporción oscilante entre 45 y 85%, con puzolana en proporción que varía entre 15 y 55%. La puzolana natural tiene origen volcánico, y contiene sílice y alúmina que, al combinarse químicamente con la cal en presencia de agua, da como resultado el denominado cemento puzolánico (el mismo que en su tiempo obtenían los antiguos romanos). Por su parte, la puzolana artificial tiene propiedades análogas y se encuentra en las cenizas volantes, la tierra de diatomeas o las arcillas activas.

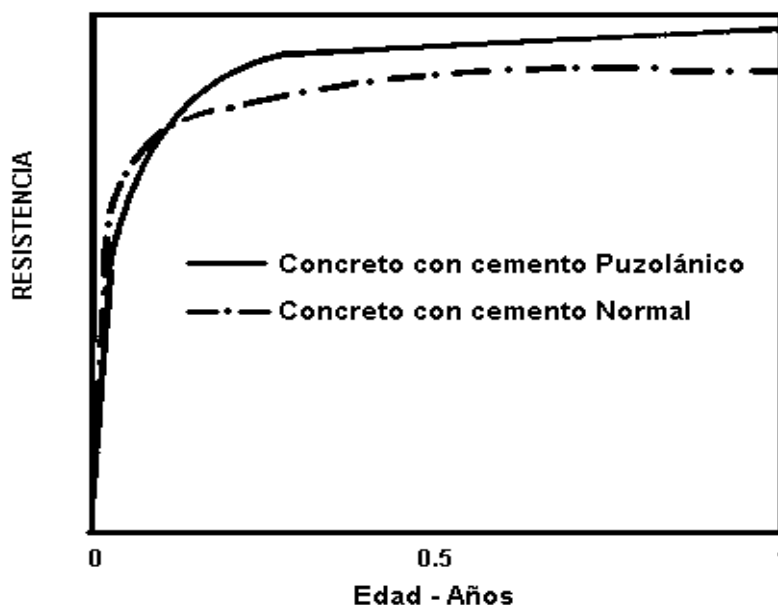


FIGURA. 2. 34. Concreto con Cemento Normal contra Concreto con Cemento Puzolánico.

Fuente: [17] <http://www.elconstructorcivil.com/2011/01/otros-tipos-de-cemento.html> (consulta 14/09/2018)

2.7. Cementos activados alcalinamente.

La activación alcalina es un proceso por el que el componente vítreo de un subproducto industrial es transformado en un subproducto (también llamado "geocement", "hydroceramic" o "geopolymer") caracterizado por sus excelentes propiedades adherentes, desarrollo de resistencia mecánica y de otras propiedades atribuidas a las cerámicas tradicionales (suavidad superficial, vidrio, lustre) también debe mencionarse que la mezcla (pasta formada por el polímero y la disolución alcalina) es trabajable con bajas relaciones de líquido/sólido y fragua en cortos espacios de tiempo.

El principio en el que se basa la activación alcalina de escorias fue propuesto en 1940 por Purdon. Pero fue en los años 60 cuando Glukhovsky al desarrollaron los primeros cementos de escorias activadas alcalinamente. La primera planta piloto de producción de este tipo de cementos y hormigones se implantó en Ucrania en 1960, iniciándose la producción industrial de los citados materiales en 1964. A partir de los años 70 el interés por los cementos activados alcalinamente fue creciendo en otros países distintos de la antigua Unión Soviética, como en China, Europa occidental, India, Japón, USA. [2]

El proceso comienza con la destrucción de los enlaces Ca-O , Mg-O , Si-O-Si , Al-O-Al y Al-O-Si de la escoria de partida, después se forma una capa de Si-Al por toda la superficie de los granos de escoria para finalmente producirse los productos de reacción. [14]

Mineralógicamente, los productos formados en reacción son dependientes de la disolución inicial en la que el polímero se disuelve y el grado de condensación de las especies iónica formadas. En todos los casos el principal problema de la reacción es un gel de aluminosilicatos (amorfo a DRX). En su microestructura, el Si y el Al se distribuyen arbitrariamente en tres direcciones espaciales;

para acomodar los cationes alcalinos que compensan las cargas eléctricas del sistema. En este proceso el gel tixotrópico inicialmente formado polimeriza progresivamente y se enriquece en sílice. [18]

Microscópicamente, tanto la morfología como la distribución de fases que componen este material son elementos susceptibles de cambio en función de las variables: tiempo y temperatura de curado y tipo de activador alcalino, etc. En cualquier caso, la matriz casi siempre evoluciona a un macizo compacto. [18]

Los principales mecanismos que controlan dichas reacciones en estado sólido son de tres tipos. [14]:

- Reacción química de nucleación y crecimiento de fases hidratadas
- Interacciones “phaseboundary”
- Procesos de difusión a través de la capa de productos de hidratación

Estos mecanismos se pueden describir a través de las siguientes etapas: Inicial, inducción, aceleración, deceleración y finalización (Fernández-Jiménez et al. 1996):

La etapa inicial es un proceso muy rápido en el que se disuelve el borde del grano de escoria y precipitan los primeros productos de reacción, que recubren al grano de escoria creando una capa semi-protectora; después tiene lugar un proceso lento de inducción en el que se sigue disolviendo la escoria. Cuando los iones (SiO_4^{2-}) y (Ca^{2+}) alcanzan la saturación, precipitan de forma masiva (aceleración). En las etapas de deceleración y finalización las reacciones entre la escoria y la disolución van terminando.

La influencia de la naturaleza del activador alcalino en los mecanismos de reacción fue estudiada a través de calorimetría de conducción isoterma por Fernández. En la Figura 2.34. se muestran las curvas calorimétricas correspondientes a dicho estudio, donde el pico que aparece se corresponde con las etapas de aceleración y deceleración. Cuando la escoria era activada con NaOH el pico era más intenso y aparecía a tiempos más cortos. La activada con Na_2CO_3 presentaba períodos de inducción más largos y de aceleración menos intensos mientras que las pastas activadas con Waterglass presentaban un comportamiento intermedio. [14]

2.7.1. La activación alcalina

La activación alcalina de aluminosilicatos fue descrita inicialmente por Glukhovsky que propuso unos mecanismos generales consistentes en tres etapas:

Primera etapa: Destrucción – Coagulación (Figura: 2.34.)

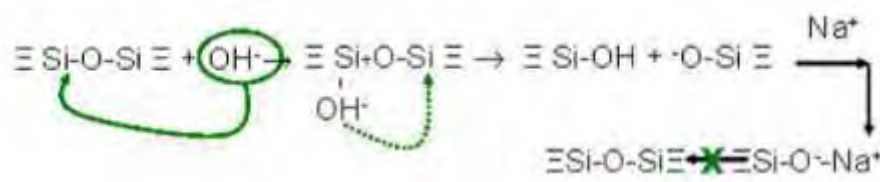


FIGURA. 2. 35. Primera etapa de la activación alcalina de aluminosilicatos.

Segunda etapa: Coagulación – Condensación (Figura: 2.35.)

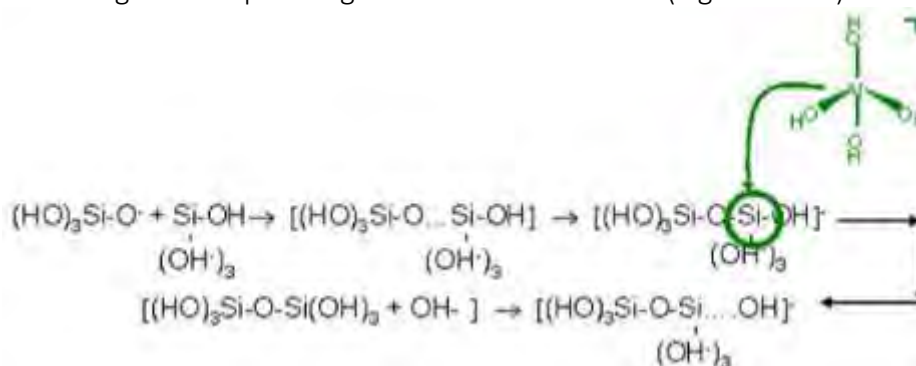


FIGURA. 2. 36. Esta segunda etapa se caracteriza por la acumulación de los productos formados anteriormente que conduce a un mayor contacto y a la formación de una estructura coagulada.

Fuente: [file:///F:/servicio-tesis/estado%20del%20arte/\[14\]CEMENTOS%20ACTIVADOS%20ALCALINAMENTE..pdf](file:///F:/servicio-tesis/estado%20del%20arte/[14]CEMENTOS%20ACTIVADOS%20ALCALINAMENTE..pdf) [14] (consulta: 18/09/2018)

La velocidad de poli-condensación viene determinada por los iones disueltos y la existencia de las condiciones óptimas necesarias para la precipitación del gel. La condensación del ácido silícico se ve favorecida por valores de $\text{pH} > 7$. El ion OH^- actúa como catalizador de la reacción, por ello, el desarrollo de resistencias mecánicas del material viene asociado a un descenso en el pH de la fase líquida. En esta etapa los iones OH^- presentes en el activador alcalino rompen los enlaces $\text{Si}-\text{O}-\text{Si}$, $\text{Al}-\text{O}-\text{Al}$ y $\text{Al}-\text{O}-\text{Si}$ de los aluminosilicatos. Esta disgregación de la fase sólida está gobernada por la formación de productos inestables que causan la caída de la carga iónica del medio promovida por la adición de átomos donadores de electrones (metales alcalinos). El resultado es la redistribución de la densidad electrónica alrededor de los átomos de silicio, provocando que sea más fácil la ruptura de los enlaces $\text{Si}-\text{O}-\text{Si}$. Los cationes de los metales alcalinos neutralizan la carga de los aniones, así mismo, la formación de los enlaces $-\text{Si}-\text{O}-\text{Na}^+$ evita que la reacción sea reversible

Tercera etapa: Condensación – Cristalización

2.7.1.1. Activadores alcalinos

Los activadores son un componente esencial de los cementos alcalinos, ya que de ellos dependen las futuras propiedades de los cementos, morteros y hormigones que se fabriquen.

Una sustancia activadora debe cumplir los siguientes requisitos:

- Acelerar la solubilización de los materiales
- Favorecer la formación de hidratos o productos de reacción de baja solubilidad
- Favorecer la formación de una estructura compacta con los productos de reacción formados

En el diagrama ternario $\text{CaO} - \text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3$ se muestran los rangos composicionales de los dos materiales susceptibles a ser activados alcalinamente en comparación con el CPO: las escorias vítreas de alto horno. [14]

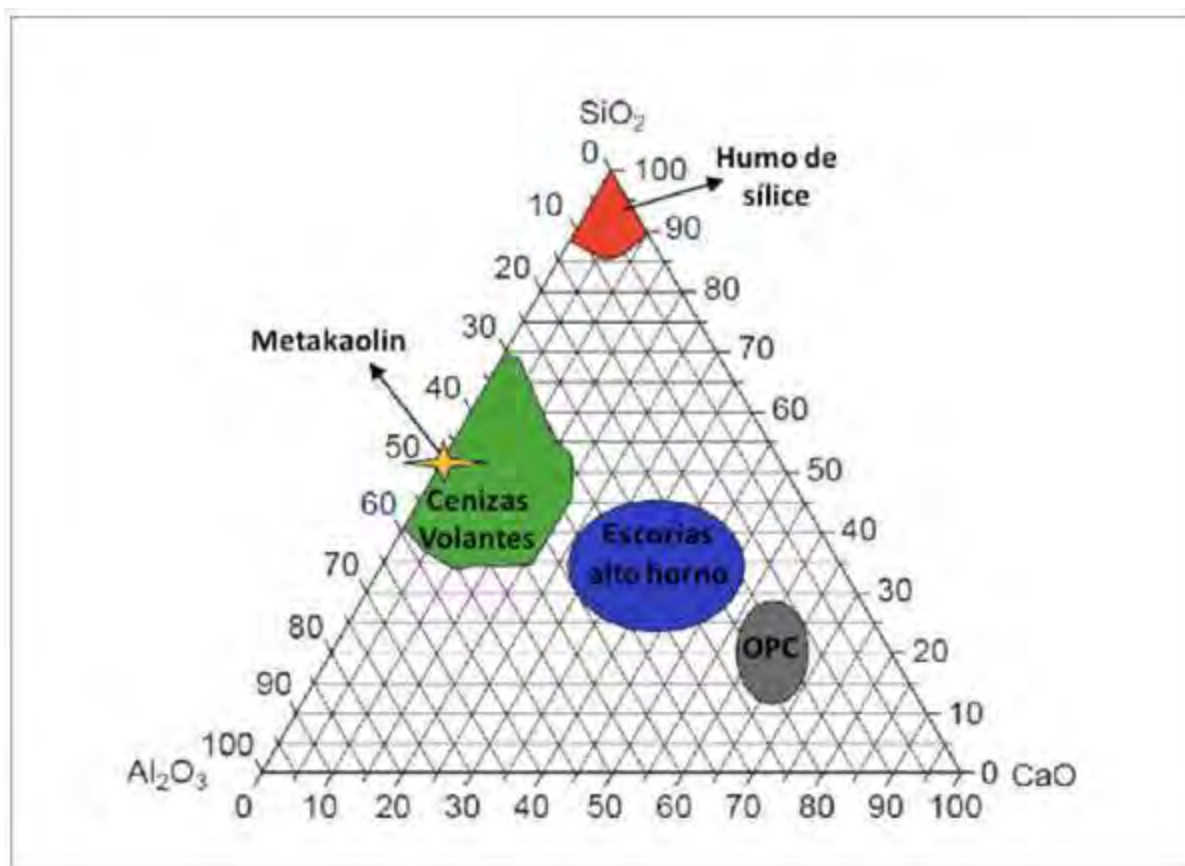


FIGURA. 2. 37. Diagrama ternario $\text{CaO} - \text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3$ con los rangos composicionales de distintos materiales.

Fuente: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-50732017000200001&lng=es&nrm=iso&tlng=en [14] consulta: 18/09/2018)

La solubilización de la escoria se produce tanto a pH ácidos como a pH básicos ($\text{pH} < 2$ y $\text{pH} > 12$) pero, tan solo a pH básicos se produce la formación de compuestos hidratados estables. En general, las escorias vítreas se activan en condiciones de alcalinidad moderada, por ello, los activadores alcalinos son compuestos alcalinos o alcalinotérreos como hidróxidos (ROH , $\text{R}(\text{OH})_2$), sales de ácido débil (R_2CO_3 , R_2S , RF), sales de ácido fuerte (Na_2SO_4 , $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$) y sales silíceas del tipo $\text{R}_2\text{O} \cdot (n) \text{SiO}_2$, donde R es un ion alcalino del tipo Na, K o Li. [14]

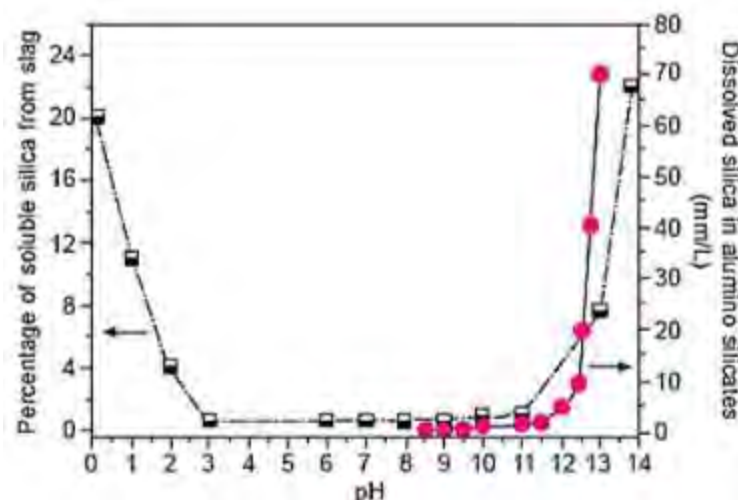


FIGURA. 2. 38. Cantidad de sílice soluble de la escoria (negro) y de las cenizas volantes (rosa).

Fuente: http://e-spacio.uned.es/fez/eserv/tesisuned:Ciencias-Cvarga/VARGA_FERNANDEZ_Celia_Tesis.pdf [14] (consulta 12/08/2018)

2.7.1.2. Materiales con calcio: $(\text{Na}, \text{K})_2\text{O} - \text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$.

Dentro de este grupo destacan las escorias vítreas de horno alto.

Las escorias siderúrgicas de horno alto son el resultado de la combinación de la ganga ácida “arcillosa” del material de hierro y de las cenizas de azufre del coque (igualmente de carácter ácido), con la cal y la magnesia (ambos compuestos básicos) de las calizas más o menos dolomíticas utilizadas como fundentes. La formación de los constituyentes de la escoria tiene lugar por fusión a alta temperatura ($\approx 1600^\circ\text{C}$). Las escorias vítreas se obtienen por el enfriamiento brusco de éste magno fluido desde 1400°C hasta temperatura ambiente.

Los componentes mayoritarios de las escorias son: CaO (35 – 40%), SiO_2 (25 – 40%), MgO (5 – 12%) y Al_2O_3 (5 – 15%). Como constituyentes minoritarios se pueden encontrar S^{2-} , Fe_2O_3 , MnO y K_2O , todos ellos con porcentajes inferiores al 1%. Los iones Al^{3+} y Si^{4+} actúan como formadores de red de la estructura del vidrio, mientras que los iones Ca^{2+} y Mg^{2+} lo hacen como modificadores de red, actuando como balance de carga en los tetraedros silicio y aluminio.

En las escorias siderúrgicas granuladas o peletizadas, mineralógicamente, entre el 90 – 95% de la escoria es material amorfo. En la escoria cristalizada, la fase cristalina presente principalmente es una disolución sólida de akermanita ($2\text{CaO} \cdot \text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2$) y gehlenita ($2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$), denominada melillita. En función del carácter ácido o básico de las escorias, que se determina a través de la ecuación $\text{IB} = (\text{CaO} + \text{MgO}) / (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3)$, siendo $\text{IB} > 1$ escoria básica e $\text{IB} < 1$ escoria ácida), pueden aparecer también otras fases cristalinas como merwinita ($3\text{CaO} \cdot \text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2$) en escorias básicas y diópsido ($\text{CaO} \cdot \text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2$) en las ácidas (Puertas 1993).

Aunque está ampliamente aceptado que la reactividad de las escorias depende de su composición química y de su estructura vítrea, aunque la estructura vítrea es fundamental en la reactividad, no existe una correlación exacta entre ellas y, por lo tanto, no hay garantía de que un gran contenido en fase vítrea implique directamente una escoria muy reactiva. Sin embargo, un parámetro que permite estimar la reactividad potencial intrínseca de las escorias es el grado de depolimerización desarrollaron una ecuación que permite calcularlo:

$$DP = n(\text{CaO}) - 2n(\text{MgO}) - n(\text{Al}_2\text{O}_3) - n(\text{SO}_3) / n(\text{SiO}_2) - 2n(\text{MgO}) - 0.5n(\text{Al}_2\text{O}_3)$$

Esta relación se encuentra típicamente en valores entre 1.3 y 1.5; valores superiores implican una mayor depolimerización y por lo tanto una mayor reactividad de la red de silicatos en la escoria.

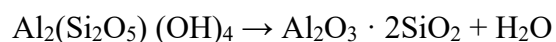
Estos mismos autores indican que las reacciones en la escoria vítrea están controladas por el tamaño de las partículas; de manera que aquellas con un tamaño $> 20 \mu\text{m}$ reaccionan más lentamente mientras que las que tienen un tamaño $< 2 \mu\text{m}$ reaccionan completamente en aproximadamente las primeras 24 horas. Estos estudios evidenciaron que la distribución del tamaño de partícula puede ser utilizada como un control en el desarrollo resistente de los cementos, morteros y hormigones basados en escorias vítreas activadas alcalinamente, así como en cementos con escorias.

En términos generales, las escorias vítreas deben cumplir una serie de requisitos para ser susceptibles a ser activadas alcalinamente:

- Ser escorias granuladas o peletizadas (sometidas a enfriamiento rápido) con contenidos en fase vítrea superiores al 85%.
- Contener desorden estructural, es decir, la fase vítrea debe encontrarse poco polimerizada.
- Tener un índice de basicidad superior a 1, ya que las escorias básicas son las que presentan un mayor potencial hidráulico.
- Presentar una superficie específica con valores entre 400 y 600 m^2/Kg .

2.7.1.3. Materiales pobres en calcio: $(\text{Na}, \text{K})_2\text{O} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$.

El metacaolín es un aluminosilicato que ha sido térmicamente activado y que posee gran actividad puzolánica. Es el resultado de la calcinación de la caolinita (mineral que caracteriza a la mayor parte de los caolines) a temperaturas de entre $650 - 800^\circ\text{C}$ en función de la pureza y la cristalinidad de la arcilla de partida. La deshidroxilación de la caolinita sigue la siguiente reacción:



Si la temperatura de calcinación supera los 900°C se forman compuestos cristalinos como mullita ($\text{Al}_6\text{Si}_2\text{O}_{13}$), espinela (MgAl_2O_4) y gel de sílice amorfo, disminuyendo la reactividad del metacaolín.

El hecho de poder emplear el metacaolín como fuente de aluminosilicatos en activación alcalina depende principalmente del tamaño de partícula. En general, las partículas de metacaolín deben tener un tamaño inferior a $5 \mu\text{m}$ y un tamaño de grano de arcilla del orden de 20 nm .

Las cenizas volantes son un subproducto de la combustión del carbón mineral en la generación de energía eléctrica en centrales termoeléctricas, se obtienen por precipitación mecánica o electrostática del polvo en suspensión comprendido en los gases procedentes de la combustión del carbón.

Las cenizas volantes están formadas por los restos de arcillas, arena y materia orgánica que está presente en el carbón. Estos compuestos se funden en el horno de combustión y son sometidos a un enfriamiento rápido en aire que produce pequeñas partículas esféricas. Sin embargo, presentan fases cristalinas, normalmente, cuarzo y óxidos de hierro, así como heterogeneidades entre las partículas. Por ello, las cenizas volantes son materiales de composición variable que depende, no solo de las características del carbón de origen, sino también del proceso de combustión y enfriamiento al que han sido sometidas. [14]

Según la norma ASTM C618-08a las cenizas volantes se pueden clasificar en dos tipos en función de su contenido en CaO:

- Ceniza volante tipo F: Presentan contenidos en CaO inferiores al 10%. Son el resultado de la calcinación de carbón tipo antracita o bituminoso. Es el tipo más frecuente de ceniza volante, así como el más empleado en el sector de la construcción. Los óxidos mayoritarios que la componen son el SiO_2 , Al_2O_3 y óxidos de hierro y su pH suele ser superior a 10. Es el tipo de ceniza empleada en activación alcalina.
- Ceniza volante tipo C: Son cenizas con altos contenidos en CaO, de entre el 15 – 30%. Se producen en la calcinación de carbones sub-bituminosos o lignitos.

2.7.1.4. Hidróxidos.

Los hidróxidos más empleados como activadores alcalinos son los de sodio o potasio. Los de litio, rubidio y cesio no se emplean debido a su elevado coste y su escasez. Los cationes presentes en el activador juegan un papel importante en la activación ya que mantienen la neutralidad eléctrica que se produce cuando los tetraedros de SiO_4 son reemplazados por los tetraedros de AlO_4^- en la estructura del gel (principal producto de reacción de la activación alcalina).

Las disoluciones de NaOH y KOH presentan un pH elevado, superior a 13, con un alto contenido de iones OH^- . Estos iones catalizan la disolución de los cationes Si_4^+ y Al_3^+ induciendo la hidrólisis de los enlaces $\text{Si} - \text{O} - \text{Si}$ y $\text{Si} - \text{O} - \text{Al}$ y, permitiendo, por lo tanto, el paso de estas especies a la disolución. Los iones OH^- no solo catalizan la hidrólisis de los enlaces, sino que permiten alcanzar los valores de pH requeridos para iniciar la disolución de los precursores y promover las reacciones de condensación posteriores. [14]

2.7.1.5. Sales de ácido débil

Cuando se emplean como activadores alcalinos de escorias vítreas se obtienen menores resistencias a edades tempranas que cuando se activan con hidróxido sódico o silicatos sódicos. Esto es debido a que la presencia de un alto contenido en CO_3^{2-} origina la formación de un CaCO_3 o carbonatos sódico – cálcicos, pobremente cristalizados, que precipitan ralentizando el proceso de activación de la escoria, afectando al fraguado y endurecimiento iniciales. A edades más avanzadas ese efecto se minimiza y las resistencias mecánicas llegan a ser superiores que en los materiales activados con NaOH. [14]

2.7.2. Cementos alcalinos

Los cementos alcalinos son materiales obtenidos mediante un proceso químico (activación alcalina) que transforma un material de naturaleza aluminosilícica con estructura total o parcialmente amorfa en compactos esqueletos cementantes. [15]

Estos conglomerantes están formados básicamente por dos componentes: un material de naturaleza aluminosilícica y un activador alcalino. Los aluminosilicatos susceptibles de ser activados alcalinamente se pueden dividir en dos grupos en función de su composición química:

- Materiales ricos en calcio, pertenecientes al sistema $(\text{Na}, \text{K})_2\text{O} - \text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$
- Materiales pobres en calcio, pertenecientes al sistema $(\text{Na}, \text{K})_2\text{O} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$

2.7.3. Concretos alcalinos.

Las diferentes investigaciones realizadas sobre concretos de activación alcalina han demostrado que estos materiales poseen buenas propiedades mecánicas y son resistentes a diferentes medios agresivos; sin embargo es muy poca la información acerca del comportamiento de dichos concretos a elevadas temperaturas y la mayoría de la información publicada se limita a temperaturas hasta de 800 °C. Tomando en consideración la variedad de materiales precursores y activantes alcalinos que pueden ser utilizados se considera que actualmente no hay pruebas suficientes para generalizar que los concretos de activación alcalina poseen una mejor resistencia al fuego que los concretos de CPO, siendo esta una propiedad importante ya que la sostenida exposición al fuego de las estructuras de concreto provoca desprendimiento severo y daños estructurales, resultando incluso en el colapso de la estructura, con las consecuencias evidentes de riesgo para la vida humana y los altos costos económicos.

En concretos basados en CPO, las reacciones de degradación están asociadas con la pérdida de agua por evaporación del agua libre y la deshidratación de los componentes de la pasta de cemento endurecida. Así, cuando el concreto se expone a una temperatura de entre 200°C y 300°C la pérdida de agua capilar es completa y cuando se alcanza la temperatura de 300°C el agua ubicada entre las capas y la combinada químicamente en el silicato cálcico hidratado (CSH) y los sulfoaluminatos hidratados inicia la evaporación, lo cual se refleja en la disminución en la resistencia mecánica del material y la aparición de las primeras fisuras. A temperaturas alrededor de 400-500 °C se produce la descomposición de la Portlandita lo que trae como consecuencia tensiones internas. La descomposición progresiva del CSH con el incremento de la temperatura se asocia a la pérdida total de las resistencias mecánicas.

Caso contrario sucede con los concretos de activación alcalina, donde dependiendo de las materias primas utilizadas, se ha encontrado que los incrementos de temperatura pueden dar lugar a modificaciones micro-estructurales y formación de nuevas fases de carácter cerámico que aportan mayor estabilidad térmica Davidovits, determino que materiales activados tanto con Na como con K exhibieron excelente resistencia al fuego hasta los 1200 °C; Barbosa & MacKenzie, encontraron resultados similares para mezclas de metacaolín activado con hidróxido de sodio y silicato de sodio. Bakharev, reporta que materiales basados en ceniza volante y activados con NaOH luego de expuestos a temperaturas de 800 °C presentaron severo agrietamiento debido a fenómenos de contracción, además de una leve disminución de sus resistencias; se atribuye esta pérdida de

resistencia al deterioro del gel de aluminosilicato. Martin, estudio el comportamiento de cementos de activación alcalina a base de cenizas volantes activadas con una solución de silicato de sodio e hidróxido de sodio y lo compara con cementos convencionales (OPC), el autor reporta incrementos resistentes a 600 °C a diferencia de las muestras de OPC que a esta temperatura presentaron una pérdida total de su resistencia. [19]

2.6. *Polímeros.*

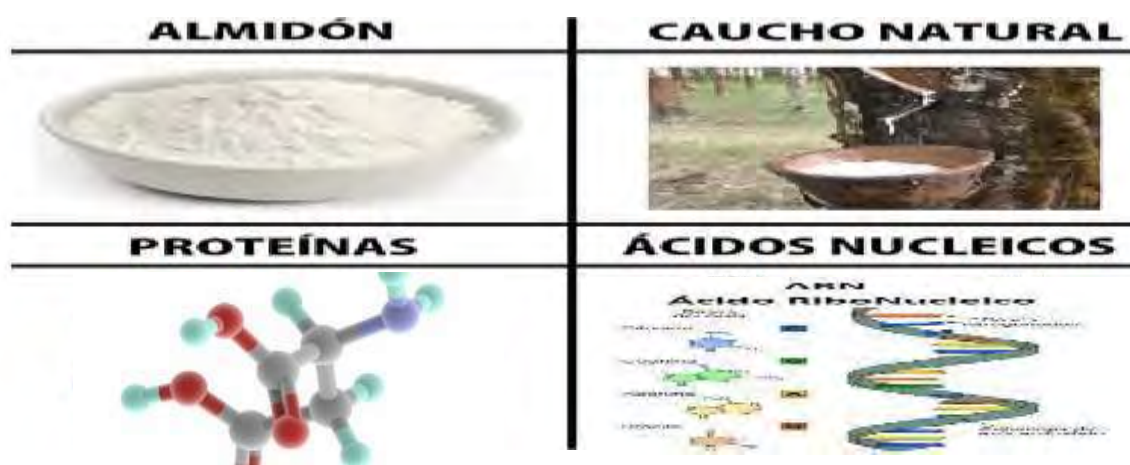


FIGURA. 2. 39. Ejemplo de polímeros, naturales (almidón y caucho natural) de los biopolímeros naturales (proteínas y ácidos nucleicos).

Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=vYxdCYBq-6Q> (consulta: 29/09/2018)

2.7.4. Reseña histórica.

Desde la antigüedad los seres humanos han utilizado polímeros de origen natural para satisfacer algunas de sus necesidades. El asfalto era empleado en el medio oriente en tiempos bíblicos y el algodón era conocido en México antes de la llegada de Colón. También en épocas precolombinas el látex era conocido por algunos pueblos americanos y los mayas lo empleaban para fabricar pelotas para jugar. Colón y otros exploradores que visitaron este continente quedaron fascinados con este material y llevaron a Europa muestras de este material. Al látex le encontraron algunas aplicaciones, donde las más importantes fueron realizadas luego del descubrimiento del proceso de vulcanización. Este descubrimiento fue logrado de forma accidental por el norteamericano Charles Goodyear en 1839 y dio origen a la industria del caucho. [20]

Resumir las aplicaciones actuales de los polímeros resulta una tarea casi imposible. En el mundo contemporáneo, los polímeros sintéticos han copado todos los ámbitos del desarrollo y la elaboración de productos manufacturados, sustituyendo materiales usados tradicionalmente, tales

como la madera, metales y materiales cerámicos. Así, por ejemplo, estos materiales encuentran aplicación en campos tan diversos como la medicina (donde se emplean como prótesis, válvulas cardíacas entre otras muchas aplicaciones), ingeniería (partes de vehículos y de computadores, tableros, y cientos de aplicaciones más), Agricultura, etc. Los polímeros también se utilizan en los deportes (pelotas, cascos, raquetas...) y en objetos de uso diario, como recipientes y utensilios de todo tipo. Solo basta con mirar a nuestro alrededor para darnos cuenta que estamos sumergidos en un mundo lleno de materiales poliméricos. El uso y aplicaciones de estos materiales crece cada día, por lo que se hace muy importante conocer estos materiales lo mejor posible, no solo por las ventajas que nos ofrecen, sino también por los inconvenientes que causan debido a su acumulación cuando ya no nos son útiles. [20]

2.7.5. Definición general.

En la naturaleza existen moléculas enormes llamadas macromoléculas. Estas moléculas están formadas por cientos de miles de átomos por lo que sus pesos moleculares son muy elevados. [20]

Los polímeros son macromoléculas formadas por la unión repetida de una o varias moléculas unidas por enlaces covalentes. El término macromolécula significa molécula muy grande. “Polímero” y “macromolécula” son términos que suelen utilizarse indistintamente, aunque estrictamente hablando no son equivalentes ya que las macromoléculas, en principio, no requieren estar formadas por unidades de repetición. [21]

Dependiendo de su origen, los polímeros pueden ser naturales o sintéticos. Los sintéticos contienen normalmente entre uno y tres tipos diferentes de unidades que se repiten, mientras que los naturales o biopolímeros como la celulosa, el ADN o las proteínas presentan estructuras mucho más complejas. Los polímeros sintéticos tienen, hoy por hoy, mayor interés desde el punto de vista comercial, por lo que en general nos referiremos casi exclusivamente a ellos. [21]

Las pequeñas moléculas que se combinan entre sí mediante un proceso químico, llamado reacción de polimerización, para formar el polímero se denominan monómeros. Las uniones de todas estas pequeñas moléculas dan lugar a una estructura de constitución repetitiva en el polímero y la unidad que se repite regularmente a lo largo de toda la molécula, se conoce con el nombre de unidad constitucional repetitiva (ucr) o unidad monomérica. [20]

La longitud de la cadena del polímero viene determinada por el número de ucr que se repiten en la cadena. Esto se llama grado de polimerización (X), y su peso molecular viene dado por el peso de la unidad constitucional repetitiva multiplicado por el grado de polimerización. [20] Cuando se parte de un solo tipo de molécula se habla de homopolimerización y de homopolímero. [21] Cuando son dos o más moléculas diferentes las que se repiten en la cadena se habla de copolimerización, comonómeros y copolímero. La reacción de polimerización se suele dividir en dos grandes grupos: reacciones de adición y de condensación, y los polímeros obtenidos por cada una de estas vías se conocen como polímeros de adición y polímeros de condensación. En los polímeros de adición la unidad estructural de repetición tiene la misma composición que la del monómero de partida. El grupo más importante de polímeros de adición corresponde a los formados a partir de monómeros que contienen un doble enlace carbono-carbono, como es el caso, por ejemplo, de la polimerización del poli-cloruro de vinilo (PVC). [21]

Cuando la funcionalidad del o de los monómeros que intervienen en una polimerización es de 2 se obtienen polímeros lineales, mientras que si alguno de ellos tiene una funcionalidad superior se obtienen polímeros ramificados o entrecruzados, tal como se puede apreciar en la Figura. 2.39.

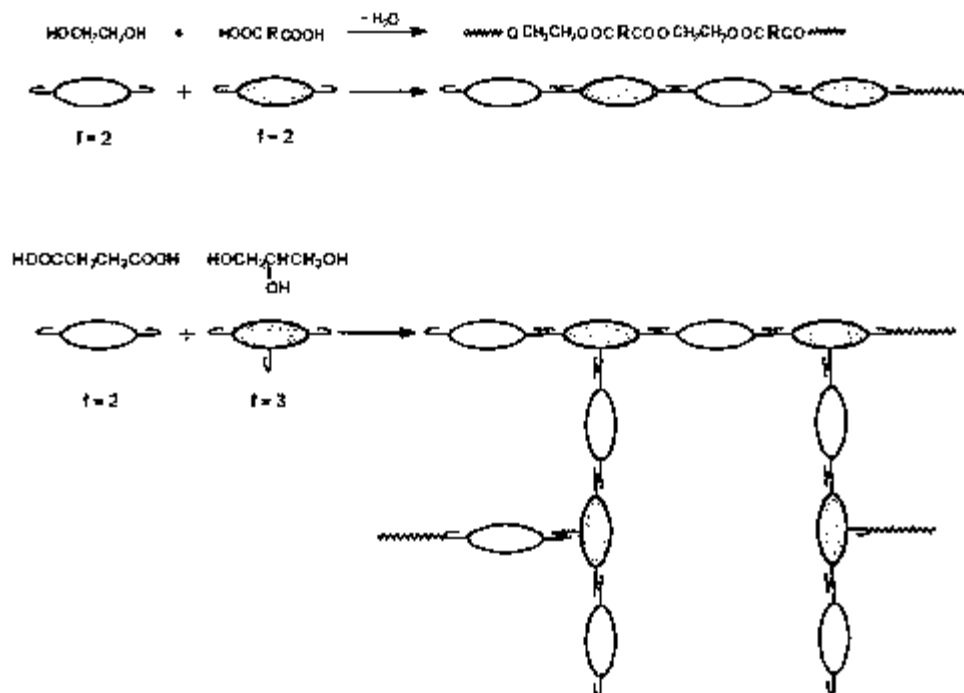


FIGURA. 2. 40. Estructura de los polímeros en función de la funcionalidad de los monómeros.

Fuente: https://www.researchgate.net/publication/262639386_FUNDAMENTOS_DE_POLIMEROS [20](consulta. 19/09/2018)

Dentro de los polímeros de adición también cabe destacar aquellos que se obtienen a partir de monómeros cíclicos, como es el caso del poli (óxido de etileno) (POE).

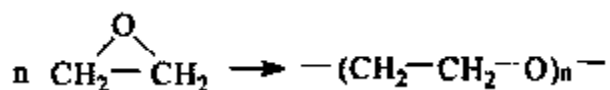


FIGURA. 2. 41. Estructura del poli (óxido de etileno). Fuente: <http://iq.ua.es/TPO/Tema1.pdf> (Consulta: 10/11/18)

En cambio, los polímeros de condensación se forman a partir de monómeros polifuncionales a través de diversas reacciones con la posible eliminación de alguna pequeña molécula, tal como el agua. Un ejemplo típico es la formación de las poliamidas a partir de la reacción de diaminas y ácidos di-carboxílicos:

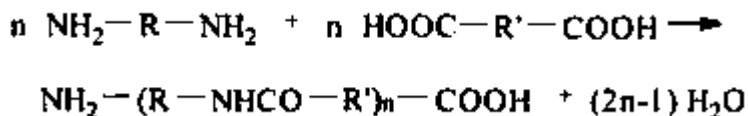


FIGURA. 2. 42. Grupos aromáticos, en una cadena polimérica.

Fuente: <http://iq.ua.es/TPO/Tema1.pdf> (Consulta: 10/11/18)

R y R' son grupos alifáticos o aromáticos. La unidad entre paréntesis que se repite muchas veces en la cadena de polímero se denomina unidad de repetición. La composición de la unidad de repetición difiere de la de los dos monómeros de partida en una molécula de agua. [21]

Tabla 2.5 y 2.6. Polímeros de adición y Polímeros de condensación de uso frecuente.

Polímero	Abreviatura	Unidad de repetición
Poliétileno	PE	$-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$
Polipropileno	PP	$-\text{CH}_2-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}-$
Poliestireno	PS	$-\text{CH}_2-\underset{\text{C}_6\text{H}_5}{\text{CH}}-$
Poli(cloruro de vinilo)	PVC	$-\text{CH}_2-\text{CH}-$
Poliacrilonitrilo	PAN	$-\underset{\text{C}\equiv\text{N}}{\text{CH}}-$
Poli(metacrilato de metilo)	PMMA	$-\text{CH}_2-\underset{\text{COOCH}_3}{\overset{\text{CH}_3}{\text{CH}}}-$
Polibutadieno (1,4-cis)	PB	$-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-$

Polímero	Abreviatura	Unidad de repetición
Poliéster		$-\text{R}-\text{OCO}-\text{R}'-\text{COO}-$
Poliamida	PA	$-\text{NH}-\text{R}-\text{NHCO}-\text{R}'-\text{CO}-$
Policarbonato	PC	$-\text{O}-\text{C}_6\text{H}_4-\underset{\text{CH}_3}{\overset{\text{CH}_3}{\text{C}}}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{CO}-$
Poli(etileno tereftalato)	PET	$-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{OCO}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{COO}-$
Poliuretano	PU	$-\text{NH}-\text{COO}-\text{R}-\text{OCO}-\text{NH}-\text{R}'-$
Resina de Fenol-formaldehído		$-\text{C}_6\text{H}_3(\text{OH})-\text{CH}_2-\text{C}_6\text{H}_3(\text{OH})-\text{CH}_2-$

FIGURA. 2. 43. Polímeros de adición y Polímeros de condensación de uso frecuente.

Fuente: <http://iq.ua.es/TPO/Tema1.pdf> (Consulta: 10/11/18)

[21]

Nota: Se muestran algunos polímeros de adición y condensación de uso muy común, sus abreviaturas y sus unidades estructurales de repetición. En el caso de los polímeros de adición se muestran las estructuras de polietileno, polipropileno, poliestireno, poli (cloruro de vinilo), poli(acrilonitrilo), poli (metil metacrilato), y pulibutadieno, mientras que para los polímeros de condensación se muestran ejemplos de poliéster, poliamida, policarbonato, polietilenterftalato, poliuretano y una resina de fenol-formaldehído. [22]

Para producir polímeros a escala industrial las materias primas básicas empleadas son gas natural, carbón, y petróleo. El proceso químico de la polimerización es complejo y diverso; el ingeniero químico es quien se destaca en el control de este proceso. Algunos de los métodos de polimerización más importantes son los siguientes:

- Polimerización en bloque o fase condensada: El monómero y un iniciador se combinan en un recipiente (reactor) y se calientan o enfrían según se requiera. Se debe controlar estrictamente la temperatura. Este proceso es de amplia utilización en polimerización por condensación cuando un monómero se ha cargado en el reactor y el otro se va adicionando de a poco. El proceso puede emplearse globalmente para muchas condensaciones de polímeros por su baja temperatura de reacción. Por ejemplo. PMMA.

- Polimerización en solución: El monómero se disuelve en un solvente no reactivo que contiene un catalizador. El calor desprendido por la reacción es absorbido por el solvente y entonces la velocidad de reacción se reduce. Es difícil eliminar todo el solvente.

- Polimerización en suspensión: El monómero y el catalizador se suspenden en forma de gotitas en una fase continua como el agua. El calor producido por la reacción es absorbido por el agua; se requiere agitación continua. Después del proceso el producto polimerizado se separa y deshidrata. Este método se emplea de modo generalizado para producir varios polímeros vinílicos... Por ejemplo. PVC, PS, poliacrilonitrilo.

- Polimerización por emulsión: Es un proceso similar al de suspensión puesto que se lleva a cabo en agua. En este caso el monómero es absorbido dentro de unas micelas creadas por un agente emulsificante, como el jabón, y dentro se produce la polimerización. Por ejemplo. Pinturas. [6]

2.7.6. Clasificación de los polímeros.

Según su origen

- Naturales:

Son sustancias producidas por organismos vivos que se emplean sin modificación. Ejemplos de estos polímeros son: proteínas como las empleadas por las arañas para tejer su tela⁵, polisacáridos, caucho natural. [6]

- Sintéticos:

Son macromoléculas creados por el hombre y se dividen en dos categorías según su comportamiento al ser calentados: termoplásticos y termorrígidos. Los primeros al calentarse se ablandan o funden, y son solubles en disolventes adecuados. Están formados por moléculas de cadenas largas, a menudo sin ramificaciones. Los termorrígidos, en cambio, se descomponen al ser calentados y no pueden fundirse ni solubilizarse. Tienen estructuras elaboradas tridimensionales con reticulación. [6]

Según su respuesta termo-mecánica:

Los materiales poliméricos se pueden clasificar en cinco grupos:

- Termoplásticos

Como su nombre lo indica, se comportan de manera plástica a elevadas temperaturas. Más aún, la naturaleza de sus enlaces no se modifica radicalmente cuando la temperatura se eleva, razón por la cual pueden ser conformados a temperaturas elevadas, enfriados y después recalentados o reconformados sin afectar el comportamiento del polímero. Los polímeros termoplásticos son lineales. [6]

- Termorrígidos

Los polímeros termorrígidos también denominados termoestables son polímeros reticulados durante la reacción de polimerización o mediante la introducción de entrecruzamientos químicos (cross links). Este reticulado no permite

que estos polímeros sean reprocesados después de que han sido conformados. [6]

Tabla 2.7. Clasificación de los termoplásticos y termoestables.

Polímeros sintéticos	
Termoplásticos	Polietileno, Teflón, Poliestireno, Polipropileno, Poliéster, Poliuretano, Polimetilmetacrilato, policloruro de vinilo, Nylon, Rayón, Celulosa, Silicona, Fibra de vidrio, etc.
Termoestables	Cauchovulcanizado, Baquelita, Kevlar, Poliepóxido.

FIGURA. 2. 44. Clasificación de los termoplásticos y termoestables.

Fuente: <http://repositorio.unan.edu.ni/2687/1/28212.pdf> [23]

- Elastómeros

Los elastómeros también denominados cauchos o hules tienen un comportamiento térmico que puede variar de termoplástico a termorrígidos según su estructura sea lineal o reticulada. La clasificación se realiza en base a su comportamiento mecánico: se trata de materiales poliméricos que tienen la capacidad de deformarse mucho más que el 300% en forma elástica, esto es, cuando se remueve la fuerza aplicada para estirarlos recuperan sus dimensiones originales. Esto se debe a que las largas cadenas poliméricas se encuentran enrolladas e idealmente podemos decir que, cuando se aplica un esfuerzo para estirar la muestra, las cadenas lineales se desenredan. Cuando se libera el esfuerzo las cadenas vuelven a enrollarse y el polímero regresa a su forma y tamaño originales. Sin embargo, esta es sólo una idealización del comportamiento de las macromoléculas ya que las cadenas no sólo se desenrollan, sino que también deslizan unas sobre otras, de modo que al eliminar el esfuerzo aplicado desaparece la deformación elástica (instantánea y reversible) pero puede quedar una deformación remanente (deformación plástica, debida al deslizamiento). [6]

- Adhesivos

Tienen cierto grado de extensibilidad, alta adhesión, pero conservando cierto grado de cohesión. Suelen tener baja cristalinidad. [6]

- Recubrimientos de superficies

Sus características son similares a las de los adhesivos, pero además tienen gran resistencia a la abrasión. Se usan para proteger y decorar. [6]

- Fibras

Pueden tejerse o enlazarse para formar prendas dimensionalmente estables; es necesario que no cedan demasiado. Deben ser resistentes y con tendencia a la cristalización. [6]

Según la estructura de la cadena

- Lineal: Se repite siempre el mismo tipo de unión.

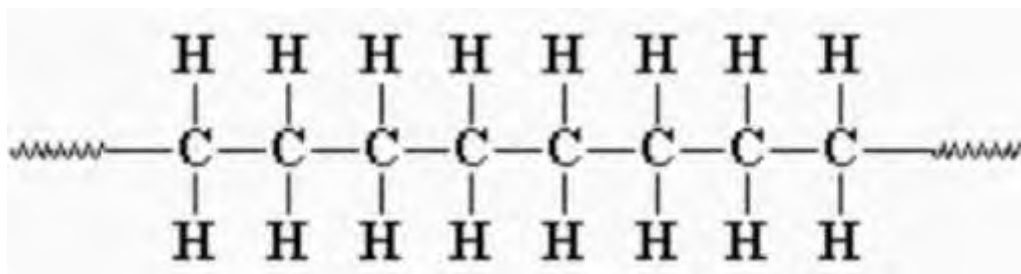


FIGURA. 2. 45. Estructura polimérica de cadena lineal.

Fuente: <https://es.slideshare.net/ProfeCristianNavarro/ppt-1-polmeros-naturales> (consulta: 19/09/2018)

- Ramificado: Con cadenas laterales unidas a la principal.

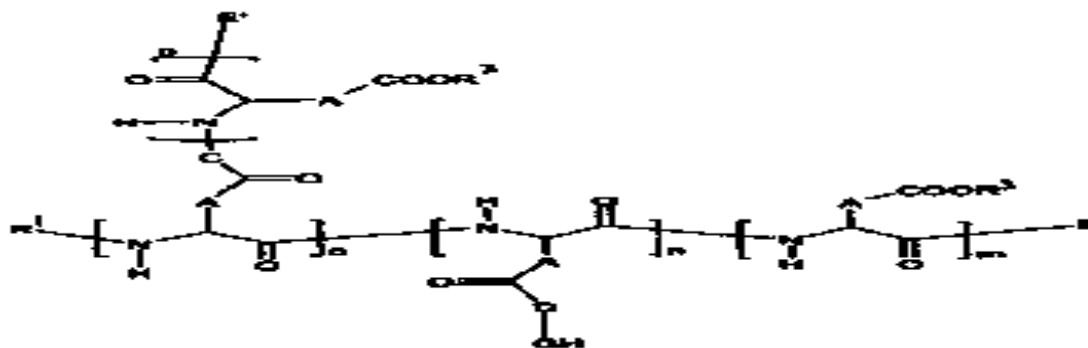


FIGURA. 2. 46. Ramificado: Con cadenas laterales unidas a la principal.

Fuente: <http://plasticosyprocesos.blogspot.com/2014/08/estructura-de-los-polimeros.html> (consulta: 19/09/2018)

- Entrecruzado: Si se forman enlaces entre cadenas vecinas.

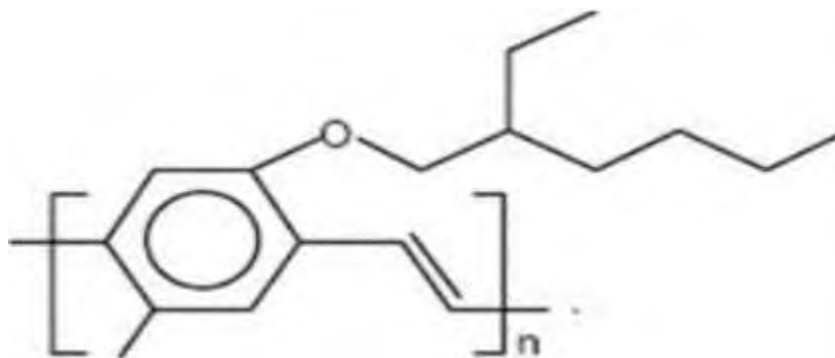


FIGURA. 2. 47. Si se forman enlaces entre cadenas vecinas.

Fuente: <https://es.slideshare.net/ProfeCristianNavarro/ppt-1-polmeros-naturales> (consulta: 19/09/2018)

• Homopolímero

Los homopolímeros son aquellos polímeros en los que todos los monómeros que los constituyen son iguales.

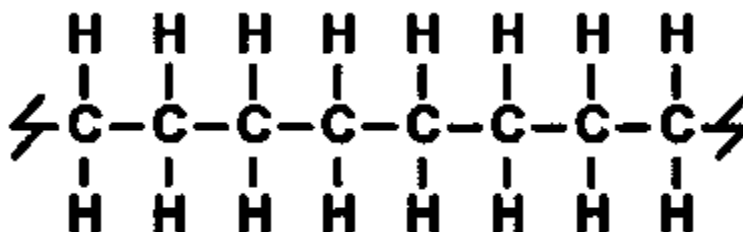


FIGURA. 2. 48. Estructura del polietileno homopolímero, sólo con meros de etileno (C_2H_4).

Fuente: <https://descomplica.com.br/blog/quimica/resumo-polimeros/> (consulta: 19/09/2018)

Los copolímeros están formados por dos o más monómeros diferentes.

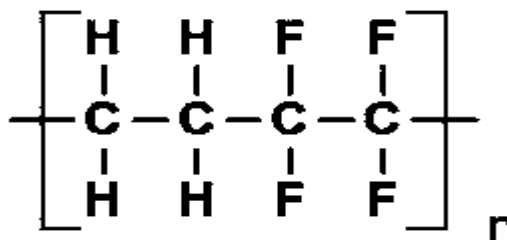


FIGURA. 2. 49. Copolímero de etileno (C_2H_4) y tetra flúor-etileno (C_2F_4).

Fuente: <https://descomplica.com.br/blog/quimica/resumo-polimeros/> (consulta: 19/09/2018)

2.7.7. Estructura De Los Polímeros.

Para abordar el estudio de la estructura de los polímeros se suelen considerar dos niveles, estructura química y estructura física. La estructura química se refiere a la construcción de la

molécula individual y la estructura física al ordenamiento de unas moléculas respecto a otras. Comenzaremos abordando la estructura química de los polímeros, y, por tanto, estudiaremos el efecto de la naturaleza de los átomos que constituyen la cadena principal y los sustituyentes de la misma, las uniones entre monómeros, el peso molecular y su distribución y el efecto de las ramificaciones o entrecruzamientos en la cadena principal. Igualmente, las diferentes configuraciones que pueden adoptar los sustituyentes de la cadena principal condicionan notablemente las propiedades de los polímeros y son parte de su estructura química. Cuando se hace referencia a la estructura física de los polímeros se trata básicamente de la orientación y cristalinidad que, como veremos, dependen en gran medida de la estructura química y a su vez condicionan el comportamiento del material durante el procesado y durante su vida de servicio. [21]

2.7.7.1. Estructura química.

En los polímeros la unión entre monómeros se realiza siempre mediante enlaces covalentes. La Figura. 2.49. muestra un trozo de la cadena de polietileno. Los átomos de carbono que constituyen la cadena principal presentan una configuración sp^3 , por tanto, sus orbitales se dispondrán formando un tetraedro en torno al átomo de carbono y el ángulo de enlace de dos carbonos consecutivos será de aproximadamente 109° , aunque en las siguientes representaciones consideraremos que se trata de moléculas planas. [21]

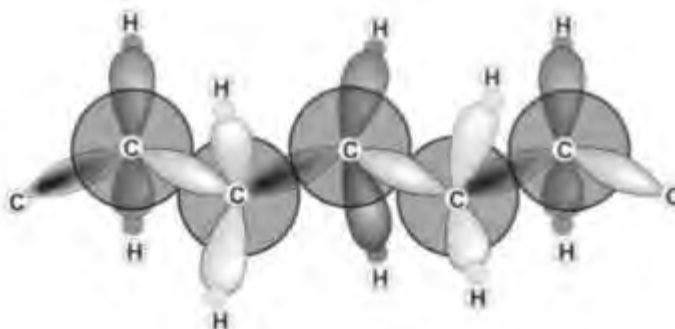


FIGURA. 2. 50. Configuración sp^3 para los átomos de carbono de la cadena principal de la molécula de polietileno.

Fuente: <http://iq.ua.es/TPO/Tema1.pdf> [21] (consulta: 19/09/2018)

Sin embargo, las fuerzas responsables de la cohesión entre cadenas diferentes pueden ser de naturaleza muy diversa, y están fuertemente condicionadas por las características de los átomos y de los sustituyentes de la cadena principal. La polaridad y el volumen de estos átomos afectarán especialmente a las fuerzas de cohesión entre cadenas, que a su vez determinarán la flexibilidad del material, temperatura de transición vítrea, temperatura de fusión y capacidad de cristalización entre otras propiedades. [21]

En el caso de la molécula de polietileno (PE), molécula sencilla no polar, las cadenas diferentes se atraen entre sí por fuerzas intermoleculares débiles de tipo London (dipolo inducido-dipolo inducido). En consecuencia, el polietileno es un material blando y tiene una temperatura de fusión relativamente baja. Para moléculas polares, tales como el PVC, las cadenas se mantienen unidas mediante interacciones fuertes de tipo dipolo-dipolo resultantes de la atracción electrostática entre

los átomos de cloro de una molécula y los de hidrógeno de otra, lo que resulta en un polímero muy rígido. Las cadenas de moléculas altamente polares que contienen átomos de oxígeno o nitrógeno se atraen entre sí por puentes de hidrógeno, como es el caso del poli (óxido de metileno) (POM). En general, cuanto mayor sean las fuerzas de cohesión entre las cadenas, tanto más rígido resultará el polímero y tanto mayor será la temperatura de fusión en el caso de polímeros cristalinos o la temperatura de reblandecimiento en el caso de polímeros no cristalinos. En las poliamidas, por ejemplo, las fuerzas de cohesión entre las moléculas son el resultado de una combinación de enlaces por puentes de hidrógeno, fuerzas dipolo-dipolo y fuerzas de tipo London, lo que confiere una elevada temperatura de fusión al polímero. [21]

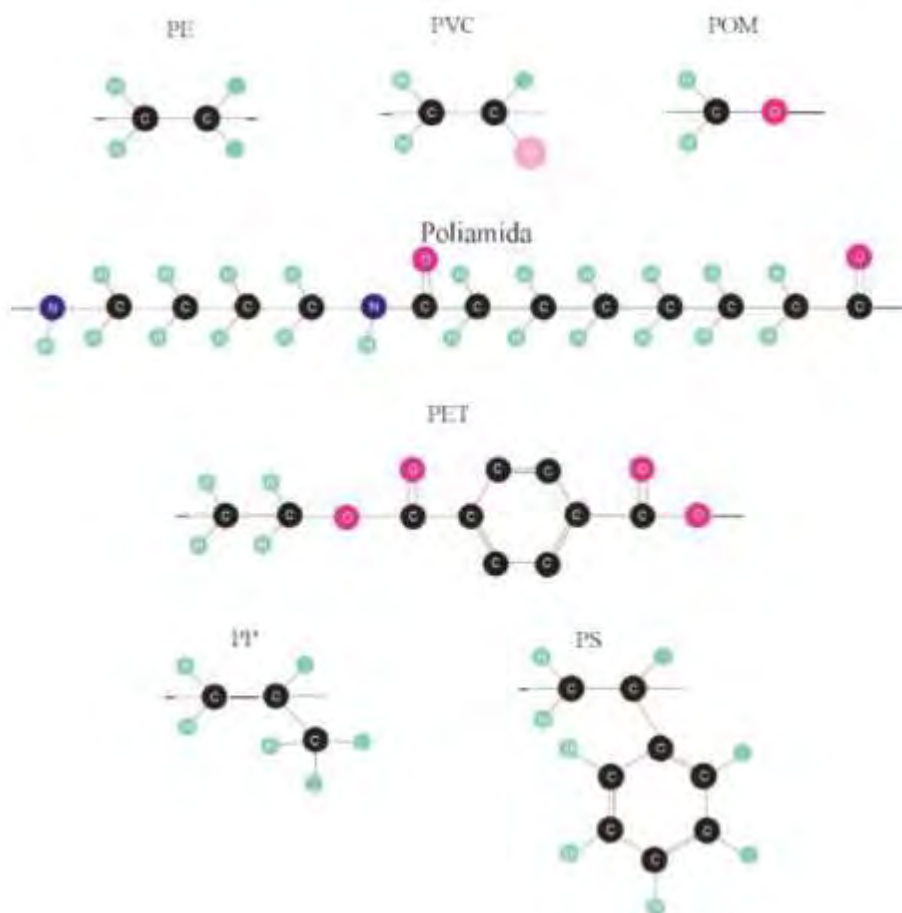


FIGURA. 2. 51. Estructura de diferentes polímeros.

Fuente: <http://iq.ua.es/TPO/Tema1.pdf> [21]. (consulta: 19/09/2018)

2.7.7.1.1. Estructuras De Termoplásticos.

La naturaleza química de los monómeros, su masa molecular y otras propiedades físicas, así como la estructura que presentan, determinan diferentes características para cada polímero. Por ejemplo, si un polímero presentara entrecruzamientos, el material sería más difícil de fundir que si no los tuviera.

2.7.7.1.1.1. Peso molecular

Los termoplásticos están formados por cadenas de polímero de muy diferentes longitudes, cada una de las cuales tiene su propio peso molecular y grado de polimerización. De este modo, se debería hablar de un peso molecular medio cuando nos referimos a la masa molecular de un material termoplástico.

El peso molecular medio puede establecerse promediando según la cantidad de cadenas n_i con un dado peso molecular M_i , o según el peso de esas cadenas, $n_i M_i$. En el primer caso estaremos determinando el peso molecular promedio en

$$\bar{M}_n = \frac{\sum n_i M_i}{\sum n_i} \quad \text{número: [6]}$$

Mientras que si consideramos los pesos de las cadenas dentro de un dado rango de pesos moleculares entonces se trata del peso molecular promedio en peso:

$$\bar{M}_w = \frac{\sum n_i M_i^2}{\sum n_i M_i} \quad [6]$$

2.7.7.1.1.2. Tacticidad

Un polímero con tacticidad o estereo-química regular puede definirse como aquel en que los grupos funcionales se encuentran orientados en forma regular en el espacio.

La estructura de la figura muestra un polímero de este tipo con el grupo funcional CH_3 en formación regular. El átomo de carbono en el cual se encuentra el CH_3 es asimétrico, es decir, tiene cuatro grupos distintos unidos a él. Hacía tiempo que se sabía que los polímeros podían tener átomos de carbono asimétricos, pero Natta fue el primer investigador que sintetizó un polímero de este tipo en el cual todos los átomos de carbono asimétricos tuviesen la misma orientación. Se dice que este polímero es isotáctico porque todos los grupos funcionales se encuentran colocados de manera semejante. [6]

En la figura de la derecha se muestra otro tipo de estereo-regularidad en el cual los grupos funcionales se encuentran orientados alternativamente hacia adelante y hacia atrás de la cadena de carbono. Se dice que estos polímeros son sindiotácticos. Las bajas temperaturas tienden a favorecer la formación de estructuras sindiotácticas. [6]

Los polímeros irregulares convencionales se denominan atácticos y sus grupos funcionales están dispuestos al azar. [6]

2.7.4.1.1.3. Ramificación.

Las ramificaciones de las cadenas poliméricas también afectan las propiedades de los polímeros. Las ramificaciones largas pueden incrementar la resistencia, tenacidad y la T_g debido al aumento en el número de entrecruzamientos por cadena. Las ramificaciones cortas y aleatorias, en cambio, pueden reducir la resistencia de los polímeros debido a la perturbación en la organización estructural. En efecto, las cadenas cortas al igual que los grupos funcionales grandes reducen la posibilidad de cristalización; esta reducción trae aparejado un aumento en la transparencia debido a que en las regiones cristalinas se dispersa la luz. [6]

El polietileno constituye un buen ejemplo de los cambios físicos debidos a la ramificación de cadenas. El polietileno de alta densidad (PEAD, o su sigla en inglés HDPE) con un bajo grado de ramificaciones es bastante resistente mientras que el de baja densidad (PEBD, o su sigla en inglés LDPE) con gran cantidad de ramificaciones es bastante flexible. [6]

2.7.7.1.1.4. Entrecruzamientos.

Se puede impedir la deformación plástica de los elastómeros y a la vez mantener una gran deformación elástica si se introducen enlaces químicos entre las cadenas, a los que denominaremos entrecruzamientos⁷. Por ejemplo, en la vulcanización el entrecruzamiento químico se realiza con azufre, pero existen otras tecnologías como los sistemas basados en peróxidos. Se suelen usar combinadamente con agentes aceleradores y retardadores. [6]

El azufre es un material con singulares propiedades. En determinadas circunstancias, formará cadenas de sus propios átomos; el proceso de vulcanización hace uso de este fenómeno. A lo largo de la molécula del caucho, hay un número de sitios que son atractivos para los átomos de azufre, son los llamados sitios de cura caracterizados por el doble enlace de carbono. En cada sitio de cura, un átomo de azufre se puede unir a sí mismo, y a partir de allí la cadena de átomos de azufre puede crecer hasta que alcance el sitio de cura de otra molécula. Estos puentes de azufre son usualmente de 2 a 10 átomos de largo, en contraste con los polímeros más comunes en los que la "columna vertebral" de carbonos puede ser varios miles de veces de larga. [6]

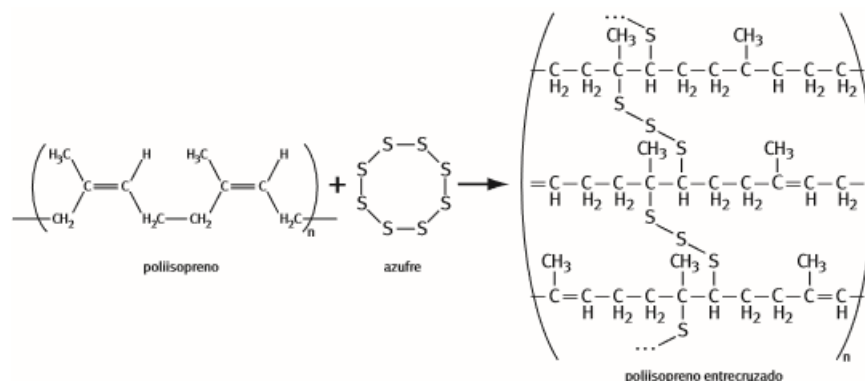


FIGURA. 2. 52. Los entrecruzamientos tienden a incrementar la temperatura de transición vítrea.

Fuente: http://www.inet.edu.ar/wp-content/uploads/2012/11/09_Polimeros.pdf [6] (consulta: 19/09/2018)

Nota: Los entrecruzamientos tienden a incrementar la temperatura de transición vítrea, la resistencia a la tracción y la tenacidad de los elastómeros. Por ejemplo, las gomas empleadas en los neumáticos tienen un alto grado de vulcanización a fin de reducir la pérdida de aire, aumentar su tenacidad y duración. La goma de borrar, en cambio, no presenta entrecruzamientos para permitir que se desprendan pedacitos con la fricción realizada al borrar, sin romper el papel.

2.7.7.1.1.5. La vulcanización.

La mayoría de los libros de texto dicen que Charles Goodyear fue el primero en usar azufre para vulcanizar el caucho. Dependiendo del lector, la historia de Goodyear es de pura suerte o de una cuidadosa investigación.

Goodyear clamó que le correspondía el descubrimiento de la vulcanización basada en azufre en 1839, pero no patentó su invento hasta el 5 de julio de 1843, y no escribió la historia de su descubrimiento hasta 1853 en su libro autobiográfico, Gum-Elastica. Mientras tanto, Thomas Hancock (1786-1865), un científico e ingeniero, patentó el proceso en el Reino Unido el 21 de noviembre de 1843, ocho semanas antes que Goodyear ejerciera su propia patente en el Reino

Unido. La Goodyear Tire And Rubber Company adoptó el nombre de Goodyear por sus actividades en la industria del caucho, pero no tenía ninguna otra relación con Charles Goodyear y su familia.

Aquí está el relato de Goodyear sobre su invención, tomada de Gum-Elastica. Aunque el libro es una autobiografía, Goodyear eligió escribirlo en tercera persona, así que 'el inventor' y 'él' se refieren en el texto al autor. Así nos cuenta... El inventor hizo muchos experimentos para verificar los efectos del calor en el mismo compuesto que se había descompuesto en las bolsas de correo y otros artículos. Él se sorprendió al encontrar que el espécimen, siendo descuidadamente puesto en contacto con una estufa caliente, se achicharraba como el cuero.

Goodyear intentó llamar la atención de su hermano y otros trabajadores en la planta, familiarizados con el comportamiento del caucho disuelto; Goodyear afirma que intentó decirles que el caucho se derretiría cuando se calentaba excesivamente, pero ellos lo siguieron ignorando.

Goodyear infirió directamente que, si el proceso de achicharramiento podía ser detenido en el punto correcto, podría hacer que el caucho se librara de sus adhesivos nativos, lo que implicaría una mejora sustancial sobre la goma nativa. Se convenció más de la validez de su intuición al descubrir que el caucho de la India no podía derretirse en azufre hirviendo ya que siempre se achicharraba. Aumentó su entusiasmo por lograr el resultado deseado, cuando sobre el borde de una porción achicharrada de goma aparecía una línea que no estaba achicharrada, sino perfectamente curada. Así lo describe... Cuando se cercioraba de que había encontrado el objeto de su búsqueda y mucho más, y que la nueva sustancia era resistente al frío y al solvente de la goma nativa, él se sintió ampliamente recompensado por el pasado y bastante indiferente a las pruebas del futuro. [21]

2.7.7.2. Estructura física.

2.7.7.2.1. Estado amorfo y estado cristalino.

Los términos cristalino y amorfo se utilizan normalmente para indicar las regiones ordenadas y desordenadas de los polímeros, respectivamente. La Figura. 2.52. muestra un esquema de un sistema amorfo, uno semicristalino y otro cristalino. En estado sólido algunos polímeros son completamente amorfos, otros son semicristalinos y, dependiendo de las condiciones de cristalización, un polímero con capacidad de cristalizar puede ser amorfo o semicristalino. Con frecuencia se utiliza el término cristalino en lugar de semicristalino, aunque ningún polímero es completamente cristalino.

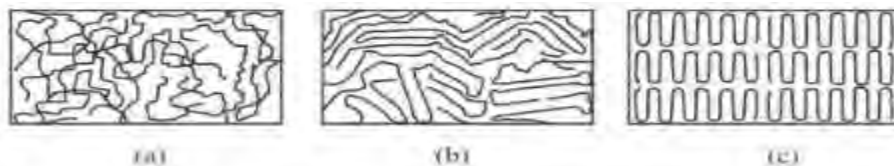


FIGURA. 2. 53. Sistemas amorfos (a), semicristalino (b) y cristalino (c).

Fuente: <http://iq.ua.es/TPO/Tema1.pdf> [21](consulta: 19/09/2018)

2.7.7.2.1.1. Polímeros amorfos.

Comencemos considerando la solidificación y el enfriamiento lento de un polímero amorfo. En el estado líquido, el material puede fluir dentro de un molde ya que si bien las cadenas que lo

constituyen están enredadas pueden deslizarse unas sobre otras; podríamos imaginarlas como una gran maraña de hilos con gran movilidad.

A medida que la temperatura desciende se produce una paulatina disminución del volumen específico de la muestra. El líquido con gran fluidez cambia a un estado de líquido sub-enfriado, que no fluye pero que no llega a ser un sólido y que se comporta similar a un elastómero. Si sigue descendiendo la temperatura se produce un cambio en la pendiente de la curva de volumen específico en función de la temperatura, tal como se muestra en la figura. La temperatura a la que tiene lugar el cambio de pendiente se la llama temperatura de transición vítrea T_g ya que por debajo de esta temperatura el polímero se vuelve duro y frágil y se comporta de modo parecido a un vidrio, ya que la movilidad de las cadenas es muy restringida. [6]



FIGURA. 2. 54. Gráfica Volumen específico vs. Temperatura.

Fuente: http://www.inet.edu.ar/wp-content/uploads/2012/11/09_Polimeros.pdf [6] (consulta: 19/09/2018)

2.7.7.2.1.2. Polímeros semicristalinos

Cuando el material semicristalino se enfría desde su estado líquido, se produce un repentino descenso de su volumen específico, como se indica arriba en la figura. Esta disminución se origina en un mayor empaquetamiento de las cadenas poliméricas, que se ordenan bajo la acción de fuerzas secundarias. A medida que el enfriamiento continúa también se reduce la movilidad de las cadenas que no integran los cristales, es decir, se manifiesta la transición vítrea en la región amorfa. El cambio de pendiente en la curva del volumen específico debida a esta transición será apreciable si la fracción amorfa de la muestra es significativa.

La morfología de las cadenas de un polímero semicristalino puede esquematizarse como se ilustra en la figura. Algunos segmentos de cadena plegadas sobre sí mismas o de cadenas que se aproximan lo suficiente como para dar lugar a la acción de fuerzas de van der Waals forman pequeñas regiones ordenadas. Si miramos más de cerca estas regiones (con microscopía electrónica de transmisión, por ejemplo) veremos que la longitud de los pliegues es de aproximadamente 10 nm. Cada una de las capas sencillas en que se organiza la estructura de las cadenas plegadas se denomina laminilla o lamela. Cuando solidifica el material las lamelas suelen crecer alrededor de un núcleo tomando una forma esferoidal denominada esferulita. La esferulita consiste en un agregado de lamelas, dispuestas en forma radial como se muestra en el siguiente esquema.

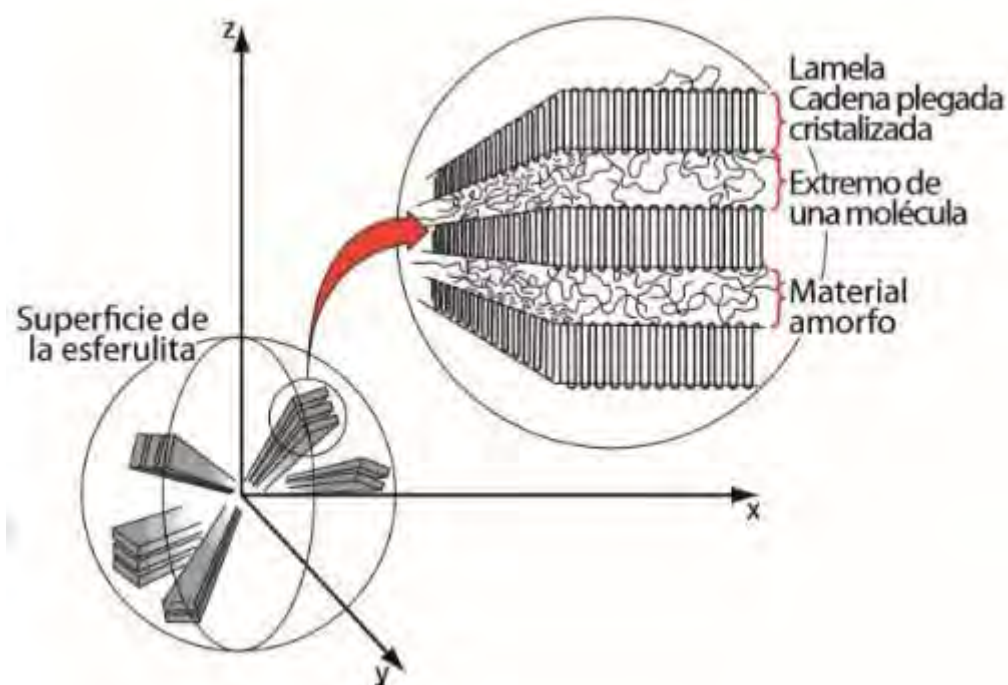


FIGURA. 2. 55. Estructura de la cristalina.

Fuente: http://www.inet.edu.ar/wp-content/uploads/2012/11/09_Polimeros.pdf [6] (consulta: 19/09/2018)

Se destaca que las lamelas están separadas por material amorfo. Los extremos de las moléculas que actúan como lazos conectores entre lamelas adyacentes, pasan a través de esta región amorfa. A medida que termina la cristalización de la estructura esferulítica, los extremos de las esferulitas adyacentes impactan sobre unos sobre otros, aplanando sus bordes y distorsionando su configuración esférica, fenómeno conocido como teselación. [6]

2.7.7.2.1.3. Polímeros cristalinos.

Los polímeros con capacidad de cristalizar son aquellos cuyas moléculas son química y geoméricamente regulares en su estructura. Las irregularidades ocasionales, tales como las ramificaciones de la cadena, o la copolimerización de una pequeña cantidad de otro monómero limitan el alcance de la cristalización, pero no evitan que ocurra. Por el contrario, los polímeros no cristalinos típicos son aquellos en los que existe una clara irregularidad en la estructura: polímeros ramificados, polímeros atácticos y copolímeros con cantidades significativas de dos o más constituyentes monoméricos bastante diferentes. [21]

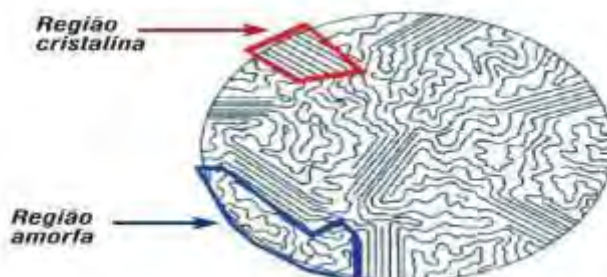


FIGURA. 2. 56. Estructura del idealizada del polímero cristalino.

Fuente: <https://www.plastico.com.br/18114/2/> (Consulta: 11/10/18)

2.7.8. Geopolímeros.

El descubrimiento de una nueva clase de materiales inorgánicos, geopolymer resinas, aglutinantes, cemento y Hormigones, dado lugar a gran interés científico y caleidoscópico desarrollo de aplicaciones. A partir de la primera industrial los esfuerzos de investigación en 1972 en el cordi-géopolymère, laboratorio privado de investigación, Saint-Quentin, Francia, hasta el final 2013, cientos de los documentos y patentes se publicaron hacer frente a geopolymer ciencia y tecnología. [24]

Los geopolímeros se obtienen a partir de la mezcla en óptimas proporciones de un mineral basado en SiO_2 y Al_2O_3 (precursor) con un agente químico (activador alcalino), el cual promueve una serie de reacciones que conducen a la formación de un producto con características cementantes. Uno de los precursores ampliamente utilizados en este tipo de tecnología son las arcillas caoliníticas tratadas térmicamente, las cuales presentan una elevada reactividad como consecuencia de su naturaleza vítrea de acuerdo a Davidovits, en 1991. [25]

Los activadores son por lo general soluciones altamente alcalinas, constituidas por NaOH o KOH donde el tipo de ión alcalino tiene un efecto sobre las características y propiedades finales del producto obtenido. El NaOH es el más utilizado como activador debido a que es el hidróxido alcalino con mayor disponibilidad comercial y uno de los más económicos. No obstante, la utilización de K^+ como ion alcalino ha tenido cierto interés debido a que el tamaño del catión podría contribuir a la mayor disolución del precursor y con ello a un mejoramiento en las propiedades reológicas de la mezcla en estado fresco, la obtención de un elevado desempeño mecánico, así como una mayor estabilidad térmica con temperaturas de fusión hasta de 1400°C . El K^+ puede conducir a un mayor grado de condensación comparado con el Na^+ cuando se suministra en las mismas condiciones. Sin embargo, en la literatura existe cierta controversia en relación con qué tipo de ión alcalino exhibe el mejor desempeño para la obtención de materiales con resistencias mecánicas más elevadas. Sin embargo, en la literatura existe cierta controversia en relación con qué tipo de ión alcalino exhibe el mejor desempeño para la obtención de materiales con resistencias mecánicas más elevadas. [25]

El producto final obtenido después de la activación es un gel de aluminosilicato alcalino (N-A-S-H) con estructuras tipo $\text{Q}^4(\text{mAl})$, con $m = 1, 2$ o 3 . Como producto secundario se ha identificado la presencia de diferentes estructuras de naturaleza zeolítica de bajo orden estructural. El grado de

cristalinidad y tipo de estructura zeolítica depende del tipo de activación (concentración, naturaleza y tipo del activador alcalino), tipo de precursor y las condiciones de curado (tiempo y temperatura). La incorporación de silicatos solubles en el activador alcalino, mediante la utilización de soluciones de silicato de sodio ($\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) o silicato de potasio ($\text{K}_2\text{SiO}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) contribuyen significativamente con la cinética de las reacciones durante la activación, el desempeño mecánico a tempranas edades y sobre las características. No obstante, se han empleado fuentes alternativas de sílice, provenientes de desechos y/o subproductos industriales, tales como cenizas de cascarilla de arroz, humo de sílice y micro sílice las cuales se modifican químicamente con soluciones de hidróxido para obtener activadores alcalinos con la presencia de SiO_2 disuelta. La producción de activadores alcalinos con la presencia de estas fuentes de SiO_2 , además de otorgarles un valor agregado a estos subproductos, permite obtener materiales con desempeños mecánicos similares a los geopolímeros producidos con soluciones de silicatos solubles comerciales, contribuyendo a la mayor sostenibilidad ambiental de los geopolímeros, debido a que las soluciones tradicionales de silicatos solubles involucran en su producción una elevada demanda energética (temperaturas cercanas a los 1400°C) y la emisión de gases invernadero, evaluó la utilización de ceniza de cascarilla de arroz (RHA) como fuente adicional de silicatos solubles en sistemas geopoliméricos basados en MK y reportó un desempeño mecánico ligeramente inferior frente a los materiales producidos con silicatos de sodio comercial; esto se atribuye a una menor disponibilidad de Si durante la activación como consecuencia de una menor reactividad de la RHA utilizada, lo cual influye en la cinética de formación del gel N-A-S-H.

La producción de geopolímeros involucra la utilización de temperaturas inferiores a los 100°C nos menciona Davidovits, en el 2002, lo cual presenta una ventaja a nivel técnico y económico en comparación con las cerámicas tradicionales que se utilizan actualmente en diversas aplicaciones en la ingeniería. Adicionalmente, los geopolímeros se caracterizan por exhibir una estabilidad térmica elevada, pueden conservar su integridad y propiedades mecánicas incluso a temperaturas de 800°C . Algunos autores, afirman que la exposición a temperaturas más altas (1200°C) conduce a un proceso de densificación estructural y con ello el incremento de la resistencia mecánica de hasta en 30%. Las propiedades especiales como la no combustibilidad brindan un gran panorama para su utilización potencial como materiales en aplicaciones de alta tecnología.

de que el mismo simple hidrotermales feldespatoides y las zeolitas. Por lo tanto, fenol y formaldehído poli- condiciones rige la síntesis de

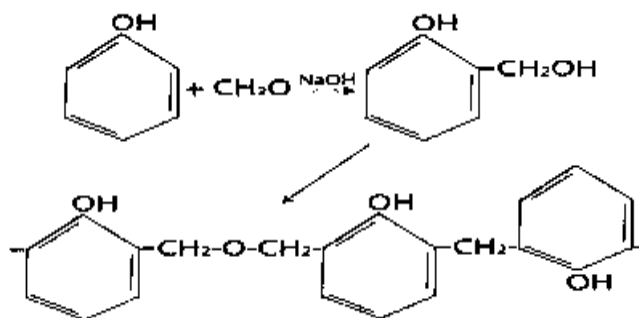


FIGURA. 2. 57. fenoplasto poli-condensación entre fenol y formaldehído, en álcali medio.
Fuente: https://www.researchgate.net/publication/265076752_Geopolymer_Chemistry_and_Applications [24]
(consulta: 19/09/2018)

algunos orgánicos plásticos en álcali medio, así como mineral condense en la famosa baquelita inventado por " Bakeland al comienzo del siglo XX no de los más antiguos hecho por el hombre de plástico. [24]

Por otro lado, la aluminosilicato caolinita reacciona con NaOH al 100-150 ° C y se policondensa en hidratado refresco lite (a tectoaluminosilicate, un feldspatide), o Hidrocodona.

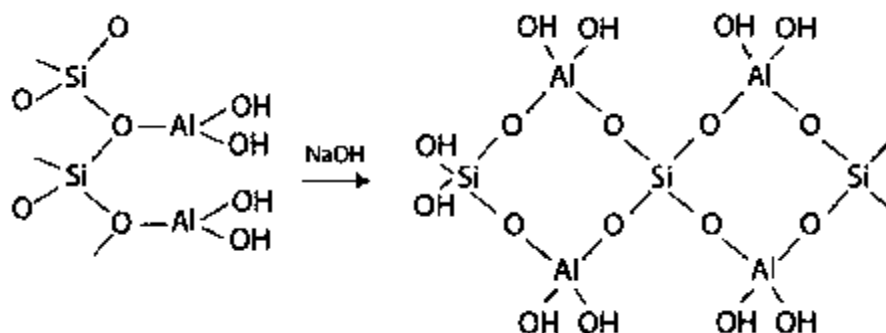


FIGURA. 2. 58. Policondensación de caolinita Si_2O_5 , $\text{Al}_2(\text{OH})_4$ en álcali medio.

Fuente: https://www.researchgate.net/publication/265076752_Geopolymer_Chemistry_and_Applications [24] consulta: 19/09/2018)

En el estudio de la ciencia y la patente de la literatura que cubre la síntesis de la zeolita y tamices moleculares " esencialmente en forma de polvo ", se hizo evidente que esta geoquímica tenido hasta ahora no se han investigado para la producción de carpetas mineral y polímeros minerales. [24]

Las primeras aplicaciones de productos para la construcción desarrollado en 1973- 1976, tales como resistentes al fuego, chip pensión paneles, compuesto por núcleo de madera ante dos Geopolímeros nanocomposición revestimientos, en el que todo el panel fue fabricado en una de un paso del proceso, menciona Davidovits, en el año 1973. Nos moldea " el proceso de siliface ". Una inusual característica se observó que caracterizan el proceso de fabricación: por primera vez, el endurecimiento de materia Orgánica (virutas de madera y resina orgánica sobre la base de urea-formaldehído aminoplasto) se produjo simultáneamente con el ajuste de los minerales silico-aluminato (Na-Poli (sialate) / cuarzo nanocompuesto), cuando la aplicación de la misma termoendurecible parámetros como para orgánicos resina: 150-180 ° C temperatura reitera Davidovits, en 1976. [24]

2.7.9. Polímeros naturales.

Son aquellos que se producen debido a las reacciones bioquímicas naturales en animales y plantas son polímeros que muchas veces no tienen una sola composición química bien definida pues están constituidos principalmente por varios tipos de polisacáridos (almidón celulosa glucósidos etcétera) y proteínas caseína, olieratina, gelatina, etcétera) algunos de ellos contienen propiedades coagulantes y floculantes en muchos lugares son usados en forma empírica por los nativos para aclarar el agua como en el caso del mucilago de la penca de la tuna (que se emplea en México y en la sierra del Perú) o de las semillas del nirmali (qué se emplea en la India) para el aprovechamiento de estos polímeros es necesario extraer los o separar los del resto de la materia prima. [26]



FIGURA. 2. 59. Ejemplos de polímeros naturales más comunes, encontrados cotidiana.

Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=vYxdCYBq-6Q> (consulta: 29/09/2018)

De entre los polímeros naturales resaltaremos un polisacárido llamado almidón debido a que fue encontrada su aplicación en muestras tomadas en la muralla China, conociendo a detalle este compuesto.

2.7.9.1. Almidón:

El almidón es un componente con un amplio campo de aplicaciones que van desde la impartición de textura y consistencia en alimentos hasta la manufactura de papel, adhesivos y empaques biodegradables. [23]

Está formado por una mezcla de dos polímeros, amilosa y amilopectina. La amilosa es una molécula lineal y la amilopectina es una molécula ramificada. Los almidones más comunes contienen alrededor del 25% de amilosa y 75% de amilopectina. El 75% de los polímeros de almidón se utilizan para la fabricación de envases y embalajes. El 50% de ellos están constituidos por mezclas de almidón con otros polímeros basados en petroquímica. Estas mezclas se utilizan para fabricar láminas y películas de alta calidad para embalaje. Schroeter y colaboradores estudiaron el efecto del almidón como relleno en sistemas de poli-caprolactona. El módulo de elasticidad del sistema policaprolactona/almidón se incrementó con el aumento del contenido de almidón. [22]

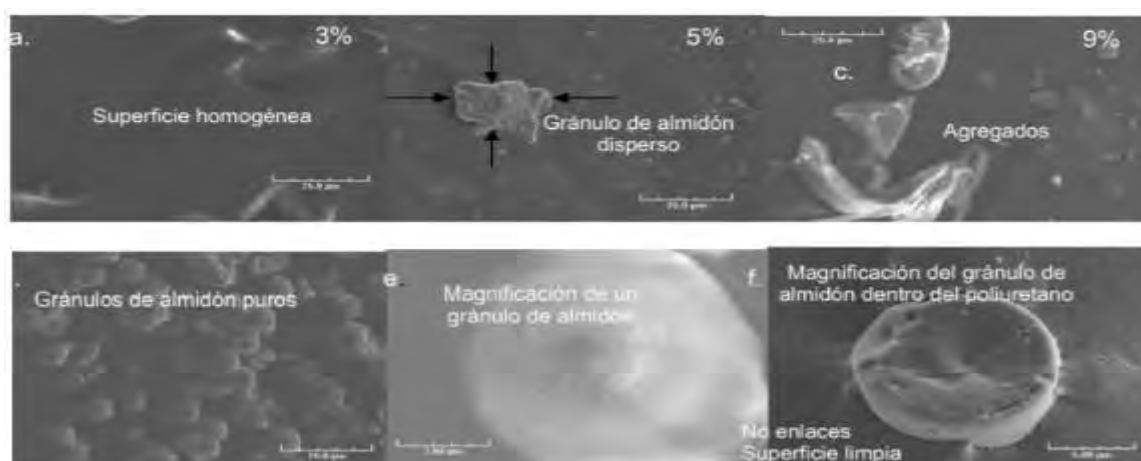


FIGURA. 2. 60. Microfotografías del poliuretano a partir de la suspensión aceite-almidón que contienen un porcentaje de almidón.

Fuente: <http://www.reviberpol.iibcaudo.com.ve/pdf/JUL07/valero.pdf> (consulta: 24/09/2018)

Nota: a) 3%, b) 5% y c) 9% (relación NCO/OH = 1 constante). Las microfotografías siguientes corresponden d) al grano de almidón puro, e) magnificación del gránulo de almidón puro y f) magnificación del gránulo de almidón dentro de la matriz de poliuretano.

El almidón también ha sido utilizado como agente reforzante en elastómeros de poliuretano (PU). Desai y colaboradores utilizaron el almidón como agente entrecruzante en elastómeros de poliuretano. Seung-Kyu incorporó gránulos de almidón en un sistema de poliuretano. En dichos trabajos, se adicionó almidón de yuca al aceite de hígado de bacalao y polioles derivados, con el fin de incrementar la funcionalidad del aceite mediante la incorporación de gránulos de almidón de yuca debido a los grupos hidroxilo presentes en la estructura del almidón. Se determinó que el principal efecto del almidón es reforzante. Se identificó la separación de fases entre el gránulo de almidón y la matriz de poliuretano. Se destaca que en este trabajo se logró cuantificar el efecto reforzante del almidón en función de la suspensión utilizada en la síntesis del PU: la adición de almidón incrementa el esfuerzo de ruptura y el módulo de elasticidad del material, resultado del entrecruzamiento físico formado por los enlaces de hidrógeno (a través de los grupos hidroxilo presentes en el almidón). El efecto reforzante del almidón disminuye con la formación de agregados. [22]

Esta molécula no es soluble en agua, pero puede formar micelas hidratadas por su capacidad para enlazar moléculas vecinas por puentes de hidrógeno y generar una estructura helicoidal que es capaz de desarrollar un color azul por la formación de un complejo con el yodo. [23]

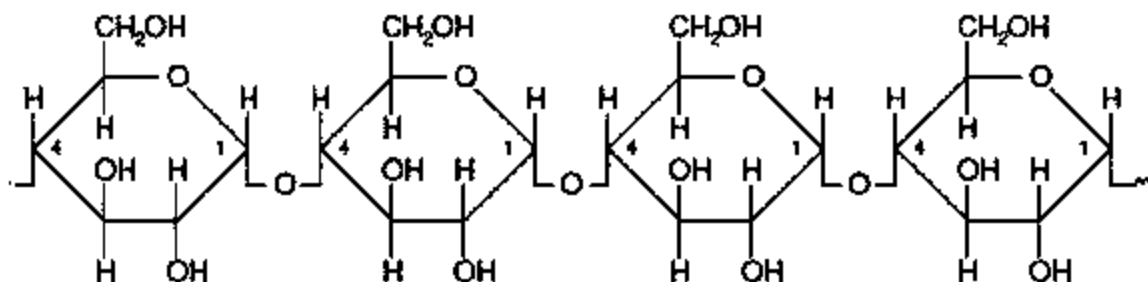


FIGURA. 2. 61. Estructura química de la amilosa.

Fuente: [23](consulta 25/09/2018)

Mientras que la amilopectina es un polímero ramificado de unidades de glucosa unidas en un 94-96% por enlaces α (1-4) y en un 4-6% con uniones α (1-6). Dichas ramificaciones se localizan aproximadamente a cada 15-25 unidades de glucosa. La amilopectina es parcialmente soluble en agua caliente y en presencia de yodo produce un color rojizo violeta. [23]

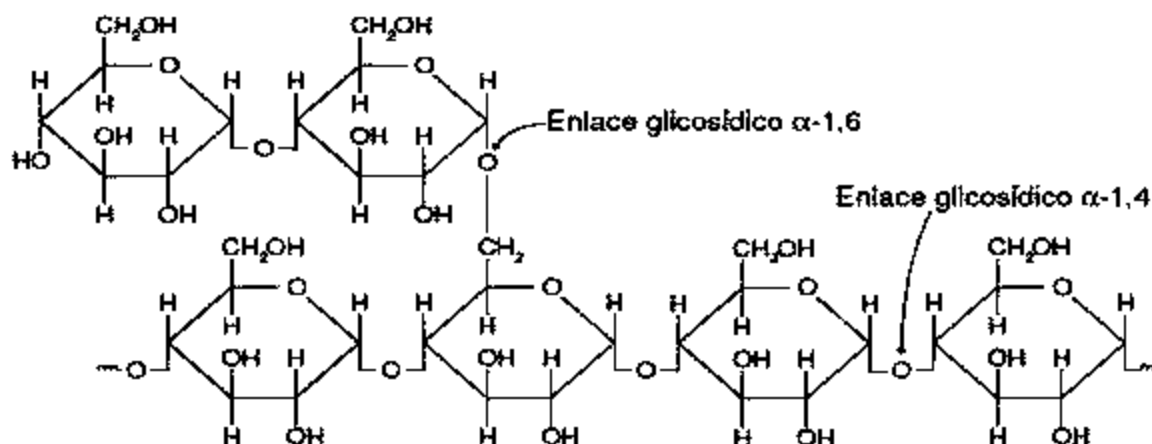


FIGURA. 2. 62. Estructura química de la amilopectina.

Fuente: [23] (consulta 25/09/2018)

En conclusión, el almidón es un polímero con alto potencial de utilización en la síntesis de materiales biodegradables. Sin embargo, su uso tiene limitaciones debido a su baja resistencia a la humedad, baja procesabilidad e incompatibilidad con algunos polímeros hidrofóbicos. Por consiguiente, se han investigado estrategias para superar estas limitaciones incluyendo la modificación de la estructura del almidón, mezclas con otros polímeros biodegradables, uso de compatibilizador para mejorar la adhesión interfacial entre el almidón y el polímero y la adición de fibras o arcillas reforzantes. Diversos métodos se han desarrollado para lograr modificar el almidón, por ejemplo, la modificación química del almidón por glucosilación y posterior transesterificación con el aceite de higuera original y modificado para obtener los denominados poliol-glucósidos. El glucósido obtenido reaccionó por transesterificación con el aceite de higuera y el aceite modificado. Esta ruta surgió como búsqueda de una alternativa para un mejor aprovechamiento de los grupos hidroxilo del almidón. Como resultado, se comprobó que los elastómeros de poliuretano obtenidos a partir de los poliol-glucósidos e IPDI presentan mejores propiedades físico-mecánicas, físico-químicas y térmicas que los materiales homólogos preparados a partir de polioles con almidón sin modificar. Se destaca el haber encontrado materiales con altas propiedades mecánicas a partir de los poliol-glucósidos, comparables con materiales tradicionales de ingeniería como el poliestireno de alto impacto. Premisa importante: los biopolímeros pueden ser obtenidos a bajo costo con excelentes propiedades mecánicas.

Otra alternativa evaluada fue la modificación química del almidón por reacción de acilación con anhídrido propiónico, para posteriormente mezclarlo con el aceite de higuera. El objetivo de la modificación fue sustituir los hidrógenos presentes en los grupos hidroxilo de la molécula de la amilosa por uno de los grupos propionil del anhídrido propiónico en la reacción de acilación. Los elastómeros de PU obtenidos de las suspensiones aceite-almidón modificado con anhídrido

propiónico (AMP) poseen un mayor esfuerzo último, una mayor dureza y una menor elongación de ruptura que los materiales homólogos obtenidos a partir de suspensiones aceite-almidón. Estas propiedades obedecieron a una mayor adhesión interfacial presente entre los gránulos de AMP (fase dispersa) y la matriz de PU (fase continua), debido a que las fuerzas de atracción (relacionada con la polaridad de las moléculas) son mayores entre el PU y el AMP que para PU y almidón original, bajo las condiciones de síntesis teniendo la misma relación NCO/OH e igual porcentaje de agente modificador.

El almidón termoplástico (TPS) es esencialmente almidón modificado por la adición de plastificantes y procesado bajo condiciones de presión y calor hasta destruir completamente la estructura cristalina del almidón y formar un almidón termoplástico amorfo. Frente a los polímeros plásticos corrientes, el almidón termoplástico presenta desventajas tales como: su solubilidad en agua, alta higroscopicidad, envejecimiento rápido debido a la retrogradación y bajas propiedades mecánicas, lo cual limita algunas aplicaciones tales como empaque. Estos problemas se han reducido cuando se incorporan en la matriz termoplástica rellenos naturales como fibras celulósicas que sirven como material de refuerzo para mejorar las propiedades mecánicas. [22]

De la misma manera entre los polímeros naturales, existen los polímeros como las proteínas los polisacáridos, que estos cumplen con funciones biológicas de suma importancia para los seres vivos por esta razón se denomina biopolímeros, y serán descritos a continuación.

2.7.10. Biopolímeros.

Los biopolímeros están en el centro de atención científico, su producción y uso aumenta continuamente a una tasa muy alta. Sin embargo, como se describe en la parte introductoria de esta tesis, están rodeados de mucha controversia e incluso los términos utilizados en el área necesitan más aclaraciones. Los propios biopolímeros, tanto los polímeros naturales como los plásticos producidos a partir de materia prima natural por rutas sintéticas, a menudo tienen propiedades inferiores en comparación con los polímeros básicos. La modificación es una forma de mejorar las propiedades y lograr combinaciones de propiedades requeridas para aplicaciones específicas. Las incorporaciones de los rellenos minerales pueden aumentar la rigidez y la resistencia, mientras que la mezcla es otro enfoque conveniente aplicado principalmente para mejorar la resistencia al impacto de la fragilidad intrínseca polímeros, y poli (ácido láctico) en particular [27]. Se necesitan más estudios sobre la miscibilidad de las relaciones entre la estructura y la propiedad de estos materiales para utilizar todos los potenciales de la mezcla.

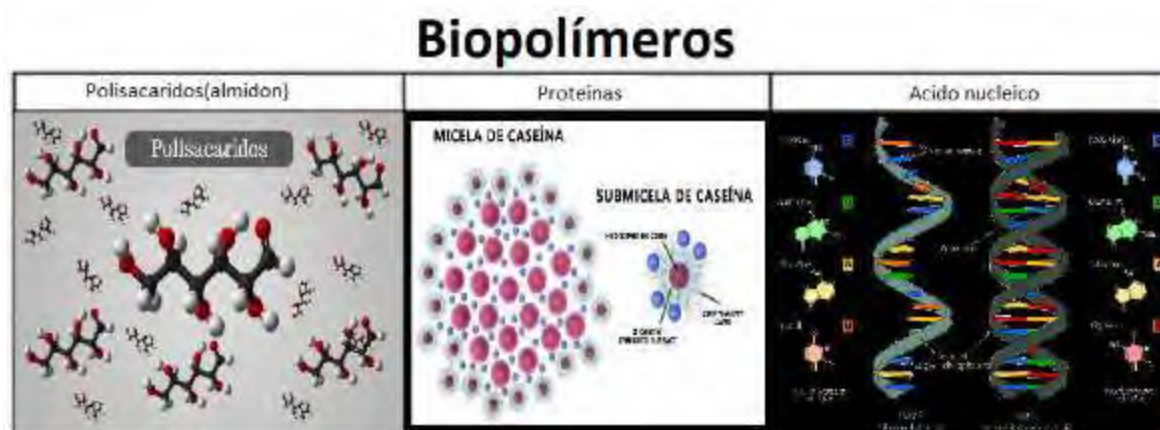


FIGURA. 2. 63. Ejemplos de biopolímeros naturales más comunes, en estructura.

Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=vYxdCYBq-6Q> (consulta: 29/09/2018)

La creciente conciencia ambiental de la sociedad se ha convertido en un factor importante en las últimas décadas que afecta a la legislación, el comercio y la industria, así como investigación y desarrollo en gran medida. La misma tendencia se puede observar en la industria de polímeros también, ya que la producción y el uso de biopolímeros aumentan continuamente con una tasa muy alta, por lo que toda la información sobre estos materiales es muy importante.

Estos a menudo tienen propiedades inferiores en comparación con los polímeros básicos. La modificación es una forma de mejorar las propiedades y lograr combinaciones de propiedades requeridas para aplicaciones específicas. Una técnica es la incorporación de rellenos y refuerzos, proporcionando así varios biocompuestos. La mayoría de los estudios se centran en el uso potencial de los recursos naturales fibras lignocelulósicas, es decir, harina de madera, sisal, lino, en el caso de esta investigación el almidón natural procedente del arroz, propiamente el de la harina de arroz.

Las interacciones interfaciales desempeñan un papel crucial en la determinación de las propiedades compuestas, afectan la estructura y los procesos de deformación micromecánica en gran medida, por lo que la investigación y la modificación de estos como ya fue mencionado se encuentran en el foco del interés científico.

Los biopolímeros también pueden modificarse por mezcla, lo que permite una considerable mejora en la resistencia al impacto de polímeros frágiles. Sin embargo, es un estudio adicional necesario en las relaciones de miscibilidad-estructura-propiedad de estos materiales para utilizar todo potenciales del enfoque. Si es posible, las interacciones son aún más importantes en las mezclas que en otros materiales poliméricos heterogéneos ya que determinan la solubilidad mutua de las fases, el espesor y las propiedades de la interfase formada durante la mezcla y la estructura de la mezcla. Como consecuencia, la caracterización adecuada, y posiblemente cuantitativa, de la interacción es de suma importancia para la predicción de la mezcla propiedades.

A pesar del carácter polar de los biopolímeros, a menudo se necesita compatibilización para lograr las propiedades requeridas para una aplicación específica. Diferentes estrategias incluyen varios enfoques reactivos y no reactivos. En el caso de métodos no reactivos, la mayoría de los compuestos anfífilos, como los copolímeros de bloque, se utilizan para la compatibilización de las mezclas, mientras que la modificación de la superficie del relleno es una forma común de alterar Adherencia interfacial en compuestos poliméricos. La estructura química de los biopolímeros, sin embargo, abre posibilidades a su modificación reactiva. Copolimerización, injerto, transesterificación, los usos de agentes de acoplamiento reactivos se han utilizado con éxito para lograr polímeros, mezclas y compuestos con propiedades mejoradas.

Siguiendo las tendencias internacionales en la ciencia de los polímeros y la industria, varios proyectos relacionados con los biopolímeros y otros materiales de base biológica se han iniciado en el Laboratorio en los últimos años, y nuestro objetivo es avanzar aún más en esta dirección. Esta tesis presenta un paso más en esta manera, centrándose en la interacción y la estructura en sistemas de biopolímeros heterogéneos como, así como su modificación por medios físicos y reactivos.

2.7.10.1. Definición y reseña de los biopolímeros.

Tras un leve descenso como resultado de la crisis financiera de 2008, la producción de plásticos aumenta continuamente, y en 2010, alcanzó el valor de 265 Mt mundial - ancho y 57 Mt en Europa. En el mismo año, convertidores de plásticos europeos procesados 46,4 millones de toneladas en productos, de los cuales aproximadamente el 40% tienen una vida útil corta aplicaciones, principalmente para propósitos de empaque, lo que resulta en 24.7 Mt de post-consumo desperdicio. No es sorprendente que las preocupaciones ambientales relacionadas también hayan aumentado en décadas recientes fortaleciendo los esfuerzos para reducir el efecto ecológico de los materiales poliméricos. En 2009, por primera vez en Europa, se superó la cantidad de residuos de plásticos utilizados la cantidad que va a los vertederos. Esta tendencia favorable continuó en el próximo año como bien con 6 Mt siendo reciclado en nuevos productos, 8.3 Mt convertidos en energía y 10.4 Mt depositado en vertederos [28]. Sin embargo, para el tratamiento de ciertas corrientes de desechos, la publicación resultó ser el método más ventajoso [29], por lo que los polímeros biodegradables y comparables también han encontrado aplicación en diversos campos.

El término "biopolímero" se usa de diferentes maneras dependiendo del área de aplicación. La definición generalmente aceptada abarca los polímeros que pertenecen a las categorías mencionadas anteriormente, es decir, son de base renovable, biodegradables o ambas.

Los polímeros naturales representan una clase específica de materiales entre polímeros basados en recursos naturales. Estos ocurren en la naturaleza como macromoléculas y también incluimos los polímeros naturales modificados fisiológicamente o químicamente en esta categoría. Ejemplos típicos son celulosa, hemicelulosas, lignina, seda y almidón. Otra clase de materiales consiste en los polímeros sintéticos de base natural o de base biológica, cuyos monómeros se derivan de recursos renovables. Las condiciones para la determinación del contenido biológico de materiales poliméricos se describen en la norma europea CEN / TS 16295: 2012.

El enfoque se basa en la cantidad de carbono de origen biológico como una fracción del contenido total de carbono. Detalles legislativos y protocolos exactos para la determinación, sin embargo, debe ser elaborado en el futuro. Poli (ácido láctico) (PLA), así como de base biológica polímeros convencionales como polietileno (PE), poli (tereftalato de etileno) (PET) y poliamida (PA) pertenecen a esta categoría, mientras que los poliésteres bacterianos pueden considerarse materiales como naturales, ya que el polímero es producido por bacterias fermentación, aunque en un proceso industrial. La biodegradabilidad, por otro lado, es independientemente de las categorías mencionadas anteriormente, los polímeros biodegradables no son necesariamente de origen natural.

En los polímeros biodegradables, por otro lado, la escisión de la cadena es causada por la célula (humanos, animales, hongos, etc.) actividad, por lo tanto, es un proceso enzimático, aunque es usualmente acompañado y promovido por fenómenos fisicoquímicos también. Los dos tipos de procesos, es decir, físicos y enzimáticos, no se pueden distinguir y/o separar en. En general, su efecto combinado conduce a la degradación completa del polímero.). La evaluación de laboratorio y las pruebas de la biodegradabilidad de los materiales poliméricos están bien definidos en las normas europeas (EN ISO 14851: 2004, EN ISO 14852: 2004, EN ISO 17556: 2004, EN ISO 14855-1: 2007 / AC: 2009, EN ISO 14855-2: 2009). Las pruebas se basan en la medición de la demanda de oxígeno o en la cantidad de dióxido de carbono que se desarrolló en el proceso. Vale la pena señalar que la mayoría de los poliésteres que contienen diversos agentes que promueven la

degradación (polímeros biodegradables) no puede considerarse biodegradable según los estándares mencionados encima. Aunque su fragmentación y desintegración podrían tener lugar, la degradación es nunca complete entre las condiciones de prueba que simulan ambientes naturales (suelo, agua, compost). El efecto ambiental de las fracciones residuales de alto peso molecular no se describe satisfactoriamente, y por lo tanto es motivo de grave preocupación. Consecuentemente, estos agentes podrían ayudar a resolver los problemas estéticos de la contaminación, pero no el problema básico que surge de la lenta degradación de polímeros sintéticos. El uso de tales los plásticos se habían generalizado y alentado en el pasado por una legislación imperfecta. Temprano los estándares (ASTM D3826 - 98 (2008)) determinaron una cierta disminución de la resistencia a la tracción como la condición de degradabilidad, que se puede lograr fácilmente mediante el uso de pro-oxidantes, por ejemplo, sin ninguna ventaja ambiental real.

A diferencia de la biodegradabilidad, la determinación de la compostabilidad se basa en un enfoque práctico. Compostable los materiales deben mostrar un alto grado de biodegradación y desintegración en una escala de tiempo limitada entre las condiciones de compostaje, sin ningún efecto dañino sobre el proceso de compostaje o la calidad del compost.

Además, los soportes correspondientes se refieren a la compostabilidad de todo el producto y no a los componentes, por lo tanto, varios factores, como el efecto de diferentes rellenos sobre la tasa de degradación de los biopolímeros debe considerarse aquí. Legislación apoyar productos de plástico con un impacto ambiental más ventajoso es más y más basado en la compostabilidad; un cambio favorable teniendo en cuenta que desde la práctica la degradabilidad del punto de vista solo es beneficiosa, si un producto también se composta. En un relleno de tierra, incluso la degradación de materiales naturales como el papel y el cartón tiende a ser muy lento. Por otro lado, la reciclabilidad física de los polímeros biodegradables es a menudo obstaculizado por la considerable disminución de peso molecular durante su estado de fusión reprocesamiento, Por ejemplo, poli (ácido láctico) y la mayoría de los poliésteres son propensos a transesterificación intermolecular e hidrólisis durante múltiples ciclos de procesamiento. La solvólisis controlada - hidrólisis o alcoholisis - de poliésteres, es decir, el reciclado químico, sin embargo, podría ser una forma conveniente de convertir desechos plásticos en valiosos monómeros y otros productos químicos de alimentación. En consecuencia, la biodegradabilidad y la comparabilidad no siempre son favorables, aunque pueden ser ventajosas y deben aplicarse para la gestión de ciertos residuos plásticos, p. de los envases de alimentos o agricultura. Sin embargo, se debe llamar la atención aquí sobre el hecho de que la recolección y la separación adecuada de las corrientes de desechos es una condición básica para su éxito tratamiento y utilización.

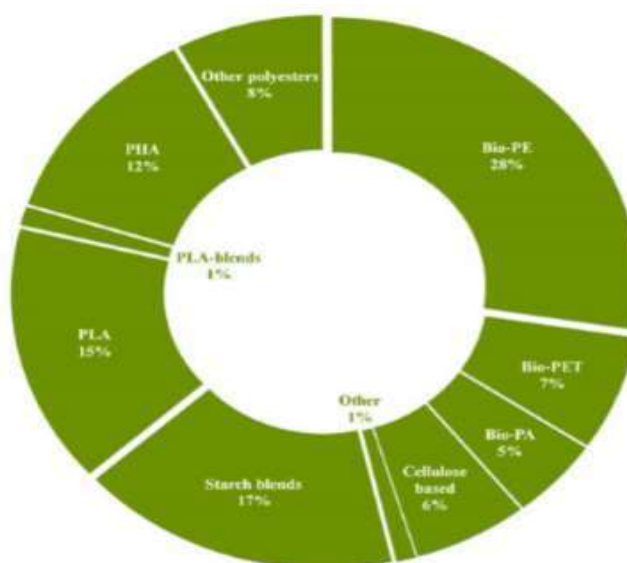


FIGURA. 2. 64. Capacidades mundiales de producción de biopolímeros en 2010 según el tipo de polímero.

Fuente: <https://repozitorium.omikk.bme.hu/bitstream/handle/10890/1298/ertekezes.pdf?sequence=1> [27] (consulta: 23/09/2018)

La capacidad de producción global de materiales biopoliméricos muestra dinámico crecimiento. Ambas preocupaciones ambientales y las tendencias del mercado respaldan esta tendencia, ya que, con el aumento de los precios del petróleo, los polímeros convencionales se volverán más y más sólidos. más caro. No es sorprendente que el reemplazo de materias primas fósiles por renovables es uno de los principales esfuerzos de la industria moderna de los plásticos. Las expectativas del consumidor no pueden descuidado tampoco, ya que muchos clientes toman en consideración el medio ambiente efecto de los productos que compran. La proporción de polímeros biodegradables en comparación con los tipos biodegradables no degradables también ha aumentado recientemente. Una de las razones por las cuales a esta tendencia podría ser los cambios considerables en la legislación relacionada con la compostable productos en los últimos años. Las predicciones a largo plazo, sin embargo, predicen el predominio de biopolímeros no degradables. La importancia relativa de los grados biodegradables y biodegradables en la producción de polímeros podría aumentar aún más en el futuro a medida que la producción la tecnología mejora y se vuelve más rentable. De acuerdo con varias estimaciones, solo un 4% de la biomasa mundial es utilizada por la humanidad, la mayoría para alimentos relacionados, mientras que solo una fracción para aplicaciones químicas y producción de plásticos indicando que existe un gran espacio para el aumento adicional de la capacidad aún. [27]

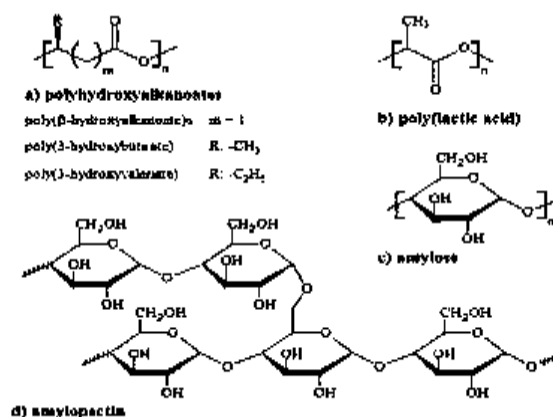


FIGURA. 2. 65. La estructura química de los biopolímeros más importantes: a) polihidroxialcanoatos; b) poli (ácido láctico); c, d) los componentes principales del almidón, amilosa y amilopectina, respectivamente.

Fuente: <https://repozitorium.omikk.bme.hu/bitstream/handle/10890/1298/ertekezes.pdf?sequence=1> [27] (consulta: 23/09/2018)

2.7.10.2. Tipos de biopolímeros.

Como fue anteriormente mencionado en la Figura 2.58 fueron presentadas las capacidades de producción de biopolímeros en todo el mundo de acuerdo con tipo de polímero que indica que el almidón y sus mezclas, poli (ácido láctico) y varios tipos de polihidroxialcanoatos (PHA) son de la mayor importancia entre polímeros biológicos y biodegradables.

- Biopolímeros no biodegradables.

Los que no son biodegradables, tales como PE o PET basado en recursos renovables también gana cada vez más importancia, pero su rendimiento es el mismo que el de sus contrapartes basadas en fósiles, por lo tanto, los polímeros convencionales a base de biológicos podrían presentar una alternativa viable, si se vuelven competitivos en el costo en el futuro.

- Biopolímeros biodegradables.

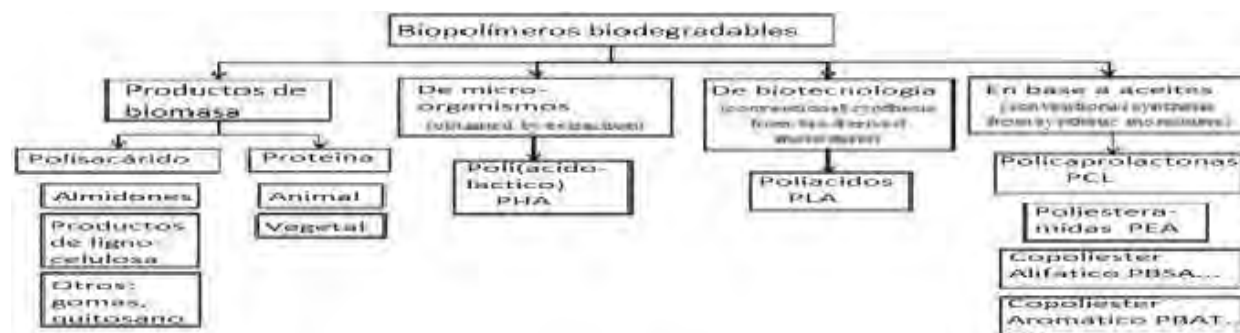


FIGURA. 2. 66. Poliésteres microbianos son producidos por biosíntesis función de un microorganismo y fácilmente biodegradado por microorganismos y dentro del cuerpo de mayor animal, incluidos los humanos.

Fuente: <http://oaji.net/articles/2016/731-1462882726.pdf> (consulta: 24/09/2018)

2.7.10.3. Biopolímeros biológicos.

La base biológica más importante los polímeros serán almidón (1.3 Mt), PLA (0.8 Mt), PHA (0.4 Mt) y PE de base biológica (0.6 Mt), el almidón, PLA, poli (3-hidroxibutirato) (PHB) y sus mezclas. Si bien la rigidez y la fuerza de estos son generalmente grandes, su aplicación a menudo está limitada por la procesabilidad, la sensibilidad al agua y baja resistencia al impacto, en el caso del almidón, uno de los biopolímeros más abundantes, estas deficiencias generalmente son superadas por la plastificación, aunque otros enfoques también son comunes.

2.7.10.3.1. Biopolímeros obtenidos a partir de monómeros bio-derivados.

Aceites vegetales. Hoy en día los aceites vegetales son una de las fuentes más importantes en la síntesis de biopolímeros. Los aceites vegetales pueden ser obtenidos de plantas y, en su mayoría, están compuestos por triglicéridos. Un triglicérido es un producto obtenido de una molécula de glicerol y tres moléculas de ácidos grasos. Los triglicéridos son moléculas altamente funcionales, y, por lo tanto, se han utilizado en la síntesis de polímeros reticulados a través de dos estrategias principales. La primera, es aprovechar los grupos funcionales presentes en los triglicéridos, tales como dobles enlaces internos, alcoholes, o epóxidos, que se pueden polimerizar usando diferentes métodos. La segunda estrategia depende de modificaciones químicas antes de la polimerización. Este enfoque resuelve el inconveniente de la baja reactividad de triglicéridos naturales mediante la introducción de grupos funcionales fácilmente polimerizables. Entre los aceites de triglicéridos que se utilizan en la preparación de biopolímeros se encuentran el de linaza, girasol, higuera, soja y palma. Dado que los aceites vegetales varían ampliamente en sus propiedades físicas y químicas en función de los ácidos grasos de su estructura, la elección del aceite vegetal juega un papel importante en las propiedades del polímero. Algunos tipos de polímeros preparados a partir de aceites de triglicéridos se enumeran a continuación: poliésteres, poliuretanos, poliamidas, resinas acrílicas, resinas epoxi y poliéster amidas.

De los aceites vegetales, especial interés ha recibido el de higuera ya que se caracteriza por ser uno de los pocos aceites vegetales cuya composición se reduce casi a la de un solo componente: el 90% corresponde al triglicérido del ácido ricinoleico. El aceite de higuera es un importante reactante en la síntesis de poliuretanos debido a su composición, estructura química y funcionalidad. Los poliuretanos son producto de la reacción de diisocianatos con componentes que contienen grupos hidroxilo. Los poliuretanos obtenidos a partir del aceite de higuera (Figura 7), presentan propiedades como buena resistencia química al ataque por solventes bajo módulo de Young, baja resistencia al rasgado y baja resistencia a tratamientos con alta temperatura. Estas propiedades son atribuidas principalmente a la baja funcionalidad del aceite, la

baja velocidad de curado, debido a que los grupos hidroxilo se ubican en carbonos secundarios, y a las largas cadenas de ácidos grasos del aceite que originan un poliuretano de estructura irregular, causada por los impedimentos estereoquímicos durante la formación.

Poli (ácido láctico) (PLA):

El poli (ácido láctico) es un polímero sintético termoplástico de la familia de los alfa-hidroxiácidos o poliésteres alifáticos derivado al 100% de materias primas renovables, que se producen a partir del ácido láctico [30]. El ácido láctico o 2 hidroxipropiónico es un ácido orgánico que se halla en

la naturaleza en forma de L⁽⁺⁾ o D⁽⁻⁾ ácido láctico [31, 32] El ácido láctico se produce por fermentación anaerobia de substratos que contengan carbono, ya sean puros (glucosa, lactosa) o impuros (almidón, mezclas) con bacterias y hongos. Las moléculas de PLA pueden ser sintetizadas mediante un proceso de polimerización por condensación de ácido láctico a temperatura no inferior a 120°C, o por debajo de esta temperatura en presencia de catalizadores. Mediante este método, solamente es posible obtener polímeros de bajo peso molecular (PM < 10.000). Para la obtención de copolímeros de elevado peso molecular, es necesario tener como materiales de partida los dímeros cíclicos del ácido, en presencia de catalizadores y condiciones controladas de temperatura y presión.

Entre las ventajas que presenta el PLA se tiene que es biodegradable, reciclable y compostable. Es así como, se puede degradar en dióxido de carbono, agua y otras moléculas pequeñas en condiciones de compostaje, contribuyendo así a la simplificación del proceso de compostaje [31]. Adicional a esto, es biocompatible, es decir, no produce efectos tóxicos o cancerígenos en los tejidos locales. Puede ser procesado por moldeo, inyección, extrusión de película, moldeo por soplado, termo formado, hilado de fibras, y de formación de película. De otro lado, el PLA permite ahorrar energía debido a que se requiere de un 25-55% menos energía para su producción que los polímeros basados en el petróleo.

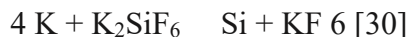
El PLA se caracteriza porque sus propiedades mecánicas son buenas en comparación con otros polímeros termoplásticos (como el PET, el poliéster termoplástico más conocido). El PLA también presenta buenas propiedades de barrera frente a olores y sabores. De igual forma, tiene alta resistencia a grasas y aceites por lo que es apropiado para el envasado de aceites, productos secos y perecederos. Para mejorar sus propiedades el PLA puede modificarse con agentes plastificantes o mezclándolo con otros polímeros. El PLA ha sido utilizado en aplicaciones biomédicas en sistemas de liberación controlada de fármacos, gracias a su biocompatibilidad, biodegradabilidad. La condensación directa del ácido láctico es una reacción de equilibrio que presenta dificultades para separar el agua del medio de reacción en las últimas etapas de la polimerización, lo que limita el peso molecular obtenido. El polímero obtenido es por lo tanto frágil y de escasa aplicación industrial. Sin embargo, en los últimos años se han realizado progresos mediante una Policondensación secuencial en estado fundido.

Polímeros producidos por los organismos directamente.

Poli(hidroxialcanoatos) (PHA): Los biopolímeros de tipo polihidroxialcanoatos son poliésteres sintetizados por ciertas bacterias que los acumulan como reservas de carbono y energía, en forma de gránulos intracitoplasmáticos, constituidos por unidades repetitivas de diversos hidroxiaácidos o mezclas de ellos, producidos mediante fermentación de materias primas renovables. Mientras la producción de poli (ácido láctico) es un proceso de dos etapas (fermentación para obtener el monómero seguida de un paso convencional de polimerización química), los PHA son producidos directamente mediante fermentación de una fuente de carbono por parte del microorganismo. Los PHAs son sustitutos atractivos de los poliésteres de origen petroquímico, dado que, en la naturaleza, los microorganismos son capaces de degradarlos hasta CO₂ y agua, en condiciones aerobias, y hasta metano, en condiciones anaerobias, por acción de las enzimas PHA despolimerasas y PHA hidrolasas.

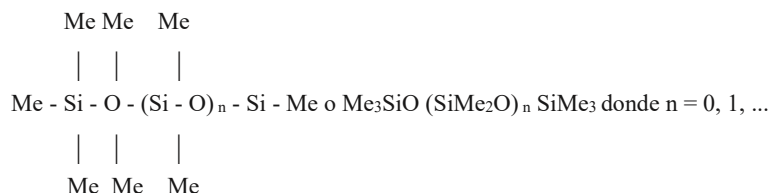
2.7.11. Polímeros híbridos (Silicones.).

Silicio fue descubierto por Berzelius en 1824 de la reducción de Fluorosilicato de potasio:

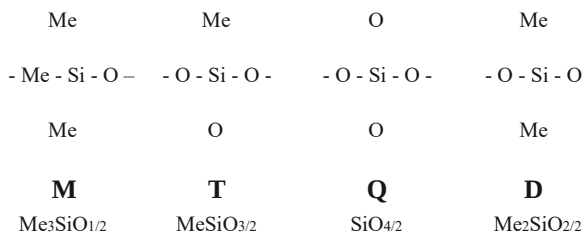


El silicio es el elemento 14 de la tabla periódica. Aunque no ocurre naturalmente en forma libre, en su forma combinada representa aproximadamente el 25% de la corteza terrestre. Compuestos de silicona son materiales únicos en términos de la química y en su amplia gama de aplicaciones útiles. Silicio en combinación con compuestos orgánicos ofrece propiedades únicas que funcionan sobre una temperatura amplia, que hace el silicón basaron productos menos sensibles a la temperatura que los tensioactivos más orgánicos. Estas propiedades se pueden atribuir a la fuerza y la flexibilidad de la fianza O Si, su carácter iónico parcial y el bajo fuerzas interactivas entre los grupos metilo no polar, características que están directamente relacionadas con la Si-O comparativamente largo y Si C de los bonos. La duración de los bonos Si O y Si-C también permite una inusual libertad de rotación, que permite a las moléculas a adoptar la configuración de energía más bajo en los interfaces, proporcionando una tensión superficial que es substancialmente más baja que los polímeros orgánicos. [31]

Los silicones más comunes son el polidimetilsiloxanes, trimetilsililoxy terminado, con la estructura siguiente:



Se trata de polímeros y líquidos lineales, incluso para valores grandes de n. La unidad de cadena principal, $-(\text{SiMe}_2\text{O})-$, se acorta a menudo a la letra D porque, como el átomo de silicio está conectado con dos átomos de oxígeno, esta unidad es capaz de expandirse dentro del polímero en dos direcciones. De manera similar, las unidades M, T y Q pueden definirse correspondientes a:



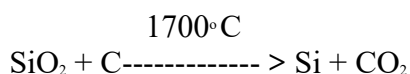
El polímero antedicho se puede también describir como MD_nM . Esto permite simplificar la descripción de varias estructuras como $(\text{Me}_3\text{SiO})_4\text{Si}$ o tetrakis (trimetilsililoxy) silano, que se convierte en M_4Q . Los superíndices se utilizan a veces para indicar grupos que no sean metilo. [30]

Uno de los errores técnicos más básicos de personas refiriéndose a materiales es confuso silicón con silicona. El silicio anterior se utiliza para referirse al material elemental, (Si); Este último para referirse a los materiales en que silicio está unido al oxígeno. El silicio es el material más elemental de que toda silicona química encuentra sus raíces. Puesto que no es común en la forma metálica en la naturaleza, es el primer paso en la química producir silicio de cuarzo.

El término silicón está realmente un término equivocado. Incorrectamente se pensaba que los primeros polímeros de silicona son cetonas silicio basado, por lo tanto, la silicona de la contracción. A pesar de este error, el término es aun ampliamente utilizado y aceptado.

Silicio de cuarzo

Silicio se obtiene por la reducción térmica de cuartos de galón (SiO_2) con carbono. La reacción se lleva a cabo a temperaturas muy elevadas y, por lo tanto, es comúnmente llevado a cabo donde hay abundante energía barata. La reacción es como sigue:



La pureza del silicón es generalmente por lo menos 99% puro. Además, también se deben controlar ciertos contaminantes de traza para obtener un material adecuado para la preparación de compuestos de silicona. Puesto que el silicio producido tan es un material metálico sólido, se machaca en el polvo que tiene un tamaño de partícula de entre 100 y 350 nanómetro para la reacción en el proceso Rochow. Este proceso lleva el nombre de Eugene G. Rochow, el padre de química de silicona. Debido a la complicada tecnología de proceso, y a los altos requerimientos de capital para construir plantas aptas para la práctica de la química, pocas empresas realizan realmente el proceso de Rochow. Debido a que el silicio es aplastado antes de la reacción en una cama fluida, las empresas que practican esta tecnología se denominan "tritadoras de silicio". Debido a que se trata de un grupo de élite en las empresas, que se conoce como una de las trituradoras de silicio se considera un honor en el mundo del silicón. [31]

En cambio, existen las denominadas siliconas, que forman parte de los polímeros híbridos. Están compuestas por una combinación química de silicio-oxígeno. La misma es un derivado de la roca, cuarzo o arena. Gracias a su rígida estructura química se logran resultado técnico y estéticos especiales imposibles de obtener con los productos tradicionales. Puede ser esterilizada por Óxido de Etileno, radiación y repetidos procesos de autoclave. [33]

Características de la Silicona son:

- Resistente a temperaturas extremas (-60° a 250°C)
- Resistente a la intemperie, ozono, radiación y humedad
- Excelentes propiedades eléctricas como aislador
- Larga vida útil Gran resistencia a la deformación por compresión
- Apto para uso alimenticio y sanitario

PROPIEDADES PARTICULARES DE LAS SILICONAS.

Dada su composición química de Silicio-Oxígeno, la silicona es flexible y suave al tacto, no mancha ni se desgasta, no envejece, no exuda nunca, evitando su deterioro, ensuciamiento y/o corrosión sobre los materiales que estén en contacto con la misma, tiene gran resistencia a todo tipo de uso, no es contaminante y se pueden elegir diferentes y novedosos colores.

- Propiedades mecánicas: La silicona posee una resistencia a la tracción de 70 Kg/cm² con una elongación promedio de 400%. A diferencia de otros materiales, la silicona mantiene estos valores aun después de largas exposiciones a temperaturas extremas.

- **Propiedades Eléctricas:** La silicona posee flexibilidad, elasticidad y es aislante, manteniendo sus propiedades dieléctricas aun ante la exposición a temperaturas extremas donde otros materiales no soportarían.
- **Biocompatibilidad:** La biocompatibilidad de la silicona esta formulada por completo con la FDA Biocompatibility Guidelines para productos medicinales. Esta es indolora, insípida y no hace de soporte para el desarrollo de bacterias, no es corrosivo con otros materiales. La silicona curada con platino consistente únicamente en un copolímero de dimetil y metilvinil siloxano reforzado con silicio térmicamente curado por platino, translúcido y altamente flexible bajo cualquier condición, lo que hace que califique dentro de la USP Clase VI referida a una batería de tesis biológicos definidos en USP XXIV-sección 88, usado por la FDA para aprobar artículos médicos. Gracias a su composición química, las siliconas curadas con Platino tienen la mayor transparencia y no son contaminantes.
- **Resistencia Química:** La silicona resiste algunos químicos, incluyendo algunos ácidos, oxidantes químicos, amoníaco y alcohol izo propílico. La silicona se hincha cuando se expone a solventes no polares como el benceno y el tolueno, retornando a su forma original cuando el solvente se evapora. Ácidos concentrados, alcalinos y otros solventes no deben ser usados con silicona. [33]

2.7.12. Resinas.

Las resinas en la construcción son conocidas desde hace años si bien aún hoy en día resultan poco comprendidas para el usuario. Esto se hace aún más patente en los hormigones con resinas, en las que éstas son un material constituyente más del hormigón.

Se mostrarán los tipos de hormigones con resinas existentes en el campo de la construcción señalando las propiedades que le confieren unas ventajas frente a determinados tipos de aplicaciones (reparaciones, prefabricados, otras). Con esto se pretende, de forma sucinta, facilitar al técnico la comprensión de estos materiales, así como mostrarle los campos idóneos de aplicación donde son competitivos. [34]

2.7.13. Bio-resinas.

Actualmente, la utilización de recursos renovables para la tecnología sostenible se encuentra en el reconocimiento de la atención de los consumidores y la industria, especialmente de las industrias químicas debido a su disponibilidad, bajo costo, credenciales hacia problemas ambientales tales como menor eco-toxicidad, huella de CO₂ y biodegradabilidad incorporada. Estas propiedades naturales se están aprovechando en investigación y desarrollo, con aceite vegetal, furano, lignina, colofonia, vainillina y ácido itacónico, etc., resina epóxica derivada de origen biológico utilizada en varias aplicaciones incluyendo pinturas, revestimientos, adhesivos y biomedicina. [31]

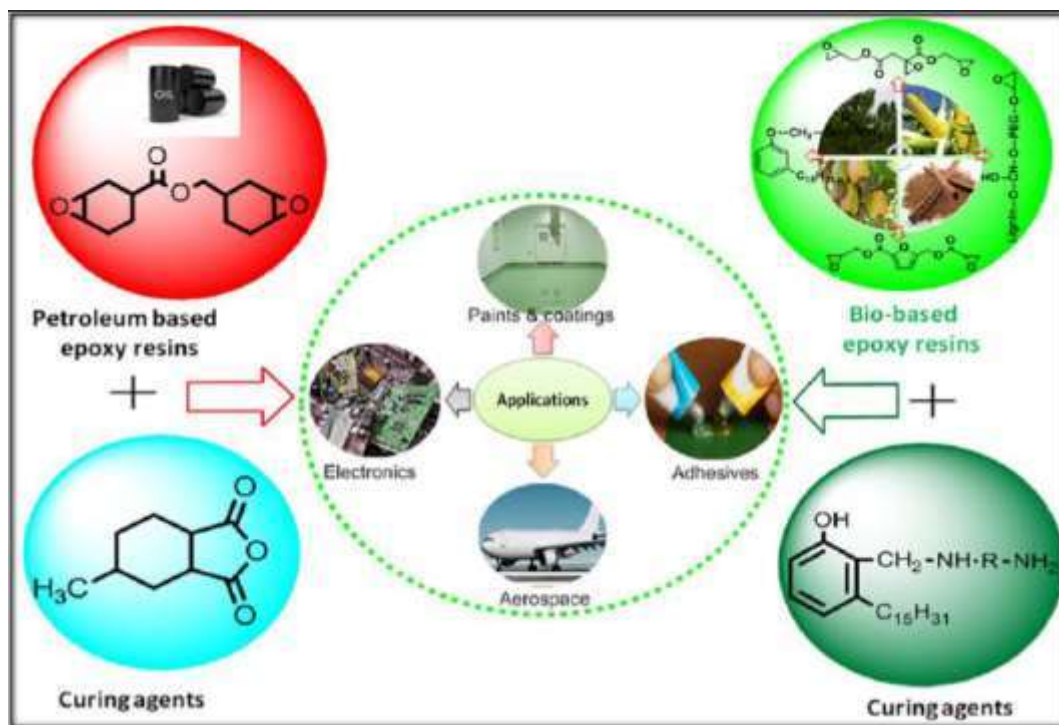


FIGURA. 2. 67. Ejemplos y aplicaciones, de bio-resinas (resina epoxídicas base biológica).

Fuente: https://www.researchgate.net/publication/312429786_Recent_Development_of_Bio-Based_Epoxy_Resins_A_Review (consulta:25/09/ 2018).

Nota: Desarrollo reciente de resinas epoxídicas con base biológica: El potencial de mercado global de la resina epoxi se ve reforzada por el crecimiento demanda de industrias como pinturas y revestimientos, energía eólica, aeroespacial, construcción, compuestos y automotriz.

Los seres humanos han utilizado las resinas desde la prehistoria que se ha desarrollado hace millones de años para defender las plantas contra sus enemigos, según lo registrado por las resinas fósiles como ámbar. La resina viene de la palabra francesa de la resina, de la resina Latina. Pocas personas son conscientes de la gran diversidad de plantas producción de resinas o el papel notable que juegan las resinas para las plantas y las personas. Las resinas de la planta cuentan la historia entera sobre productos adhesivos fascinadores. Esta discusión comprensiva e integrada de resinas apelará al naturologo y al evolucionista de la resina como secreción del hidrocarburo de muchas plantas particularmente de árboles coníferos. La resina es diferente de un compuesto acuoso. Obtenido de secreciones de plantas. Es generalmente un líquido altamente viscoso puede ser gel, pseudoplásticos polímeros artificiales que solidifican durante un período de tiempo. Varios contaminantes ambientales tienen una gran influencia en la salud humana. Estos compuestos tóxicos se han relacionado con efectos nocivos para la salud, incluyendo la carcinogénesis debido a la exposición. Se han tomado medidas contra las descargas en los ambientes de aire y agua. Las bioresinas son una alternativa apropiada. [35]

• RESINAS EPOXI BIO BASADAS

Las resinas epoxídicas se han utilizado ampliamente como adhesivos, revestimientos y materiales de laminación en una amplia gama de aplicaciones industriales debido a sus excelentes propiedades dieléctricas, baja contracción, fuerte adhesión a materiales metálicos y no metálicos, buena

estabilidad, alta dureza, buena flexibilidad y excelente estabilidad en muchos solventes y soluciones alcalis. [36]

2.7.13.1. TIPOS DE RESINAS

- R vinílicas
 - Policloruro de vinilo
 - Poliacetato de vinilo
 - Mezcla: Policloruro de acetato de vinilo: para prótesis, en forma de gel, necesita inyección a la cámara de moldeo; se usa en pacientes alérgicos al metilmetacrilato
- Resinas de poliestireno: como base en prótesis maxilofacial.
- Resinas de policarbonato: uso como coronas preformadas.
- Resinas a base de cianoacrilato: polimerizan con bases débiles y son biodegradables; uso: apósitos en cirugía.
- Resinas de poliuretano: maxilofacial y apósitos en cirugía.
- Resinas epóxicas: necesitan un activador que es tóxico, por lo que se usa más que nada para troqueles.
- Elastómeros: uso: materiales de impresión.
- Resinas compuestas o composites: materiales obturación.
- Resinas acrílicas: autocurado y termocurado. [31]

• BIORRESINAS ORGÁNICAS.

El término 'Adhesivo derivado de Bio' incluye material natural, sin minerales o sin residuos a base de petróleo, orgánicos y agrícolas o después de cambios moderados son capaces de reproducir la propiedad de las resinas sintéticas. Los siguientes componentes para la propiedad de la resina: ligninas, carbohidratos, aceites insaturados, madera licuada y soldadura de madera por autoadhesión. Estas bio-redes pueden superponerse con fibras naturales o sintéticas, creando compuestos de fibra natural o biocompuestos. Se están llevando a cabo extensas investigaciones en el área de biocompuestos. Las bioresinas han sido reemplazadas por los nuevos adhesivos sintéticos para la industria de productos forestales en el Reino Unido. [37]

Estas resinas tienen una mayor facilidad de unión y alta durabilidad. Los polímeros derivados de recursos renovables son una alternativa a los materiales obtenidos en fósiles. El medio y la protección del medio ambiente están iniciando medidas para buscar y encontrar biocompuestos favorables al medio ambiente. Los polisacáridos, polipéptidos y lípidos son una clase de materiales únicos con componentes múltiples que pueden rediseñarse en nuevos materiales. Una alternativa al bisfenol del aceite vegetal sigue siendo un desafío para los científicos. El aceite de linaza permanece en plomo como plastificante o aditivo en el procesamiento de PVC.

El intento y el enfoque realizado en el endurecimiento de las resinas epoxi a partir de biomasa con plastificantes derivados del petróleo no es aceptable ni favorable al medio ambiente. Se ha informado sobre la savia de plátano como refuerzo de compuestos biológicos. La adhesión adhesiva de la madera en la industria de la madera en los últimos 150 años ha sido el factor clave para el uso efectivo como materia prima. Se prevé un aumento significativo en el futuro con el desarrollo de nuevos adhesivos y productos de madera. En 3500 a.C., la producción de intarsia muestra el uso más antiguo de adhesivo de madera en los hallazgos de la pirámide egipcia. Cuando los adhesivos proceden de fuentes biológicas, son resistentes a la humedad, Reed Furniture; fabricante de su

tiempo en 1830, una técnica de doblado eficiente para la madera sólida y segura para la producción de muebles. Más tarde, en 1940, las resinas sintéticas dominan el mercado debido a la facilidad de manejo, posible manipulación y ajuste de la viscosidad, sin humedad y económico.

2.7.14. Nano-resinas

En la última década ha crecido el interés, tanto a nivel industrial como académico, de los nanoresinas basados en materiales laminares y poliméricos. Este interés se debe principalmente a su potencial mejora en las propiedades físicas, térmicas y mecánicas frente a las resinas convencionales. Esta mejora de las propiedades está fuertemente asociada con las dimensiones y microestructura de la fase dispersa. De este modo, los materiales laminares de interés para la obtención de nanoresinas poliméricas deberían tener láminas entre 0.7- 0.25 nm de espesor. En la Tabla 2.8 se recoge una lista de los materiales laminares que pueden ser utilizados en la obtención de estas nanoresinas. [38]

Tabla 2.8. Nano-partículas laminares potenciales en la obtención de nanoresinas.

Esmeclitas	Montmorillonita, bentonita, nontronita, beidelita, hectorita, saponita, etc...
Arcillas sintéticas	por ejemplo, hectorita $MgO(SiO_2)_x(Al_2O_3)_y(AB)_z(H_2O)_n$ (donde AB es habitualmente NaF).
Silicatos laminares ácidos	kanemita, makatita, octosilicato, organo-silicatos laminares
Otras arcillas	micas, vermiculita, illita, atapulgita tubular
Hidróxidos Laminares	por ejemplo, brucita $Mg(OH)_2$ o gibsita $Al(OH)_3$
Hidróxidos dobles laminares (LDHs)	$[M^{2+}_{1-x}M^{3+}_x(OH)_2]^{+x}(A^{n-})^{ym}mH_2O$ con estructura tipo hidrotalcita
Alumino-fosfatos laminares	por ejemplo, el mineral ALPO (berlinita), o el obtenido a partir de la síntesis hidrotérmica de $H_3PO_4 + Al(OH)_3$.
Fosfatos o fosfonatos de metales tetravalentes	por ejemplo, la forma α del $Zr(HPO_4) \cdot H_2O$, la forma γ de $ZrPO_4O_2P(OH)_2 \cdot 2H_2O$, etc.
Haluros	$FeCl_2$, $FeOCl$, CdI_2 , $CdCl_2$
Sulfuros	TiS_2 , MoS_2 , MoS_3 , $Cr_{0.5}V_{0.5}S_2$
Cianuros	$Ni(CN)_2$
Óxidos	V_5O_{13} , $HTiNbO_5$, Cr_2O_3 , $MoO_3(OH)_2$, V_2O_5 , etc.
Otros	Grafito, óxido de grafito, nitrato de boro (BN), etc.

FIGURA. 2. 68. Nano-partículas laminares potenciales en la obtención de nanoresinas.

Fuente https://gredos.usal.es/jspui/bitstream/10366/22604/1/DQI_Nanomateriales%20hibridos%20organicos.pdf

Dependiendo de la interacción entre el material laminar y la matriz polimérica, se pueden distinguir dos tipos ideales de morfologías: intercalada y exfoliada. Sin embargo, en ocasiones, cuando el polímero y el sólido laminar son muy incompatibles, se genera otro tipo de morfología típica de una resina convencional, en la cual el polímero rodea la estructura de la arcilla sin llegar a introducirse en ella. [38]

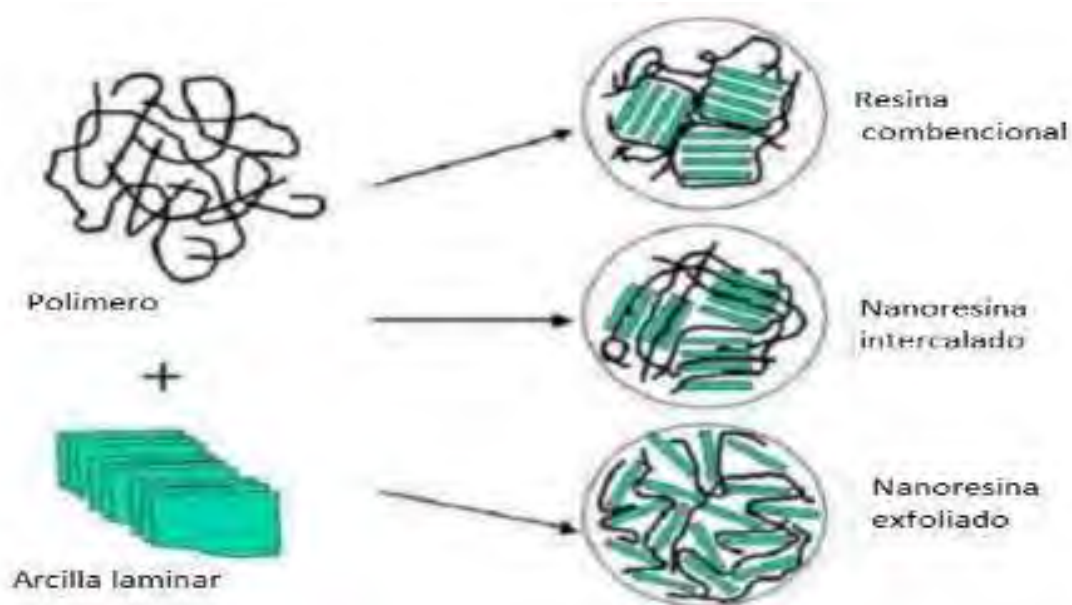


FIGURA. 2. 69. Estructuras ideales de las nanoresinas derivados de materiales laminares.

Fuente: https://gredos.usal.es/jspui/bitstream/10366/22604/1/DQI_Nanomateriales%20hibridos%20organicos.pdf

(consulta: 25/09/2018)

La estructura intercalada se alcanza cuando el polímero penetra entre las láminas de la arcilla dando lugar a un estado altamente ordenado, mientras que cuando hablamos de estructura exfoliada nos referimos a una estructura en la que las láminas individuales de arcilla están dispersas en la matriz polimérica. Esta última configuración es de particular interés, debido a que maximiza las interacciones polímero/arcilla, haciendo que toda la superficie de las láminas esté disponible para interaccionar con el polímero. Esto debería provocar un cambio drástico en la propiedades físicas, térmicas y mecánicas del polímero. De los materiales laminares adecuados para obtener este tipo de nanoresina, la mayoría de estudios se han llevado a cabo con montmorillonita, un tipo de silicato laminar cuyas láminas tienen una baja densidad de carga, por lo que es relativamente fácil exfoliarlas en la matriz polimérica. Sin embargo, la composición variable, el contenido en Fe y otras impurezas de esta arcilla natural, hacen difícil controlar y reproducir las propiedades finales de la nanoresina obtenido. Debido a esto y a otras propiedades que a continuación se detallarán, en los últimos años la utilización de hidróxidos dobles laminares para la obtención de estos compuestos ha experimentado un gran crecimiento. [38]

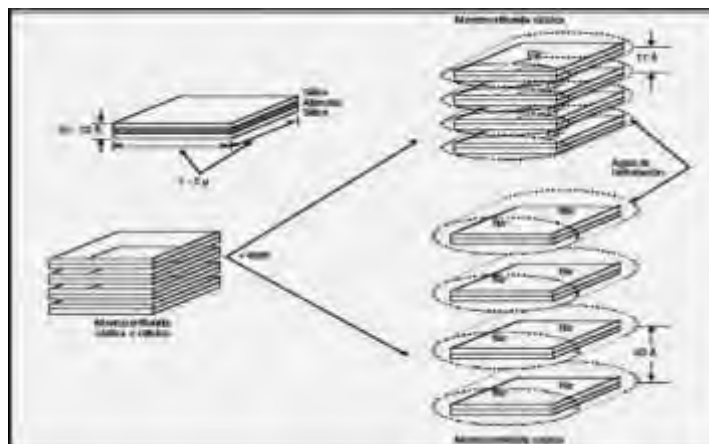


FIGURA. 2. 70. Comparación del hinchamiento entre la montmorillonita cálcica y sódica, para apreciación del alojamiento de los polímeros entre las láminas.

Fuente: <https://docplayer.es/40160566-Estudio-de-la-factibilidad-del-uso-de-los-taninos-del-pino-como-dispersante-en-fluidos-de-perforacion.html> (consulta 25/09/2018)

Este tipo de materiales laminares presenta ciertas ventajas respecto a las arcillas convencionales o silicatos laminares:

- Los hidróxidos dobles laminares se pueden sintetizar en el laboratorio, presentando así una alta pureza y una estructura homogénea. Por otro lado, se puede obtener LDHs con una amplia variedad de composiciones diferentes.
- Al contrario que las arcillas catiónicas (que normalmente son modificadas con aminas orgánicas) los LDHs se modifican con surfactantes aniónicos, siendo esta característica de gran importancia, ya que se pueden modificar con una gran variedad de compuestos orgánicos como ácidos grasos, sulfonatos, sulfatos, carboxilatos, fosfonatos, etc., pudiendo elegirse el más compatible con la matriz polimérica.
- En las nanoresinas arcilla-polímero la eficacia del refuerzo depende del grado de exfoliación, es decir, del número de láminas individuales o de pequeños apilamientos, en la matriz polimérica. Una nanoresina con LDHs totalmente exfoliados debería contener un mayor número de láminas por cantidad de relleno añadido que un nanoresina con la misma cantidad de silicato. Esto se debe al hecho de que las láminas de LDH están formadas únicamente por unidades octaédricas de hidróxidos metálicos, mientras que las arcillas convencionales además de dichas unidades también contienen unidades tetraédricas. Por lo tanto, los LDHs serán unos refuerzos más eficaces en la matriz polimérica a baja concentración.
- Los LDHs son materiales reactivos que al descomponerse experimentan procesos endotérmicos liberando agua y dando lugar a óxidos metálicos. Esta propiedad hace que estos materiales sean más eficientes en la mejora de la estabilidad térmica y resistencia al fuego.

Teniendo en cuenta todo lo mencionado anteriormente, en este trabajo se han utilizado LDHs modificados orgánicamente en la preparación de todas las nanoresinas. Para entender mejor el comportamiento de estos materiales en la obtención de las nanoresinas es importante revisar la

estructura, composición y propiedades de estos sólidos tipo hidrotalcita, así como los diferentes métodos de obtención y las aplicaciones de los mismos. [38]

2.7.14.1. Hidróxidos Dobles Laminares (LDH).

El término hidróxidos dobles laminares (LDHs del inglés layered double hydroxides) se utiliza para designar hidróxidos sintéticos o naturales con al menos dos tipos de cationes metálicos en las láminas principales y que en el dominio interlaminar contienen especies aniónicas. Esta gran familia de compuestos también se denomina arcillas aniónicas, por comparación con las arcillas catiónicas, las cuales en su región interlaminar contienen cationes. También son conocidos como compuestos tipo hidrotalcita, por ser éste el mineral más abundante en la naturaleza con esta estructura. Con menos frecuencia se denominan como compuestos tipo piroaurita, hidróxidos laminares de metales de transición, hidróxidos metálicos mixtos, ... Estos materiales no son tan abundantes en la naturaleza como las correspondientes arcillas catiónicas, pero son muy fáciles de preparar y generalmente no son muy caros.

2.7.14.2. Estructura de Los hidróxidos dobles laminares

Pueden ser definidos por su espacio interlaminar, composición química y secuencia de apilamiento. La fórmula general que describe la composición química es: $[M^{2+}_1-xM^{3+}_x(OH)_2]^{x+} [A^{n-}]_x/n \cdot mH_2O$, donde M^{2+} y M^{3+} son los metales divalente y trivalente, respectivamente, y A^{n-} es el anión interlaminar.

La estructura, como se muestra en la Figura. 2.65, es similar a la de la brucita, $Mg(OH)_2$: cada ión Mg^{2+} está rodeado por seis iones OH^- y los diferentes octaedros comparten aristas para formar láminas infinitas. Las láminas están apiladas unas encima de otras, unidas a través de puentes de hidrógeno. Si algunos iones Mg^{2+} son reemplazados isomórficamente por cationes de mayor carga, pero radio similar, las láminas tipo brucita quedarán cargadas positivamente. La electro-neutralidad global del compuesto se obtiene con la distribución de aniones entre las láminas hidroxiladas, junto con moléculas de agua. La densidad de carga positiva de las láminas es proporcional a la relación $x = M^{3+}/(M^{2+}+M^{3+})$. [38]

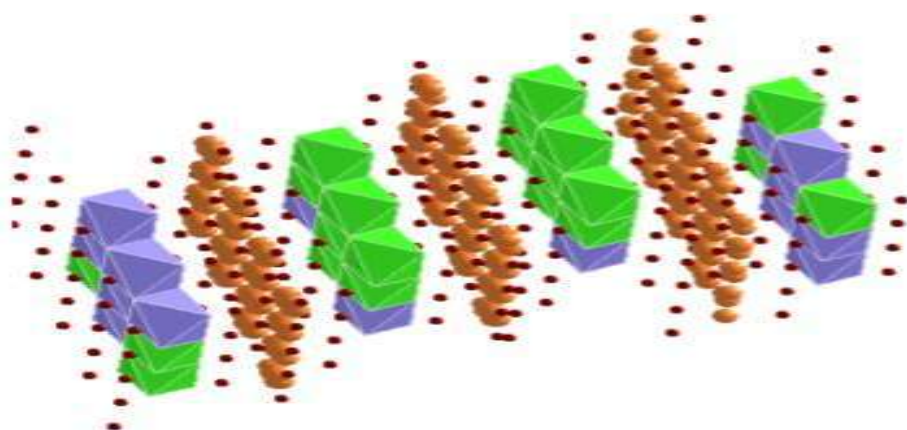


FIGURA. 2. 71. Estructura de los compuestos tipo hidrotalcita.

Fuente: https://gedos.usal.es/jspui/bitstream/10366/22604/1/DQI_Nanomateriales%20hibridos%20organicos.pdf (consulta: 25/09/2018)

En los LDHs el entorno octaédrico de los cationes metálicos está lejos de ser un poliedro regular. El octaedro está fuertemente “achataado” a lo largo de la dirección de apilamiento, disminuyendo la simetría de O_h a D_{3d} . Cuanto mayor es el radio iónico del metal, más achatado está el octaedro, disminuyendo así el espesor de la lámina h y aumentando la distancia entre metales a (que es la misma que entre grupos OH en el mismo lado de la lámina). Para cationes metálicos mayores, tales como Ca^{2+} , Cd^{2+} , Sc^{3+} o La^{3+} , el entorno octaédrico es inestable, y el octaedro se abre en el espacio interlaminar dando una coordinación 6+1 con una molécula de agua adicional, quedando el catión descentrado del plano medio de las láminas. La zona interlaminar está ocupada por moléculas de agua y aniones. Diversas propiedades físicas y estructurales indican un fuerte desorden en esta región; estas propiedades han llevado a algunos autores a considerar que los dominios interlaminares presentan un estado cuasi líquido, en el cual el anión y el agua están localizados aleatoriamente, siendo libres de moverse rompiendo sus enlaces y formando otros nuevos. Los grupos hidroxilo de la lámina están unidos a los grupos CO_3^{2-} directamente o por medio del H_2O a través de puentes de hidrógeno: $OH-CO_3-HO$ ó $OH-H_2O-CO_3-HO$. Los grupos CO_3^{2-} están situados en la interlámina y el H_2O está enlazada débilmente, pudiendo eliminarse sin destruir la estructura laminar.

2.7.14.3. Composición de Los hidróxidos dobles laminares

La estructura de los LDHs permite modificar un gran número de variables, tales como la naturaleza y relación molar entre cationes, tipo de aniones de la interlámina, cantidad de agua interlaminar, morfología y tamaño de los cristales. Los cationes divalentes y trivalentes que aparecen en los LDHs son principalmente los del tercer y cuarto periodo del Sistema Periódico.:

- Cationes divalentes: Mg, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn
- Cationes trivalentes: Al, Mn, Fe, Co, Cr, Ga.

También se han obtenido hidróxidos dobles laminares que contienen iones relativamente inestables, como V^{3+} , o iones de metales nobles, como Ru, Rh, Pd o Ir. Si se examina el radio de los cationes que forman LDHs, se puede observar que la estructura tipo hidrotalcita se forma para un amplio intervalo²⁺ de radios iónicos: entre 0.65–0.80 Å para cationes divalentes y entre 0.62–0.69 Å para cationes trivalentes (con excepción del Al, 0.50 Å). Todos los metales divalentes desde el Mn^{2+} hasta el Zn forman compuestos tipo hidrotalcita. En principio, debido a que el Cu^{2+} presenta distorsión Jahn-Teller, se precisa la presencia de otro catión divalente distinto para estabilizar por dilución este tipo de estructura sin la presencia de otras fases, como malaquita o gerardita. Sin embargo, Velu y Swamy han sido capaces de obtener compuestos tipo hidrotalcita de Cu y Al evitando la aparición de otras fases. También es posible preparar compuestos tipo hidrotalcita con más de dos cationes diferentes o con asociación monovalente-trivalente [Li-Al] o divalente-tetravalente [Co-Ti]. Aunque los cálculos indican que los valores de x (fracción molar metálica de M^{3+}) puede variar entre 0.1–0.5, hay muchas evidencias basadas en la evolución de los parámetros de red que indican que sólo existen fases puras para un intervalo más estrecho, $0.2 \leq x \leq 0.33$. El límite superior se atribuye a la repulsión electrostática entre los cationes trivalentes vecinos en las láminas, que es inevitable si $x > 1/3$, y también a la repulsión entre las especies aniónicas interlaminares; además, para valores de x mayores de 0.33 precipita $Al(OH)_3$ como consecuencia de la necesidad de evitar la presencia de octaedros del vecino. El límite inferior podría corresponder a una distancia demasiado grande entre especies interlaminares, conduciendo al colapso de los dominios interlaminares y, del mismo modo, al disminuir el valor de x por debajo

de 0.2 aparece el hidróxido del metal divalente. En cuanto al tipo de aniones, en principio no hay limitación respecto a la naturaleza de los mismos; el único requerimiento es que no formen complejos con los cationes presentes. Sin embargo, puede haber problemas en la preparación de compuestos con aniones diferentes al carbonato, debido a la dificultad de eliminar completamente el CO_2 , y a la inestabilidad de algunos aniones en el intervalo de pH en el cual se lleva a cabo la síntesis de los compuestos tipo hidrotalcita, como puede ocurrir con los heteropolianiones tipo Keggin. Durante la formación de la estructura laminar o bien por intercambio aniónico posterior, se puede situar entre las láminas una gran variedad de especies aniónicas. Estos aniones pueden ser:

- Aniones inorgánicos comunes: CO_3^{2-} , NO_3^- , SO_4^{2-} , F^- , Cl^- , OH^- , ...
- Aniones orgánicos: carboxilatos, fosfonatos, alquil-sulfatos, gliceratos, tintes orgánicos...
- Complejos aniónicos: CoCl_4^{2-} , NiCl_4^{2-} , IrCl_6^{2-} , $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$, $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$, $[\text{PdCl}_4]^{2-}$, ...
- Polímeros aniónicos: poli(vinilsulfonato), polianilina, poli(etilen glicol), poli(acrilato)...
- Iso- y heteropolioxometalatos (POMs): $\text{Mo}_7\text{O}_{24}^{6-}$, $\text{W}_7\text{O}_{24}^{6-}$, $\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{40}^{6-}$, $\text{V}_{10}\text{O}_{28}^{6-}$, $\text{PW}_{12}\text{O}_{40}^{6-}$, ...
- Aniones bioquímicos: aminoácidos, ADN con entre 500-1000 pares de bases, ATP, GMP, ... - Ligandos macrocíclicos y sus complejos metálicos: derivados de porfirina y ftalocianinas....

El número, tamaño, orientación, y fuerza de los enlaces entre los aniones y los grupos hidroxilo de las láminas tipo brucita determinan el espesor de la interlámina y, por lo tanto, modifican el valor del parámetro reticular c' , mientras que el valor de a no está afectado por la naturaleza del anión. [38]

La utilización de los compuestos tipo hidrotalcita sin modificar orgánicamente para la obtención de nanoresinas es muy complicada, debido principalmente a su pequeño espaciado interlaminar y a su carácter hidrofílico, que hacen que sea prácticamente imposible la penetración de las cadenas de polímero entre las láminas. Por lo tanto, es necesario el pretratamiento de estos materiales laminares. Este pre-tratamiento consiste habitualmente en la intercalación de una molécula orgánica con una gran cadena carbonada de carácter hidrofóbico (carboxilatos, surfactantes, fosfonatos, etc.). La elección de un anión orgánico u otro dependerá principalmente de la compatibilidad del mismo con la matriz polimérica. Por último, el agua existente en la interlámina se sitúa en los sitios no ocupados por los aniones y su concentración depende de la temperatura, grado de humedad, naturaleza y concentración de los aniones presentes, condiciones de lavado y secado y, en menor medida, de la naturaleza de los cationes metálicos de las láminas. Normalmente la cantidad de agua se determina por medidas termogravimétricas, pero también se puede calcular la cantidad máxima de agua en función del número de sitios ocupados en la interlámina suponiendo un empaquetamiento compacto de los iones hidroxilo y restando los sitios ocupados por los aniones. Cuando se habla del estado de hidratación de los compuestos tipo hidrotalcita se está considerando la hidratación intrínseca, es decir, las moléculas de agua localizadas en los dominios interlaminares, y no la extrínseca correspondiente a moléculas de agua extracristalinas. [38]

2.6.10. Biocinética natural enfocada a cementos.

Poniendo un ejemplo interesante se da en el campo de los cerámicos. La concha del molusco Abalone (*Haliotis rufescens*) consta de un material inorgánico, carbonato de calcio (CaCO_3) en forma de “ladrillos” de minerales, aragonita y calcita, de dimensiones de $0.5 \mu\text{m} \times 10 \mu\text{m}$, que crece dentro de una matriz orgánica (Lustrina-A, una proteína), cuyas capas tienen de 20-30 nm de

espesor, lo que evita la propagación de una fractura, haciéndolo un material cerámico no-frágil. En la naturaleza este proceso recibe el nombre de biomineralización. Es el crecimiento de una fase mineral dentro o encima de una matriz orgánica que controla la nucleación, crecimiento y eventualmente el tamaño y forma de los cristales. La combinación de capas duras y elásticas permite al material deslizarse ante fuerzas compresivas. La cara interna de la concha de este molusco, similar a la perla, es dos veces más tenaz que los cerámicos actuales de alta tecnología. Kevin Kendall y Bill Clegg (UK) describieron, inspirándose en la perla, un cerámico compuesto de carburo de silicio (distribuidos en placas) embebido en una matriz de grafito (entre-placas) creando un compuesto resistente a la fractura. En Kotov de la Universidad de Oklahoma (USA) está también desarrollando materiales formados por nanocapas de arcilla y polímeros, logrando propiedades semejantes a las de los cerámicos naturales. Otro elemento similar al anterior por su forma constitutiva es el hueso, que consta de un componente orgánico, el colágeno, intercalado en una fase mineral, la hidroxiapatita ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$). [39]

Un nuevo adhesivo obtenido a través del mejillón azul (*Mytilus edulis*) está siendo estudiado por biólogos moleculares del Laboratorio Nacional de Ingeniería y Ambiente de Idaho (USA). Están clonando las proteínas que conforman los filamentos situados en la base del pie del mejillón para ser usadas como pegamento a prueba de agua. El pie del mejillón produce un epoxi con propiedades adhesivas remarcables que permanece intacto en el agua de mar, “anclándose” en piedras u otros materiales del fondo marino, resistiendo los movimientos tumultuosos del mar. Los filamentos que componen el adhesivo son 5 veces más tenaces y 16 veces más extensibles que el tendón humano. Este tipo de pegamento insoluble en agua y no-tóxico ofrece una amplia gama de aplicaciones biotecnológicas. Serviría para componer huesos rotos, tendones o tejidos, y también en la reparación de dientes y en cirugía. Otra posible aplicación es el de usarlo como recubrimiento resistente a la corrosión del agua marina, debido a la alta afinidad de sus elementos constitutivos con el Fe^{3+} y otros metales, lo que le permite interaccionar fuertemente con esos materiales [39], mencionar las maravillas de propiedades que esto podría traer a la industria constructiva, en las estructuras con las propiedades mencionadas, son un sinfín de aplicaciones tanto en acabados como, teniendo la correcta investigación, una aplicación estructural.

2.7.15. Concretos poliméricos.

El laboratorio tiene una amplia experiencia en la caracterización y desarrollo de sistemas poliméricos heterogéneos, mientras que comenzamos varios proyectos relacionados con biopolímeros y otros materiales bio-relacionados en los últimos años.

Hoy en día viene exigiendo materiales que superen las propiedades habituales y las limitaciones existentes. En el dominio de los concretos que estamos tratando se persigue, desde hace tiempo, el lograr con rapidez resistencia altas y muy altas, sobre todo para prefabricados, a fin de disminuir tamaños, espesores y peso propio, siendo muy importante el disponer de una relación tensión/compresión más alta que en los concretos habituales. [17]

De una manera lenta pero indiscutible, nuevos materiales se están abriendo camino en diversas aplicaciones relacionadas con la construcción y la ingeniería civil reservadas hasta hace poco y de una manera casi exclusiva a los materiales basados en el cemento portland como ligante. Esta corriente hay que inscribirla en otra más general relacionada con la innovación tecnológica y la que algunos llaman, la revolución de la ciencia de los materiales. [40]

Con la incorporación de resinas poliméricas a un mortero destinado a la colocación de recubrimientos rígidos modulares se da un salto cualitativo esencial en la mejora de las propiedades en fresco y finales. En adelante, hablaremos de adhesivos o cementosos para nombrar unos materiales que se caracterizan por tener un comportamiento en fresco que:

Permite asegurar la adherencia con grosores mínimos del adhesivo, desde 0,1 mm dado su poder de retención de agua. 0, Optimiza la trabajabilidad y mojabilidad (capacidad humectante), al actuar las partículas poliméricas como rodamientos, y por su capacidad redispersante y oclusora de aire. Consiente un comportamiento reológico tixotrópico en la colocación de las baldosas; es decir, un adhesivo fluido cuando ejercemos una fuerza de cizalladura y que se vuelve viscoso cuando cesa esa fuerza. Característica que favorece la estabilidad del adherente sobre el adhesivo antes de la una maduración, especialmente ante el descuelgue en superficies verticales. Acota los tiempos de utilización, aplicación y maduración, asegurando la adherencia en determinadas condiciones ambientales de humedad y temperatura.

Pero es en las características finales tras la maduración donde se superan las propiedades de los morteros tradicionales. En primer lugar, la adherencia, por la mejor unión entre el cemento hidratado y los agregados, pero también por el efecto de puentado que ejerce la membrana polimérica ante la propagación de microfisuras, consecuencia de fuerzas aplicadas sobre la unión adhesiva. Además, en función del tipo de resinas utilizadas y la proporción polímero/cemento, obtenemos:

Menores contracciones de secado y maduración, junto a una mejor hidratación del cemento. Unión adhesiva de menor porosidad, con reducción también del tamaño de los poros, con repercusión directa sobre la impermeabilidad y resistencia a ciclos de hielo/deshielo, así como otras características asociadas a la durabilidad de esa unión. Un buen anclaje sobre superficies lisas e inabsorbentes. Mayor resistencia mecánica a la tracción, flexión, impacto y a la abrasión, como consecuencia de la cohesión alcanzada en la co-matriz polímero/cemento hidratado. Este incremento de la resistencia mecánica es función de la naturaleza de los componentes del adhesivo, de los factores de mezcla y del proceso de maduración. Los valores obtenidos son también función del método de ensayo adoptado. [41]

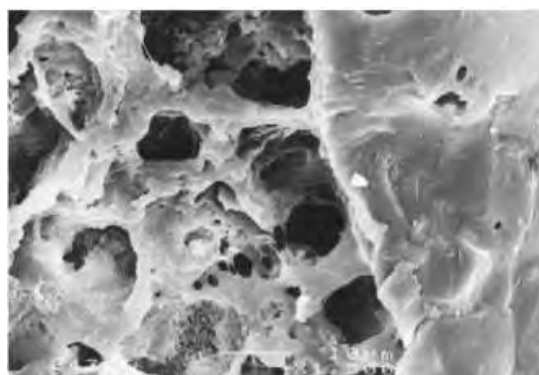


FIGURA. 2. 72. Puentes de unión y anclaje de la resina polimérica en la interfaz adhesiva, cementoso/baldosa de gres porcelánico.

Fuente: <file:///F:/servicio-tesis/estado%20del%20arte/morteros%20modificados%20con%20Polimeros.pdf>
(consulta: 25/09/2018)

Capacidad deformable en función del comportamiento visco elástico de las resinas poliméricas incorporadas. Mantenimiento de la adherencia en condiciones de alta temperatura.

El mecanismo de formación de la co-matriz polímero/cemento hidratado puede resumirse en tres fases que explican las propiedades en fresco y tras maduración de los adhesivos cementosos:

En una primera fase, la resina polimérica se dispersa uniformemente en la pasta o de cemento y arena, iniciándose el proceso de hidratación a la vez que las partículas del polímero se depositan alrededor del cemento no hidratado. A su vez, el agua de mezcla se satura de hidróxido cálcico que reacciona con la sílice de la arena formando silicato cálcico. La presencia de cristales de hidróxido cálcico en la superficie de las partículas del árido junto con la resina tiene su efecto sobre las propiedades finales del adhesivo.

En una segunda fase, el avance de la hidratación provoca la ocupación progresiva de los poros por parte de la resina, que inicia un proceso de floculación un alrededor del silicato cálcico hidratado y de las partículas de árido. La concordancia entre el tamaño de los poros formados en la pasta de cemento durante la hidratación y el tamaño de las partículas de polímero explica ese posicionamiento. Al mismo tiempo tienen lugar reacciones químicas entre las resinas poliméricas, los iones Ca y los silicatos e hidróxido cálcico formados en la superficie del árido, responsables de la unión entre los hidratos de cemento y el árido. El único punto débil de esta unión es la presencia de aire ocluido, favorecida por la presencia de emulsionantes y estabilizadores en la composición de las resinas y que, en parte, se controla con la inclusión de agentes antiespumantes.

En una tercera y última fase, una vez consumida el agua en el proceso de hidratación, el polímero endurecido envuelve al cemento hidratado y el árido en forma de membrana continua, creando una estructura monolítica responsable de las propiedades finales. [41]

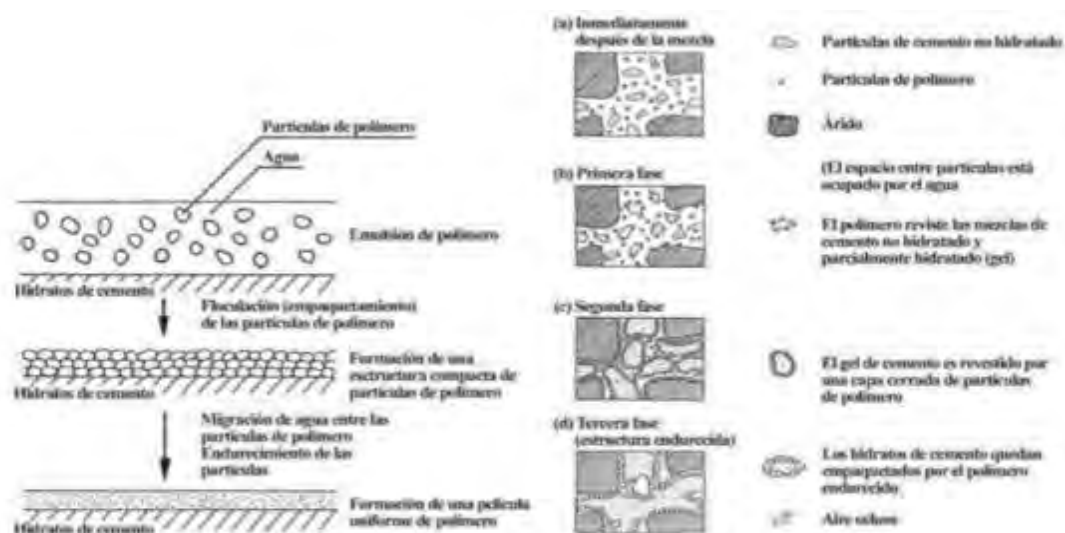


FIGURA. 2. 73. Esquemas del proceso de maduración de un mortero modificado con resinas.

Fuente: http://www.ipc.org.es/dms/pdfs/Adhesivos/Morteros_modificados_con_polimeros/4-6-5%2520PDF_vPDF.pdf&prev=search [41]. (consulta: 25/09/2018)

Además de la resistencia, la durabilidad es otra propiedad cada vez más valorada, hoy que observamos cierta vejez prematura de abundantes estructuras de concreto, construidas, ciertamente, con una tecnología incipiente y con defectos de calidad en muchos casos, pero que no permite olvidar cierta debilidad del concreto frente a ambientes agresivos. [17]

Teniendo en cuenta lo anterior, la utilización de polímeros en el concreto, que comenzó en los años 1950 en forma de adiciones para mejorar la adherencia y resistencia al desgaste de morteros o la fabricación de mármol artificial, ha dado paso, en los últimos 25 años, a un amplio reconocimiento de los concretos fabricados o modificados con polímeros como material de construcción. Dentro del campo de la tecnología de polímeros, en asociación con el concreto, se pueden distinguir tres tipos de materiales, de acuerdo con sus condiciones de fabricación. [17]

El concreto modificado con polímeros se logra adicionando la resina en el mezclado de cemento y agregados, con lo que la matriz ligante queda constituida por cemento y polímero. El concreto impregnado con polímeros se fabrica por introducción de un monómero o polímero en la red de poros del concreto –ya endurecido– y posterior polimerización *in situ*, lo que provoca un taponamiento de los canales de contacto del concreto convencional con el exterior. Por último, la denominación de concreto polimérico se refiere al material que resulta del mezclado de los agregados con resinas como único aglomerante. [17]

Los polímeros empleados son variados, dependiendo del tipo de concreto, pero, en el caso de los citados últimamente (concretos poliméricos), las resinas más utilizadas son el epoxi, las de poliéster insaturado y las de metacrilato.

El hormigón polimérico es, en esencia, una mezcla constituida por dos fases: una continua, que es la resina, y otra dispersa, que es el agregado.

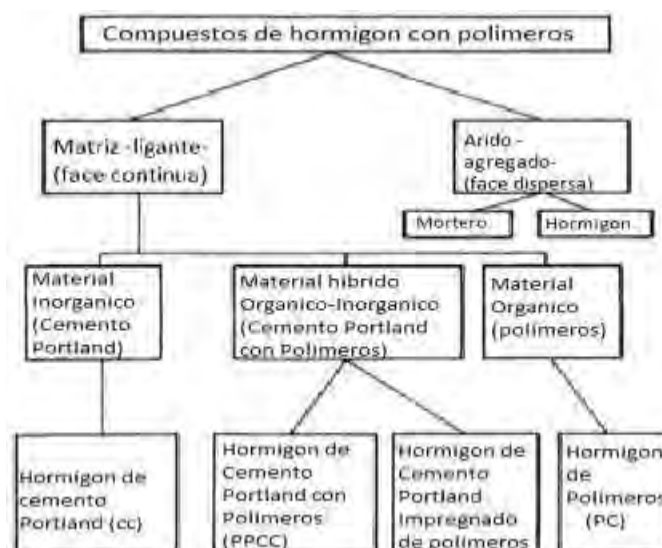


FIGURA. 2. 74. Tipos de compuestos resultantes del hormigón con polímeros.

Fuente:

https://www.researchgate.net/publication/274783650_Los_hormigones_con_polimeros_en_la_construccion_propiedades_y_aplicaciones [34] (consulta: 4/10/2018)

Las características del material dependerán, fundamentalmente, de estos dos constituyentes, pudiéndose controlar para posibilitar la fabricación de un material "hecho a medida", de forma que tengan un amplio espectro de aplicación.

En sus propiedades más elevadas puede obtenerse:

- Muy alta resistencia a la compresión, 100/150 MPa.
- Muy alta resistencia a la tensión, 30/40 MPa.
- Muy alta relación de las resistencias a la tracción y a la compresión, 1:4, frente al 1:10 del concreto normal.
- Gran rapidez de endurecimiento (horas).
- Excelente durabilidad frente a agentes químicos agresivos.
- Curva carga-deformación del tipo usual en concretos.

Los principales problemas provienen de las propiedades visco-elásticas del polímero, lo que significa un módulo de elasticidad no demasiado alto, fluencia más acusada y susceptibilidad a la temperatura, que no podrá pasar de niveles del orden de los 100 °C.

Hay que cuidar el valor de la tensión para cargas mantenidas, pues, por efecto de la fluencia, se llega a la rotura a niveles tensionales a veces sustancialmente menores que la carga de rotura. Para muchos concretos poliméricos comunes puede ser peligroso el mantenimiento de 50 por ciento de la carga de rotura.

El manejo de estos concretos es el normal en cuanto a equipos de mezclado y compactación, pero debe estudiarse previamente el tiempo de polimerización que permita la colocación, sobre todo en grandes cantidades, que puede reducirse por efecto del calor desprendido, y prever posibles deformaciones residuales al endurecer, máxime cuando hay armaduras internas, que siempre es recomendable que se coloquen, aunque el material presente una importante resistencia a la tensión. Otras precauciones deben dirigirse a la protección de los operarios y frente a incendio, debido a los volátiles que se producen, y a la limpieza de todos los útiles después del trabajo. [17]

Además del moldeado normal, es posible producir elementos por inyección, de espesores de 20 mm y menores, no teniendo las piezas por qué estar en los moldes más de 30 minutos. La prefabricación es un sector de gran potencial para una posible expansión de este tipo de productos. A las ventajas genéricas de los morteros y concretos poliméricos se unen, para este tipo de productos, las posibilidades de adhesión, fijación con insertos metálicos, color, textura superficial, etc. Además, la ligereza de las piezas frente a las de concreto tradicional las puede hacer competitivas, compensando el mayor precio con menores costos de transporte y de colocación.

Un campo de utilización importante es el de la reparación de estructuras de concreto, gracias a las altas resistencias específicas, la posibilidad de pequeños espesores, la fuerte adhesión a los substratos y la impermeabilidad frente a agentes agresivos.

Desde el punto de vista del cálculo, no hay todavía un código establecido, pero se obtienen buenos resultados con la metodología del concreto armado tradicional, adaptando el diagrama carga-deformación, de acuerdo con las propiedades específicas del material, a la forma parábola-

rectángulo, rectángulo o triángulo-rectángulo, siendo esta última la que hemos tenido ocasión de comprobar. [17]

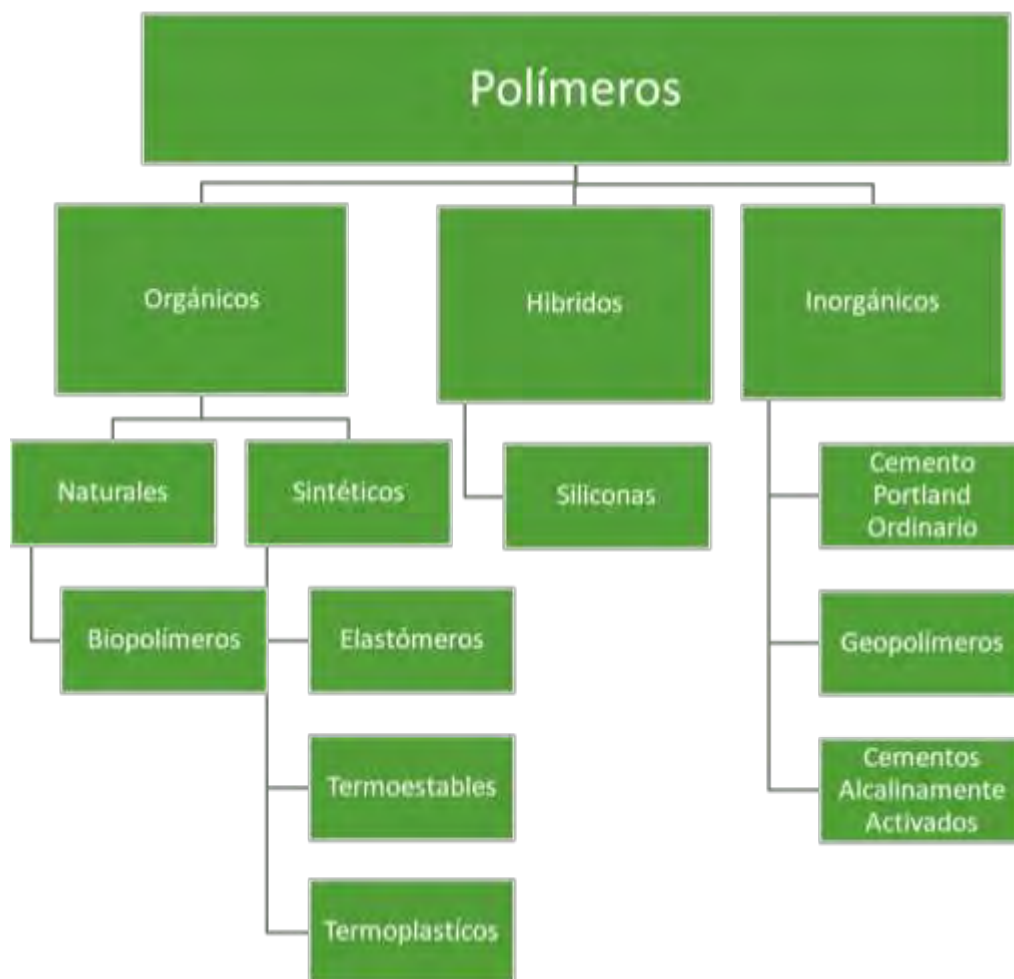


FIGURA. 2. 75. Diagrama orgánico de los polímeros. (Autoría propia)

- (partes).
- **Híbridos:** Combinación de estructuras de polímeros orgánicos e inorgánicos para formar este nuevo polímero denominado como un polímero híbrido, semejante a los elastómeros, con propiedades, específicas según se requieran.
- **Siliconas:** están constituidas por una estructura silicio-oxígeno y con diferentes ramificaciones, las cuales definen el tipo de polímero híbrido que resulta, pudiendo ser un elastómero incluso un aceite, presentando flexibilidad a baja temperatura, resistencia al calor, así como un buen desempeño a cambios bruscos de temperatura.
- **Inorgánicos:** Son macromoléculas creados por el hombre y se dividen en dos categorías según su comportamiento al ser calentados: termoplásticos y termorrígidos. Los primeros al calentarse se ablandan o funden, y son solubles en disolventes adecuados.
- **Cemento Portland Ordinario (CPO):** Con estructura de polímeros sintéticos, es un material de propiedades adhesivas y cohesivas, las cuales dan capacidad de aglutinar materiales para formar otro compacto.
- **Geopolímeros:** Estos tipos de polímeros inorgánicos ocurren con la reacción entre una solución ácida y una solución básica, generando una reacción ácido-base, entonces disolviendo hidróxidos alcalinos (Na o K), en arcillas.
- **Cementos Alcalinamente Activos (CAA):** Los cementos alcalinos se obtienen mediante la reacción entre un material de aluminosilicatos, que puede o no contener calcio en su composición, con una solución alcalina denominada activador alcalino. Dependiendo de la composición química de la materia prima, el producto de reacción podría ser un gel tridimensional de aluminosilicato (para sistemas de bajo Ca) o un gel de silicato de calcio para altas cantidades de Ca.
- **Orgánicos:** sus cadenas están conformadas con CH.

- **Naturales:** los encontramos cotidianamente, en una gran cantidad y estos son los polímeros naturales, como el algodón, la seda y el caucho natural.
- **Biopolímeros:** Como los polisacáridos, las proteínas y los ácidos nucleicos, también son polímeros naturales, pero por participar en funciones biológicas, en los seres vivos son denominados biopolímeros.
- **Sintéticos:** Una gran cantidad de artículos, que usamos, día a día son fabricados de polímeros sintéticos, son macromoléculas, creadas bajo procesos químicos, en la industrialización, por ejemplo, el caucho que es vulcanizado.
- **Termoplásticos:** Polímeros sintéticos, que, al aumentar la temperatura, cambian su forma, como un ejemplo las bolsas de plástico.
- **Termoestables:** Polímeros sintéticos, que frente a los cambios de temperatura mantienen su forma, por ejemplo, los moldes que se usan para hornear.
- **Elastómeros:** Polímeros sintéticos, que pueden recuperar su forma original, luego de haber sufrido una deformación, como algunas suelas de zapatos deportivos.
Fuente: (autoría propia)
- **Polímeros:** son macro moléculas, las cuales se repiten, poseen una masa molecular muy alta superando las 10 000 unidades, de ahí denominados macro moléculas, etimológicamente viene de dos vocablos griegos, poli (múltiples) y meros

2.8. La Huella de Carbono y los proyectos de construcción.

Intentado mitigar el impacto ambiental se analizar este tema. La construcción es uno de los sectores que más influye en el cambio climático entre otras razones, porque la fabricación de cemento Portland implica una emisión considerable de CO₂, que supone el 8% del balance total de emisiones mundiales. [32]

El concreto emite a la atmosfera gran cantidad de gases contaminantes, causantes del efecto invernadero (CO₂, SO₂, NO_x). Se estima que por cada tonelada de cemento se emiten 0.94 t de CO₂, lo que contribuye a que entre el 7-9% de las emisiones totales de CO₂ en el mundo, se deban al sector cementero. [14]

El concreto es el material de construcción más empleado en el mundo, y tras el agua, es el producto más consumido del planeta. Cada año, la industria del hormigón emplea 1.6 billones de toneladas de cemento, 10 billones de toneladas de roca y arena y un billón de toneladas de agua. Cada tonelada de cemento, requiere 1.5 toneladas de roca caliza, así como del consumo de combustibles fósiles, con un coste ambiental de 1 toneladas de CO₂ emitida por cada tonelada de cemento producida. Debido a este alto coste ambiental, las cementeras están ajustando los procesos de fabricación para reducir y compensar las emisiones, instalando superficies de carbonatación en las chimeneas, o mediante algas que se alimentan de humos ricos en Dióxido de Carbono. [32]

La producción de cemento se encuentra entre las mayores fuentes de emisiones antropogénicas de GEI, aproximadamente el 5% de las emisiones globales de CO₂. La producción de clinker es la responsable del total de las emisiones directas de CO₂ en esta industria. Aproximadamente el 60% de estas emisiones se deben a las reacciones químicas que sufren las materias primas en el horno, y el 40% restante son debidas a la combustión. El resto de las emisiones de dicho GEI (6-10%) proviene del consumo energético (tanto térmico como eléctrico) de las diferentes fases del proceso, que comprende desde la extracción de la materia prima hasta la expedición de los productos fabricados. [42]

Según el modelo de producción de cemento propuesto por Ammenberg, Feiz, Helgstrand, Eklund y Baa en el 2011, las alternativas con distinto potencial de reducción de la huella de carbono de la industria del cemento se pueden integrar, bajo un adecuado marco de gestión medioambiental, en diferentes grupos de estrategias.



FIGURA. 2. 76. Integración de las medidas de reducción de las emisiones de dióxido carbono (CO₂) en la producción de cemento Portland.

Fuente: <http://dx.doi.org/10.15446/innovar.v26n60.55532> [42] Consulta (8/12/18)

Tablas, de balance aplicados a distintos tipos de cementos, con más o menos adiciones. Se aprecia que se ha analizado el ciclo completo, desde la producción (incluido el transporte), la construcción, el uso, la demolición y tras la demolición.

Emisiones de CO ₂ (kg/columna)						
	CEM Portland	CEM II/B-S (35% escoria de alto horno)	CEM III/A (50% escoria de alto horno)	CEM III/B (80% escoria de alto horno)	CEM II/A-V (20% cenizas volantes)	CEM II/B-V (35% cenizas volantes)
Producción	72.67	55.69	48.42	33.87	61.72	53.52
Construcción	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21
Uso	-16.39	-10.65	-8.94	-3.58	-13.11	-11.63
Demolición	1.19	1.19	1.19	1.19	1.19	1.19
Tras demolición	-18.28	-11.89	-8.39	-3.36	-14.63	-10.91
Total (kg)	39.4	34.56	32.49	28.34	35.39	32.39

	CEM PORTLAND	CEM II/B-S (35% escoria de alto horno)	CEM III/A (50% escoria de alto horno)	CEM III/B (80% escoria de alto horno)	CEM II/A-V (20% cenizas volantes)	CEM II/B-V (35% cenizas volantes)
Vida útil (años)	100.42	100.42	90.62	90.62	100.42	90.62
Total (kg CO ₂ /año)	0.392	0.344	0.359	0.313	0.352	0.365

FIGURA. 2. 77. Tablas, de balance aplicados a distintos tipos de cementos. Fuente: [42] Consulta (8/12/18)

Capítulo 3- Diseño Experimental.

3. Diseño experimental.

- 1. C-1241018: 100% CAL STD, 275% MARMOLINA TIPO II, y con una relación AGUA-CEMENTO =1:1.
- 2. C-2241118: 100% CAL STD, 275% MARMOLINA TIPO II, 5% METACAOLIN, y con una RELACION AGUA-CEMENTO =1:1.
- 3. C-1261018: 100% CAL STD, 275% MARMOLINA TIPO II, 10% METACAOLIN y con una relación AGUA-CEMENTO =1:1.
- 4. C-2251018: 100% CAL STD, 275% MARMOLINA TIPO II, 5% METACAOLIN, 5% CLORURO DE SODIO, y con una relación AGUA-CEMENTO =1:1.
- 5. C-3251018: 100% CAL STD, 275% MARMOLINA TIPO II, 5% METACAOLIN, 10% CLORURO DE SODIO, y con una relación AGUA-CEMENTO =1:1.
- 6. C-2261018: 100% CAL STD, 275% MARMOLINA TIPO II, 10% METACAOLIN, 5% CLORURO DE SODIO, y con una relación AGUA-CEMENTO =1:1.
- 7. C-3261018: 100% CAL STD, 275% MARMOLINA TIPO II, 10% METACAOLIN, 10% CLORURO DE SODIO, y con una relación AGUA-CEMENTO =1:1.
- 8. C-151118: 100% CAL STD, 275% MARMOLINA TIPO II, 10% HARINA DE ARROZ y con una relación AGUA-CEMENTO =1:1.
- 9. C-251118: 100% CAL STD, 275% MARMOLINA TIPO II, 20% HARINA DE ARROZ y con una relación AGUA-CEMENTO =1.2:1.
- 10. C-351118: 100% CAL STD, 275% MARMOLINA TIPO II, 30% HARINA DE ARROZ y con una relación AGUA-CEMENTO =1.3:1.
- 11. C-161118: 100% CAL STD, 275% MARMOLINA TIPO II, 5% METACAOLIN, 10% HARINA DE ARROZ y con una relación AGUA-CEMENTO =1.1:1.
- 12. C-261118: 100% CAL STD, 275% MARMOLINA TIPO II, 10% METACAOLIN, 10% HARINA DE ARROZ y con una relación AGUA-CEMENTO =1.1:1.
- 13. C-171118: 100% CAL STD, 275% MARMOLINA TIPO II, 5% METACAOLIN, 20% HARINA DE ARROZ y con una relación AGUA-CEMENTO =1.2:1.

- 14. C-271118: 100% CAL STD, 275% MARMOLINA TIPO II, 10% METACAOLIN, 20% HARINA DE ARROZ y con una relación AGUA-CEMENTO =1.2:1.
- 15. C-371118: 100% CAL STD, 275% MARMOLINA TIPO II, 5% METACAOLIN, 30% HARINA DE ARROZ y con una relación AGUA-CEMENTO =1.3:1.
- 16. C-181118: 100% CAL STD, 275% MARMOLINA TIPO II, 10% METACAOLIN, 30% HARINA DE ARROZ y con una relación AGUA-CEMENTO =1.3:1.
- 17. C-281118: 100% CAL STD, 275% MARMOLINA TIPO II, 5% METACAOLIN, 5% CLORURO DE SODIO, 10% HARINA DE ARROZ y con una relación AGUA-CEMENTO =1.1:1.
- 18. C-381118: 100% CAL STD, 275% MARMOLINA TIPO II, 5% METACAOLIN, 10% CLORURO DE SODIO, 10% HARINA DE ARROZ y con una relación AGUA-CEMENTO =1.1:1.
- 19. C-481118: 100% CAL STD, 275% MARMOLINA TIPO II, 10% METACAOLIN, 5% CLORURO DE SODIO, 10% HARINA DE ARROZ y con una relación AGUA-CEMENTO =1.1:1.
- 20. C-581118: 100% CAL STD, 275% MARMOLINA TIPO II, 10% METACAOLIN, 10% CLORURO DE SODIO, 10% HARINA DE ARROZ y con una relación AGUA-CEMENTO =1.1:1.
- 21. C-191118: 100% CAL STD, 275% MARMOLINA TIPO II, 5% METACAOLIN, 5% CLORURO DE SODIO, 20% HARINA DE ARROZ y con una relación AGUA-CEMENTO =1.2:1.
- 22. C-291118: 100% CAL STD, 275% MARMOLINA TIPO II, 5% METACAOLIN, 10% CLORURO DE SODIO, 20% HARINA DE ARROZ y con una relación AGUA-CEMENTO =1.2:1.
- 23. C-391118: 100% CAL STD, 275% MARMOLINA TIPO II, 10% METACAOLIN, 5% CLORURO DE SODIO, 20% HARINA DE ARROZ y con una relación AGUA-CEMENTO =1.2:1.
- 24. C-491118: 100% CAL STD, 275% MARMOLINA TIPO II, 10% METACAOLIN, 10% CLORURO DE SODIO, 20% HARINA DE ARROZ y con una relación AGUA-CEMENTO =1.2:1.
- 25. C-591118: 100% CAL STD, 275% MARMOLINA TIPO II, 5% METACAOLIN, 5% CLORURO DE SODIO, 30% HARINA DE ARROZ y con una relación AGUA-CEMENTO =1.3:1.
- 26. C-1121118: 100% CAL STD, 275% MARMOLINA TIPO II, 5% METACAOLIN, 10% CLORURO DE SODIO, 30% HARINA DE ARROZ y con una relación AGUA-CEMENTO =1.3:1.

- 27. C-2111218: 100% CAL STD, 275% MARMOLINA TIPO II, 10% METACAOLIN, 5% CLORURO DE SODIO, 30% HARINA DE ARROZ y con una relación AGUA-CEMENTO =1.3:1.
- 28. C-3121118: 100% CAL STD, 275% MARMOLINA TIPO II, 10% METACAOLIN, 10% CLORURO DE SODIO, 30% HARINA DE ARROZ y con una relación AGUA-CEMENTO =1.3:1.
- 29. C-1161118: 100% CAL STD, 275% MARMOLINA TIPO II, 5% METACAOLIN, 5% CARBONATO DE SODIO, y con una relación AGUA-CEMENTO =1:1.
- 30. C-2161118: 100% CAL STD, 275% MARMOLINA TIPO II, 10% METACAOLIN, 5% CARBONATO DE SODIO, y con una relación AGUA-CEMENTO =1:1.
- 31. C-3161118: 100% CAL STD, 275% MARMOLINA TIPO II, 5% METACAOLIN, 10% CARBONATO DE SODIO, y con una relación AGUA-CEMENTO =1:1.
- 32. C-4161118: 100% CAL STD, 275% MARMOLINA TIPO II, 10% METACAOLIN, 10% CARBONATO DE SODIO, y con una relación AGUA-CEMENTO =1:1.
- 33. C-1211118: 100% CAL STD, 275% MARMOLINA TIPO II, 5% METACAOLIN, 10% CARBONATO DE SODIO, 10% HARINA DE ARROZ y con una relación AGUA-CEMENTO =1.1:1.
- 34. C-2211118: 100% CAL STD, 275% MARMOLINA TIPO II, 10% METACAOLIN, 10% CARBONATO DE SODIO, 10% HARINA DE ARROZ y con una relación AGUA-CEMENTO =1.1:1.
- 35. C-3211118: 100% CAL STD, 275% MARMOLINA TIPO II, 5% METACAOLIN, 5% CARBONATO DE SODIO, 20% HARINA DE ARROZ y con una relación AGUA-CEMENTO =1.2:1.
- 36. C-4211118: 100% CAL STD, 275% MARMOLINA TIPO II, 10% METACAOLIN, 5% CARBONATO DE SODIO, 20% HARINA DE ARROZ y con una relación AGUA-CEMENTO =1.2:1.
- 37. C-1221118: 100% CAL STD, 275% MARMOLINA TIPO II, 5% METACAOLIN, 10% CARBONATO DE SODIO, 20% HARINA DE ARROZ y con una relación AGUA-CEMENTO =1.2:1.
- 38. C-2221118: 100% CAL STD, 275% MARMOLINA TIPO II, 10% METACAOLIN, 10% CARBONATO DE SODIO, 20% HARINA DE ARROZ y con una relación AGUA-CEMENTO =1.2:1.
- 39. C-3271118: 100% CAL STD, 275% MARMOLINA TIPO II, 5% METACAOLIN, 5% CARBONATO DE SODIO, 30% HARINA DE ARROZ y con una relación AGUA-CEMENTO =1.3:1.

40. C-4271118: 100% CAL STD, 275% MARMOLINA TIPO II, 10% METACAOLIN, 5% CARBONATO DE SODIO, 30% HARINA DE ARROZ y con una relación AGUA-CEMENTO =1.3:1.

41. C-1281118: 100% CAL STD, 275% MARMOLINA TIPO II, 5% METACAOLIN, 10% CARBONATO DE SODIO, 30% HARINA DE ARROZ y con una relación AGUA-CEMENTO =1.3:1.

42. C-5271118: 100% CAL STD, 275% MARMOLINA TIPO II, 10% METACAOLIN, 10% CARBONATO DE SODIO, 30% HARINA DE ARROZ y con una relación AGUA-CEMENTO =1.3:1.

43. C-1271118: 100% CAL STD, 275% MARMOLINA TIPO II, 5% METACAOLIN, 5% CARBONATO DE SODIO, 10% HARINA DE ARROZ y con una relación AGUA-CEMENTO =1:1.

44. C-2271118: 100% CAL STD, 275% MARMOLINA TIPO II, 10% METACAOLIN, 5% CARBONATO DE SODIO, 10% HARINA DE ARROZ y con una relación AGUA-CEMENTO =1.1:1.

45. C-1301118: 100% CAL STD, 275% MARMOLINA TIPO II, 5% METACAOLIN, 5% SULFATO DE SODIO, y con una relación AGUA-CEMENTO =1:1.

46. C-131218: 100% CAL STD, 275% MARMOLINA TIPO II, 5% METACAOLIN, 10% SULFATO DE SODIO, y con una relación AGUA-CEMENTO =1:1.

47. C-231218: 100% CAL STD, 275% MARMOLINA TIPO II, 10% METACAOLIN, 5% SULFATO DE SODIO, y con una relación AGUA-CEMENTO =1:1.

48. C-331218: 100% CAL STD, 275% MARMOLINA TIPO II, 10% METACAOLIN, 10% SULFATO DE SODIO, y con una relación AGUA-CEMENTO =1:1.

49. C-141218: 100% CAL STD, 275% MARMOLINA TIPO II, 5% METACAOLIN, 5% SULFATO DE SODIO, 10% HARINA DE ARROZ y con una relación AGUA-CEMENTO =1.1:1.

50. C-241218: 100% CAL STD, 275% MARMOLINA TIPO II, 5% METACAOLIN, 10% SULFATO DE SODIO, 10% HARINA DE ARROZ y con una relación AGUA-CEMENTO =1.1:1.

51. C-341218: 100% CAL STD, 275% MARMOLINA TIPO II, 10% METACAOLIN, 5% SULFATO DE SODIO, 10% HARINA DE ARROZ y con una relación AGUA-CEMENTO =1.1:1.

52. C-161218: 100% CAL STD, 275% MARMOLINA TIPO II, 10% METACAOLIN, 10% SULFATO DE SODIO, 10% HARINA DE ARROZ y con una relación AGUA-CEMENTO =1.1:1.
53. C-261218: 100% CAL STD, 275% MARMOLINA TIPO II, 5% METACAOLIN, 5% SULFATO DE SODIO, 20% HARINA DE ARROZ y con una relación AGUA-CEMENTO =1.2:1.

54. C-361218: 100% CAL STD, 275% MARMOLINA TIPO II, 5% METACAOLIN, 10% SULFATO DE SODIO, 20% HARINA DE ARROZ y con una relación AGUA-CEMENTO =1.2:1.

55. C-461218: 100% CAL STD, 275% MARMOLINA TIPO II, 10% METACAOLIN, 5% SULFATO DE SODIO, 20% HARINA DE ARROZ y con una relación AGUA-CEMENTO =1.2:1.

56. C-1101218: 100% CAL STD, 275% MARMOLINA TIPO II, 5% CLORURO DE SODIO, y con una relación AGUA-CEMENTO =1:1.

57. C-2101218: 100% CAL STD, 275% MARMOLINA TIPO II, 5% CARBONATO DE SODIO, y con una relación AGUA-CEMENTO =1:1.

58. C-3101218: 100% CAL STD, 275% MARMOLINA TIPO II, 10% CARBONATO DE SODIO, y con una relación AGUA-CEMENTO =1:1.

59. C-4101218: 100% CAL STD, 275% MARMOLINA TIPO II, 5% SULFATO DE SODIO y con una relación AGUA-CEMENTO =1:1.

60. C-5101218: 100% CAL STD, 275% MARMOLINA TIPO II, 10% SULFATO DE SODIO, y con una relación AGUA-CEMENTO =1:1.

61. C-1131218: 100% CAL STD, 275% MARMOLINA TIPO II, 5% CARBONATO DE SODIO, 10% HARINA DE ARROZ y con una relación AGUA-CEMENTO =1.1:1.

62. C-2131218: 100% CAL STD, 275% MARMOLINA TIPO II, 10% CARBONATO DE SODIO, 10% HARINA DE ARROZ y con una relación AGUA-CEMENTO =1.1:1.

63. C-3131218: 100% CAL STD, 275% MARMOLINA TIPO II, 5% CARBONATO DE SODIO, 20% HARINA DE ARROZ y con una relación AGUA-CEMENTO =1.2:1.

64. C-4131218: 100% CAL STD, 275% MARMOLINA TIPO II, 10% CARBONATO DE SODIO, 20% HARINA DE ARROZ y con una relación AGUA-CEMENTO =1.2:1.

65. C-5131218: 100% CAL STD, 275% MARMOLINA TIPO II, 5% CARBONATO DE SODIO, 30% HARINA DE ARROZ y con una relación AGUA-CEMENTO =1.3:1.
66. C-6131218: 100% CAL STD, 275% MARMOLINA TIPO II, 10% CARBONATO DE SODIO, 30% HARINA DE ARROZ y con una relación AGUA-CEMENTO =1.3:1.

67. C-1171218: 100% CAL STD, 275% MARMOLINA TIPO II, 5% SULFATO DE SODIO, 10% HARINA DE ARROZ y con una relación AGUA-CEMENTO =1.1:1.

68. C-1181218: 100% CAL STD, 275% MARMOLINA TIPO II, 10% SULFATO DE SODIO, 10% HARINA DE ARROZ y con una relación AGUA-CEMENTO =1.1:1.

69. C-130119: 100% CAL STD, 275% MARMOLINA TIPO II, 5% CLORURO DE SODIO, 10% HARINA DE ARROZ y con una relación AGUA-CEMENTO =1.1:1.

70. C-230119: 100% CAL STD, 275% MARMOLINA TIPO II, 10% CLORURO DE SODIO, 10% HARINA DE ARROZ y con una relación AGUA-CEMENTO =1.1:1.

71. C-30119: 100% CAL STD, 275% MARMOLINA TIPO II, 10% CLORURO DE SODIO, 20% HARINA DE ARROZ y con una relación AGUA-CEMENTO =1.2:1.

72. C-430119: 100% CAL STD, 275% MARMOLINA TIPO II, 10% CLORURO DE SODIO, 20% HARINA DE ARROZ y con una relación AGUA-CEMENTO =1.2:1.

73. C-530119: 100% CAL STD, 275% MARMOLINA TIPO II, 5% CLORURO DE SODIO, 30% HARINA DE ARROZ y con una relación AGUA-CEMENTO =1.3:1.

74. C-150119: 100% CAL STD, 275% MARMOLINA TIPO II, 10% CLORURO DE SODIO, 30% HARINA DE ARROZ y con una relación AGUA-CEMENTO =1.3:1.

75. C-2151018: 100% CAL STD, 275% MARMOLINA TIPO II, 10% CLORURO DE SODIO, y con una relación AGUA-CEMENTO =1:1.

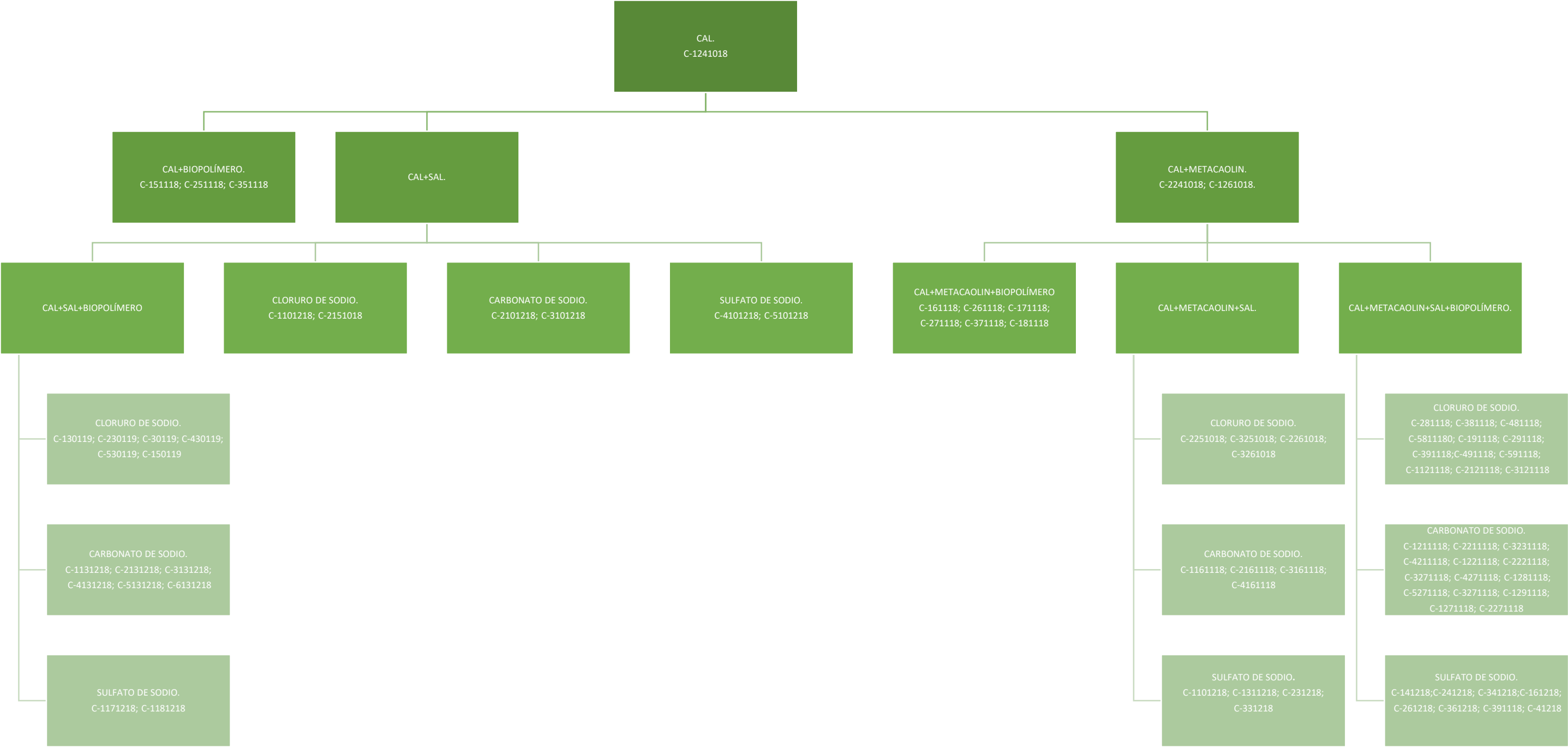


Figura. 3. 1. Nomenclatura de las Corridas experimentales

Capitulo 4- Resultados

experimentales.

4. Resultados experimentales.

4.1. Sientes del proceso de fabricación.

Se adicionó un 100% (50g, pesados con exactitud de 0.01g, de estos 50g tomados como un 100% se parte para los porcentajes que se mencionarán a continuación) de Cal estándar, junto con 275% de Marmolina tipo 2, se mezclaron en seco, y se adicionaron los porcentajes correspondientes de cada corrida en particular, teniendo relaciones de $A/C = 1:1$, se mezclaron hasta alcanzar la trabajabilidad y fueron colados, y vibrado en dos capas durante 30' cada capa y se dejaron fraguar con períodos de 1 día hasta una semana(en casos particulares con adiciones del carbonato de sodio).

Para el caso de las corridas modificadas con el biopolímero se repitió el procedimiento ya descrito, con la diferencia que para adicionar el agua fue necesario calentarla, (para poder llegar a abrir las cadenas poliméricas del almidón de arroz, y así conseguir la correcta adición del biopolímero) se calentó hasta el punto de ebullición, y fue necesaria aumentar la relación A/C aumentando en agua una cantidad igual a la del biopolímero, por ejemplo, si se ponía en la mezcla un 20% de harina de arroz, la relación agua-cemento era $A/C = 1.2:1$ y así respectivamente a cada uno de los porcentajes de adición del biopolímero.

Para la preparación de las pruebas de compresión, se introdujeron. Todas las muestras a en el horno durante 96 horas, a una temperatura de 45°C , para mantener controlado en medida de lo posible la humedad, protegidas como se muestra en la figura 4.1, teniendo la muestra más joven una edad de 62 y la más longeva 126 días al día de ser probados.



Figura. 4. 1. Corridas en el horno protegidas.

4.2. Cementos de baja emisión de dióxido de carbono.



Figura. 4. 2. Imágenes de la corrida C-1241018. Fuente: (Autoría propia).

Nota: de composición 100% CAL ESTANDAR, 275% MARMOLINA Tipo 2 y A/C= 1:1 (50 g de agua potable) y dimensiones de diámetro igual a 22.9mm y longitud de 45.8mm CON DENSIDAD = $37.2637811 \text{ g/cm}^3$, que presenta una buena dureza al ser pulido, con poco desprendimiento.

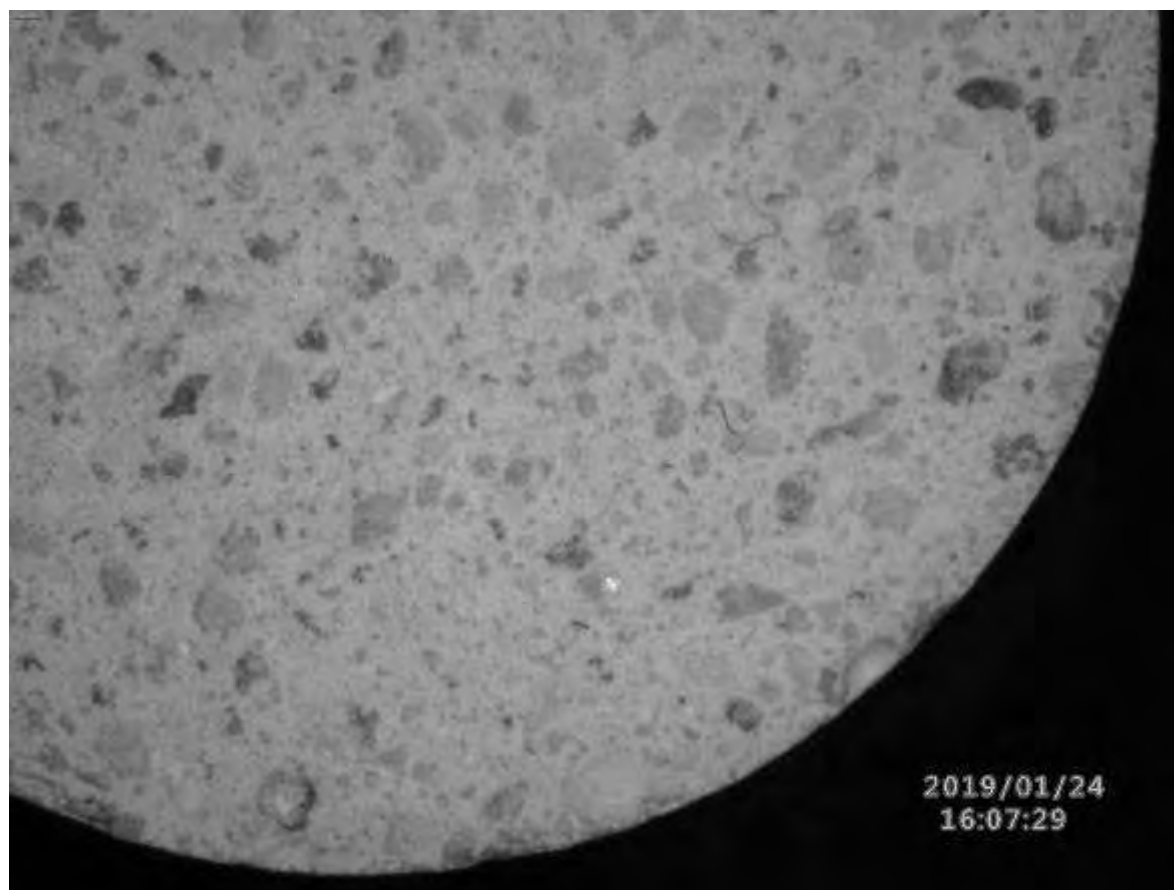


Figura. 4. 3. Microscopia de la C-1241018. Fuente: Autoría propia.

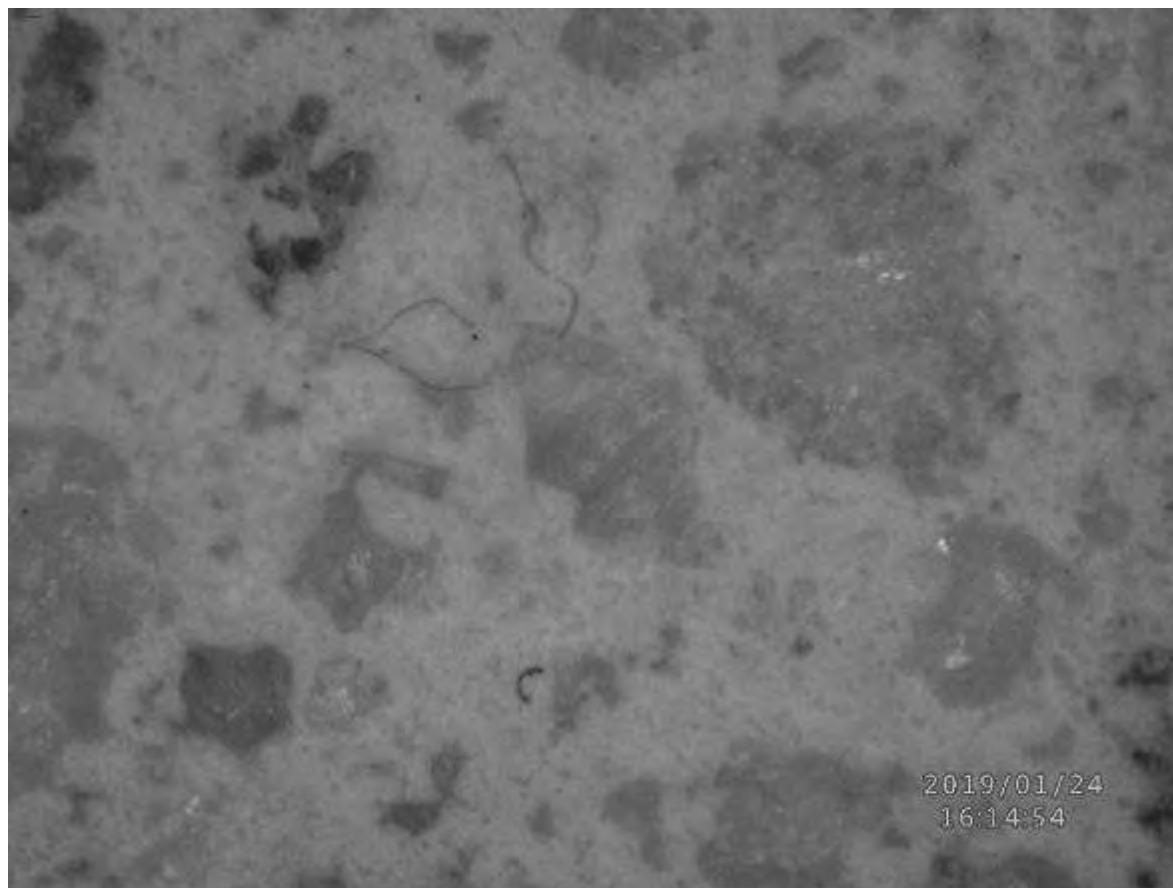


Figura. 4. 4. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1241018, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

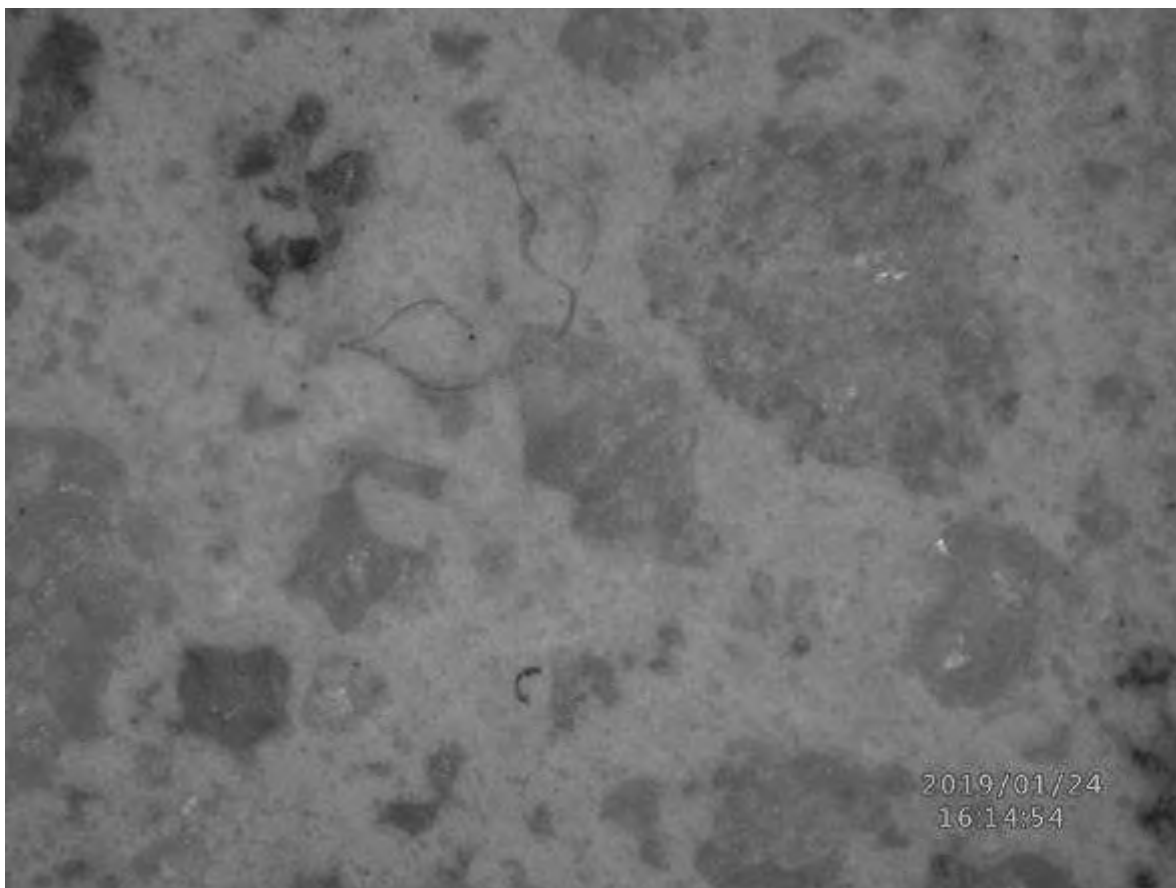


Figura. 4. 5. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1241018, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente.
Fuente: (autoría propia).

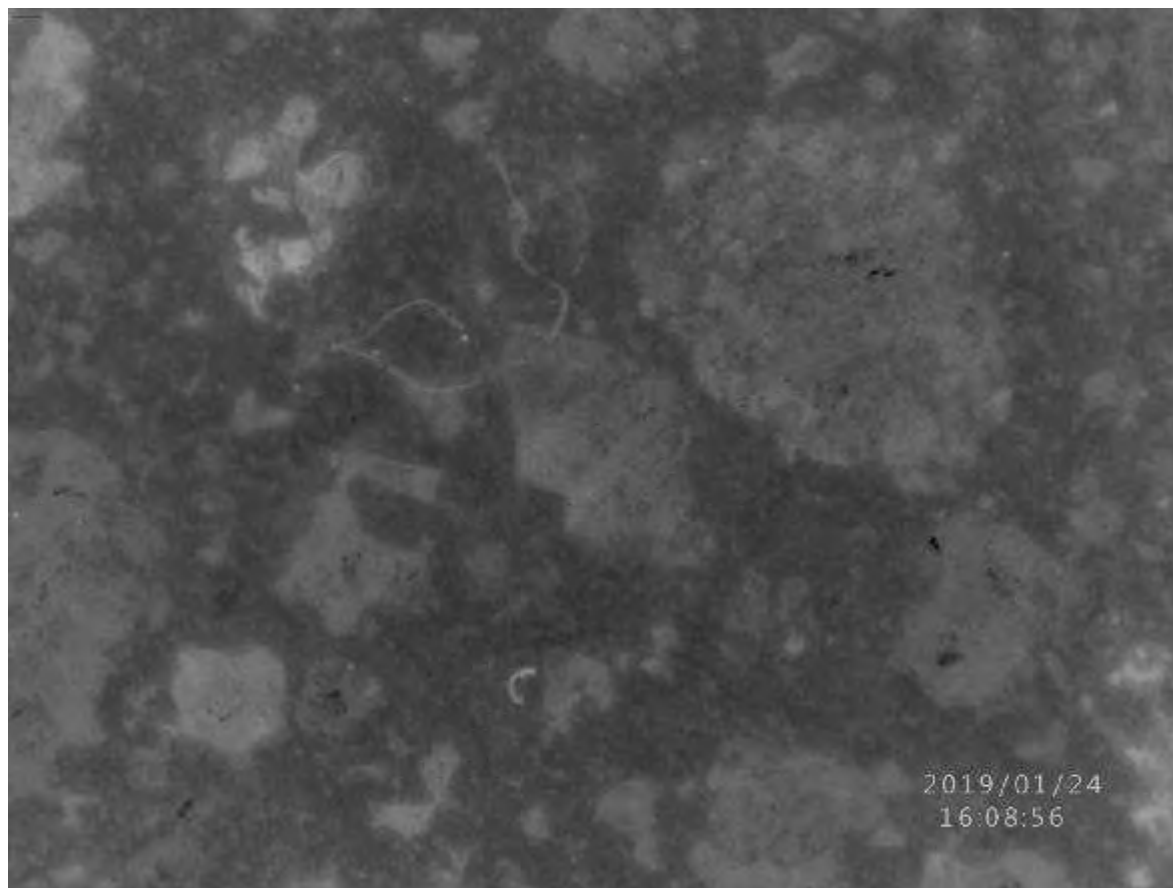


Figura. 4. 6. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1241018, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente.
Fuente: (autoría propia).

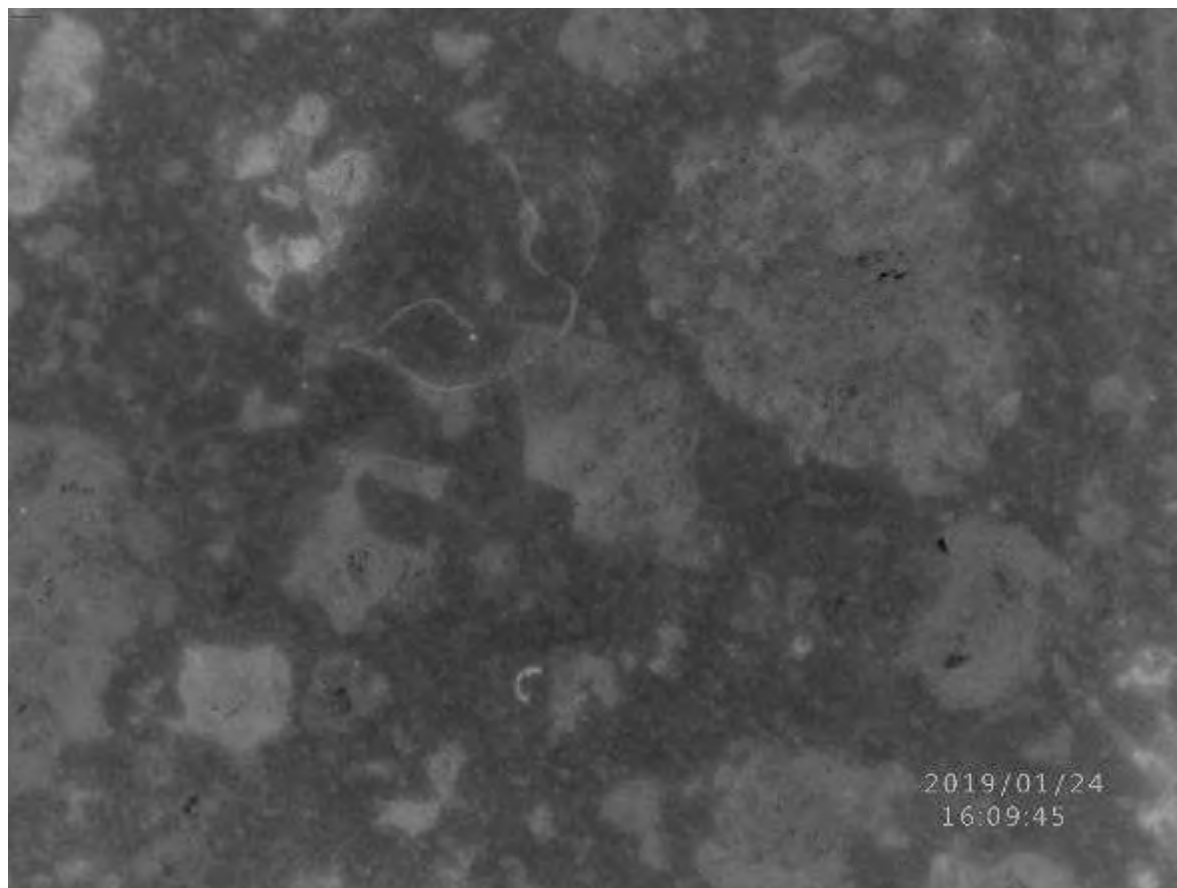


Figura. 4. 7. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1241018, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente.
Fuente: (autoría propia).

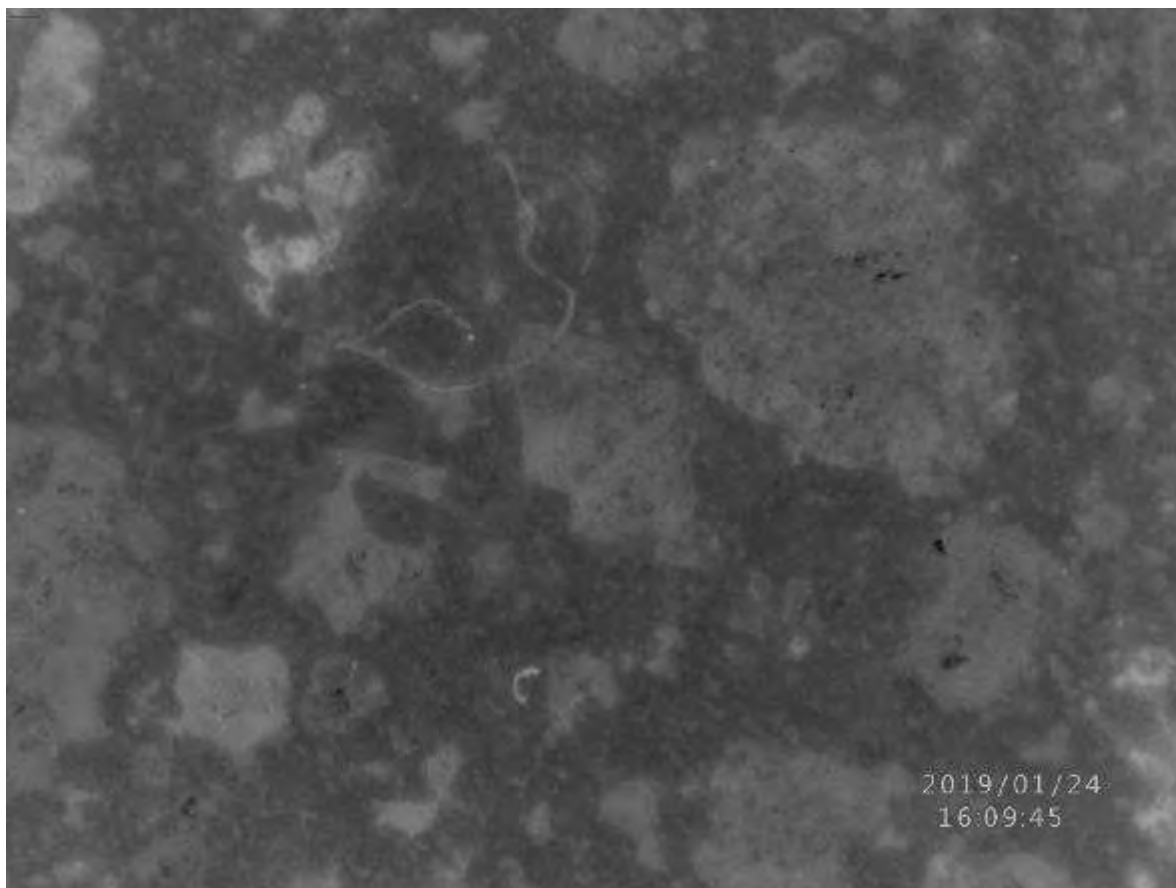


Figura. 4. 8. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1241018 a, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

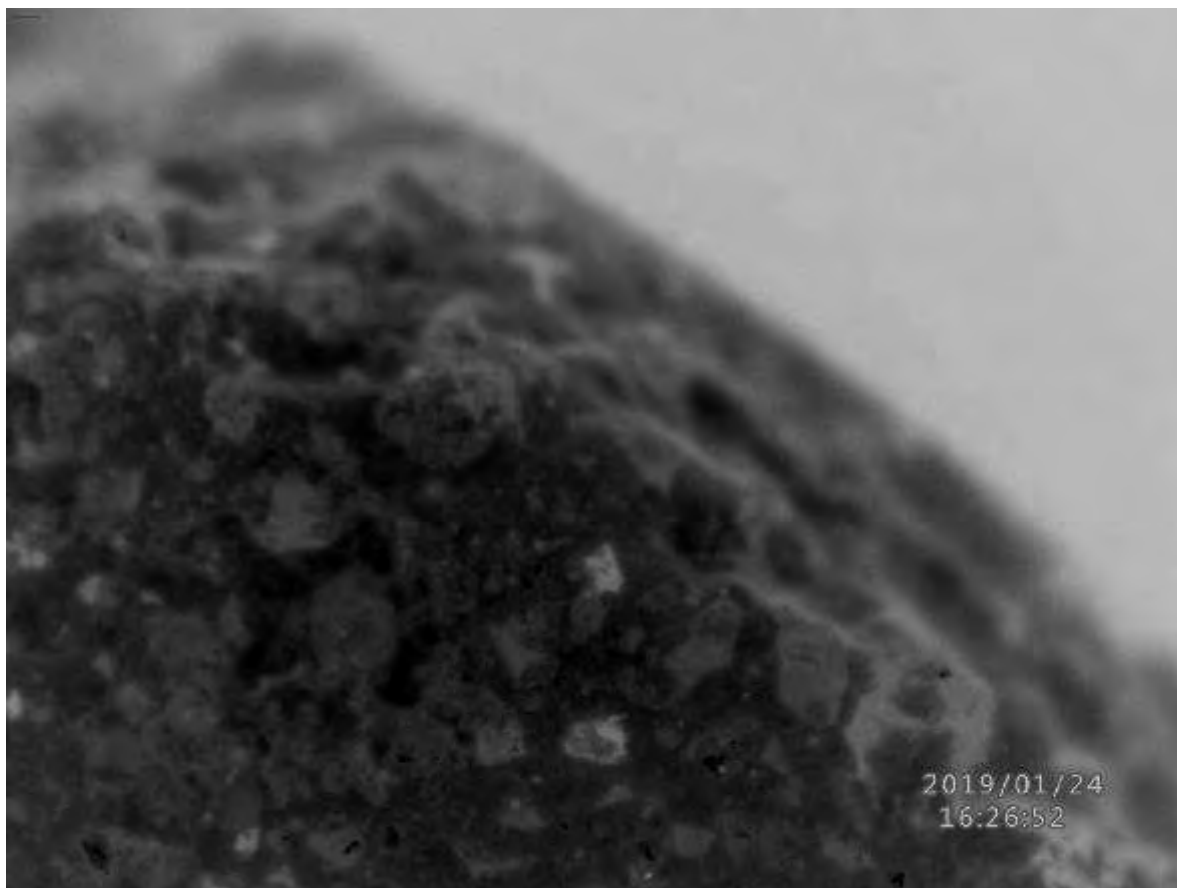


Figura. 4. 9. Microscopia aumentada digitalmente de la C-1241018 a, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente.
Fuente: (autoría propia).

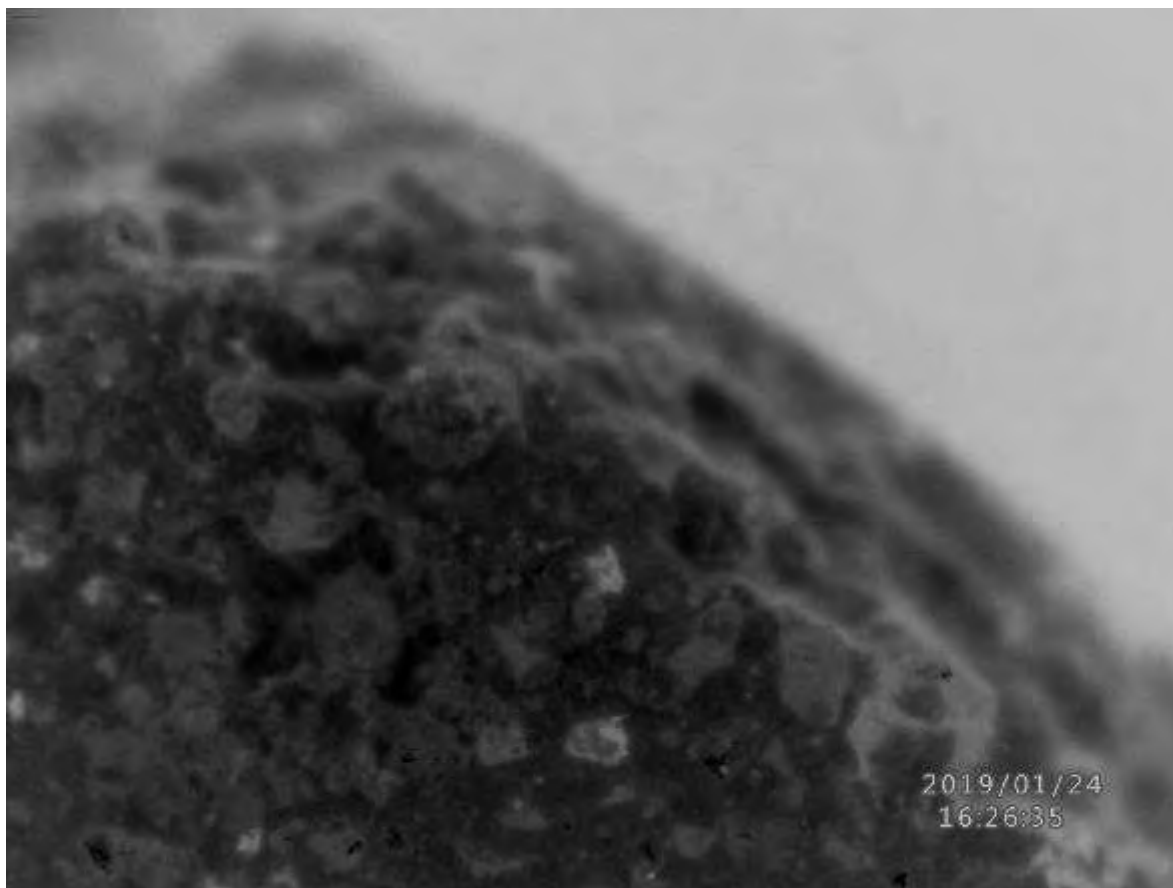


Figura. 4. 10. Microscopia aumentada de la C-1241018 a, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

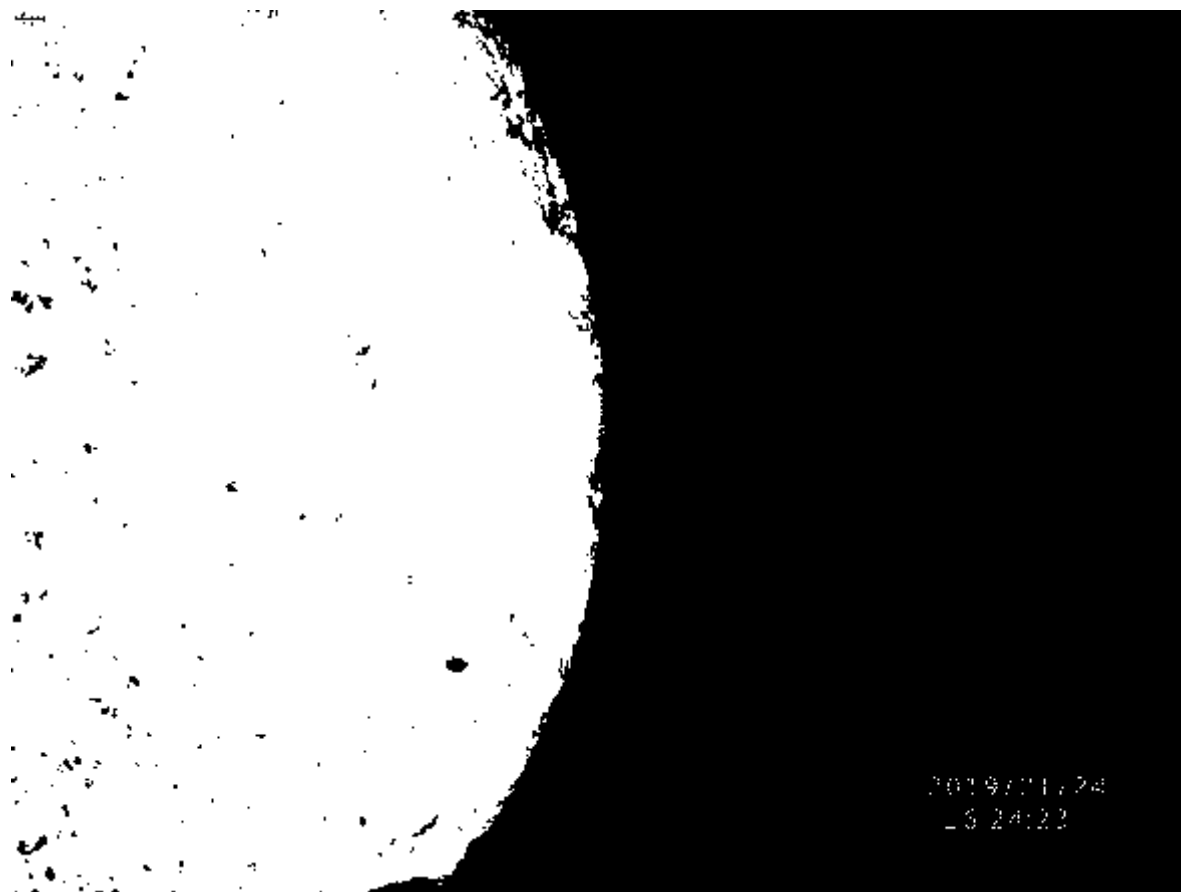


Figura. 4. 11. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1241018 a, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

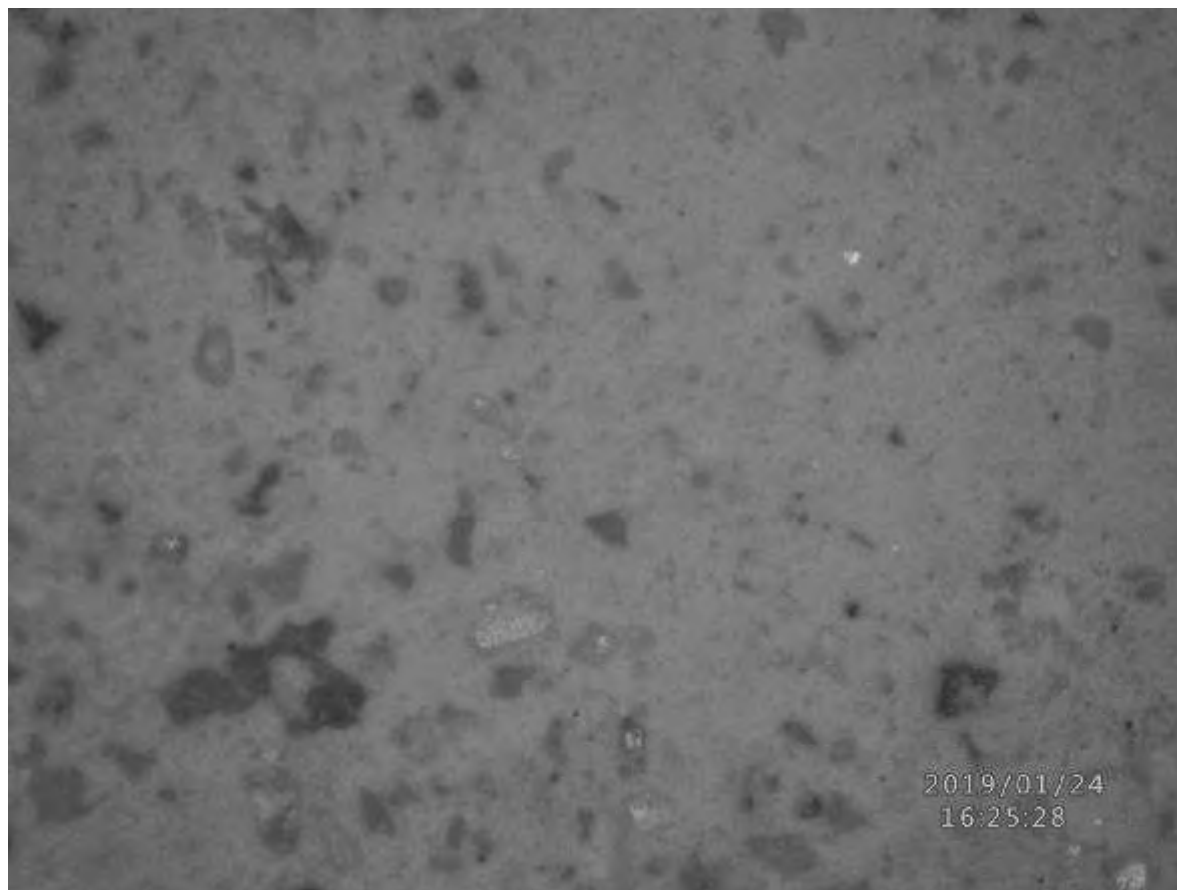
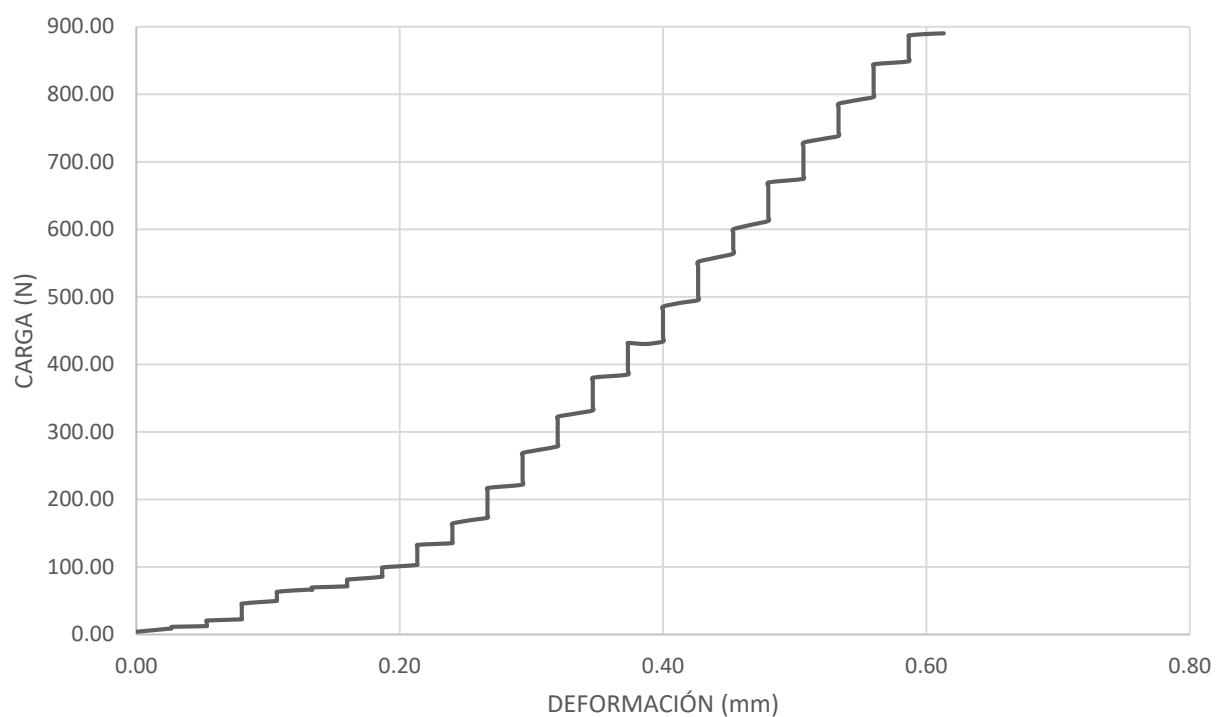


Figura. 4. 12. Microscopía aumentada digitalmente de la C-1241018 a, sin filtros. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 13. Fotografía de la C-1241018, en la prensa. Fuente: (autoría propia).

CARGA-DEFORMACIÓN



Gráficas 4. 1. Curva Carga-Deformación de la C-1241018, en N-mm. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 14. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-1241018.



Figura. 4. 15. Imágenes de la corrida C-2241018. fuente; (autoría propia).

Nota: De composición 100% CAL ESTANDAR, 275% MARMOLINA Tipo 2, 5% METACAOLIN y A/C= 1:1 (50 g de agua potable), de diámetro igual a 23.2mm y longitud de 45.6mm, que presenta una buena dureza al ser pulido, con poco desprendimiento.

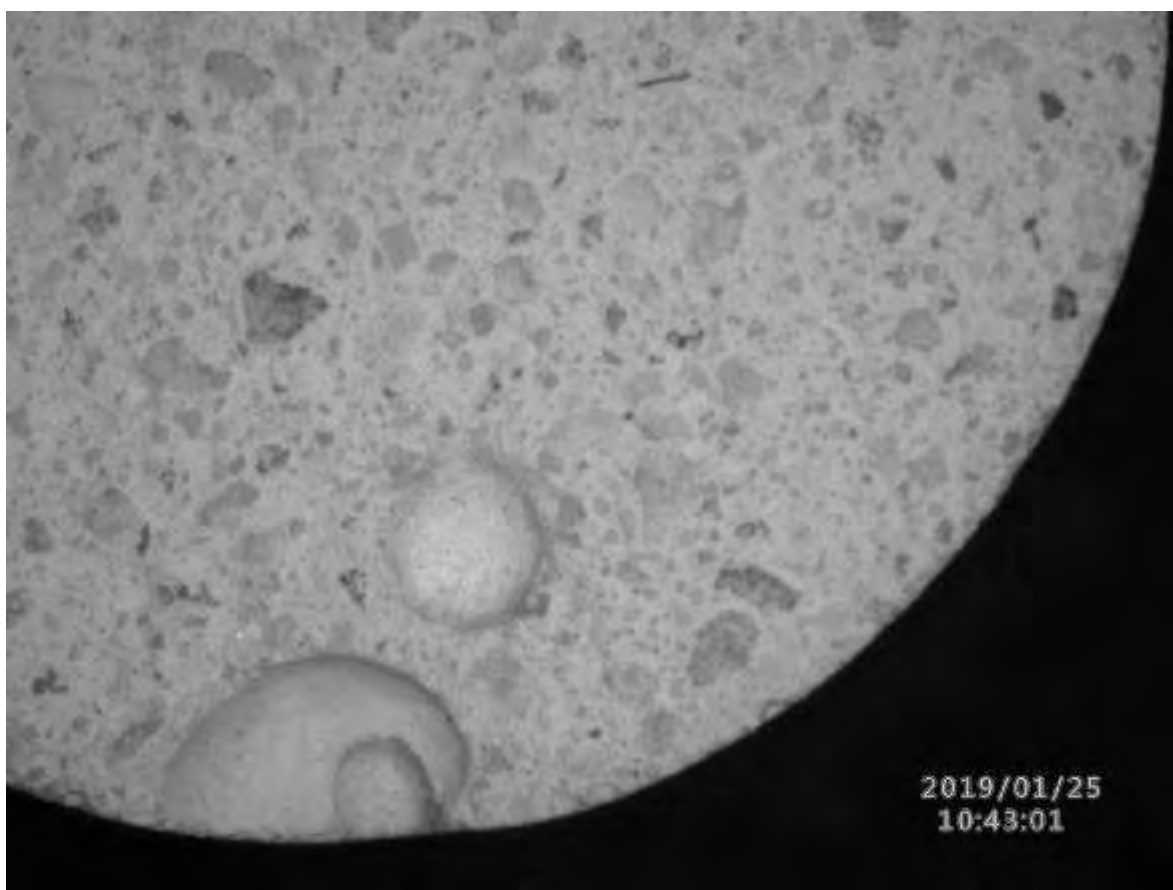


Figura. 4. 16. Microscopia de la C-2241018. Fuente: Autoría propia.

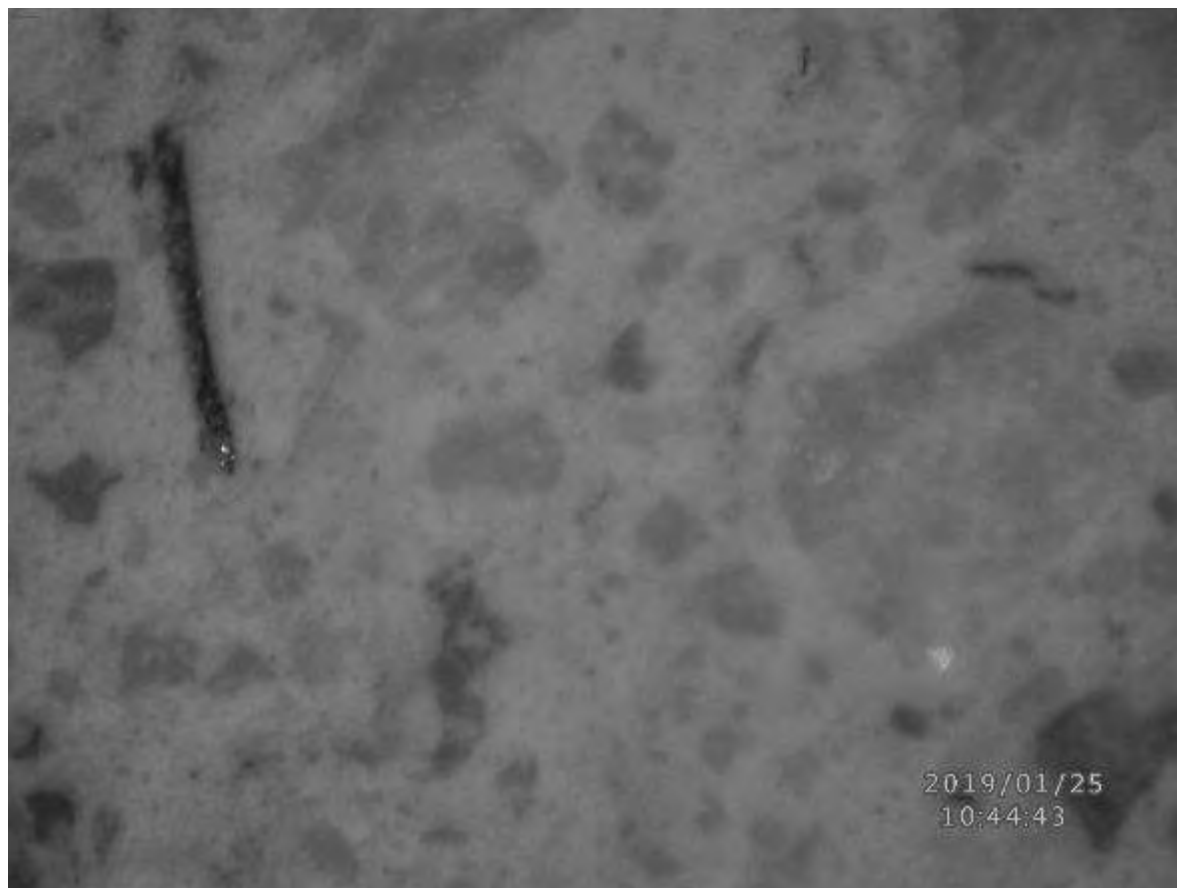


Figura. 4. 17. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2241018, sin filtros. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 18. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1241018, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

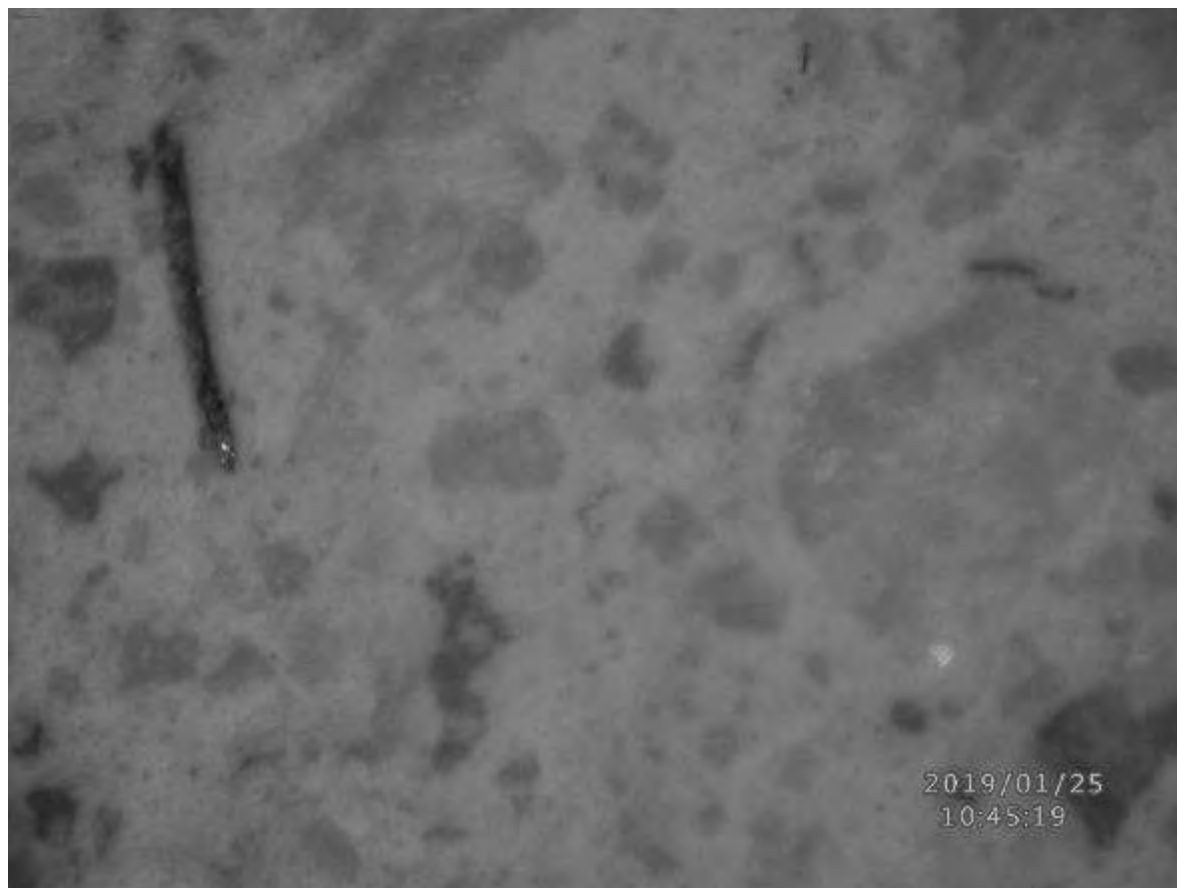


Figura. 4. 19. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2241018, bajo un filtro normal y una luz incandescente.
Fuente: (autoría propia).

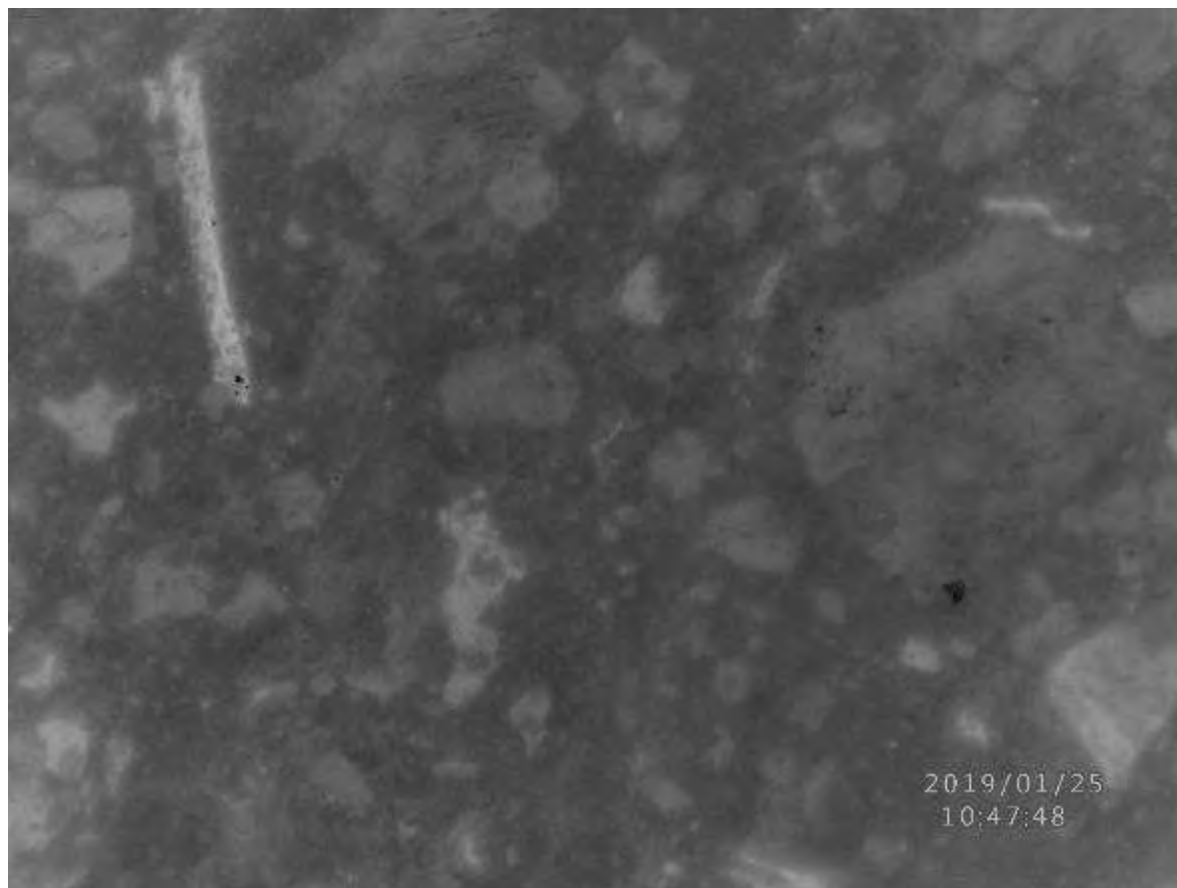


Figura. 4. 20. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2241018, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

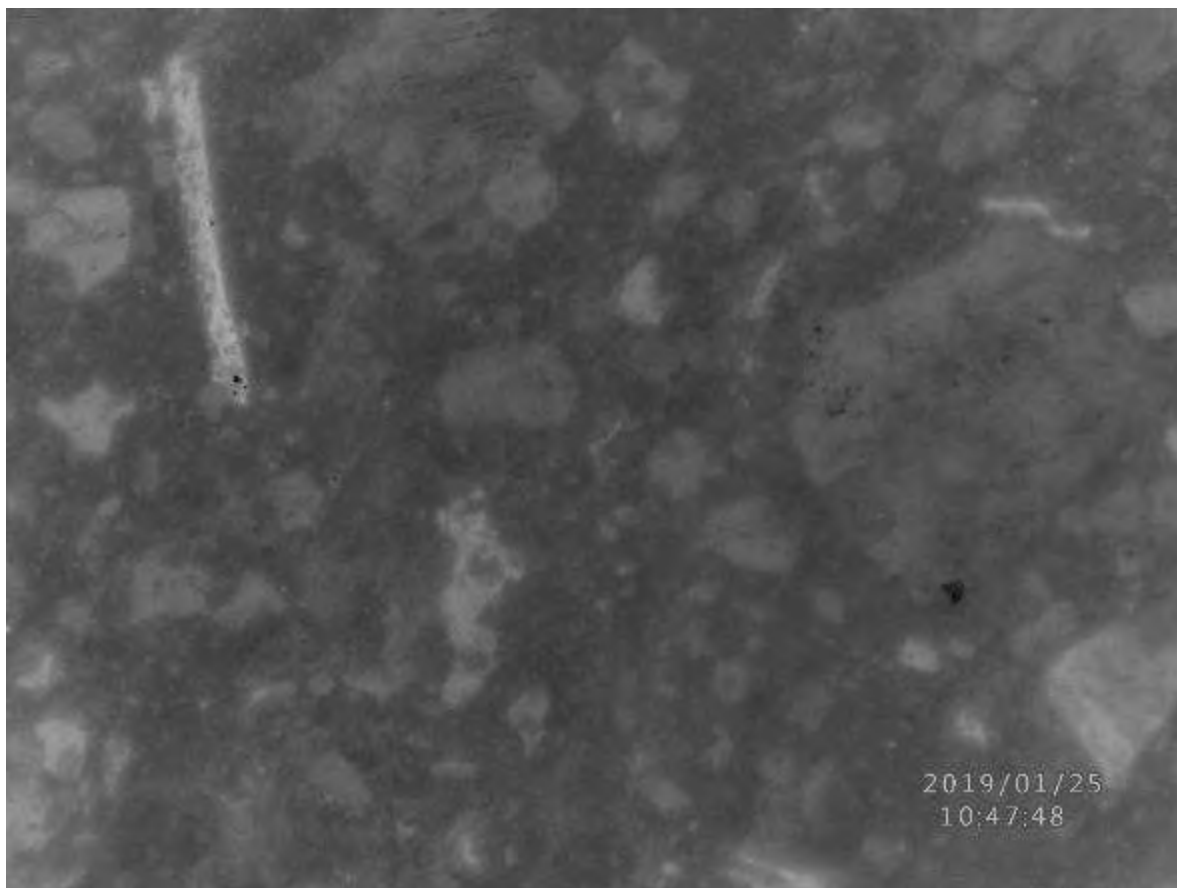


Figura. 4. 21. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2241018, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

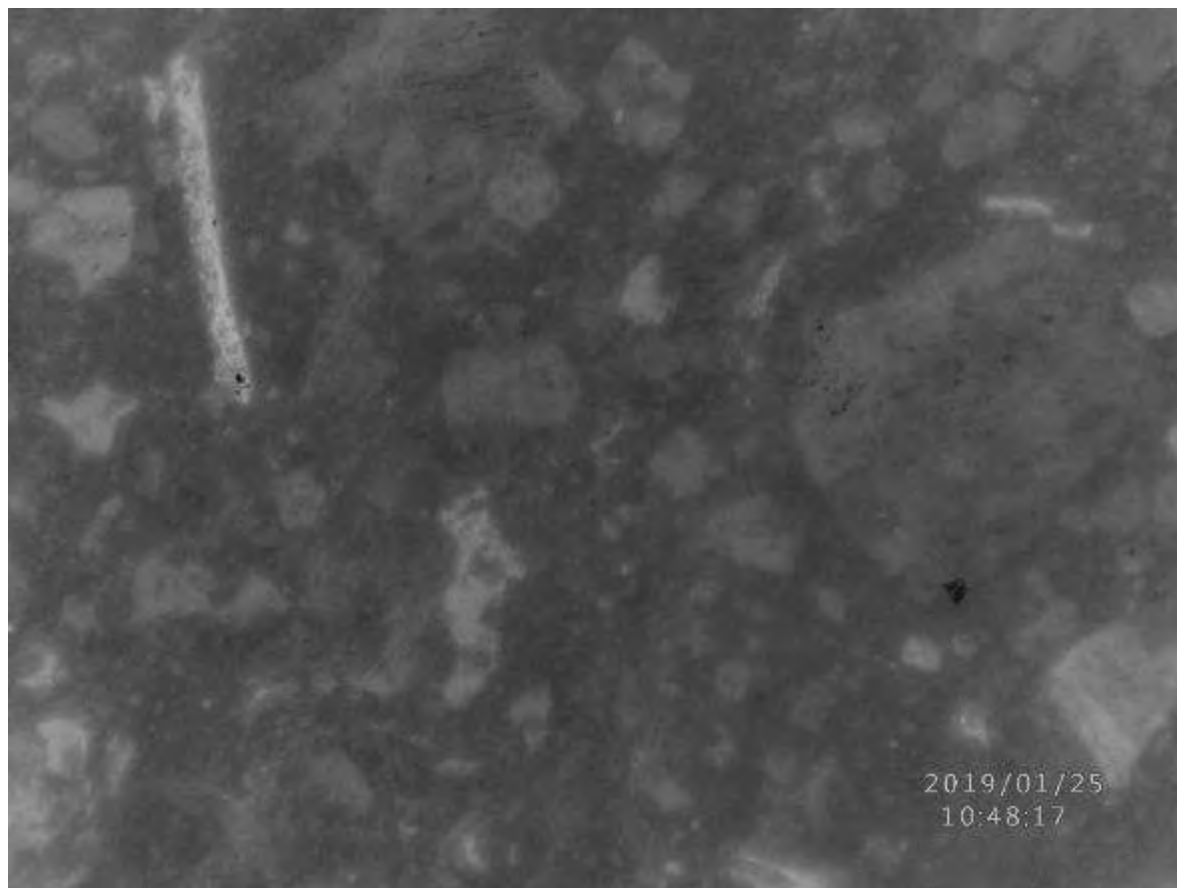


Figura. 4. 22. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2241018, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

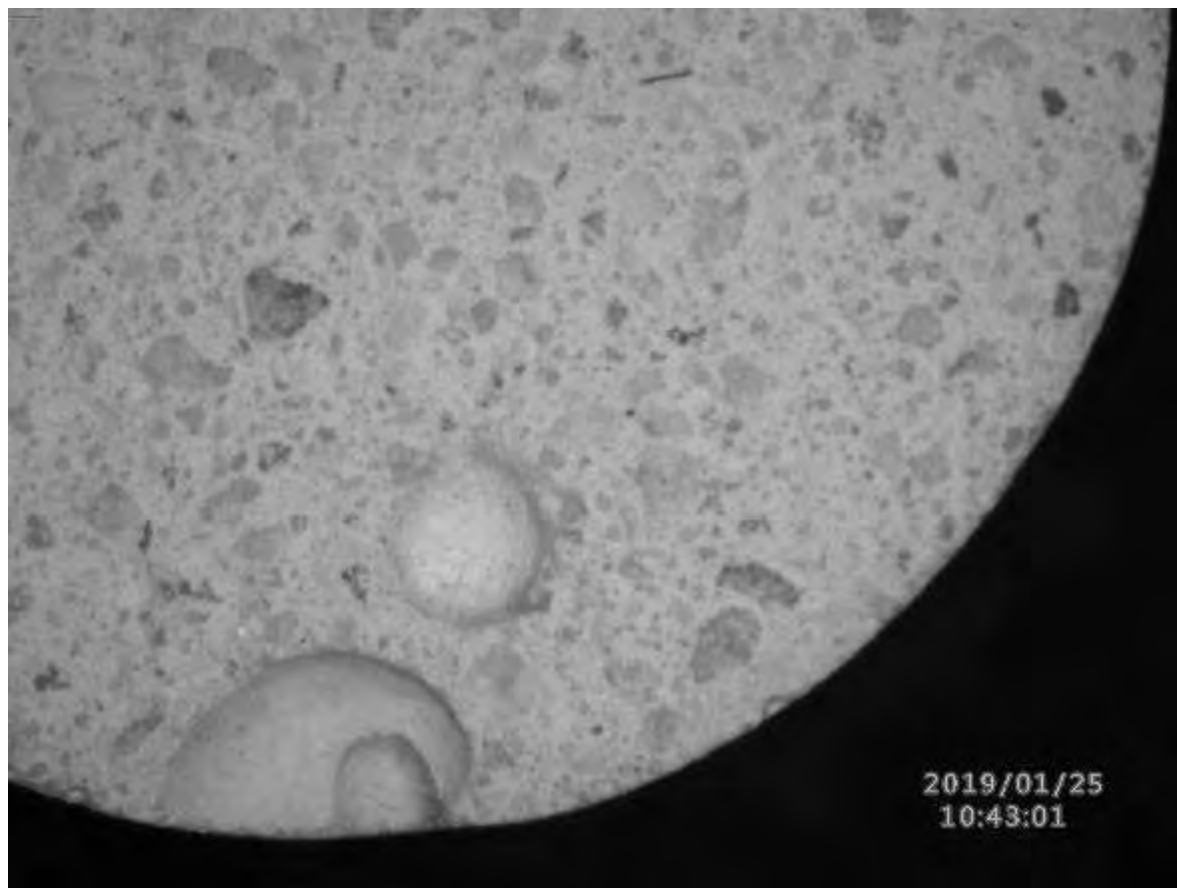


Figura. 4. 23. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2241018, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

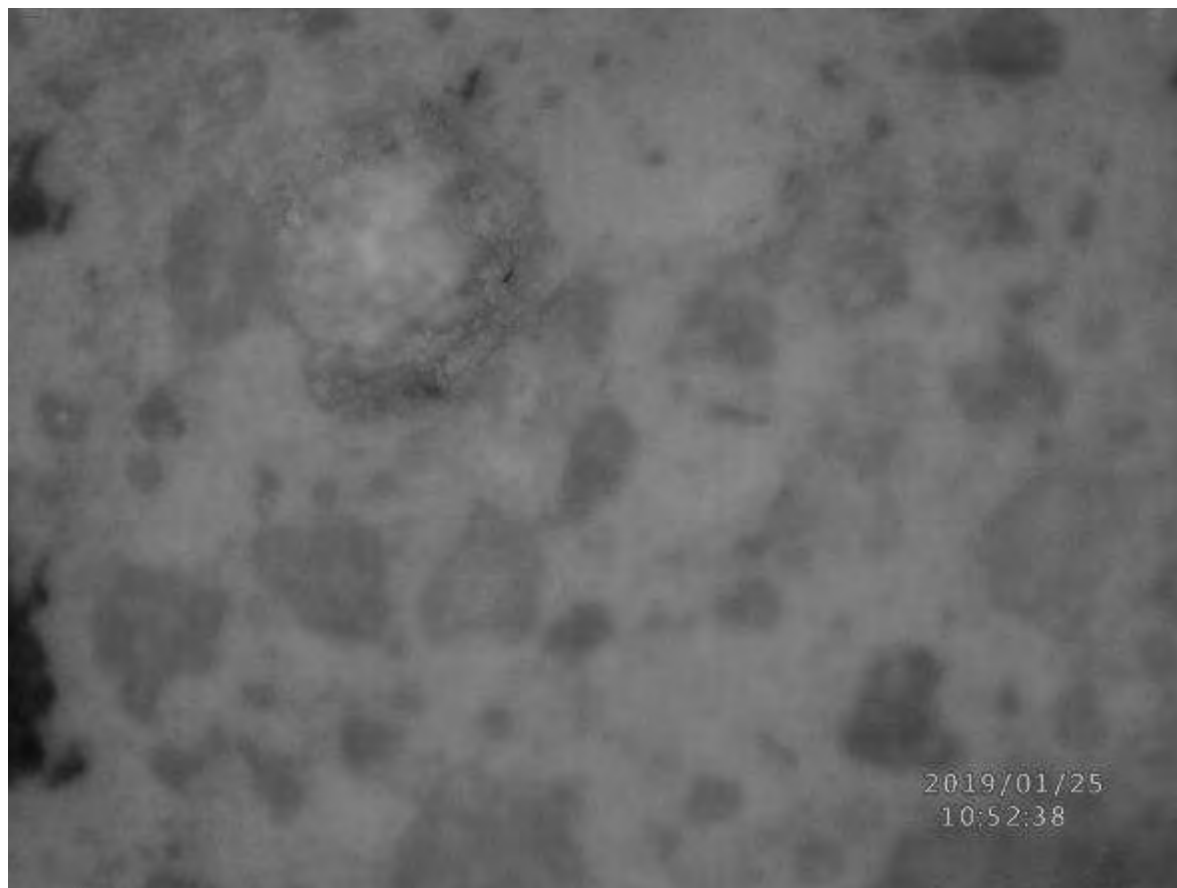


Figura. 4. 24. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2241018, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

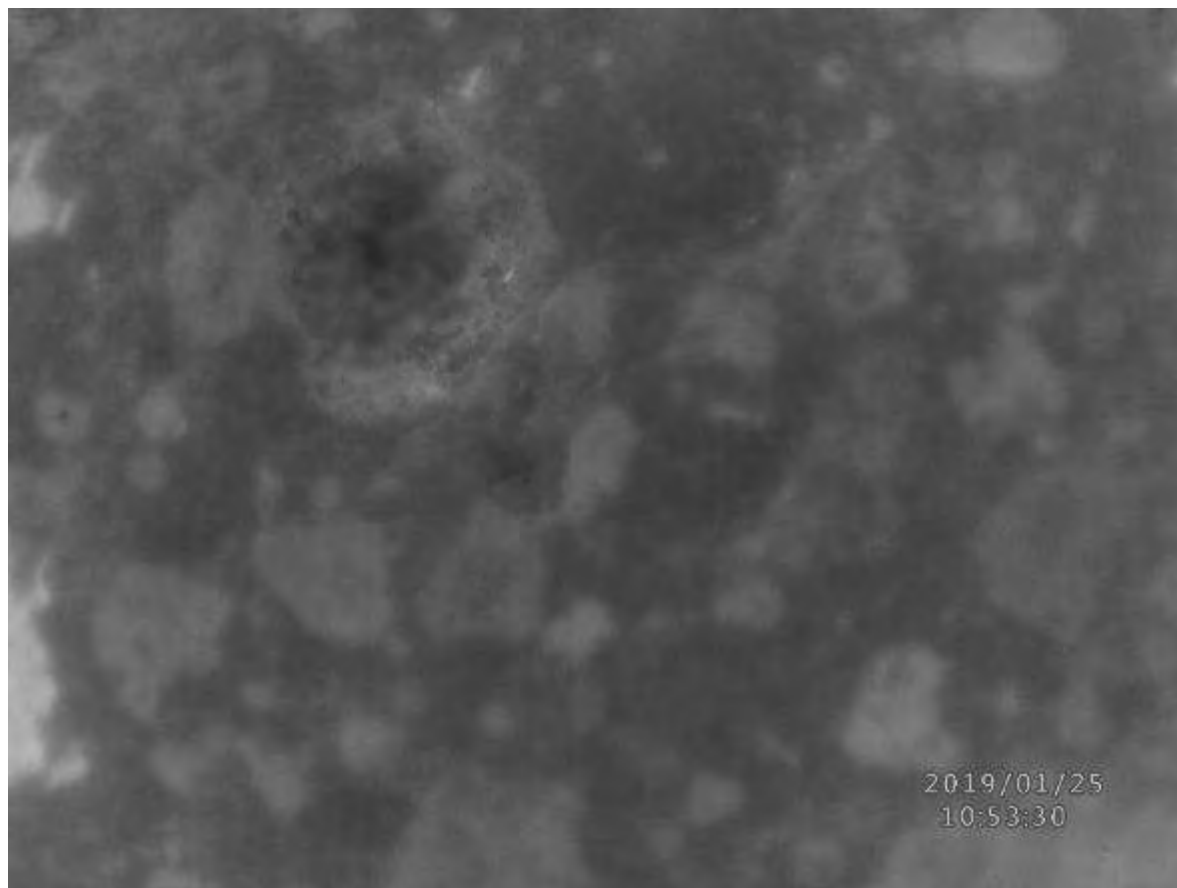
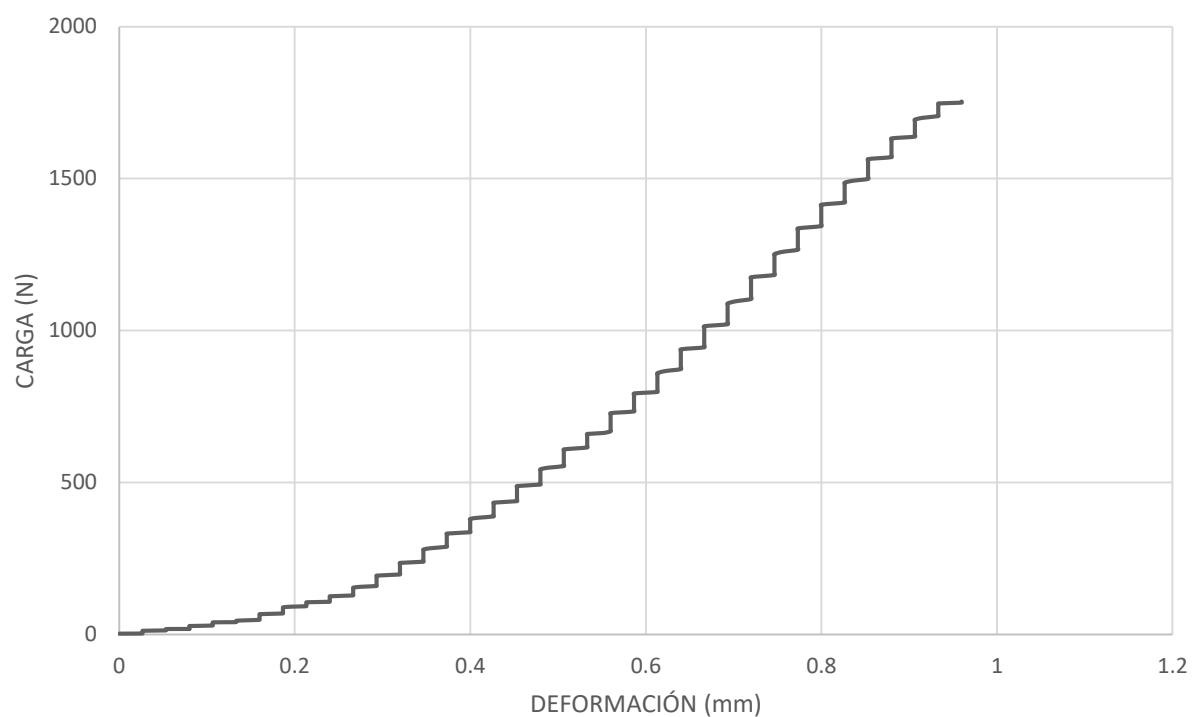


Figura. 4. 25. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2241018, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 26. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2241018, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

CARGA-DEFORMACIÓN



Gráficas 4. 2. Curva Carga-Deformación de la C-2241018, en N-mm. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 27. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-2241018. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 28. Imágenes de la corrida C-2251018. Fuente: (Autoría propia).

Nota: De composición 100% CAL ESTANDAR, 275% MARMOLINA Tipo 2, 5% METACAOLIN, 5% CLORURO DE SODIO y A/C= 1:1 (50 g de agua potable), dimensiones de diámetro igual a 23.1mm y longitud de 45.8mm, DENSIDAD = 37.0429979

g/cm³ que presenta una buena dureza al ser pulido, con poco desprendimiento.



Figura. 4. 29. Microscopia de la C-2251018. Fuente: (autoría propia).

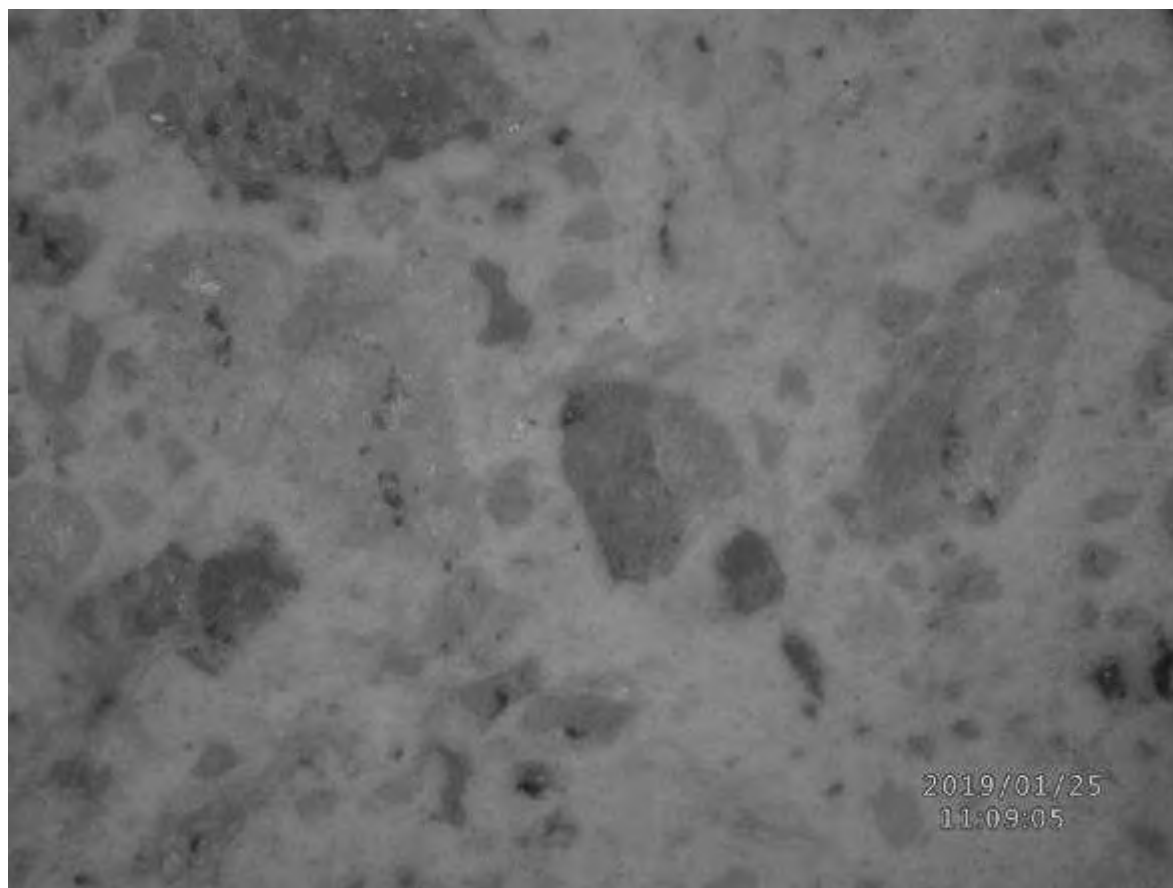


Figura. 4. 30. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2251018, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

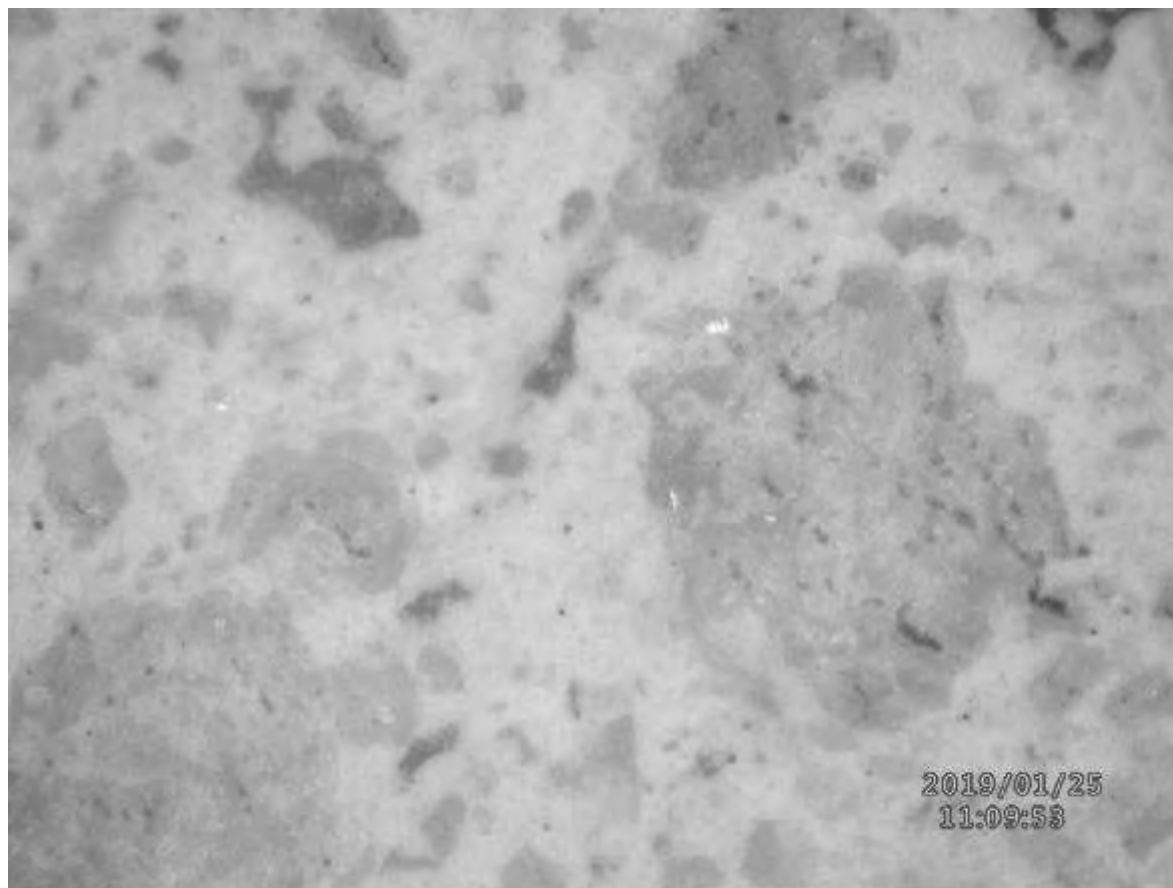


Figura. 4. 31. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2251018, bajo un filtro normal y una luz fluorescente.
Fuente: (autoría propia).

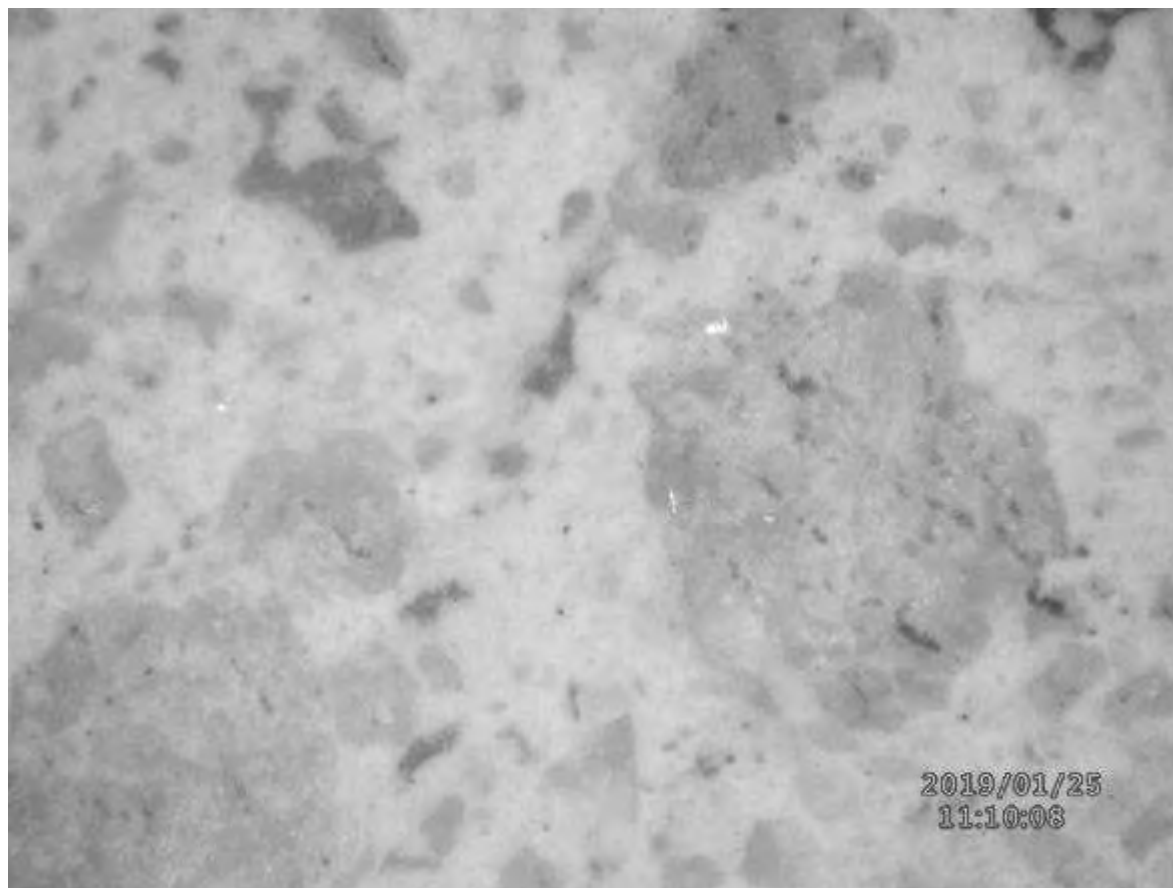


Figura. 4. 32. Microscopia aumentada digitalmente de la C-2251018, bajo un filtro normal y una luz incandescente.
Fuente: (autoría propia).

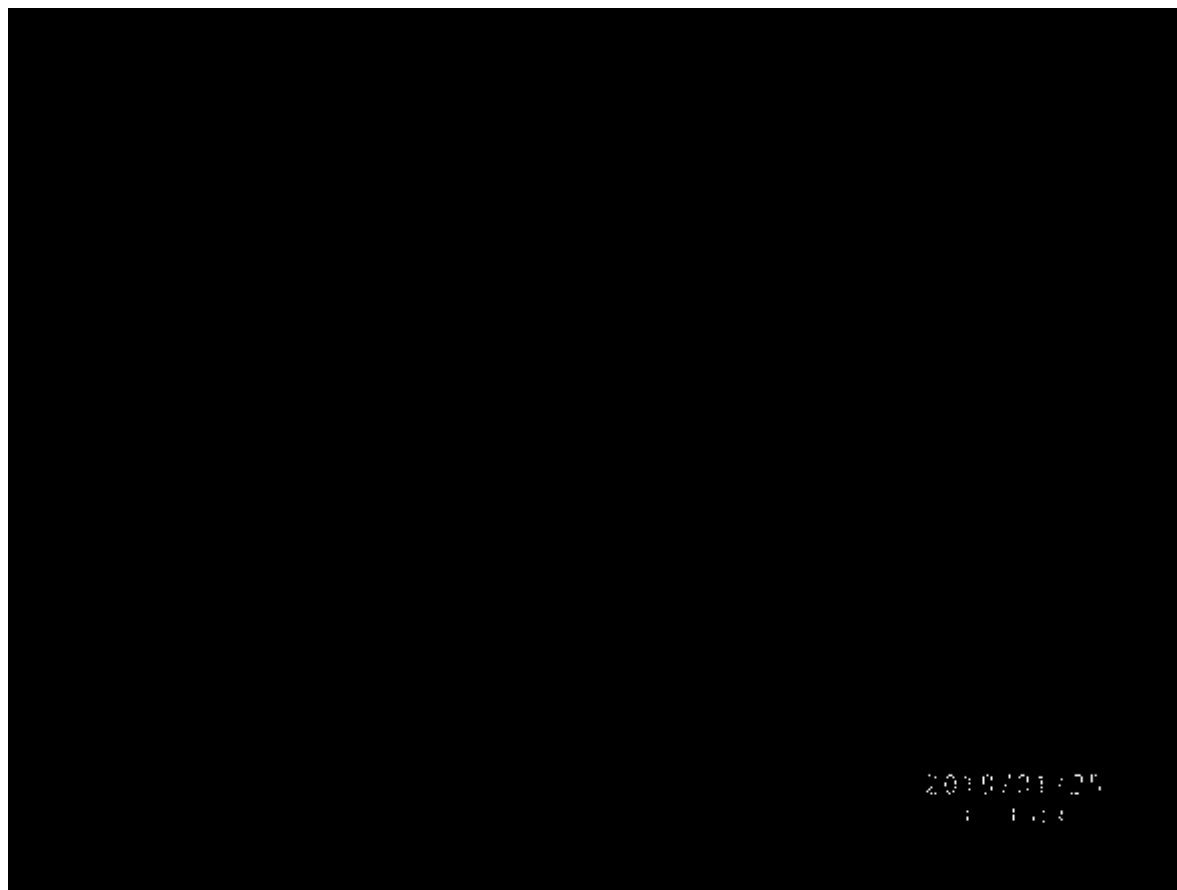


Figura. 4. 33. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2251018, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia)

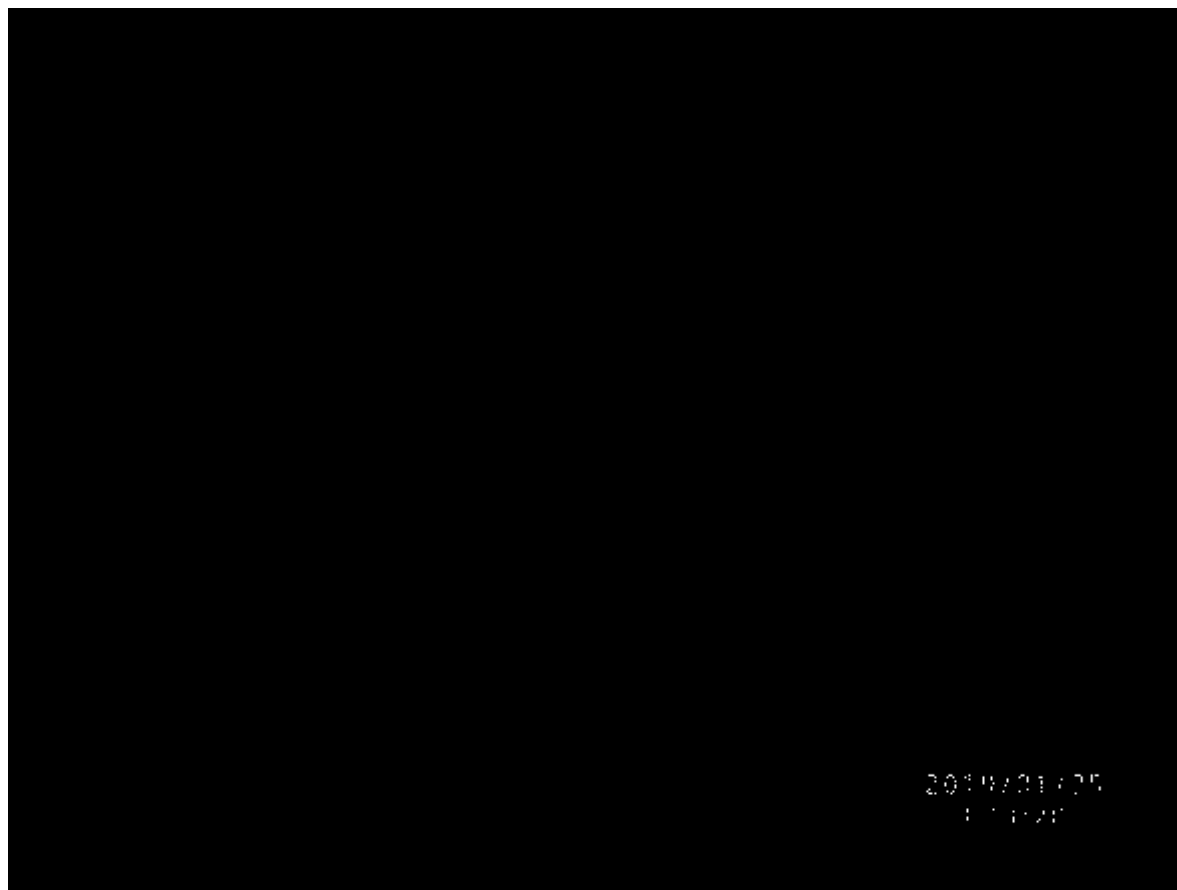


Figura. 4. 34. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2251018, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

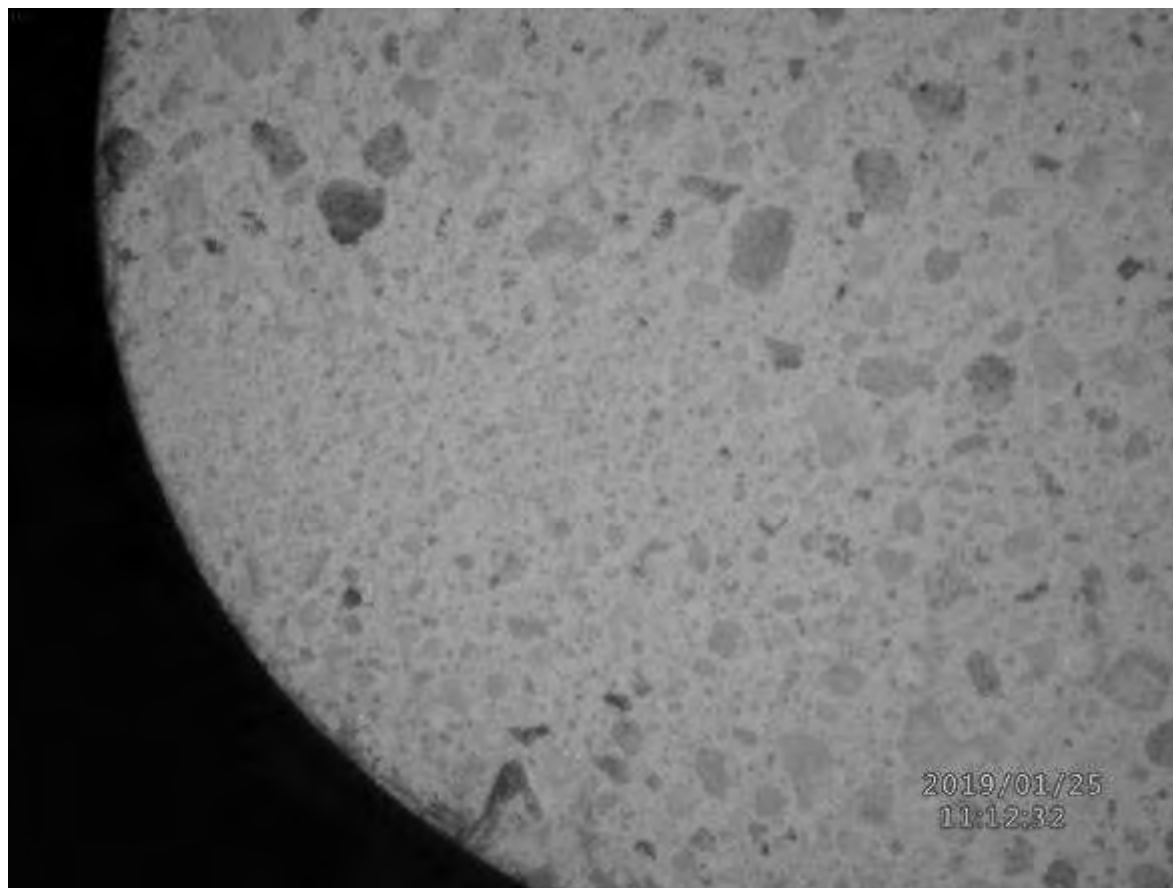


Figura. 4. 35. Microscopia parte inferior inversa de la C-2251018, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

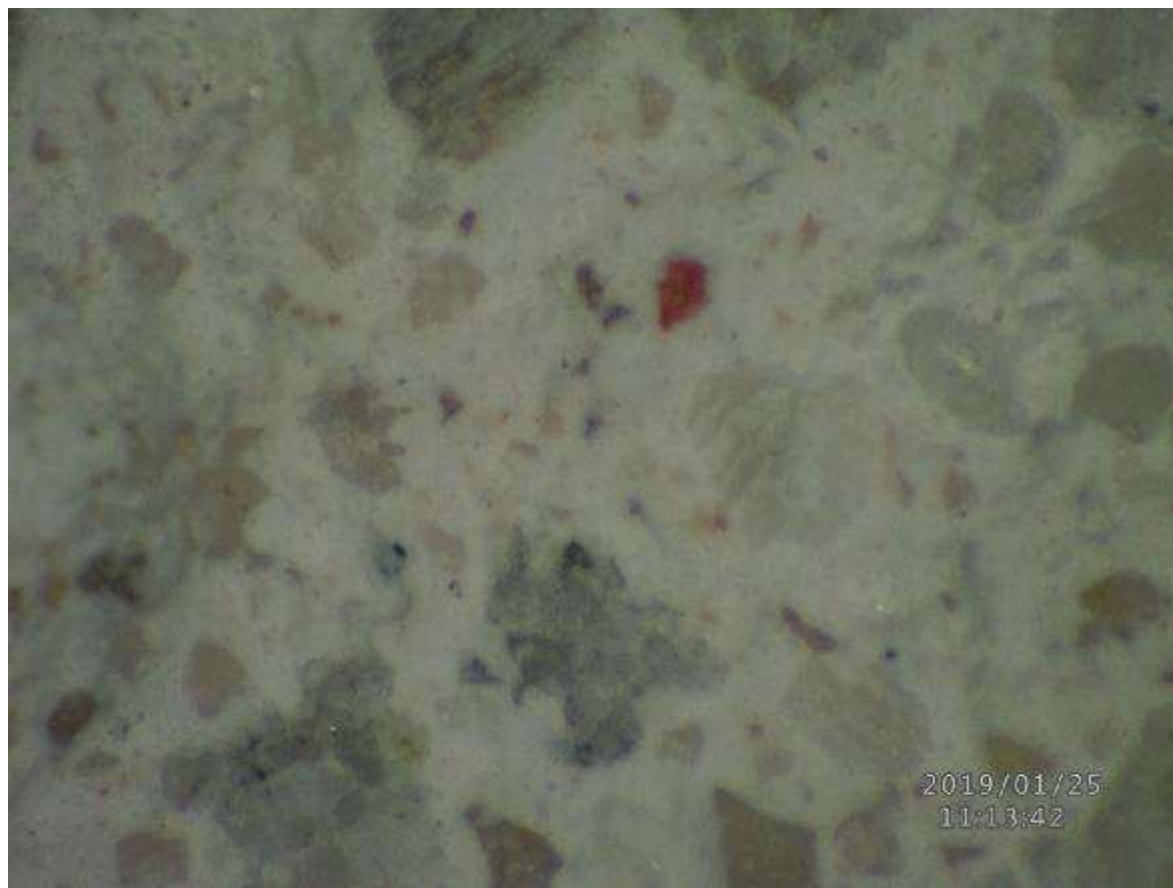
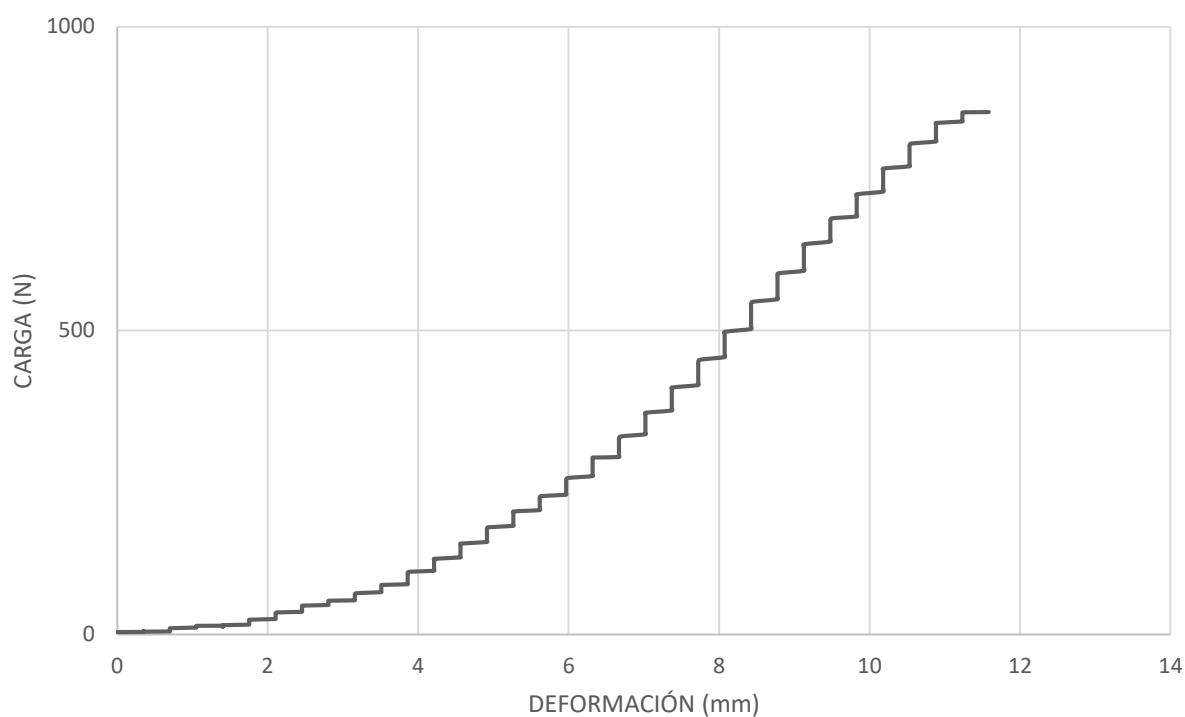


Figura. 4. 36. Microscopia parte inferior aumentada digitalmente, de la C-2251018, sin filtros. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 37. Fotografía de la C-1241018, en la prensa. Fuente: (autoría propia).

CARGA-DEFORMACIÓN



Gráficas 4. 3. Curva Carga-Deformación de la C-2251018, en N-mm. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 38. Fotografía de la C-2251018, mostrando la fractura, después de ser probada en la prensa. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 39. Imágenes de la corrida C-3251018. Fuente: (autoría propia).

Nota: De composición 100% CAL ESTANDAR, 275% MARMOLINA Tipo 2, 5% METACAOLIN, 5% CLORURO DE SODIO y A/C= 1:1 (50 g de agua potable), de dimensiones iguales a un diámetro de 23.4mm y longitud de 45.6mm, DENSIDAD = 36.5087871 g/cm³, que presenta una buena dureza al ser pulido, con poco desprendimiento.

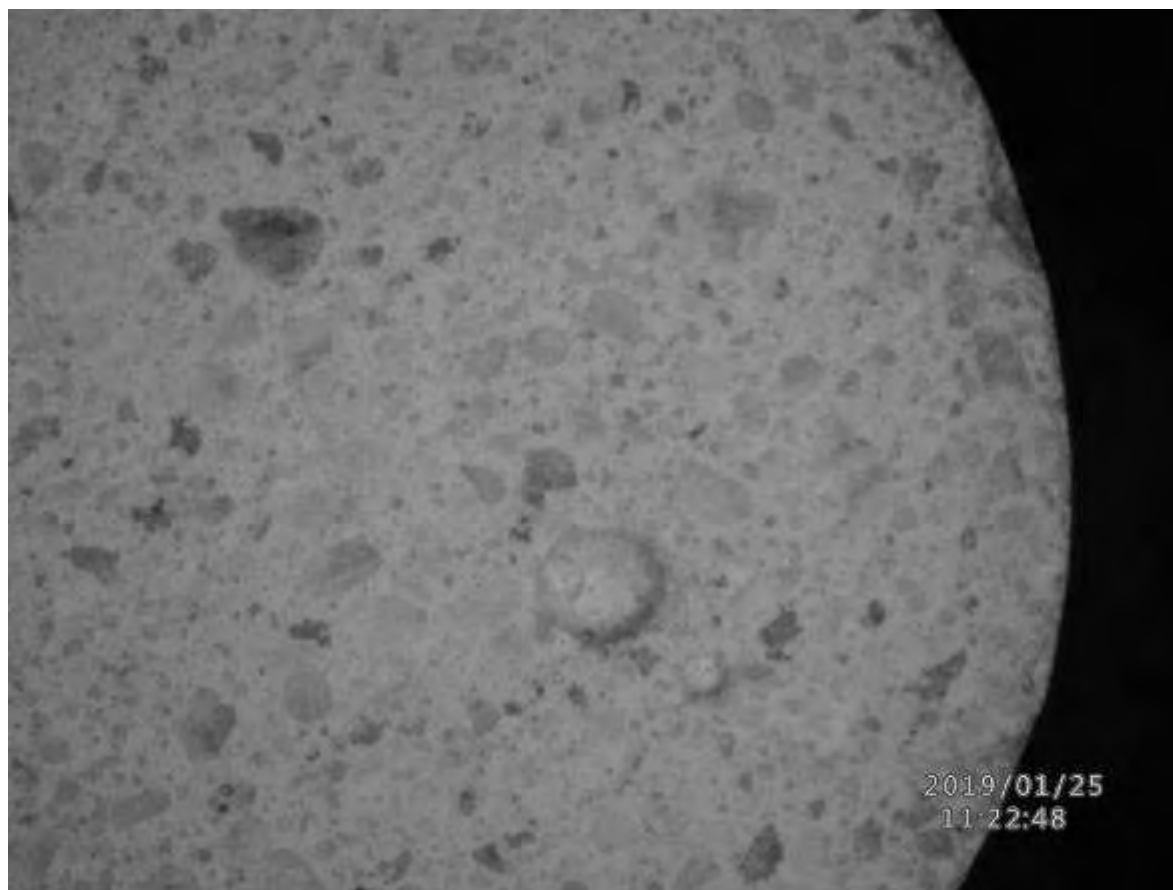


Figura. 4. 40. Microscopia de la C-3251018. Fuente: (autoría propia).

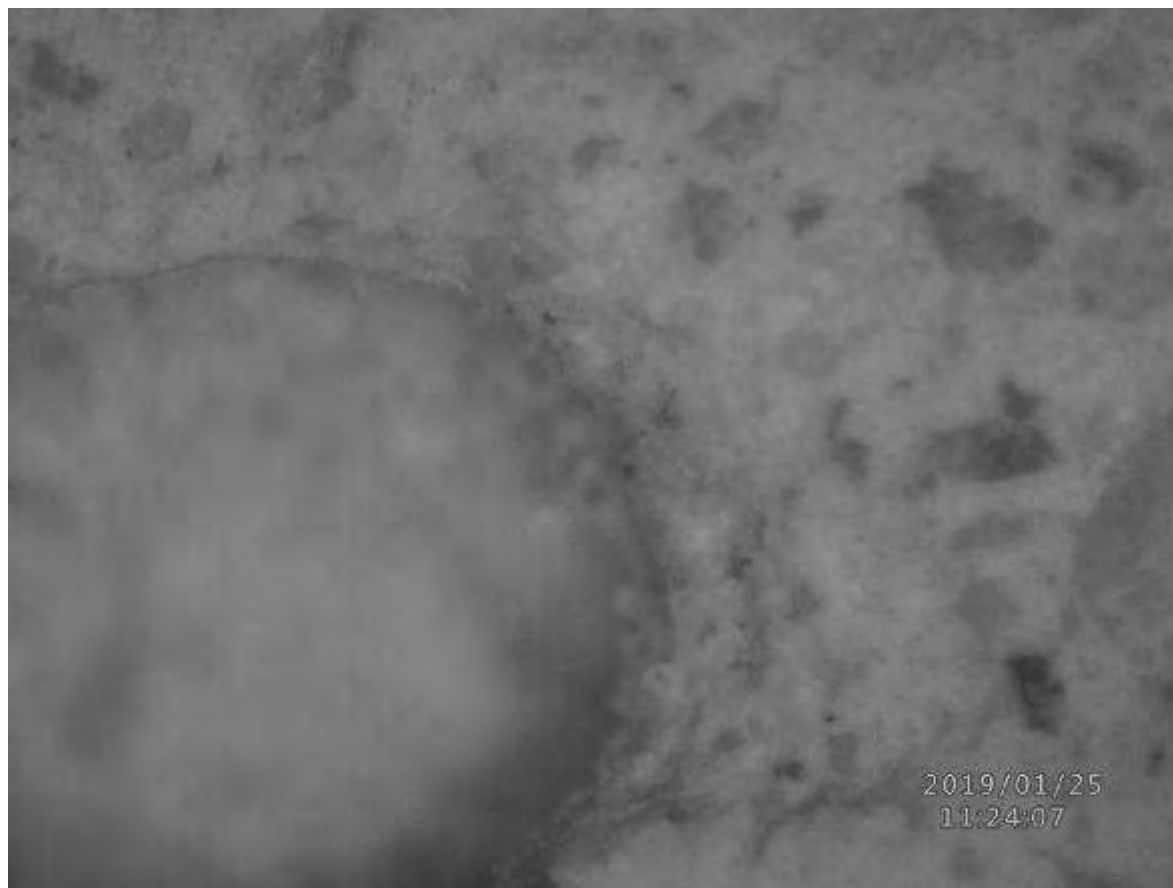


Figura. 4. 41. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3251018, sin filtros. Fuente: (autoría propia)

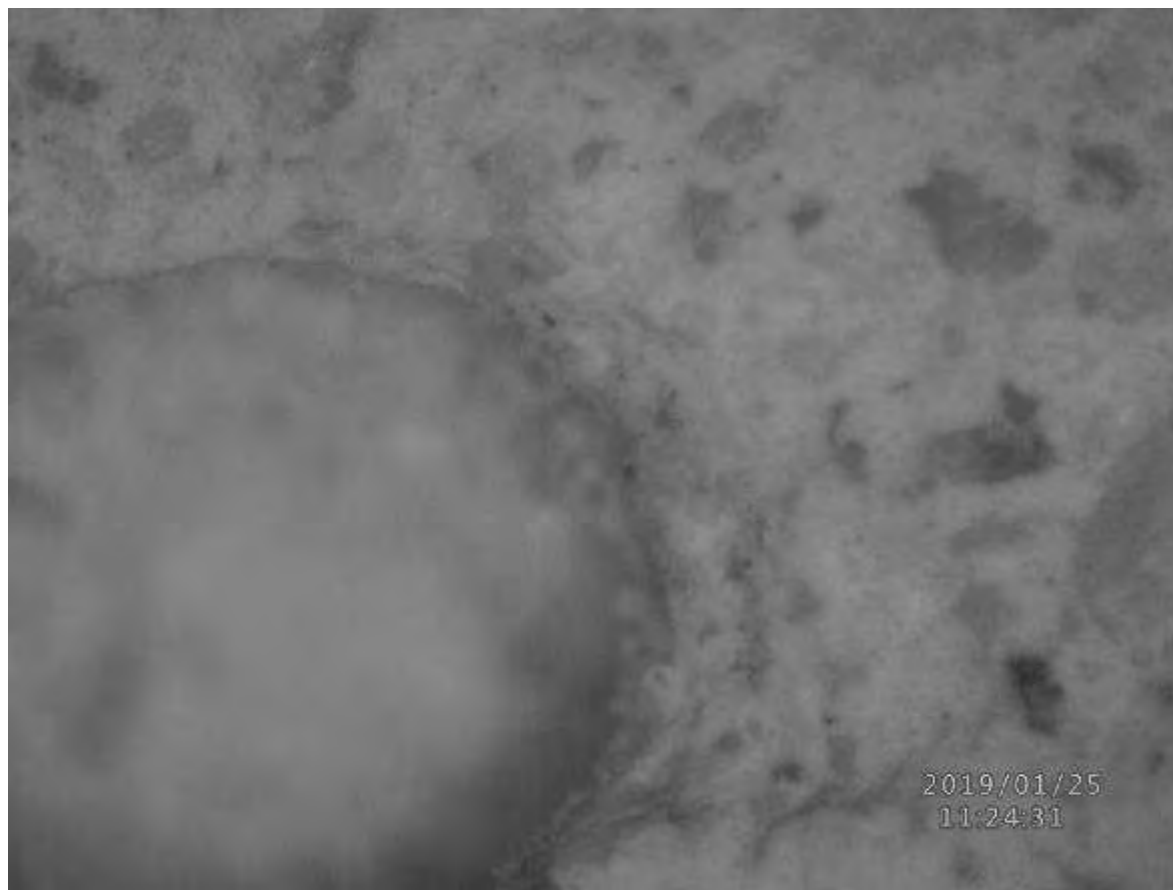


Figura. 4. 42. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3251018, bajo un filtro normal y una luz fluorescente.
Fuente: (autoría propia)

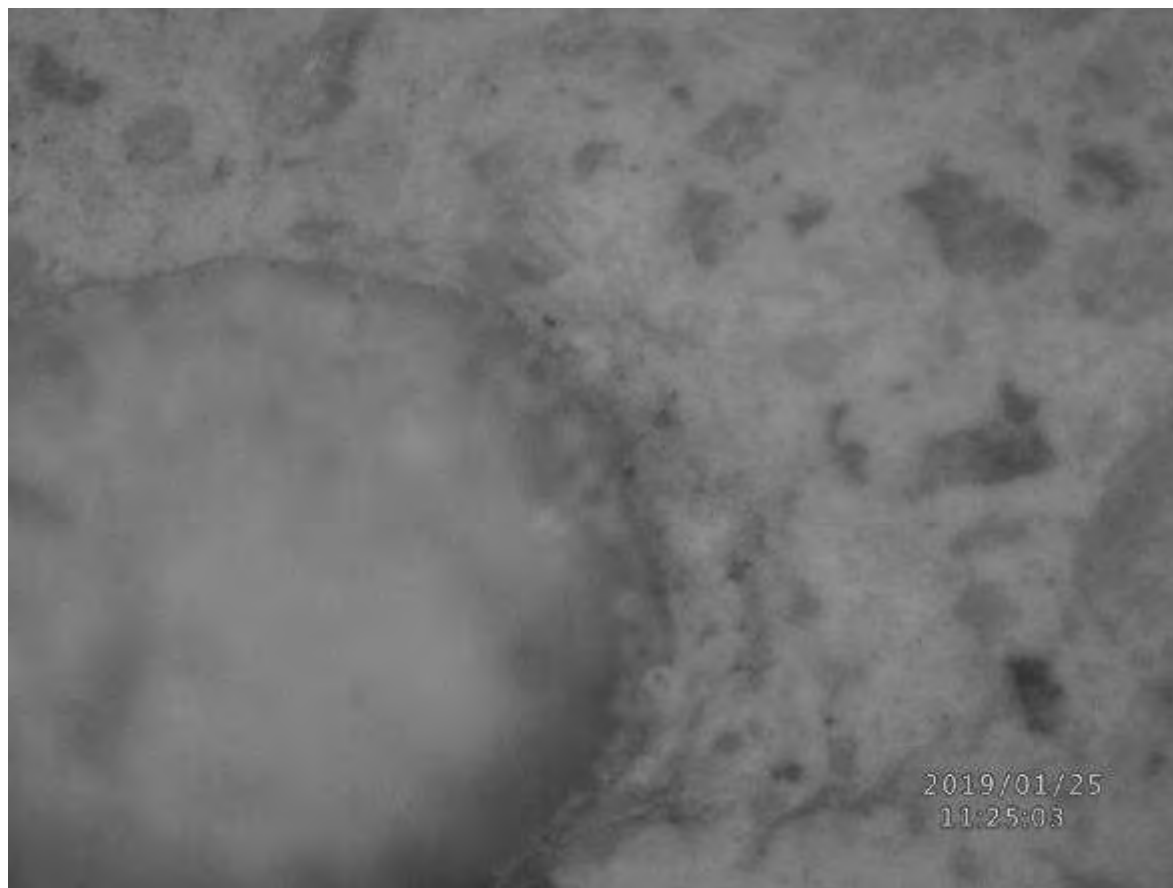


Figura. 4. 43. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1241018, bajo un filtro normal y una luz incandescente.
Fuente: (autoría propia).

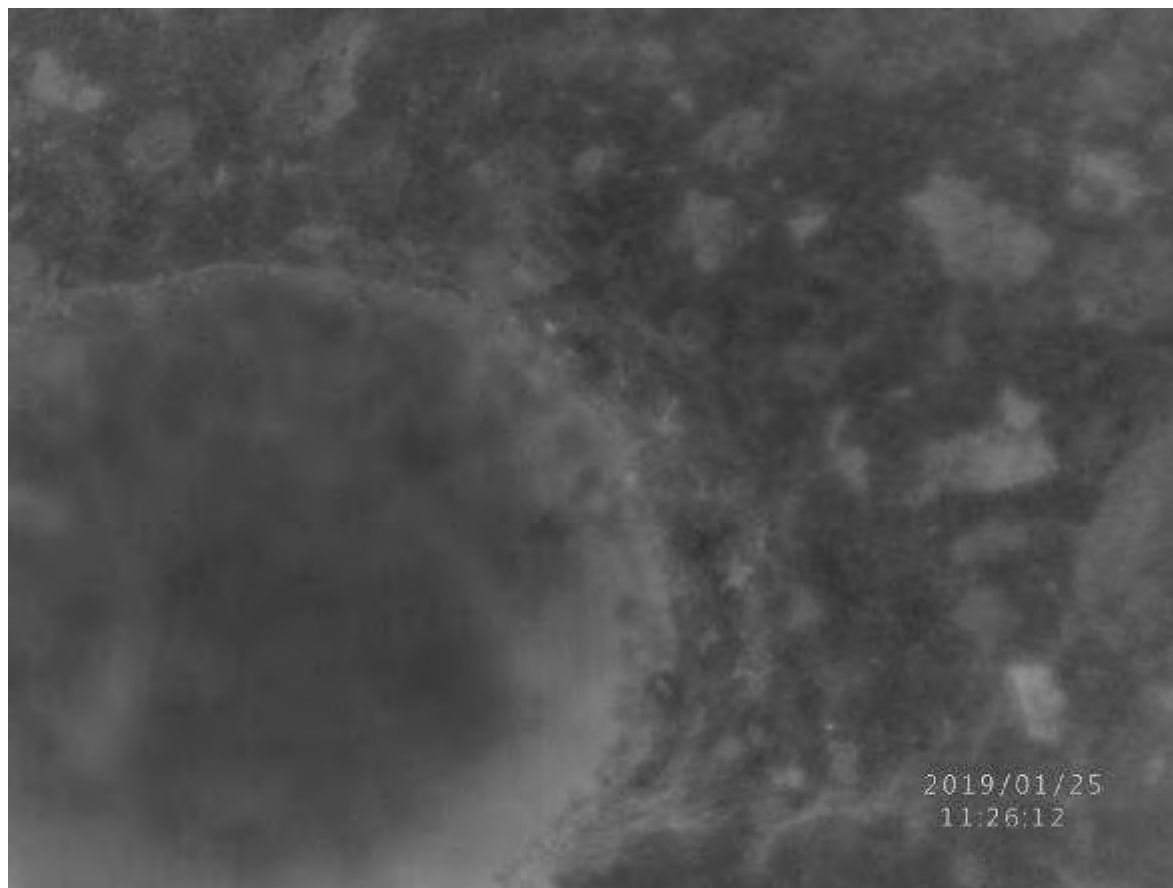


Figura. 4. 44. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3251018, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

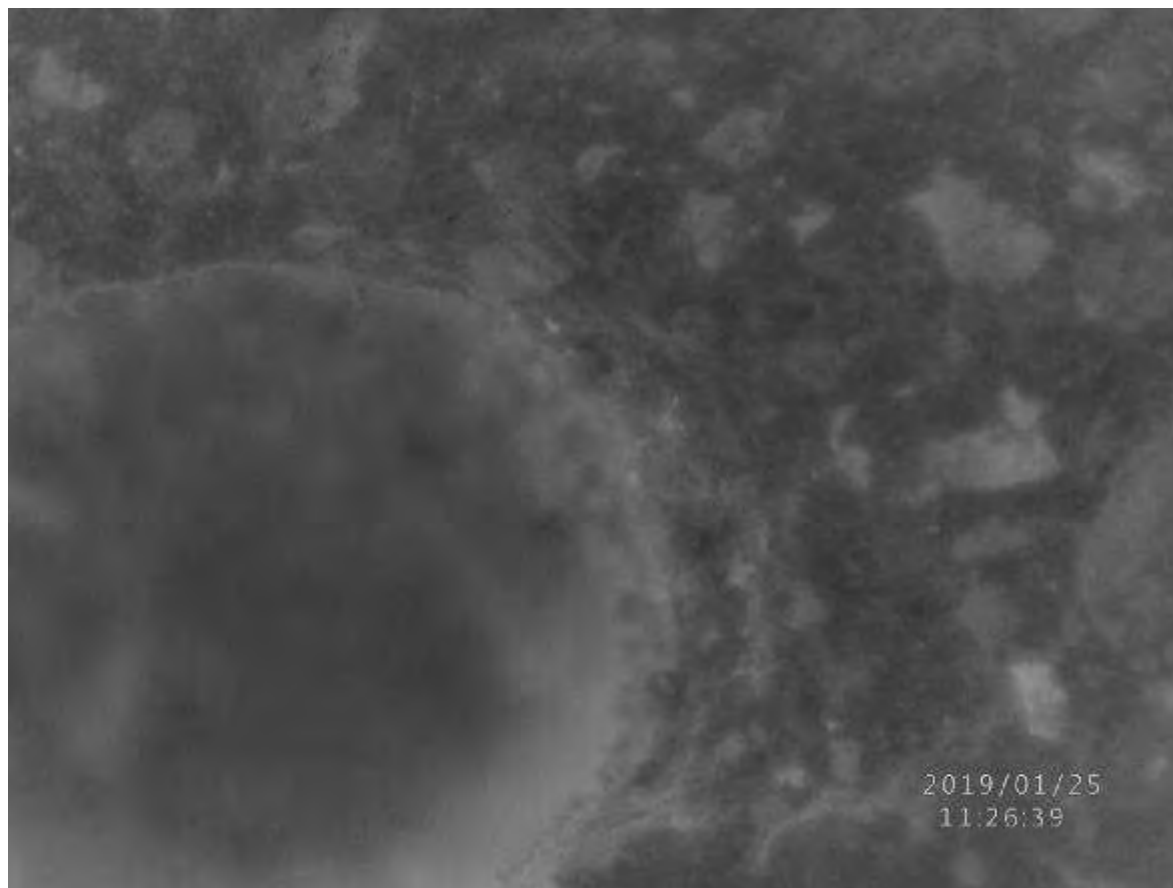


Figura. 4. 45. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3251018, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

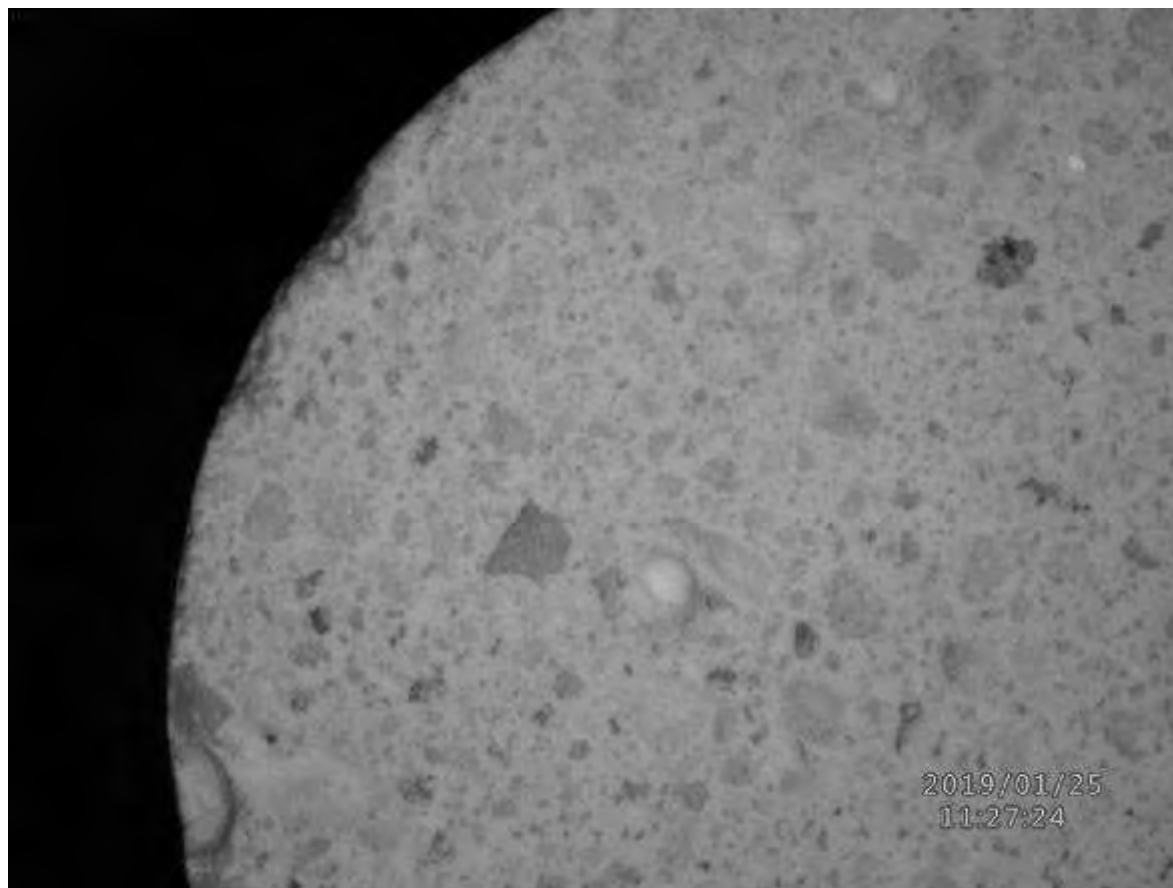
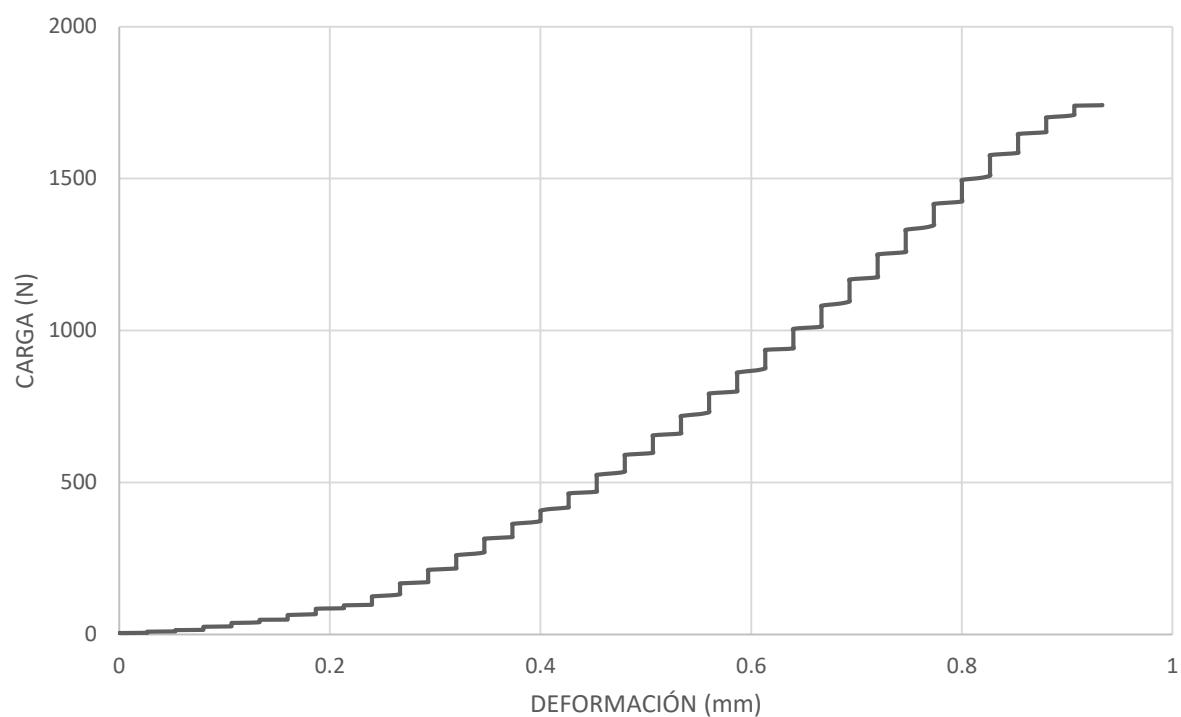


Figura. 4. 46. Microscopia de la C-3251018, sin filtros. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 47. Fotografía de la C-3251018, en la prensa. Fuente: (autoría propia).

CARGA-DEFORMACIÓN



Gráficas 4. 4. Curva Carga-Deformación de la C-3251018, en N-mm. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 48. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-3251018. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 49. Imágenes de la corrida C-1261018. Fuente: (autoría propia).

Nota: De composición 100% CAL ESTANDAR, 275% MARMOLINA Tipo 2, 10% METACAOLIN y A/C= 1:1 (50 g de agua potable), de dimensiones, con un diámetro de 23.5mm y longitud de 45.8mm que presenta una buena dureza al ser pulido, con poco desprendimiento. (Autoría propia).

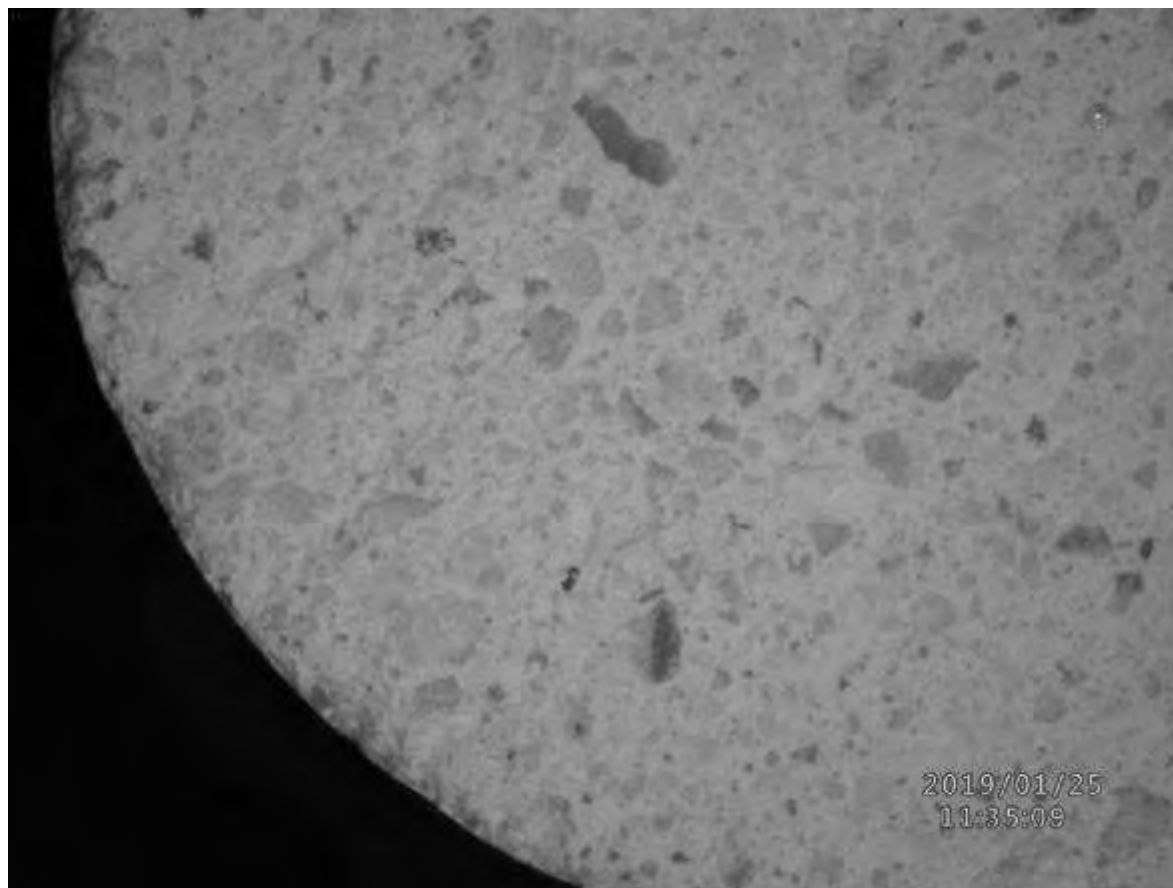


Figura. 4. 50. Microscopia de la C-1261018. Fuente: (autoría propia).

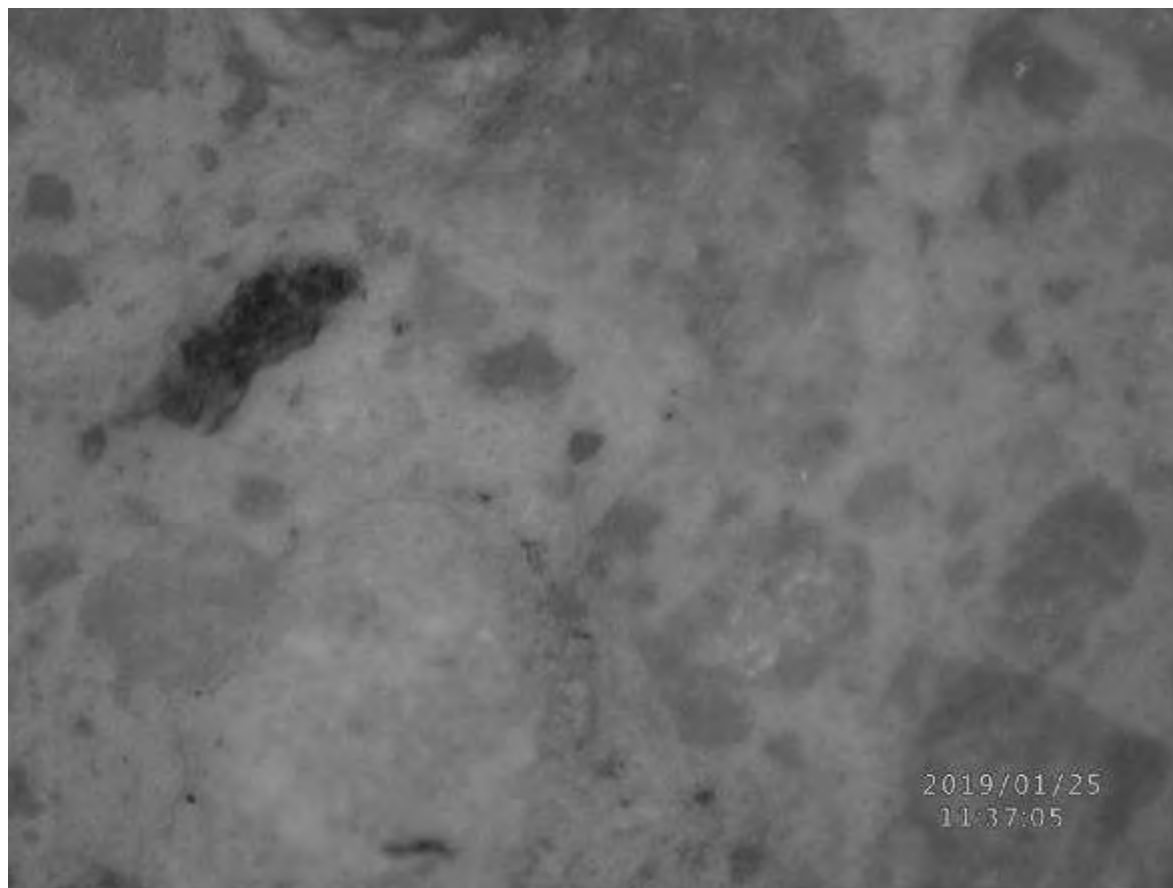


Figura. 4. 51. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1261018, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

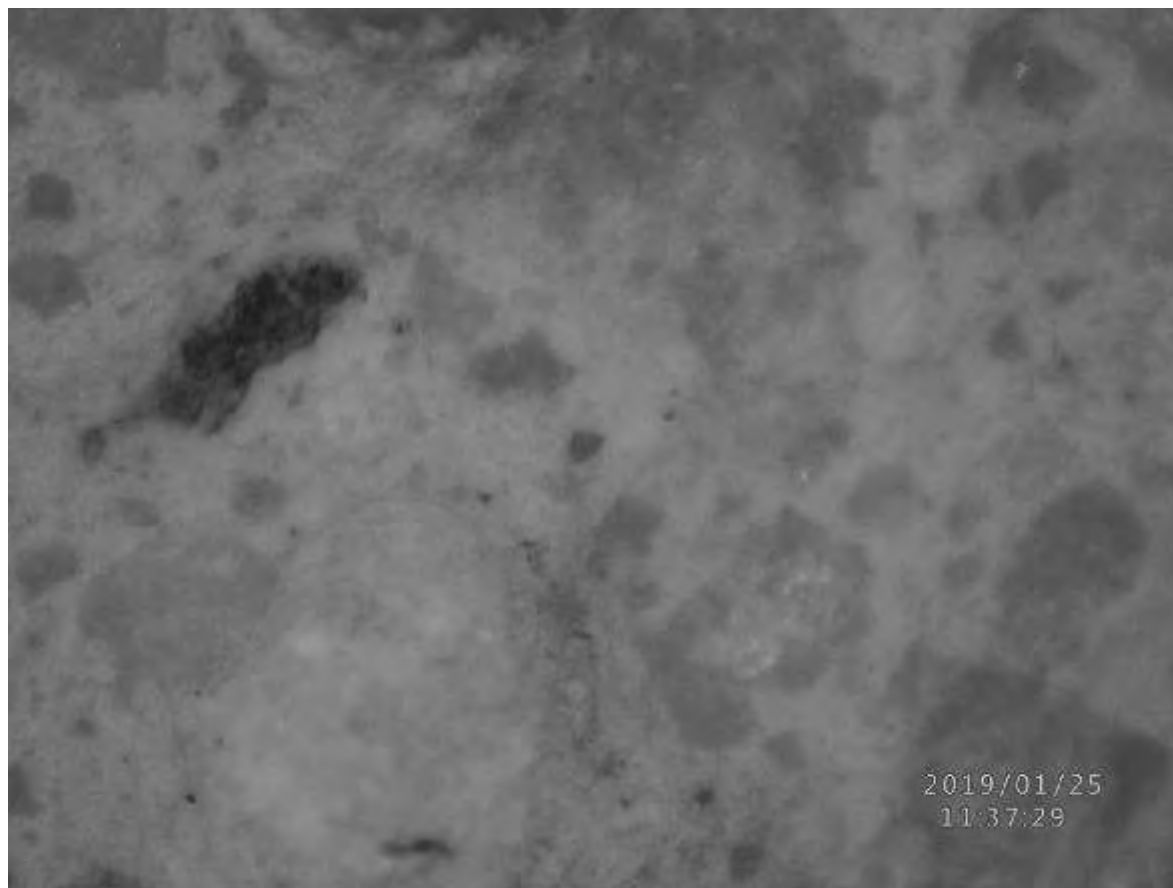


Figura. 4. 52. Microscopia aumentada digitalmente de la C-1241018, bajo un filtro normal y una luz fluorescente.
Fuente: (autoría propia).

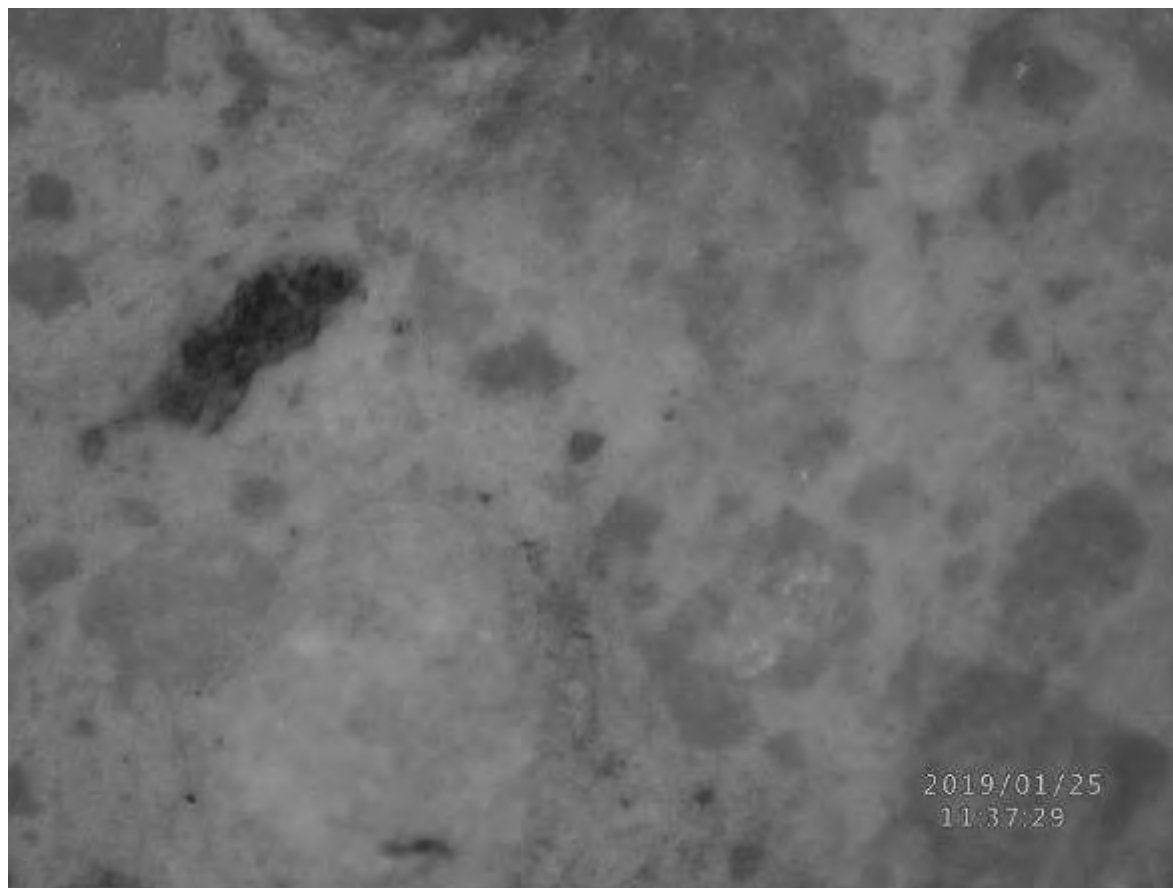


Figura. 4. 53. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1261018 a, bajo un filtro normal y una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

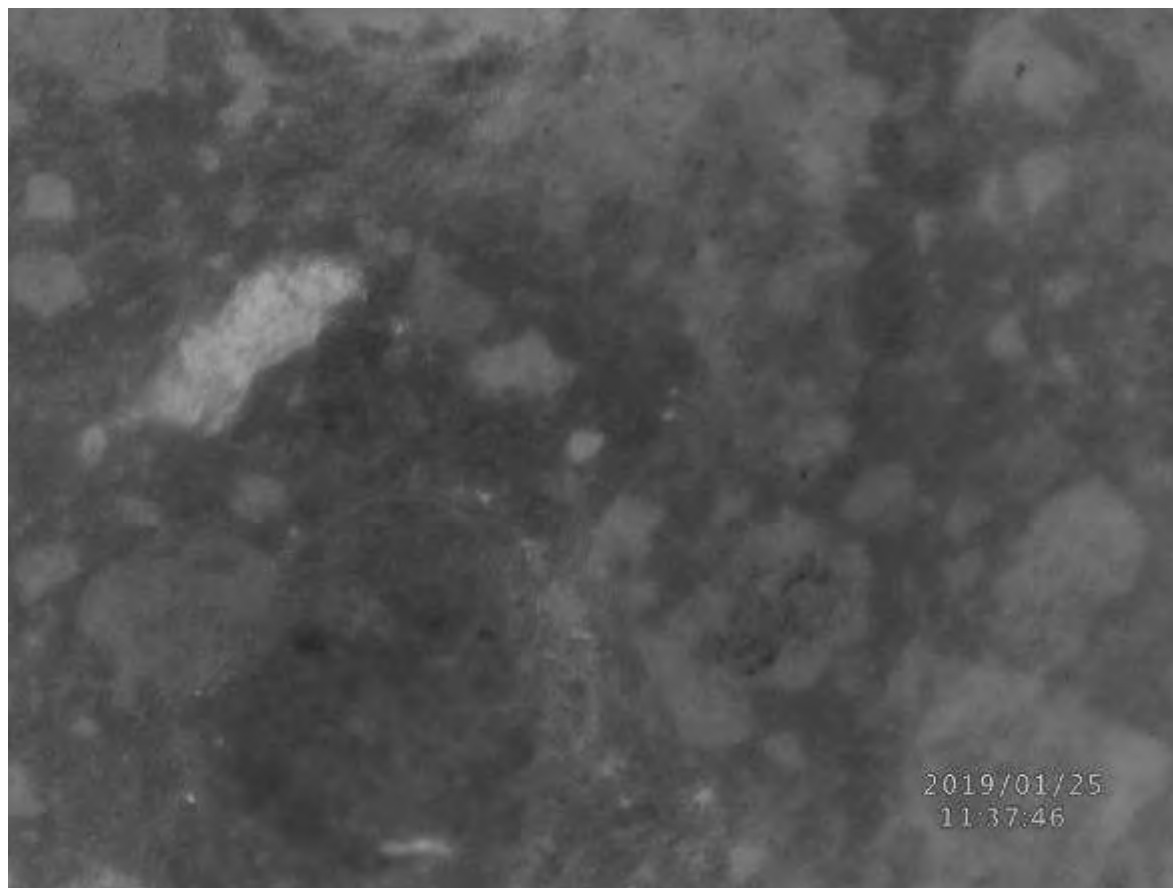


Figura. 4. 54. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1261018, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

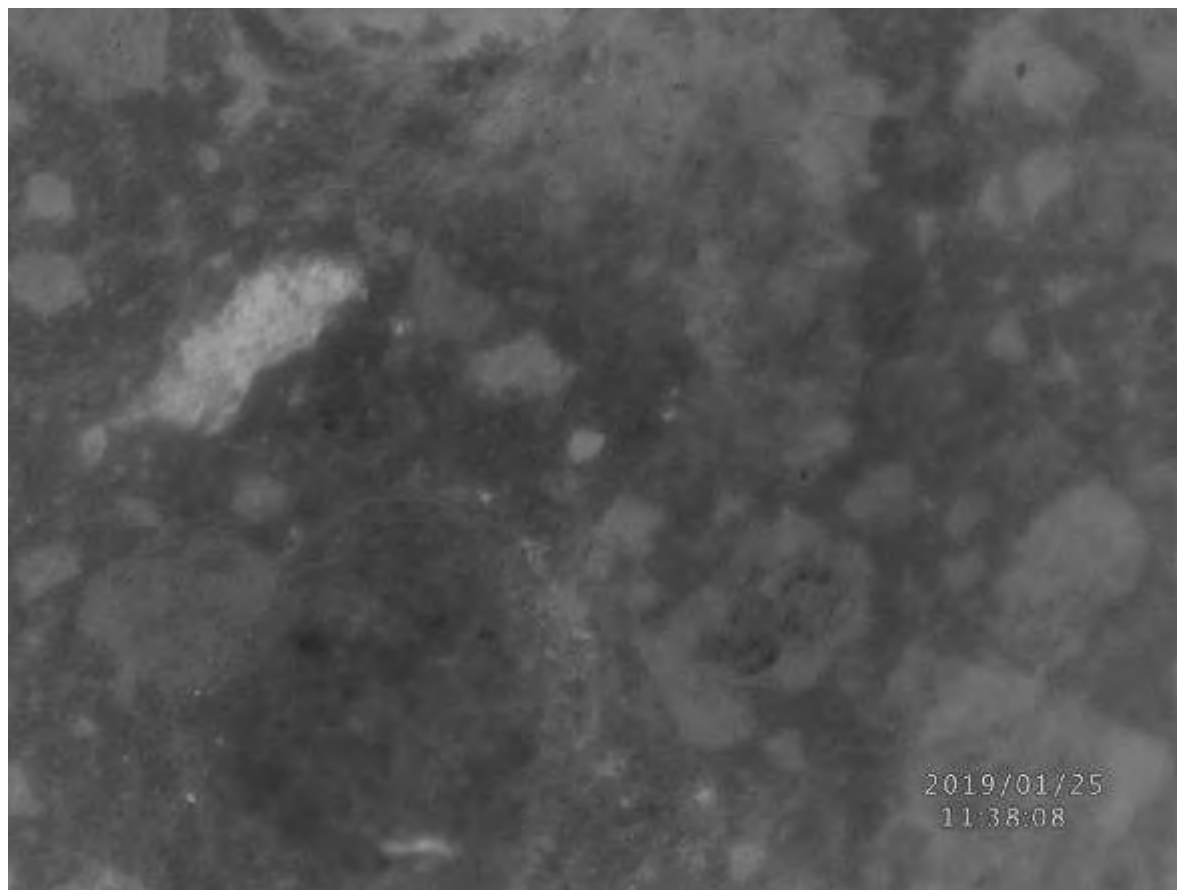


Figura. 4. 55. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1261018, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

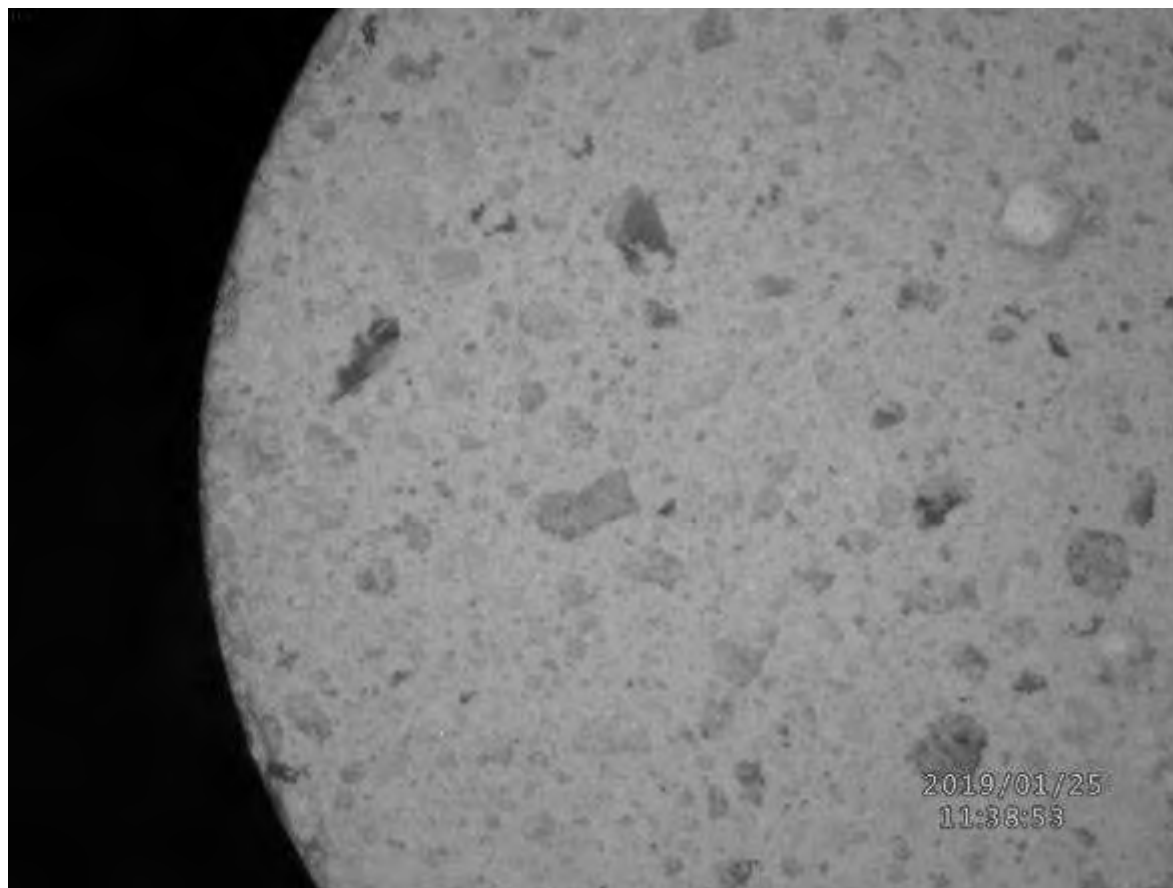


Figura. 4. 56. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1261018, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

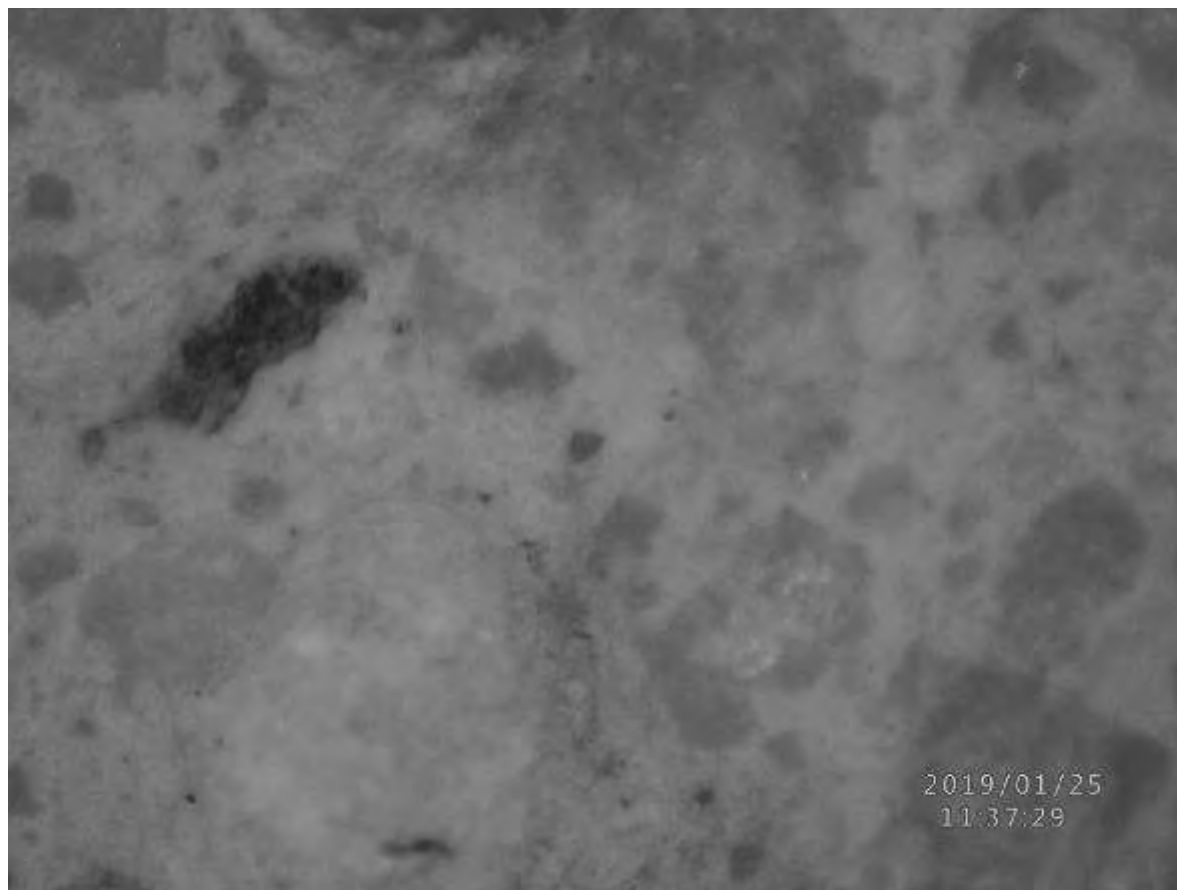
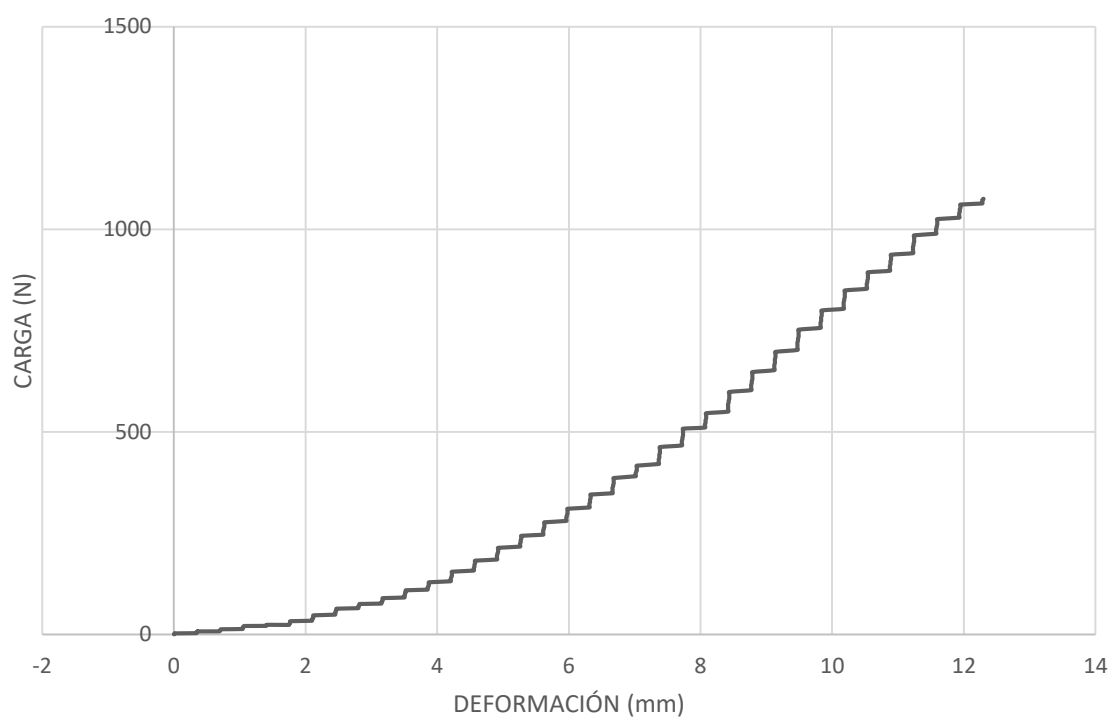


Figura. 4. 57. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1261018, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

CARGA-DEFORMACIÓN



Gráficas 4. 5. Curva Carga-Deformación de la C-1261018, en N-mm. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 58. Imágenes de la corrida C-2261018. Fuente: (autoría propia)

Nota: De composición 100% CAL ESTANDAR, 275% MARMOLINA Tipo 2, 10% METACAOLIN, 5% CLORURO DE SODIO y A/C= 1:1 (50 g de agua potable), de dimensiones igual a un diámetro igual a 23.7mm y longitud de 46.1mm, DENSIDAD = 37.2832534 g/cm³ que presenta una buena dureza al ser pulido, con poco desprendimiento. (Autoría propia).

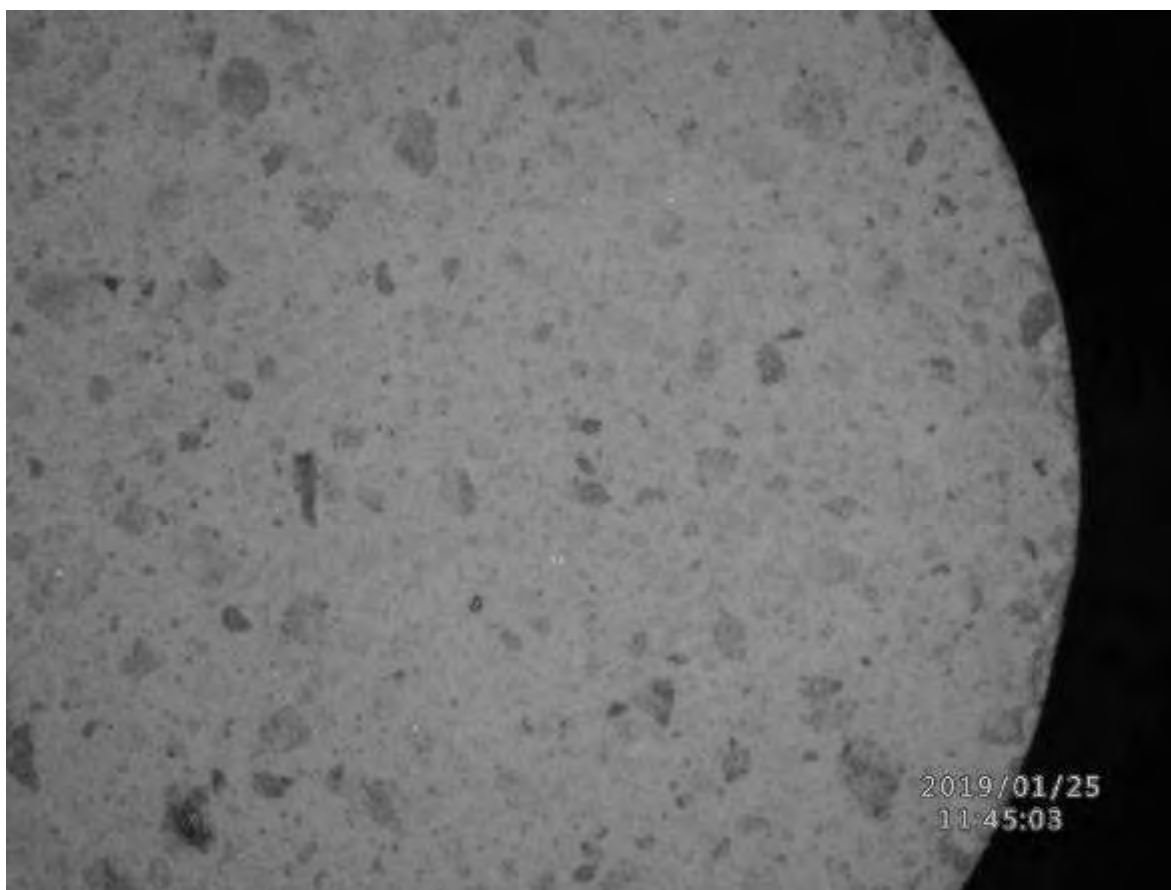


Figura. 4. 59. Microscopia de la C-2261018. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 60. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2261018, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

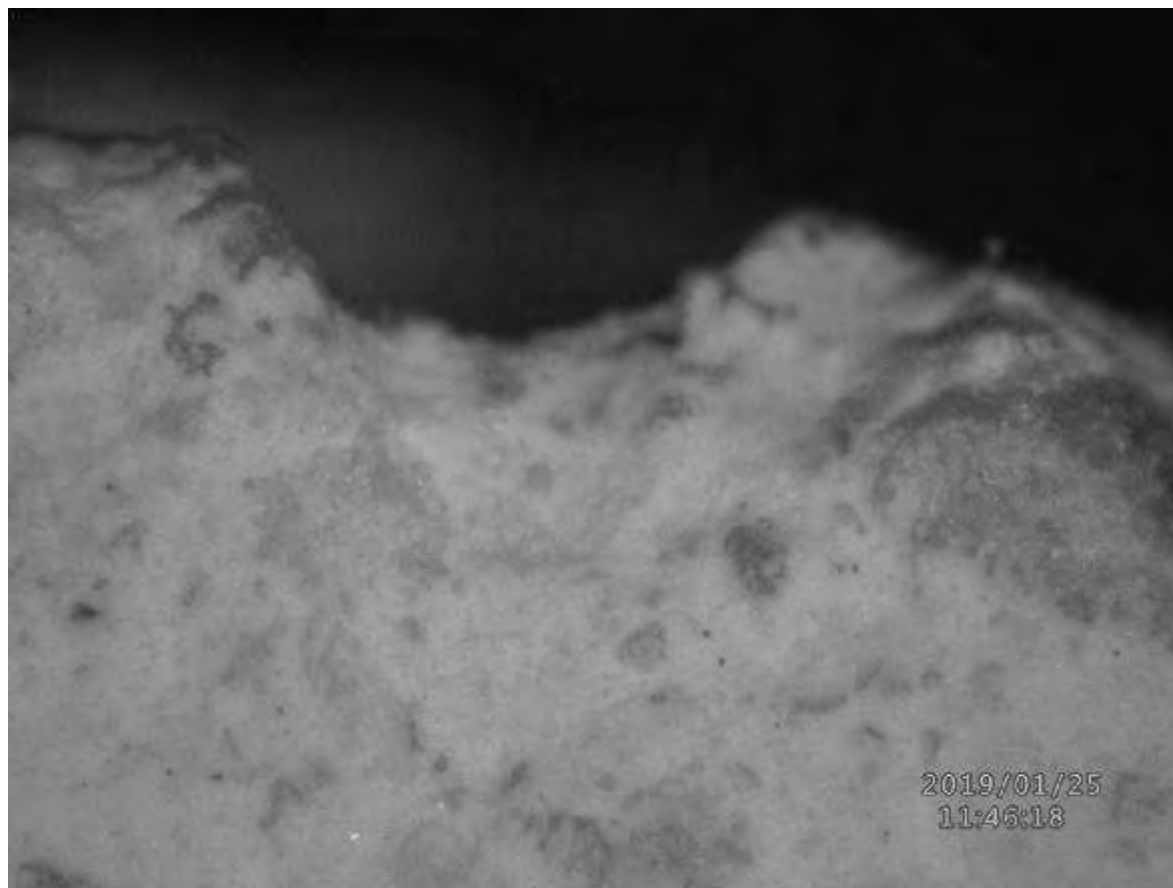


Figura. 4. 61. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2261018, bajo un filtro normal y una luz fluorescente.
Fuente: (autoría propia).

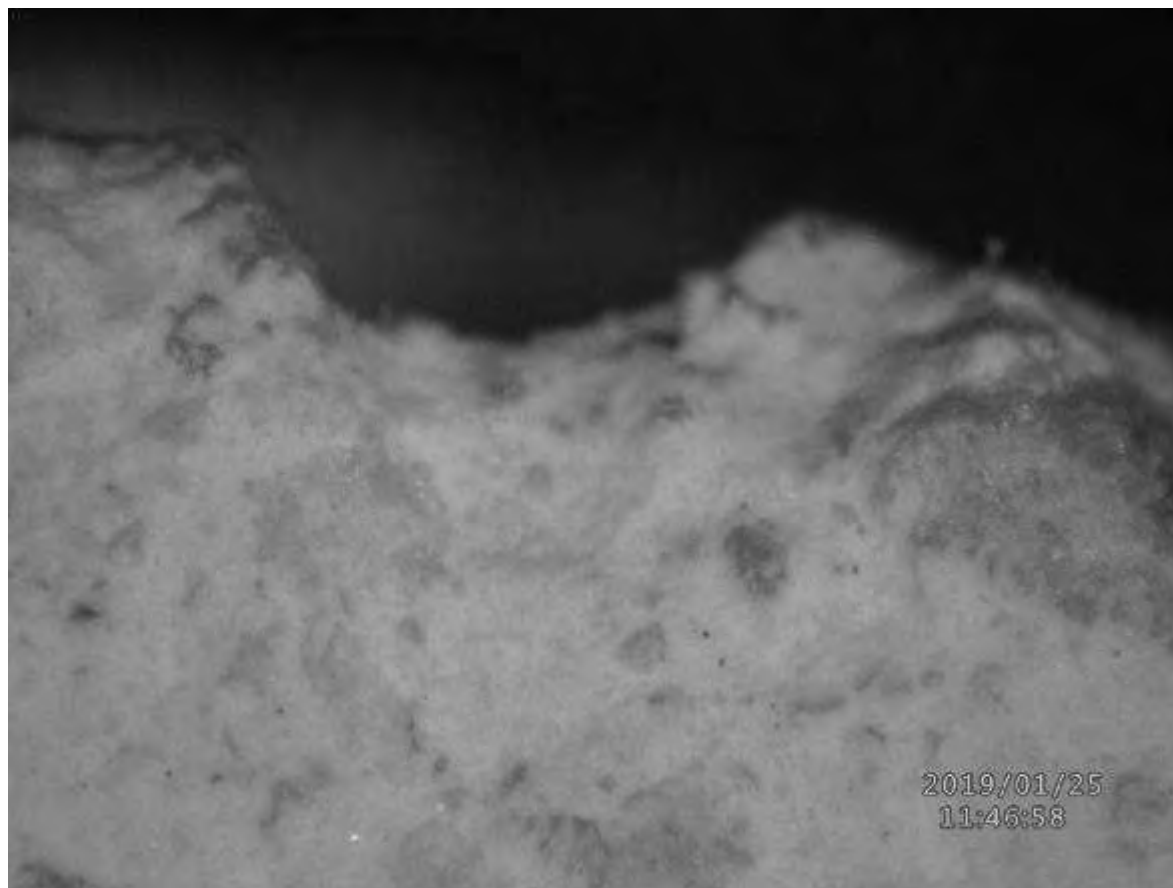


Figura. 4. 62. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2261018, bajo un filtro normal y una luz incandescente.
Fuente: (autoría propia).

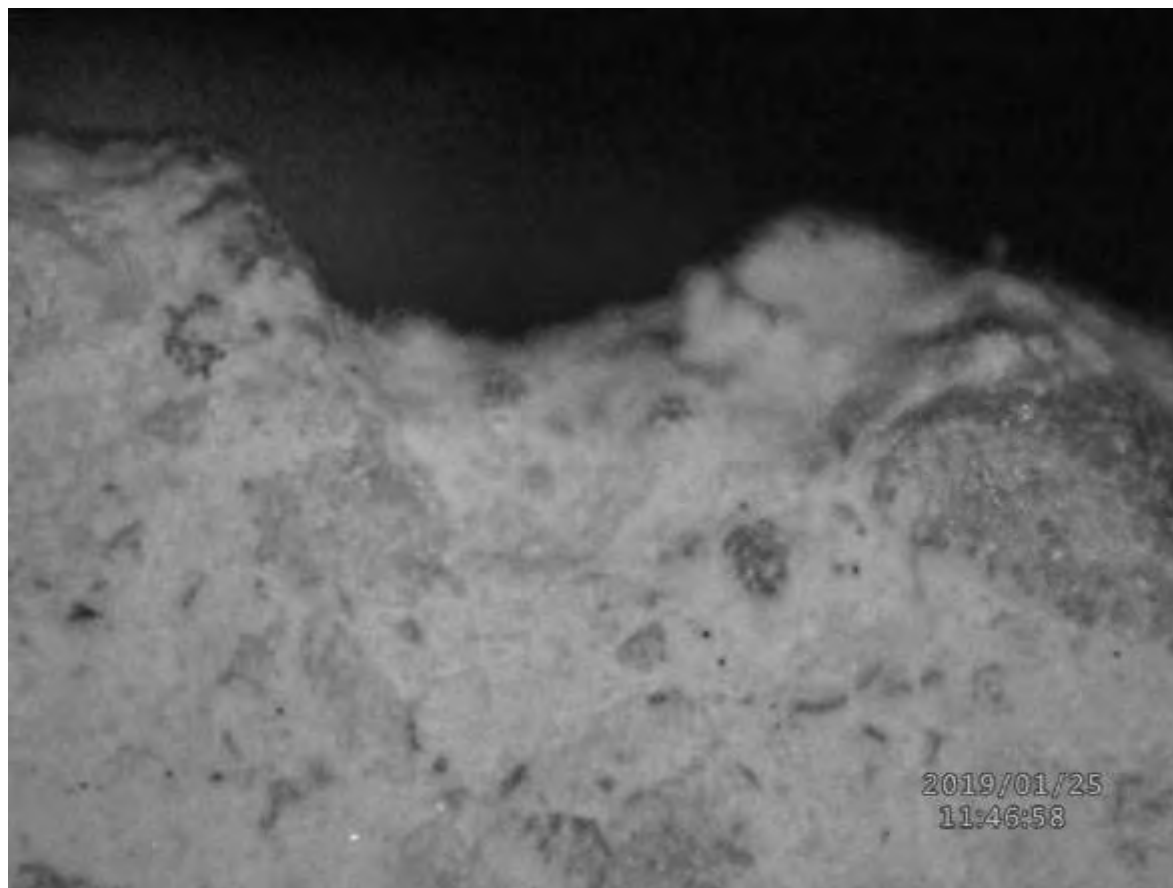


Figura. 4. 63. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2261018, bajo un filtro blanco y negro con una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

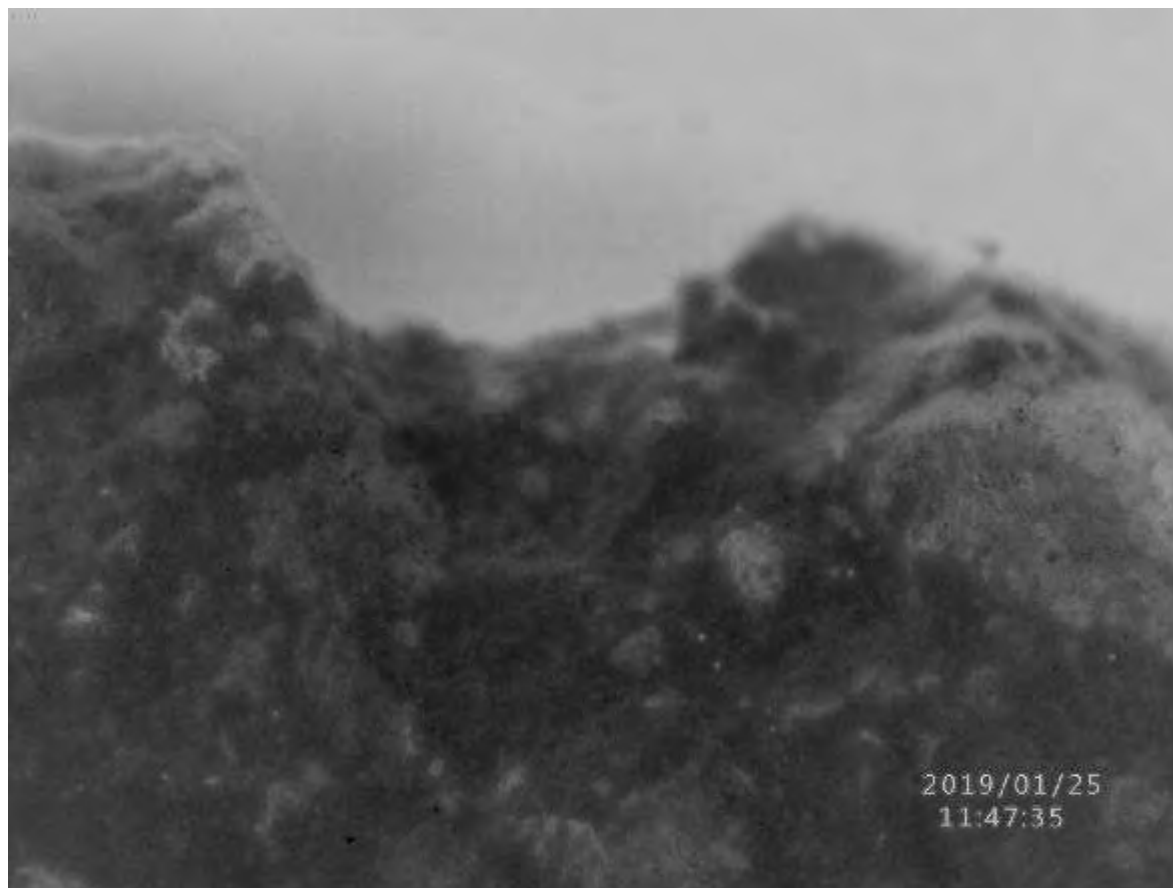


Figura. 4. 64. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2261018, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente.
Fuente: (autoría propia).

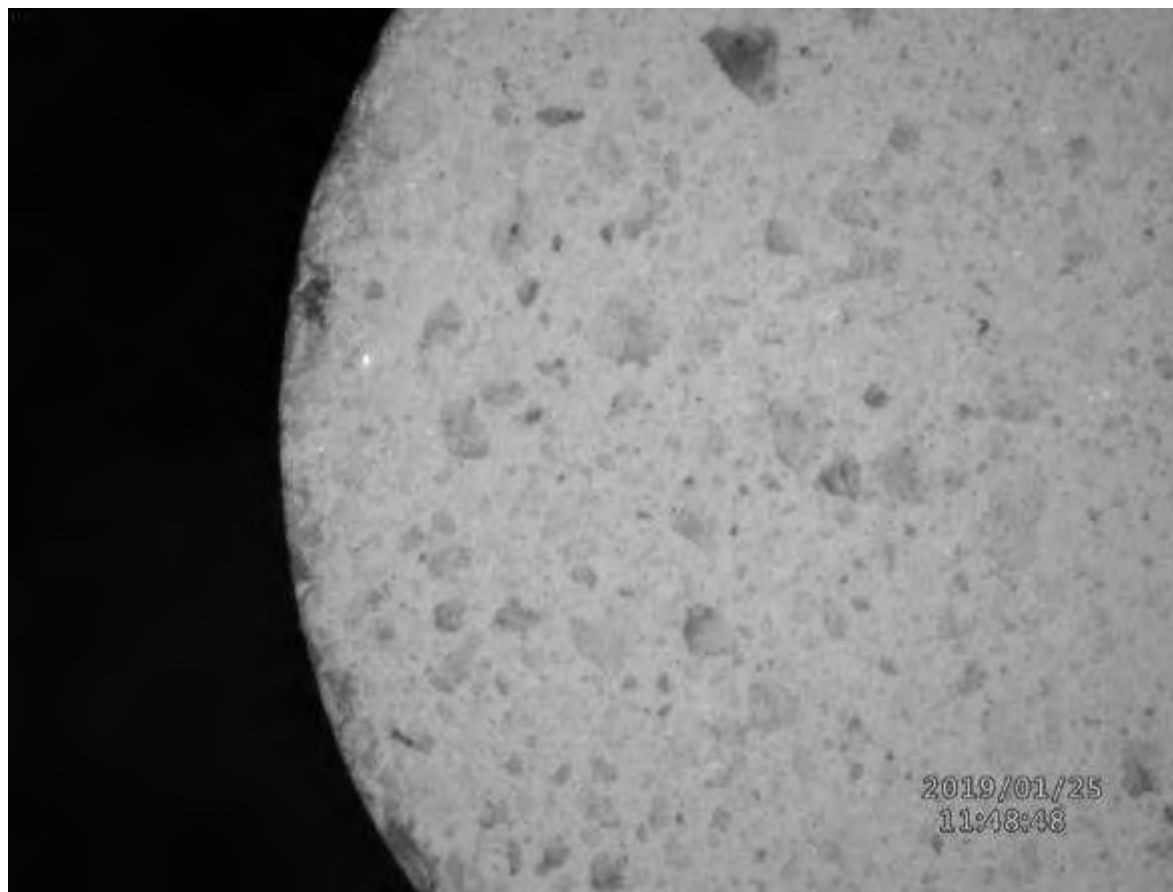


Figura. 4. 65. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2261018, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

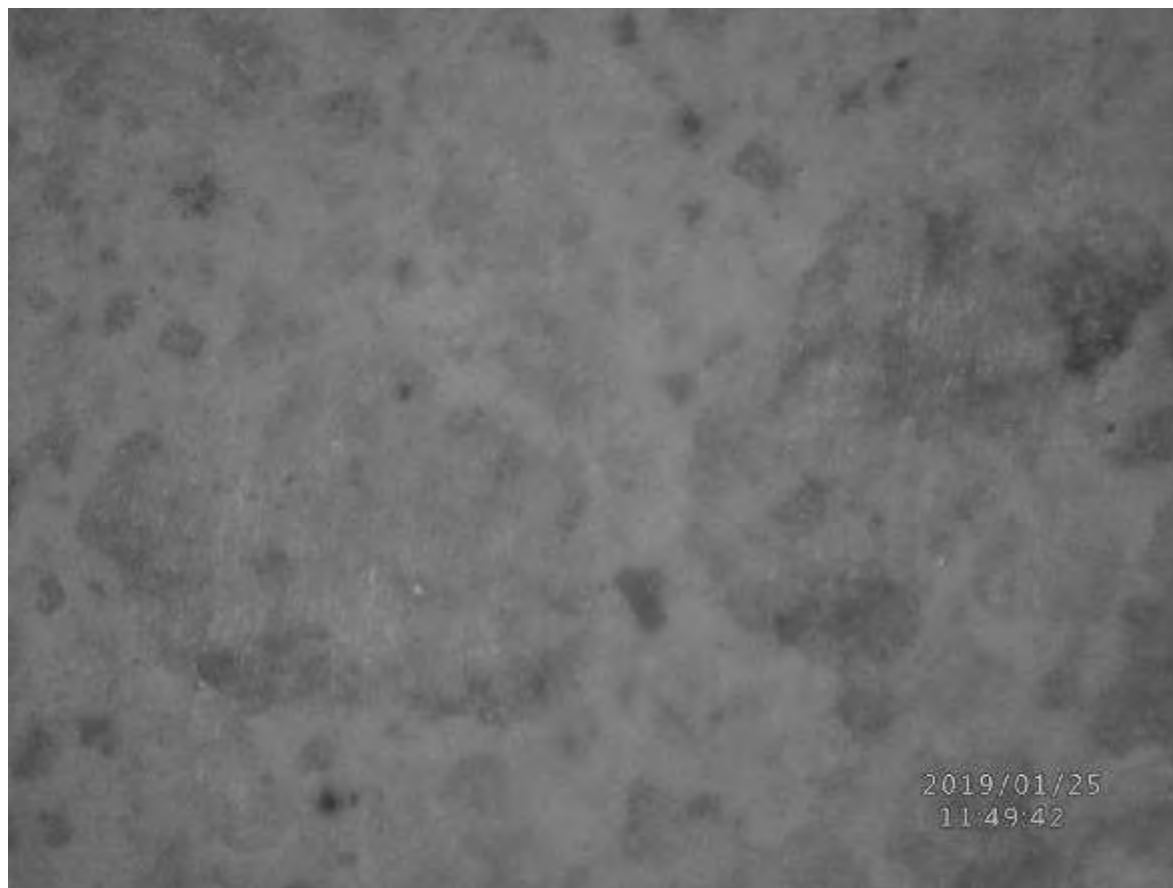


Figura. 4. 66. Microscopia aumentada digitalmente. de la C-2261018, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

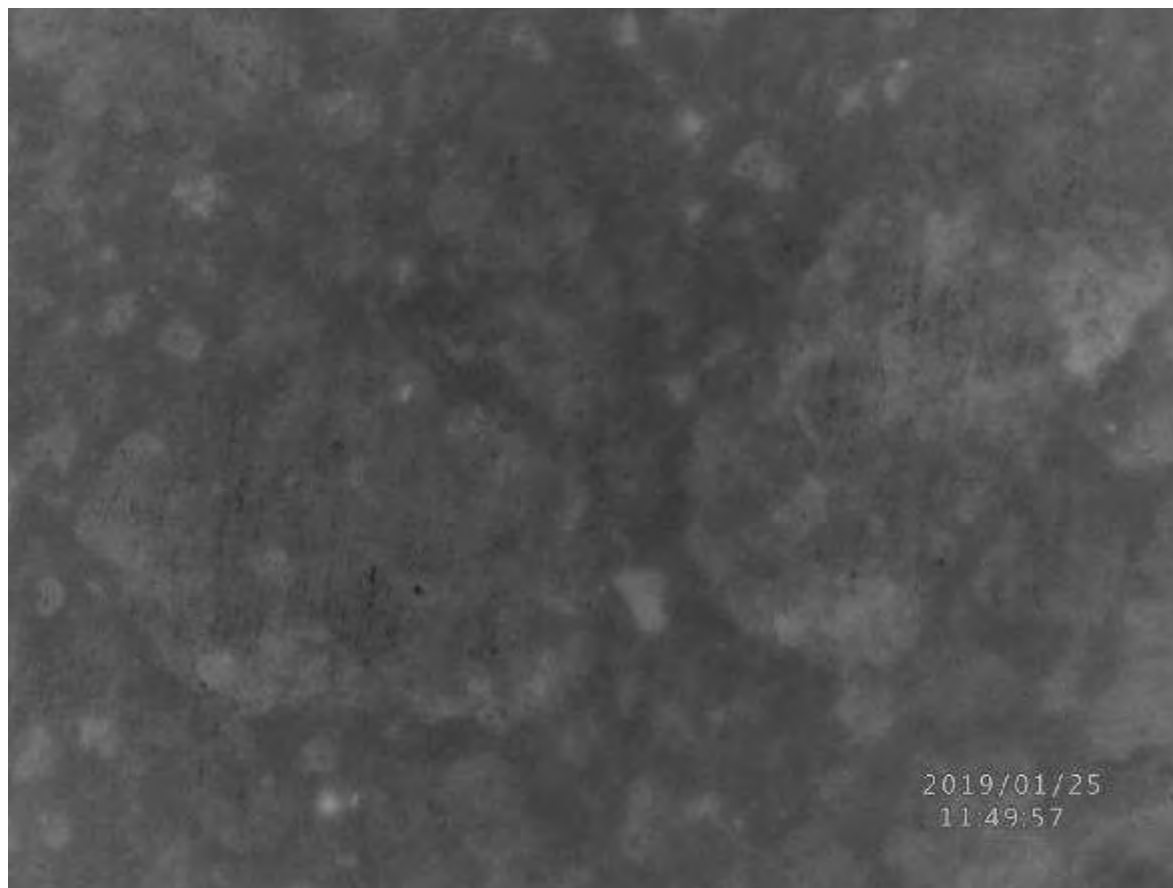
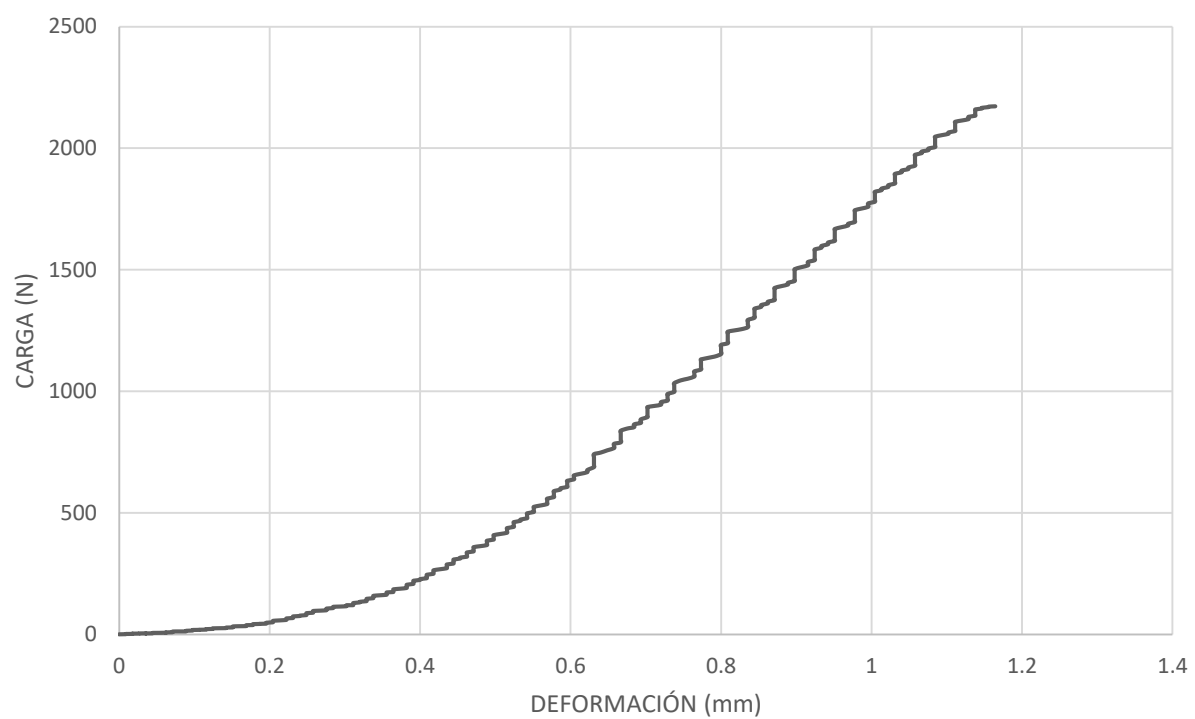


Figura. 4. 67. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2261018, con un filtro negativo. Fuente: (autoría propia).

CARGA-DEFORMACIÓN



Gráficas 4. 6. Curva Carga-Deformación de la C-2261018, en N-mm. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 68. Imágenes de la corrida C-3261018. Fuente: (autoría propia)

Nota: De composición 100% CAL ESTANDAR, 275% MARMOLINA Tipo 2, 10% METACAOLIN, 10% CLORURO DE SODIO y A/C= 1:1 (50 g de agua potable), de dimensiones iguales a un diámetro de 23.2mm y una longitud de 44.8mm, DENSIDAD = 36.570617 g/cm³, que presenta una buena dureza al ser pulido, con poco desprendimiento.

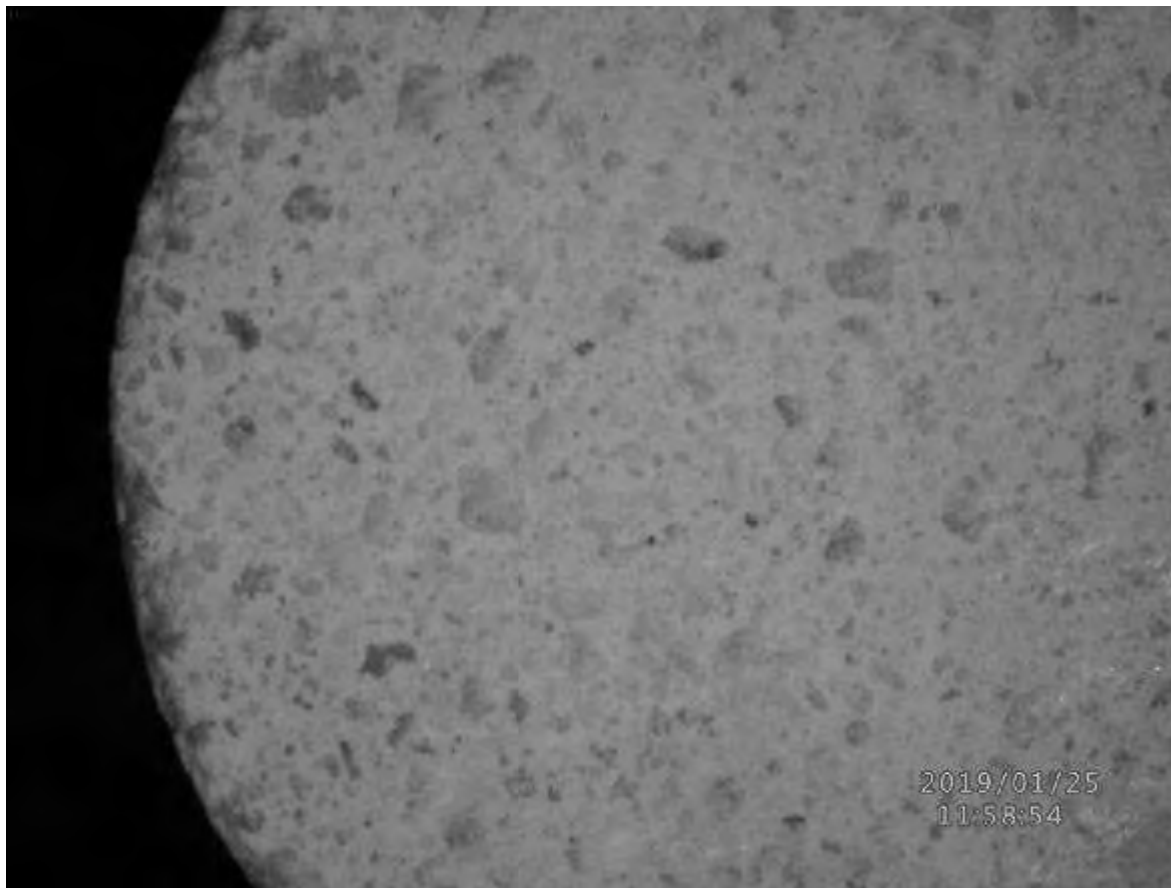


Figura. 4. 69. Microscopia de la C-3261018. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 70. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3261018, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

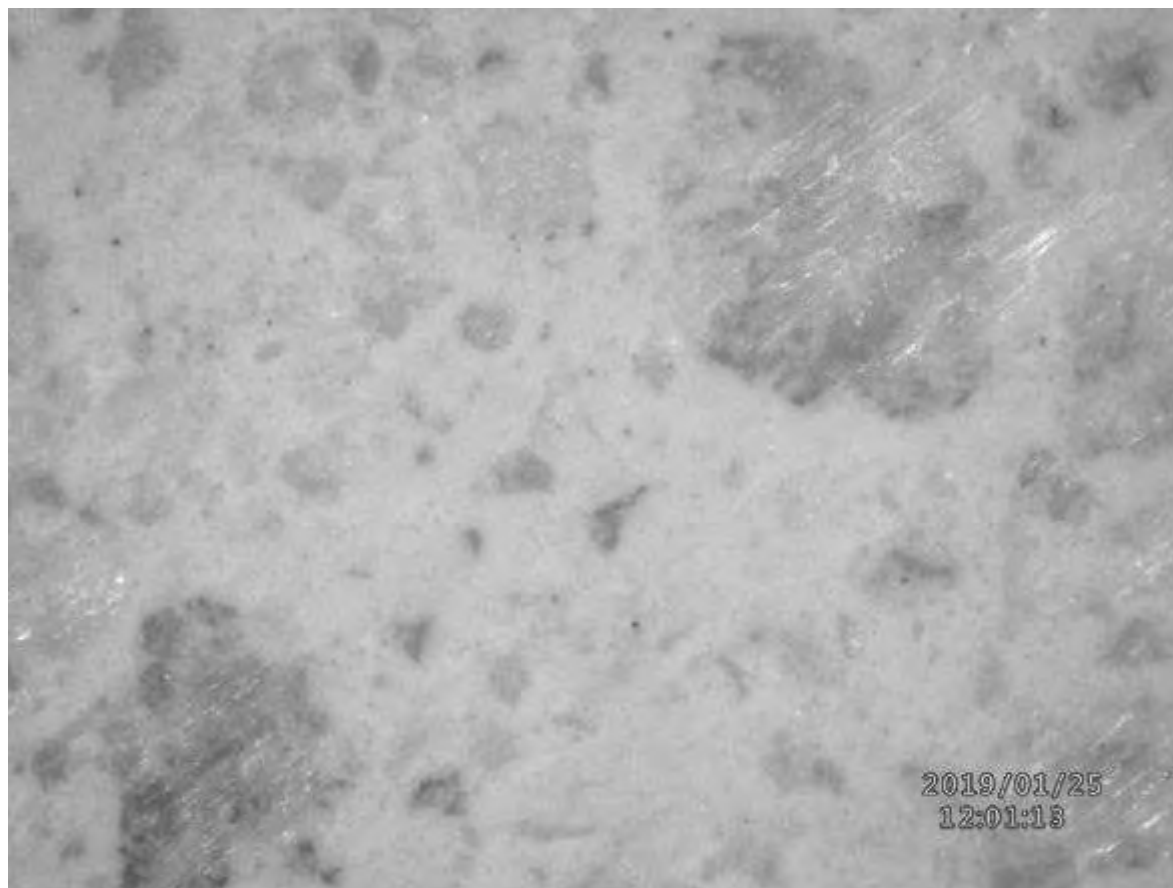


Figura. 4. 71. Microscopia aumentada de la C-3261018, bajo un filtro normal y una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

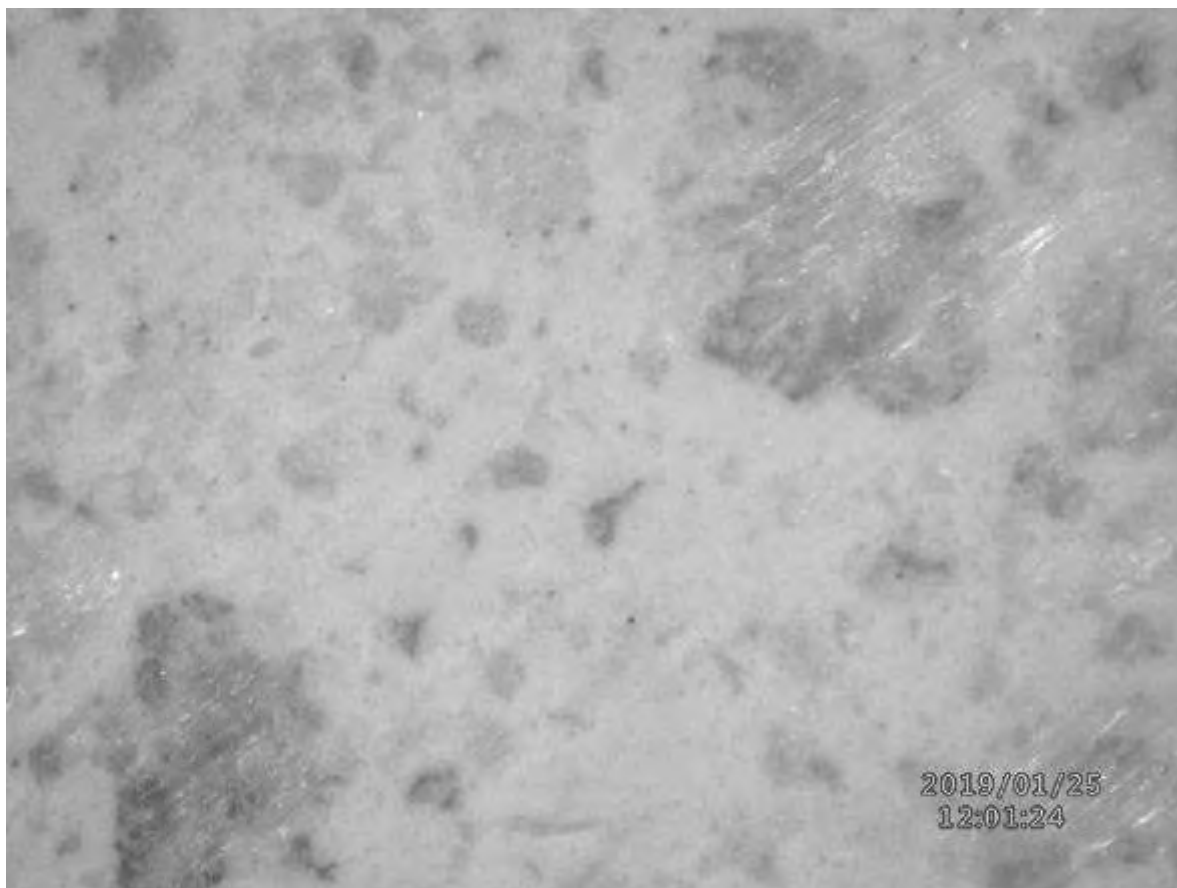


Figura. 4. 72. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3261018, bajo un filtro normal y una luz incandescente.
Fuente: (autoría propia).

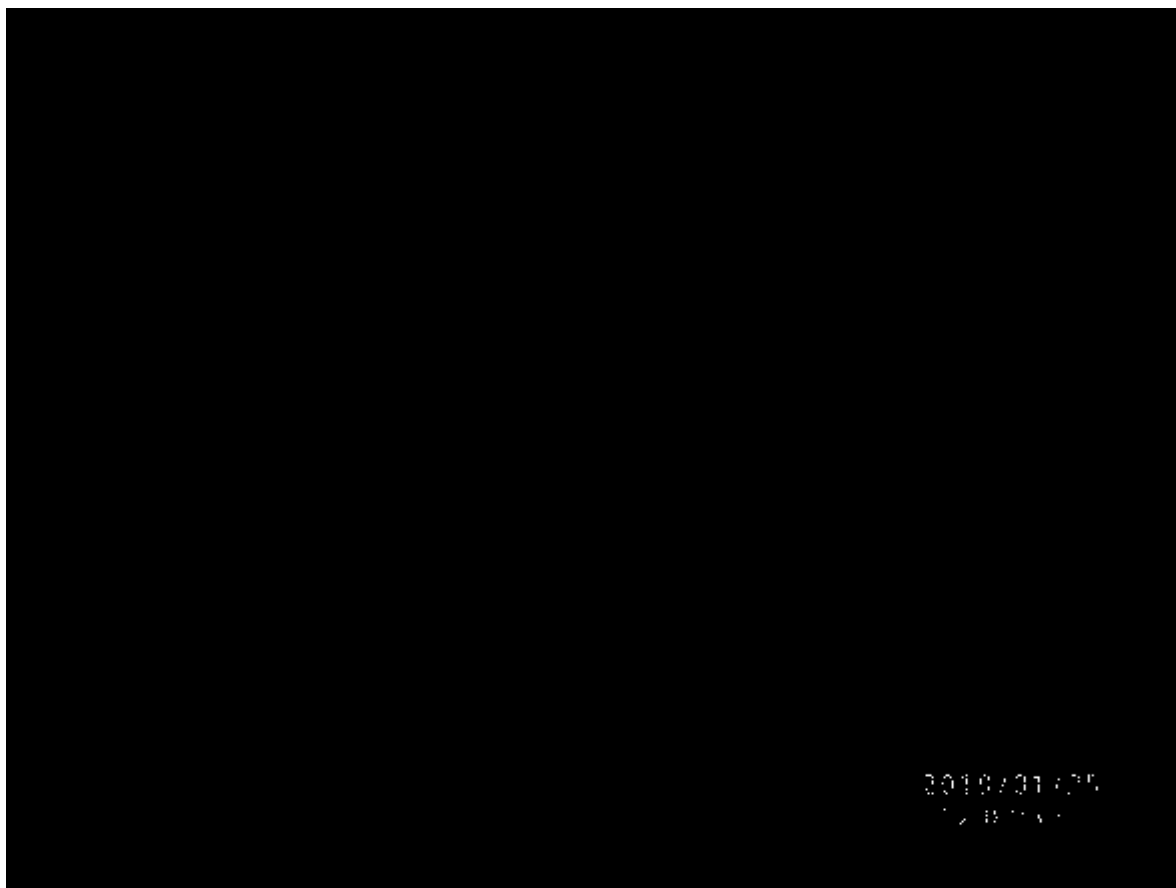


Figura. 4. 73. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3261018, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

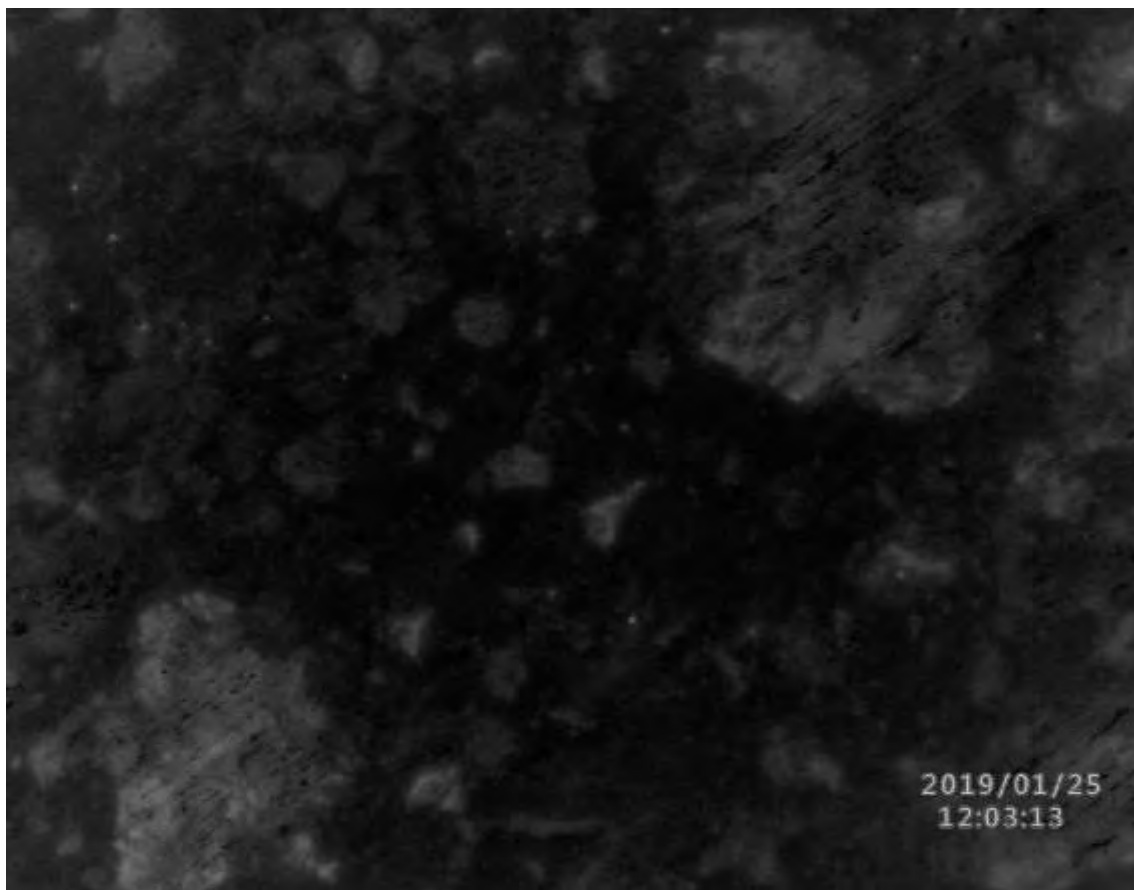


Figura. 4. 74. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3261018, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

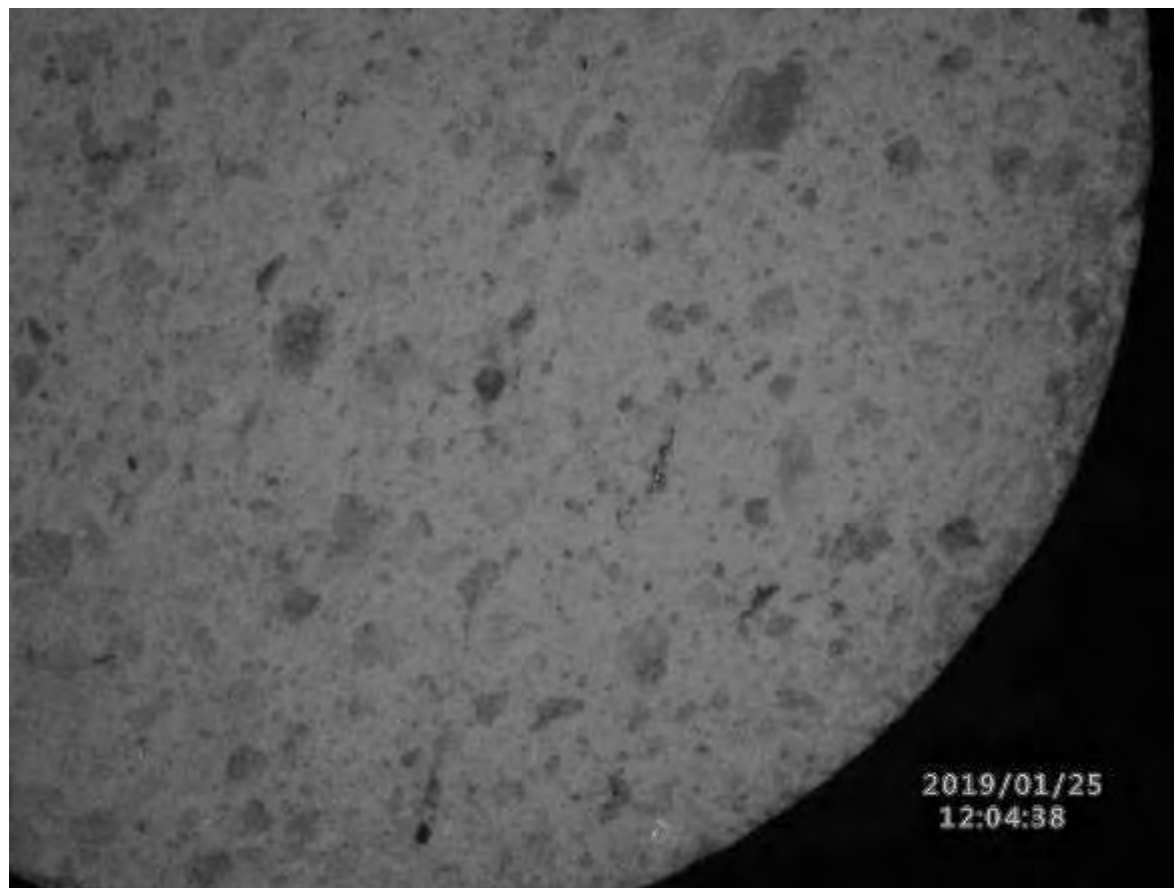


Figura. 4. 75. Microscopia de la C-3261018, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

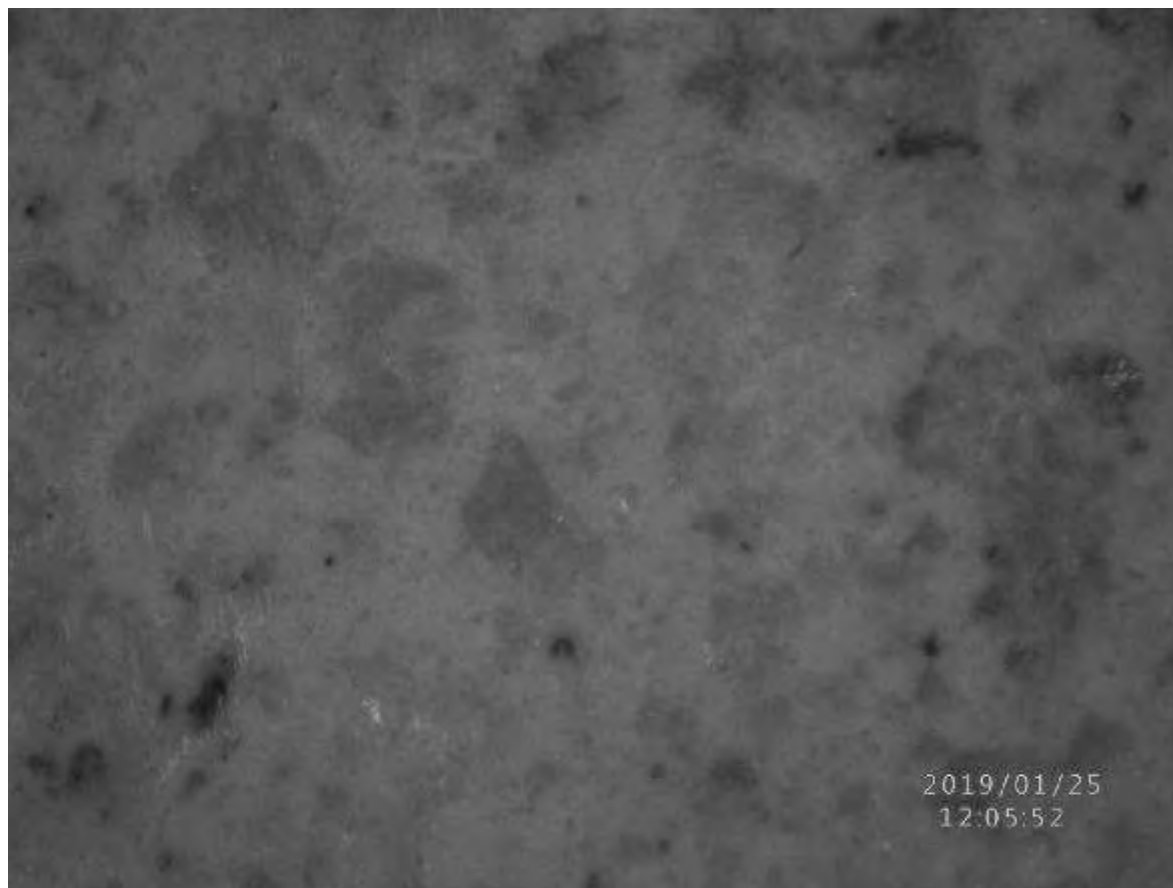


Figura. 4. 76. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3261018. sin filtros. Fuente: (autoría propia).

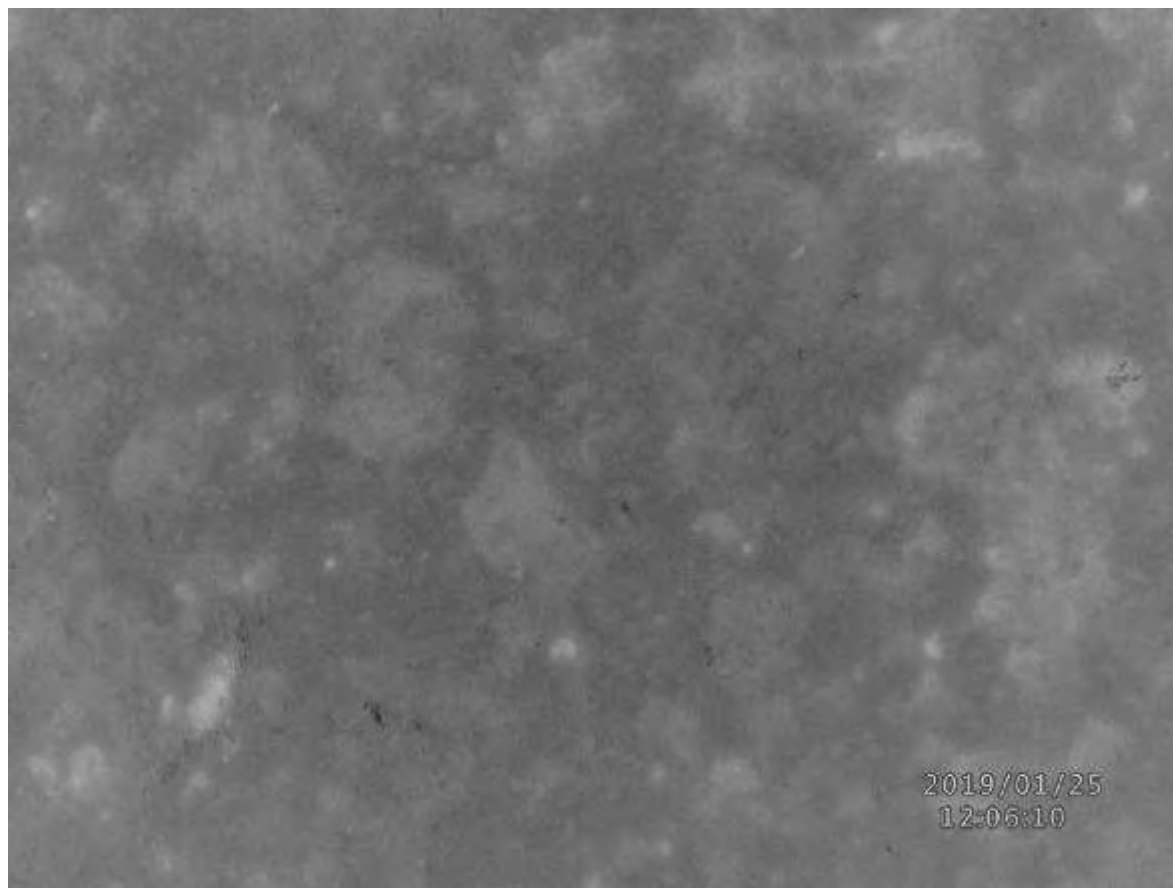


Figura. 4. 77. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3261018, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

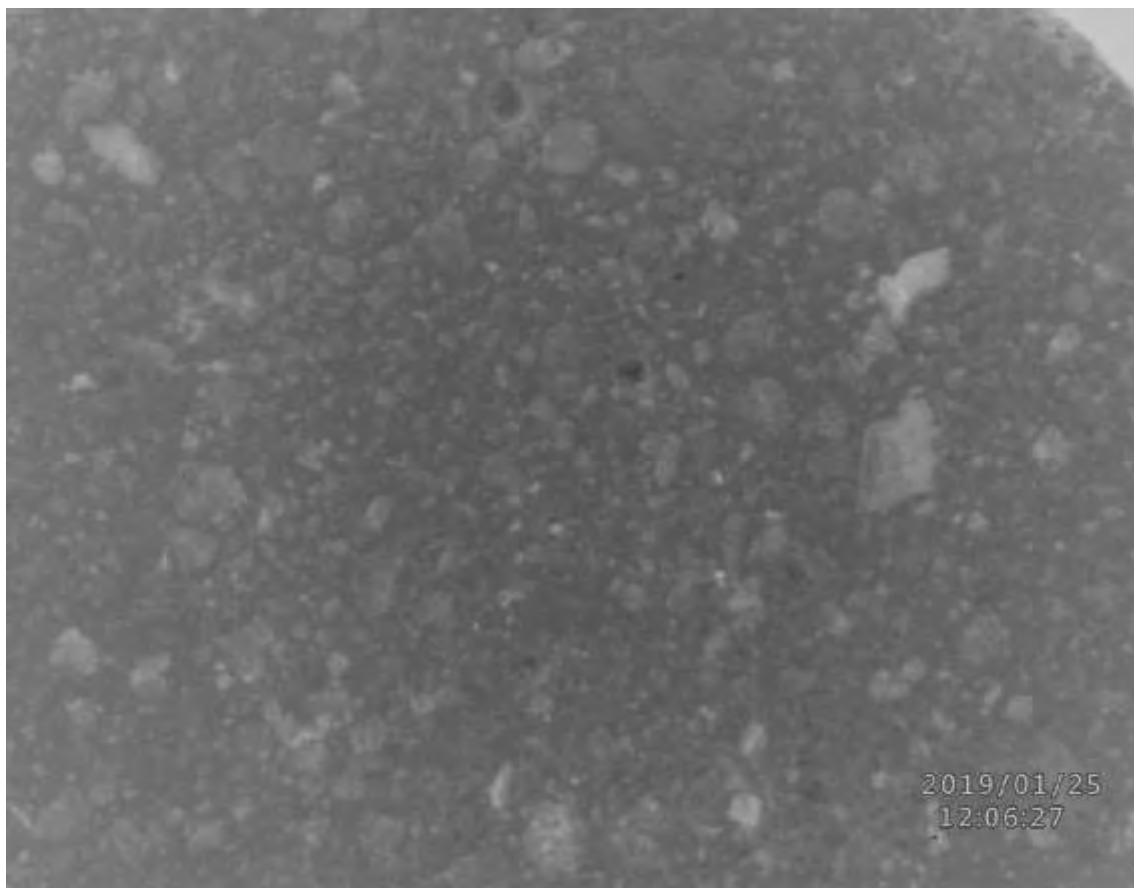
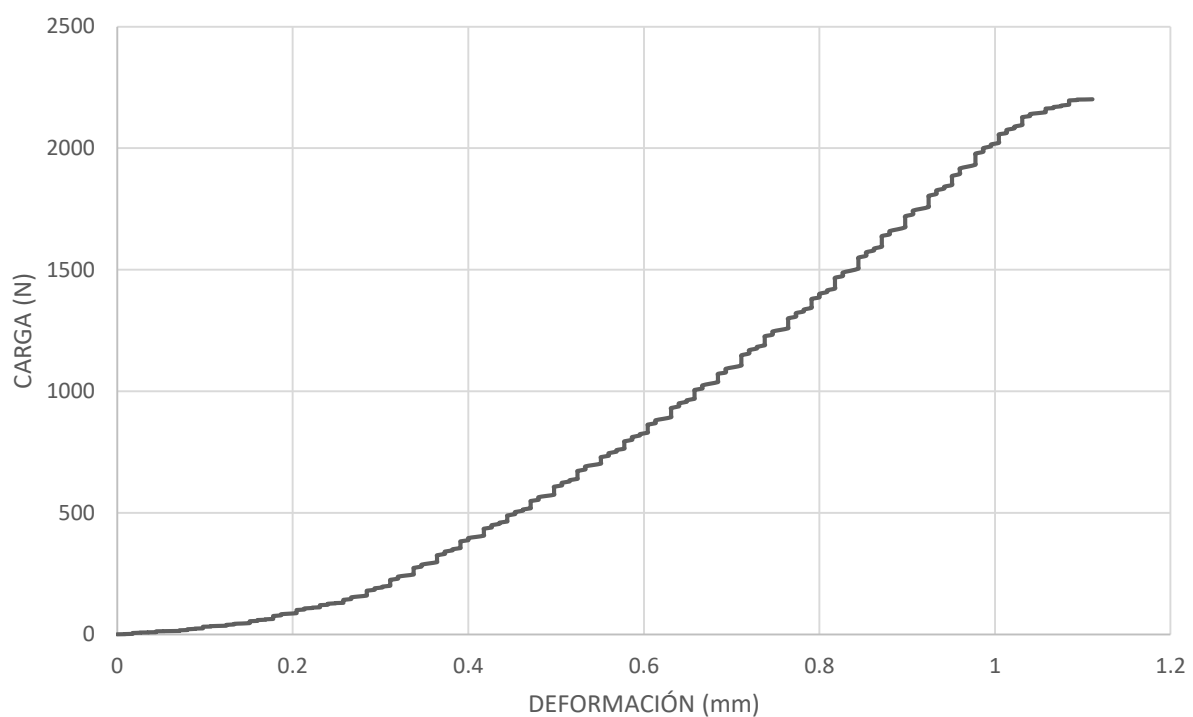


Figura. 4. 78. Microscopia de la C-3261018, sin filtros. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 79. Fotografía de la C-3261018, en la prensa. Fuente: (autoría propia).

CARGA-DEFORMACIÓN



Gráficas 4. 7. Curva Carga-Deformación de la C-326101818, en N-mm. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 80. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-326101818. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 81. Imágenes de la corrida C-15118. Fuente: (autoría propia).

Nota: De composición, composición 100% CAL ESTANDAR, 275% MARMOLINA Tipo 2, 10% HARINA DE ARRÓZ y A/C= 1.1:1 (55 g de agua potable, calentada hasta el punto de ebullición y agregada a la mezcla, previamente integrados todos los materiales), de diámetro igual a 23.4mm y longitud de 44.4mm, que presenta una poca dureza al ser pulido, con un moderado desprendimiento, mayormente en la parte inferior.

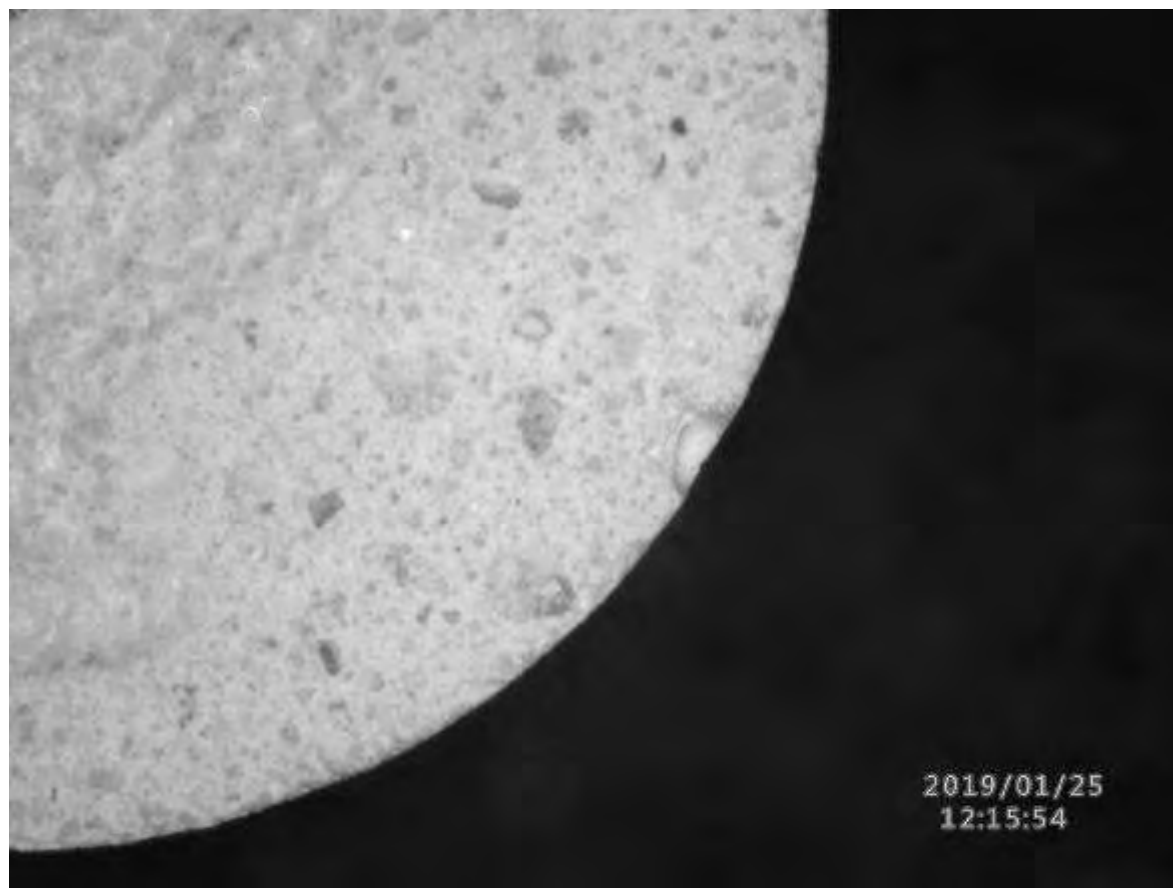


Figura. 4. 82. Microscopia de la C-151118. Fuente: (autoría propia).

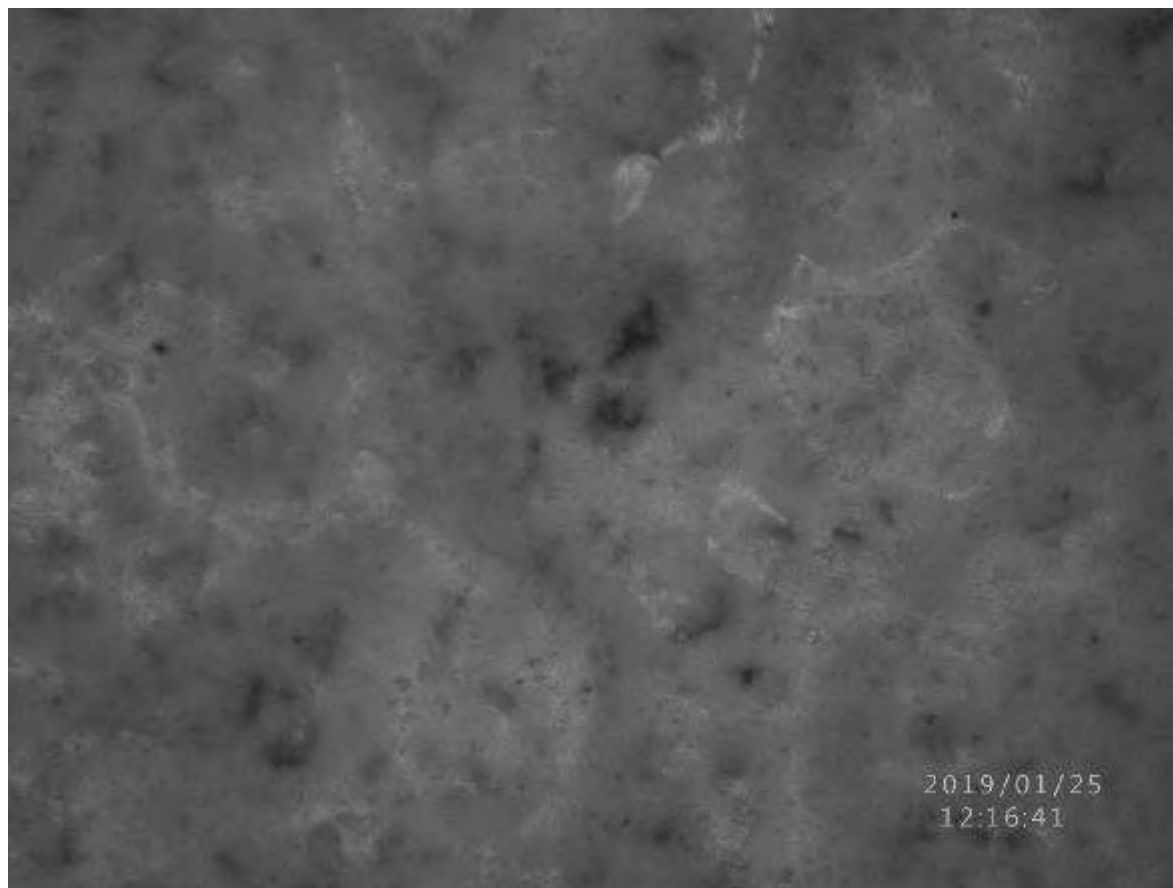


Figura. 4. 83. Microscopia aumentada de la C-151118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

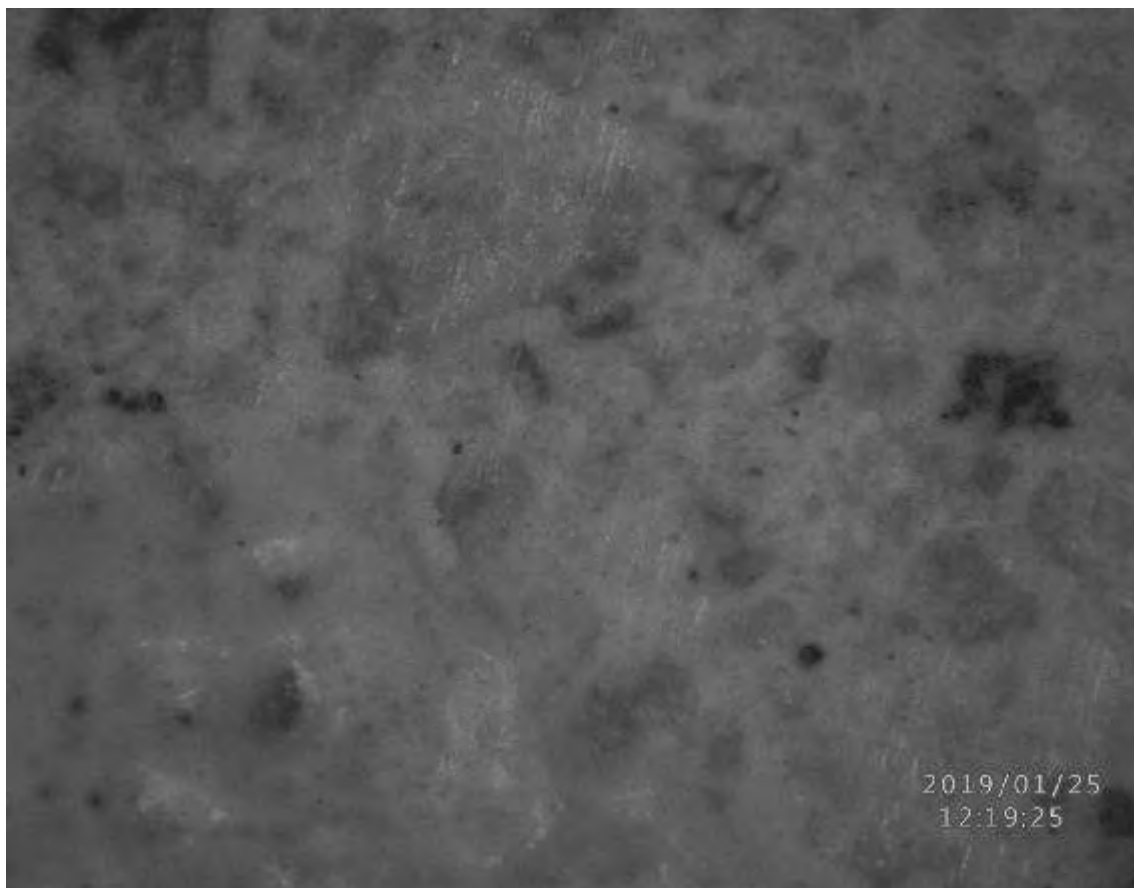


Figura. 4. 84. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-151118, bajo un filtro normal y una luz fluorescente.
Fuente: (autoría propia).

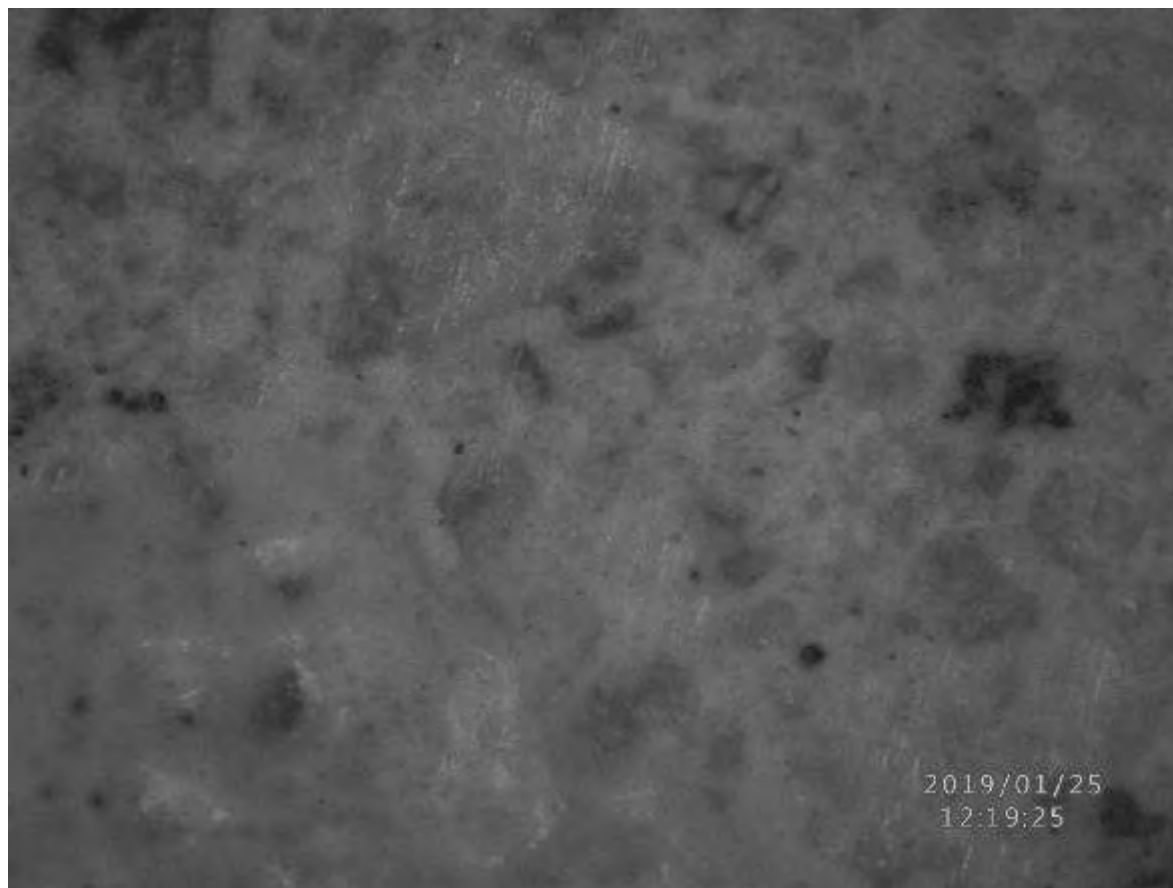


Figura. 4. 85. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-151118, bajo un filtro normal y una luz incandescente.
Fuente: (autoría propia).

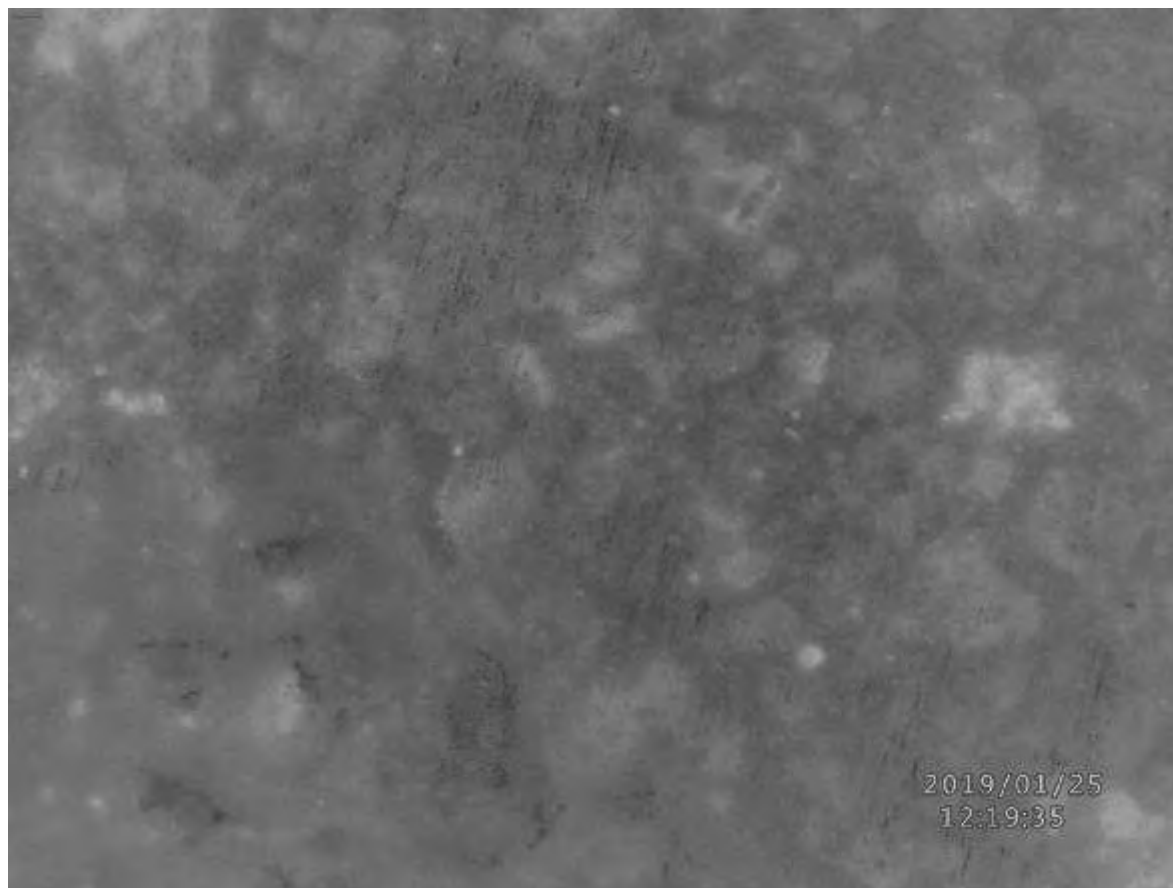


Figura. 4. 86. Microscopia aumentada digitalmente de la C-151118, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente.
Fuente: (autoría propia).

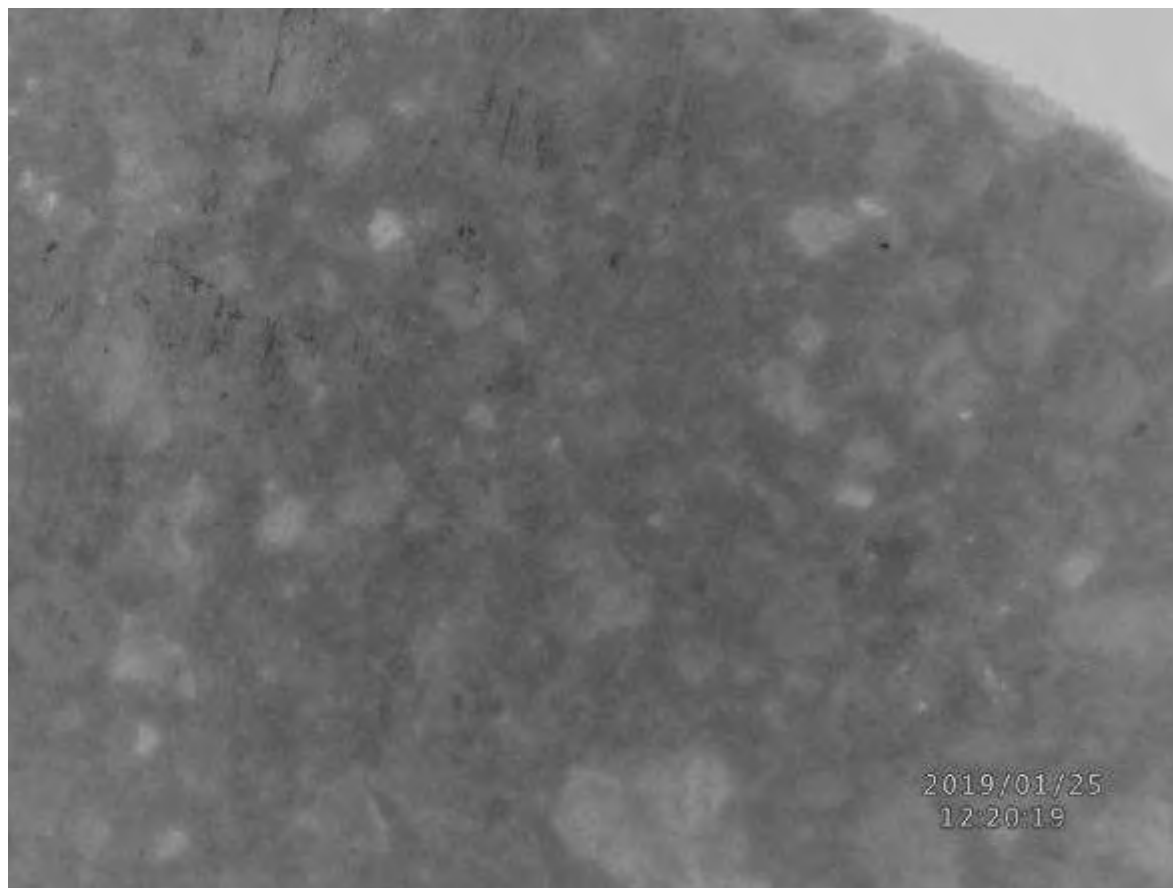


Figura. 4. 87. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-151118, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

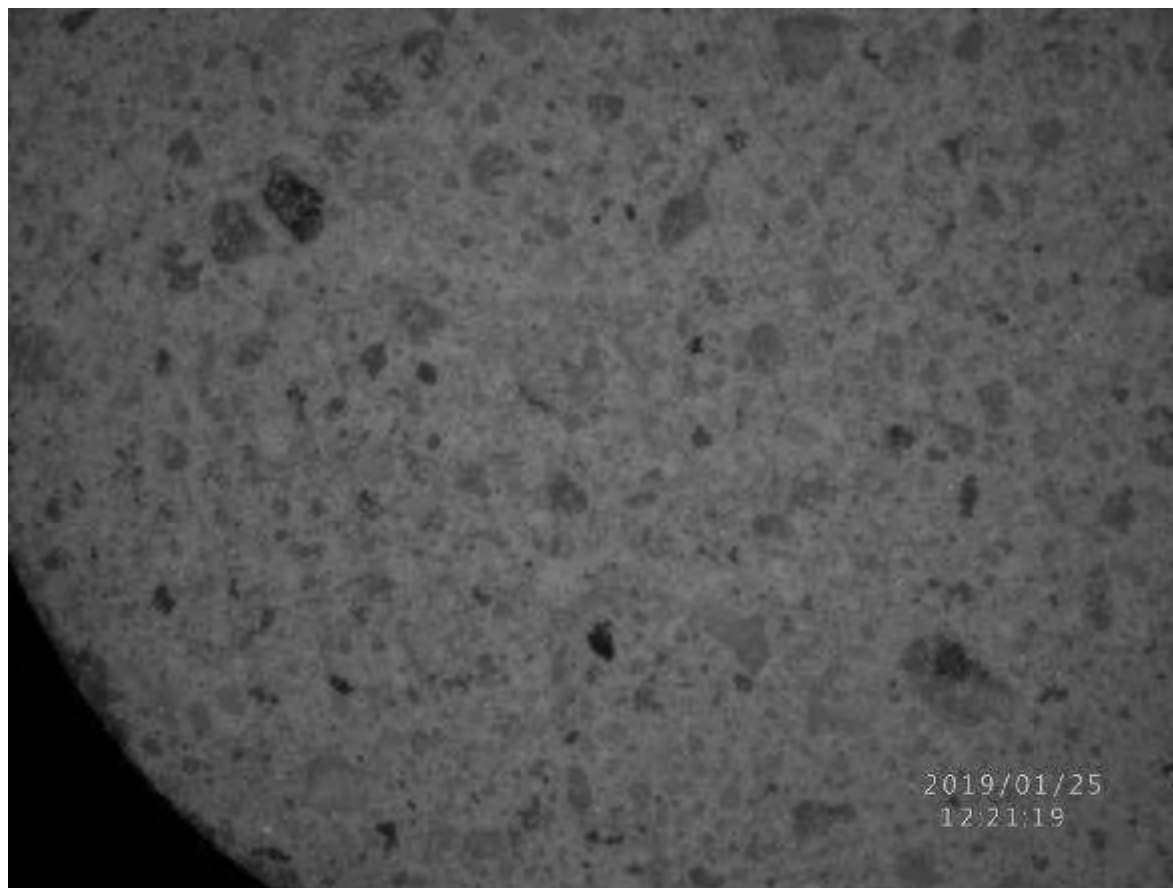
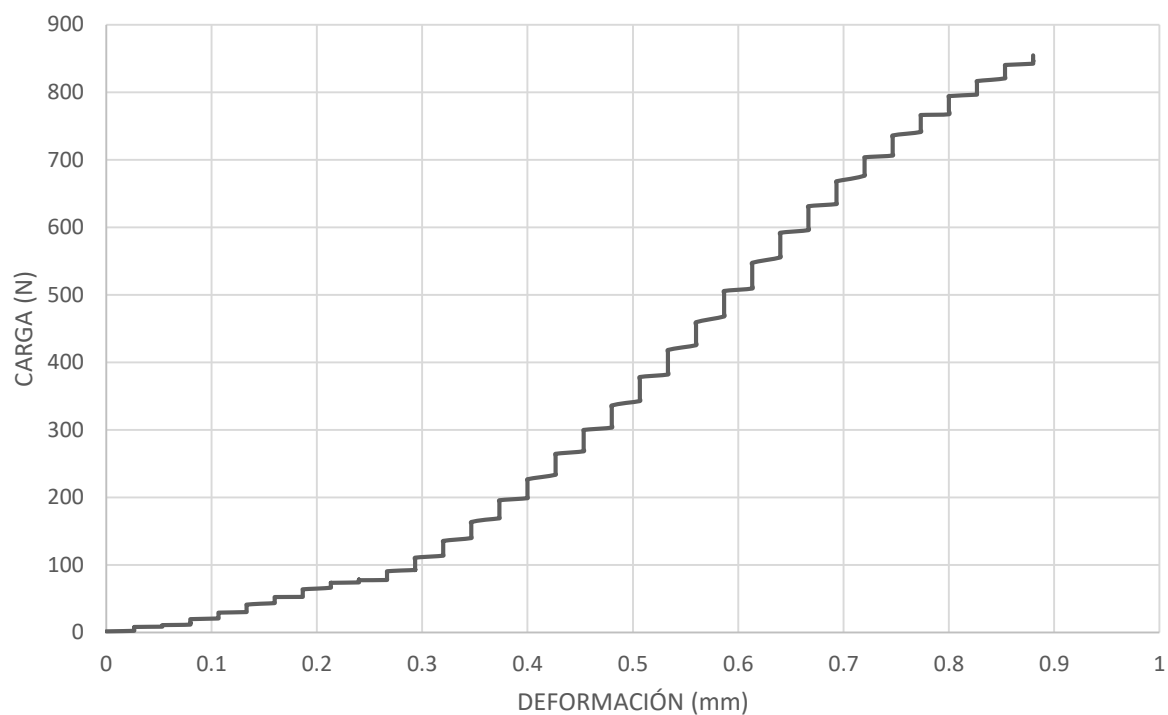


Figura. 4. 88. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-151118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 89. Fotografía de la C-151118, en la prensa. Fuente: (autoría propia).

CARGA-DEFORMACIÓN



Gráficas 4. 8. Curva Carga-Deformación de la C-151118, en N-mm. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 90. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-151118. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 91. Imágenes de la corrida C-251118. Fuente: (autoría propia).

Nota: De composición 100% CAL ESTANDAR, 275% MARMOLINA Tipo 2, 20% HARINA DE ARRÓZ y A/C= 1.2:1 (60 g de agua potable, calentada hasta el punto de ebullición y agregada a la mezcla, previamente integrados todos los materiales), de dimensiones diámetro igual a 23.4mm y una longitud de 44.3mm, que presenta una buena dureza al ser pulido, con poco desprendimiento.

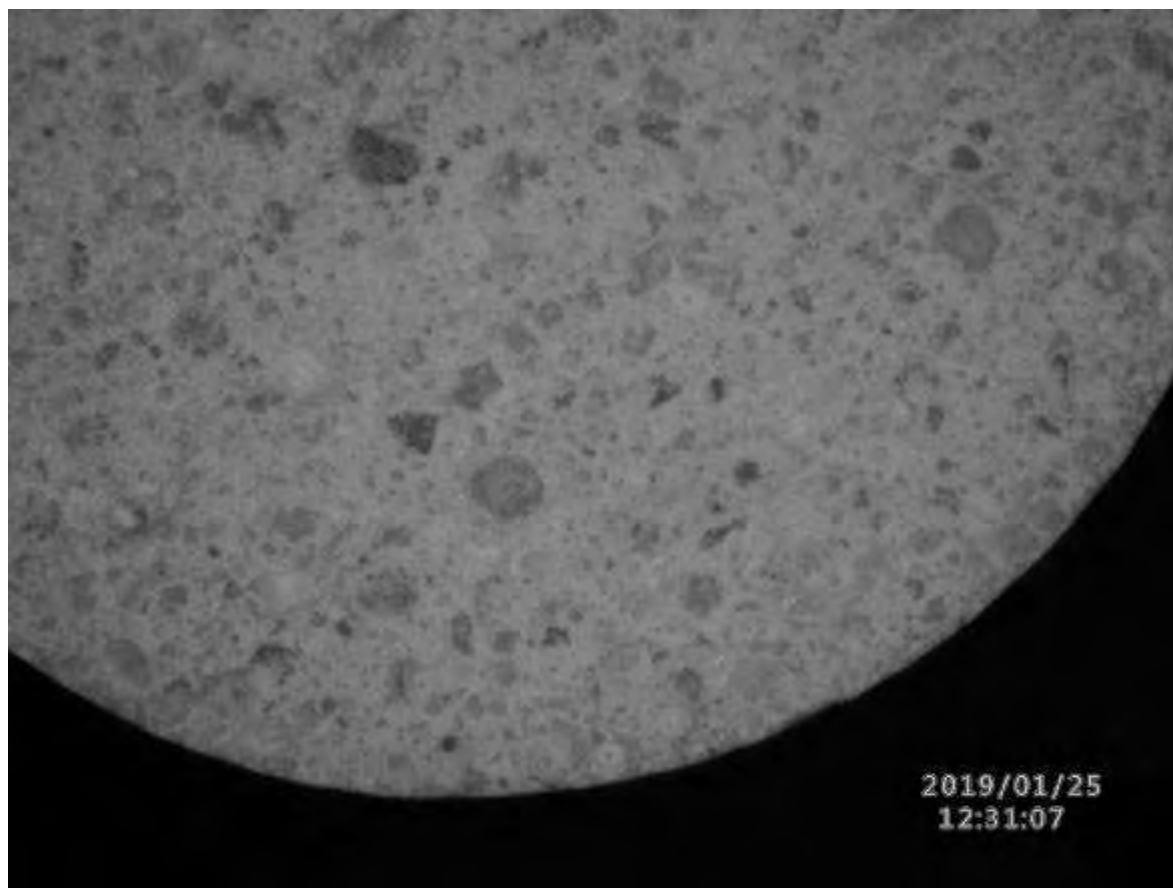


Figura. 4. 92. Microscopia de la C-251118. Fuente: (autoría propia).

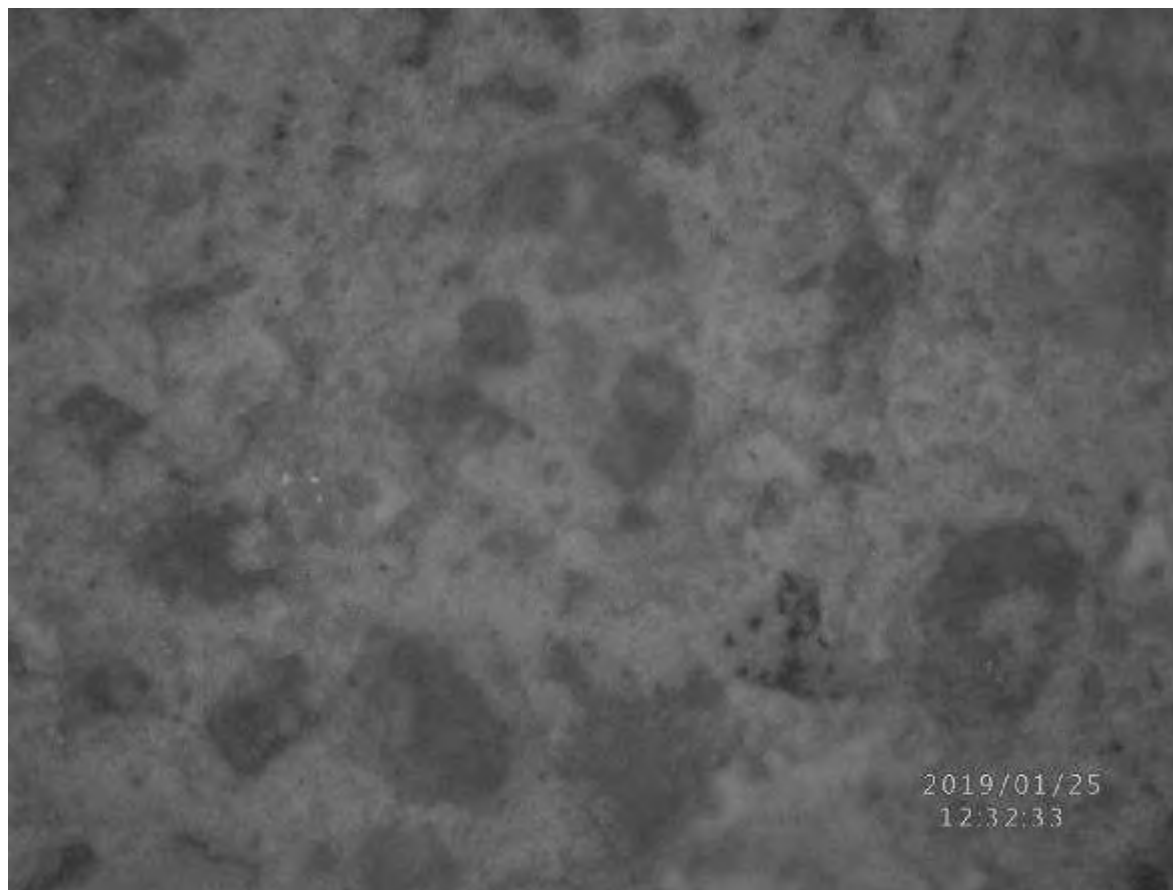


Figura. 4. 93. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-251118 a, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

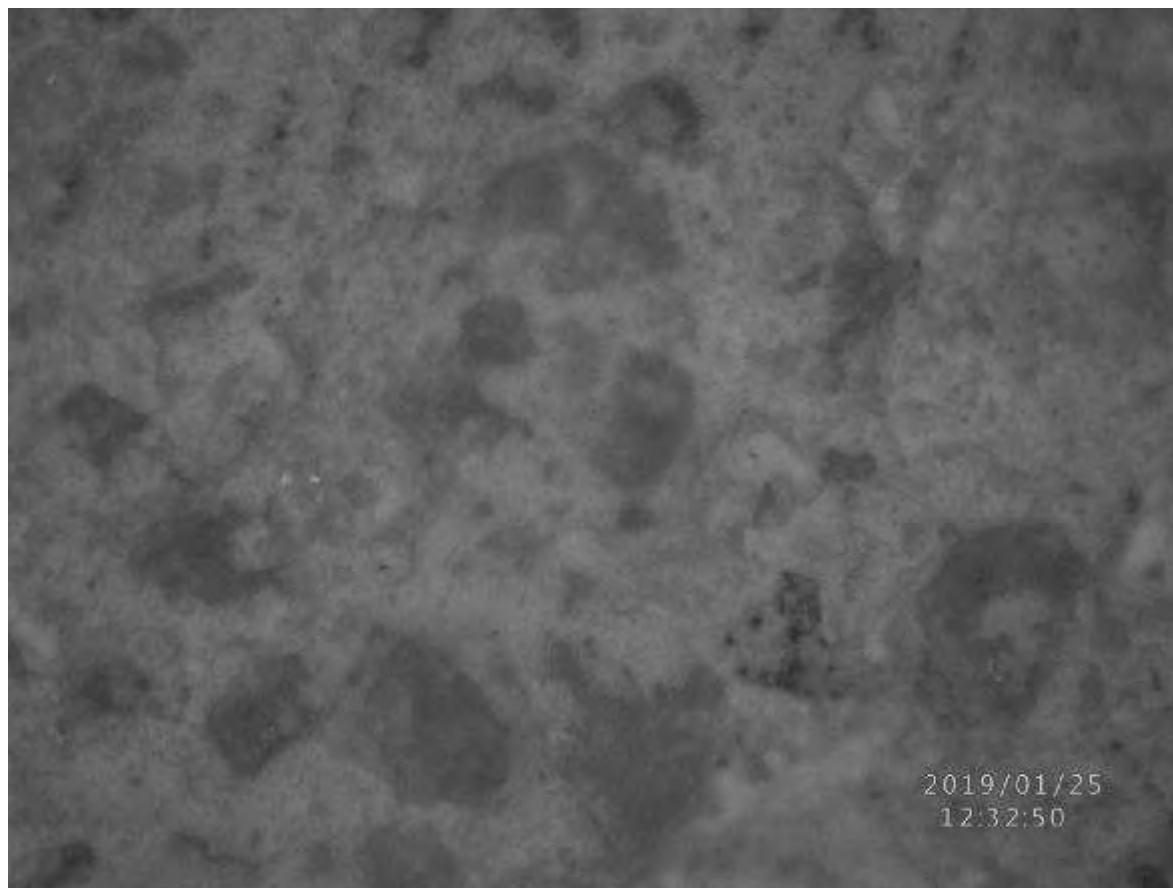


Figura. 4. 94. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-251118, bajo un filtro normal y una luz incandescente.
Fuente: (autoría propia).

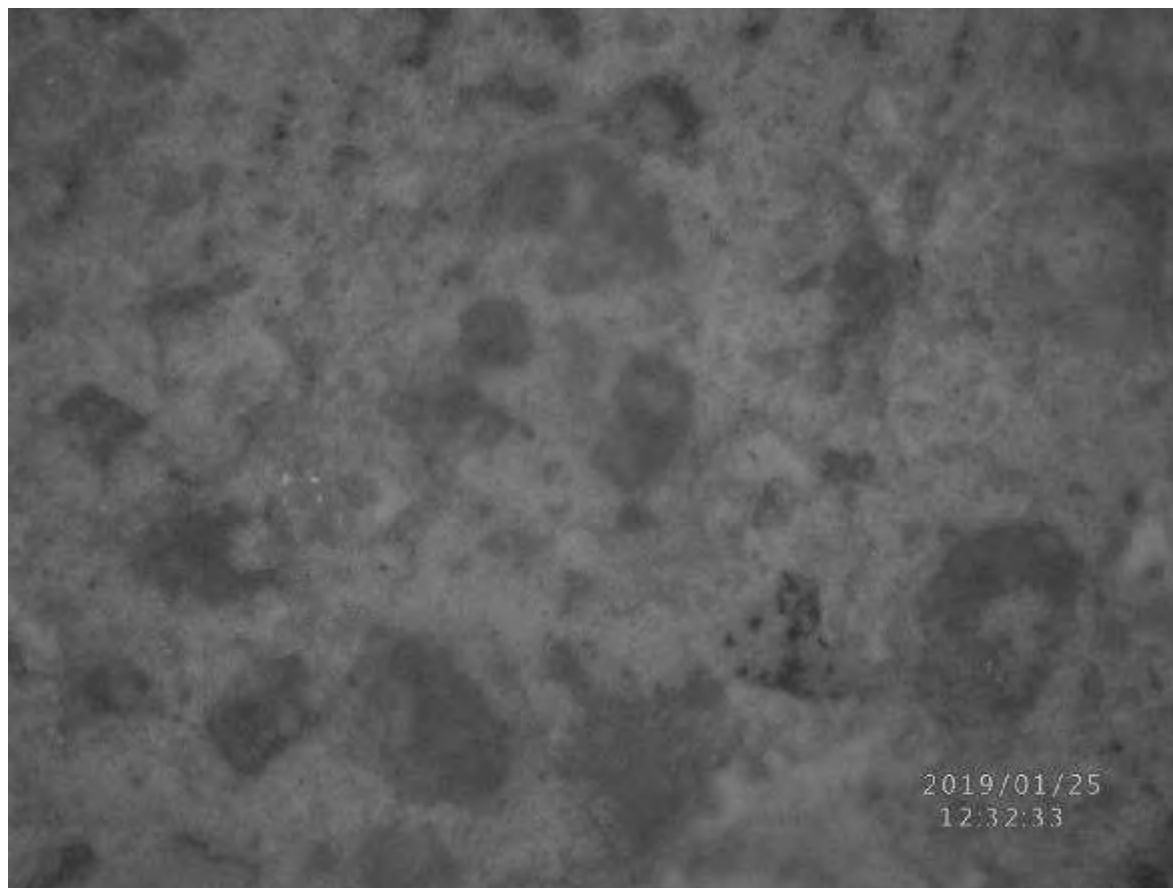


Figura. 4. 95. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-251118, bajo un filtro normal y una luz fluorescente.
Fuente: (autoría propia).

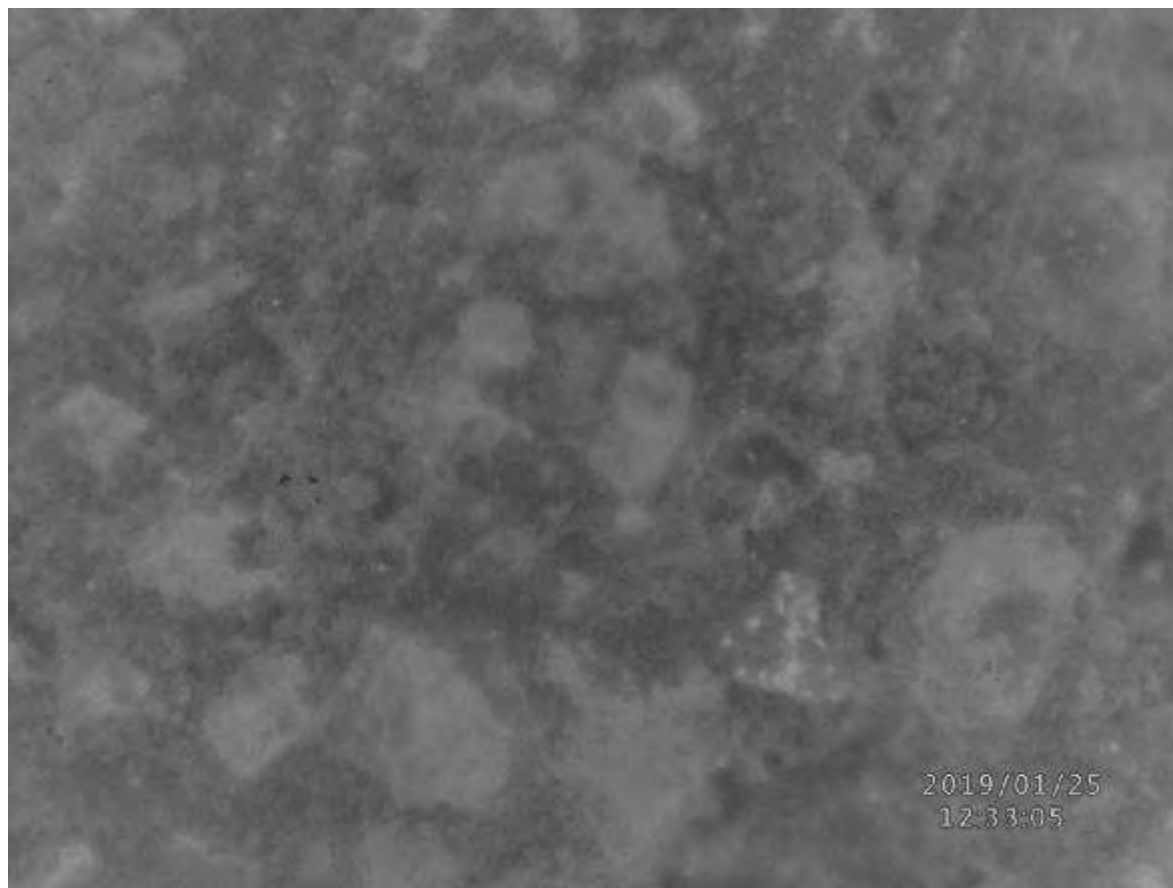


Figura. 4. 96. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-251118, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

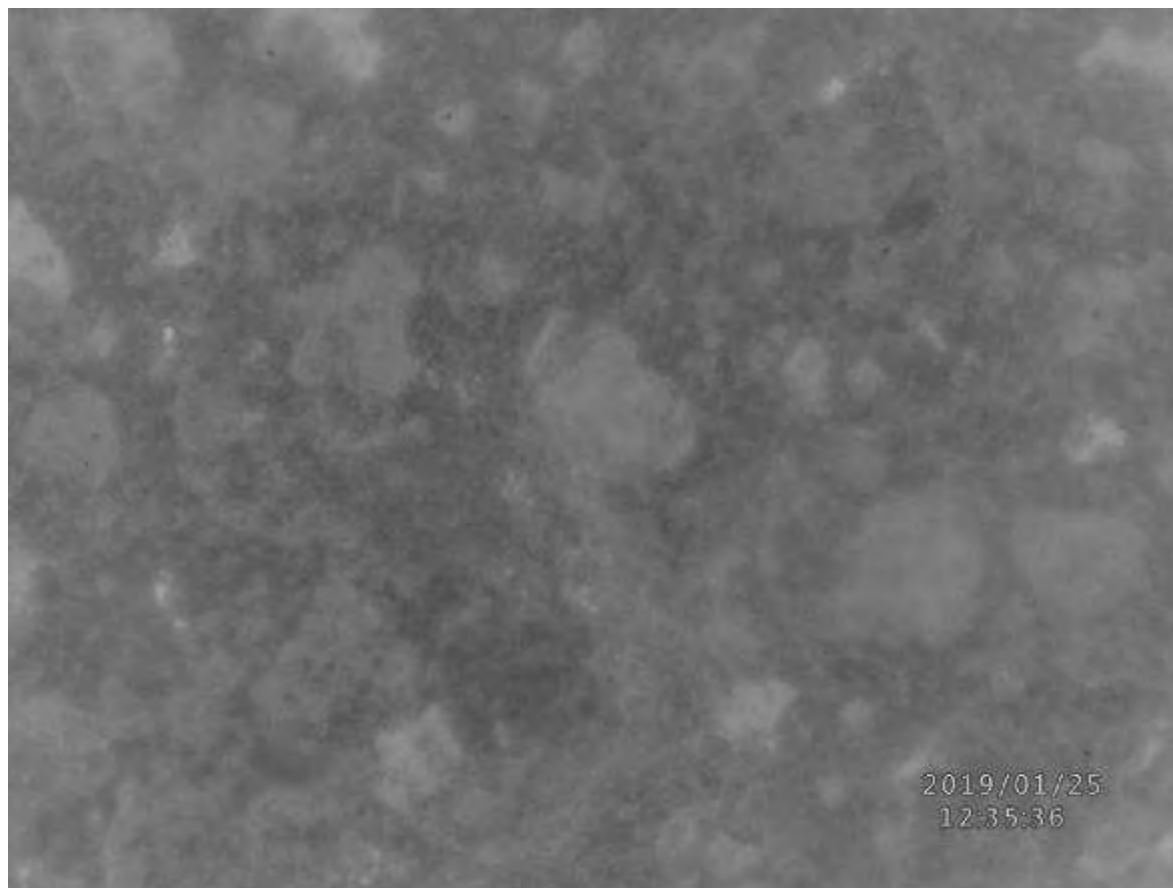


Figura. 4. 97. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-251118, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

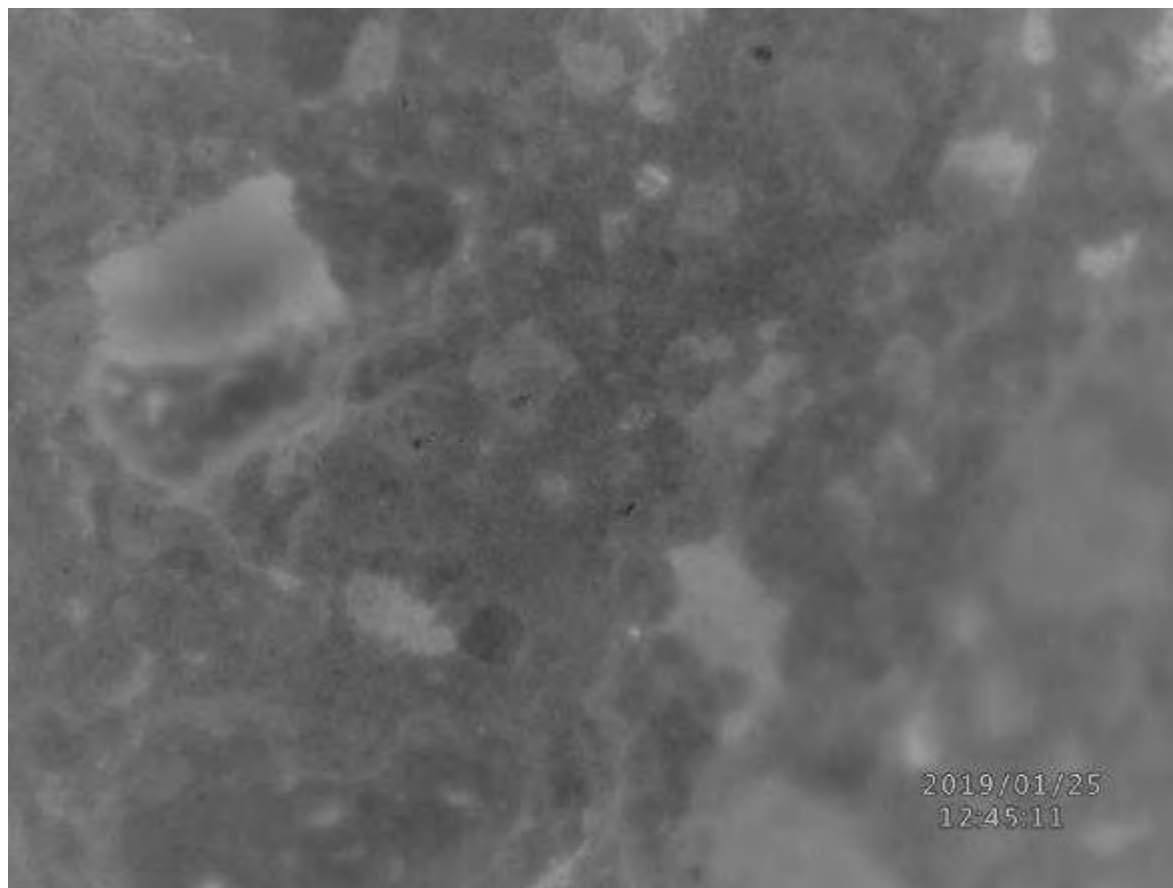


Figura. 4. 98. Microscopia aumentada digitalmente de la C-351118, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente.
Fuente: (autoría propia).

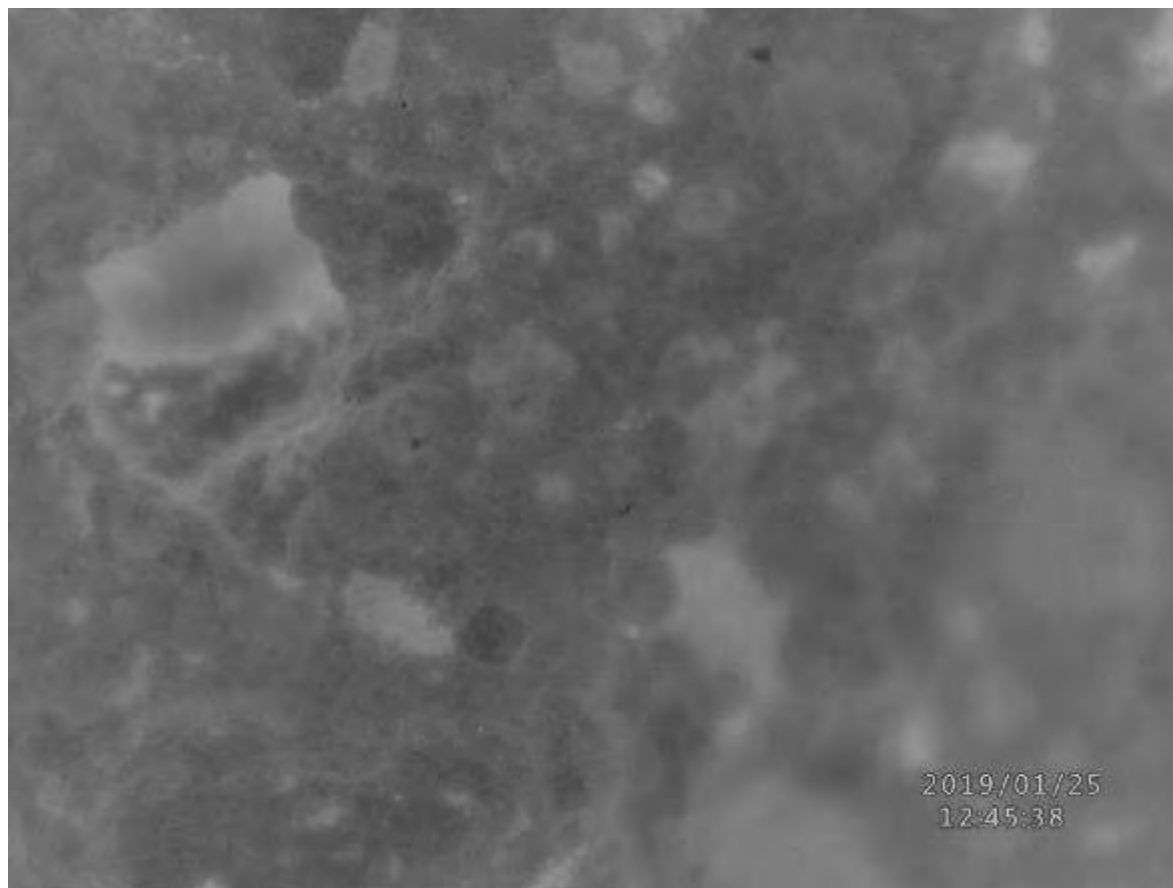


Figura. 4. 99. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-351118, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

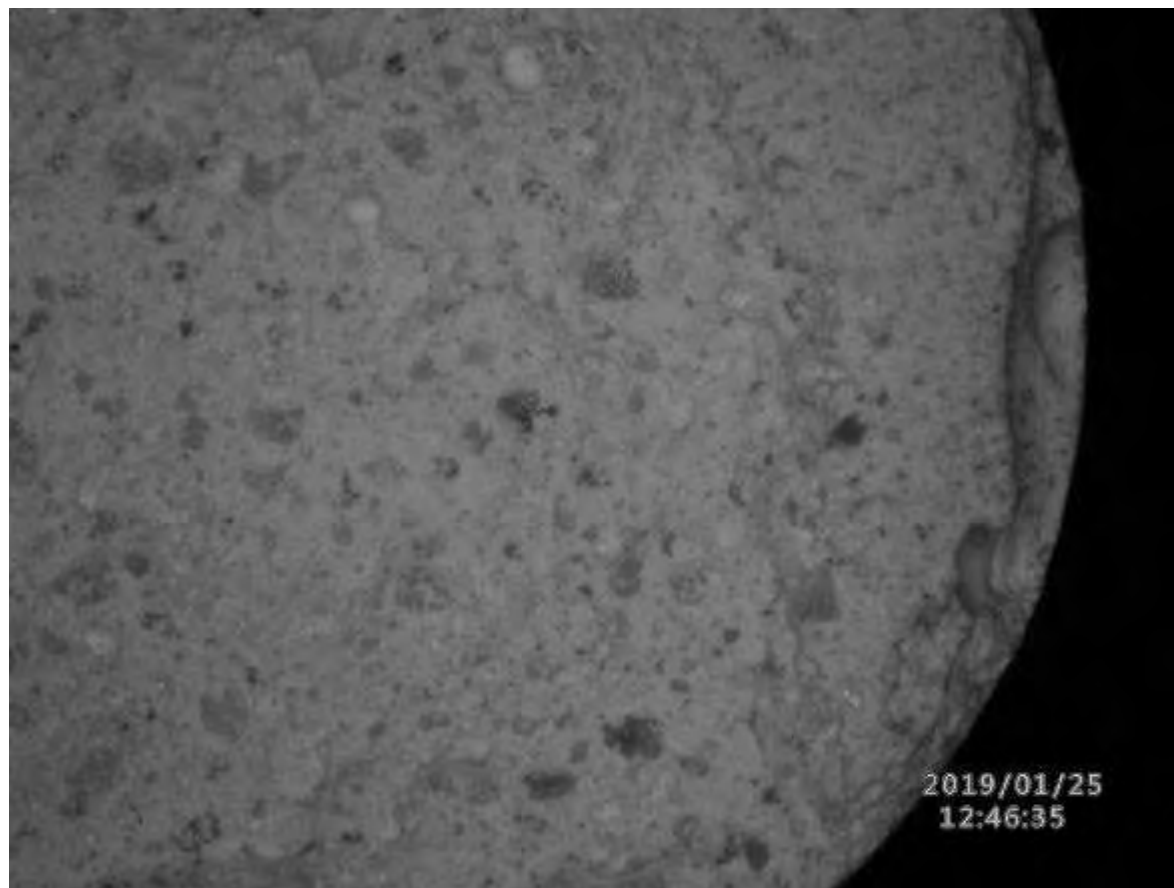


Figura. 4. 100. Microscopia parte inferior inversa de la C-351118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

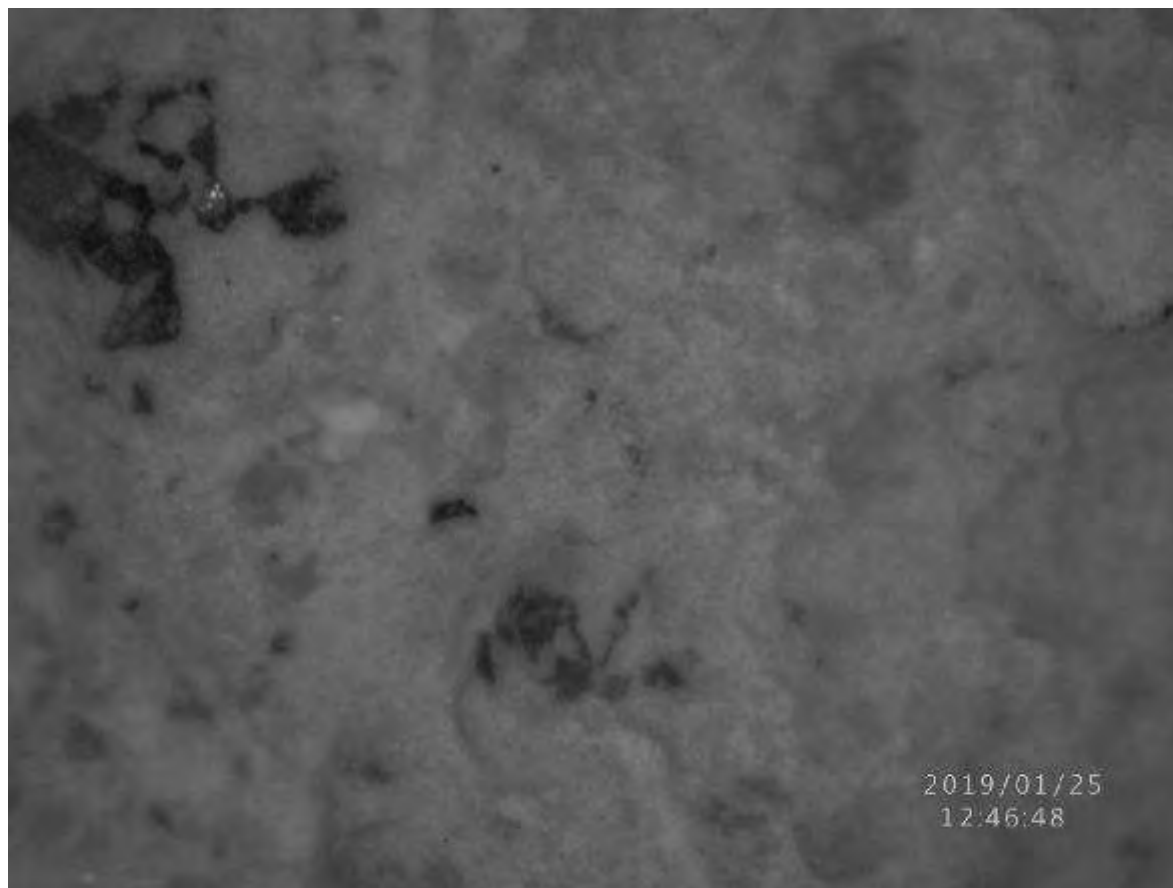


Figura. 4. 101. Microscopia parte inferior inversa de Microscopia aumentada digitalmente de la C-351118, sin filtros.
Fuente: (autoría propia).

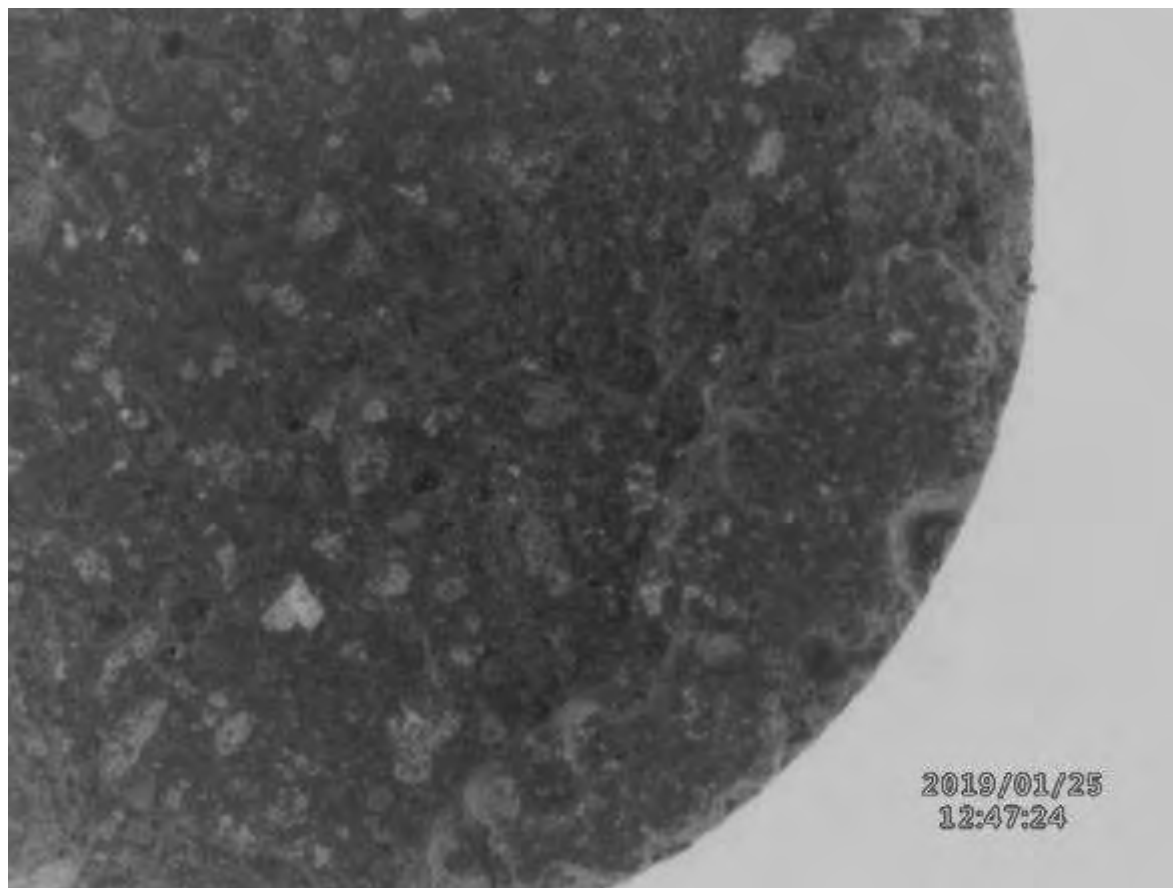


Figura. 4. 102. Microscopia parte inferior inversa de la C-351118, con un filtro negativo. Fuente: (autoría propia).

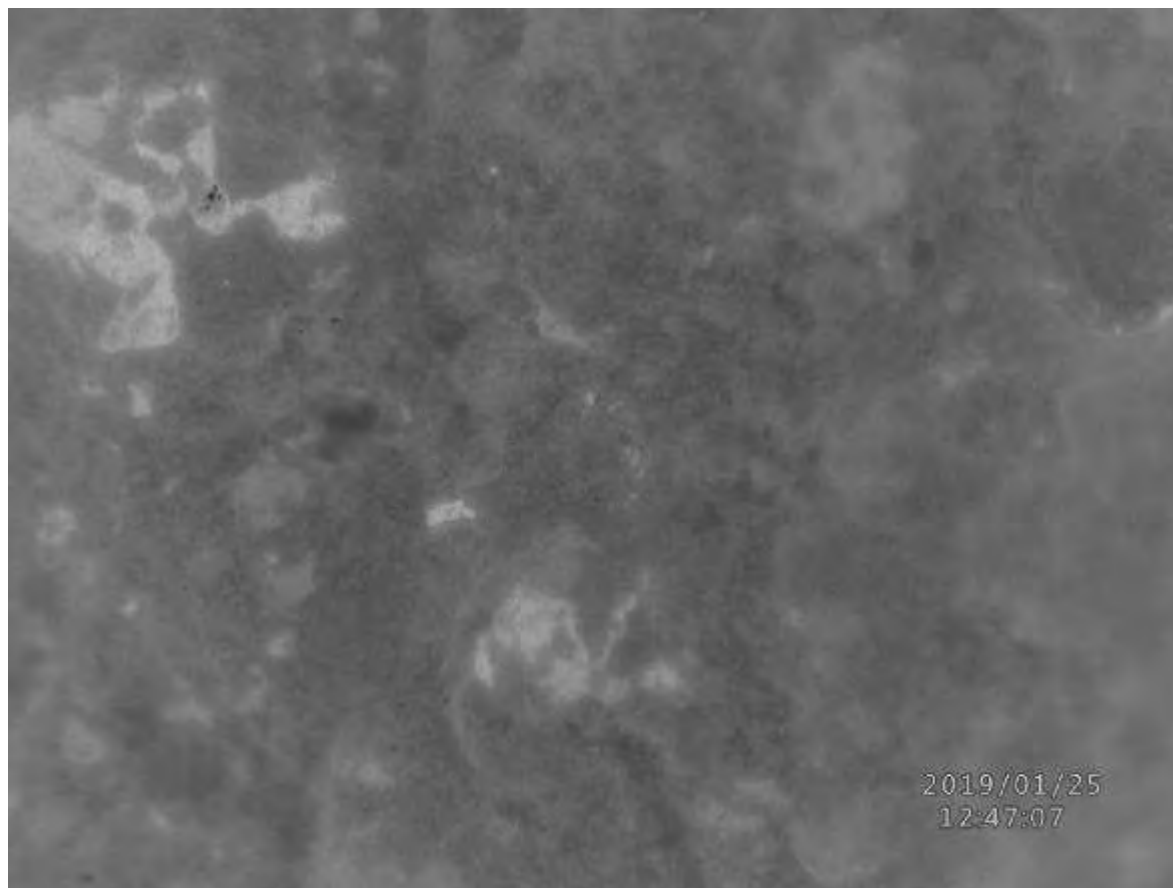


Figura. 4. 103. Microscopia parte inferior inversa de Microscopia aumentada digitalmente, de la C-351118, con un filtro negativo. Fuente: (autoría propia).

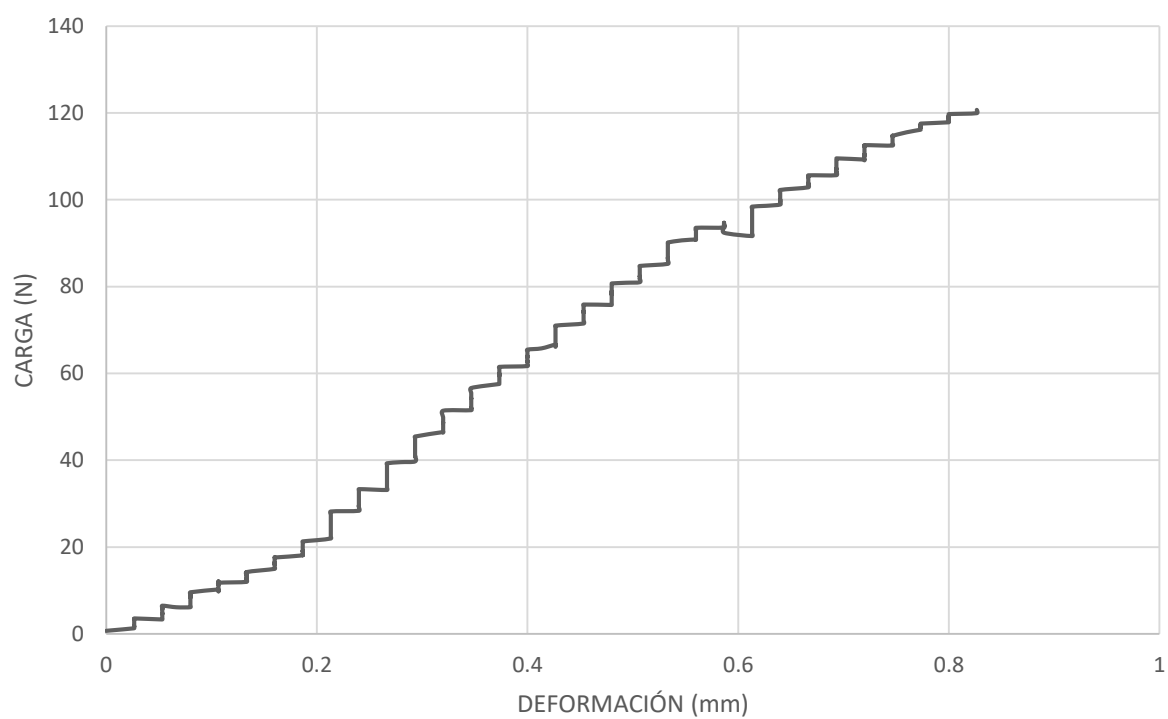


Figura. 4. 104. Fotografía de la C-351118, en la prensa. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 105. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-351118. Fuente: (autoría propia).

CARGA-DEFORMACIÓN



Gráficas 4. 9. Curva Carga-Deformación de la C-351118, en N-mm. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 106. Imágenes de la corrida C-161118. Fuente: (autoría propia)

Nota: De composición 100% CAL ESTANDAR, 275% MARMOLINA Tipo 2, 5% METACAOLIN, 10% HARINA DE ARRÓZ y A/C= 1:1 (50 g de agua potable, calentada hasta el punto de ebullición y agregada a la mezcla, previamente integrados todos los materiales), de dimensiones iguales a un diámetro de 23.1mm y longitud de 44.8mm, DENSIDAD = 34.860 g/cm³, que presenta una buena dureza al ser pulido, con poco desprendimiento. (Autoría propia).

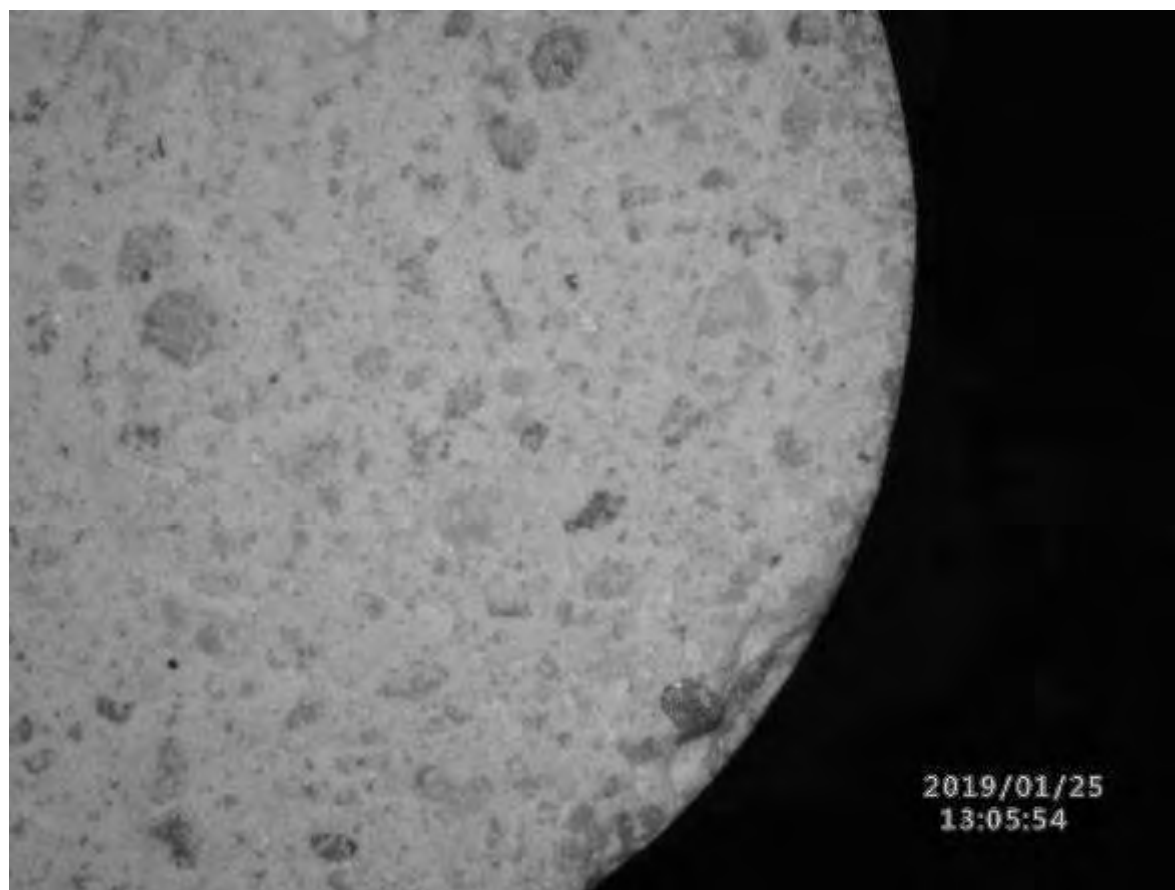


Figura. 4. 107. Microscopía de la C-161118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

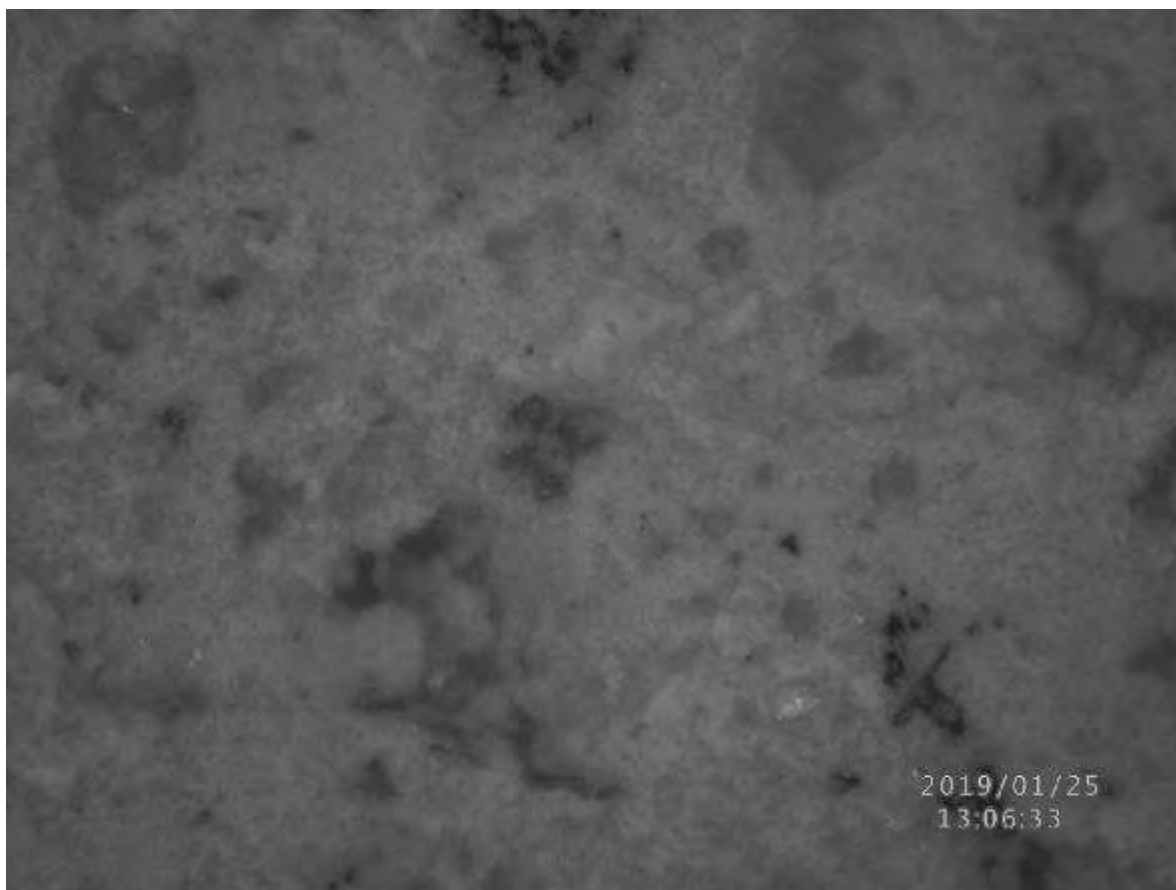


Figura. 4. 108. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1241018, bajo un filtro normal y una luz fluorescente (autoría propia).

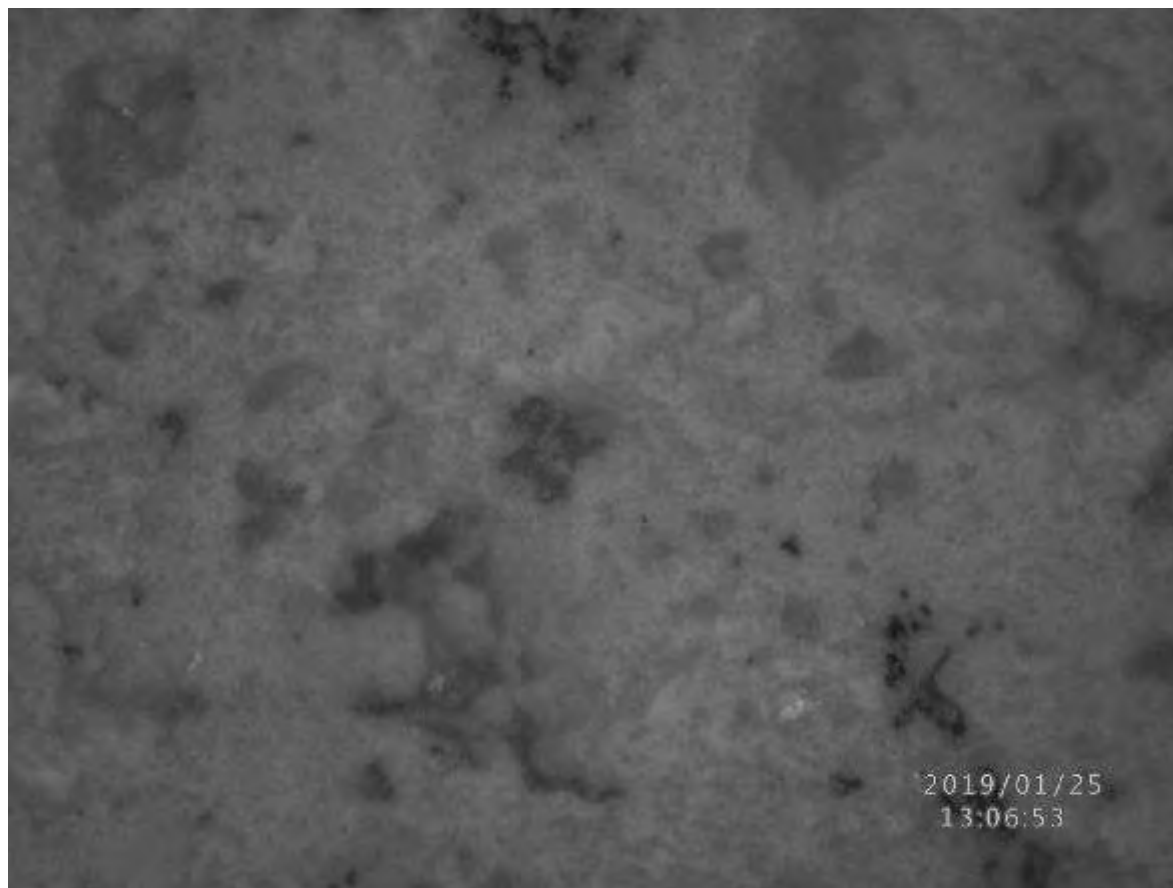


Figura. 4. 109. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-161118, bajo un filtro normal y una luz fluorescente.
Fuente: (autoría propia).

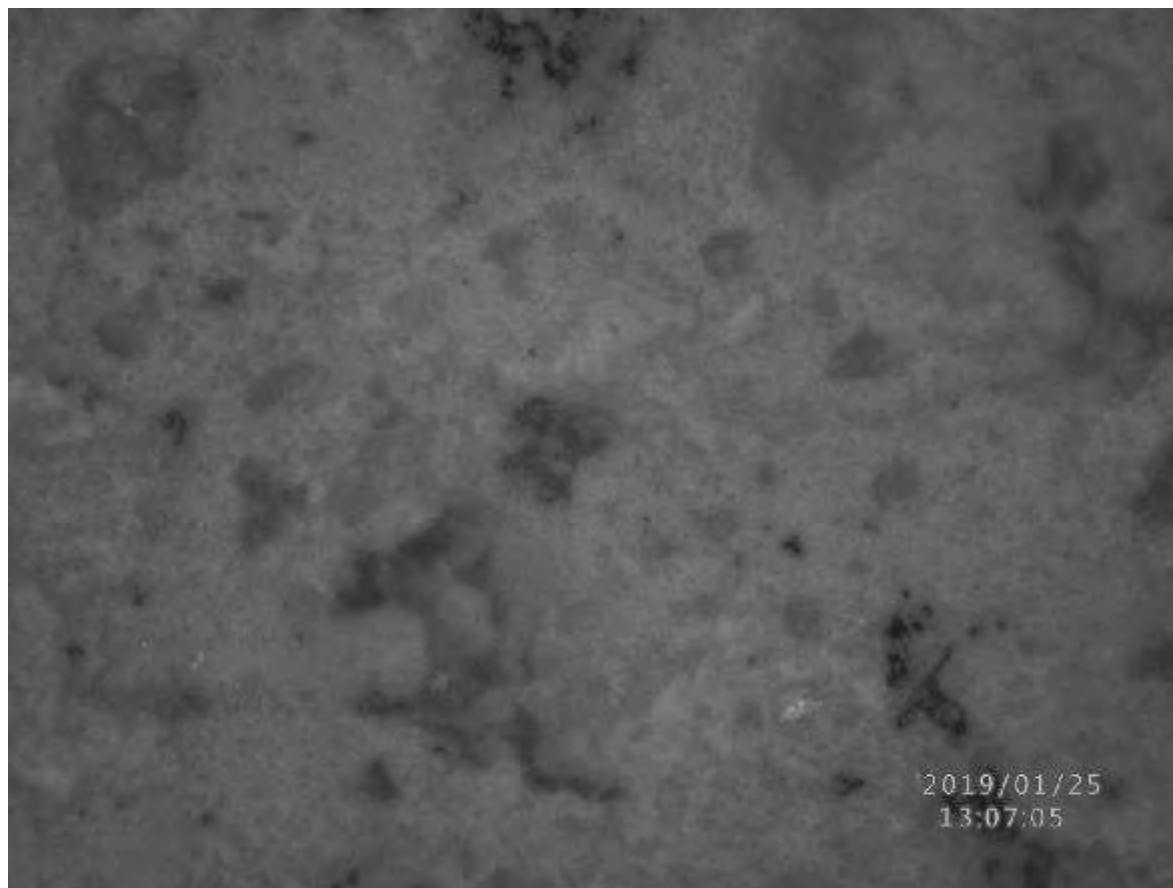


Figura. 4. 110. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-161118, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

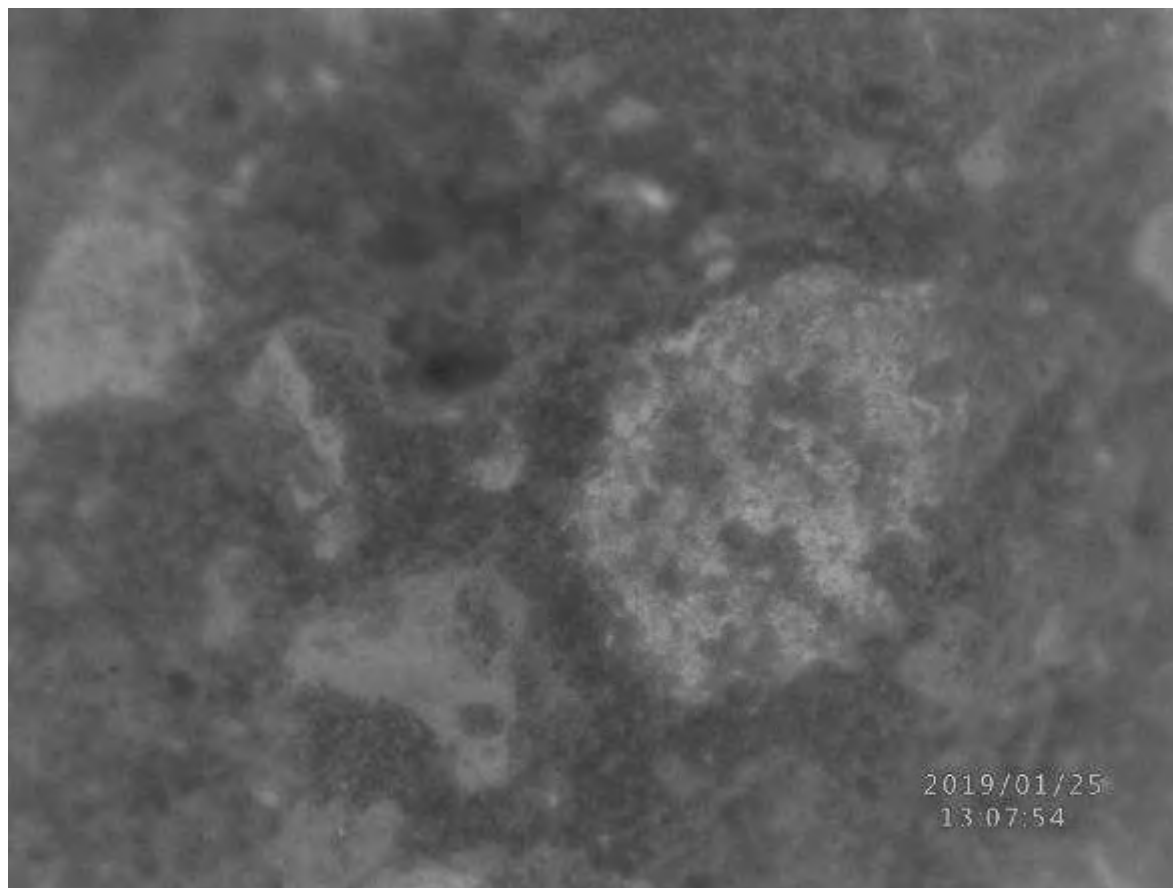


Figura. 4. 111. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-161118, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

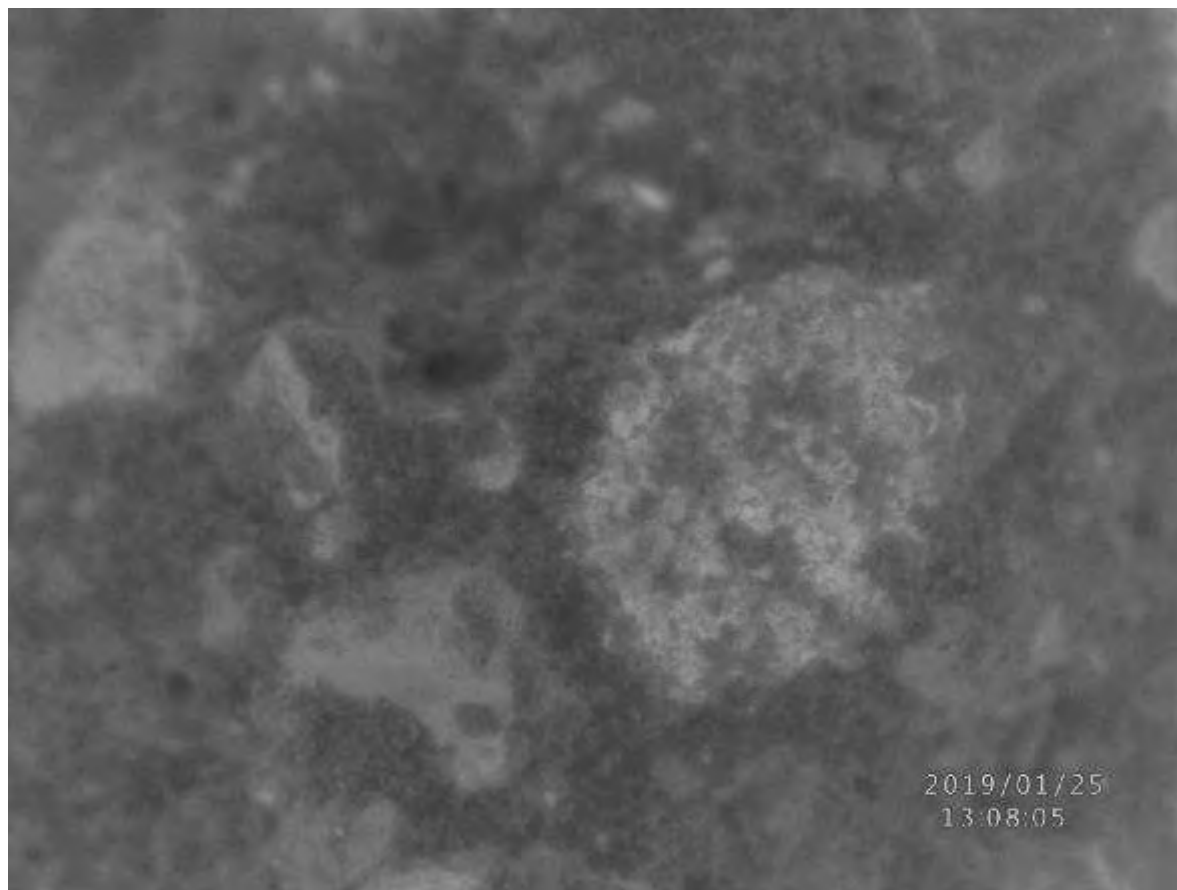


Figura. 4. 112. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-161118 a, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

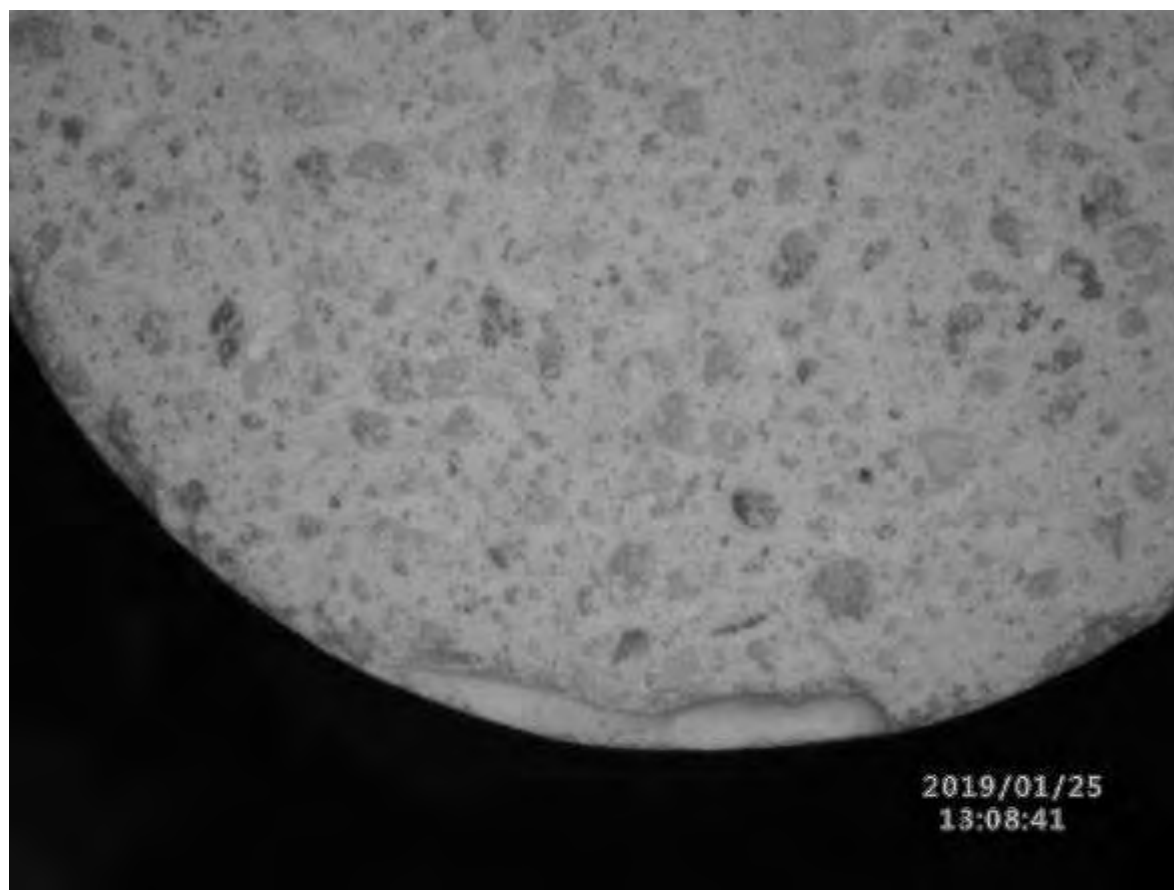


Figura. 4. 113. Microscopia de la C-161118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

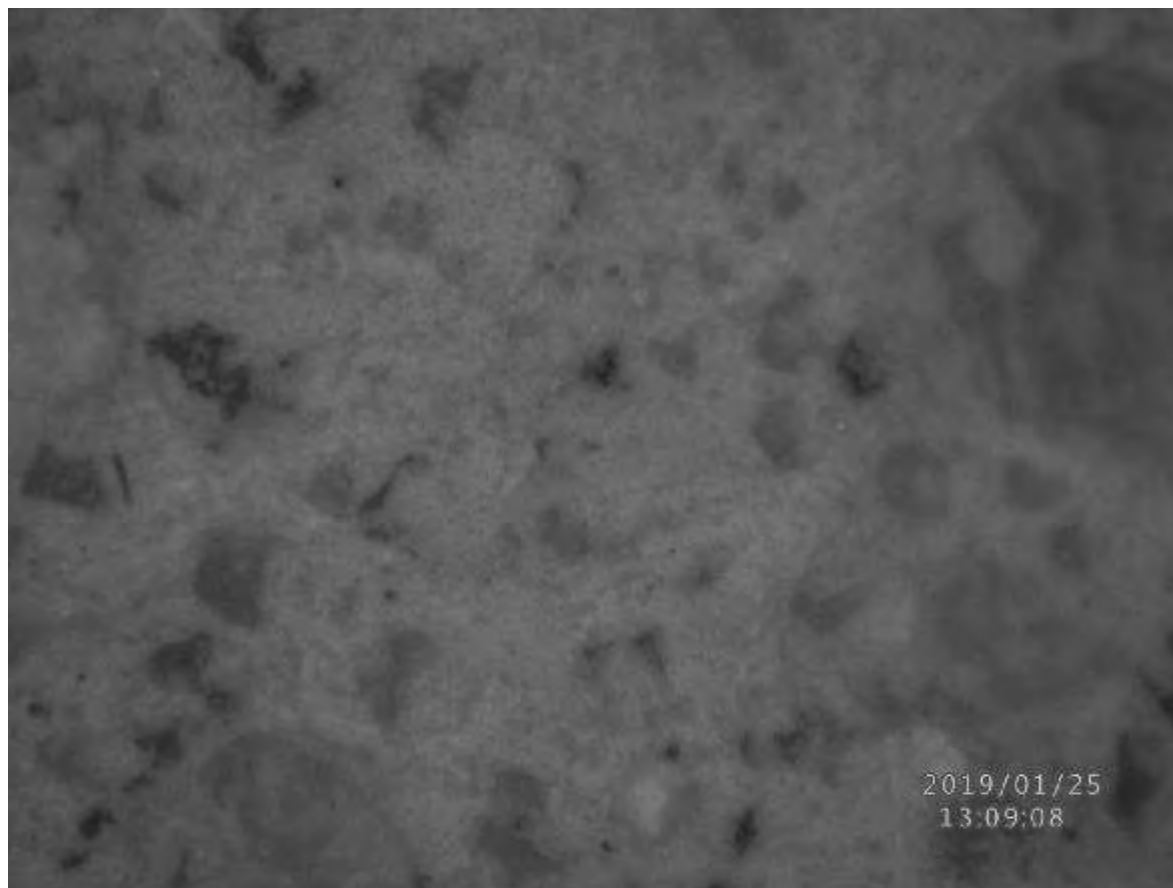


Figura. 4. 114. Microscopia de la C-161118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

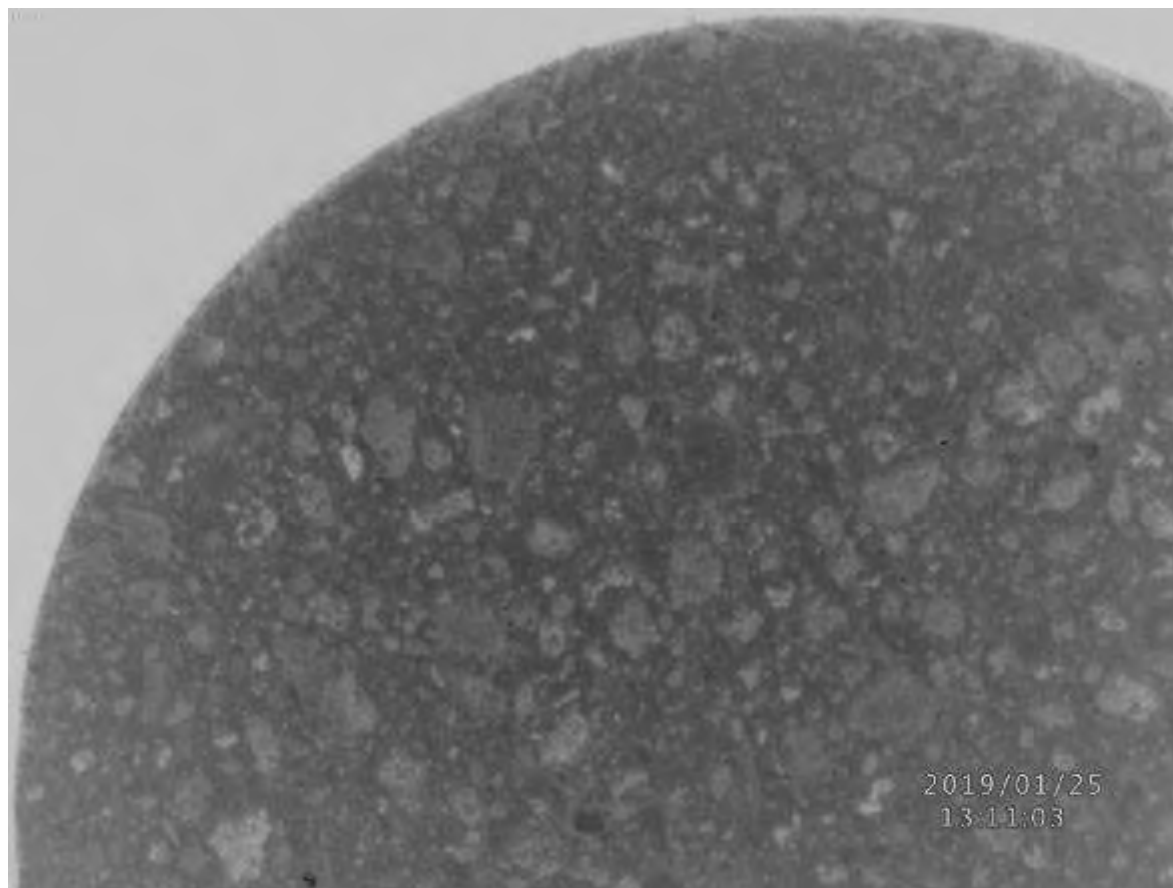
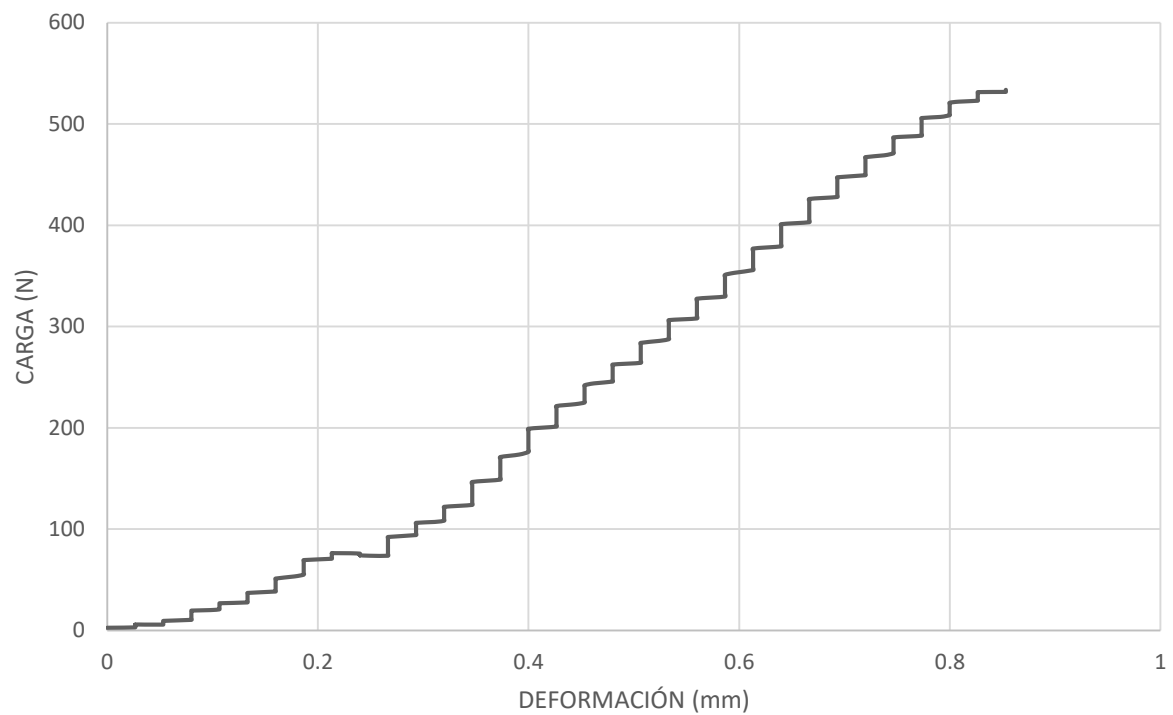


Figura. 4. 115. Microscopía aumentada digitalmente, de la C-161118, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 116. Fotografía de la C-161118, en la prensa. Fuente: (autoría propia).

CARGA-DEFORMACIÓN



Gráficas 4. 10. Curva Carga-Deformación de la C-161118, en N-mm. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 117. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-161118. Fuente: (autoría propia)



Figura. 4. 118. Imágenes de la corrida C-261118.

De composición 100% CAL ESTANDAR, 275% MARMOLINA Tipo 2, 5% METACAOLIN, 10% HARINA DE ARRÓZ, y A/C= 1.1:1 (50 g de agua potable calentada hasta el punto de ebullición y agregada a la mezcla, previamente integrados todos los materiales), de dimensiones con un diámetro igual a 23.4mm y longitud de 45.8mm, que presenta una buena dureza al ser pulido, con poco desprendimiento. (Autoría propia).

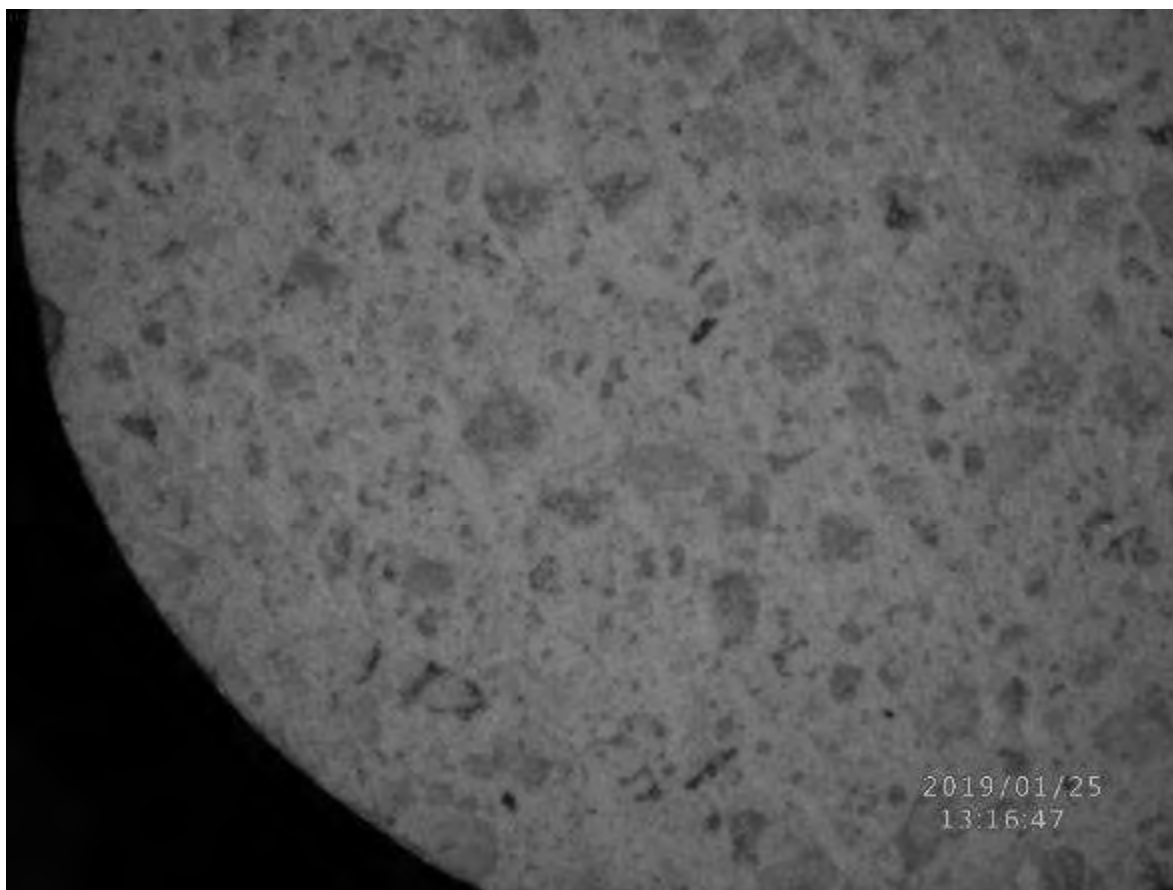


Figura. 4. 119. Fotografías de la corrida C-261118. Fuente: (Autoría propia).

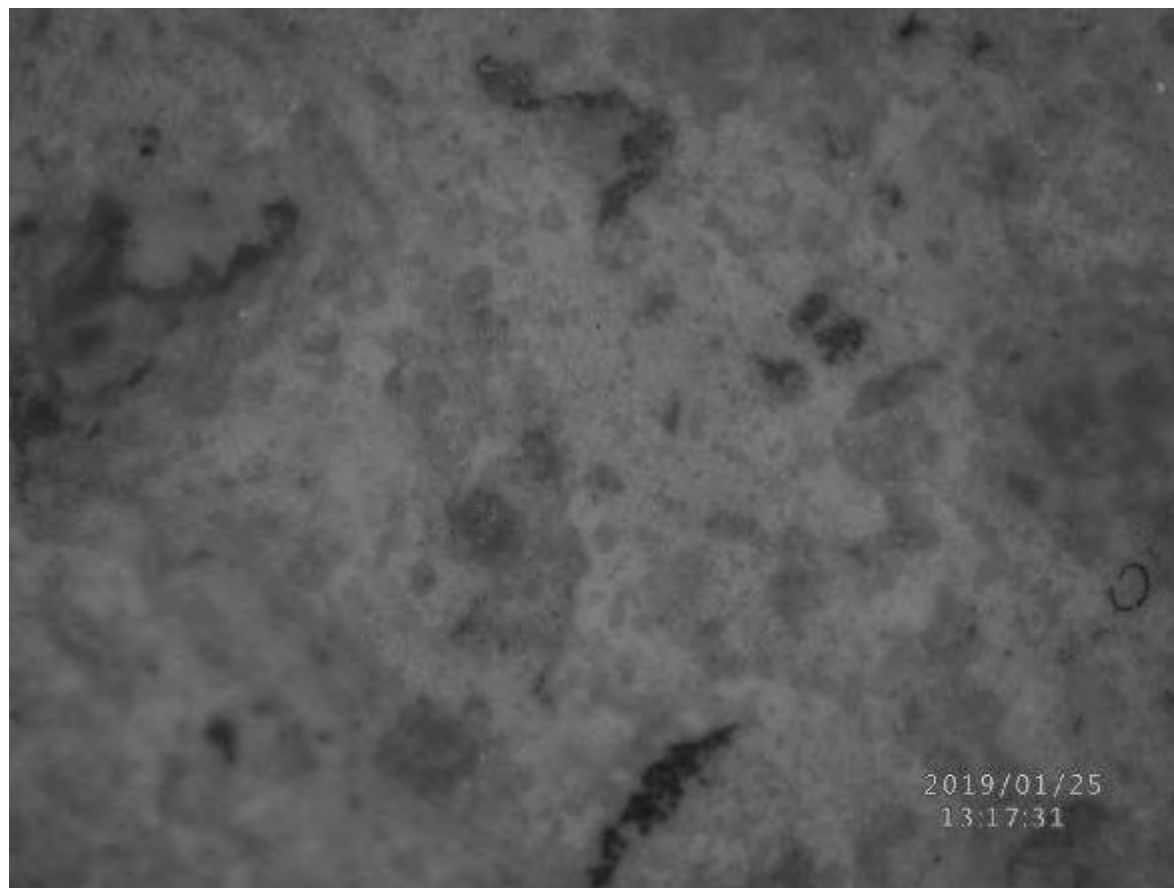


Figura. 4. 120. Microscopia de la C-261118. Fuente: Autoría propia.

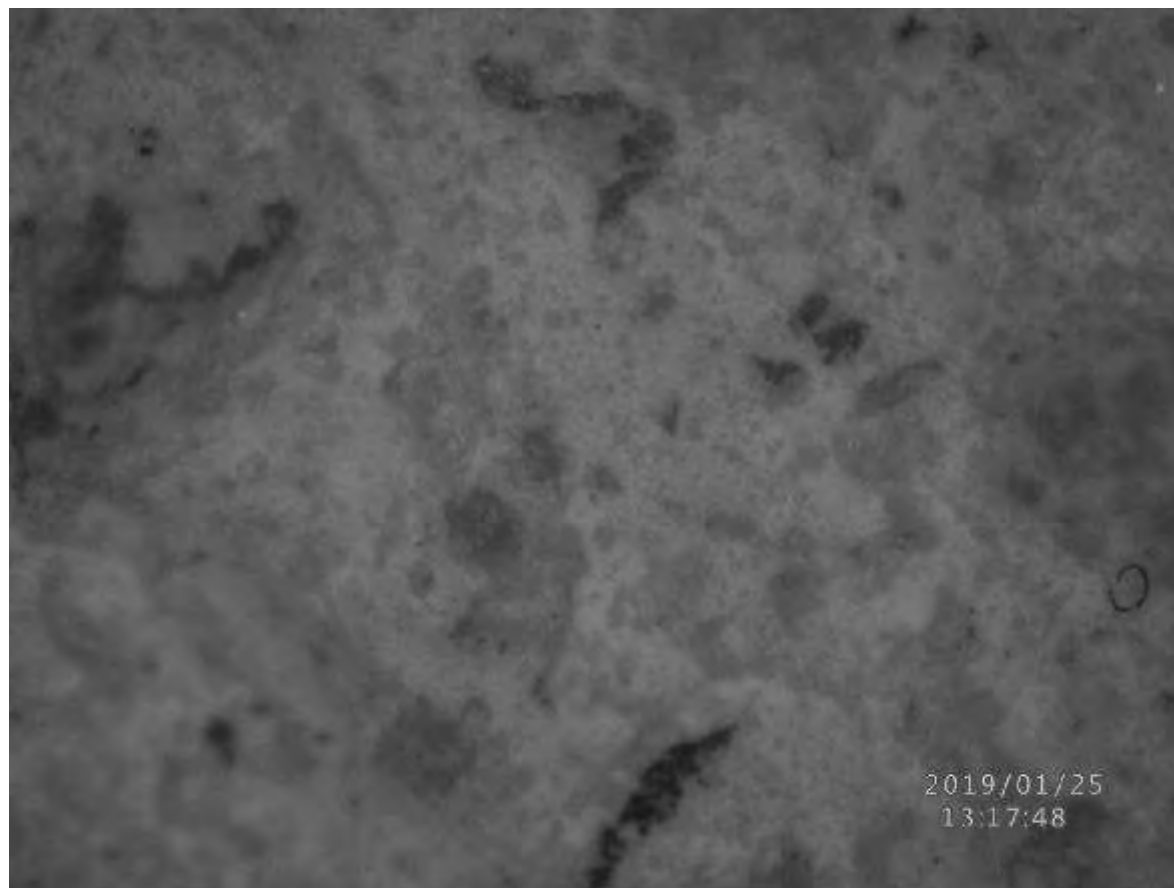


Figura. 4. 121. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-261118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

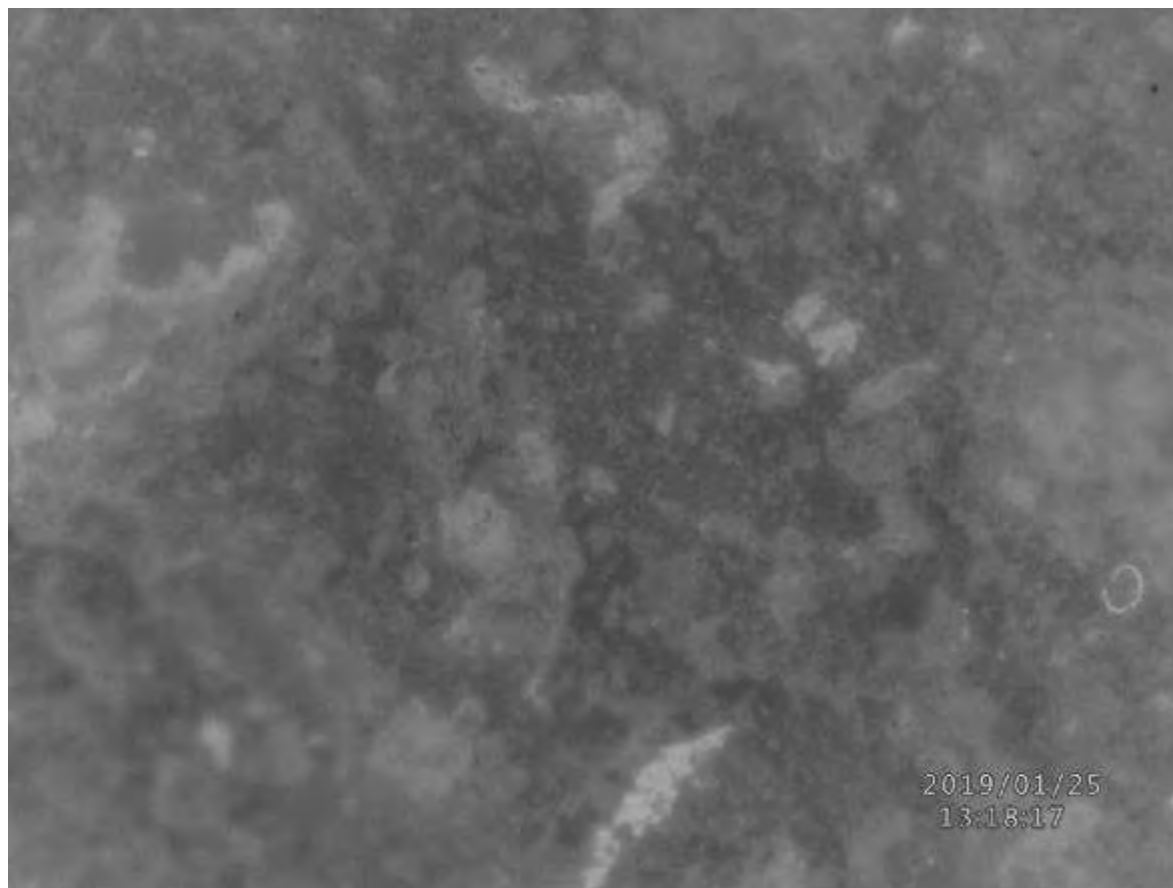


Figura. 4. 122. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-261118, filtro NEGATIVO bajo una luz fluorescente.
Fuente: (autoría propia).

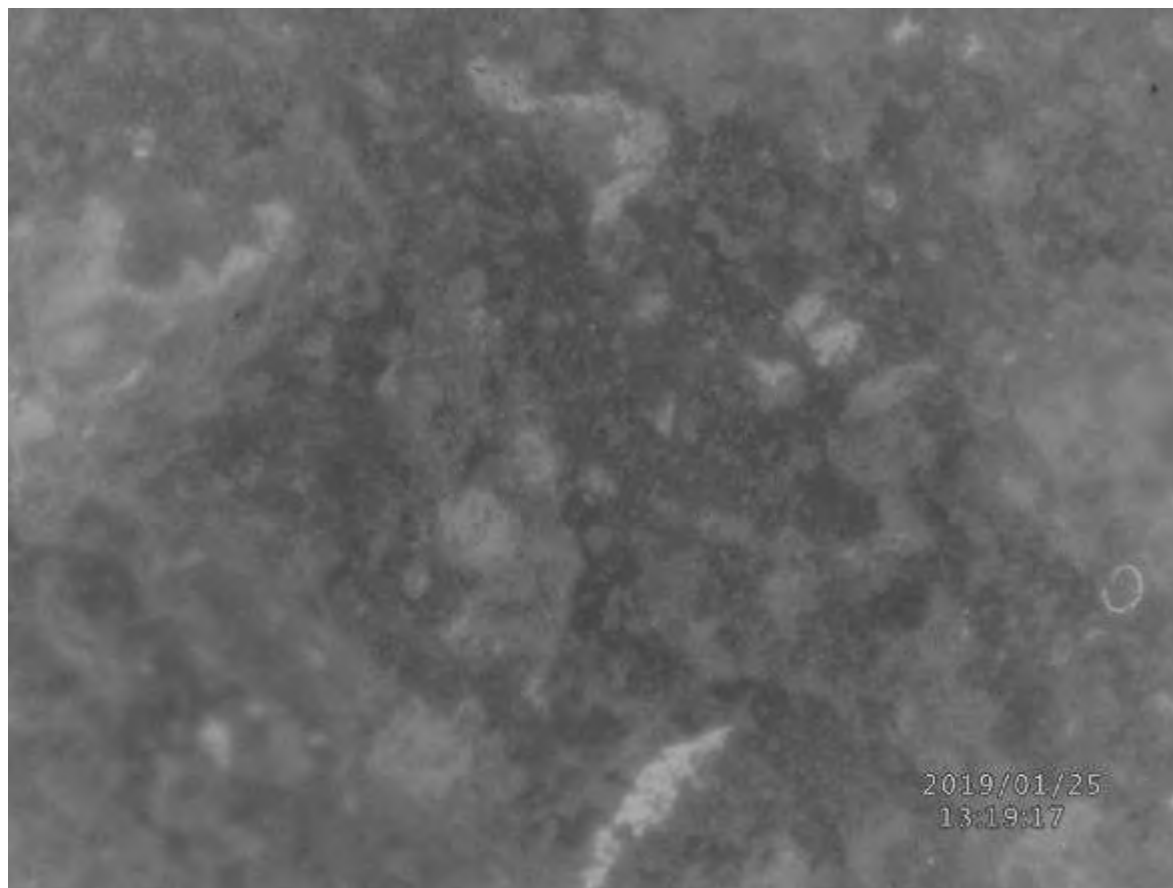


Figura. 4. 123. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-261118, filtro NEGATIVO bajo una luz incandescente.
Fuente: (autoría propia).

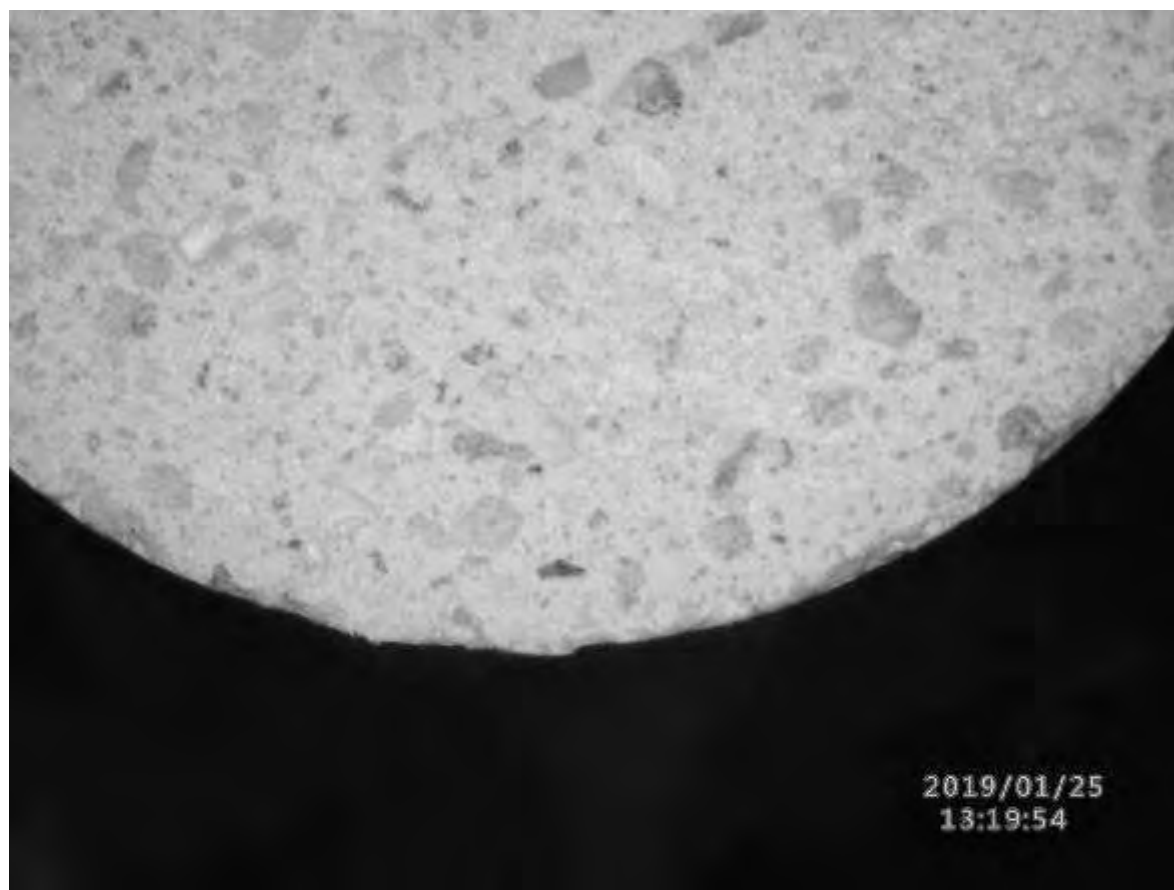


Figura. 4. 124. . Microscopia de la C-261118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

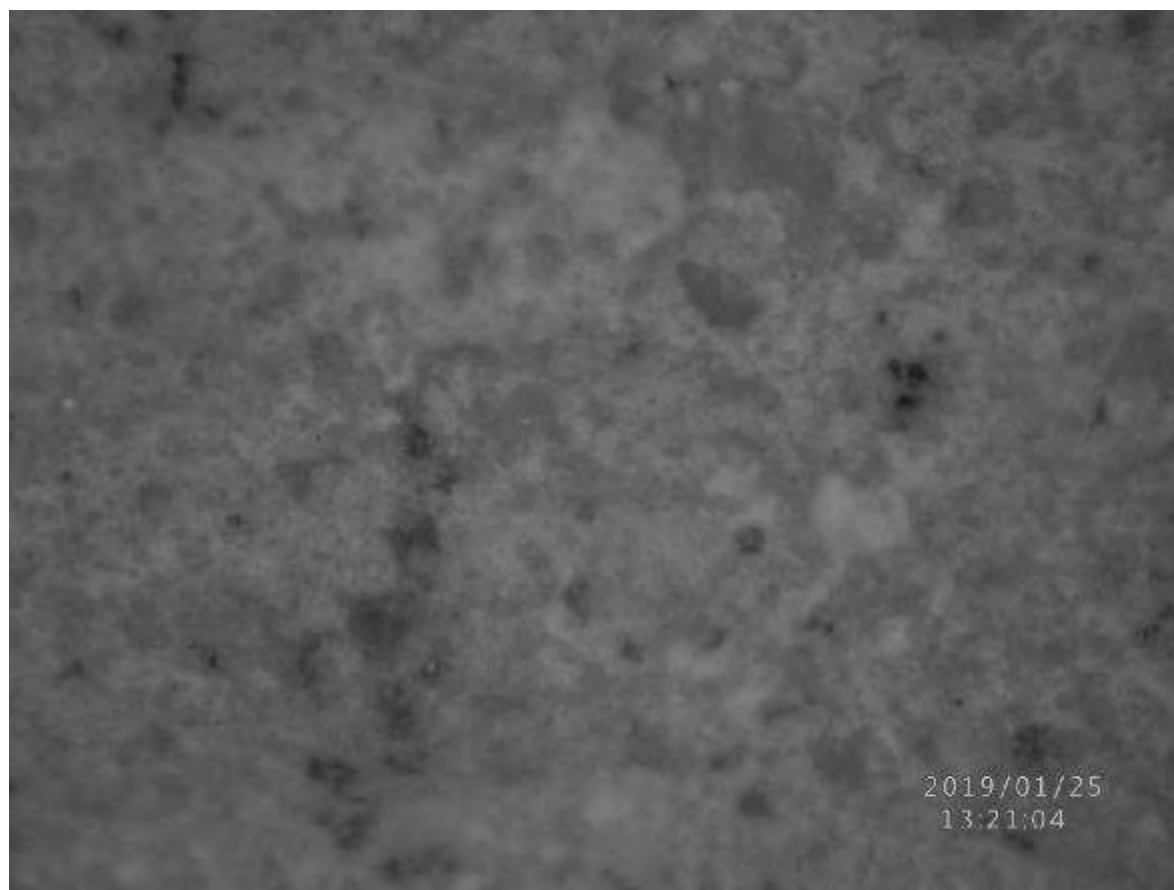


Figura. 4. 125. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-261118. Fuente: (autoría propia).

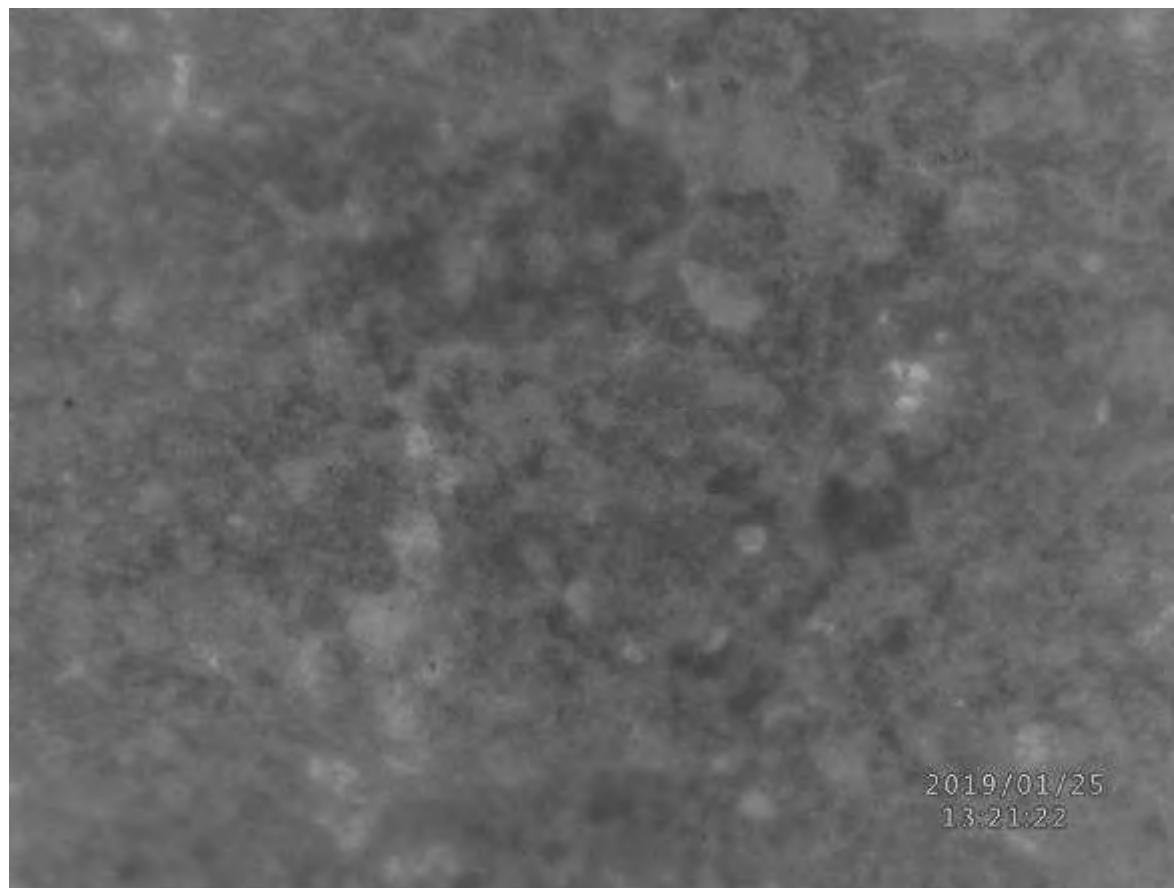


Figura. 4. 126. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-261118, con un filtro negativo bajo una luz normal.
Fuente: (autoría propia).

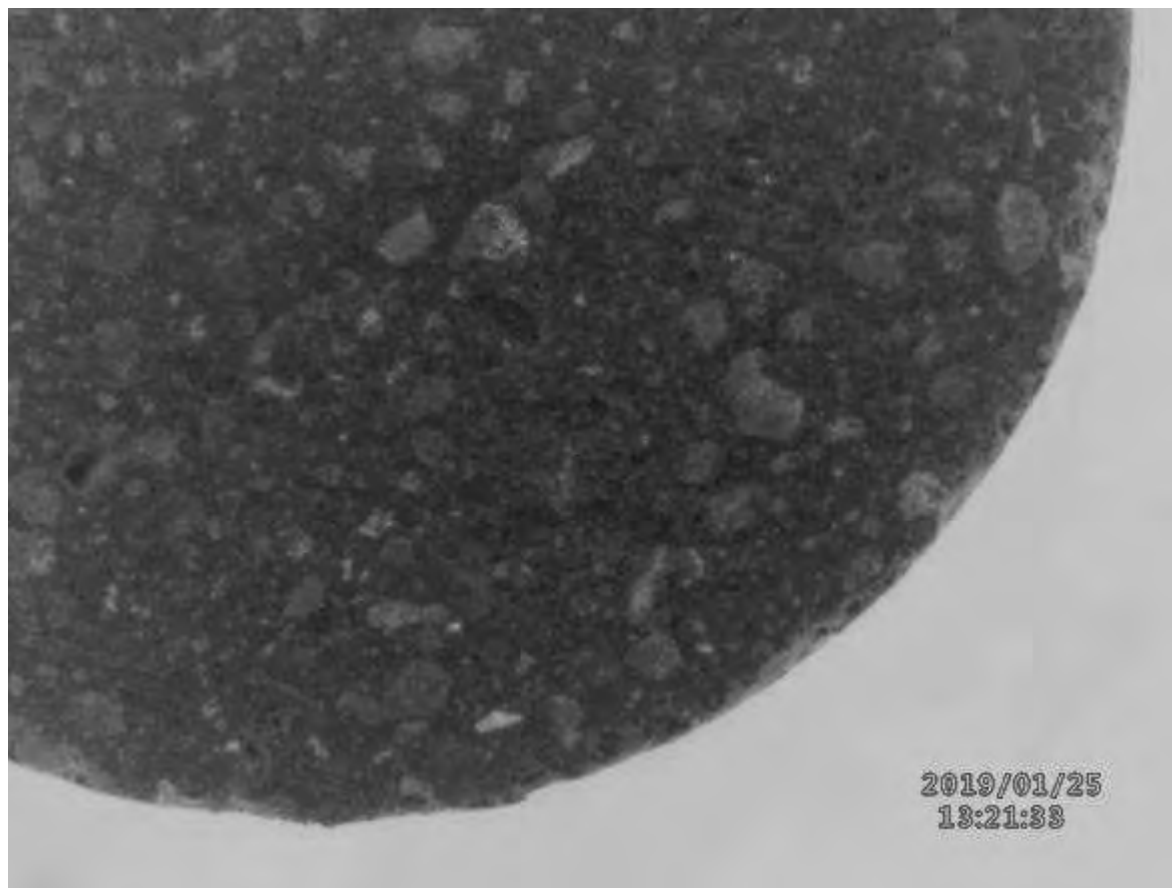
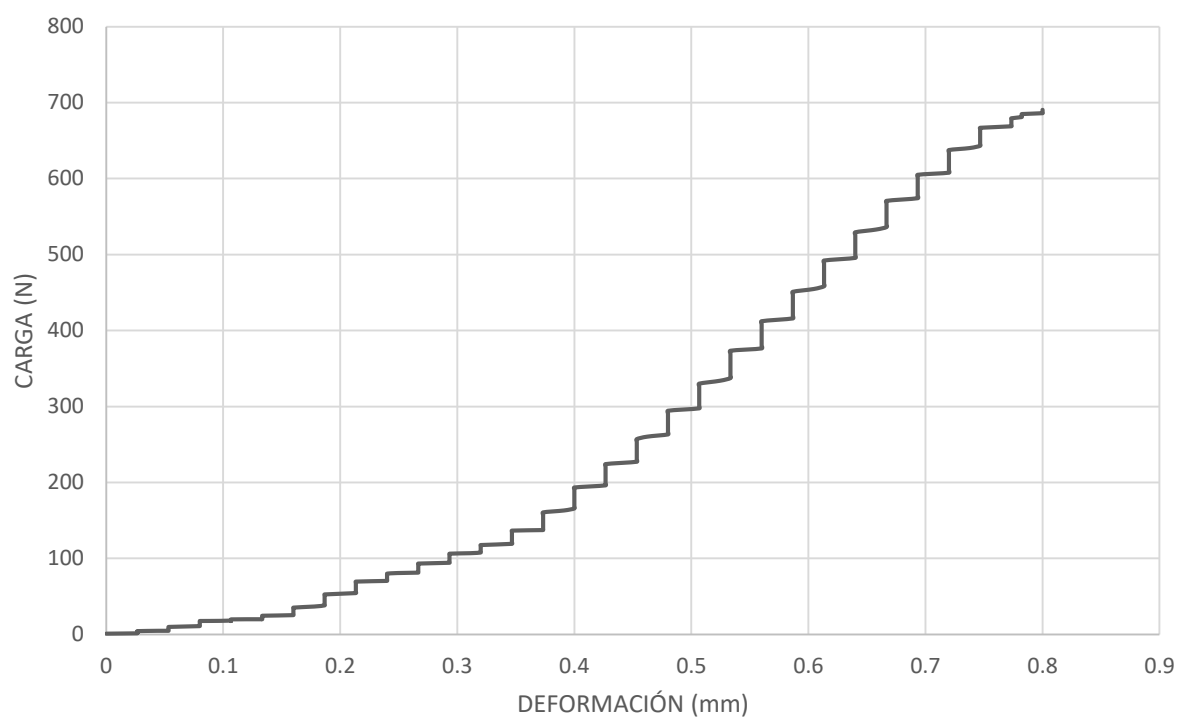


Figura. 4. 127. Microscopia parte inferior inversa de Microscopia aumentada de la C-261118, con un filtro negativo bajo una luz incandescente (autoría propia).



Figura. 4. 128. Fotografía de la C-261118, en la prensa. Fuente: (autoría propia).

CARGA-DEFORMACIÓN



Gráficas 4. 11. Curva Carga-Deformación de la C-261118, en N-mm. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 129. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-261118. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 130. Fotografías de la corrida C-171118. Fuente: (Autoría propia).

De composición 100% CAL ESTANDAR, 275% MARMOLINA Tipo 2, 5% METACAOLIN, 20% HARINA DE ARRÓZ y A/C= 1.2:1 (calentada hasta el punto de ebullición y agregada a la mezcla, previamente integrados todos los materiales), de dimensiones con un diámetro igual a 23.2mm y longitud de 44.8mm, DENSIDAD = $32.8723682 \text{ g/cm}^3$, que presenta una pobre dureza al ser pulido, con poco desprendimiento. (Autoría propia).

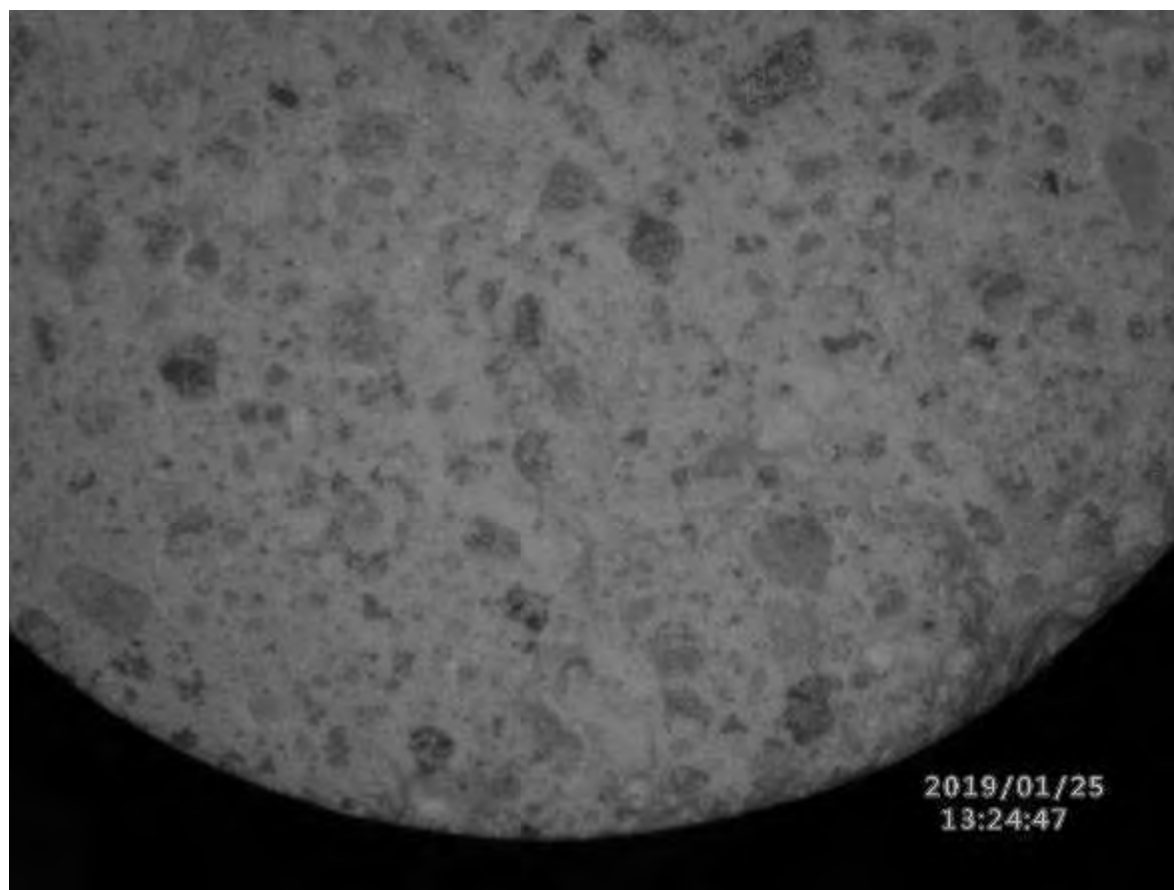


Figura. 4. 131. Microscopia de la C-171118. Fuente: Autoría propia.

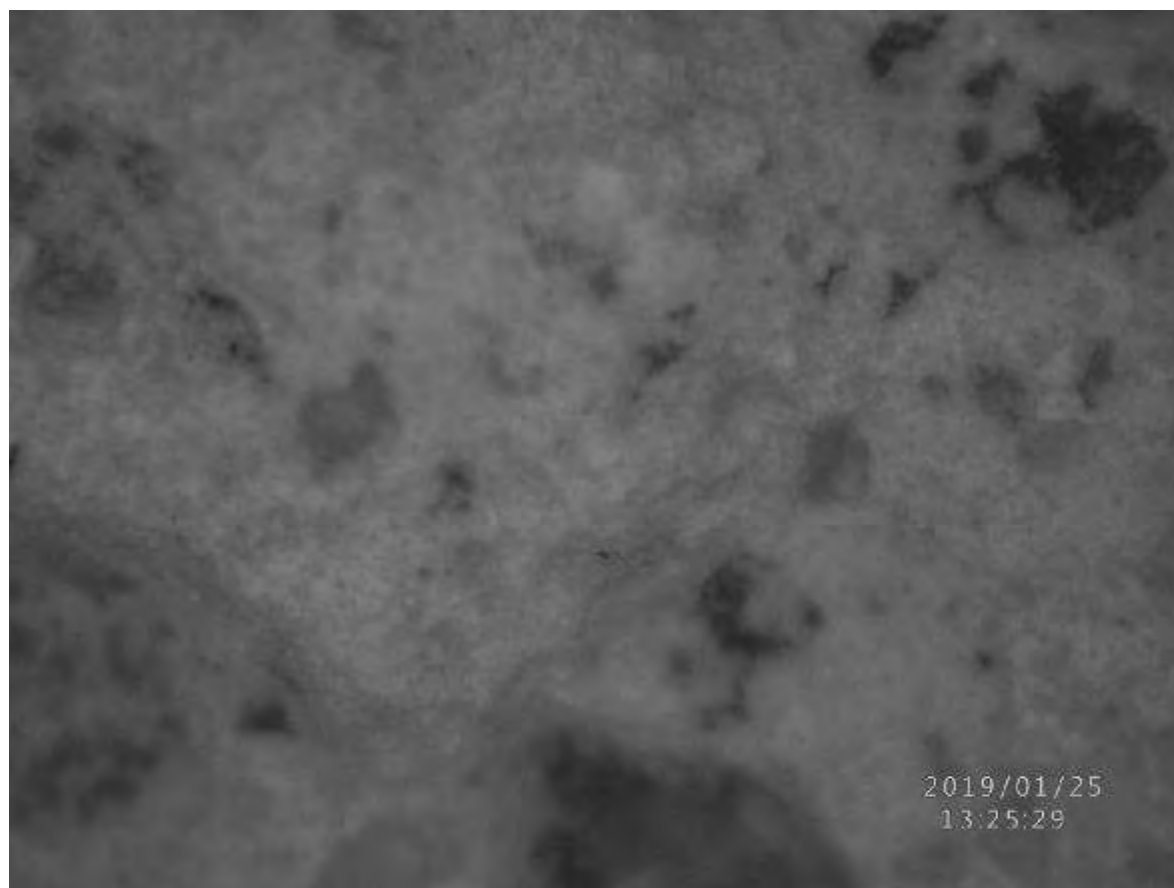


Figura. 4. 132. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-171118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

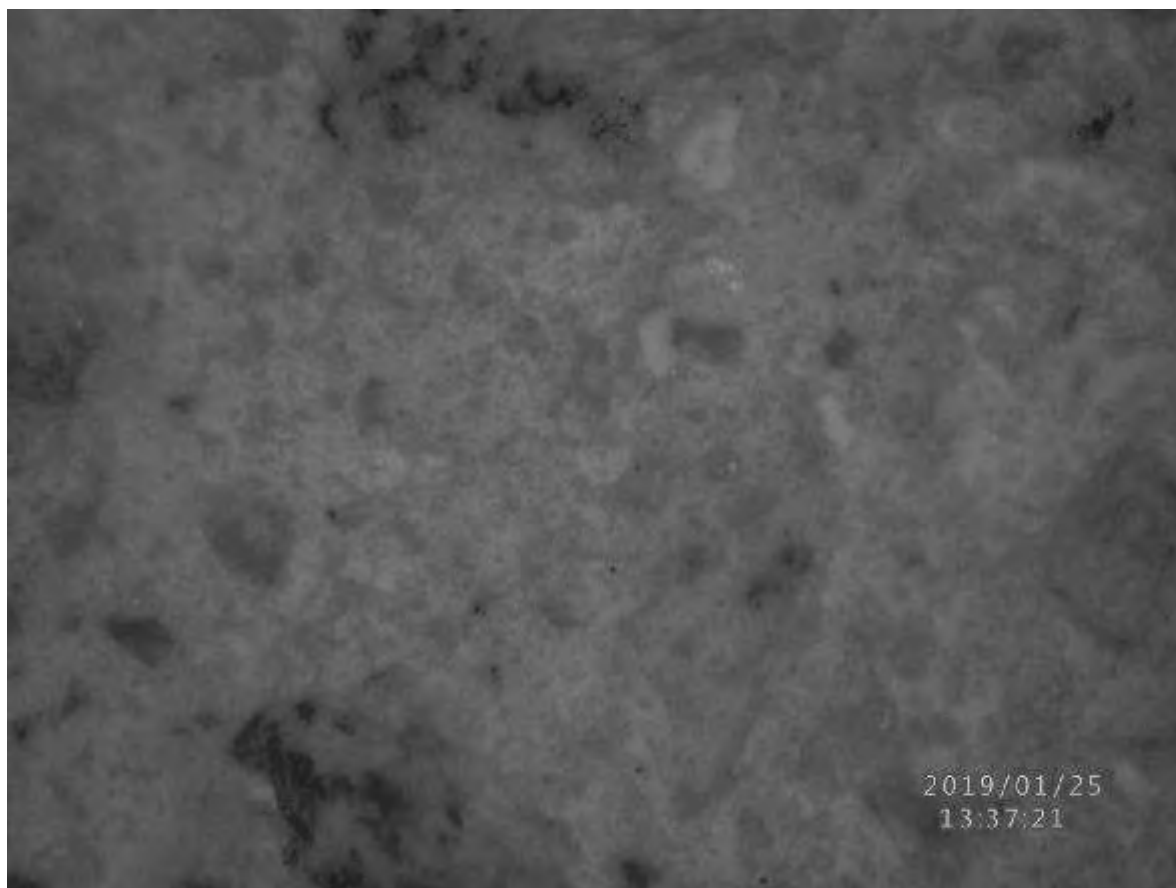


Figura. 4. 133. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-71118, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

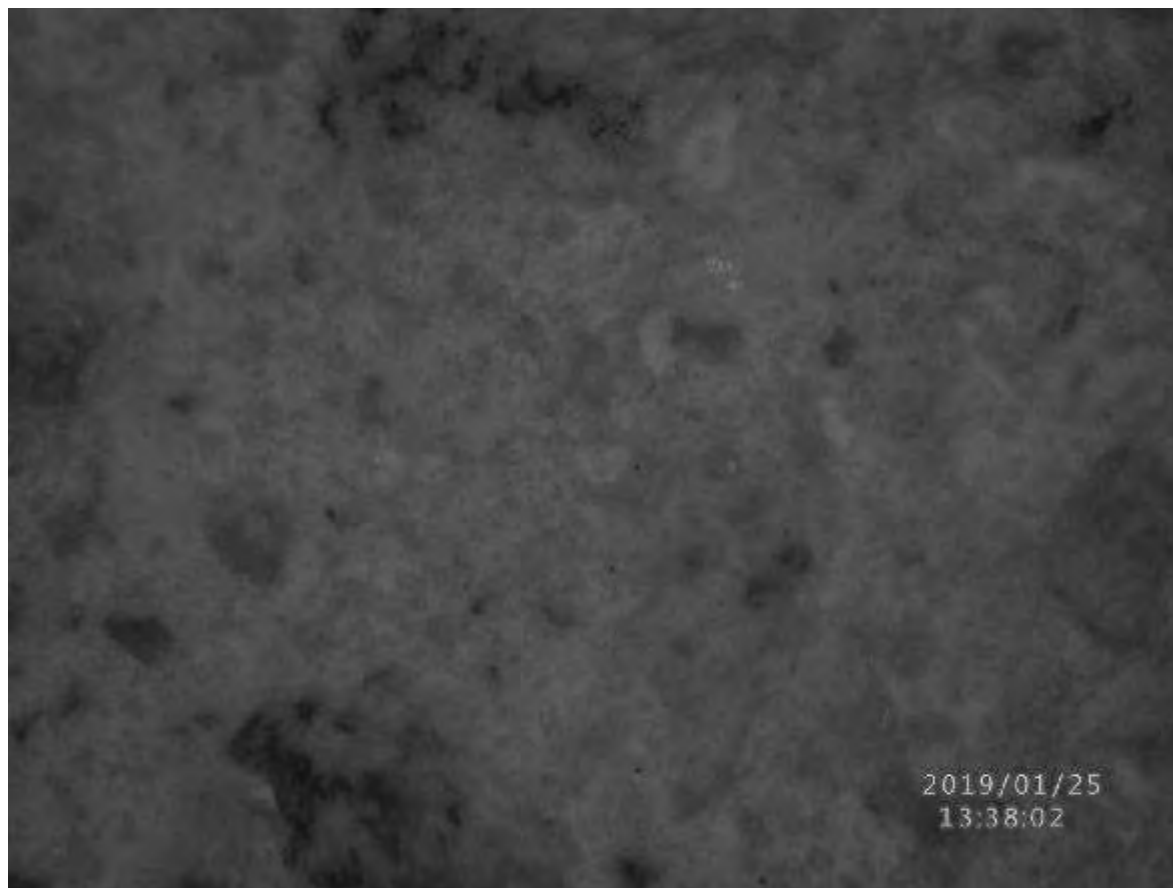


Figura. 4. 134. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-17118, sin filtro bajo una luz incandescente.
Fuente: (autoría propia).

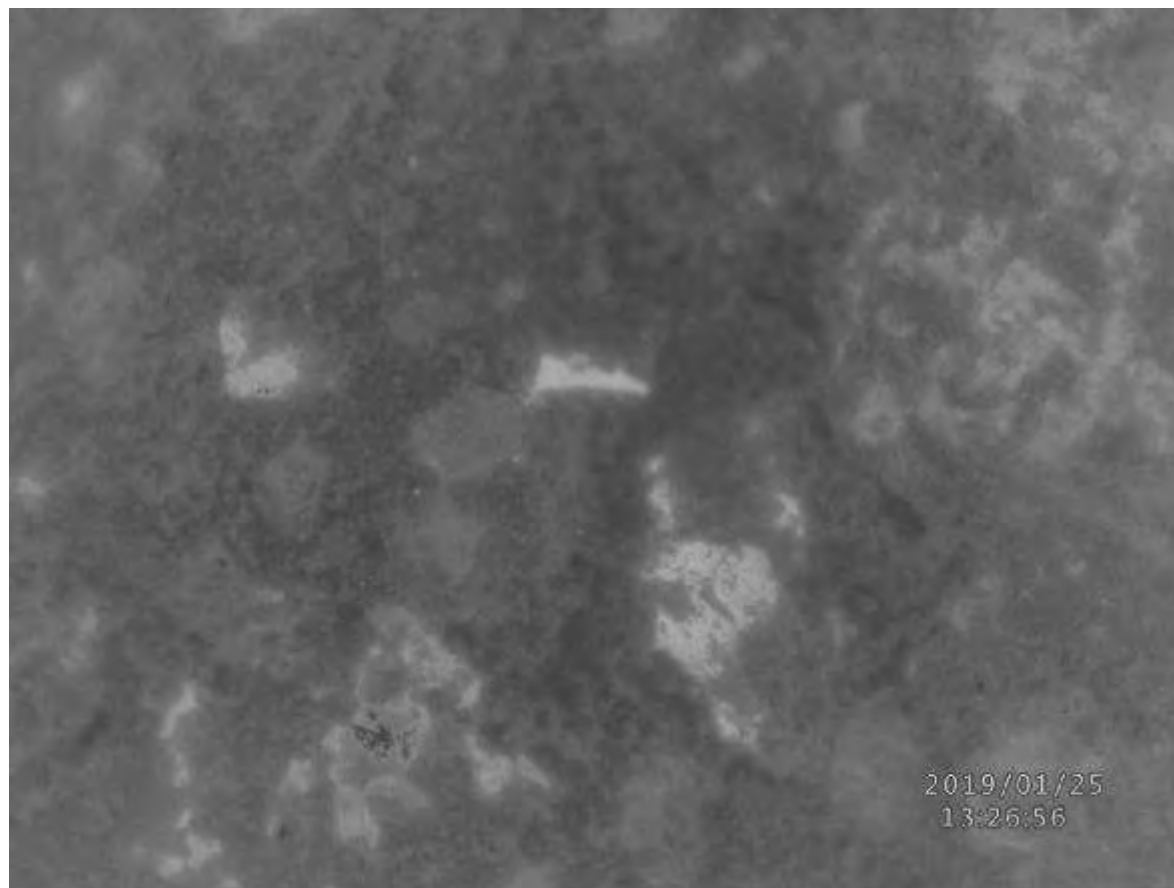


Figura. 4. 135. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-171118, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

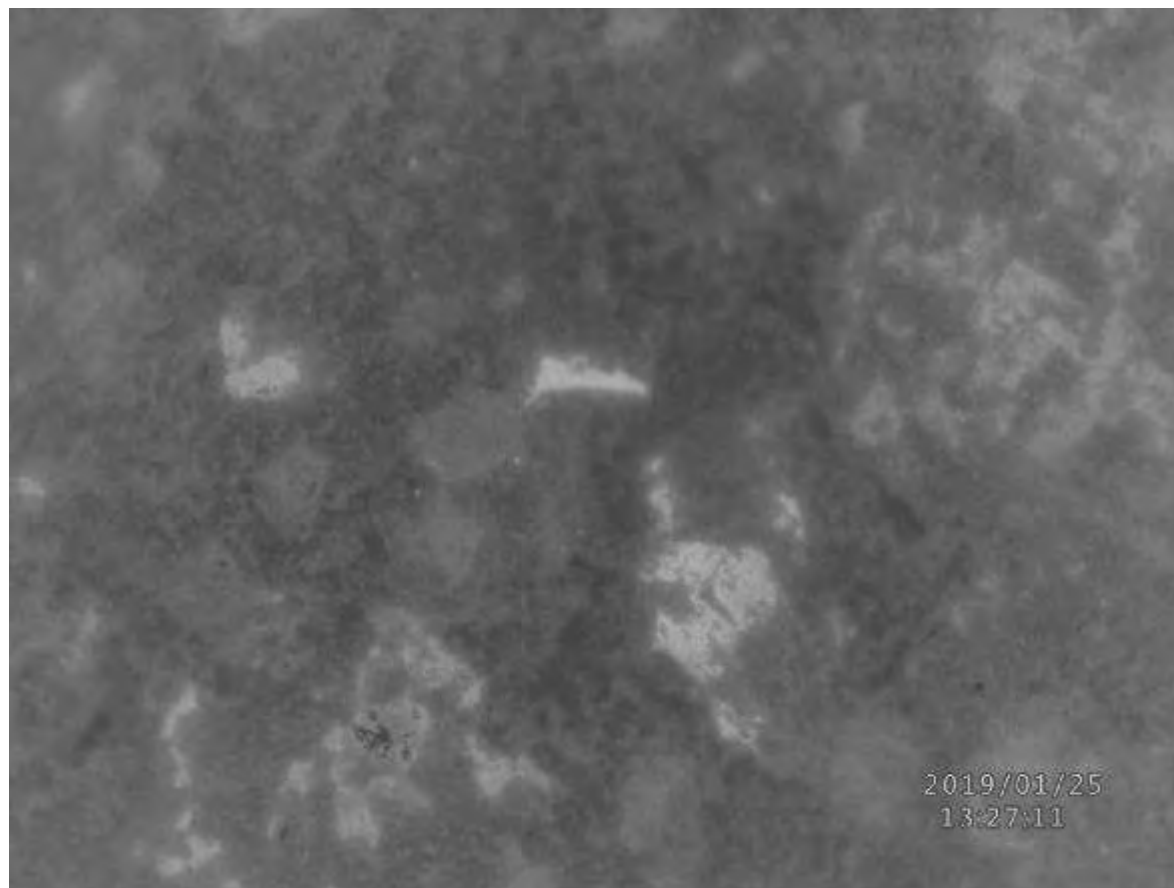


Figura. 4. 136. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-171118, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

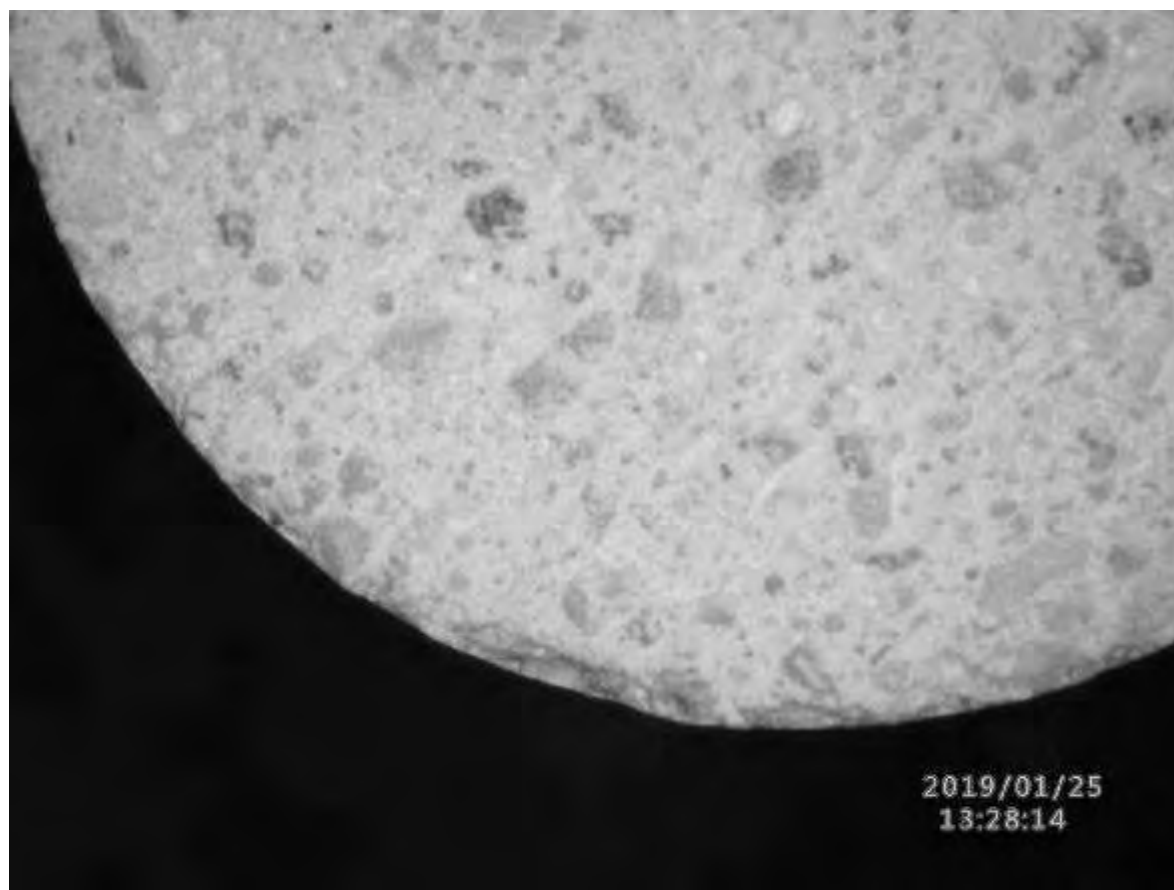


Figura. 4. 137. Microscopia de la C-171118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

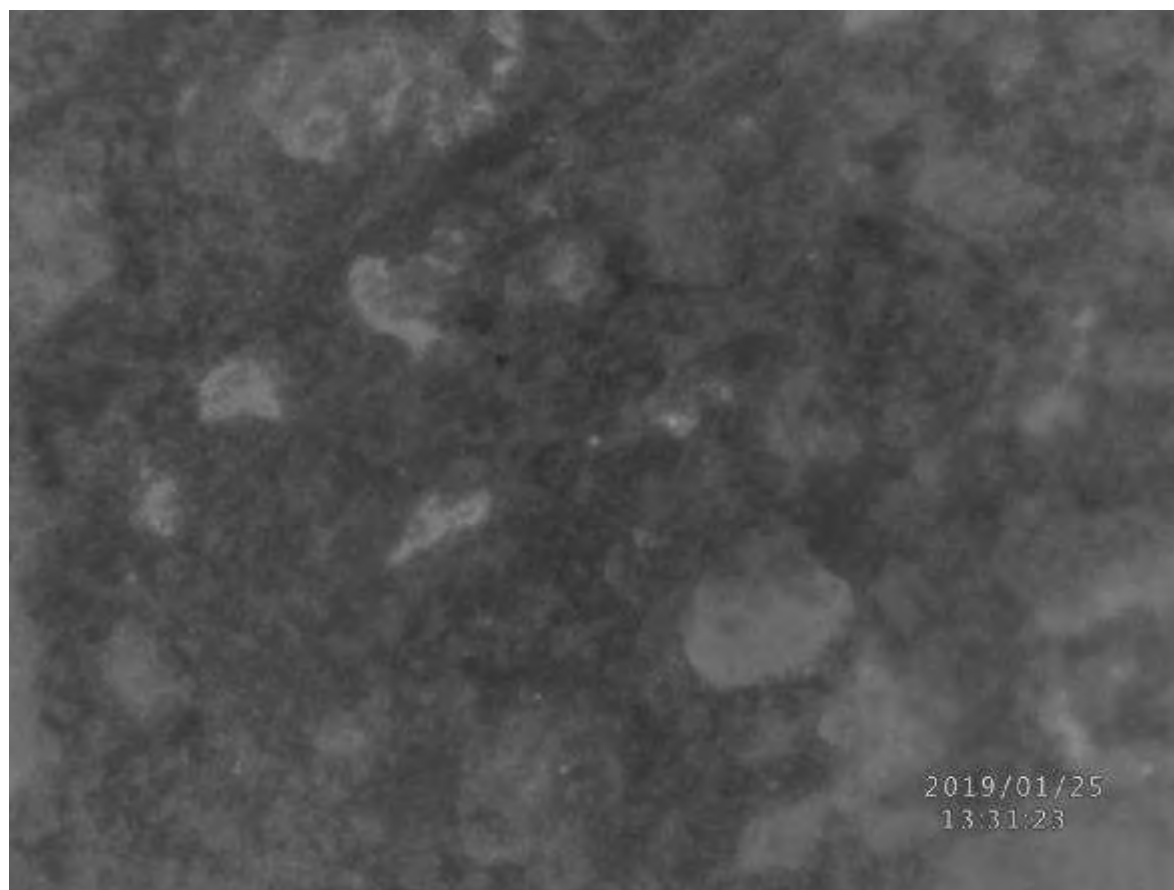


Figura. 4. 138. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-171118, con un filtro negativo bajo una luz normal.
Fuente: (autoría propia).

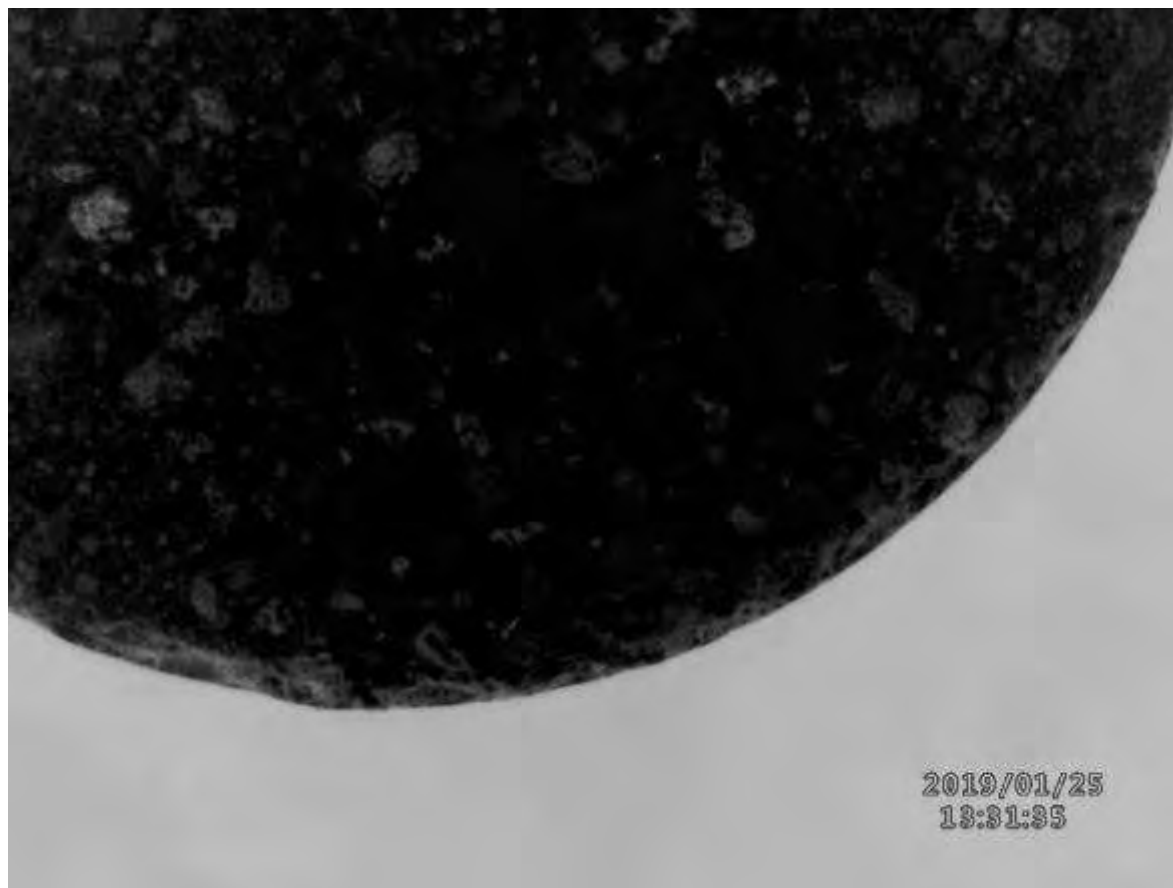
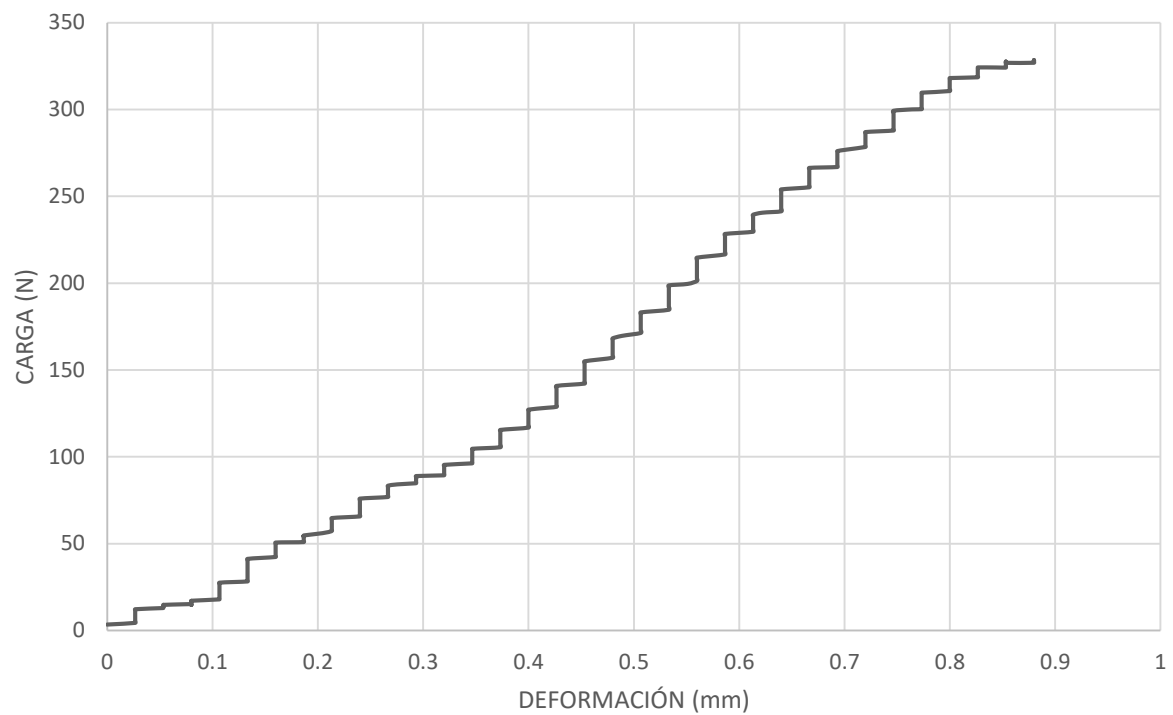


Figura. 4. 139. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-171118, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 140. Fotografía de la C-171118, en la prensa. Fuente: (autoría propia).

CARGA-DEFORMACIÓN



Gráficas 4. 12. Curva Carga-Deformación de la C-17118, en N-mm. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 141. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-17118. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 142. Fotografías de la corrida C-271118. Fuente: (Autoría propia).

De composición 100% CAL ESTANDAR, 275% MARMOLINA Tipo 2, 10% METACAOLIN, 20% HARINA DE ARRÓZ y A/C= 1:1.2 (calentada hasta el punto de ebullición y agregada a la mezcla, previamente integrados todos los materiales), de dimensiones con un diámetro igual a 23.3mm y longitud de 45.2mm, DENSIDAD = $33.0001438 \text{ g/cm}^3$, que presenta una buena dureza al ser pulido, con poco desprendimiento. (Autoría propia).

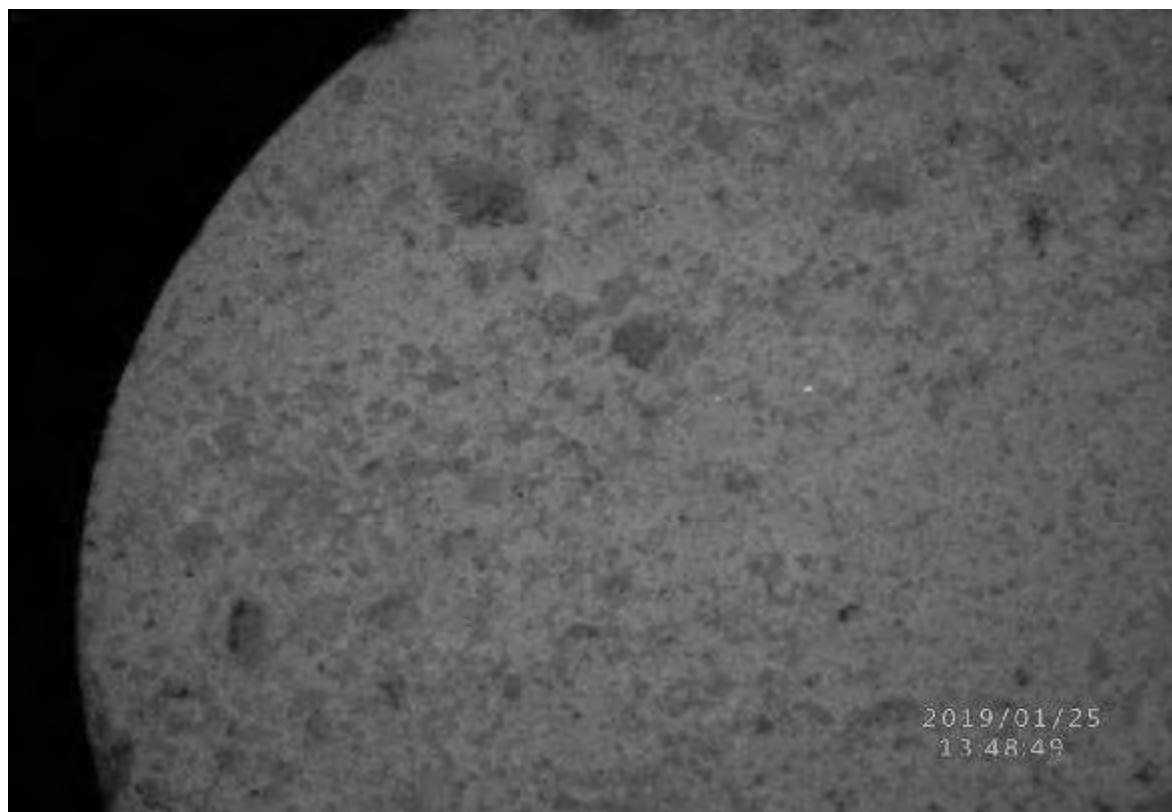


Figura. 4. 143. Microscopia de la C-271118. Fuente: Autoría propia.

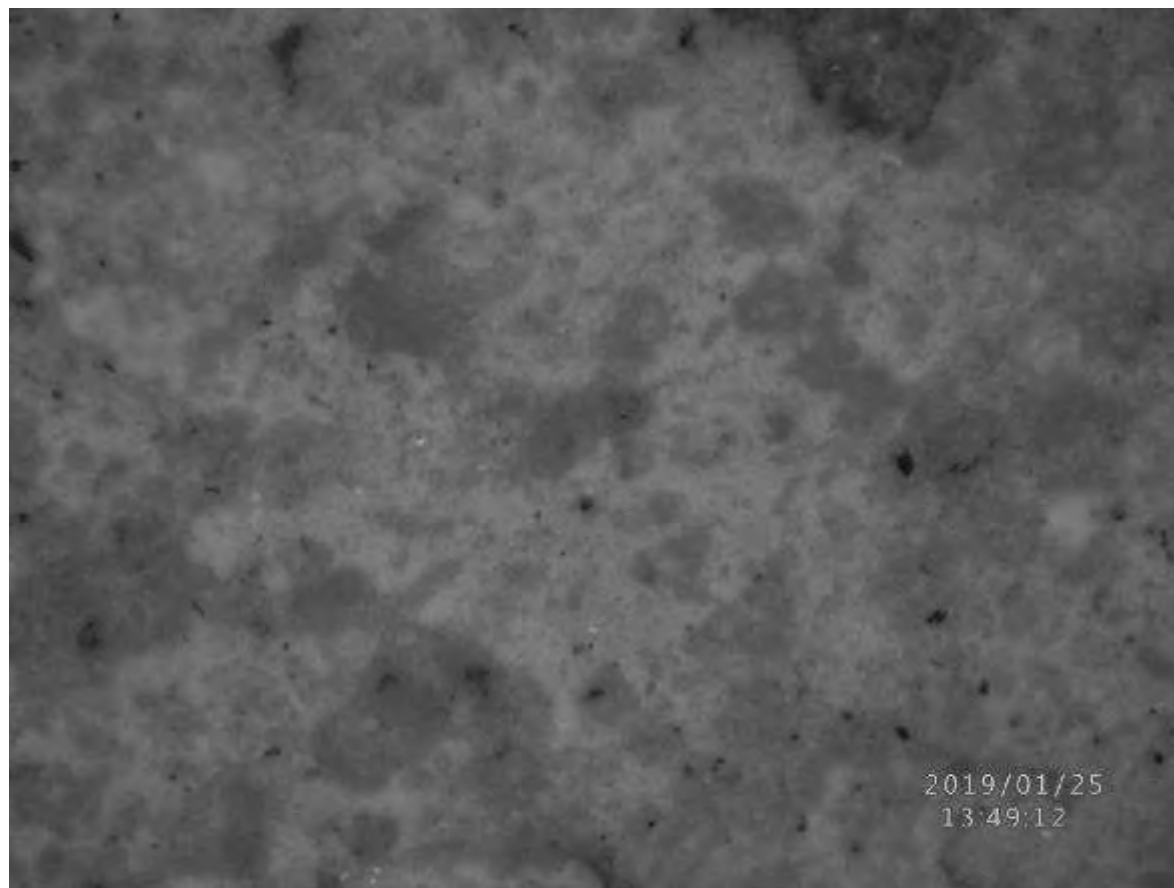


Figura. 4. 144. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-271118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

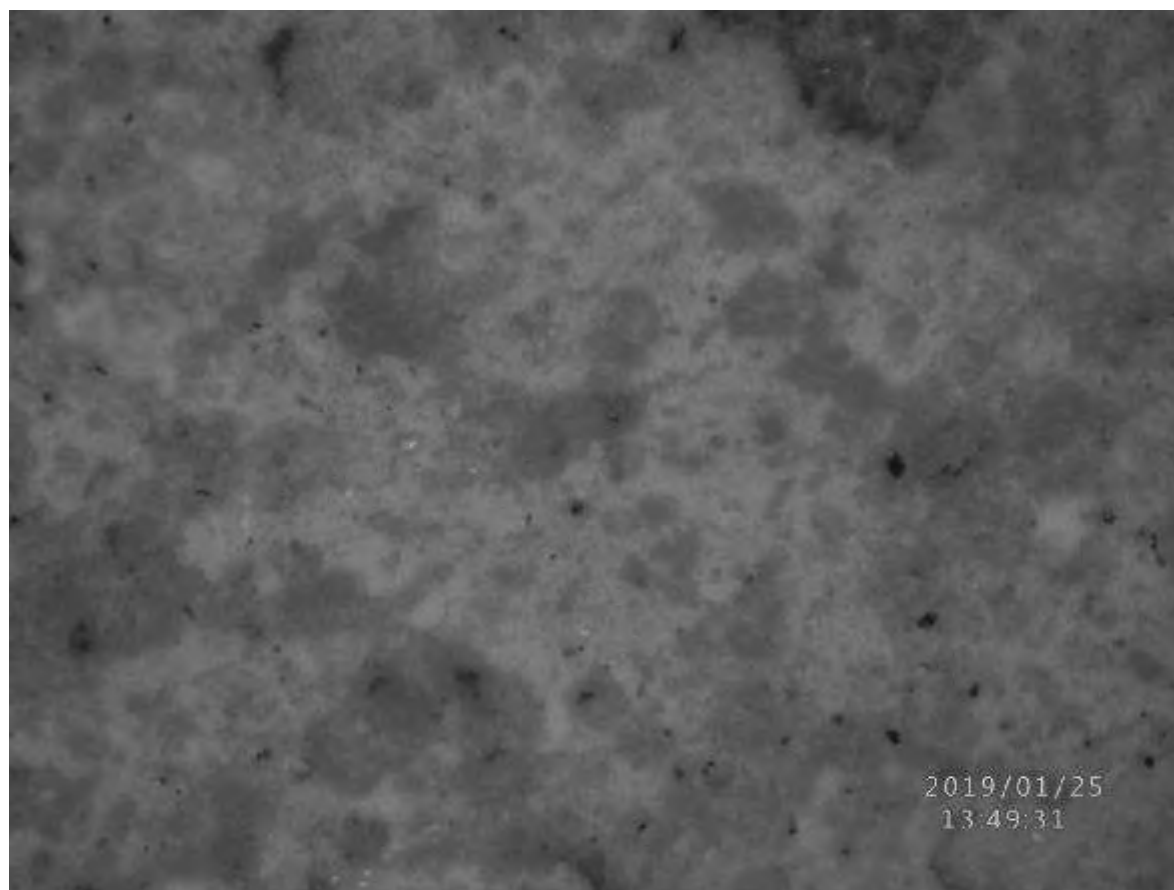


Figura. 4. 145. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-271118, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

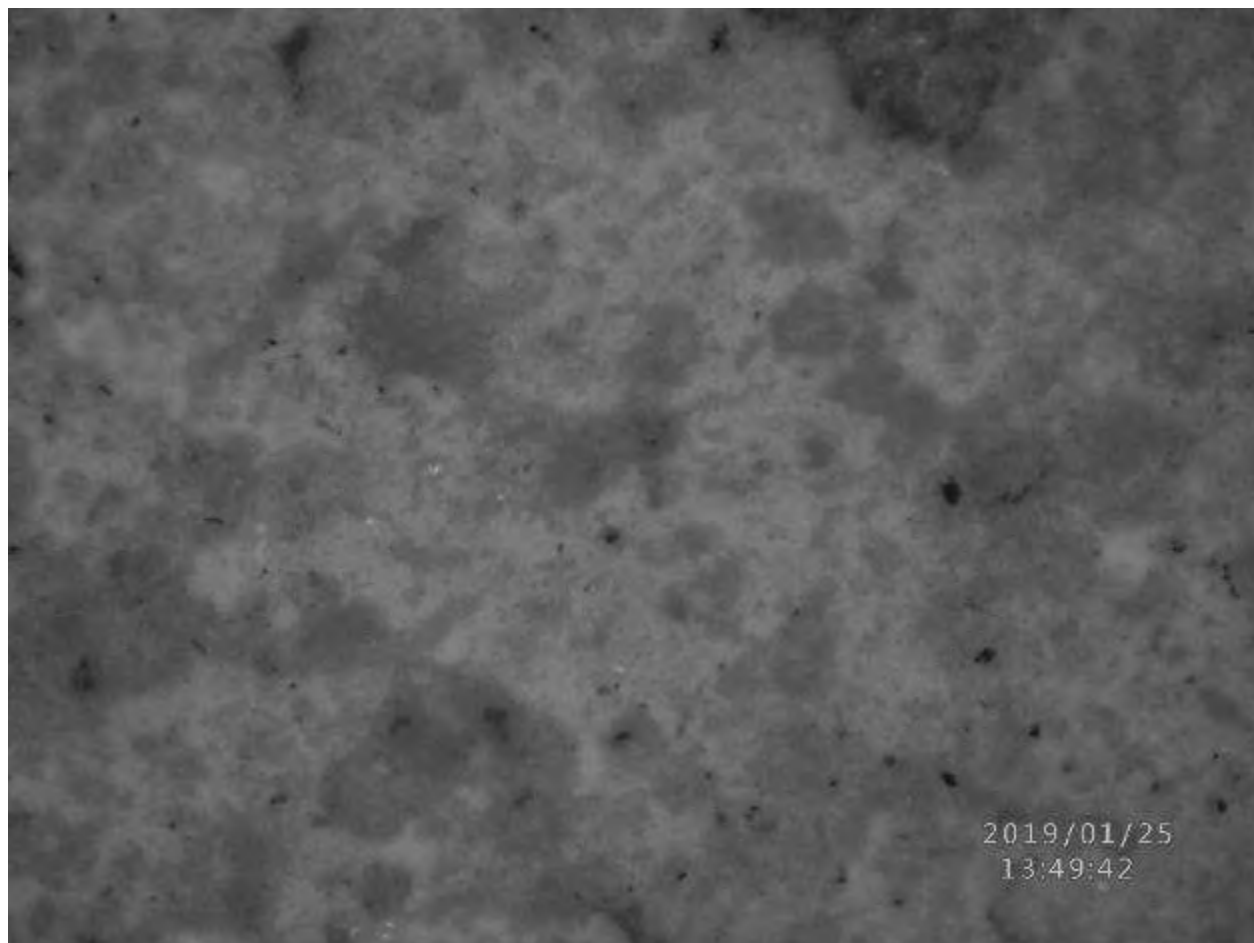


Figura. 4. 146. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-271118, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

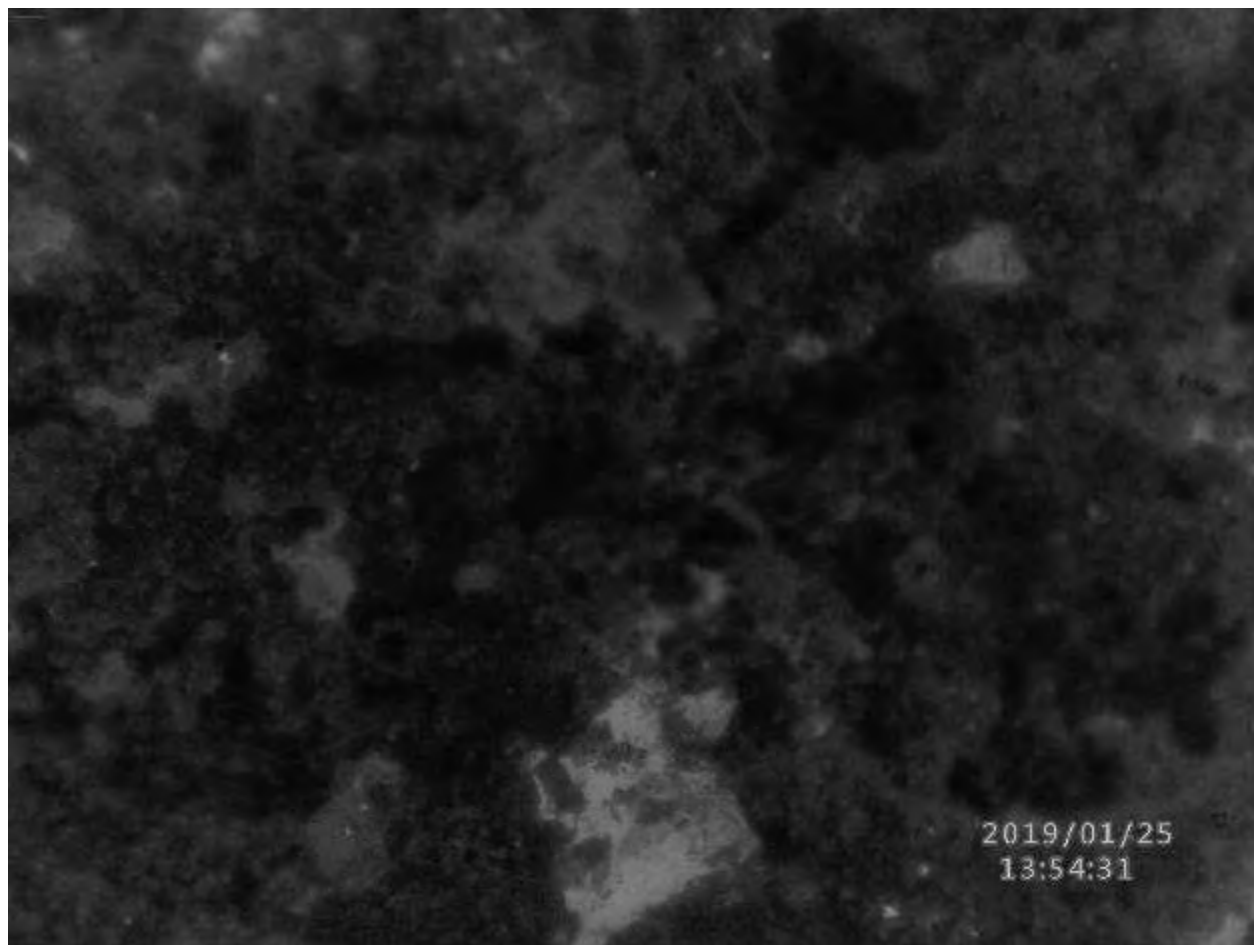


Figura. 4. 147. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-271118, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

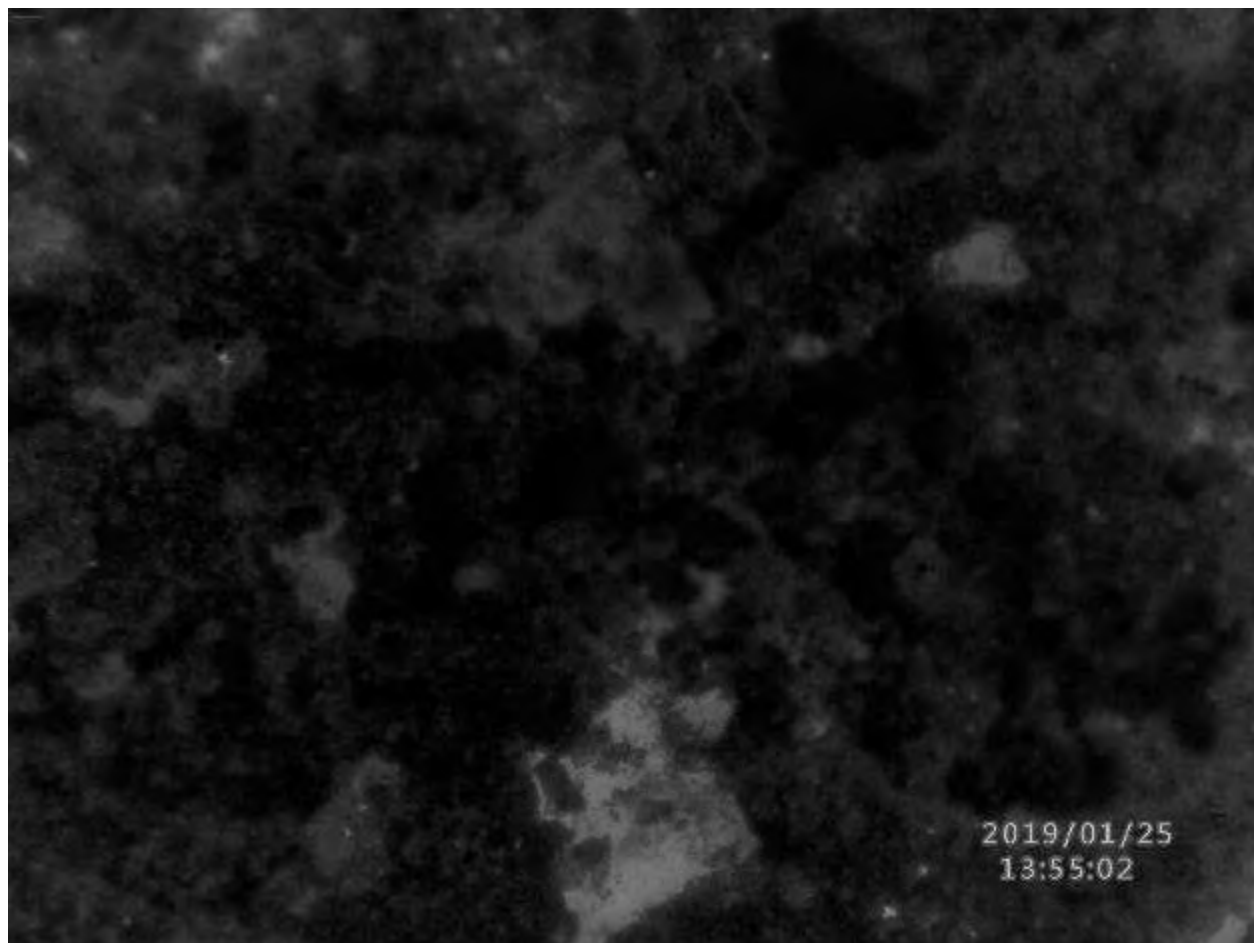


Figura. 4. 148. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-271118, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 149. Fotografía de la C-271118, en la prensa. Fuente: (autoría propia).

CARGA-DEFORMACIÓN

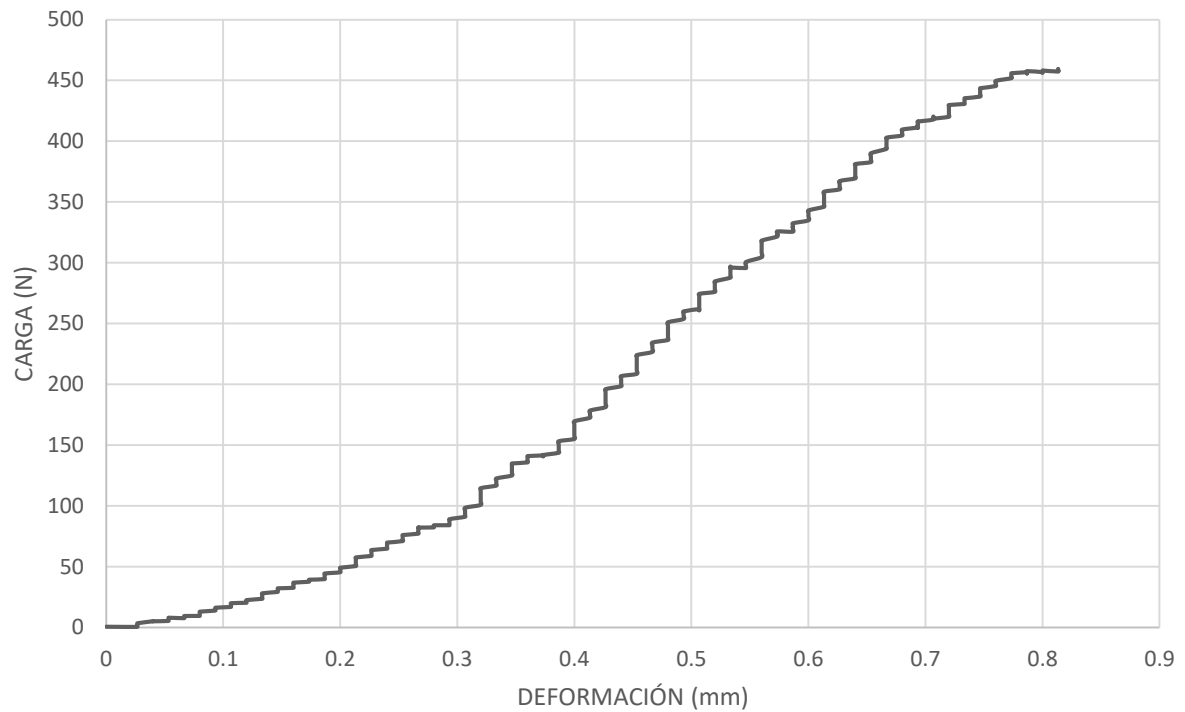


Figura. 4. 150. Curva Carga-Deformación de la C-271118, en N-mm. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 151. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-271118. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 152. Fotografías de la corrida C-371118. Fuente: (Autoría propia).

DE composición 100% CAL ESTANDAR, 275% MARMOLINA Tipo 2, 5% METACAOLIN, 30% HARINA DE ARRÓZ y A/C= 1:1 (calentada hasta el punto de ebullición y agregada a la mezcla, previamente integrados todos los materiales), de dimensiones iguales a un diámetro de 23.0mm y longitud de 44.8mm, DENSIDAD = $30.8338205 \text{ g/cm}^3$, que presenta una moderada dureza al ser pulido, con poco desprendimiento en la parte superior y mayor en la parte inversa. (Autoría propia).

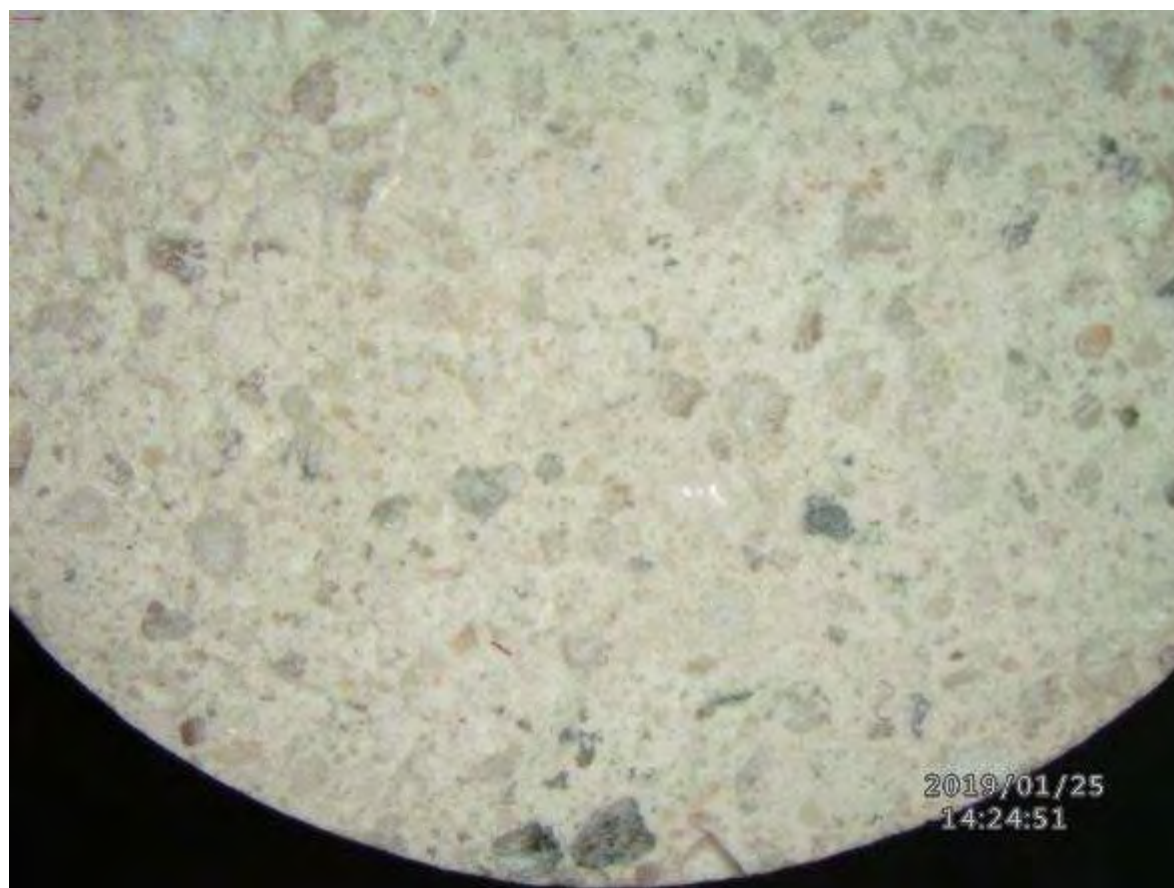


Figura. 4. 153. Microscopia de la C-371118. Fuente: Autoría propia.

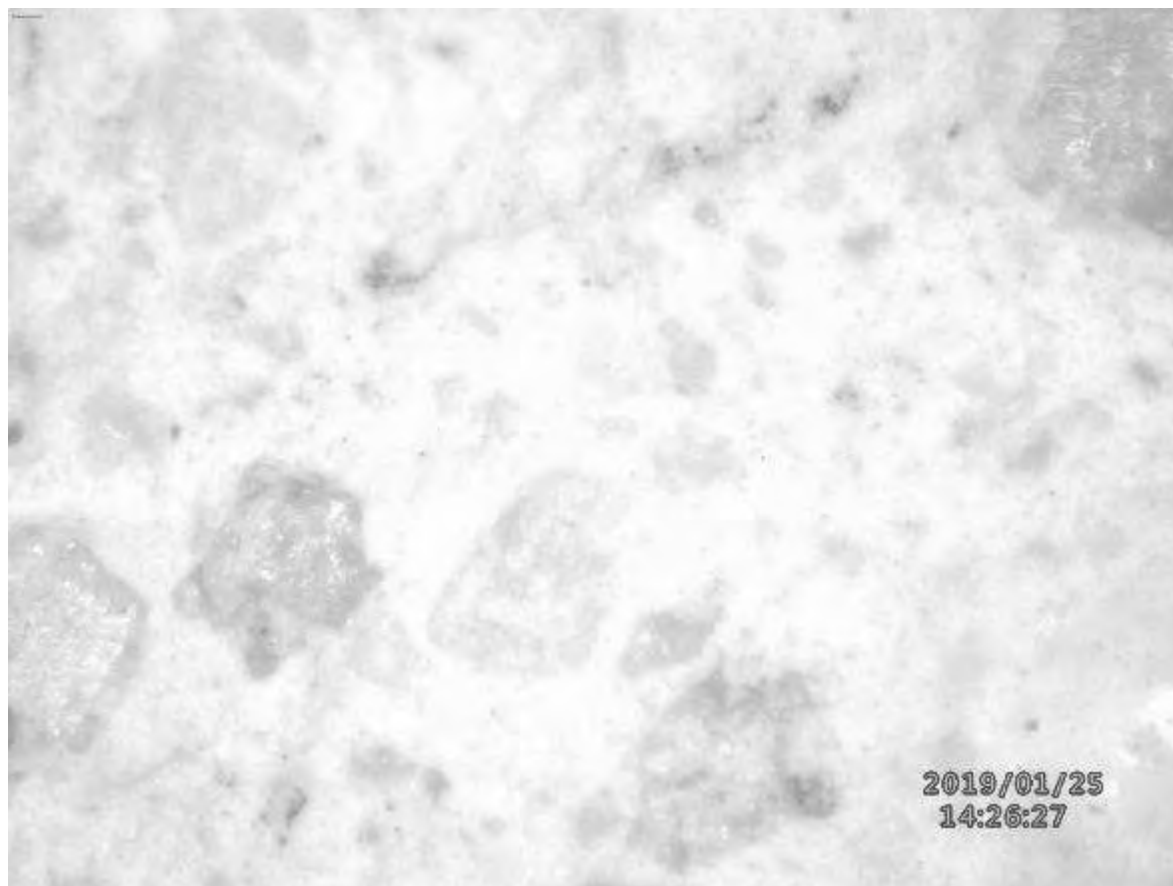


Figura. 4. 154. . Microscopia aumentada digitalmente, de la C-371118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

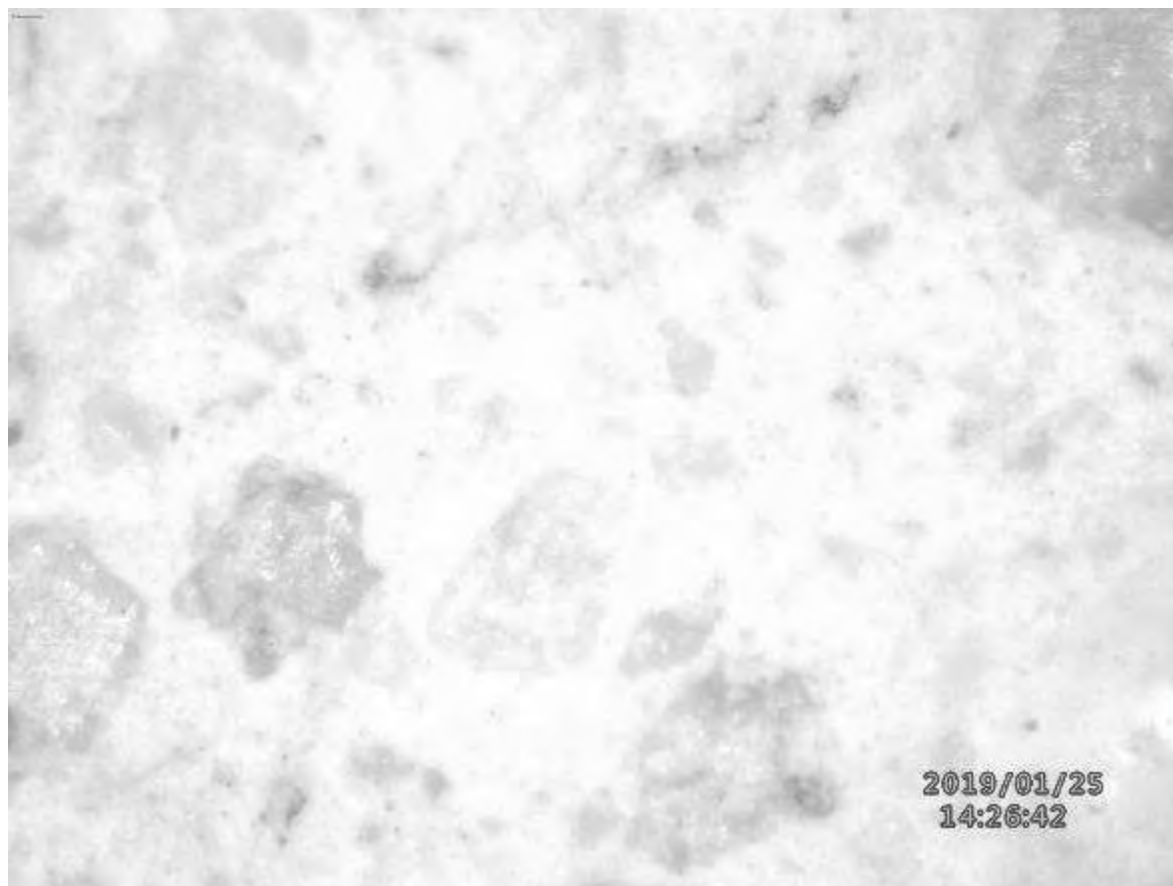


Figura. 4. 155. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-371118, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

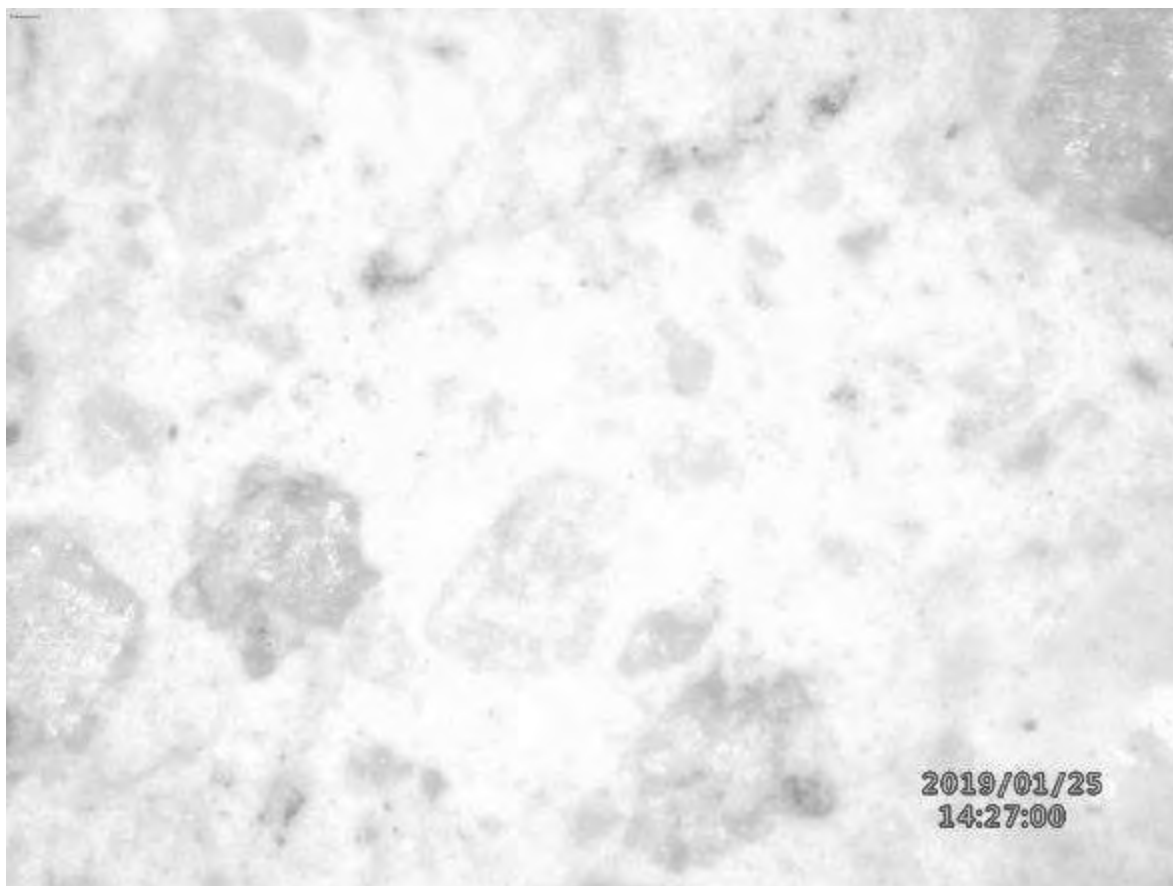


Figura. 4. 156. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-37118, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

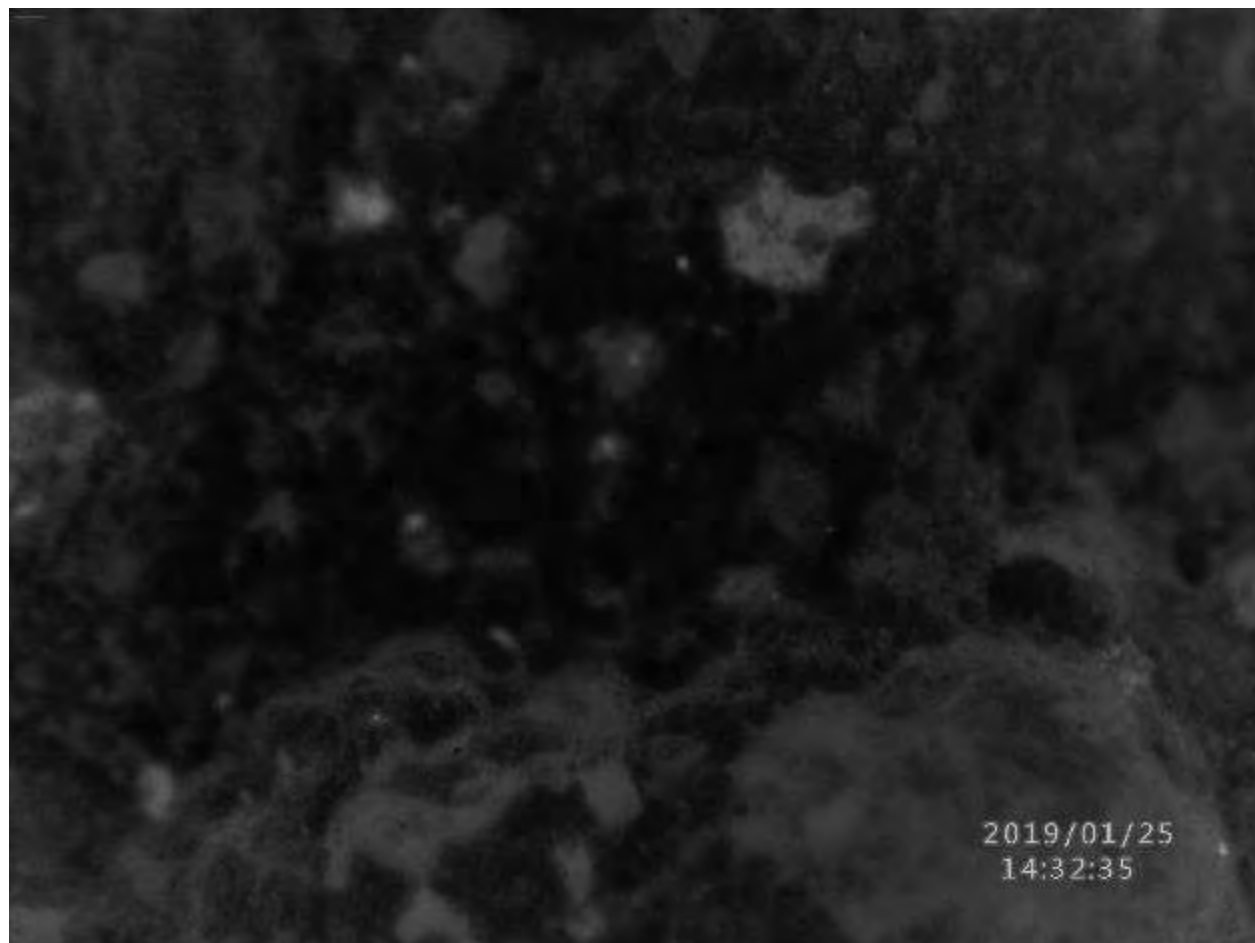


Figura. 4. 157. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-371118, con un filtro negativo bajo una luz normal.
Fuente: (autoría propia).

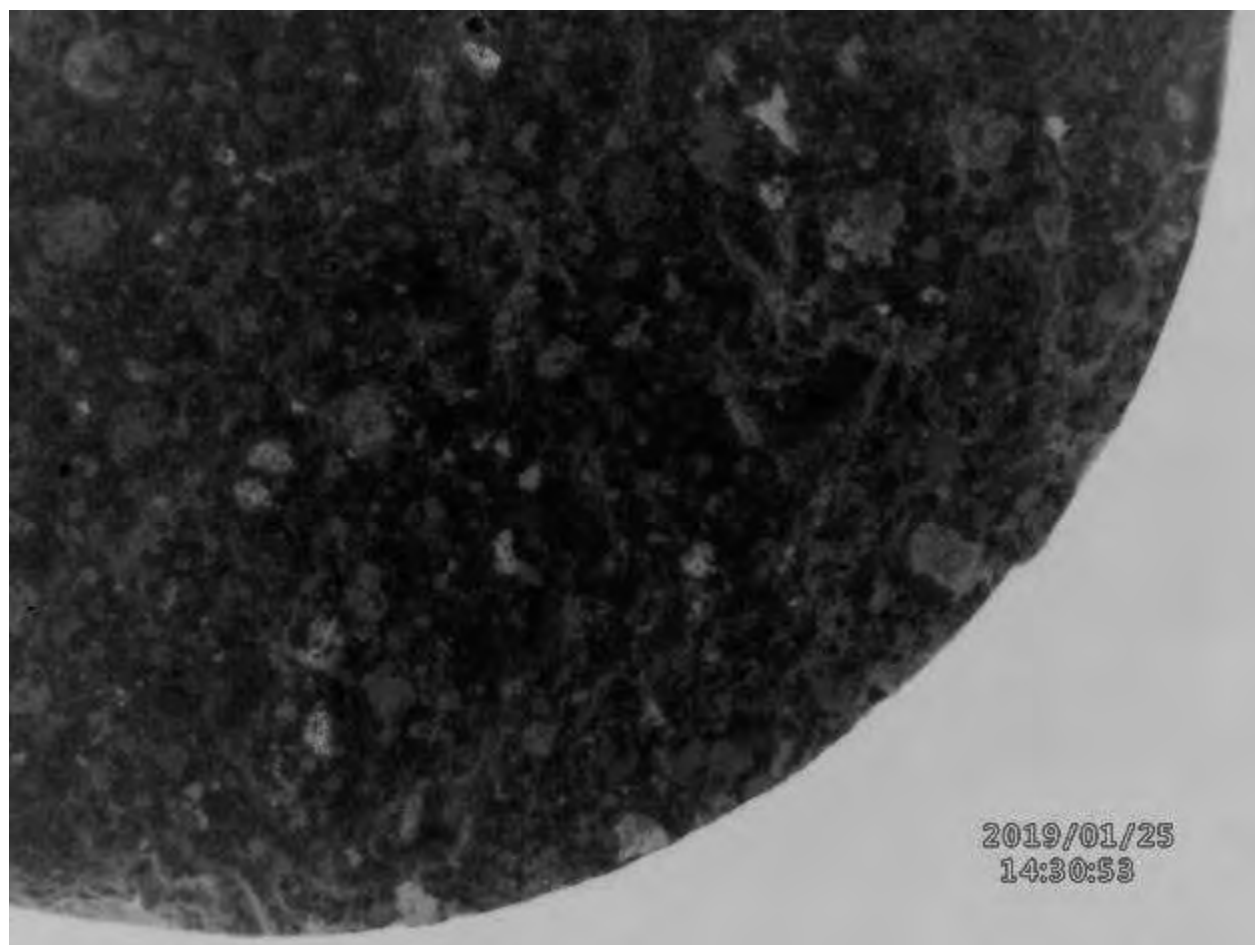


Figura. 4. 158. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-371118, con un filtro negativo bajo una luz normal.
Fuente: (autoría propia).

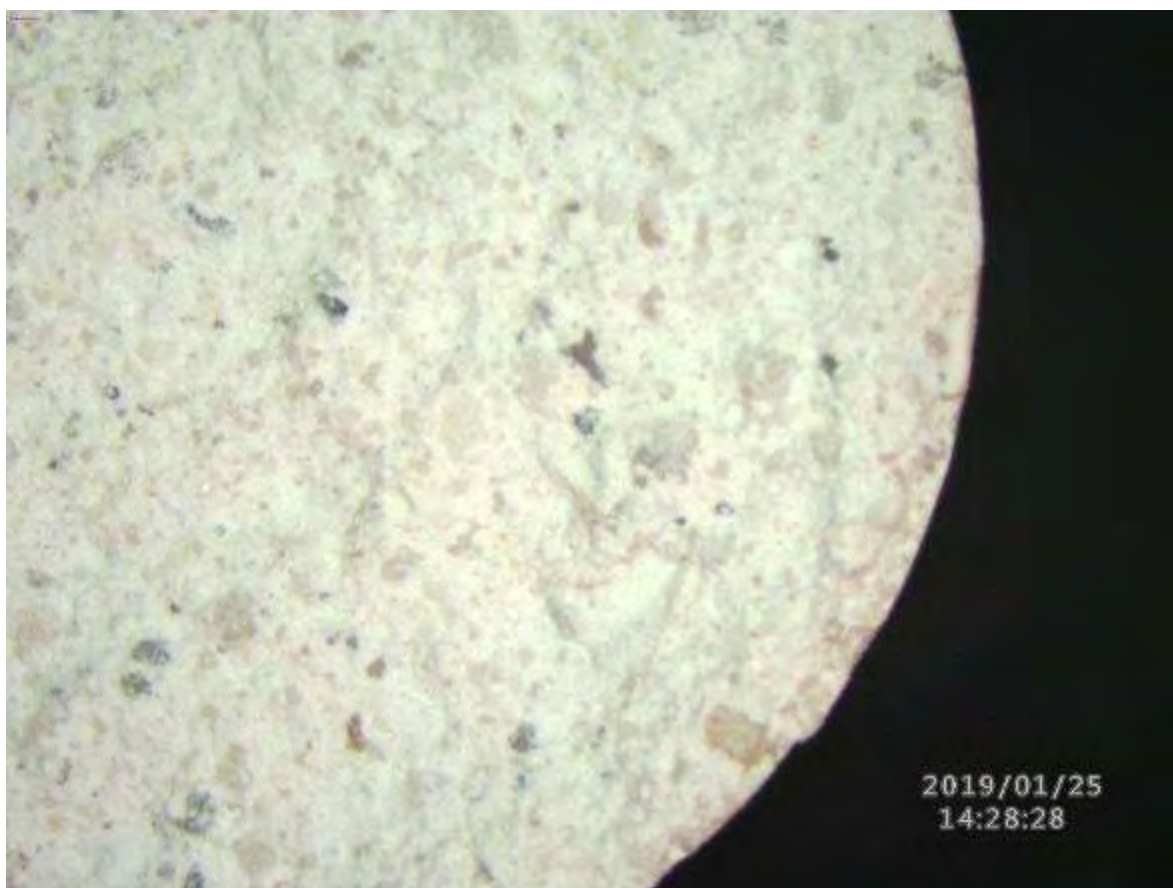


Figura. 4. 159. Microscopia de la C-371118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

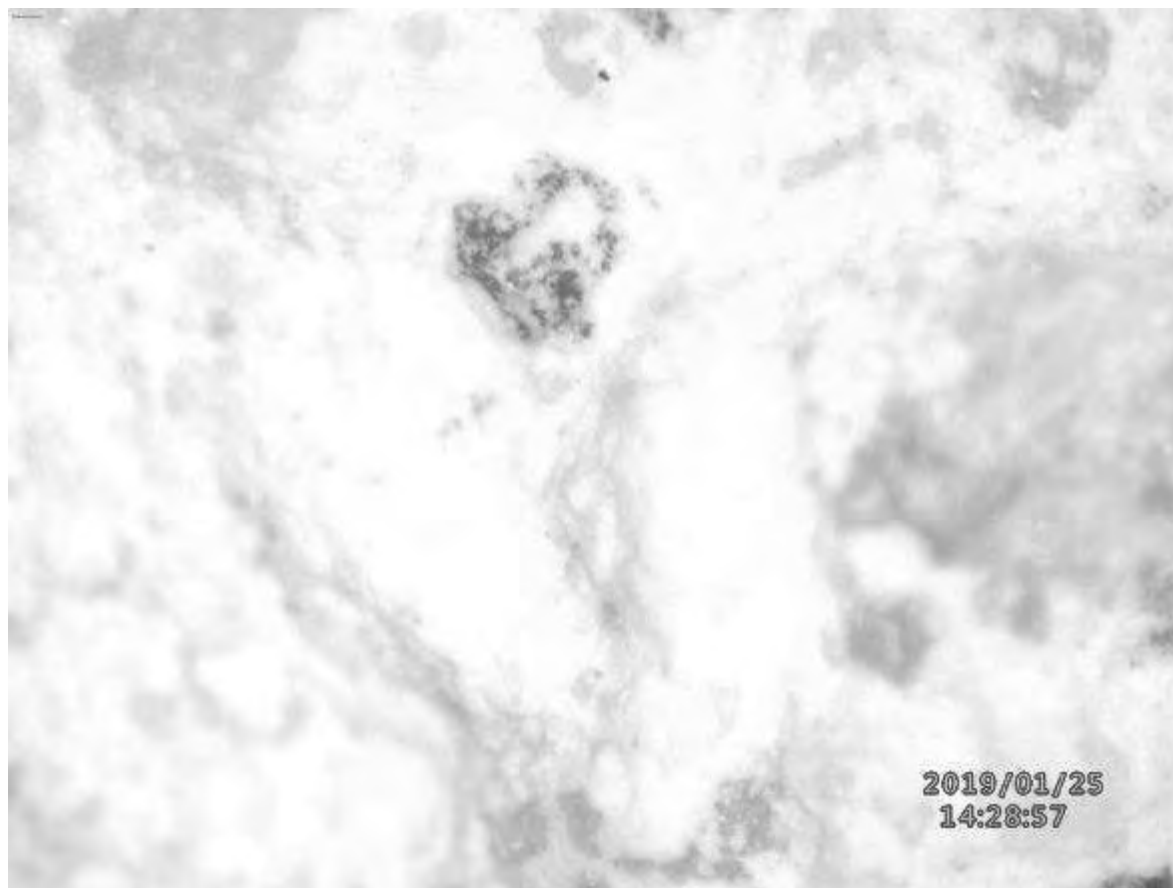
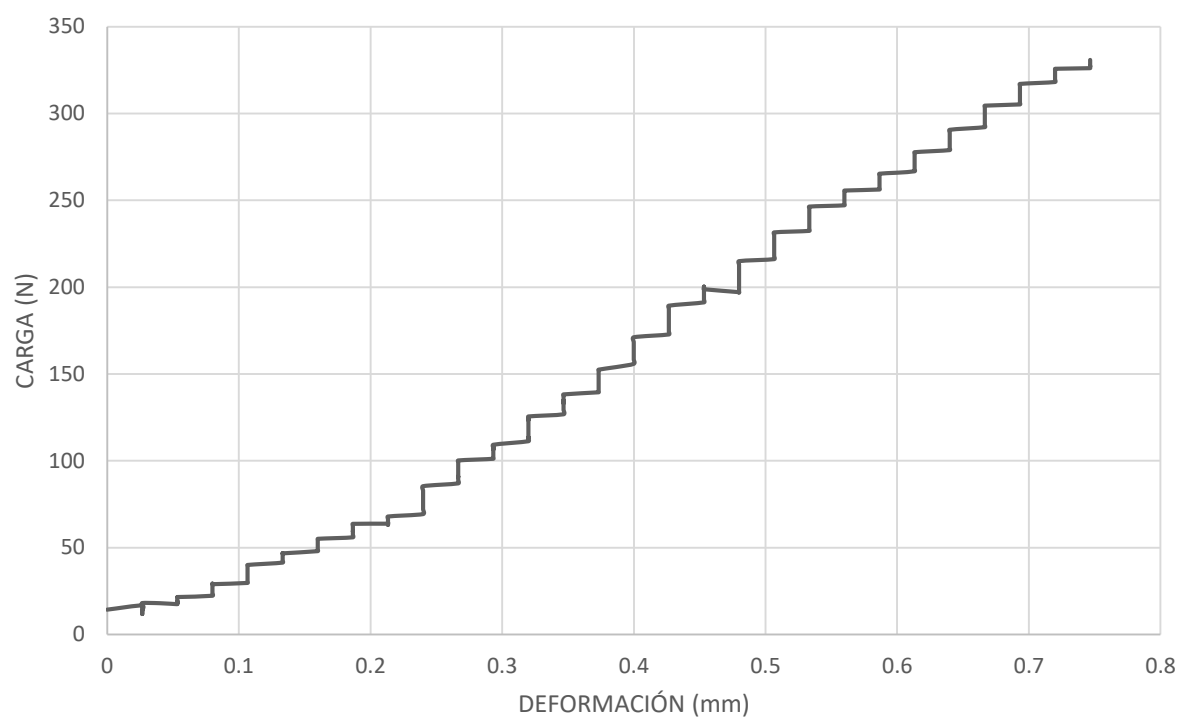


Figura. 4. 160. Microscopia de la C-371118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 161. Fotografía de la C-3271118, en la prensa. Fuente: (autoría propia).

CARGA-DEFORMACIÓN



Gráficas 4. 13. Curva Carga-Deformación de la C-3271118, en N-mm. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 162. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-3271118. Fuente: (autoría propia)



Figura. 4. 163. Fotografías de la corrida C-181118. Fuente: (Autoría propia).

De la corrida C-181118 de composición 100% CAL ESTANDAR, 275% MARMOLINA Tipo 2, 10% METACAOLIN, 30% HARINA DE ARRÓZ y A/C= 1:1 (calentada hasta el punto de ebullición y agregada a la mezcla, previamente integrados todos los materiales), de dimensiones iguales a un diámetro de 23.2mm y longitud de 46.2mm, DENSIDAD = 33.6099851 g/cm³, que presenta una poca dureza al ser pulido, con desprendimiento moderado en la parte superior y mucho en la parte inversa. (Autoría propia).



Figura. 4. 164. Microscopia de la C-181118. Fuente: Autoría propia.



Figura. 4. 165. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-181118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

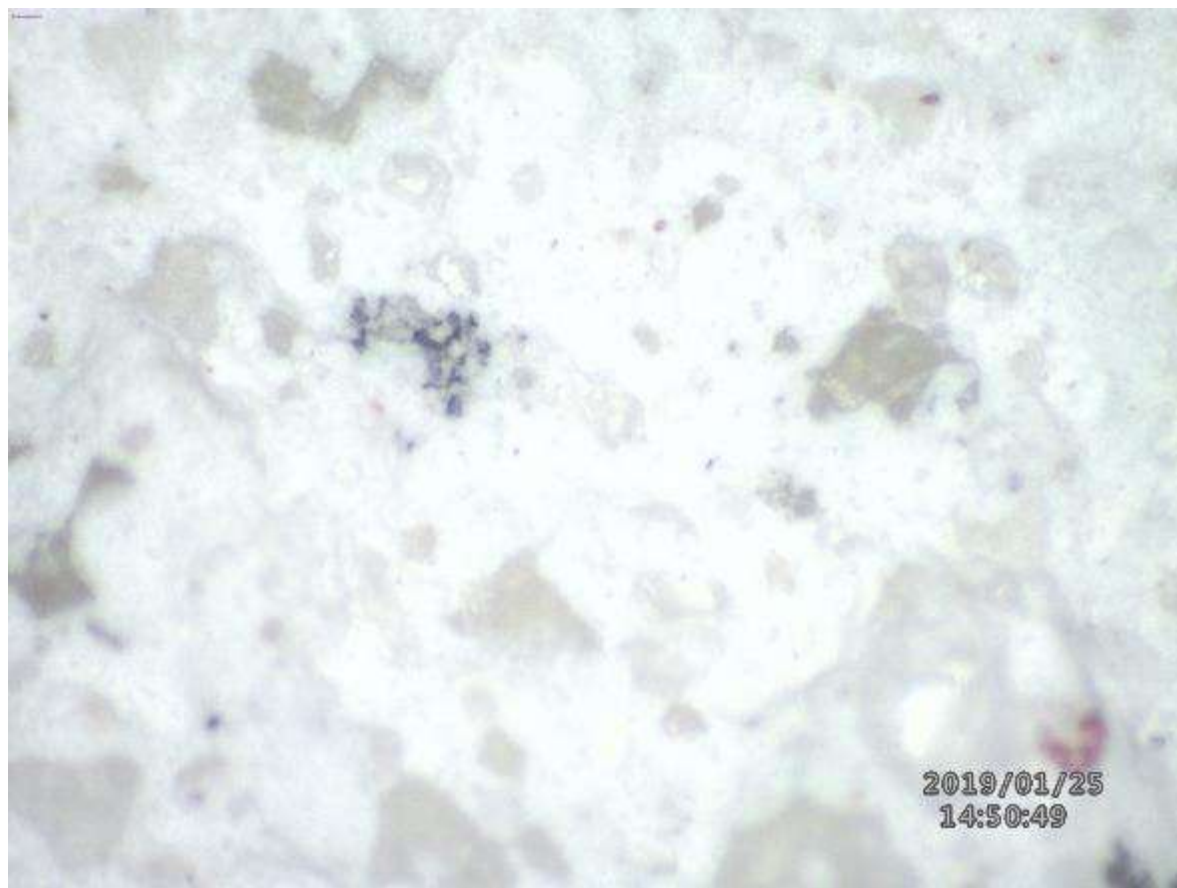


Figura. 4. 166. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-181118, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

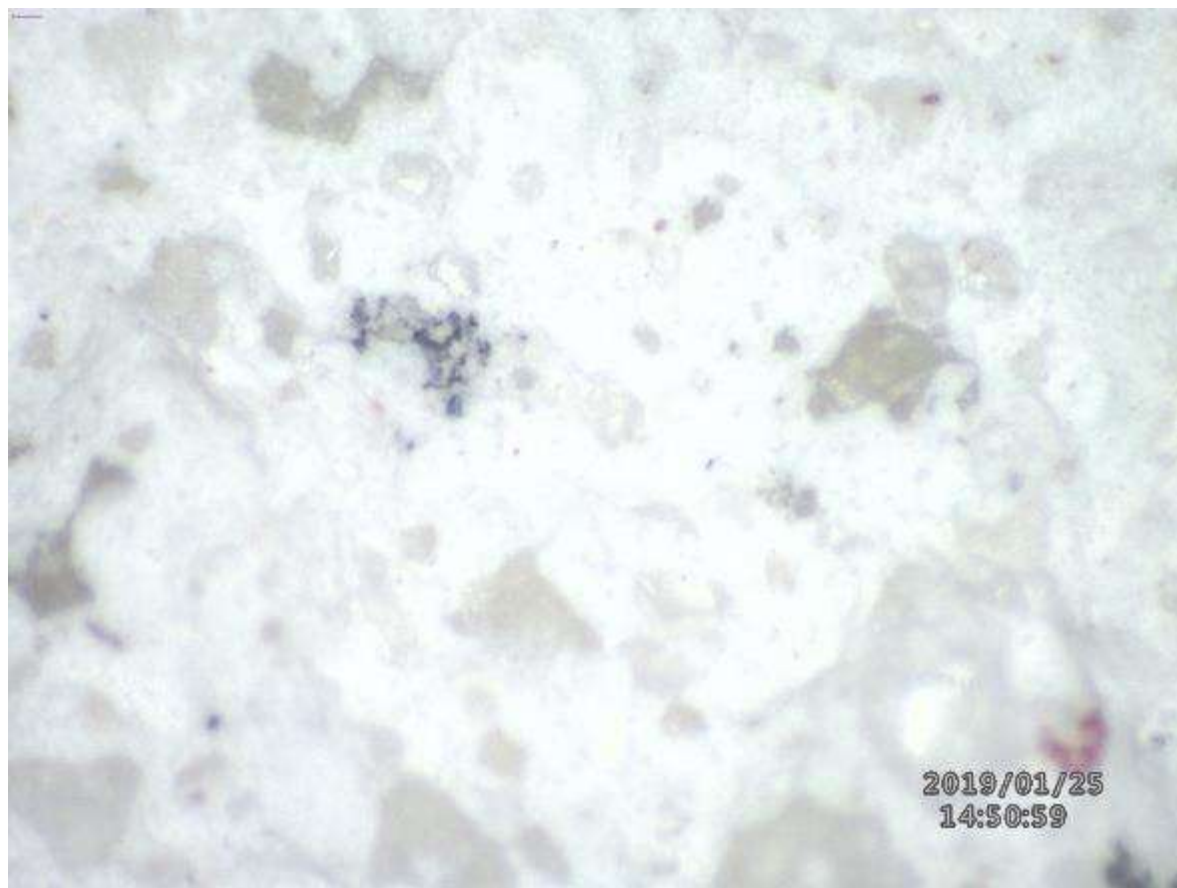


Figura. 4. 167. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-181118, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 168. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-181118, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

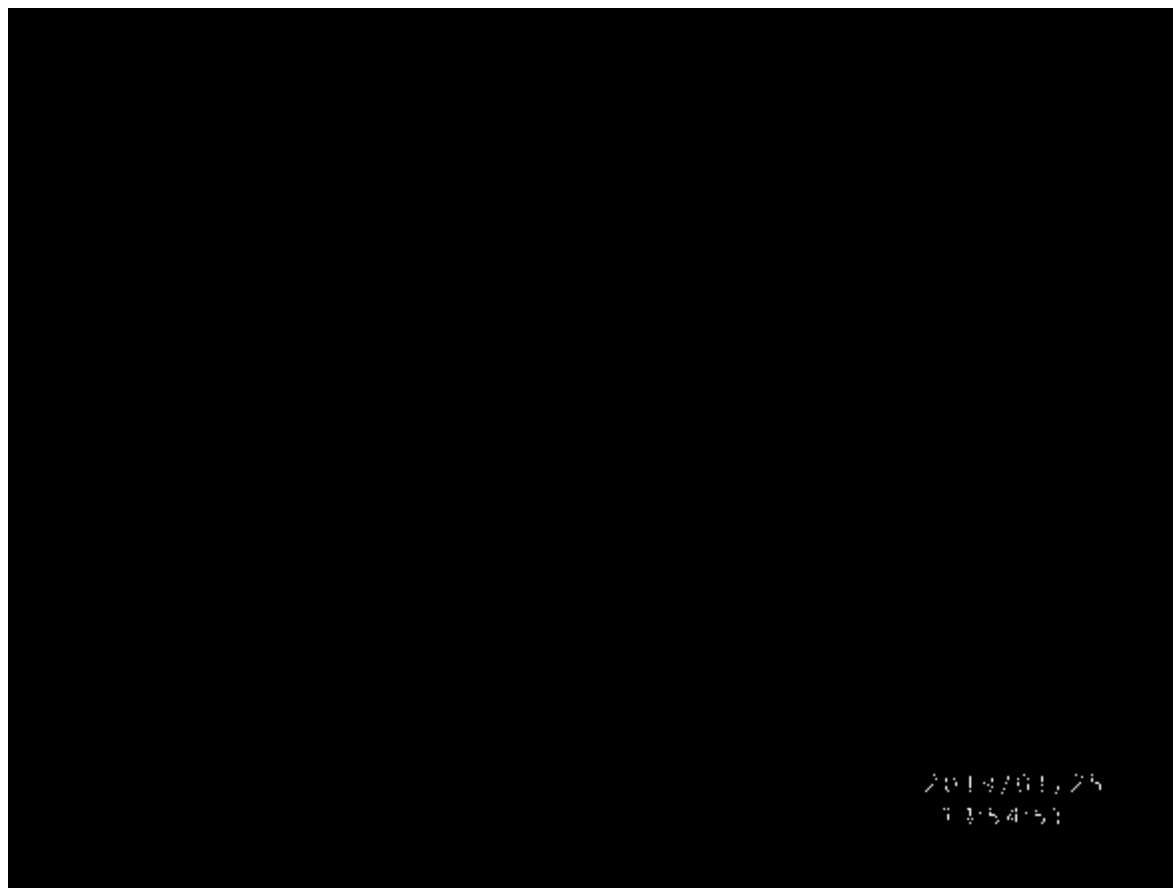


Figura. 4. 169. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-181118, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

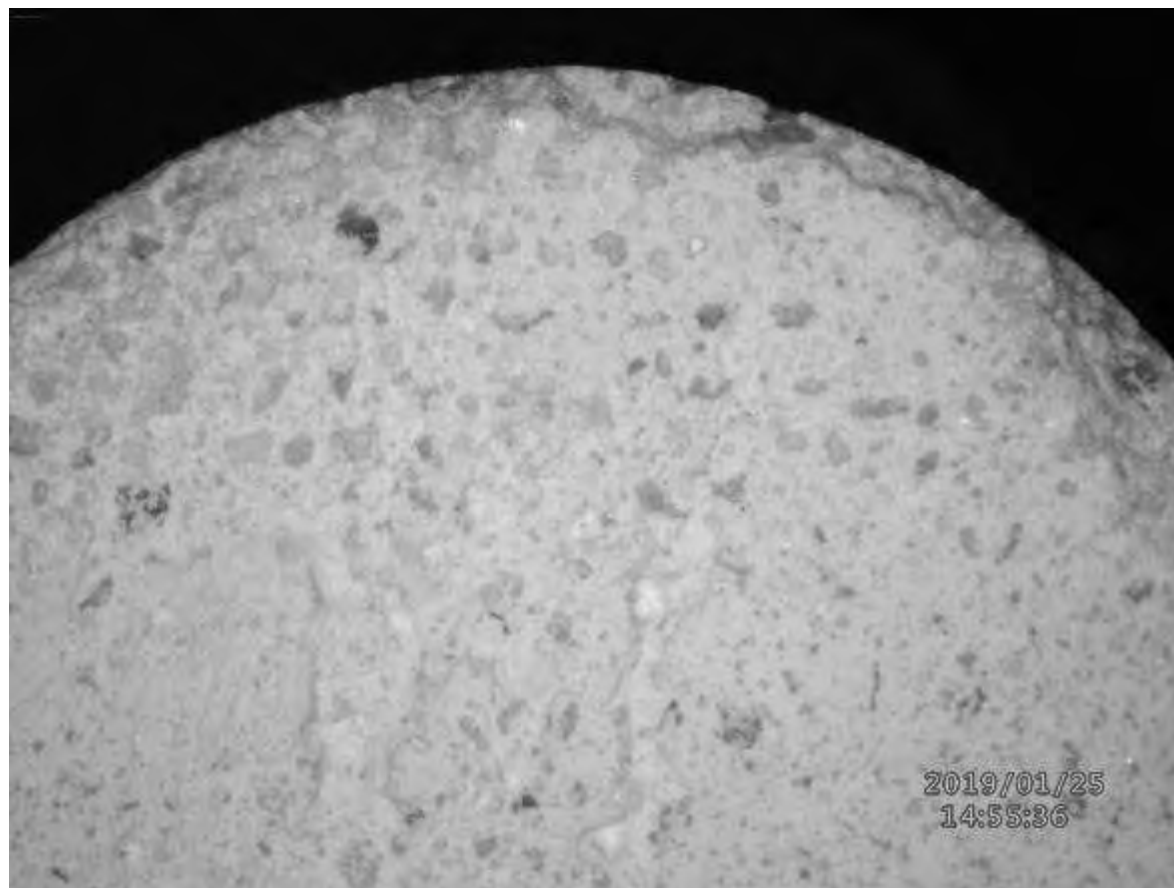


Figura. 4. 170. Microscopia de la C-181118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

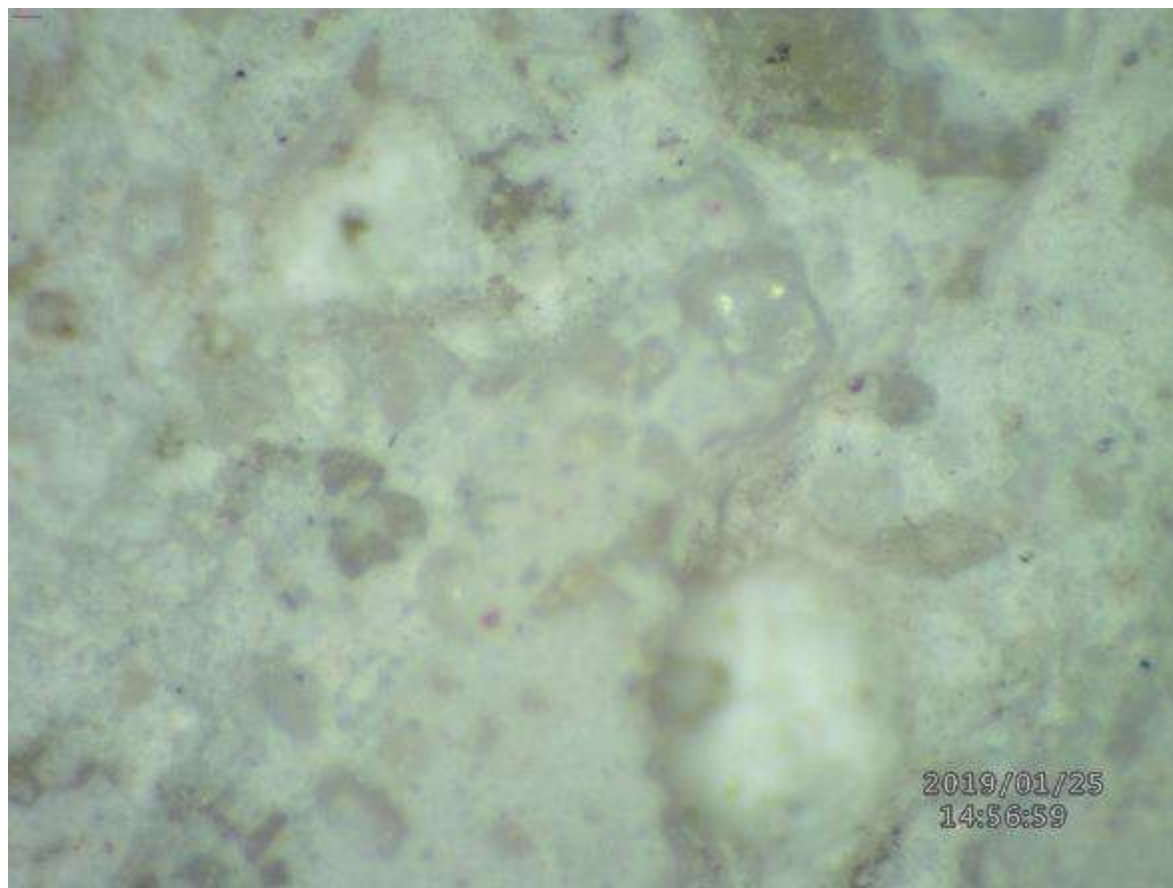


Figura. 4. 171. Microscopia de la C-181118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

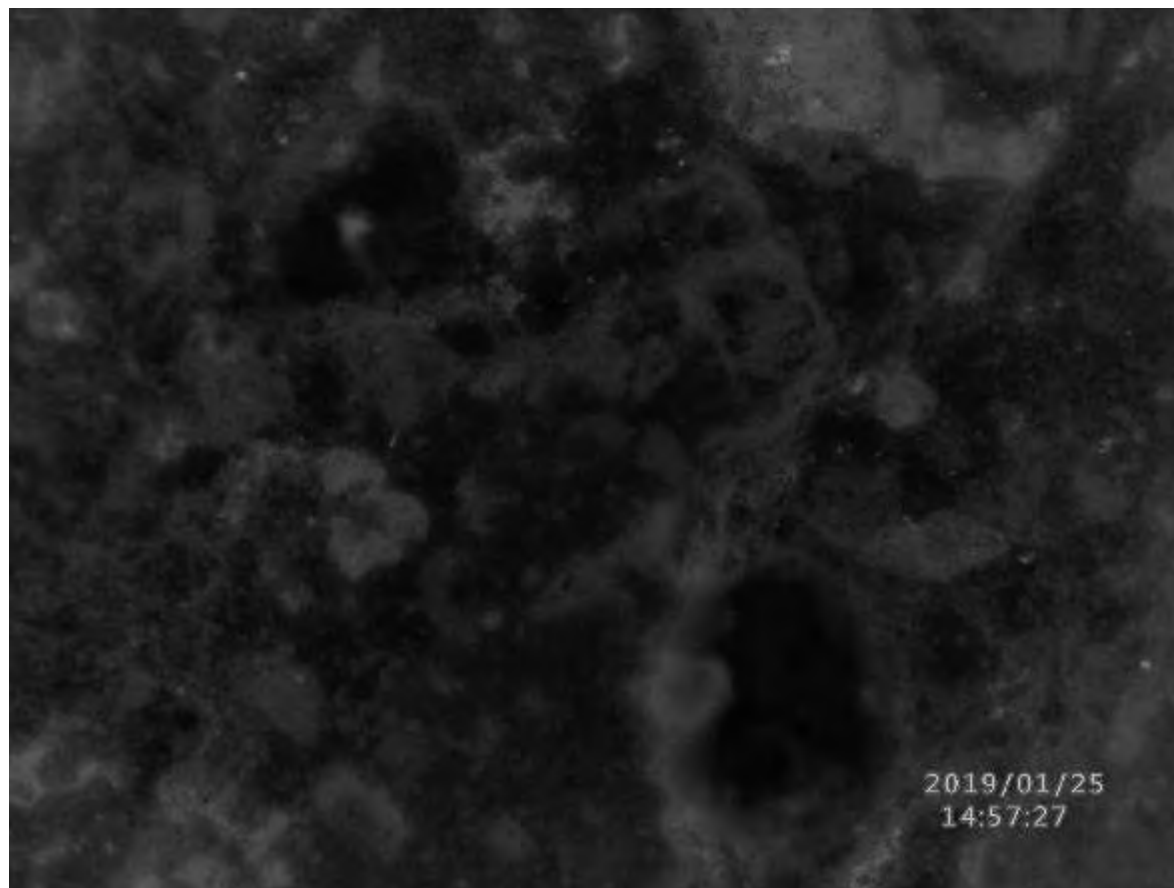


Figura. 4. 172. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-181118, con un filtro negativo bajo una luz normal.
Fuente: (autoría propia).

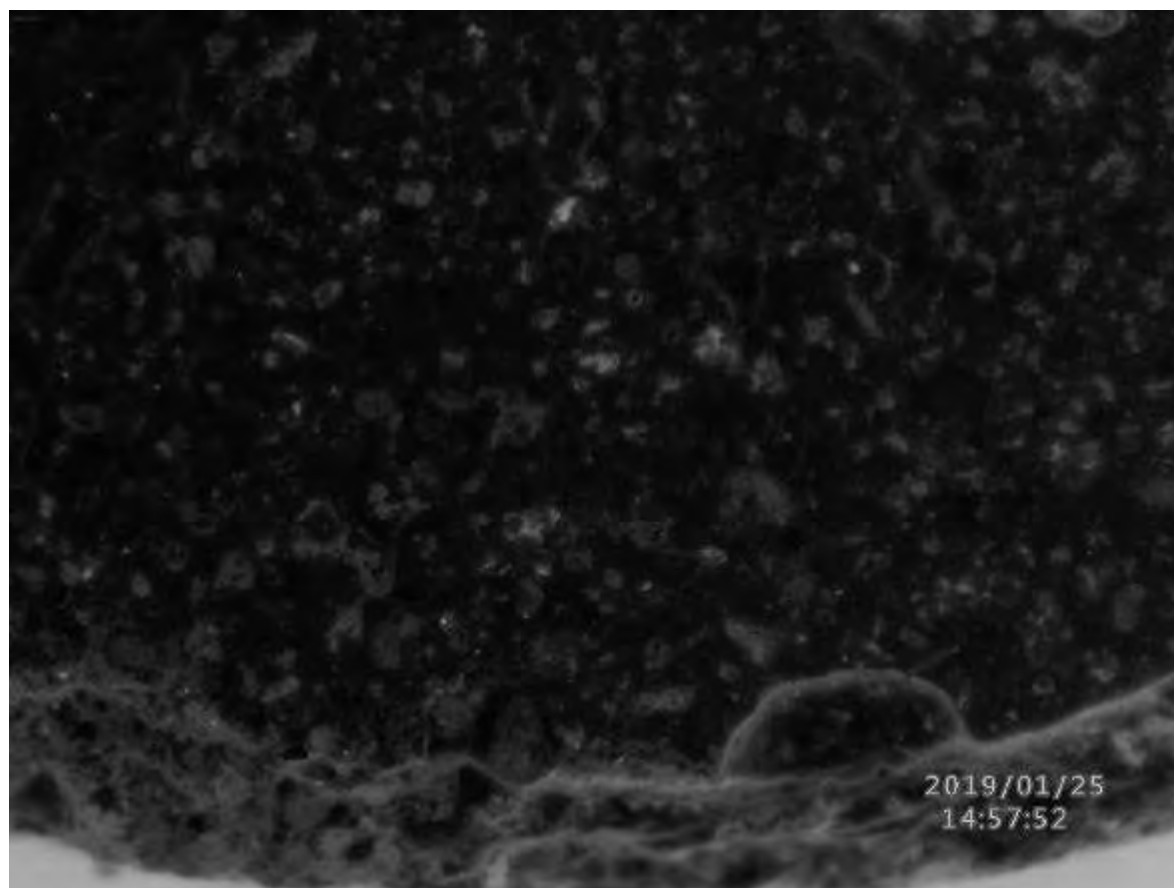
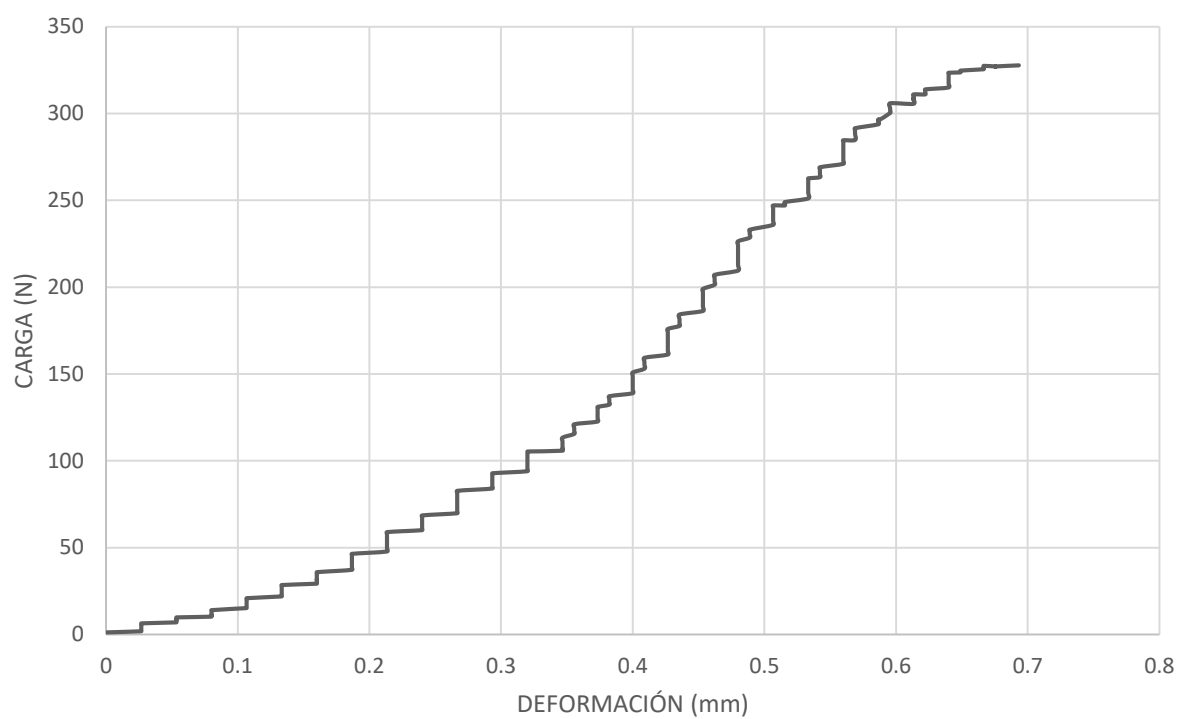


Figura. 4. 173. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-181118, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).

CARGA-DEFORMACIÓN



Gráficas 4. 14. Curva Carga-Deformación de la C-181118, en N-mm. Fuente: (autoría propia).

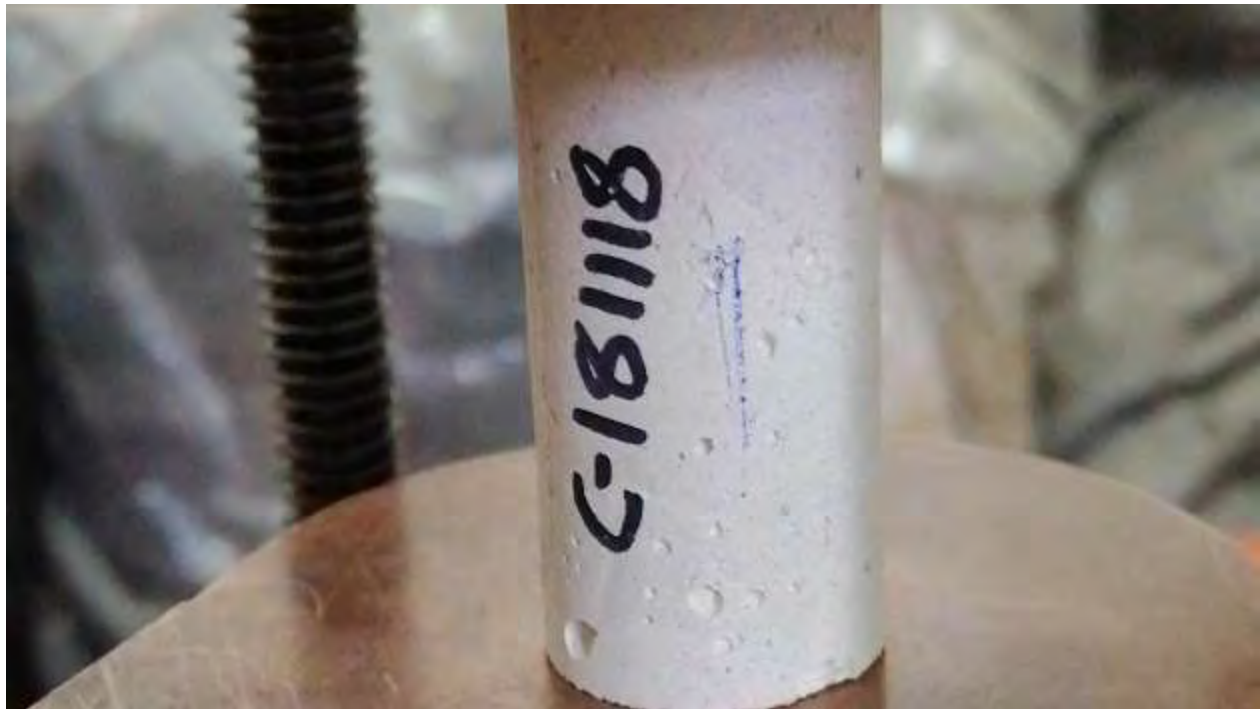


Figura. 4. 174. Fotografía de la C-181118, en la prensa. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 175. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-181118. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 176. Fotografías de la corrida C-281118. Fuente: (Autoría propia).

De composición 100% CAL ESTANDAR, 275% MARMOLINA Tipo 2, 5% METACAOLIN, 5% CLORURO DE SODIO, 10% HARINA DE ARRÓZ y A/C= 1:1 (calentada hasta el punto de ebullición y agregada a la mezcla, previamente integrados todos los materiales), de dimensiones iguales a un diámetro de 240mm y longitud de 450mm, que presenta una buena dureza al ser pulido, con poco desprendimiento. (Autoría propia).

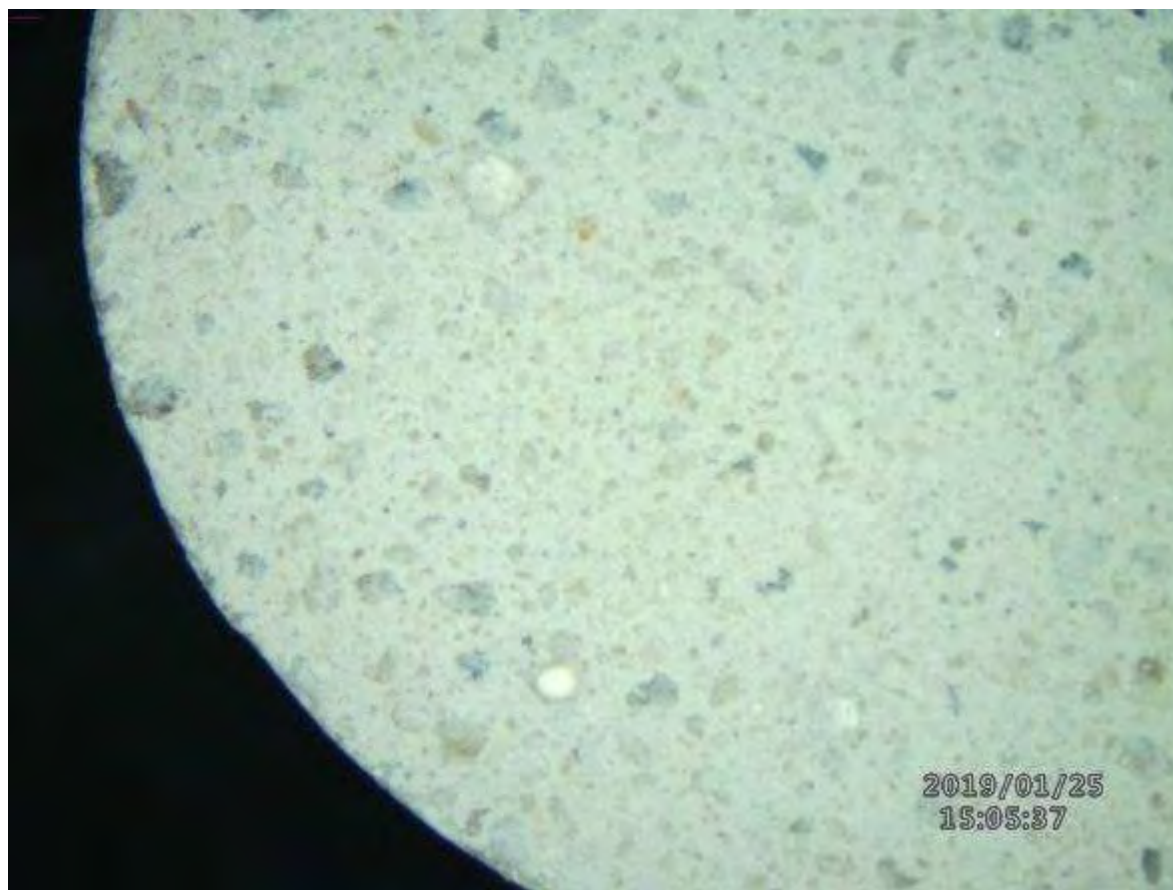


Figura. 4. 177. . Microscopia de la C-281118, sin filtros (autoría propia).

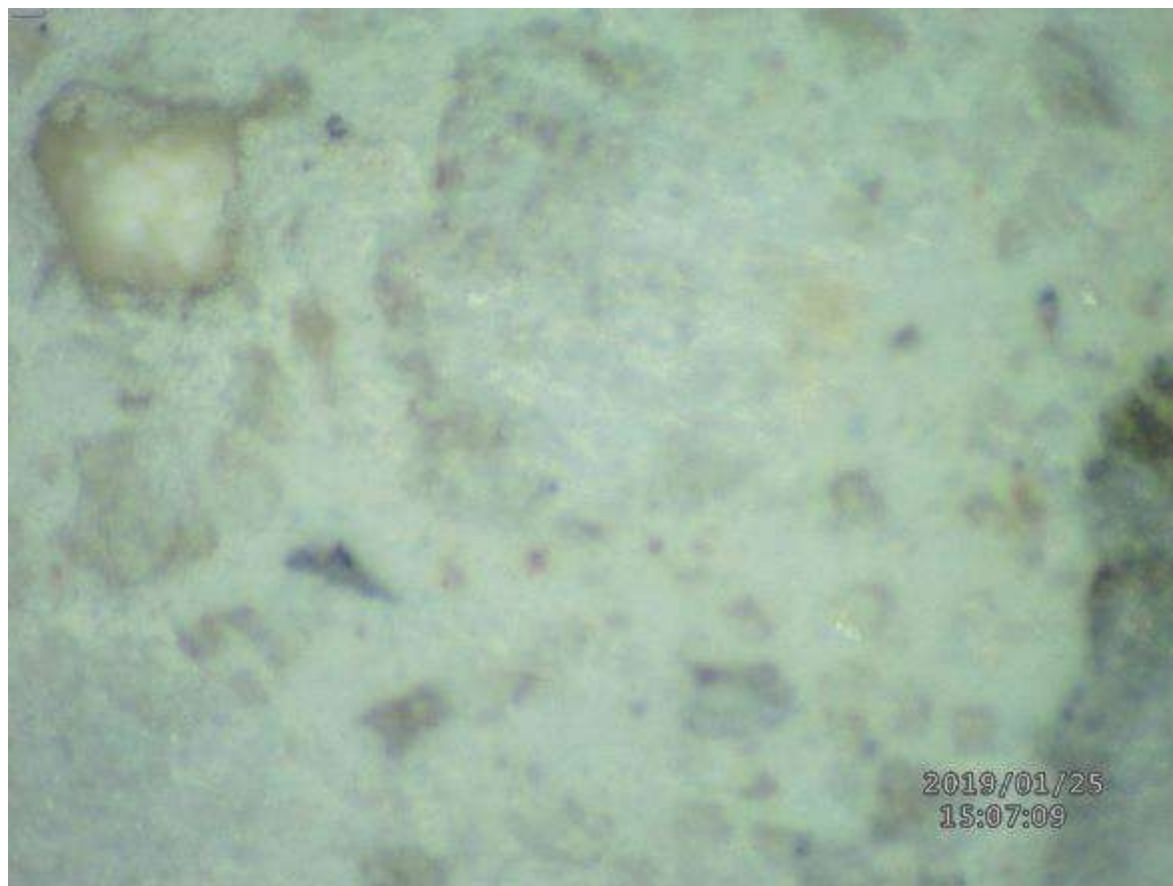


Figura. 4. 178. Microscopia de la C-281118. Fuente: Autoría propia.

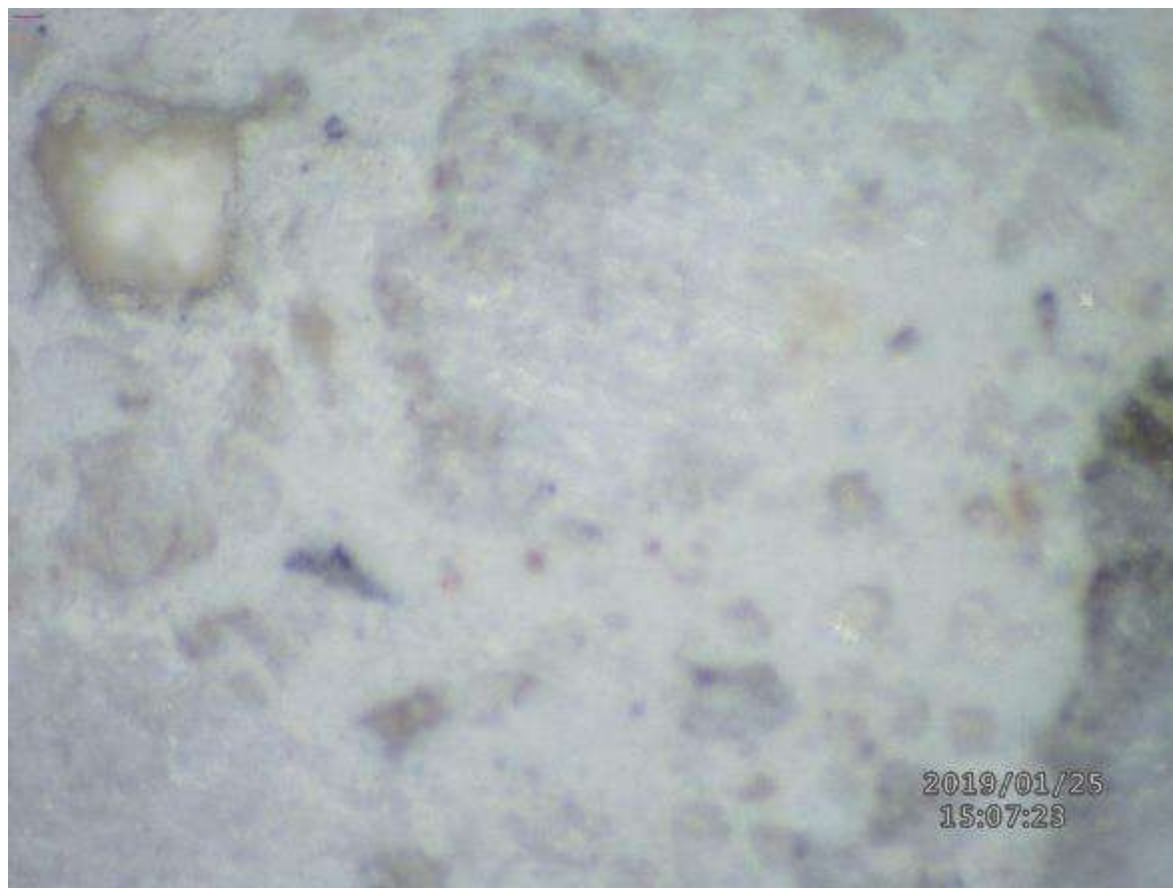


Figura. 4. 179. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-281118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

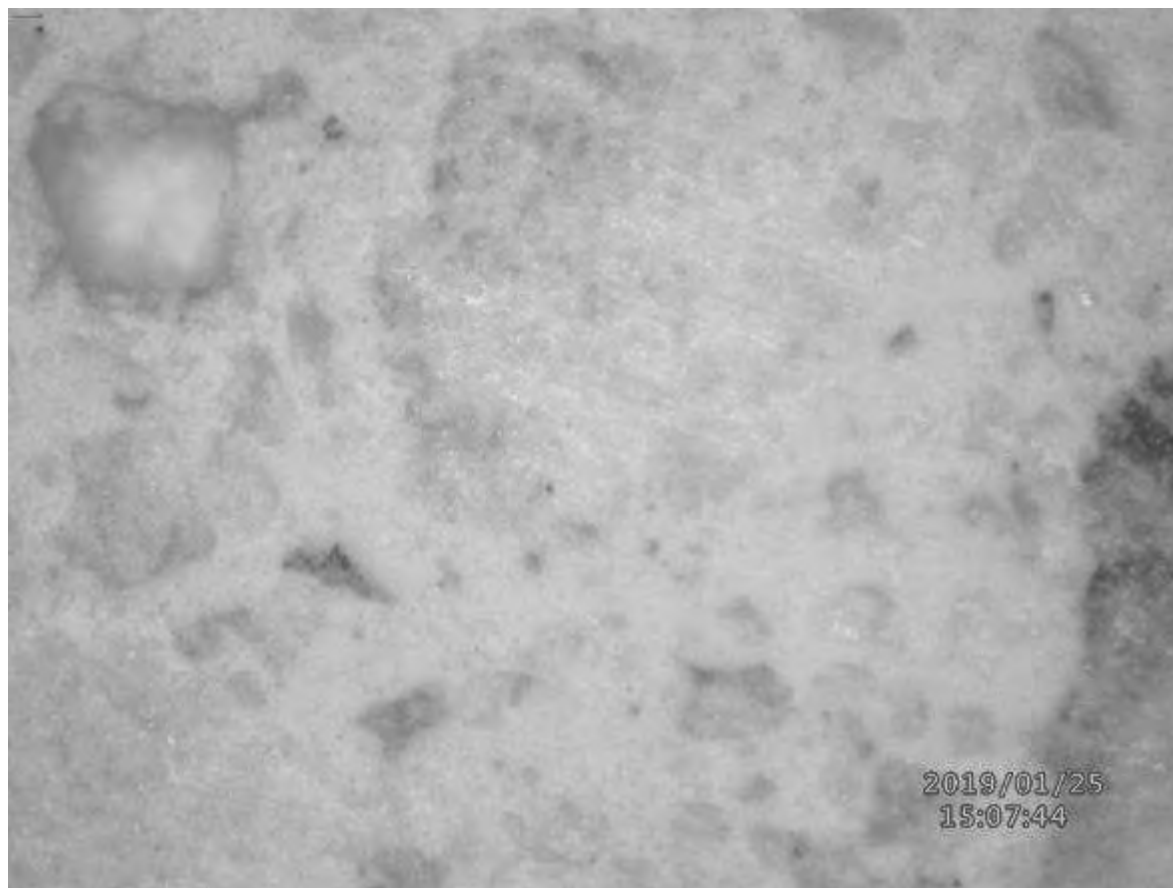


Figura. 4. 180. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-281118, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

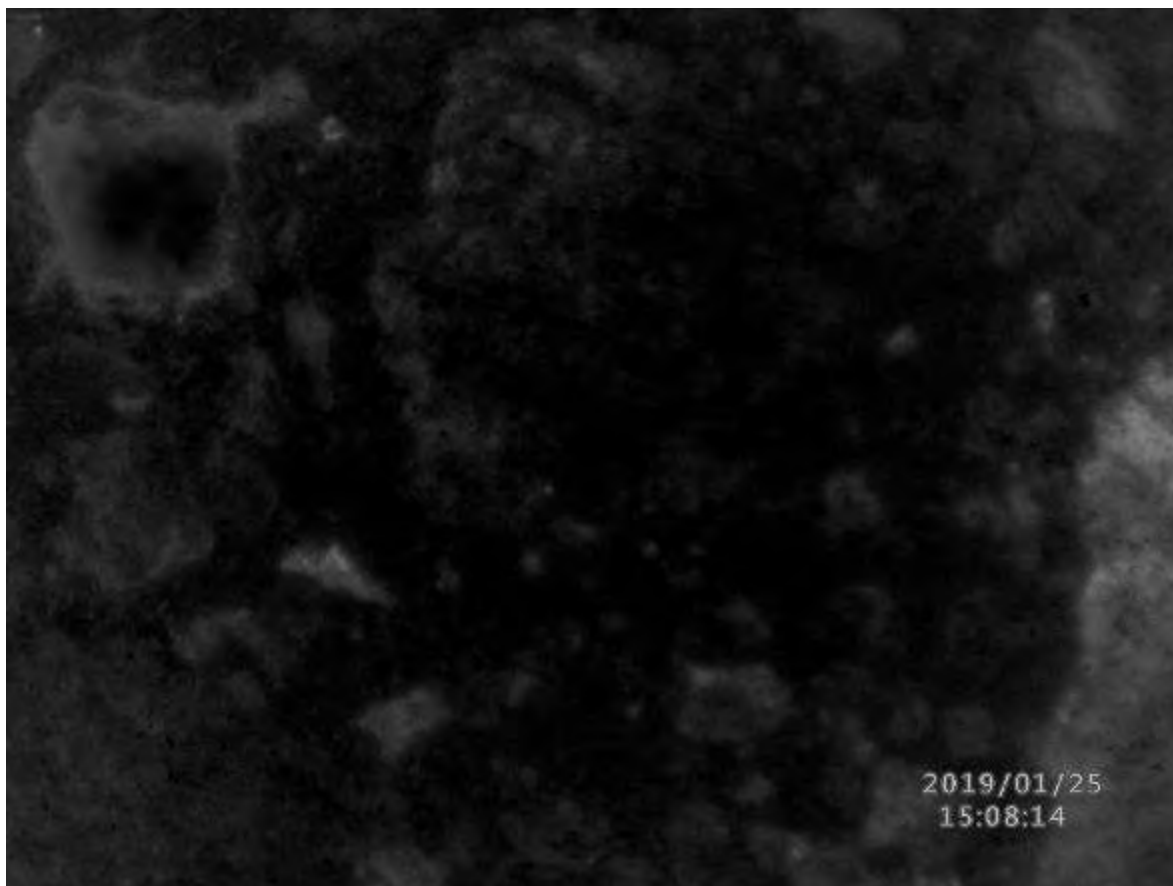


Figura. 4. 181. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-281118, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente.
Fuente: (autoría propia).

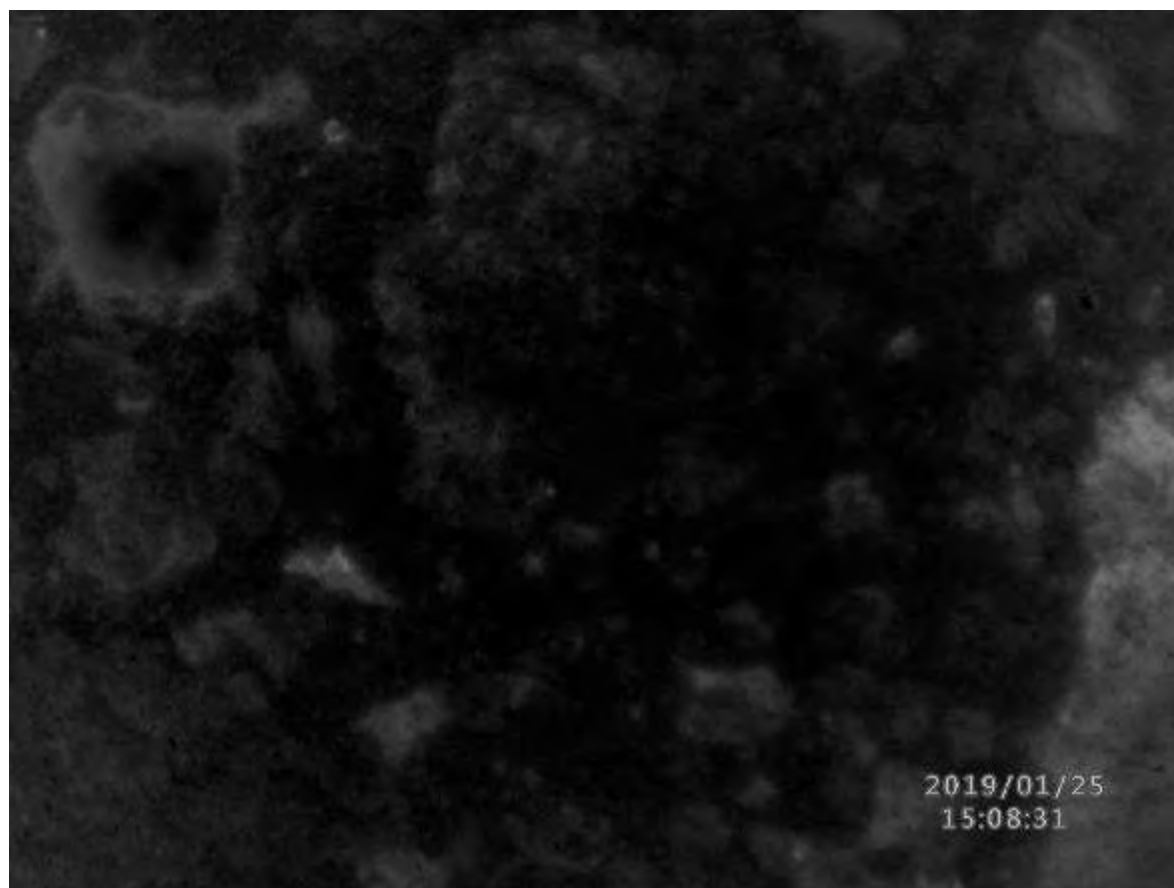


Figura. 4. 182. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-281118, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

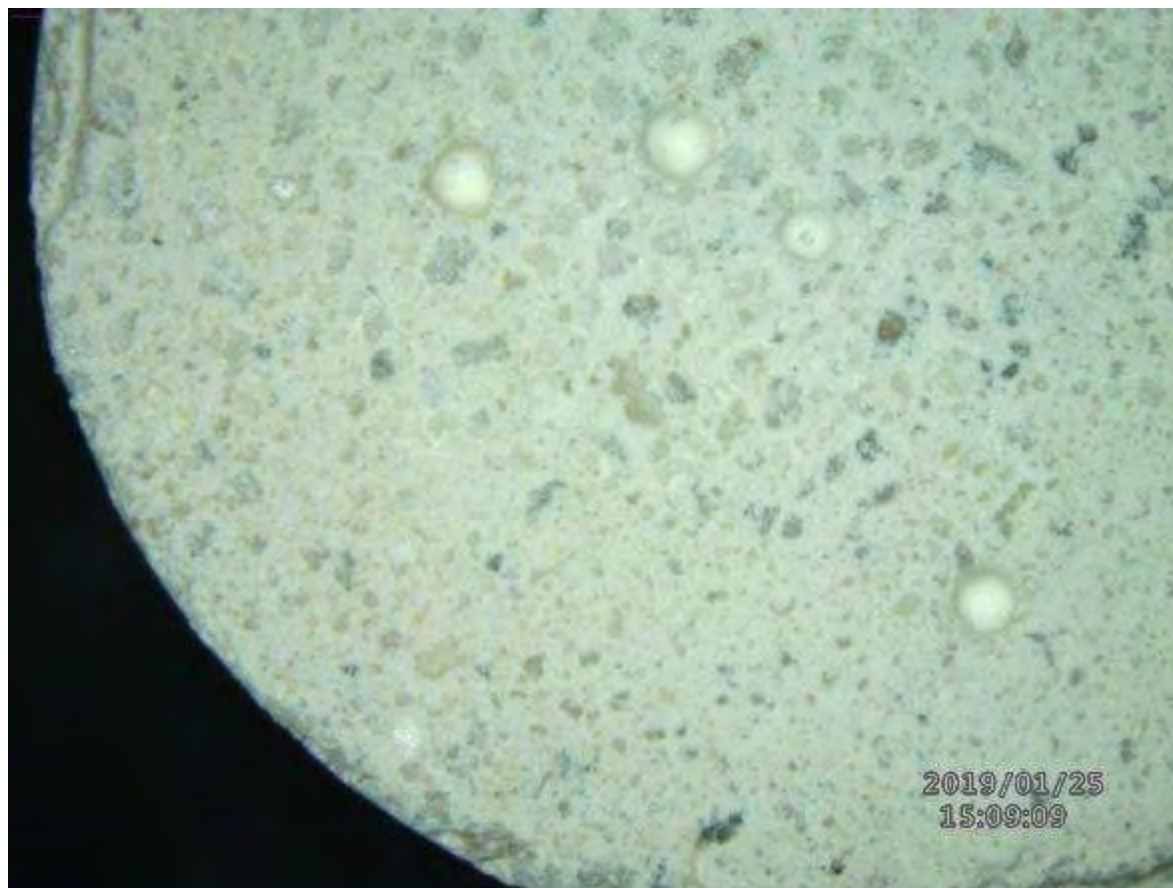


Figura. 4. 183. . Microscopia de la C-281118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

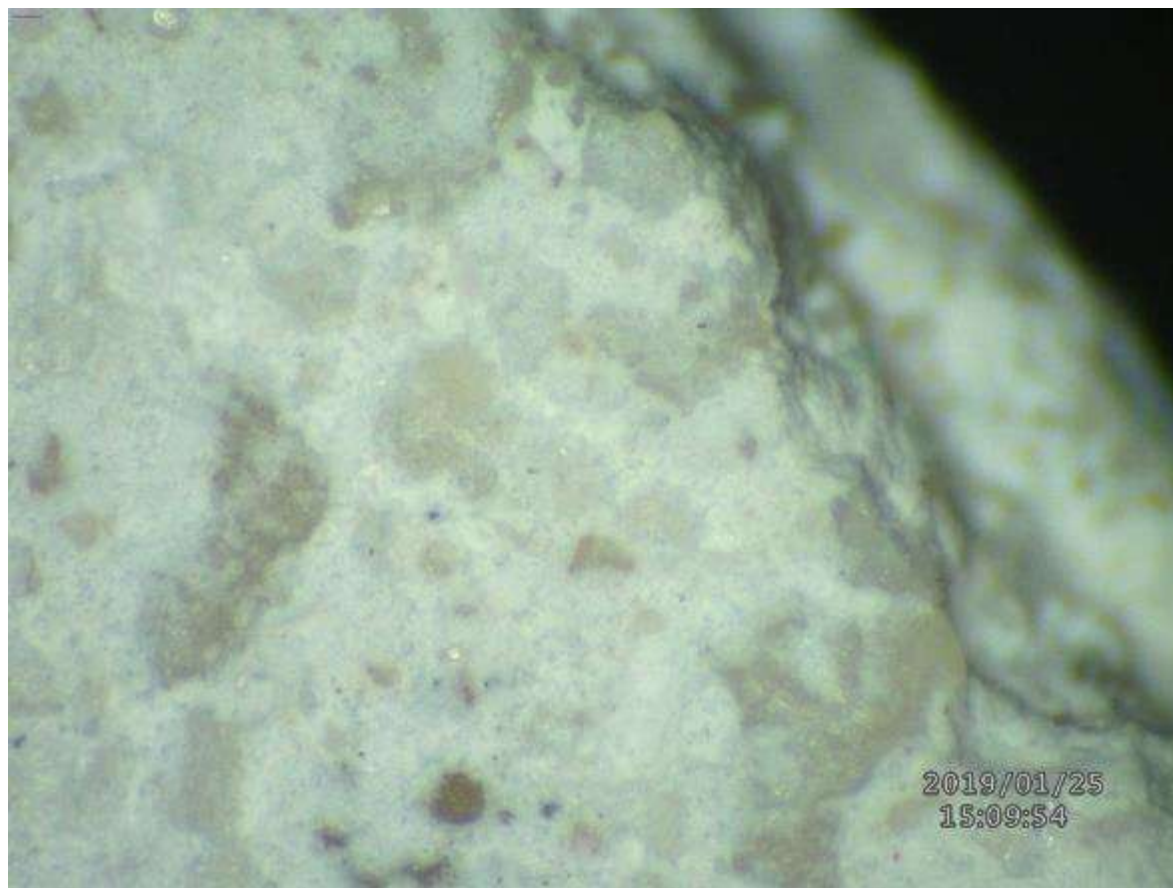


Figura. 4. 184. Microscopia de la C-281118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

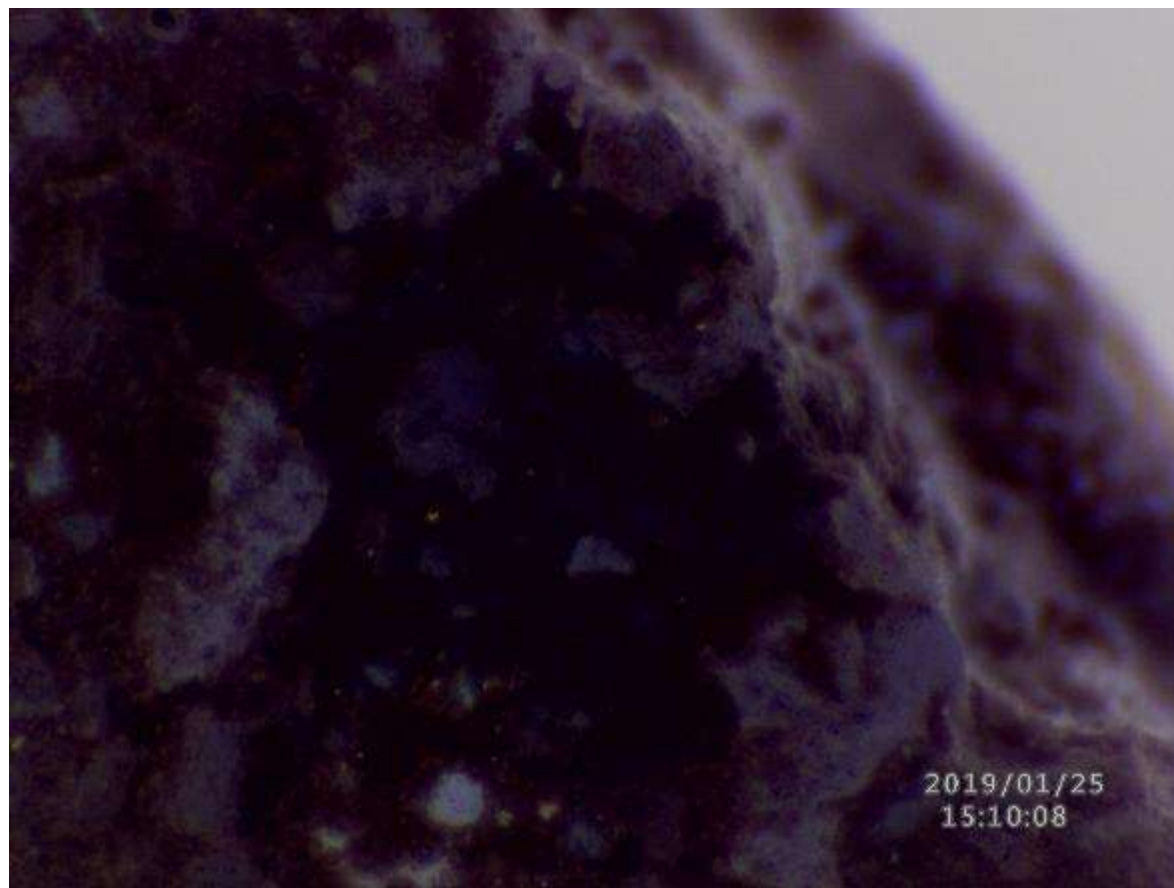


Figura. 4. 185. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-281118, con un filtro negativo bajo una luz normal.
Fuente: (autoría propia).

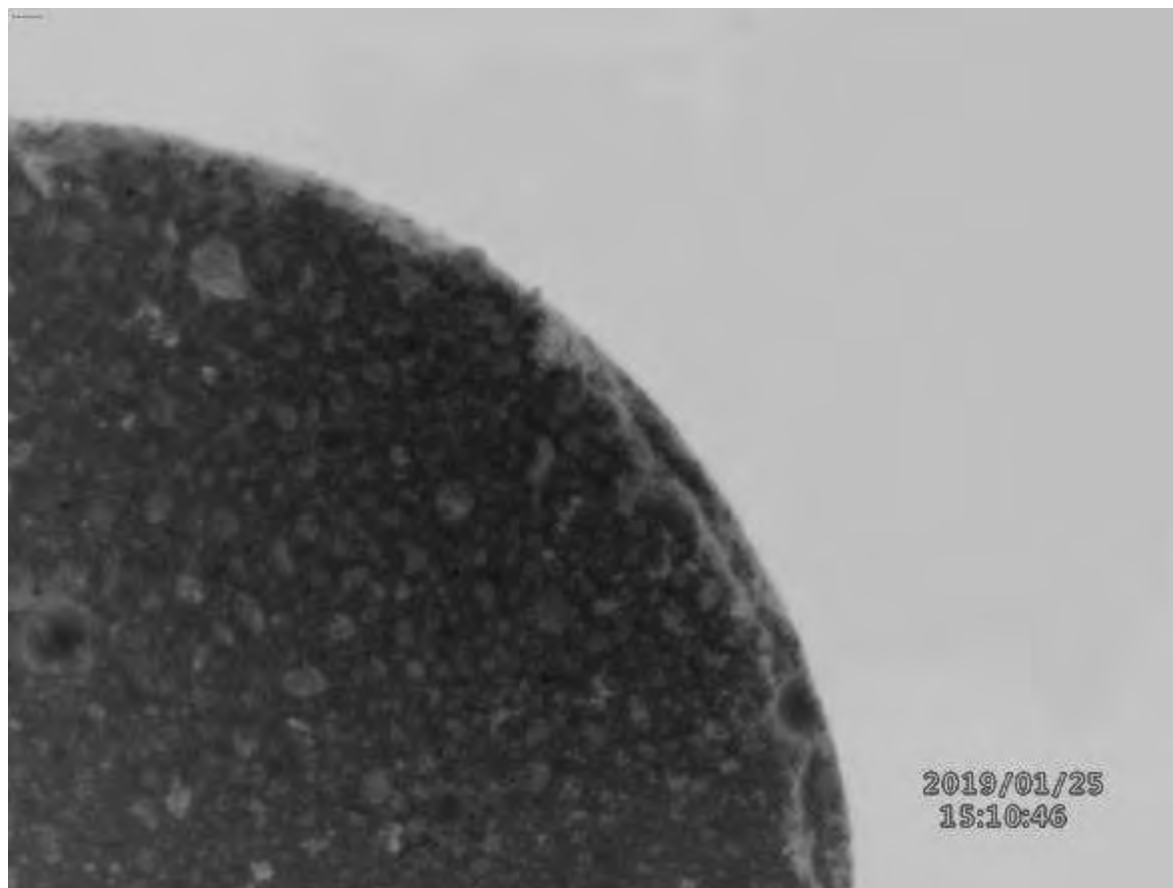
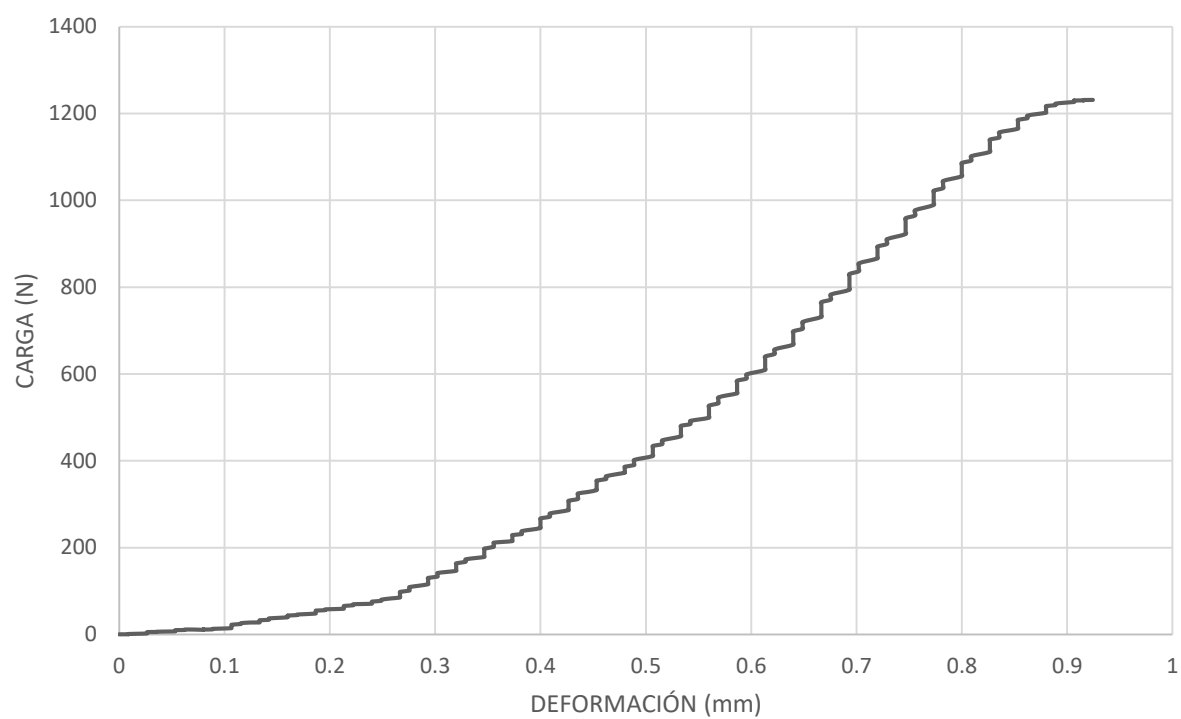


Figura. 4. 186. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-281118, con un filtro negativo bajo una luz normal.
Fuente: (autoría propia).

CARGA-DEFORMACIÓN



Gráficas 4. 15. Curva Carga-Deformación de la C-281118, en N-mm. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 187. Fotografía de la C-281118, en la prensa. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 188. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-281118. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 189 . Fotografías de la corrida C-381118. Fuente: (Autoría propia).

De composición 100% CAL ESTANDAR, 275% MARMOLINA Tipo 2, 10% METACAOLIN, 5% CLORURO DE SODIO, 0% HARINA DE ARRÓZ y A/C= 1:1 (calentada hasta el punto de ebullición y agregada a la mezcla, previamente integrados todos los materiales), de dimensiones iguales a un diámetro de 240mm y longitud de 450mm, que presenta una buena dureza al ser pulido, con poco desprendimiento. (Autoría propia).

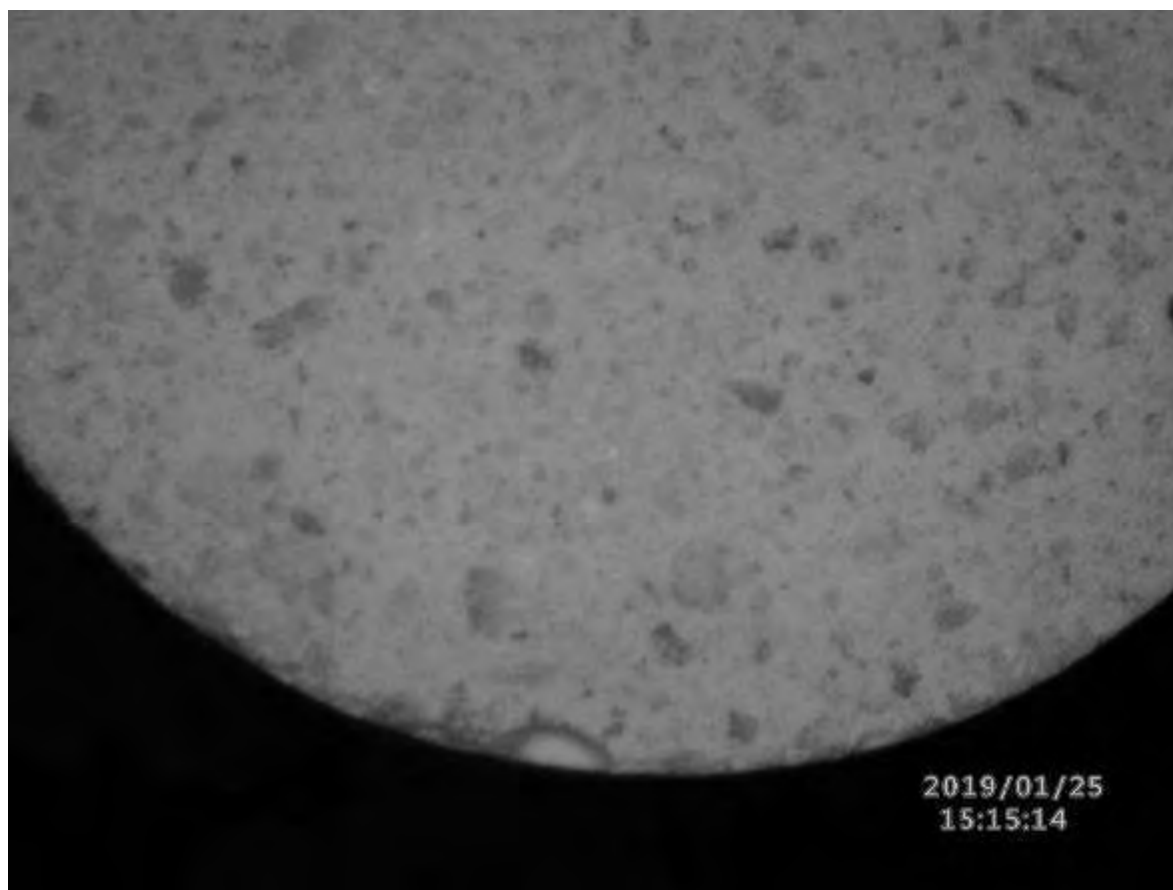


Figura. 4. 190. Microscopia de la C-381118. Fuente: Autoría propia.

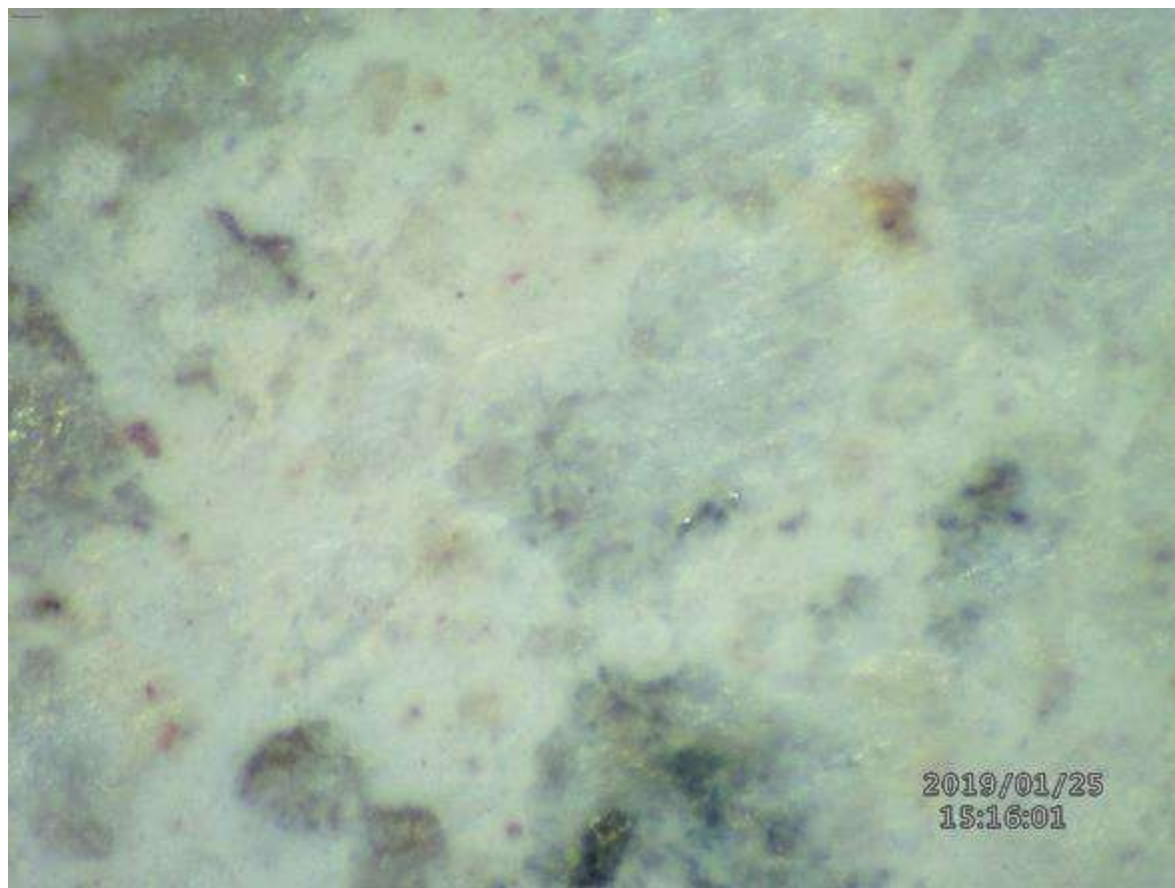


Figura. 4. 191. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-381118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

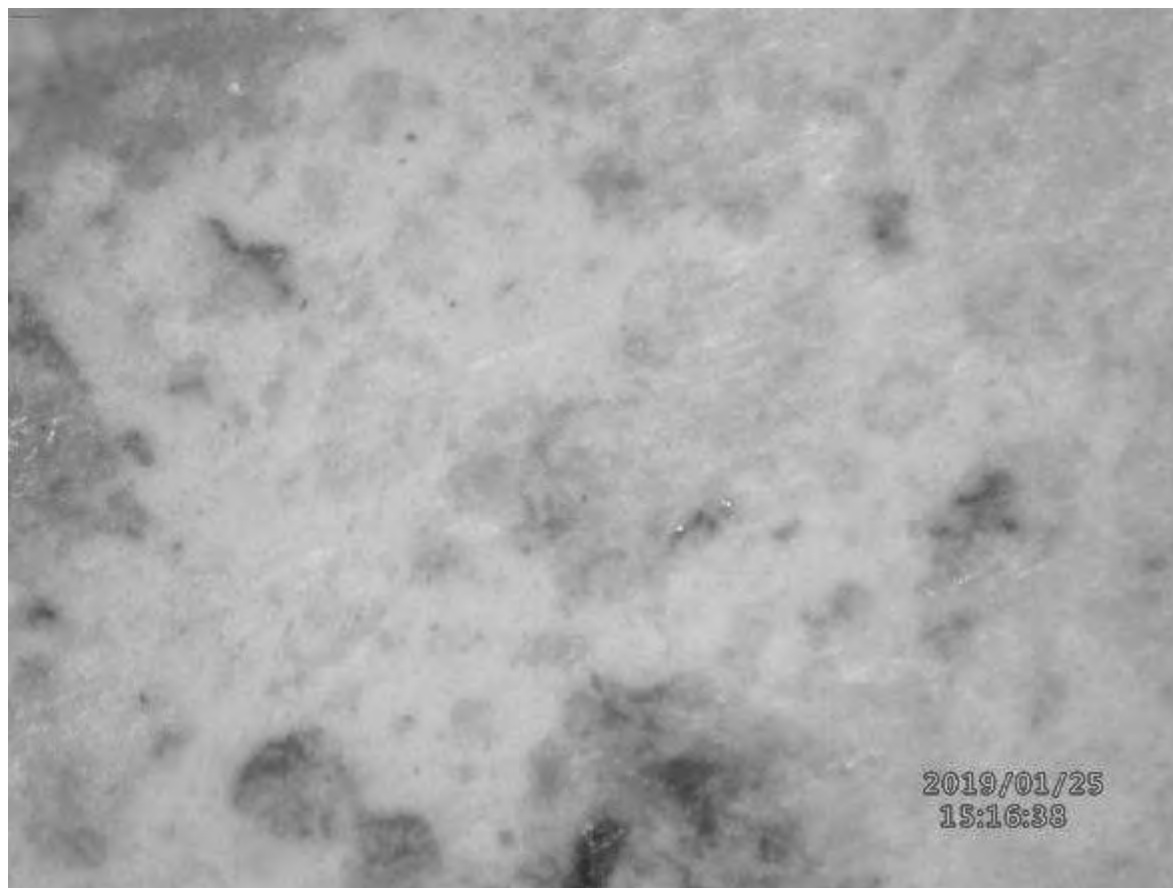


Figura. 4. 192. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-381118, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

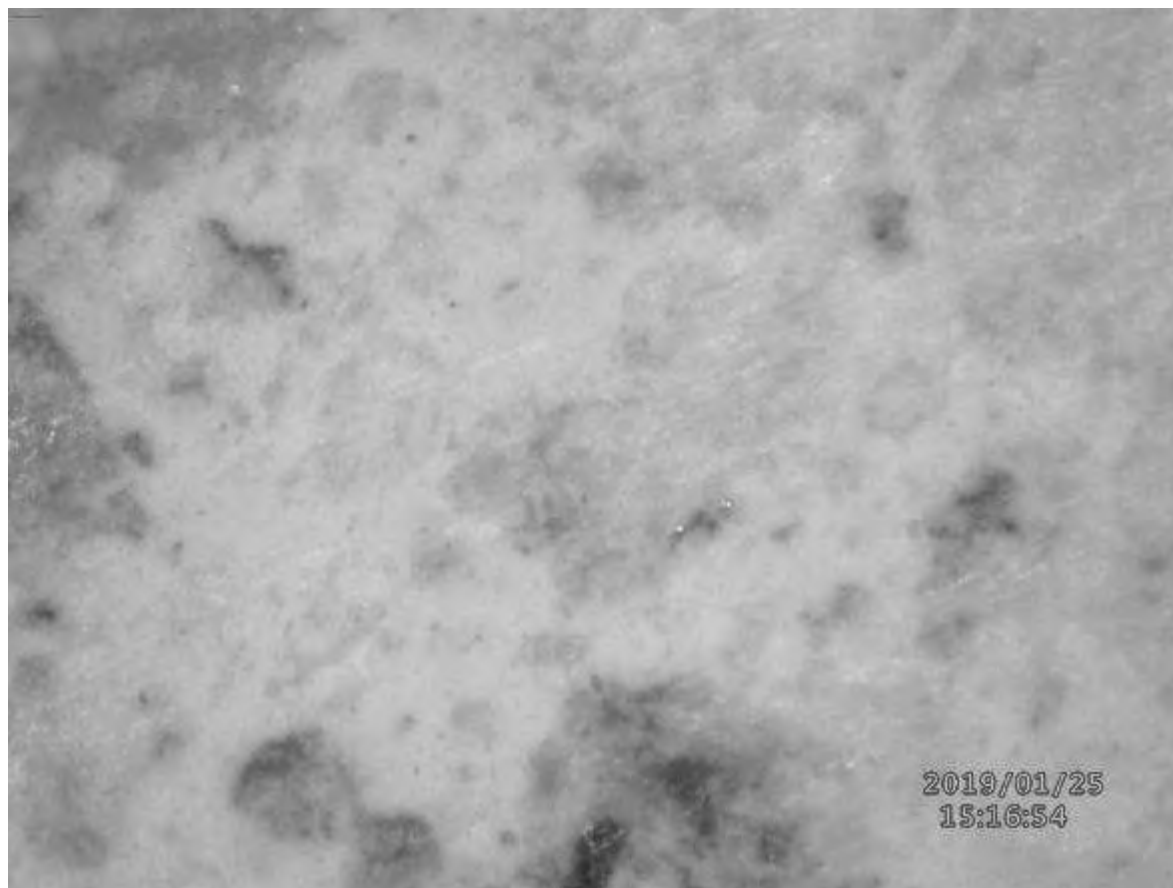


Figura. 4. 193. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-381118, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

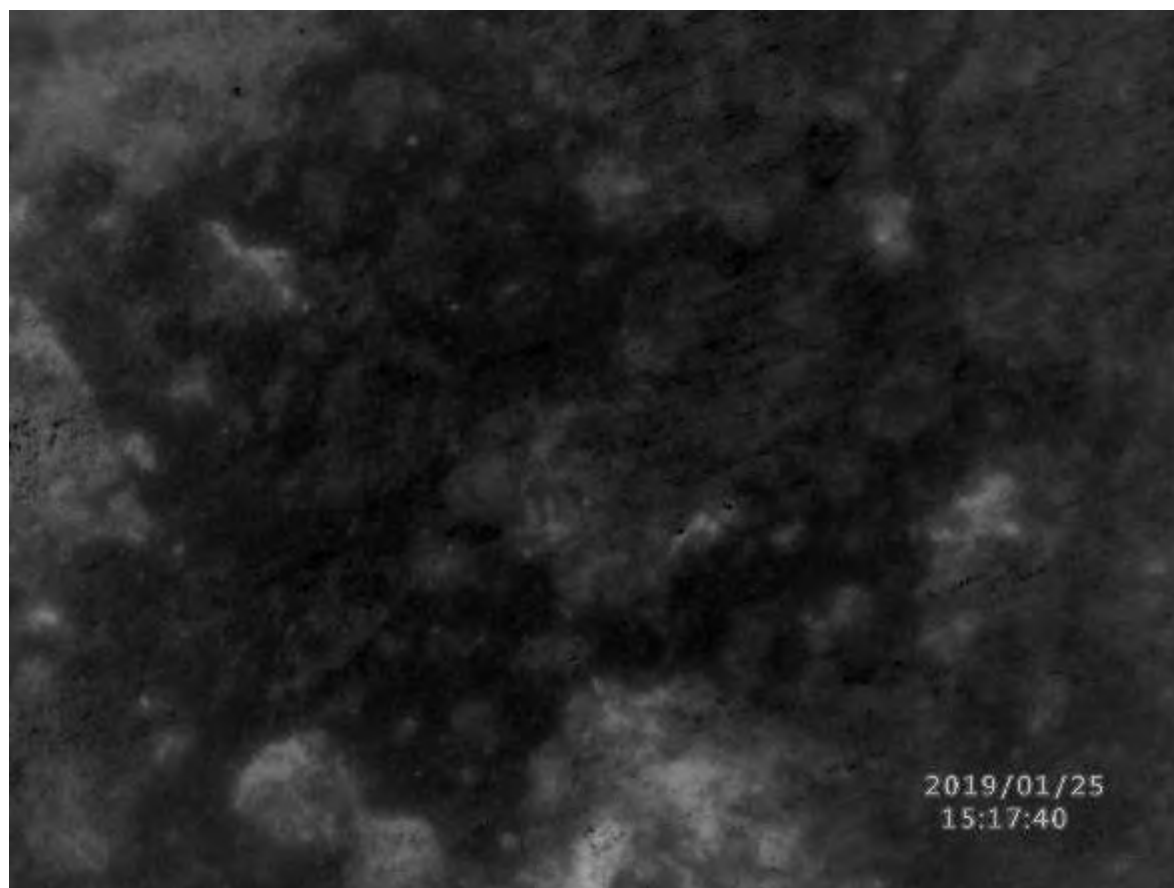


Figura. 4. 194. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-381118, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

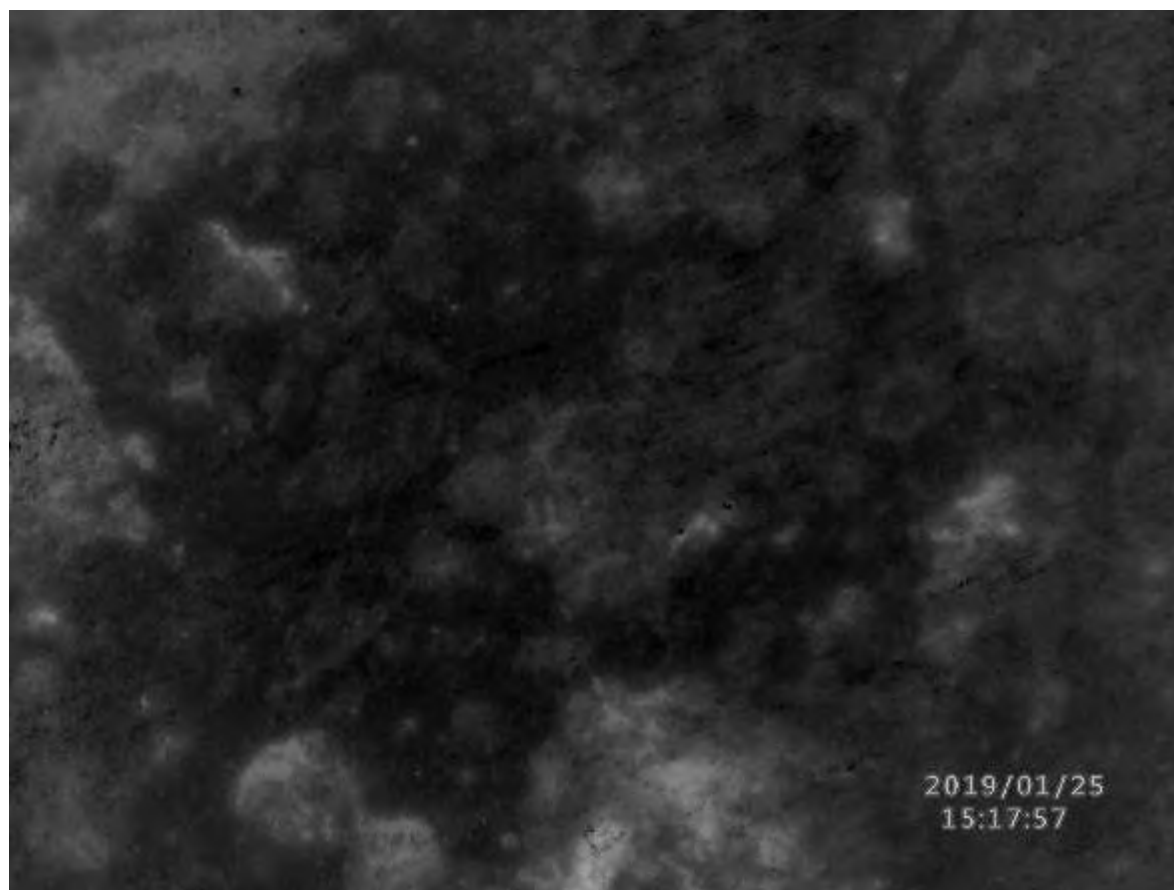


Figura. 4. 195. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-381118, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

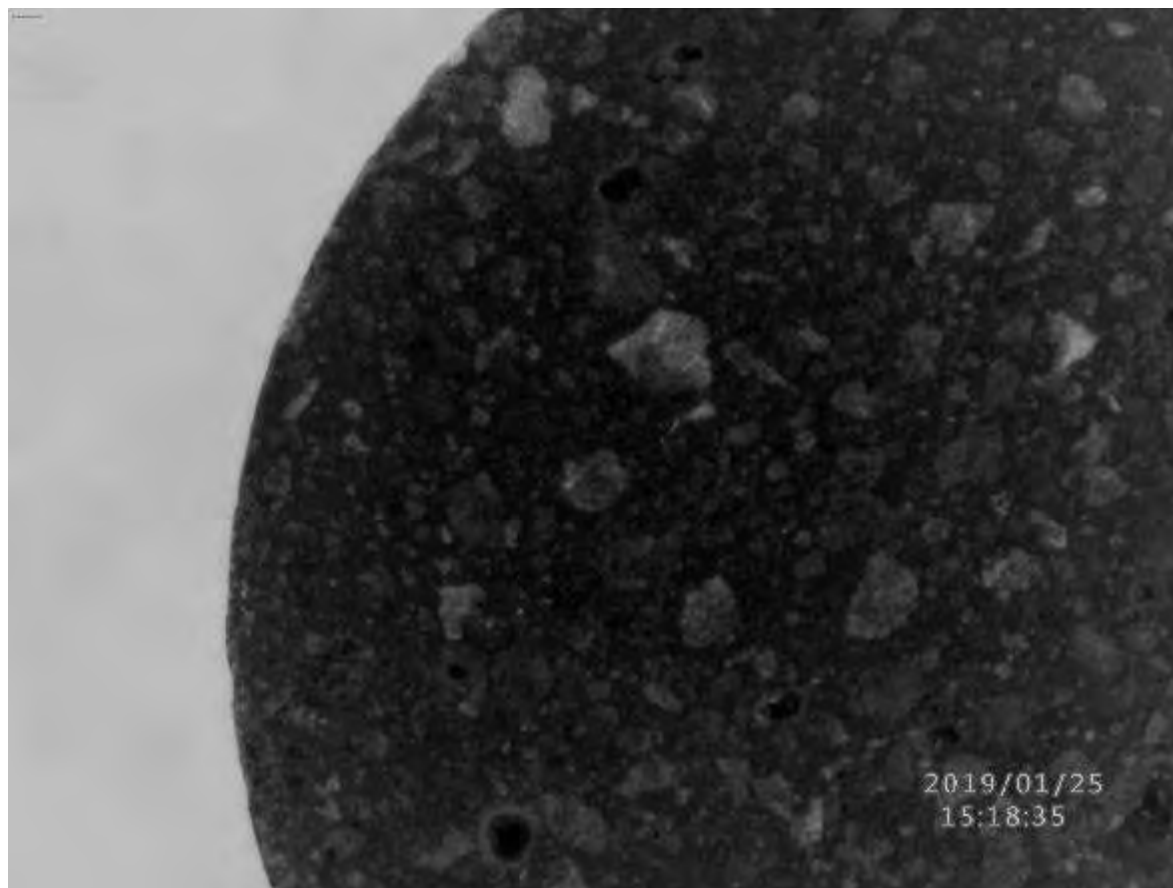


Figura. 4. 196. Figura. 4. 197. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-381118, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).

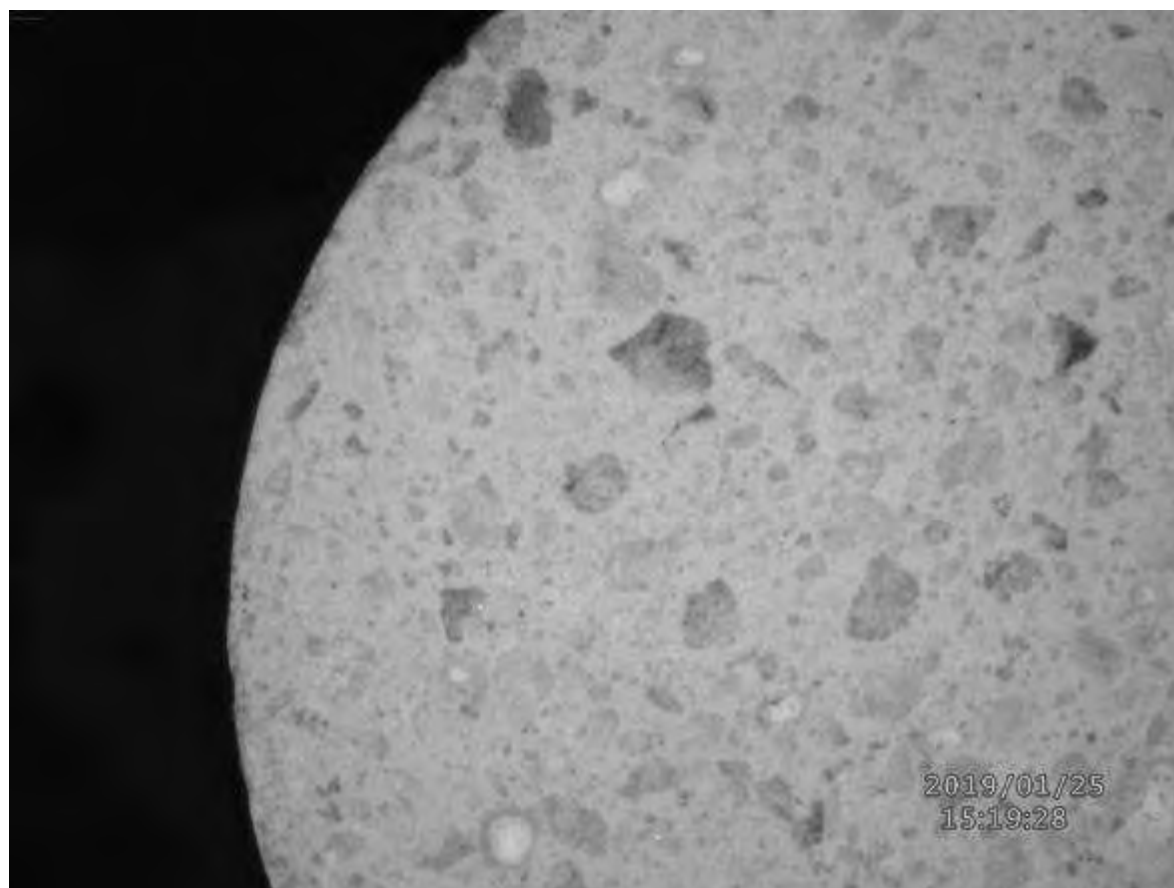


Figura. 4. 198. Microscopia de la C-381118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

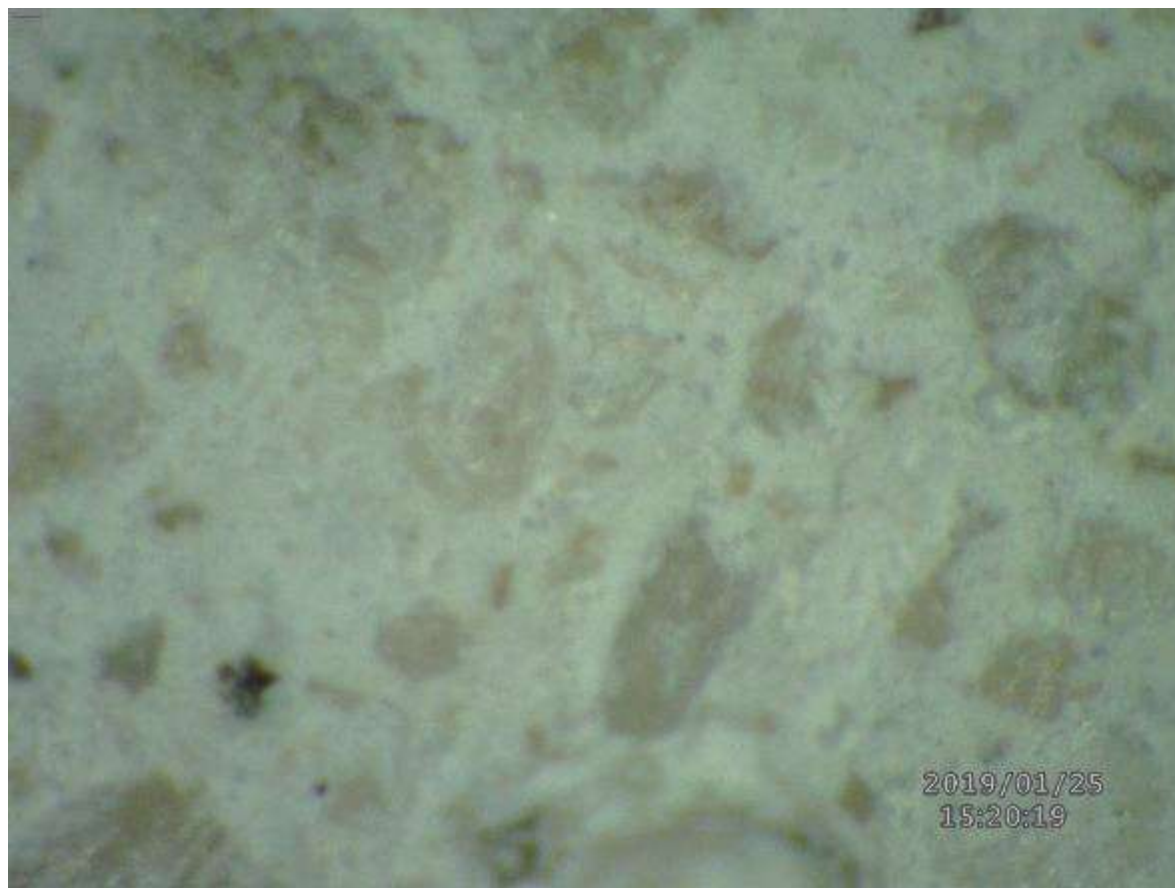


Figura. 4. 199. Microscopia de la C-381118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

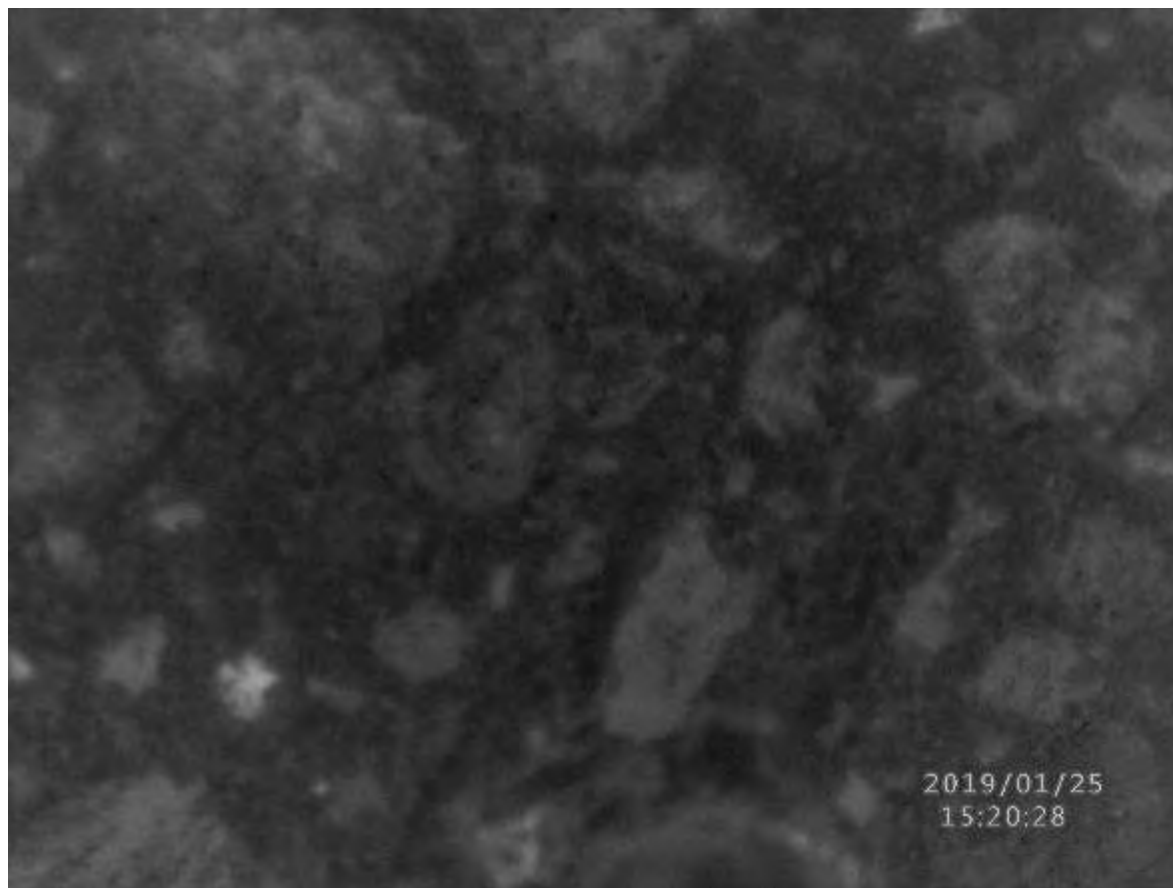


Figura. 4. 200. Microscopía aumentada digitalmente, de la C-381118, con un filtro negativo bajo una luz normal. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 201. Imágenes de la corrida C-381118, con presencia de eflorescencias en su parte externa. (autoría propia).

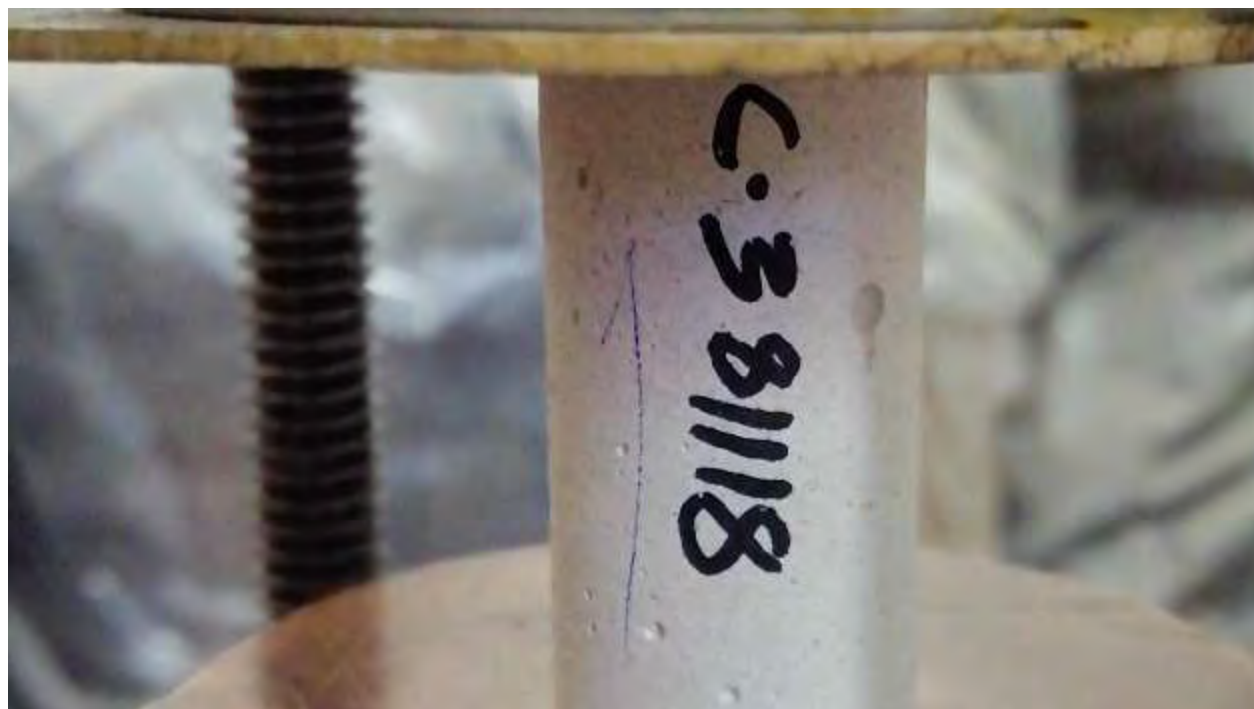
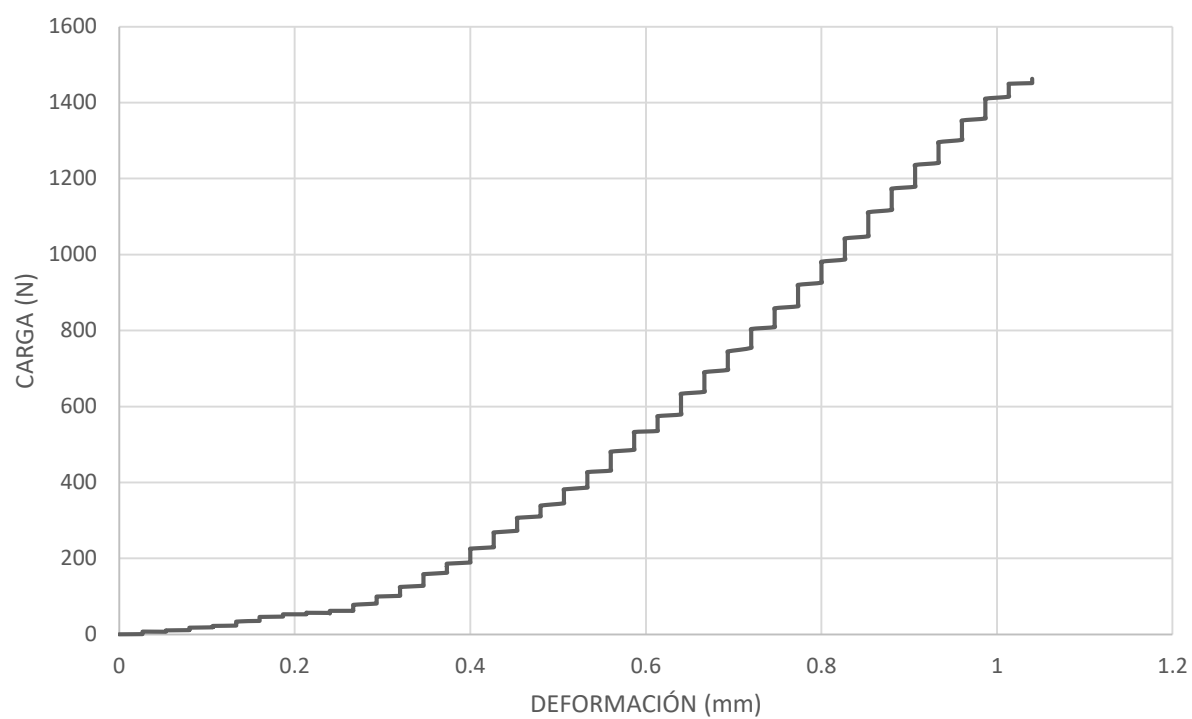


Figura. 4. 202. Fotografía de la C-381118, en la prensa. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 203. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-381118. Fuente: (autoría propia).

CARGA-DEFORMACIÓN



Gráficas 4. 16. Curva Carga-Deformación de la C-381118, en N-mm. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 204. Fotografías de la corrida C-481118. Fuente: (Autoría propia).

De composición 100% CAL ESTANDAR, 275% MARMOLINA Tipo 2, 10% METACAOLIN, 10% CLORURO DE SODIO, 10% HARINA DE ARRÓZ y A/C= 1.1:1 (calentada hasta el punto de ebullición y agregada a la mezcla, previamente integrados todos los materiales), de dimensiones iguales a un diámetro de 240mm y longitud de 450mm, que presenta una buena dureza al ser pulido, con moderado desprendimiento. (Autoría propia).

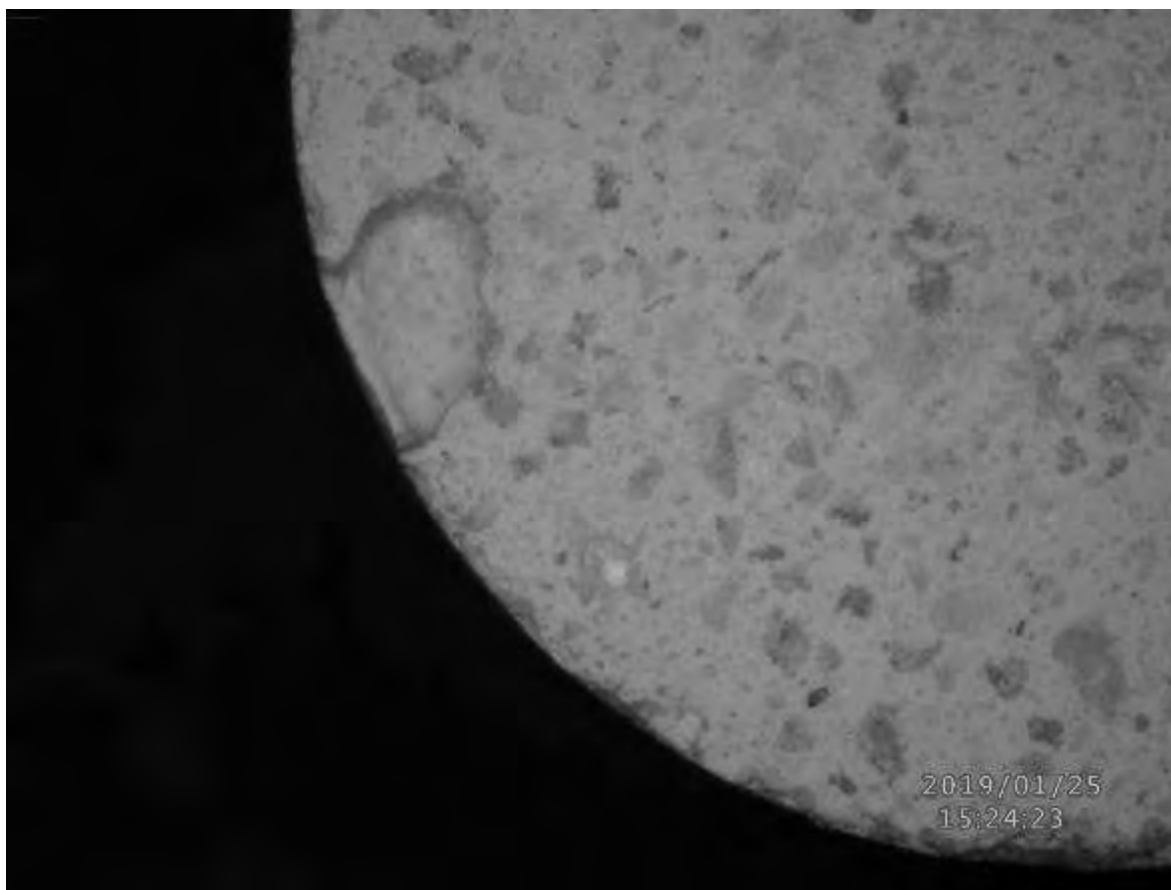


Figura. 4. 205 . Microscopia de la C-4811118. Fuente: Autoría propia.

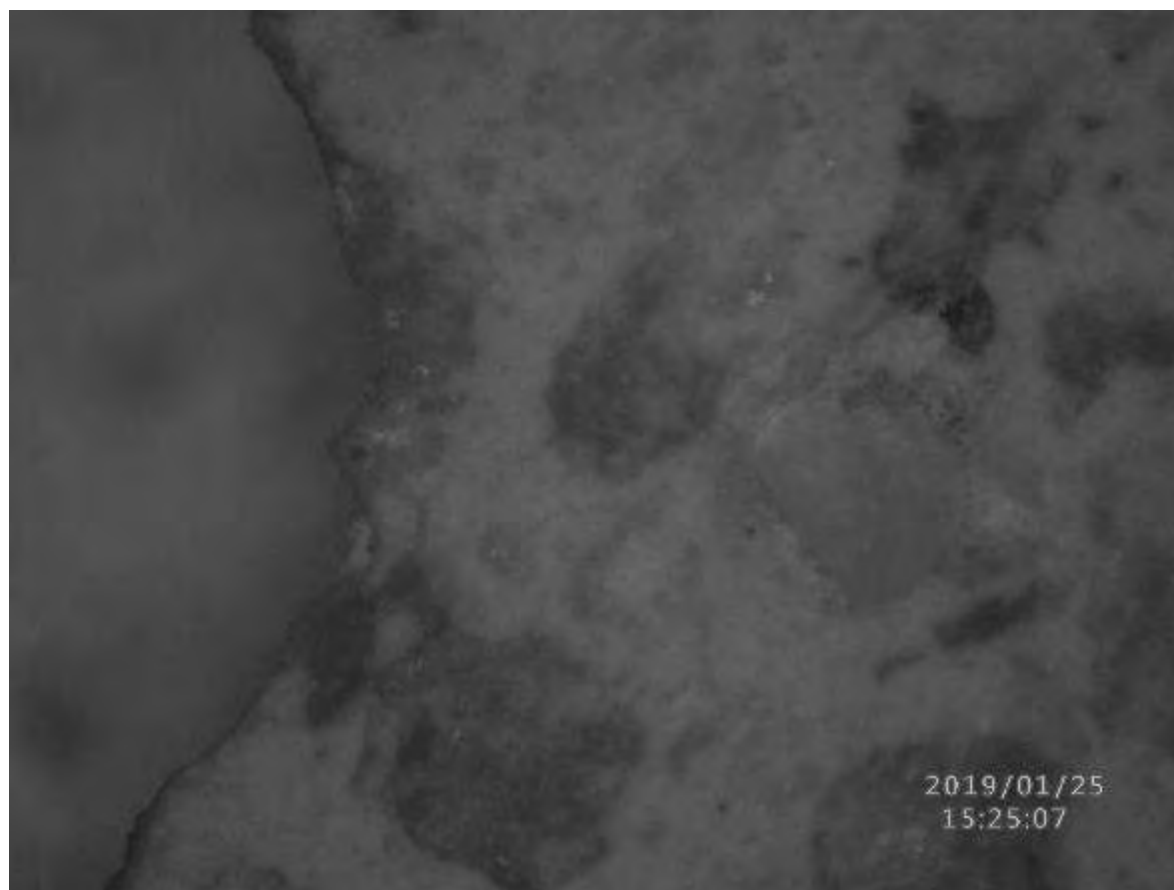


Figura. 4. 206. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-481118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

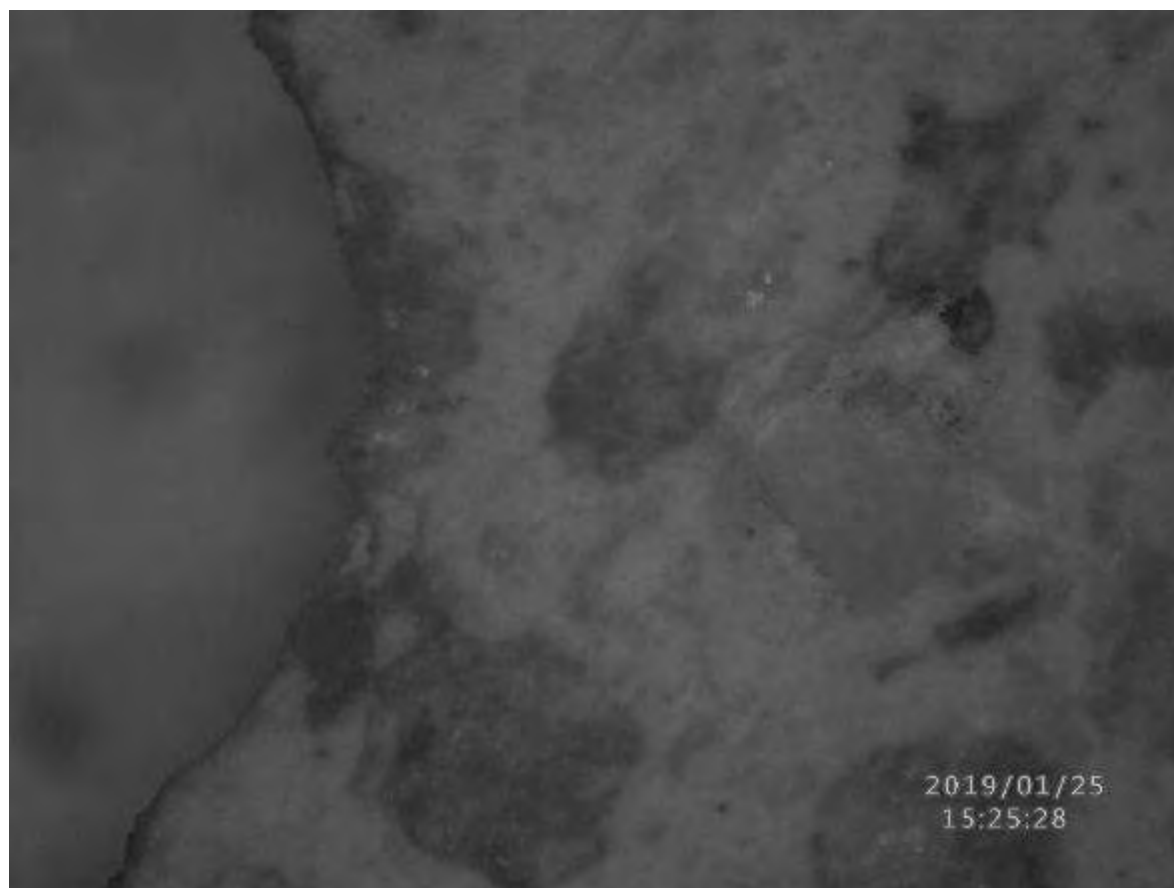


Figura. 4. 207. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-481118, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

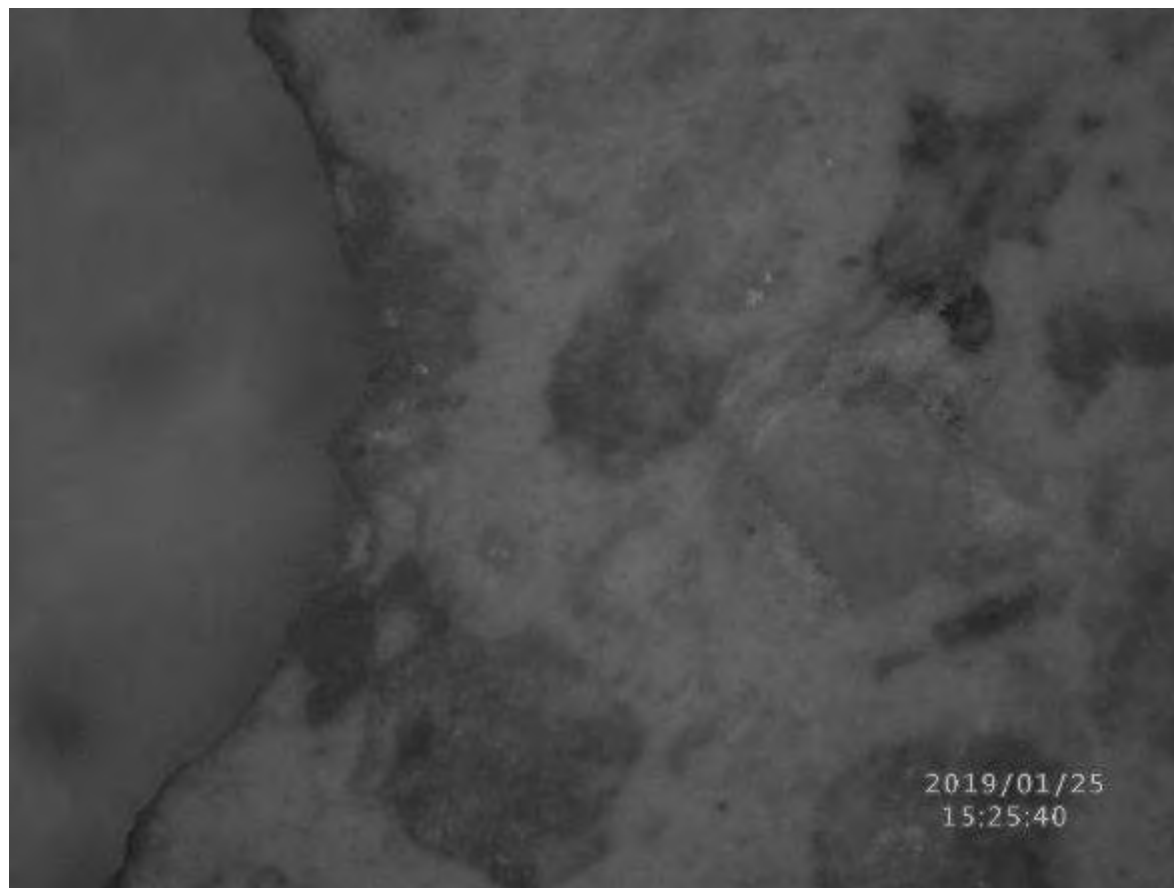


Figura. 4. 208. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-481118, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

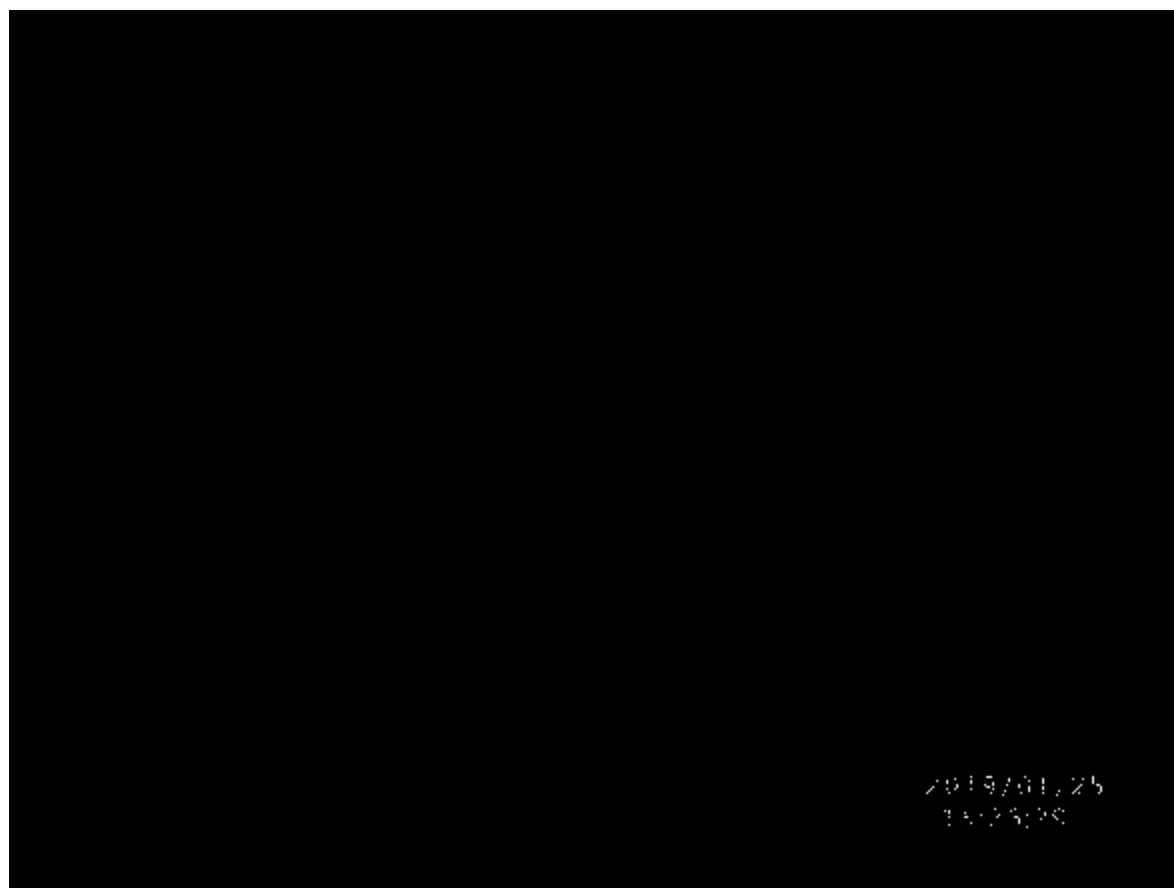


Figura. 4. 209. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-481118, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

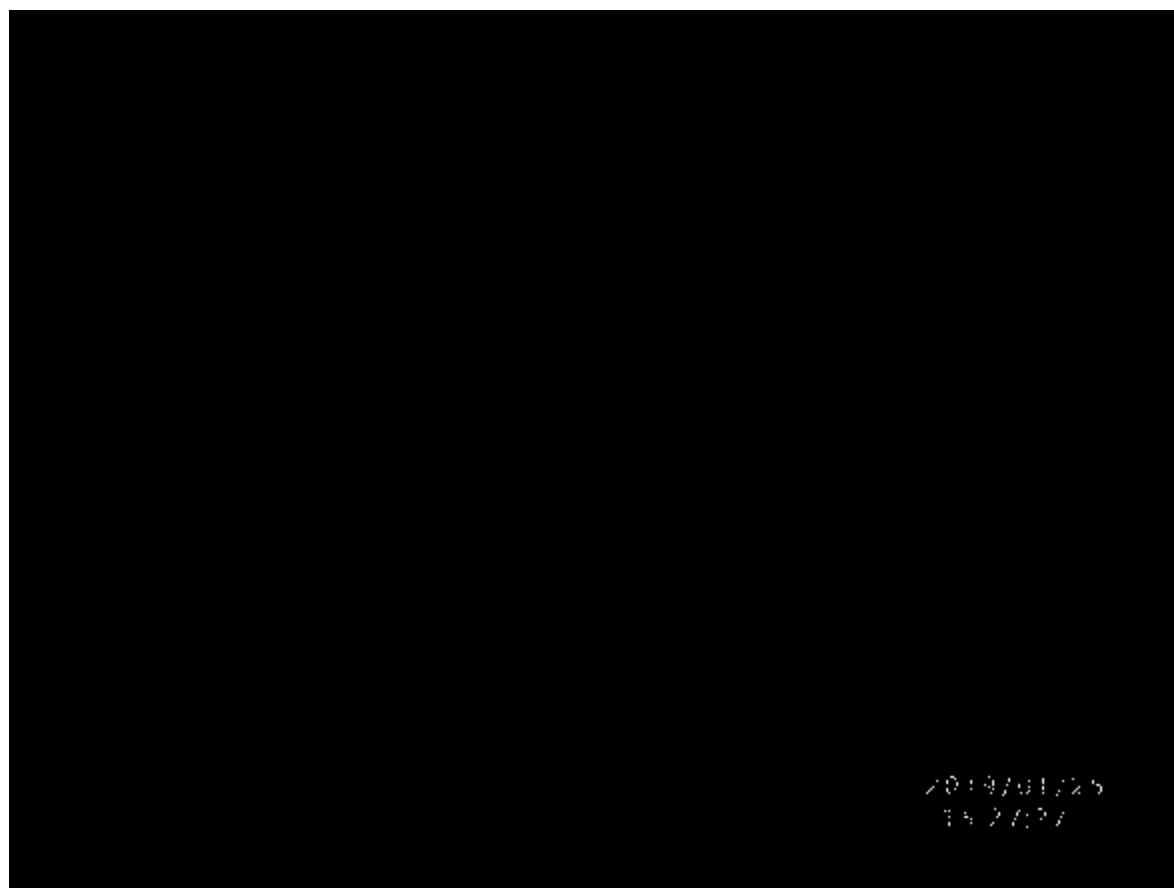


Figura. 4. 210. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-481118, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

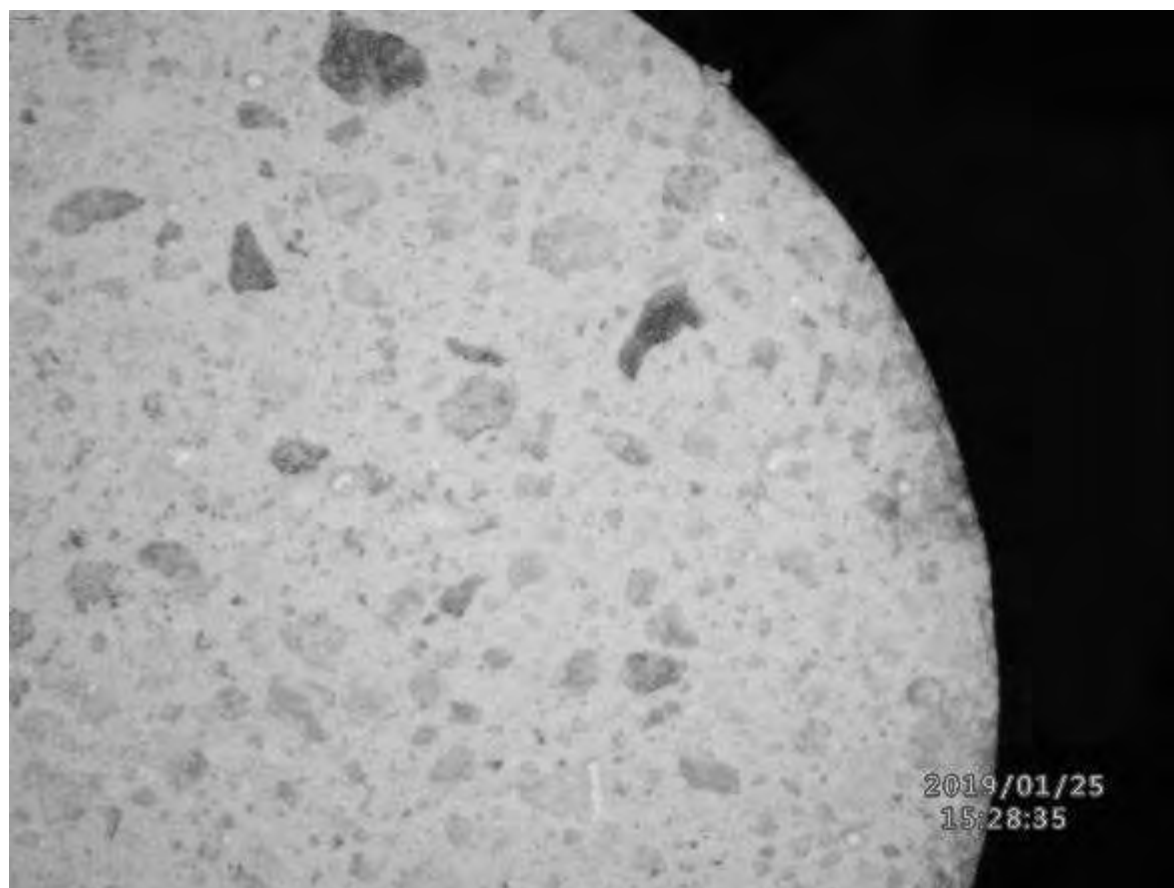


Figura. 4. 211. Microscopia de la C-481118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

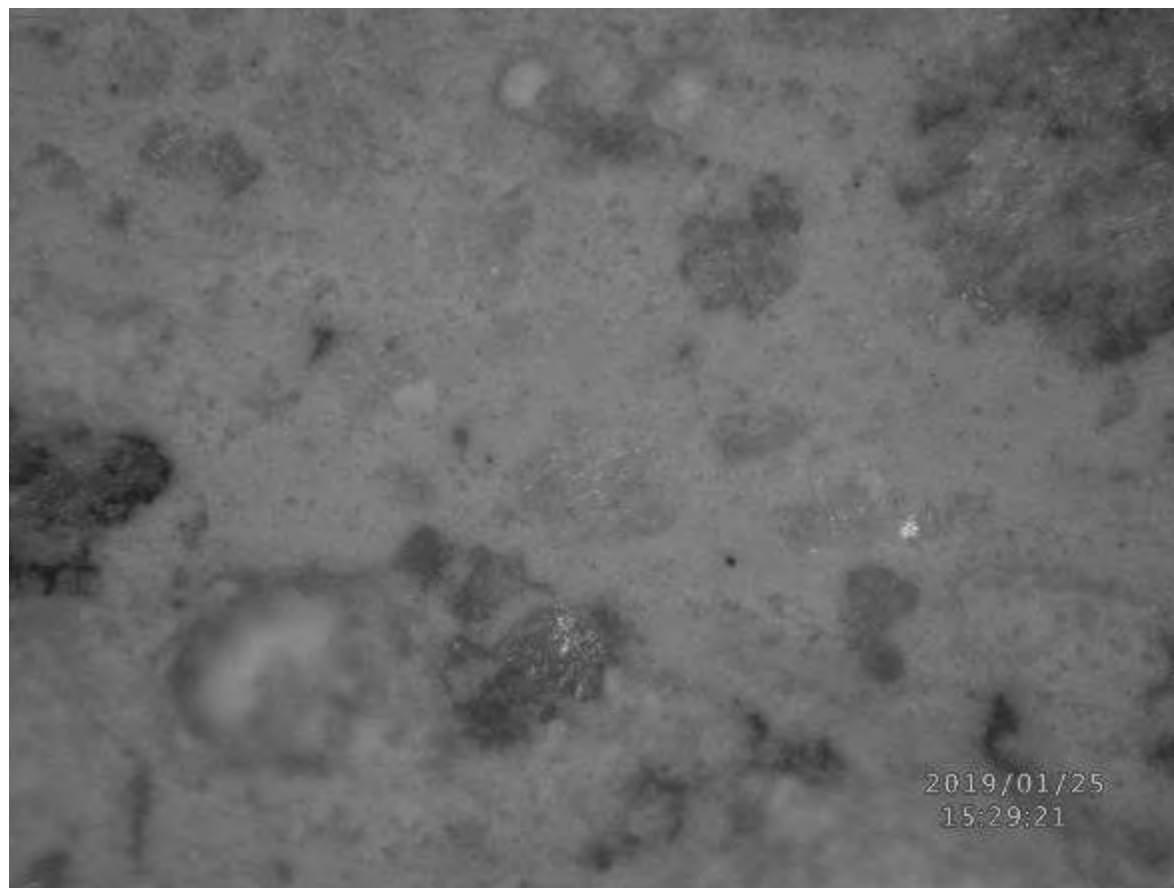


Figura. 4. 212. Microscopia de la C-481118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

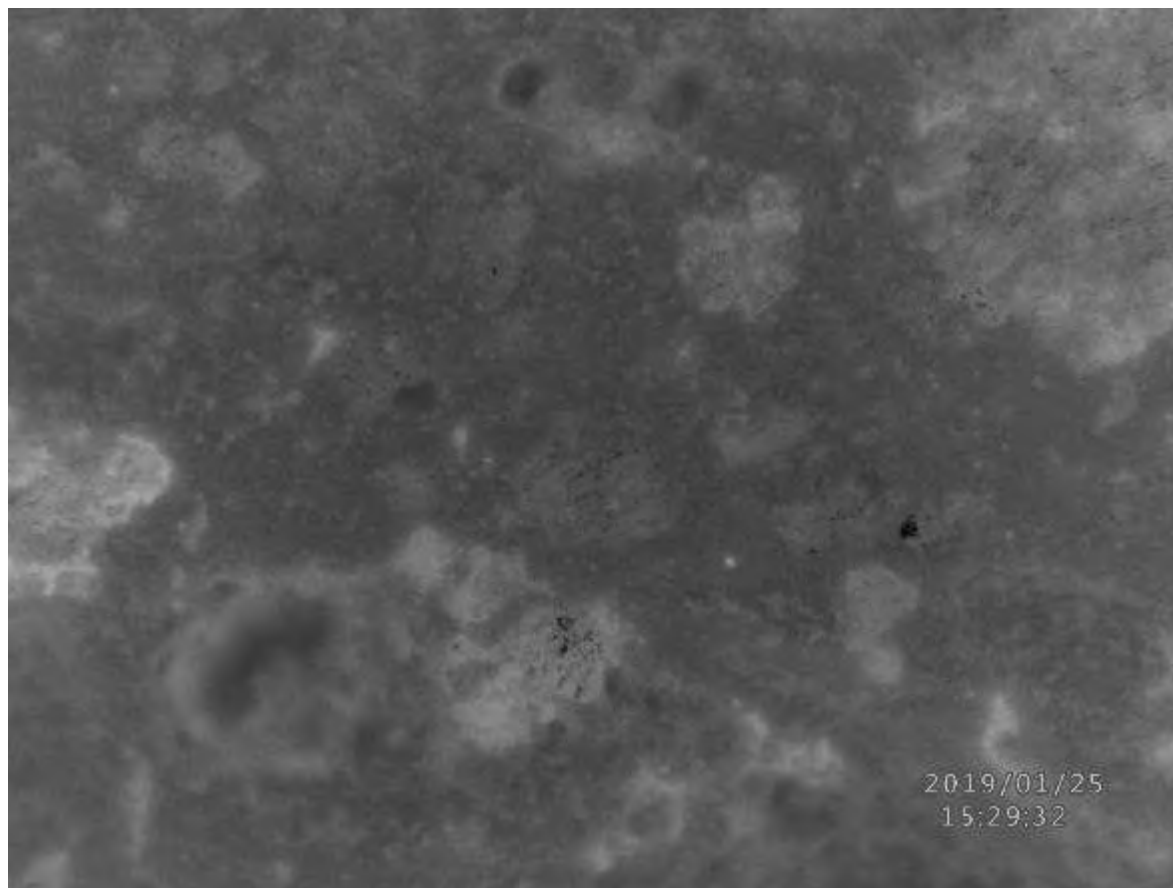


Figura. 4. 213. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-481118, con un filtro negativo bajo una luz normal.
Fuente: (autoría propia).

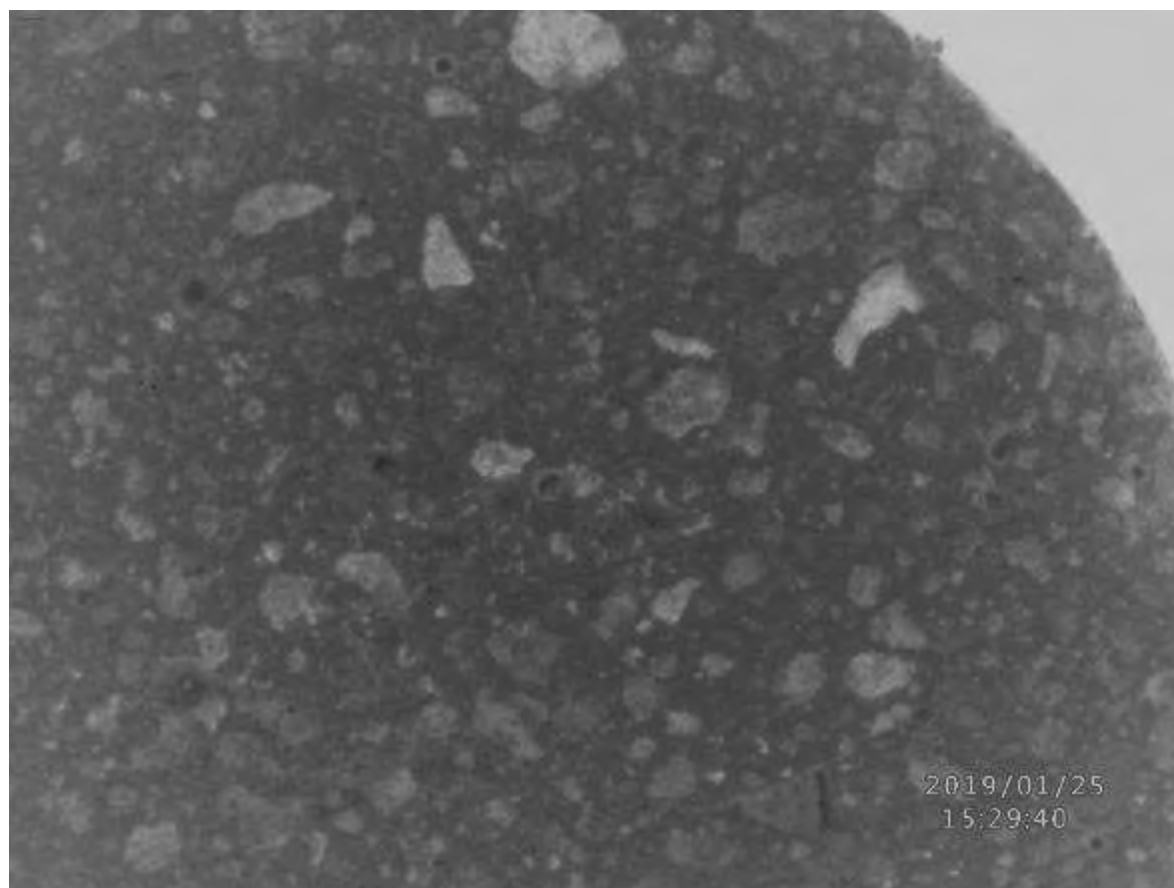
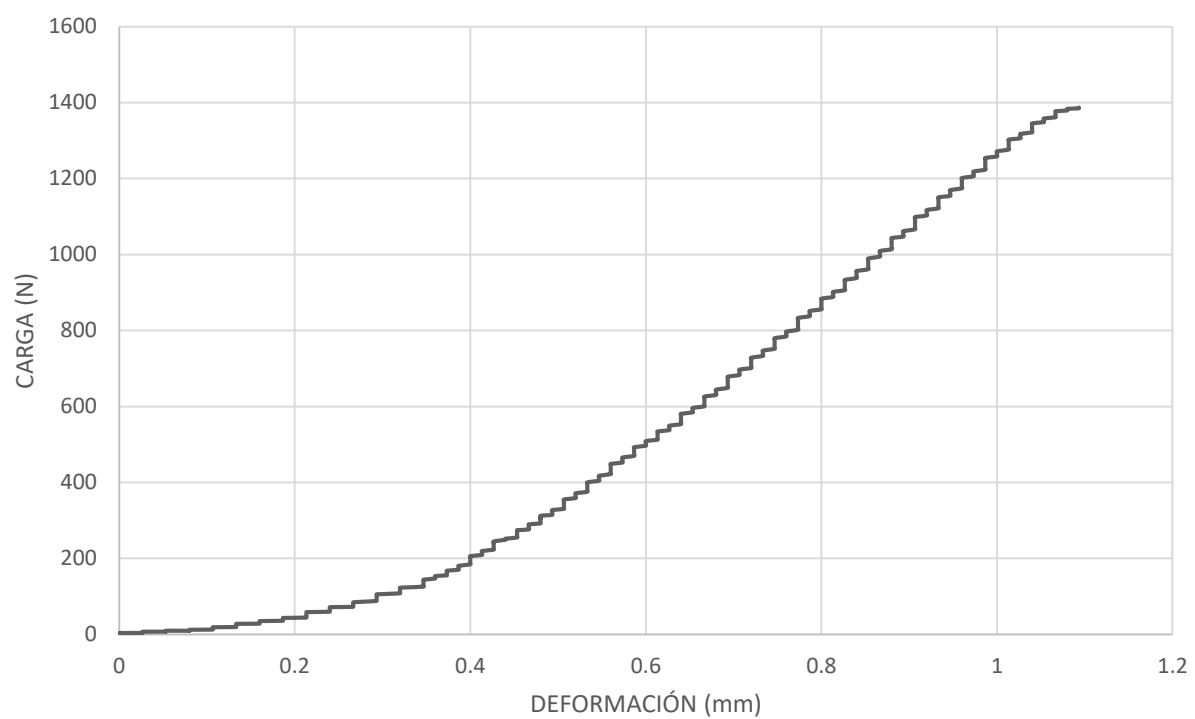


Figura. 4. 214. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-481118, con un filtro negativo bajo una luz normal.
Fuente: (autoría propia).

CARGA-DEFORMACIÓN



Gráficas 4. 17. Curva Carga-Deformación de la C-481118, en N-mm. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 215. Fotografía de la C-481118, en la prensa. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 216. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-481118. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 217. Fotografías de la corrida C-581118. Fuente: (Autoría propia).

De composición 100% CAL ESTANDAR, 275% MARMOLINA Tipo 2, 10% METACAOLIN, 10% CLORURO DE SODIO, 10% HARINA DE ARRÓZ y A/C= 1:1 (calentada hasta el punto de ebullición y agregada a la mezcla, previamente integrados todos los materiales), de dimensiones iguales a un diámetro de 24.0mm y longitud de 45.0mm, que presenta una buena dureza al ser pulido, con poco desprendimiento. (Autoría propia).

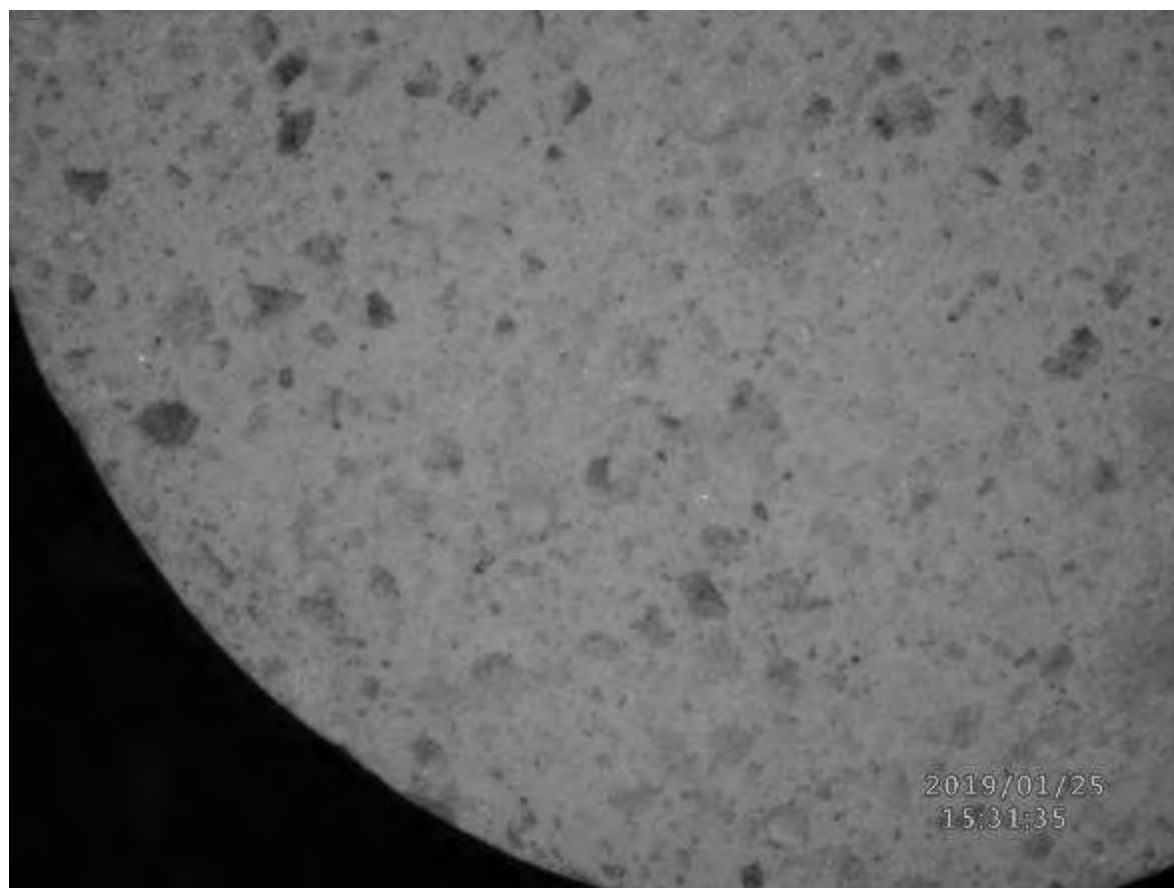


Figura. 4. 218. Microscopia de la C-581118. Fuente: Autoría propia.

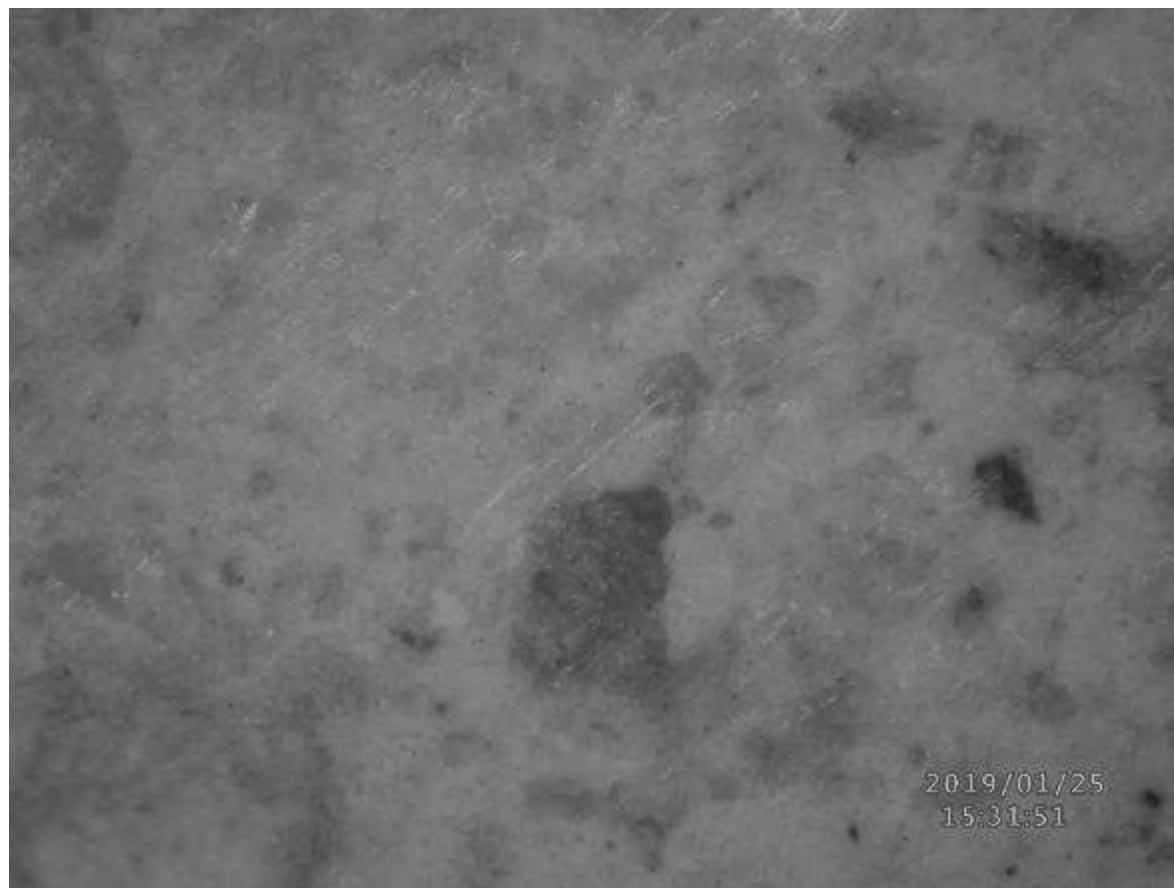


Figura. 4. 219. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-581118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

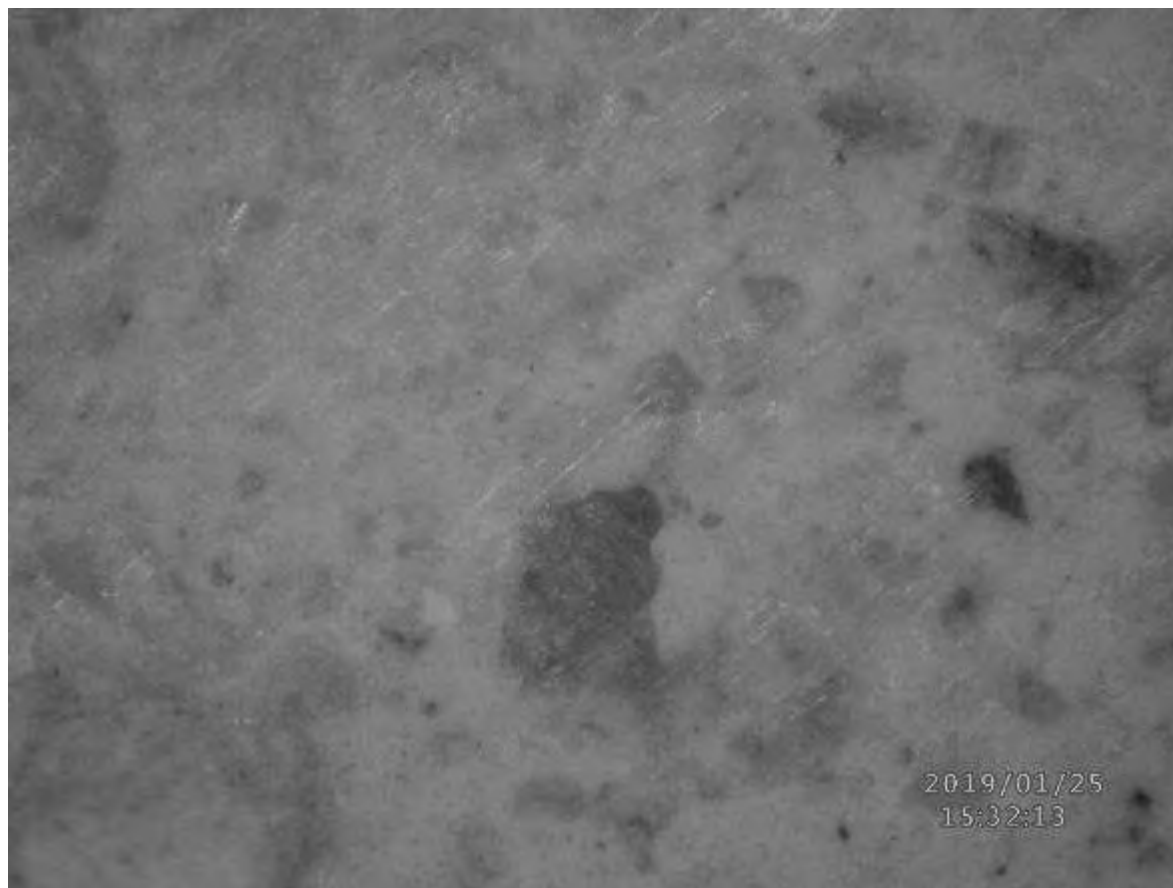


Figura. 4. 220. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-581118, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

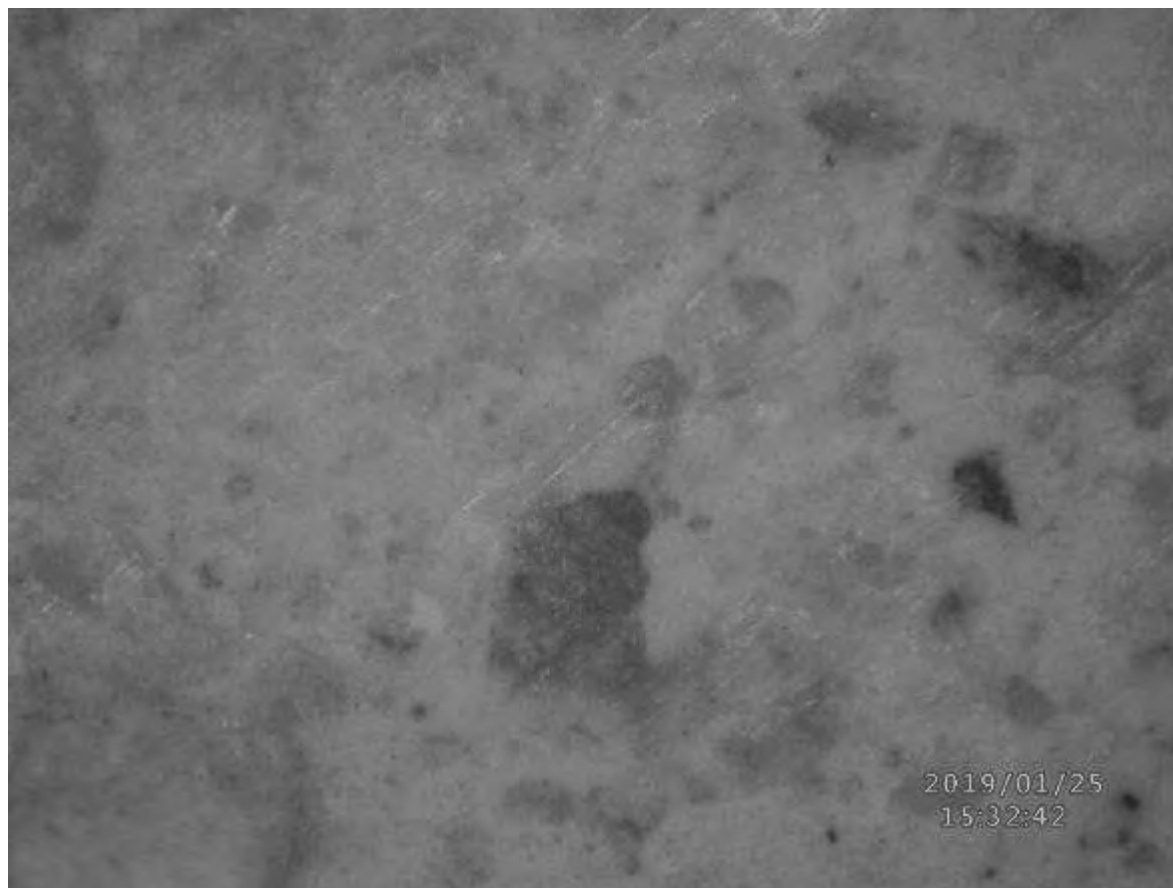


Figura. 4. 221. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-581118, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

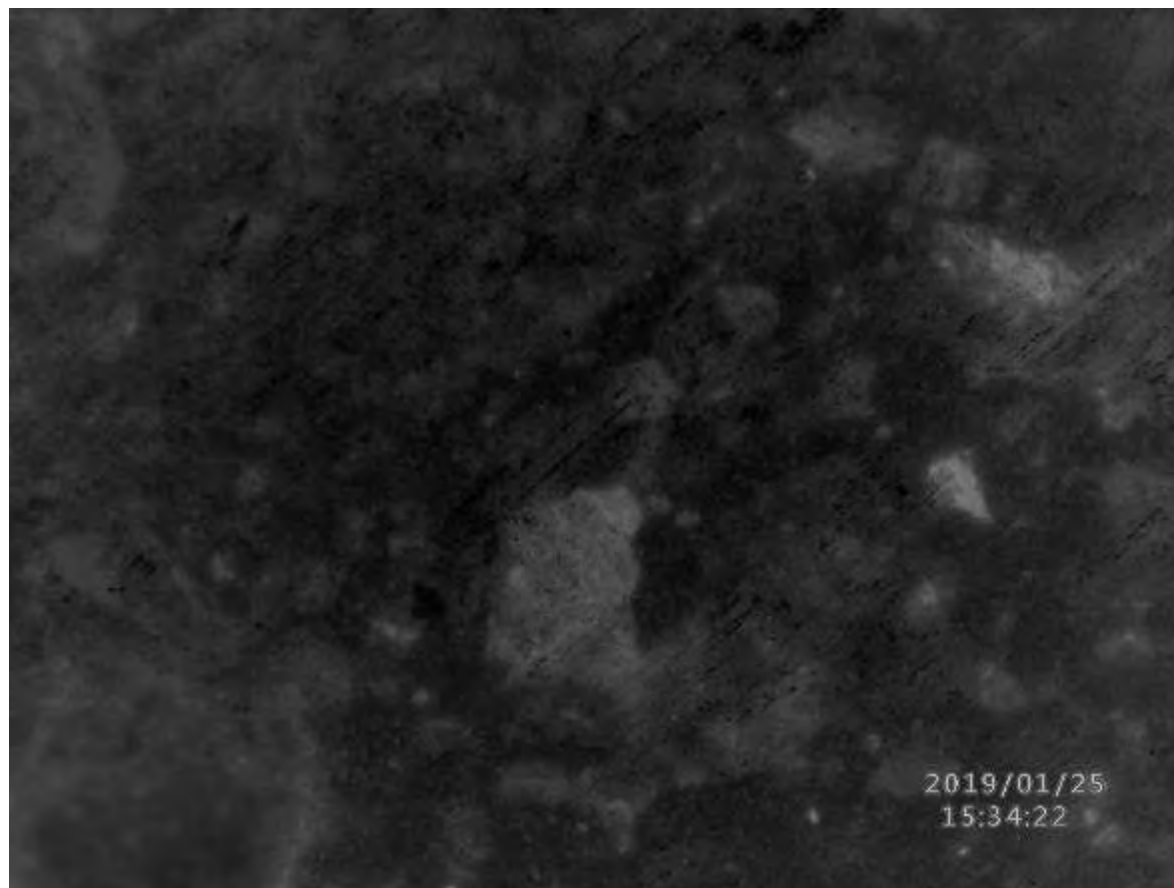


Figura. 4. 222. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-581118, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

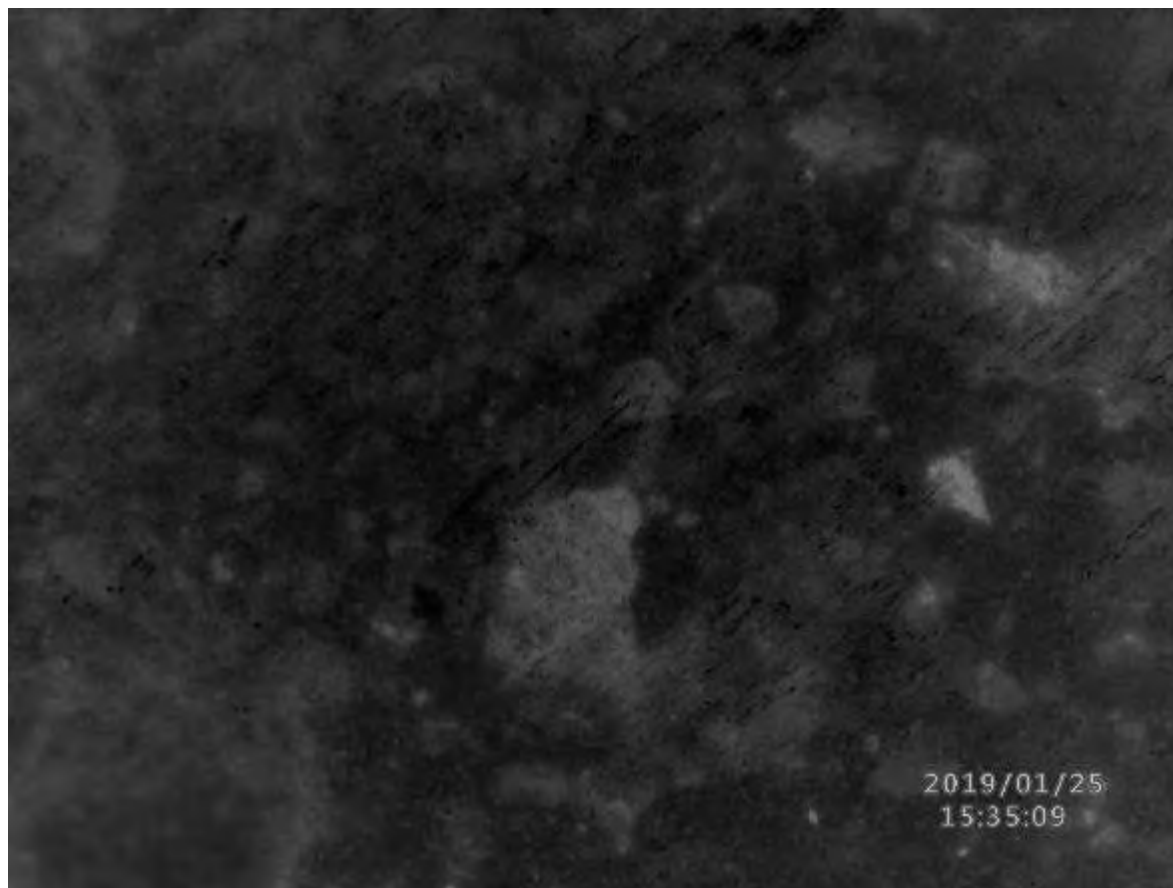


Figura. 4. 223. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-581118, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

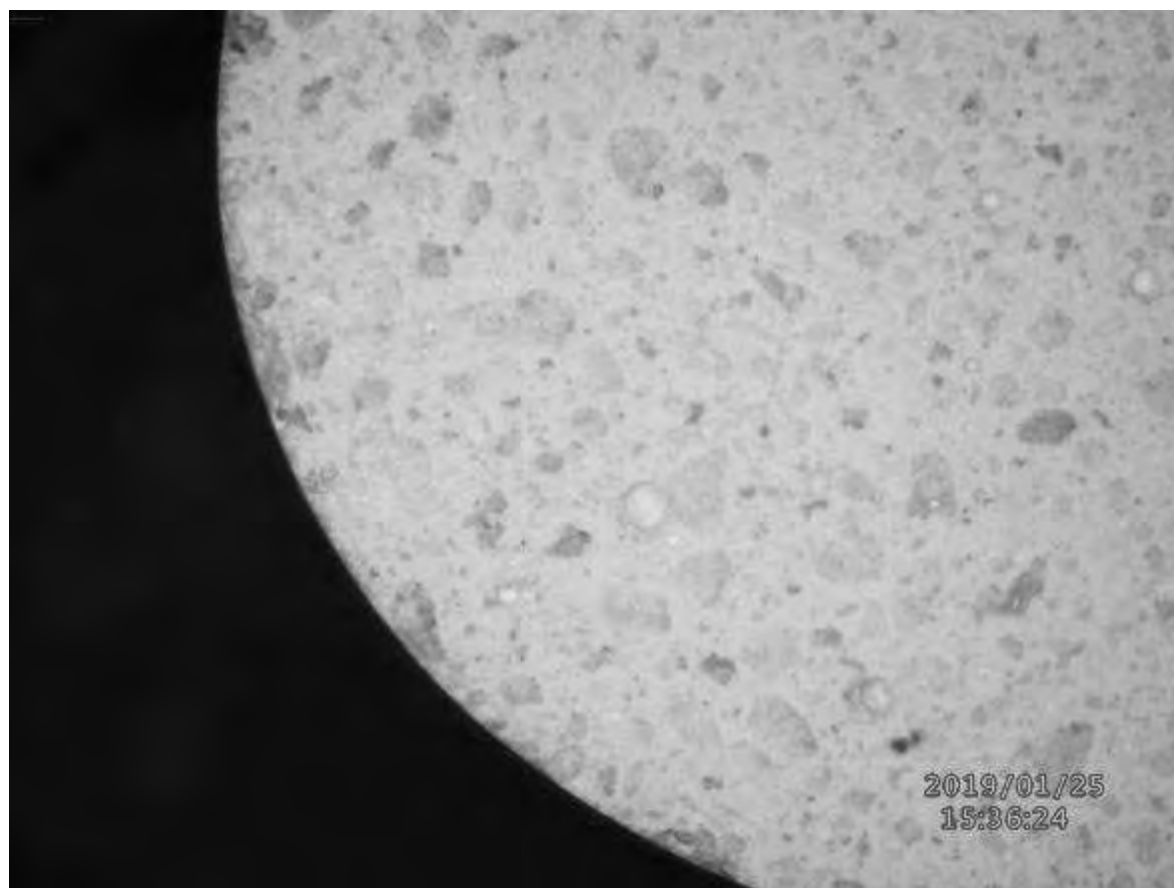


Figura. 4. 224. Microscopia de la C-581118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

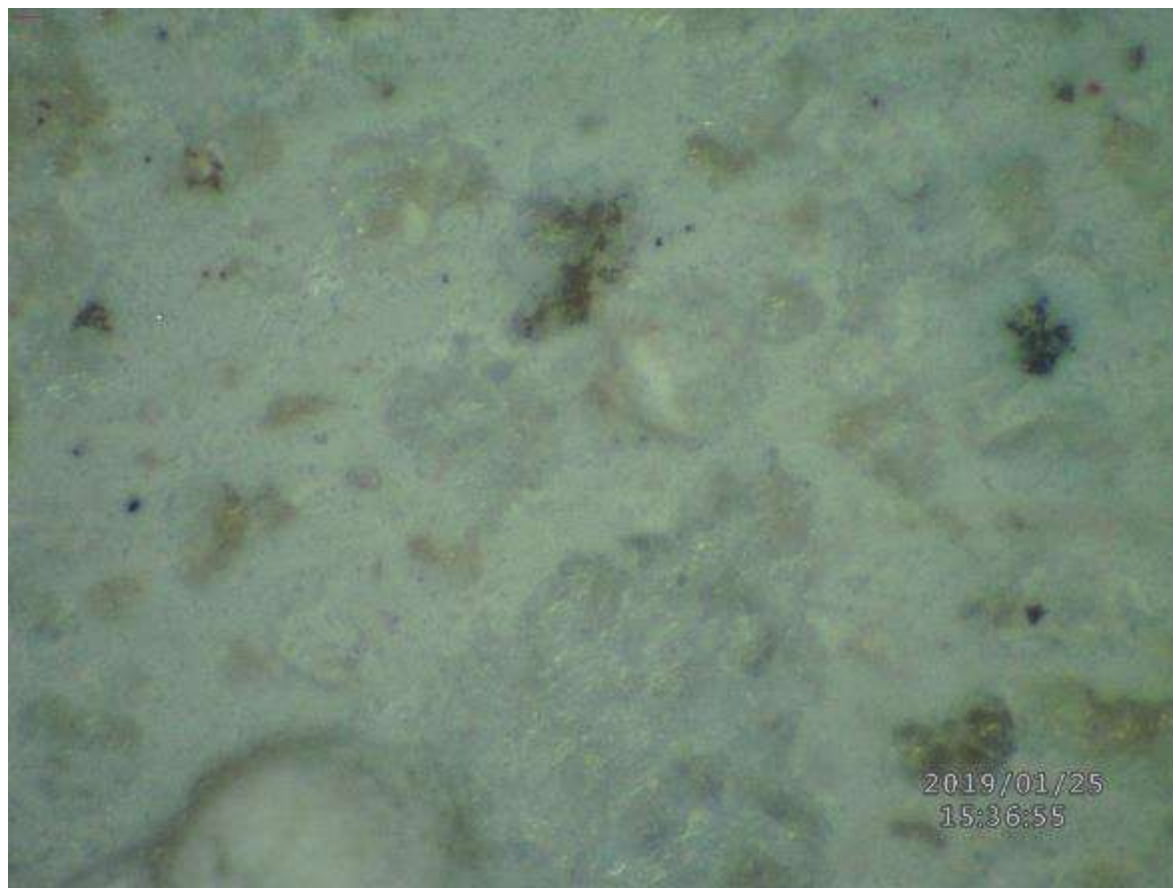


Figura. 4. 225. Microscopia de la C-581118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

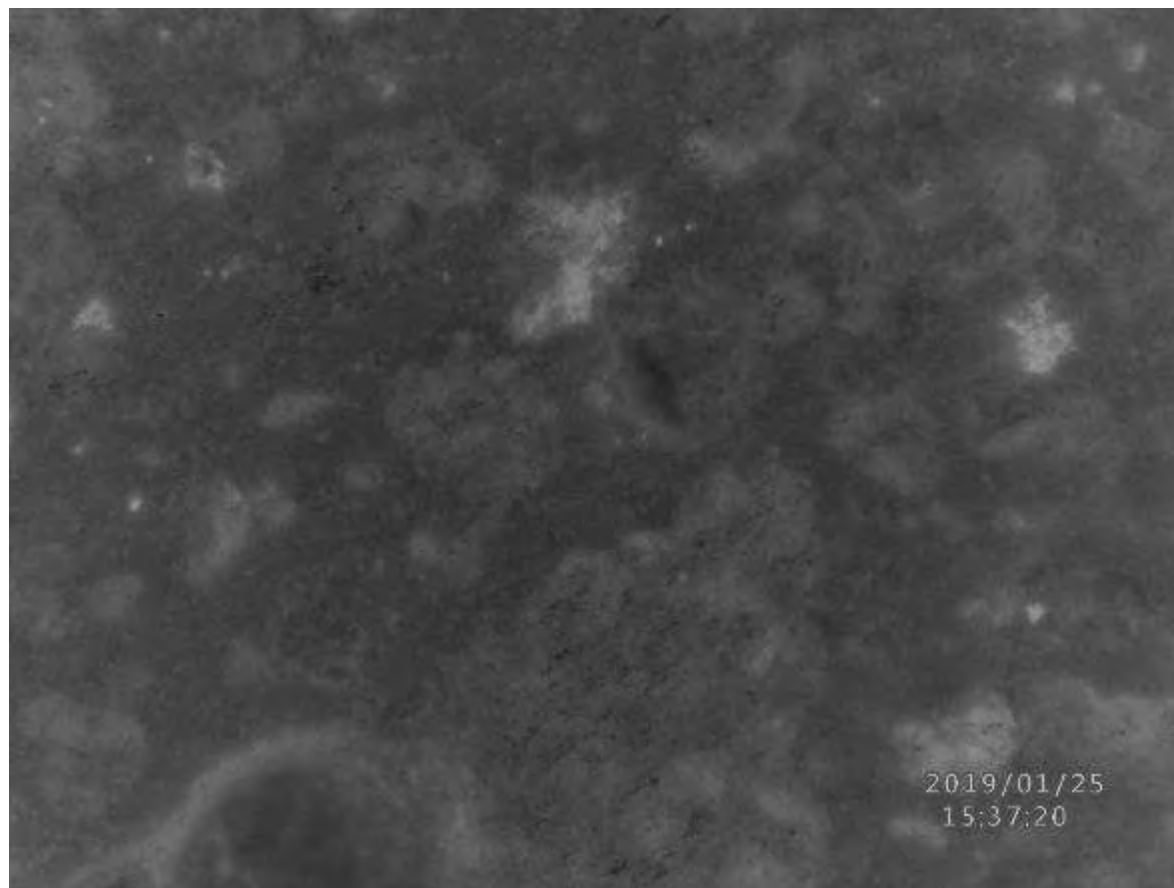


Figura. 4. 226. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-581118, con un filtro negativo bajo una luz normal.
Fuente: (autoría propia).

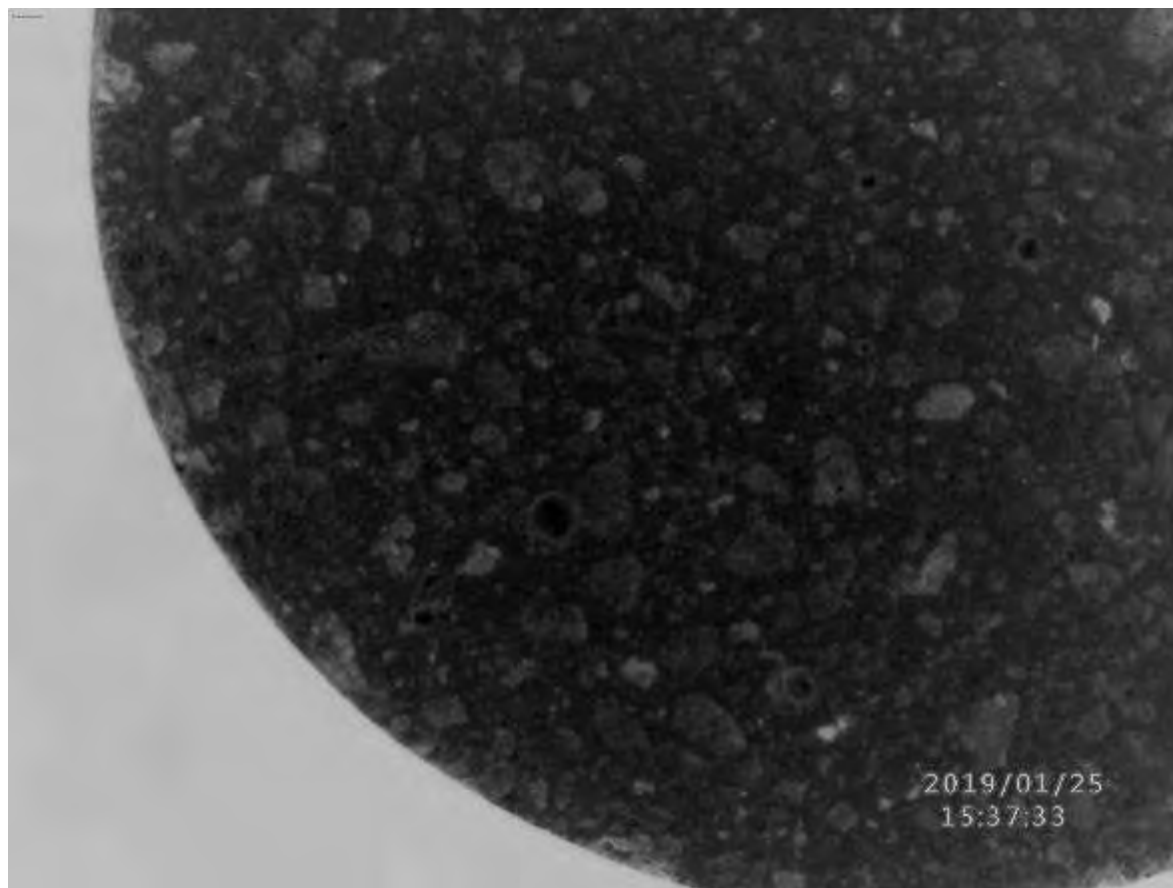


Figura. 4. 227. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-581118, con un filtro negativo bajo una luz normal.
Fuente: (autoría propia).

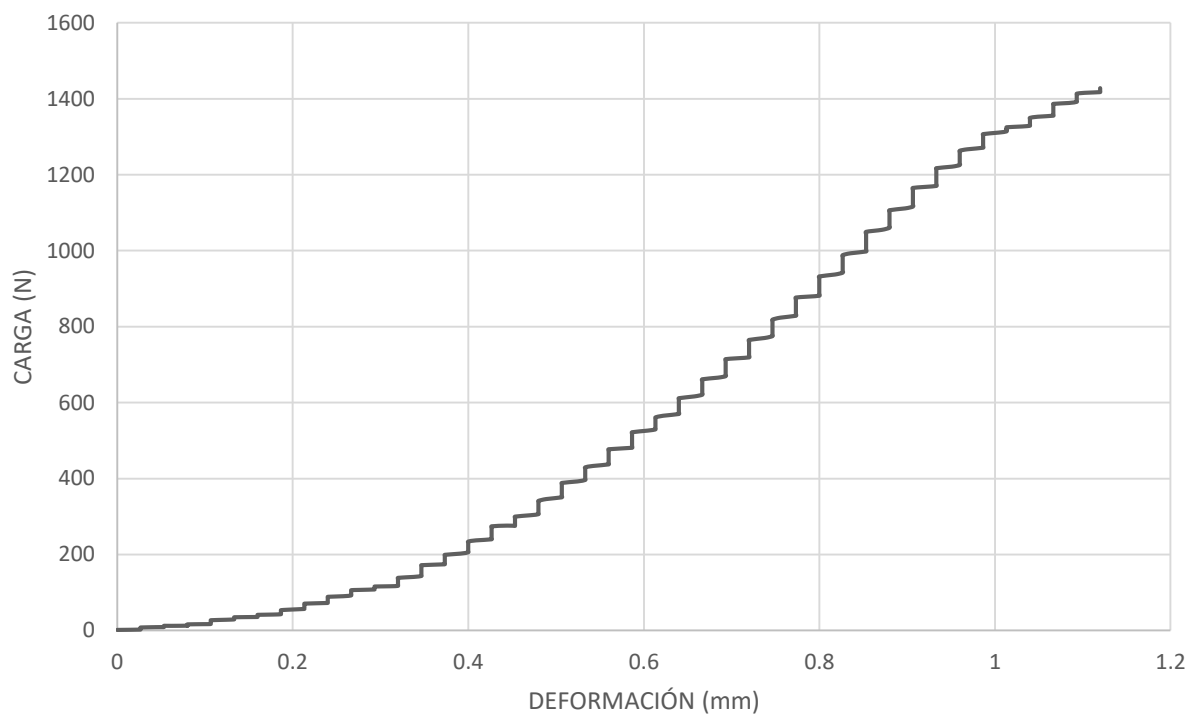


Figura. 4. 228. Fotografía de la C-581118, en la prensa. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 229. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-581118. Fuente: (autoría propia).

CARGA-DEFORMACIÓN



Gráficas 4. 18. Curva Carga-Deformación de la C-581118, en N-mm. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 230. Fotografías de la corrida C-191118. Fuente: (Autoría propia).

De composición 100% CAL ESTANDAR, 275% MARMOLINA Tipo 2, 5% METACAOLIN, 5% CLORURO DE SODIO, 20% HARINA DE ARRÓZ y A/C= 1:1 (calentada hasta el punto de ebullición y agregada a la mezcla, previamente integrados todos los materiales), de dimensiones iguales a un diámetro de 23.3mm y longitud de 46.1mm, que presenta una buena dureza al ser pulido, con poco desprendimiento. (Autoría propia).

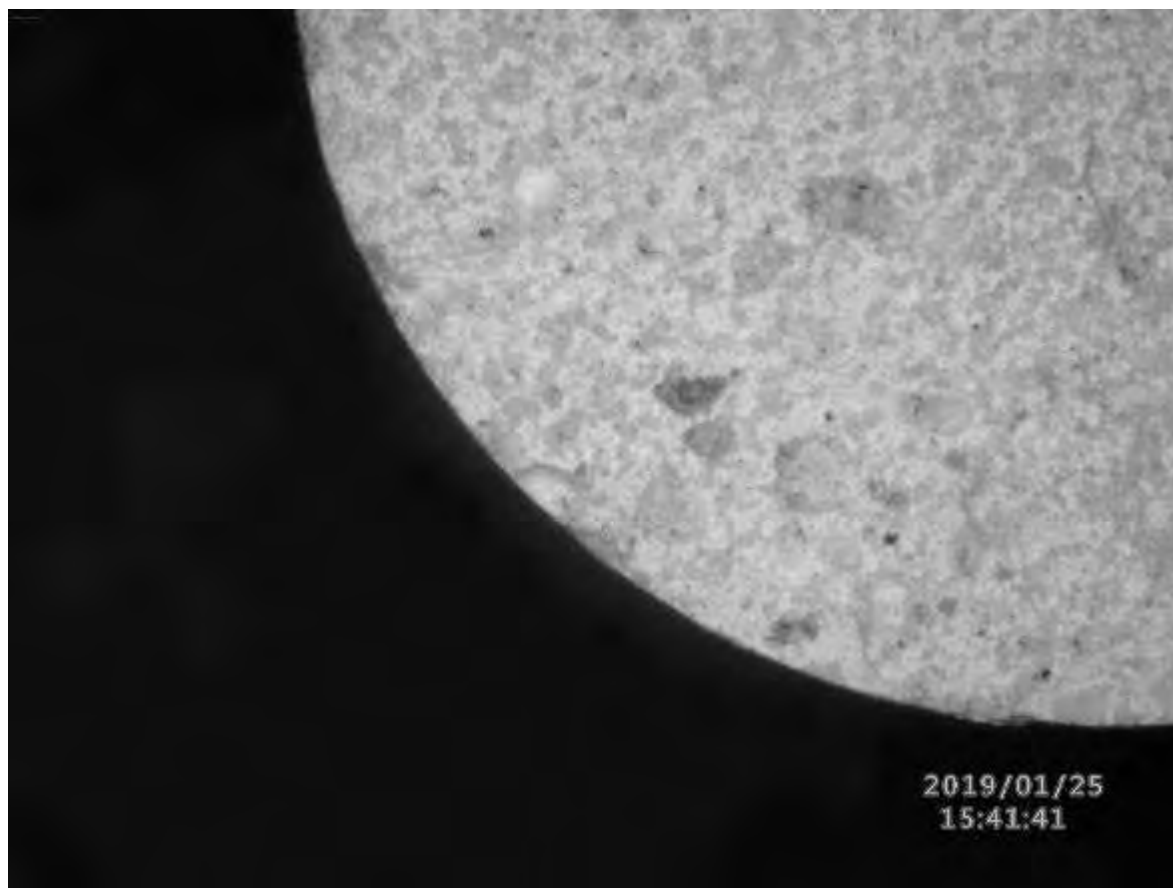


Figura. 4. 231. Microscopia de la C-191118. Fuente: Autoría propia.

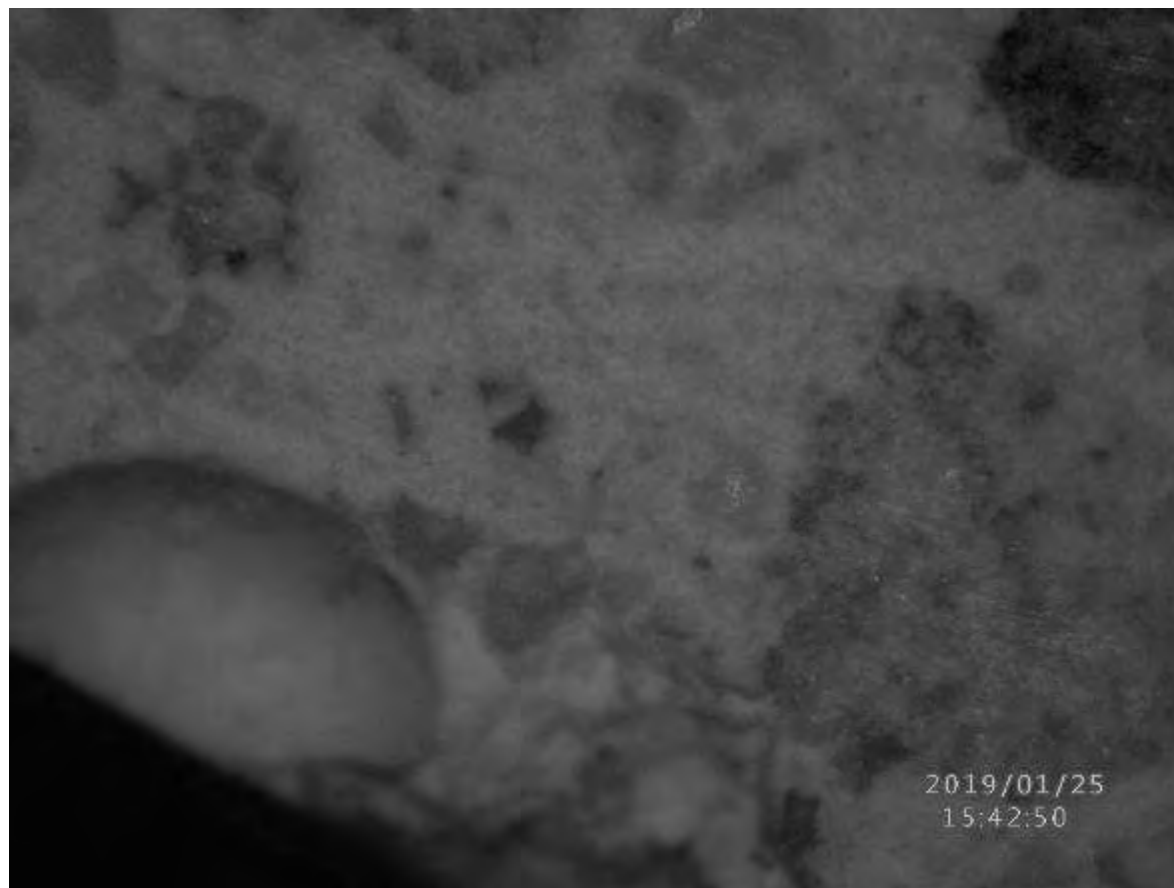


Figura. 4. 232. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-191118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

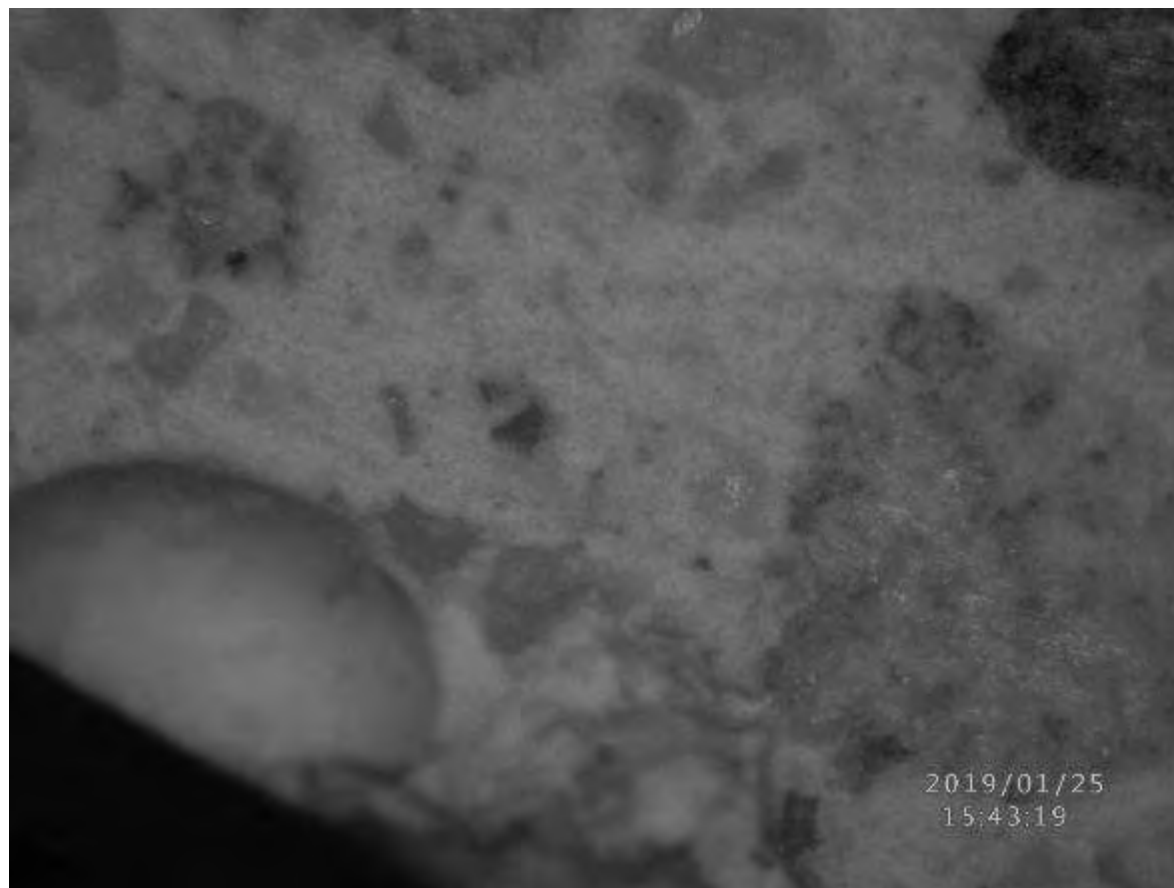


Figura. 4. 233. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-191118, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

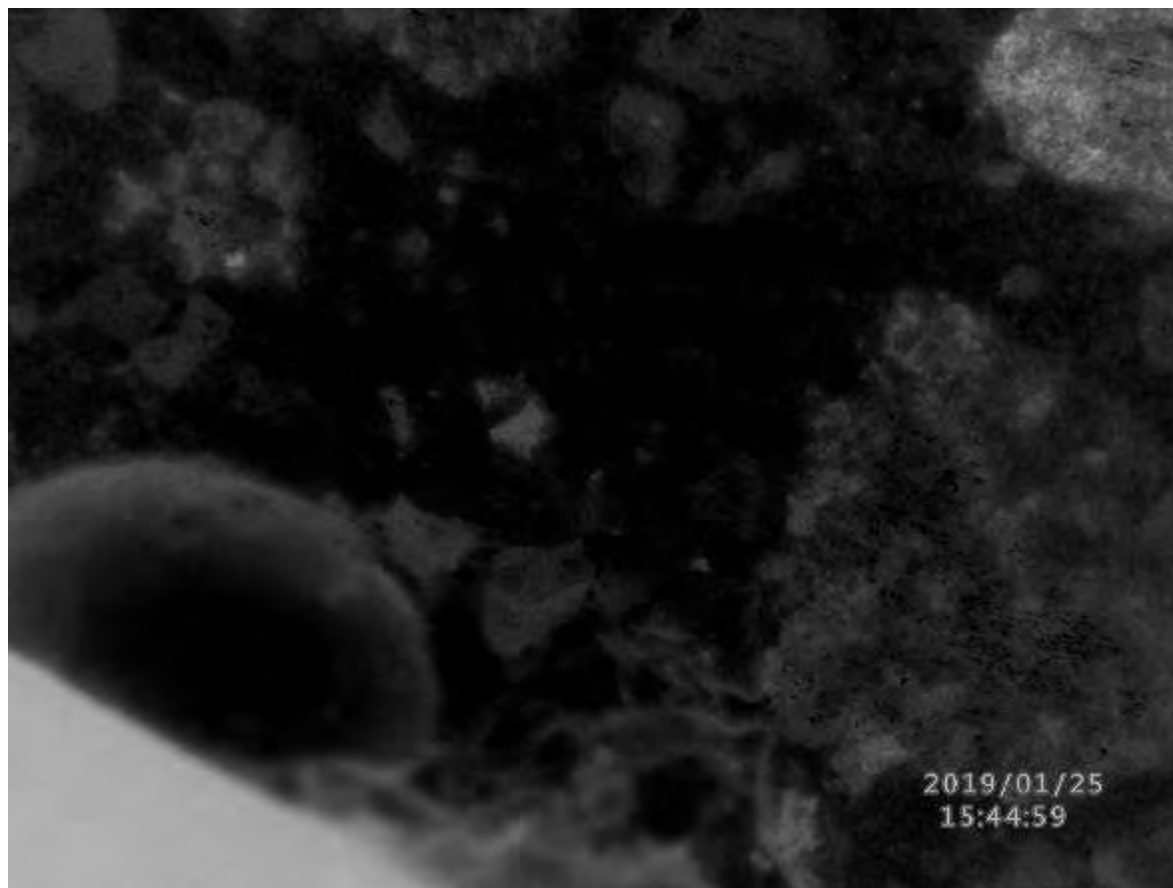


Figura. 4. 234. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-191118, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

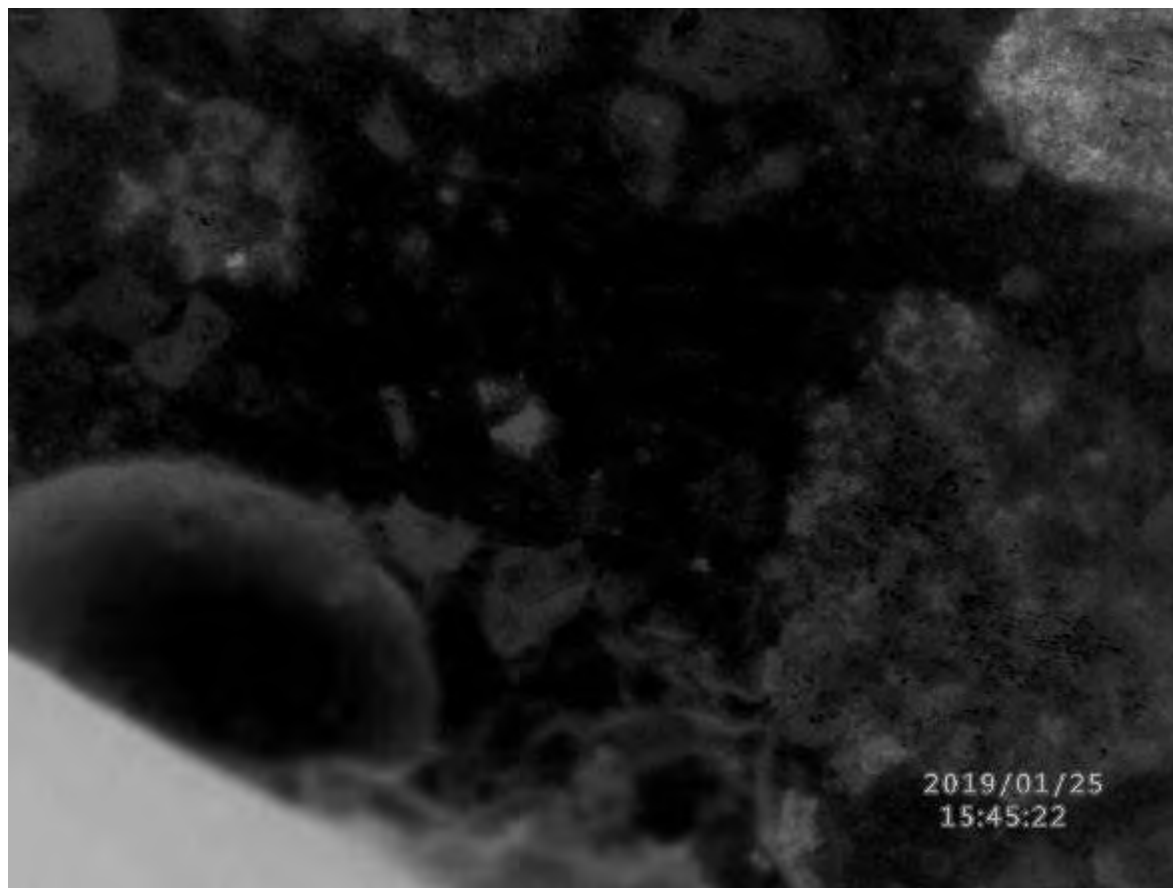


Figura. 4. 235. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-191118, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

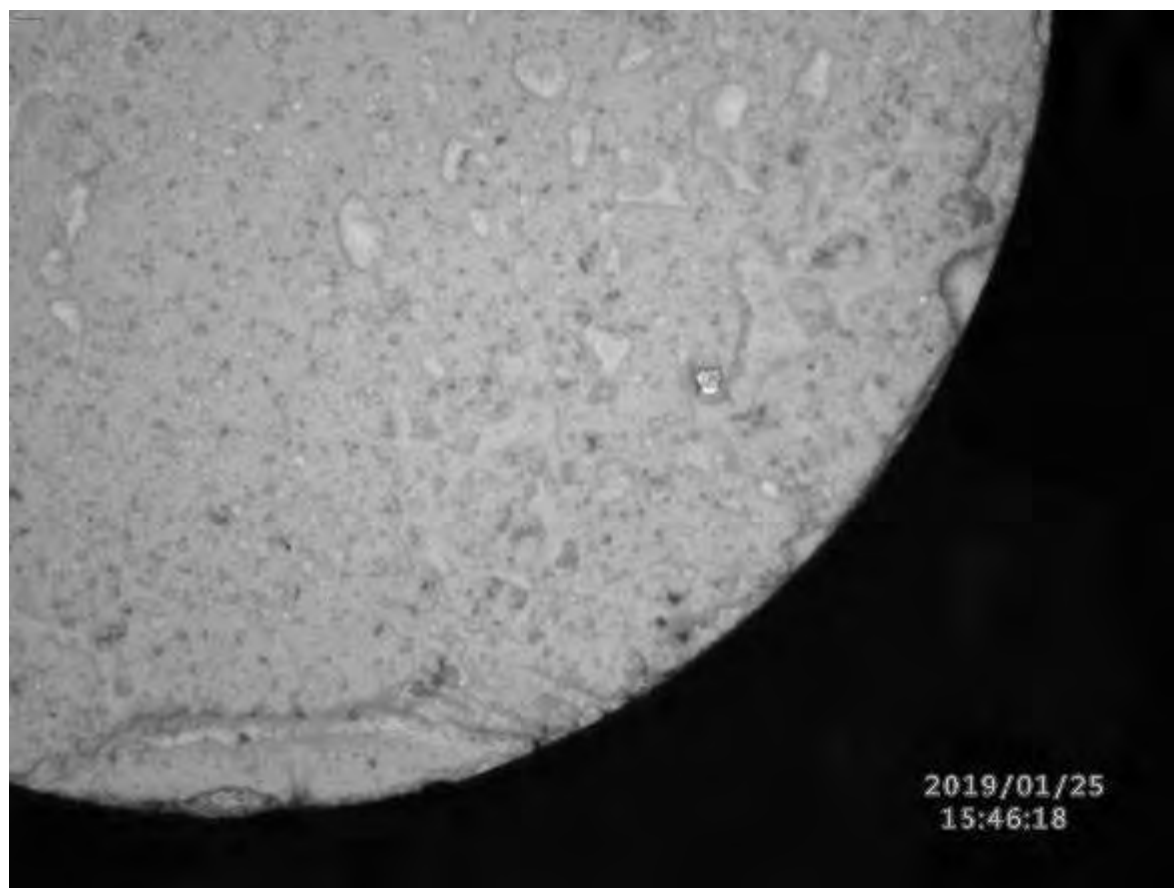


Figura. 4. 236. Microscopia de la C-191118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

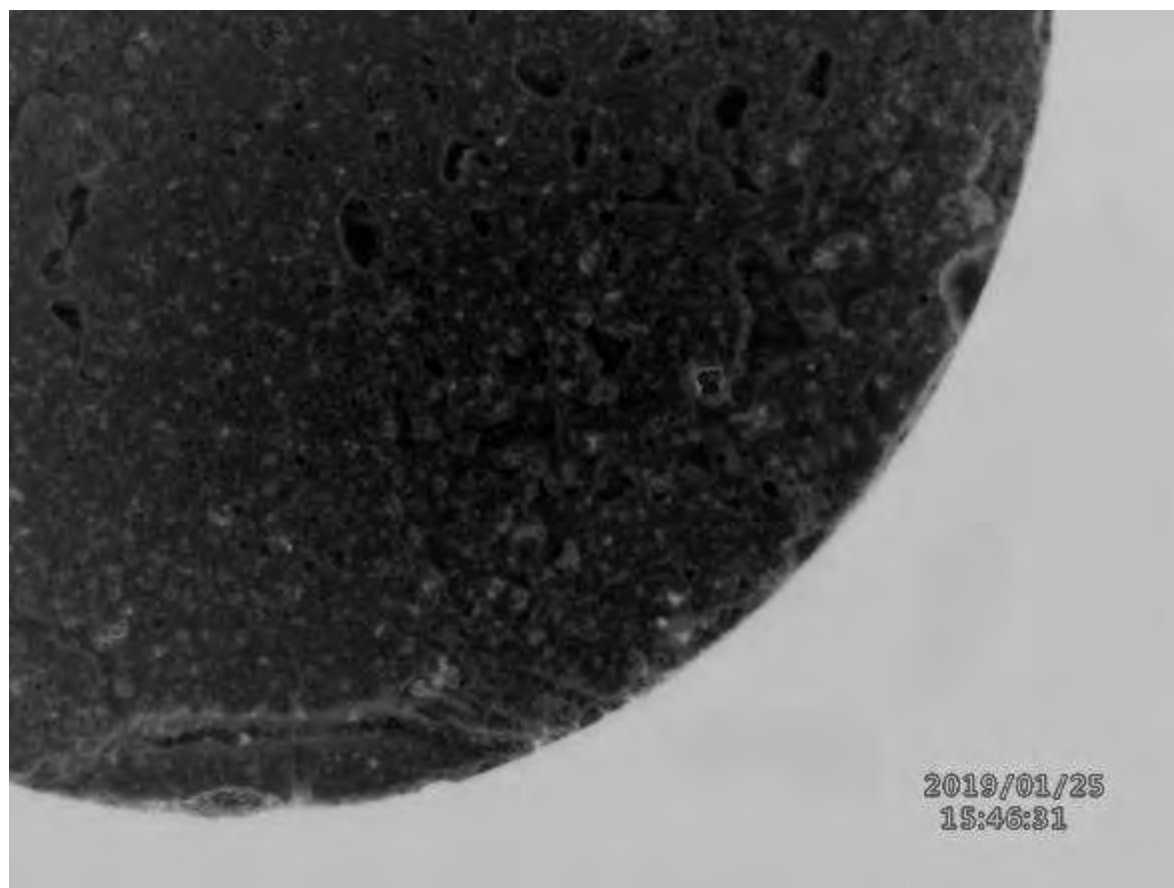


Figura. 4. 237. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-191118, con un filtro negativo bajo una luz normal.
Fuente: (autoría propia).

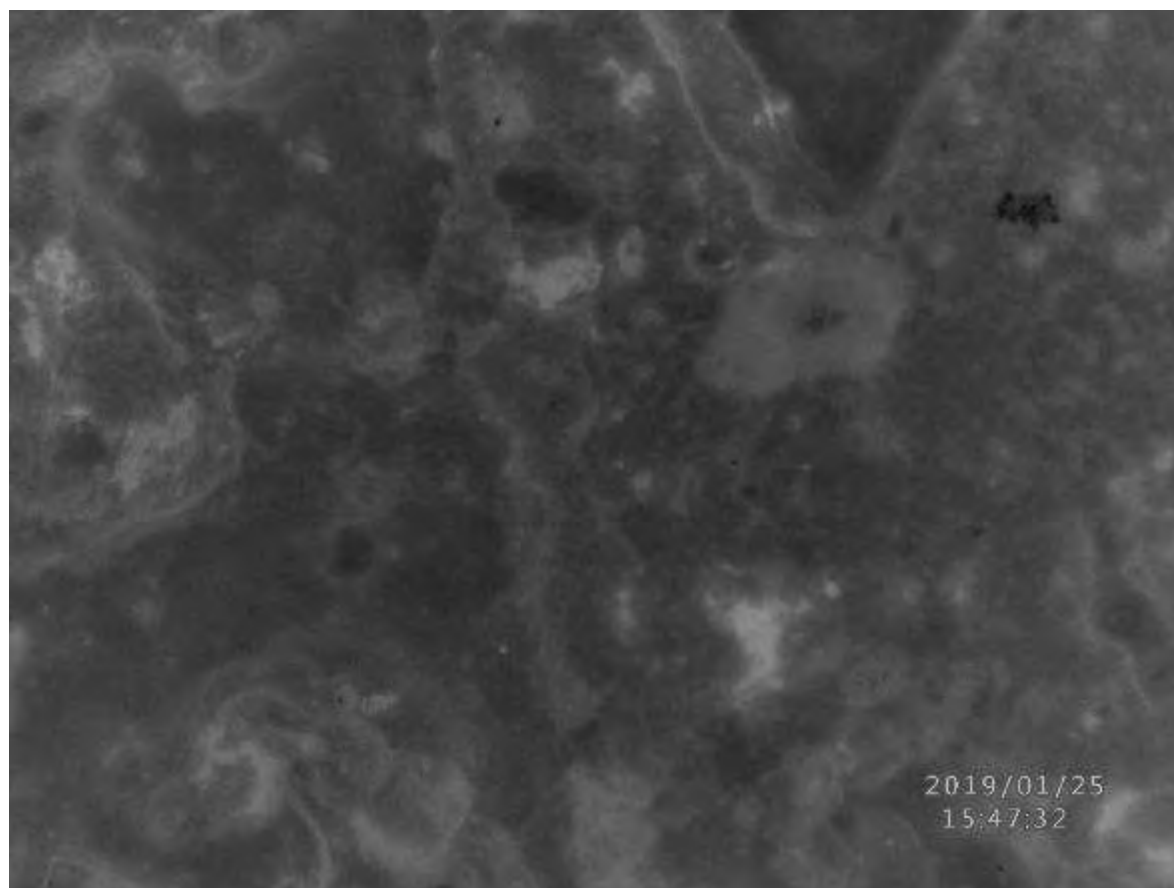


Figura. 4. 238. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-191118, con un filtro negativo bajo una luz normal.
Fuente: (autoría propia).

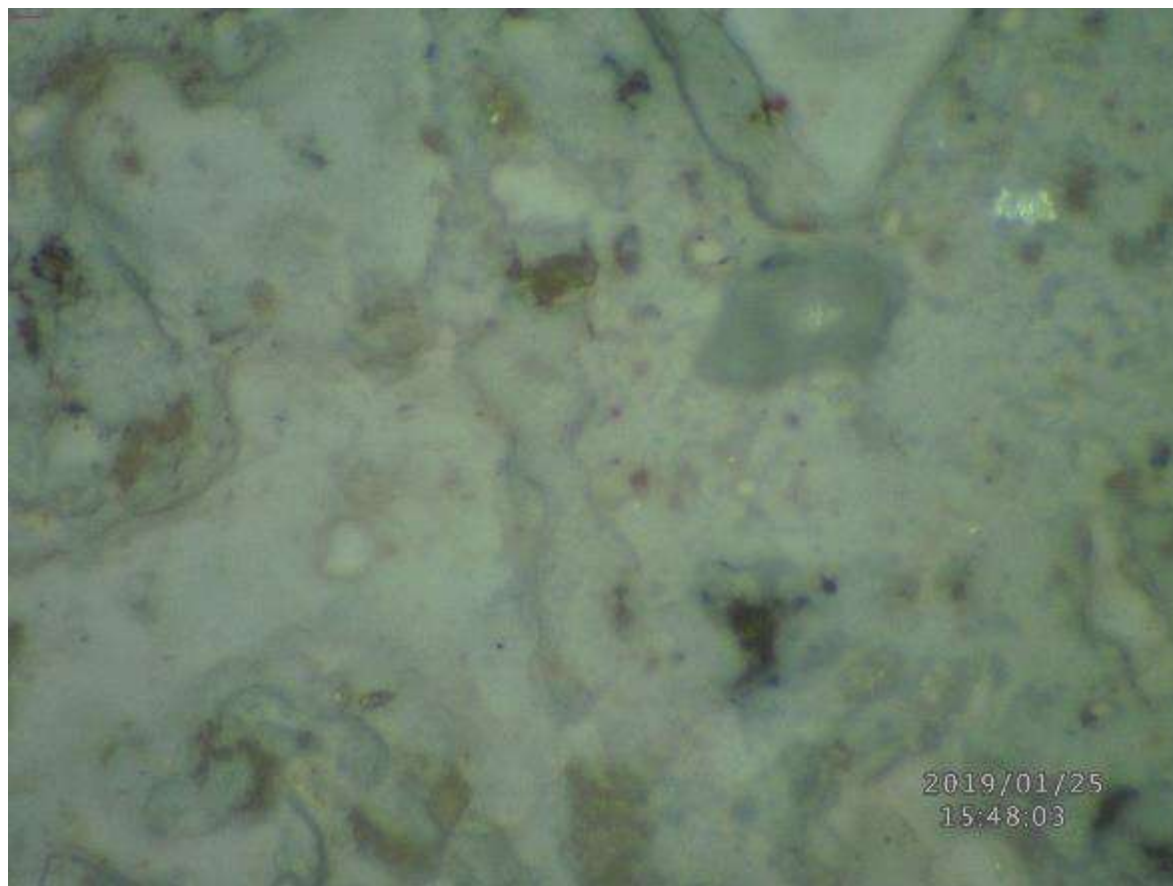


Figura. 4. 239. Microscopia de la C-191118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

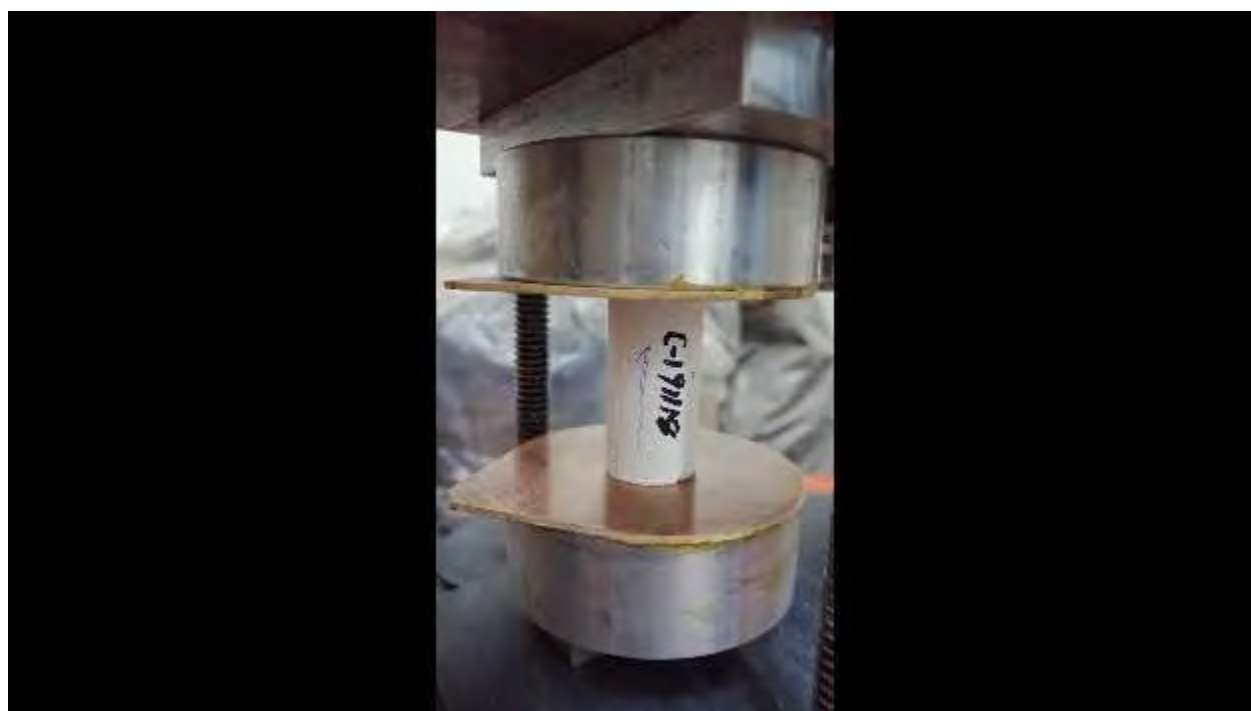
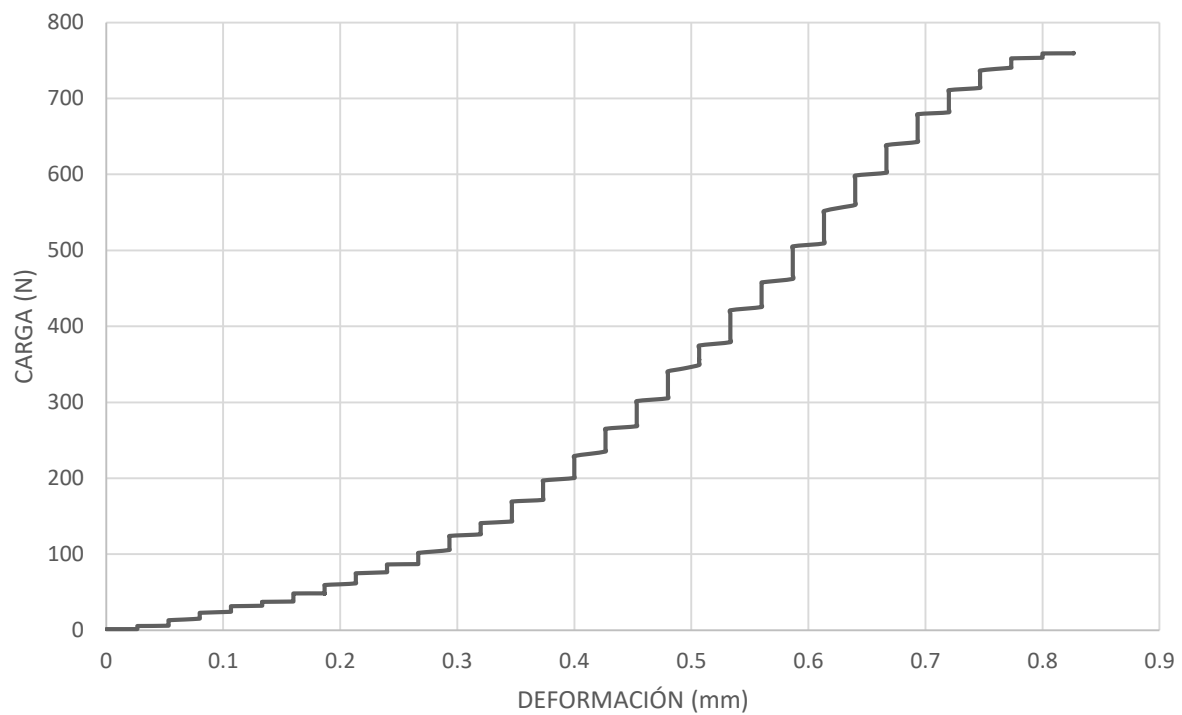


Figura. 4. 240. Fotografía de la C-191118, en la prensa. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 241. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-191118. Fuente: (autoría propia).

CARGA-DEFORMACIÓN



Gráficas 4. 19. Curva Carga-Deformación de la C-191118, en N-mm. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 242. Fotografías de la corrida C-291118. Fuente: (Autoría propia).

De composición 100% CAL ESTANDAR, 275% MARMOLINA Tipo 2, 5% METACAOLIN, 10% CLORURO DE SODIO, 20% HARINA DE ARRÓZ y A/C= 1.2:1 (calentada hasta el punto de ebullición y agregada a la mezcla, previamente integrados todos los materiales), de dimensiones iguales a un diámetro de 23.2mm y longitud de 45.85mm, que presenta una buena dureza MODERADA al ser pulido, con poco desprendimiento.

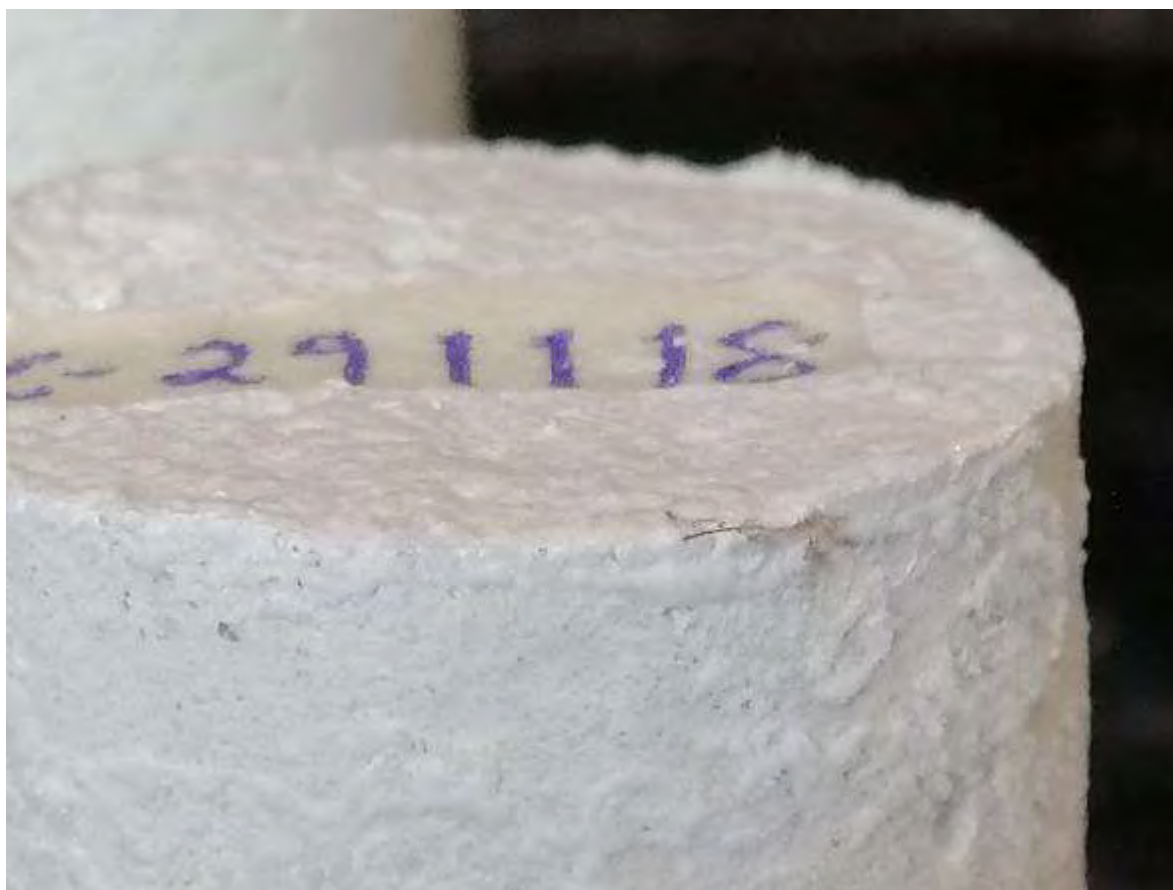


Figura. 4. 243. Imágenes de la corrida C-291118, con presencia de eflorescencias en su parte externa. (autoría propia).

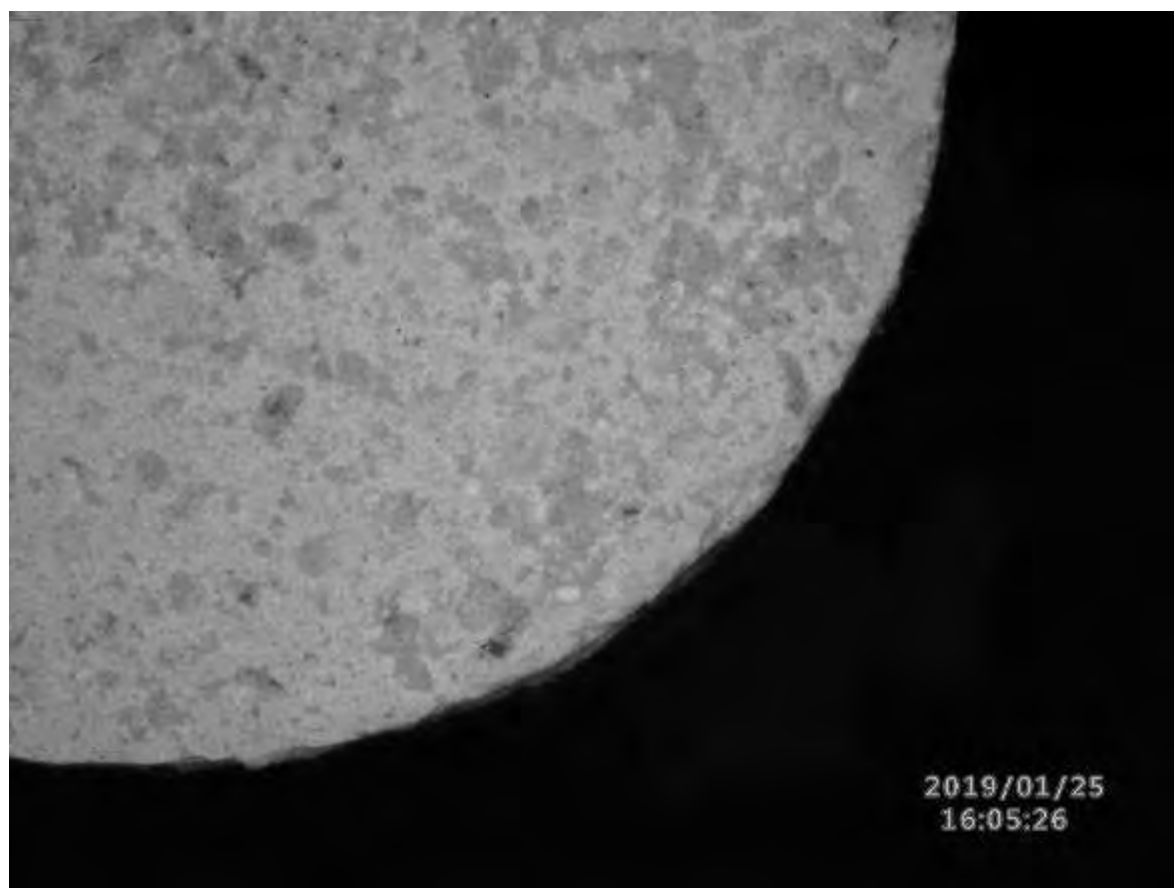


Figura. 4. 244. Microscopia de la C-291118. Fuente: Autoría propia.



Figura. 4. 245. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-291118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

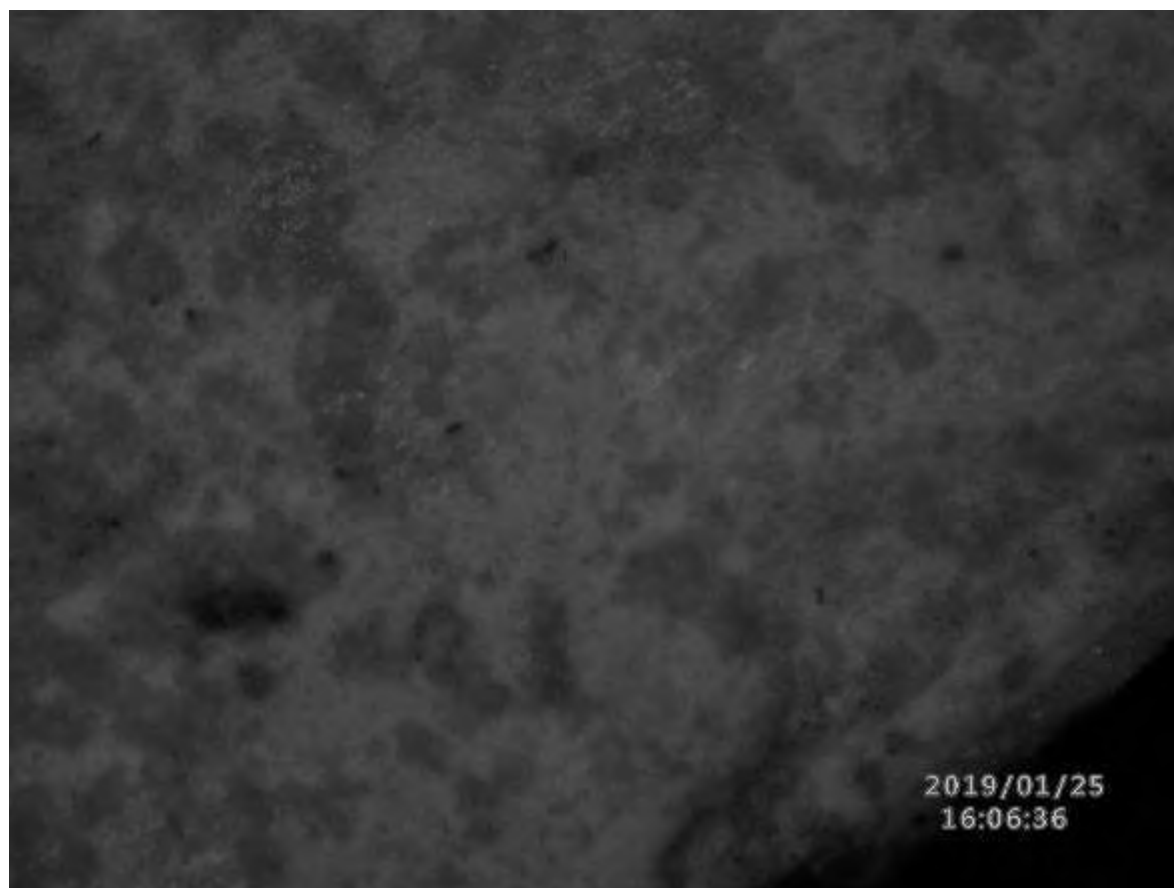


Figura. 4. 246. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-291118, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

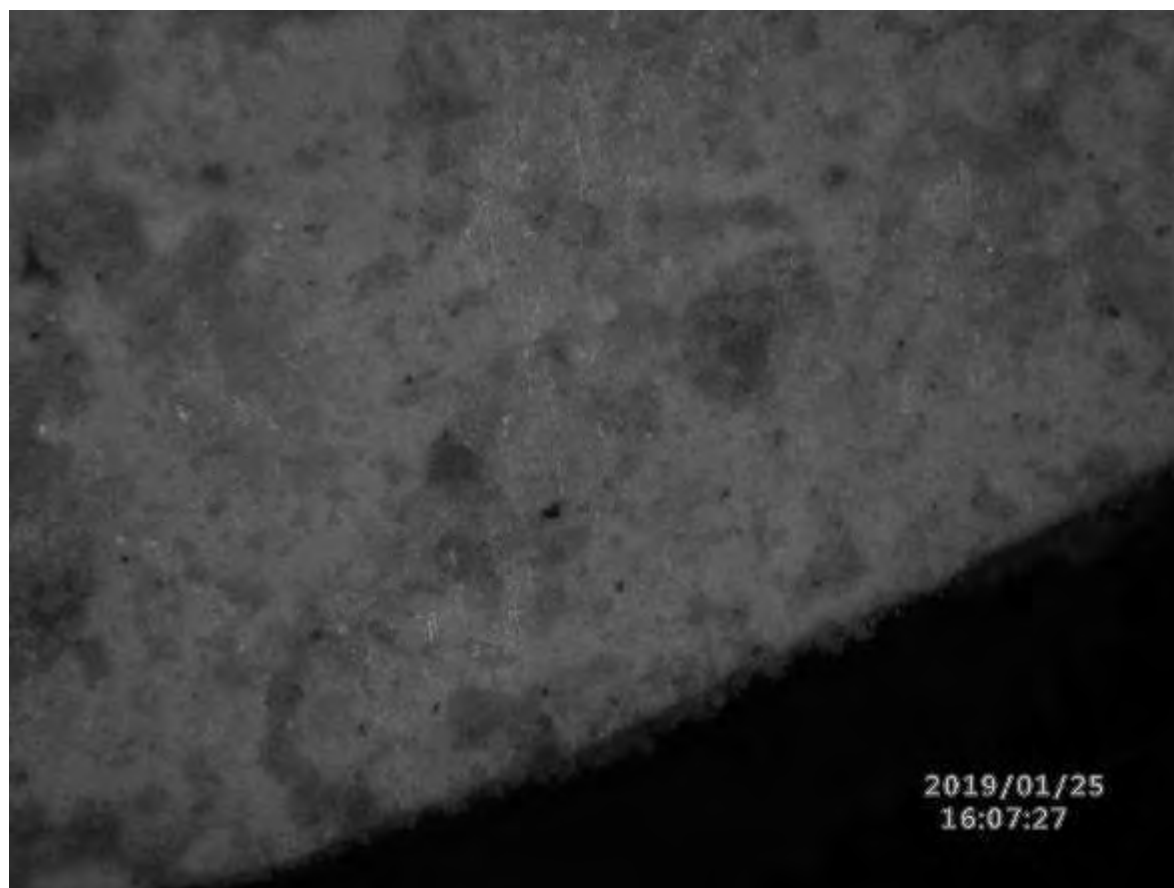


Figura. 4. 247. Microscopia aumentada digitalmente, de la C--291118, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

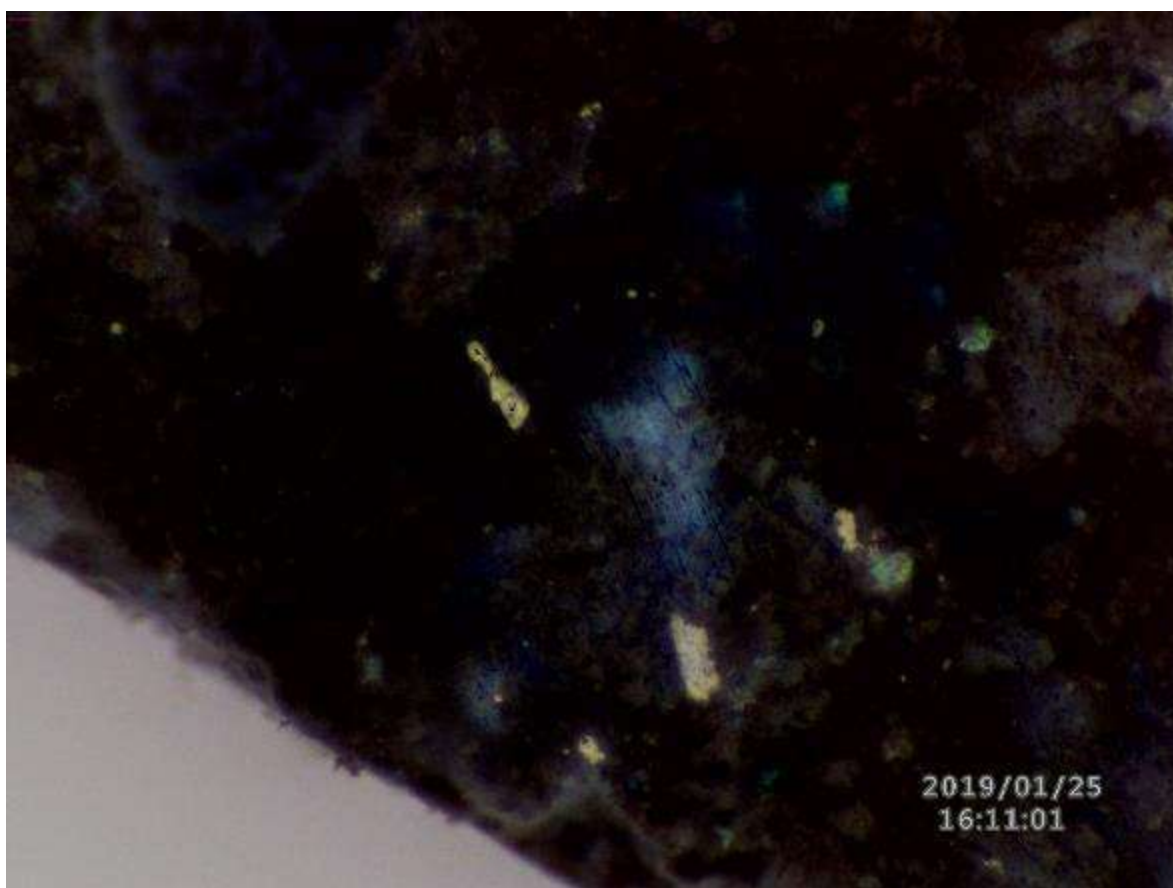


Figura. 4. 248. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-291118, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente.
Fuente: (autoría propia).

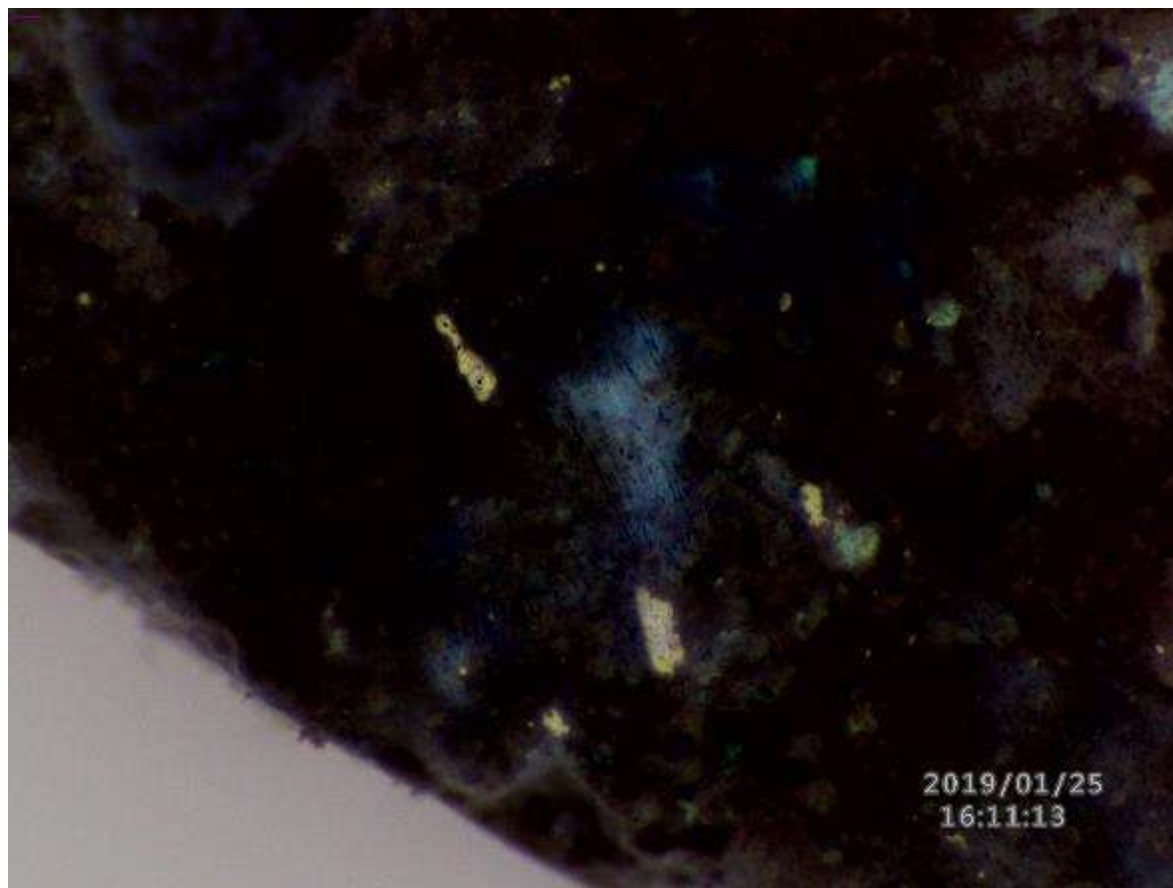


Figura. 4. 249. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-291118, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

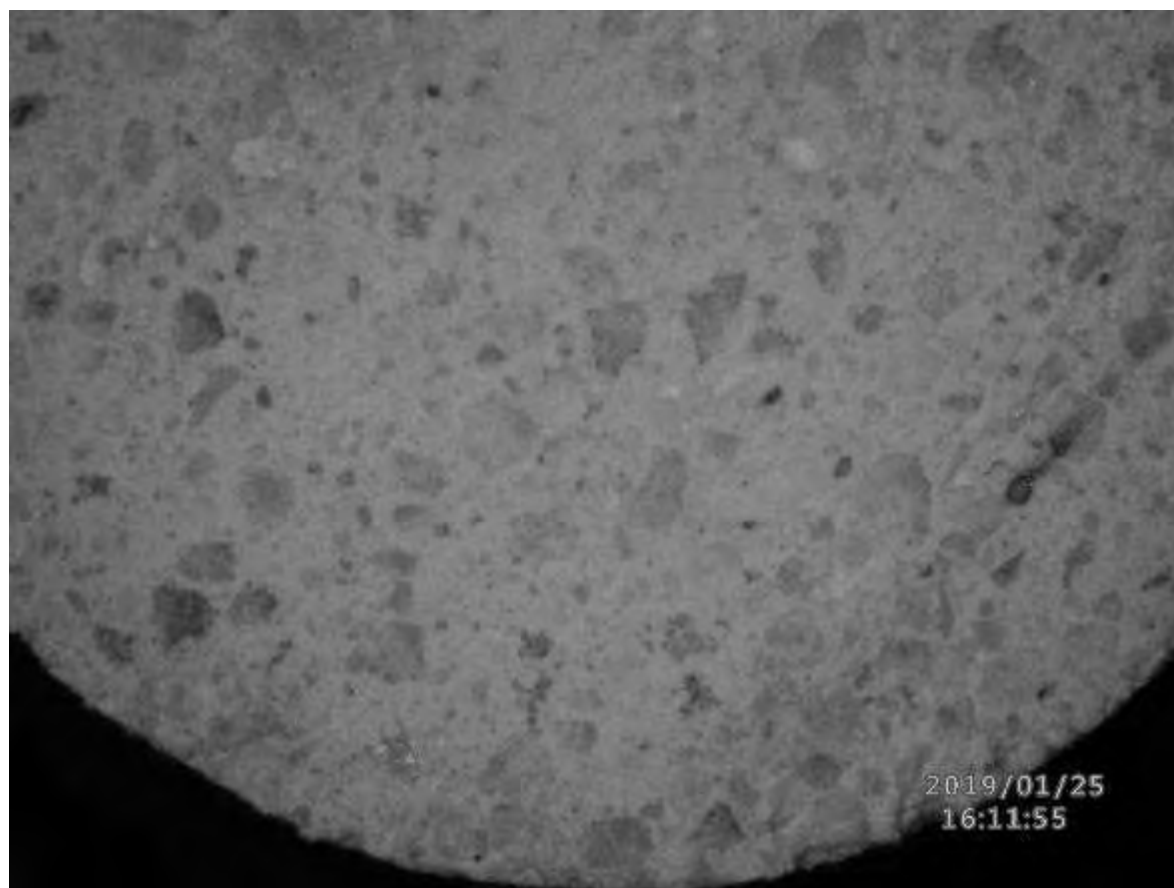


Figura. 4. 250. Microscopia de la C-291118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

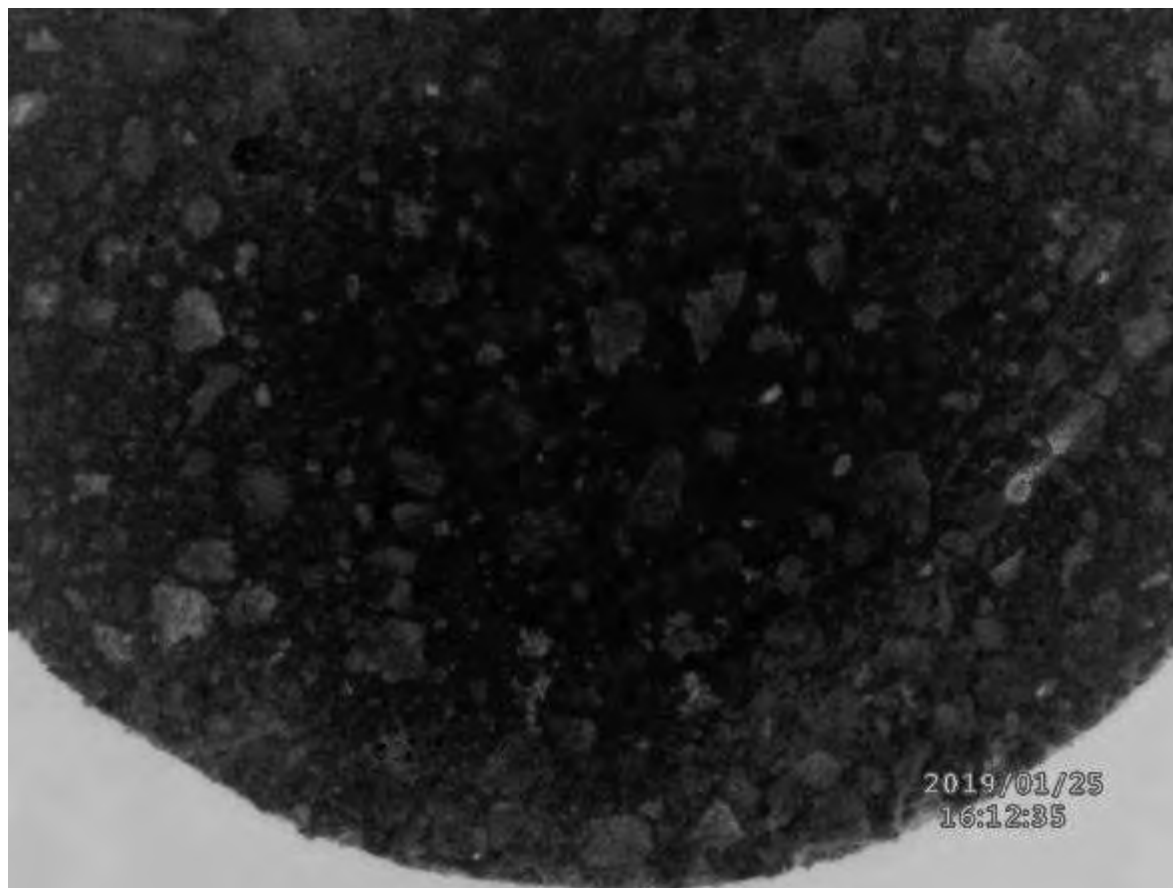


Figura. 4. 251. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-291118, con un filtro negativo bajo una luz normal.
Fuente: (autoría propia).

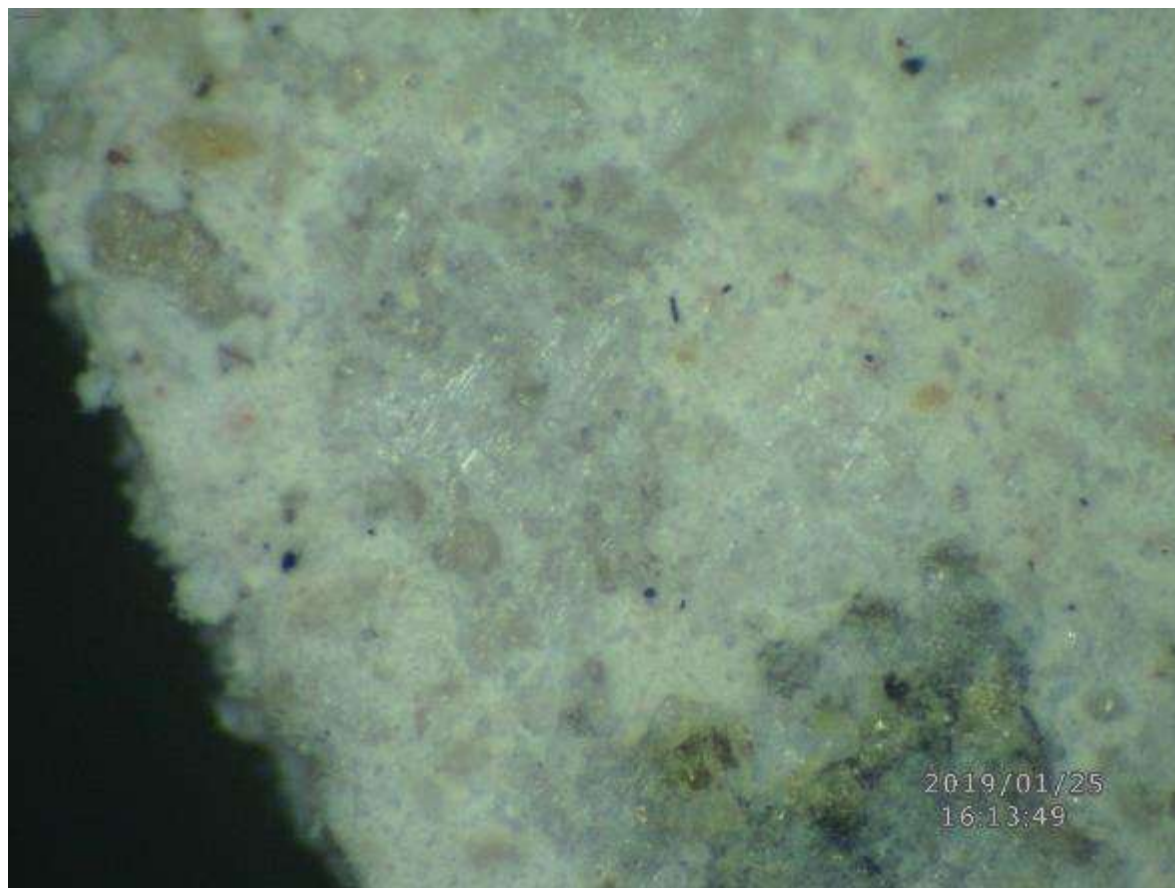


Figura. 4. 252. Microscopia de la C-291118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

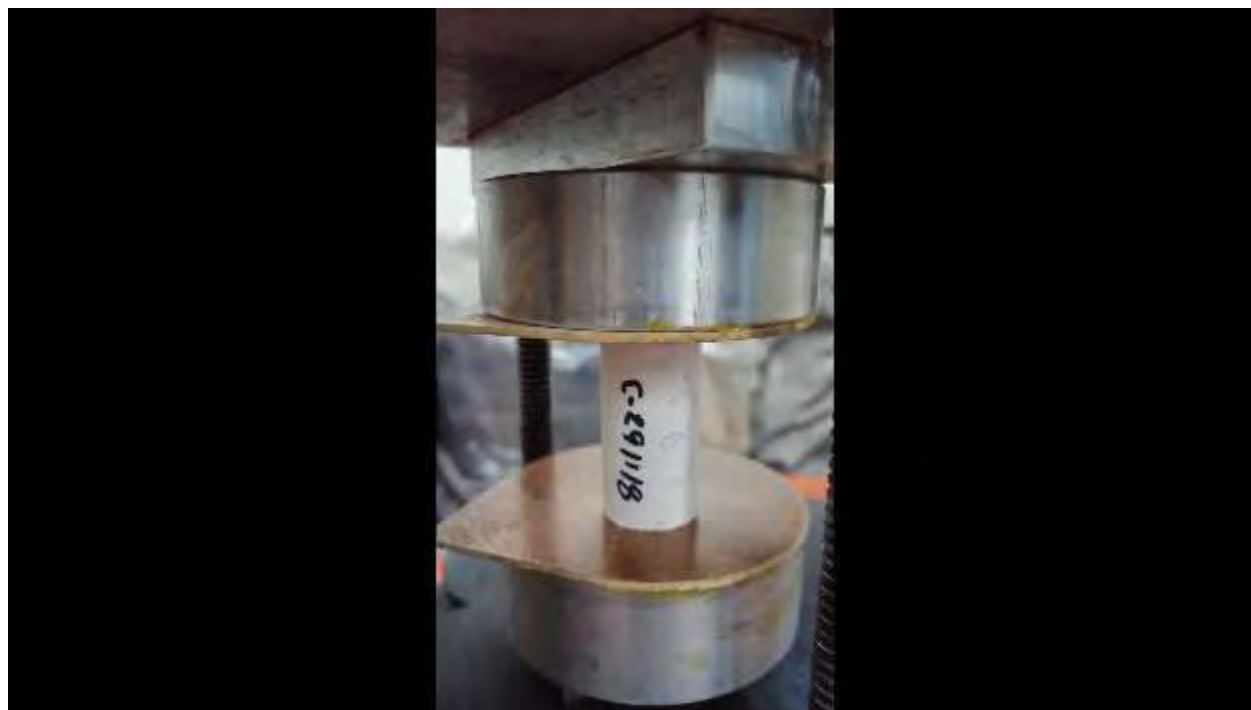
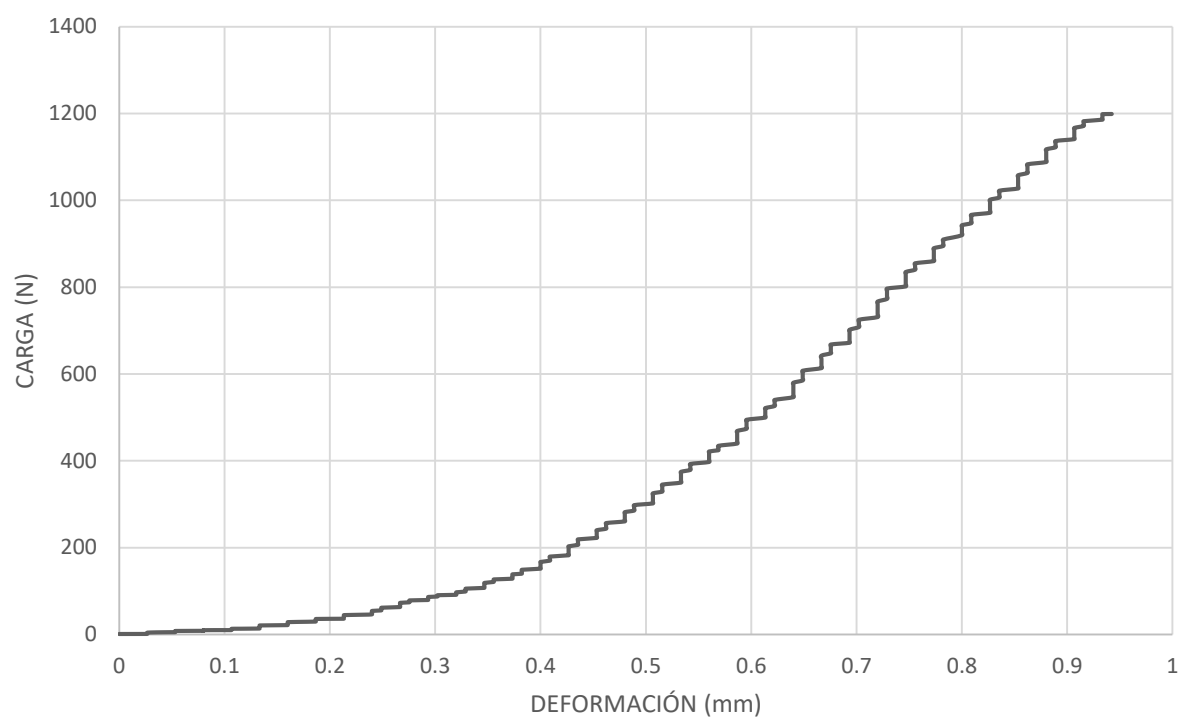


Figura. 4. 253. Fotografía de la C-291118, en la prensa. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 254. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-29118. Fuente: (autoría propia).

CARGA-DEFORMACIÓN



Gráficas 4. 20. Curva Carga-Deformación de la C-291118, en N-mm. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 255. Fotografías de la corrida C-391118. Fuente: (Autoría propia).

De composición 100% CAL ESTANDAR, 275% MARMOLINA Tipo 2, 10% METACAOLIN, 5% CLORURO DE SODIO, 20% HARINA DE ARRÓZ y A/C= 1.2:1 (calentada hasta el punto de ebullición y agregada a la mezcla, previamente integrados todos los materiales), de dimensiones iguales a un diámetro de 23.5mm y longitud de 45.5 mm, que presenta una MODERADA dureza al ser pulido, con poco desprendimiento.

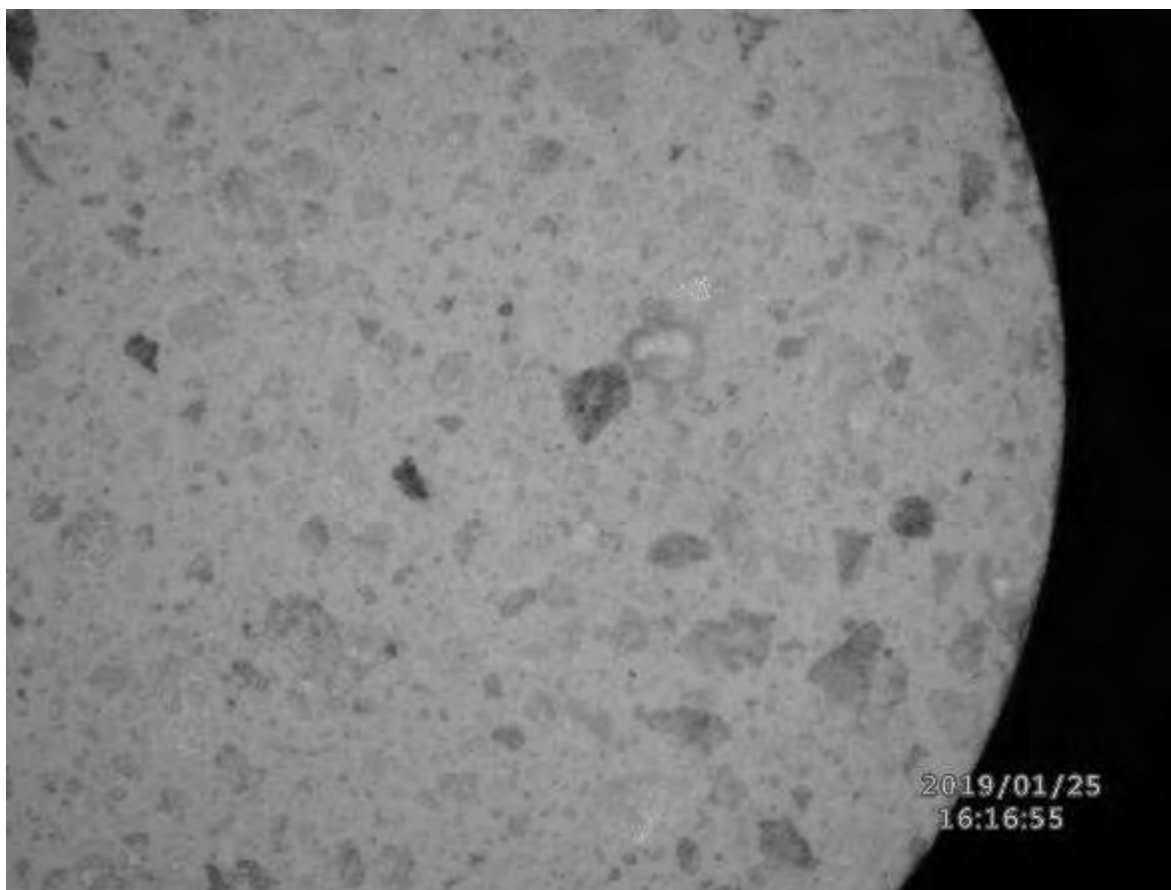


Figura. 4. 256. Microscopia de la C-391118. Fuente: Autoría propia.

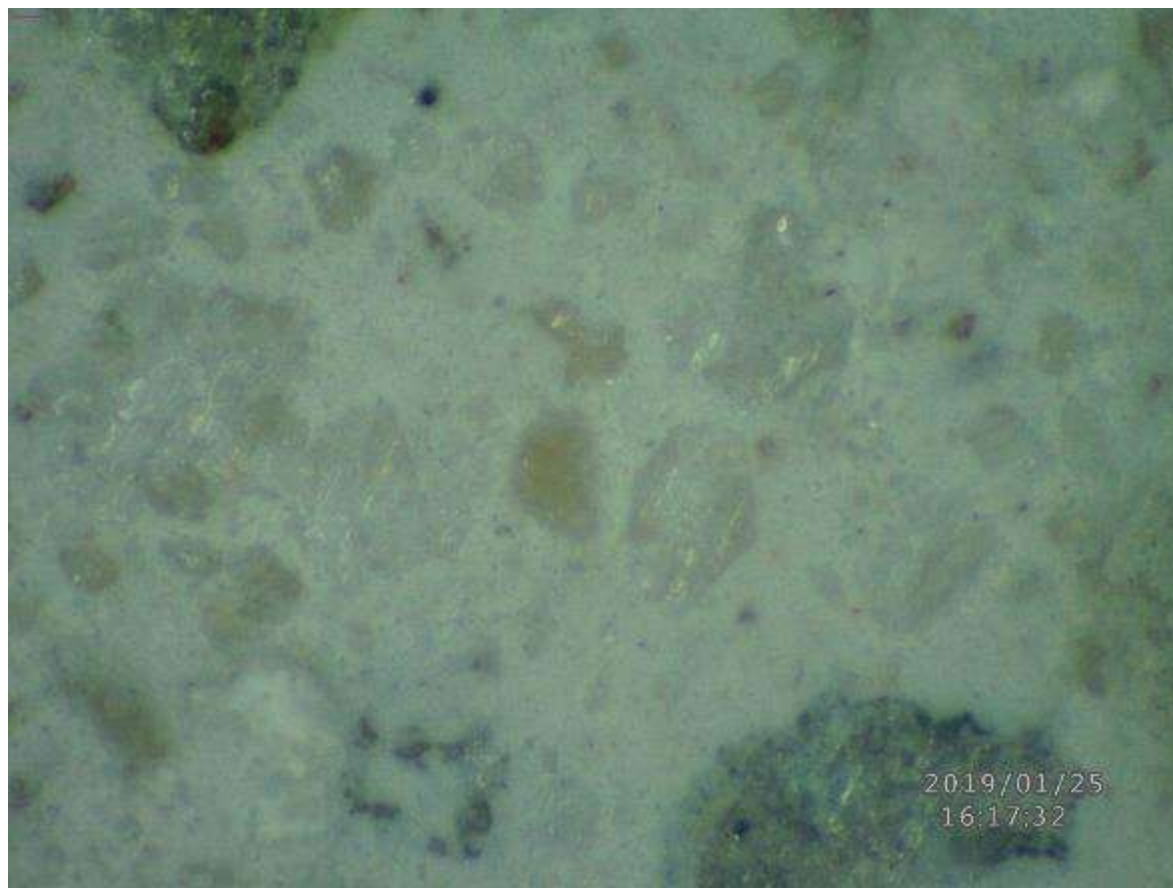


Figura. 4. 257. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-391118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

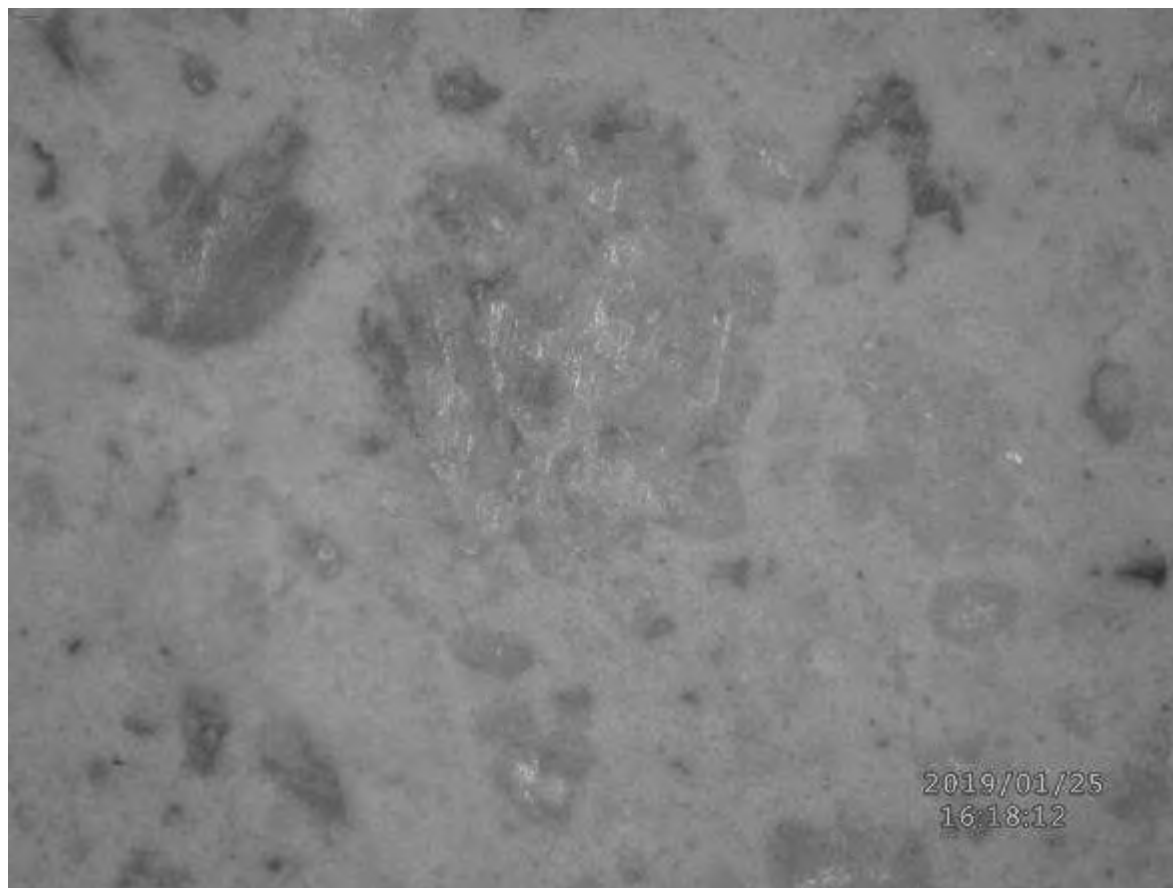


Figura. 4. 258. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-391118, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

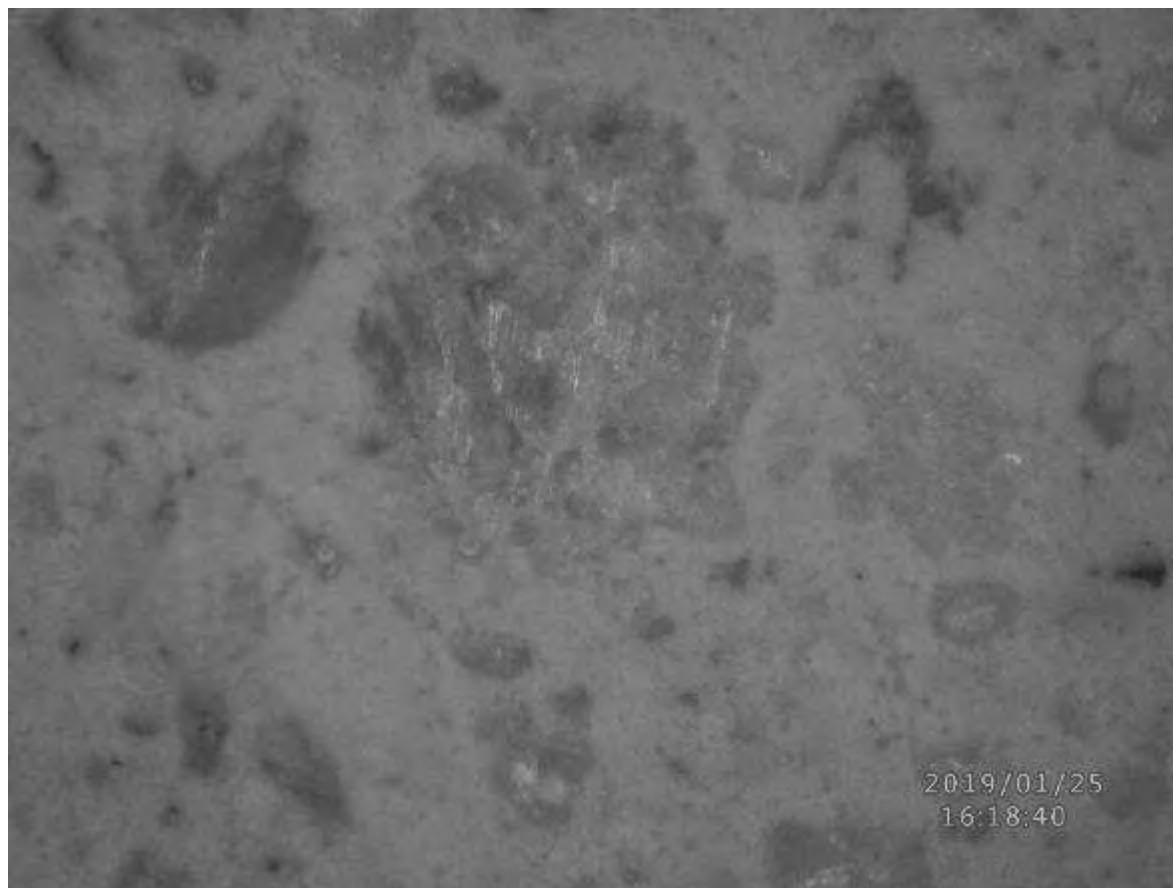


Figura. 4. 259. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-391118, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

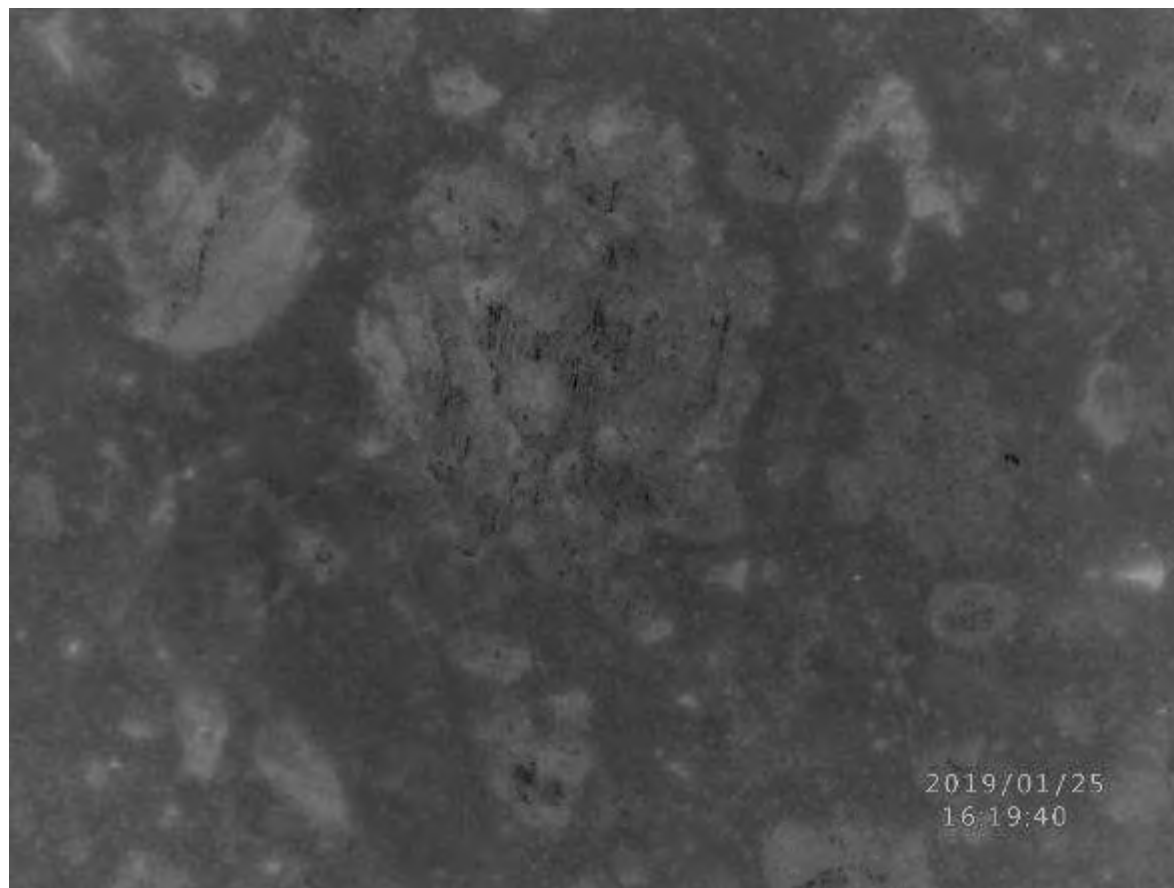


Figura. 4. 260. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-391118, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 261. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-391118, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

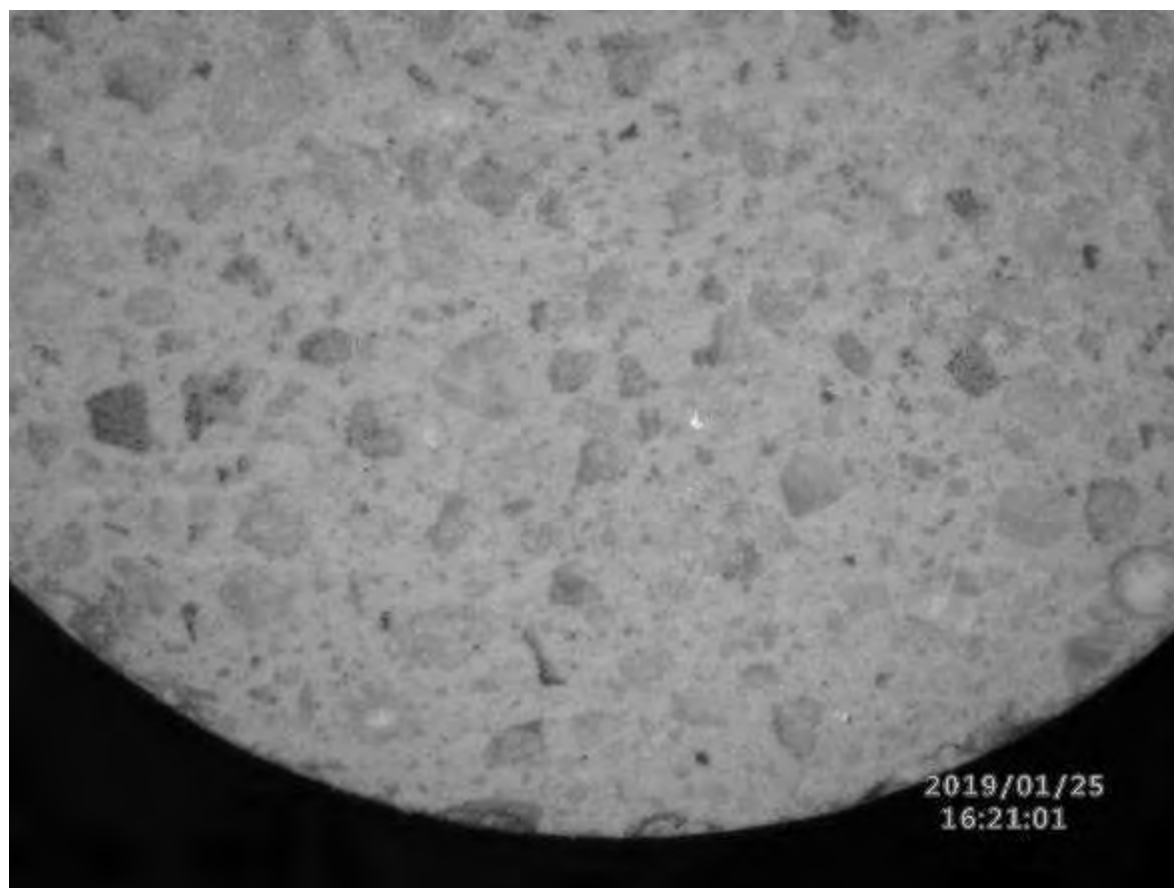


Figura. 4. 262. Microscopia de la C-1391118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

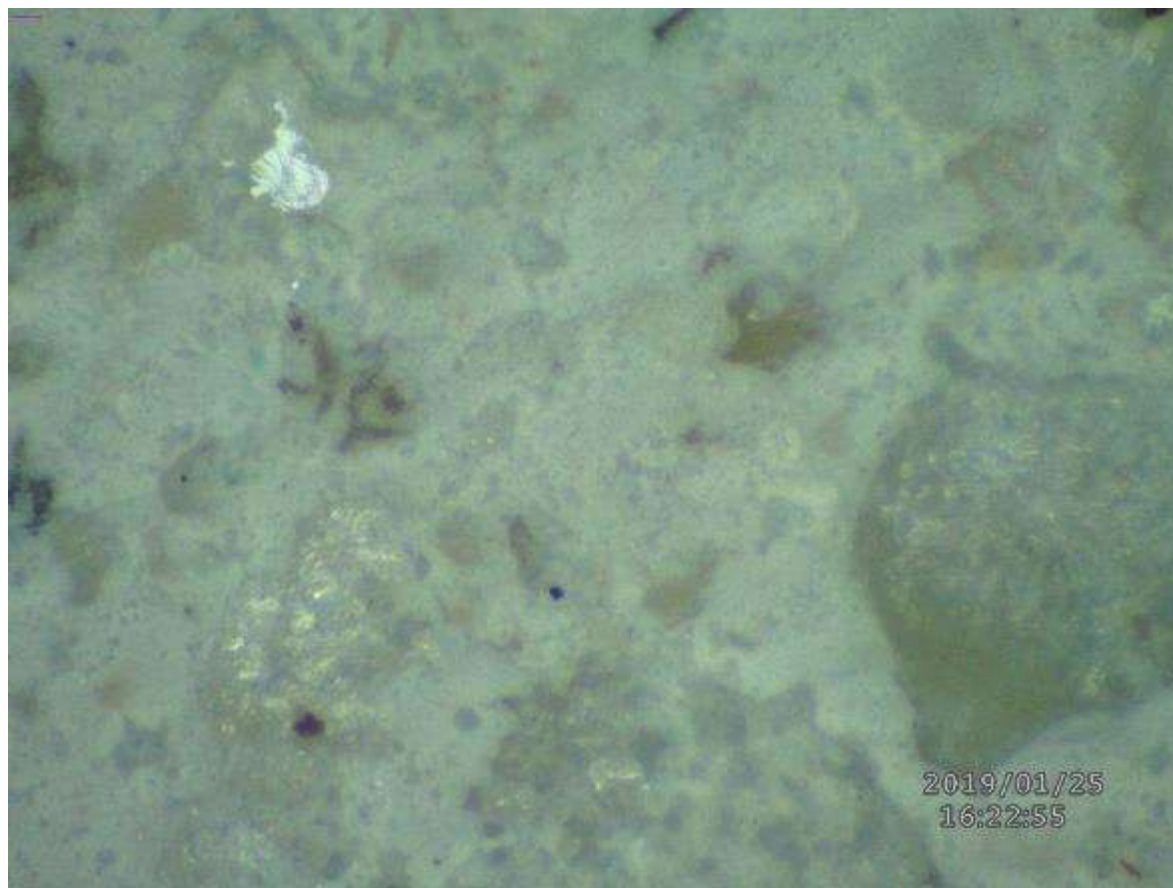


Figura. 4. 263. Microscopia de la C-391118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

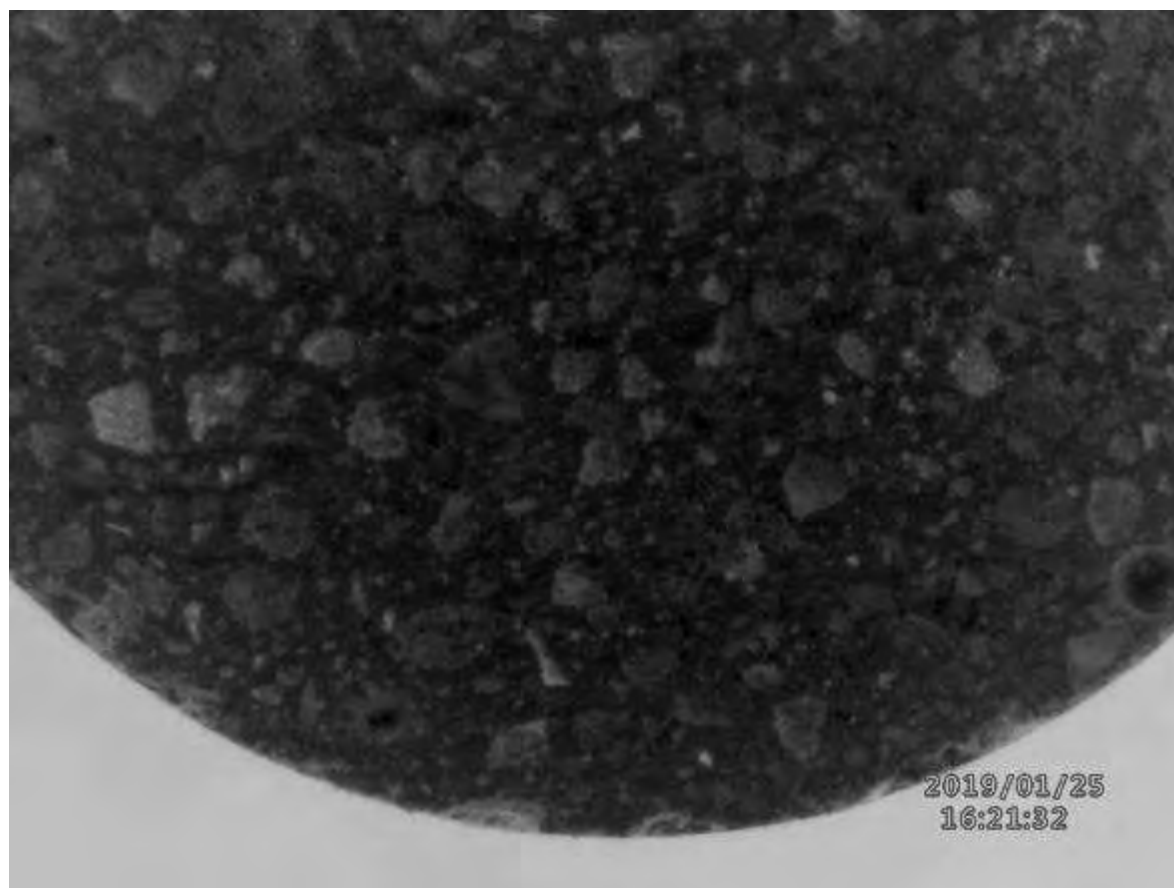


Figura. 4. 264. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-391118, con un filtro negativo bajo una luz normal.
Fuente: (autoría propia).

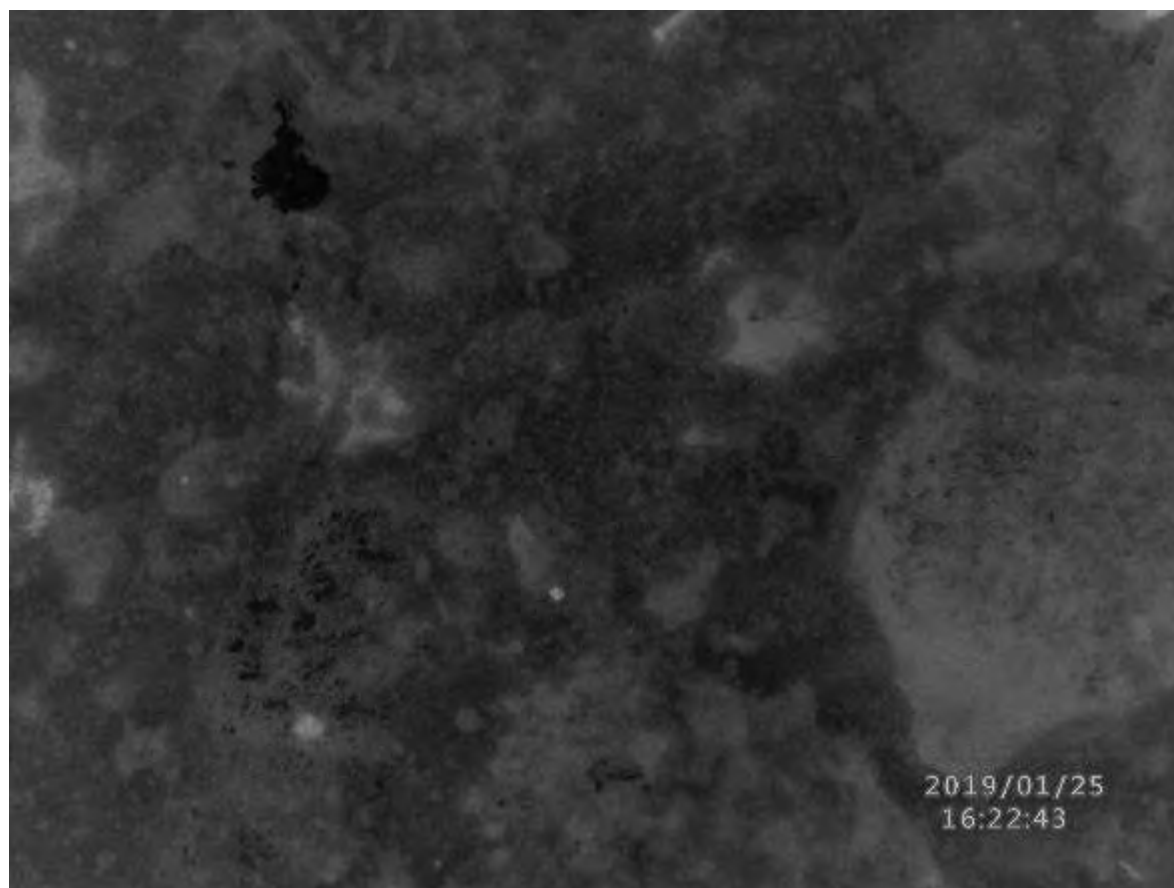
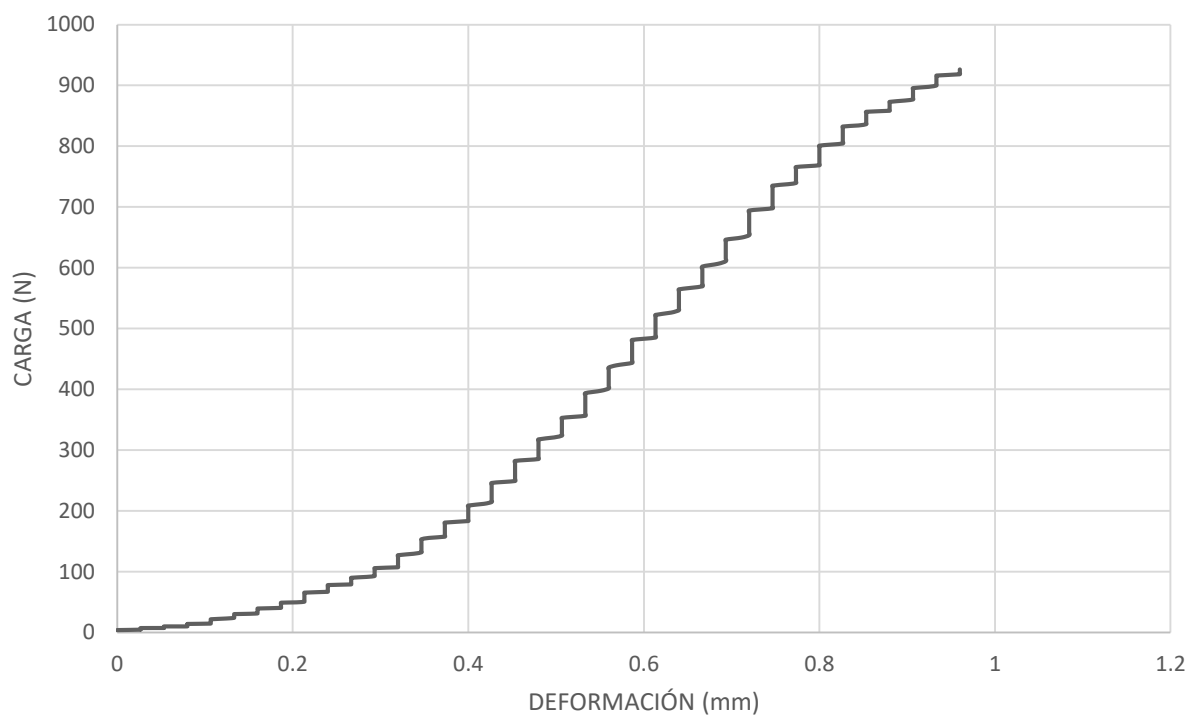


Figura. 4. 265. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-391118, con un filtro negativo bajo una luz normal.
Fuente: (autoría propia).

CARGA-DEFORMACIÓN



Gráficas 4. 21. Curva Carga-Deformación de la C-391118, en N-mm. Fuente: (autoría propia).

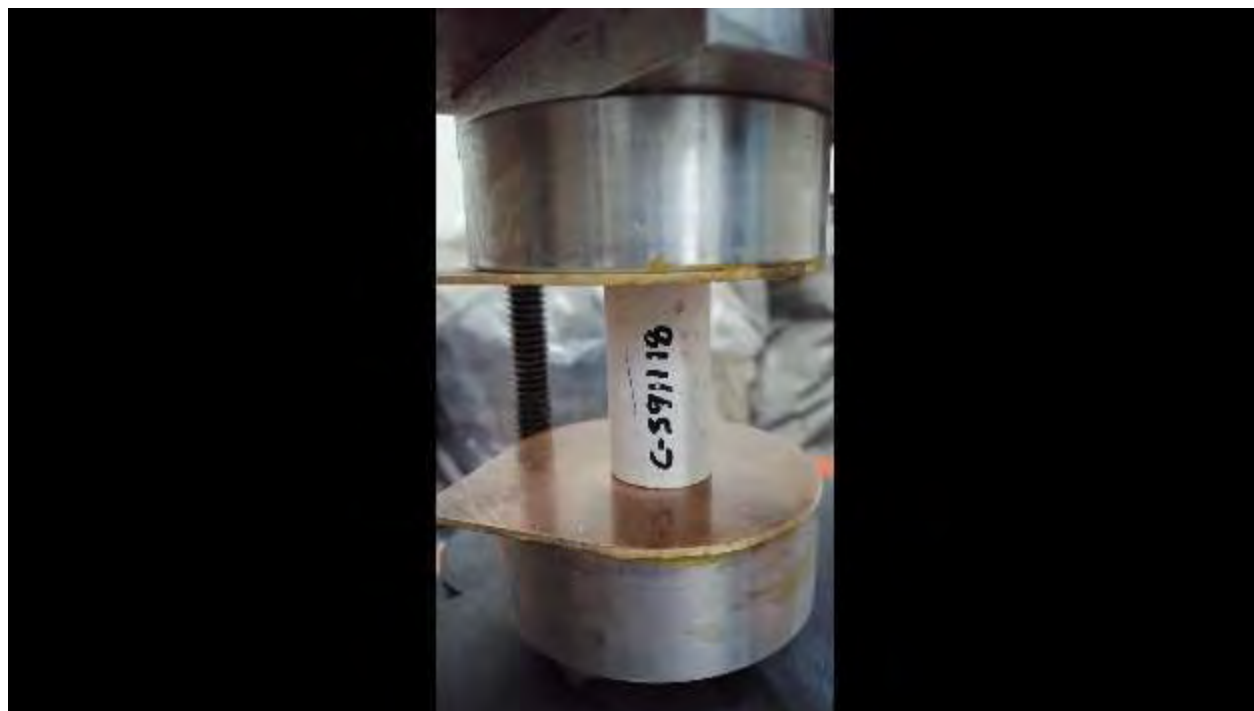


Figura. 4. 266. Fotografía de la C-391118, en la prensa. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 267. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-391118. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 268. Fotografías de la corrida C-491118. Fuente: (Autoría propia).

De composición 100% CAL ESTANDAR, 275% MARMOLINA Tipo 2, 10% METACAOLIN, 10% CLORURO DE SODIO, 20% HARINA DE ARRÓZ y A/C= 1.2:1 (calentada hasta el punto de ebullición y agregada a la mezcla, previamente integrados todos los materiales), de dimensiones iguales a un diámetro de 23.3 mm y longitud de 45.6mm, que presenta una buena dureza al ser pulido pobre en la parte inferior, con poco desprendimiento. (Autoría propia).

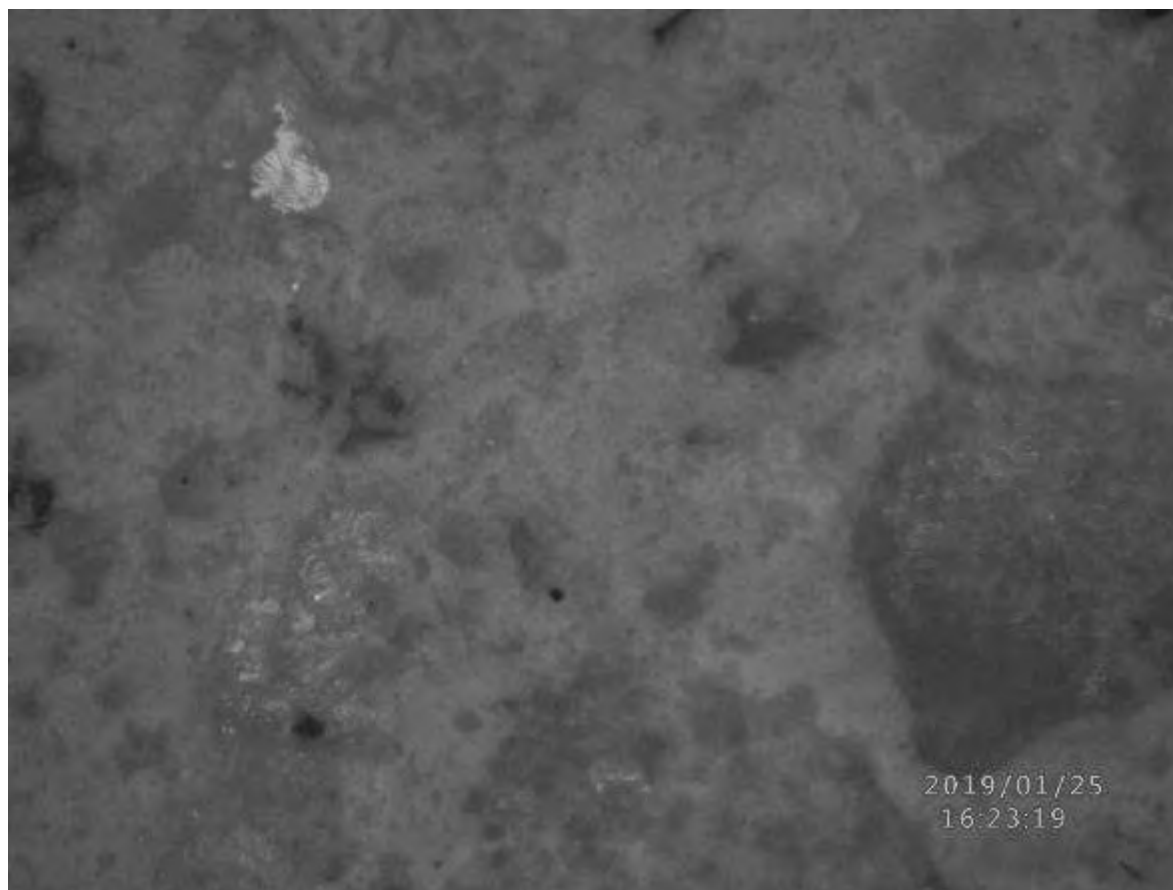


Figura. 4. 269. Microscopia de la C-491118. Fuente: Autoría propia.

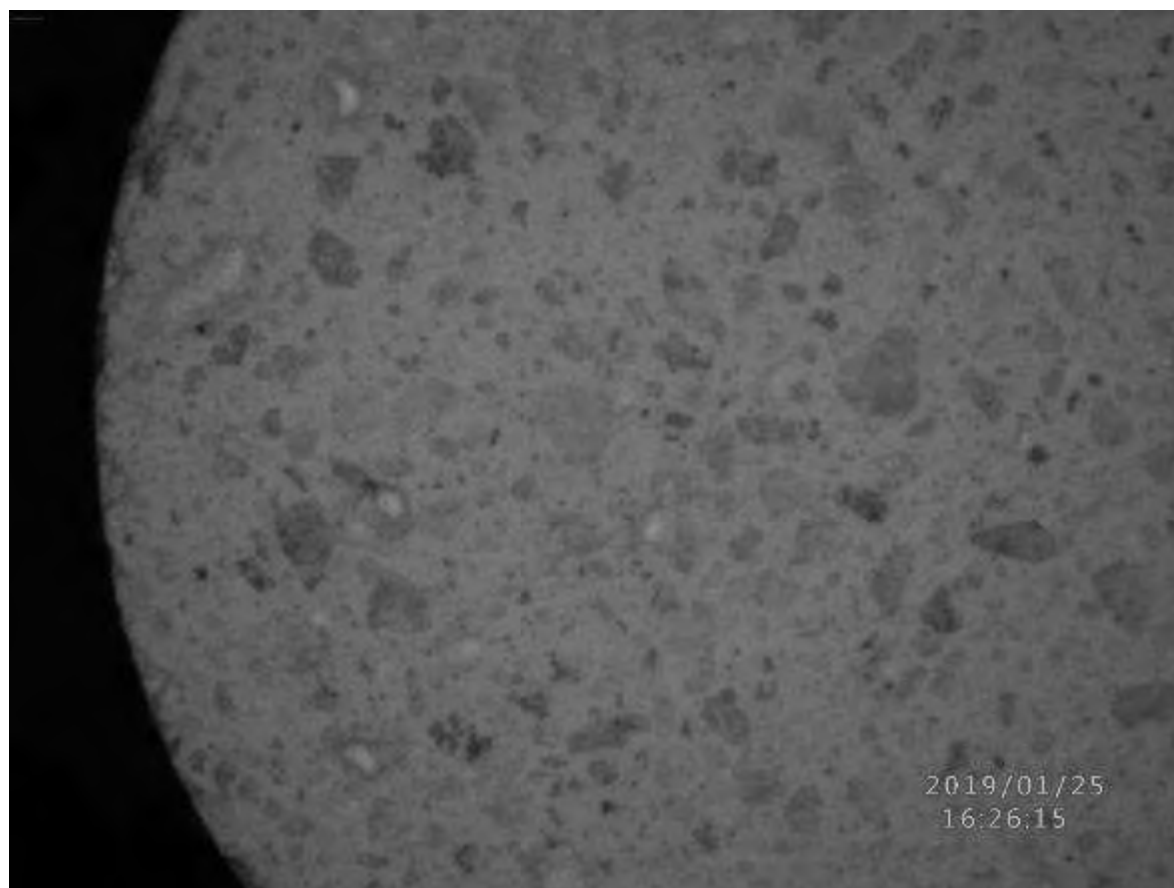


Figura. 4. 270. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-491118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

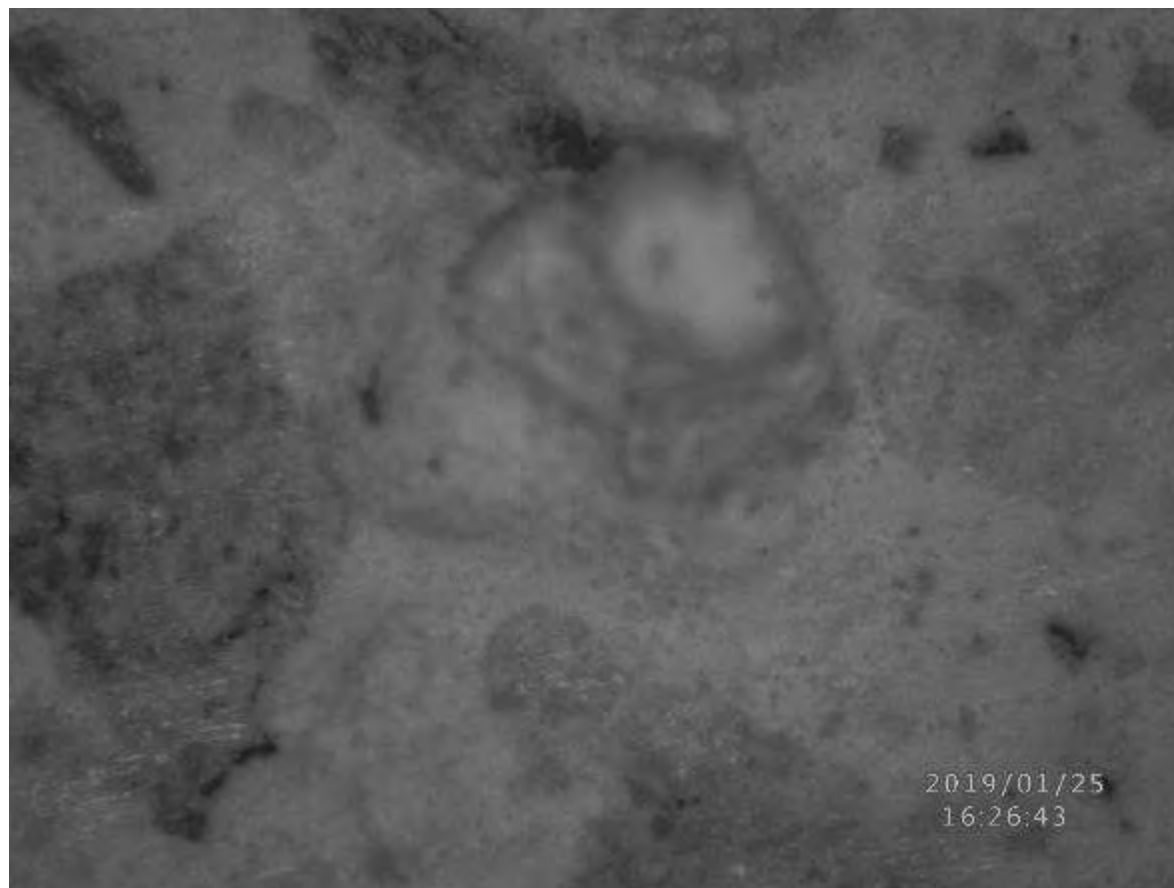


Figura. 4. 271. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-491118, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

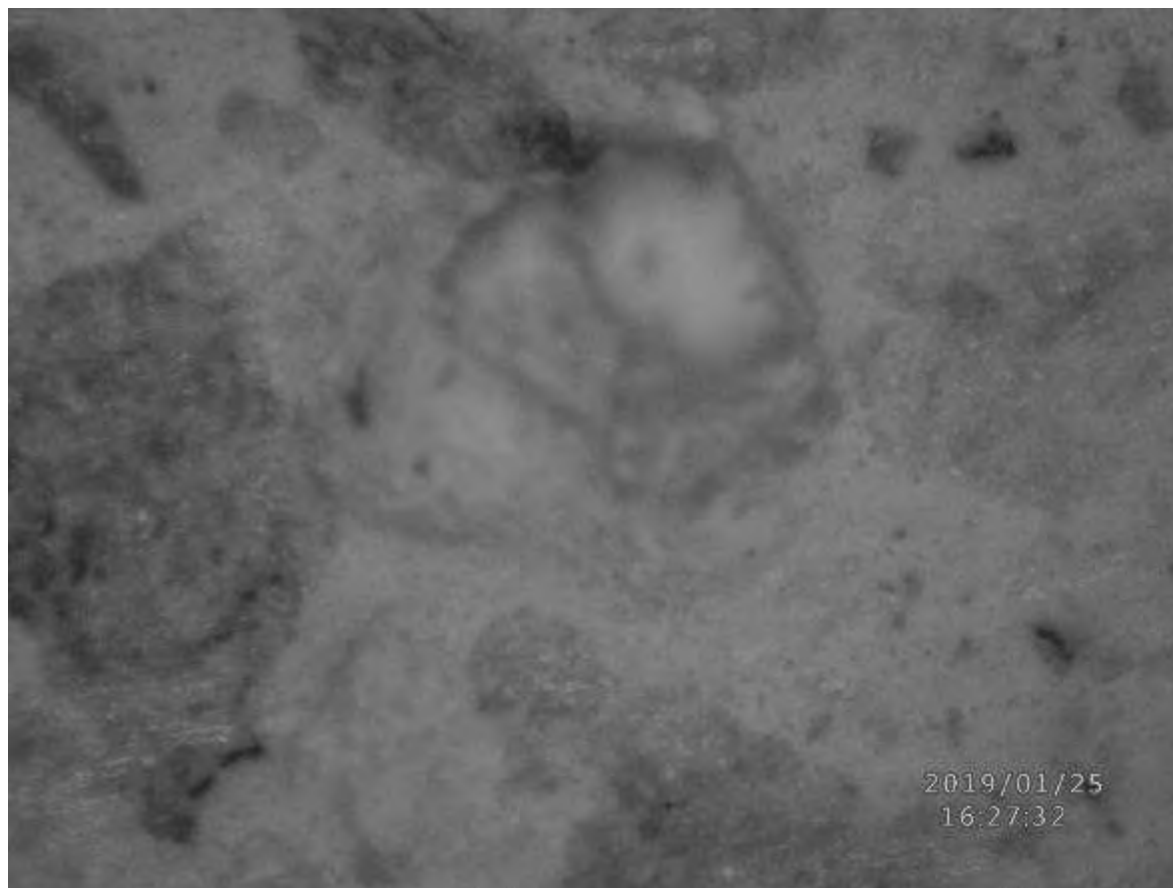


Figura. 4. 272. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-491118, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

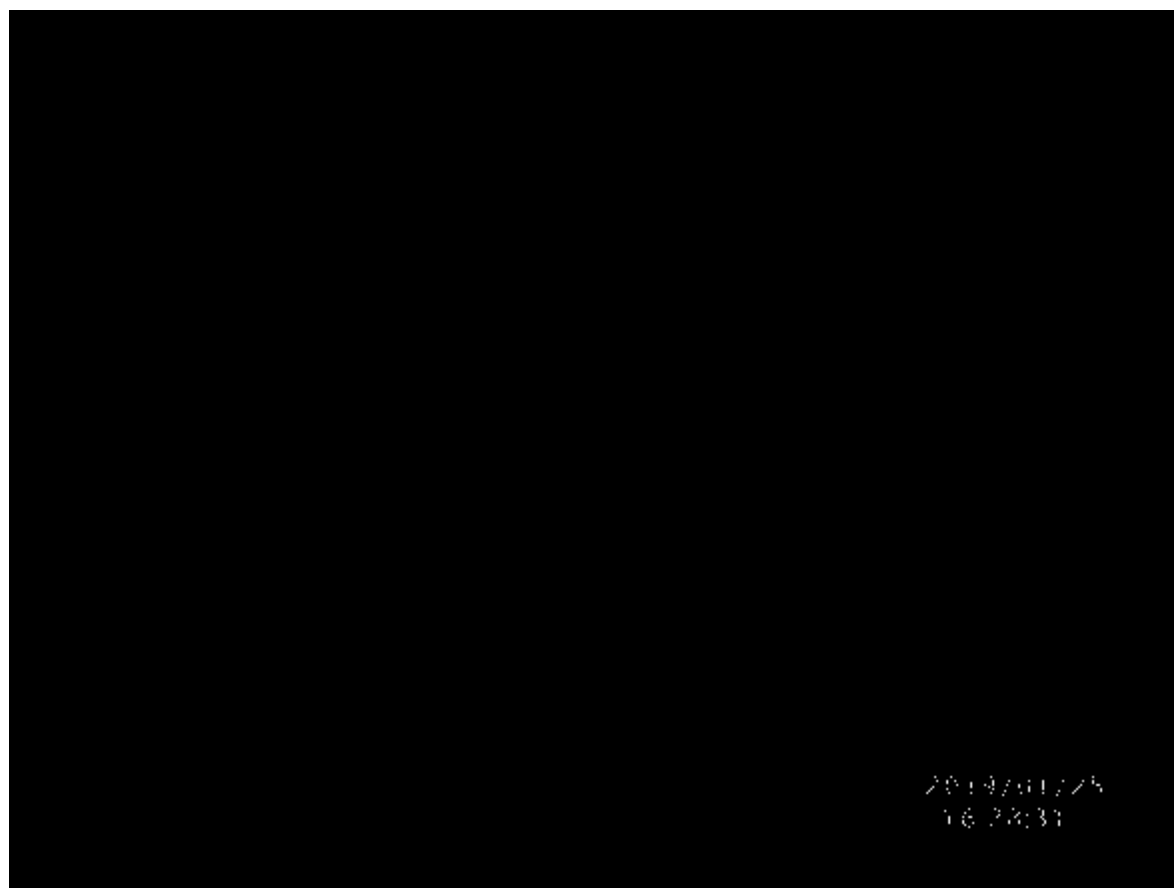


Figura. 4. 273. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-49118, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente.
Fuente: (autoría propia).

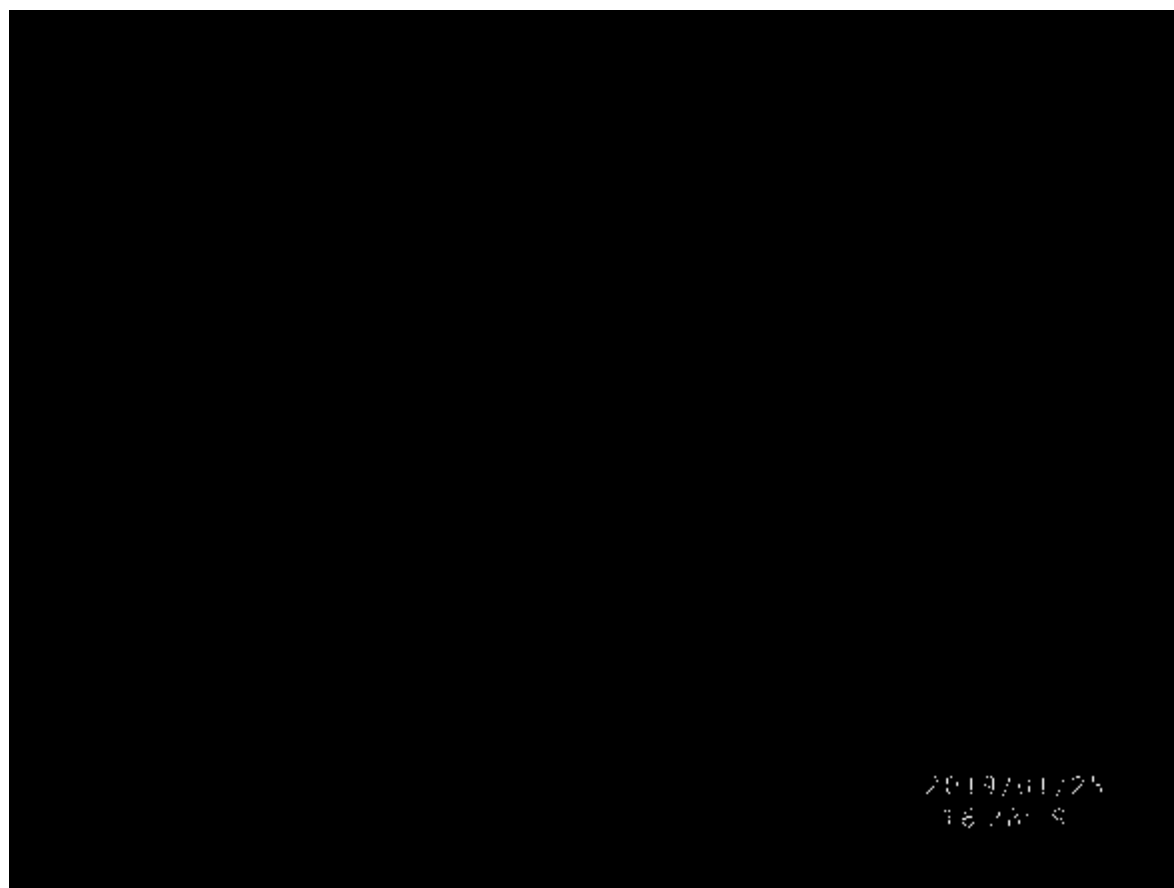


Figura. 4. 274. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-491118, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

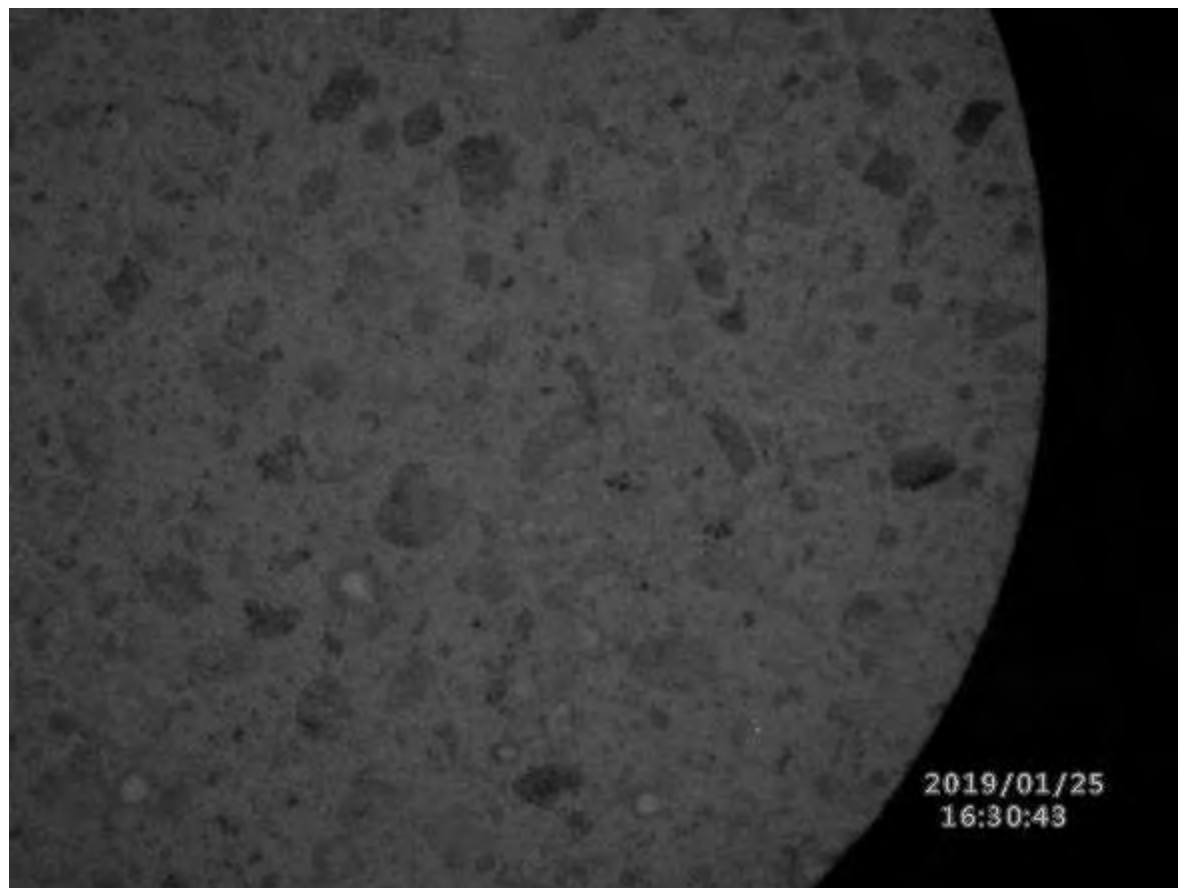


Figura. 4. 275. Microscopia de la C-491118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

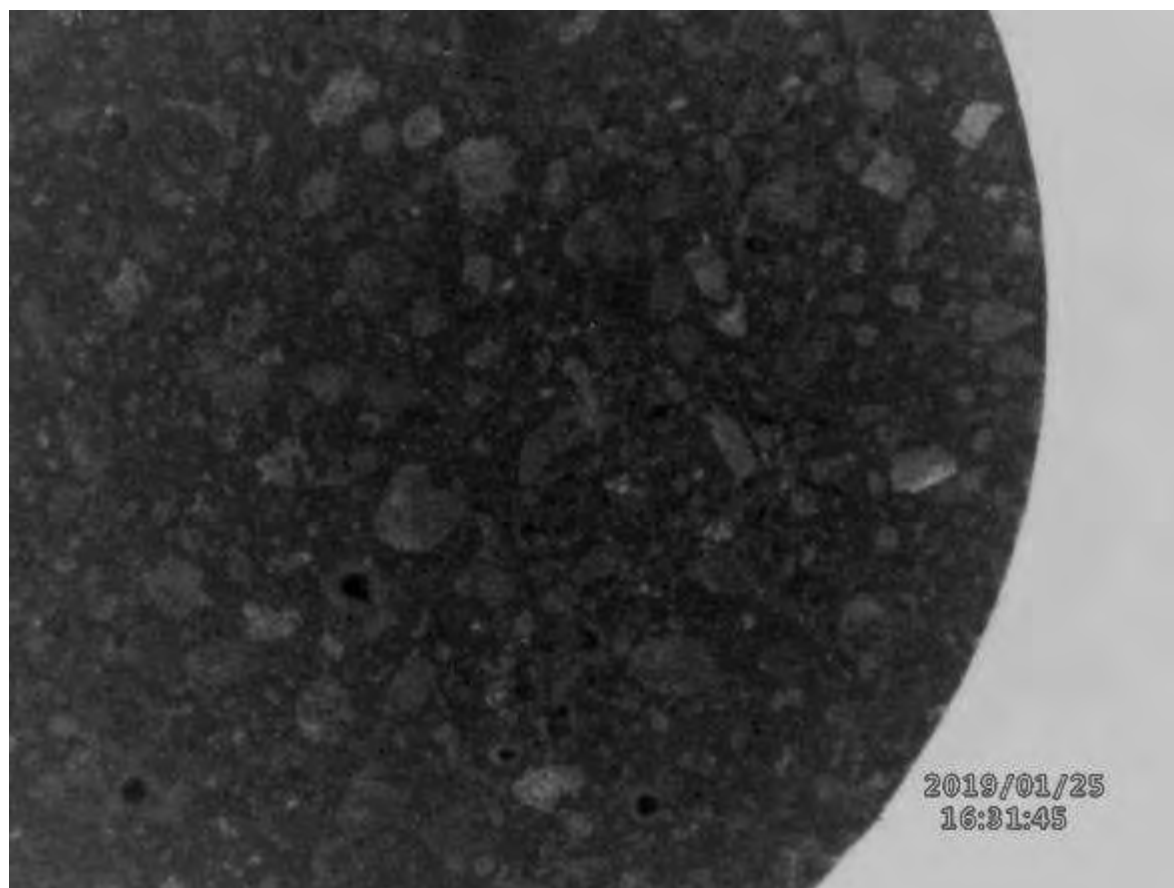


Figura. 4. 276. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-491118, con un filtro negativo bajo una luz normal.
Fuente: (autoría propia).

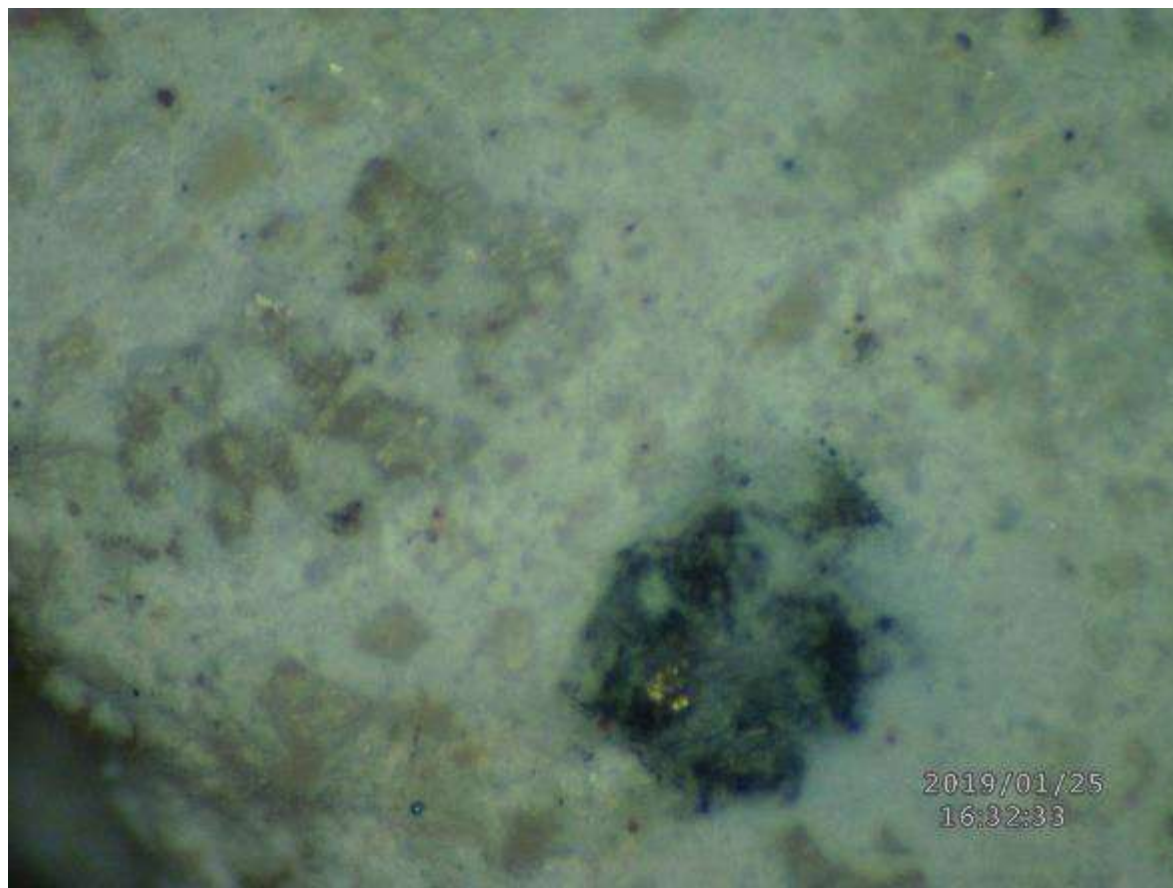


Figura. 4. 277. Microscopia de la C-491118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 278. Imágenes de la corrida C-491118, con presencia de eflorescencias en su parte externa. (autoría propia).

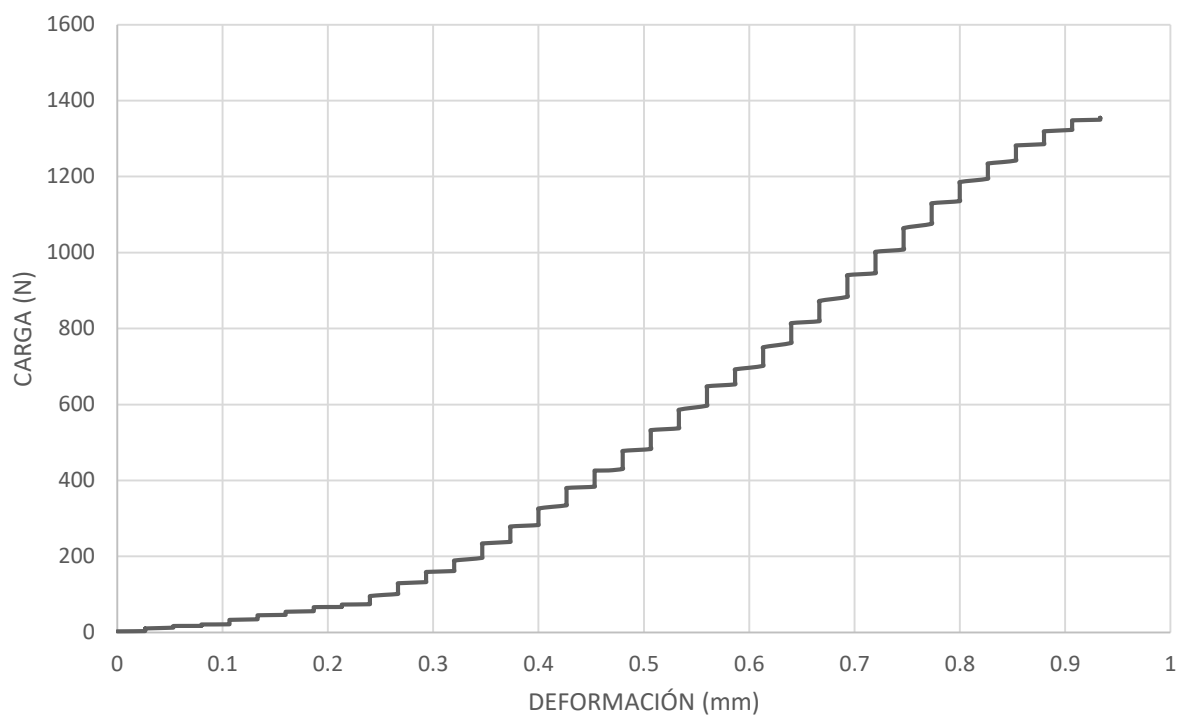


Figura. 4. 279. Fotografía de la C-491118, en la prensa. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 280. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-491118. Fuente: (autoría propia).

CARGA-DEFORMACIÓN



Gráficas 4. 22. Curva Carga-Deformación de la C-491118, en N-mm. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 281. Fotografías de la corrida C--591118. Fuente: (Autoría propia).

De composición 100% CAL ESTANDAR, 275% MARMOLINA Tipo 2, 5% METACAOLIN, 5% CLORURO DE SODIO, 30% HARINA DE ARRÓZ y A/C= 1.3:1 (calentada hasta el punto de ebullición y agregada a la mezcla, previamente integrados todos los materiales), de dimensiones iguales a un diámetro de 23.3mm y longitud de 45.5mm, que presenta una buena dureza al ser pulido, con poco desprendimiento. (Autoría propia).

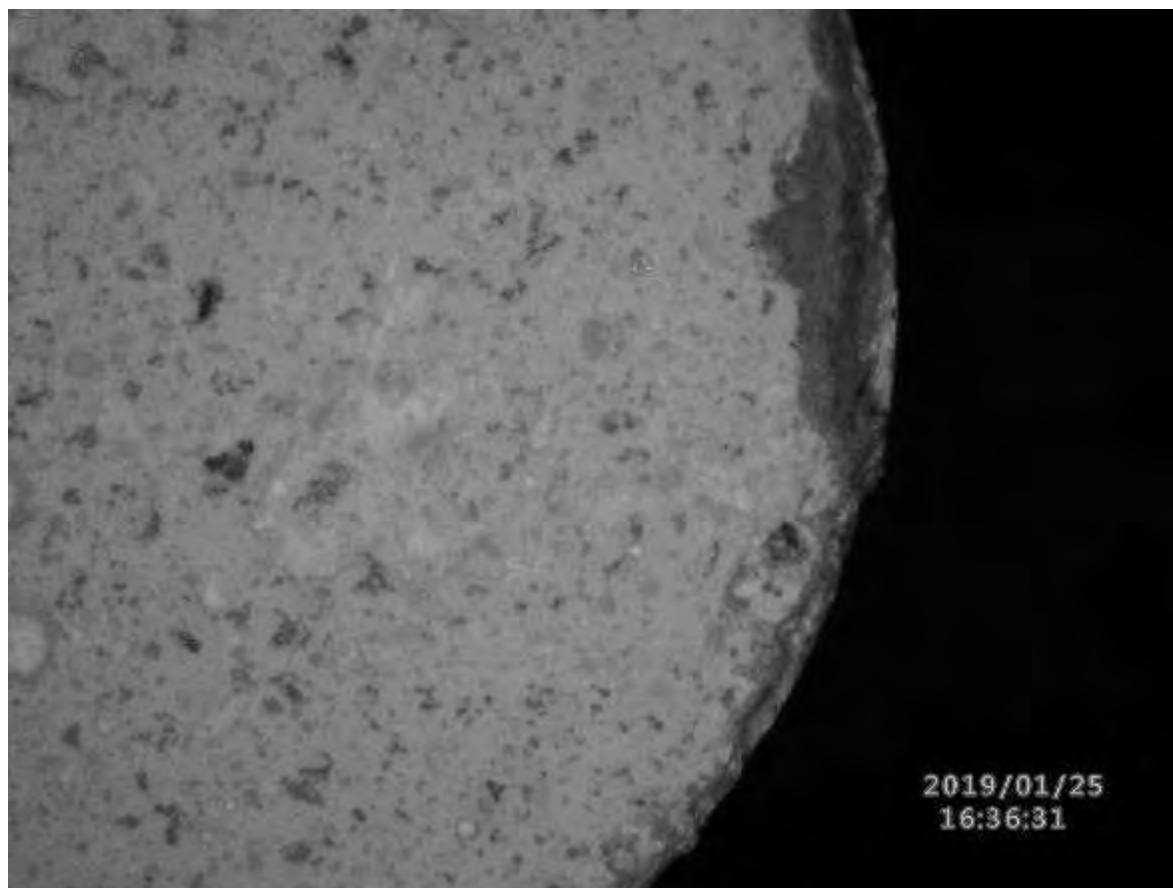


Figura. 4. 282. Microscopia de la C-591118. Fuente: Autoría propia.

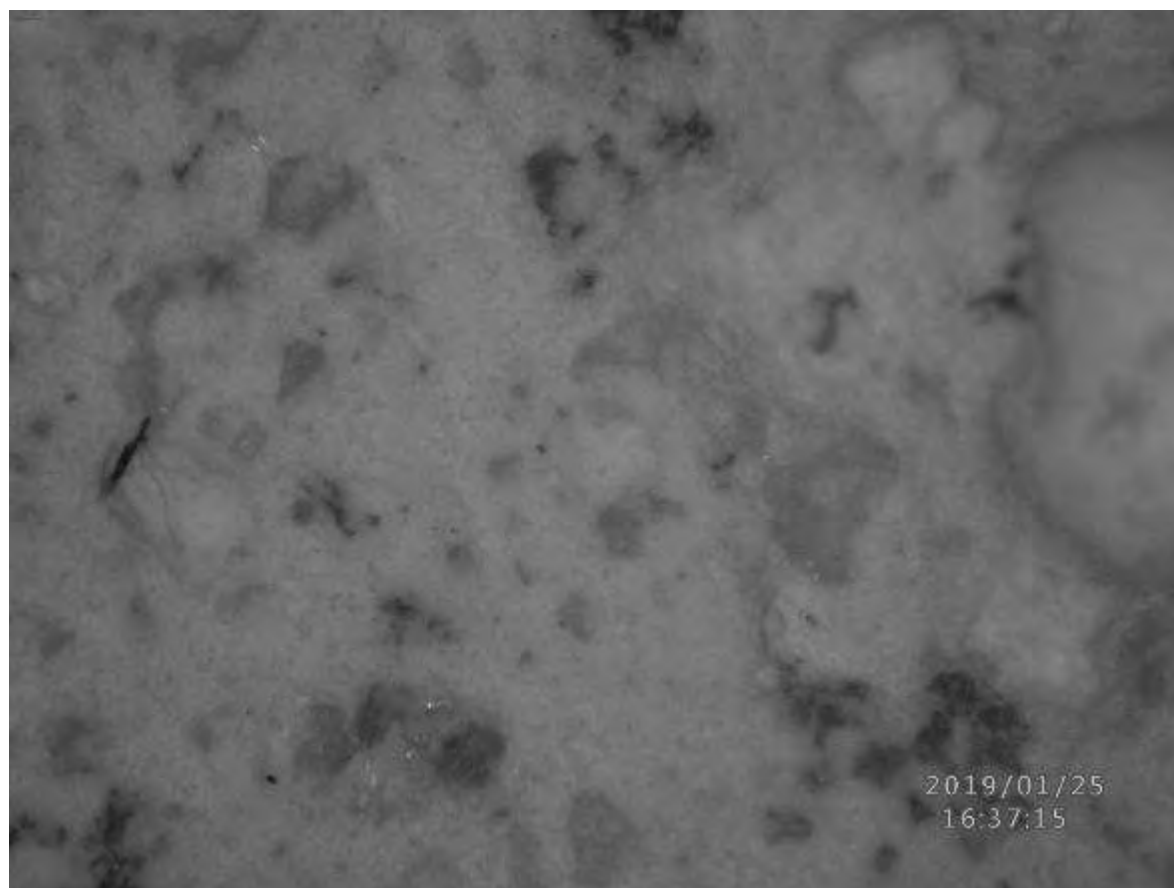


Figura. 4. 283. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-591118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

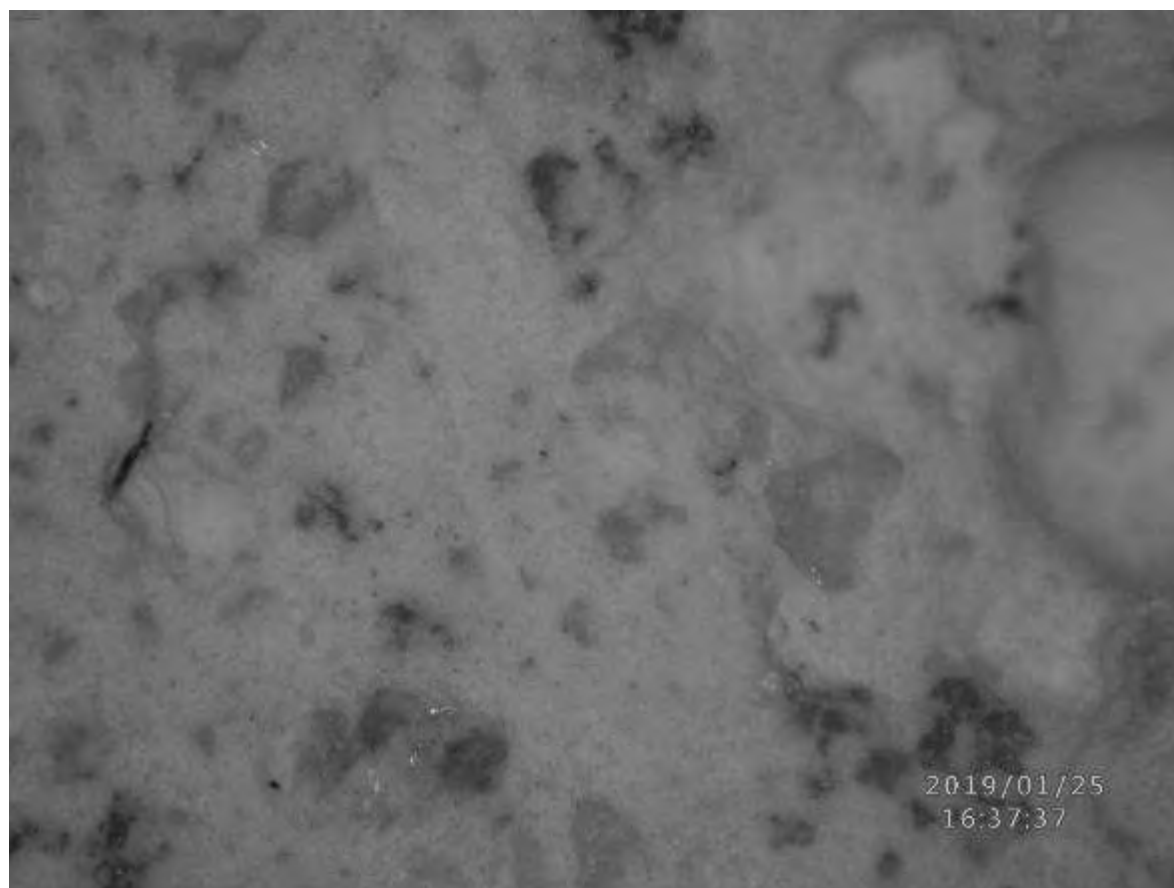


Figura. 4. 284. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-591118, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

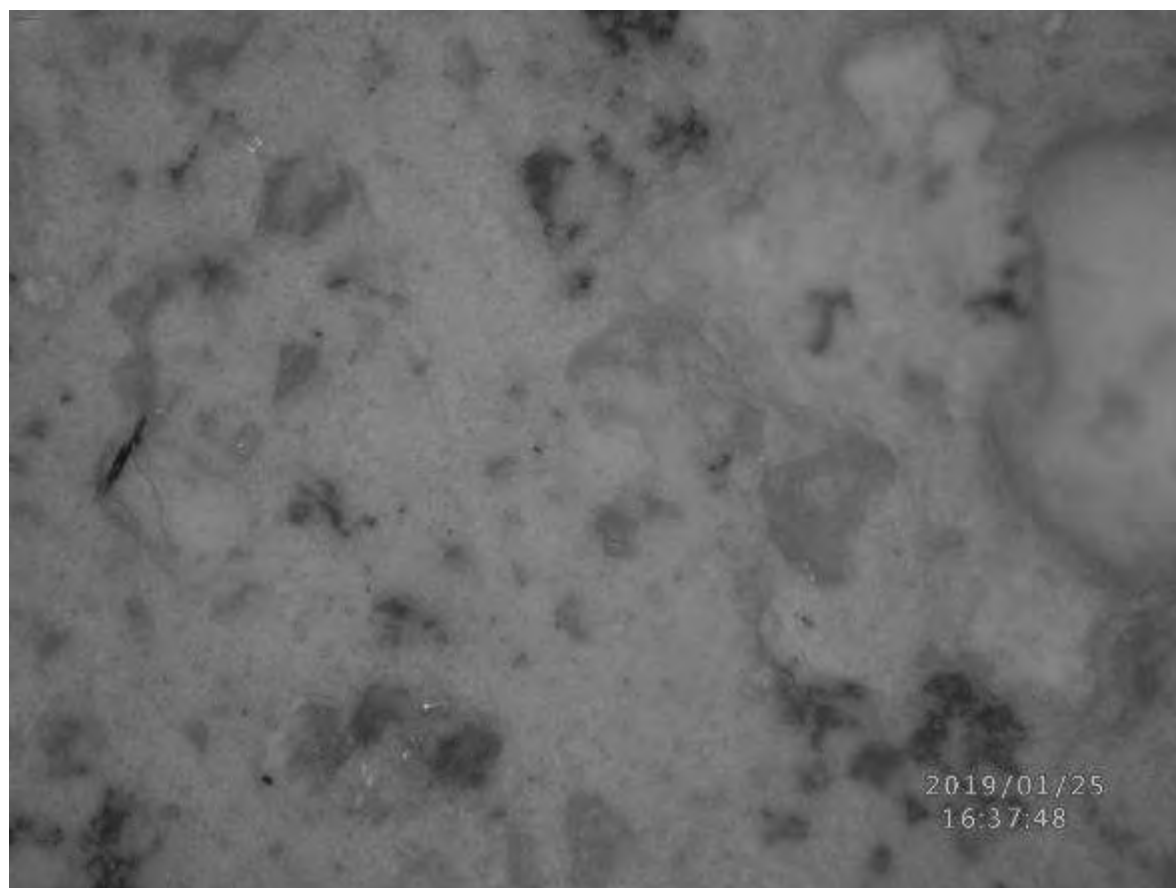


Figura. 4. 285. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-591118, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

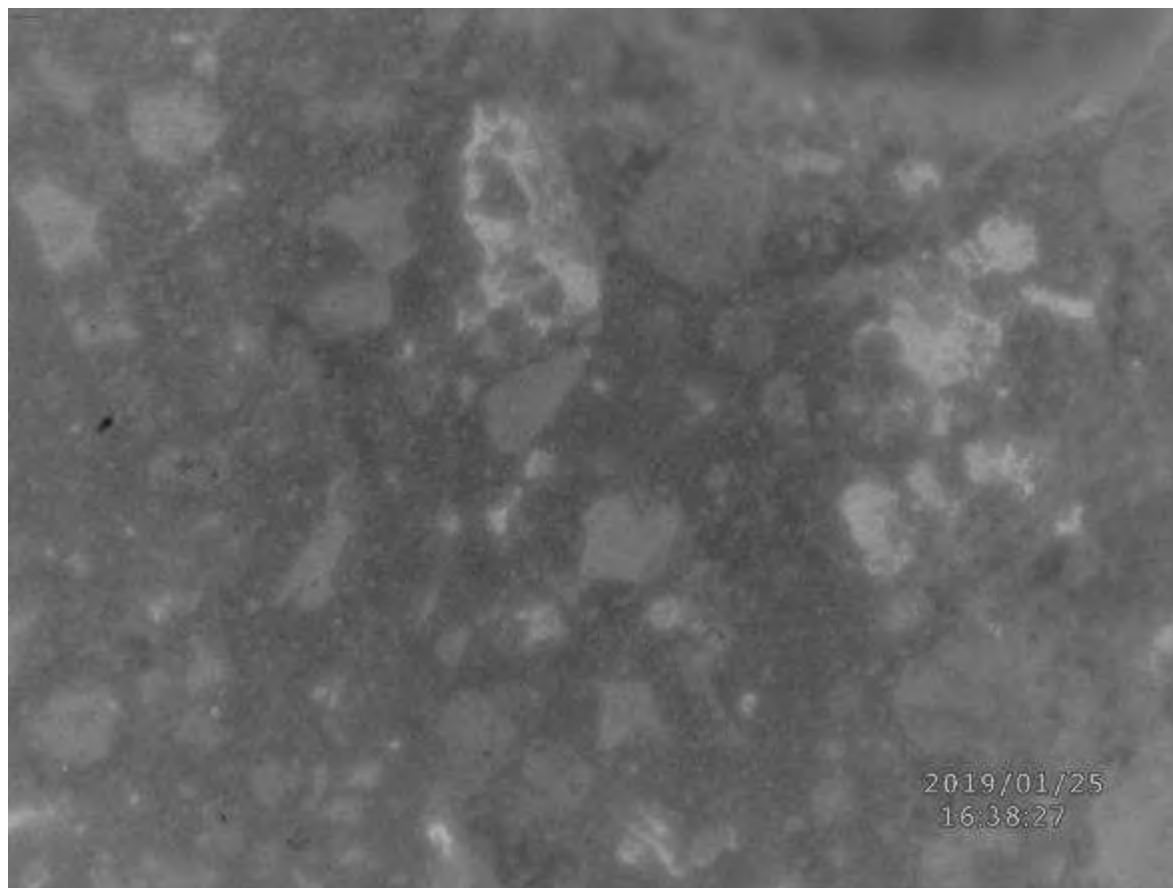


Figura. 4. 286. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-591118, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

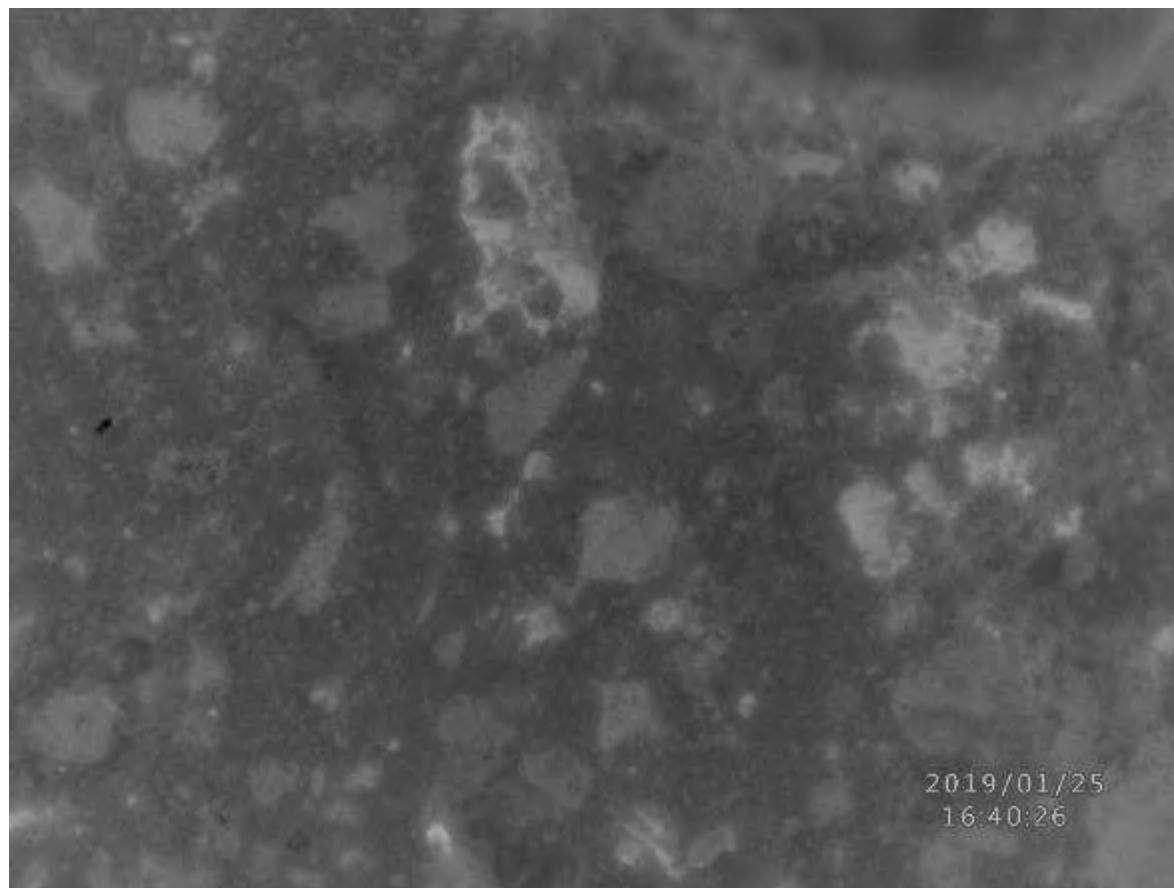


Figura. 4. 287. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-591118, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

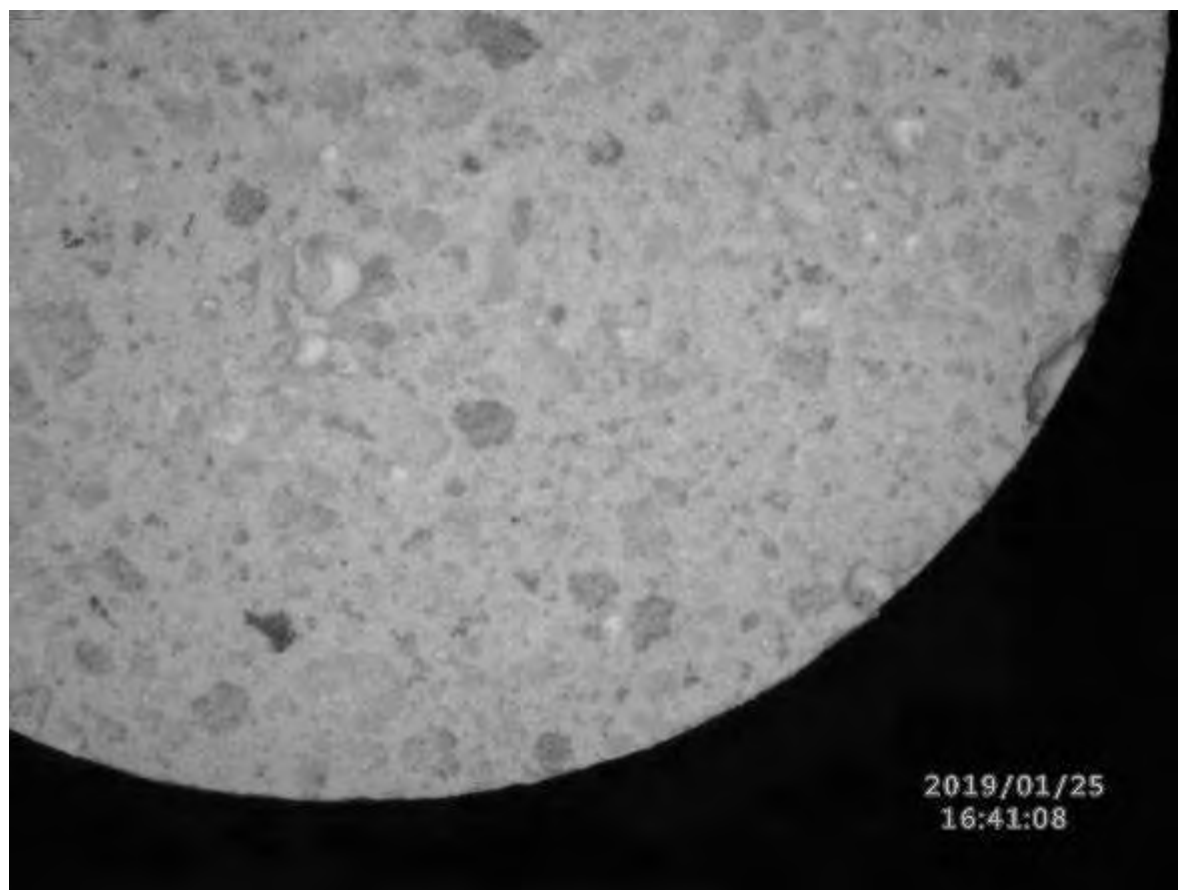


Figura. 4. 288. Microscopia de la C-591118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

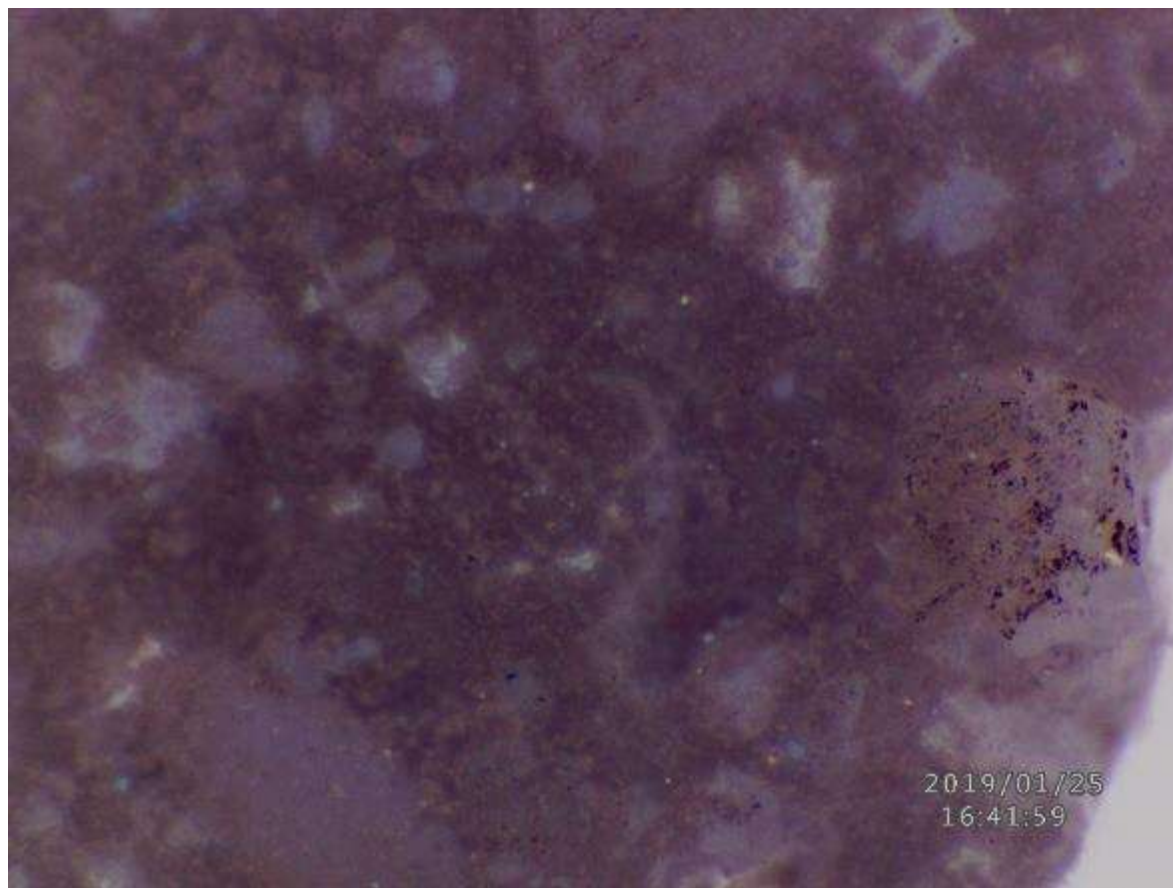


Figura. 4. 289. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-591118, con un filtro negativo bajo una luz normal.
Fuente: (autoría propia).

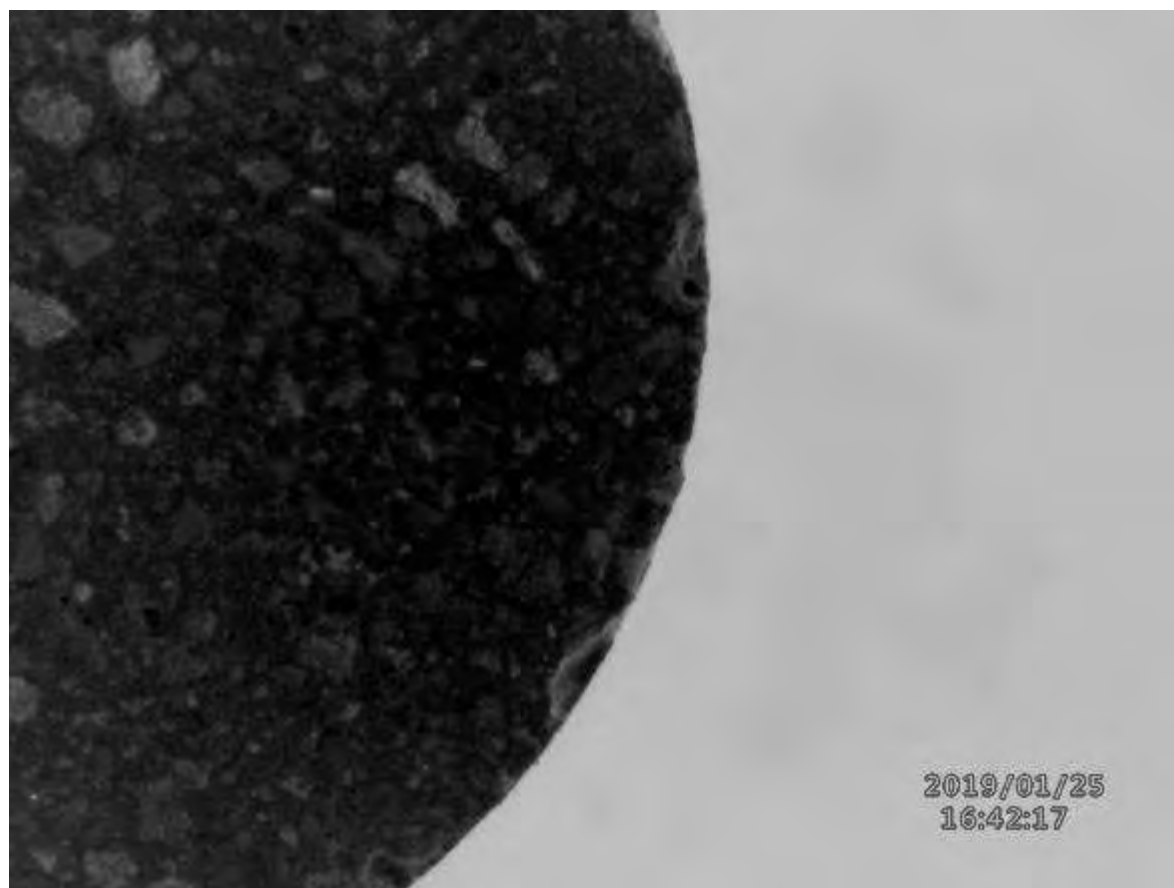


Figura. 4. 290. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-591118, con un filtro negativo bajo una luz normal.
Fuente: (autoría propia).

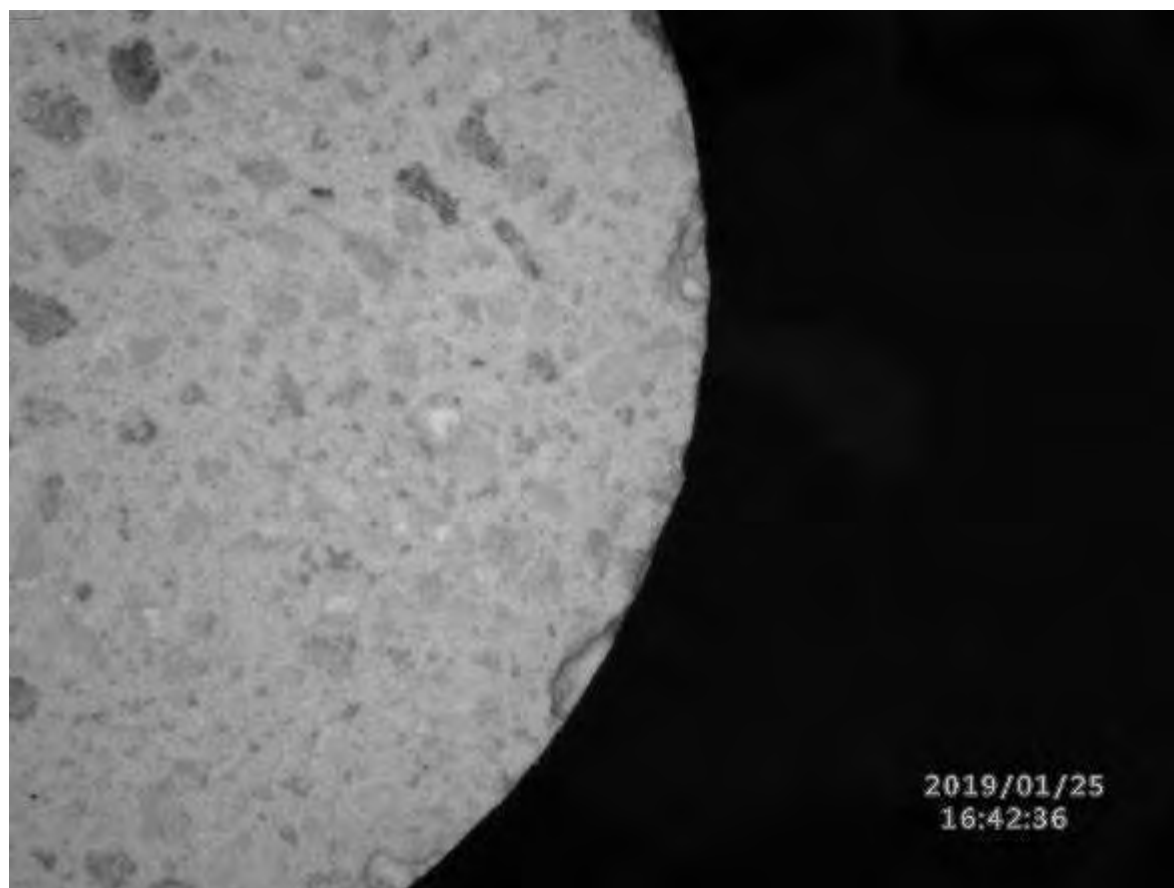
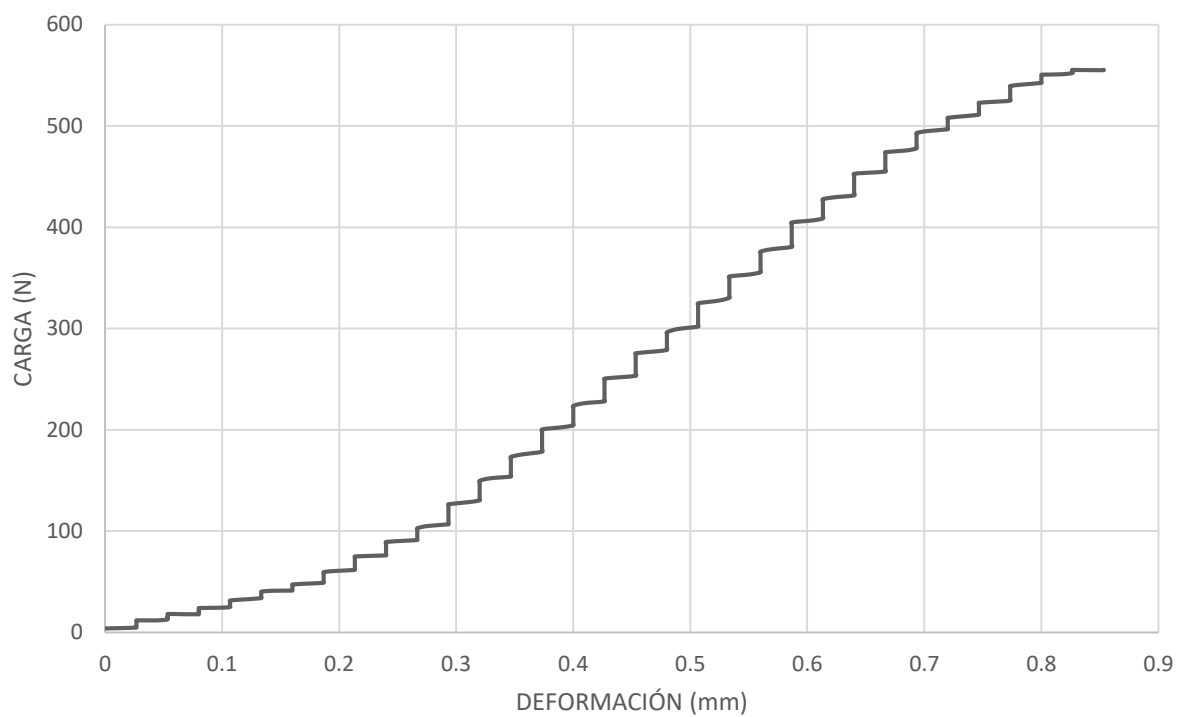


Figura. 4. 291. Microscopia de la C-591118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

CARGA-DEFORMACIÓN



Gráficas 4. 23. Curva Carga-Deformación de la C-591118, en N-mm. Fuente: (autoría propia).

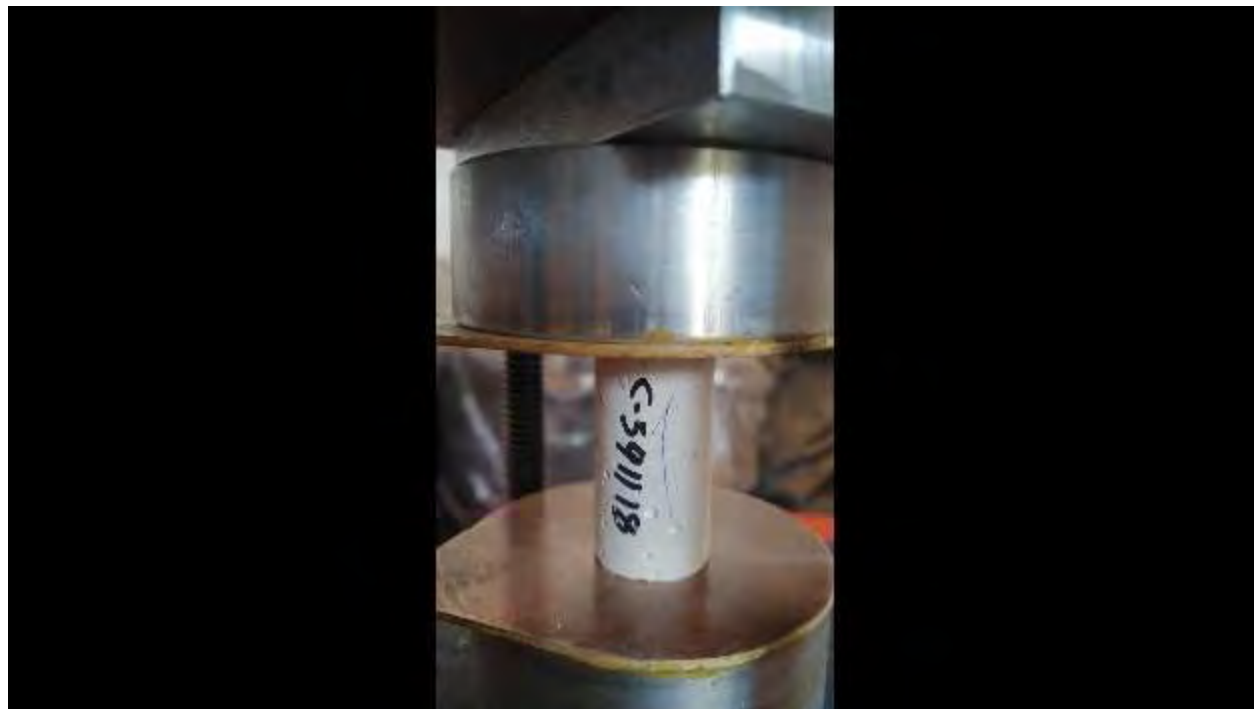


Figura. 4. 292. Fotografía de la C-591118, en la prensa. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 293. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-591118. Fuente: (autoría propia).

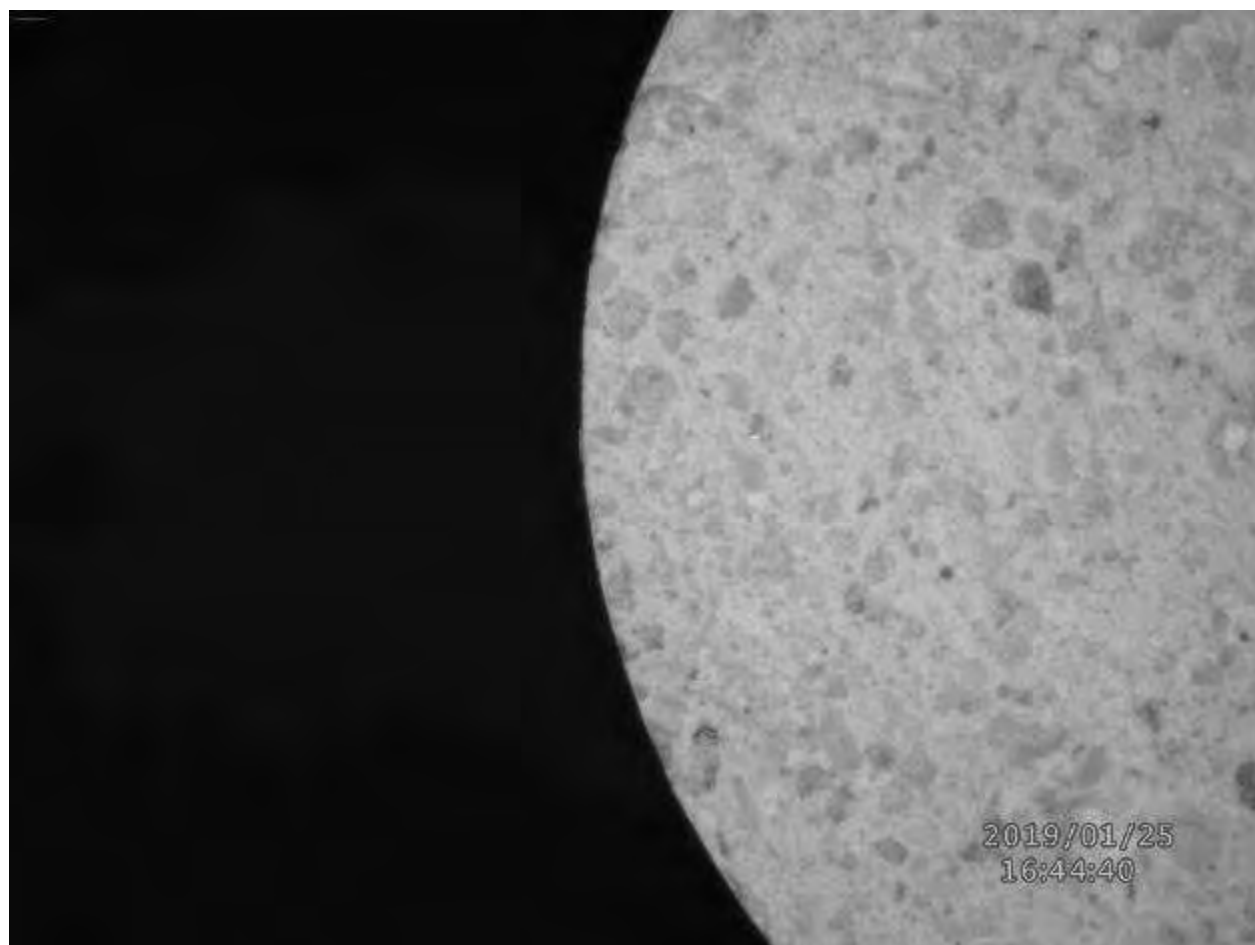


Figura. 4. 294. Fotografías de la corrida C-1121118. Fuente: (Autoría propia).

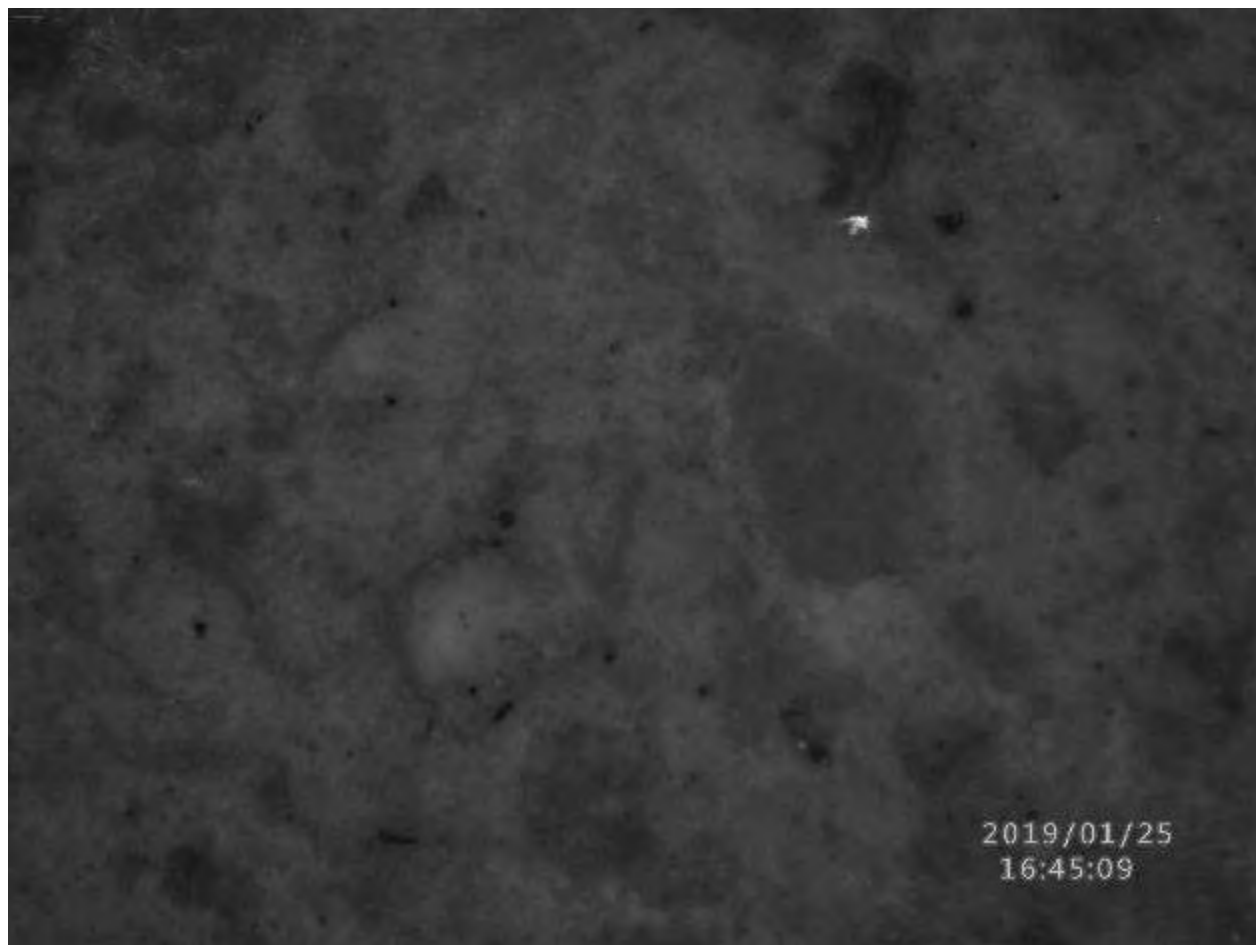


Figura. 4. 295. Microscopia de la C-1121118. Fuente: Autoría propia.

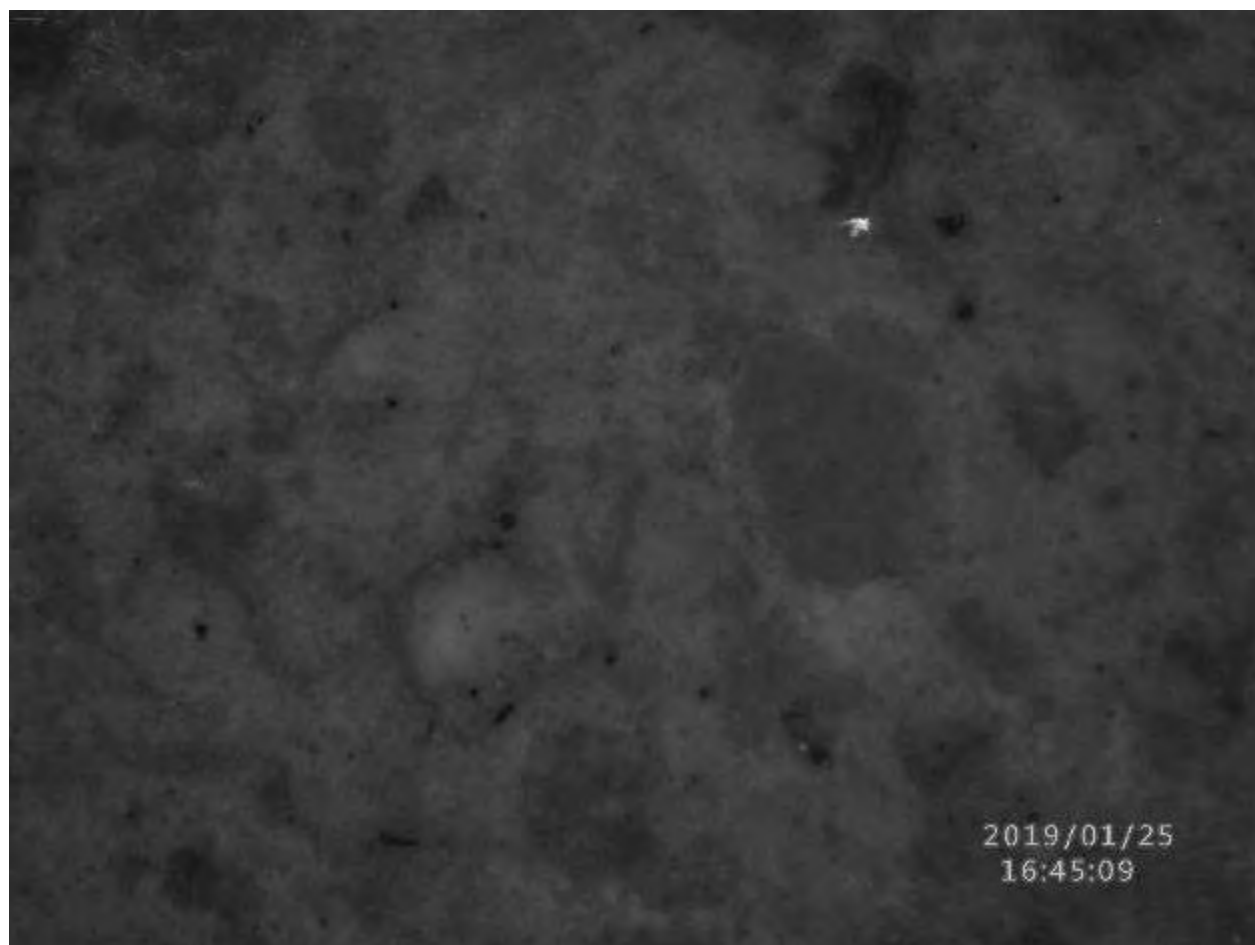


Figura. 4. 296. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1121118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

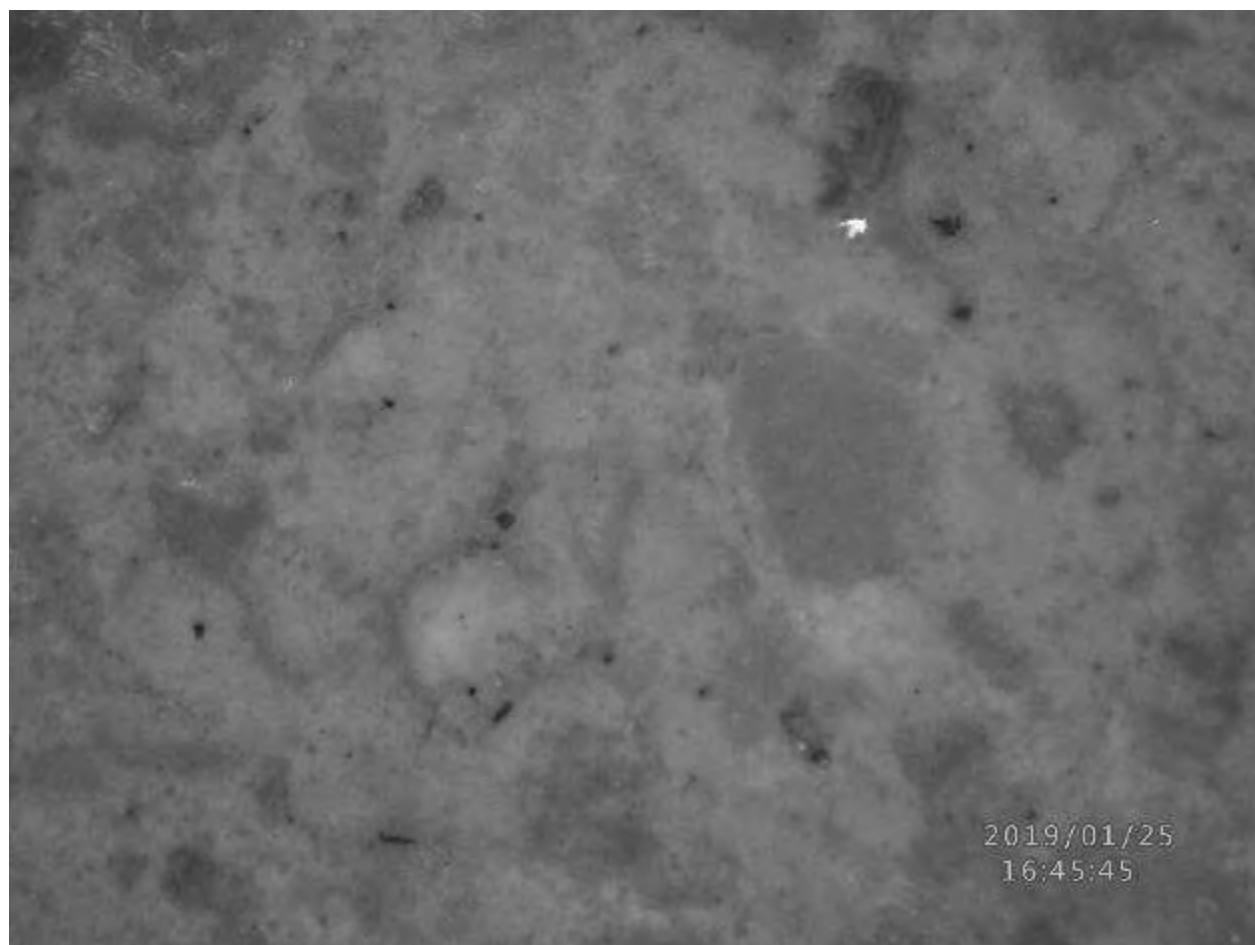


Figura. 4. 297. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1121118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

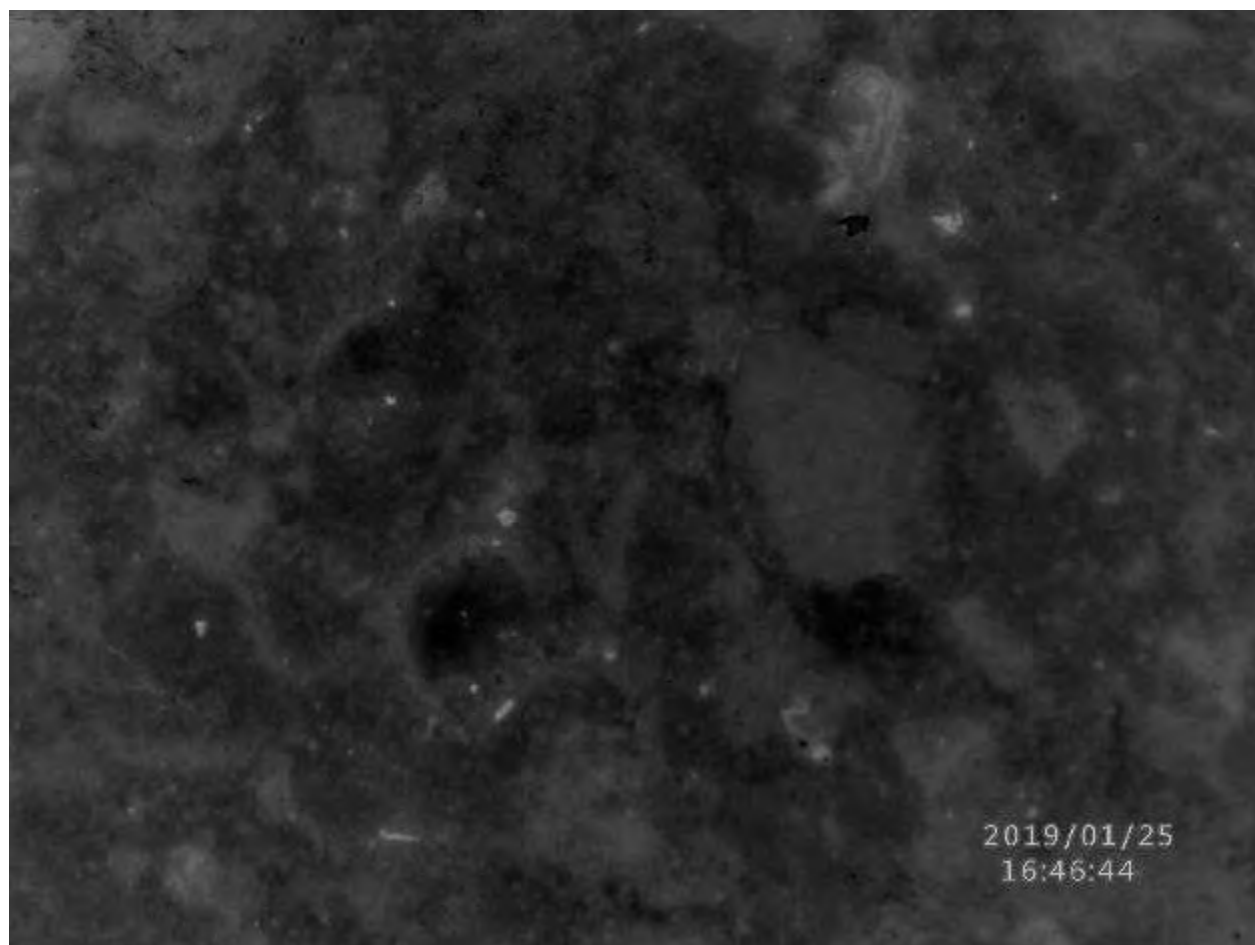


Figura. 4. 298. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-112118, con filtro negativo una luz fluorescente.
Fuente: (autoría propia).

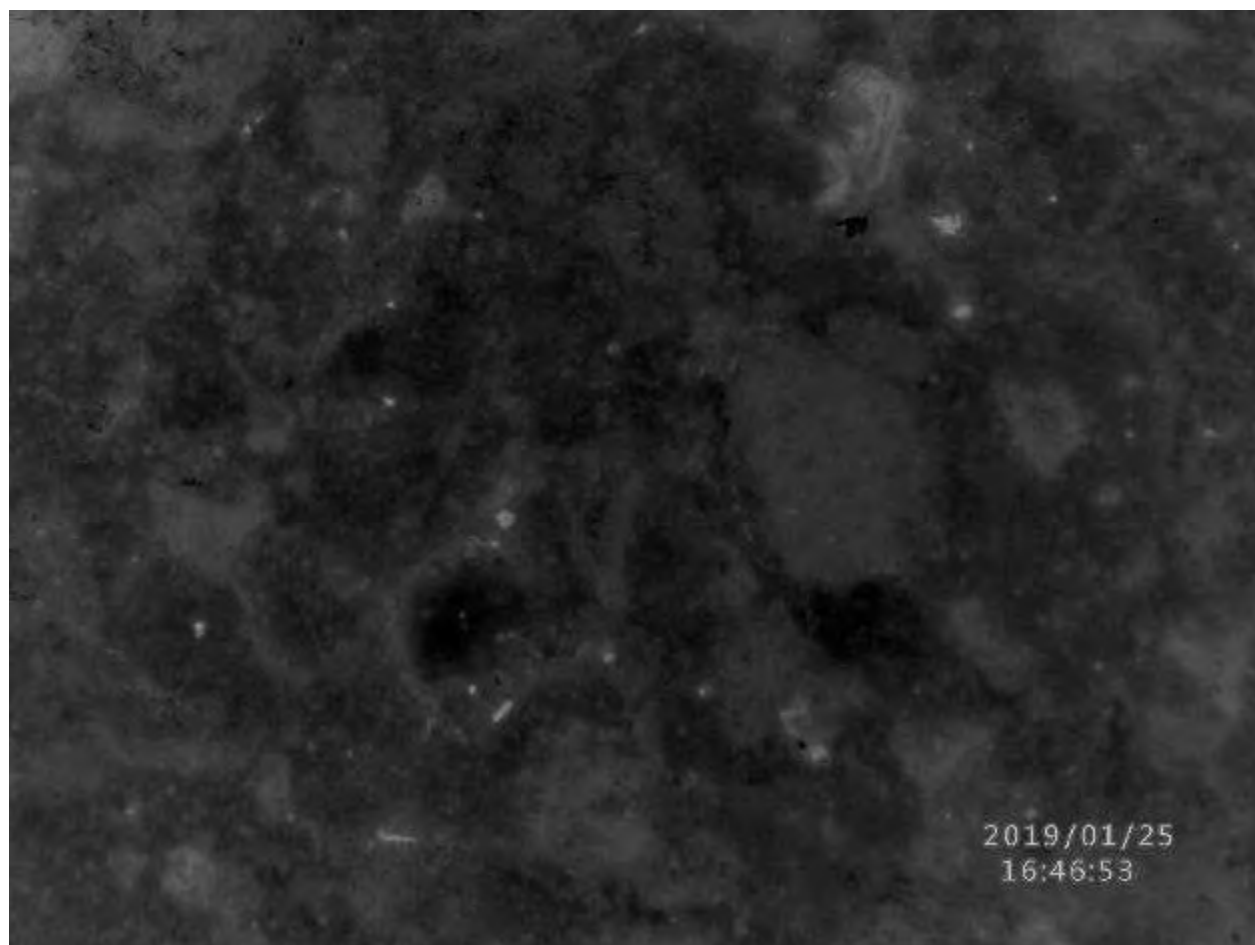


Figura. 4. 299. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1121118, con filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

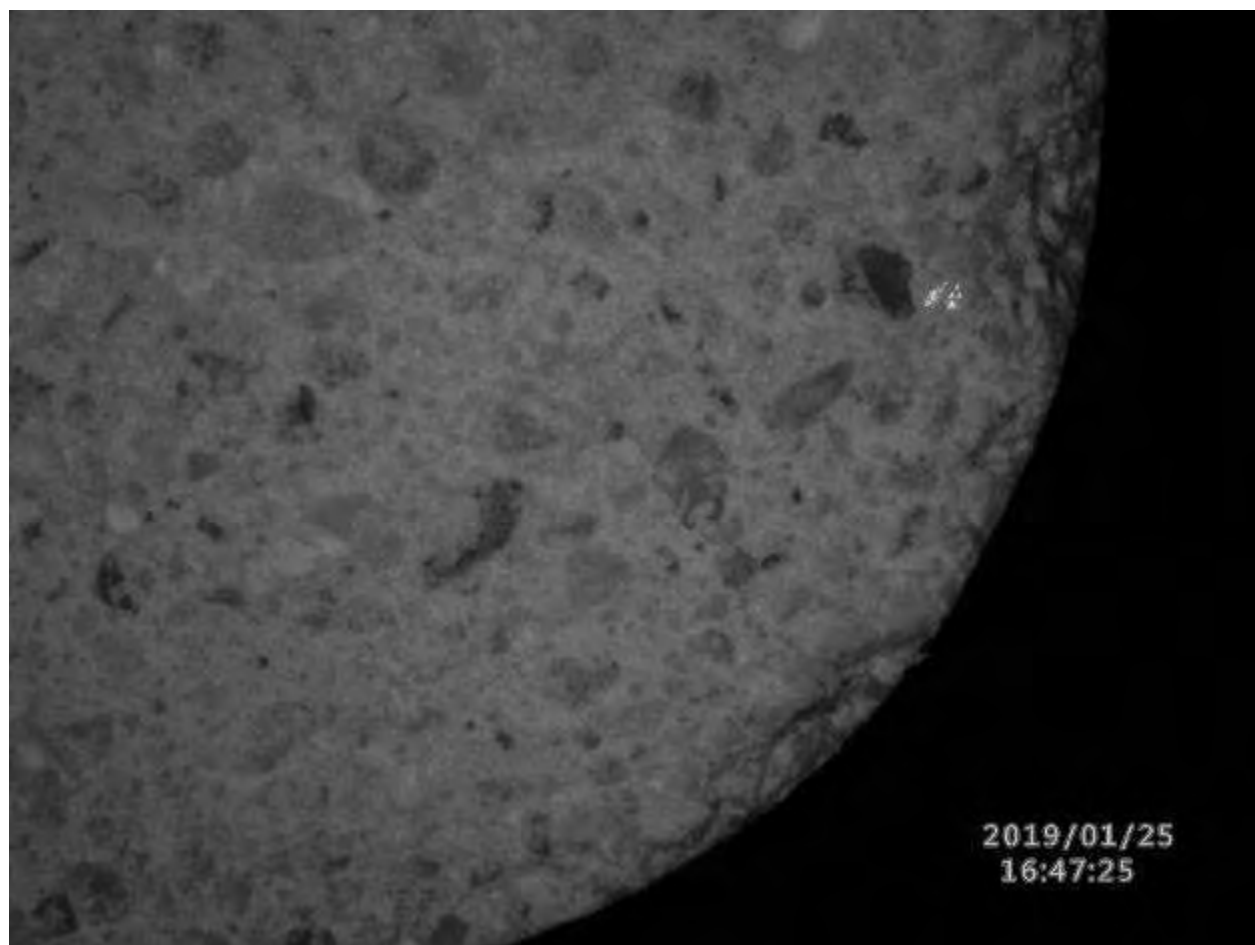


Figura. 4. 300. Microscopia de la C-1121118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

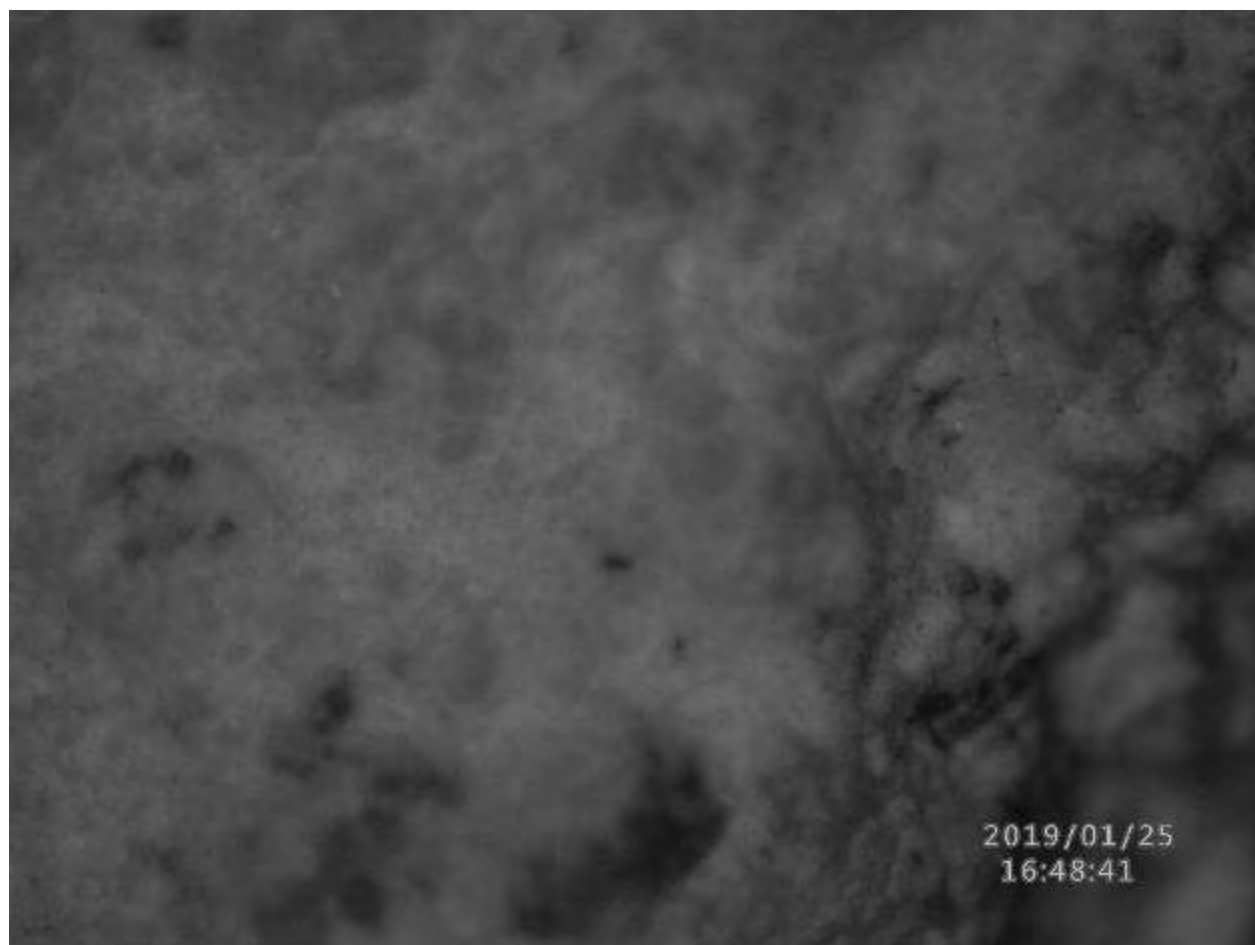


Figura. 4. 301. Microscopia de la C-1121118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

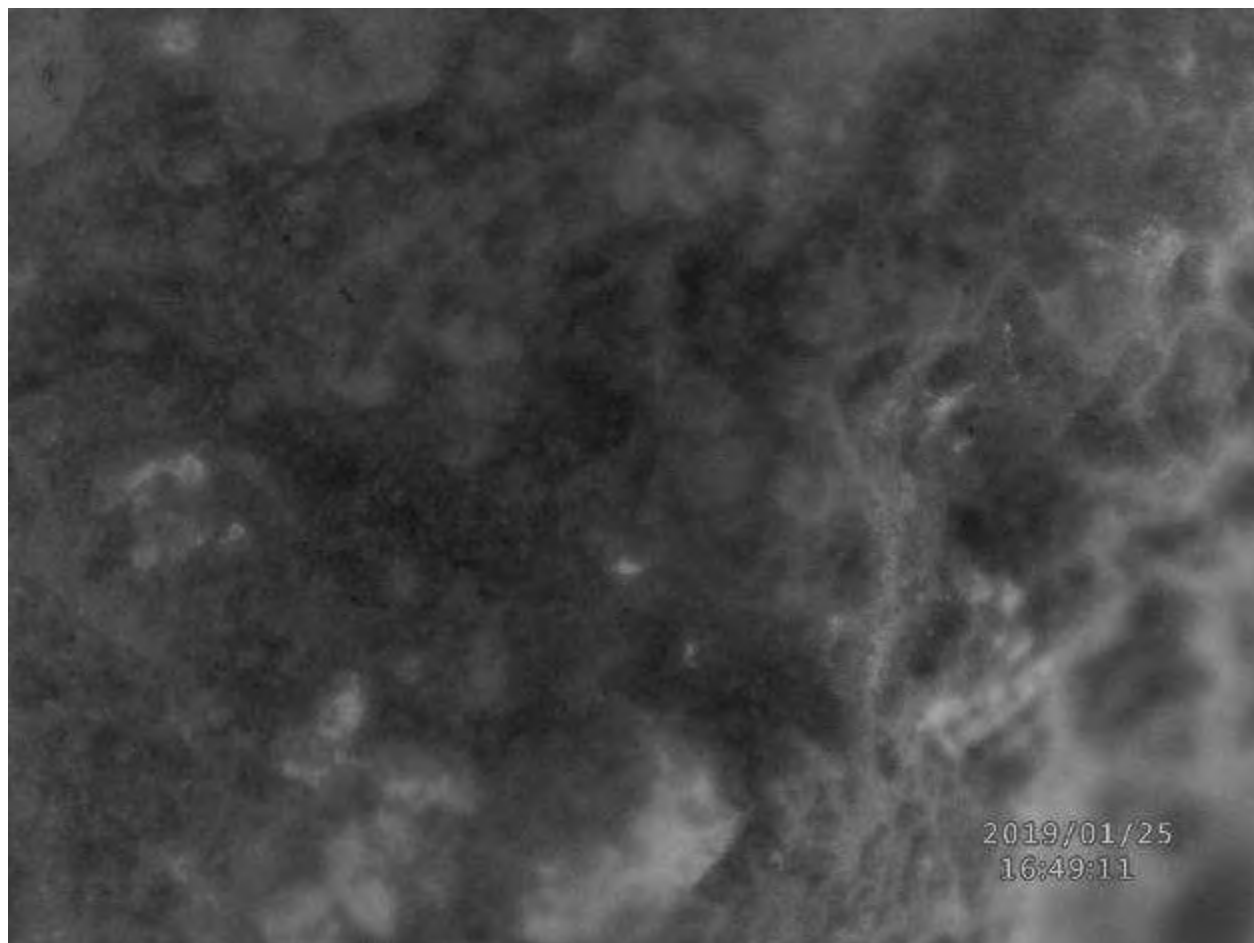


Figura. 4. 302. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1121118, con un filtro negativo bajo una luz normal.
Fuente: (autoría propia).

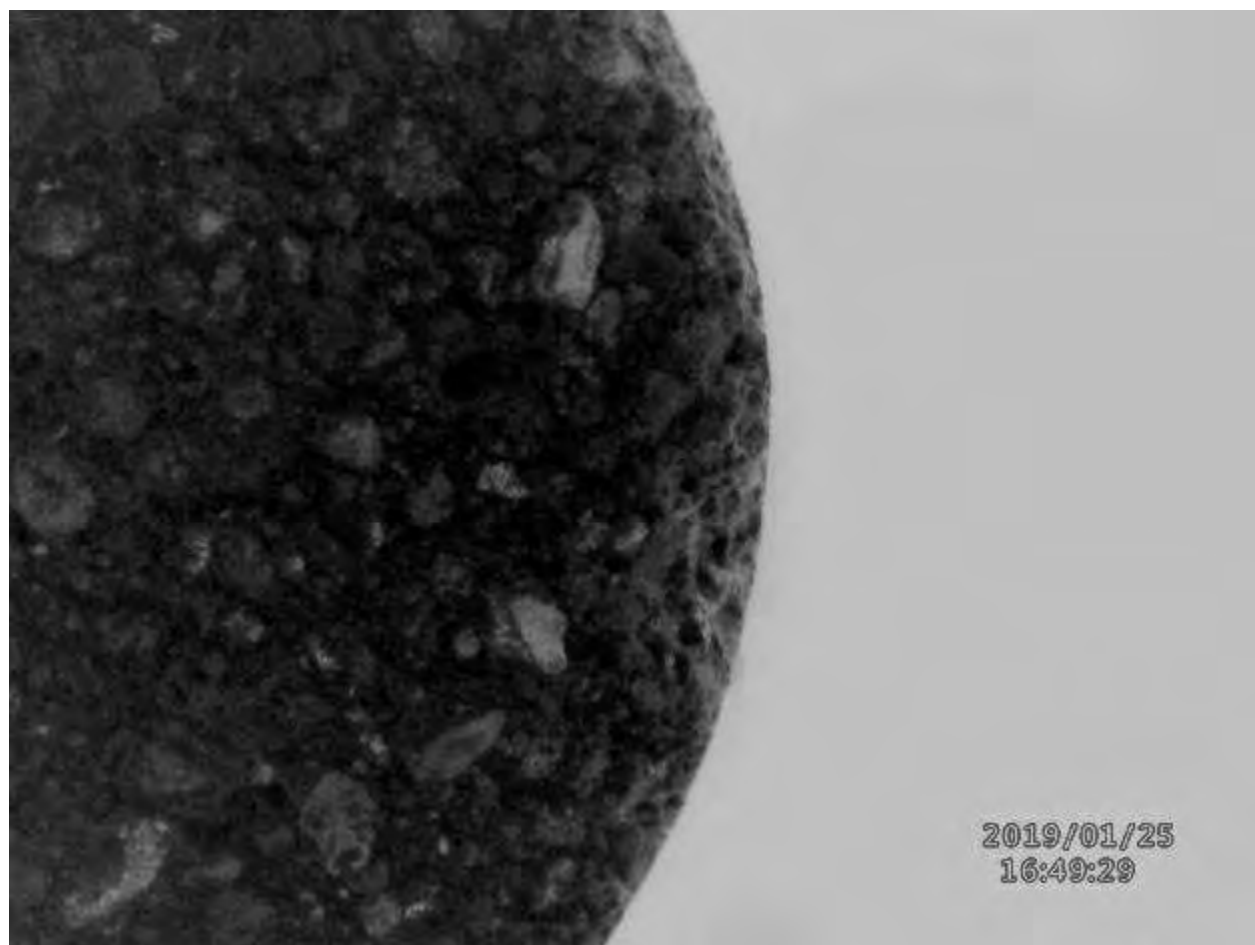
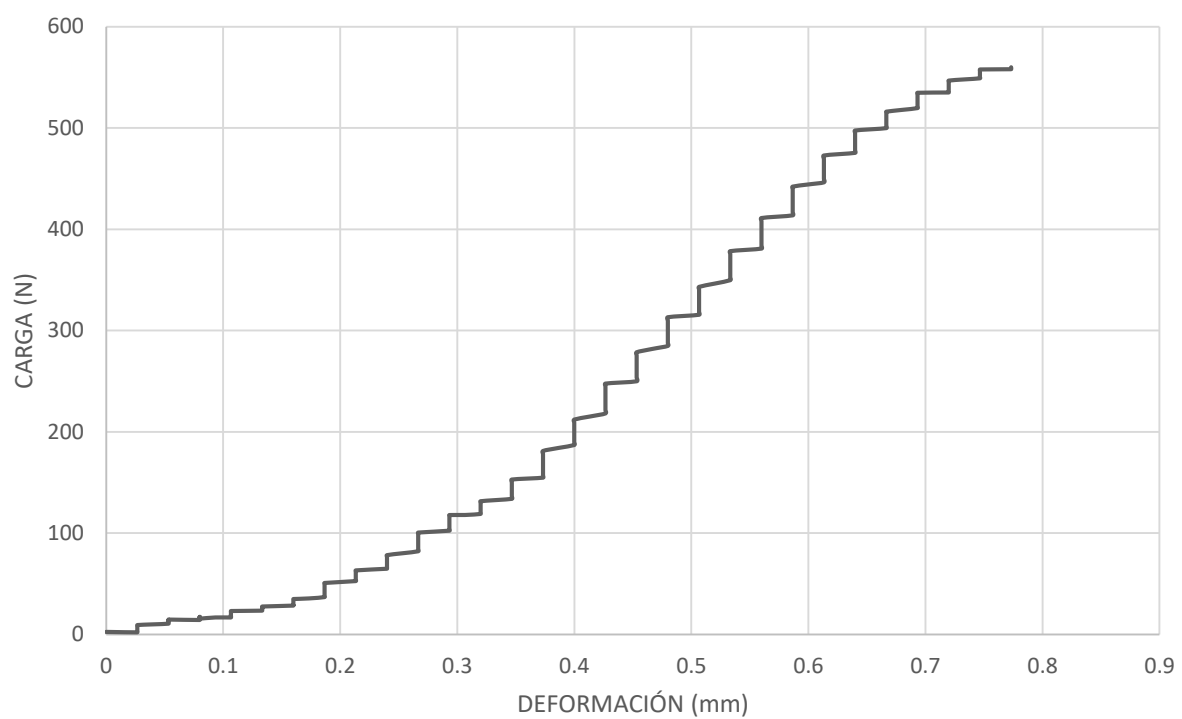


Figura. 4. 303. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1121118, con un filtro negativo bajo una luz normal.
Fuente: (autoría propia).

CARGA-DEFORMACIÓN



Gráficas 4. 24. Curva Carga-Deformación de la C-1121118, en N-mm. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 304. Fotografía de la C-1121118, en la prensa. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 305. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-1121118. Fuente: (autoría propia).

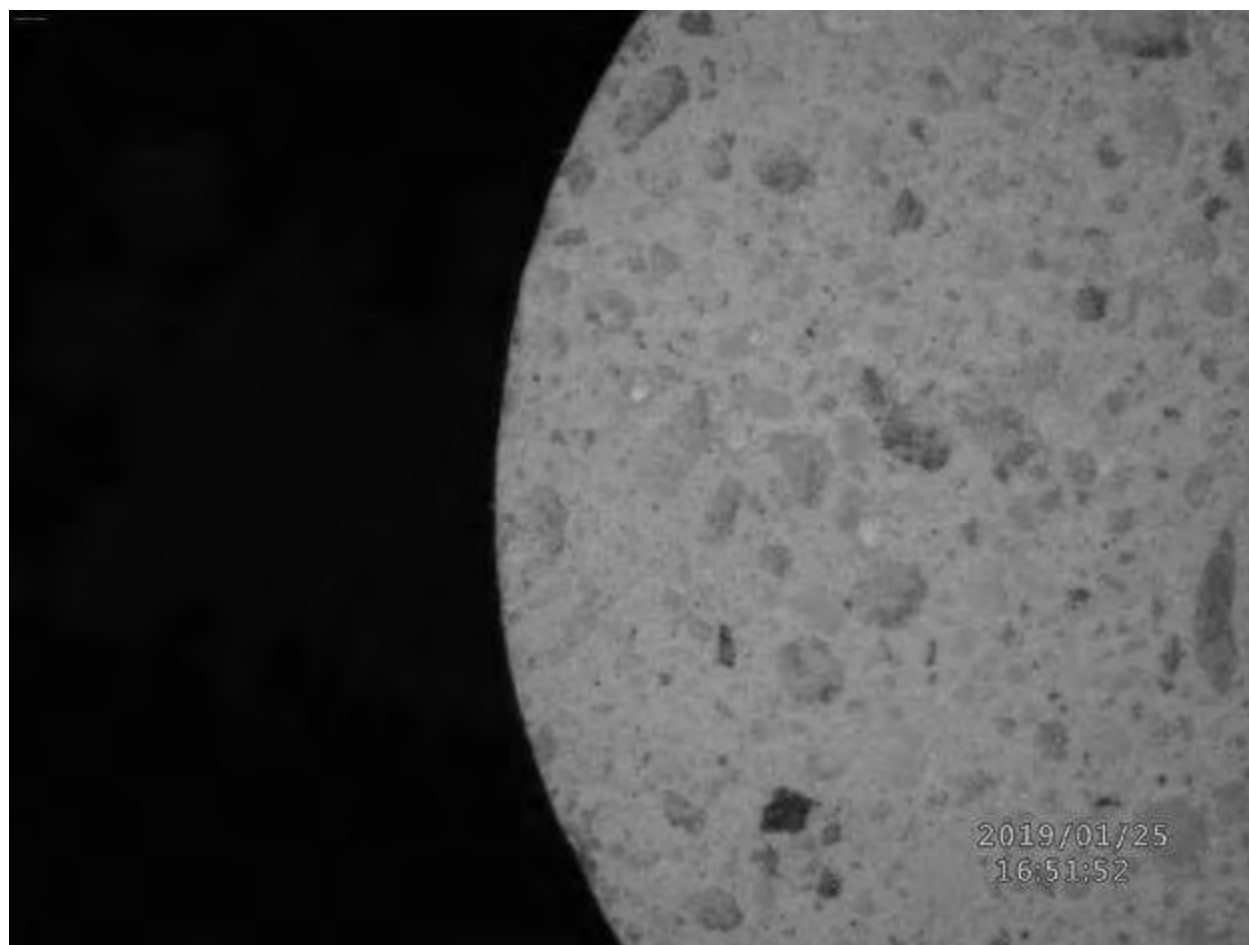


Figura. 4. 306. Fotografías de la corrida C-2121118. Fuente: (Autoría propia).

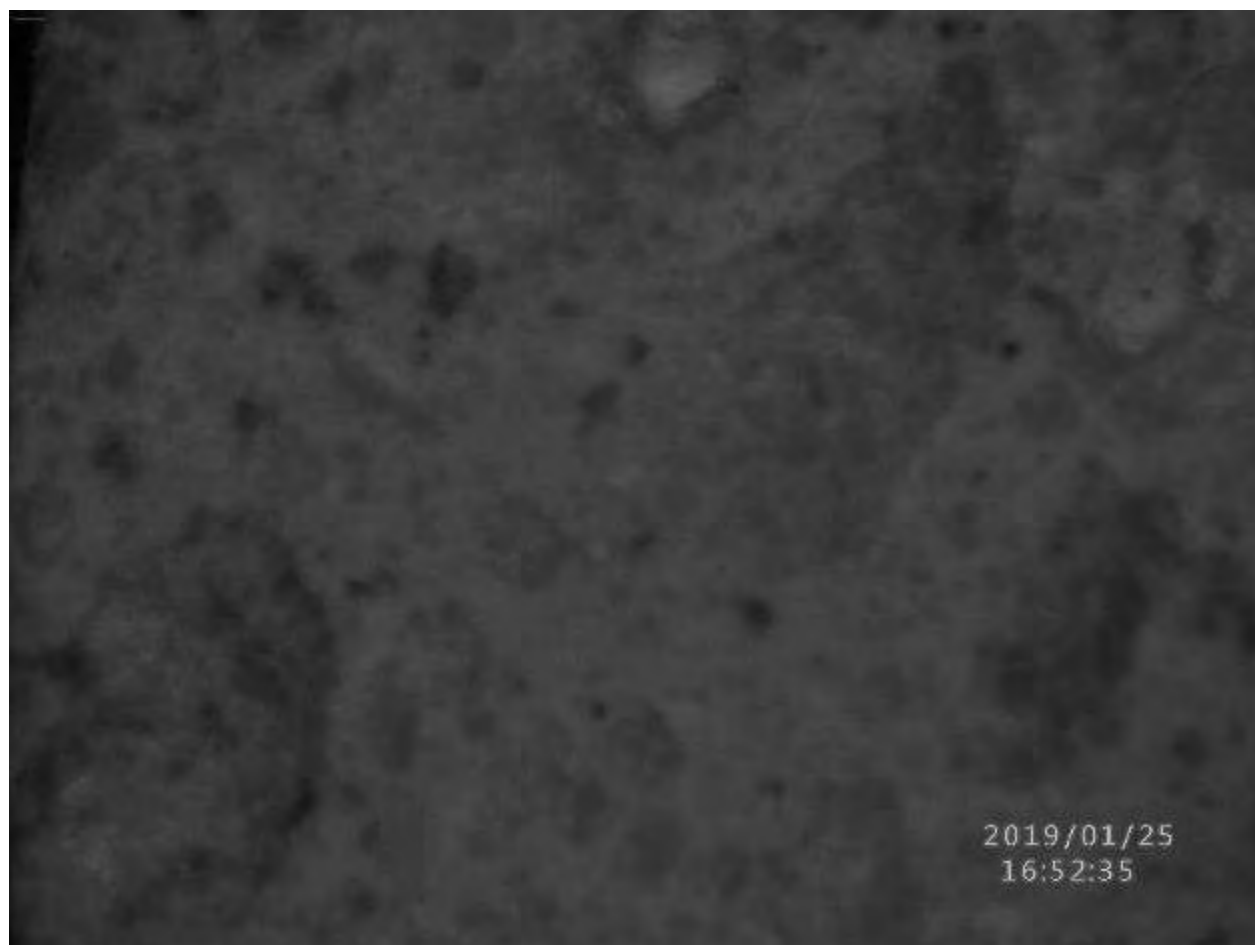


Figura. 4. 307. Microscopia de la C-2121118. Fuente: Autoría propia.

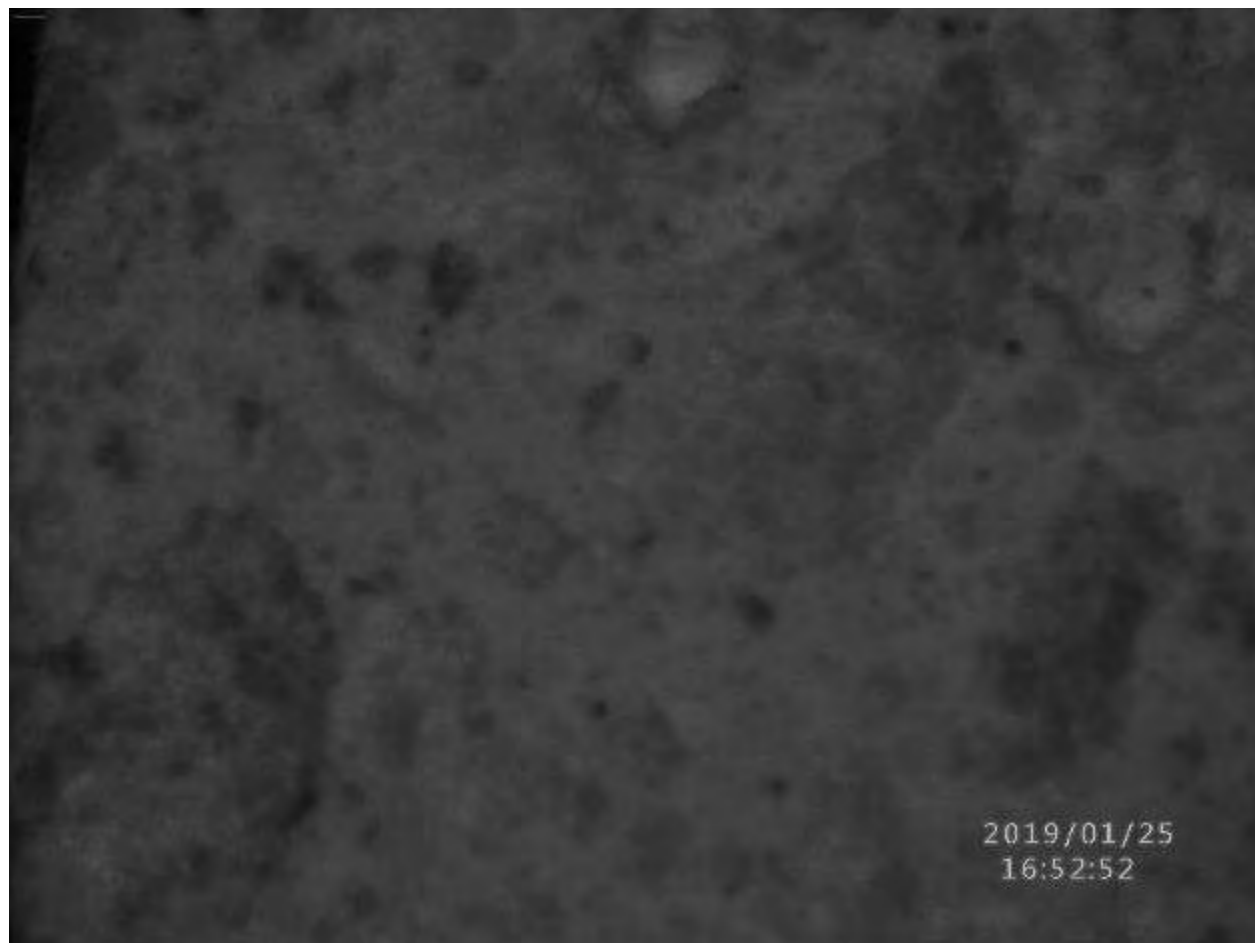


Figura. 4. 308. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2121118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

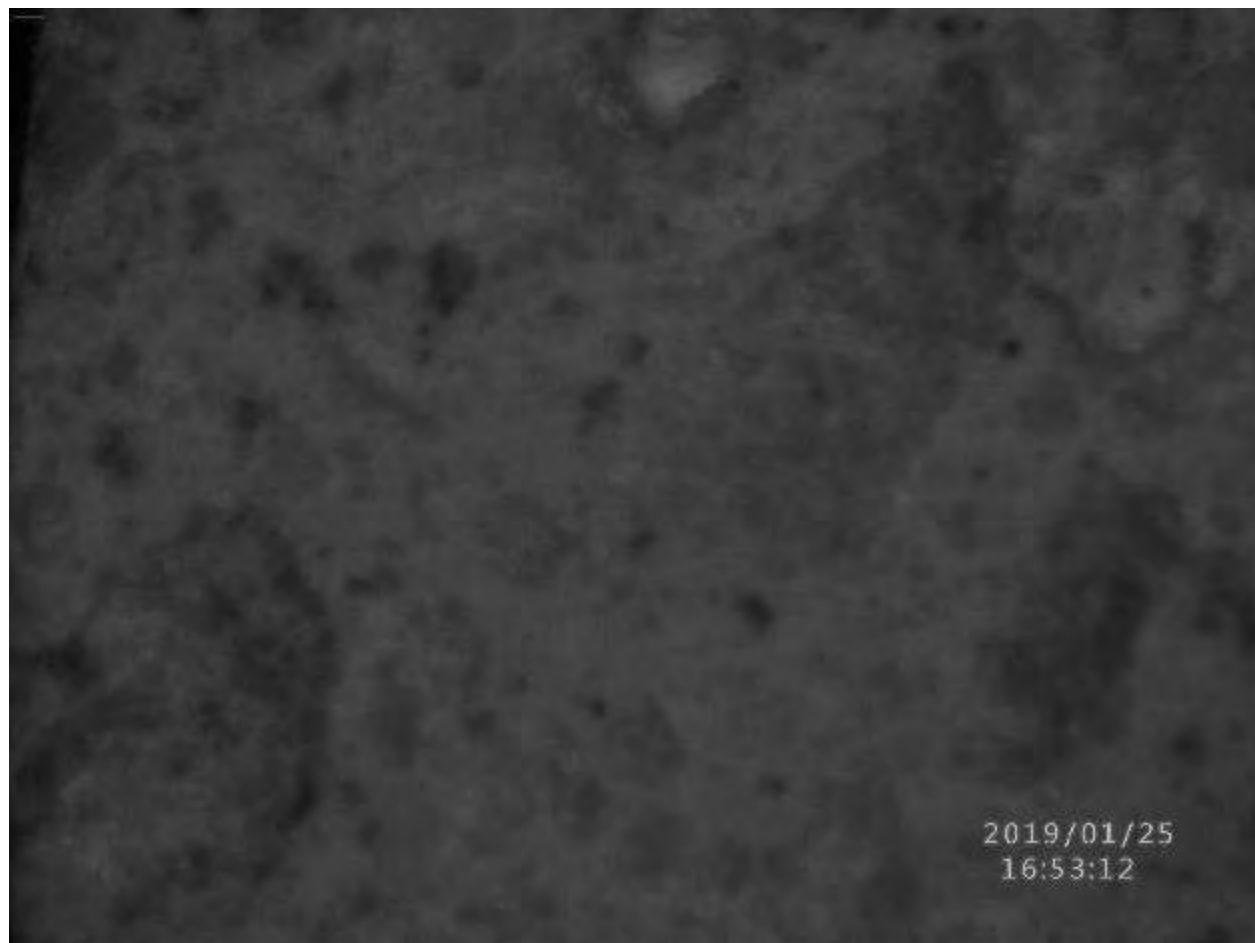


Figura. 4. 309. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2121118, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

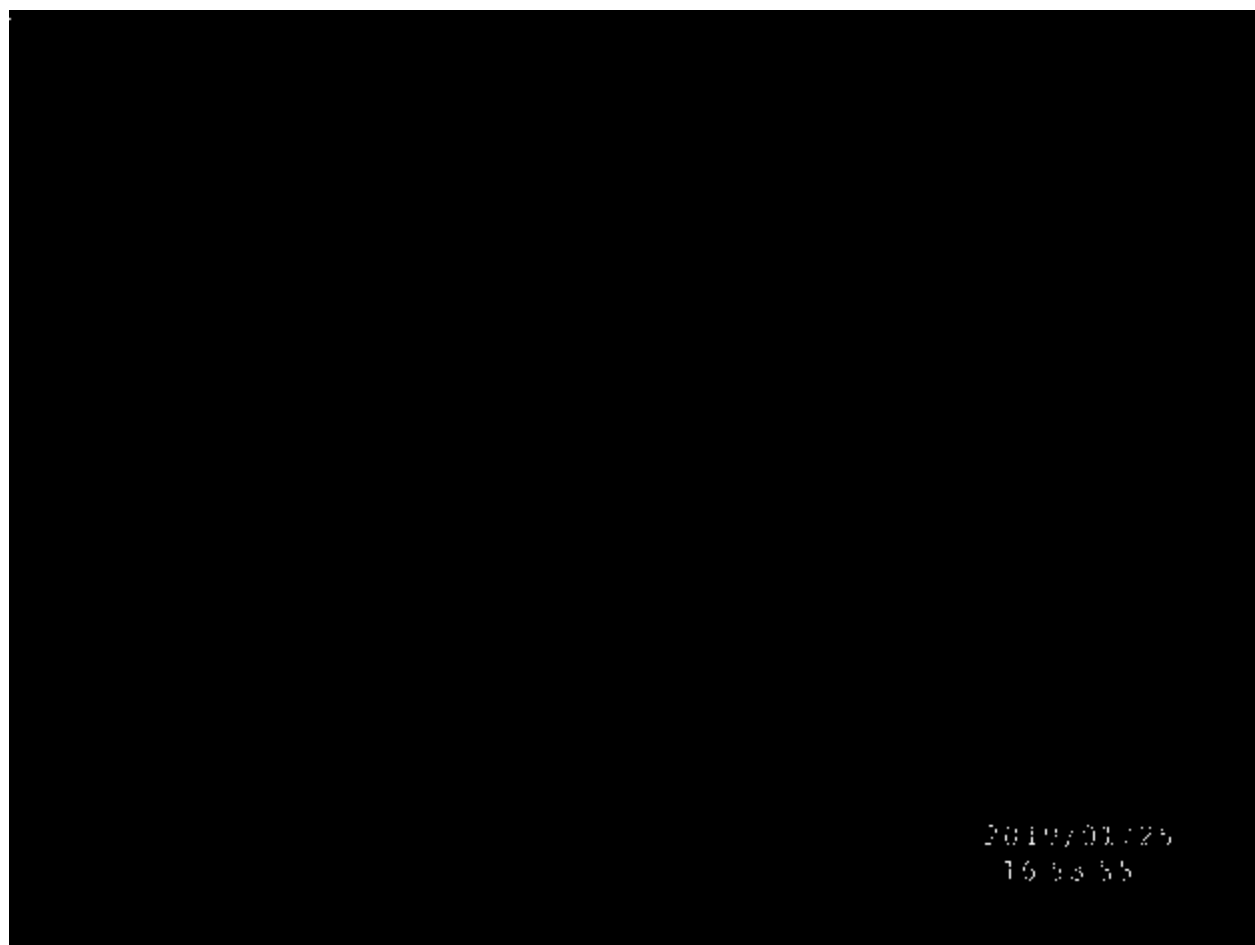


Figura. 4. 310. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2121118, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

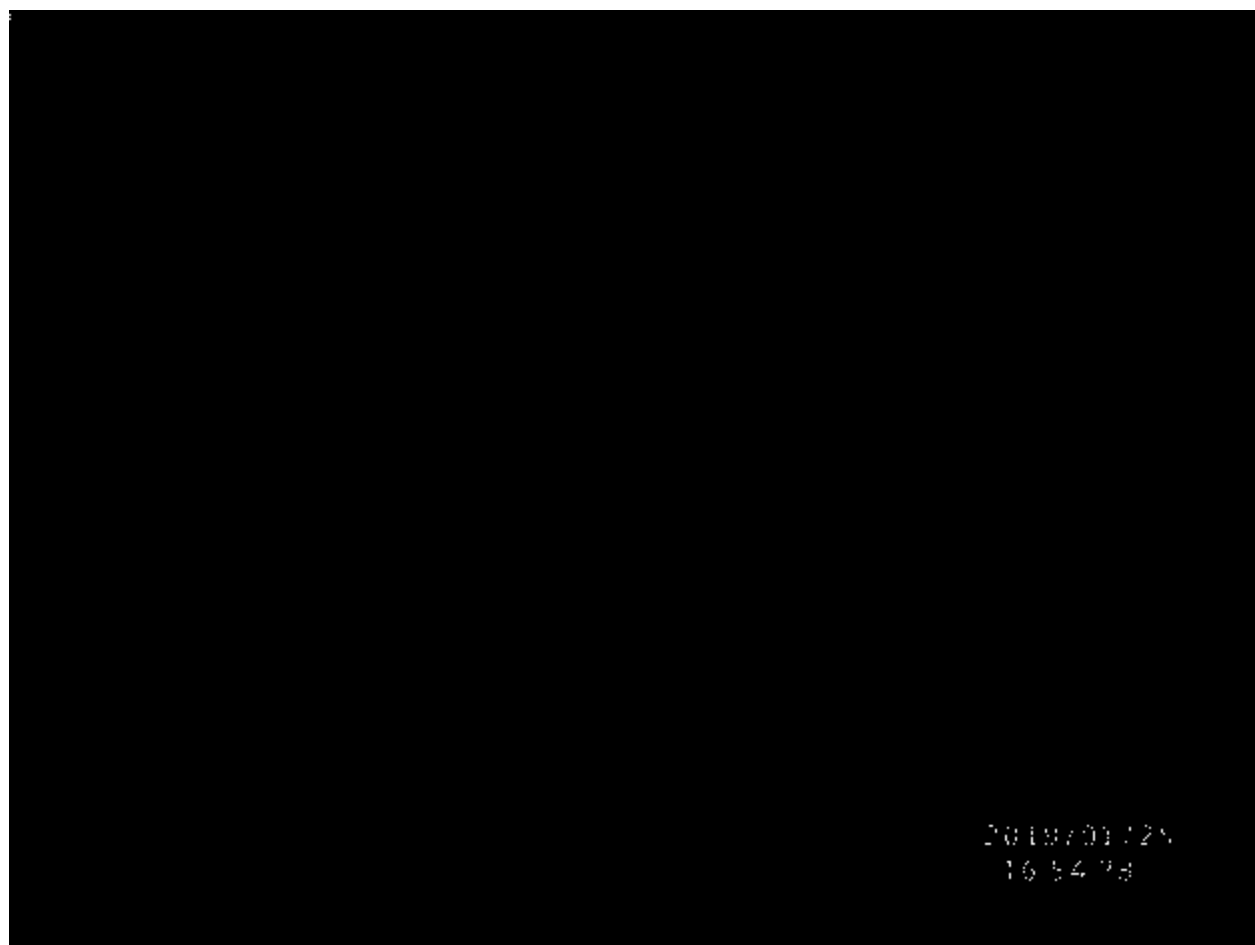


Figura. 4. 311. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2121118, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

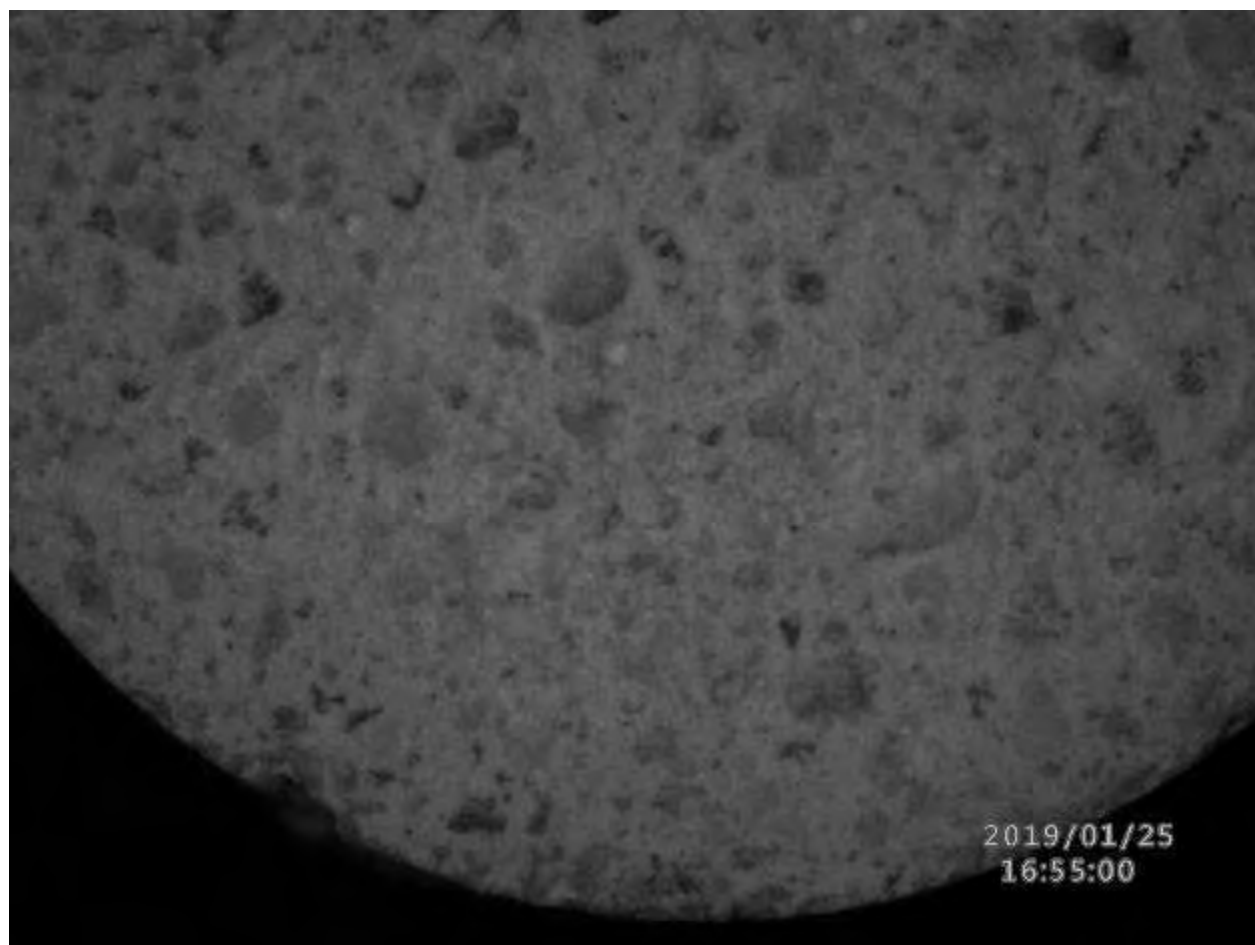


Figura. 4. 312. Microscopia de la C-2121118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

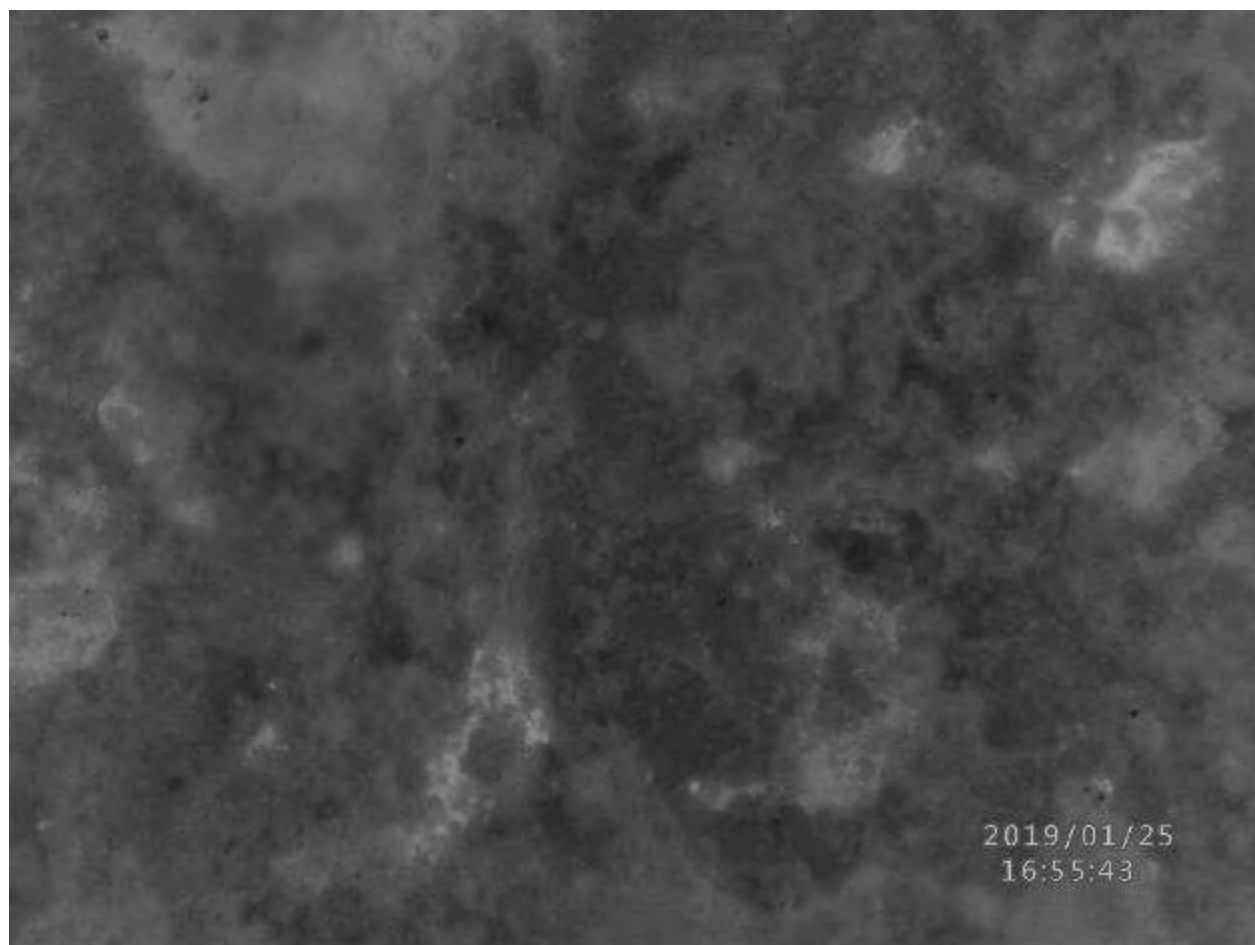
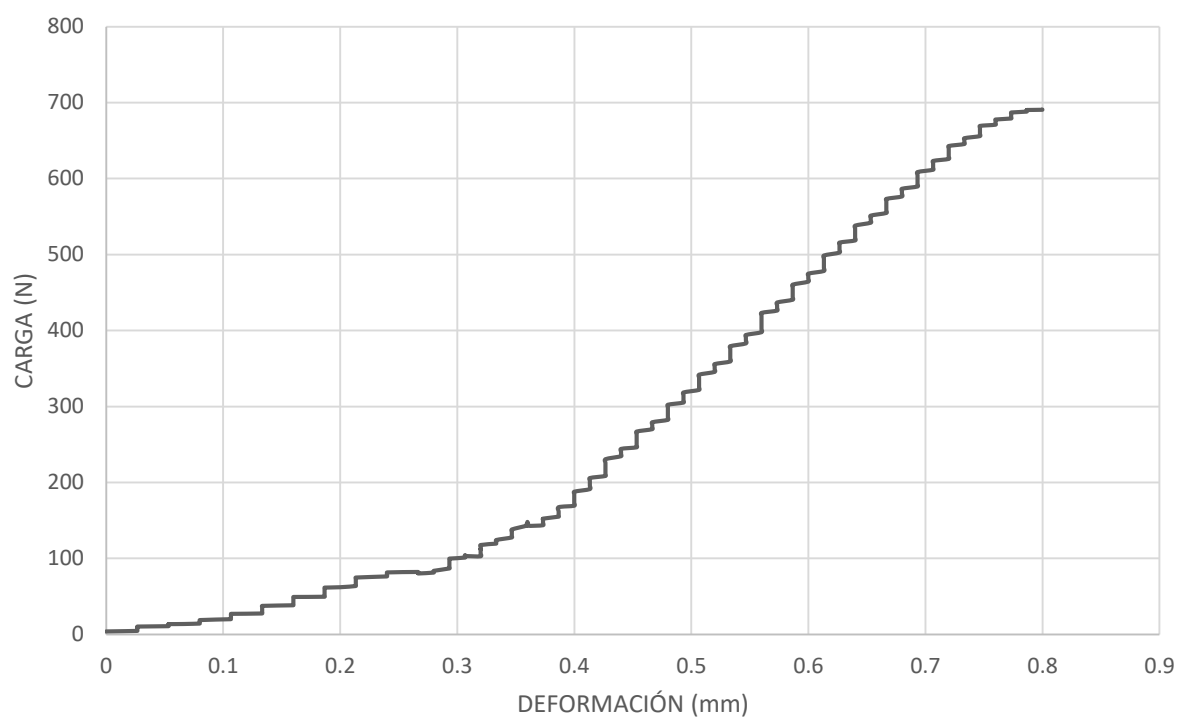


Figura. 4. 313. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2121118, con un filtro negativo bajo una luz normal.
Fuente: (autoría propia).

CARGA-DEFORMACIÓN



Gráficas 4. 25. Curva Carga-Deformación de la C-2121118, en N-mm. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 314. Fotografía de la C-2121118, en la prensa. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 315. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-2121118. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 316. Fotografías de la corrida C-3121118. Fuente: (Autoría propia).

De composición 100% CAL ESTANDAR, 275% MARMOLINA Tipo 2, 10% METACAOLIN, 10% CARBONATO DE SODIO, 30% HARINA DE ARRÓZ y A/C= 13:1 (calentada hasta el punto de ebullición y agregada a la mezcla, previamente integrados todos los materiales), de dimensiones iguales a un diámetro de 23.4mm y longitud de 45.1mm, que presenta una moderada baja dureza al ser pulido, con desprendimiento. (Autoría propia).

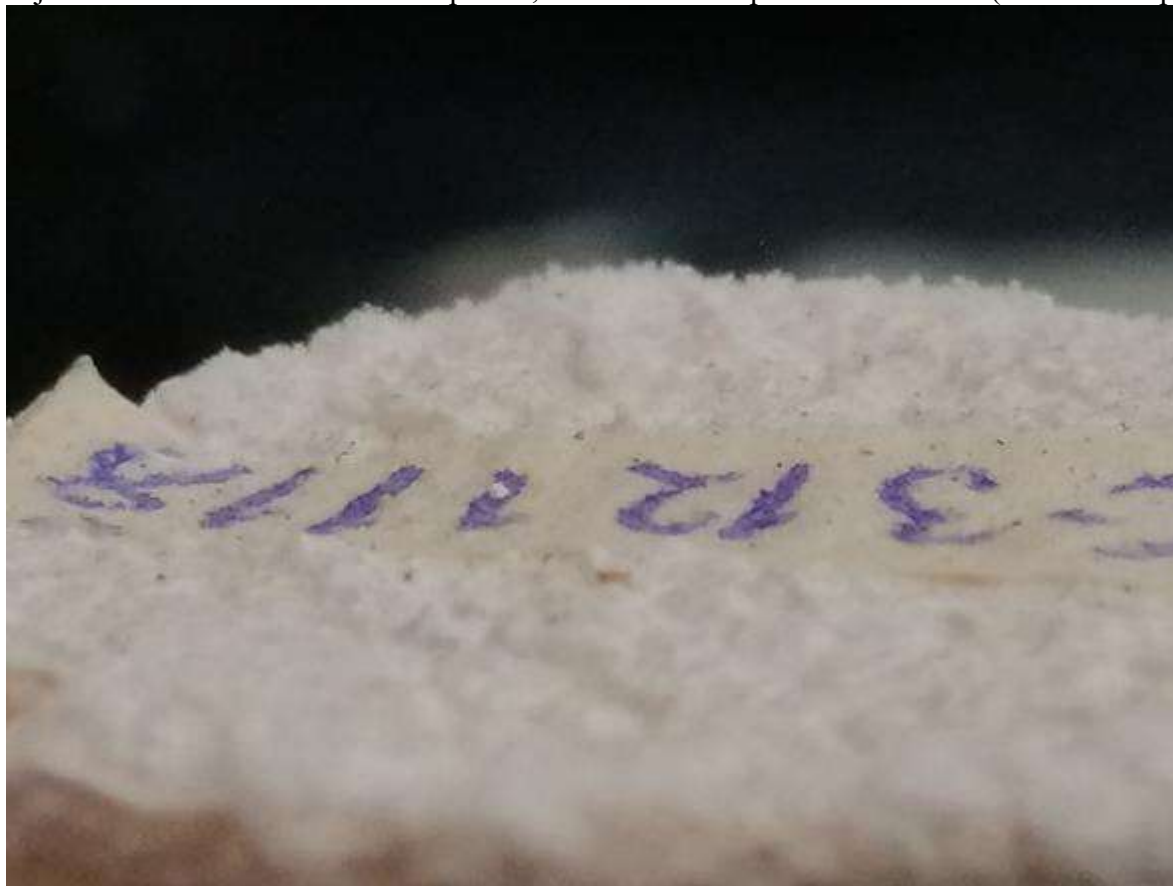


Figura. 4. 317. Imágenes de la corrida C-3121118, con presencia de eflorescencias en su parte externa. (autoría propia).

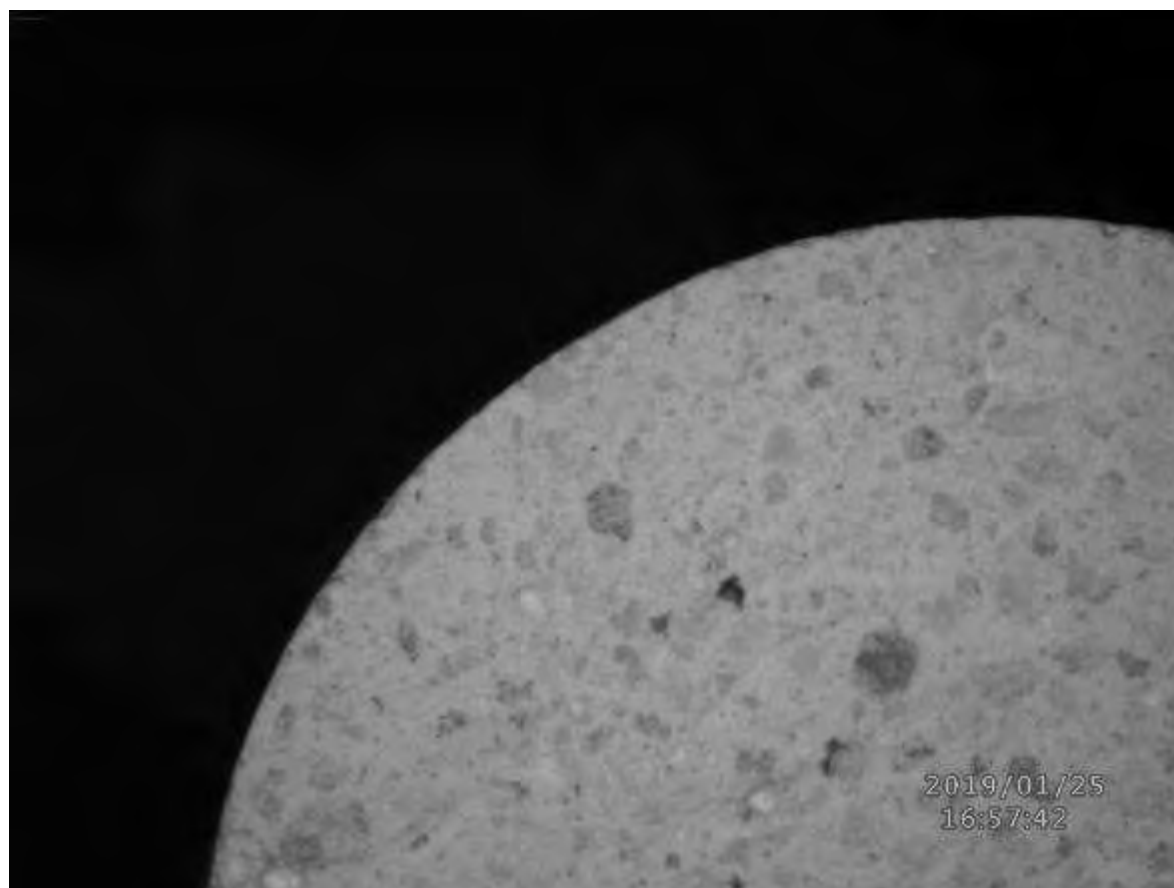


Figura. 4. 318. Microscopia de la C-3121118. Fuente: Autoría propia.

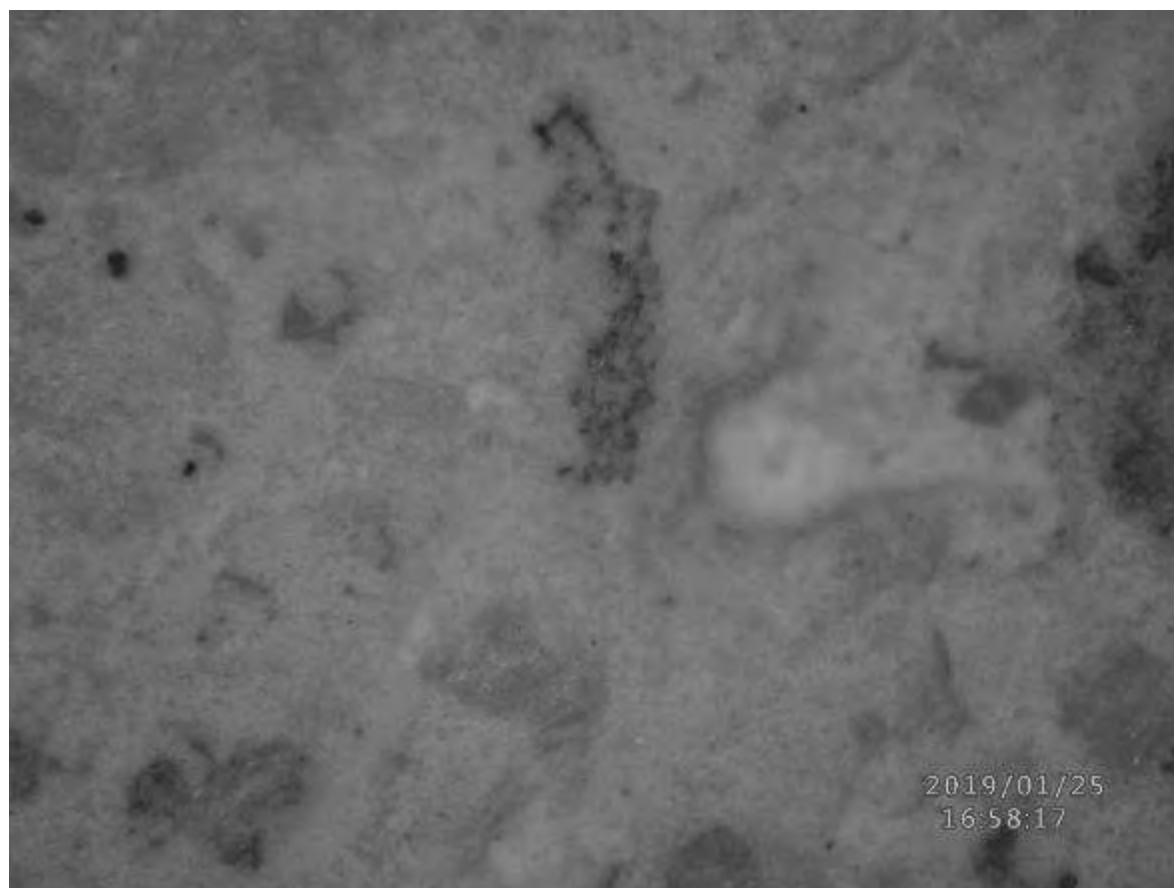


Figura. 4. 319. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3121118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

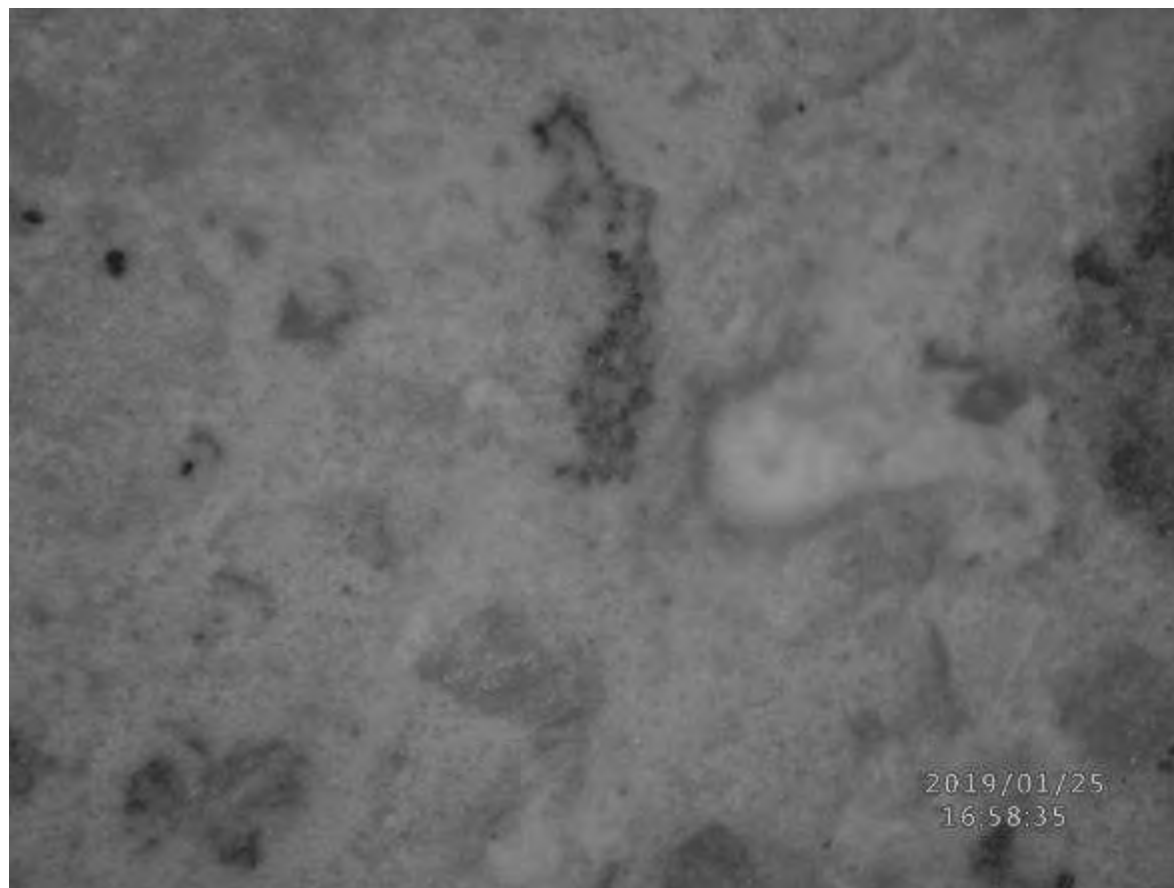


Figura. 4. 320. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3121118, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

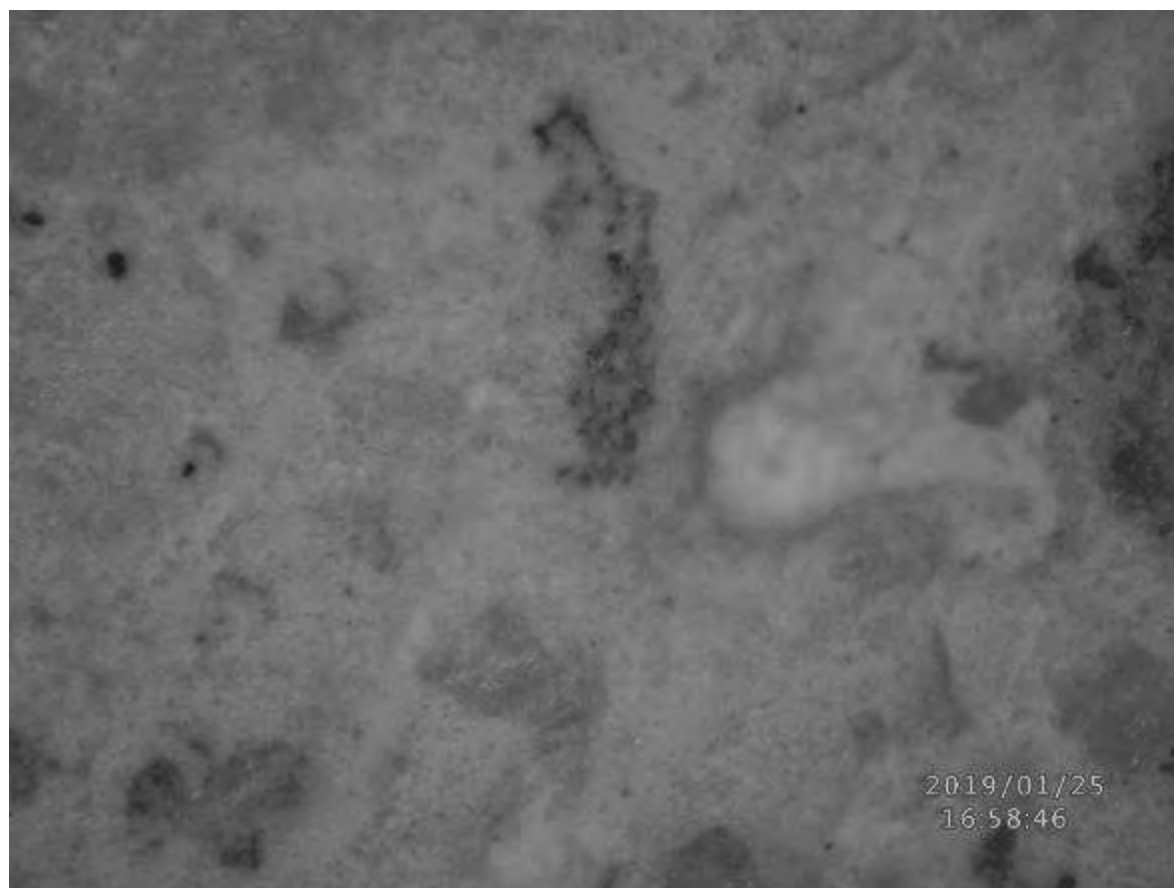


Figura. 4. 321. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3121118, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

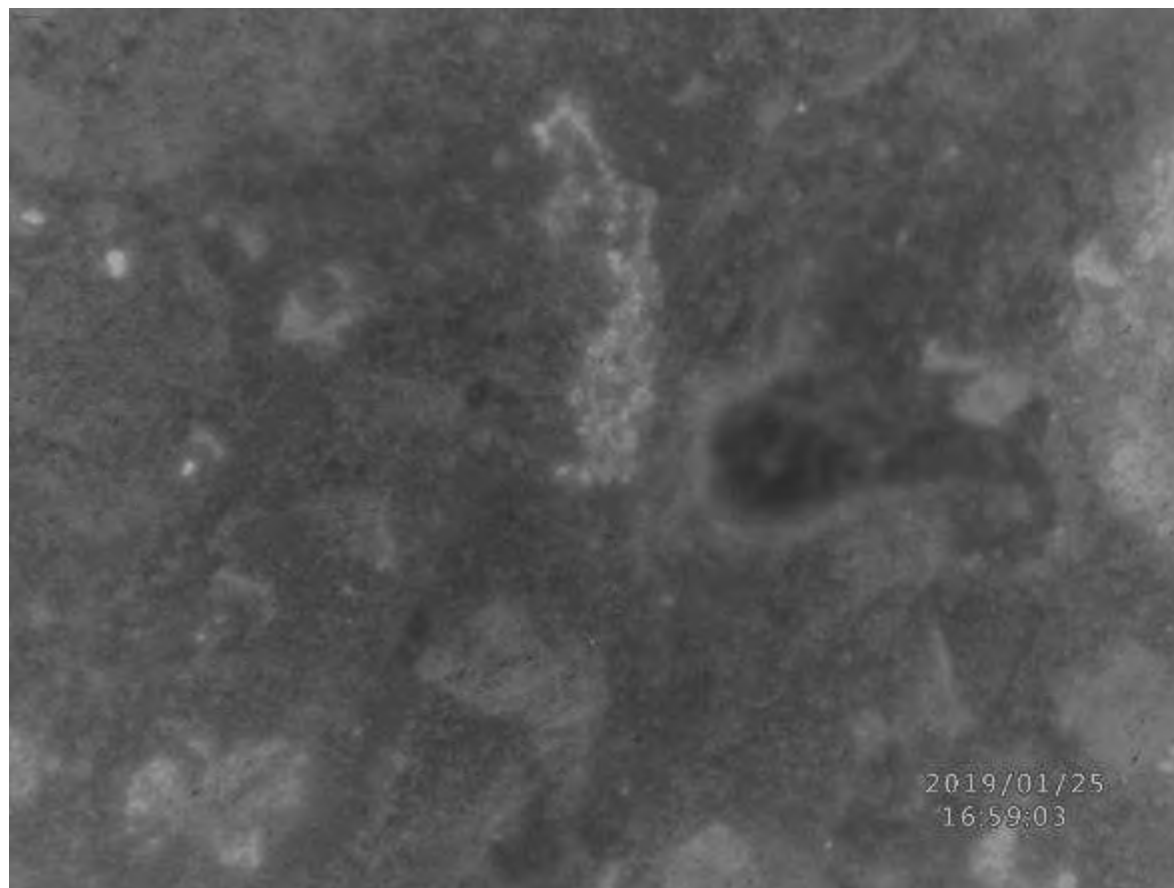


Figura. 4. 322. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3121118, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

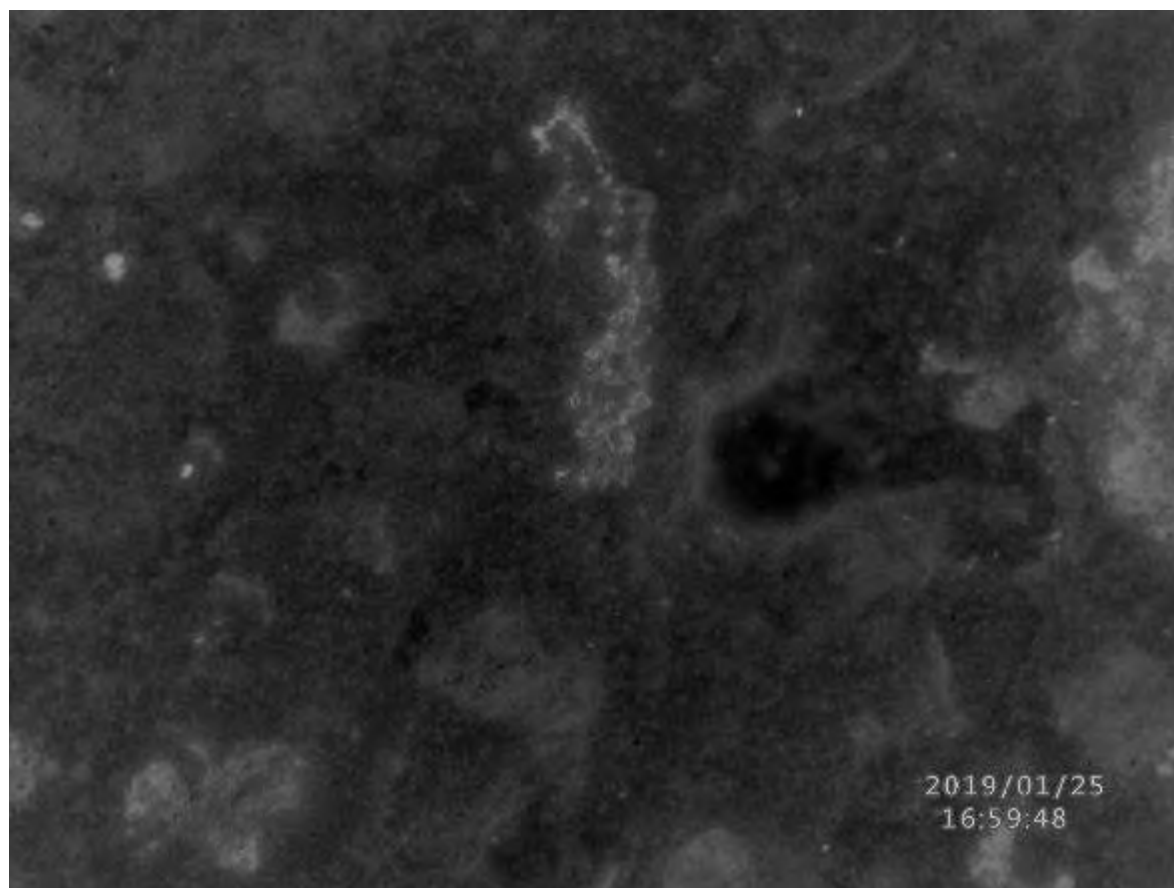


Figura. 4. 323. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-31218, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

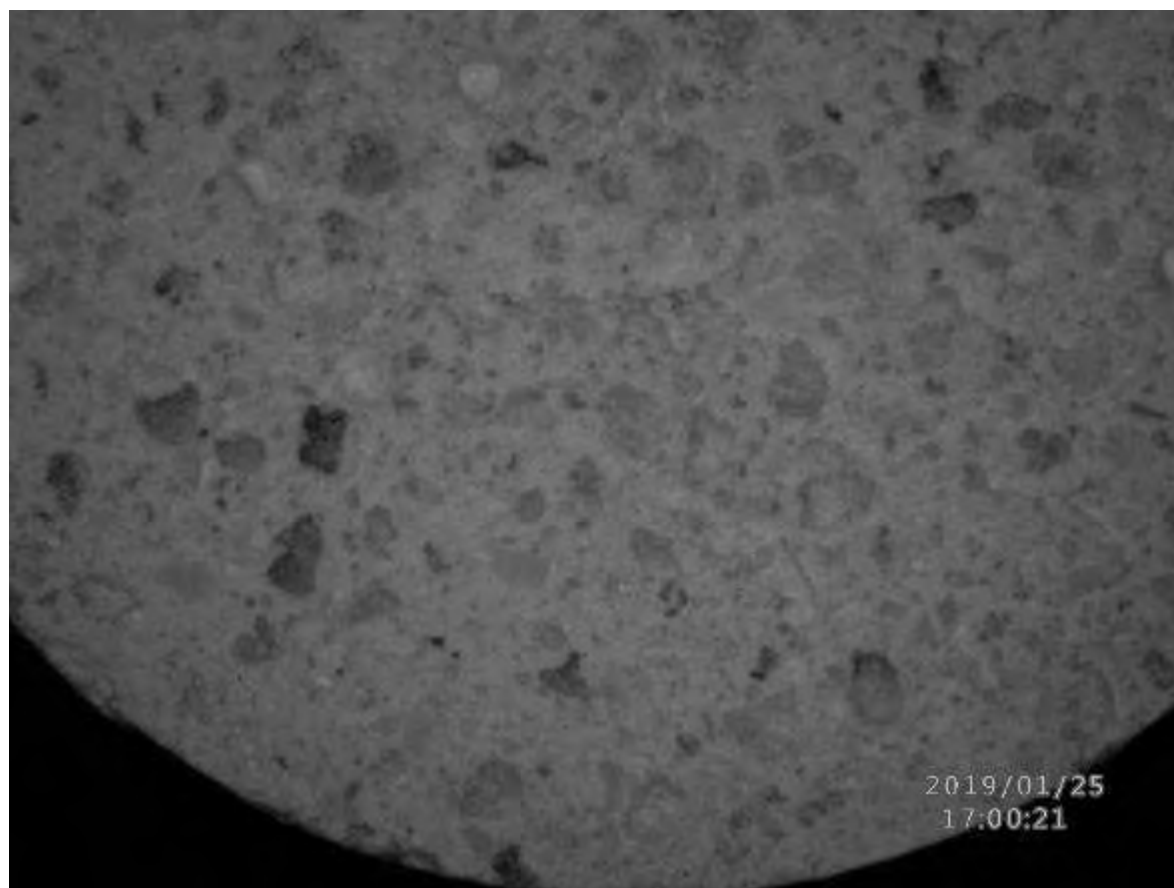


Figura. 4. 324. Microscopia de la C-3121118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

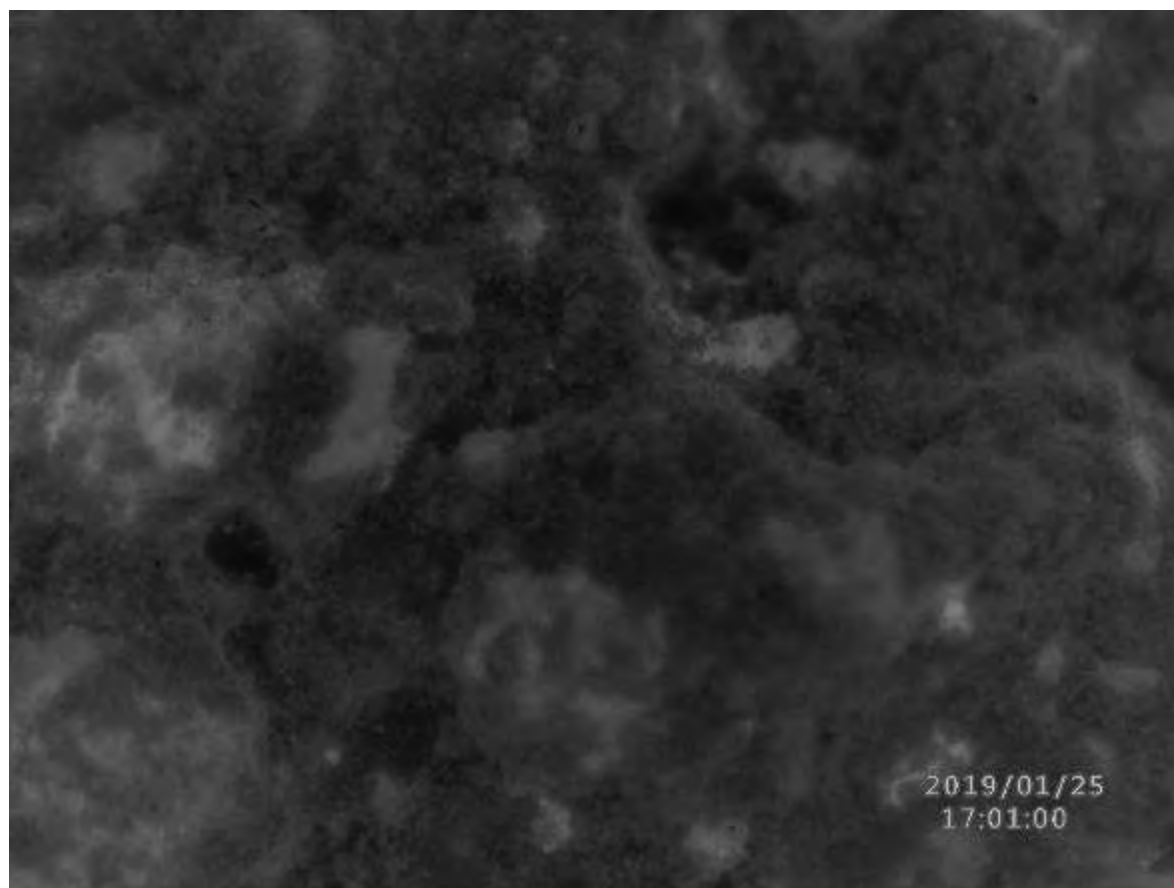


Figura. 4. 325. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3121118, con un filtro negativo bajo una luz normal.
Fuente: (autoría propia).

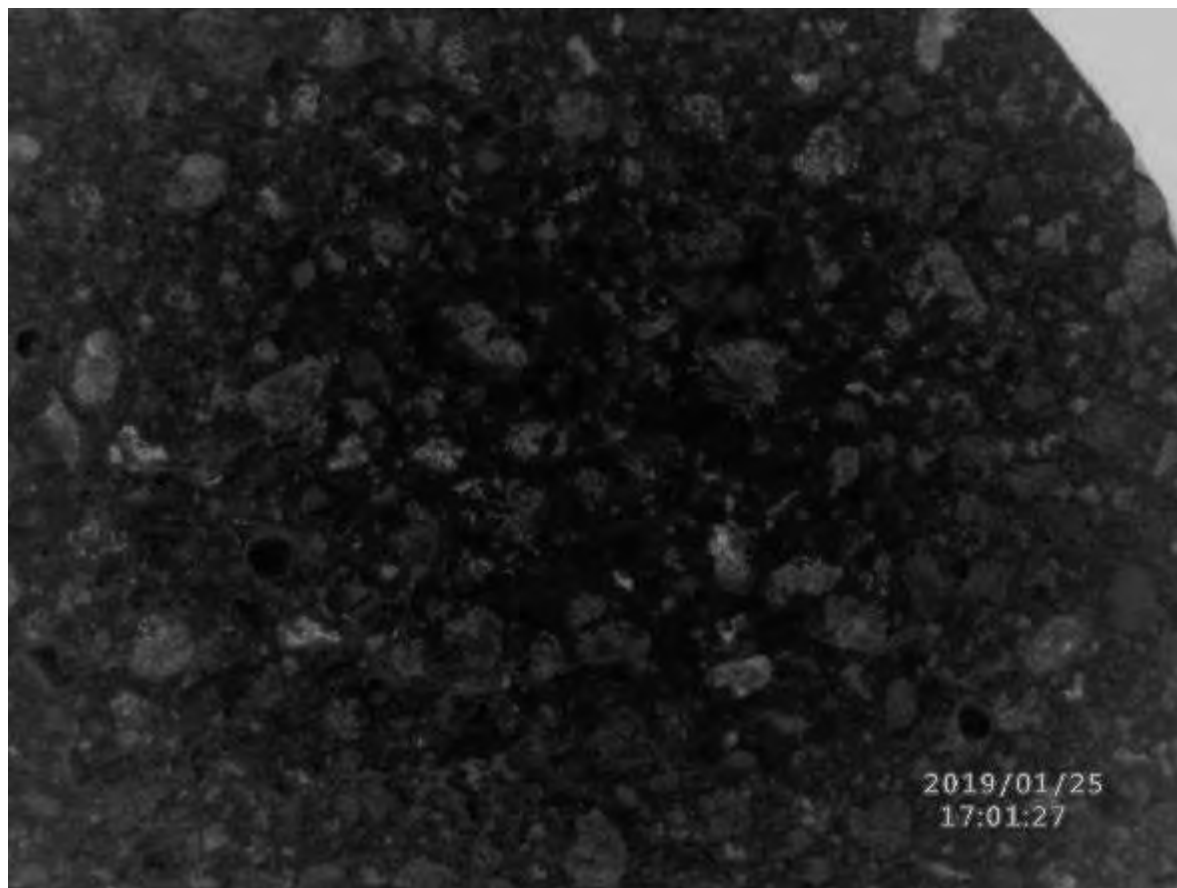


Figura. 4. 326. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3121118, con un filtro negativo bajo una luz normal.
Fuente: (autoría propia).

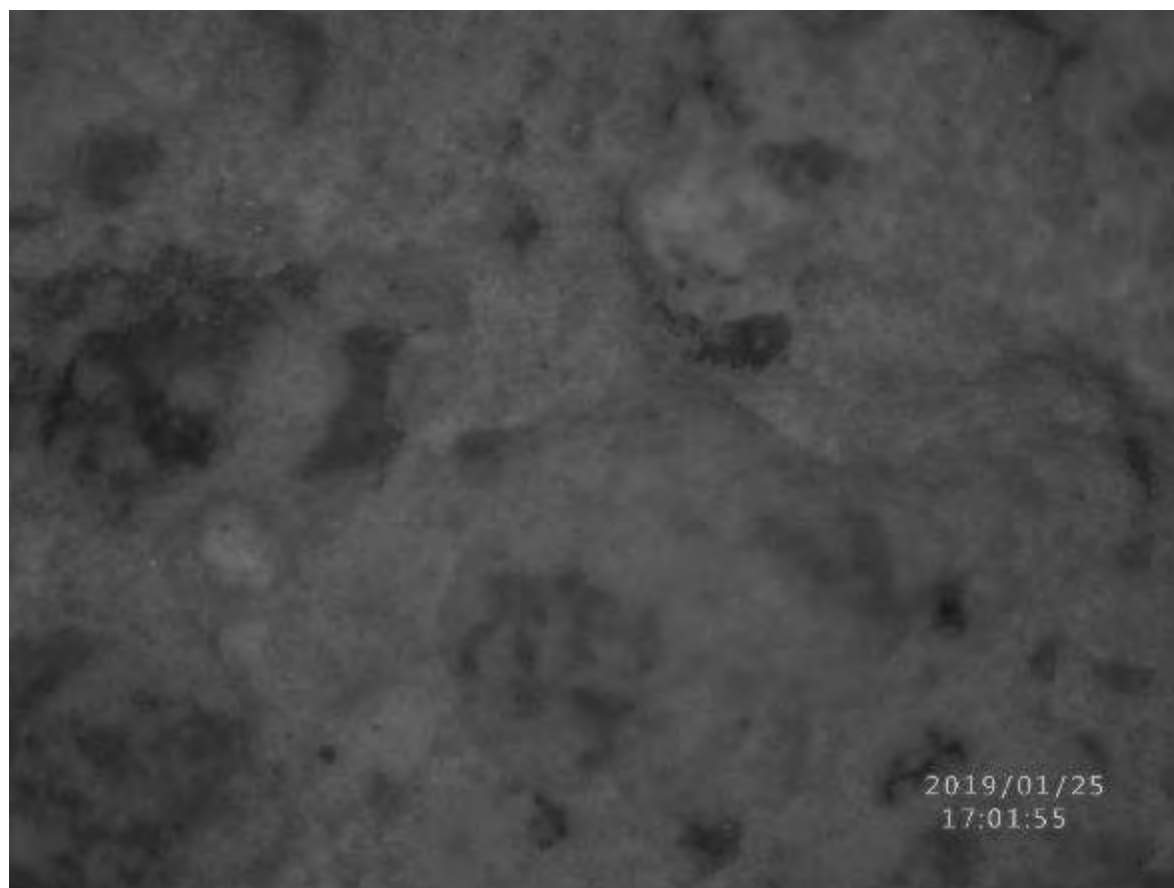
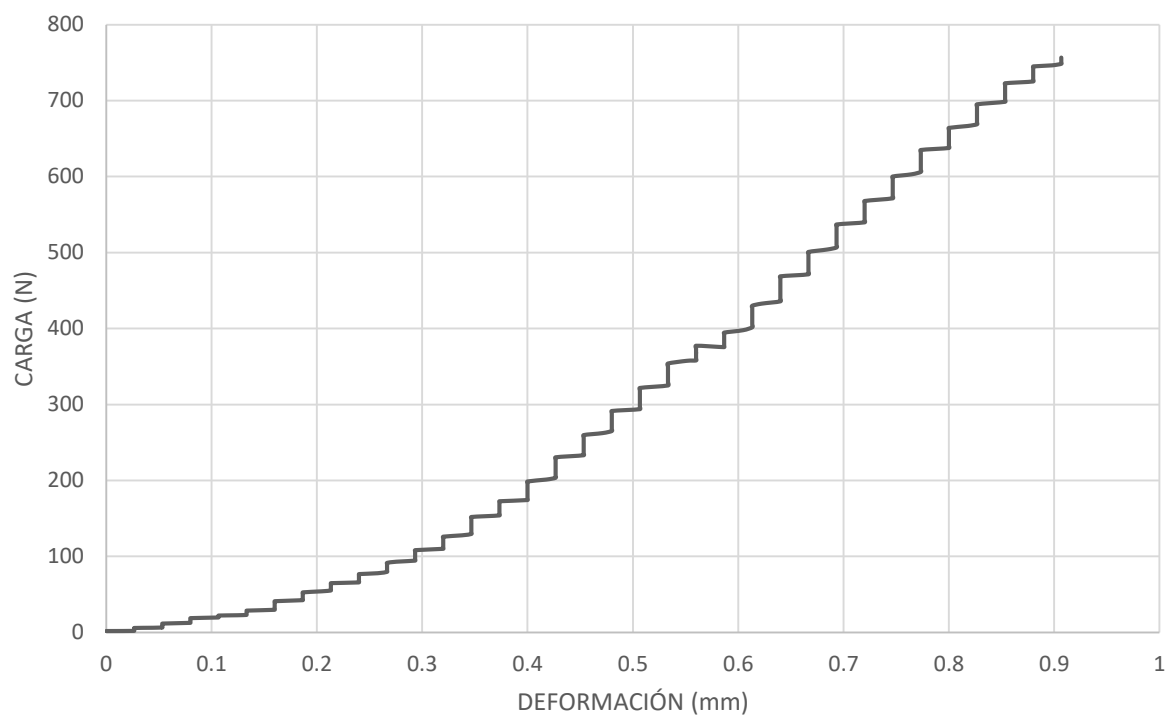


Figura. 4. 327. Microscopia de la C-3121118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

CARGA-DEFORMACIÓN



Gráficas 4. 26. Curva Carga-Deformación de la C-3121118, en N-mm. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 328. Fotografía de la C-3121118, en la prensa. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 329. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-3121118. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 330. Fotografías de la corrida C-1161118. Fuente: (Autoría propia).

De composición 100% CAL ESTANDAR, 275% MARMOLINA Tipo 2, 5% METACAOLIN, 5% CARBONATO DE SODIO y A/C= 1:1, de dimensiones iguales a un diámetro de 23.2mm y longitud de 45.7mm, DENSIDAD = 37.0799642 g/cm³, que presenta una excelente dureza al ser pulido, con nada de desprendimiento.

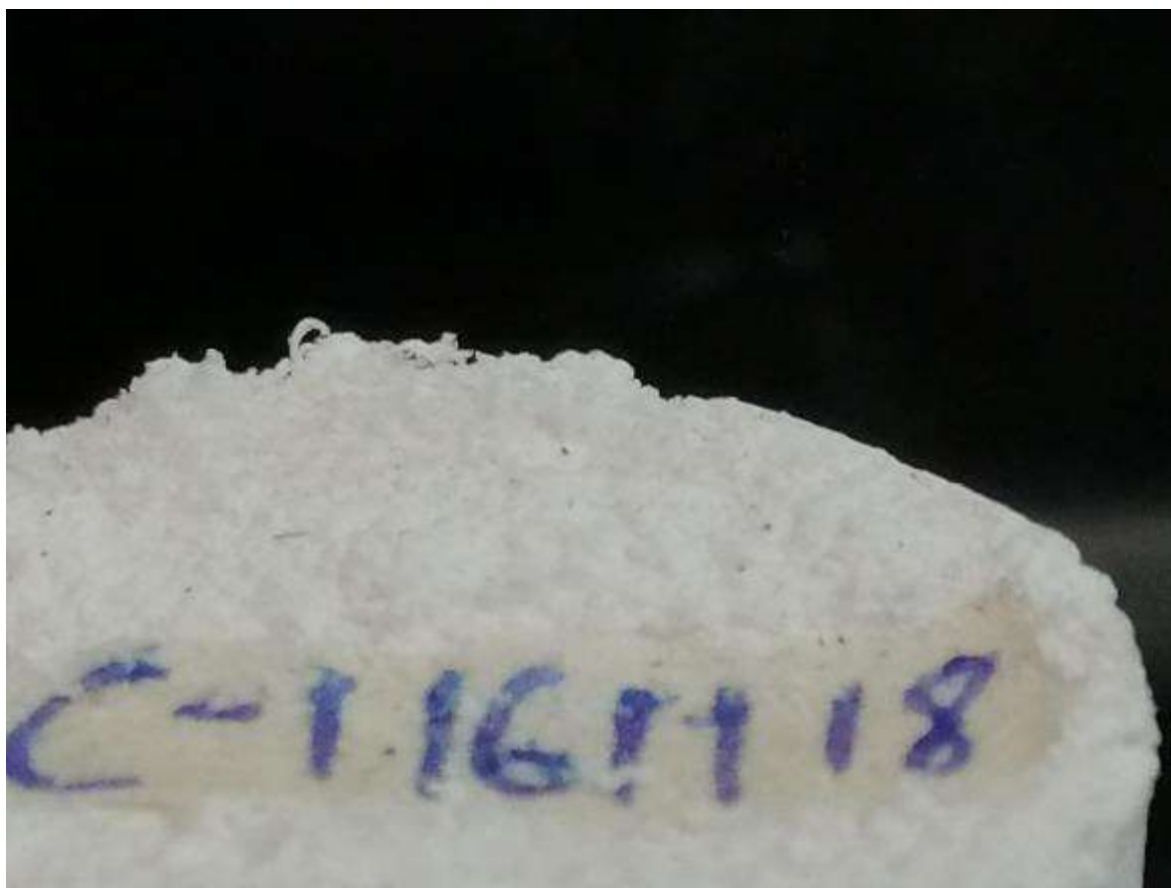


Figura. 4. 331. Imágenes de la corrida C-1161118, con presencia de eflorescencias en su parte externa. (autoría propia).

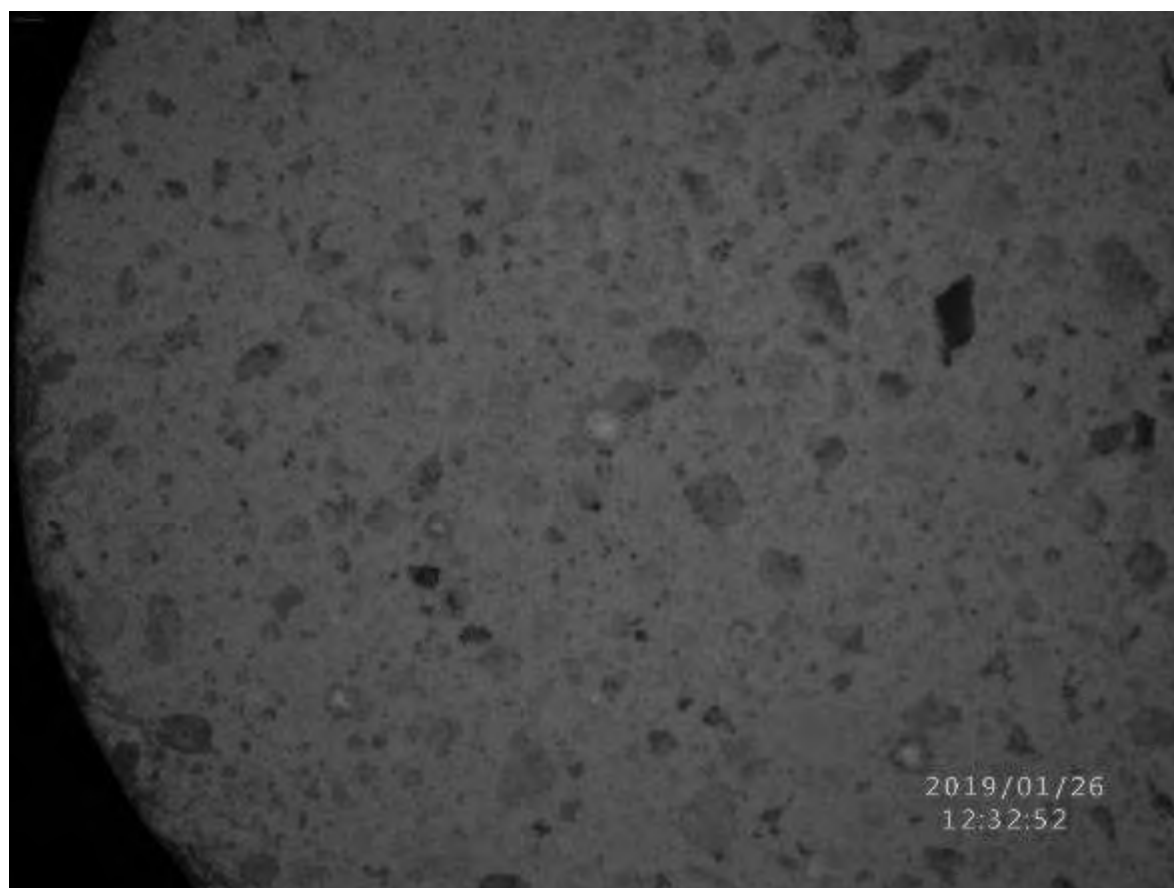


Figura. 4. 332. Microscopia de la C-1161118. Fuente: Autoría propia.

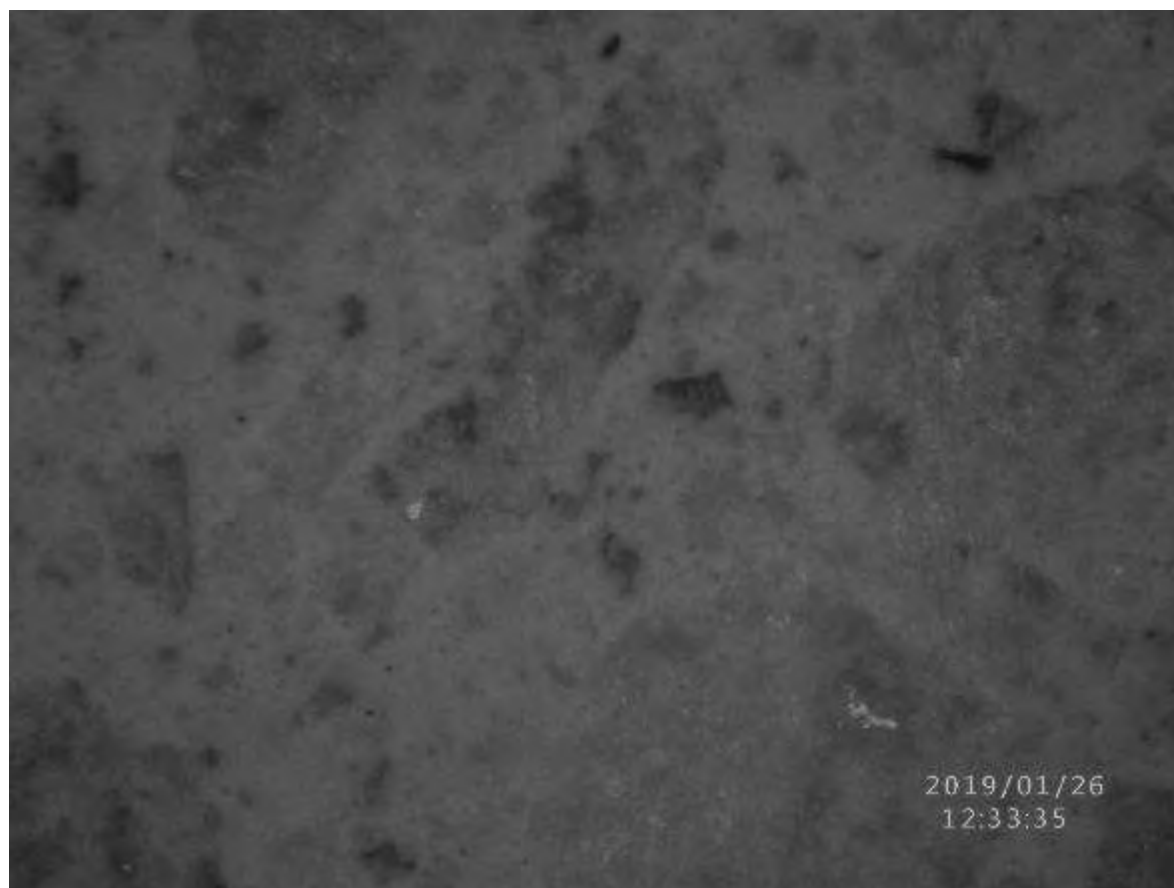


Figura. 4. 333. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1161118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

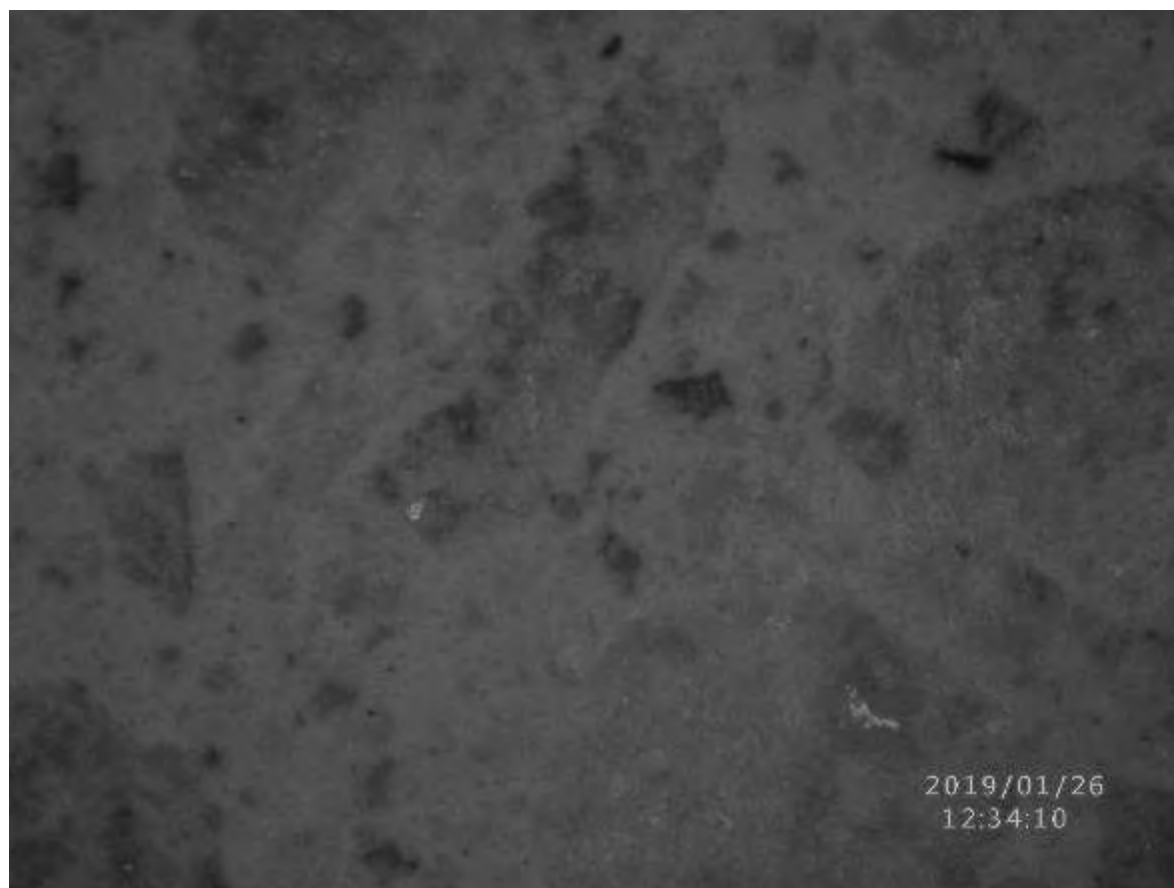


Figura. 4. 334. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1161118, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

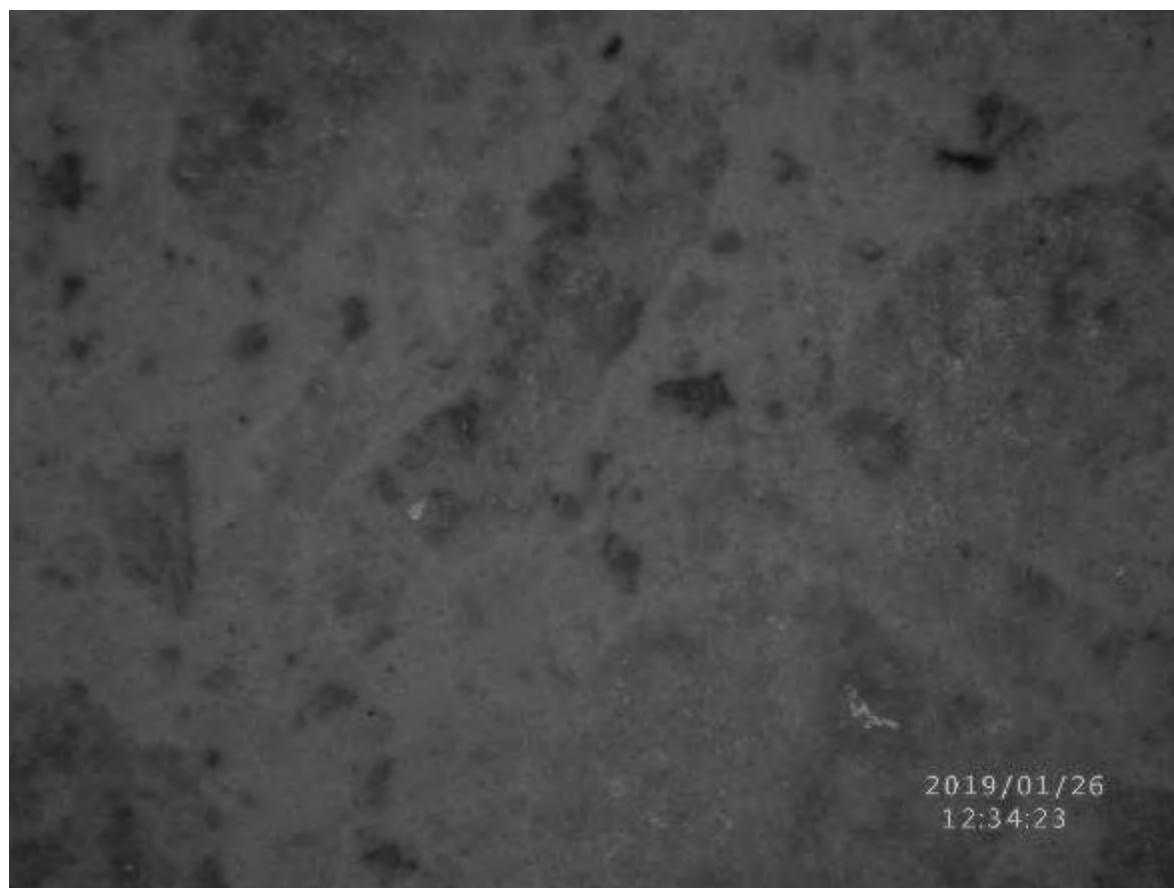


Figura. 4. 335. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1161118, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

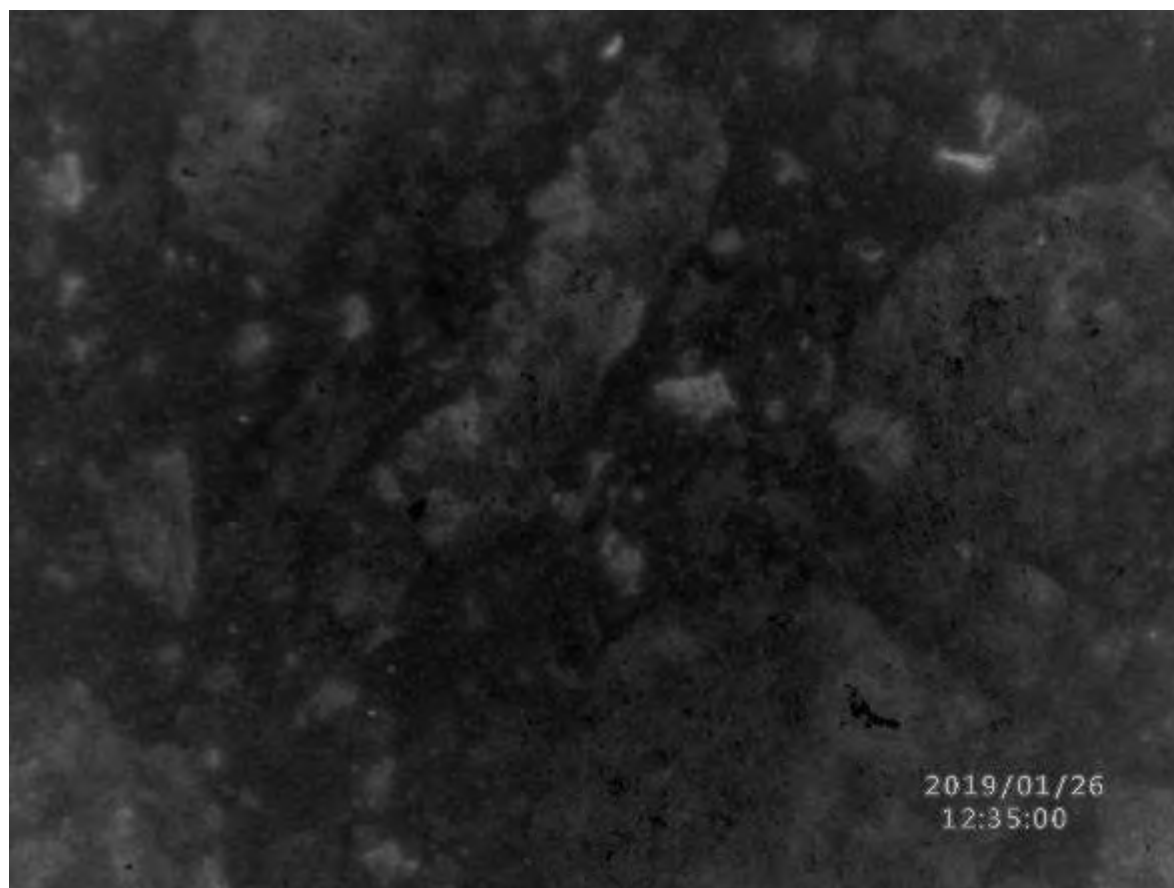


Figura. 4. 336. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1161118, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

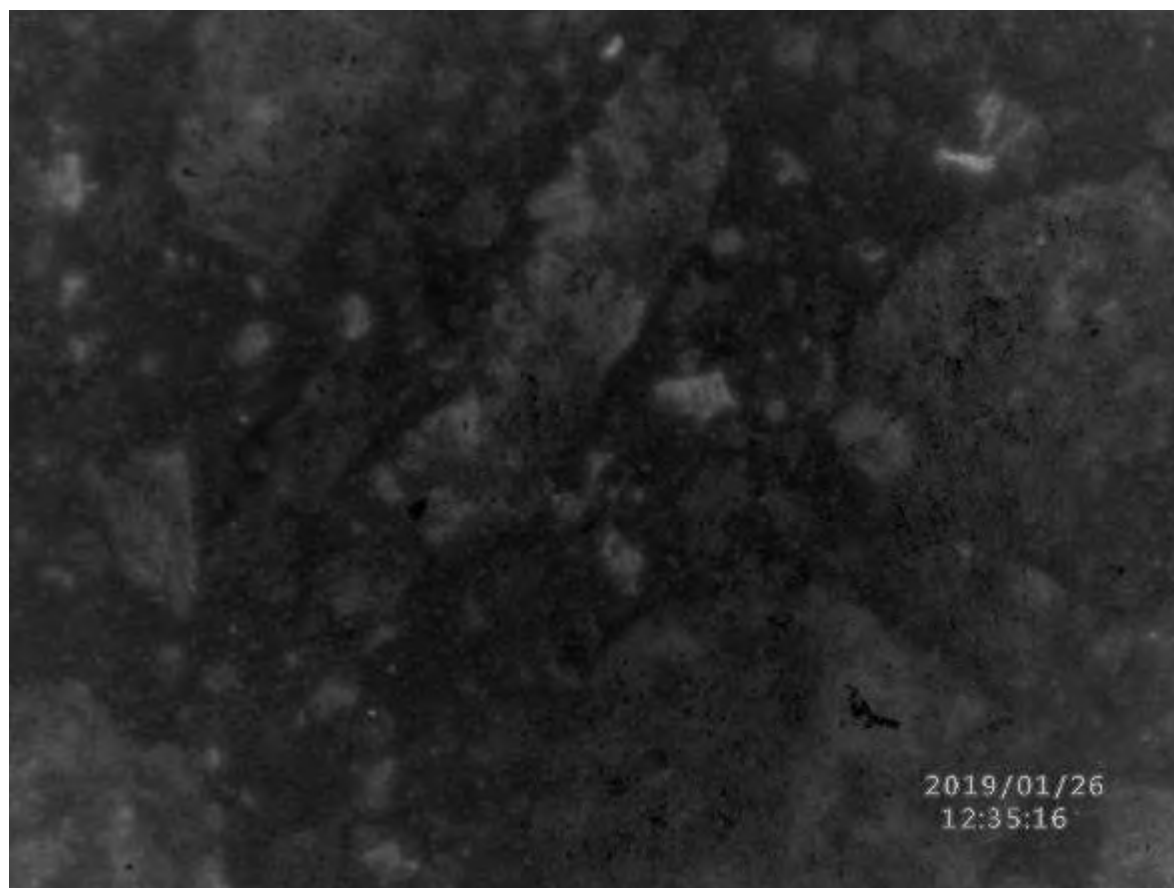


Figura. 4. 337. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1161118, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

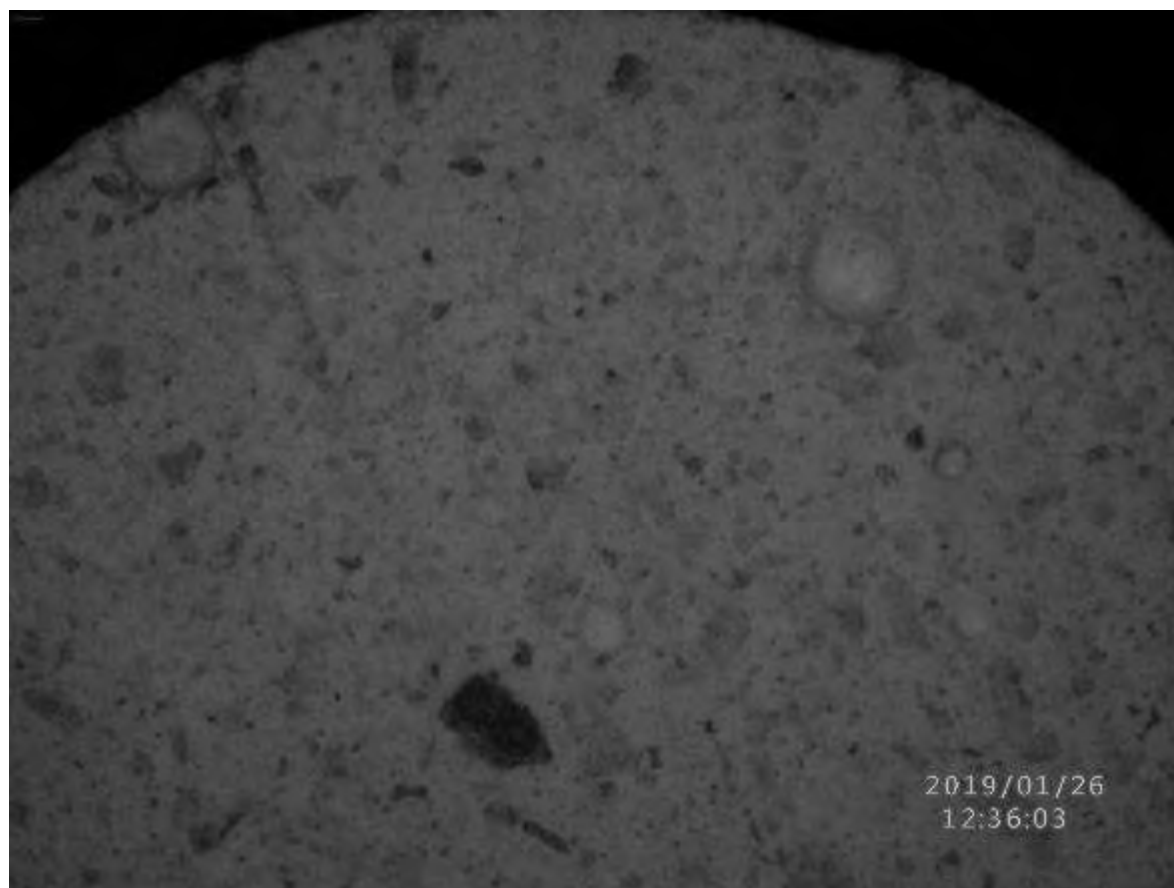


Figura. 4. 338. Microscopia de la C-1161118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

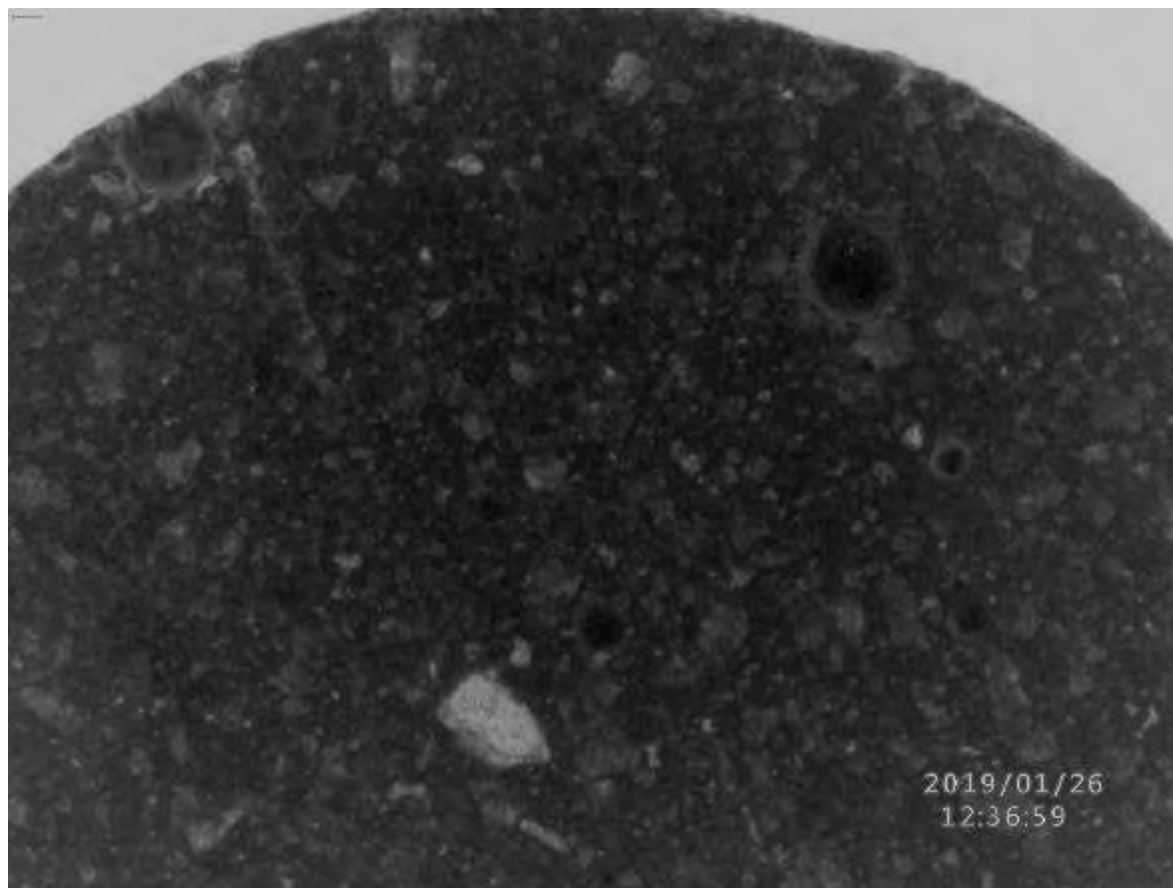


Figura. 4. 339. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1161118, con un filtro negativo bajo una luz normal.
Fuente: (autoría propia).

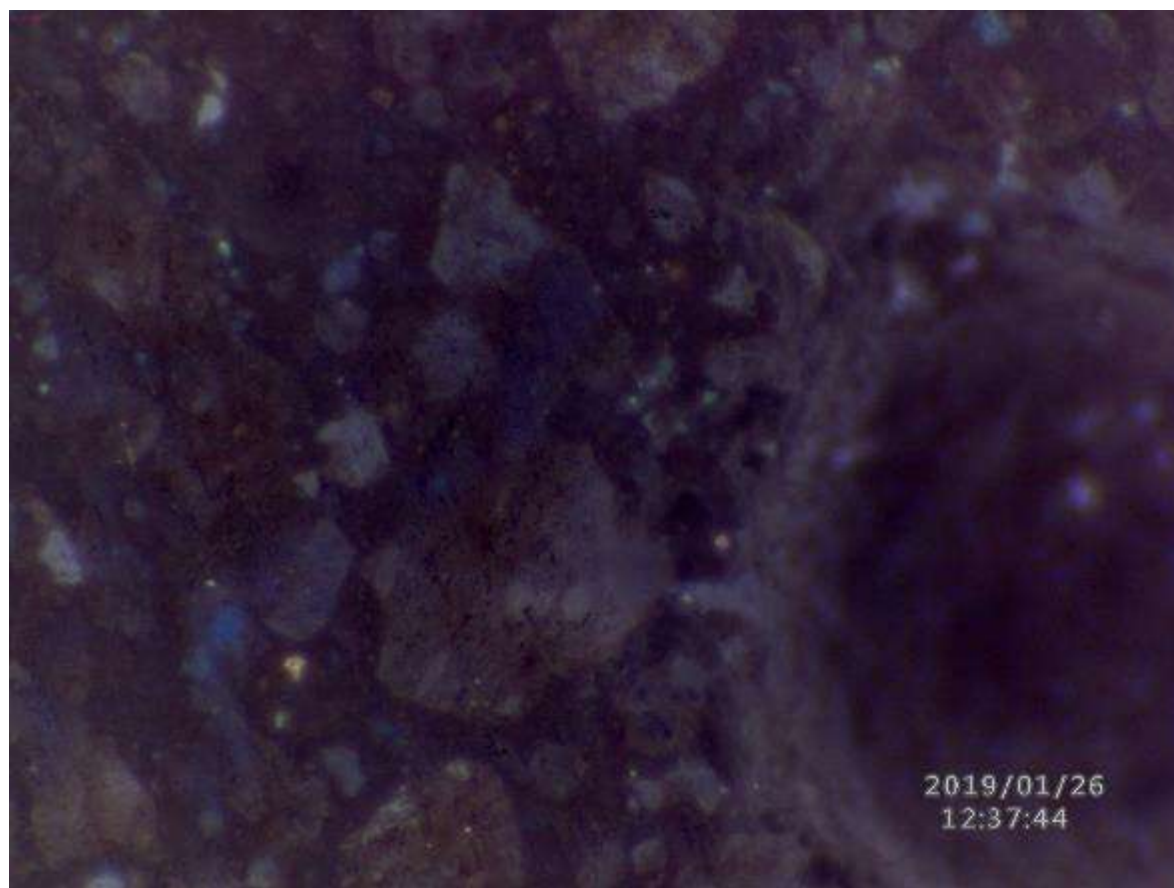
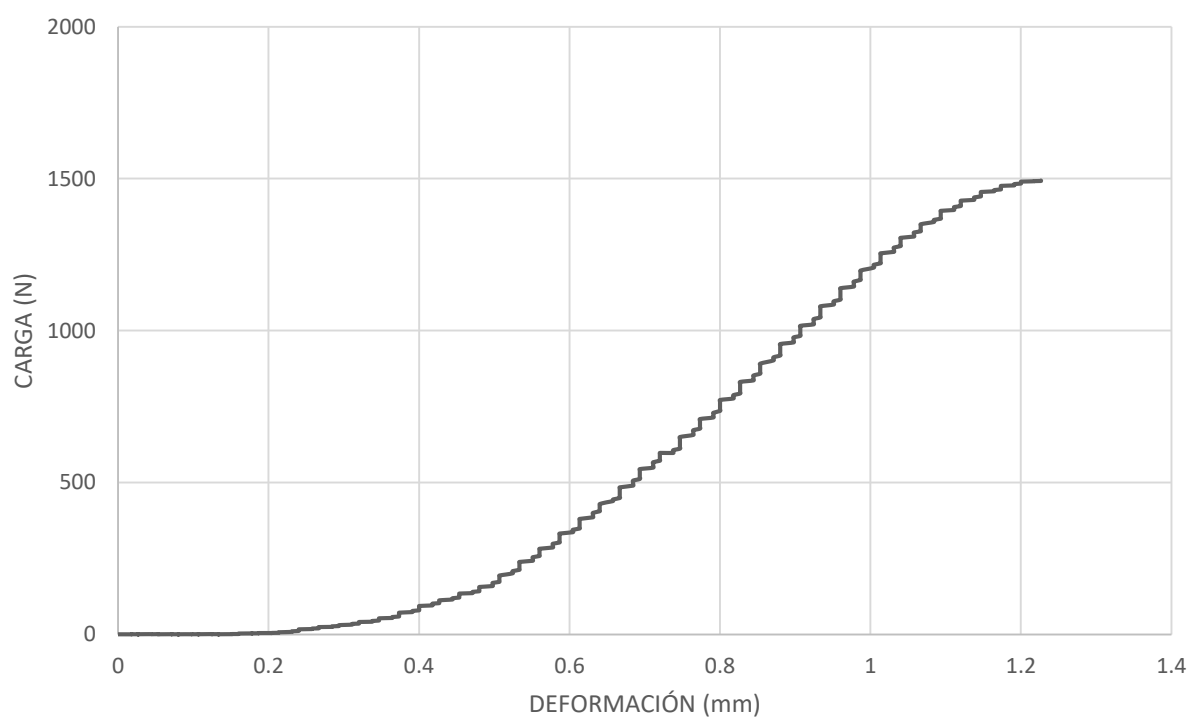


Figura. 4. 340. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1161118, con un filtro negativo bajo una luz normal.
Fuente: (autoría propia).

CARGA-DEFORMACIÓN



Gráficas 4. 27. Imágenes de la corrida C-1161118, con presencia de eflorescencias en su parte externa. (autoría propia).



Figura. 4. 341. Fotografía de la C-1161118, en la prensa. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 342. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-1161118. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 343. Fotografías de la corrida C-2161118. Fuente: (Autoría propia).

De composición 100% CAL ESTANDAR, 275% MARMOLINA Tipo 2, 10% METACAOLIN, 5% CARBONATO DE SODIO y A/C= 1:1, de dimensiones iguales a un diámetro de 23.2mm y longitud de 45.4mm, DENSIDAD = 36.8492923 g/cm³, que presenta una buena dureza al ser pulido, con poco desprendimiento. (Autoría propia).

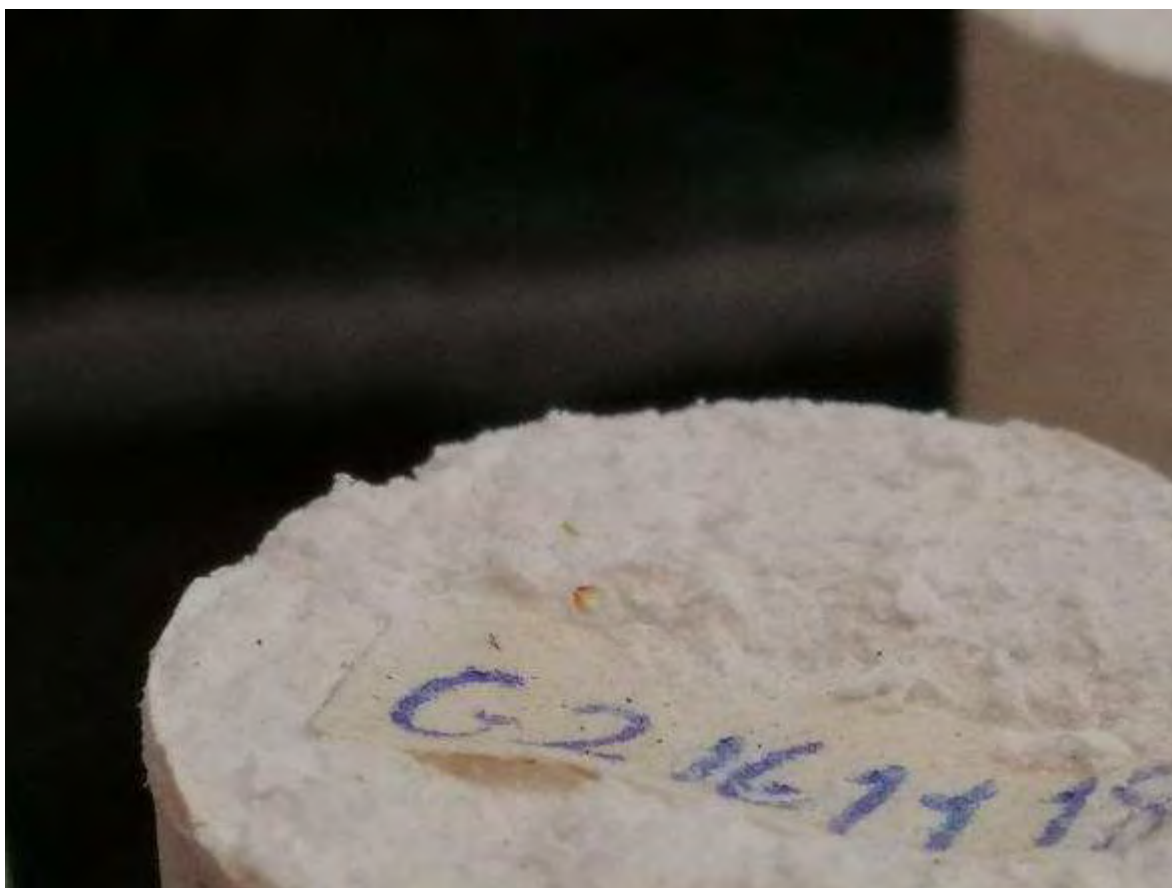


Figura. 4. 344. Imágenes de la corrida C-2161118, con presencia de eflorescencias en su parte externa. (autoría propia).

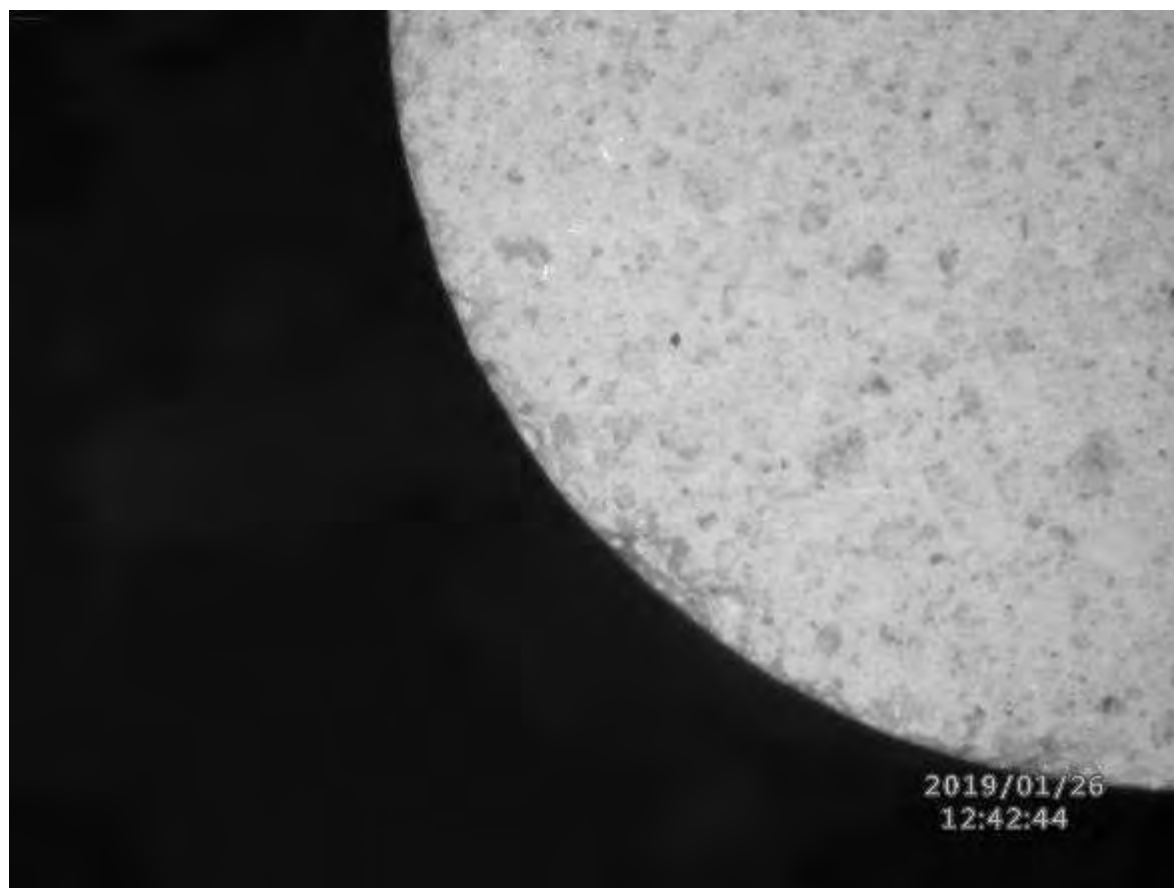


Figura. 4. 345. Microscopia de la C-2161118. Fuente: Autoría propia.

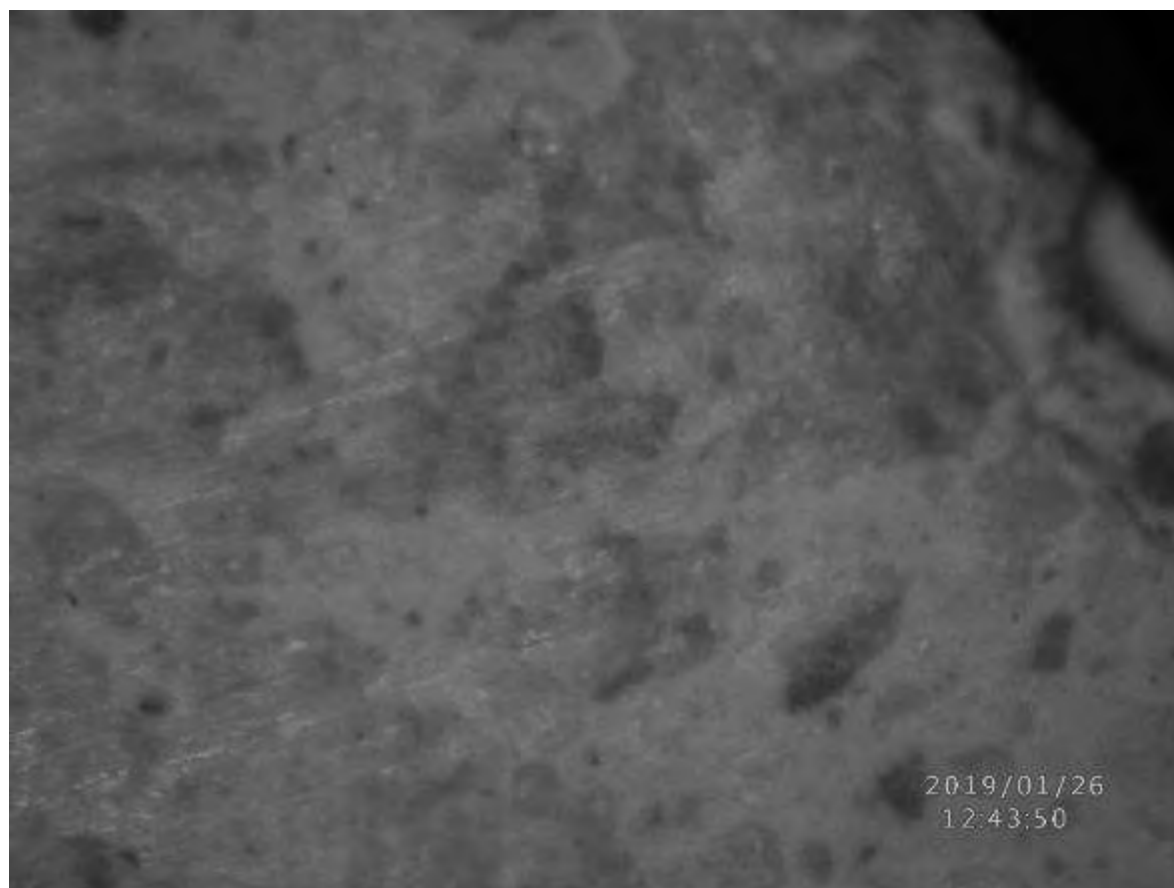


Figura. 4. 346. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2161118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

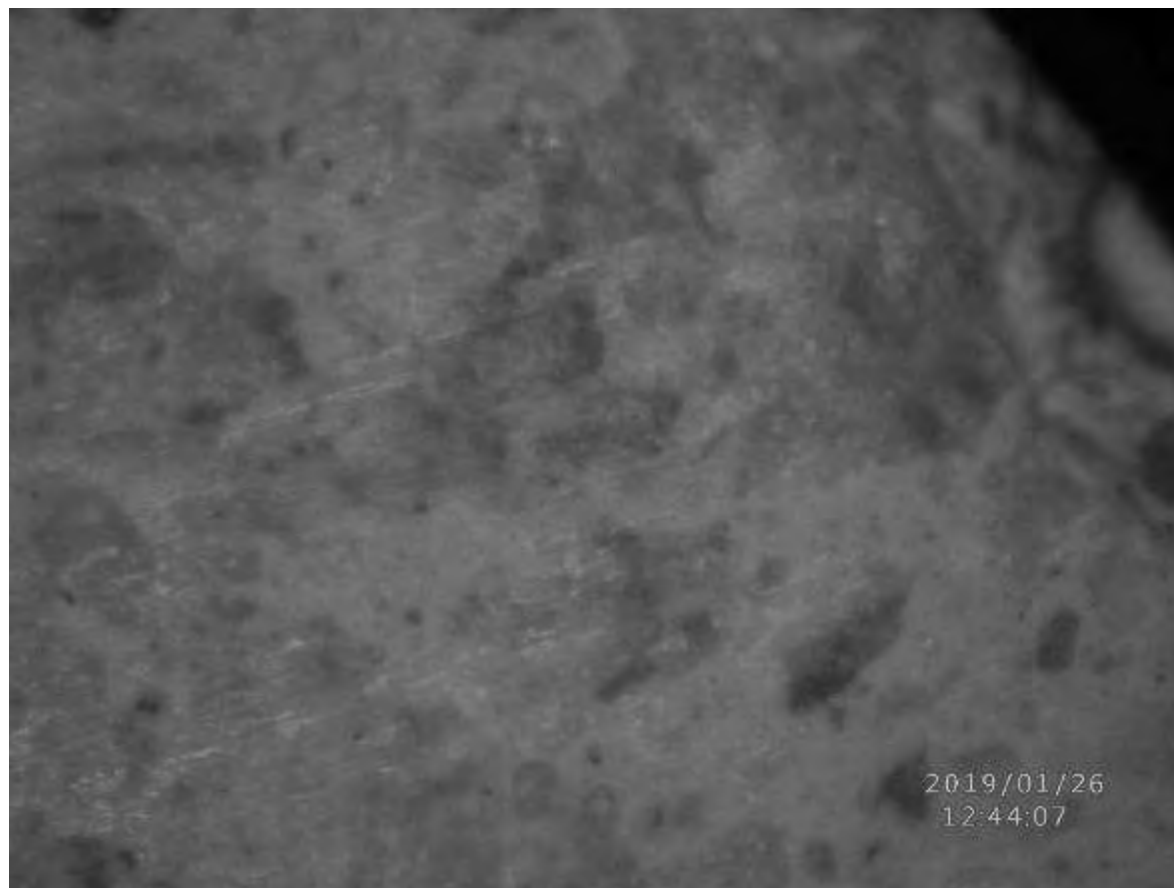


Figura. 4. 347. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2161118, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

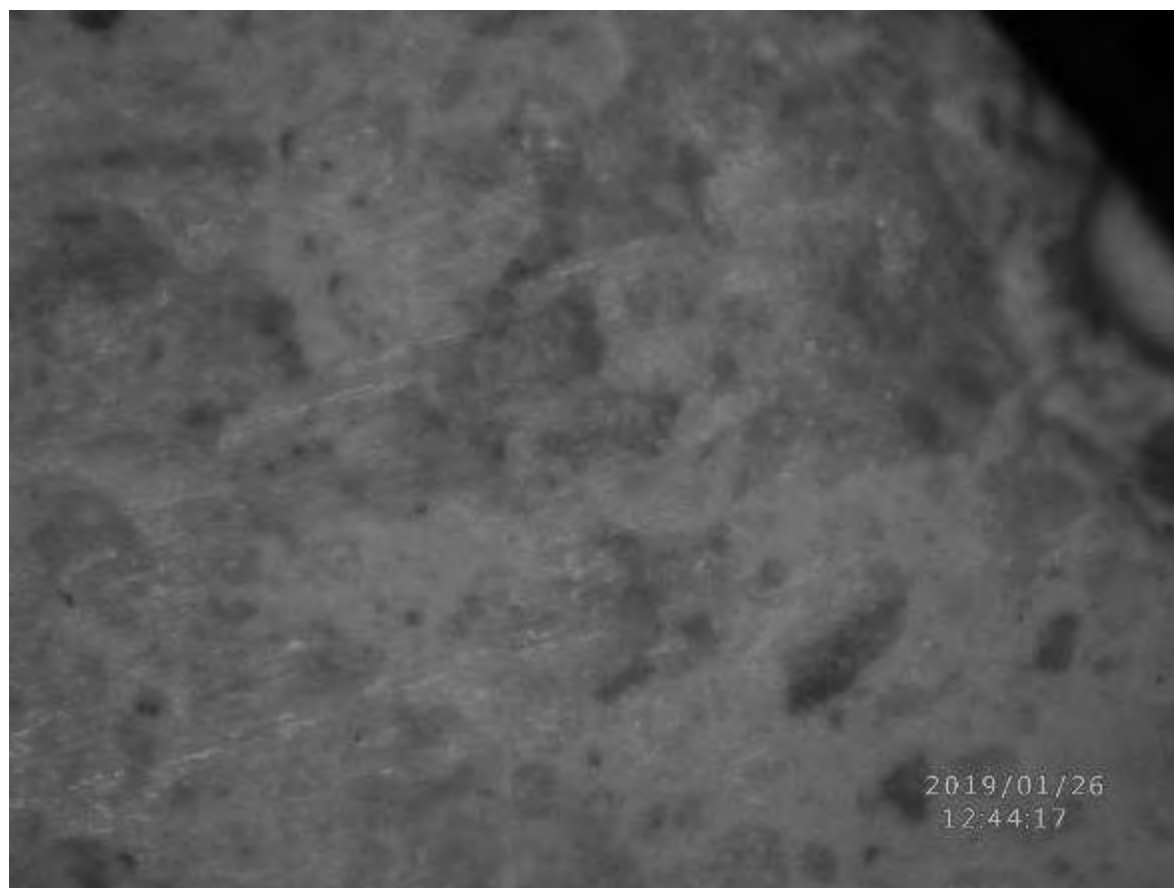


Figura. 4. 348. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2161118, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

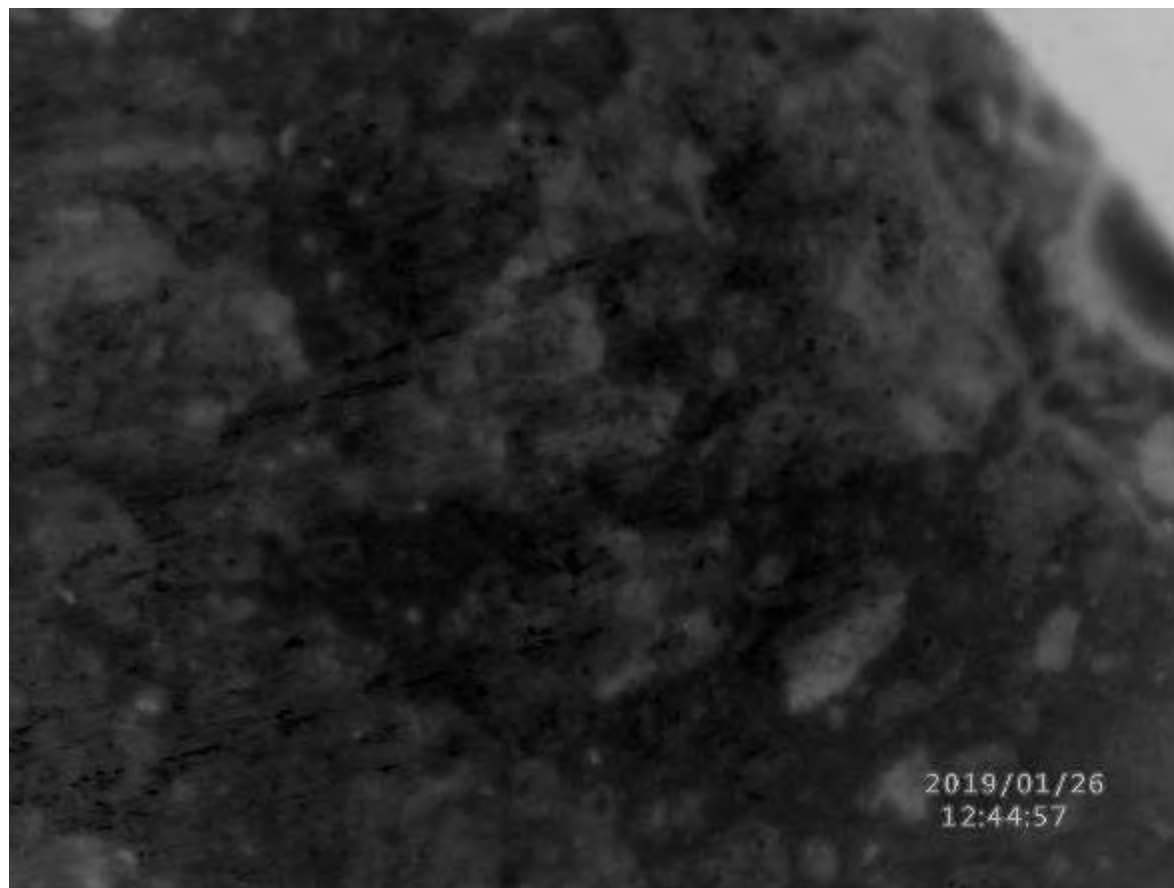


Figura. 4. 349. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2161118, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

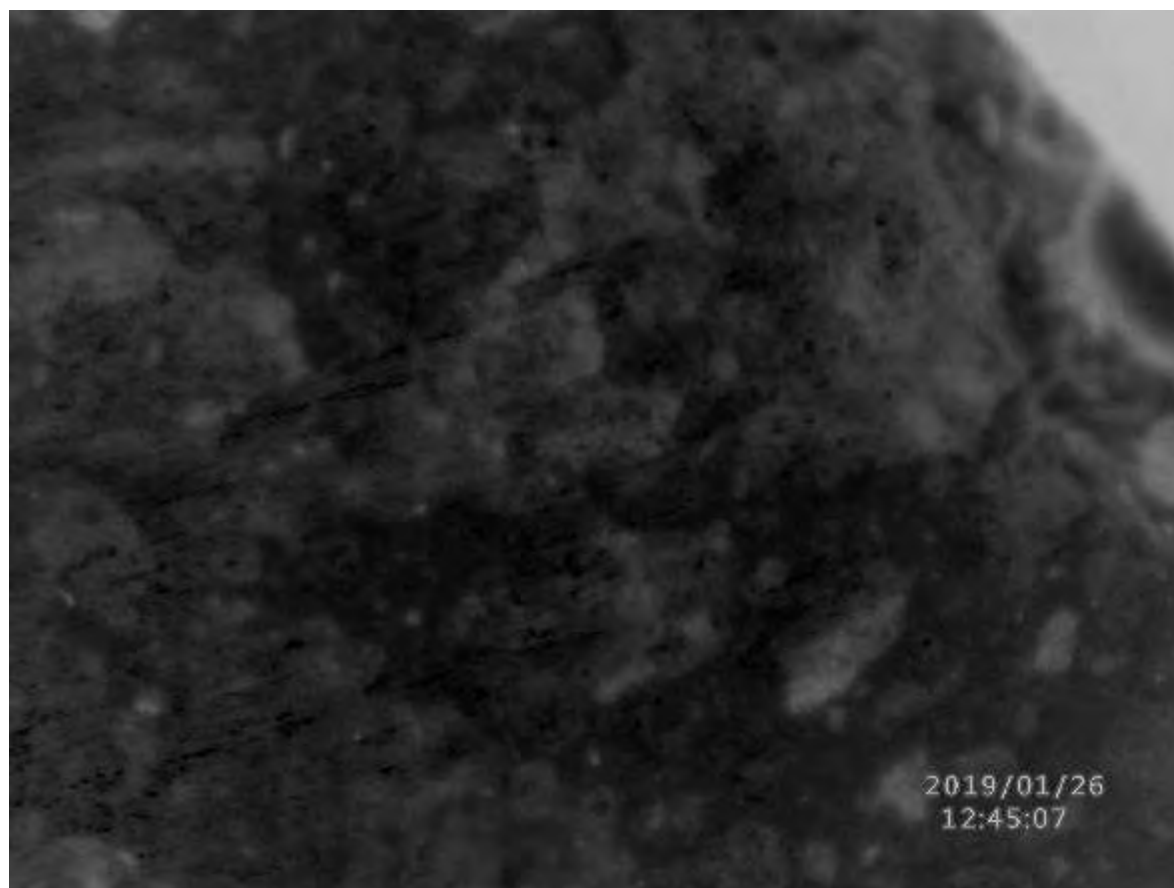


Figura. 4. 350. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2161118, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

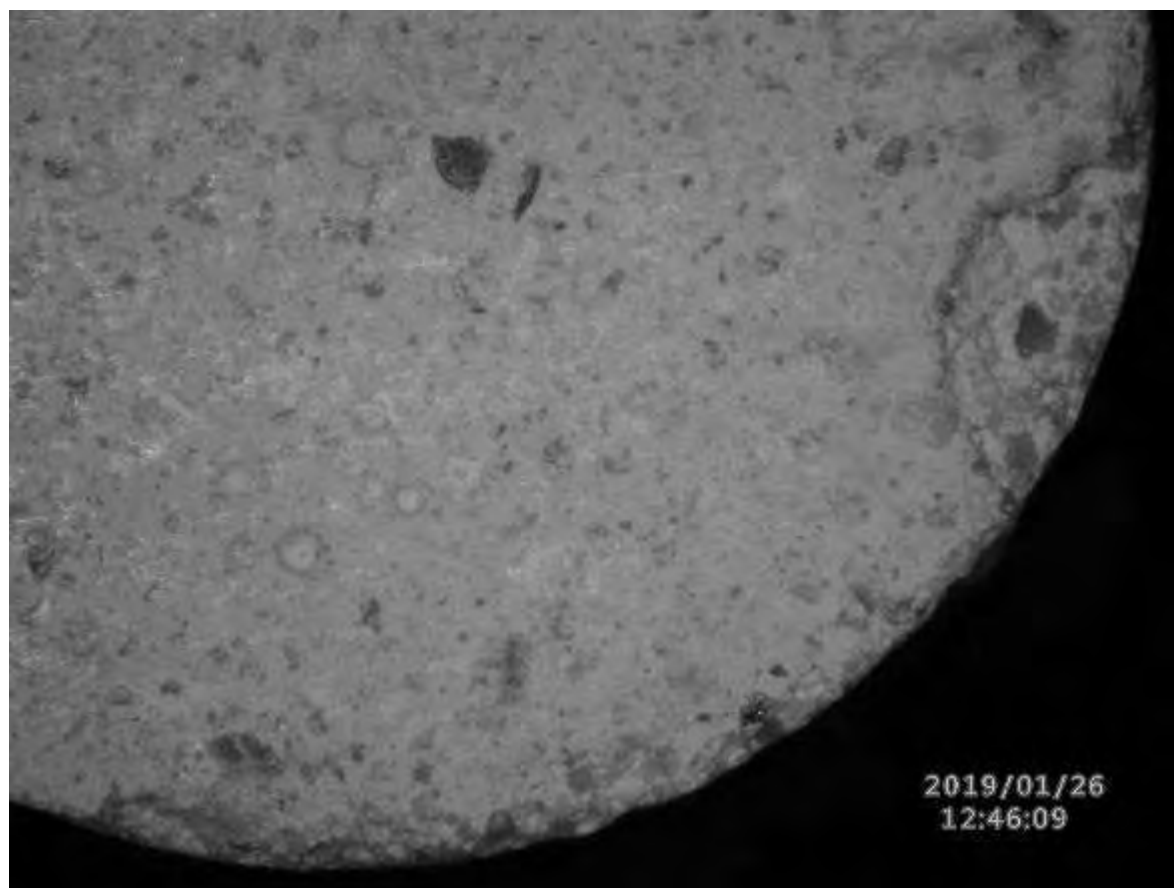


Figura. 4. 351. Microscopia de la C-2161118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

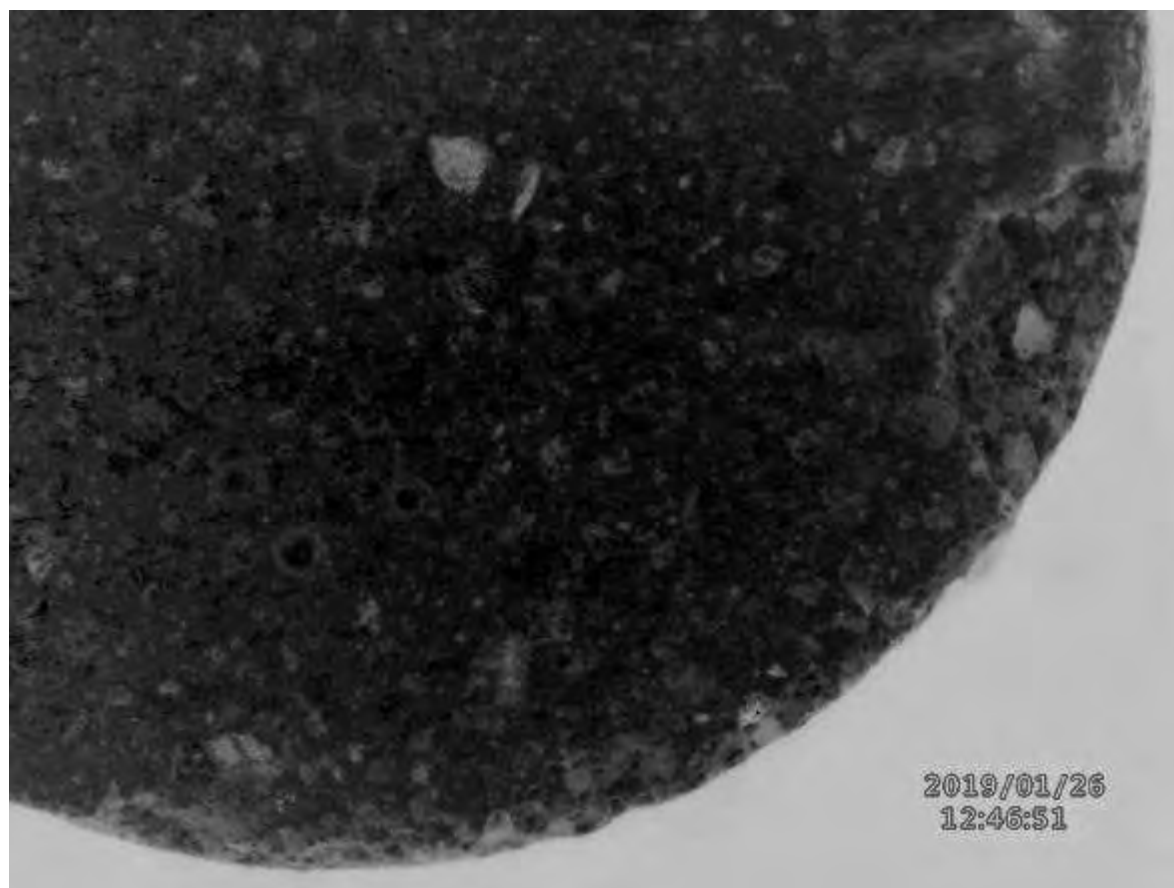


Figura. 4. 352. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2161118, con un filtro negativo bajo una luz normal.
Fuente: (autoría propia).

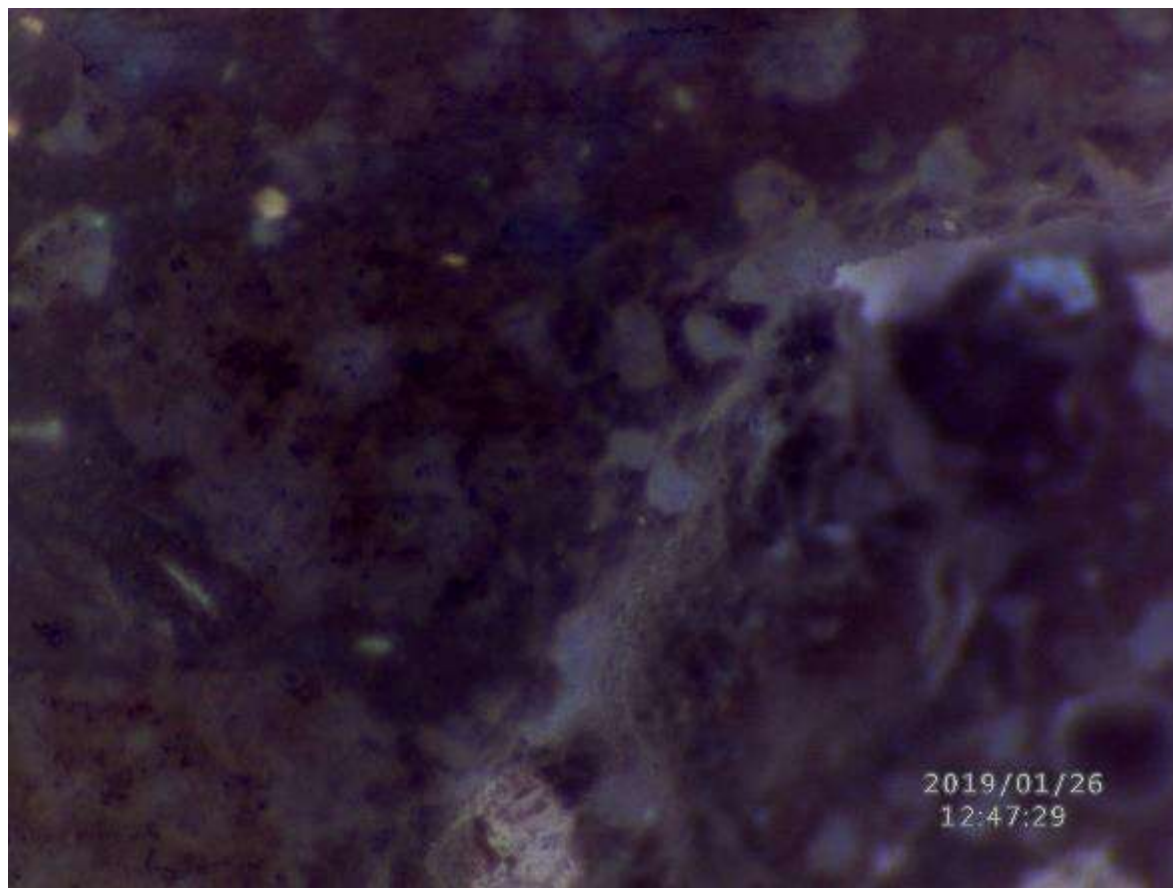
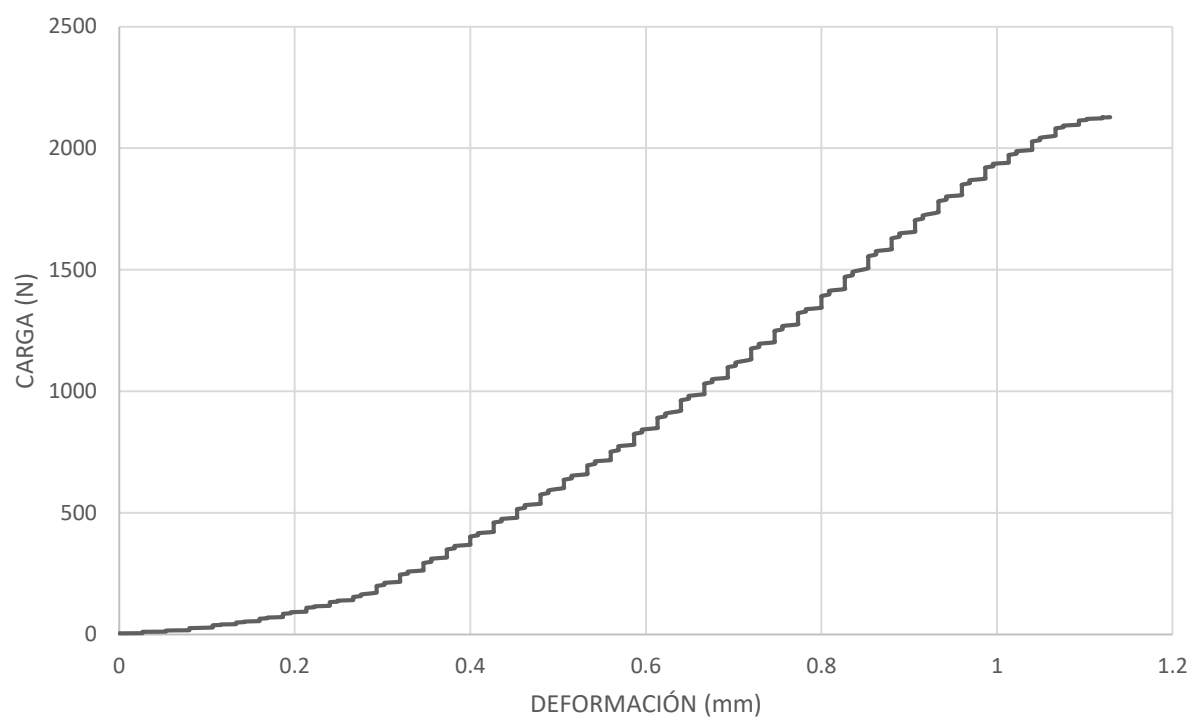


Figura. 4. 353. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2161118, con un filtro negativo bajo una luz normal.
Fuente: (autoría propia).

CARGA-DEFORMACIÓN



Gráficas 4. 28. Curva Carga-Deformación de la C-2161118, en N-mm. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 354. Fotografía de la C-2161118, en la prensa. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 355. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-2161118. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 356. Fotografías de la corrida C-3161118. Fuente: (Autoría propia).

De composición 100% CAL ESTANDAR, 275% MARMOLINA Tipo 2, 5% METACAOLIN, 10% CARBONATO DE SODIO y A/C= 1:1 (debe ser mezclada hasta alcanzar la trabajabilidad, que se necesita como pasa con todas las familias activadas con CARBONATO DE SODIO), de dimensiones iguales a un diámetro de 22.9mm y longitud de 45.6mm, DENSIDAD = 37.5850553 g/cm³, que presenta una buena dureza al ser pulido, con poco desprendimiento.

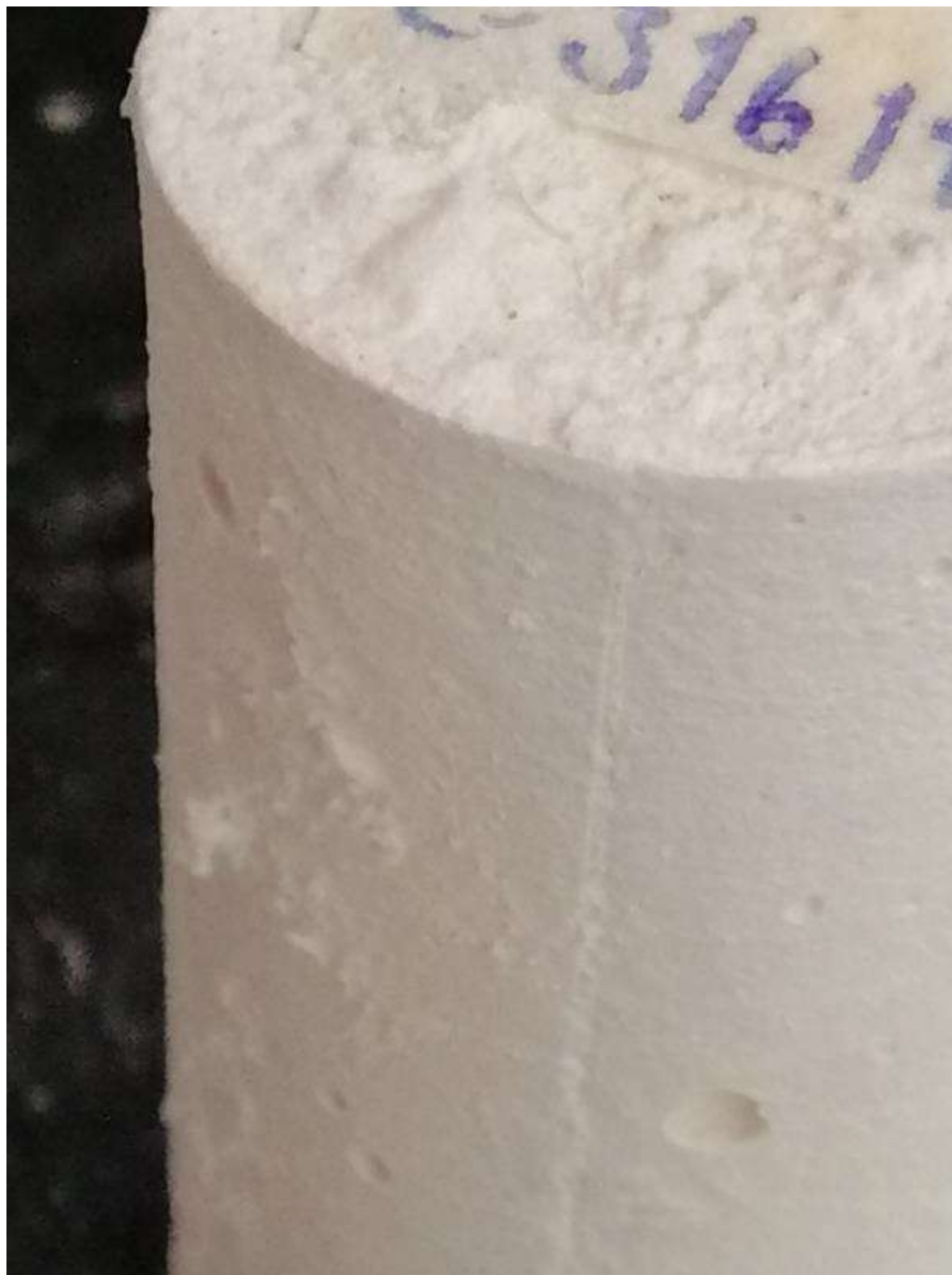


Figura. 4. 357. Imágenes de la corrida C-316118, con presencia de eflorescencias en su parte externa. (autoría propia).

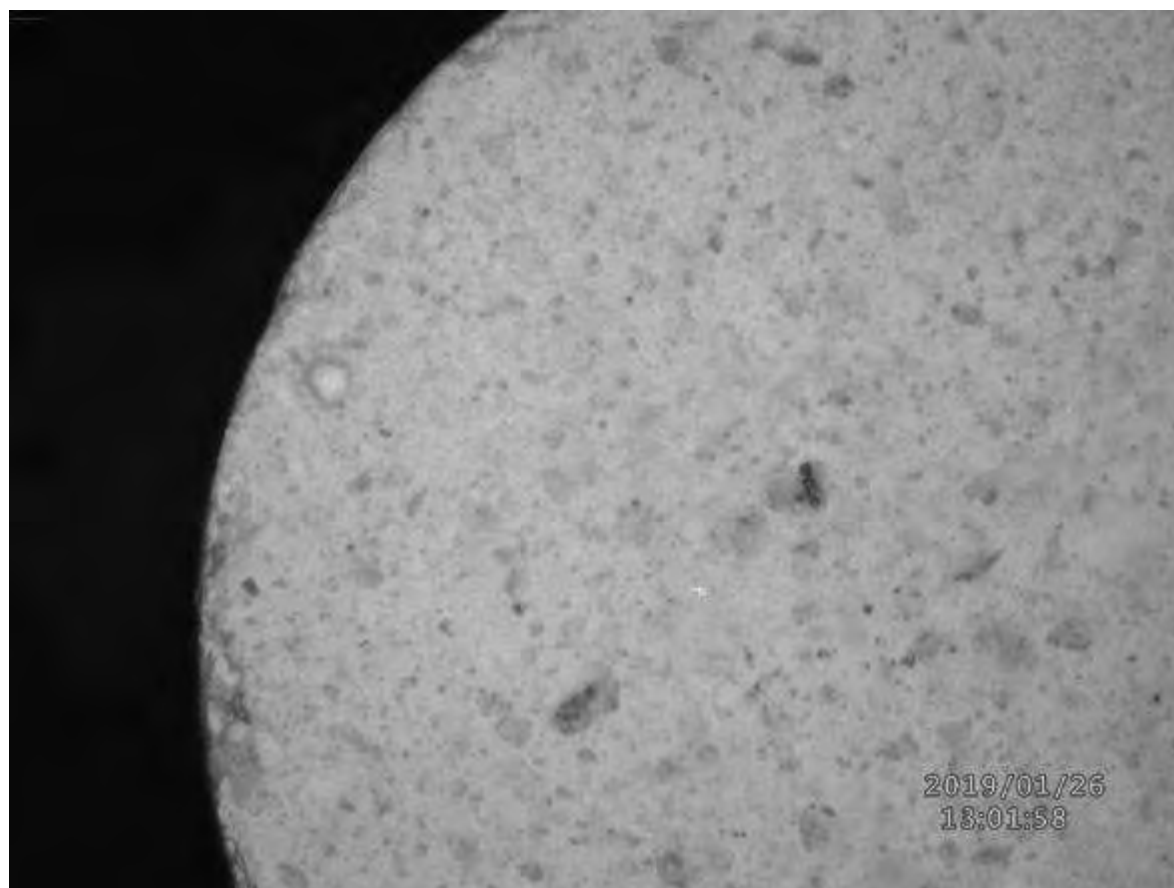


Figura. 4. 358. Microscopia de la C-3161118. Fuente: Autoría propia.

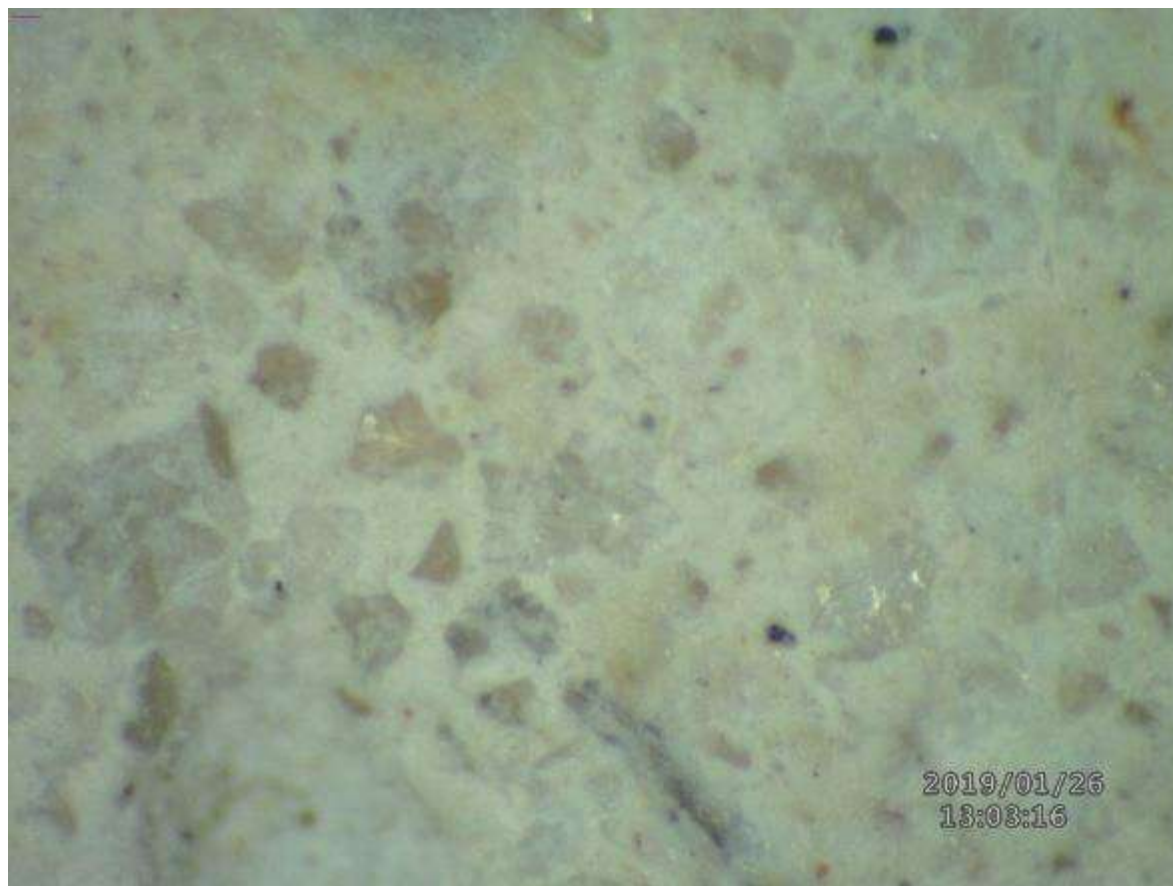


Figura. 4. 359. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3161118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

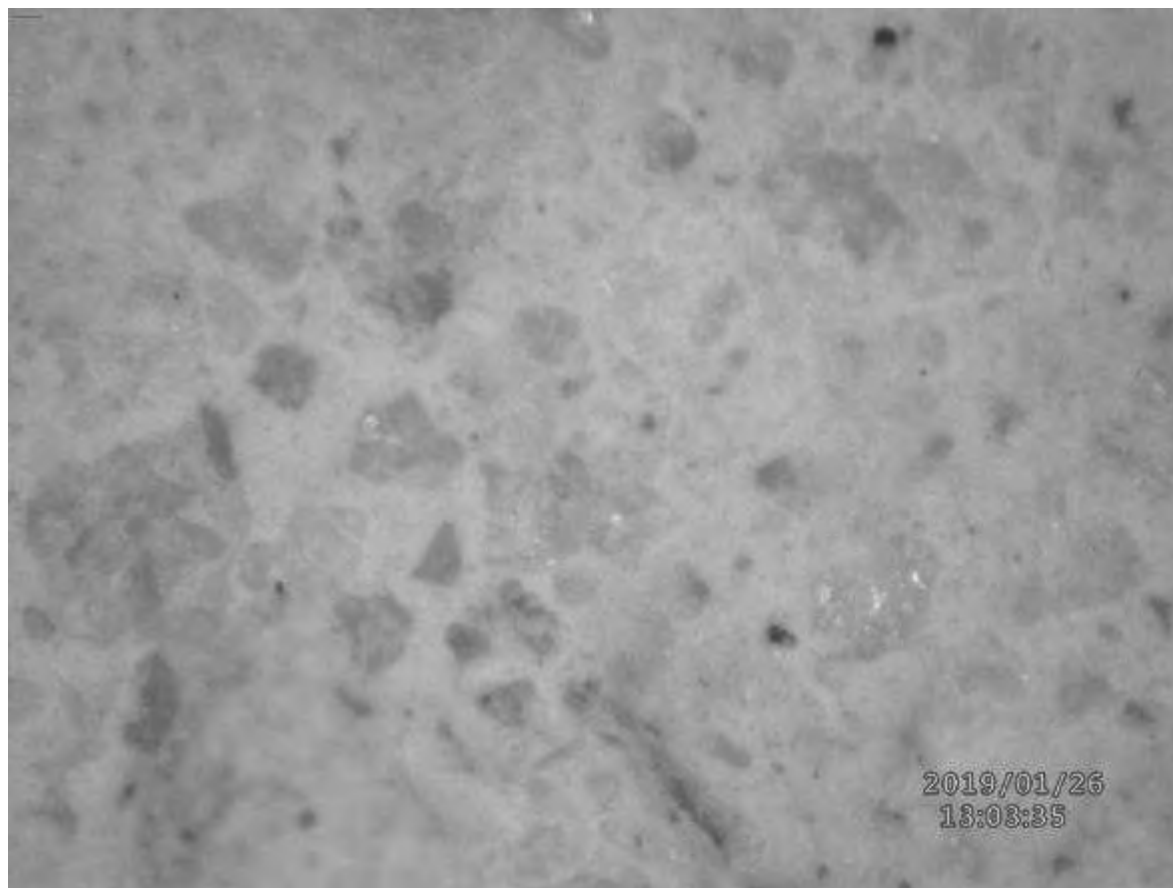


Figura. 4. 360. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3161118, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

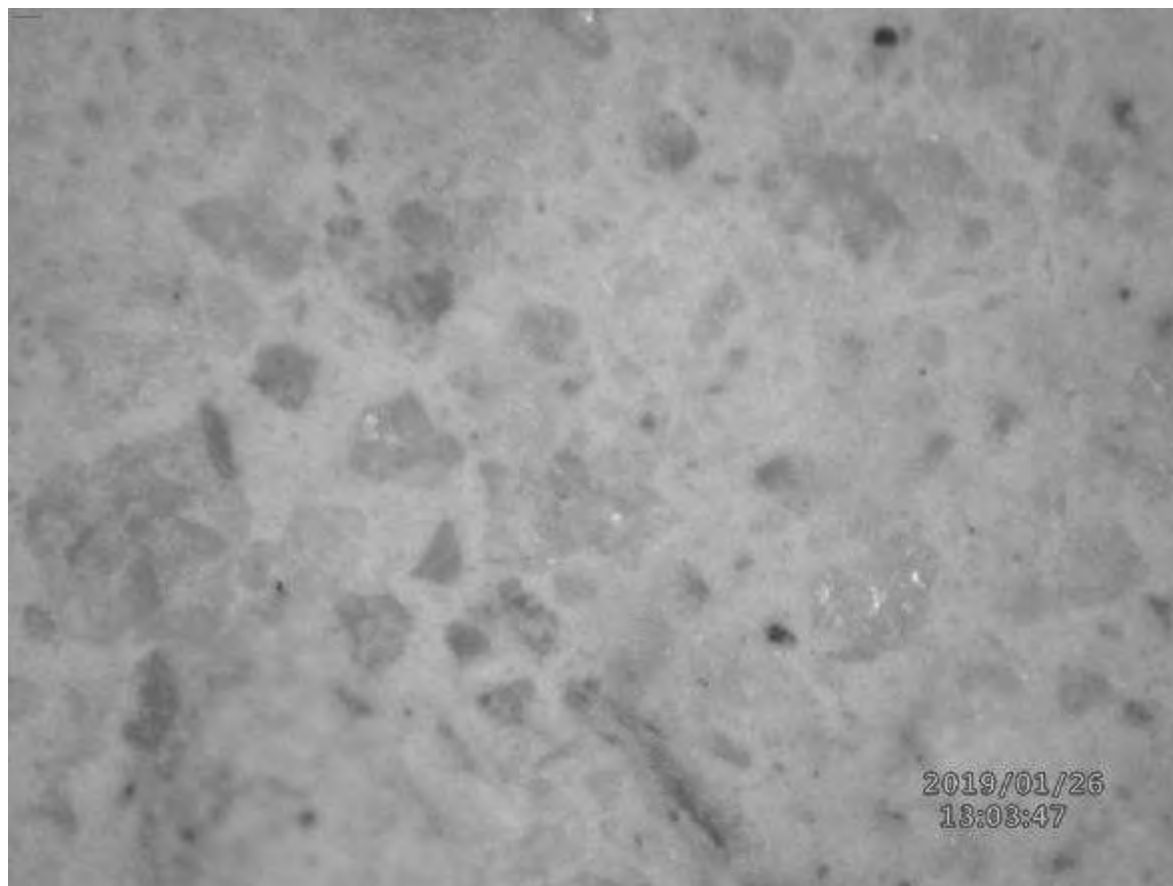


Figura. 4. 361. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3161118, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 362. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3161118, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 363. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3161118, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

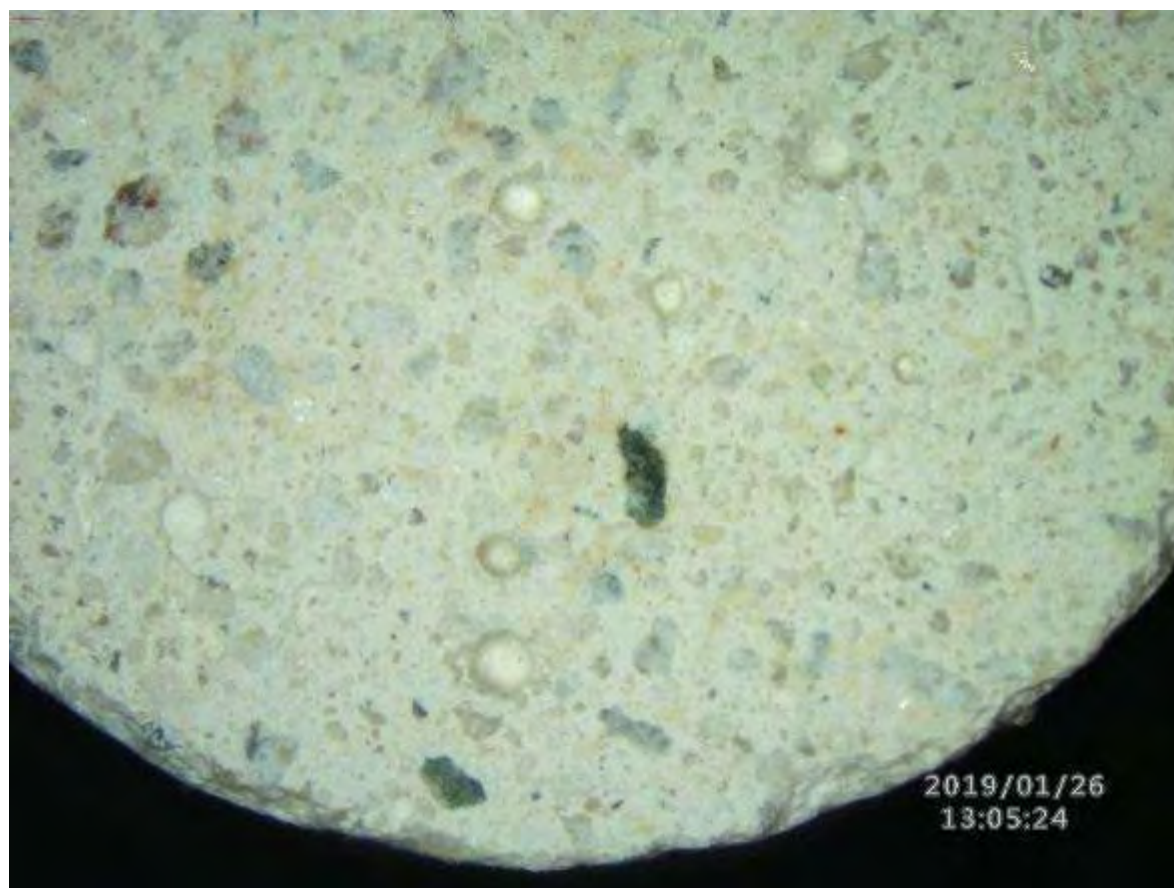


Figura. 4. 364. Microscopia de la C-3161118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

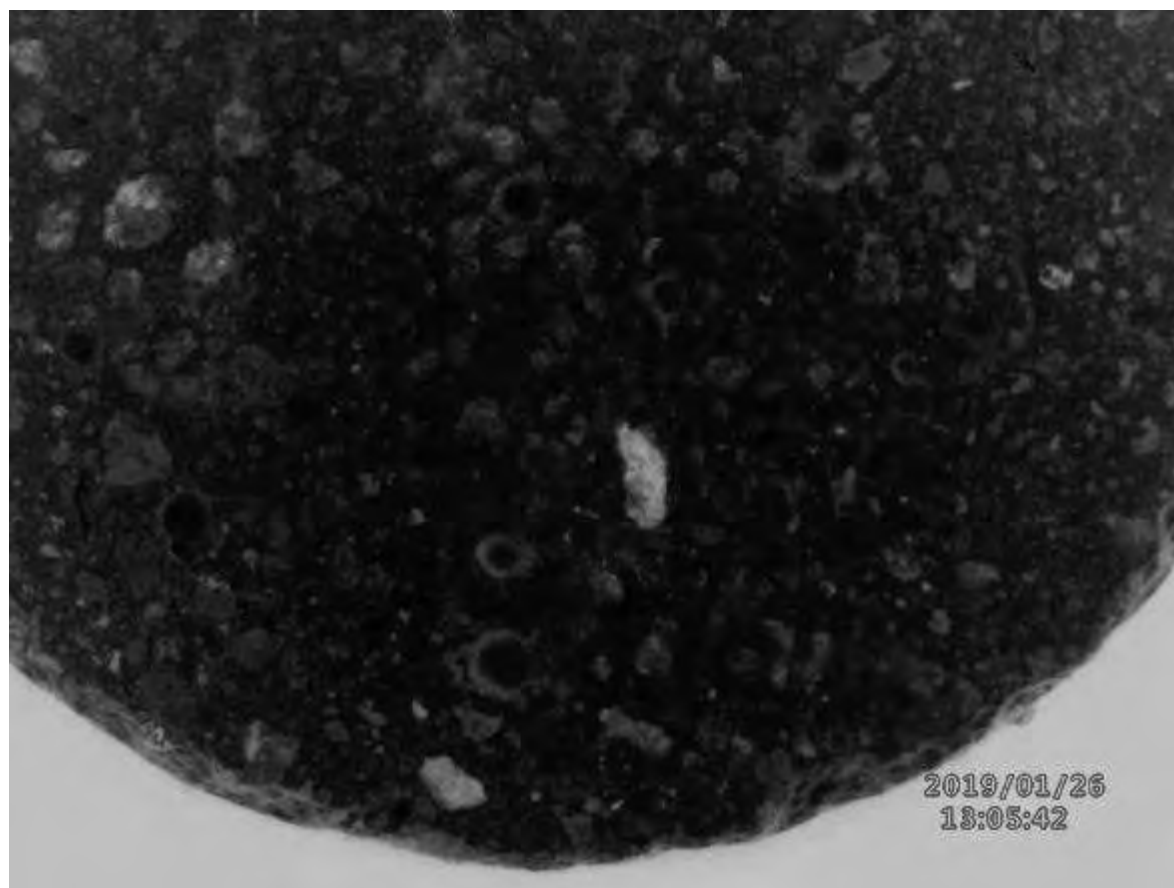


Figura. 4. 365. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3161118, con un filtro negativo bajo una luz normal.
Fuente: (autoría propia).

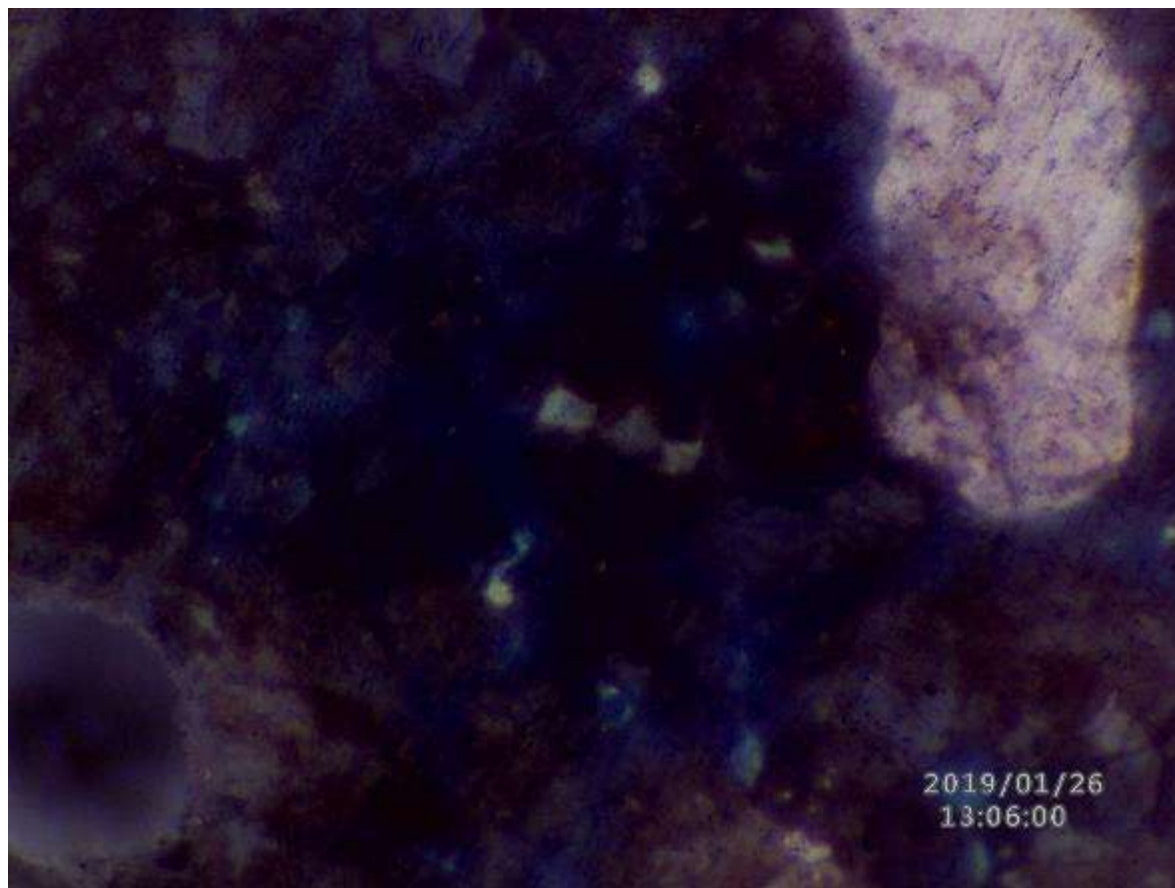
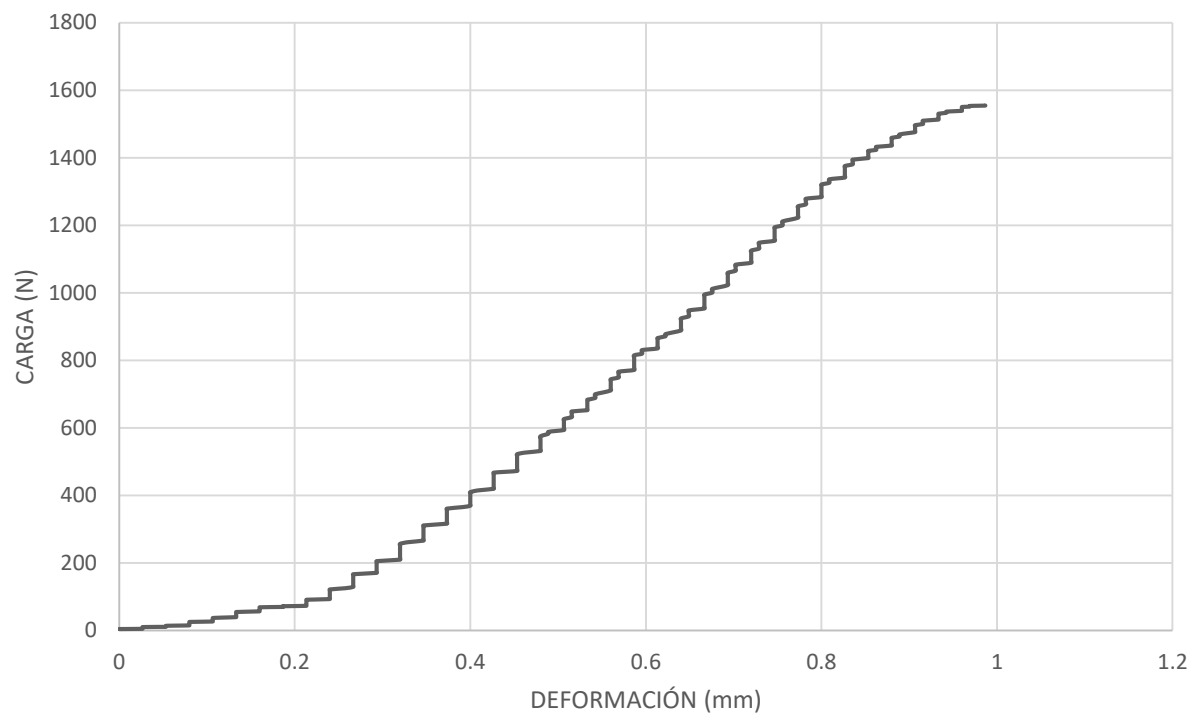


Figura. 4. 366. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3161118, con un filtro negativo bajo una luz normal.
Fuente: (autoría propia).

CARGA-DEFORMACIÓN



Gráficas 4. 29 Curva Carga-Deformación de la C-3161118, en N-mm. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 367. Fotografía de la C-3161118, en la prensa. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 368. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-3161118. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 369. Fotografías de la corrida C-4161118. Fuente: (Autoría propia).

De composición 100% CAL ESTANDAR, 275% MARMOLINA Tipo 2, 10% METACAOLIN, 10% CARBONATO DE SODIO y A/C= 1:1 (debe ser mezclada hasta alcanzar la trabajabilidad, que se necesita como pasa con todas las familias activadas con CARBONATO DE SODIO), de dimensiones iguales a un diámetro de 23.1mm y longitud de 45.6mm, DENSIDAD = 37.1699885 g/cm³, que presenta una buena dureza al ser pulido, con poco desprendimiento. (Autoría propia).



Figura. 4. 370. Imágenes de la corrida C-416118, con presencia de eflorescencias en su parte externa. (autoría propia).

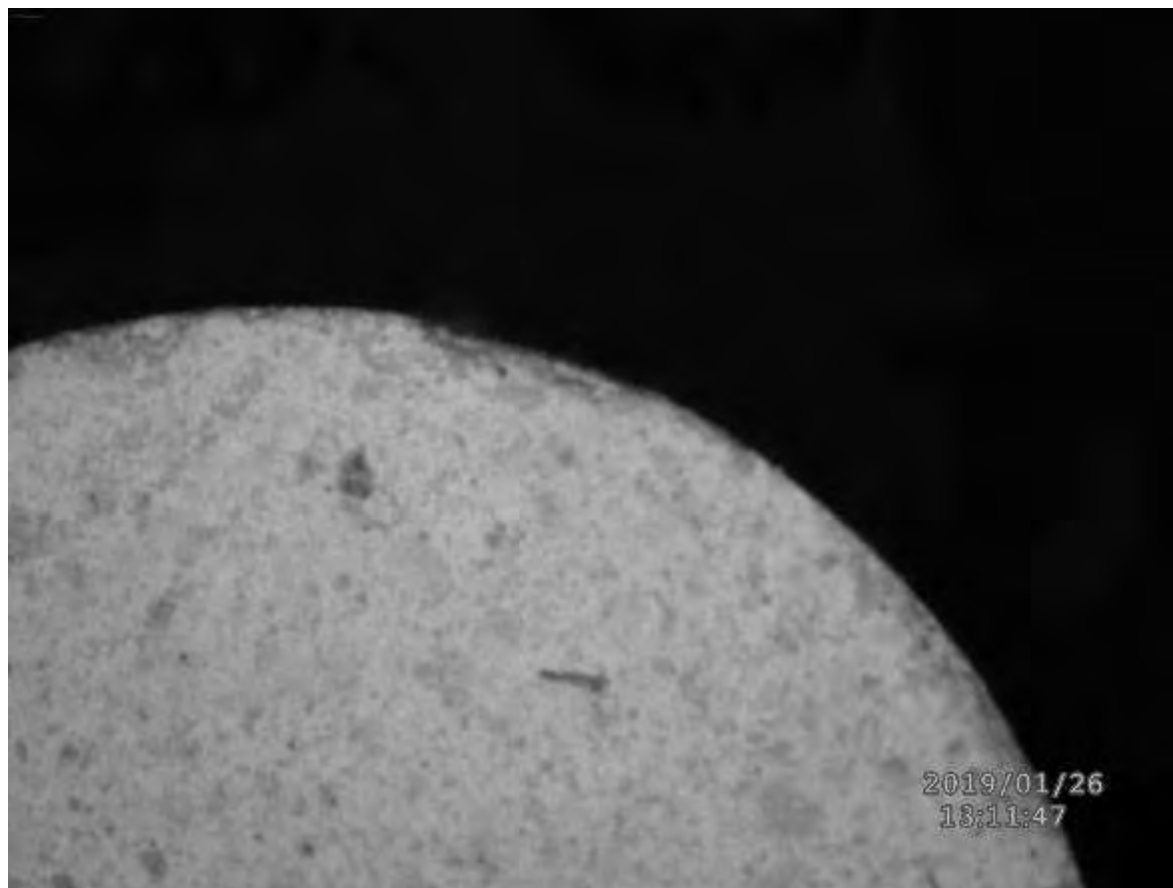


Figura. 4. 371. Microscopia de la C-4161118. Fuente: Autoría propia.

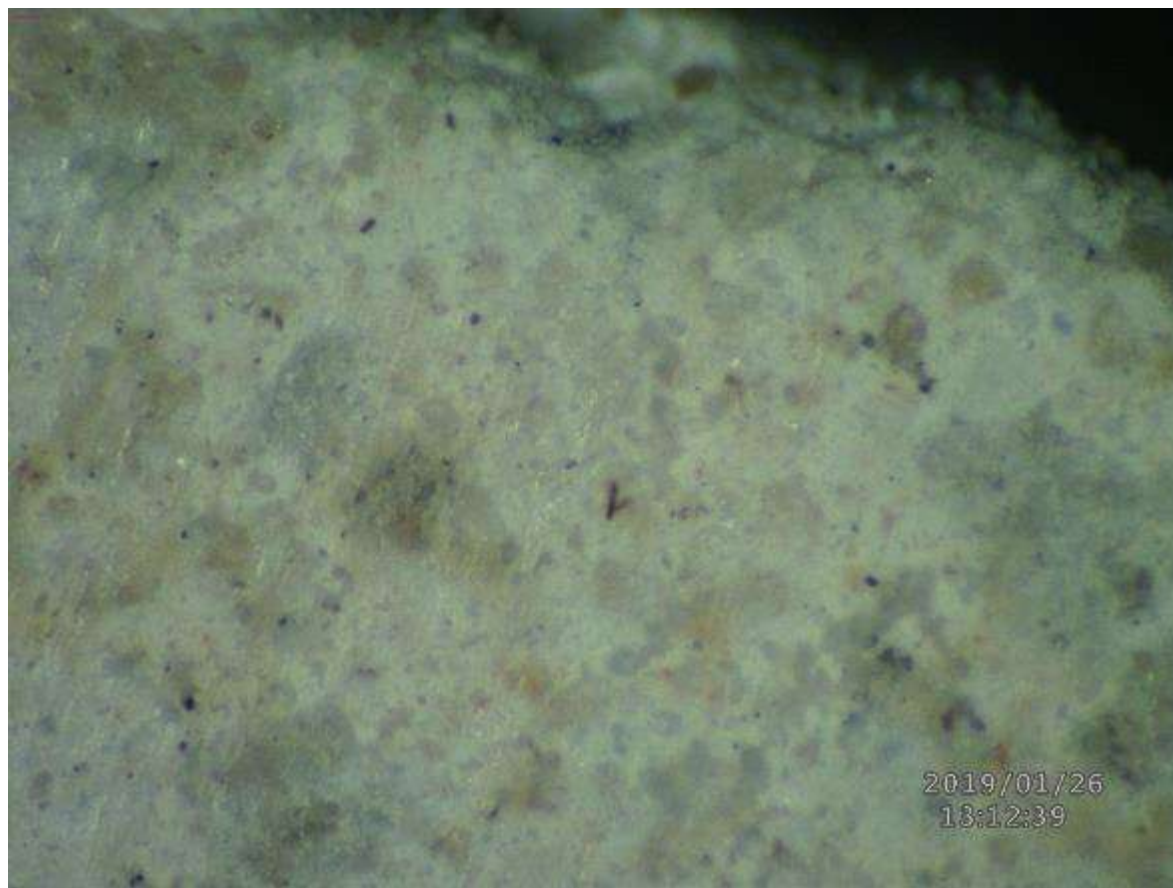


Figura. 4. 372. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-4161118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

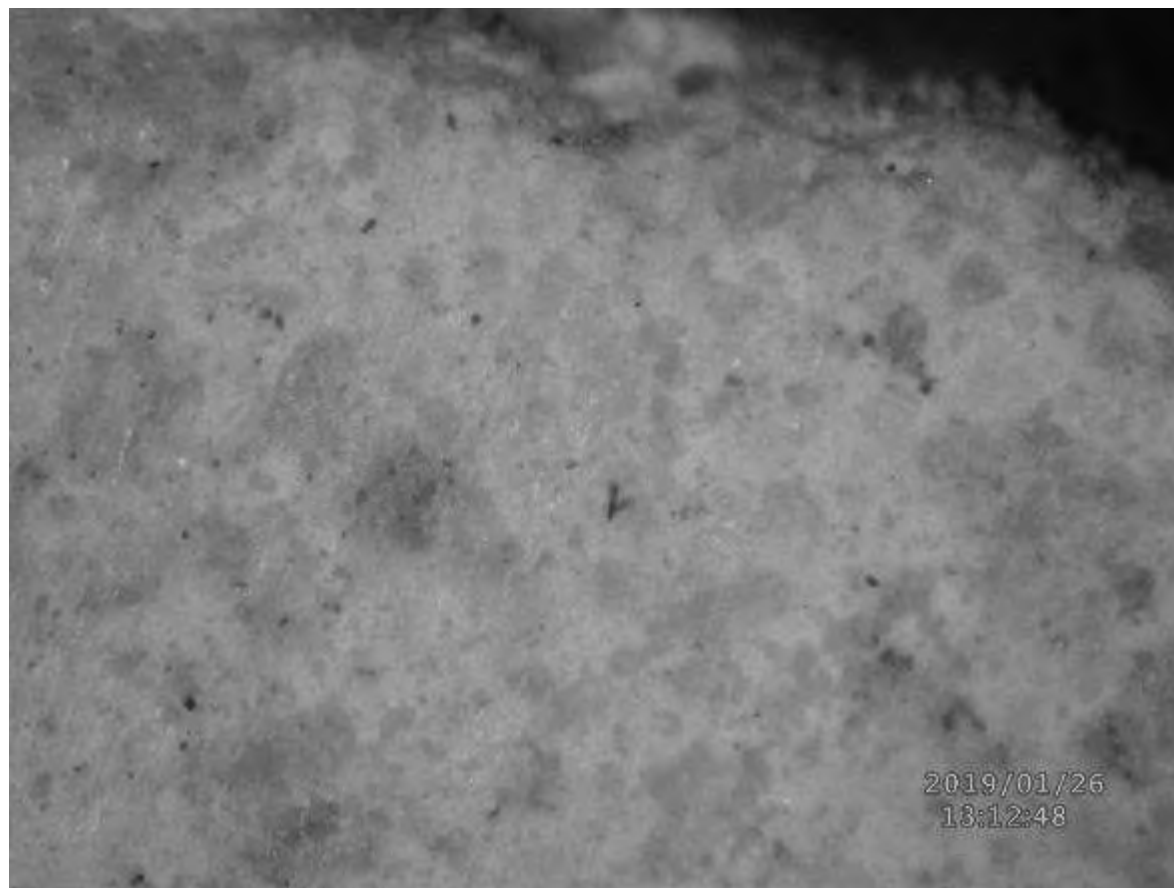


Figura. 4. 373. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-4161118, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

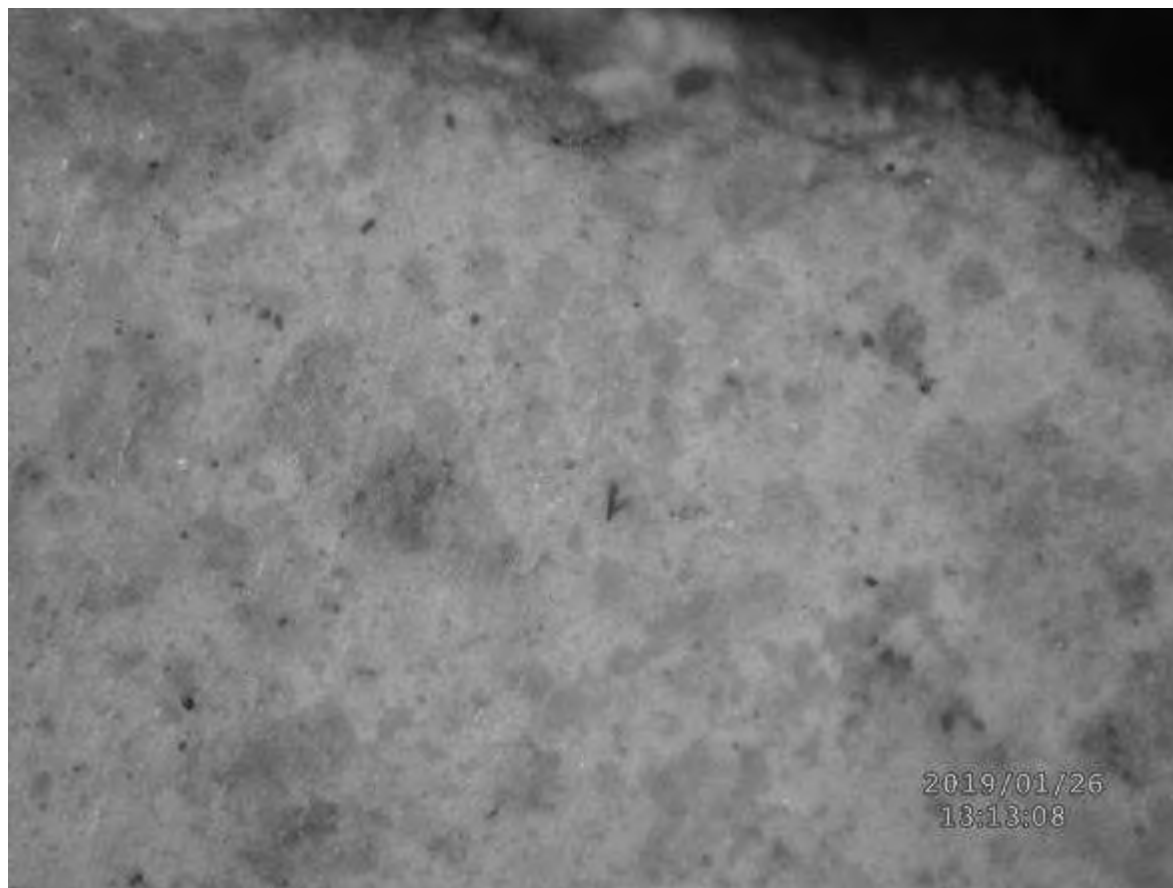


Figura. 4. 374. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-4161118, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

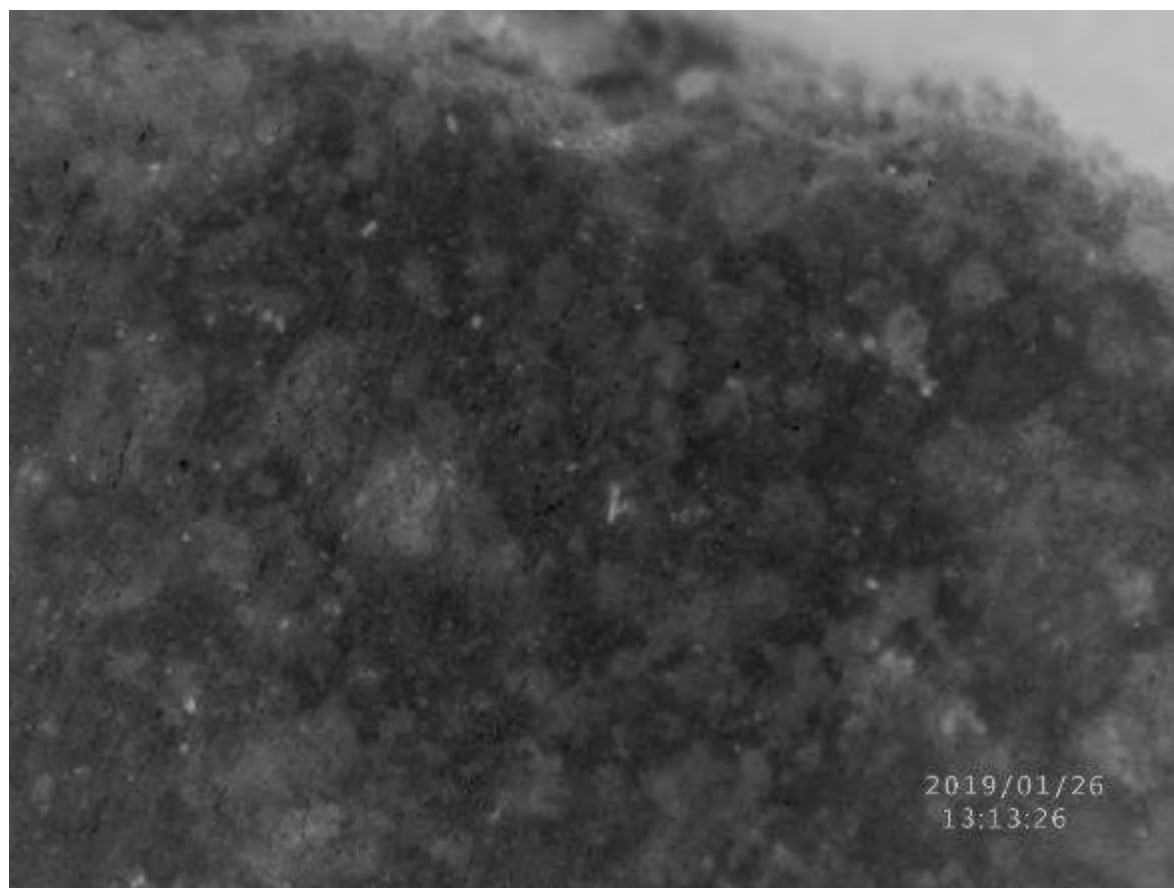


Figura. 4. 375. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-4161118, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

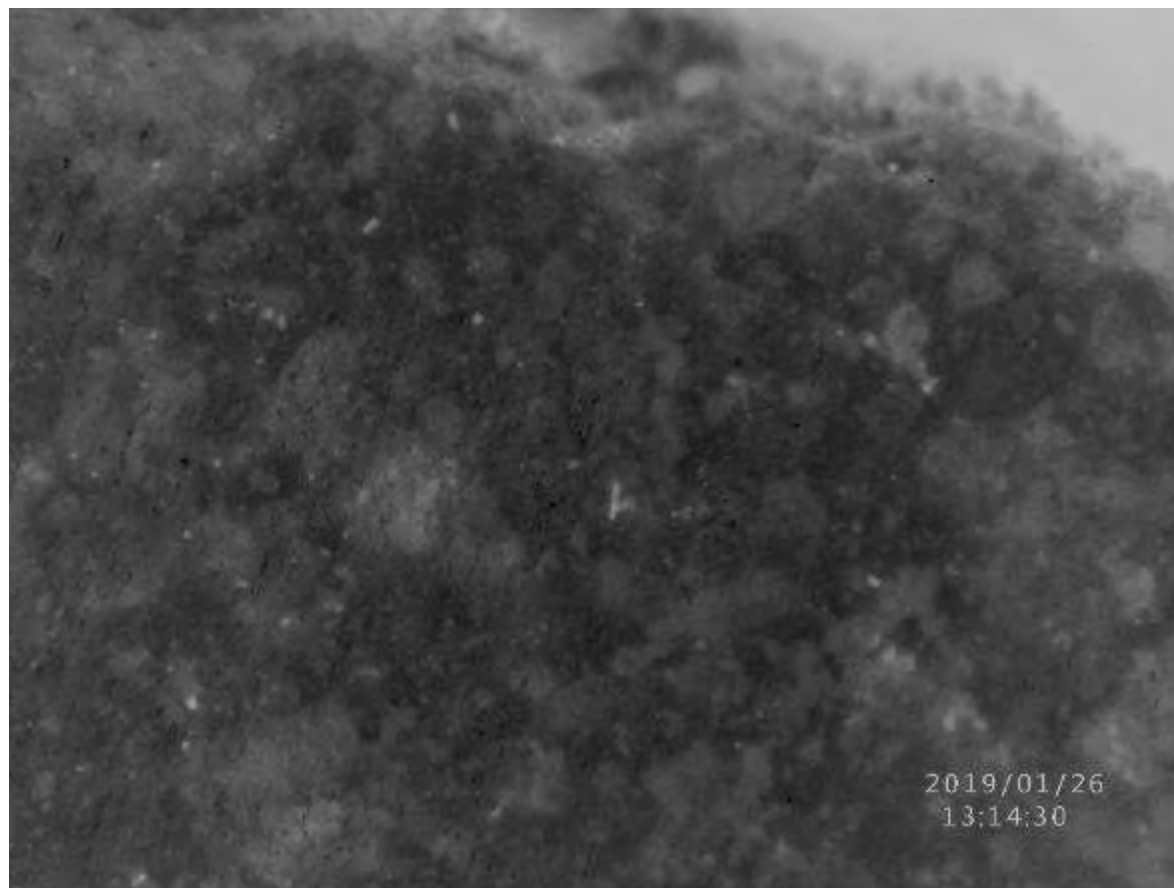


Figura. 4. 376. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-4161118, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

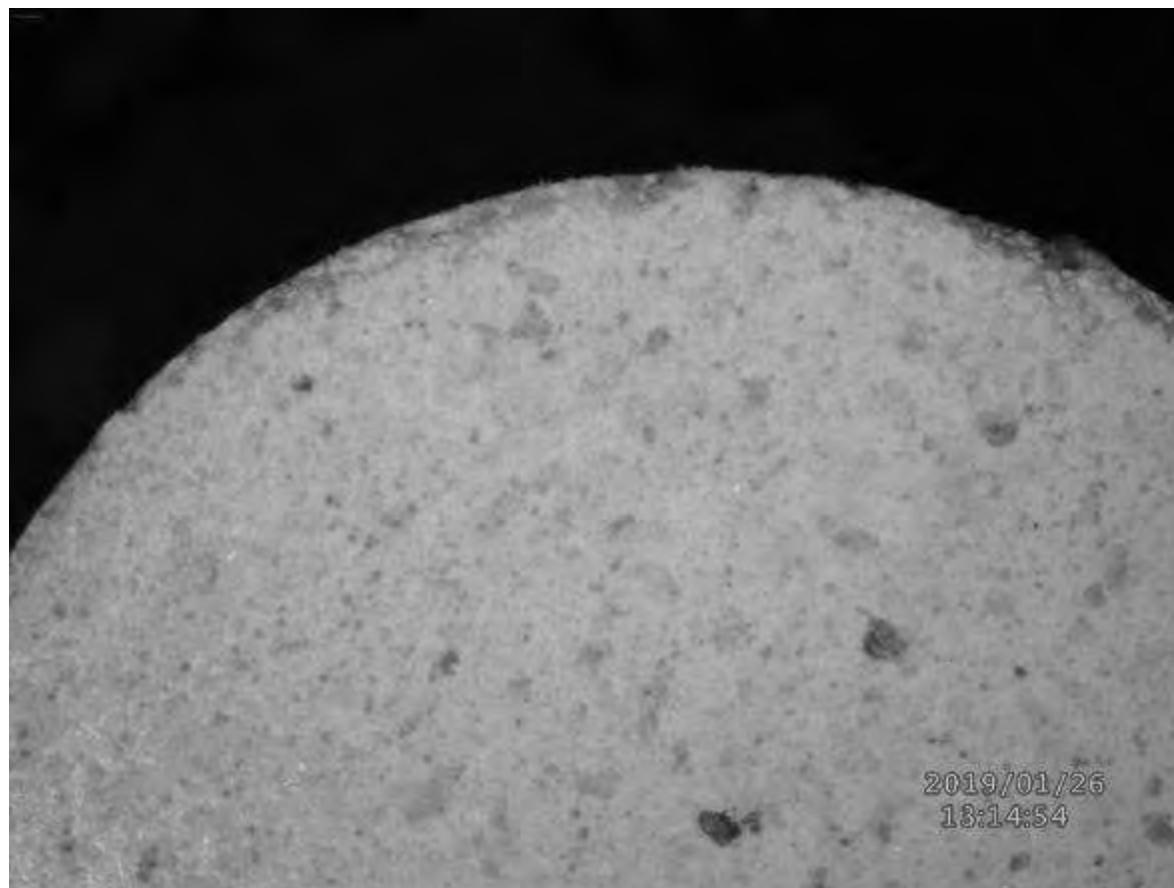


Figura. 4. 377. Microscopia de la C-4161118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

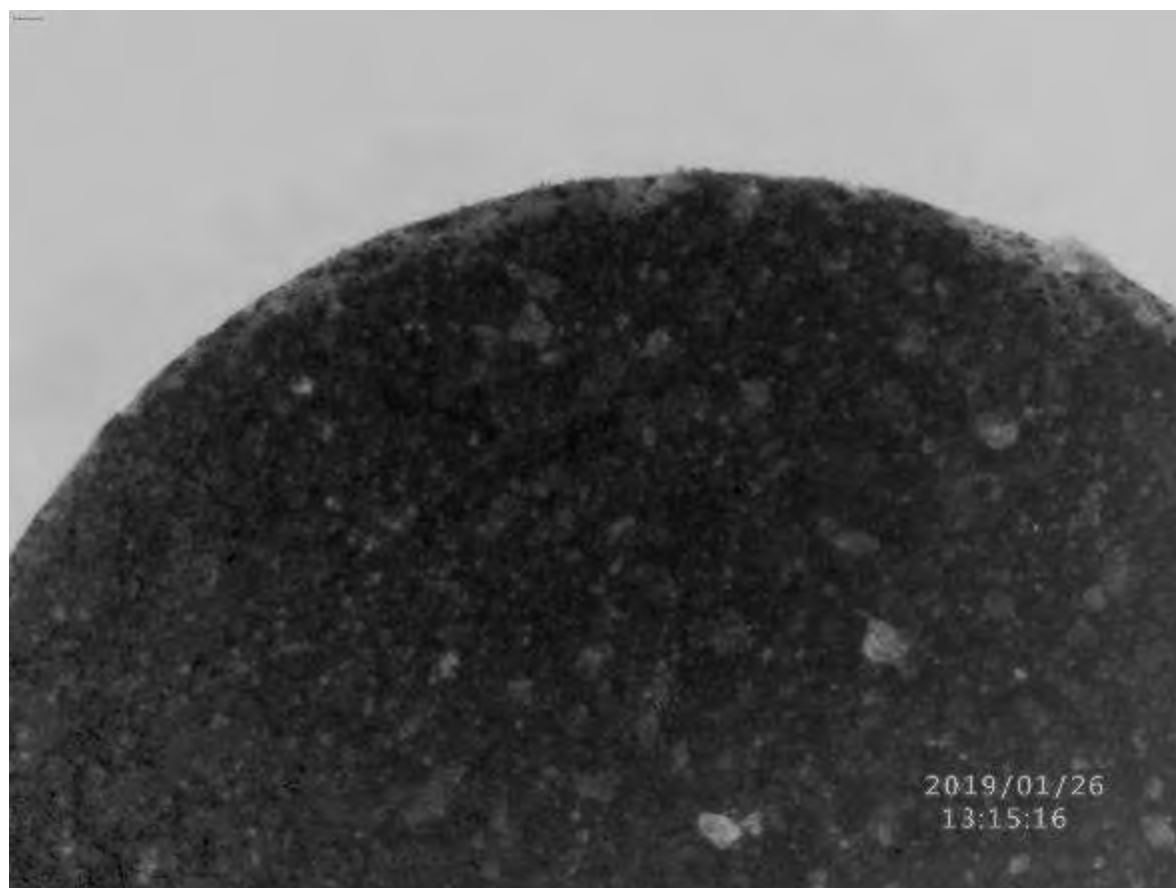


Figura. 4. 378. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-4161118, con un filtro negativo bajo una luz normal.
Fuente: (autoría propia).

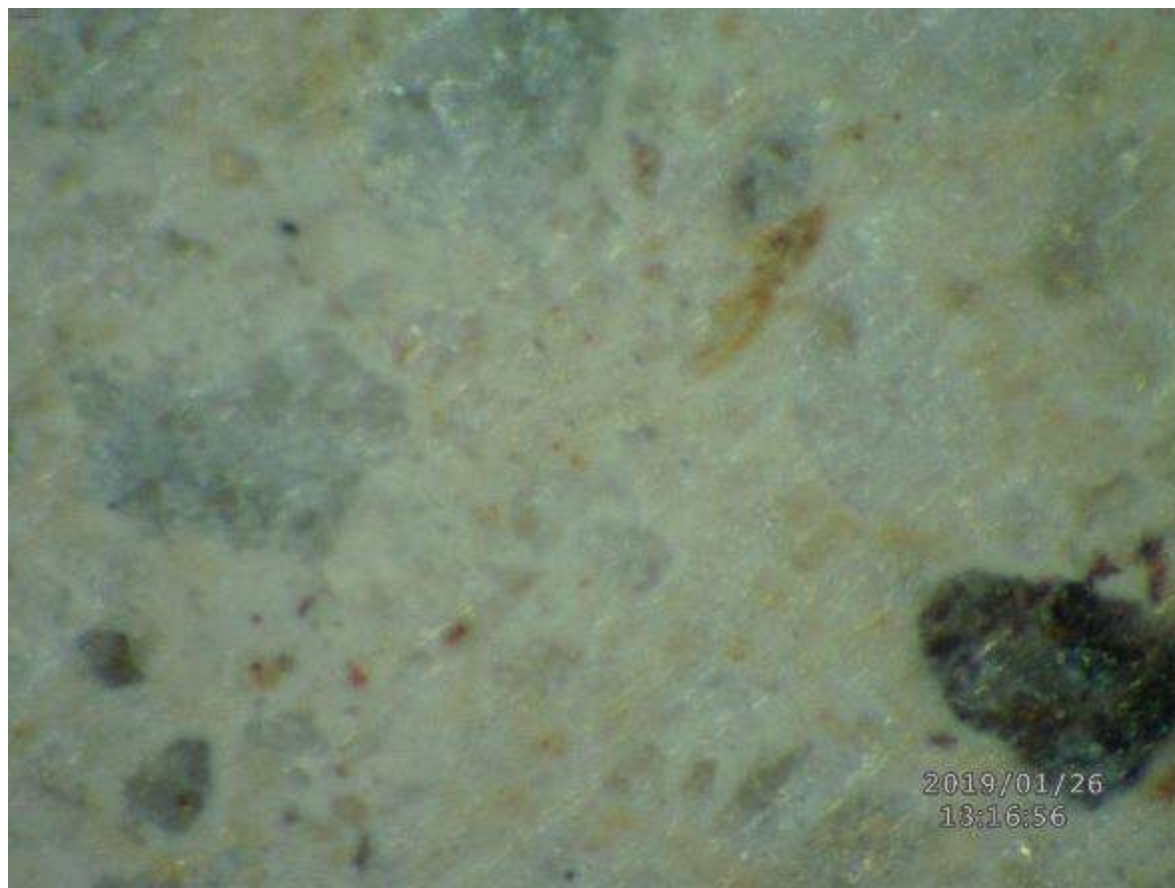
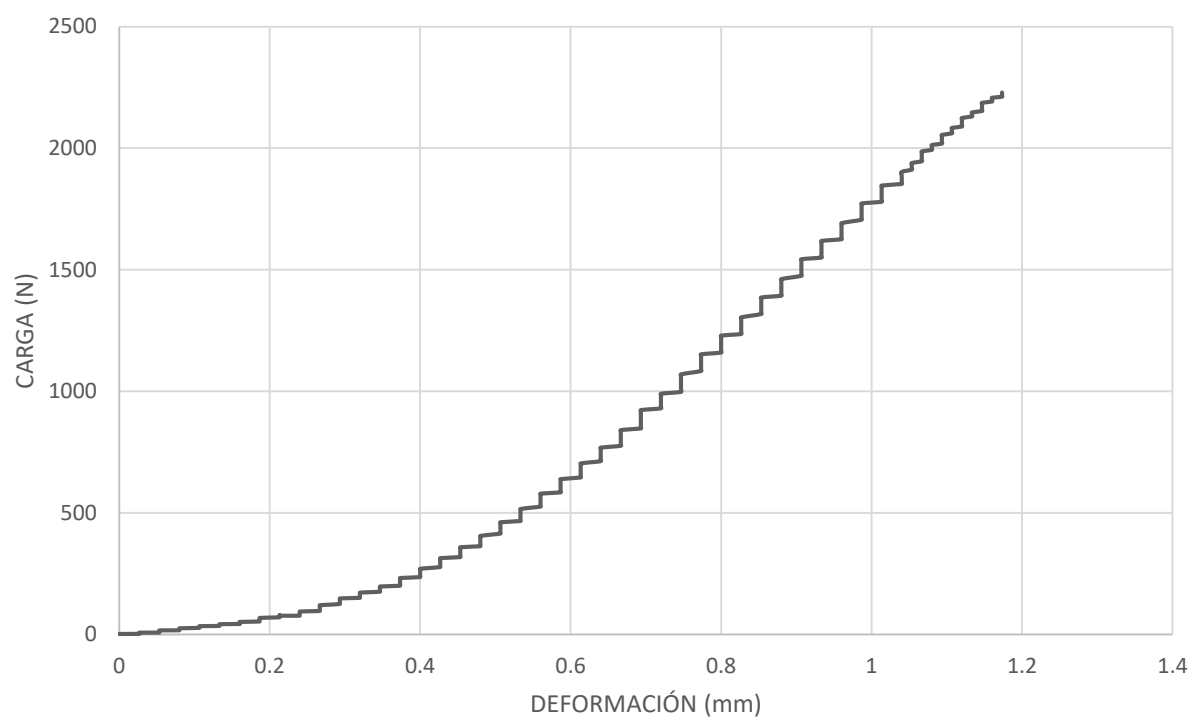


Figura. 4. 379. Microscopia de la C-4161118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

CARGA-DEFORMACIÓN



Gráficas 4. 30. Curva Carga-Deformación de la C-4161118, en N-mm. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 380. Fotografía de la C-4161118, en la prensa. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 381. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-4161118. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 382. Fotografías de la corrida C-1211118. Fuente: (Autoría propia).

De composición 100% CAL ESTANDAR, 275% MARMOLINA Tipo 2, 5% METACAOLIN, 10% CARBONATO DE SODIO, 10% HARINA DE ARRÓZ y A/C= 1.1:1 (calentada hasta el punto de ebullición y agregada a la mezcla, previamente integrados todos los materiales) (debe ser mezclada hasta alcanzar la trabajabilidad, que se necesita como pasa con todas las familias activadas con CARBONATO DE SODIO), de dimensiones iguales a un diámetro de 23.0mm y longitud de 44.8mm, DENSIDAD = $34.3653108 \text{ g/cm}^3$, que presenta una alta dureza al ser pulido, con poco desprendimiento. (Autoría propia).

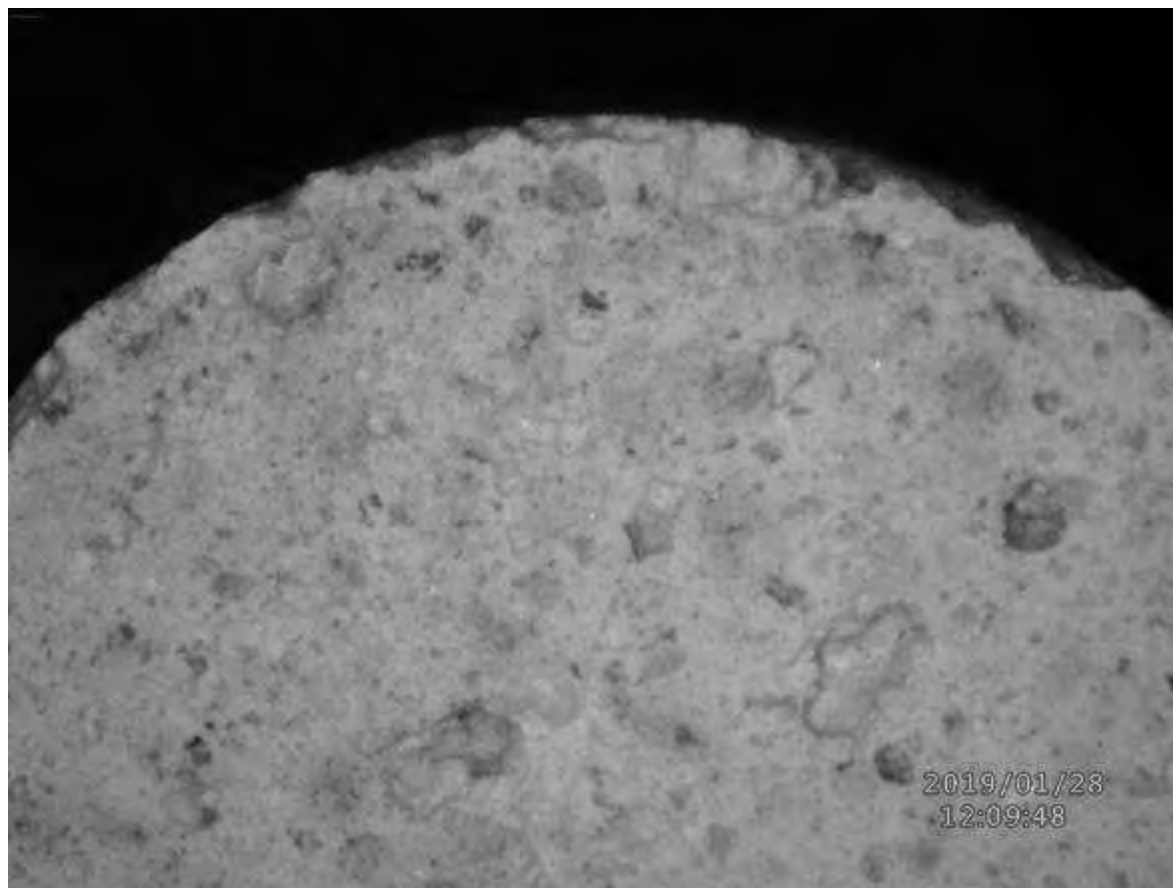


Figura. 4. 383. Microscopia de la C-1211118. Fuente: Autoría propia.

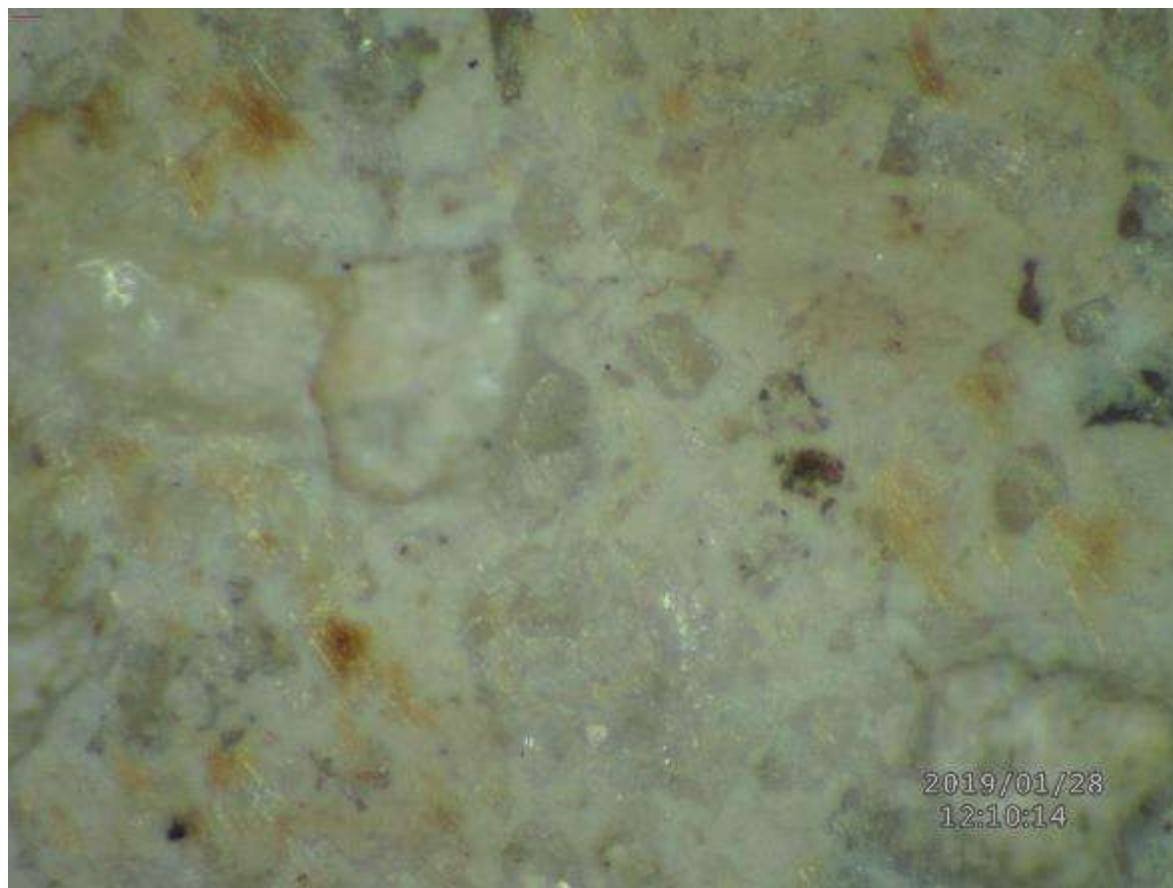


Figura. 4. 384. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1211118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

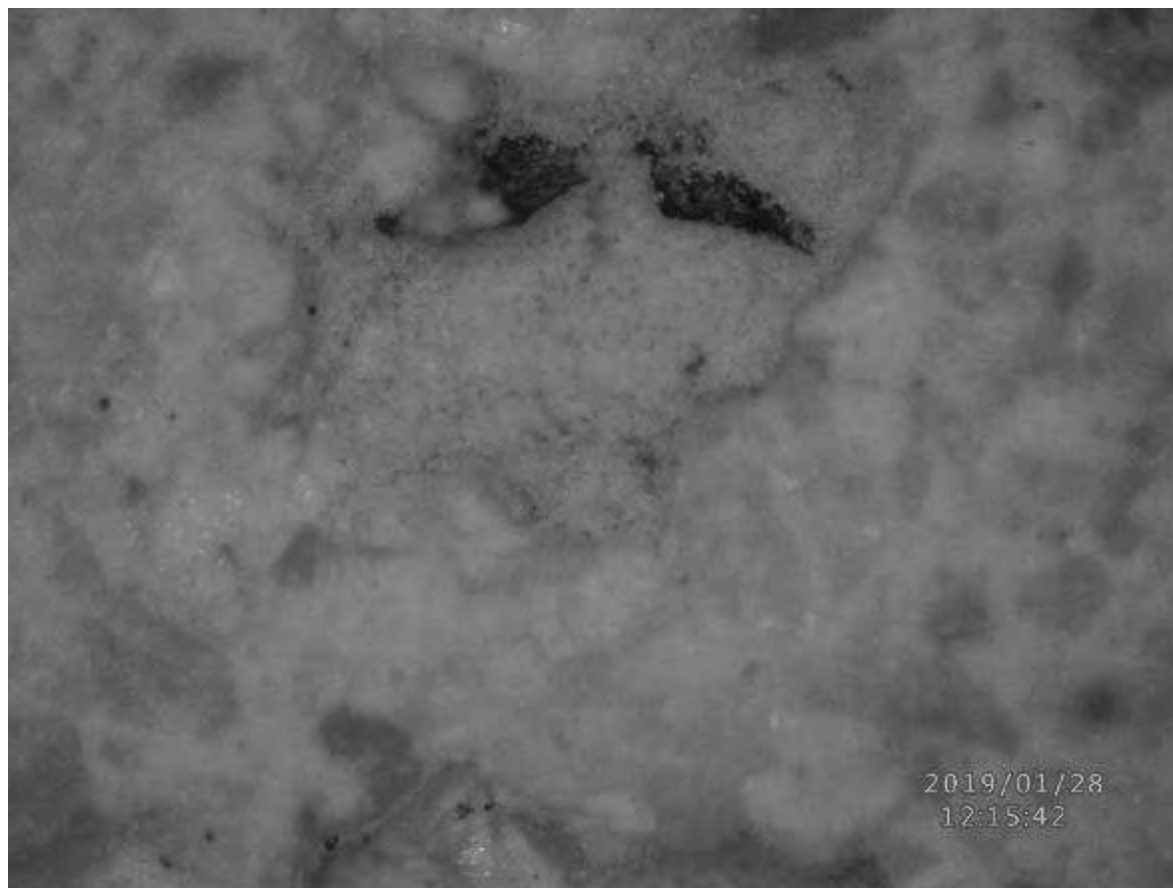


Figura. 4. 385. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1211118, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

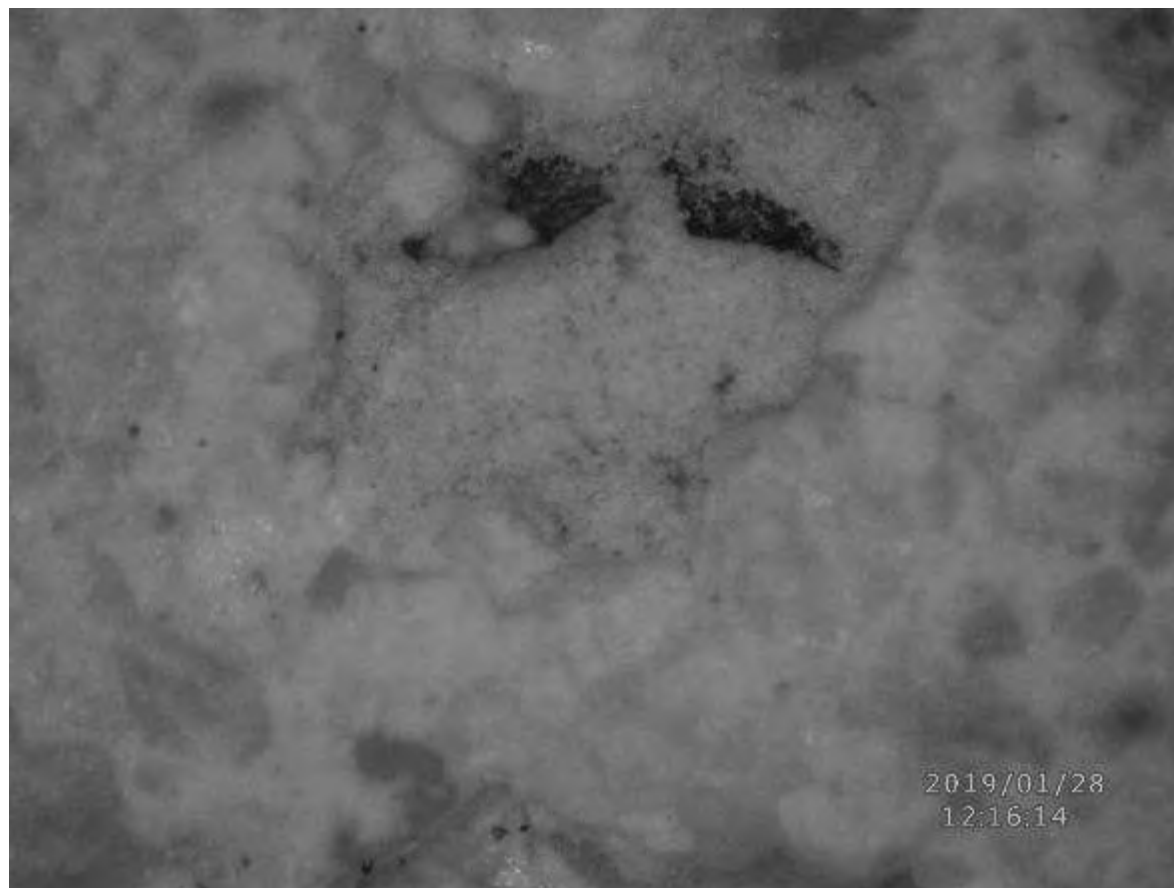


Figura. 4. 386. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1211118, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

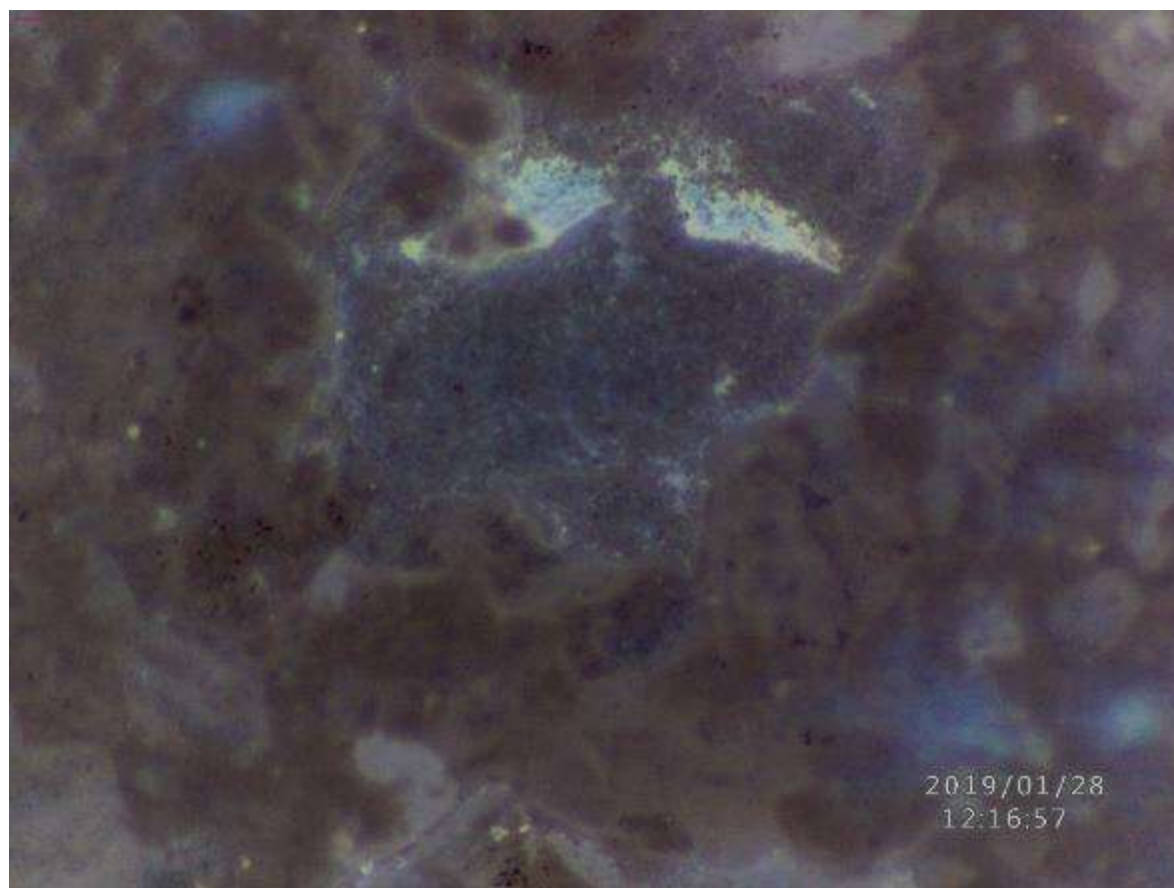


Figura. 4. 387. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1211118, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

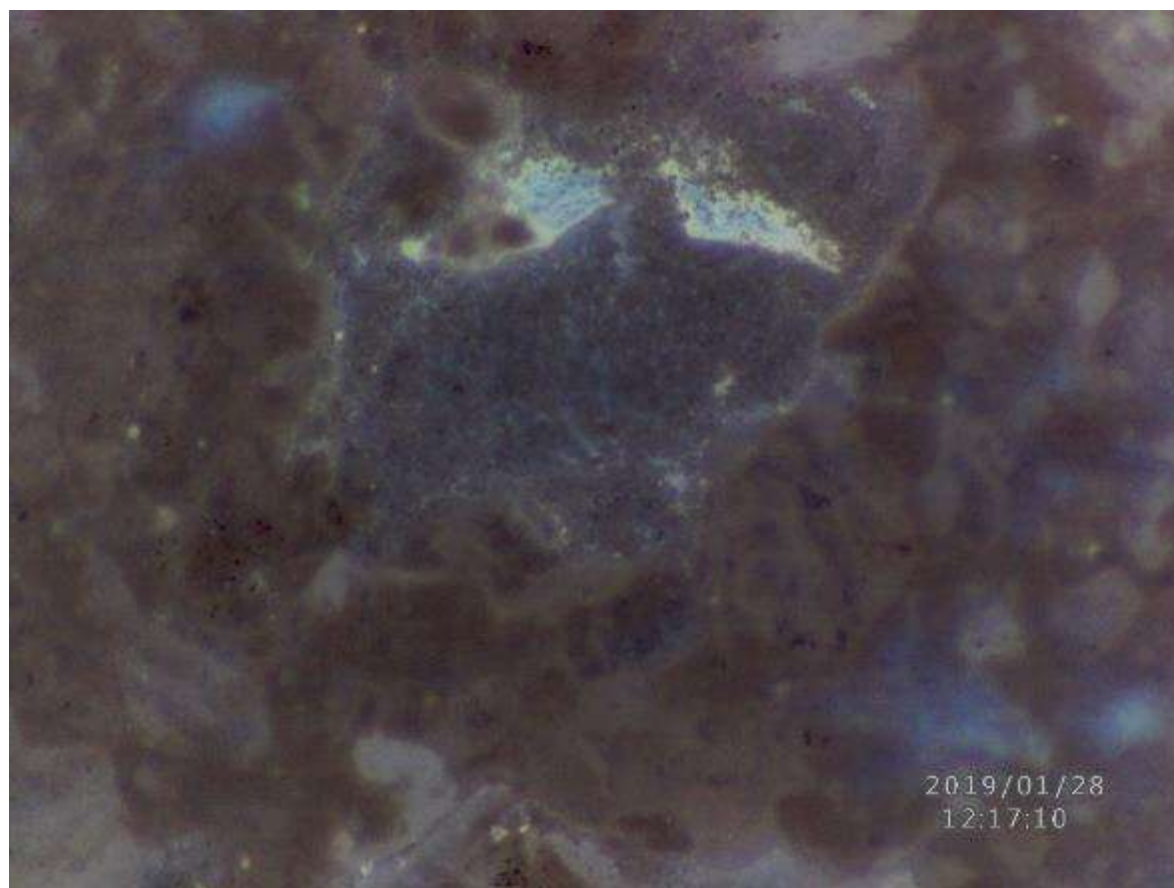


Figura. 4. 388. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1211118, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

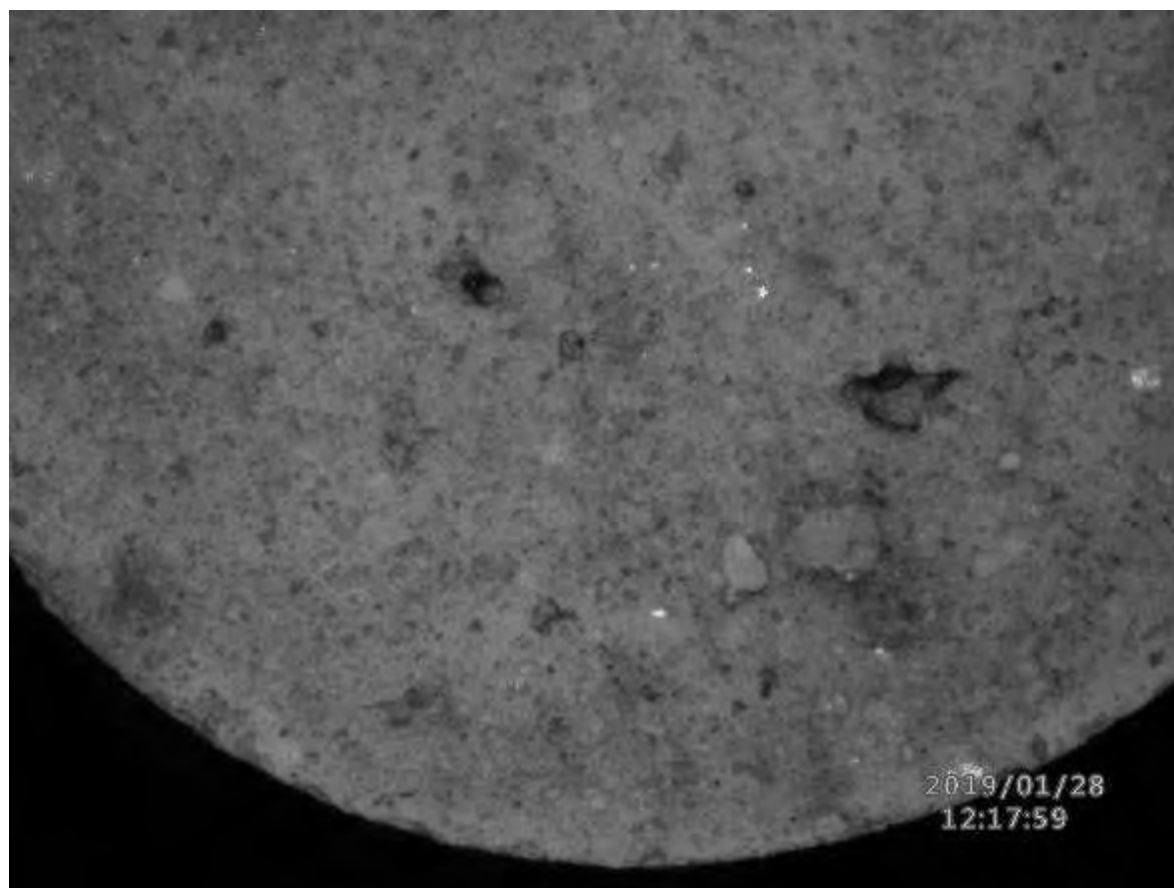


Figura. 4. 389. Microscopia de la C-1211118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

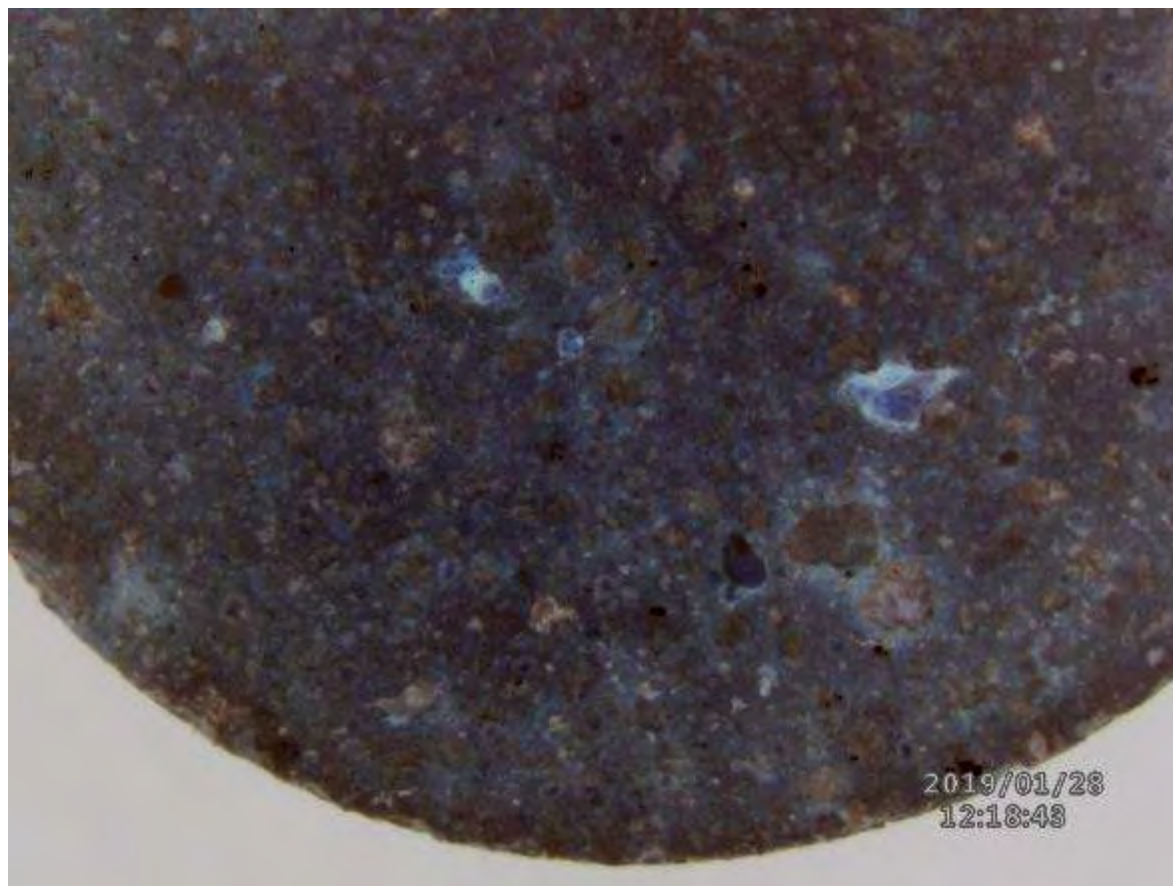


Figura. 4. 390. . Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1211118, con un filtro negativo bajo una luz normal.
Fuente: (autoría propia).

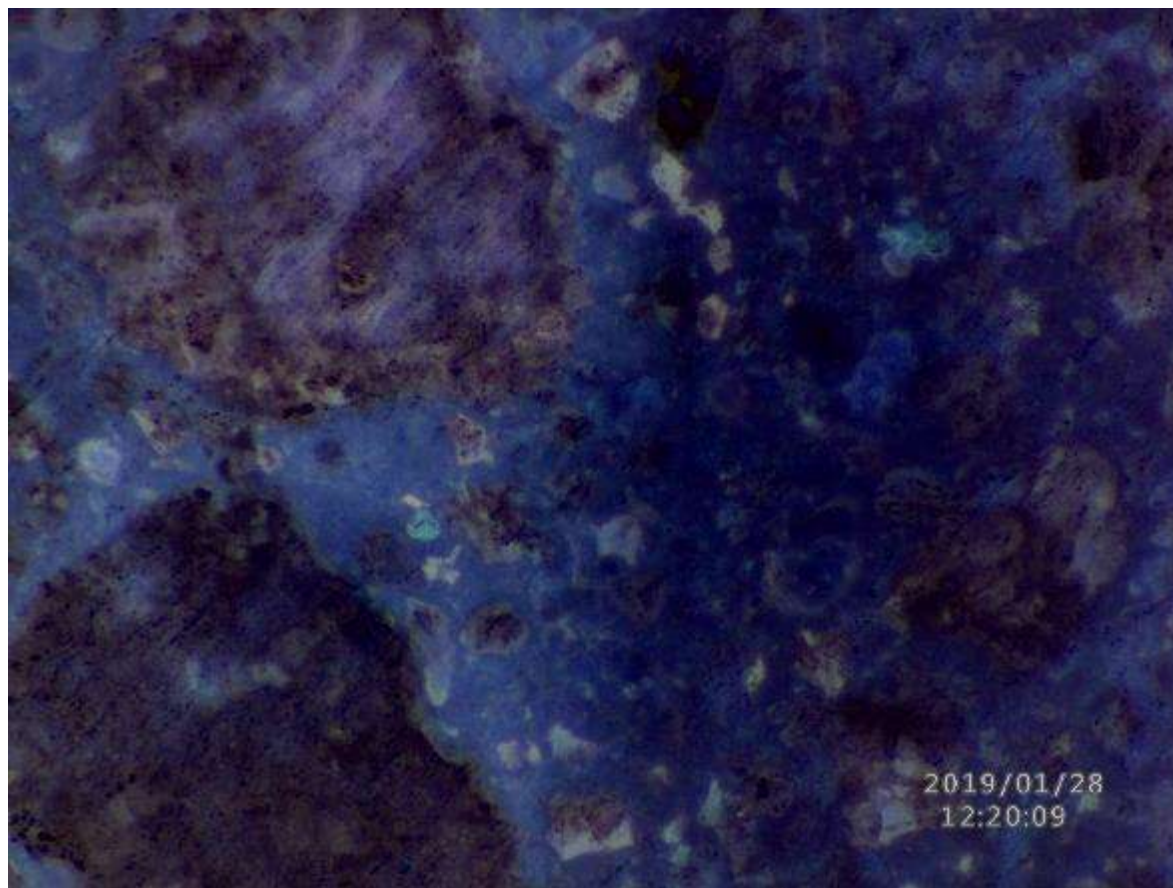


Figura. 4. 391. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1211118, con un filtro negativo bajo una luz normal.
Fuente: (autoría propia).

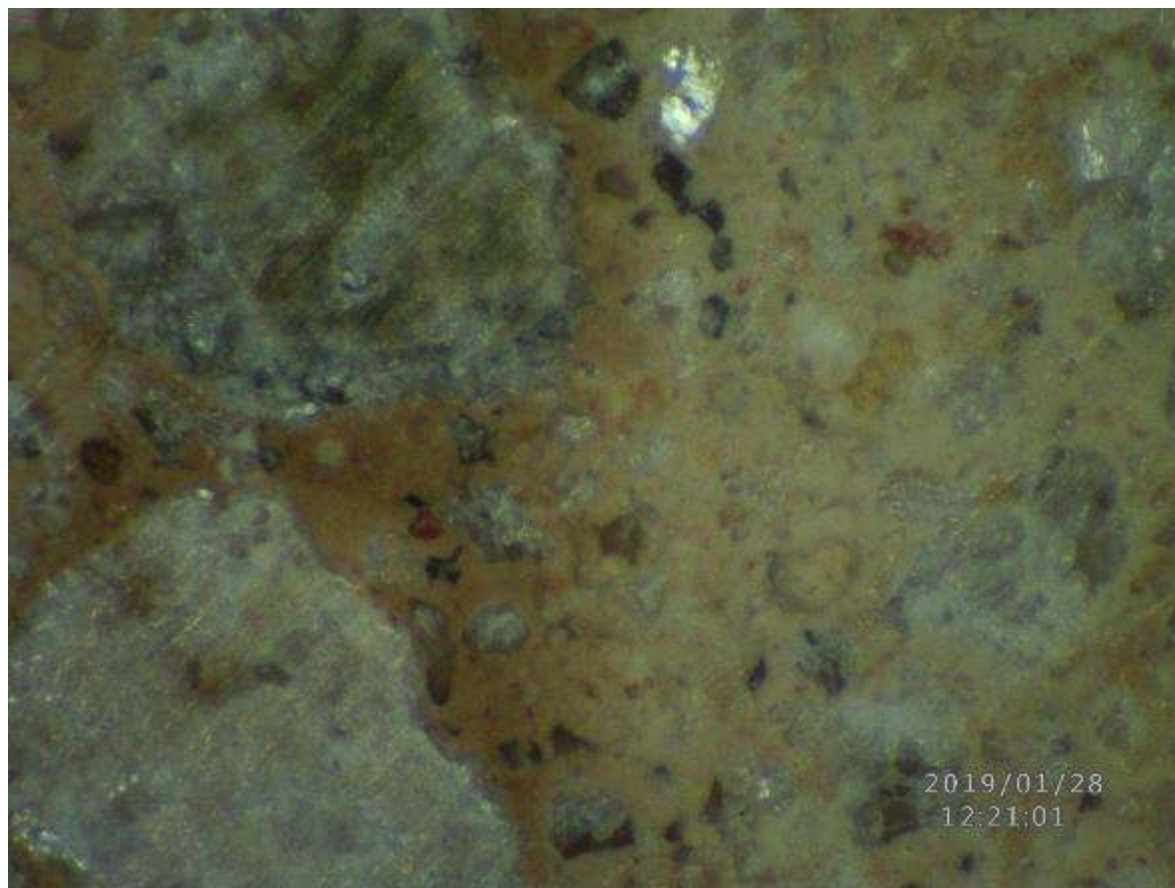


Figura. 4. 392. Microscopia de la C-1211118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

mostrando como la unión de materiales fue tan fuerte para evitar el desprendimiento de los agregados de la mezcla del cementante al grado de calentar la probeta cuando fue pulido e incluso quemarla por acción de la fricción.

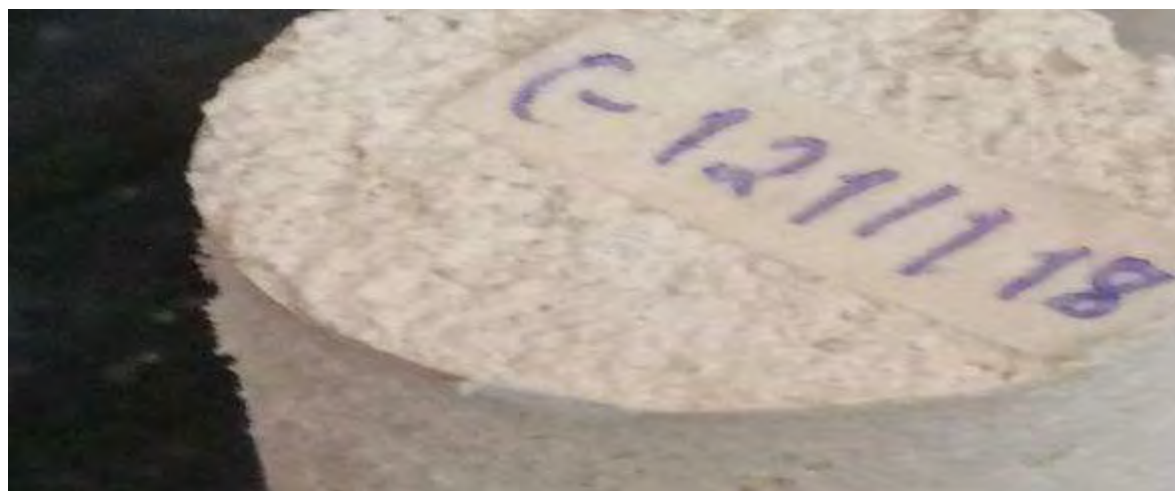
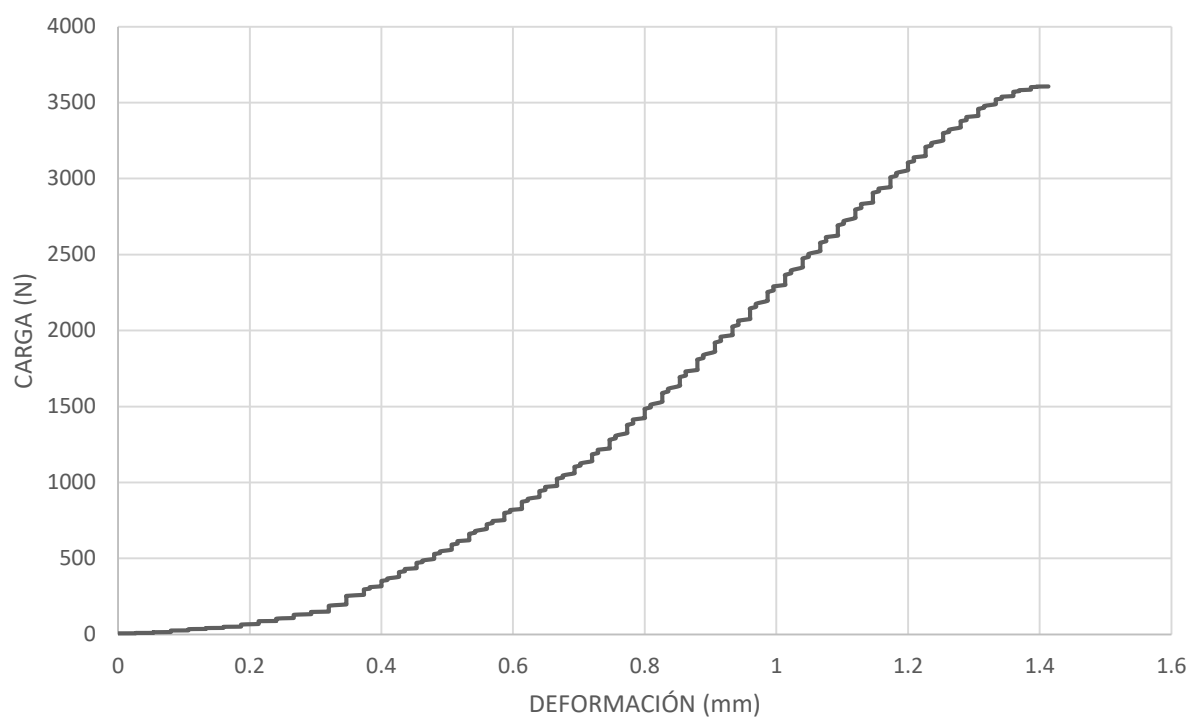


Figura. 4. 393. Imágenes de la corrida C-1211118, con presencia de eflorescencias en su parte externa. (autoría propia).

CARGA-DEFORMACIÓN



Gráficas 4. 31. Curva Carga-Deformación de la C-1211118, en N-mm. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 394. Fotografía de la C-1211118, en la prensa. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 395. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-1211118. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 396. Fotografías de la corrida C-221118. Fuente: (Autoría propia).

De composición 100% CAL ESTANDAR, 275% MARMOLINA Tipo 2, 10% METACAOLIN, 10% CARBONATO DE SODIO, 10% HARINA DE ARRÓZ y A/C= 1.1:1 (calentada hasta el punto de ebullición y agregada a la mezcla, previamente integrados todos los materiales) (debe ser mezclada hasta alcanzar la trabajabilidad, que se necesita como pasa con todas las familias activadas con CARBONATO DE SODIO), de dimensiones iguales a un diámetro de 23.2mm y longitud de 45.6mm, DENSIDAD = $35.4623403 \text{ g/cm}^3$, que presenta una alta dureza al ser pulido, con poco desprendimiento. (Autoría propia).

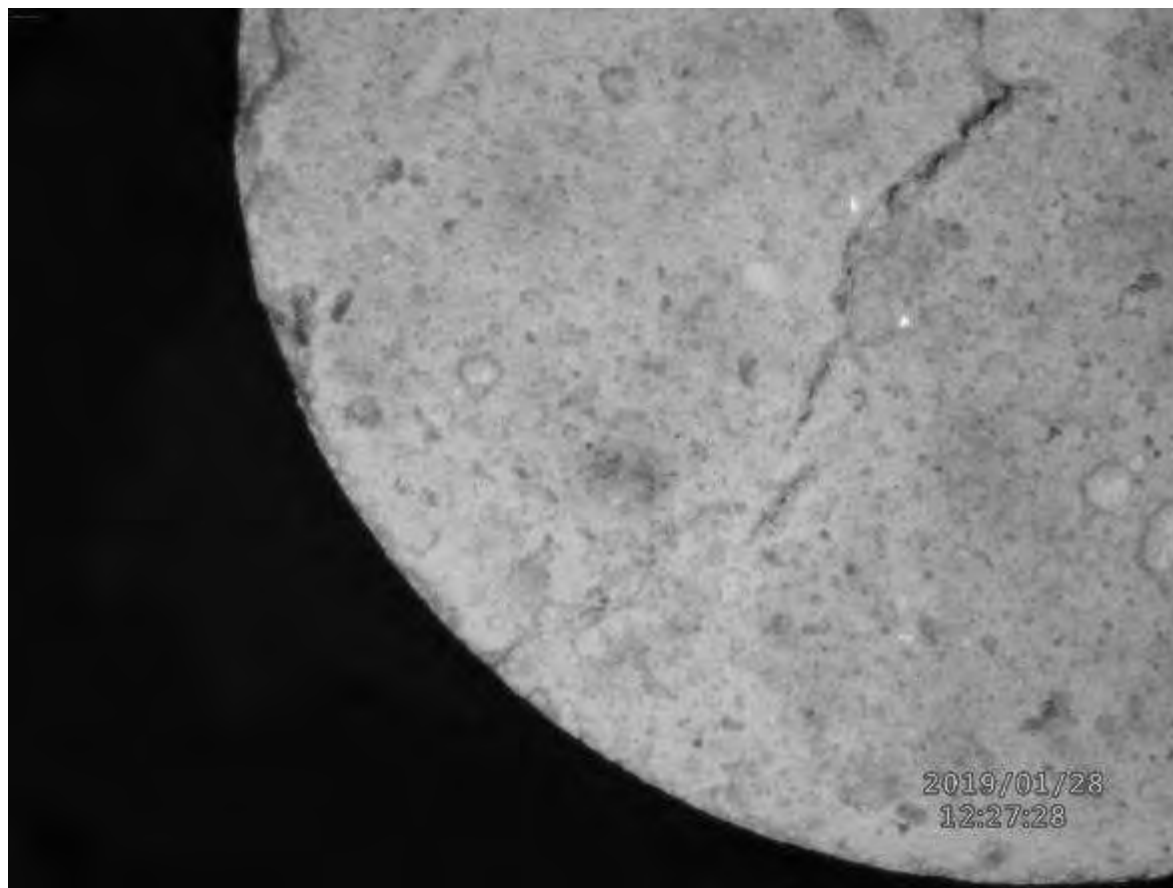


Figura. 4. 397. Microscopia de la C-221118. Fuente: Autoría propia.

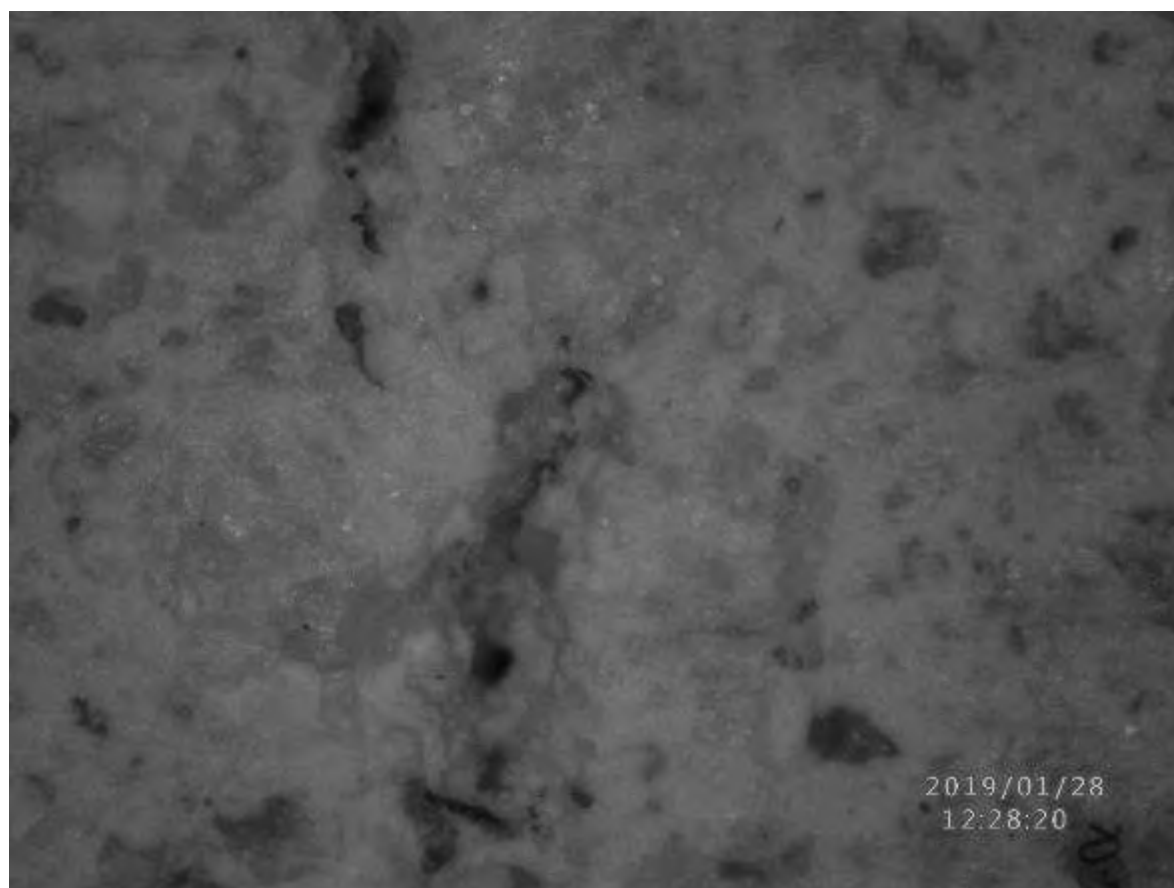


Figura. 4. 398. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2211118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

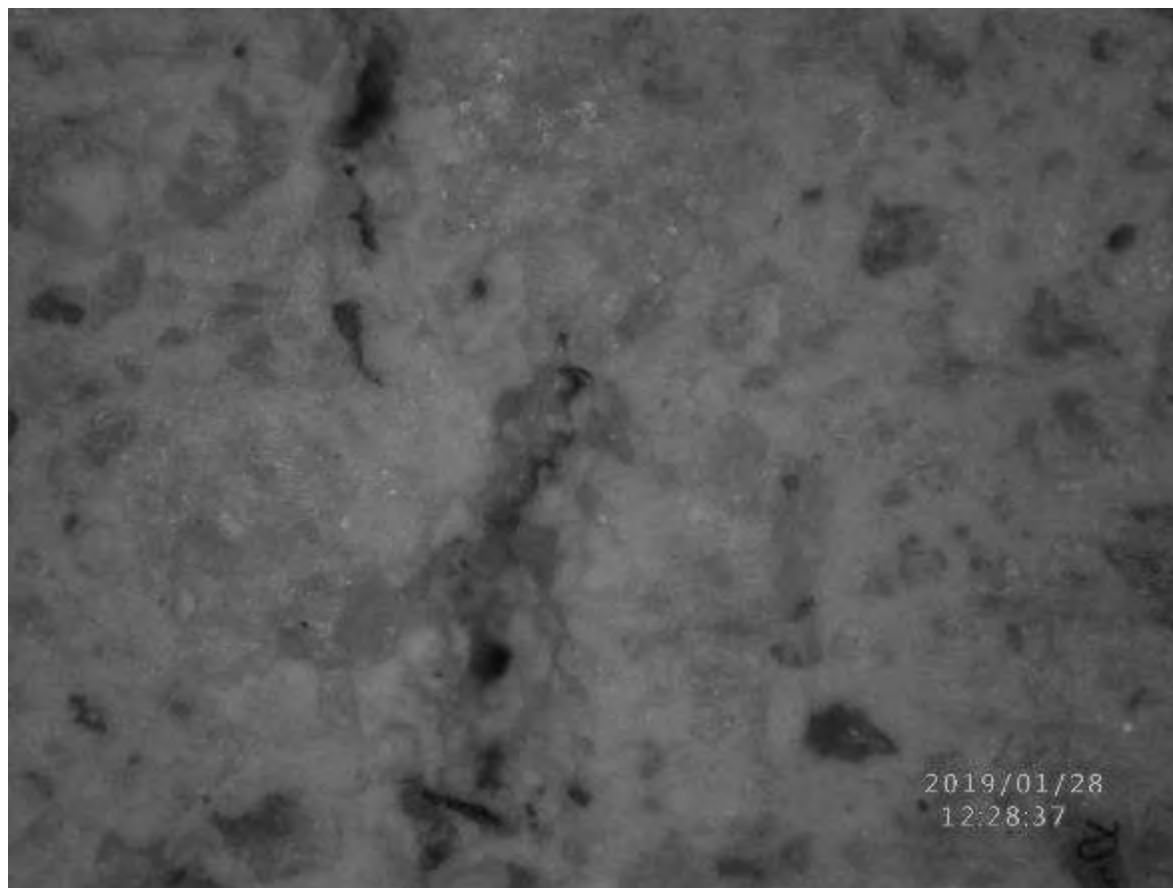


Figura. 4. 399. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2211118, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

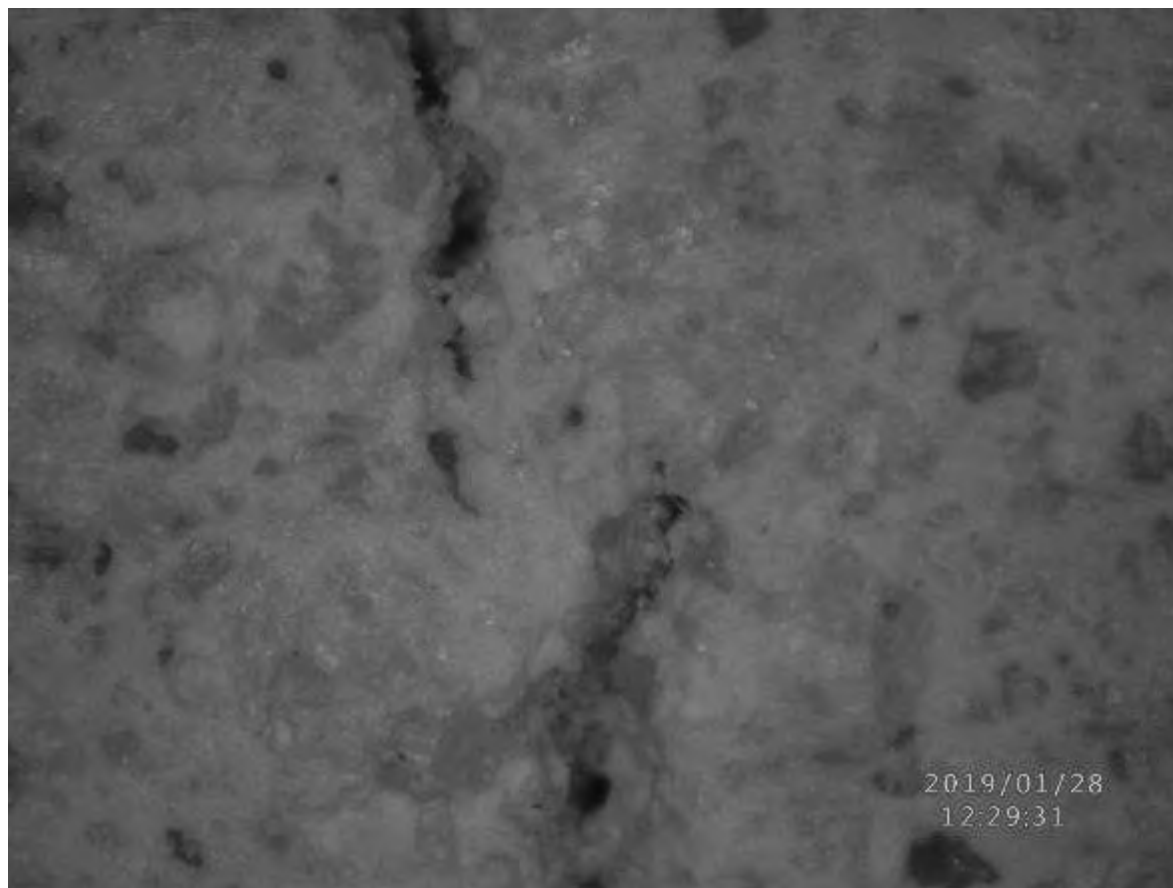


Figura. 4. 400. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2211118, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

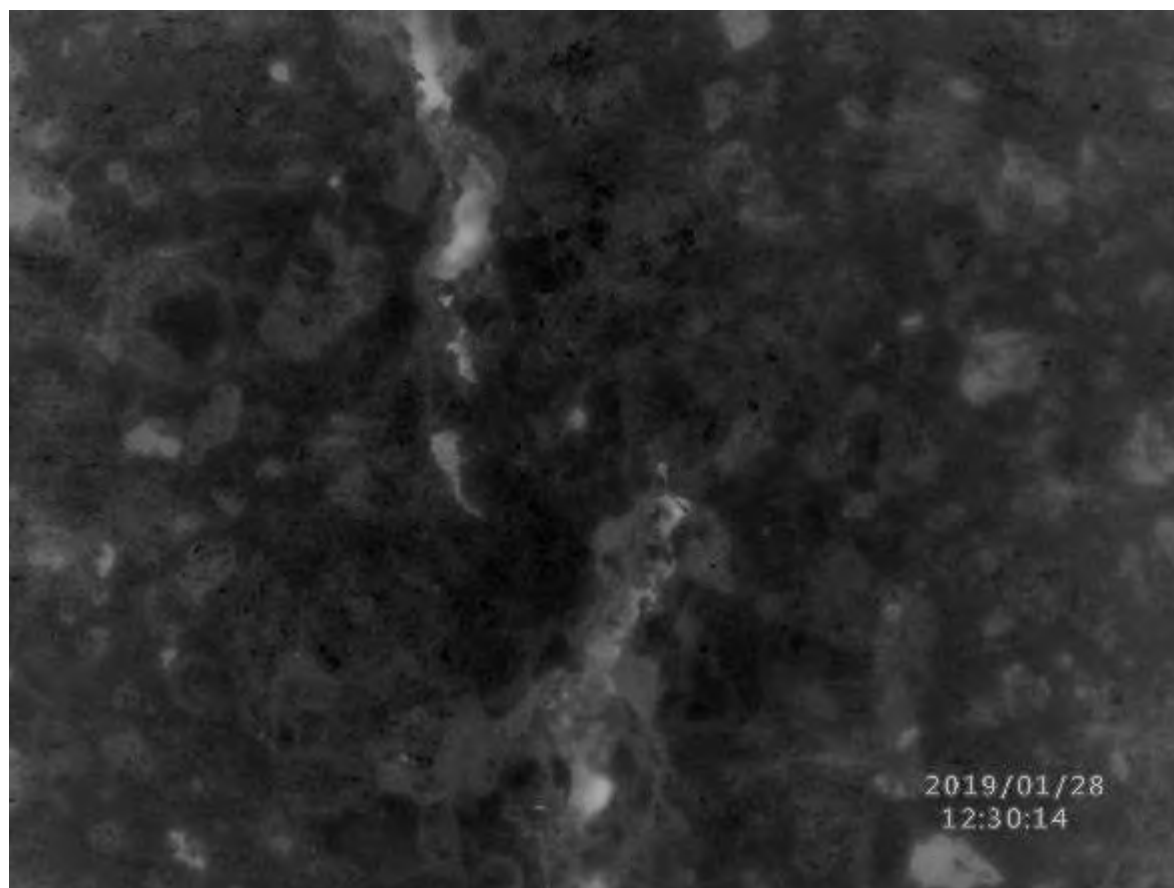


Figura. 4. 401. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2211118, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

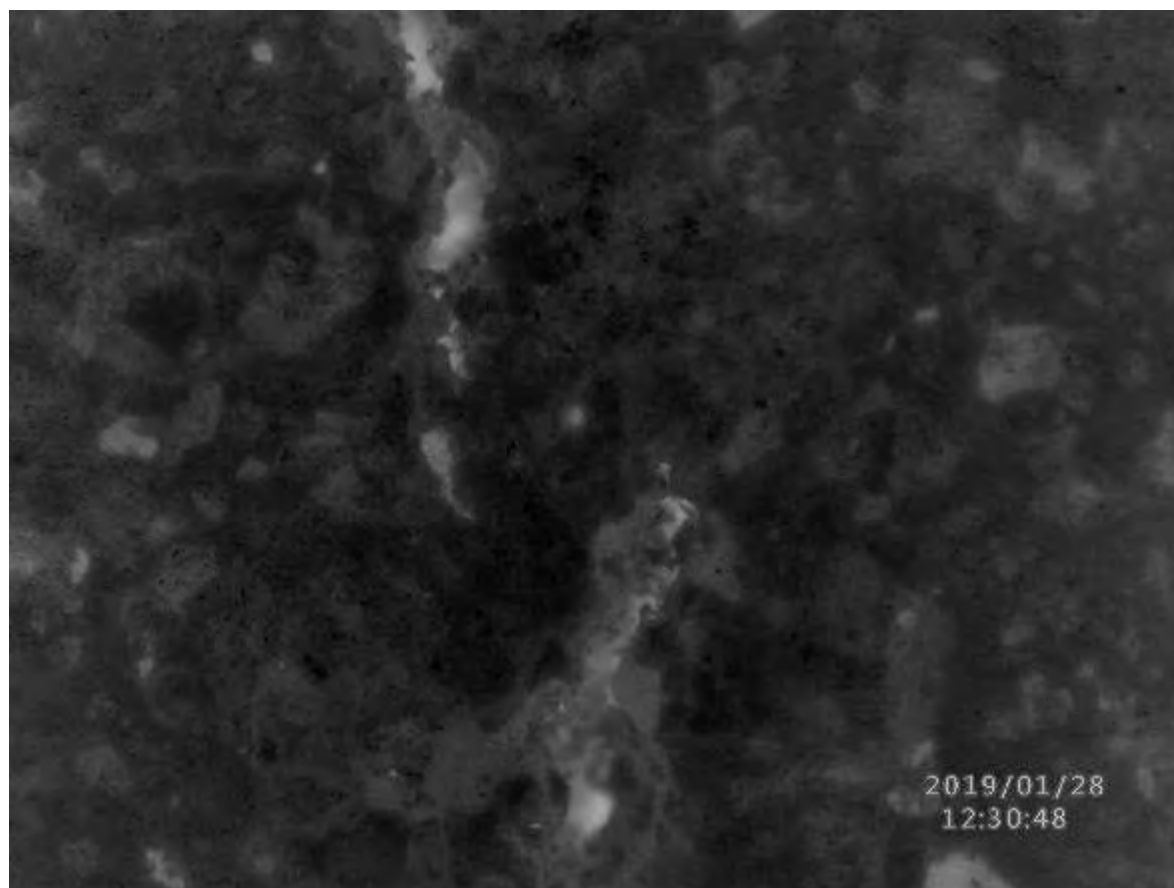


Figura. 4. 402. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2211118, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 403. Microscopia de la C-221118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 404. Microscopia de la C-2211118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

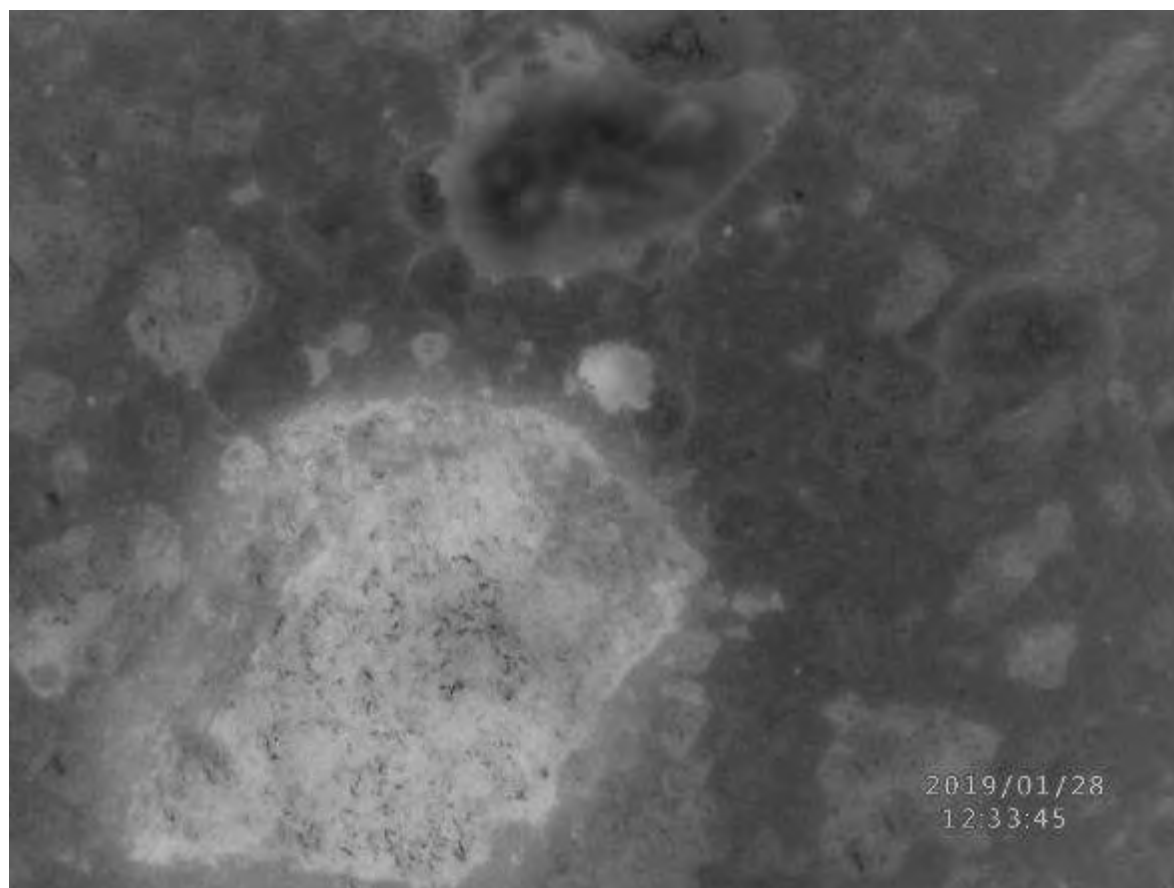


Figura. 4. 405. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2211118, con un filtro negativo bajo una luz normal.
Fuente: (autoría propia).

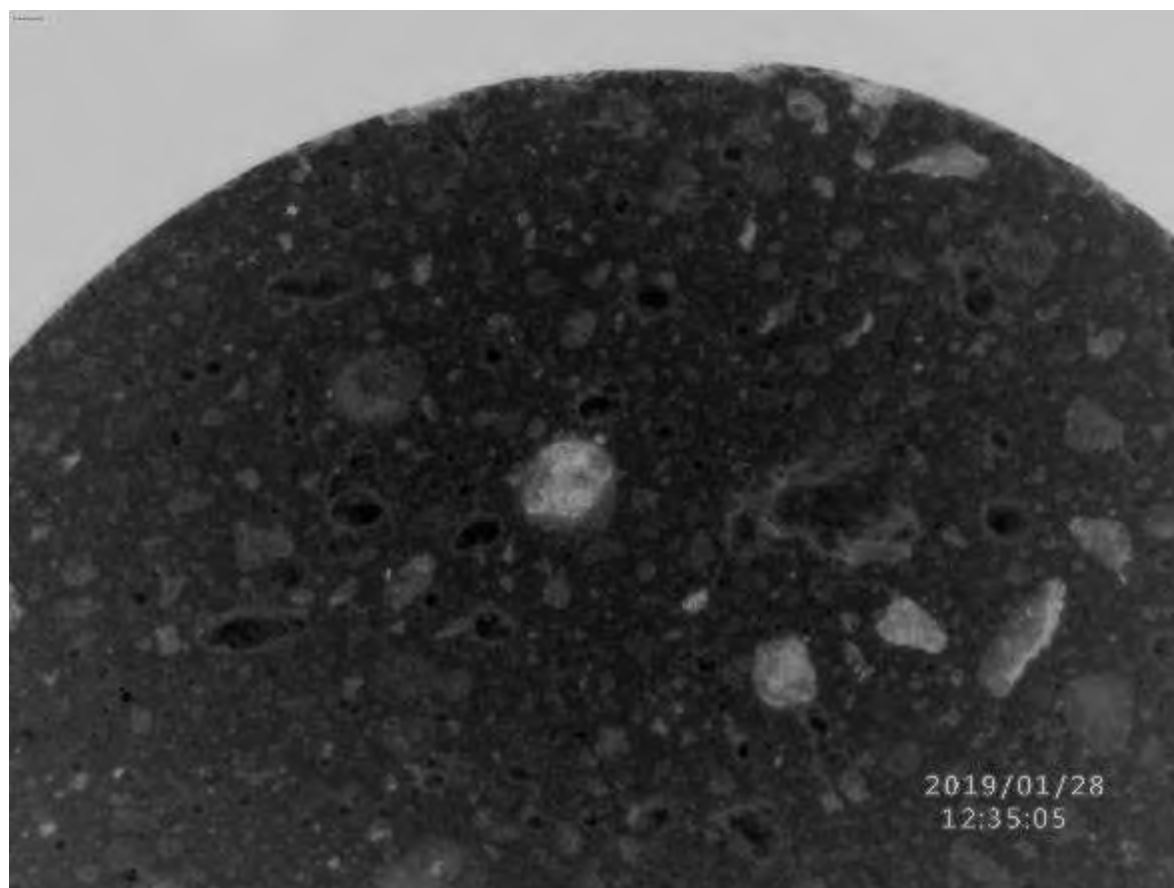
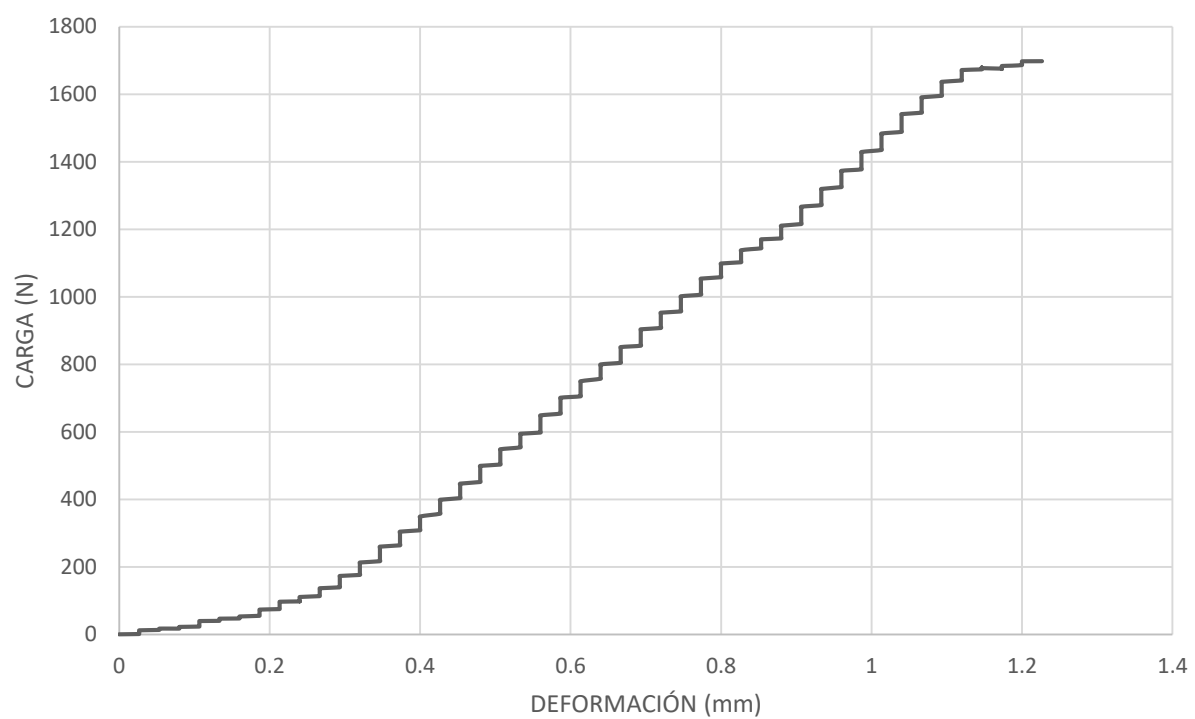


Figura. 4. 406. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2211118, con un filtro negativo bajo una luz normal.
Fuente: (autoría propia).

CARGA-DEFORMACIÓN



Gráficas 4. 32. Imágenes de la corrida C-2211118, con presencia de eflorescencias en su parte externa. (autoría propia).



Figura. 4. 407. Fotografía de la C-221118, en la prensa. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 408. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-221118. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 409. Fotografías de la corrida C-3211118. Fuente: (Autoría propia).

De composición 100% CAL ESTANDAR, 275% MARMOLINA Tipo 2, 5% METACAOLIN, 5% CARBONATO DE SODIO, 20% HARINA DE ARRÓZ y A/C= 1.2:1 (calentada hasta el punto de ebullición y agregada a la mezcla, previamente integrados todos los materiales) (debe ser mezclada hasta alcanzar la trabajabilidad, que se necesita como pasa con todas las familias activadas con CARBONATO DE SODIO), de dimensiones iguales a un diámetro de 22.8mm y longitud de 45.1mm, DENSIDAD = 33.7040596 g/cm³, que presenta una alta dureza al ser pulido, con poco desprendimiento.

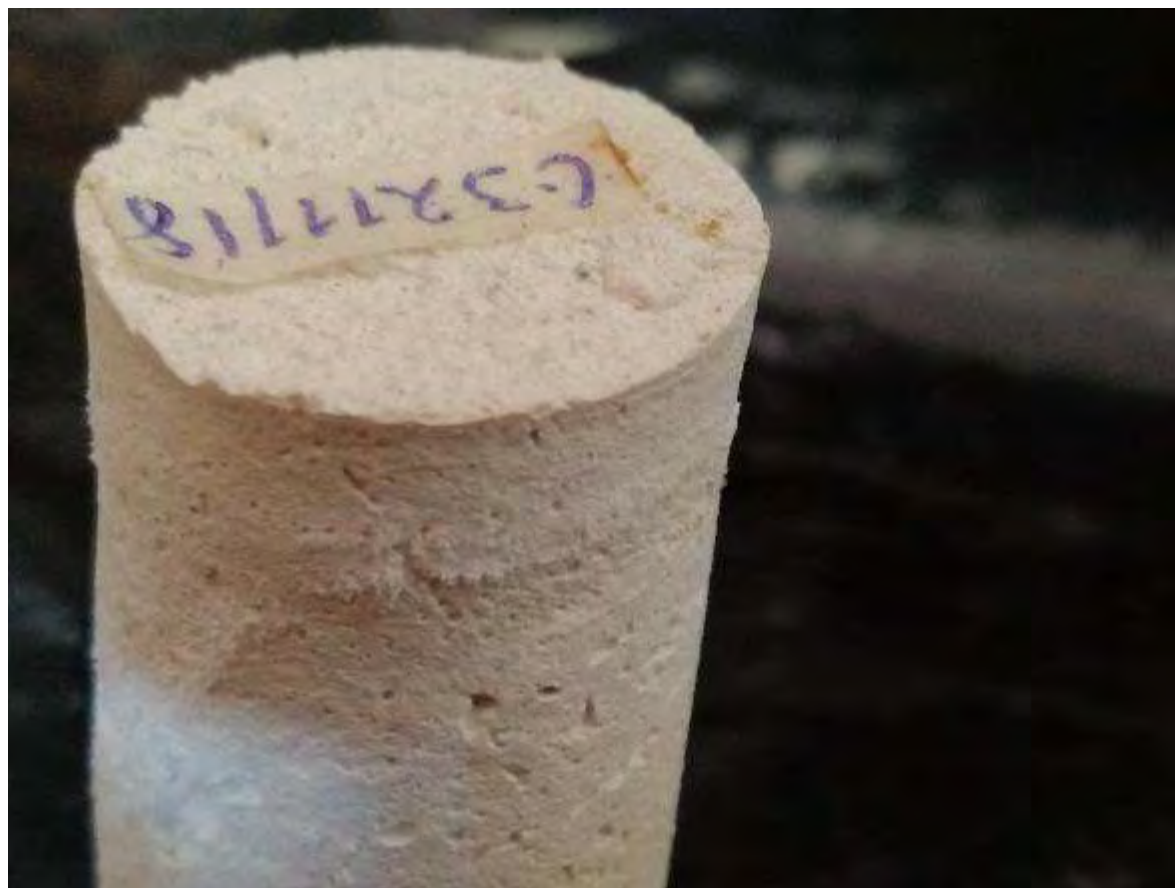


Figura. 4. 410. Imágenes de la corrida C-3211118, con presencia de eflorescencias en su parte externa. (autoría propia).

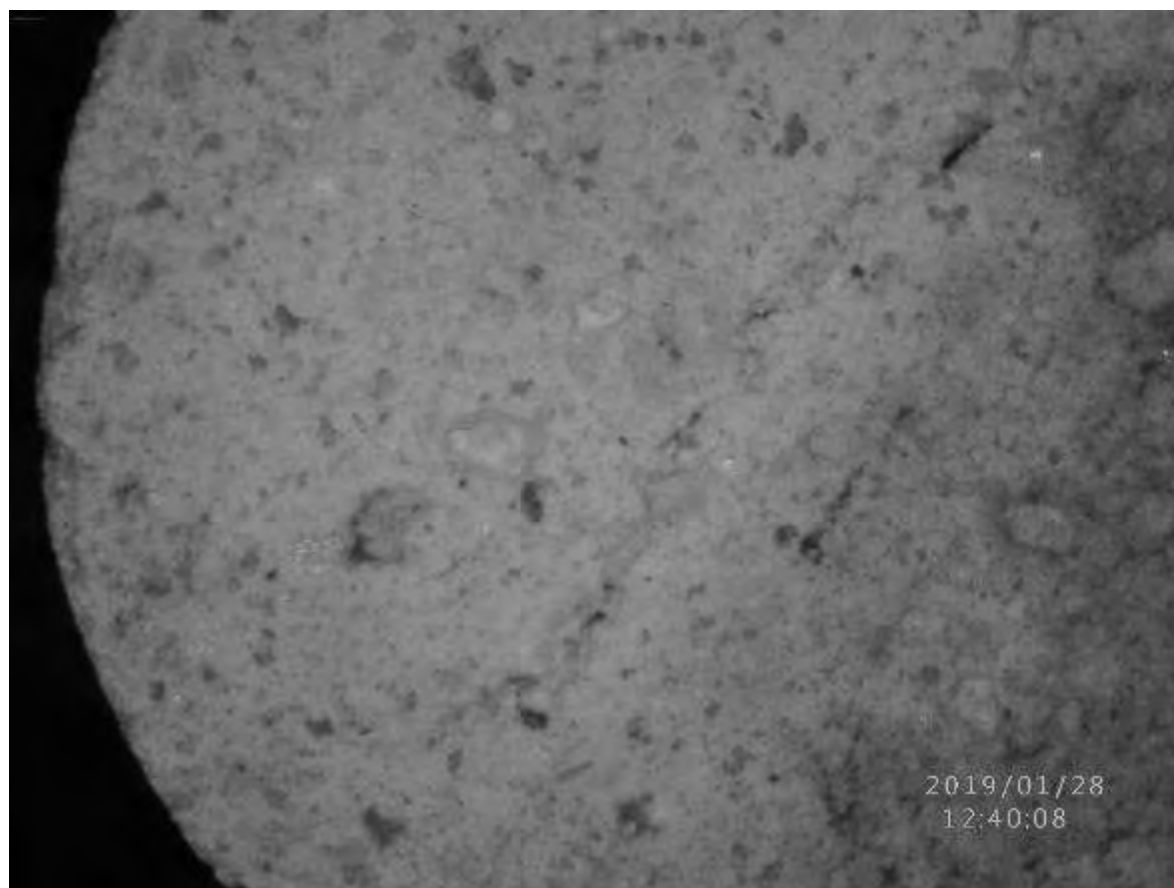


Figura. 4. 411. Microscopia de la C-3211118. Fuente: Autoría propia.

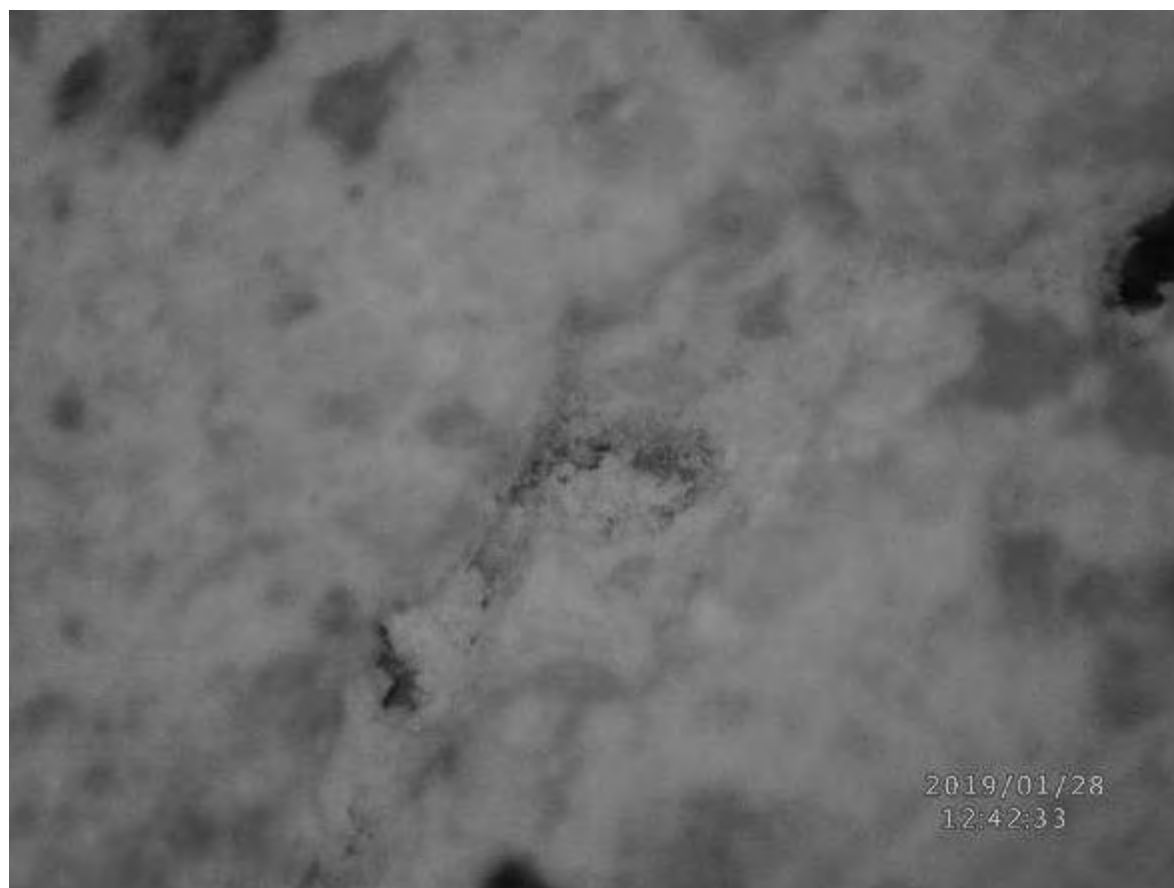


Figura. 4. 412. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3211118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

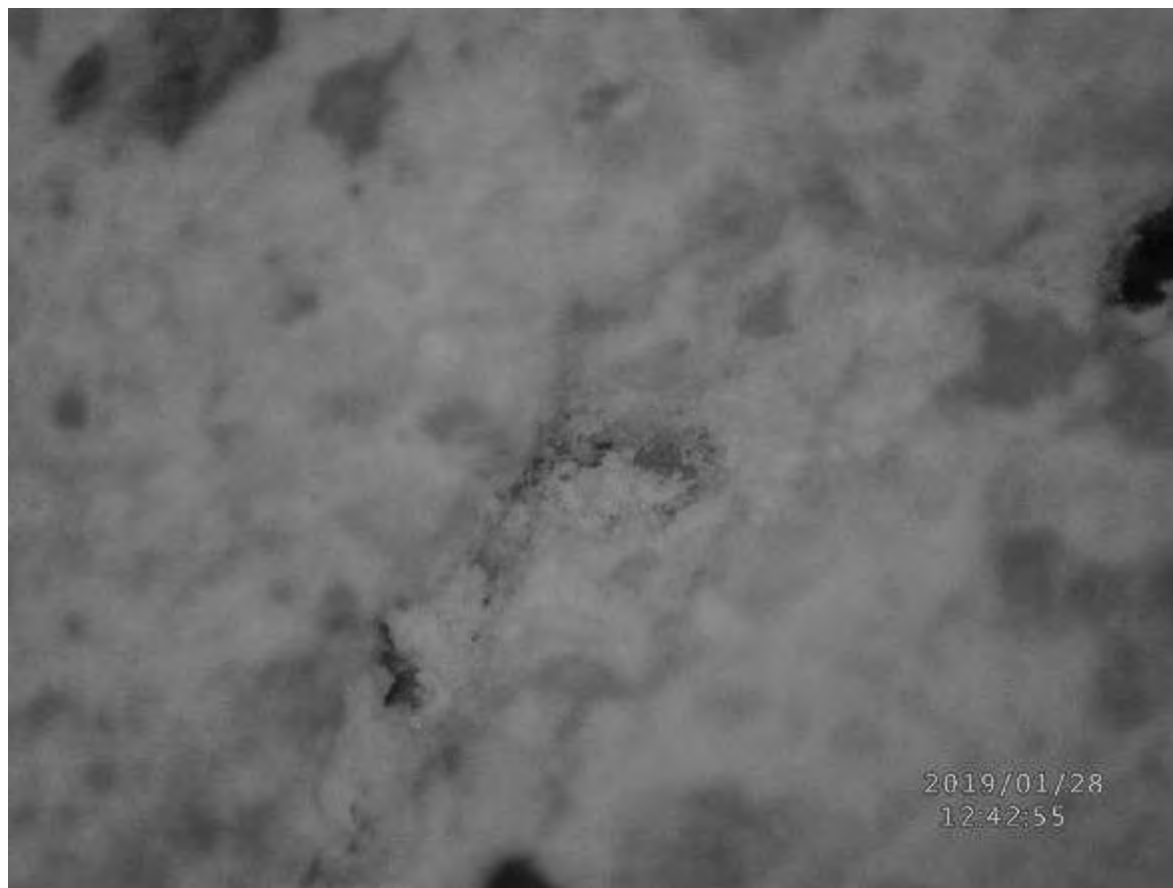


Figura. 4. 413. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3211118, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

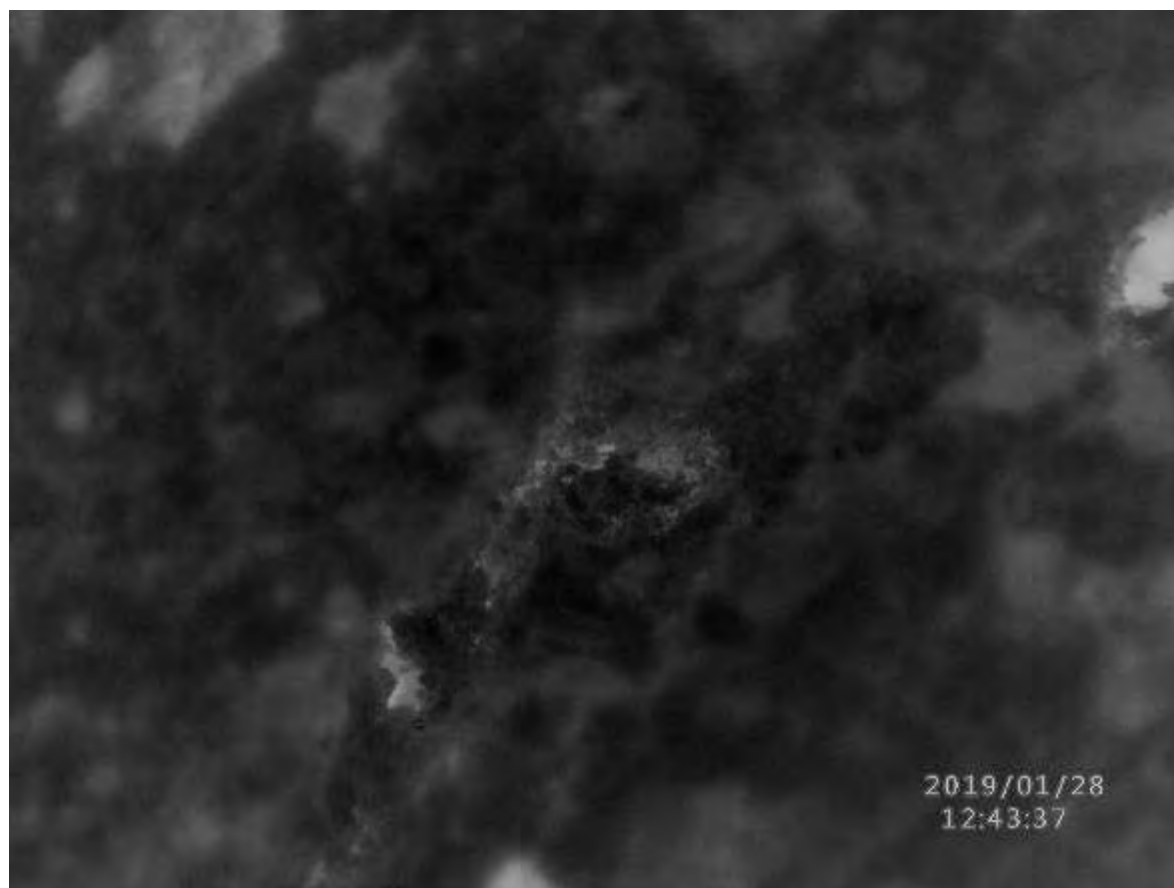


Figura. 4. 414. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3211118, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

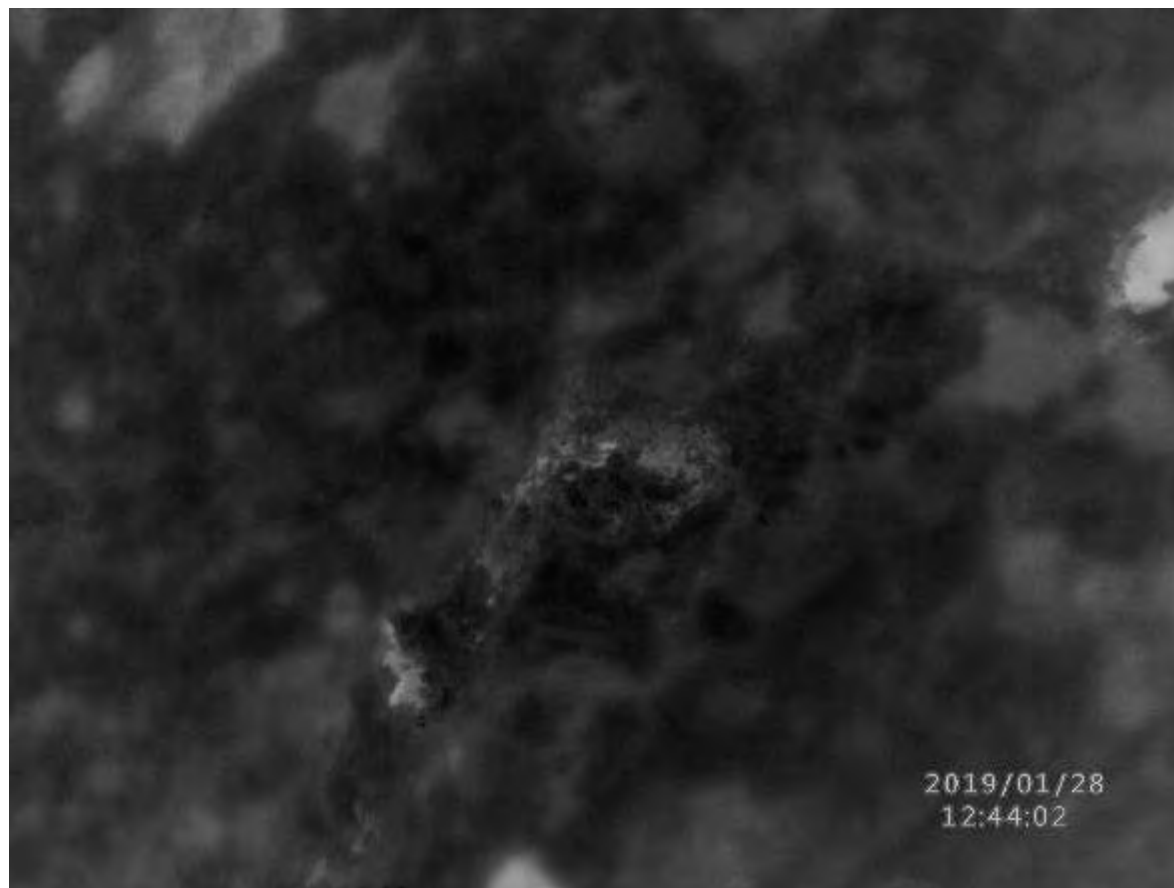


Figura. 4. 415. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3211118, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

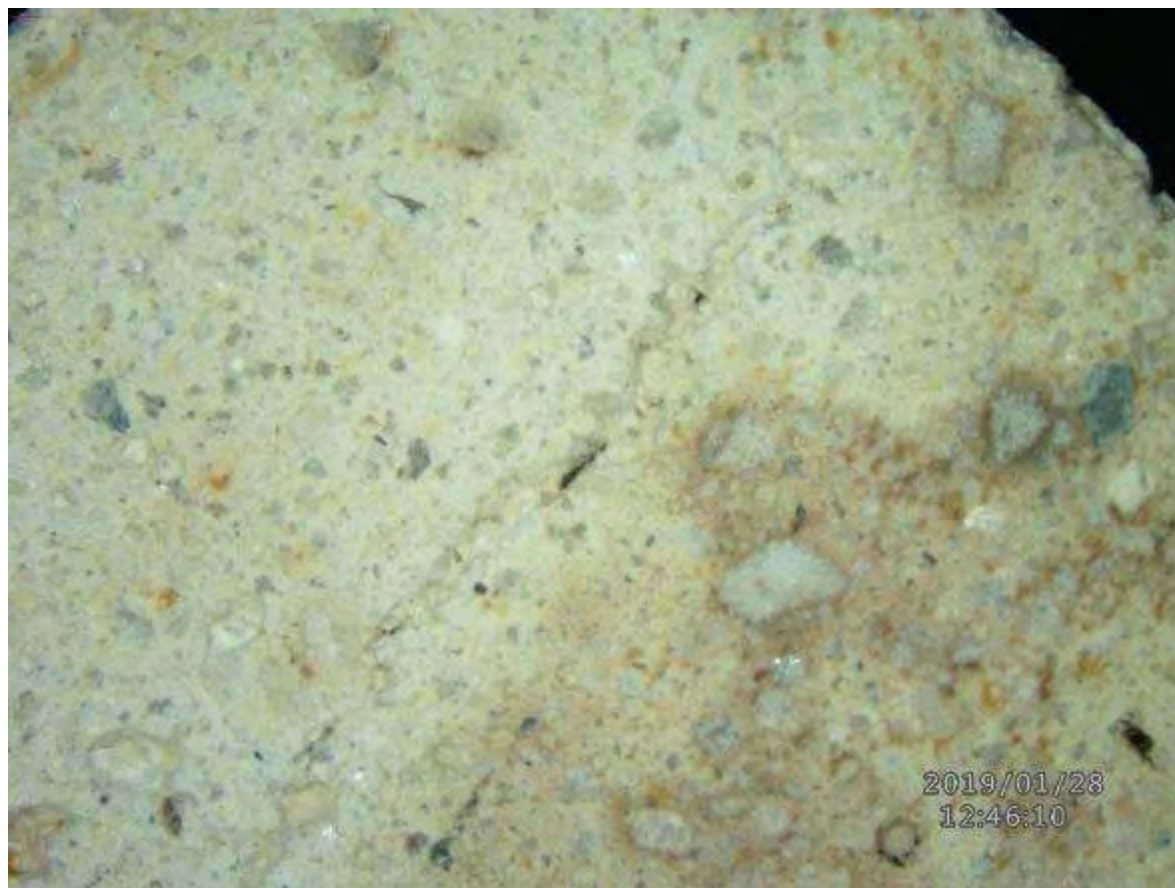


Figura. 4. 416. Microscopia de la C-3211118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

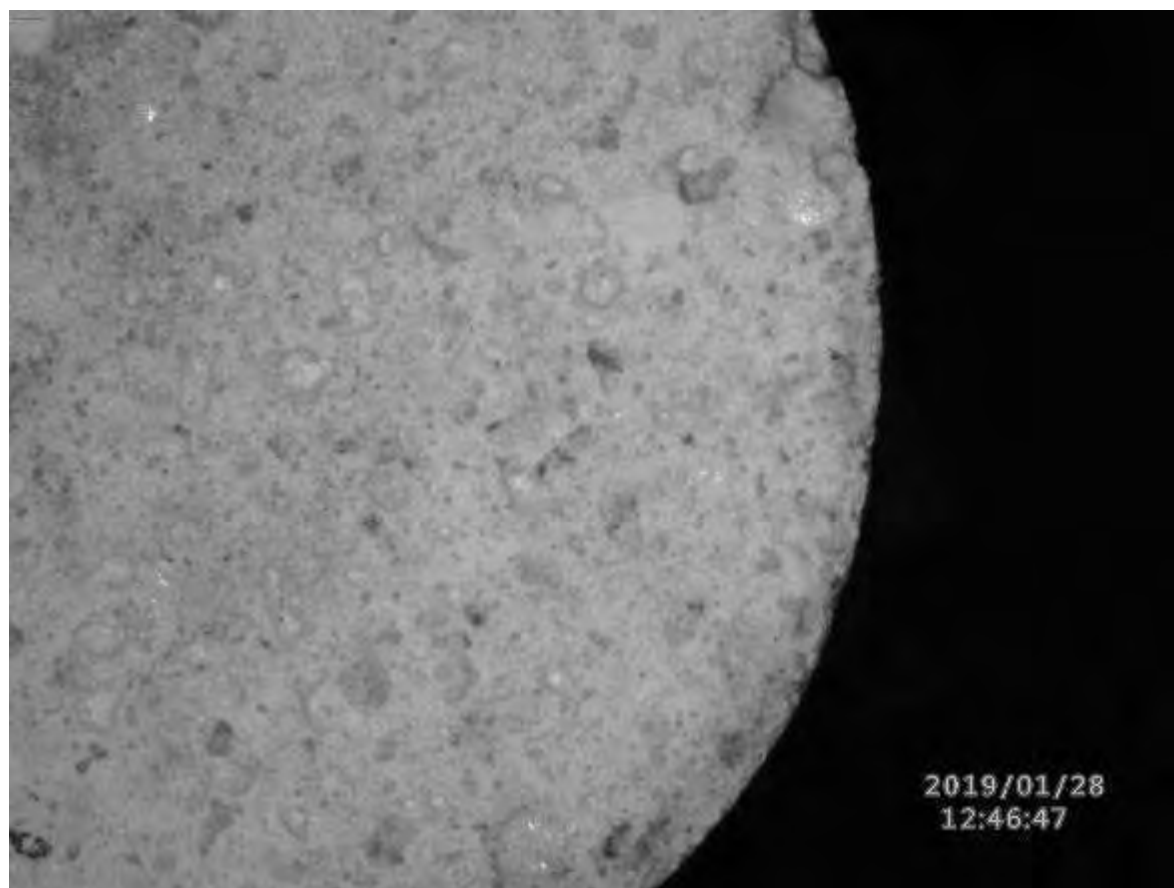


Figura. 4. 417. Microscopia de la C-3211118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

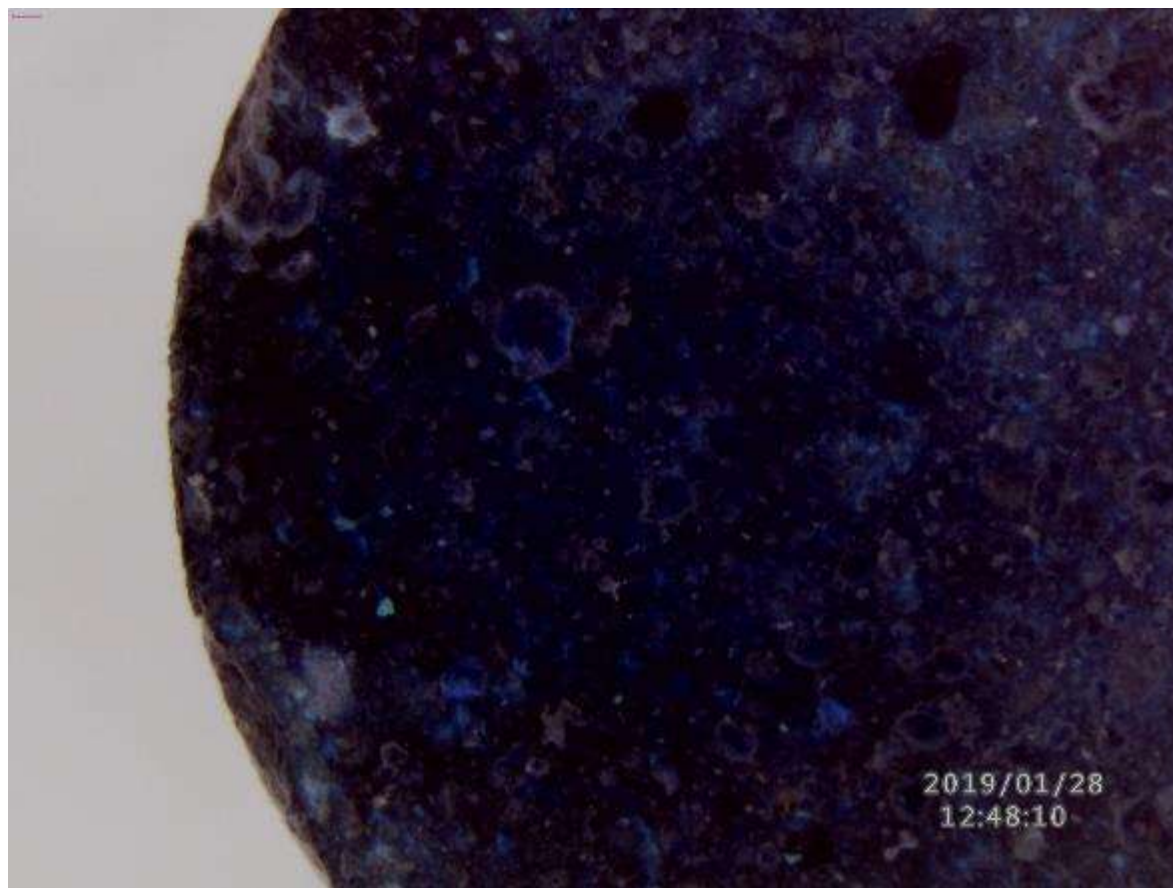


Figura. 4. 418. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3211118, con un filtro negativo bajo una luz normal.
Fuente: (autoría propia).

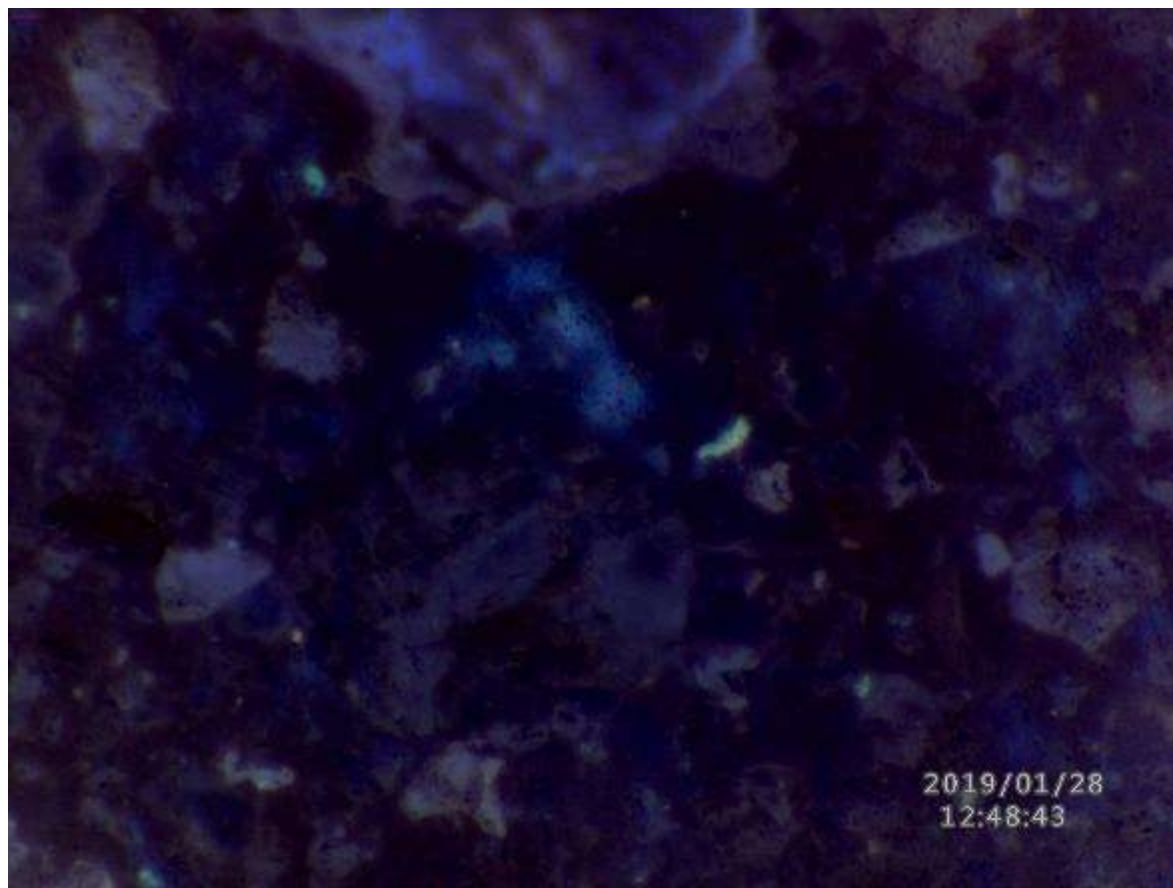
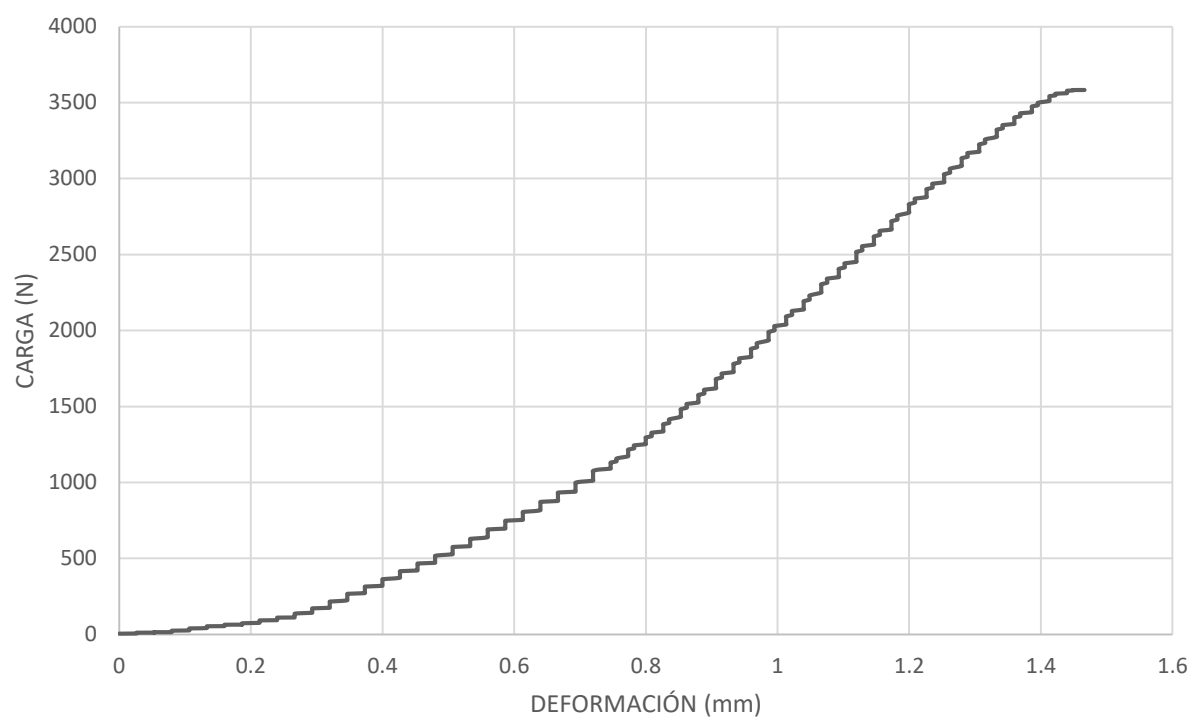


Figura. 4. 419. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3211118, con un filtro negativo bajo una luz normal.
Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 420. Microscopia de la C-321118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

CARGA-DEFORMACIÓN



Gráficas 4. 33. Curva Carga-Deformación de la C-3211118, en N-mm. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 421. Fotografía de la C-321118, en la prensa. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 422. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-321118. Fuente: (autoría propia)



Figura. 4. 423. Fotografías de la corrida C-4211118. Fuente: (Autoría propia).

De composición 100% CAL ESTANDAR, 275% MARMOLINA Tipo 2, 10% METACAOLIN, 5% CARBONATO DE SODIO, 20% HARINA DE ARRÓZ y A/C= 1.2:1 (calentada hasta el punto de ebullición y agregada a la mezcla, previamente integrados todos los materiales) (debe ser mezclada hasta alcanzar la trabajabilidad, que se necesita como pasa con todas las familias activadas con CARBONATO DE SODIO), de dimensiones iguales a un diámetro de 22.8mm y longitud de 44.7mm, DENSIDAD = $33.5347816 \text{ g/cm}^3$, que presenta una alta dureza al ser pulido, con poco desprendimiento. (Autoría propia).

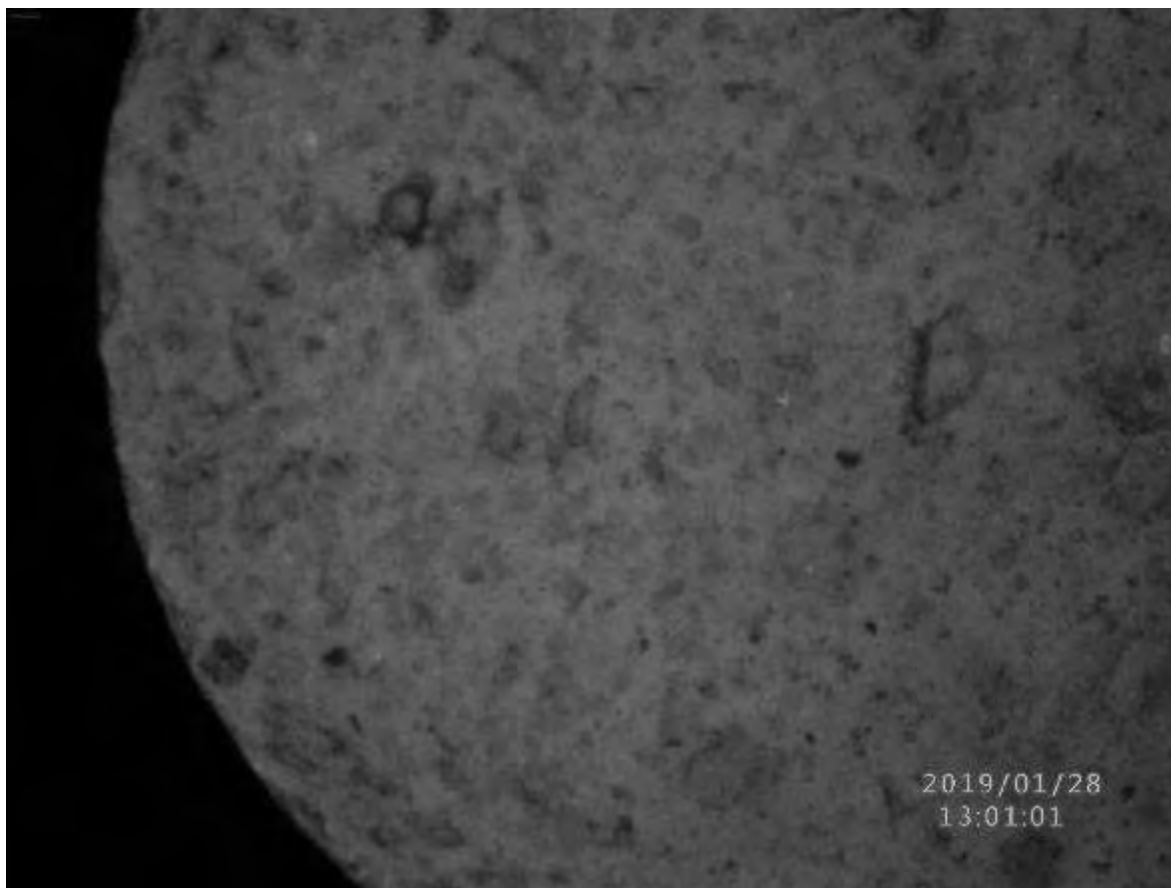


Figura. 4. 424. Microscopia de la C-4211118. Fuente: Autoría propia.

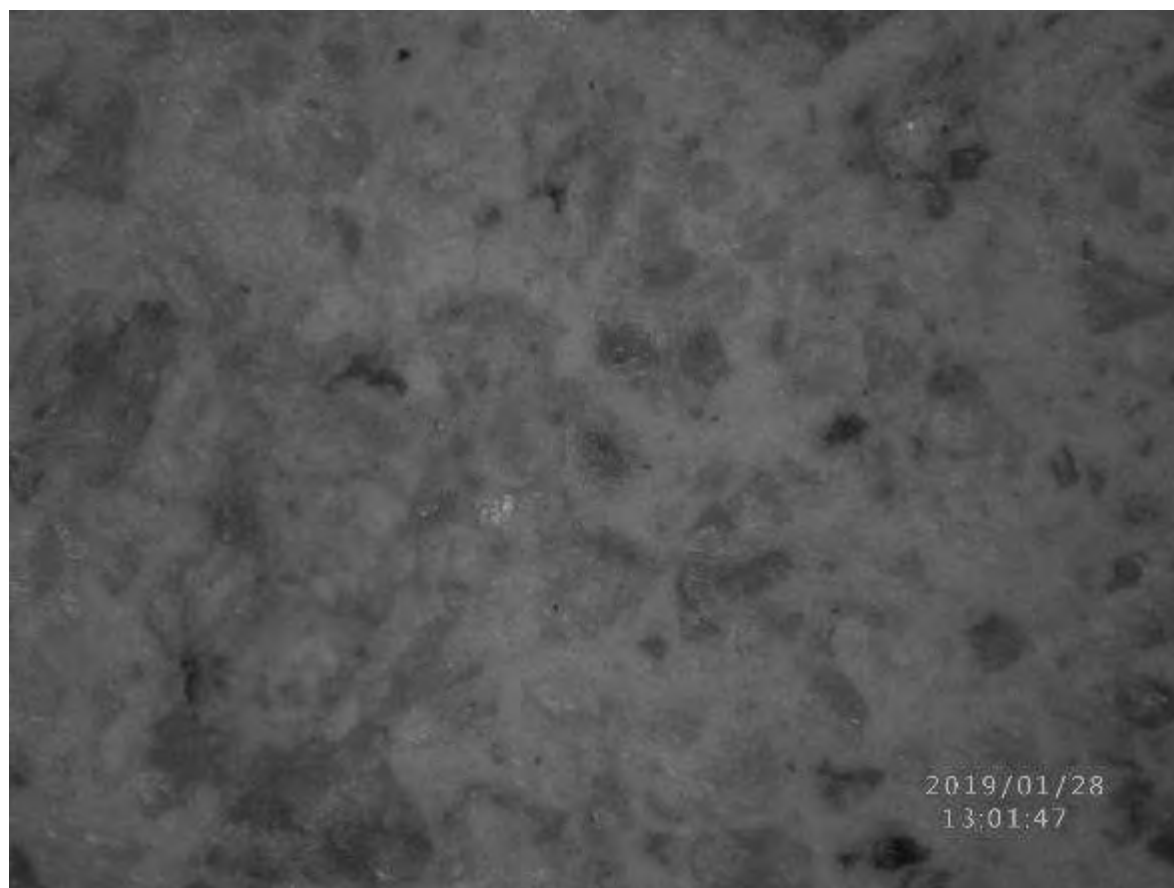


Figura. 4. 425. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-4211118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

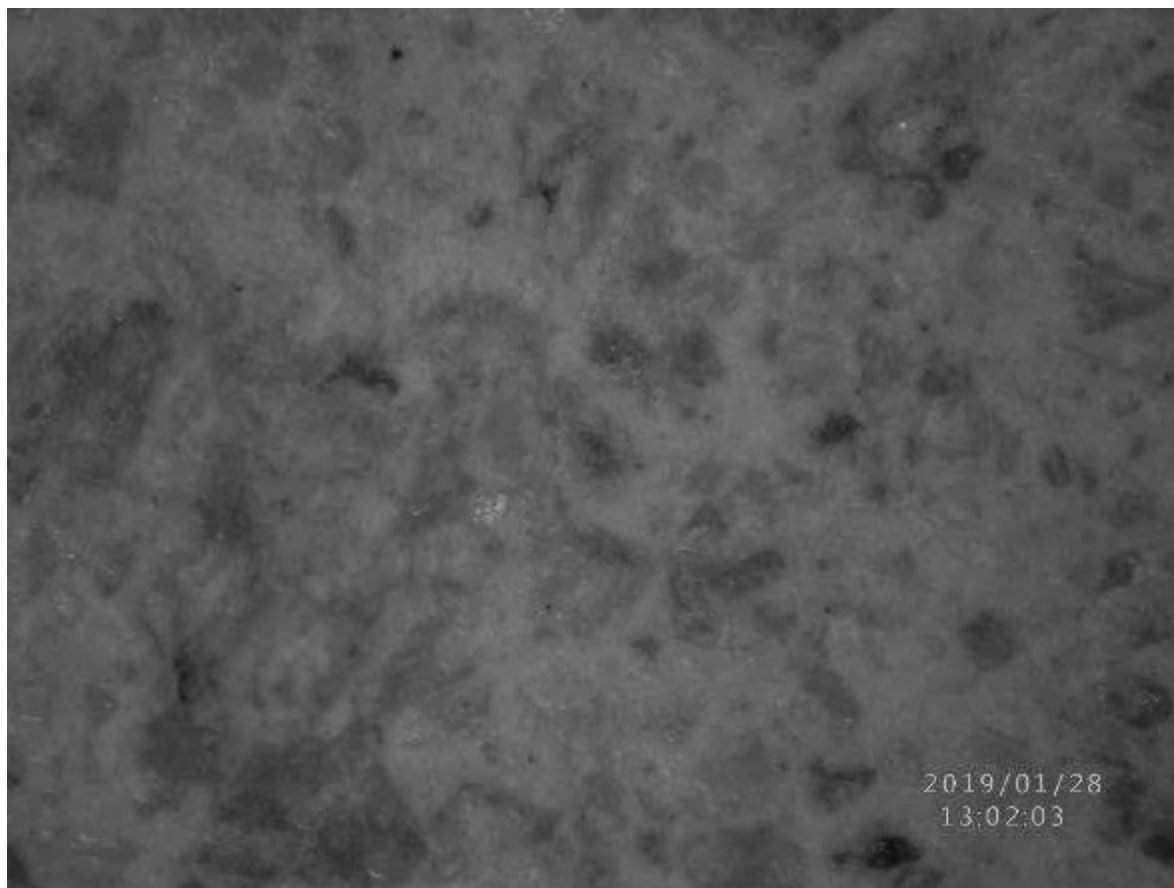


Figura. 4. 426. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-4211118, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

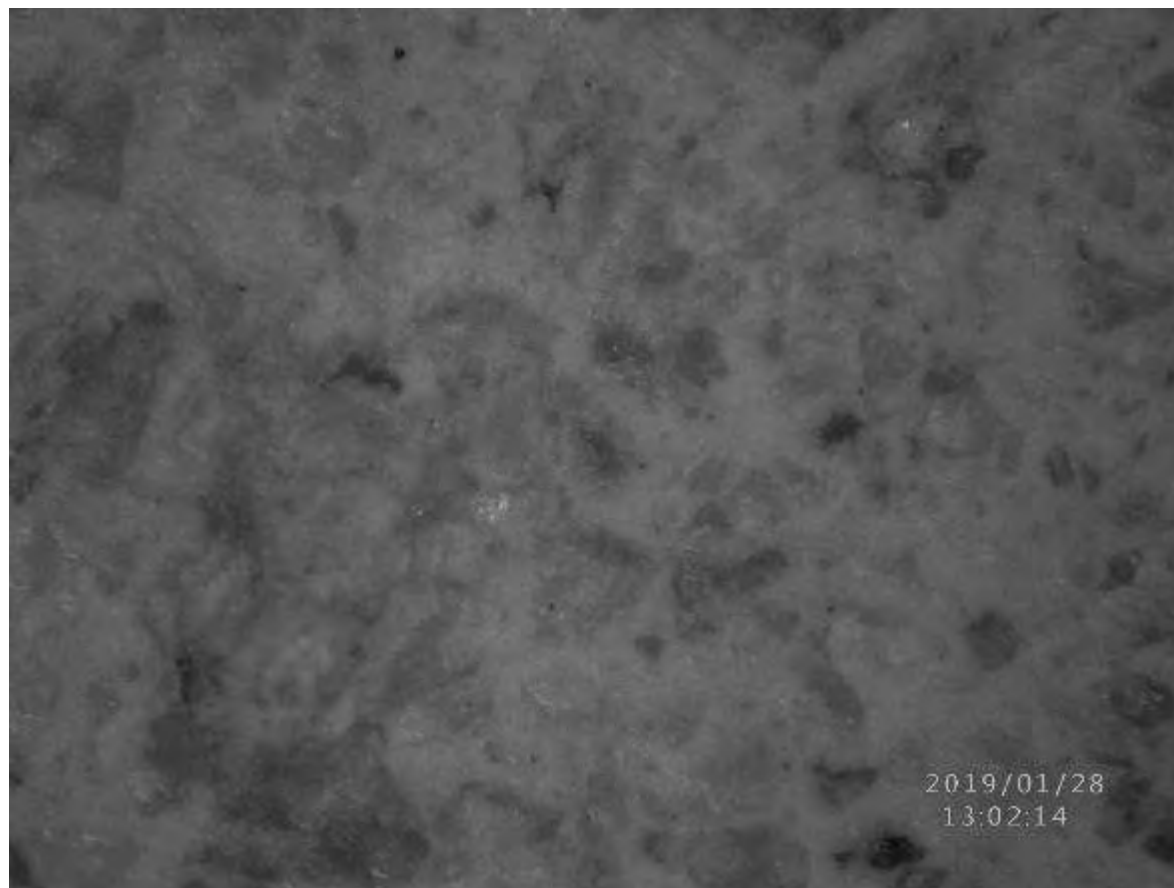


Figura. 4. 427. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-4211118, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

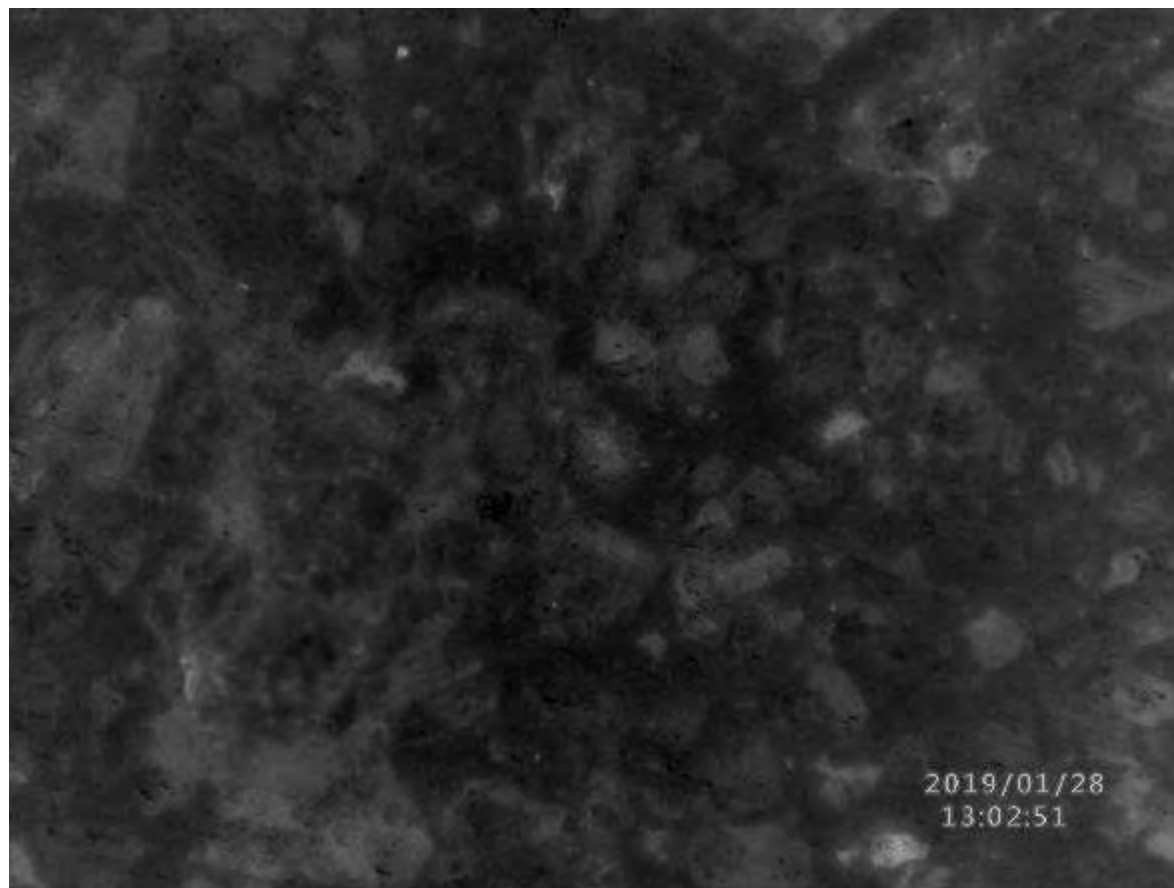


Figura. 4. 428. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-4211118, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

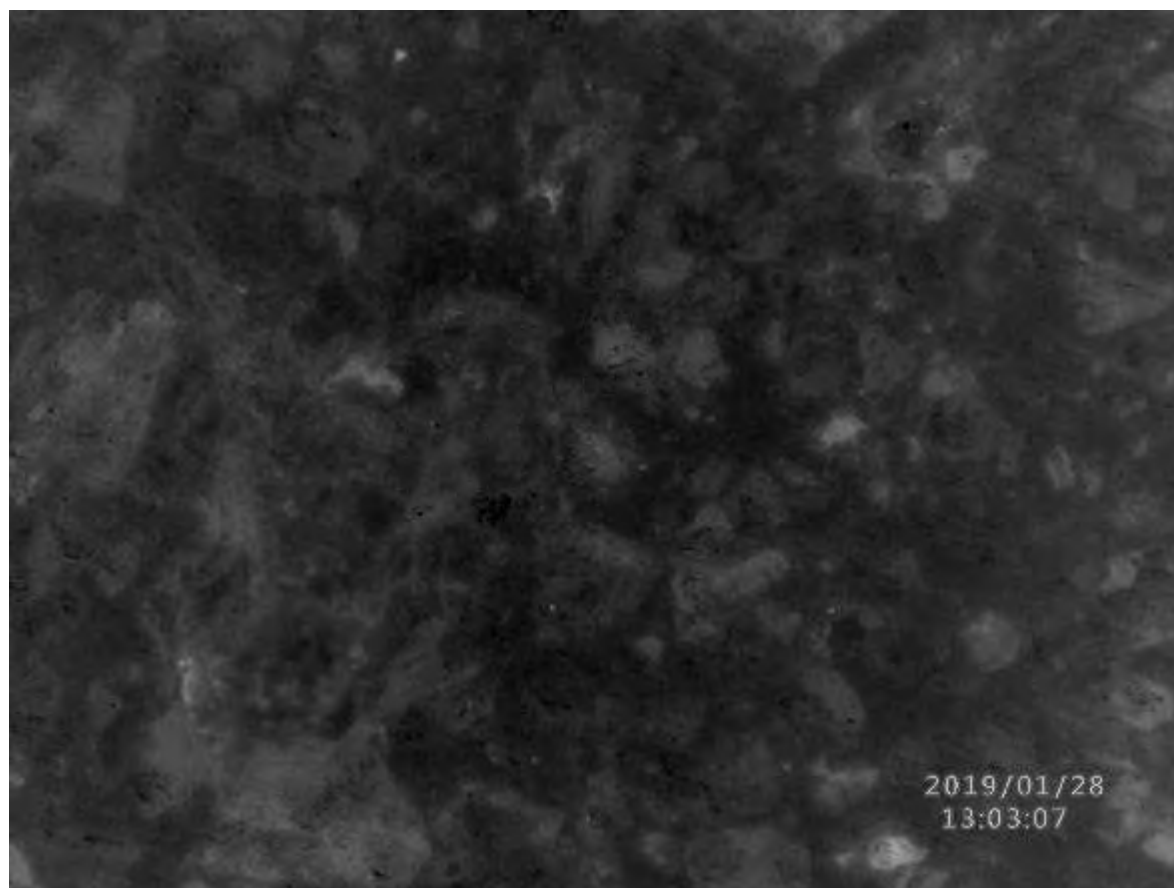


Figura. 4. 429. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-4211118, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

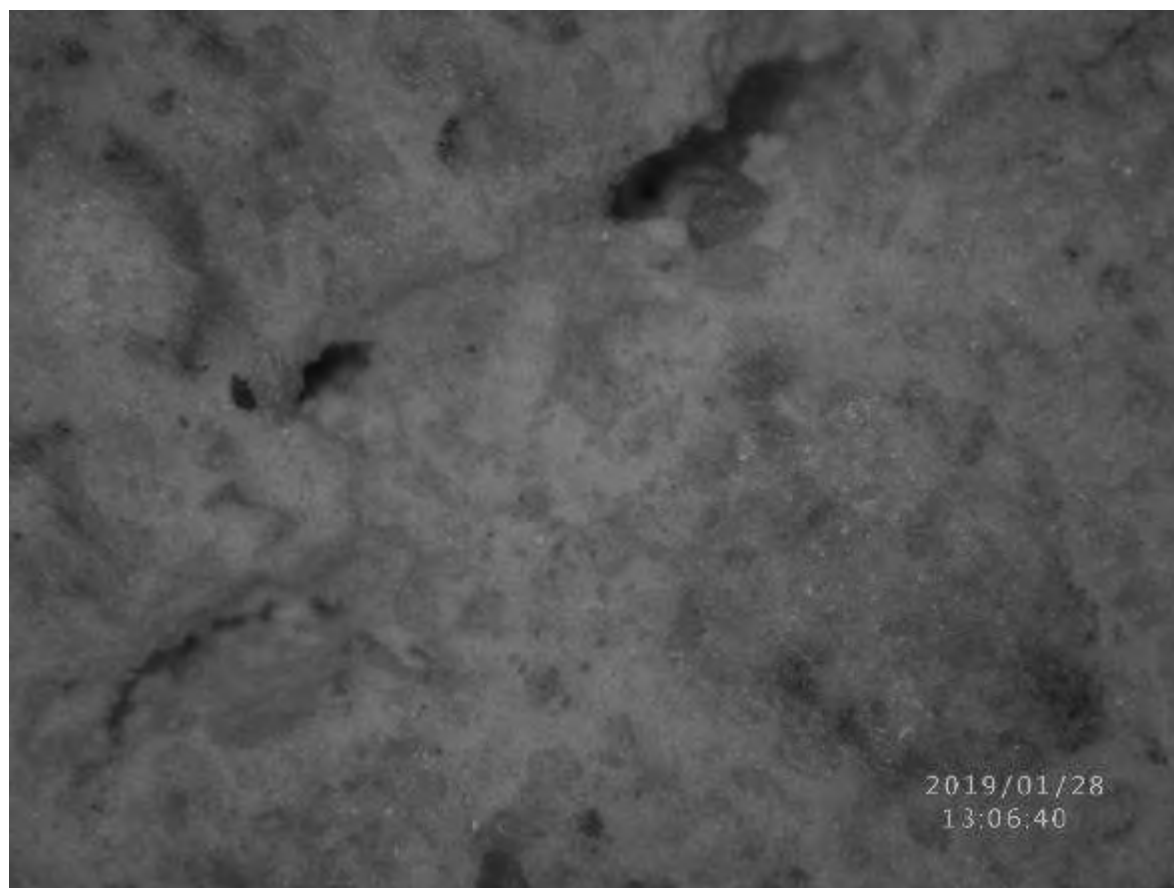


Figura. 4. 430. Microscopia de la C-4211118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

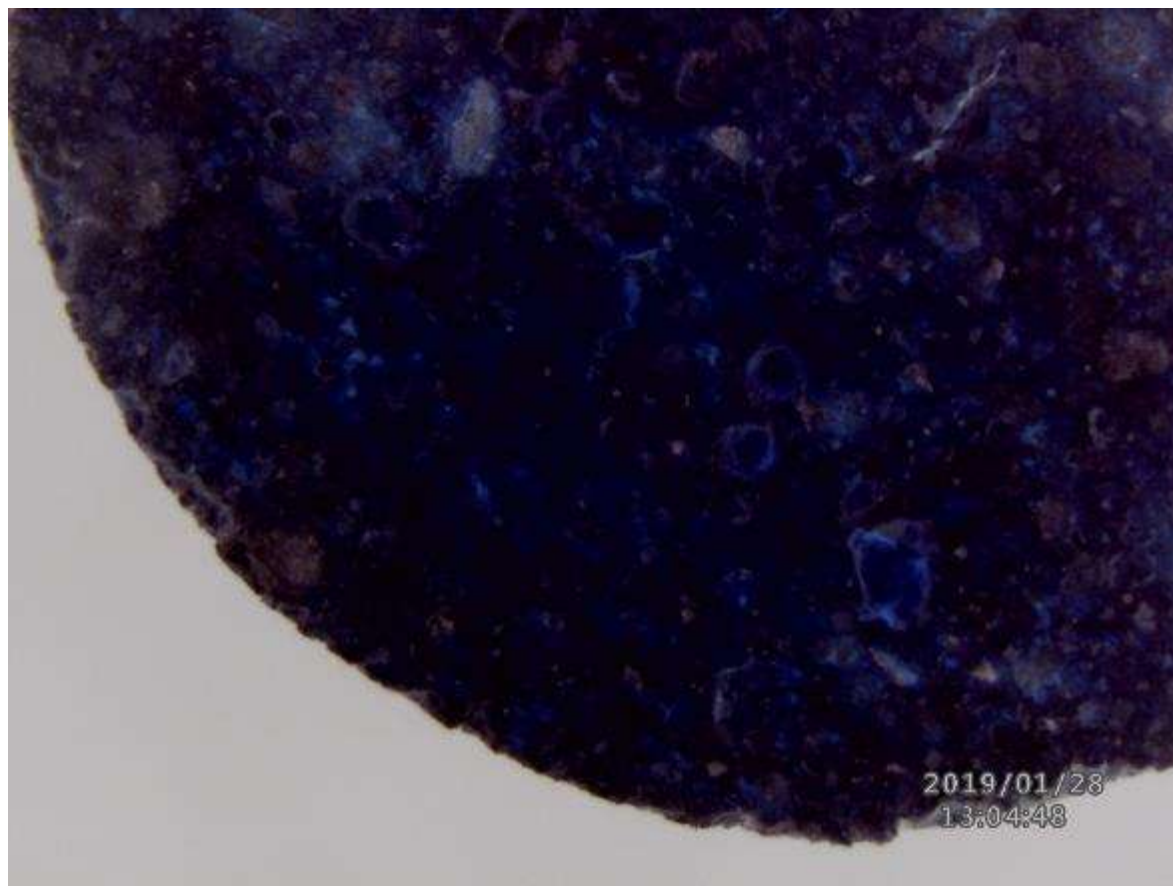


Figura. 4. 431. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-4211118, con un filtro negativo bajo una luz normal.
Fuente: (autoría propia).

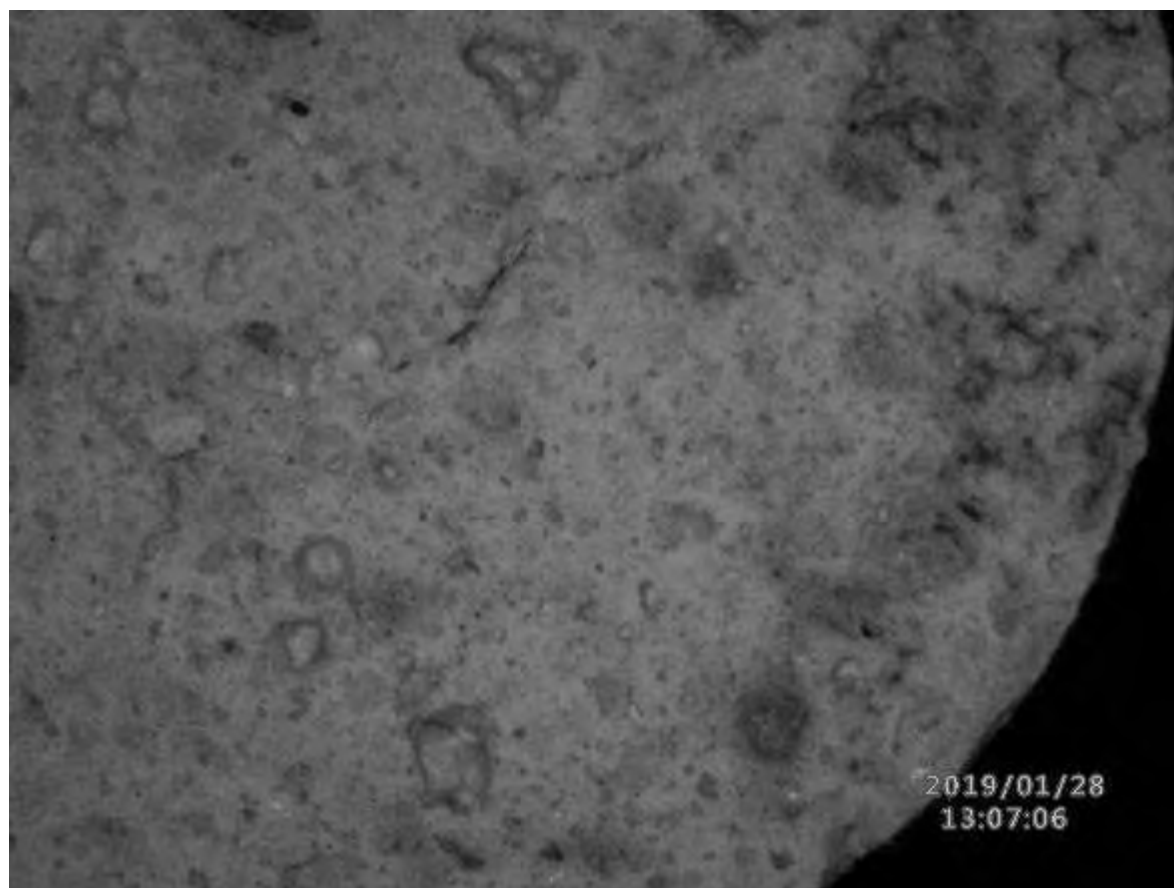
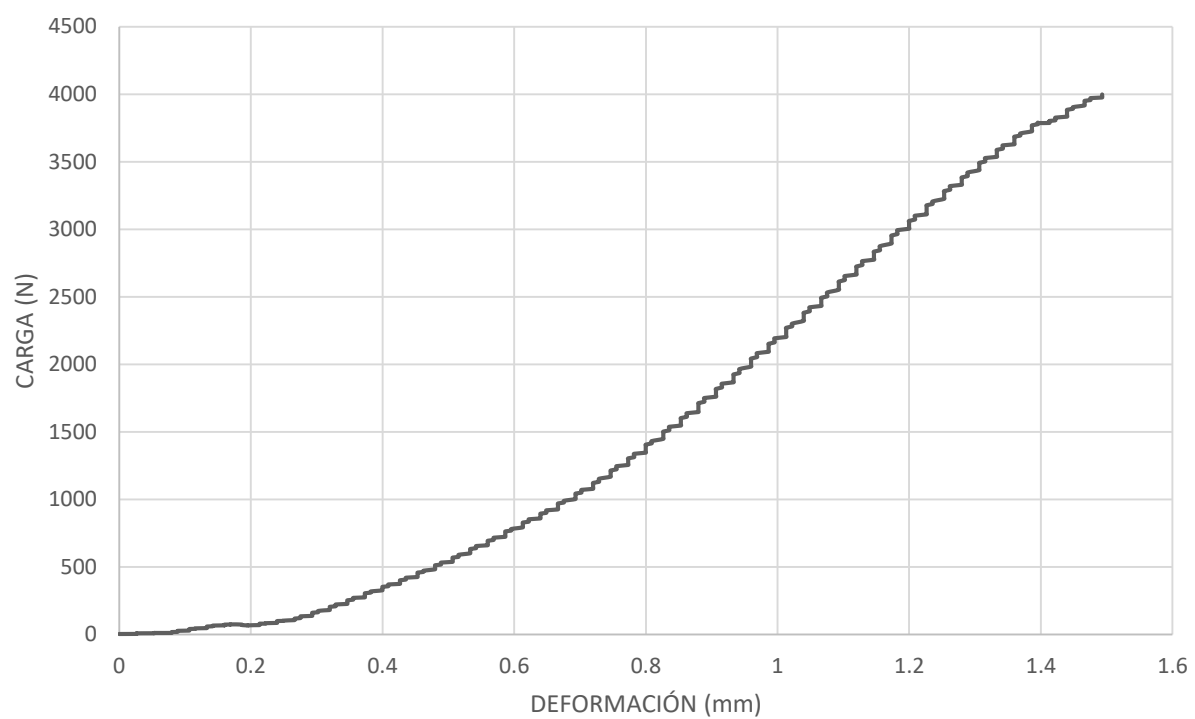


Figura. 4. 432. Microscopia de la C-4211118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

CARGA-DEFORMACIÓN



Gráficas 4. 34. Curva Carga-Deformación de la C-4211118, en N-mm. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 433. Fotografía de la C-4211118, en la prensa. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 434. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-4211118. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 435. Imágenes de la corrida C-1221118. De composición 100% CAL ESTANDAR, 275% MARMOLINA Tipo 2, 5% METACAOLIN, 10% CARBONATO DE SODIO, 20% HARINA DE ARRÓZ y A/C= 1:1 (calentada hasta el punto de ebullición y agregada a la mezcla, previamente integrados todos los materiales) (debe ser mezclada hasta alcanzar la trabajabilidad, que se necesita como pasa con todas las familias activadas con CARBONATO DE SODIO), de dimensiones iguales a un diámetro de 23.1mm y longitud de 45.0mm, DENSIDAD = 33.3109587 g/cm³, que presenta una alta dureza al ser pulido, con poco desprendimiento. (Autoría propia).

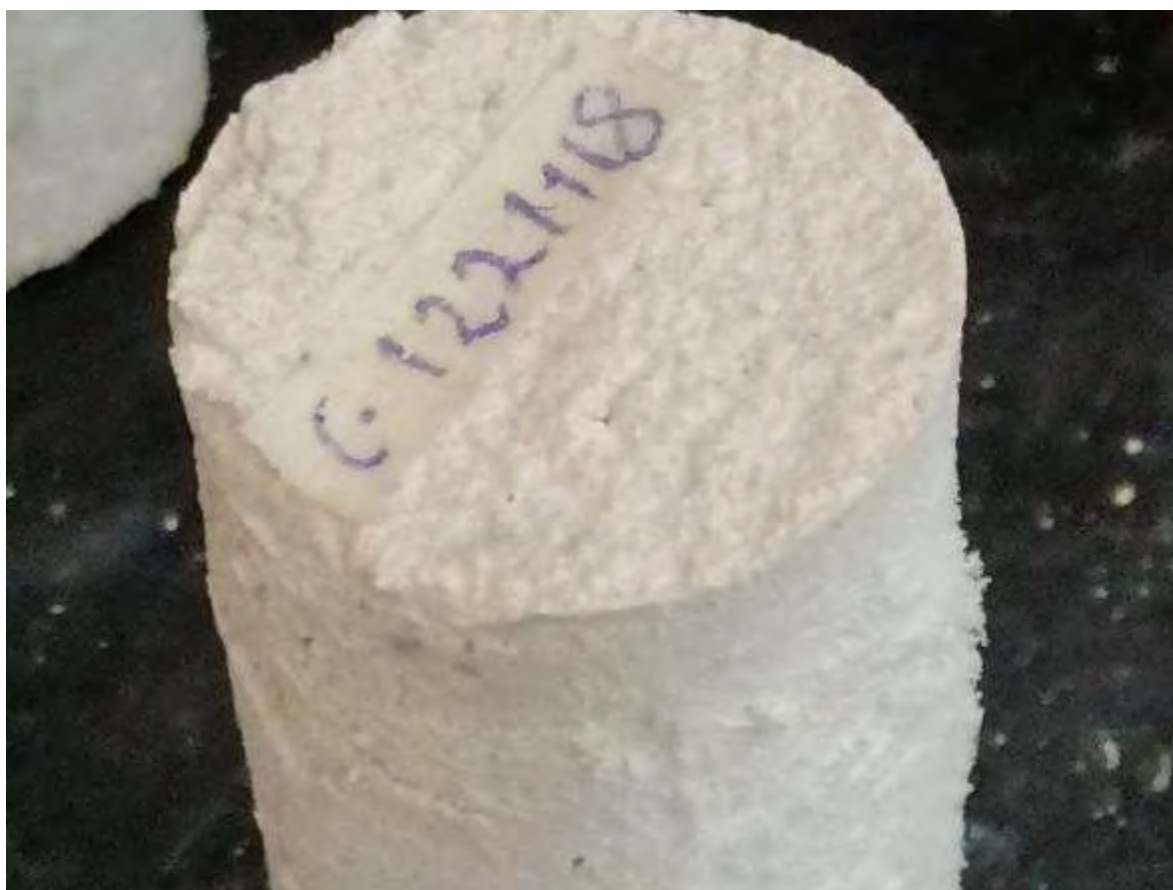


Figura. 4. 436. Imágenes de la corrida C-1221118, con presencia de eflorescencias en su parte externa. (autoría propia).

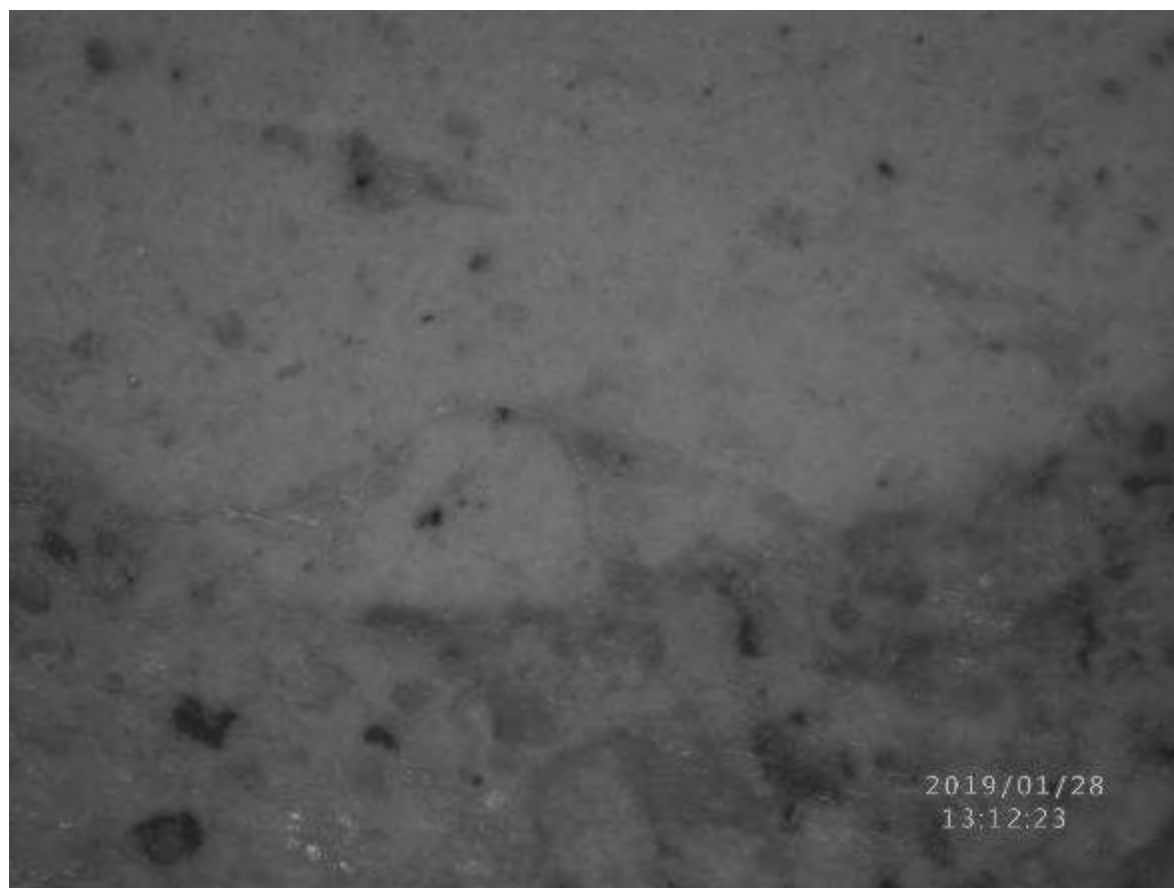


Figura. 4. 437. Microscopia de la C-1221118. Fuente: Autoría propia.

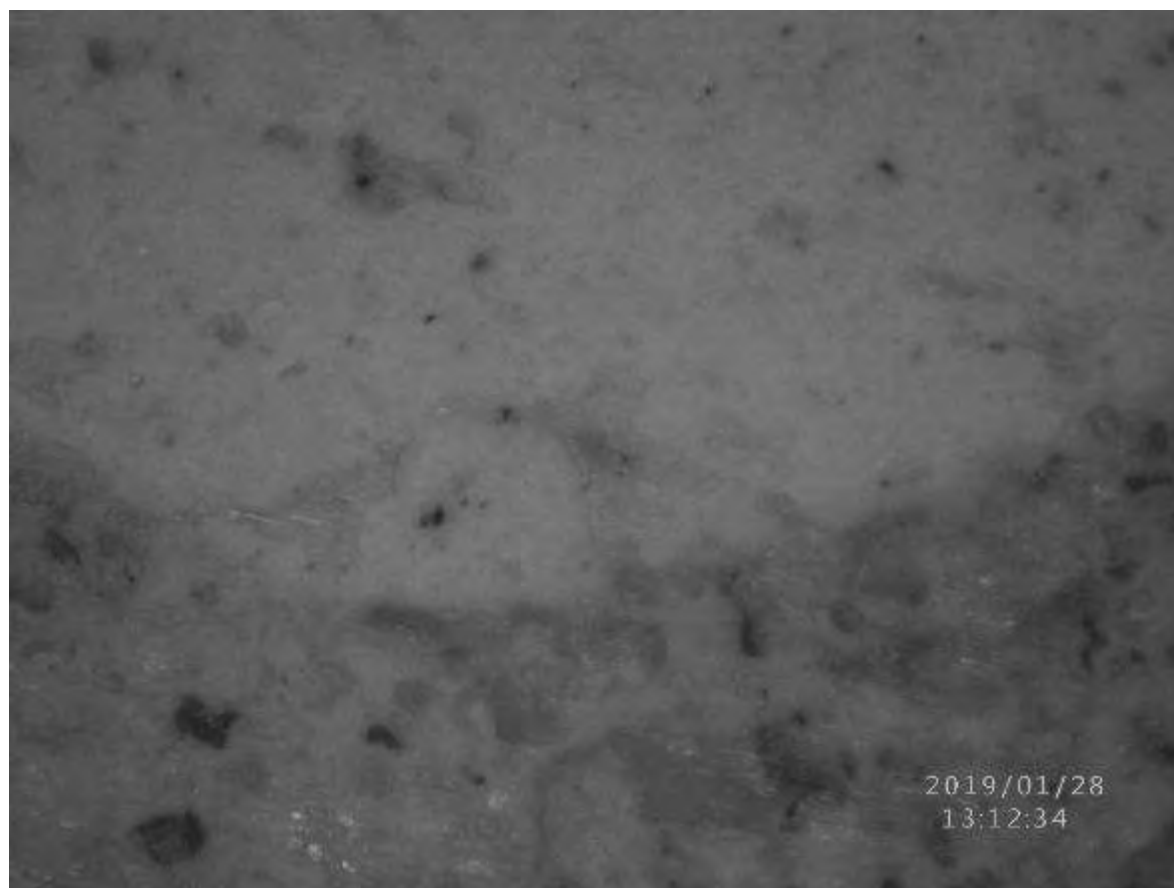


Figura. 4. 438. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1221118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

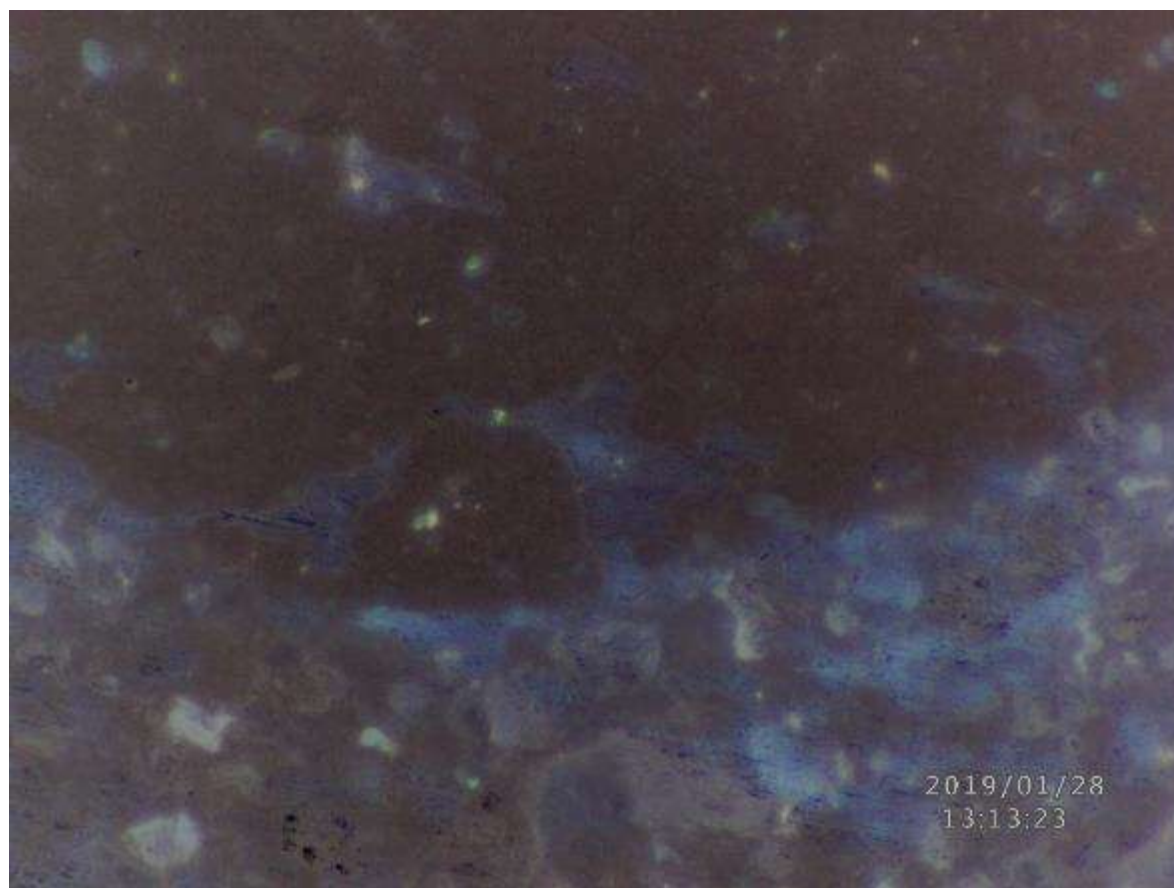


Figura. 4. 439. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1221118, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

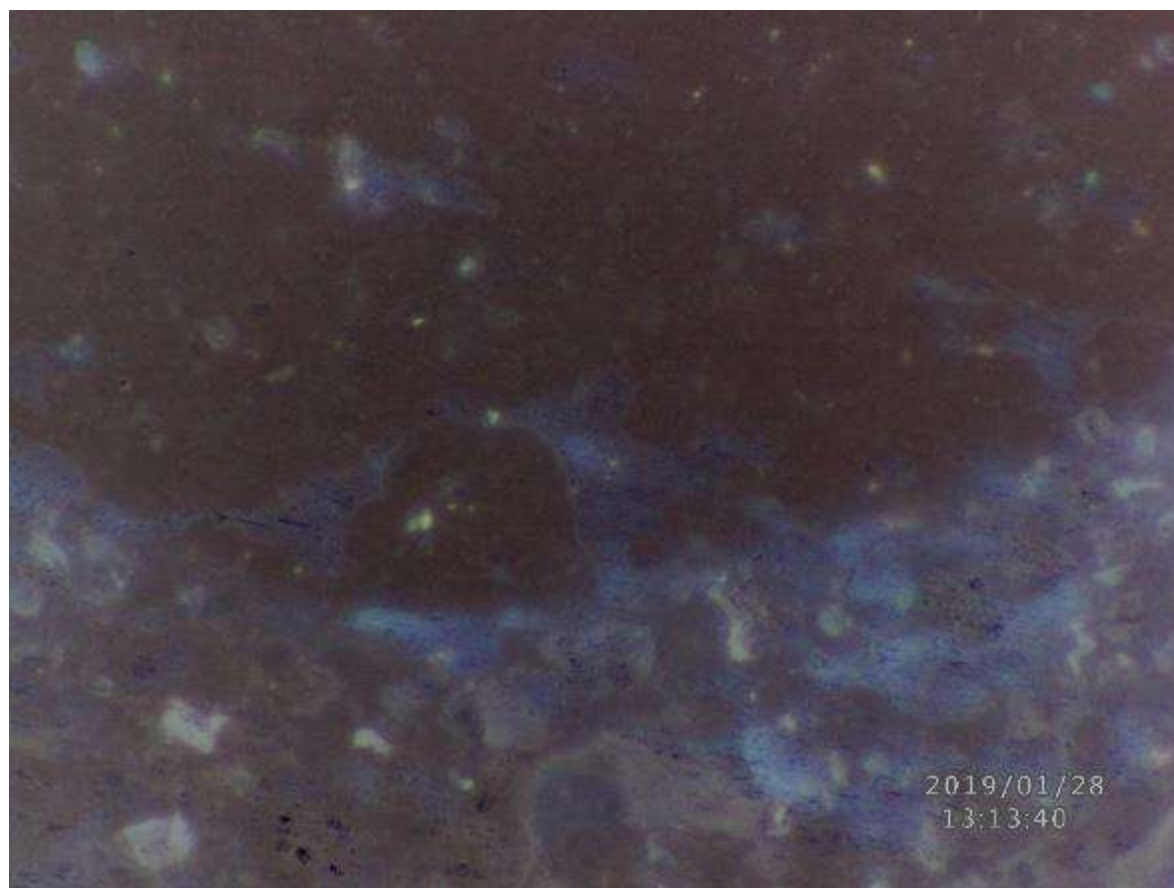


Figura. 4. 440. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1221118, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

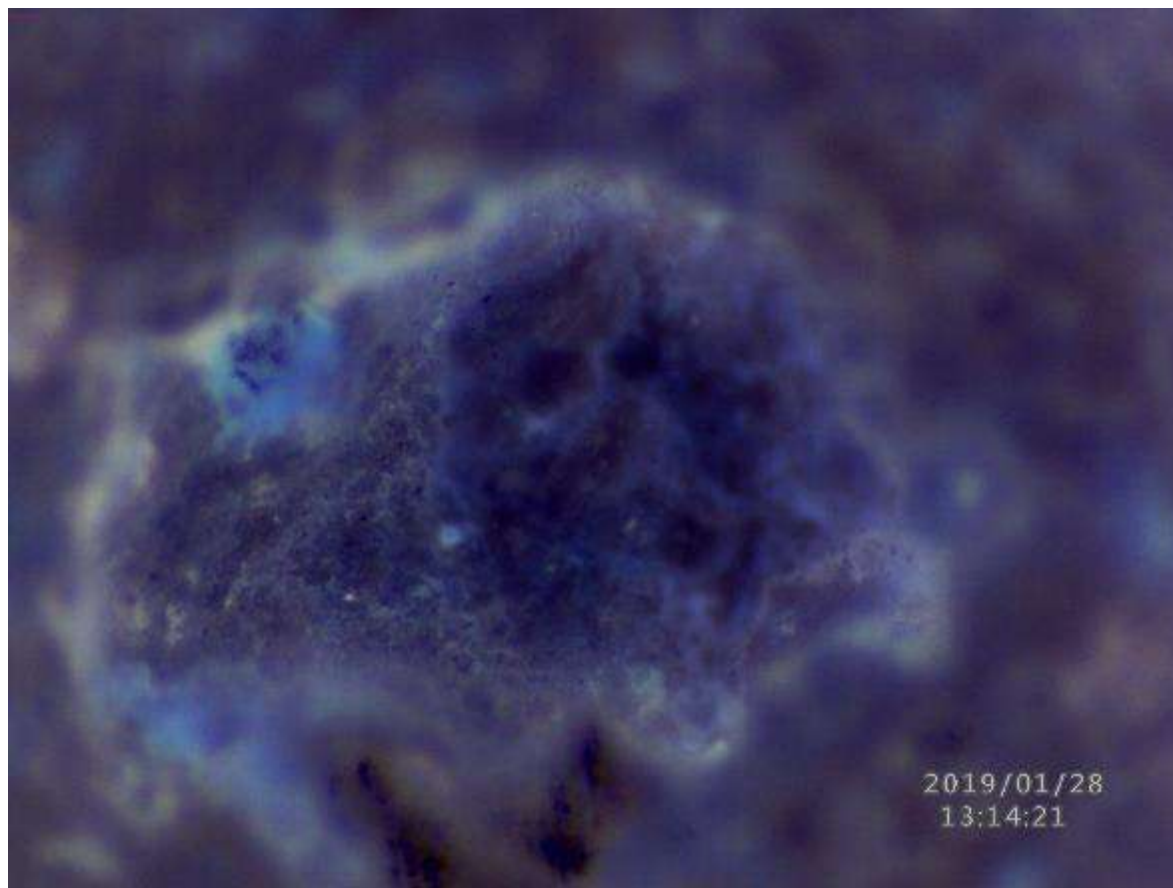


Figura. 4. 441. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1221118, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

Mostrando el interior de la porosidad, descubierta al ser pulida la probeta (autoría propia).

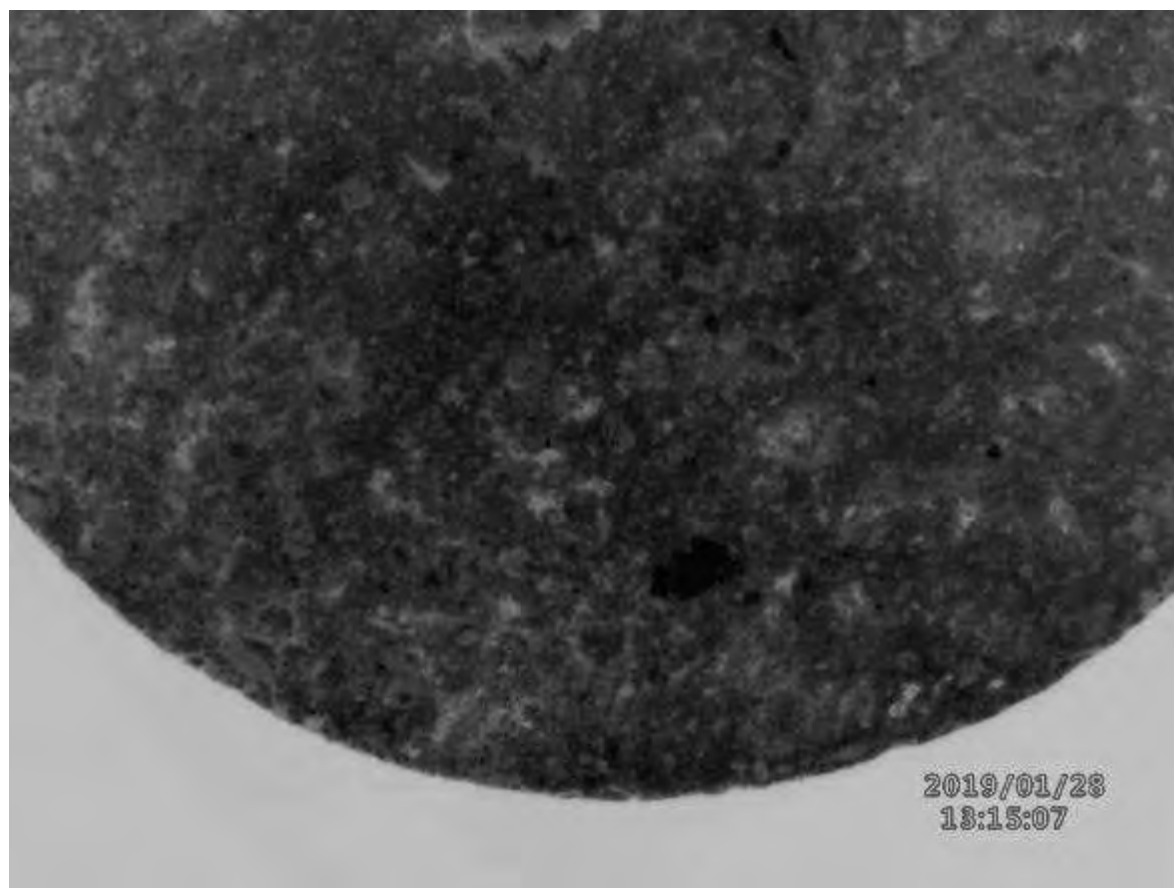


Figura. 4. 442. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1221118, con un filtro negativo bajo una luz normal.
Fuente: (autoría propia).

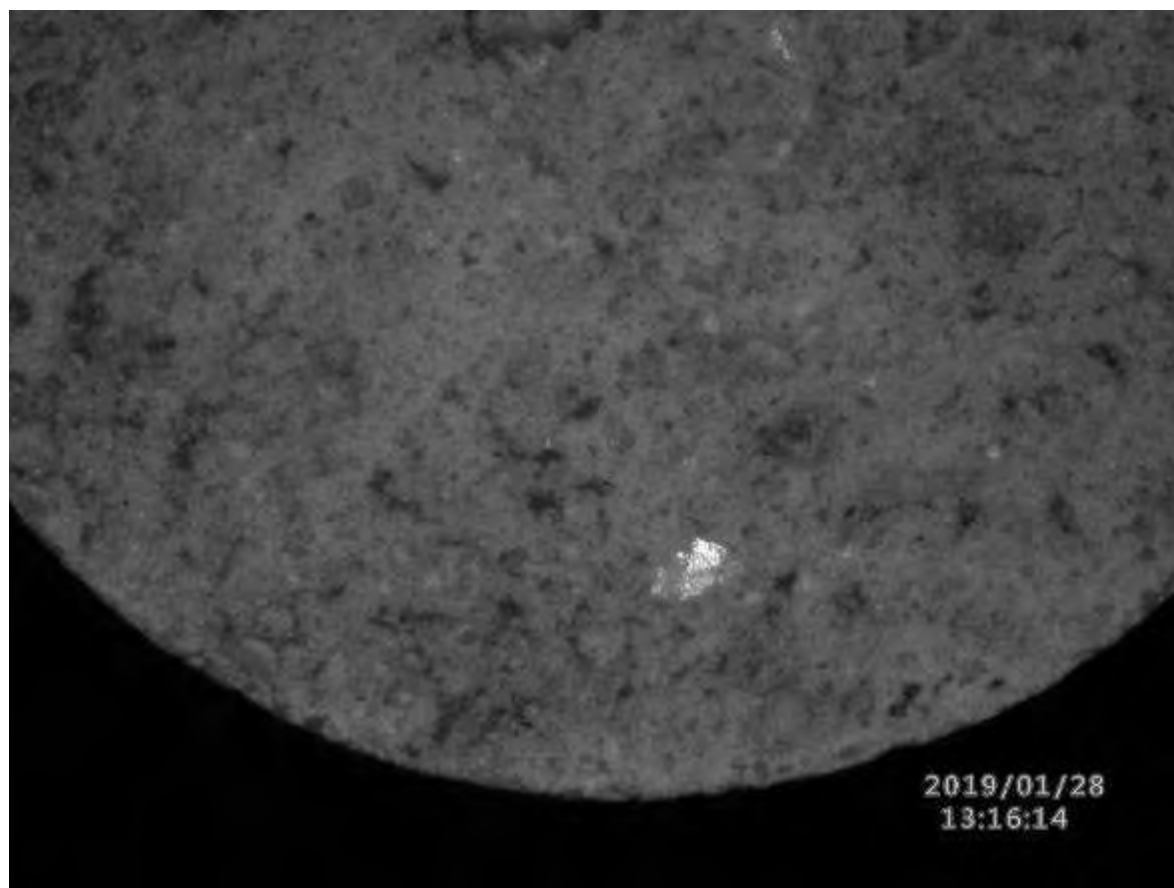


Figura. 4. 443. Microscopia de la C-1221118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

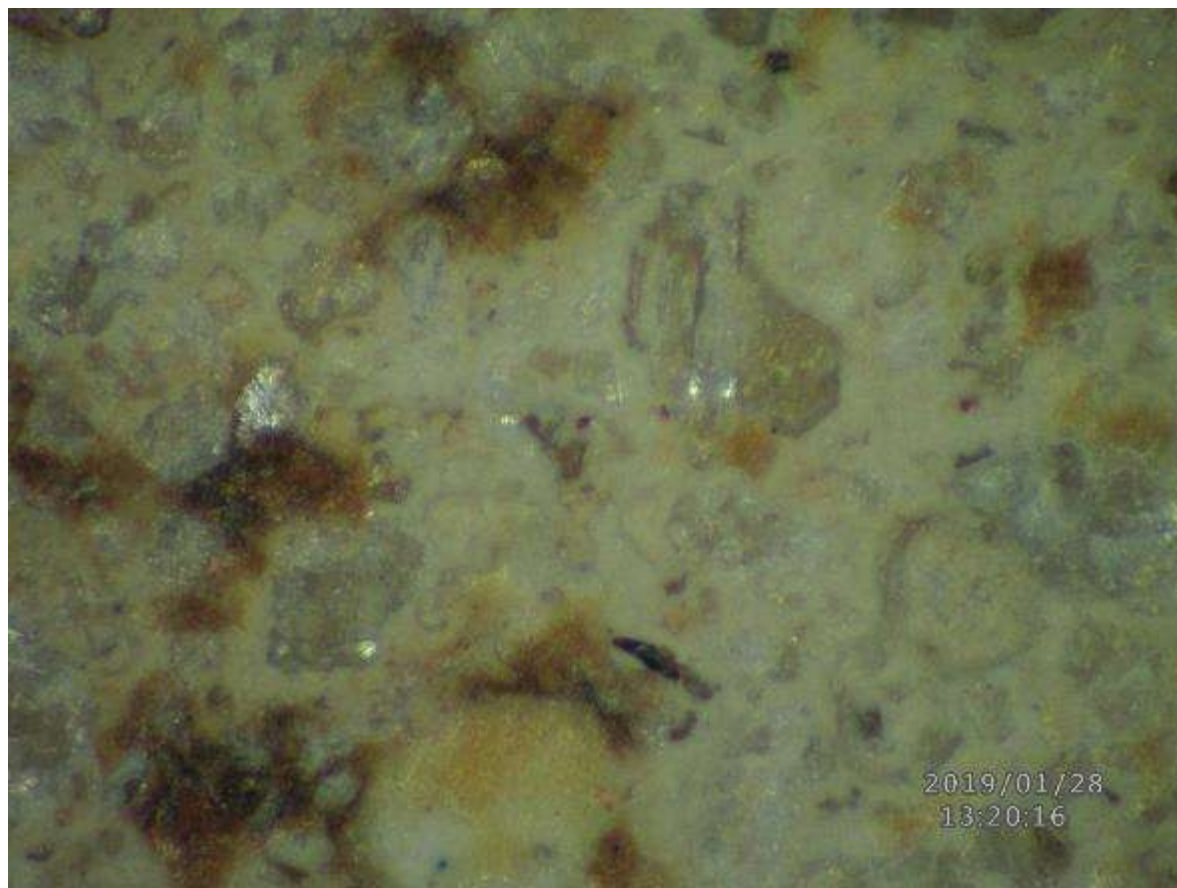
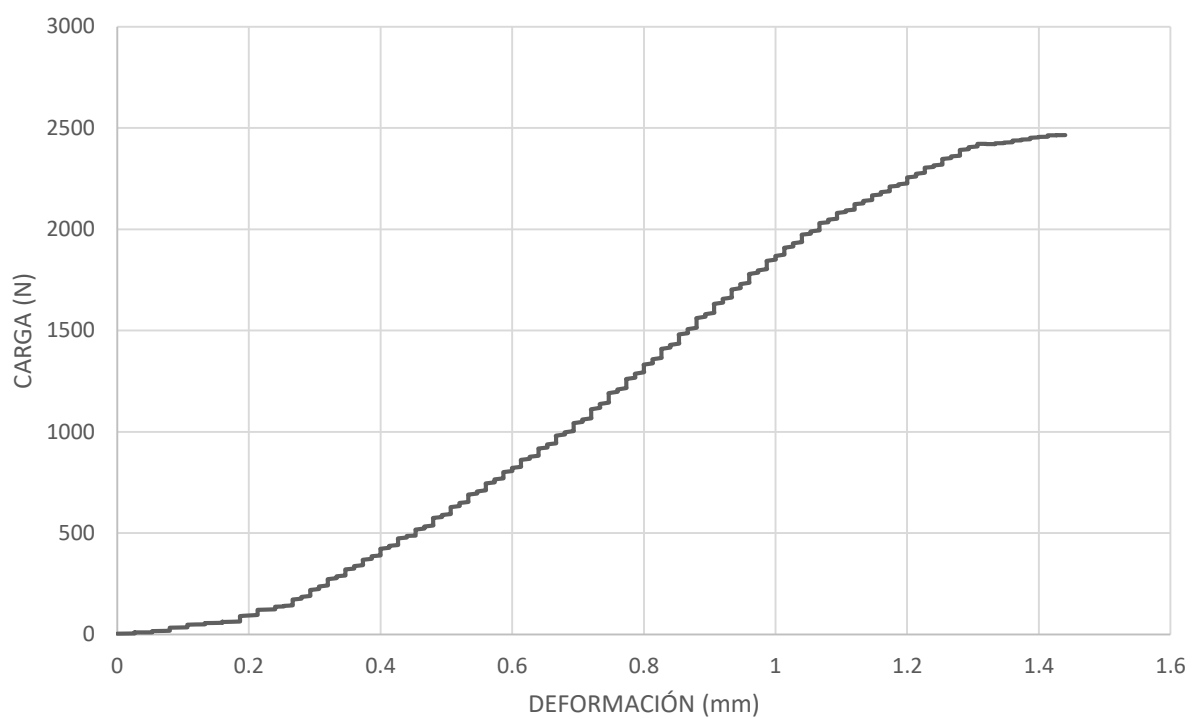


Figura. 4. 444. Microscopia de la C-1221118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

CARGA-DEFORMACIÓN



Gráficas 4. 35. Curva Carga-Deformación de la C-1221118, en N-mm. Fuente: (autoría propia).

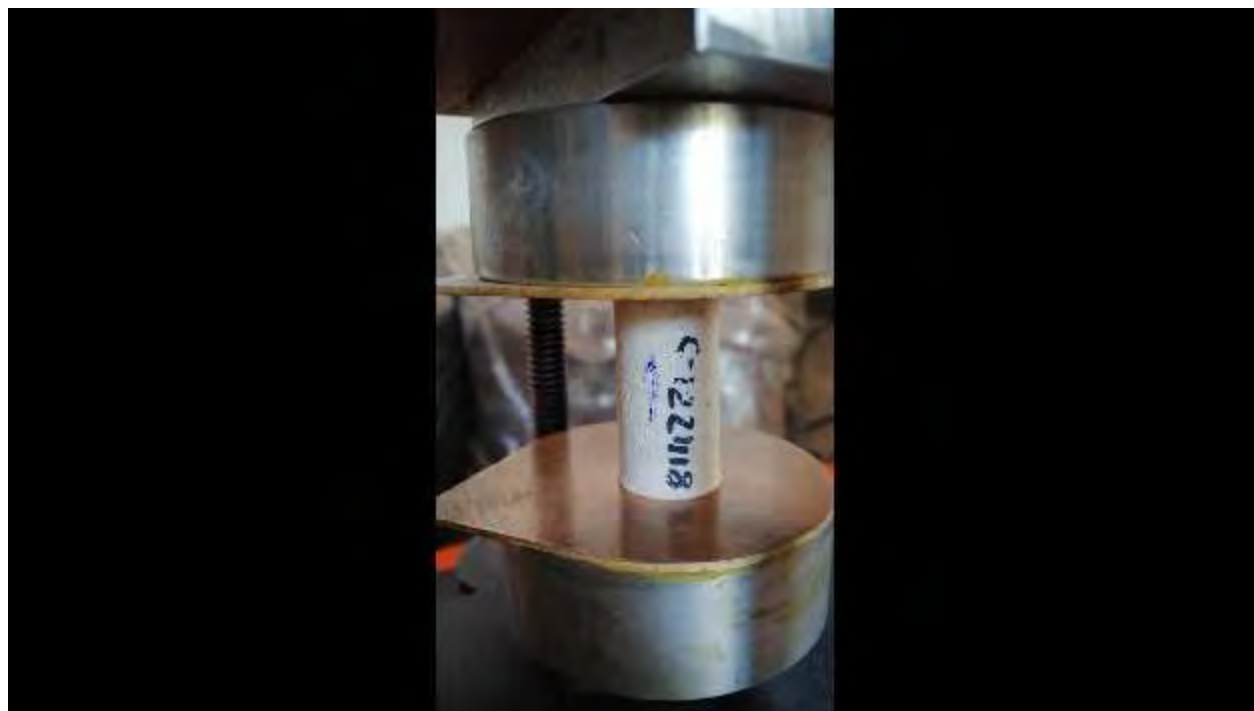


Figura. 4. 445. Fotografía de la C-122118, en la prensa. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 446. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-122118. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 447. Fotografías de la corrida C-2221118. Fuente: (Autoría propia).

De composición 100% CAL ESTANDAR, 275% MARMOLINA Tipo 2, 10% METACAOLIN, 10% CARBONATO DE SODIO, 20% HARINA DE ARRÓZ y A/C= 1:1 (calentada hasta el punto de ebullición y agregada a la mezcla, previamente integrados todos los materiales) (debe ser mezclada hasta alcanzar la trabajabilidad, que se necesita como pasa con todas las familias activadas con CARBONATO DE SODIO), de dimensiones iguales a un diámetro de 22.5mm y longitud de 44.9mm, DENSIDAD = 33.89266 33 g/cm³, que presenta una alta dureza al ser pulido, con poco desprendimiento. (Autoría propia).C

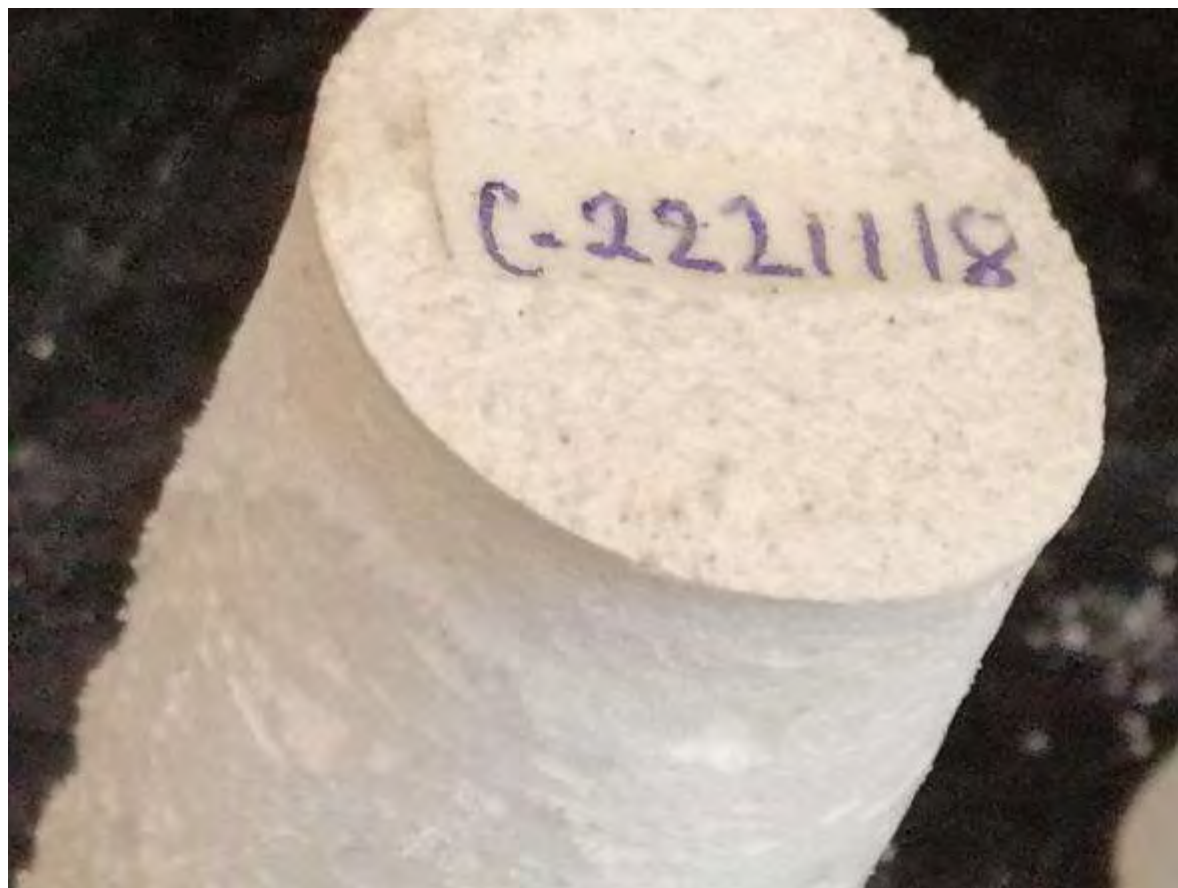


Figura. 4. 448. Imágenes de la corrida C-2221118, con presencia de eflorescencias en su parte externa. (autoría propia).

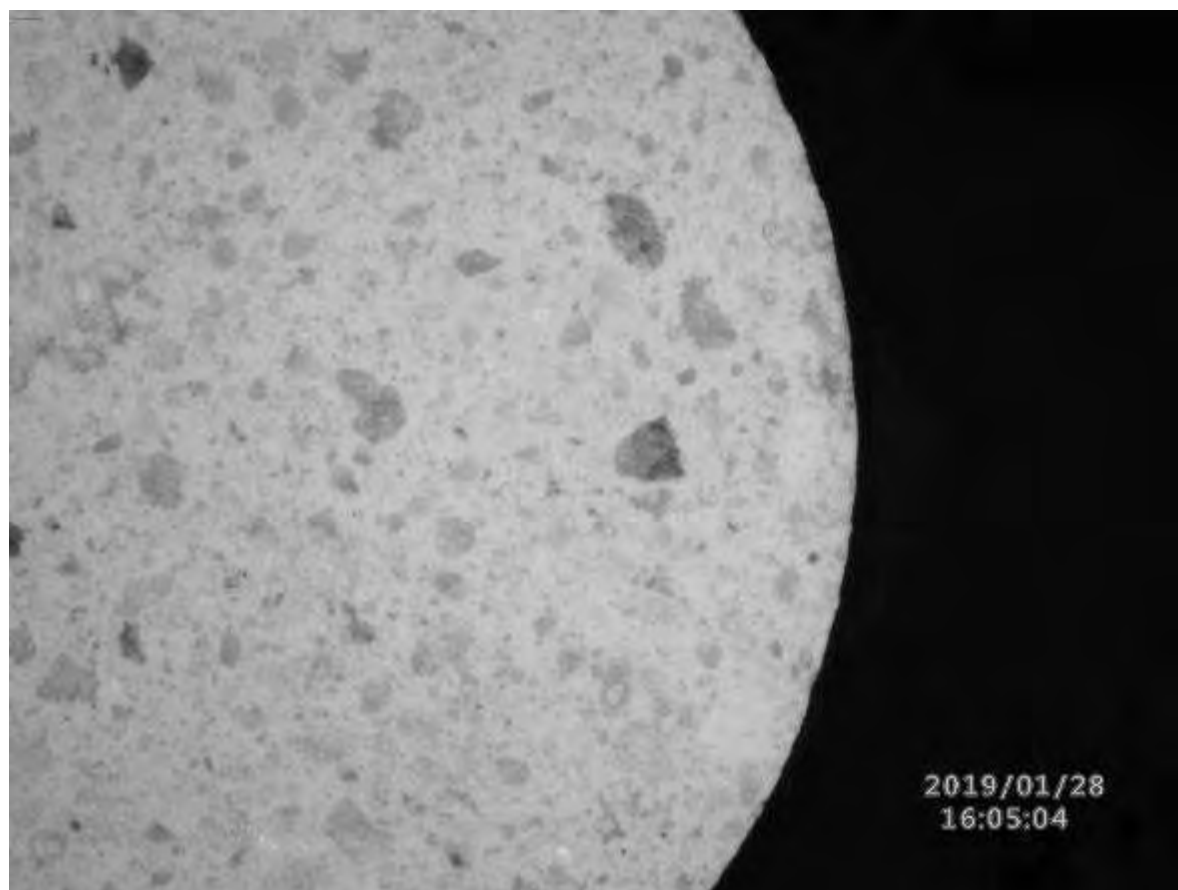


Figura. 4. 449. Microscopia de la C-2221118. Fuente: Autoría propia.

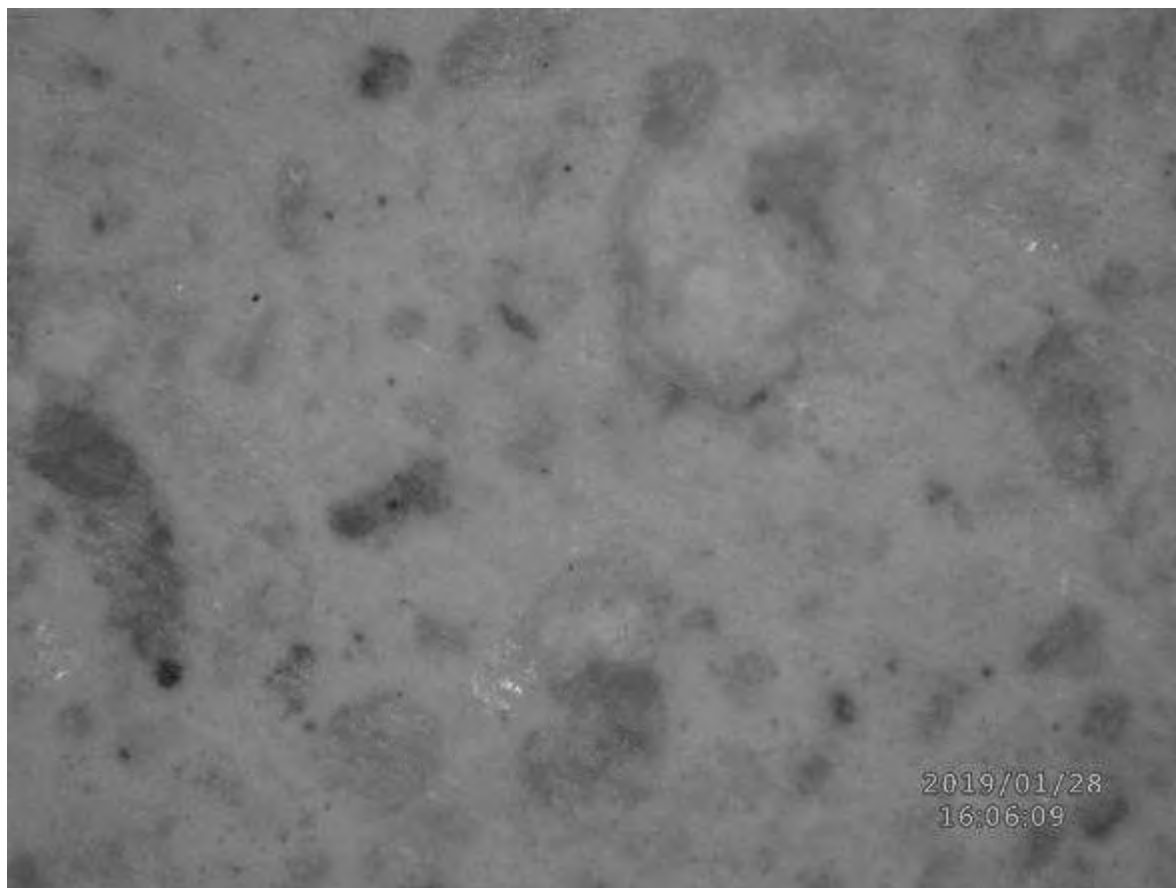


Figura. 4. 450. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-222111818, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

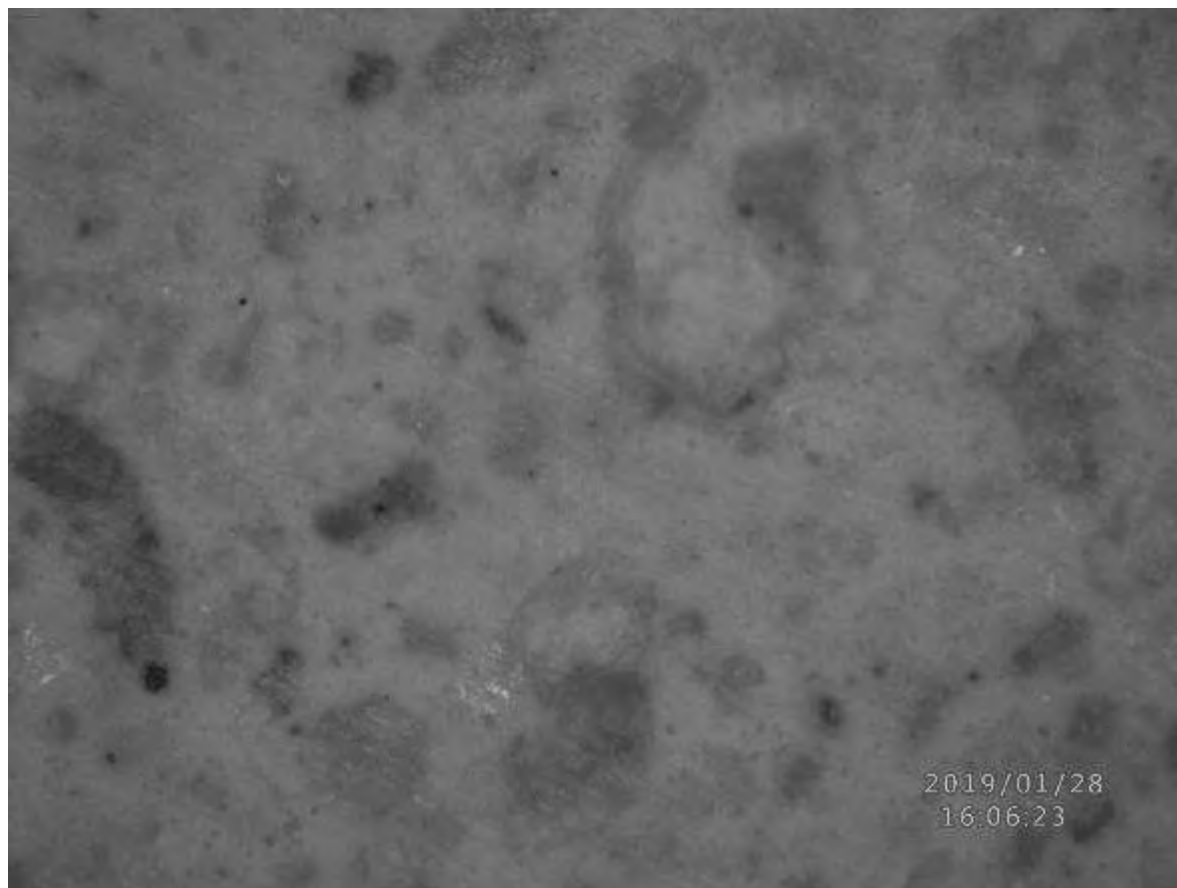


Figura. 4. 451. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2221118, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

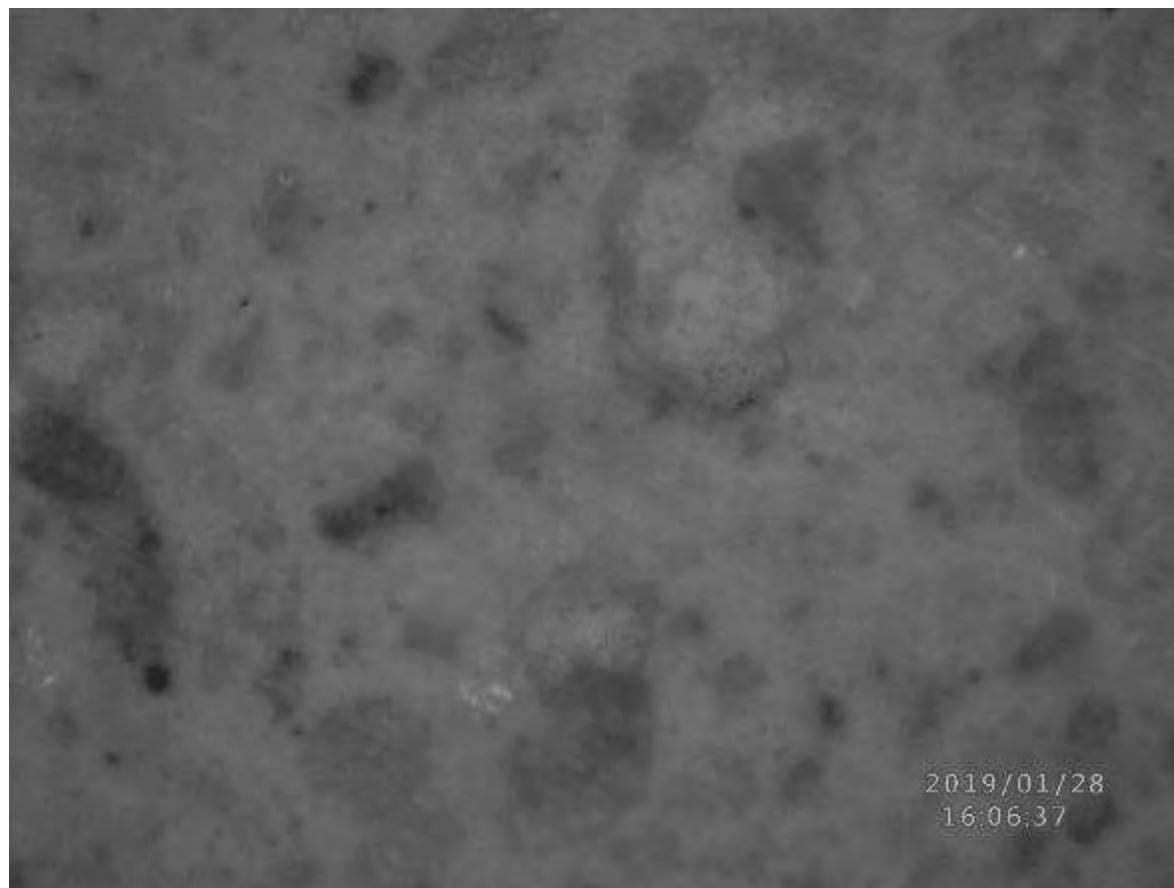


Figura. 4. 452. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2221118, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

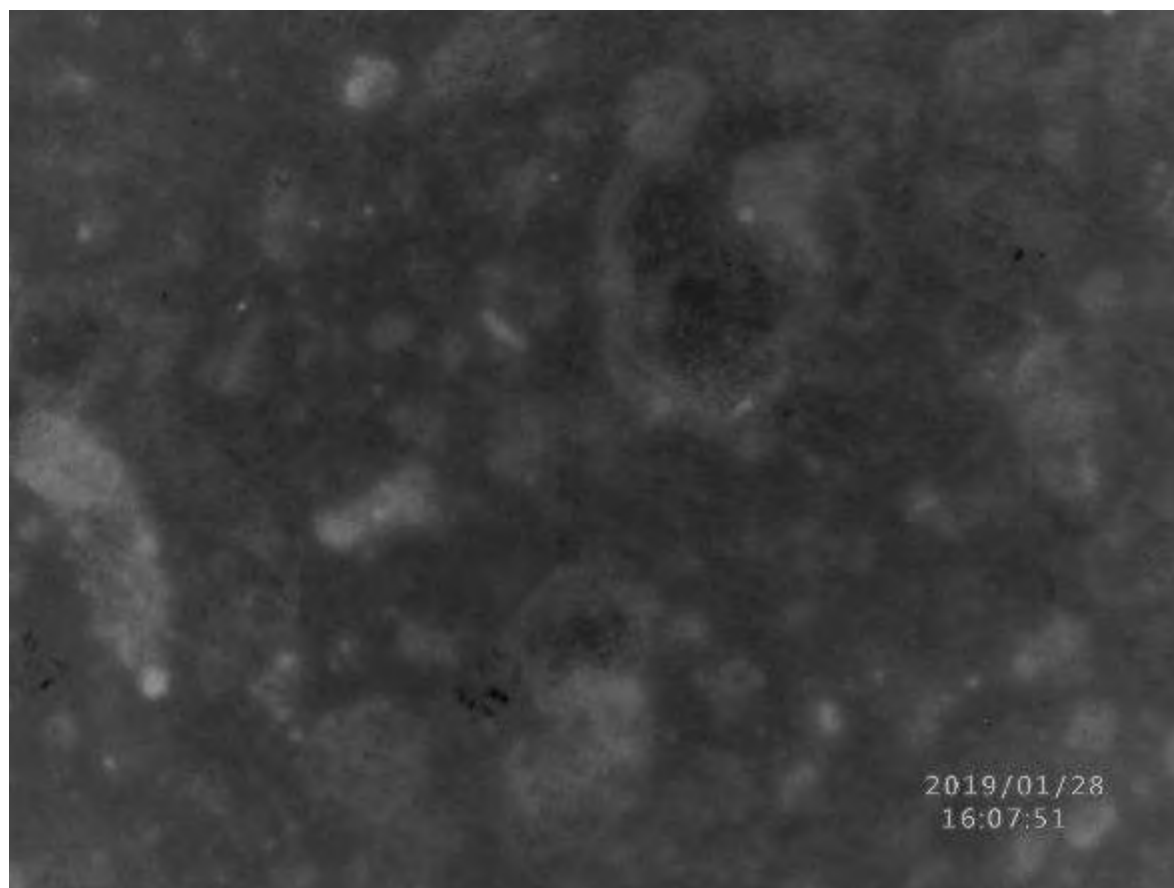


Figura. 4. 453. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2221118, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

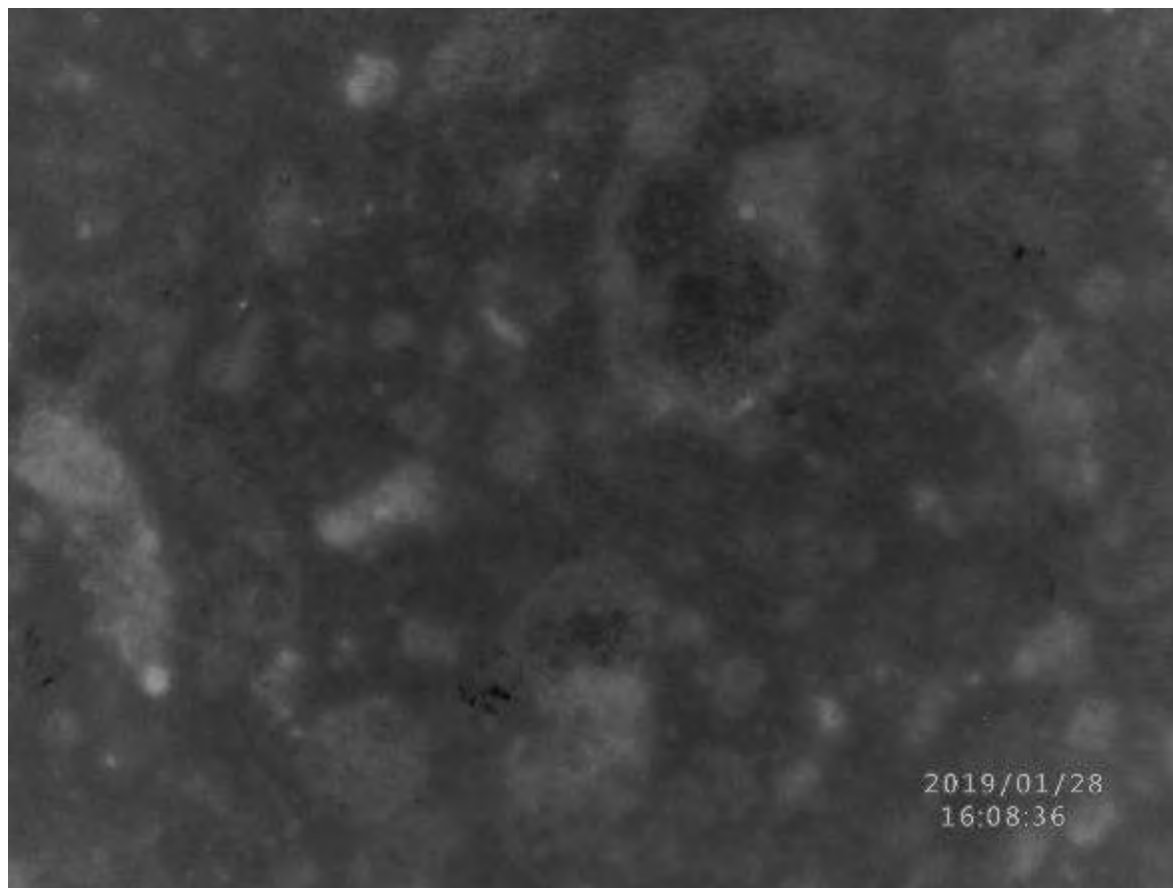


Figura. 4. 454. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2221118, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

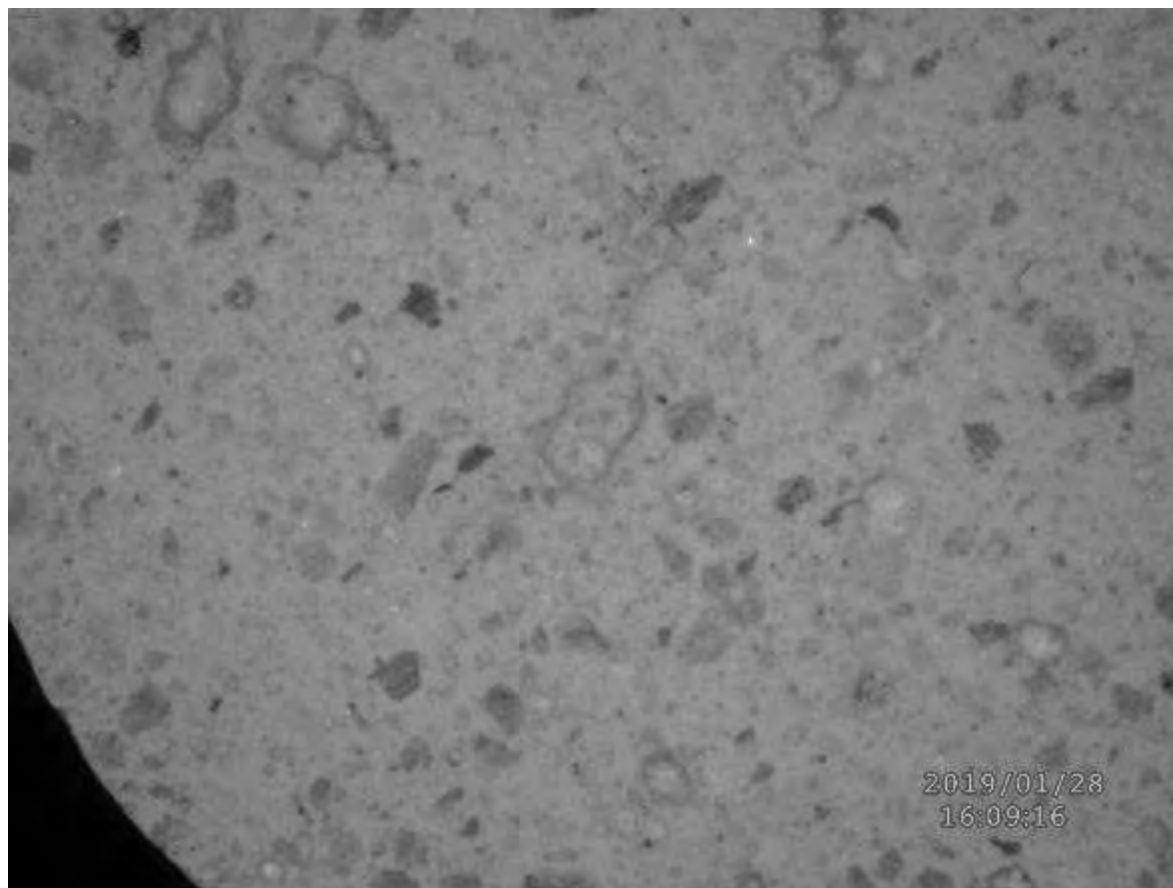


Figura. 4. 455. Microscopia de la C-2221118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 456. Microscopia de la C-2221118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

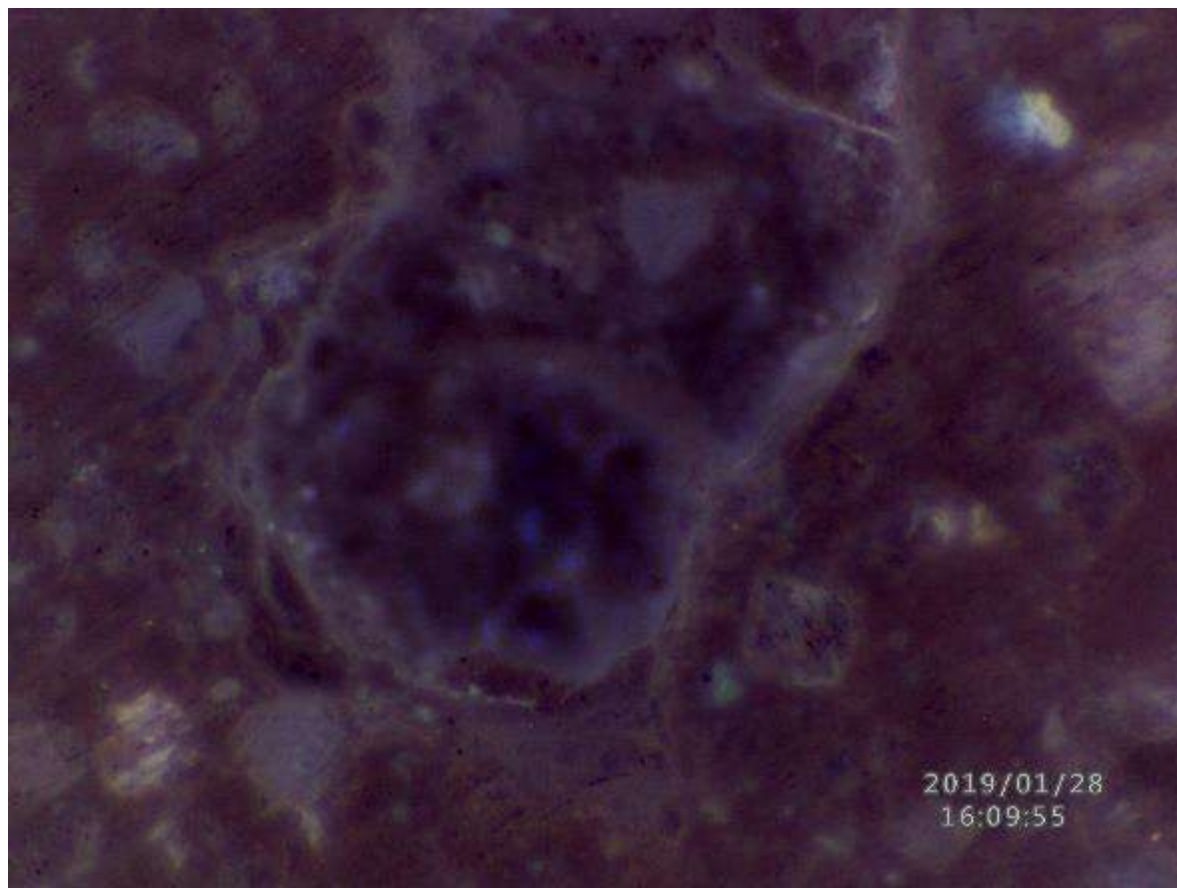


Figura. 4. 457. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2221118, con un filtro negativo bajo una luz normal.
Fuente: (autoría propia).

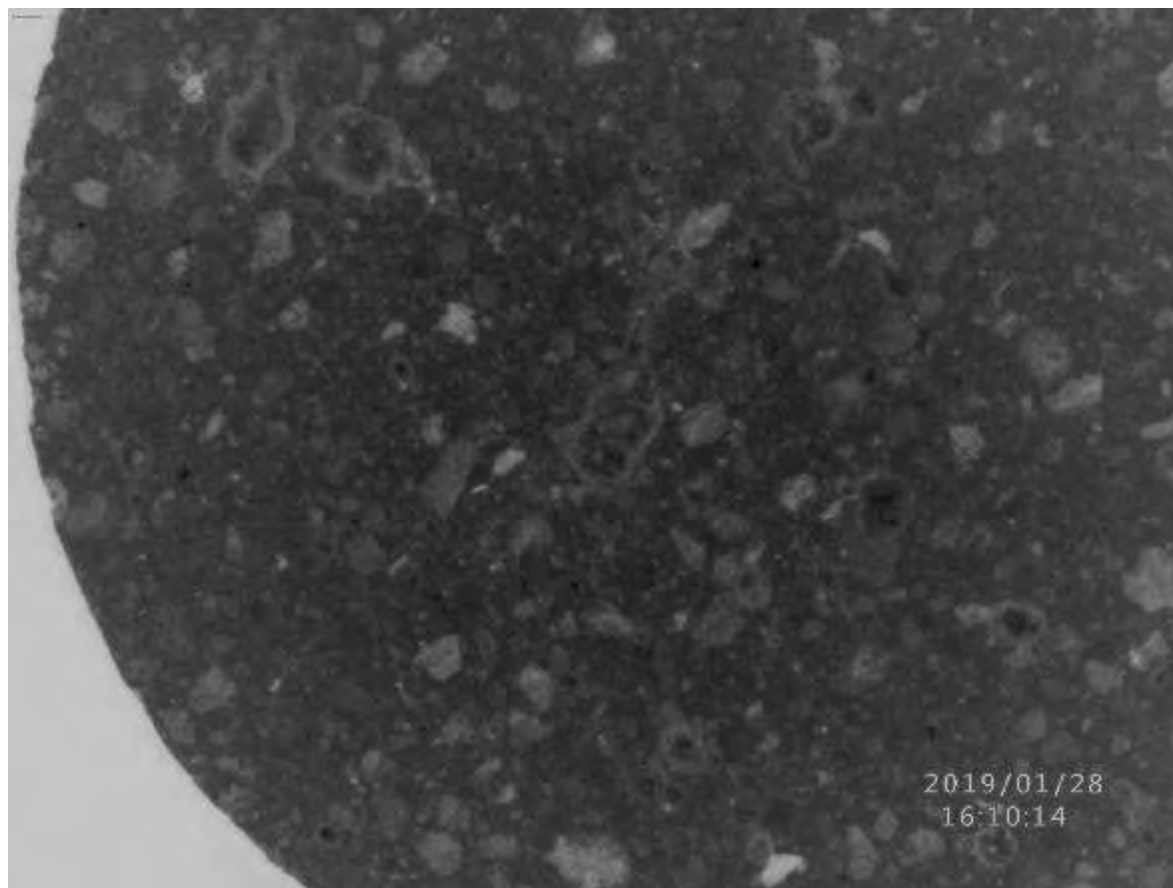
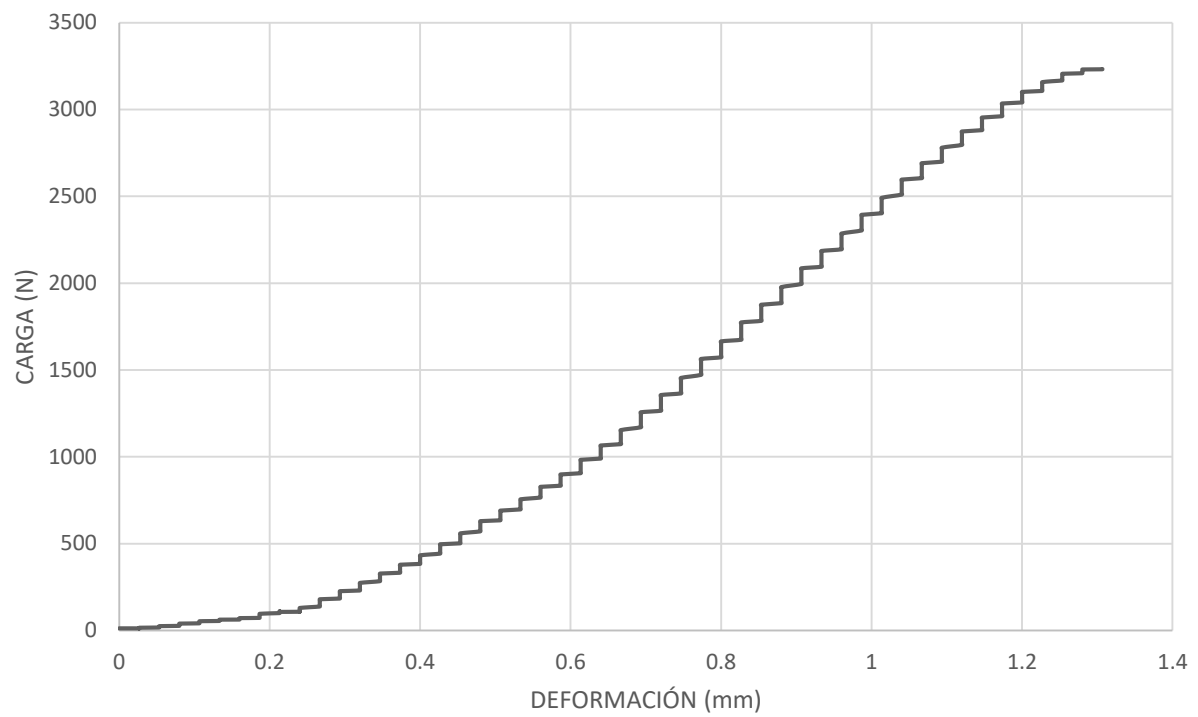


Figura. 4. 458. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2221118, con un filtro negativo bajo una luz normal.
Fuente: (autoría propia).

CARGA-DEFORMACIÓN



Gráficas 4. 36. Curva Carga-Deformación de la C-2221118, en N-mm. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 459. Fotografía de la C-222118, en la prensa. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 460. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-222118. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 461. Fotografías de la corrida C-1271118. Fuente: (Autoría propia).

De composición 100% CAL ESTANDAR, 275% MARMOLINA Tipo 2, 5% METACAOLIN, 5% CARBONATO DE SODIO, 10% HARINA DE ARRÓZ y A/C= 1.1:1(calentada hasta el punto de ebullición y agregada a la mezcla, previamente integrados todos los materiales) (debe ser mezclada hasta alcanzar la trabajabilidad, que se necesita como pasa con todas las familias activadas con CARBONATO DE SODIO), de dimensiones iguales a un diámetro de 22.8mm y longitud de 44.4mm, DENSIDAD = 33.8325793 g/cm³, que presenta una alta dureza al ser pulido, con poco desprendimiento. (Autoría propia).

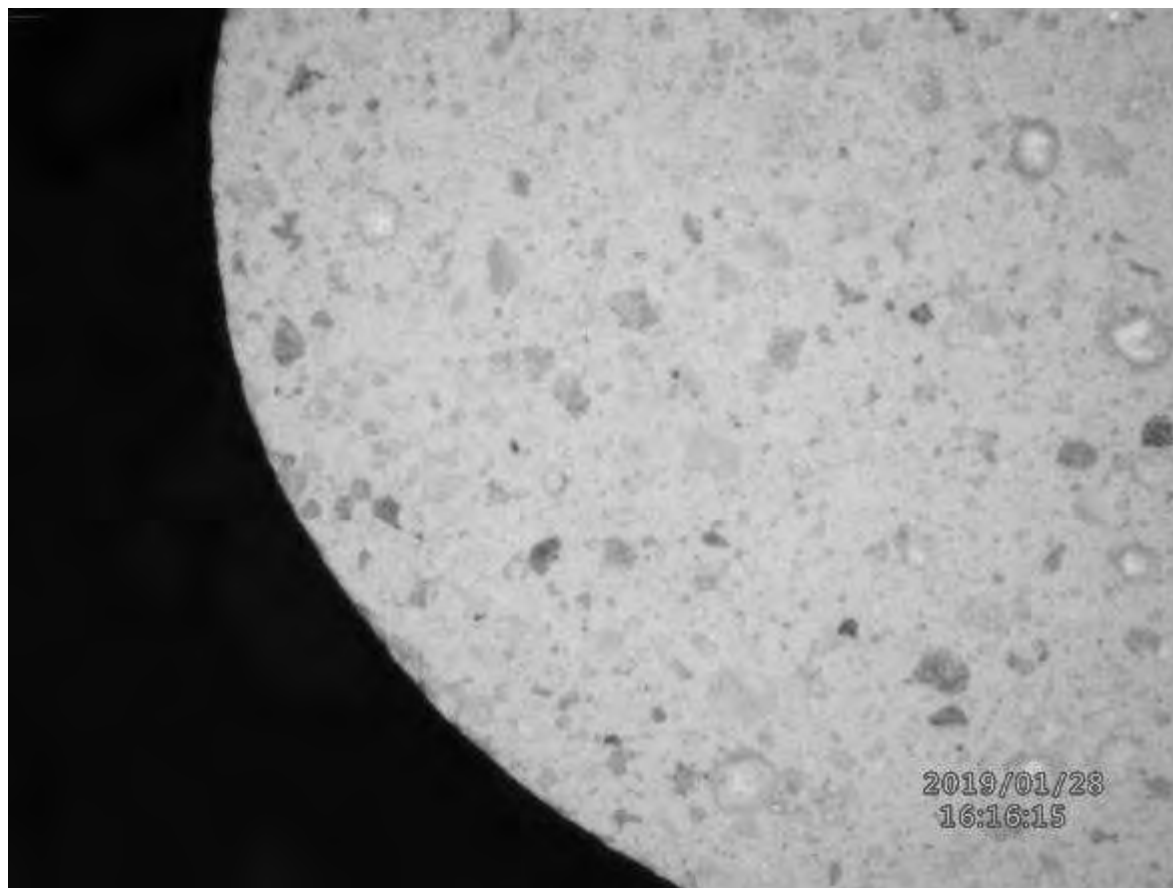


Figura. 4. 462. Microscopia de la C-1271118. Fuente: Autoría propia.

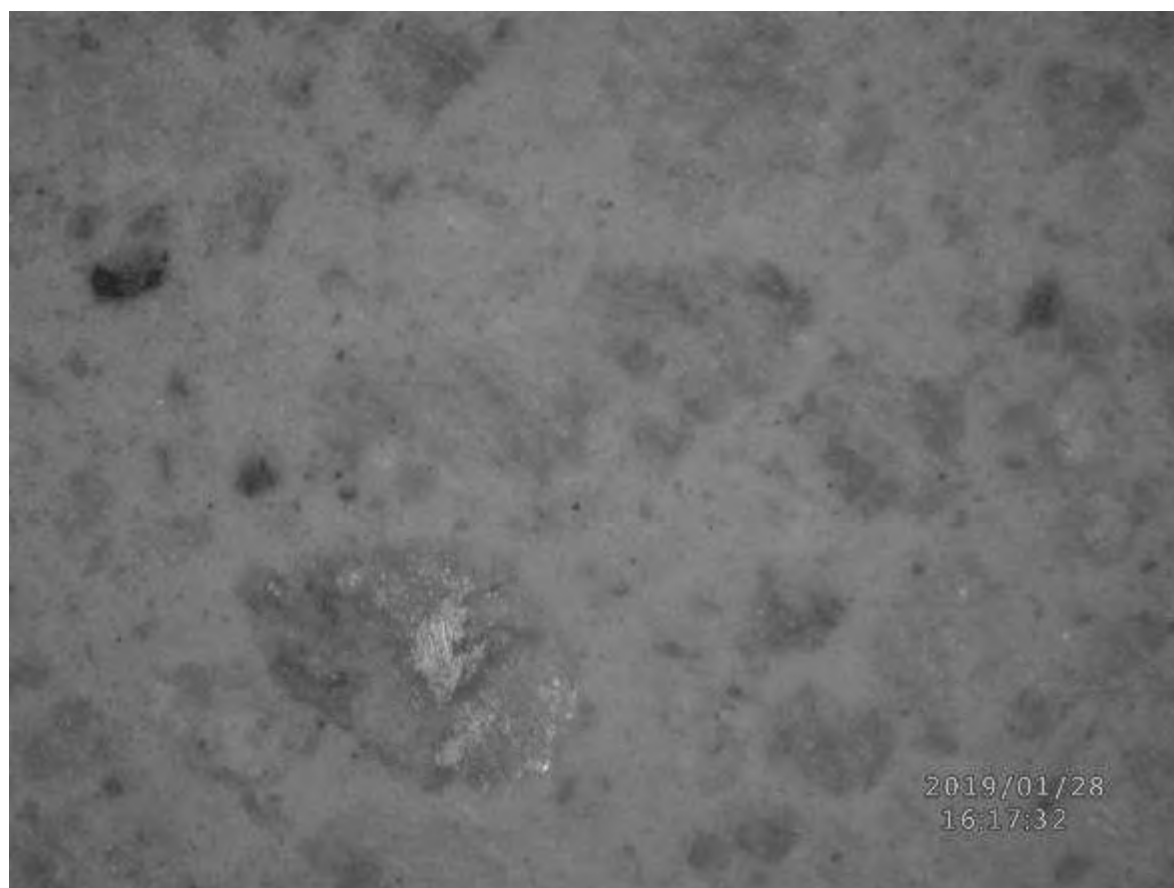


Figura. 4. 463. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1271118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

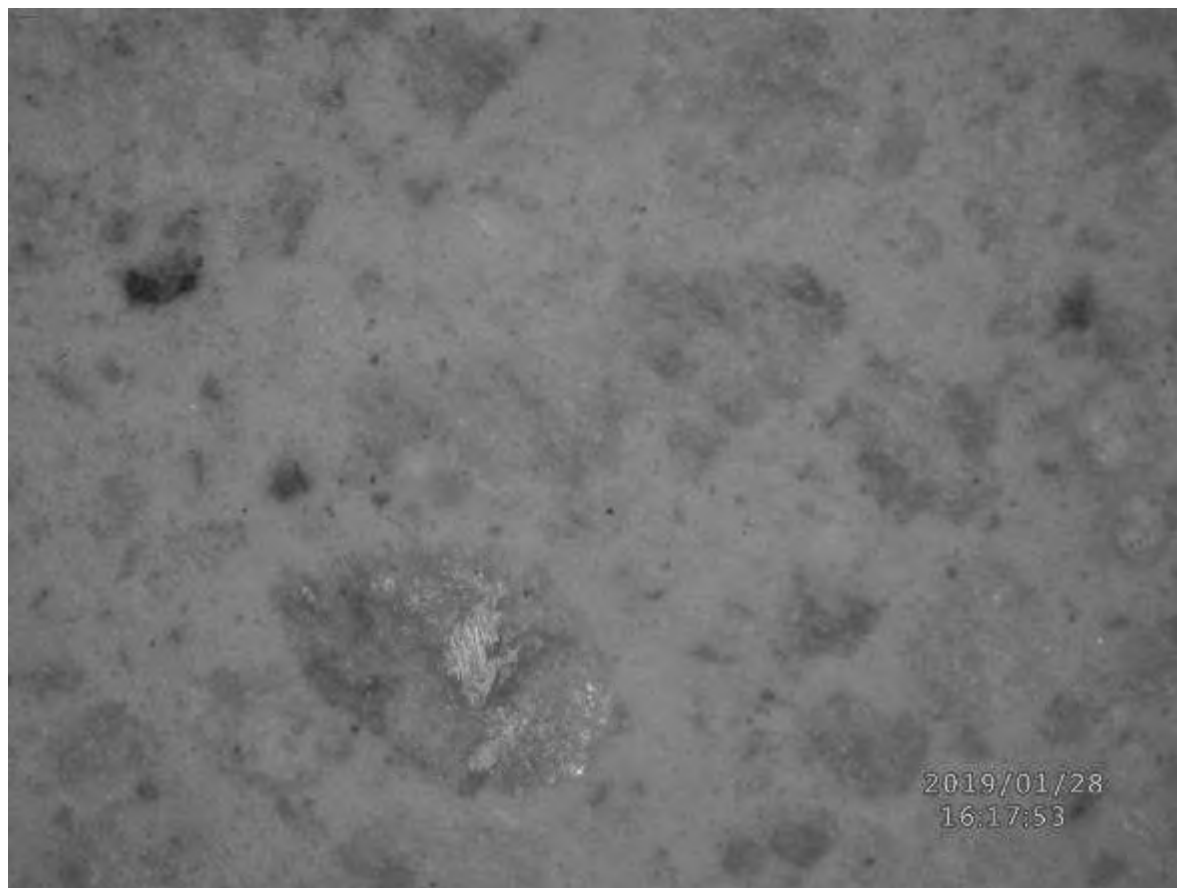


Figura. 4. 464. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1271118, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

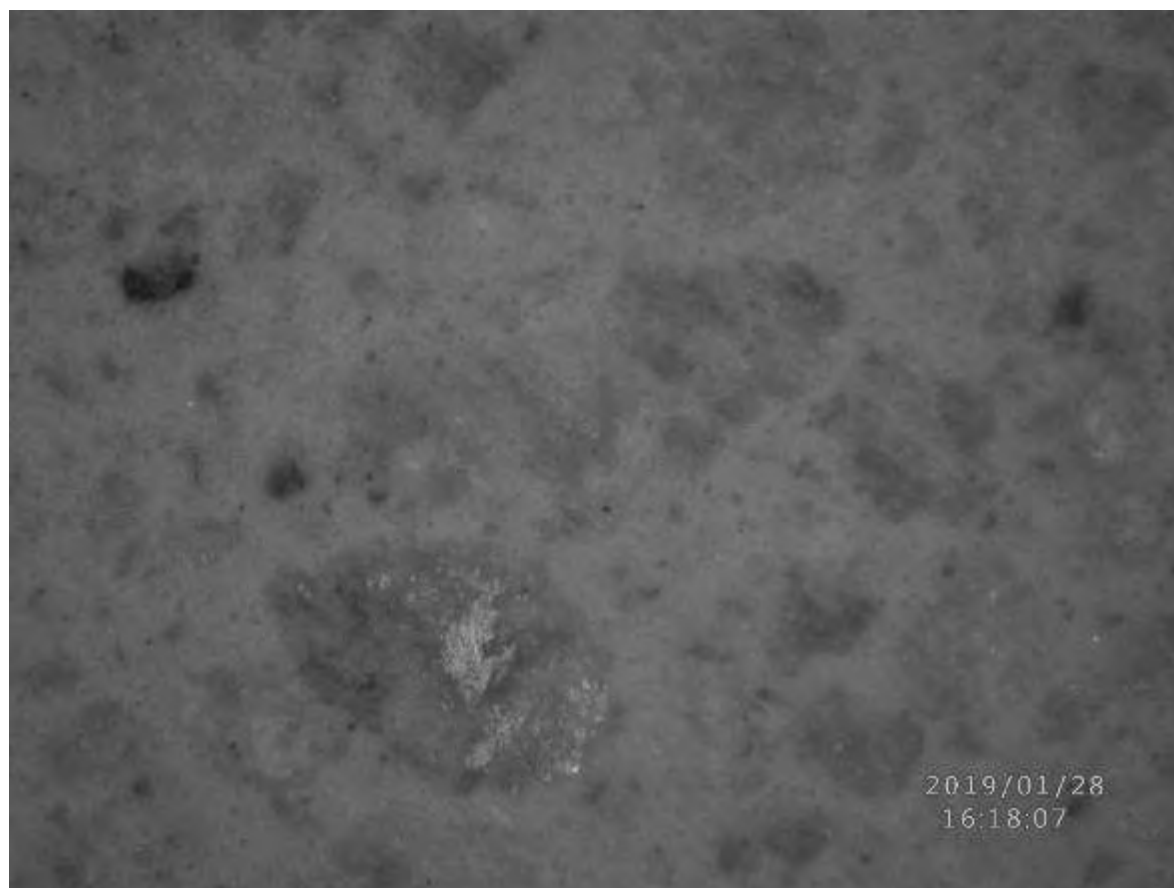


Figura. 4. 465. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1271118, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

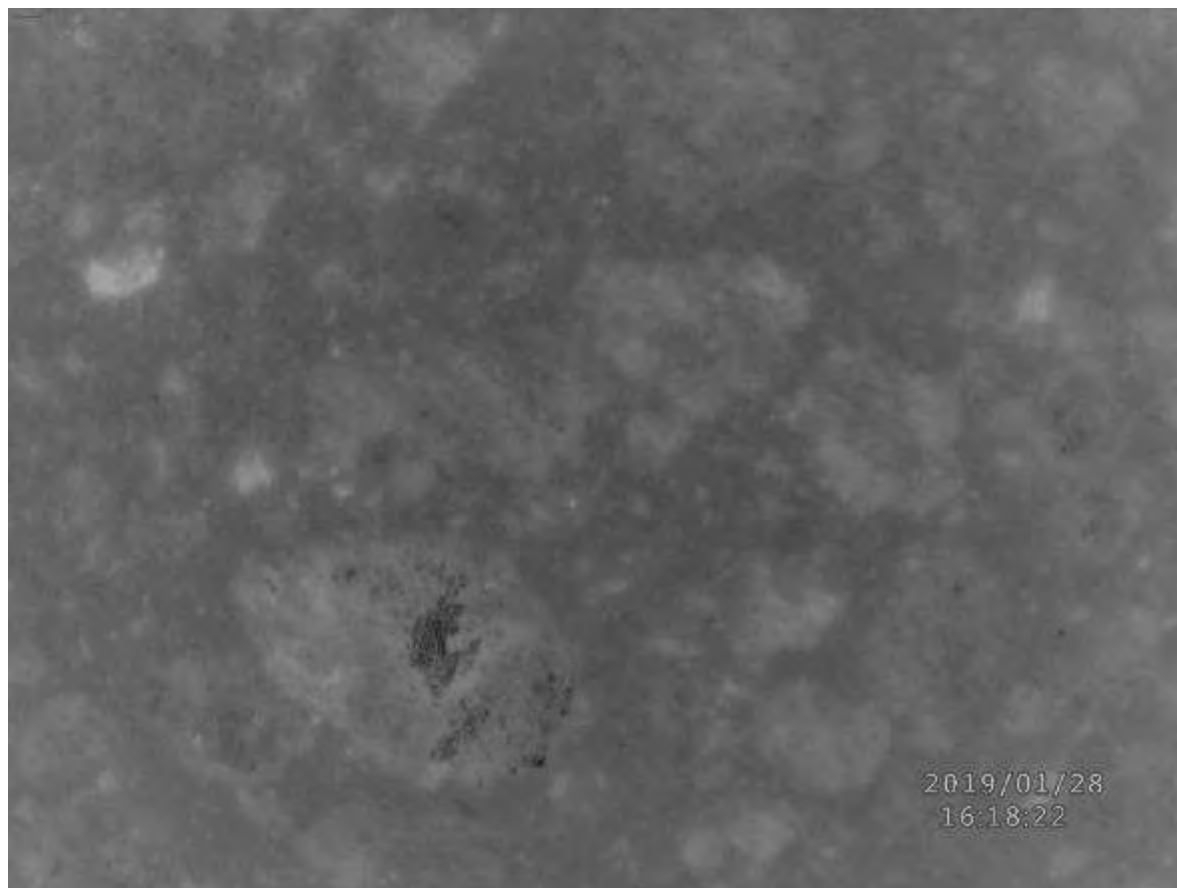


Figura. 4. 466. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1271118, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

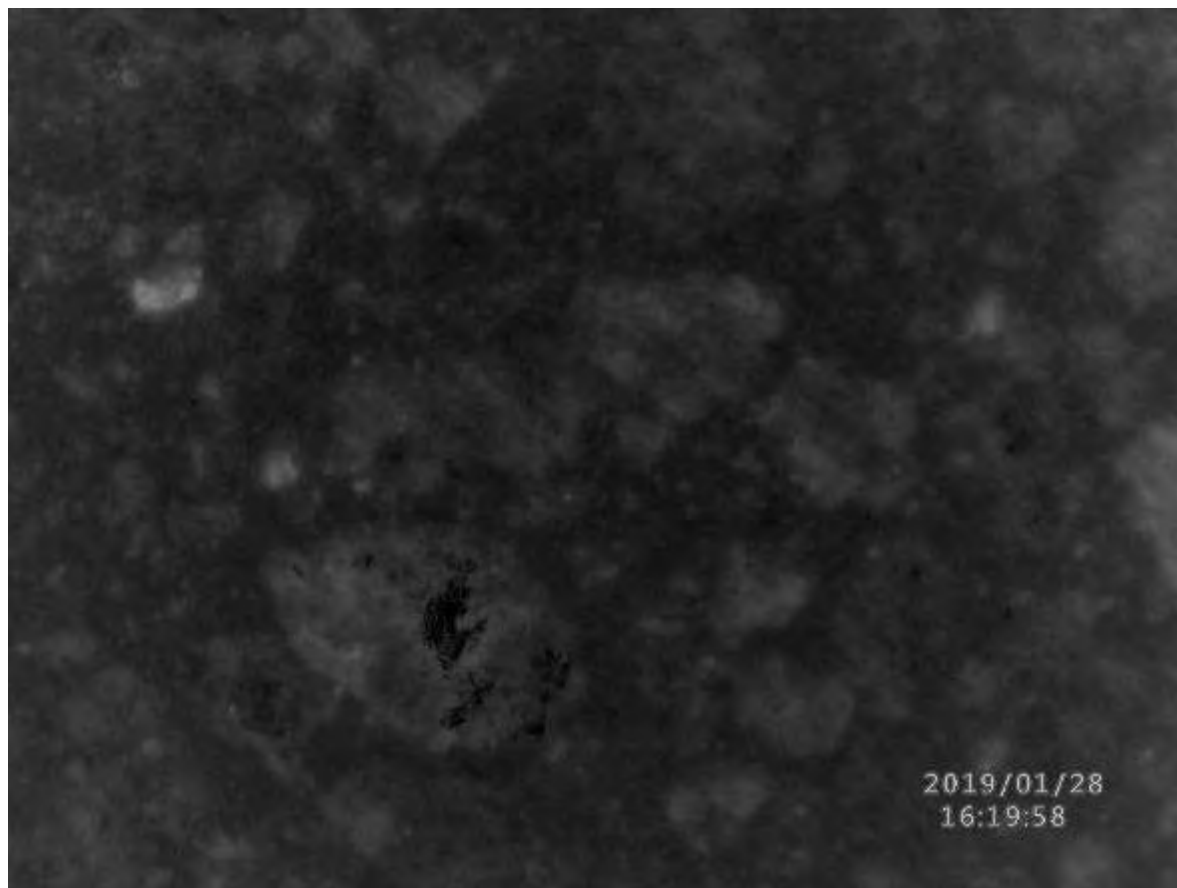


Figura. 4. 467. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1271118, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

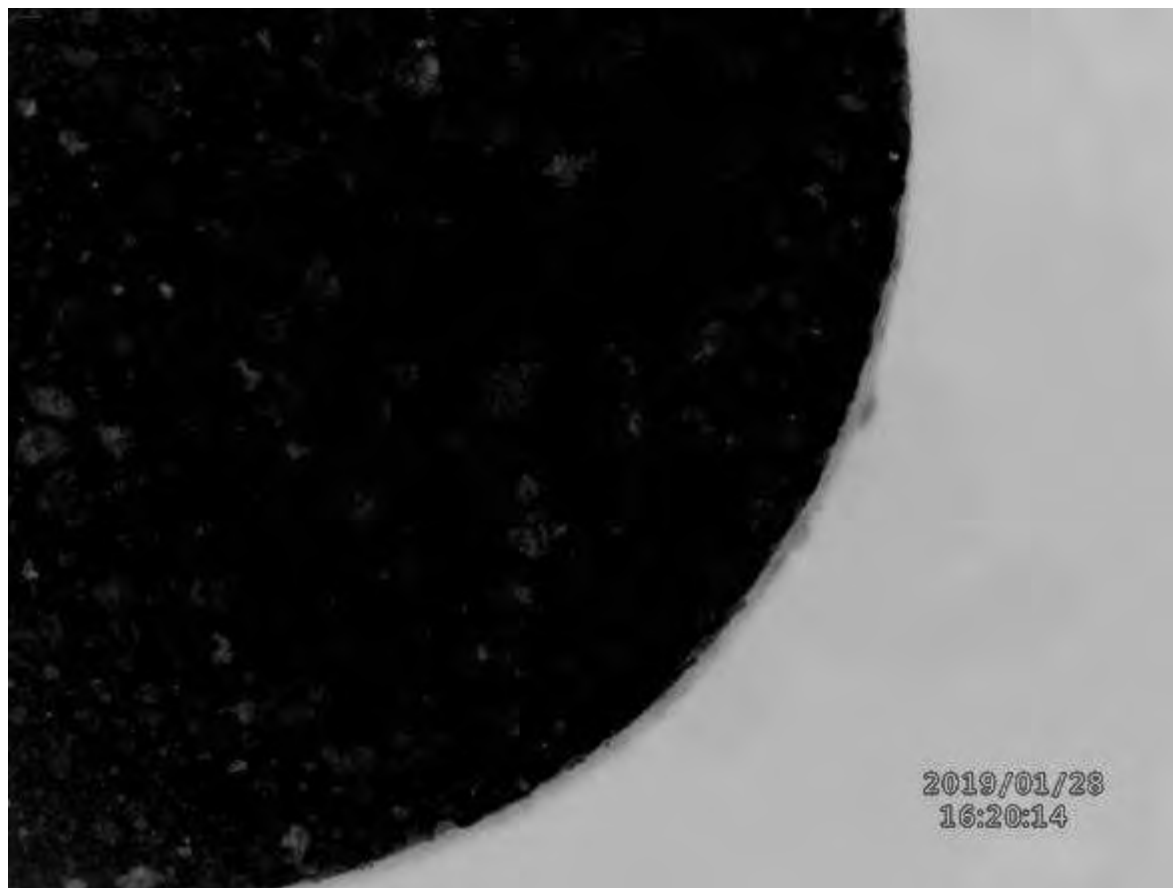


Figura. 4. 468. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1271118, con un filtro negativo bajo una luz normal.
Fuente: (autoría propia).

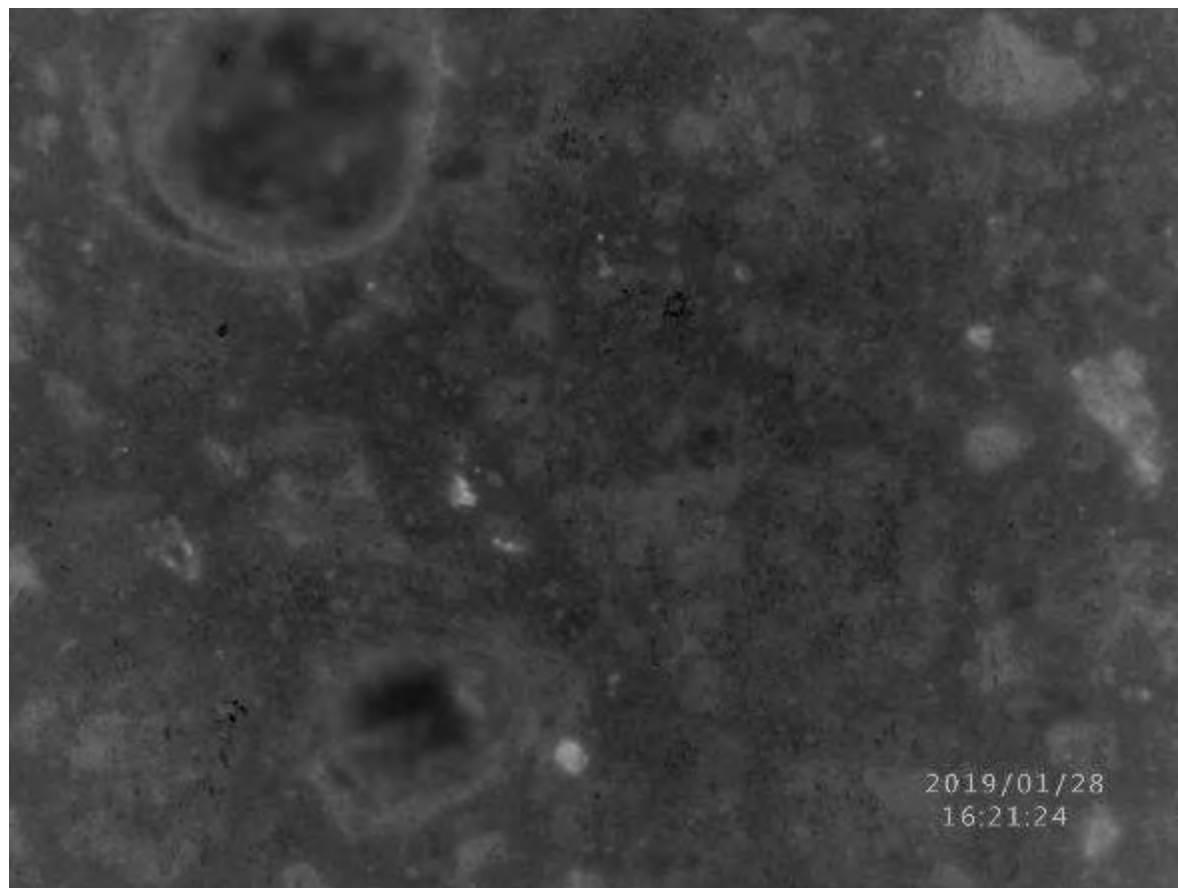


Figura. 4. 469. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1271118, con un filtro negativo bajo una luz normal.
Fuente: (autoría propia).

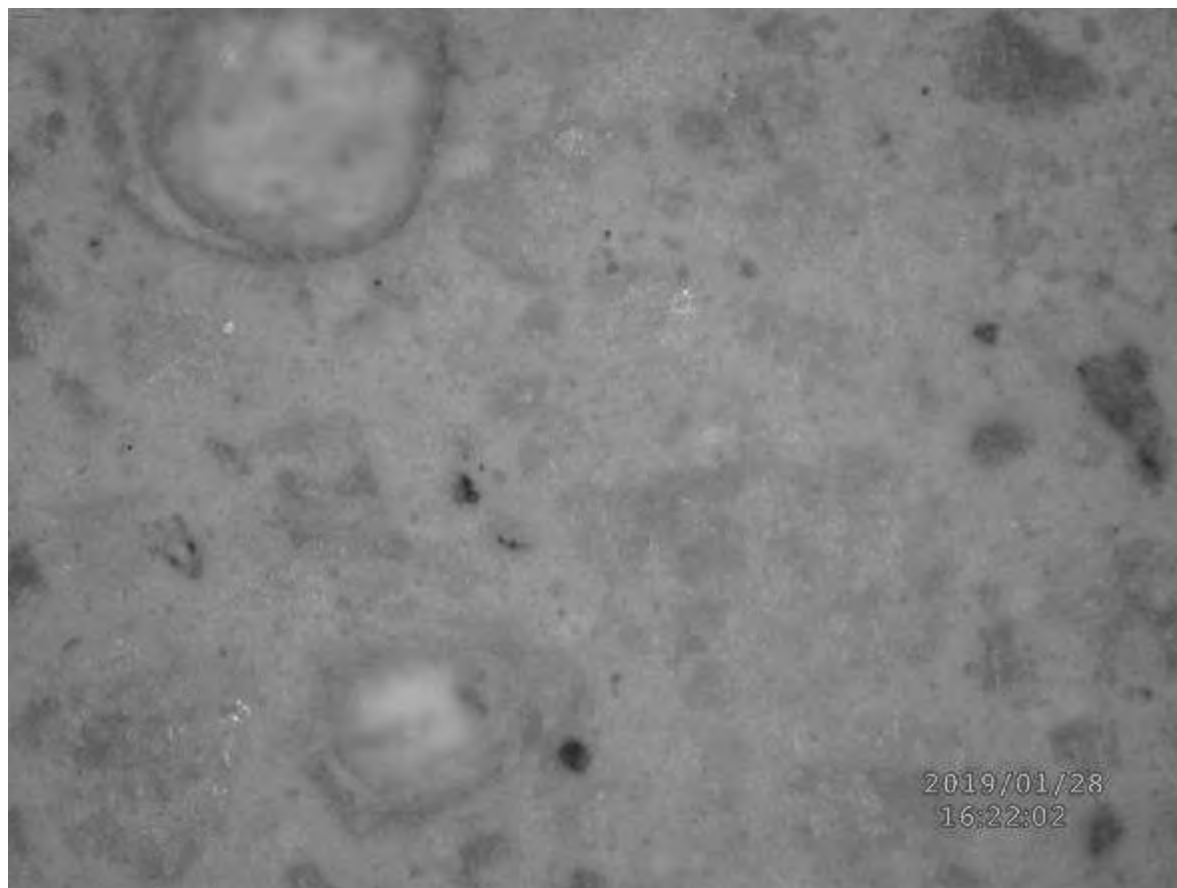
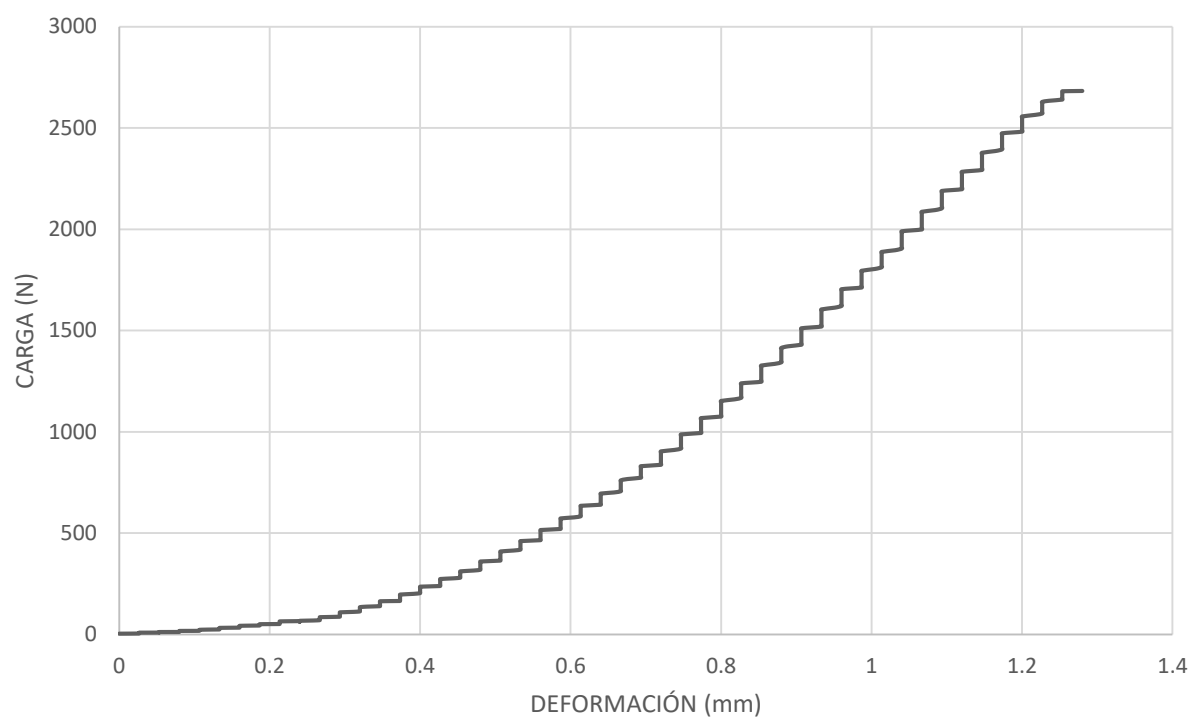


Figura. 4. 470. Microscopia de la C-1271118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 471. Microscopia de la C-1271118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

CARGA-DEFORMACIÓN



Gráficas 4. 37. Curva Carga-Deformación de la C-1271118, en N-mm. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 472. Fotografía de la C-1271118, en la prensa. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 473. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-1271118. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 474. Fotografías de la corrida C-2271118. Fuente: (Autoría propia).

De composición 100% CAL ESTANDAR, 275% MARMOLINA Tipo 2, 10% METACAOLIN, 5% CARBONATO DE SODIO, 10% HARINA DE ARRÓZ y A/C= 1.1:1 (calentada hasta el punto de ebullición y agregada a la mezcla, previamente integrados todos los materiales) (debe ser mezclada hasta alcanzar la trabajabilidad, que se necesita como pasa con todas las familias activadas con CARBONATO DE SODIO), de dimensiones iguales a un diámetro de 22.1mm y longitud de 44.9mm, DENSIDAD = $34.4425898 \text{ g/cm}^3$, que presenta una alta dureza al ser pulido, con poco desprendimiento. (Autoría propia).

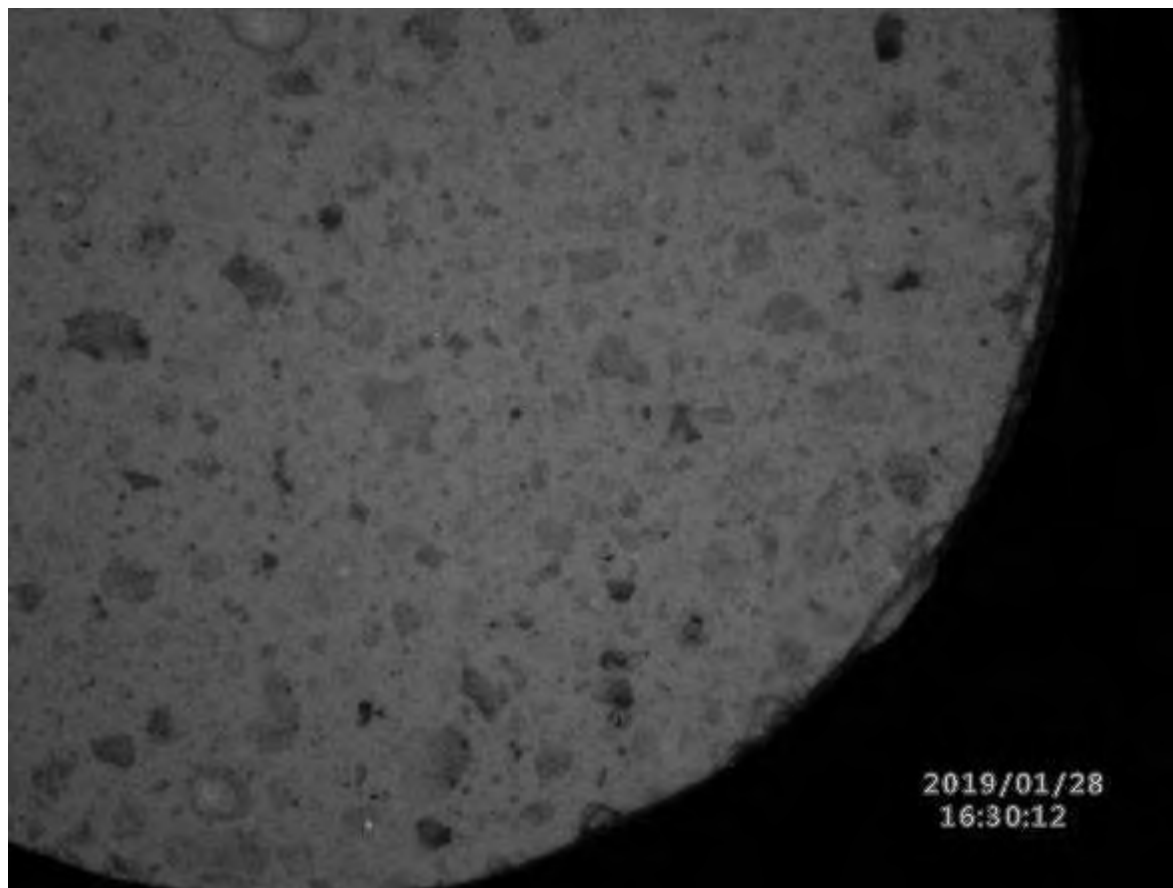


Figura. 4. 475. Microscopia de la C-2271118. Fuente: Autoría propia.

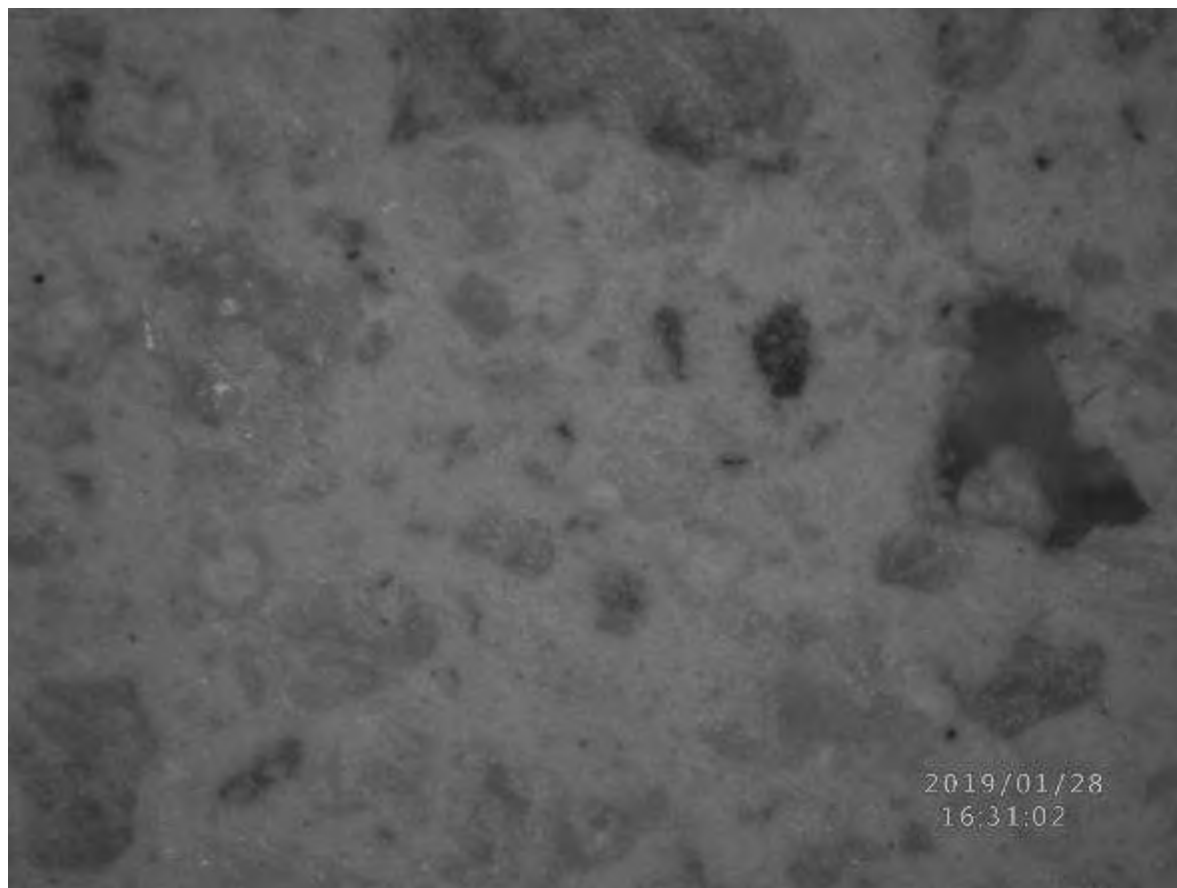


Figura. 4. 476. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2271118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

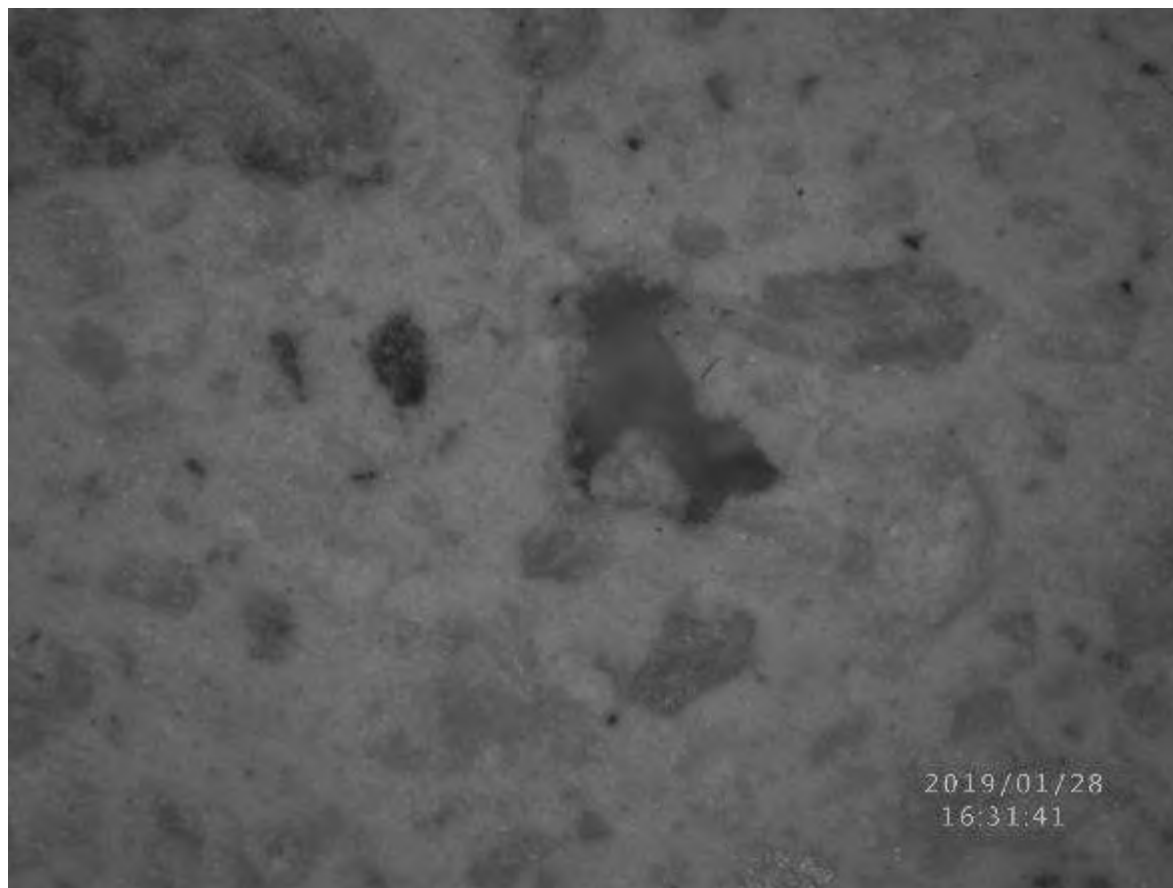


Figura. 4. 477. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2271118, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

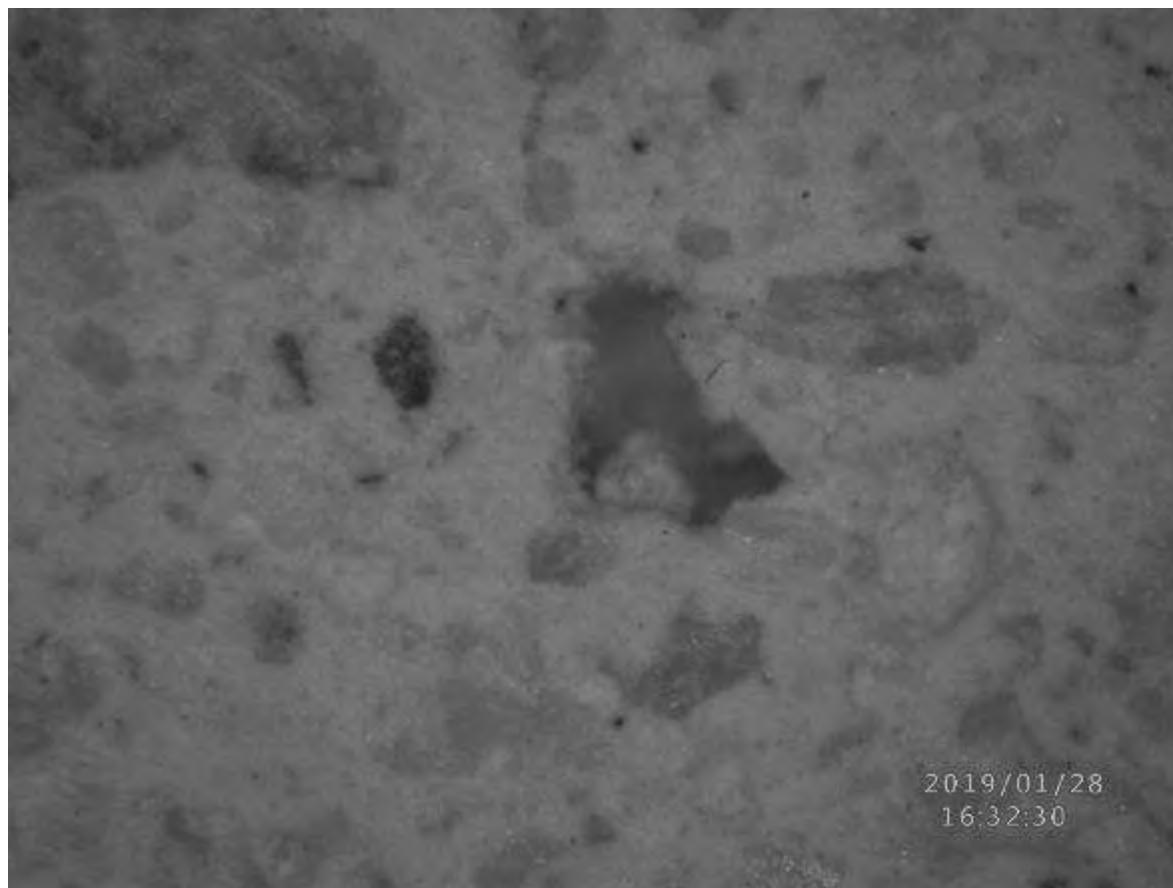


Figura. 4. 478. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2271118, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

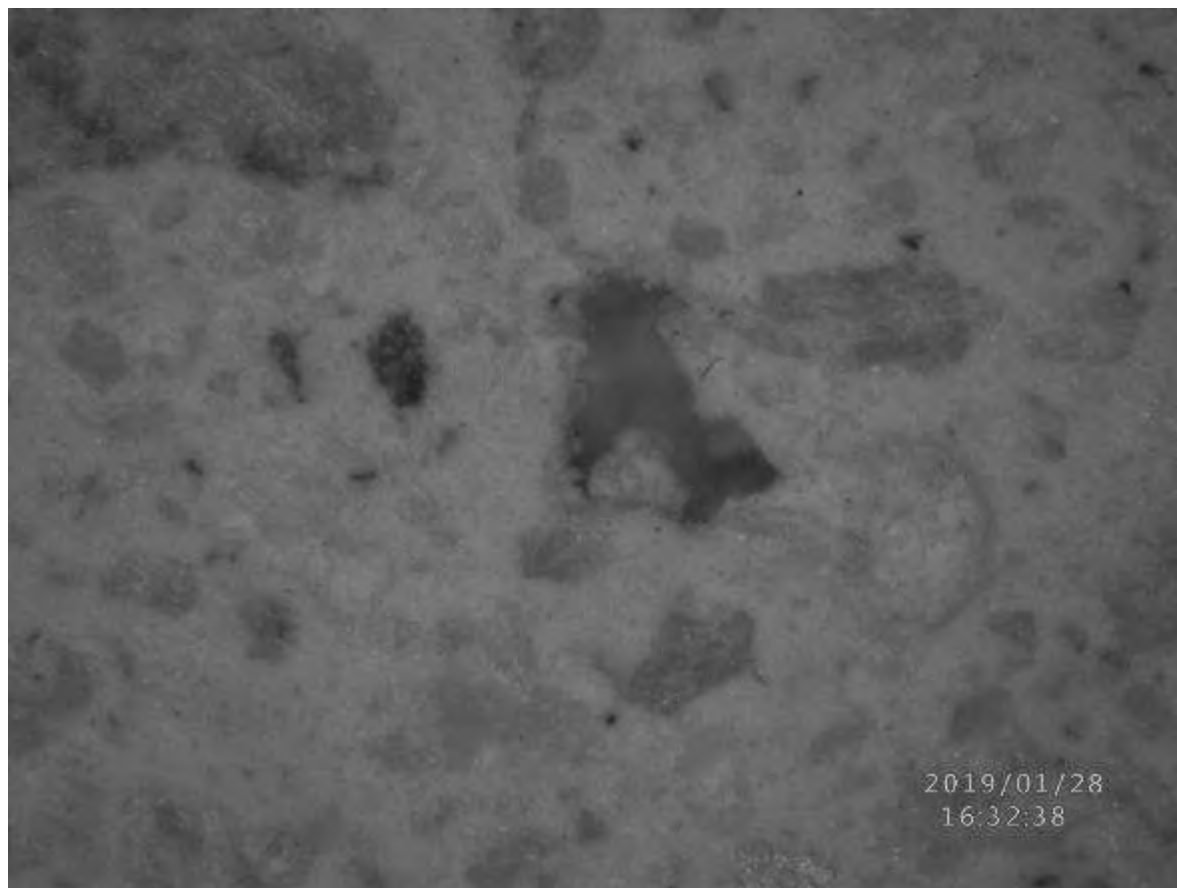


Figura. 4. 479. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2271118, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

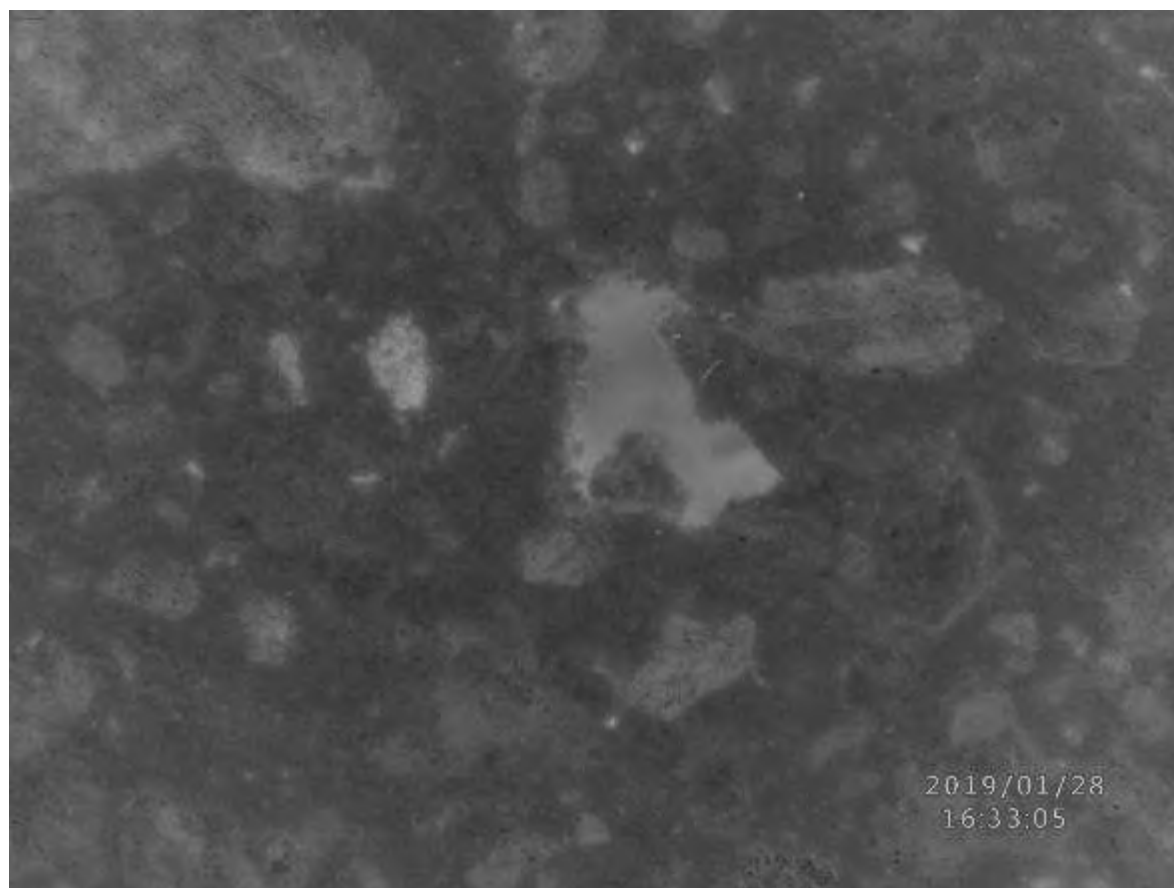


Figura. 4. 480. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2271118, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

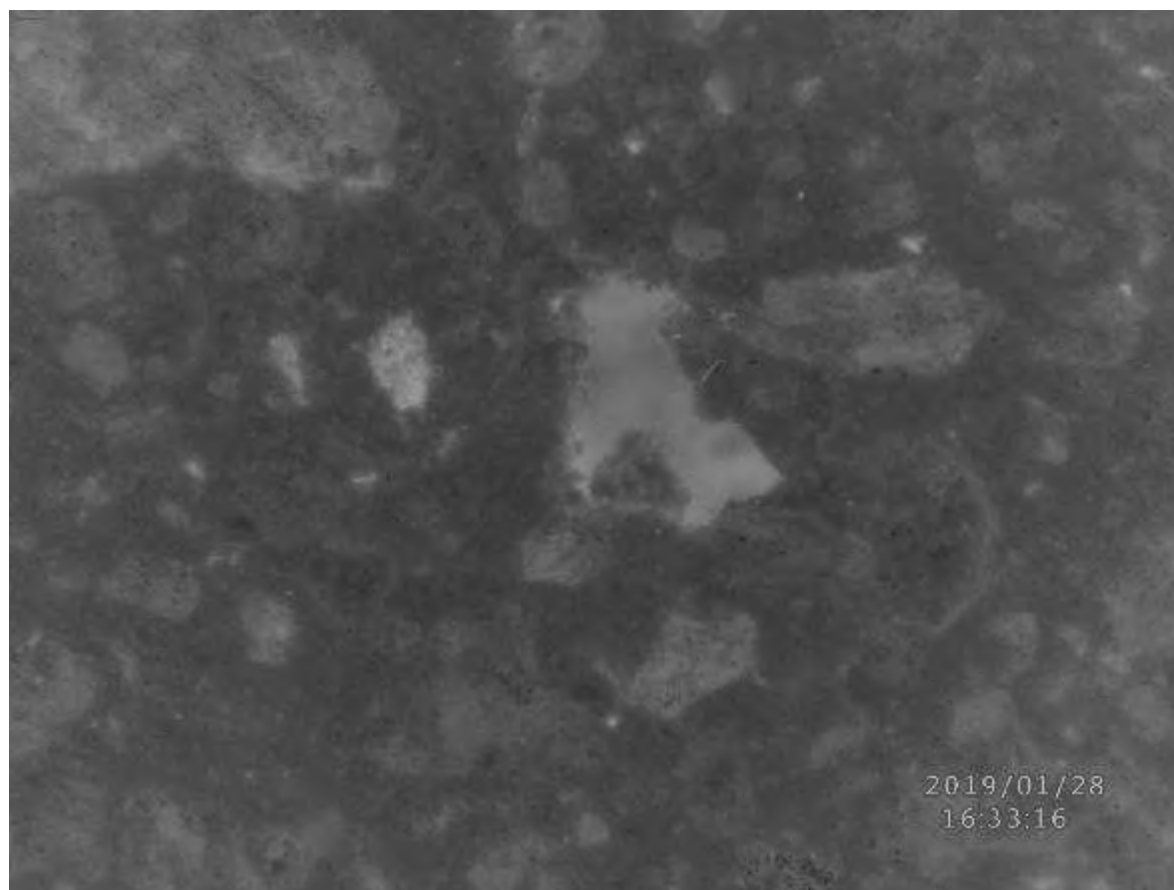


Figura. 4. 481. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2271118, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

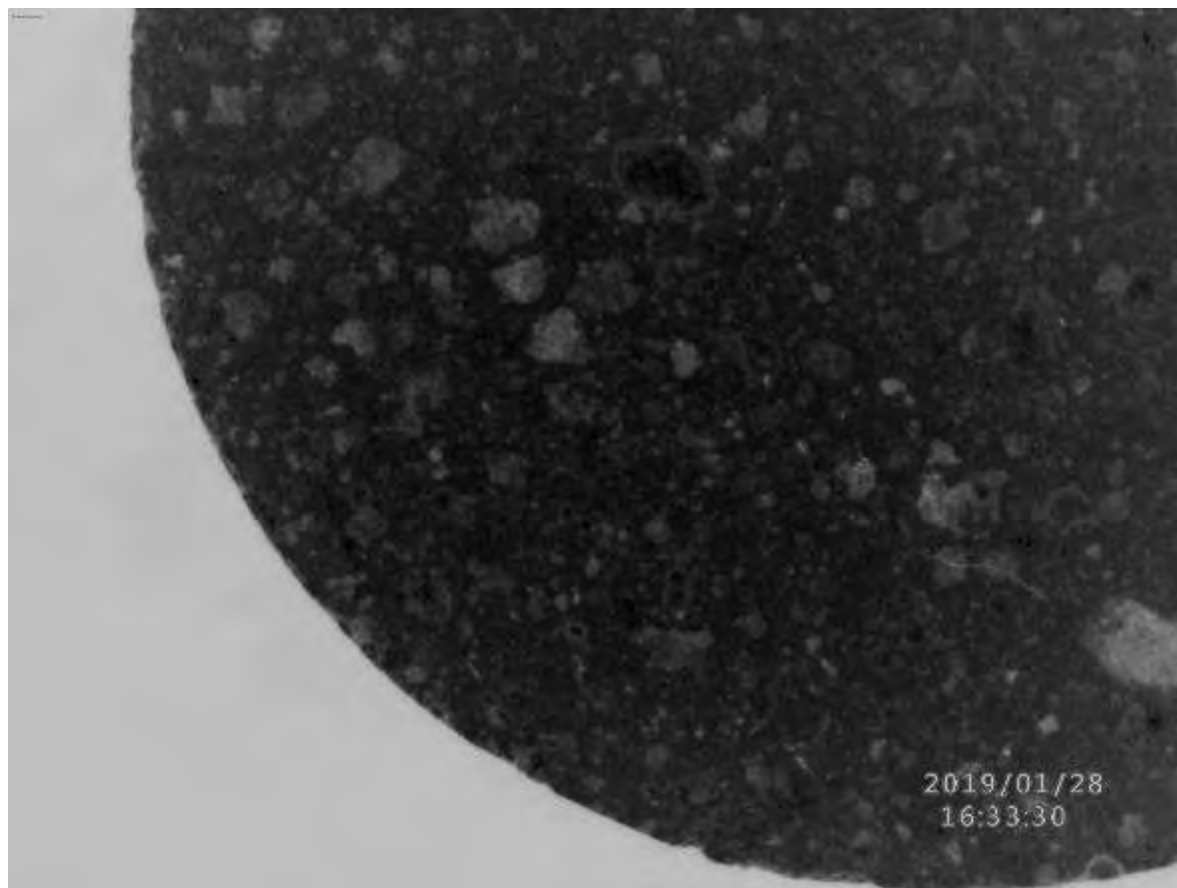


Figura. 4. 482. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2271118, con un filtro negativo bajo una luz normal.
Fuente: (autoría propia).

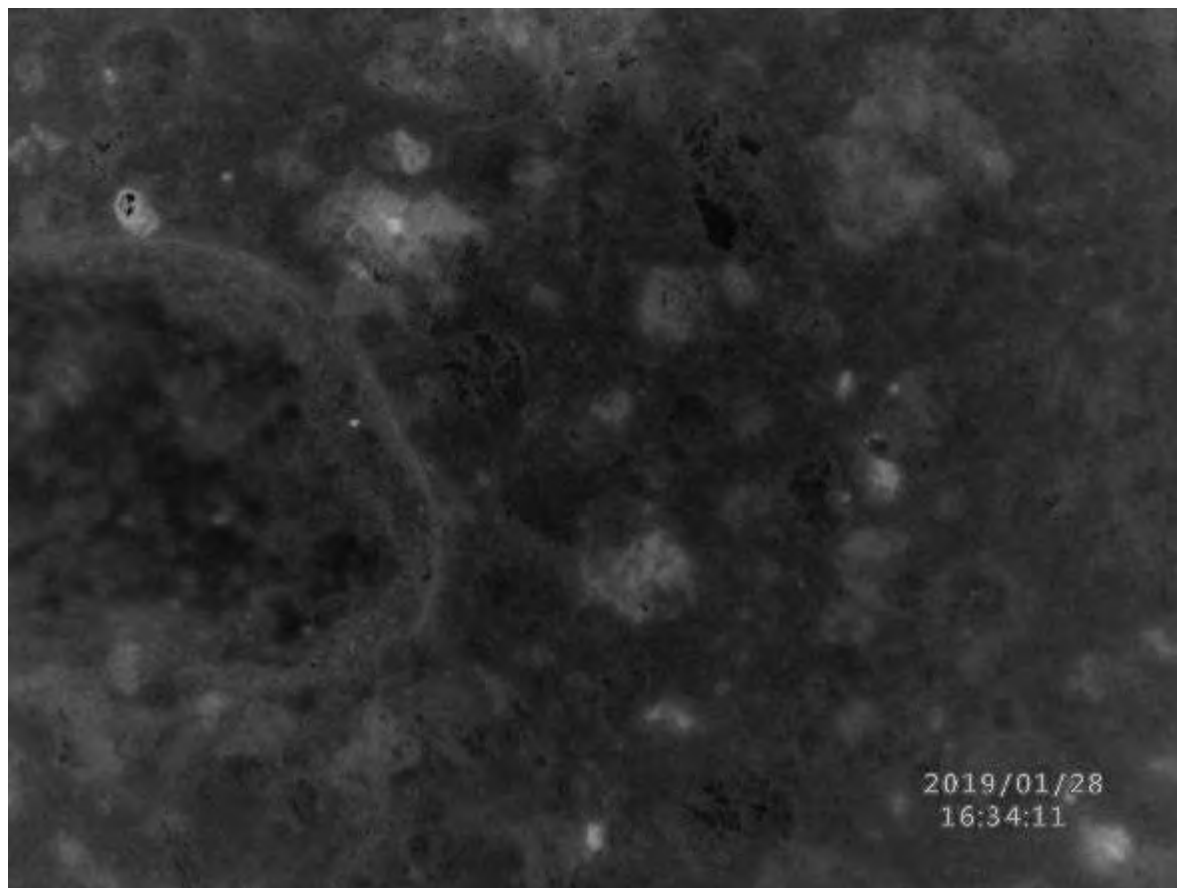


Figura. 4. 483. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2271118, con un filtro negativo bajo una luz normal.
Fuente: (autoría propia).

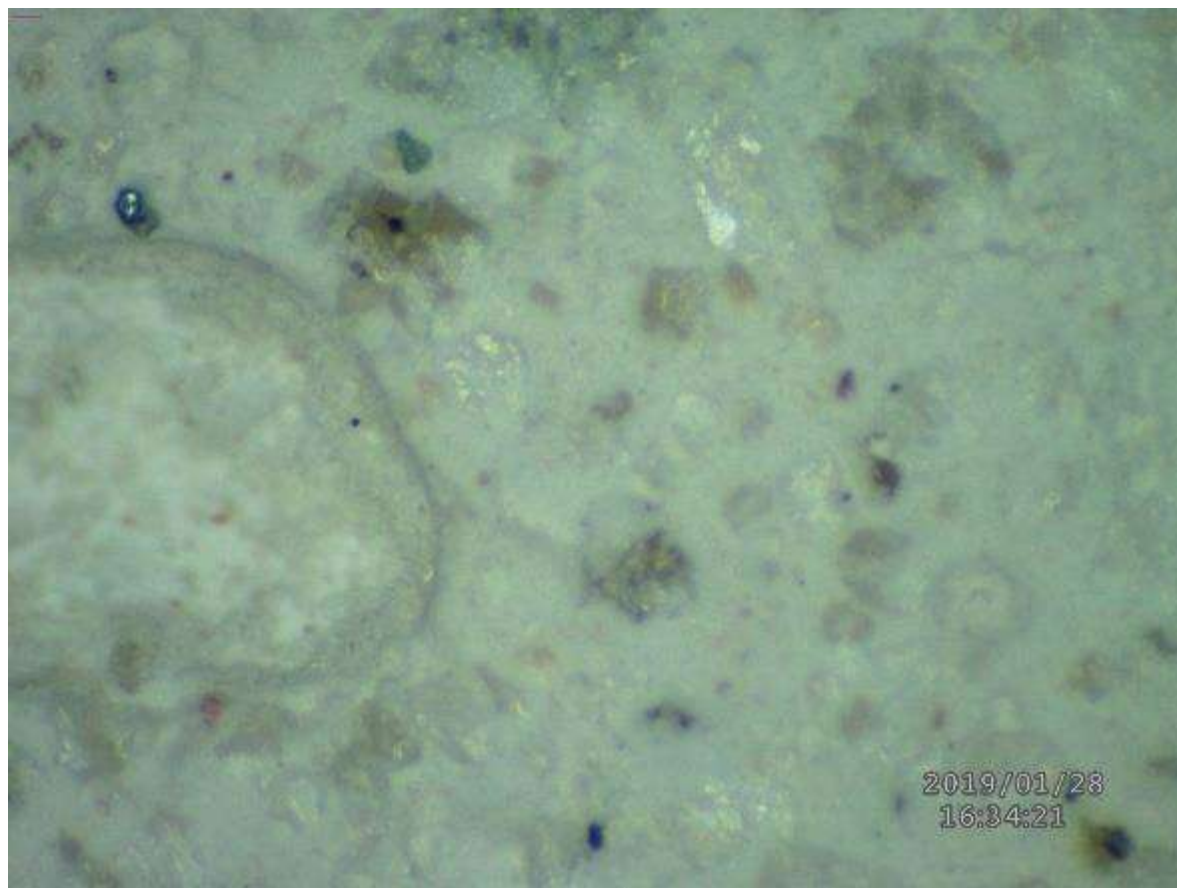
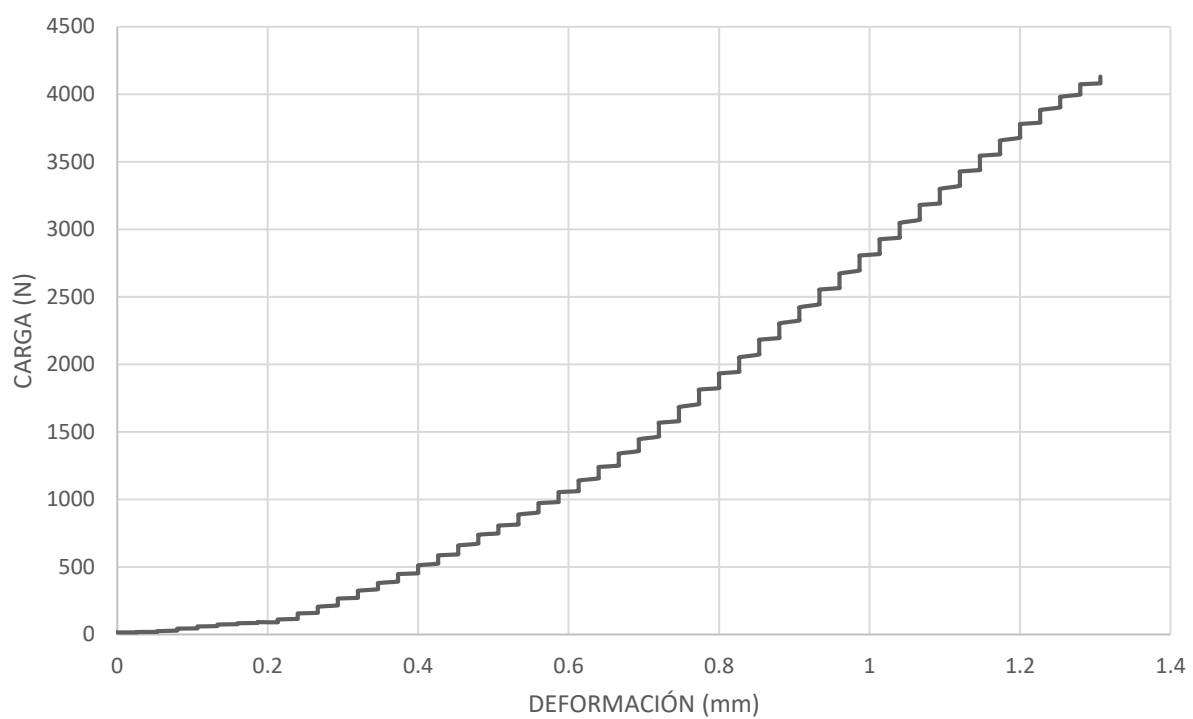


Figura. 4. 484. Microscopia de la C-2271118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

CARGA-DEFORMACIÓN



Gráficas 4. 38. Curva Carga-Deformación de la C-2271118, en N-mm. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 485. Fotografía de la C-2271118, en la prensa. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 486. Fotografía de la C-2271118, en la prensa. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 487. Fotografías de la corrida C-3271118. Fuente: (Autoría propia).

De composición 100% CAL ESTANDAR, 275% MARMOLINA Tipo 2, 5% METACAOLIN, 5% CARBONATO DE SODIO, 30% HARINA DE ARRÓZ y A/C= 1.3:1 (calentada hasta el punto de ebullición y agregada a la mezcla, previamente integrados todos los materiales) (debe ser mezclada hasta alcanzar la trabajabilidad, que se necesita como pasa con todas las familias activadas con CARBONATO DE SODIO), de dimensiones iguales a un diámetro de 22.4mm y longitud de 44.9mm, que presenta una alta dureza al ser pulido, con poco desprendimiento. (Autoría propia).



Figura. 4. 488. Imágenes de la corrida C-327118, con presencia de eflorescencias en su parte externa. (autoría propia).

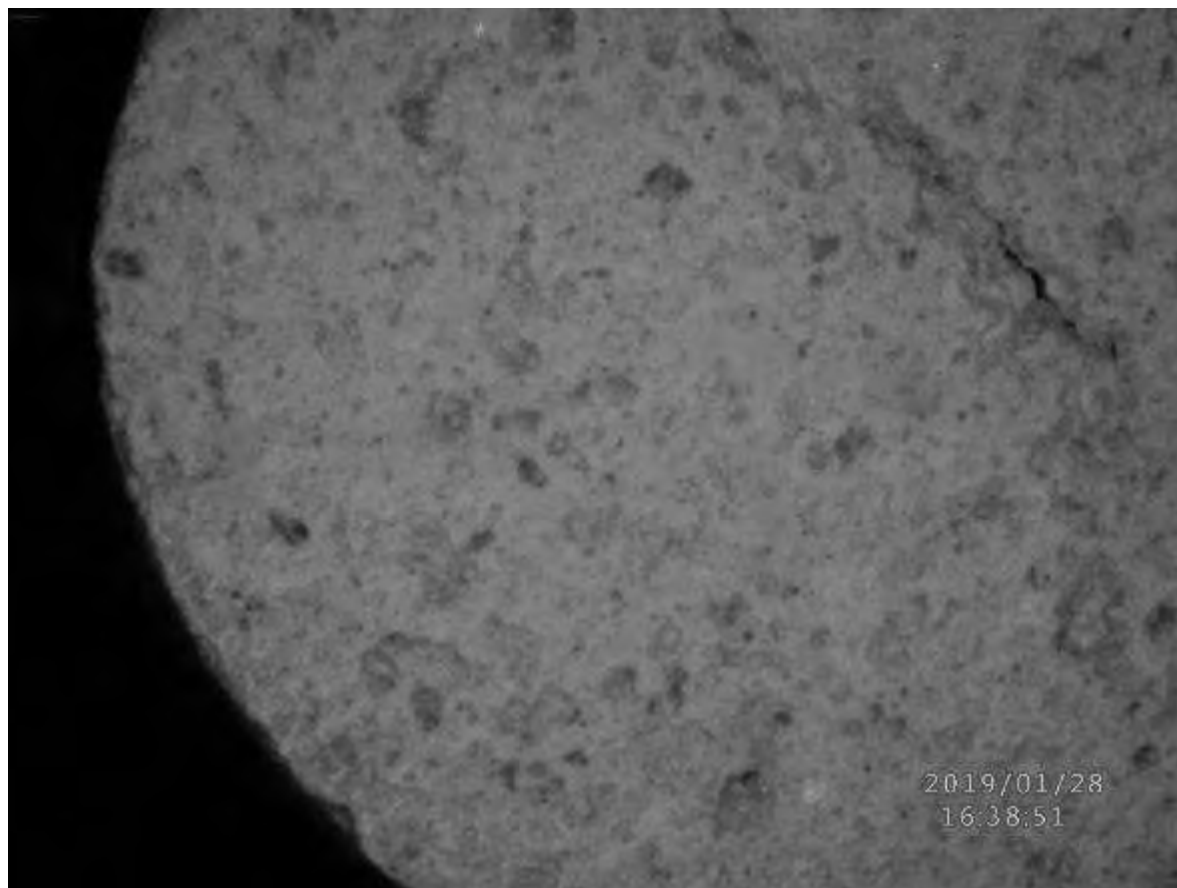


Figura. 4. 489. Microscopia de la C-3271118. Fuente: Autoría propia.

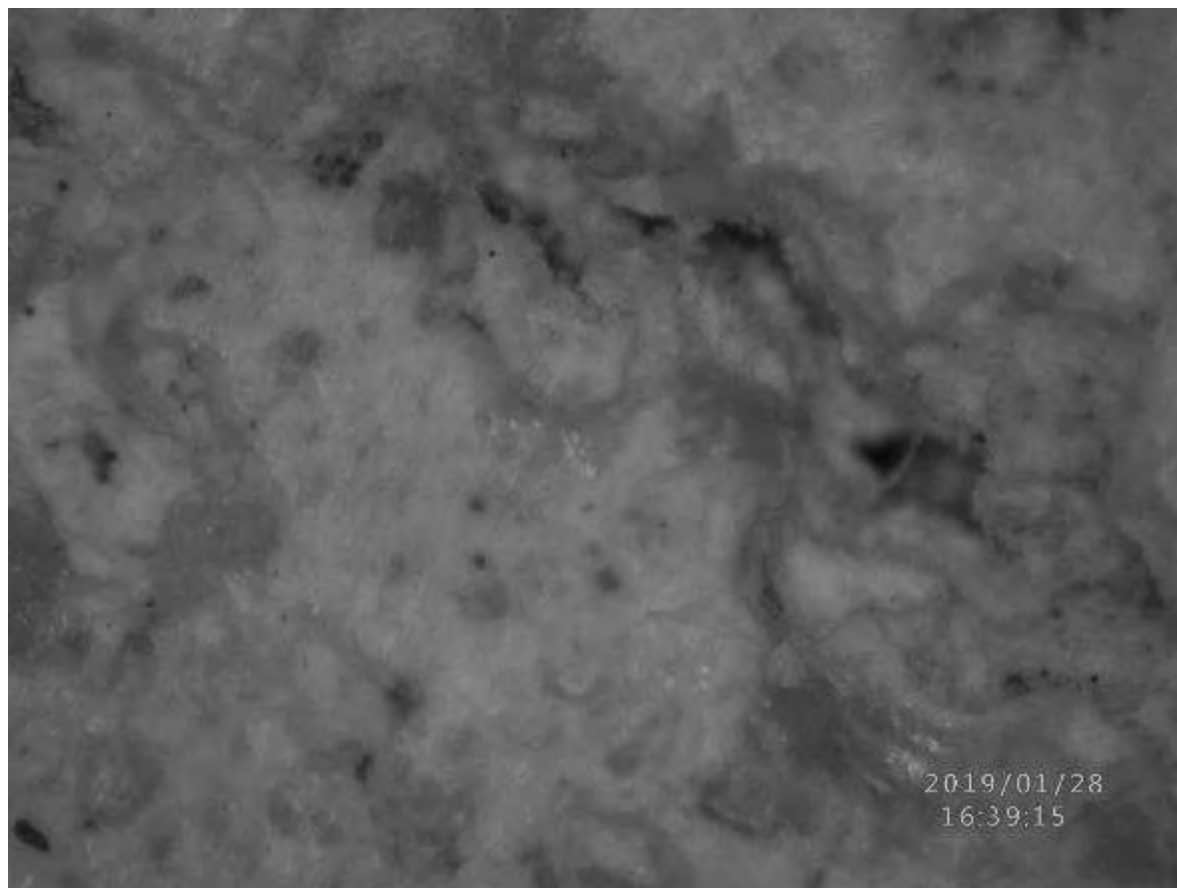


Figura. 4. 490. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3271118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

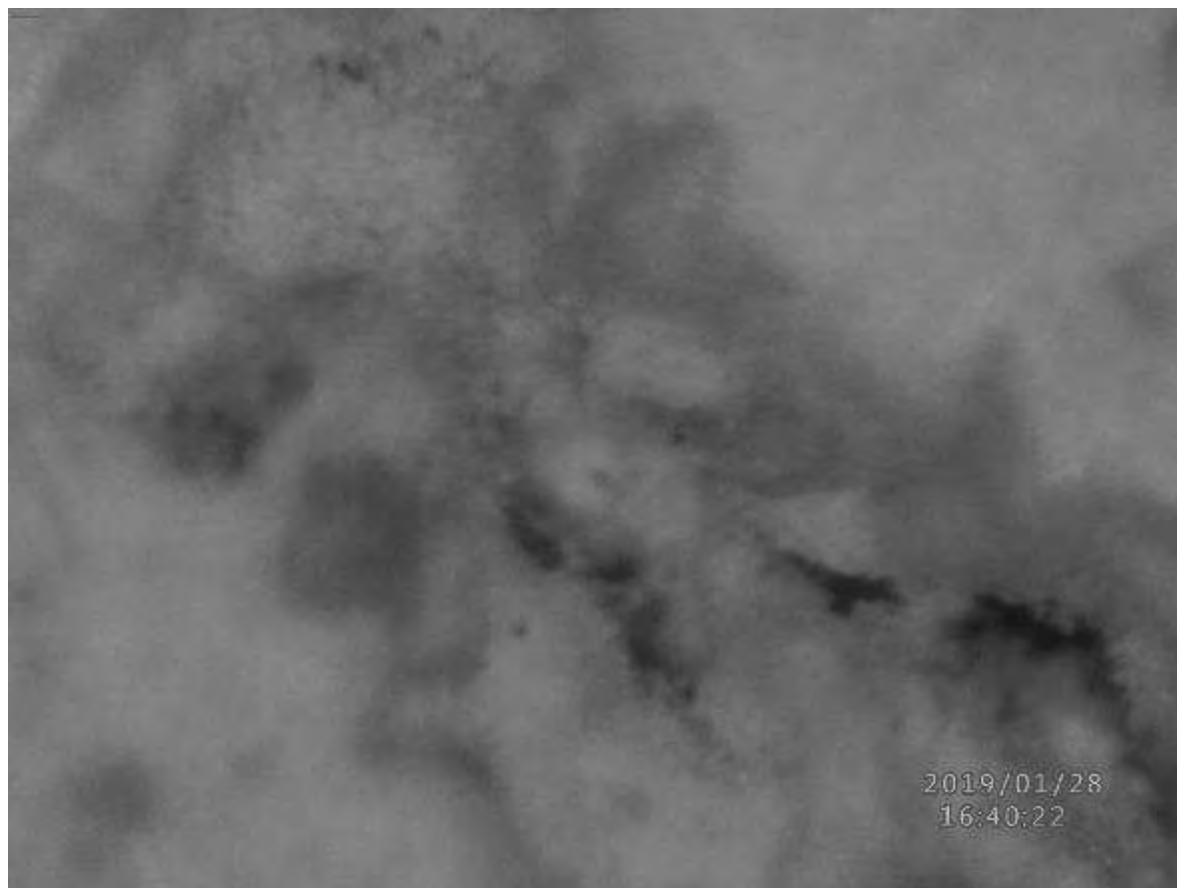


Figura. 4. 491. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3271118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

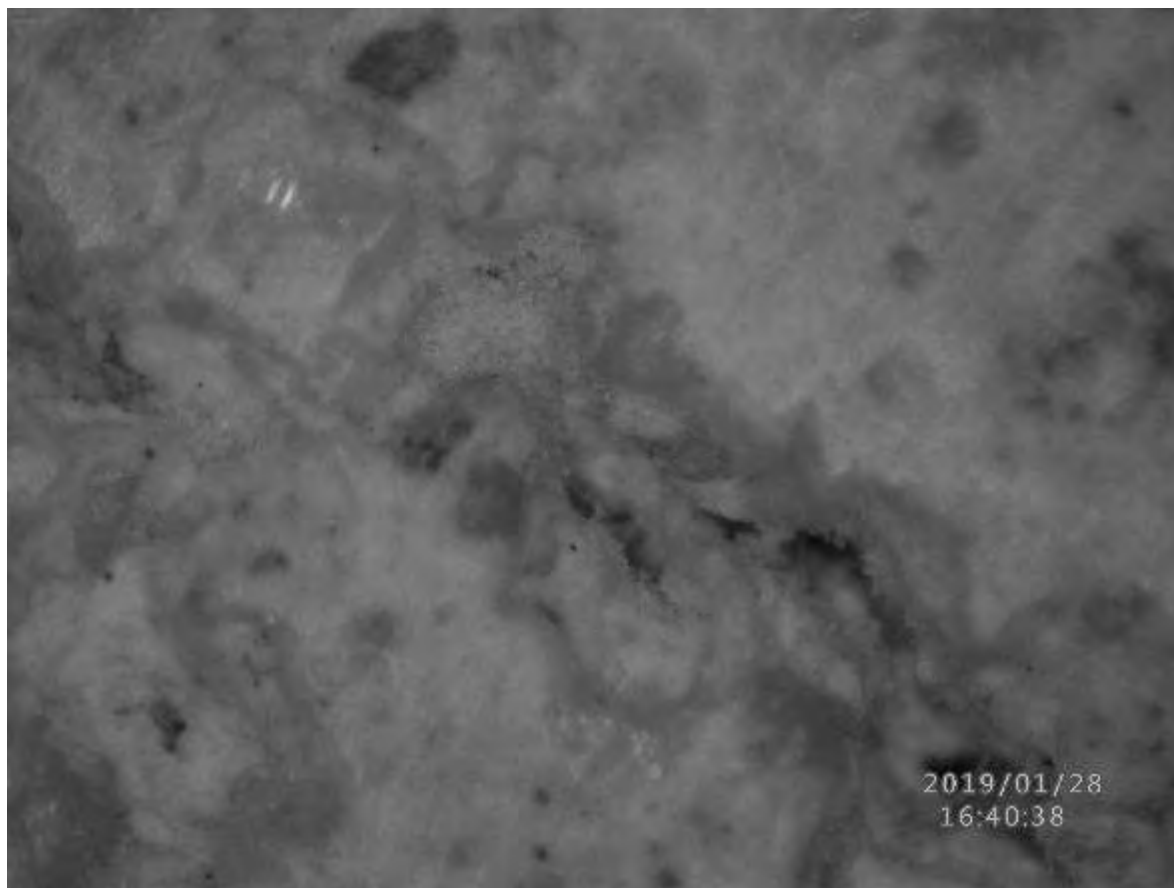


Figura. 4. 492. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3271118, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

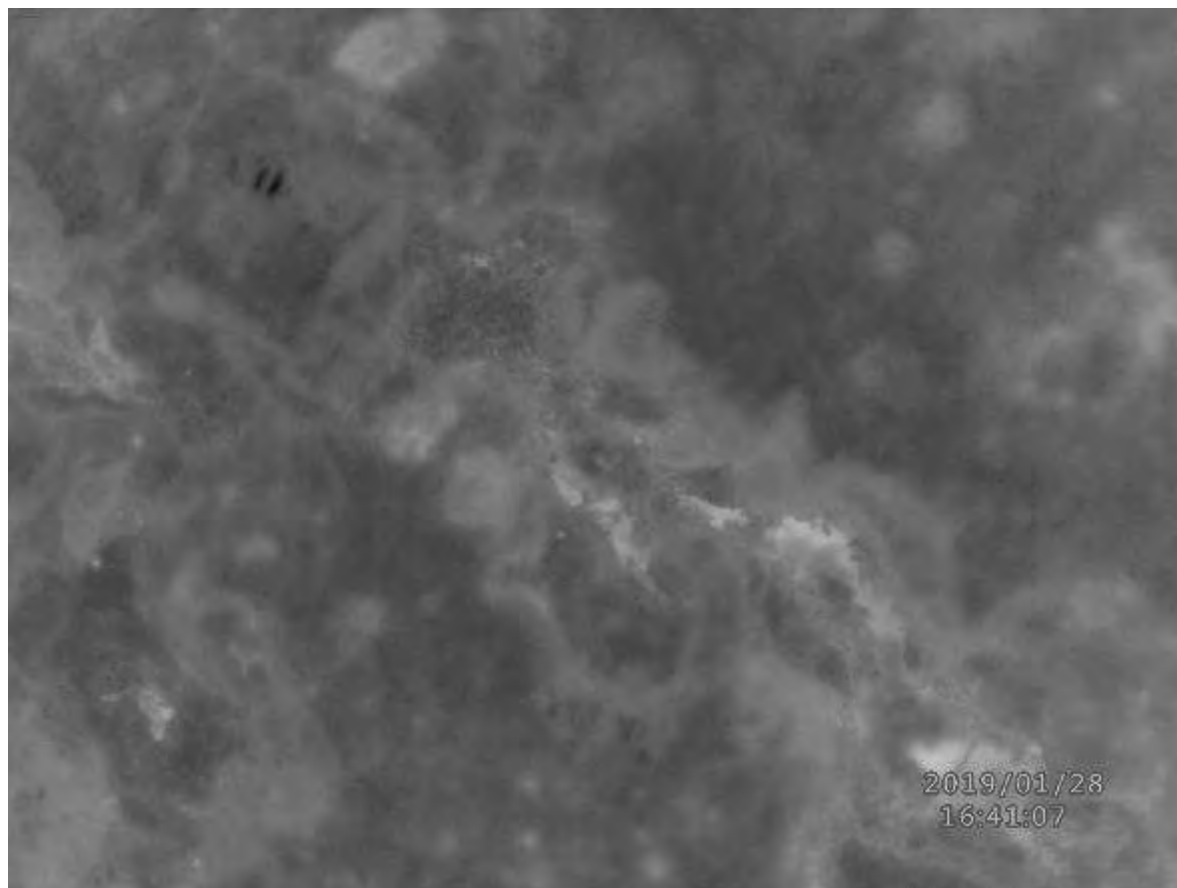


Figura. 4. 493. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3271118, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

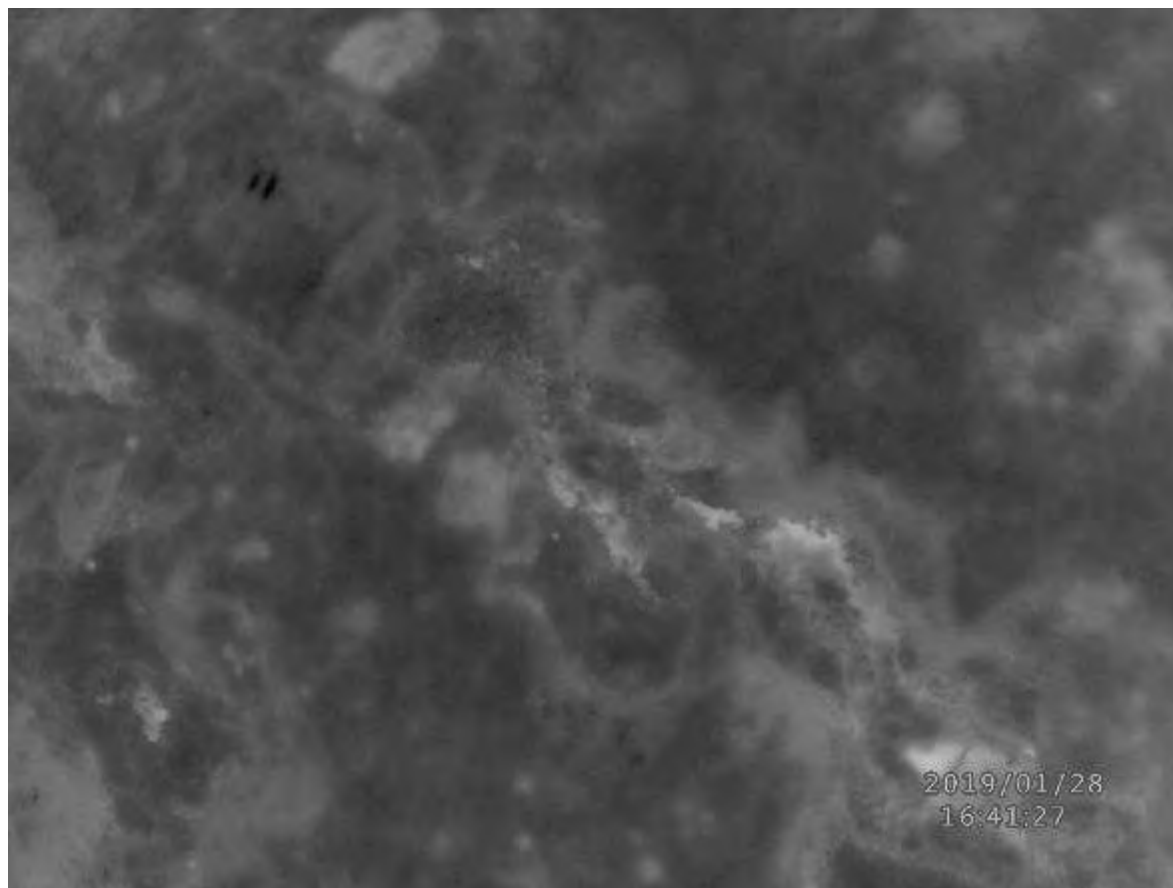


Figura. 4. 494. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3271118, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

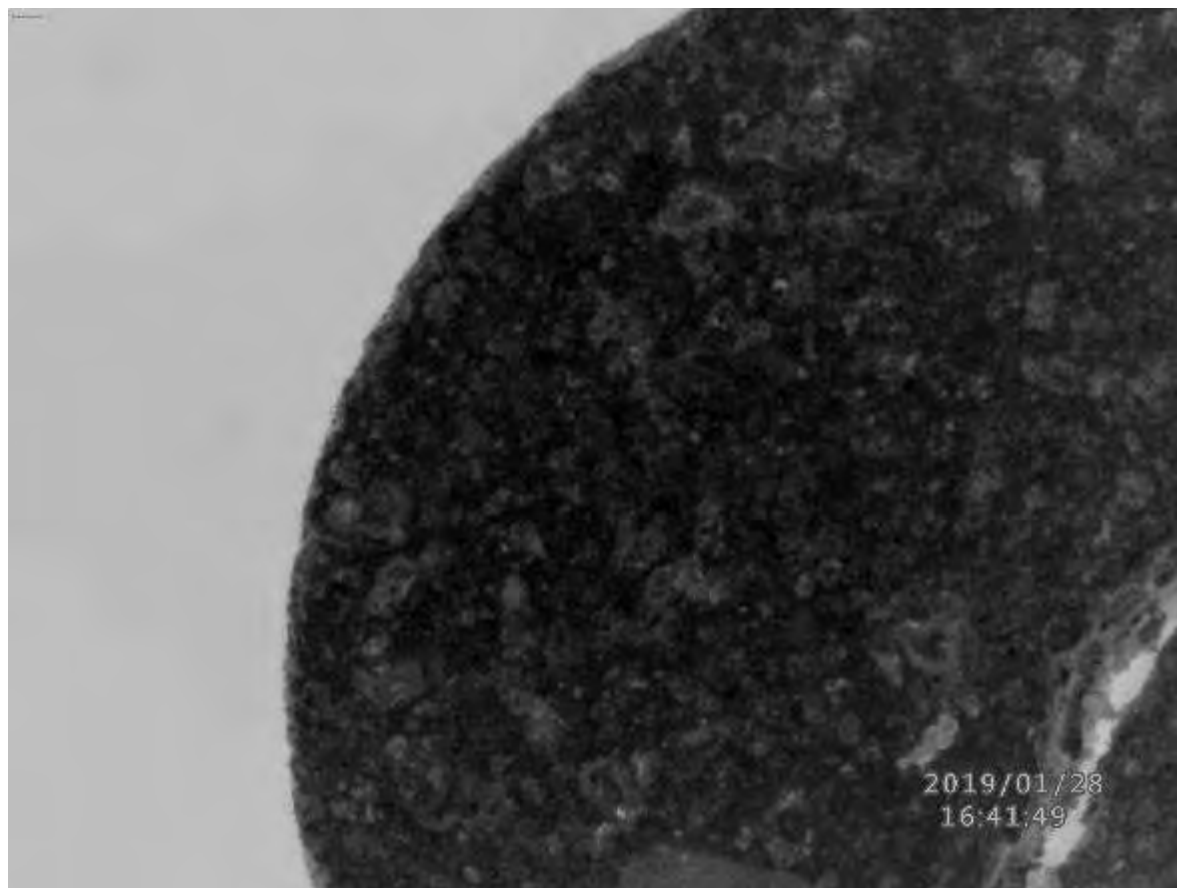


Figura. 4. 495. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3271118, con un filtro negativo bajo una luz normal.
Fuente: (autoría propia).

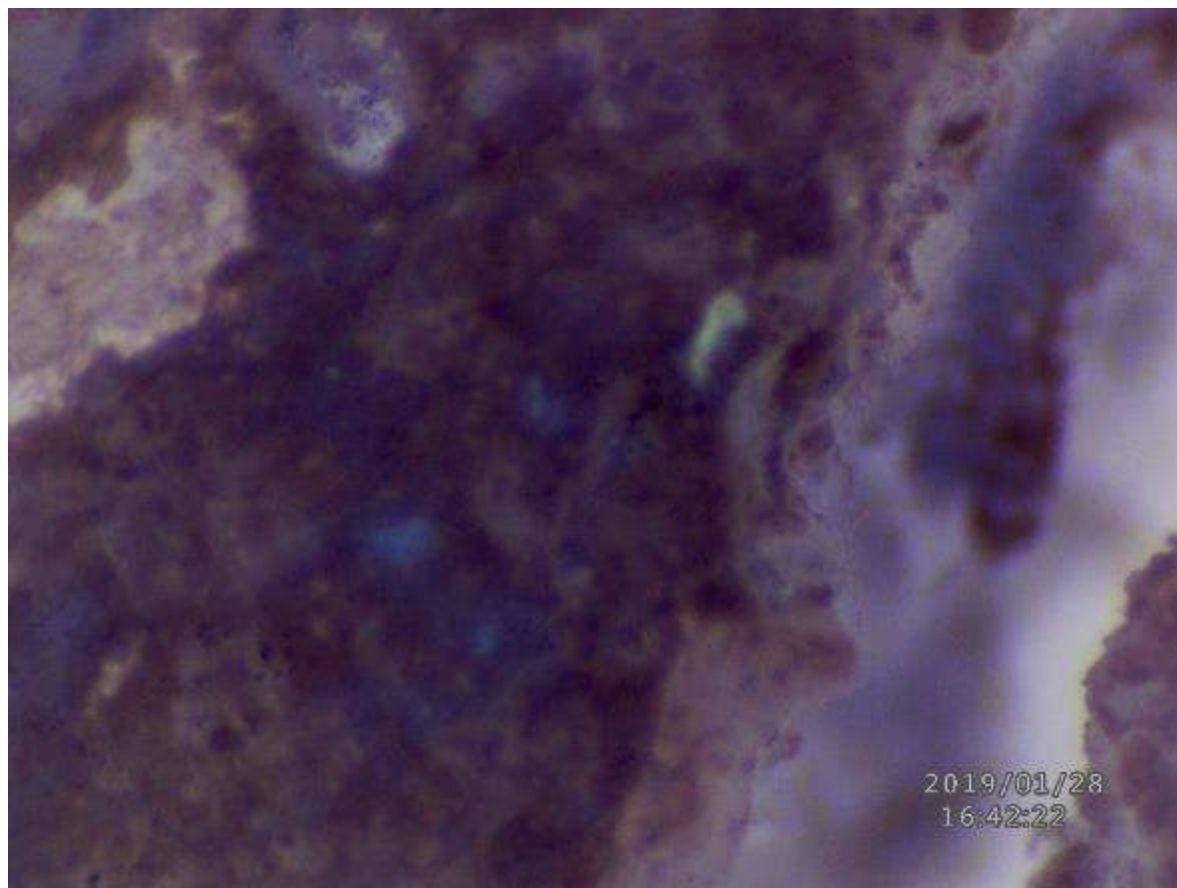


Figura. 4. 496. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3271118, con un filtro negativo bajo una luz normal.
Fuente: (autoría propia).

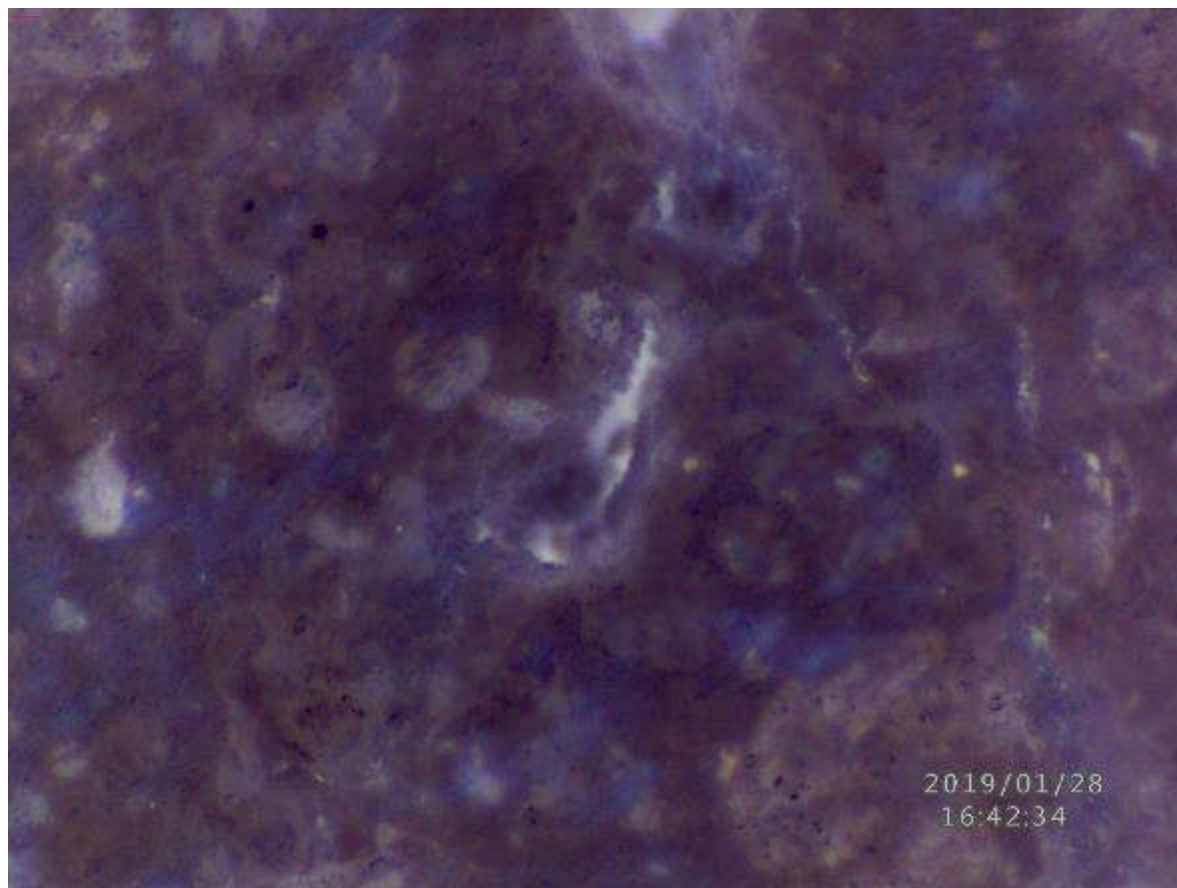


Figura. 4. 497. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3271118, con un filtro negativo bajo una luz normal.
Fuente: (autoría propia).

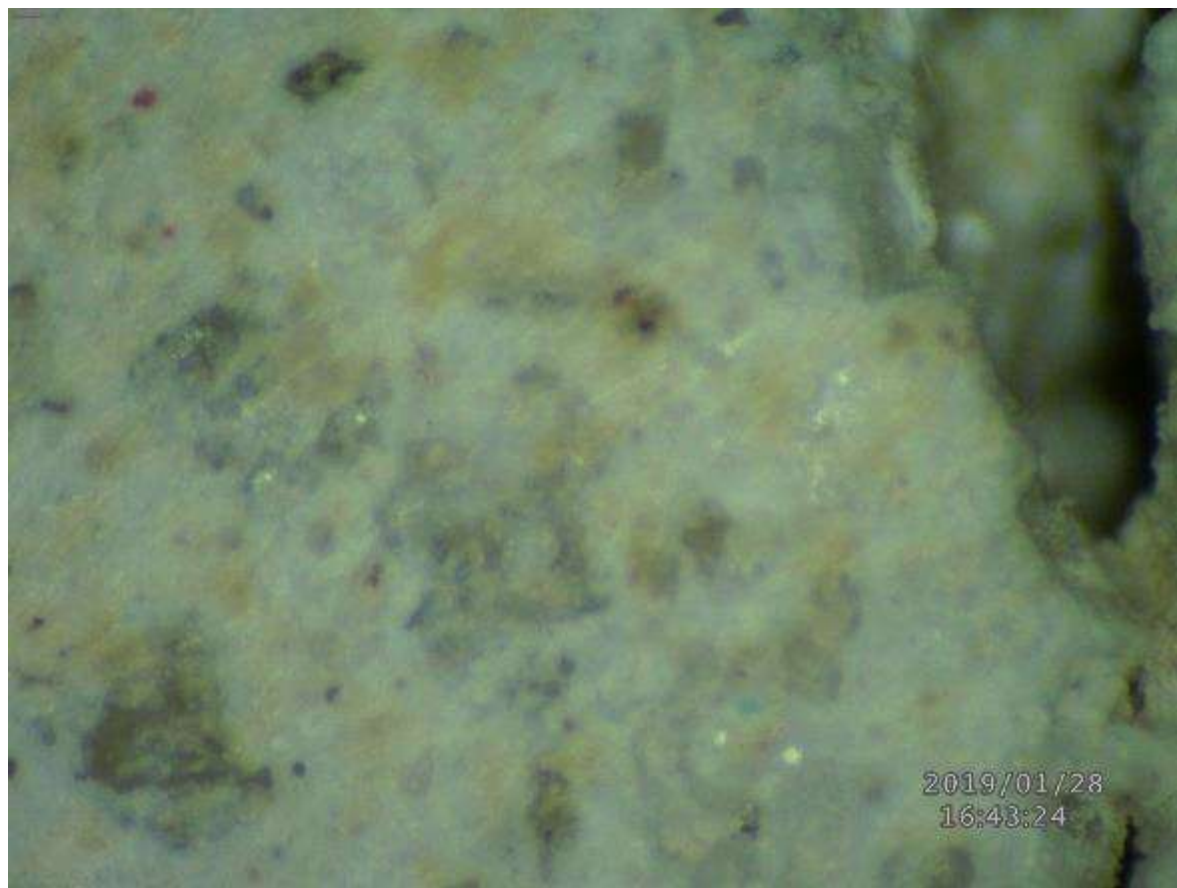


Figura. 4. 498. Microscopia de la C-3271118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

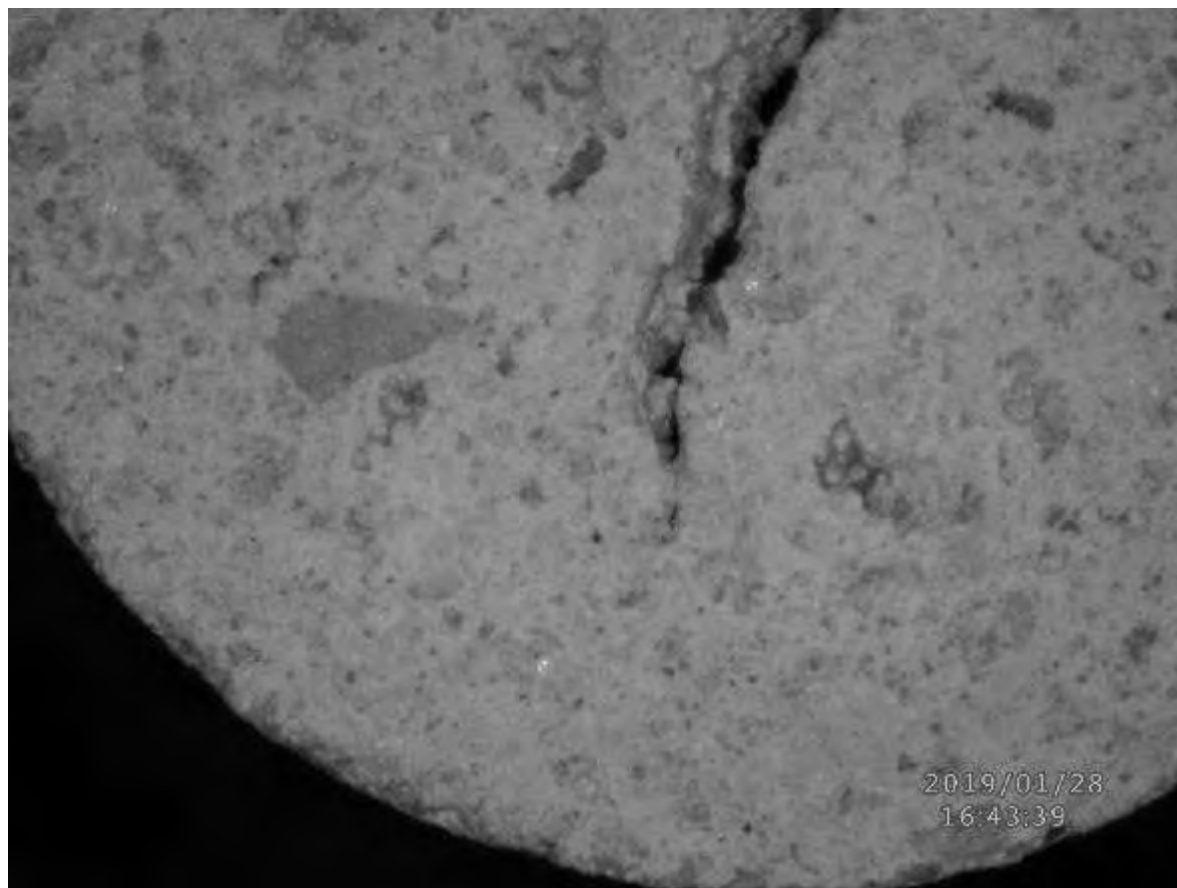
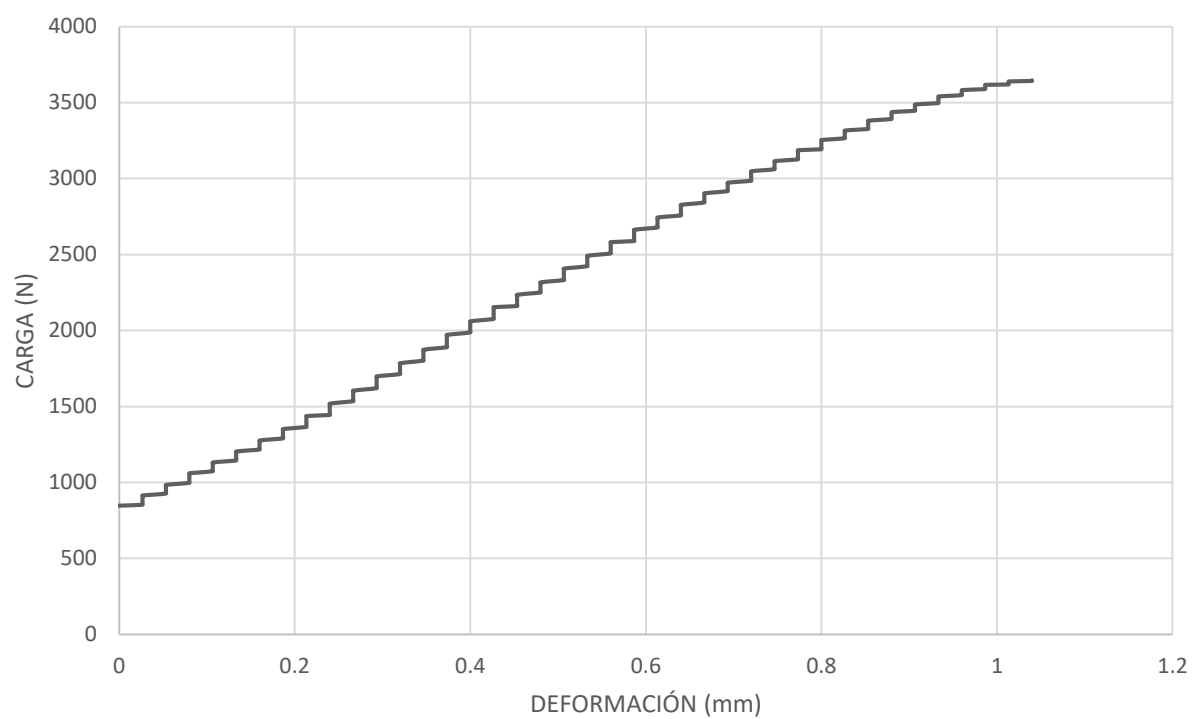


Figura. 4. 499. Microscopia de la C-3271118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

CARGA-DEFORMACIÓN



Gráficas 4. 39. Curva Carga-Deformación de la C-3271118, en N-mm. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 500. Fotografía de la C-3271118, en la prensa. Fuente: (autoría propia).

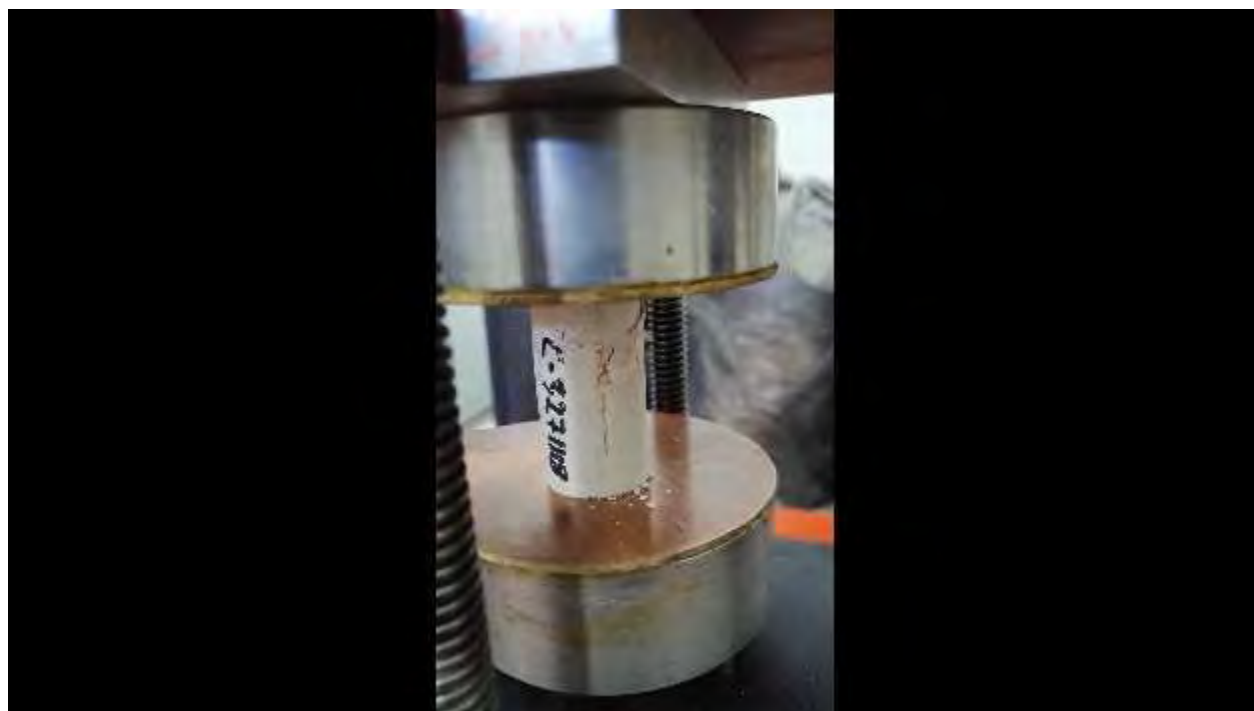


Figura. 4. 501. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-3271118. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 502. Fotografías de la corrida C-4271118. Fuente: (Autoría propia).

De composición 100% CAL ESTANDAR, 275% MARMOLINA Tipo 2, 10% METACAOLIN, 5% CARBONATO DE SODIO, 30% HARINA DE ARRÓZ y A/C= 1.3:1 (calentada hasta el punto de ebullición y agregada a la mezcla, previamente integrados todos los materiales) (debe ser mezclada hasta alcanzar la trabajabilidad, que se necesita como pasa con todas las familias activadas con CARBONATO DE SODIO), de dimensiones iguales a un diámetro de 22.6mm y longitud de 45.3mm, que presenta una alta dureza al ser pulido, con poco desprendimiento. (Autoría propia).

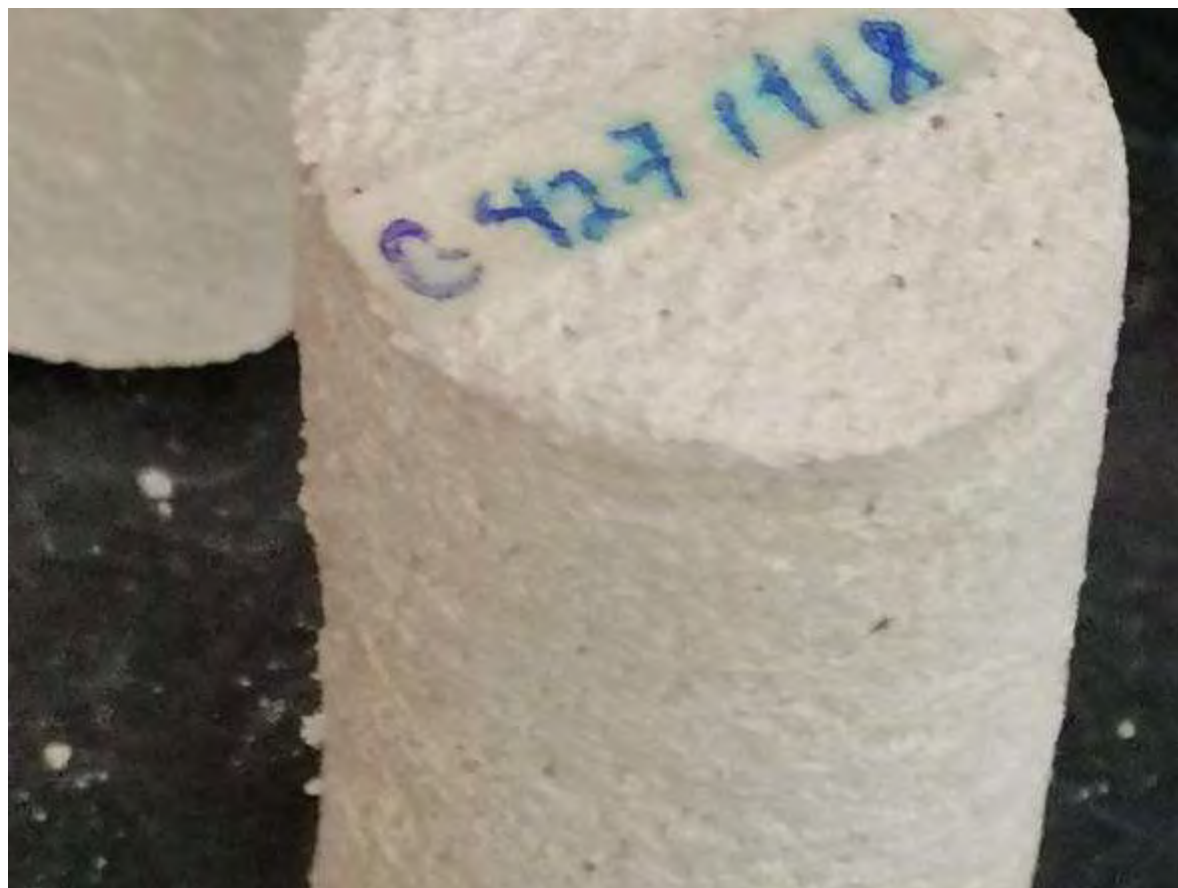


Figura. 4. 503. Imágenes de la corrida C-4271118, con presencia de eflorescencias en su parte externa. (autoría propia).



Figura. 4. 504. Fotografías de la corrida C-42771118. Fuente: (Autoría propia).

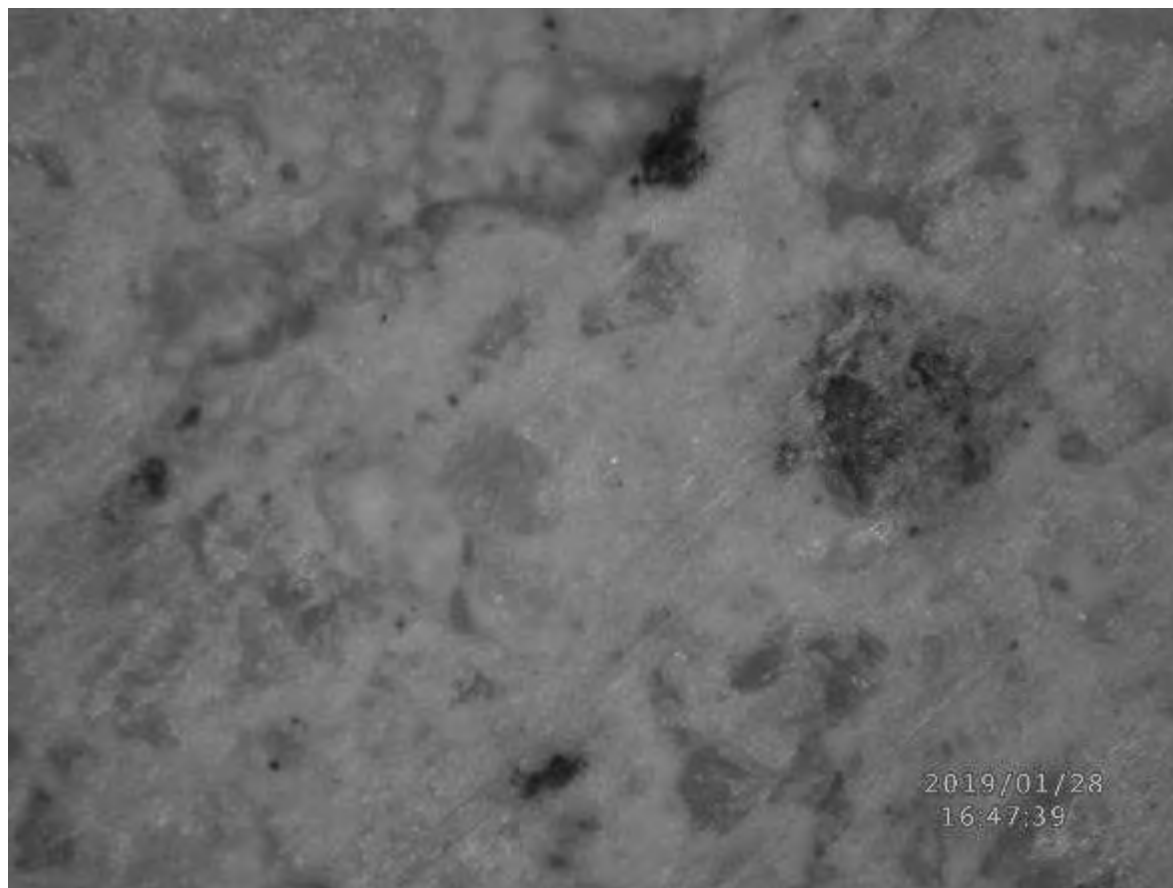


Figura. 4. 505. Microscopia de la C-4271118. Fuente: Autoría propia.

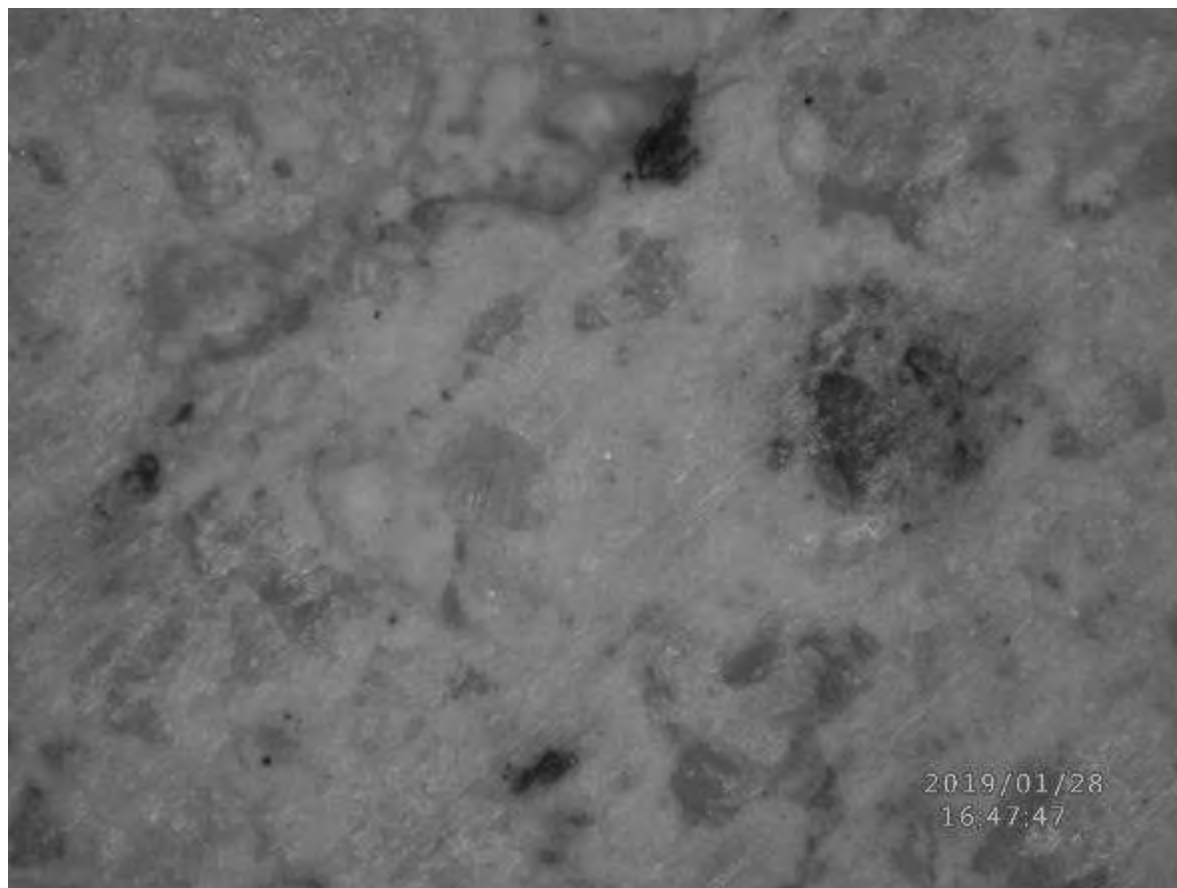


Figura. 4. 506. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-4271118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

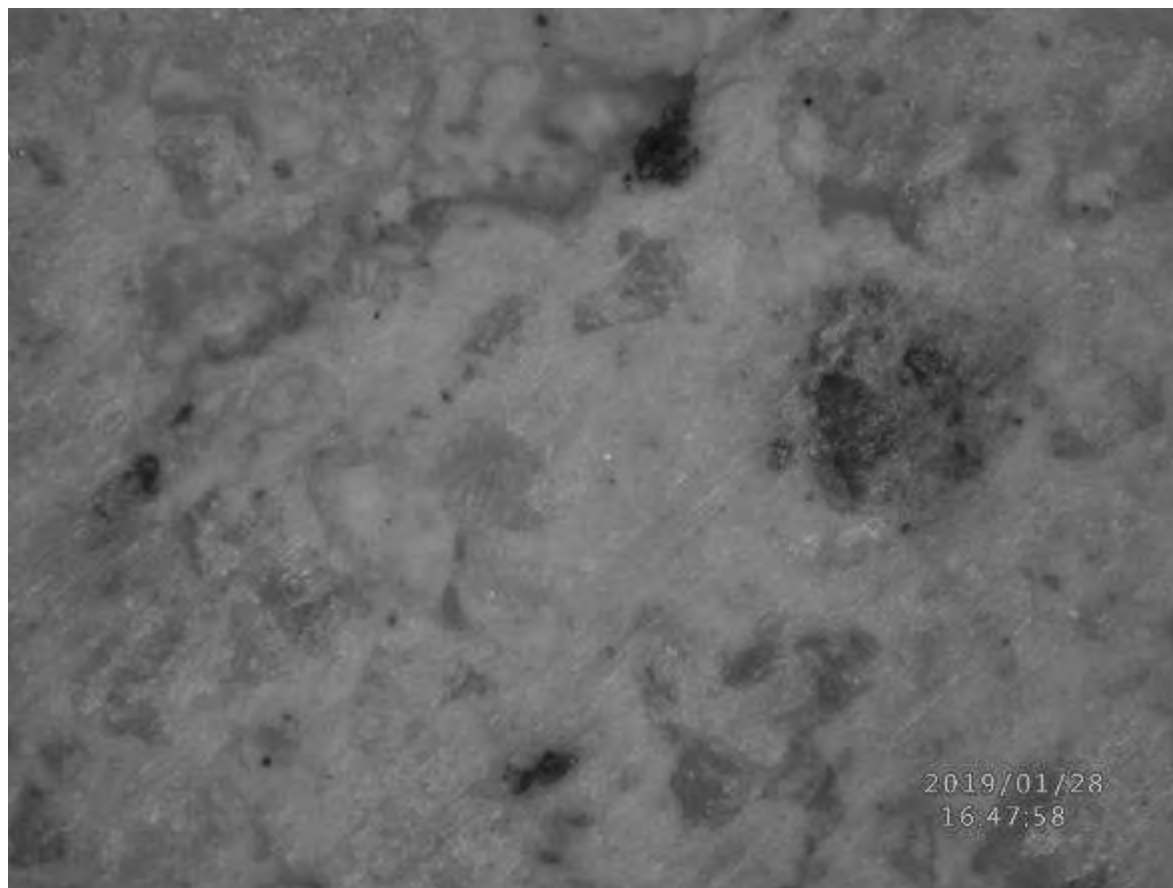


Figura. 4. 507. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-4271118, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

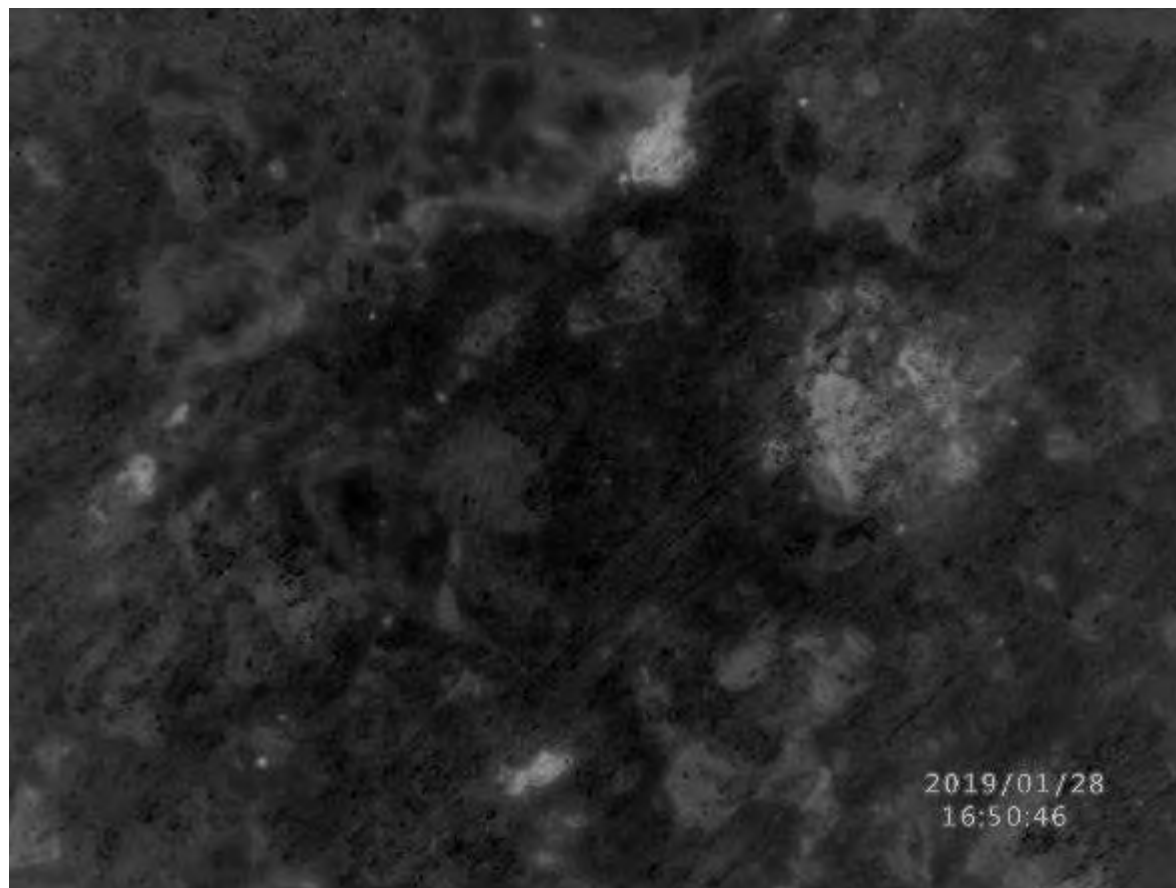


Figura. 4. 508. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-4271118, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

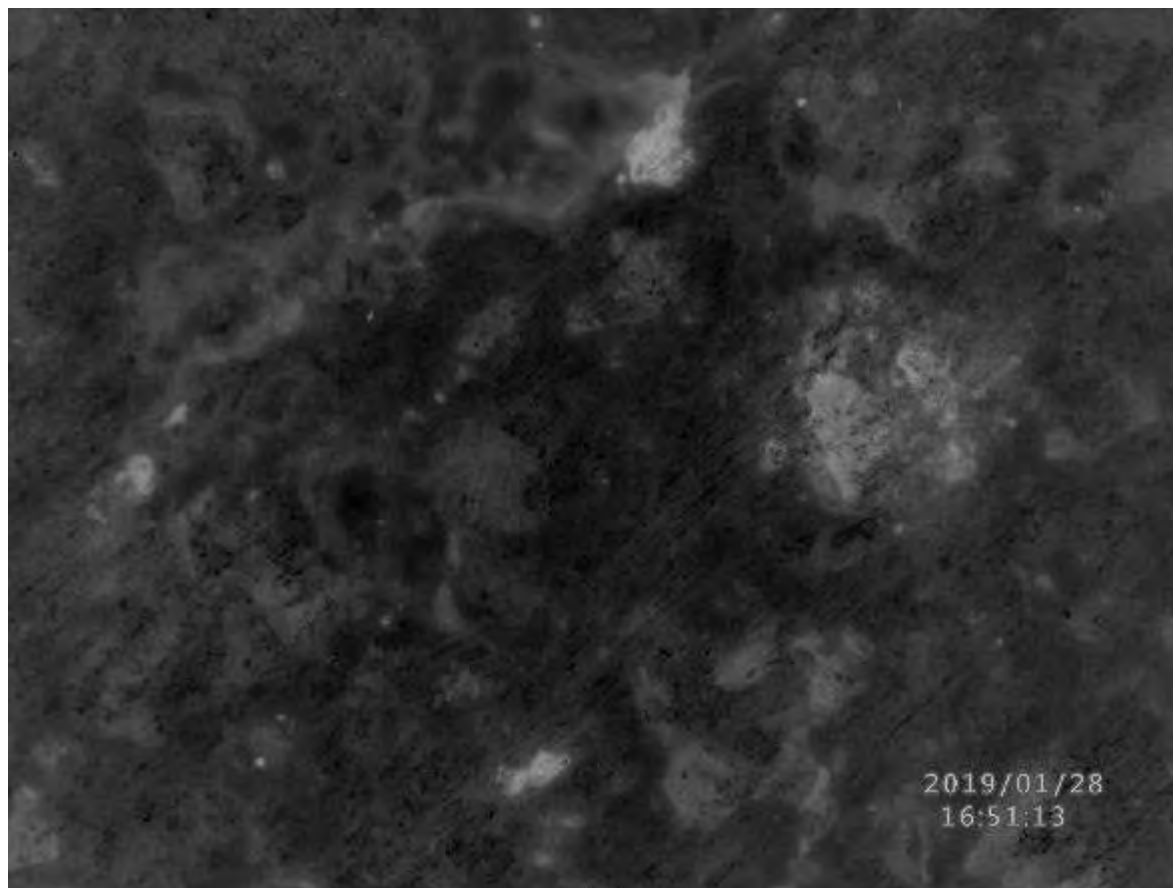


Figura. 4. 509. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-4271118, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

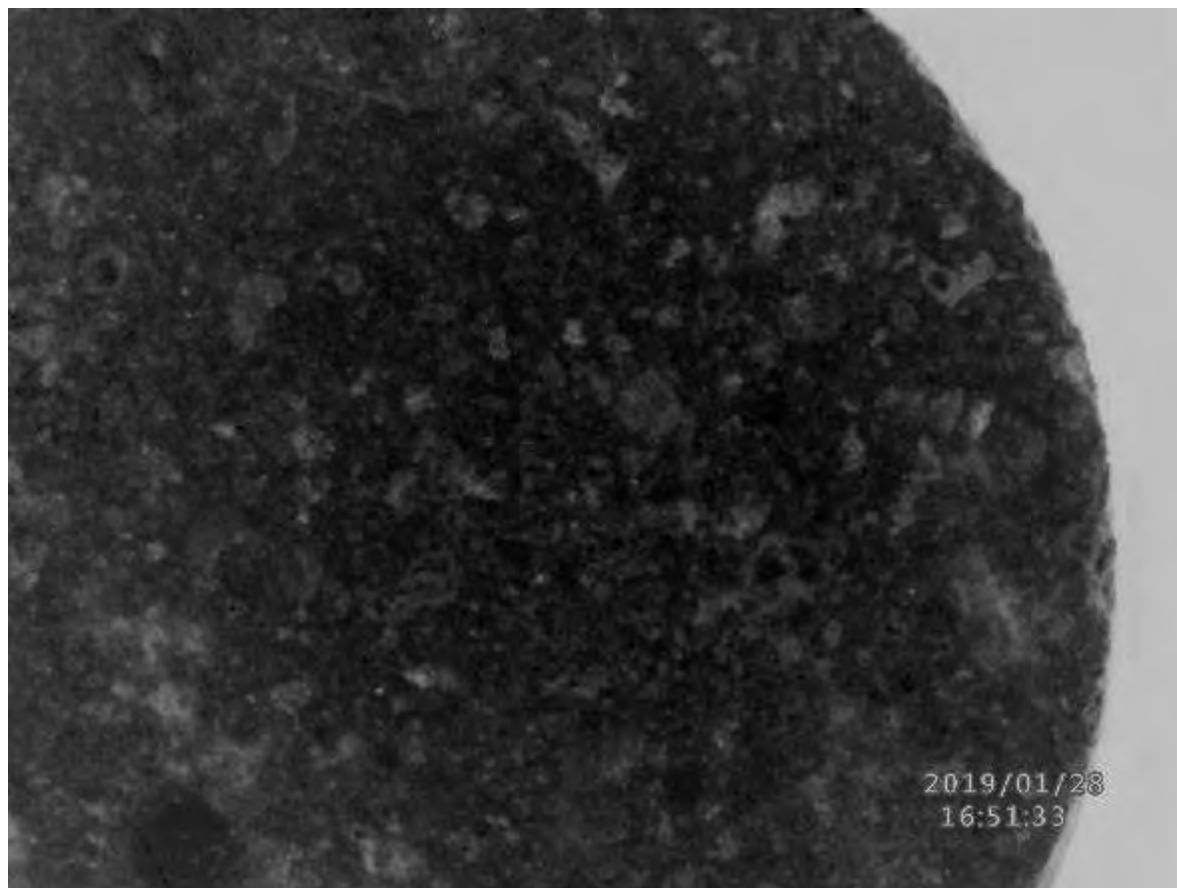


Figura. 4. 510. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-4271118, con un filtro negativo bajo una luz normal.
Fuente: (autoría propia).

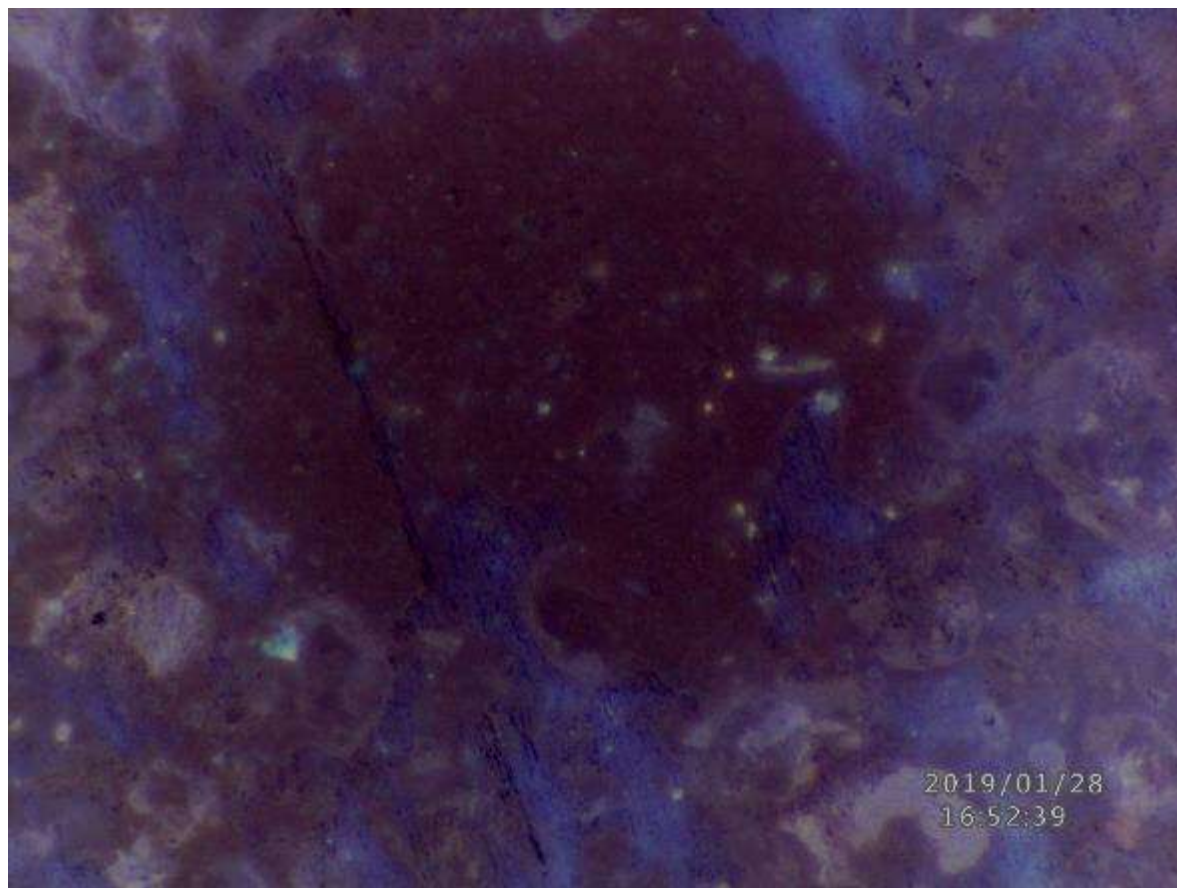


Figura. 4. 511. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-4271118, con un filtro negativo bajo una luz normal.
Fuente: (autoría propia).

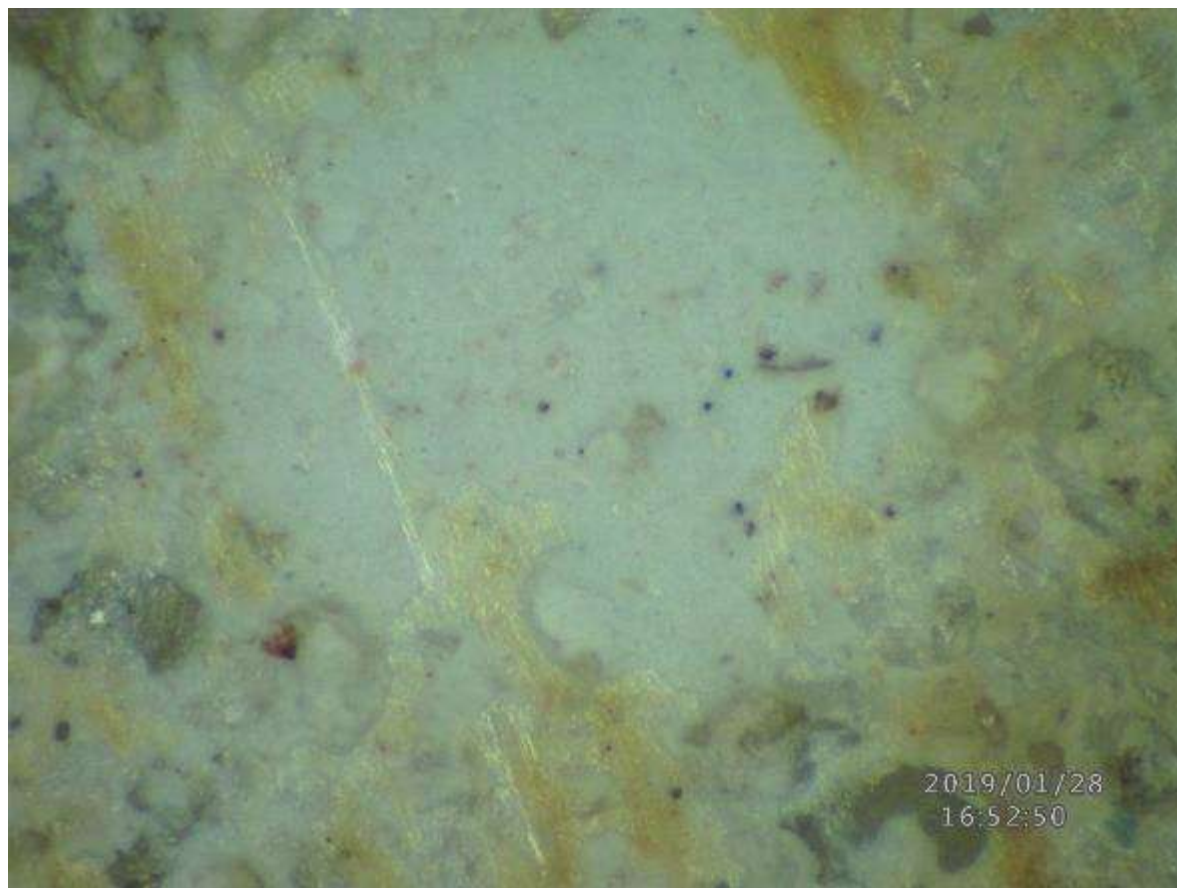


Figura. 4. 512. Microscopia de la C-4271118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

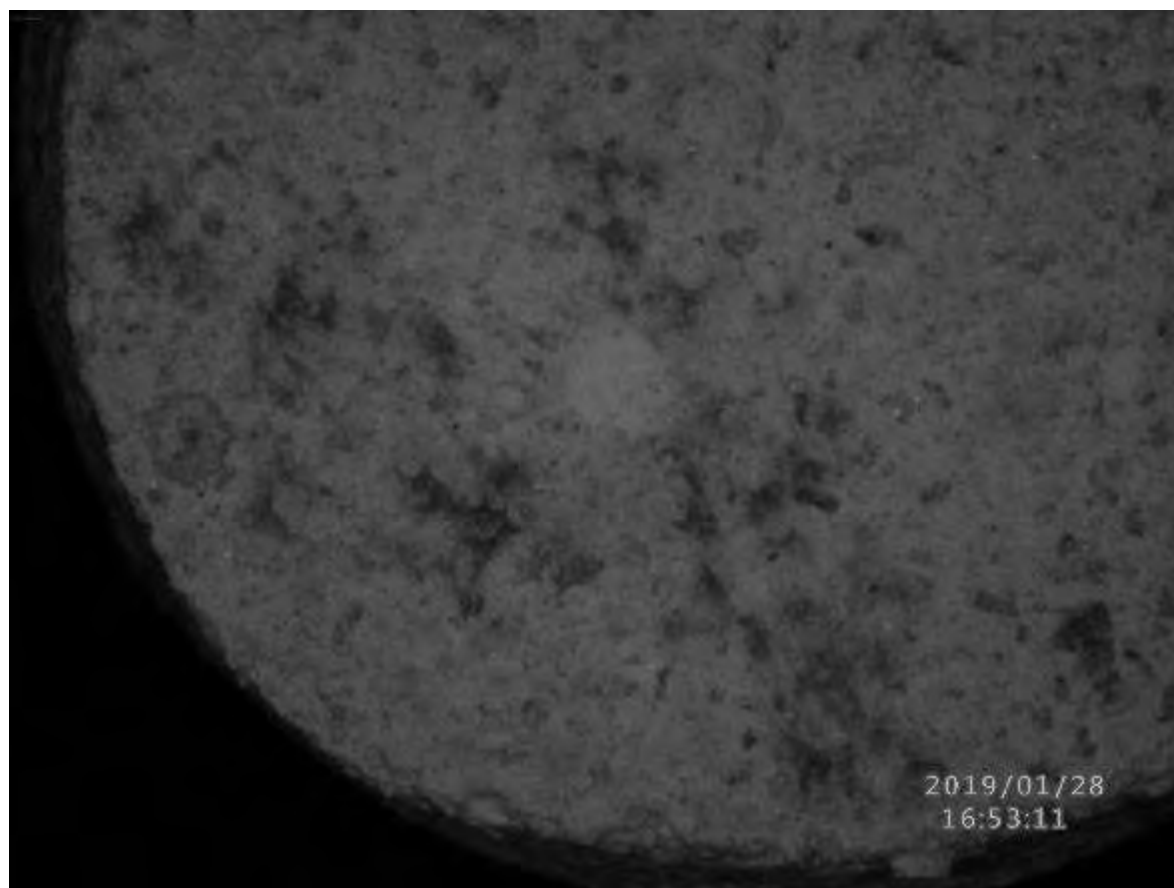
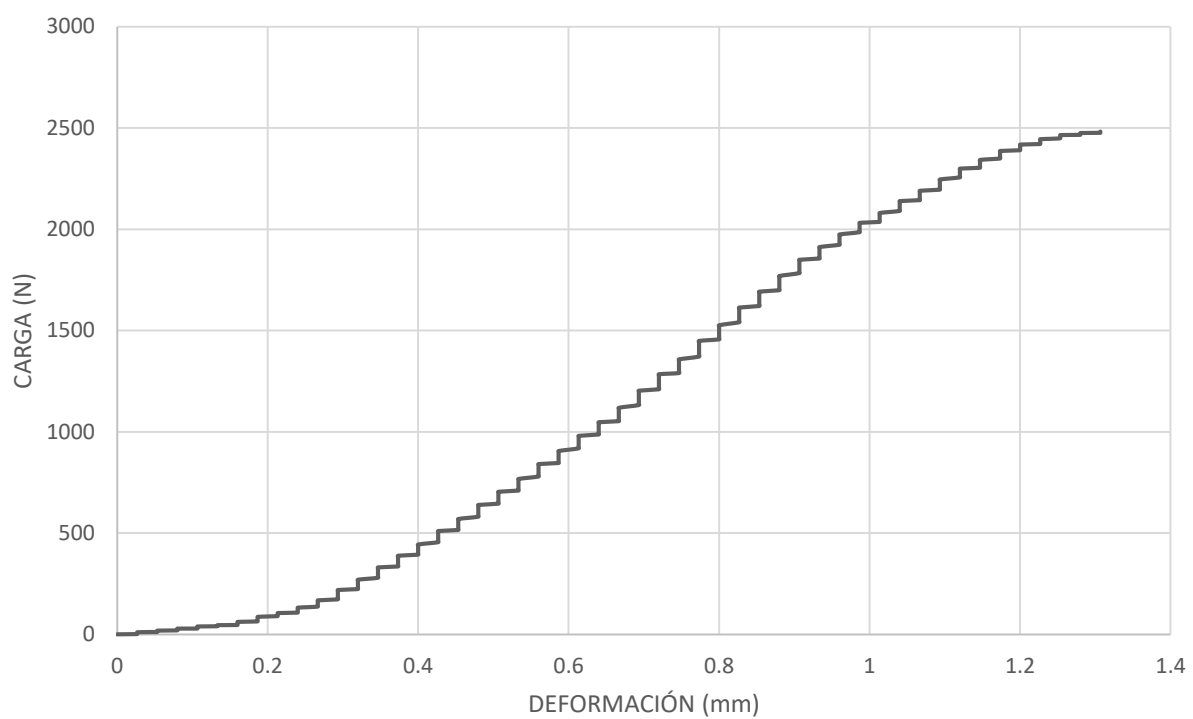


Figura. 4. 513. Microscopia de la C-4271118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

CARGA-DEFORMACIÓN



Gráficas 4. 40. Curva Carga-Deformación de la C-4271118, en N-mm. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 514. Fotografía de la C-4271118, en la prensa. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 515. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-4271118. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 516. Fotografías de la corrida C-5271118. Fuente: (Autoría propia).

De composición 100% CAL ESTANDAR, 275% MARMOLINA Tipo 2, 10% METACAOLIN, 10% CARBONATO DE SODIO, 30% HARINA DE ARRÓZ y A/C= 1.3:1 (calentada hasta el punto de ebullición y agregada a la mezcla, previamente integrados todos los materiales) (debe ser mezclada hasta alcanzar la trabajabilidad, que se necesita como pasa con todas las familias activadas con CARBONATO DE SODIO), de dimensiones iguales a un diámetro de 22.7mm y longitud de 45.1mm, que presenta una alta dureza al ser pulido, con poco desprendimiento. (Autoría propia).



Figura. 4. 517. Microscopia de la C-5271118. Fuente: Autoría propia.



Figura. 4. 518. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-5271118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

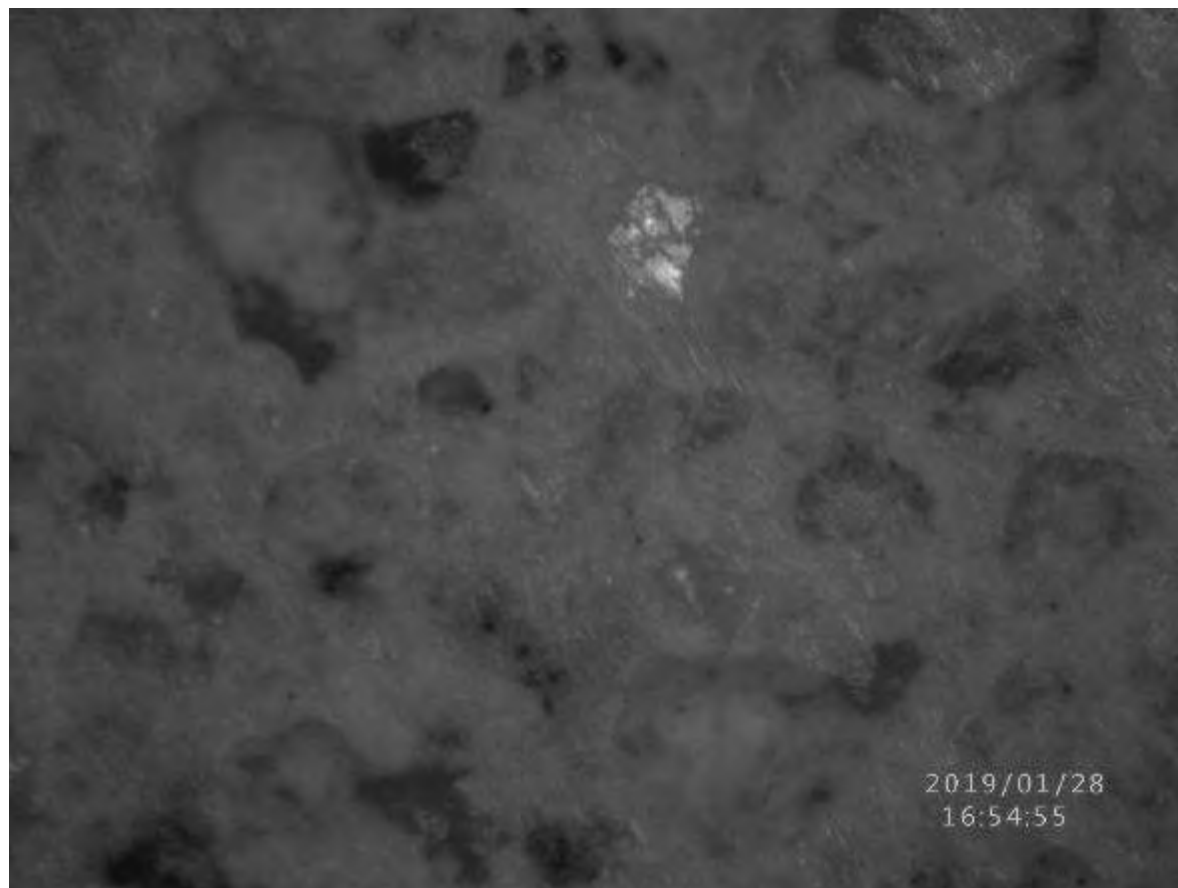


Figura. 4. 519. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-5271118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

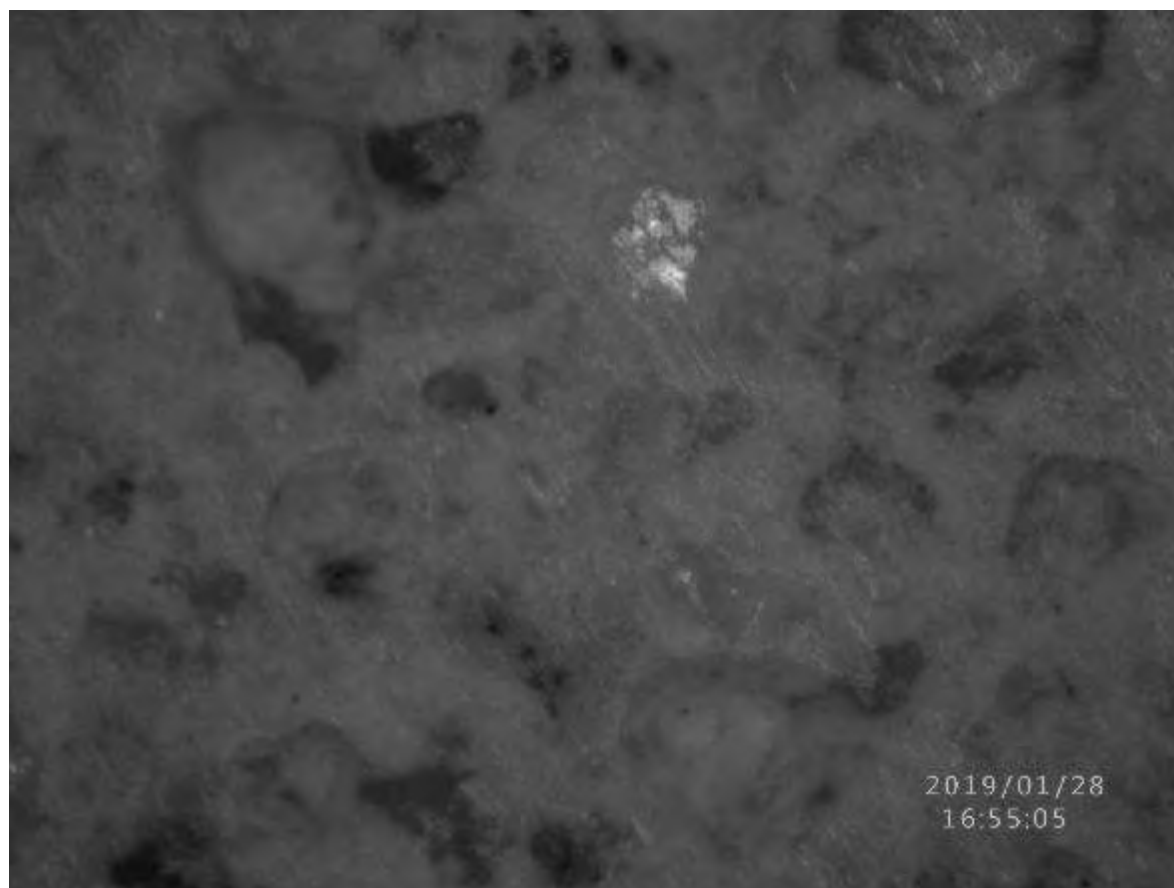


Figura. 4. 520. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-5271118, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

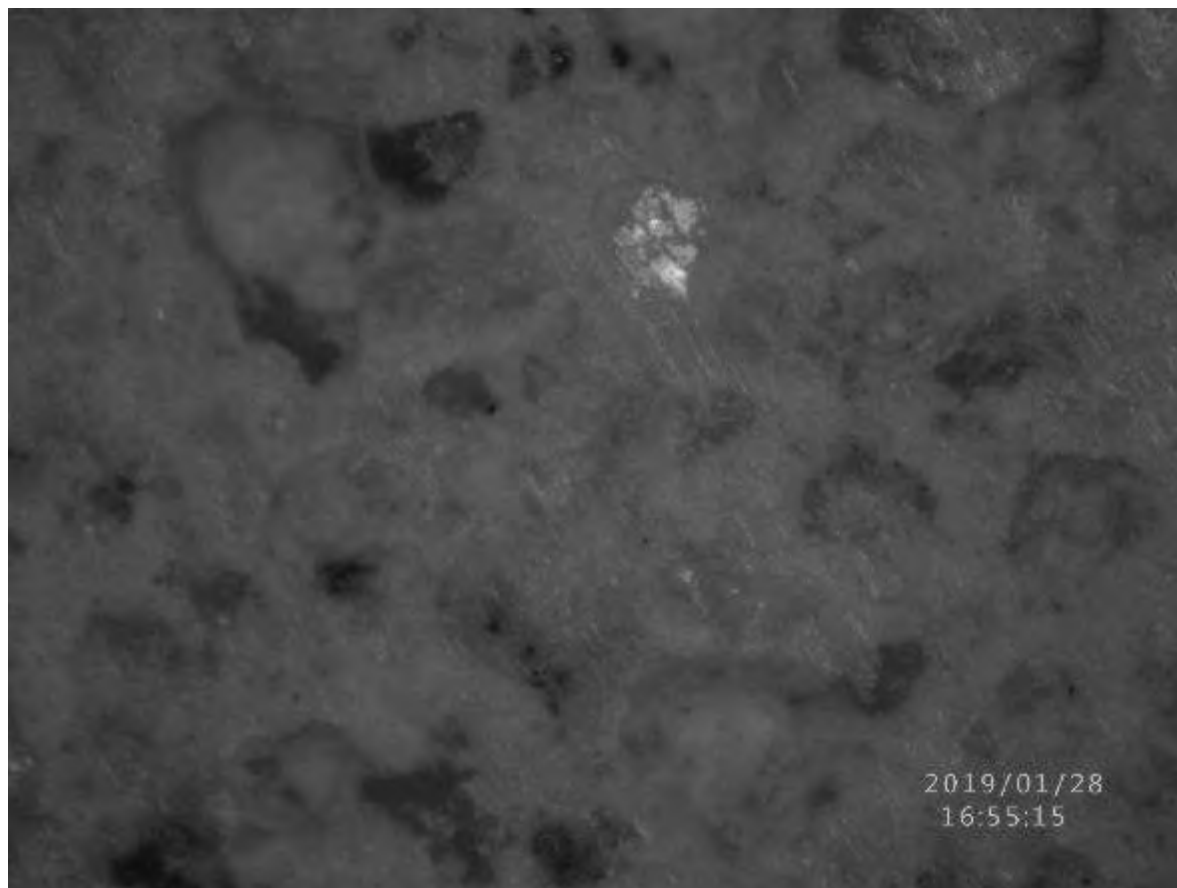


Figura. 4. 521. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-5271118, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

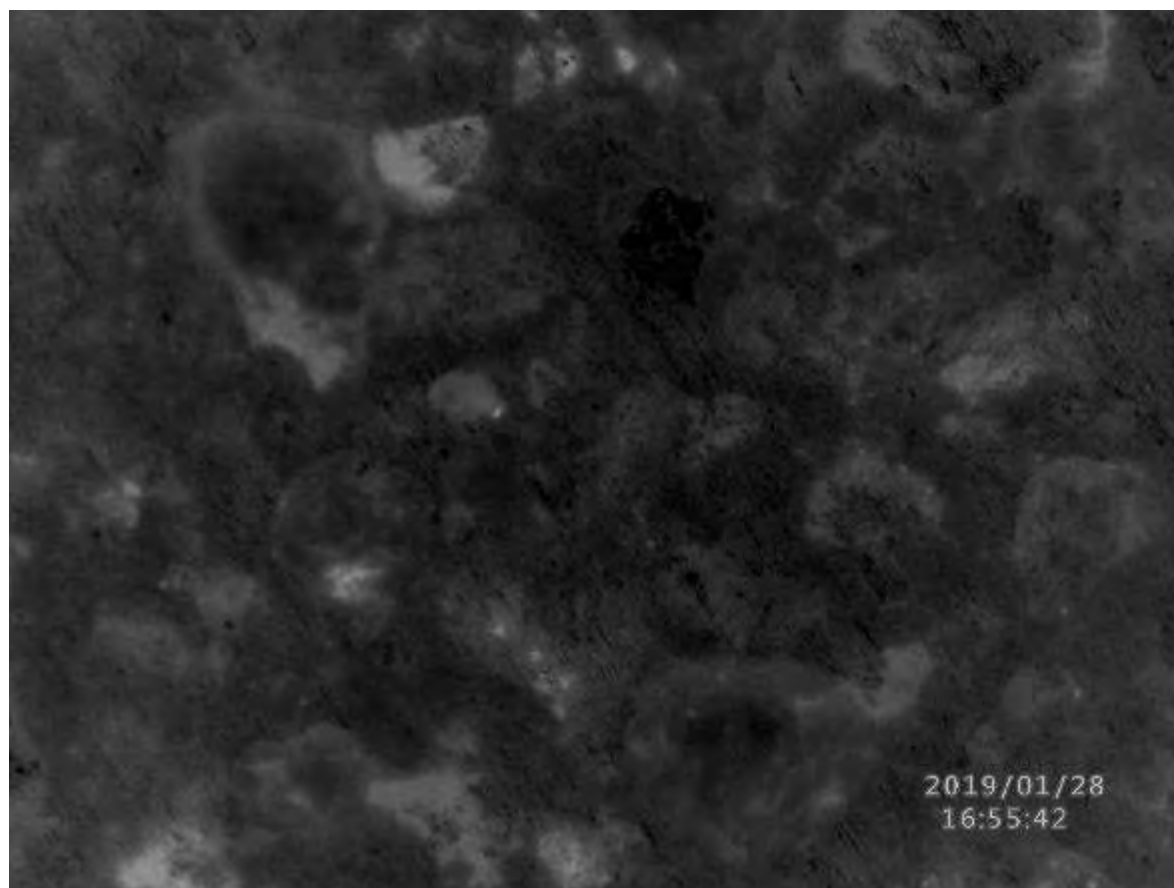


Figura. 4. 522. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-5271118, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

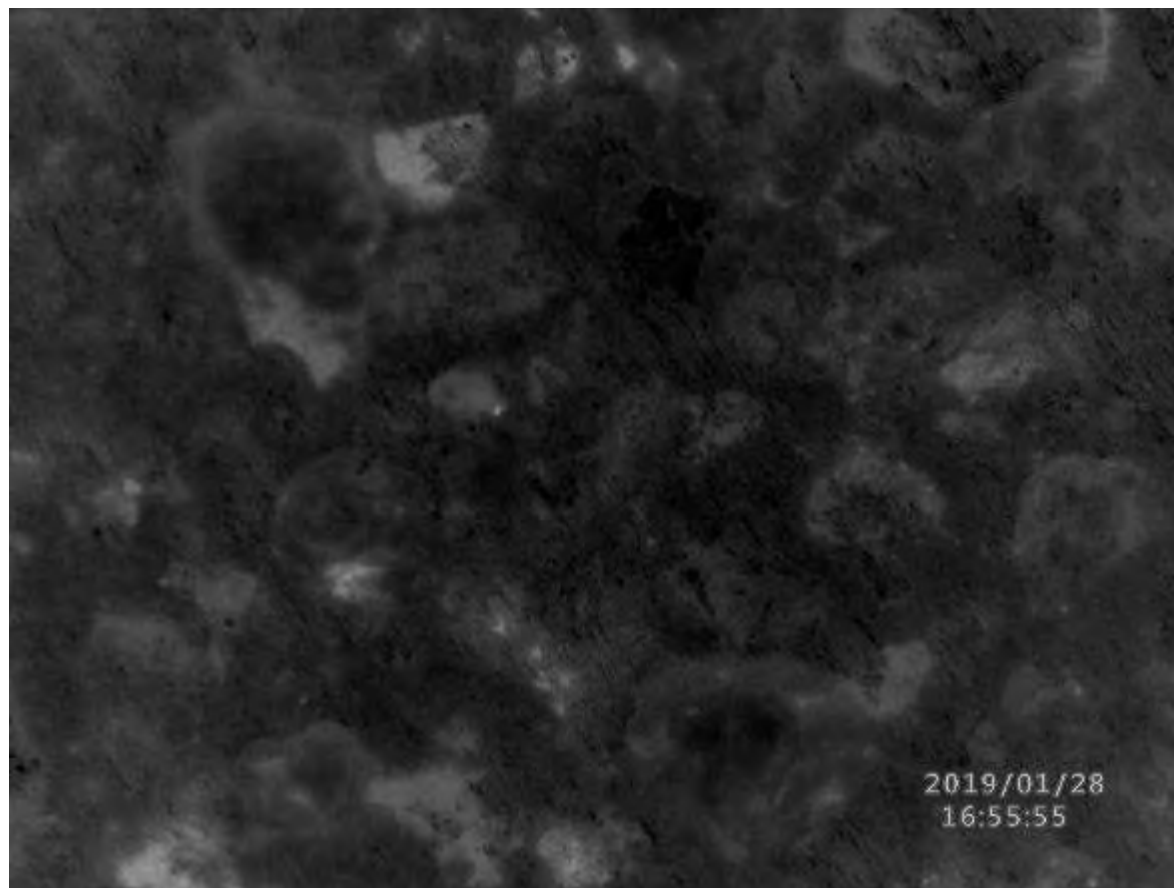


Figura. 4. 523. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-5271118, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

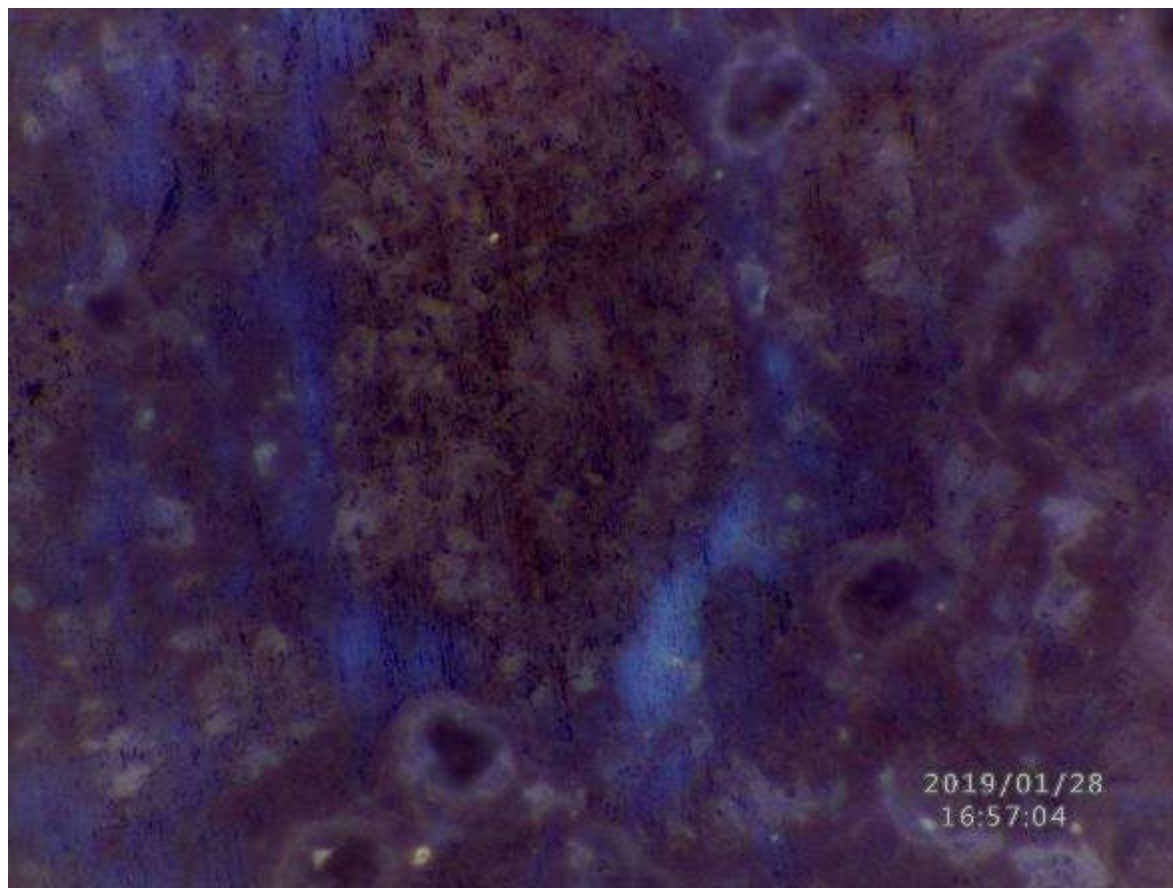


Figura. 4. 524. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-5271118, con un filtro negativo bajo una luz normal.
Fuente: (autoría propia).

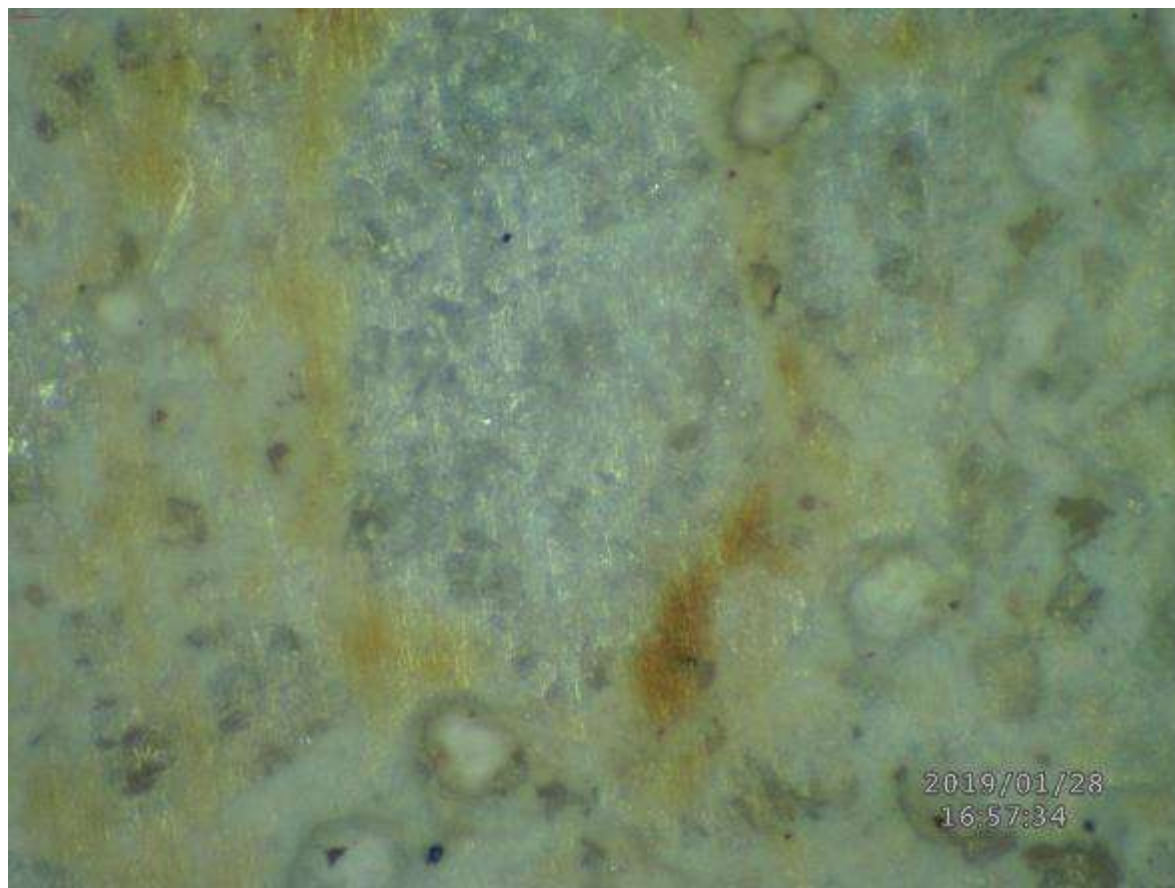
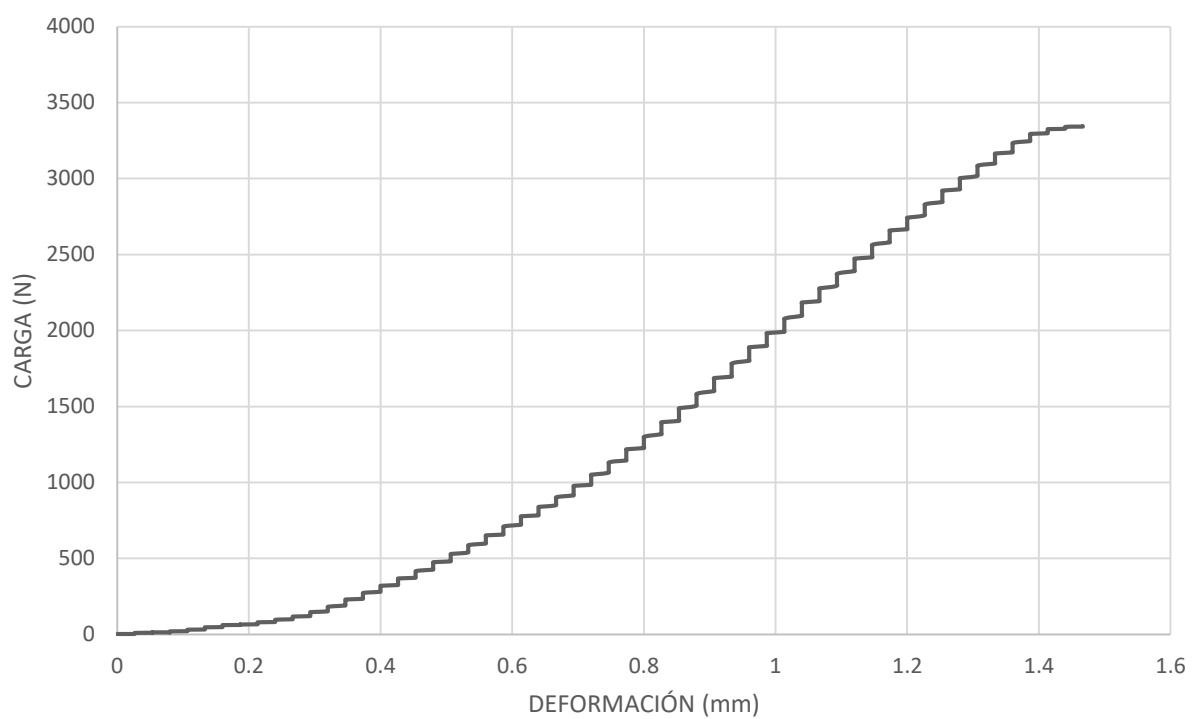


Figura. 4. 525. Microscopia de la C-5271118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

CARGA-DEFORMACIÓN



Gráficas 4. 41. Curva Carga-Deformación de la C-5271118, en N-mm. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 526. Fotografía de la C-5271118, en la prensa. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 527. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-5271118. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 528. Fotografías de la corrida C-1281118. Fuente: (Autoría propia).

De composición 100% CAL ESTANDAR, 275% MARMOLINA Tipo 2, 5% METACAOLIN, 10% CARBONATO DE SODIO, 30% HARINA DE ARRÓZ y A/C= 1:1 (calentada hasta el punto de ebullición y agregada a la mezcla, previamente integrados todos los materiales) (debe ser mezclada hasta alcanzar la trabajabilidad, que se necesita como pasa con todas las familias activadas con CARBONATO DE SODIO), de dimensiones iguales a un diámetro de 22.4mm y longitud de 44.5mm, que presenta una alta dureza al ser pulido, con poco desprendimiento. (Autoría propia).



Figura. 4. 529. Imágenes de la corrida C-1281118, con presencia de eflorescencias en su parte externa. (autoría propia).

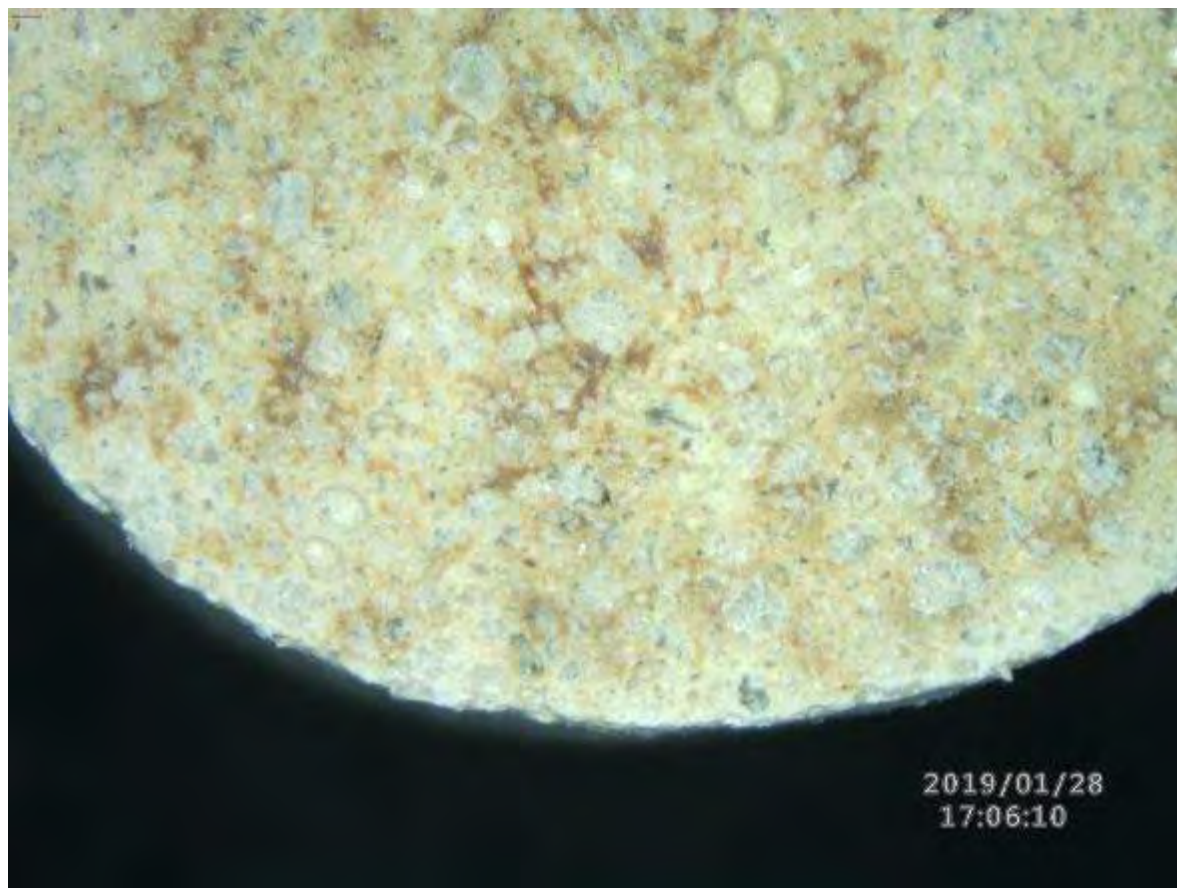


Figura. 4. 530. Microscopia de la C-1281118. Fuente: Autoría propia.

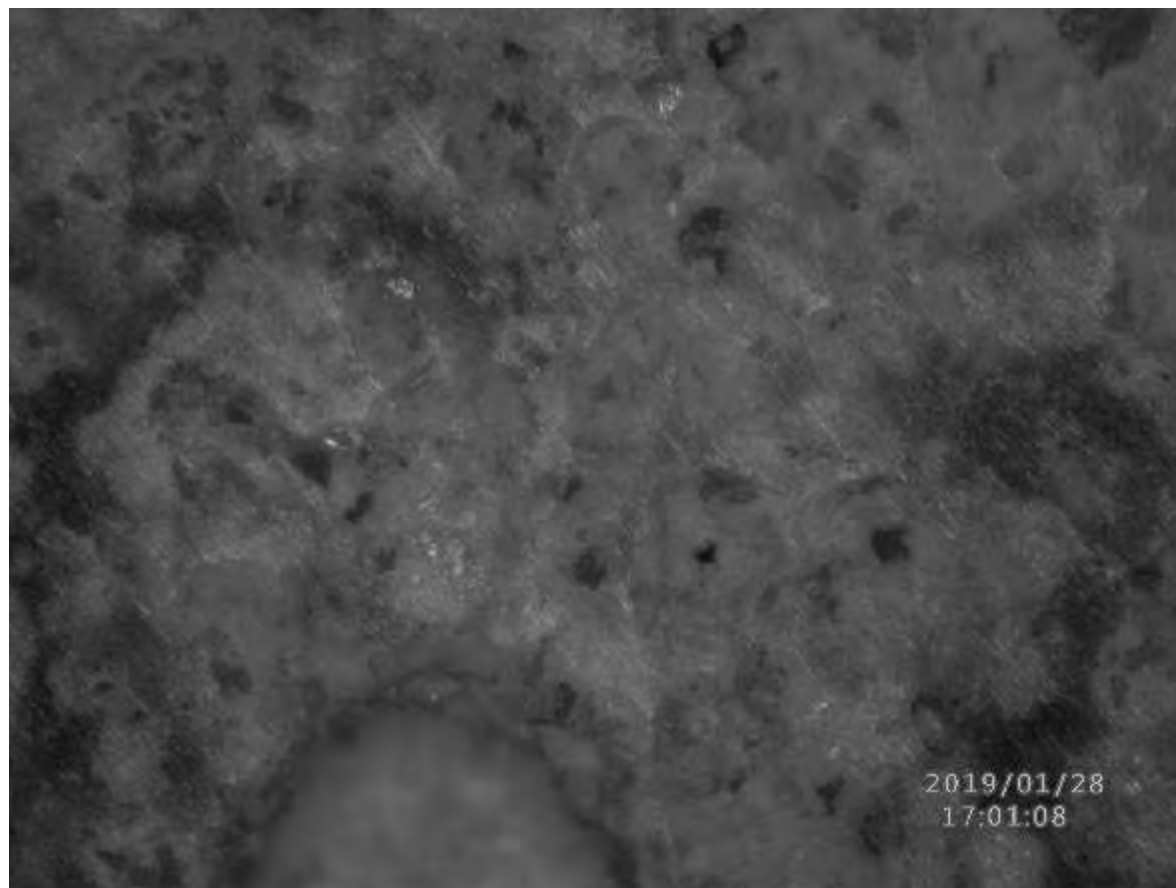


Figura. 4. 531. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1281118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 532. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1281118, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

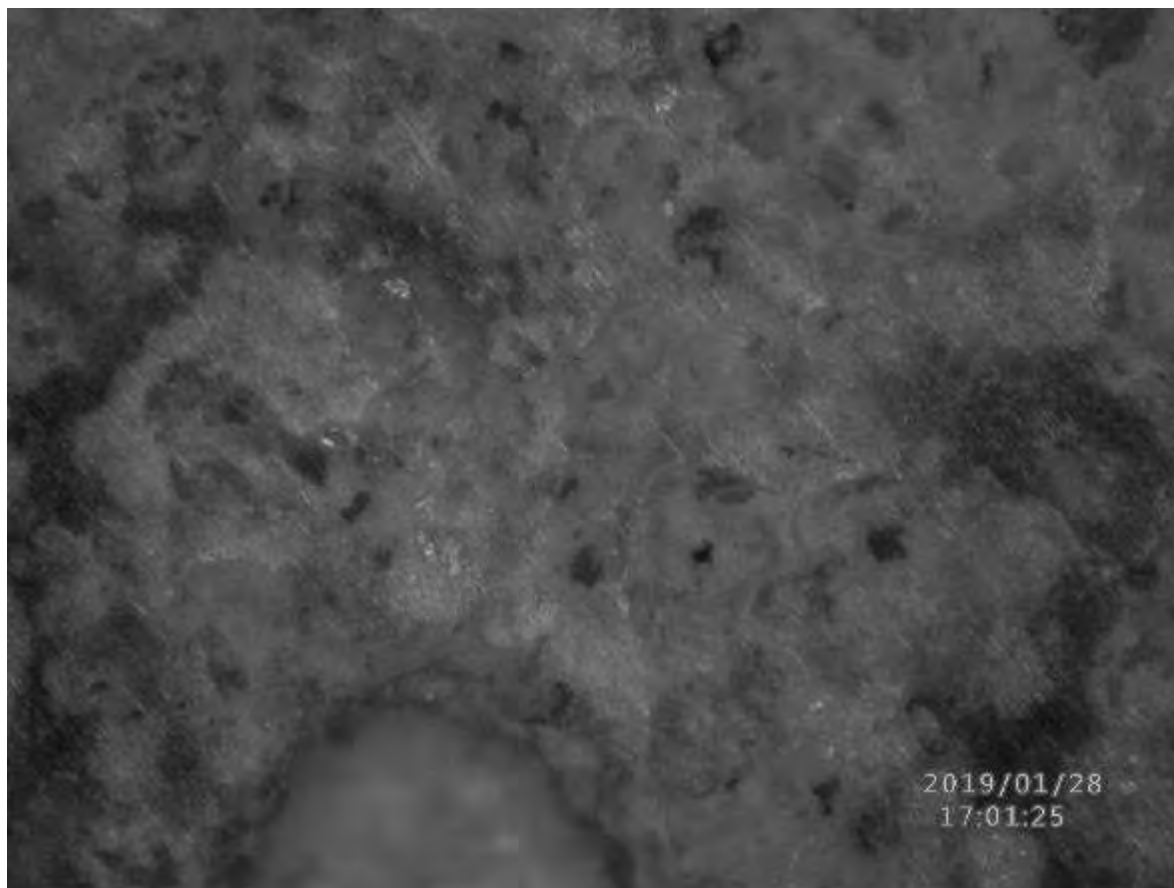


Figura. 4. 533. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1281118, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

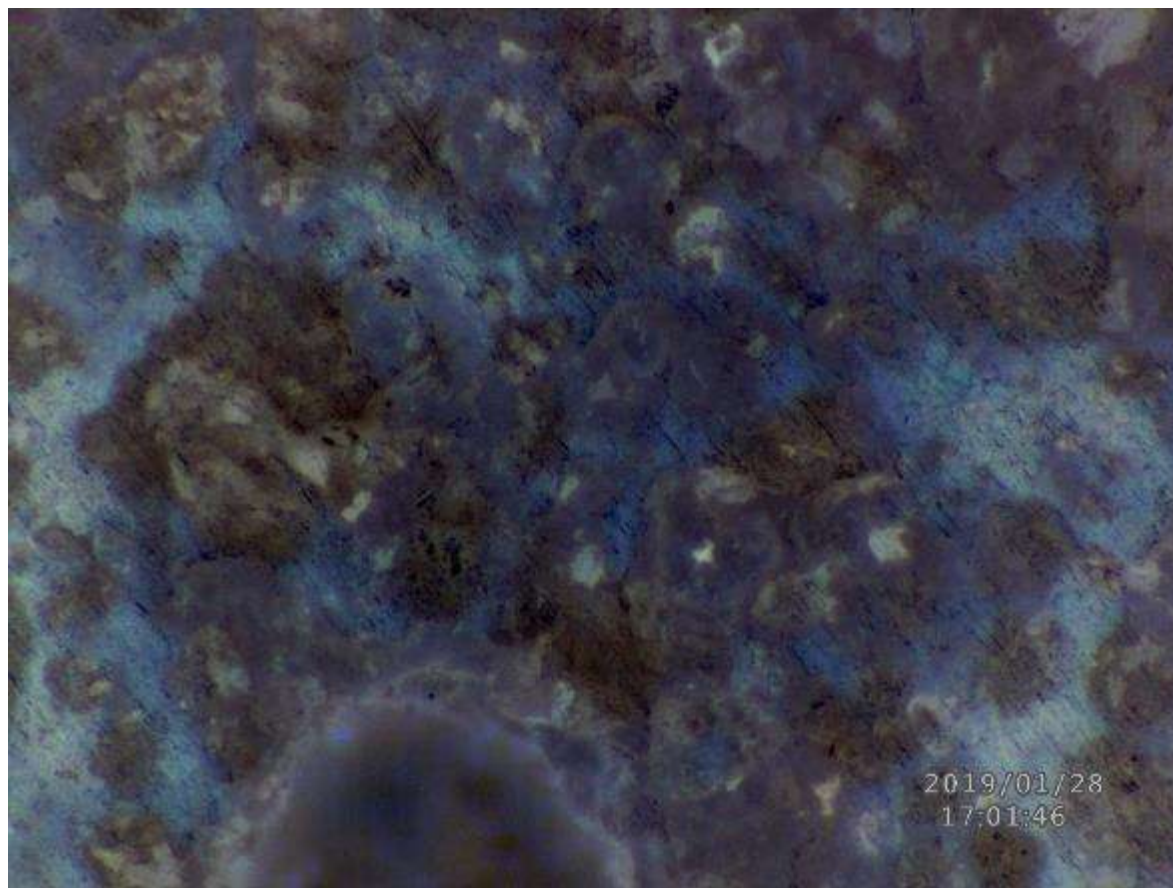


Figura. 4. 534. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1281118, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

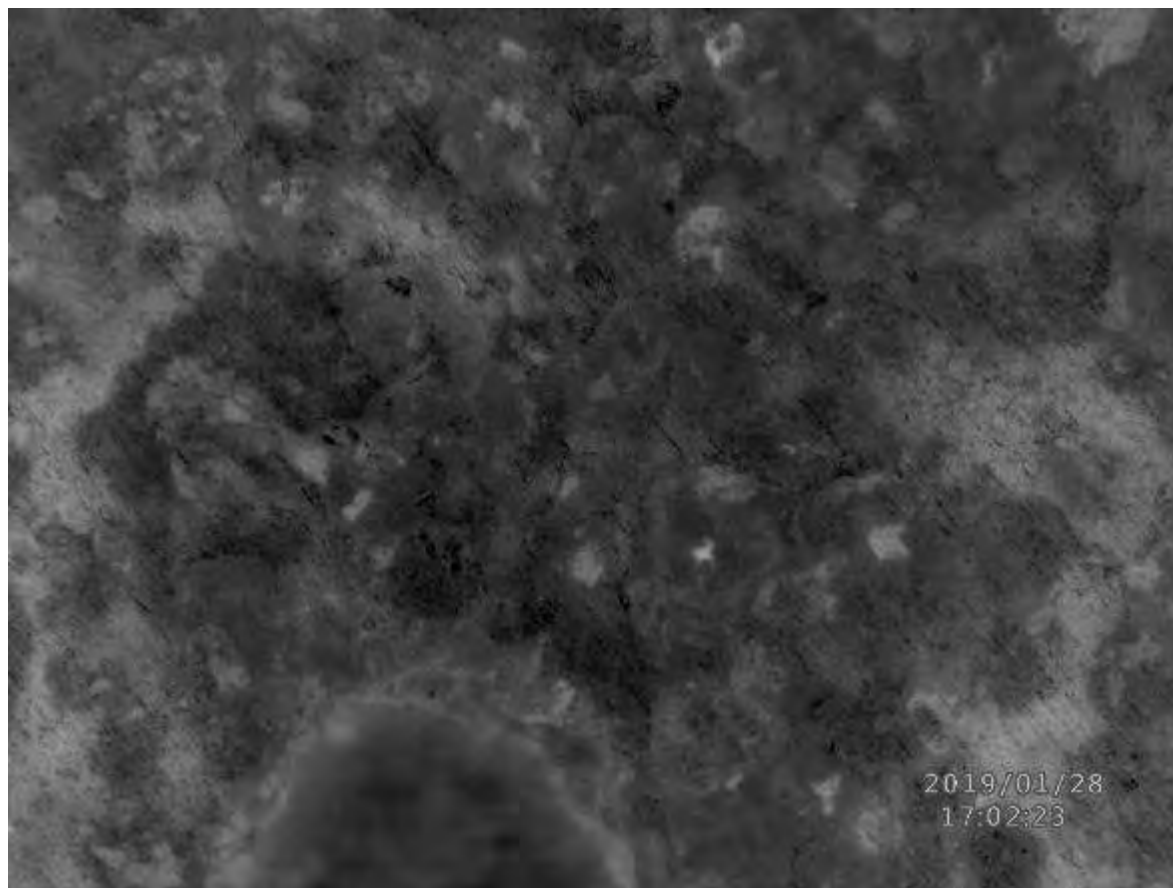


Figura. 4. 535. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1281118, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

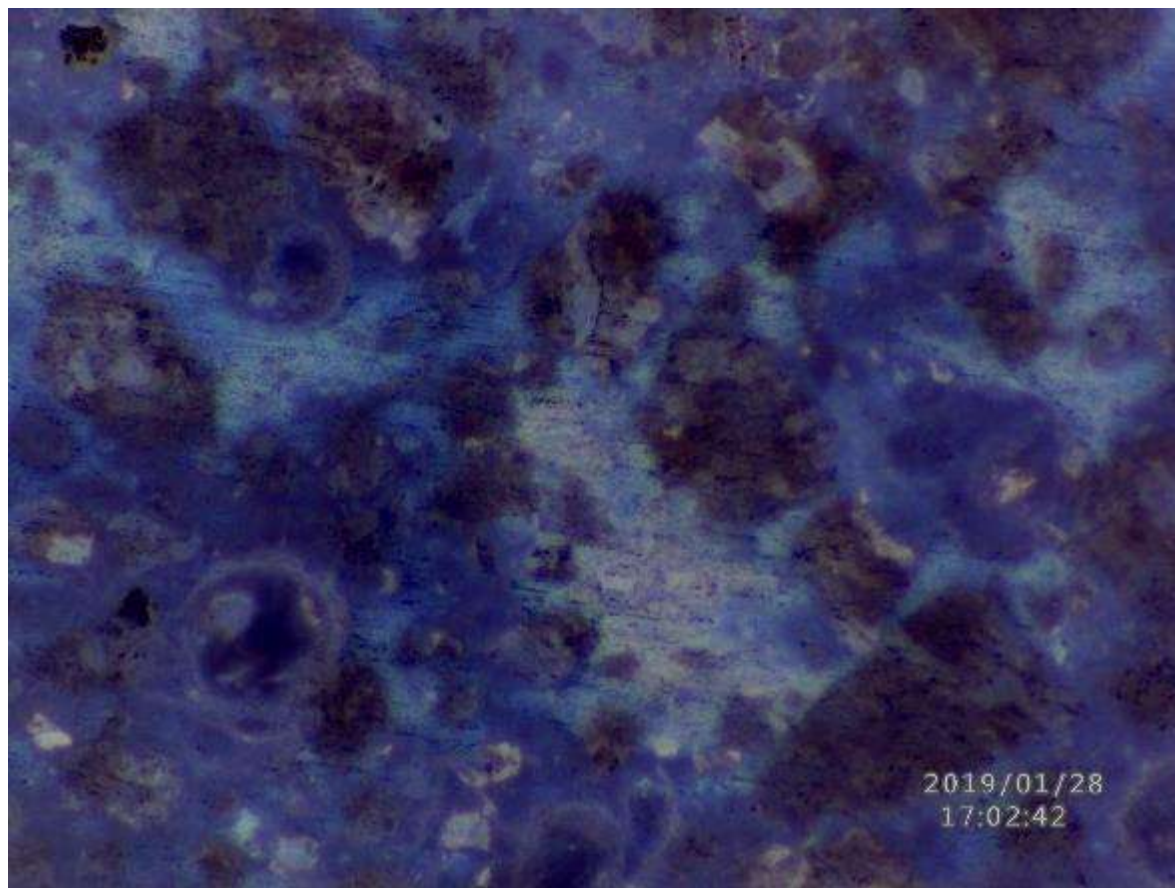


Figura. 4. 536. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1281118, con un filtro negativo bajo una luz normal.
Fuente: (autoría propia).

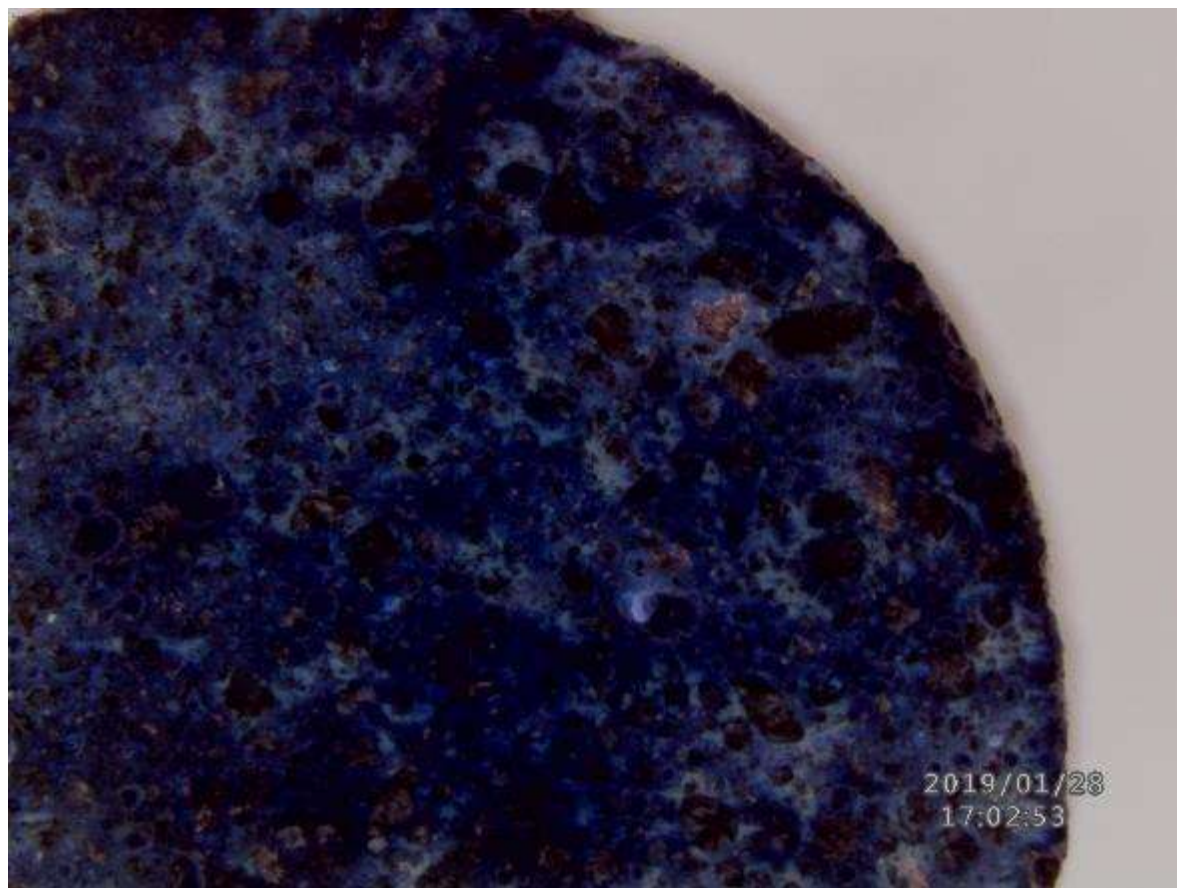


Figura. 4. 537. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1281118, con un filtro negativo bajo una luz normal.
Fuente: (autoría propia).

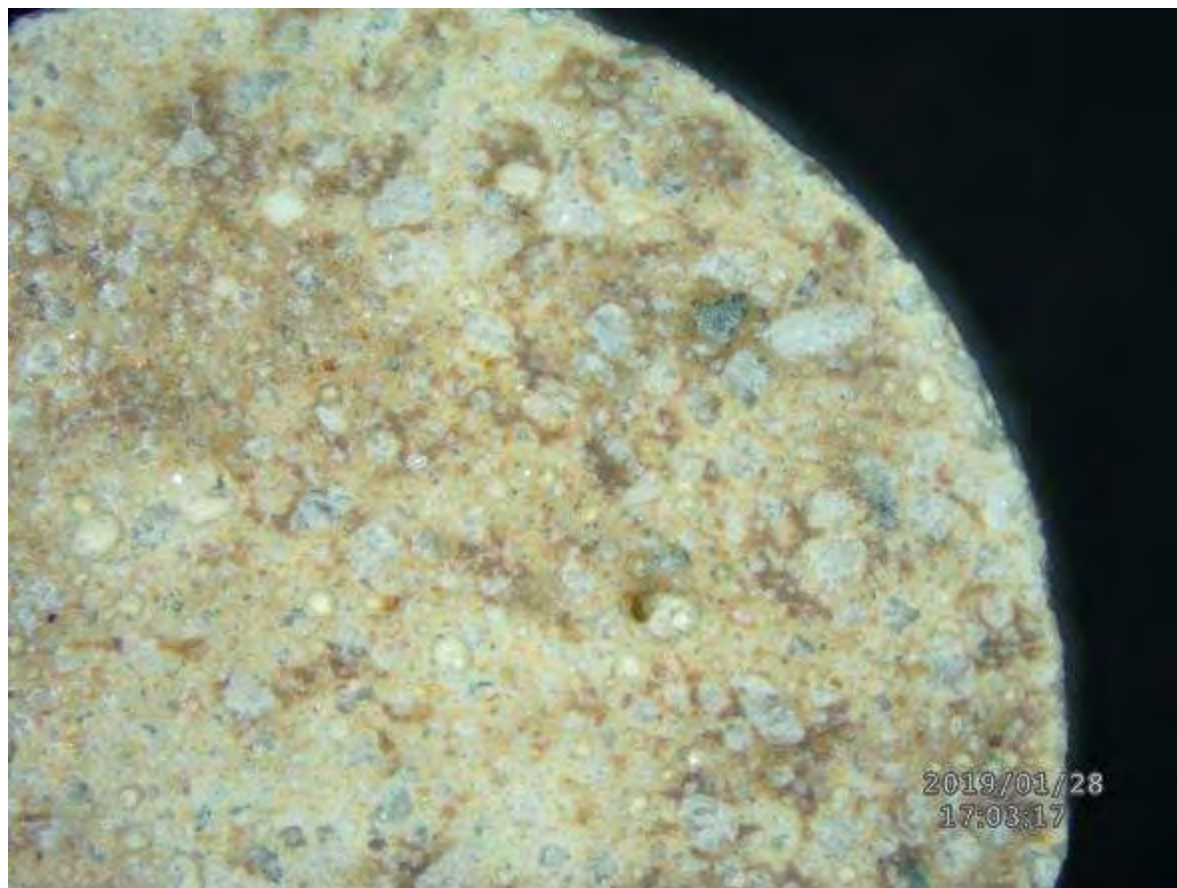


Figura. 4. 538. Microscopia de la C-1281118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

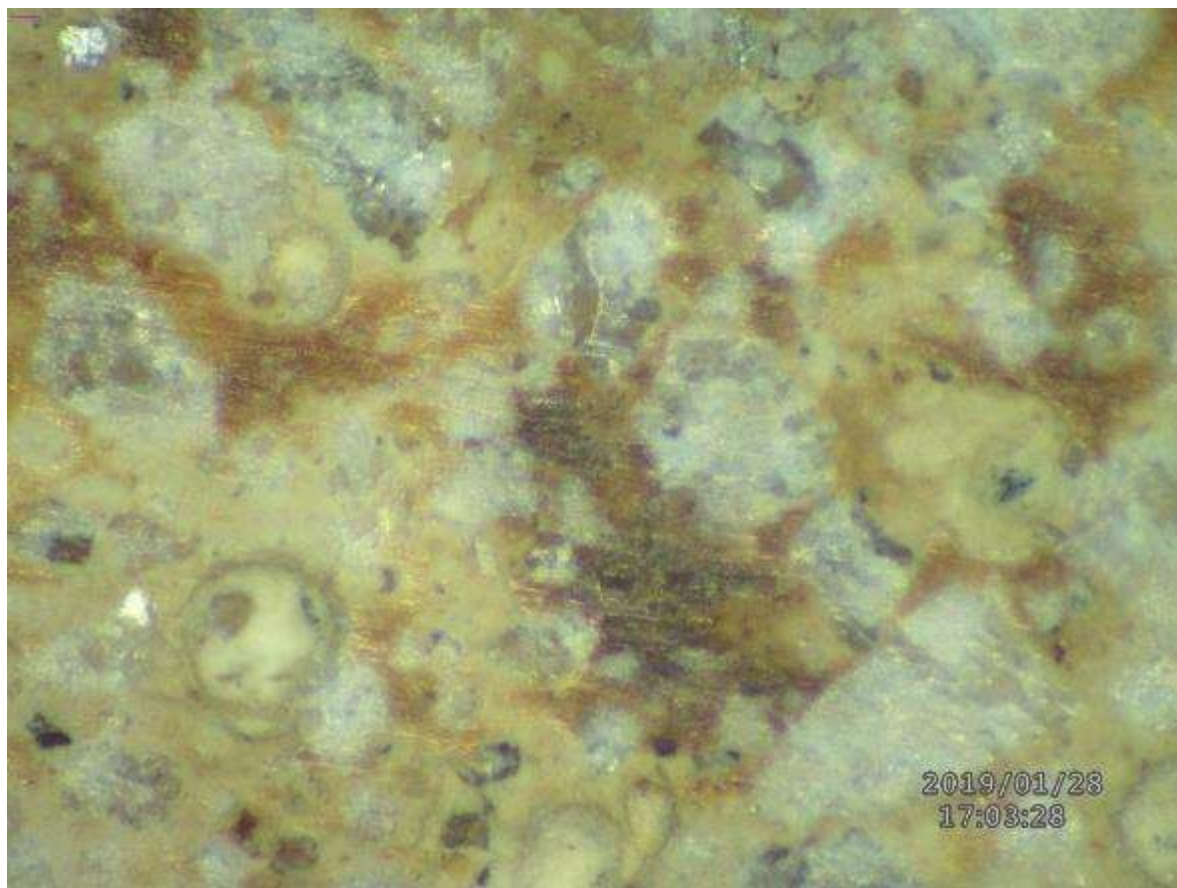


Figura. 4. 539. Microscopia de la C-1281118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).



Gráficas 4. 42. Curva Carga-Deformación de la C-1281118, en N-mm. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 540. Fotografía de la C-1281118, en la prensa. Fuente: (autoría propia).

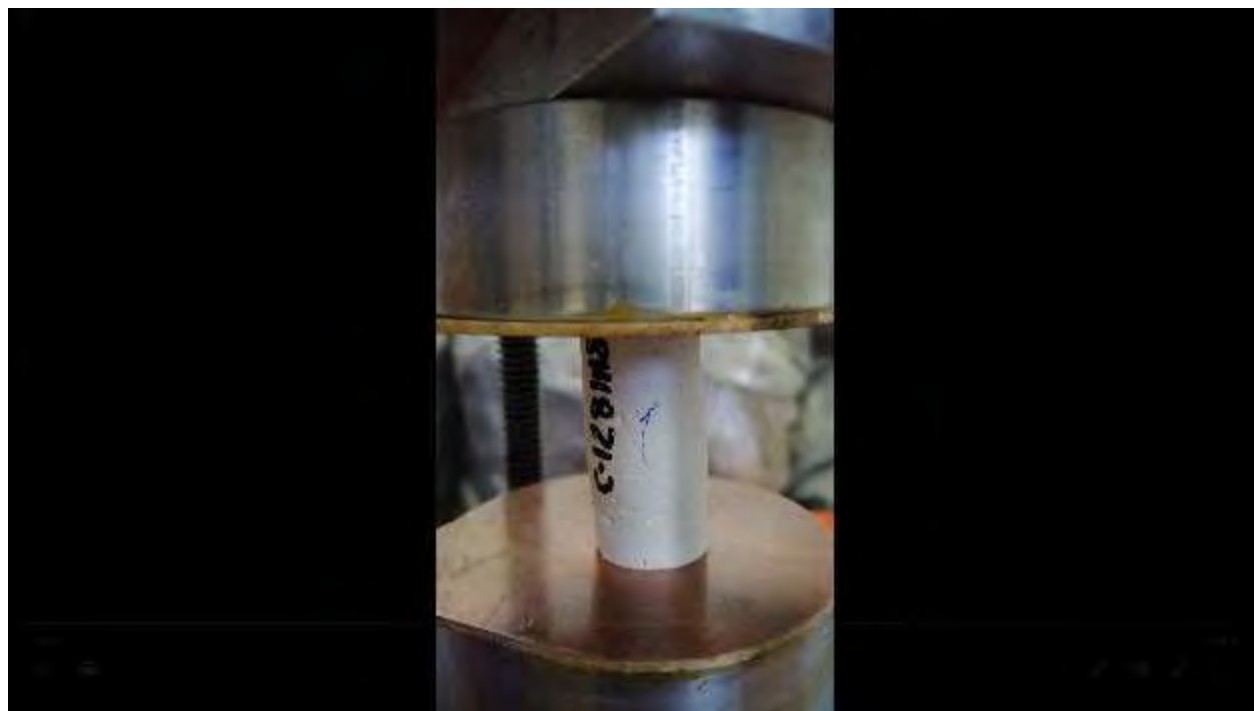


Figura. 4. 541. Fotografía de la C-1281118, en la prensa. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 542. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-1281118. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 543. Fotografías de la corrida C-1291118. Fuente: (Autoría propia).

De composición 100% CAL ESTANDAR, 275% MARMOLINA Tipo 2, 5% METACAOLIN, 5% CARBONATO DE SODIO, 30% HARINA DE ARRÓZ y A/C= 1.3:1 (calentada hasta el punto de ebullición y agregada a la mezcla, previamente integrados todos los materiales) (debe ser mezclada hasta alcanzar la trabajabilidad, que se necesita como pasa con todas las familias activadas con CARBONATO DE SODIO), de dimensiones iguales a un diámetro de 22.5mm y longitud de 44.0mm, que presenta una alta dureza al ser pulido, con poco desprendimiento. (Autoría propia).

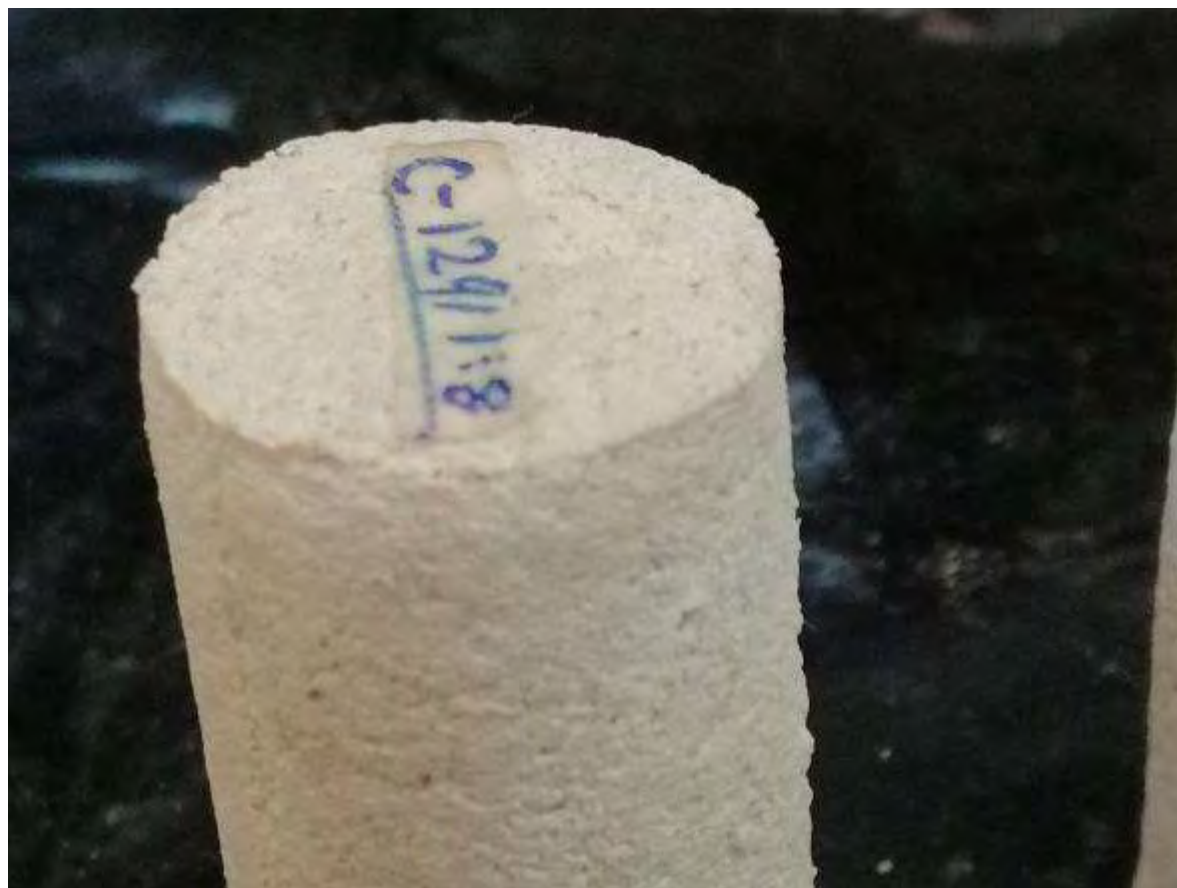


Figura. 4. 544. Imágenes de la corrida C-129118, con presencia de eflorescencias en su parte externa. (autoría propia).



Figura. 4. 545. Microscopia de la C-1291118. Fuente: Autoría propia.



Figura. 4. 546. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1291118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 547. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1291118, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

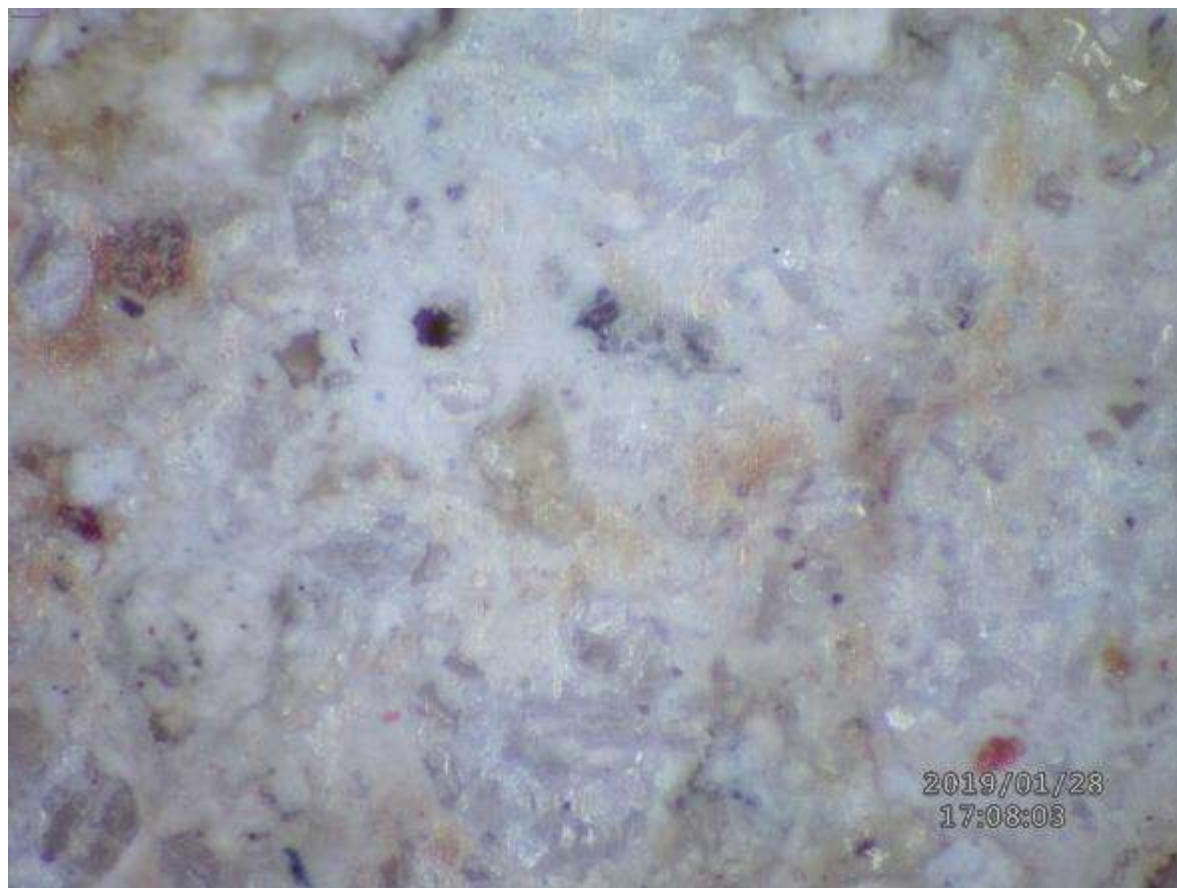


Figura. 4. 548. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1291118, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

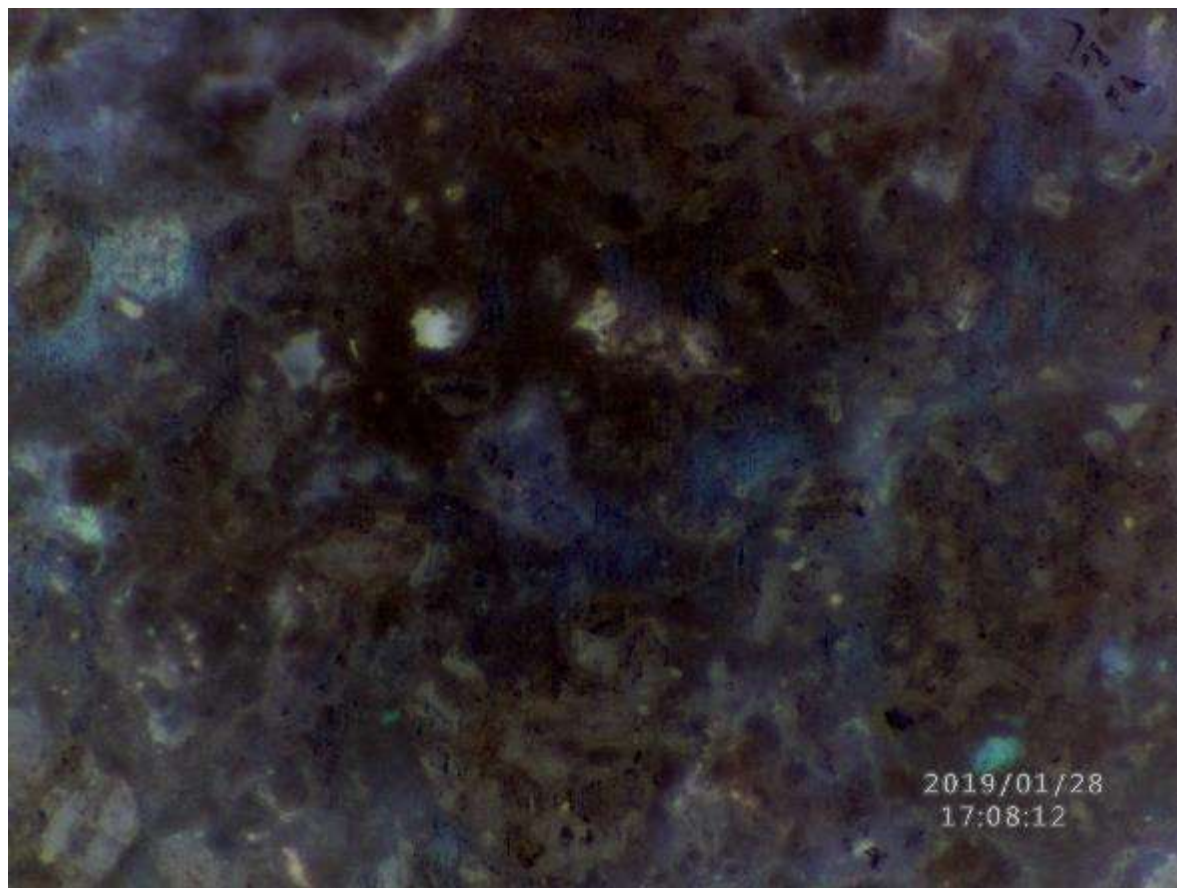


Figura. 4. 549. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1291118, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

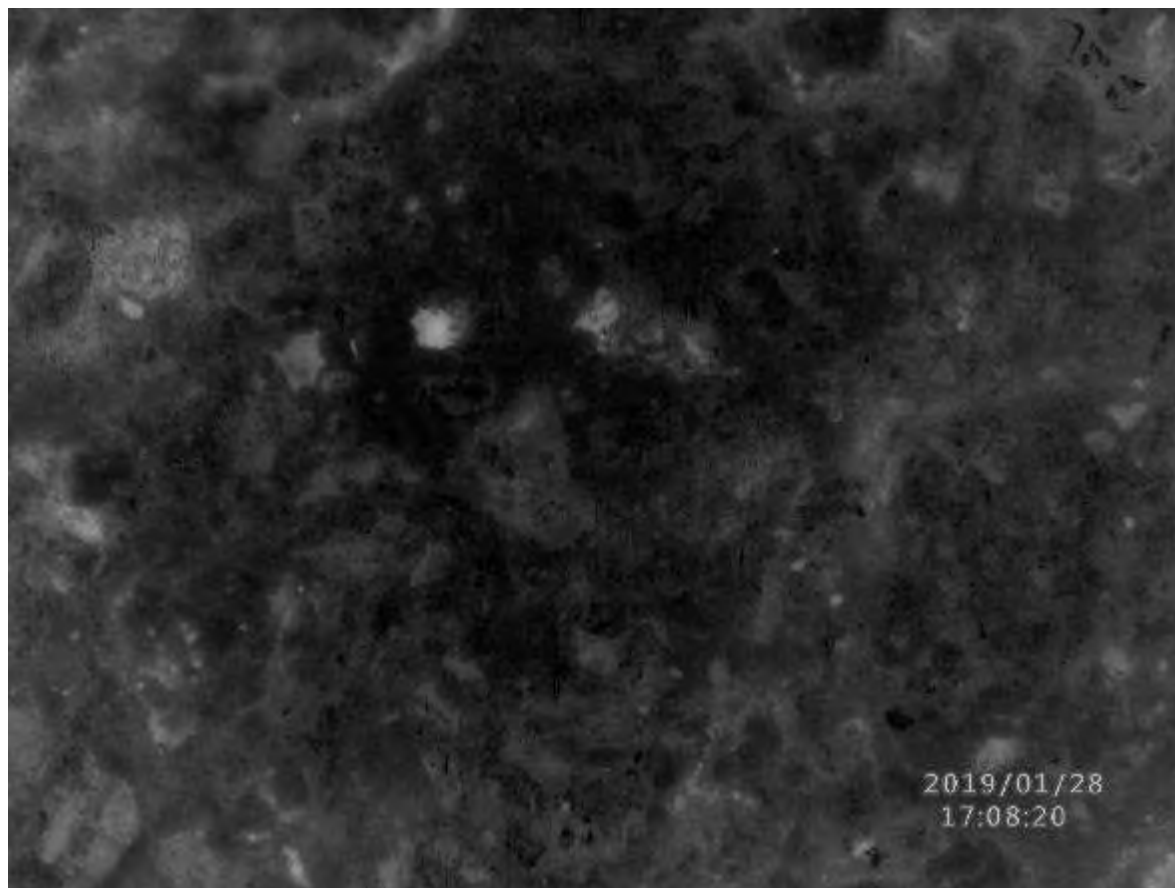


Figura. 4. 550. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1291118, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

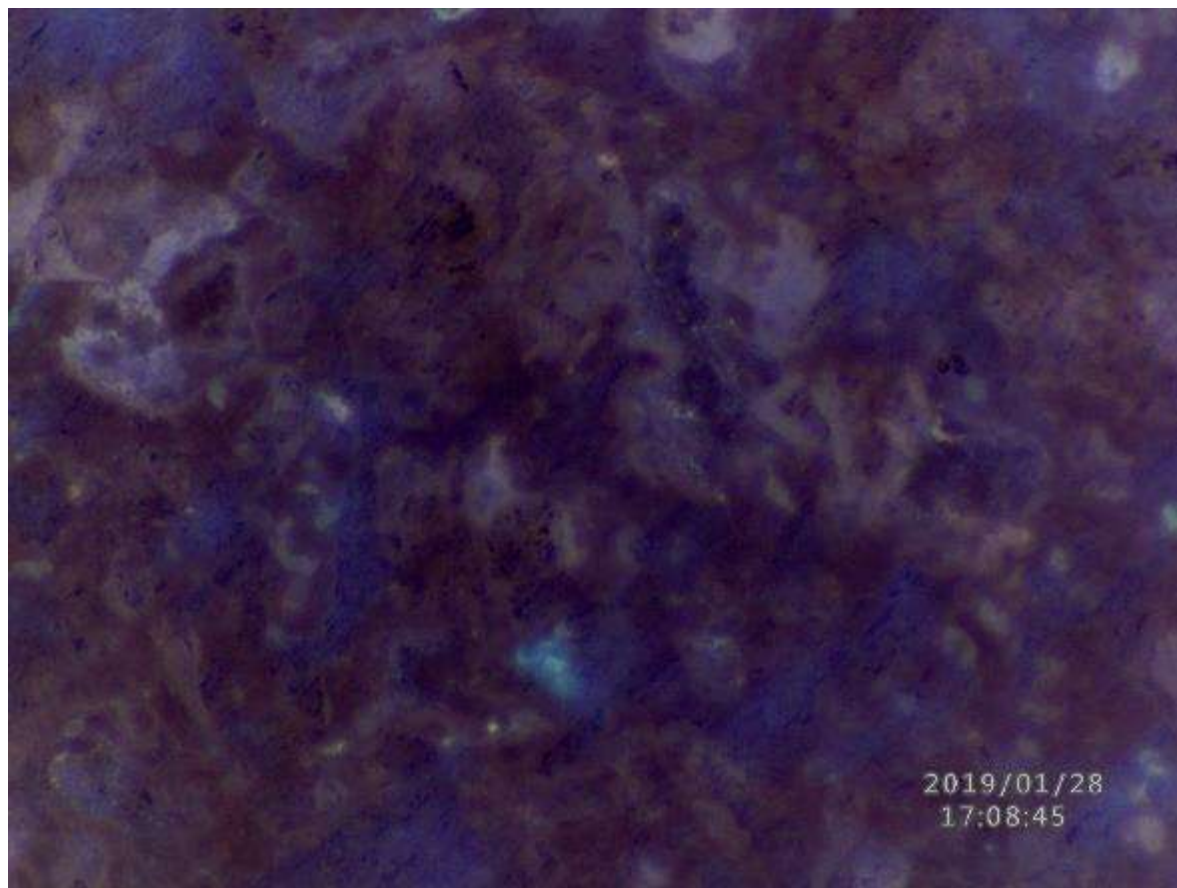


Figura. 4. 551. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1291118, con un filtro negativo bajo una luz normal.
Fuente: (autoría propia).

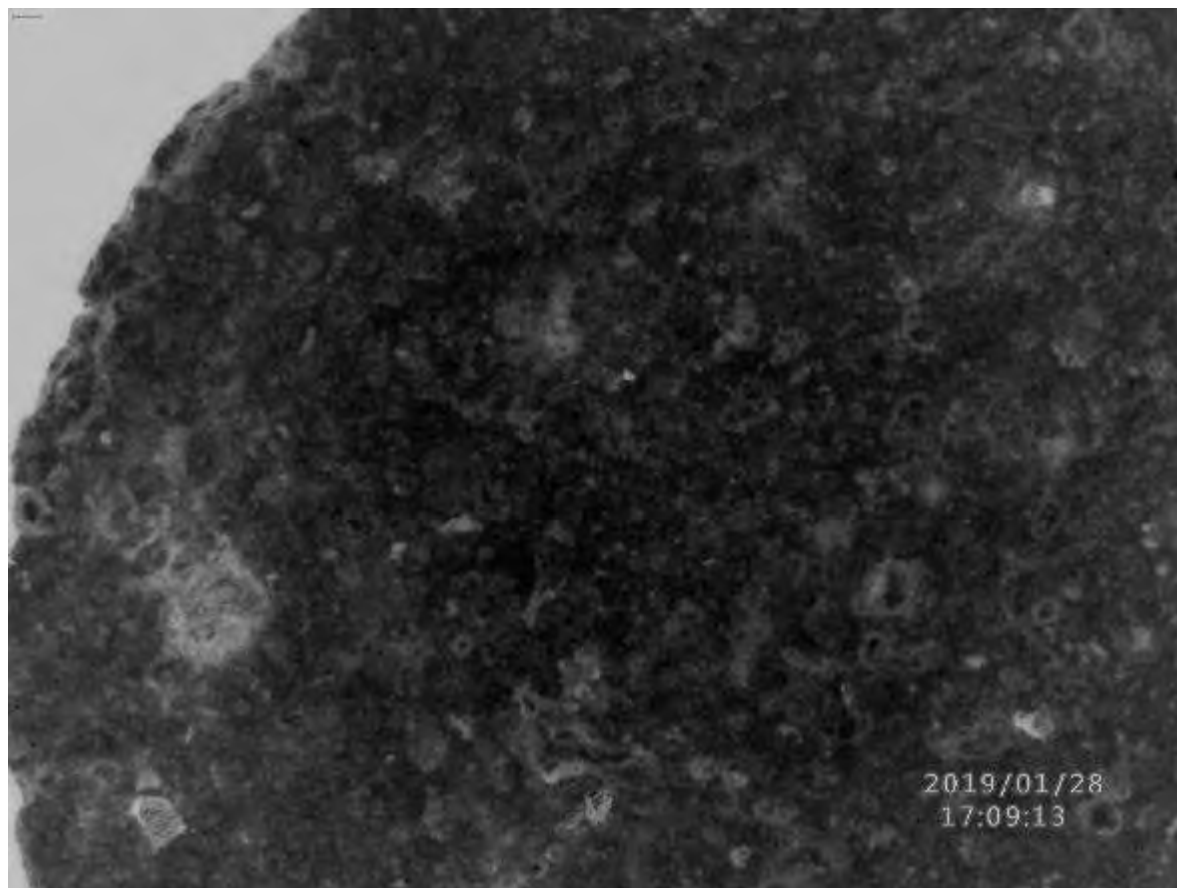


Figura. 4. 552. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1291118, con un filtro negativo bajo una luz normal.
Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 553. Microscopia de la C-1291118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

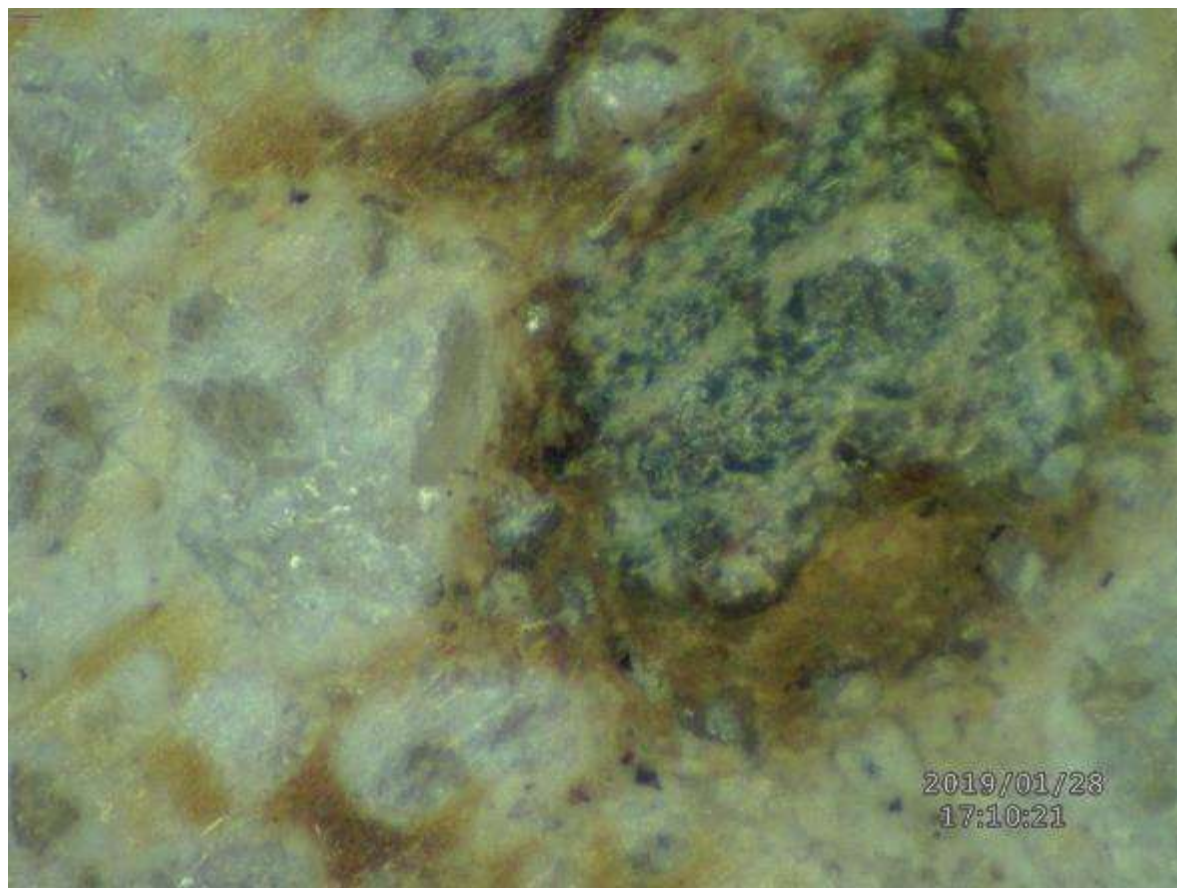
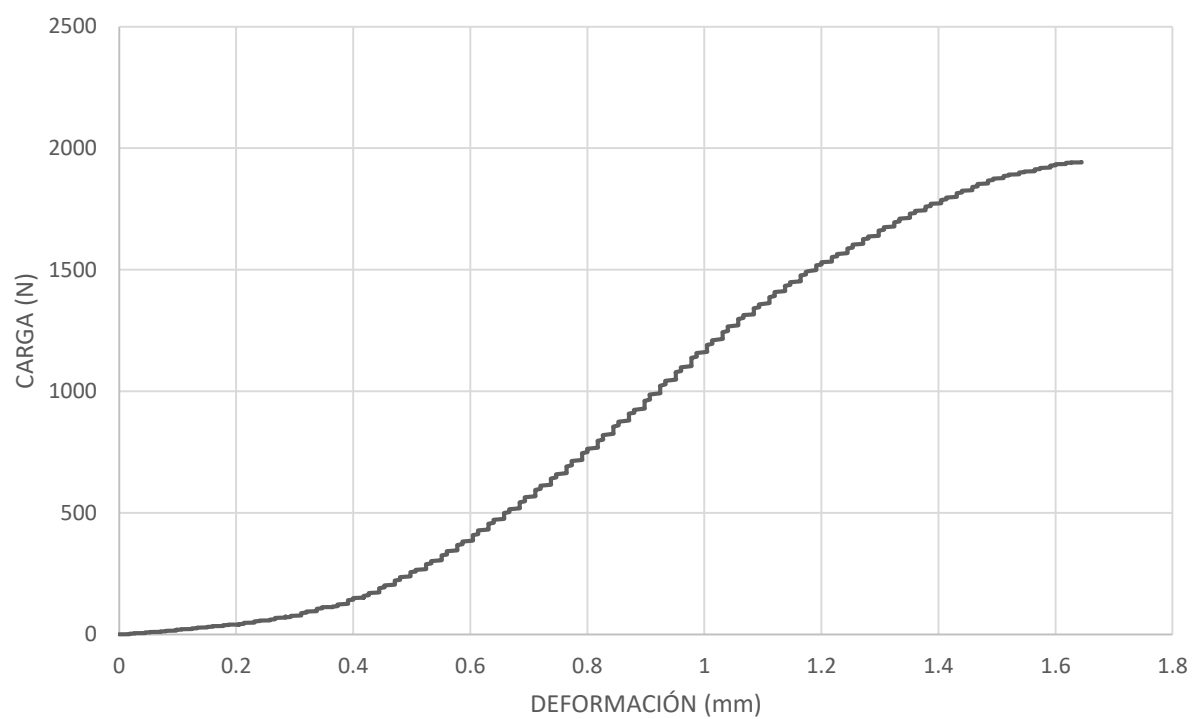


Figura. 4. 554. Microscopia de la C-1291118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

Mostrando la fuerte unión en la frontera transición entre los materiales de la probeta.

CARGA-DEFORMACIÓN



Gráficas 4. 43. Curva Carga-Deformación de la C-1291118, en N-mm. Fuente: (autoría propia).

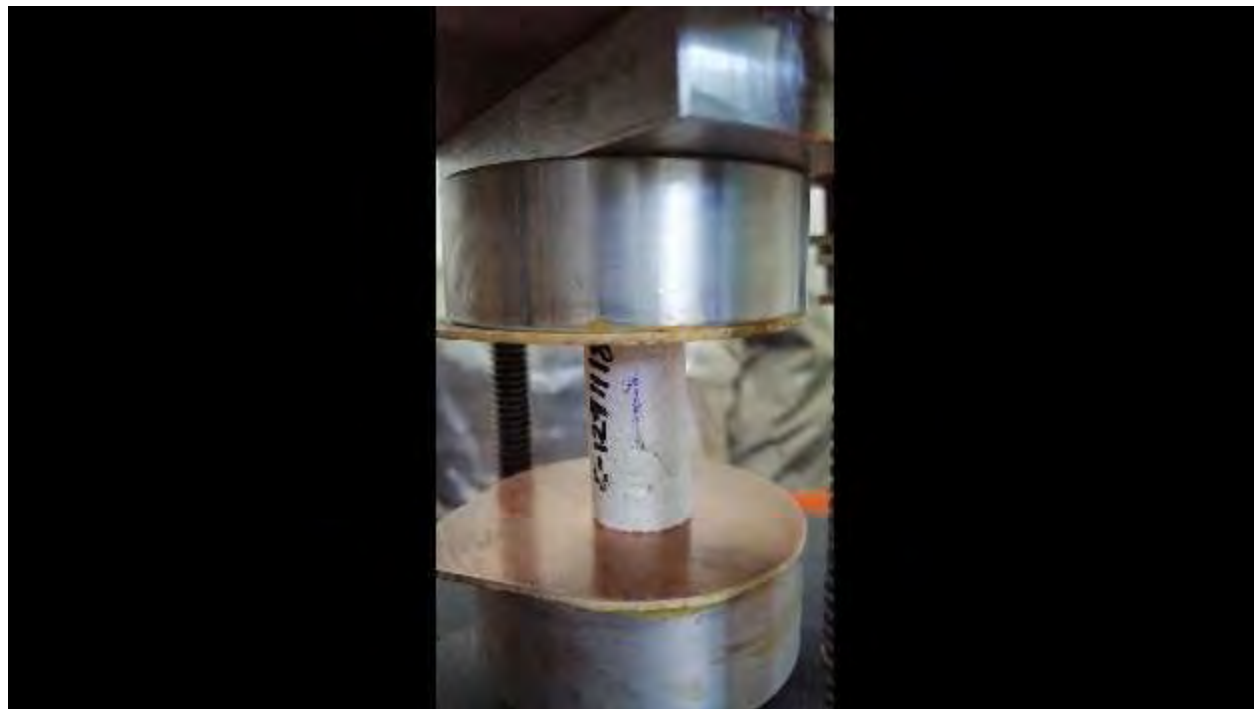


Figura. 4. 555. Fotografía de la C-1291118, en la prensa. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 556. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-1291118. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 557. Fotografías de la corrida C-1301118. Fuente: (Autoría propia).

De composición 100% CAL ESTANDAR, 275% MARMOLINA Tipo 2, 5% METACAOLIN, 5% SULFATO DE SODIO y A/C= 1:1, de dimensiones iguales a un diámetro de 23.2mm y longitud de 45.8mm, que presenta una alta dureza al ser pulido, con poco desprendimiento. (Autoría propia).



Figura. 4. 558. Imágenes de la corrida C-1301118, con presencia de eflorescencias en su parte externa. (autoría propia).

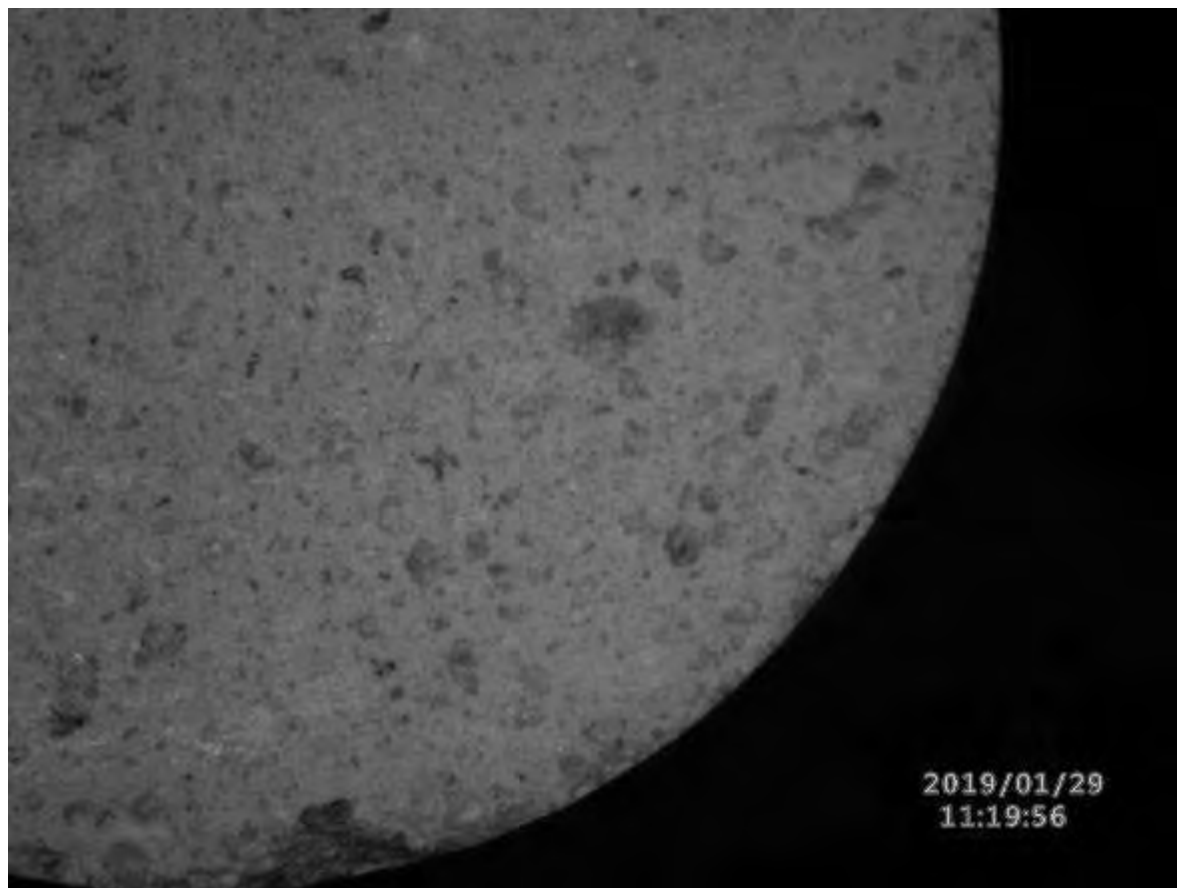


Figura. 4. 559. Microscopia de la C-1301118. Fuente: Autoría propia.



Figura. 4. 560. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1301118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

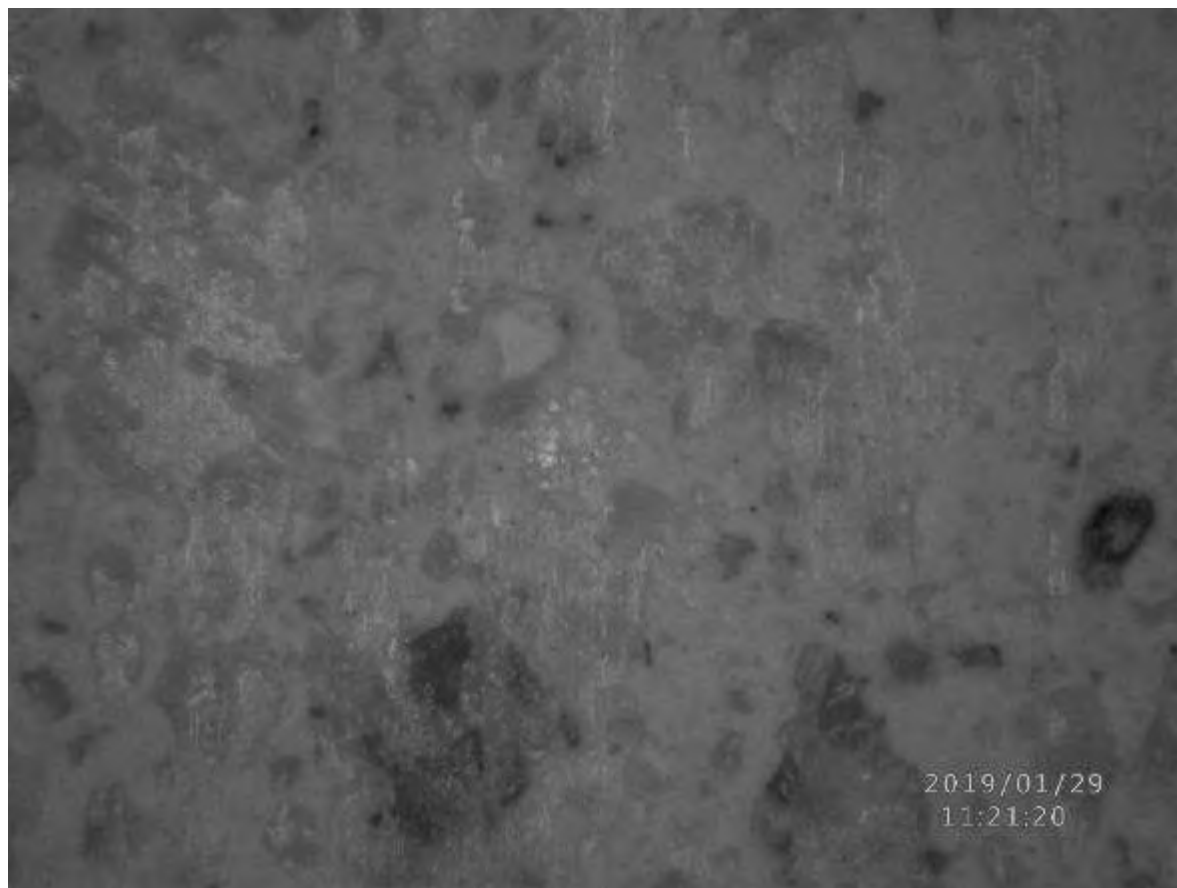


Figura. 4. 561. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1301118, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

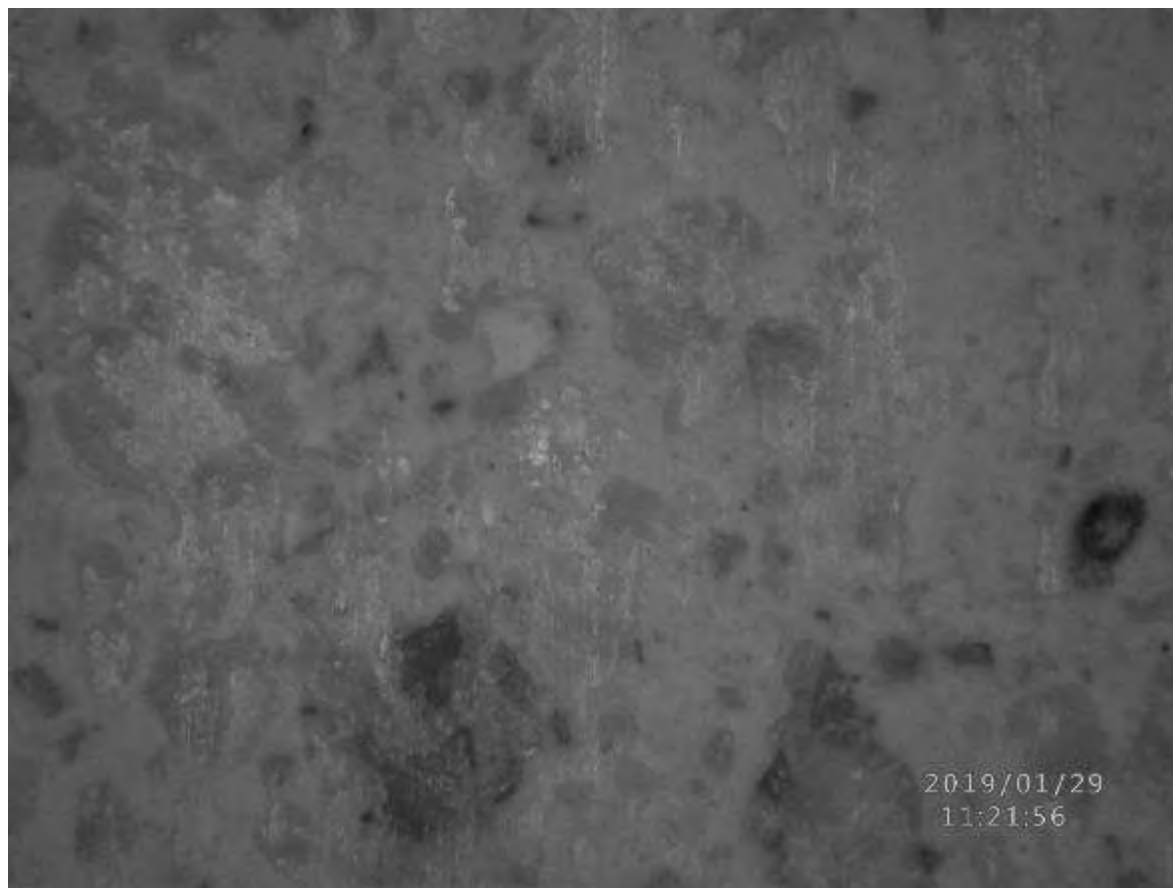


Figura. 4. 562.. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1301118, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

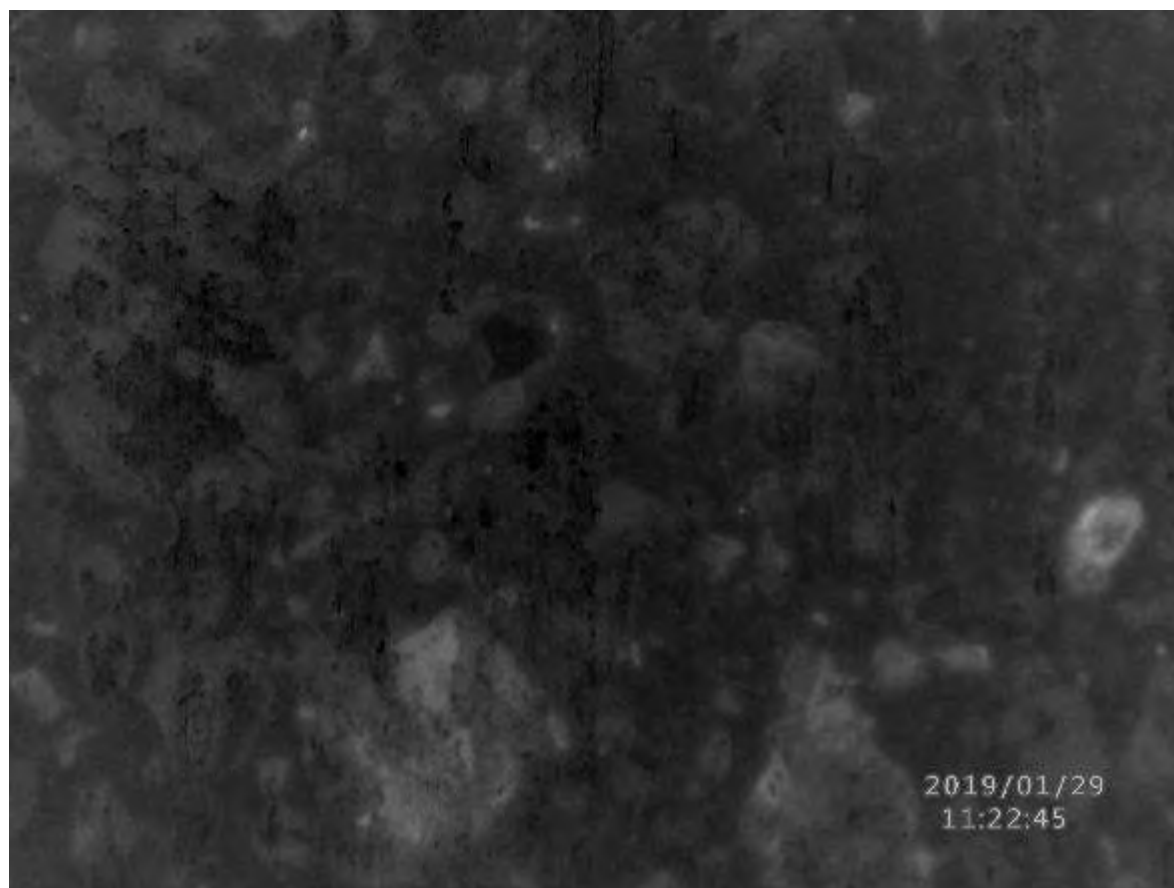


Figura. 4. 563. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1301118, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

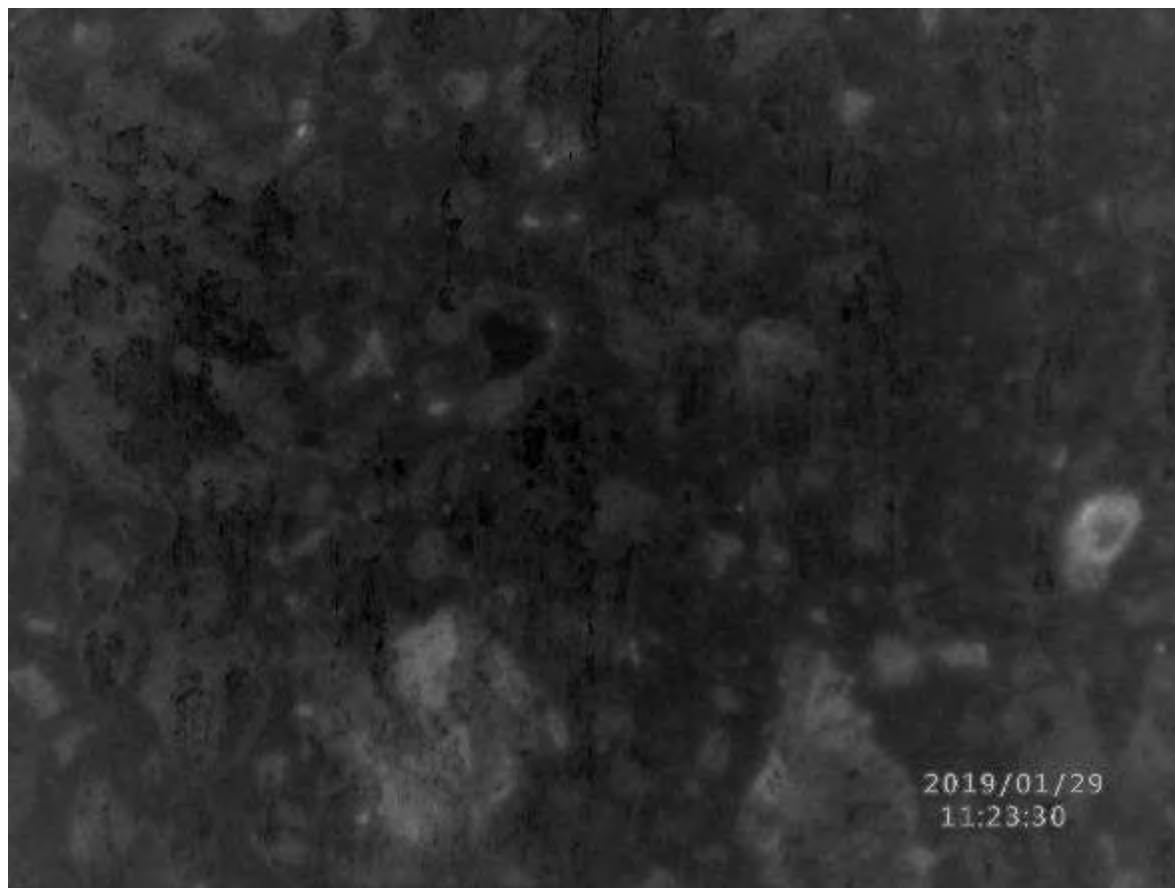


Figura. 4. 564. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1301118, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

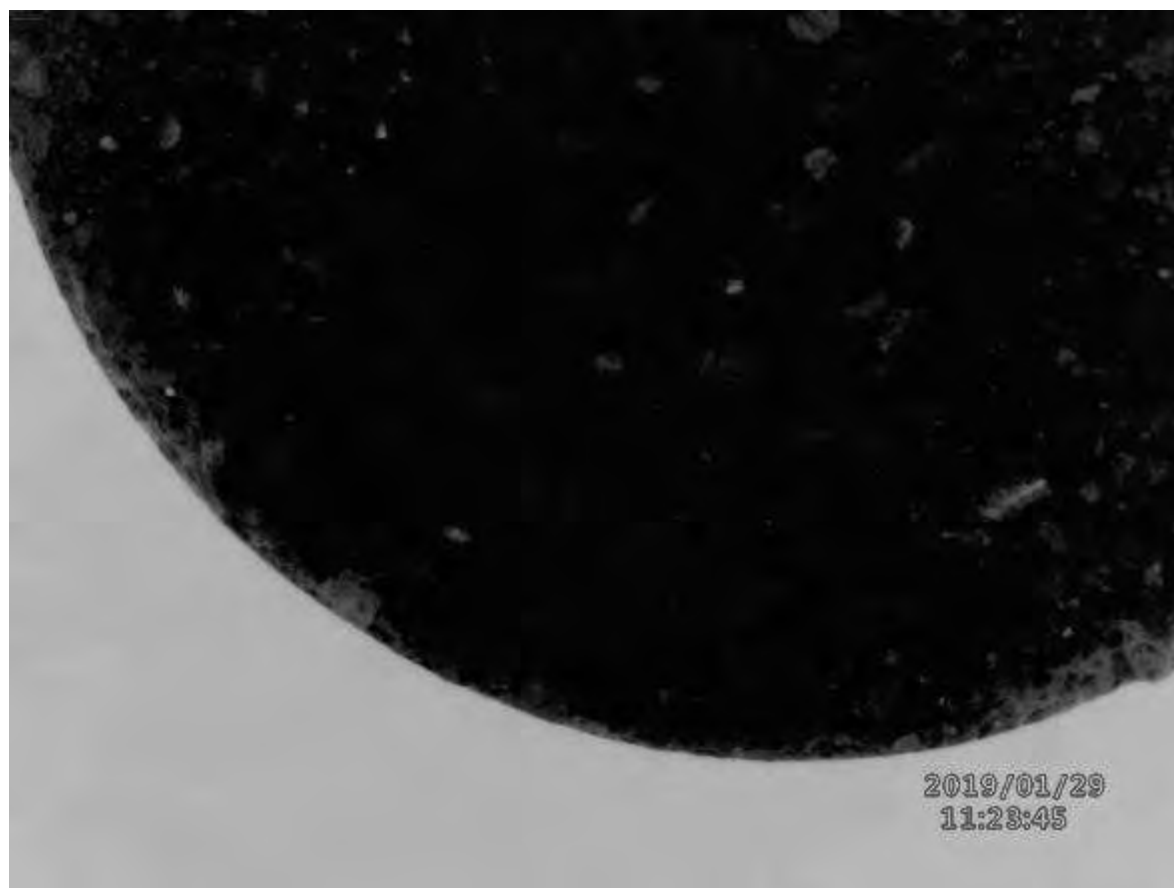


Figura. 4. 565. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1301118, con un filtro negativo bajo una luz normal.
Fuente: (autoría propia).

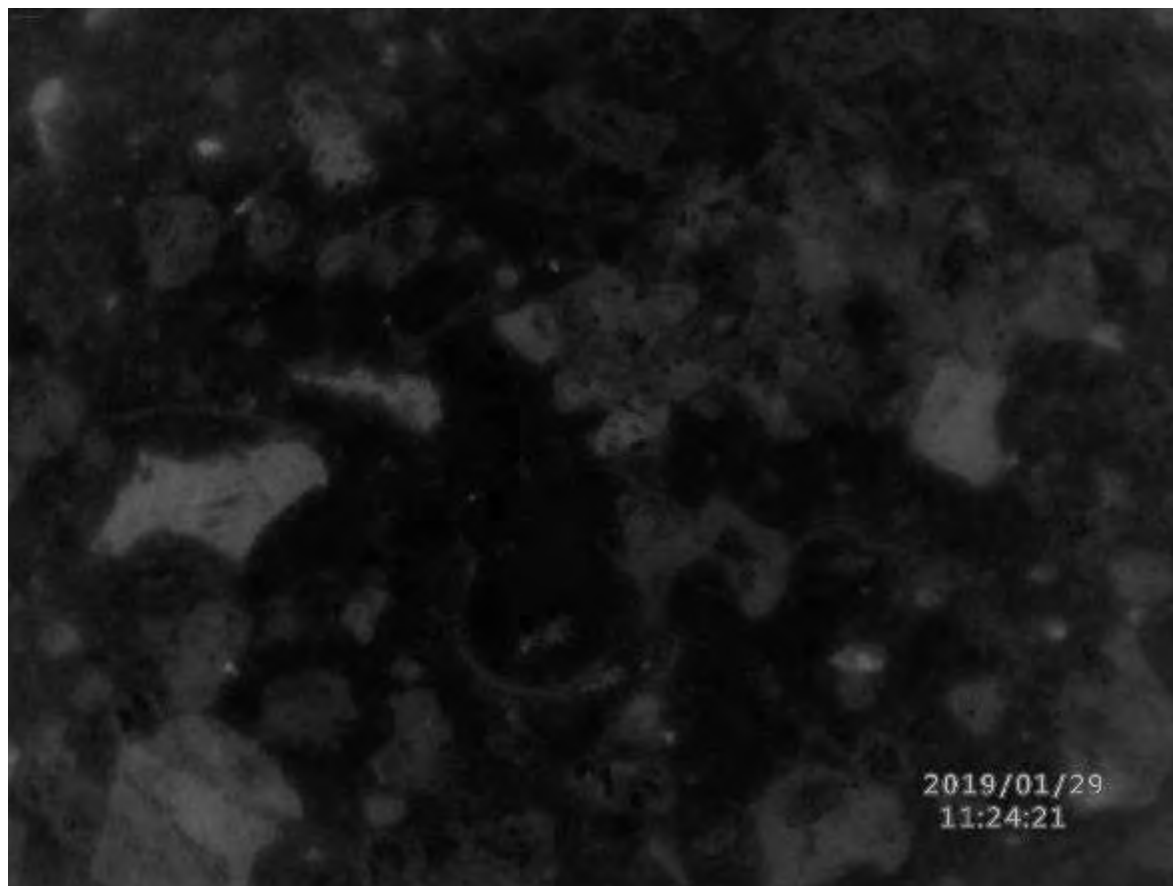


Figura. 4. 566. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1301118, con un filtro negativo bajo una luz normal.
Fuente: (autoría propia).

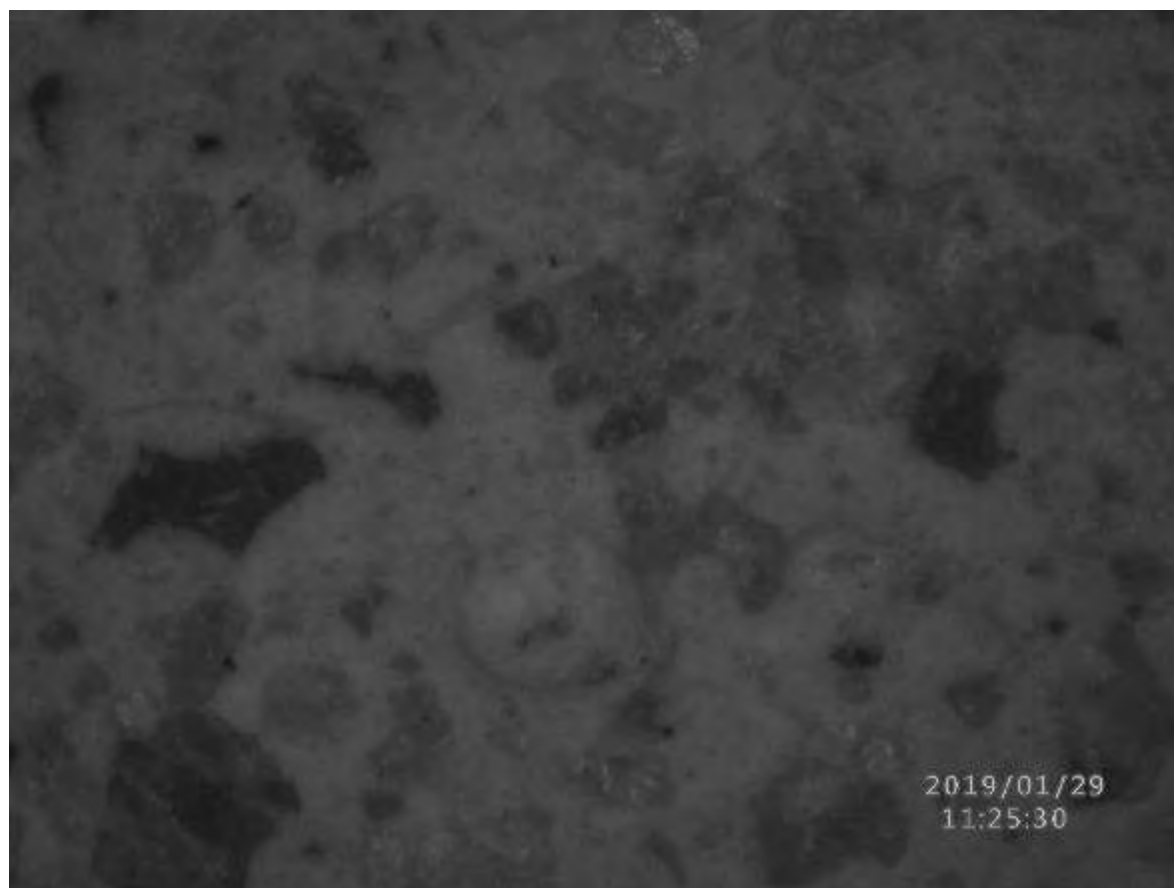


Figura. 4. 567. Microscopia de la C-1301118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

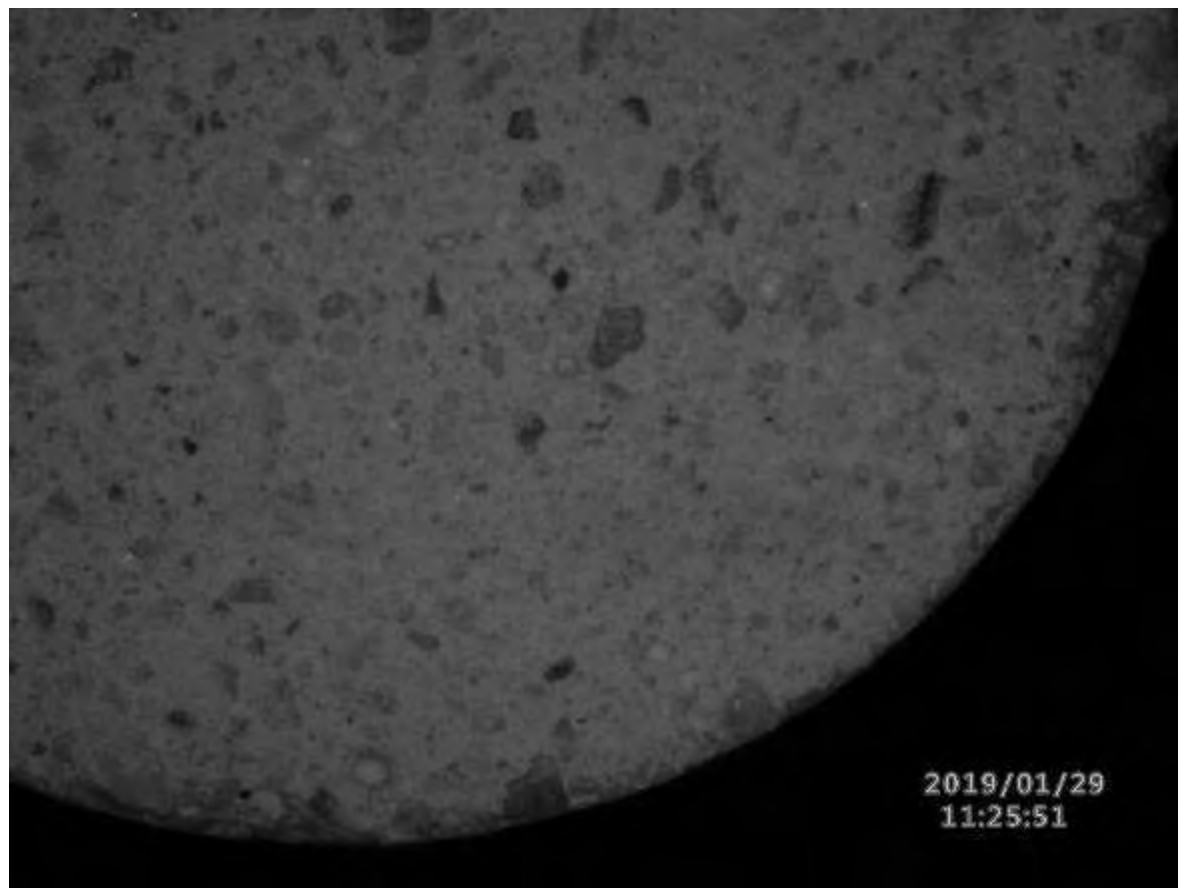
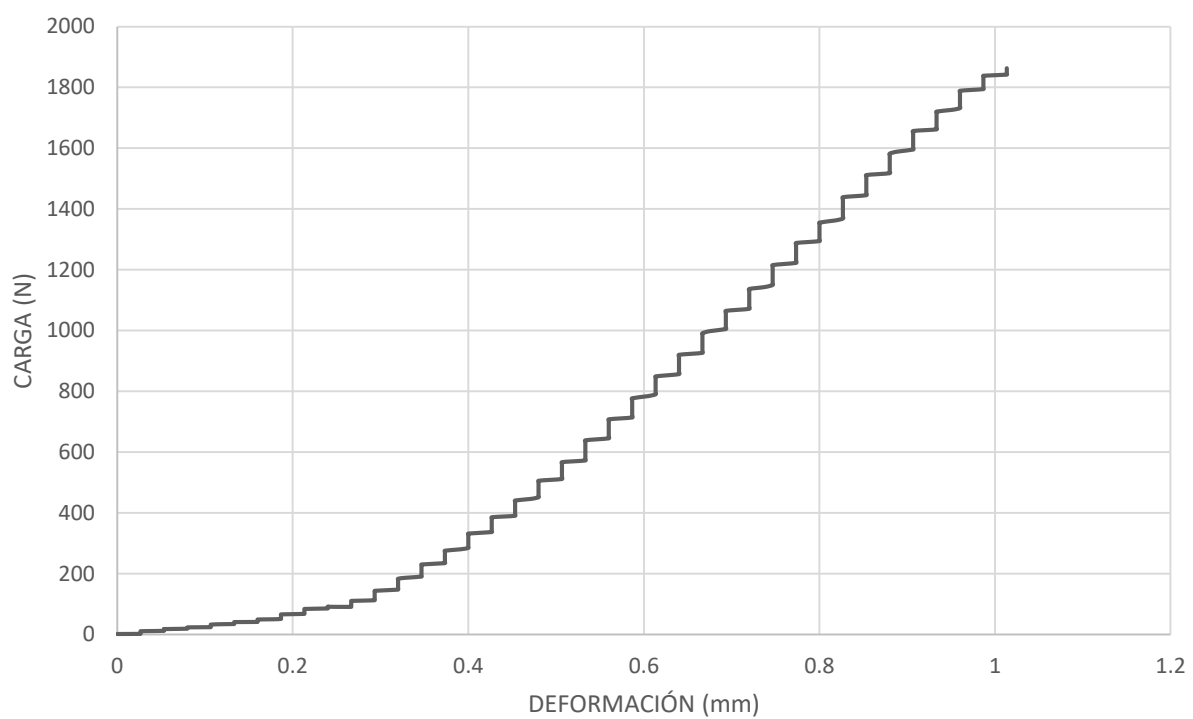


Figura. 4. 568. Microscopia de la C-1301118, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

CARGA-DEFORMACIÓN



Gráficas 4. 44. Curva Carga-Deformación de la C-1301118, en N-mm. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 569. Fotografía de la C-1301118, en la prensa. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 570. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-1301118. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 571. Fotografías de la corrida C-131218. Fuente: (Autoría propia).

De composición 100% CAL ESTANDAR, 275% MARMOLINA Tipo 2, 5% METACAOLIN, 10% SULFATO DE SODIO y A/C= 1:1, de dimensiones iguales a un diámetro de 23.2mm y longitud de 45.7mm, DENSIDAD = 37.2359007 g/cm³, que presenta una dureza moderada al ser pulido, con desprendimiento mayormente en la parte inversa de la probeta. (Autoría propia).

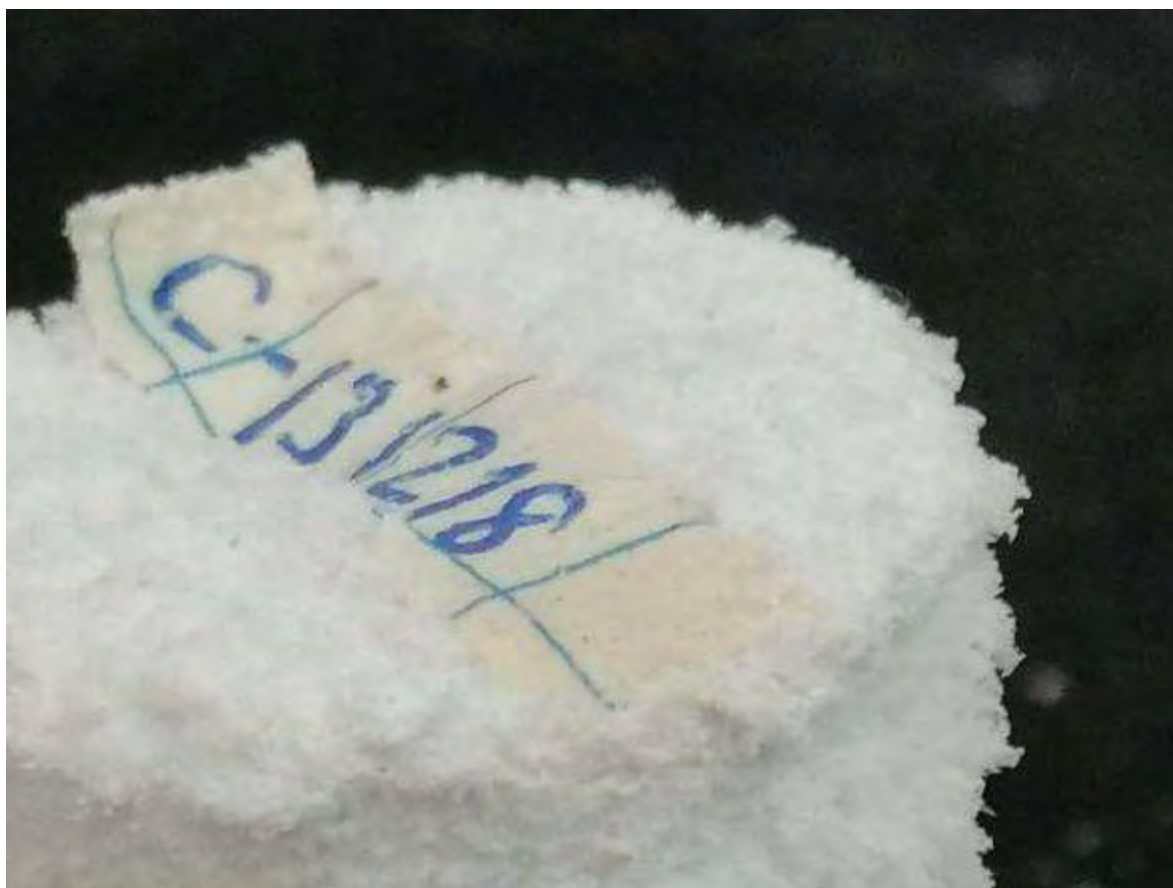


Figura. 4. 572. Imágenes de la corrida C-131218, con presencia de eflorescencias en su parte externa. (autoría propia).

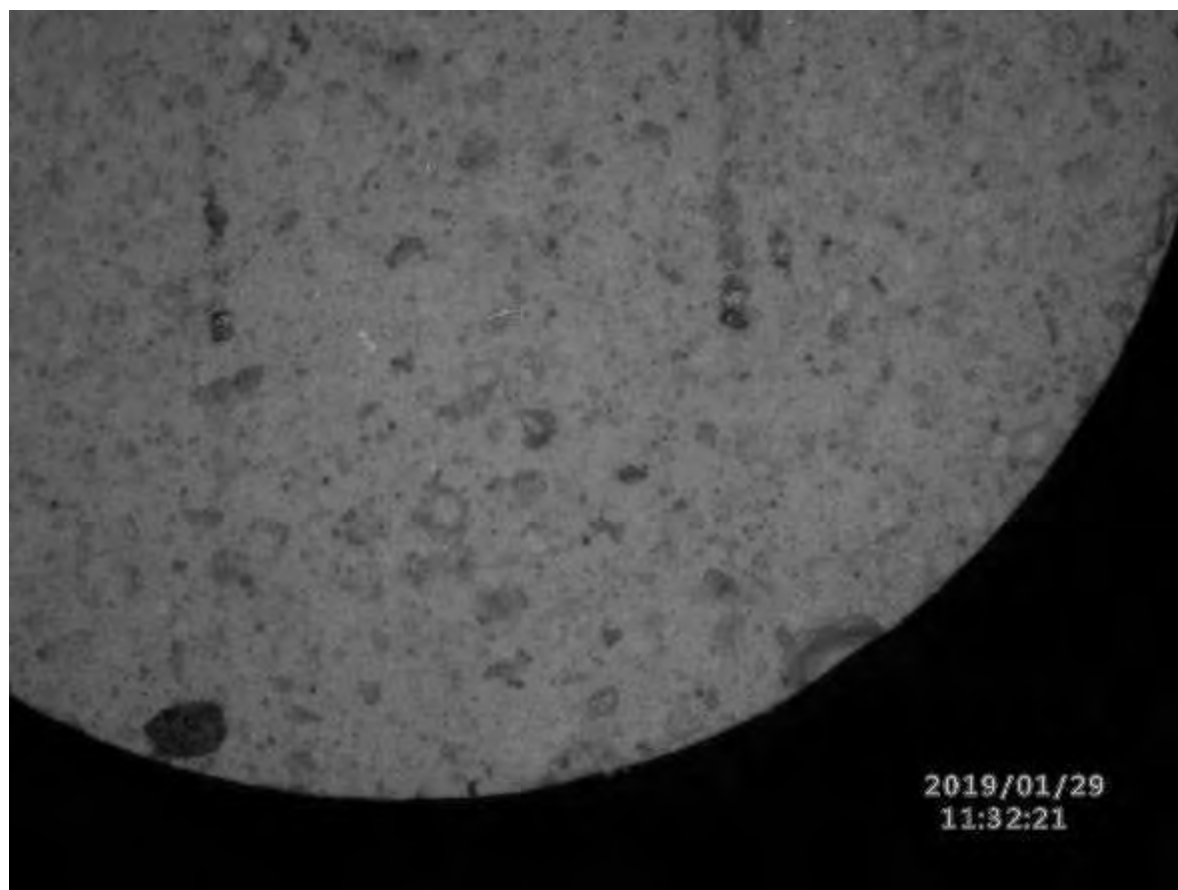


Figura. 4. 573. Microscopia de la C-131218. Fuente: Autoría propia.



Figura. 4. 574. . Microscopia aumentada de la C-131218, sin filtros (autoría propia).

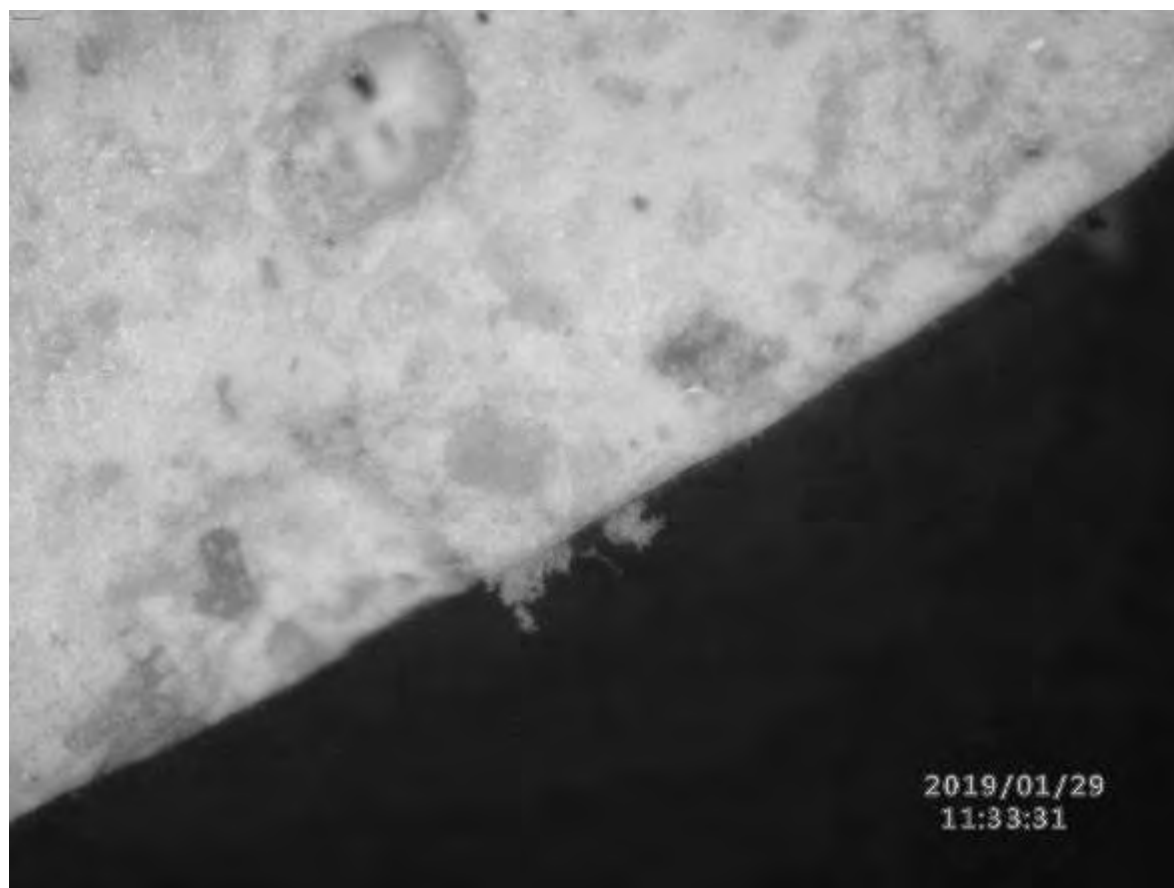


Figura. 4. 575. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1301218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

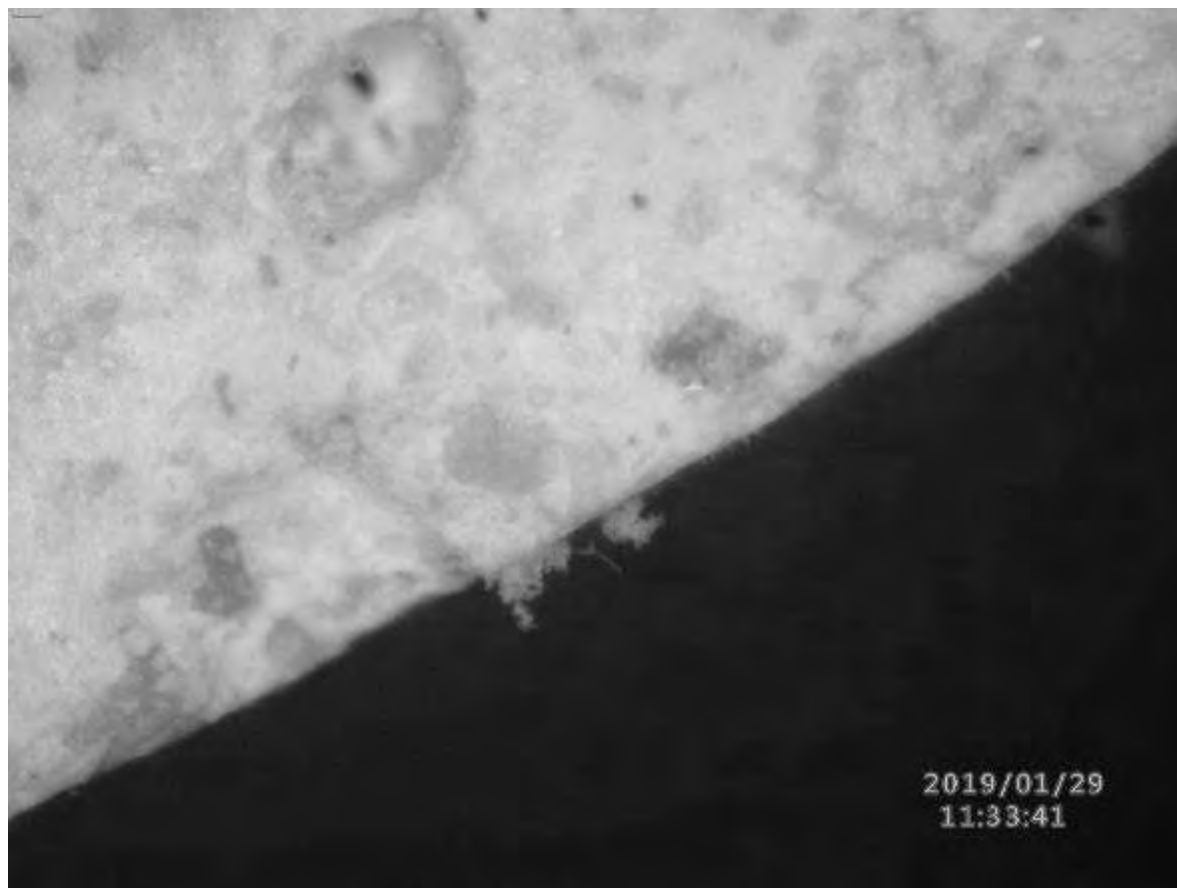


Figura. 4. 576. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-131218, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

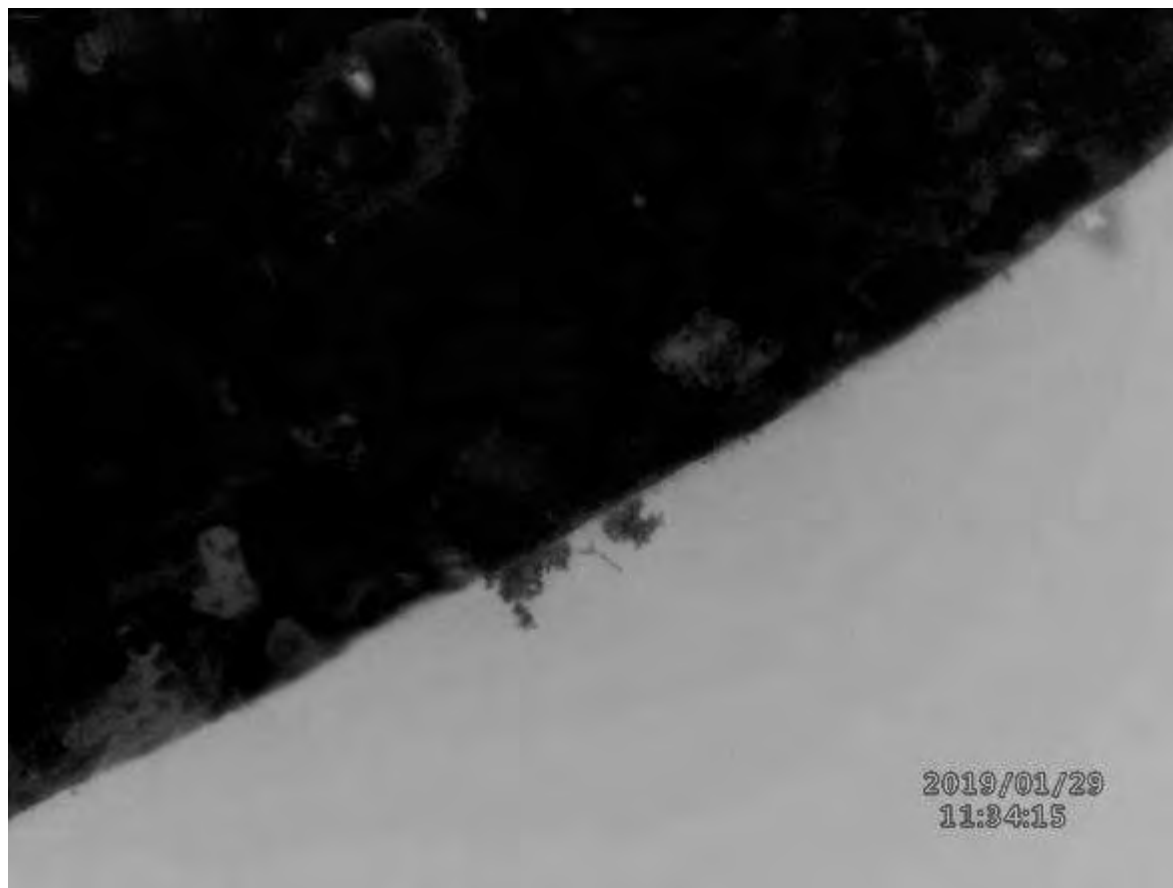


Figura. 4. 577. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-131218, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

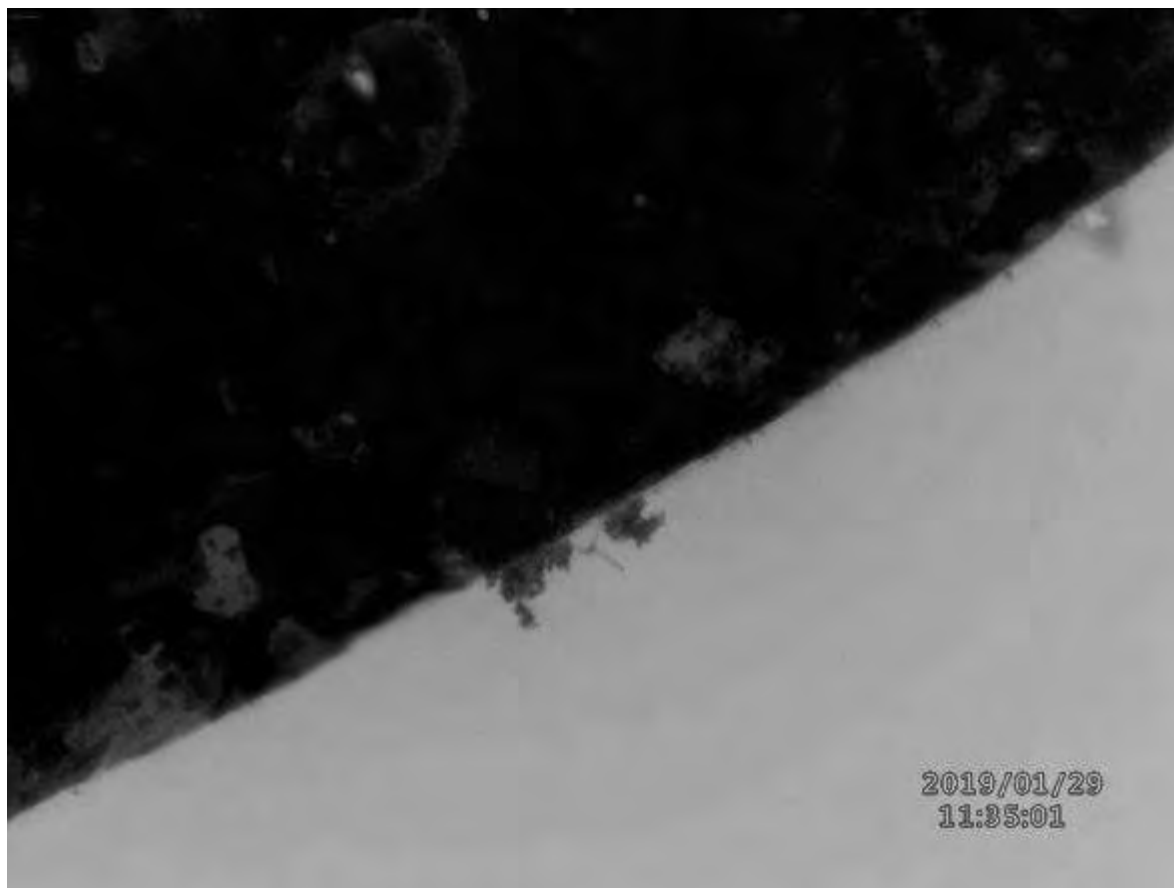


Figura. 4. 578. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-131218, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

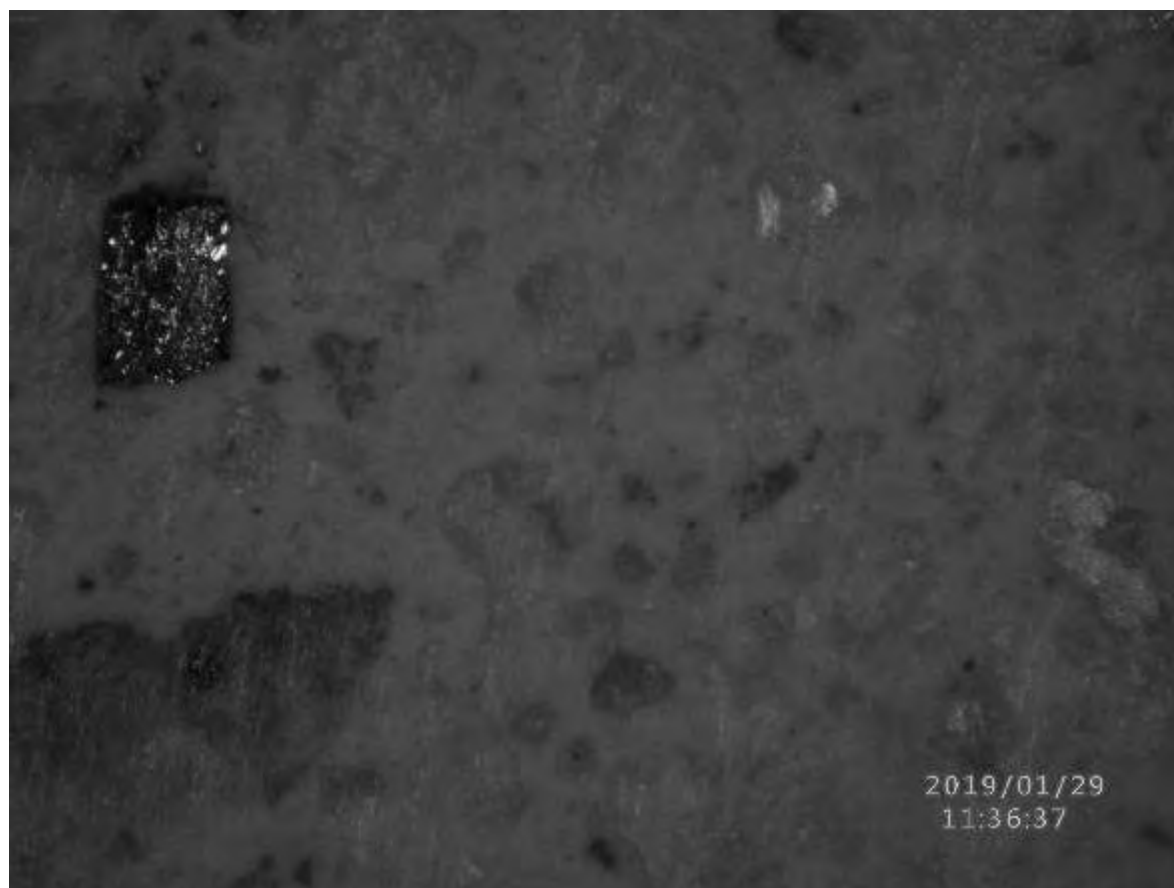


Figura. 4. 579. Microscopia de la C-131218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

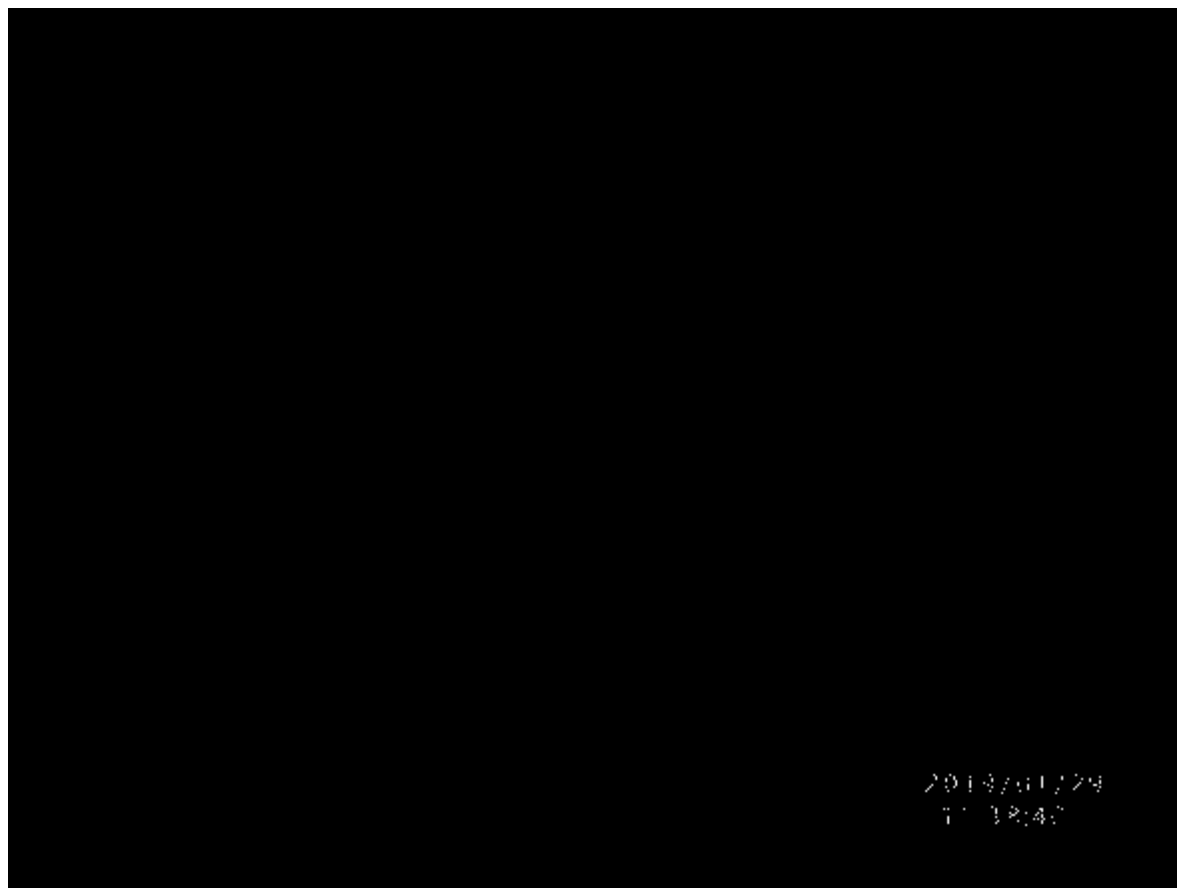


Figura. 4. 580. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-131218, con un filtro negativo bajo una luz normal.
Fuente: (autoría propia).

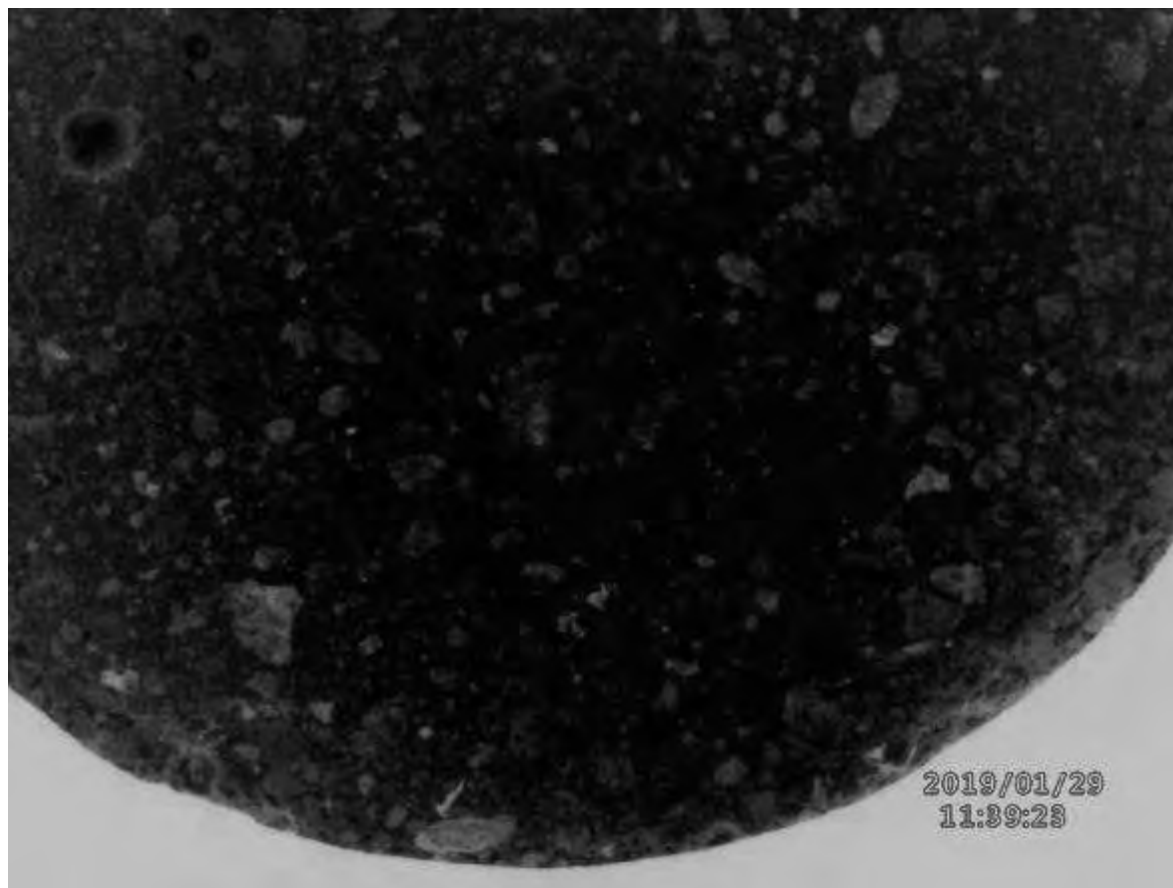
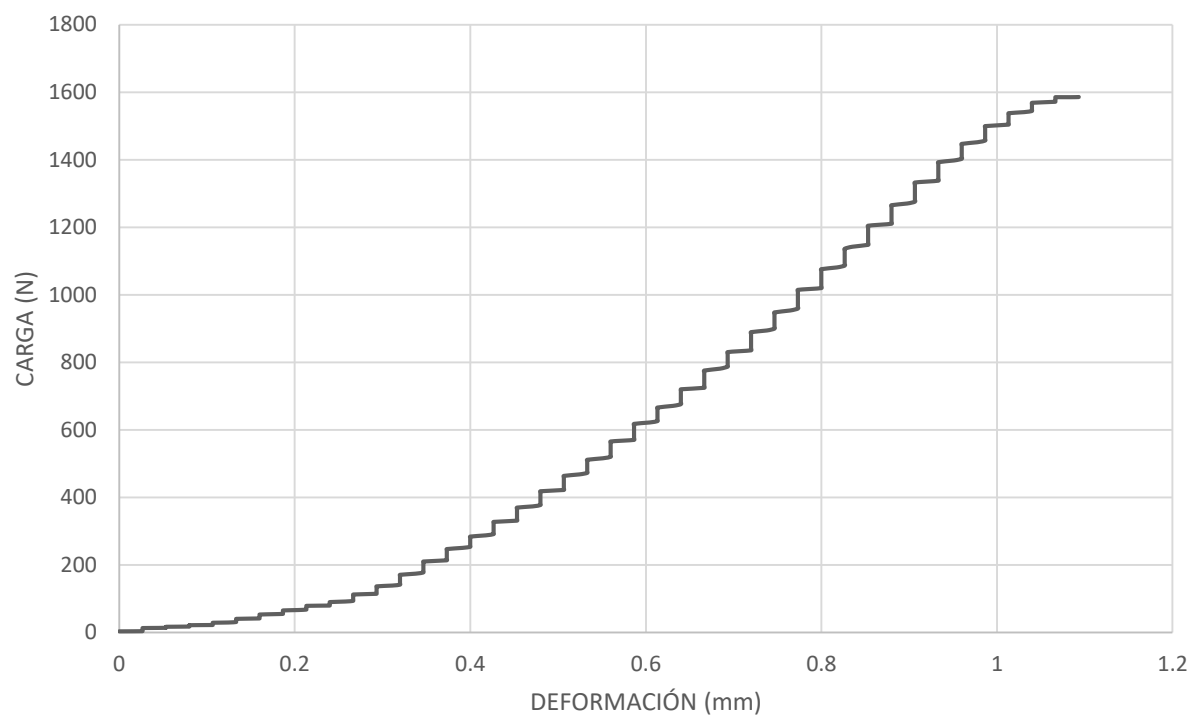


Figura. 4. 581. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-131218, con un filtro negativo bajo una luz normal.
Fuente: (autoría propia).

CARGA-DEFORMACIÓN



Gráficas 4. 45. Curva Carga-Deformación de la C-131218, en N-mm. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 582. Fotografía de la C-131218, en la prensa. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 583. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-131218. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 584. Fotografías de la corrida C-231218. Fuente: (Autoría propia).

De composición 100% CAL ESTANDAR, 275% MARMOLINA Tipo 2, 10% METACAOLIN, 5% SULFATO DE SODIO y A/C= 1:1, de dimensiones iguales a un diámetro de 23.3mm y longitud de 45.7mm, DENSIDAD = 37.527471 g/cm³, que presenta una dureza al ser pulido, con desprendimiento mayormente en la parte inversa de la probeta. (Autoría propia).

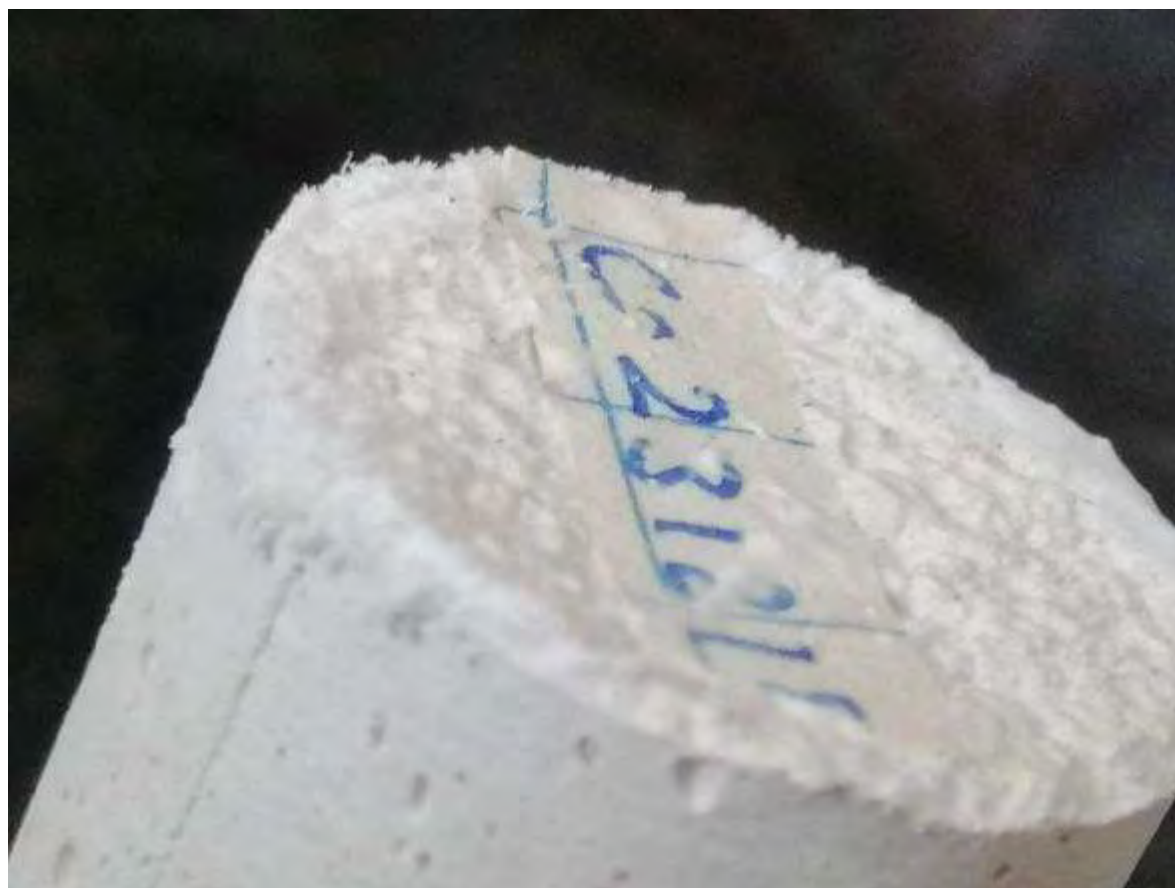


Figura. 4. 585. Imágenes de la corrida C-231218, con presencia de eflorescencias en su parte externa. (autoría propia).



Figura. 4. 586. Microscopia de la C-231218. Fuente: Autoría propia.

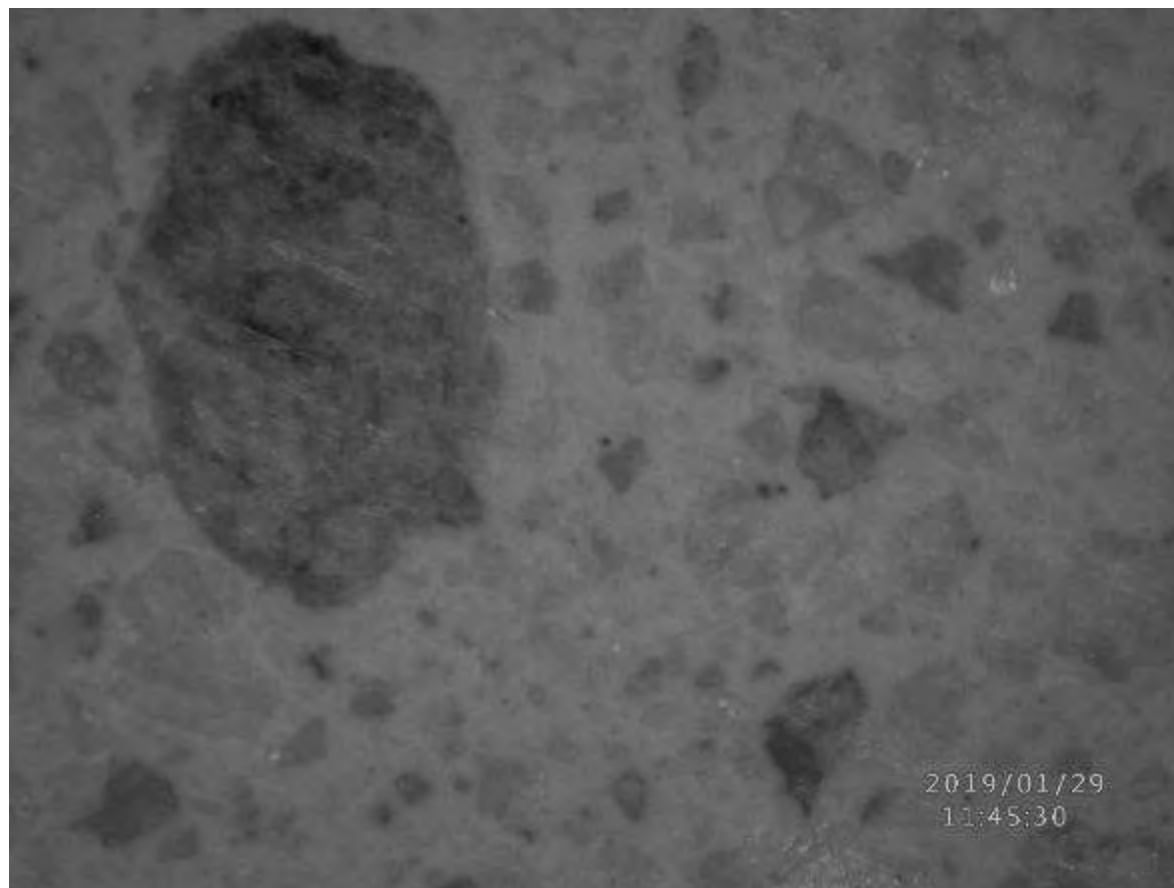


Figura. 4. 587. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-231218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

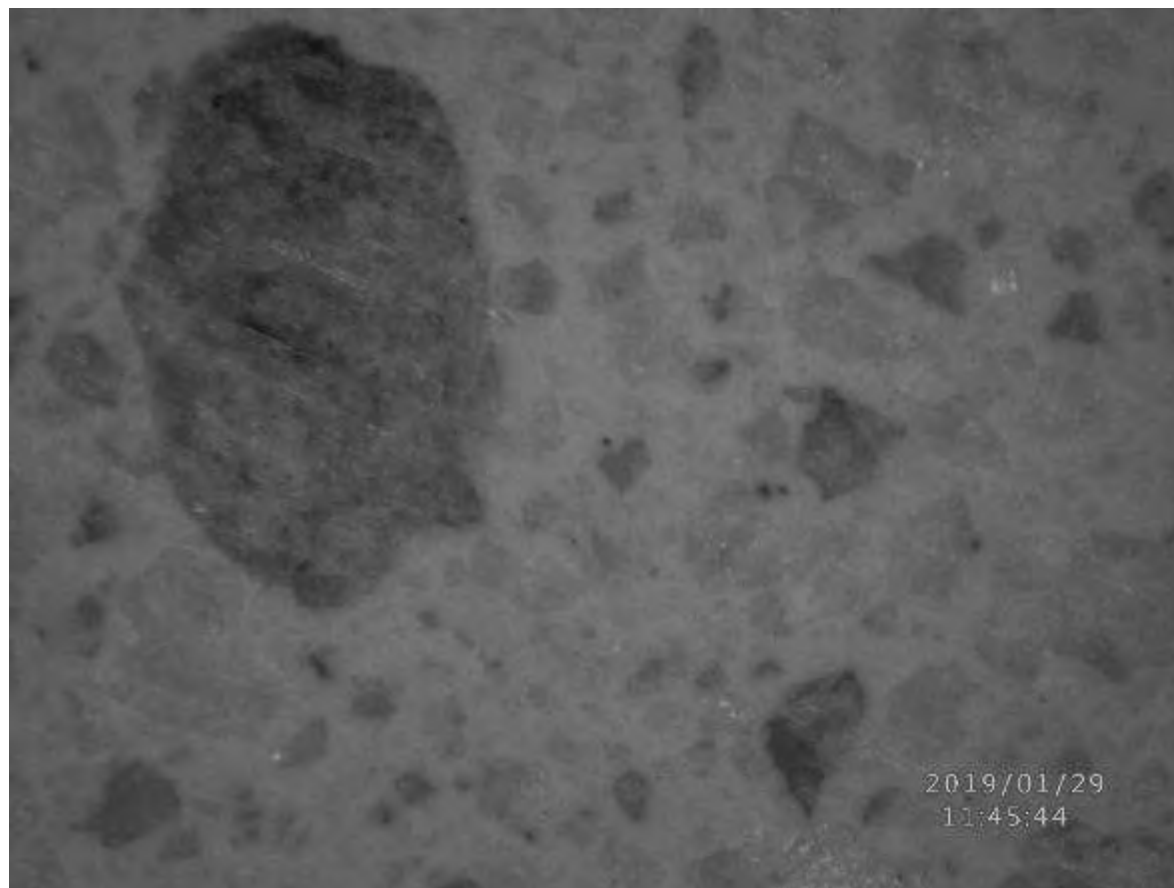


Figura. 4. 588. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-231218, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 589. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-231218, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 590. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-231218, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 591. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-231218, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

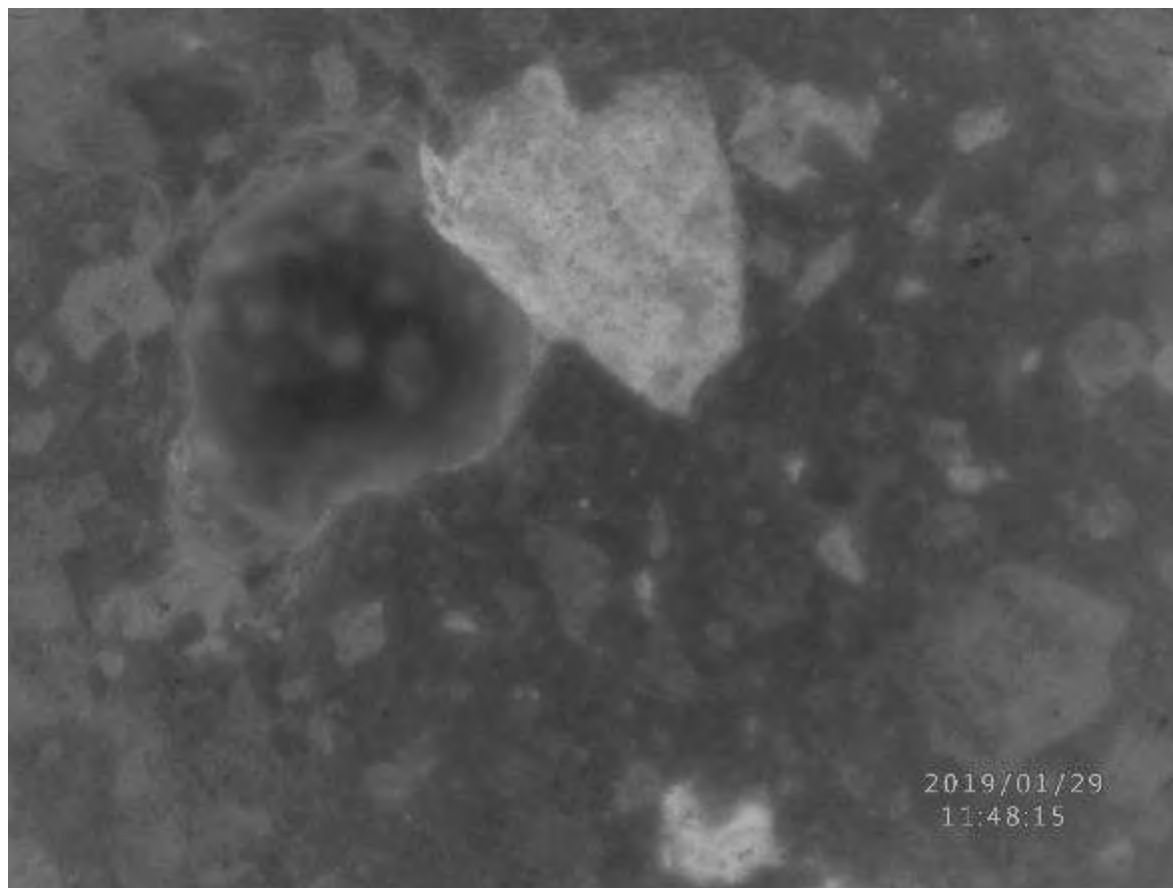


Figura. 4. 592. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-231218, con un filtro negativo bajo una luz normal.
Fuente: (autoría propia).

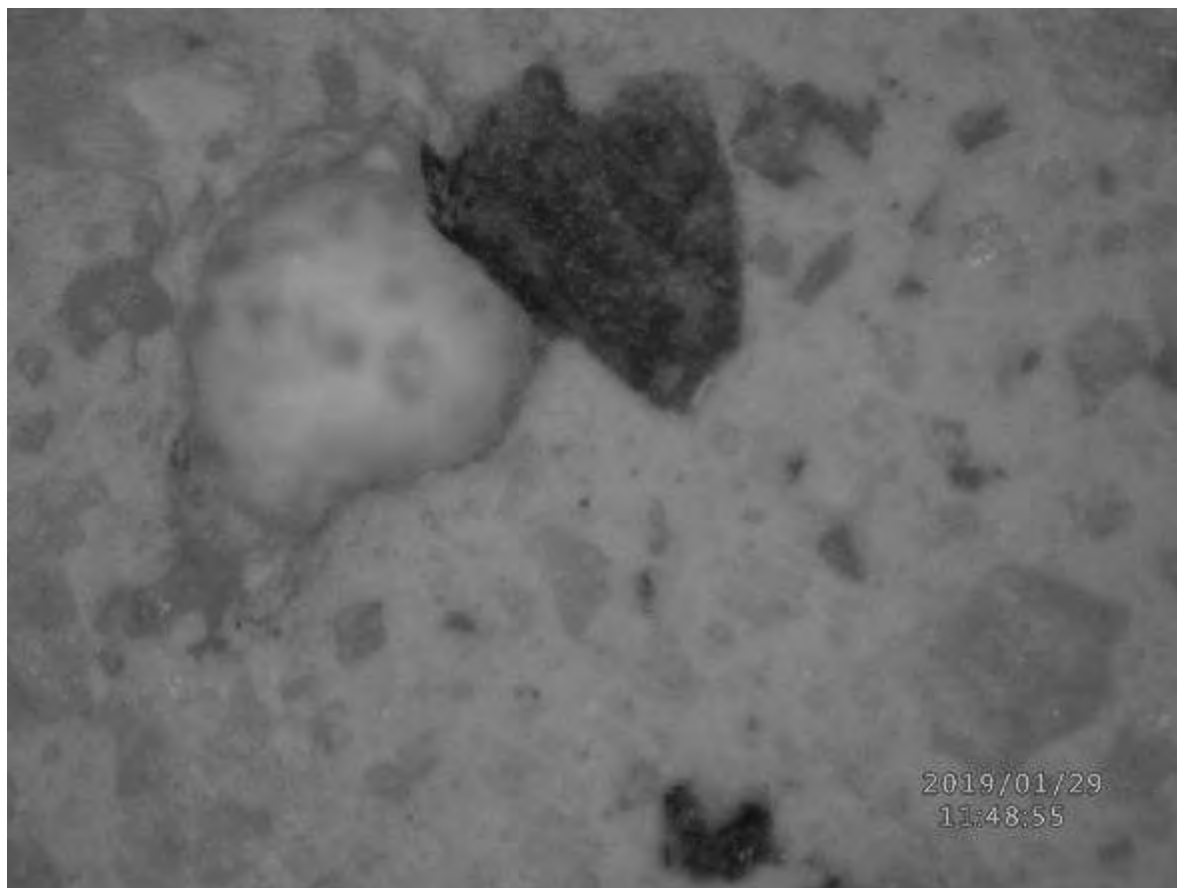


Figura. 4. 593. Microscopia de la C-231218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

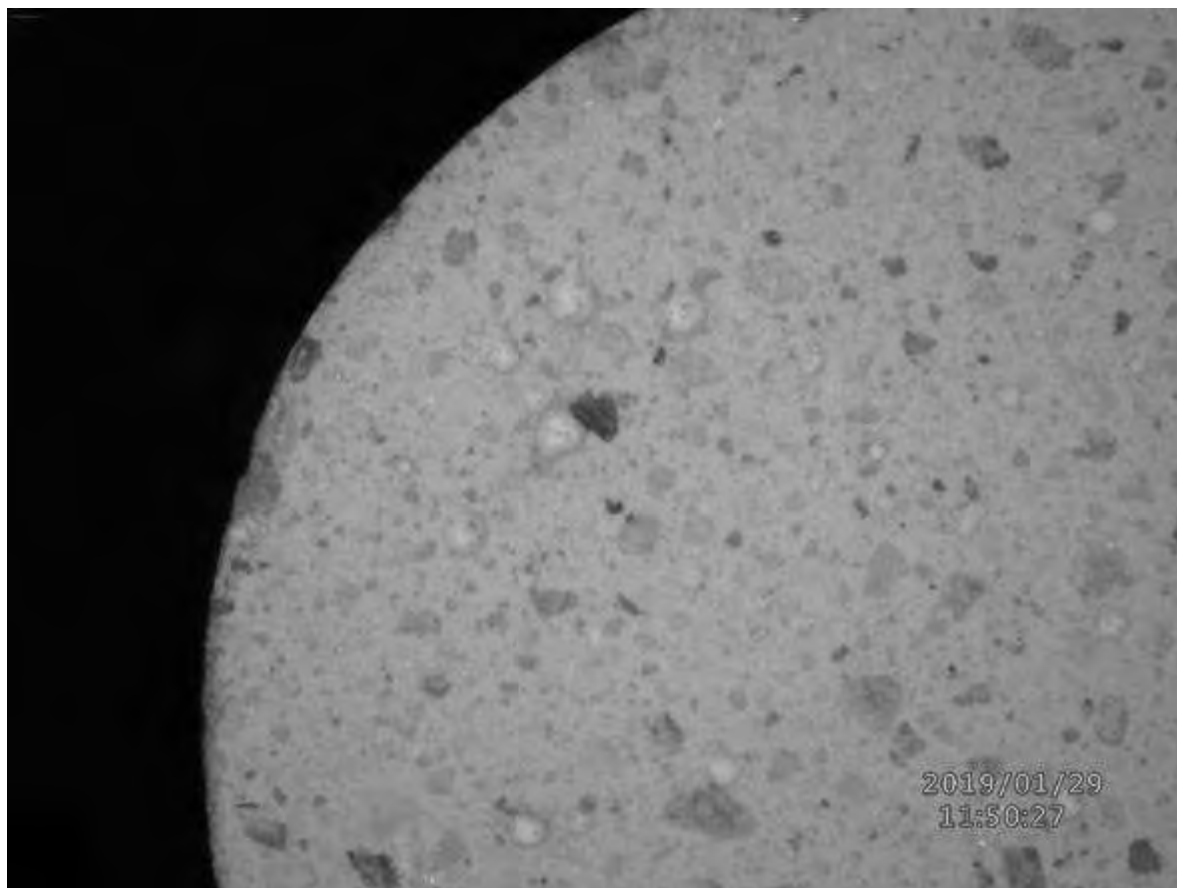
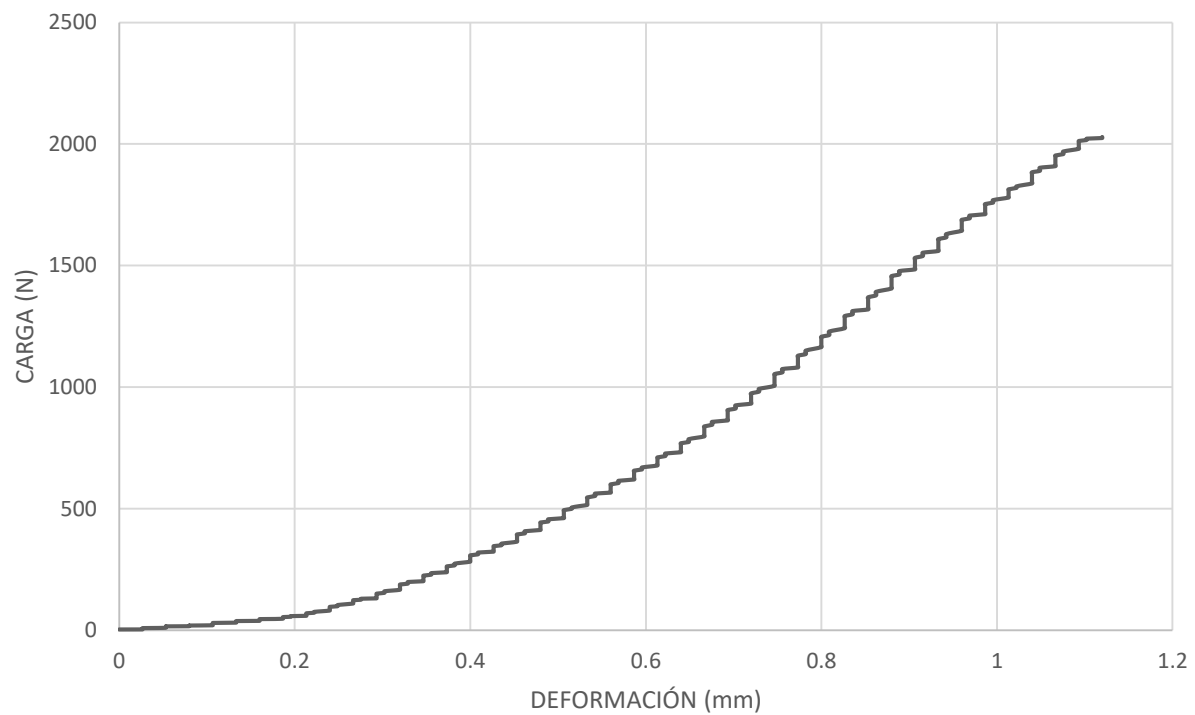


Figura. 4. 594. Microscopia de la C-231218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

CARGA-DEFORMACIÓN



Gráficas 4. 46. Curva Carga-Deformación de la C-231218, en N-mm. Fuente: (autoría propia).

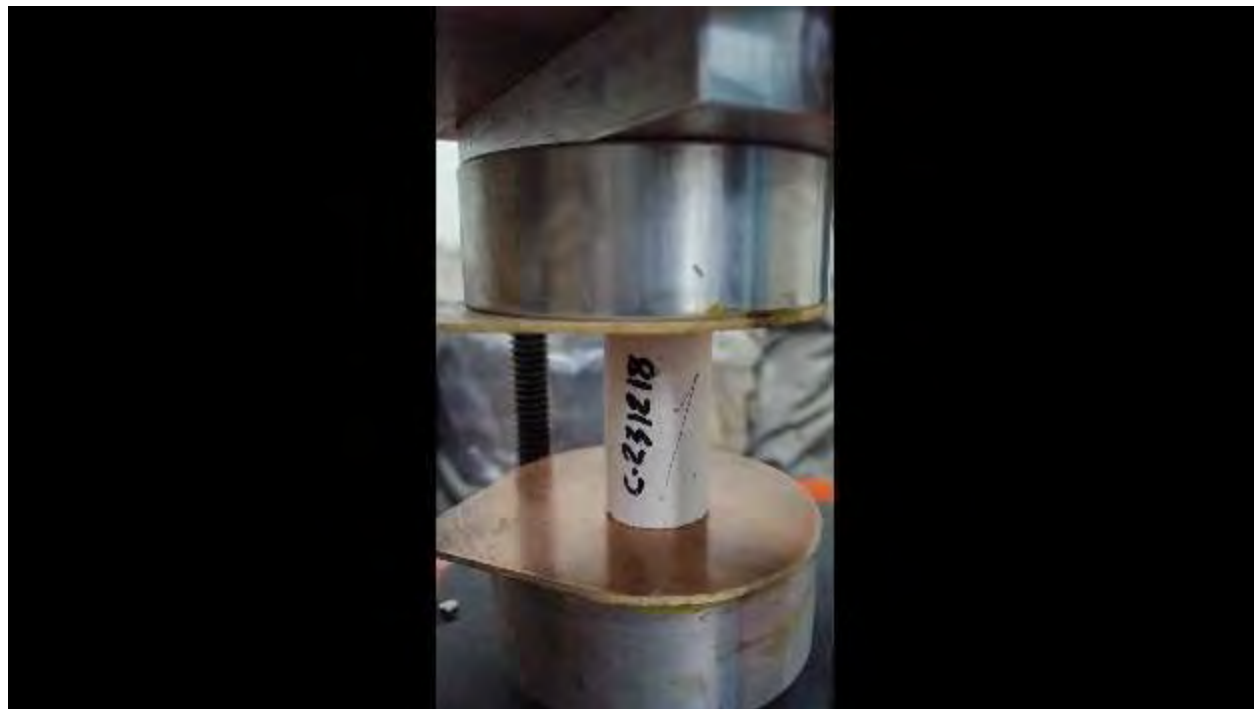


Figura. 4. 595. Fotografía de la C-231218, en la prensa. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 596. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-231218. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 597. Fotografías de la corrida C-331218. Fuente: (Autoría propia).

De composición 100% CAL ESTANDAR, 275% MARMOLINA Tipo 2, 10% METACAOLIN, 10% SULFATO DE SODIO y A/C= 1:1, de dimensiones iguales a un diámetro de 23.2mm y longitud de 45.0mm, DENSIDAD = $36.8683246 \text{ g/cm}^3$ que presenta una dureza alta al ser pulido, con desprendimiento mayormente en la parte inversa de la probeta. (Autoría propia).

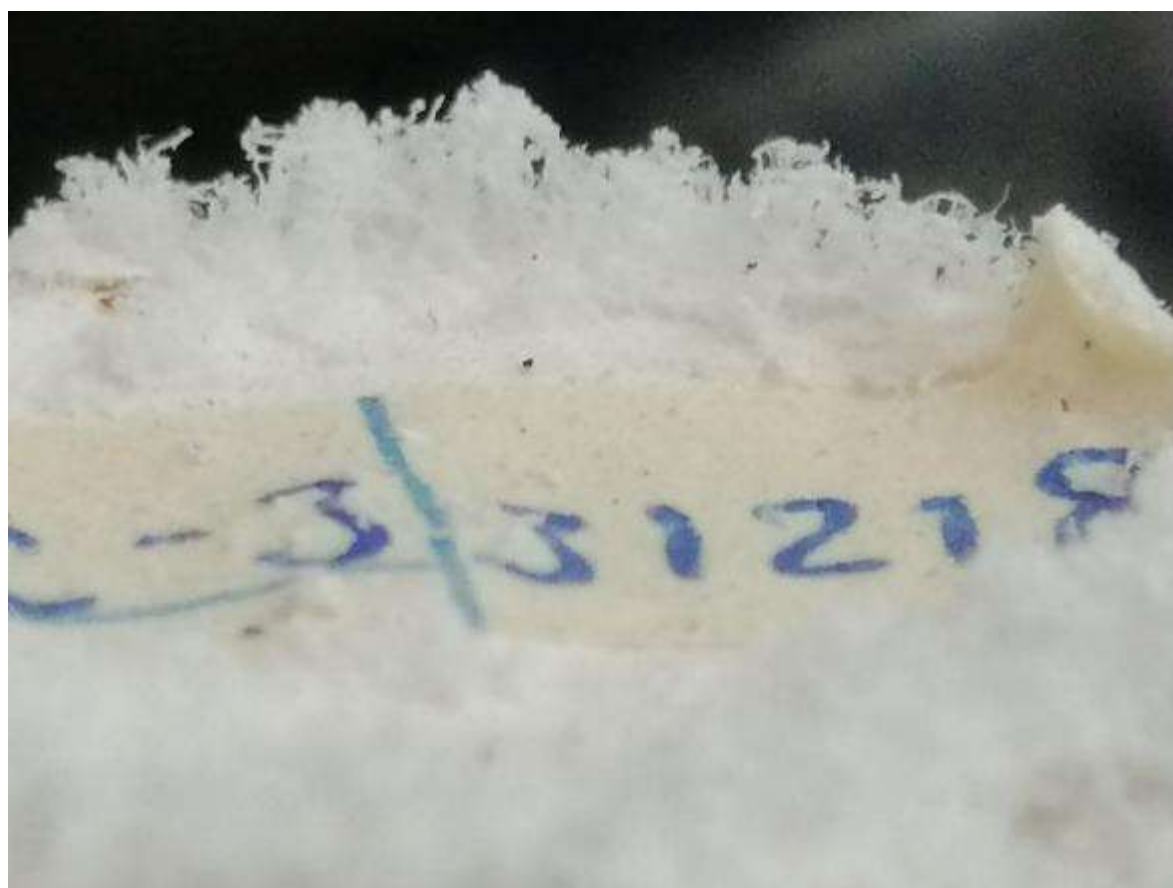


Figura. 4. 598. Imágenes de la corrida C-33128, con presencia de eflorescencias en su parte externa. (autoría propia).



Figura. 4. 599. Microscopia de la C-331218. Fuente: Autoría propia.

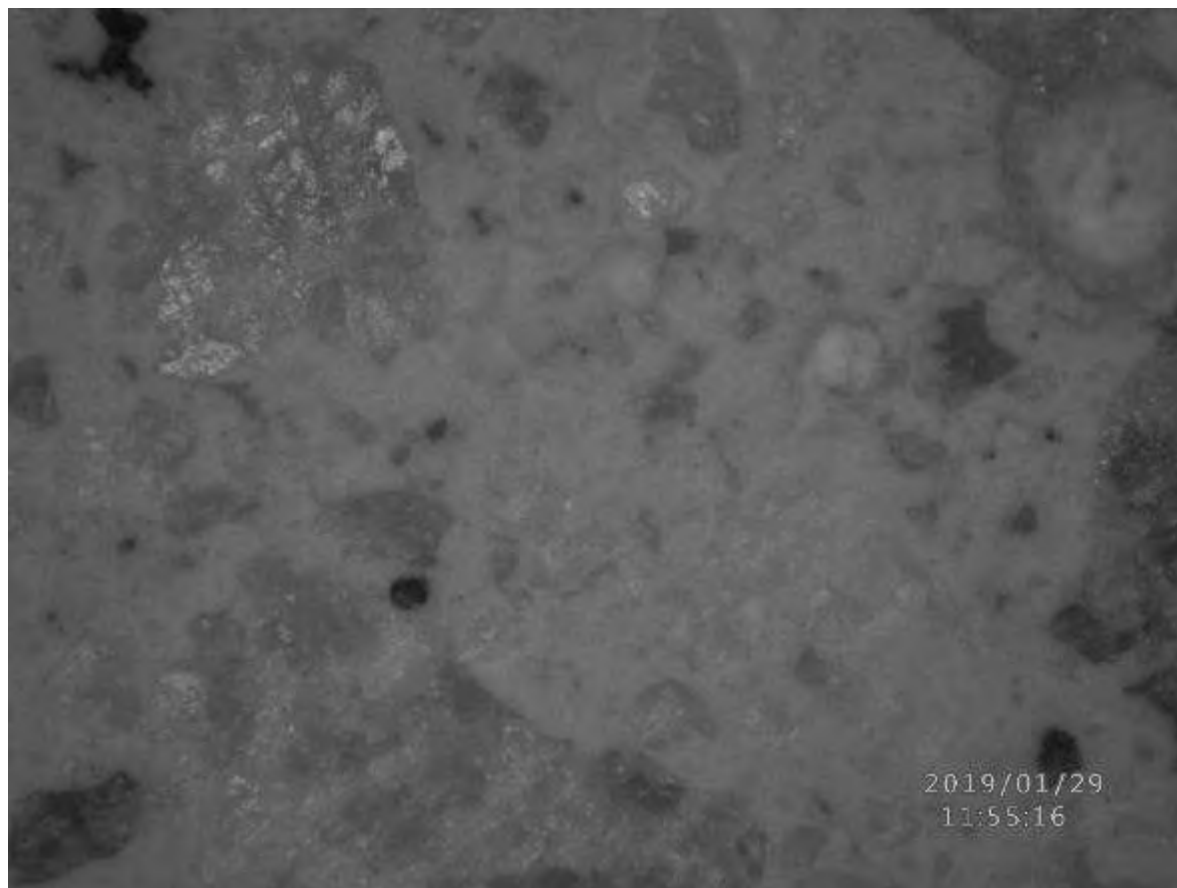


Figura. 4. 600. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-331218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

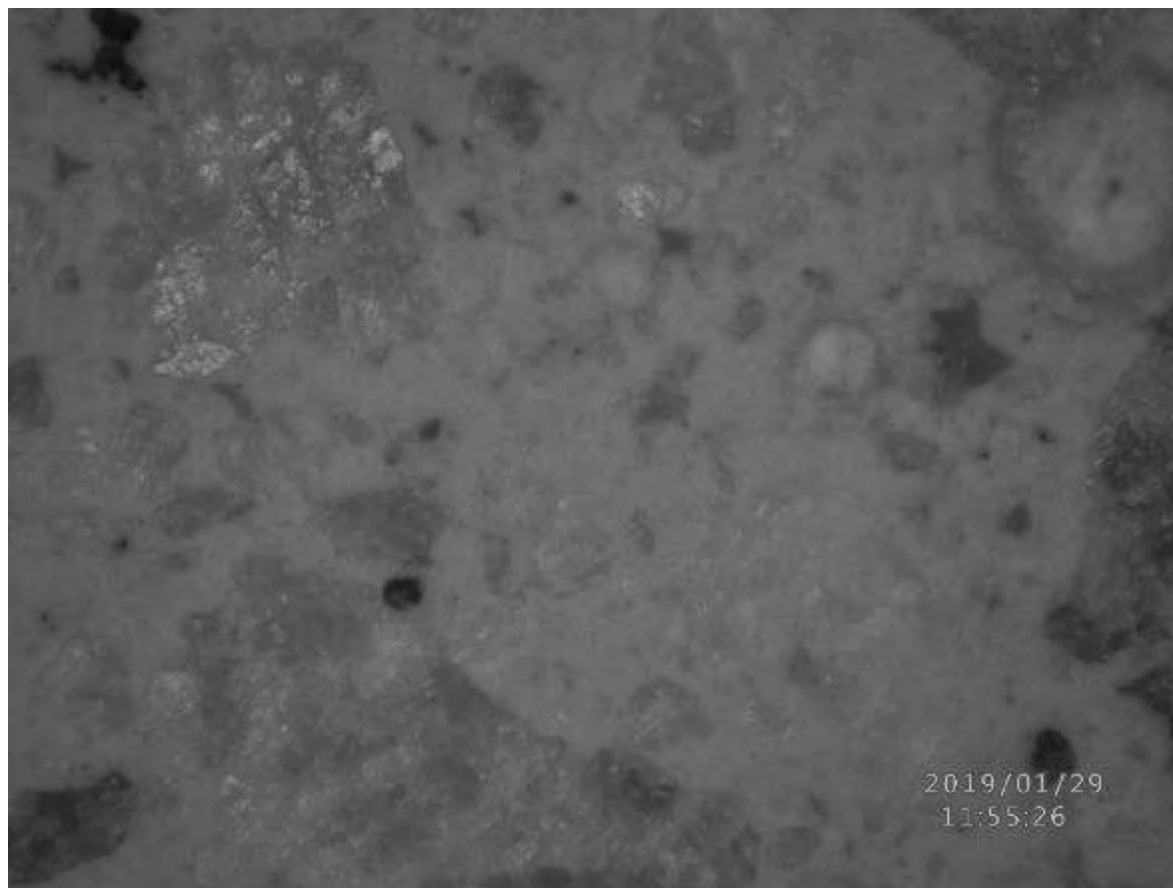


Figura. 4. 601. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-331218, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

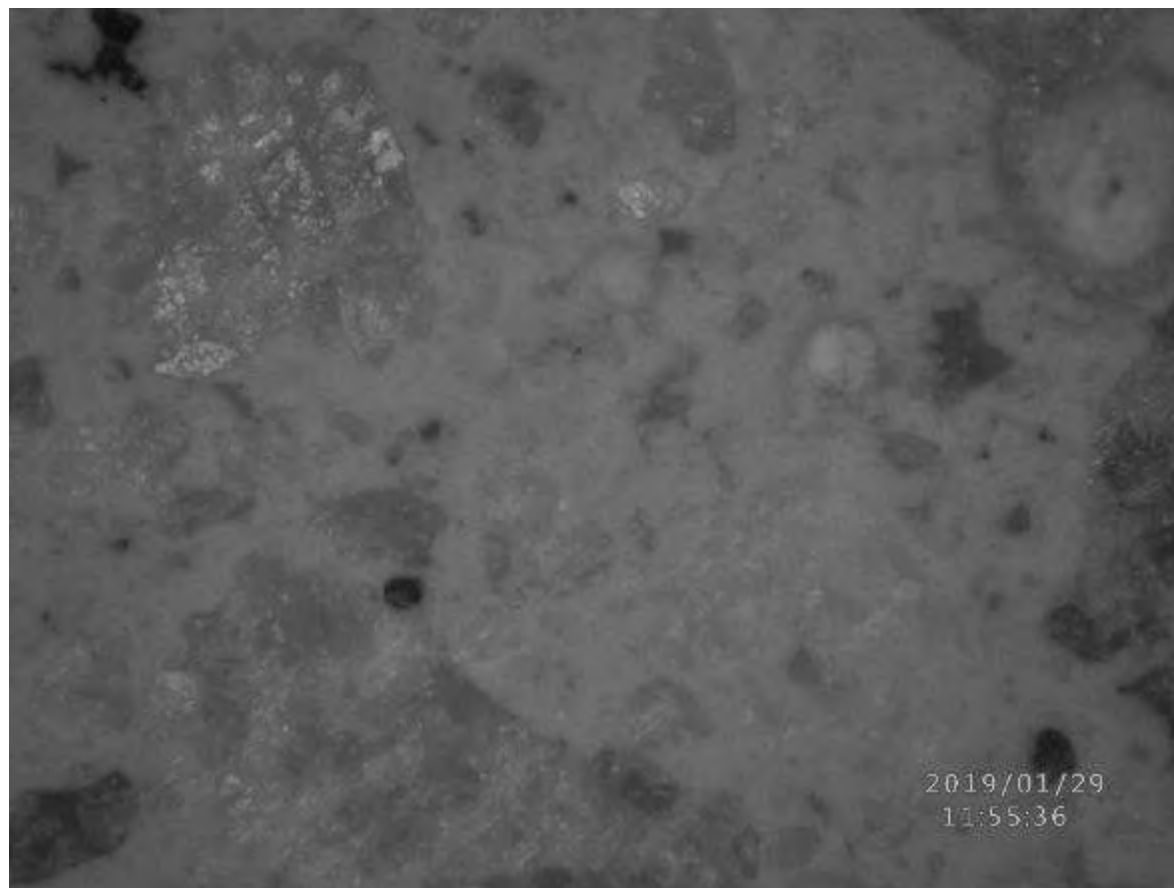


Figura. 4. 602. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-331218, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

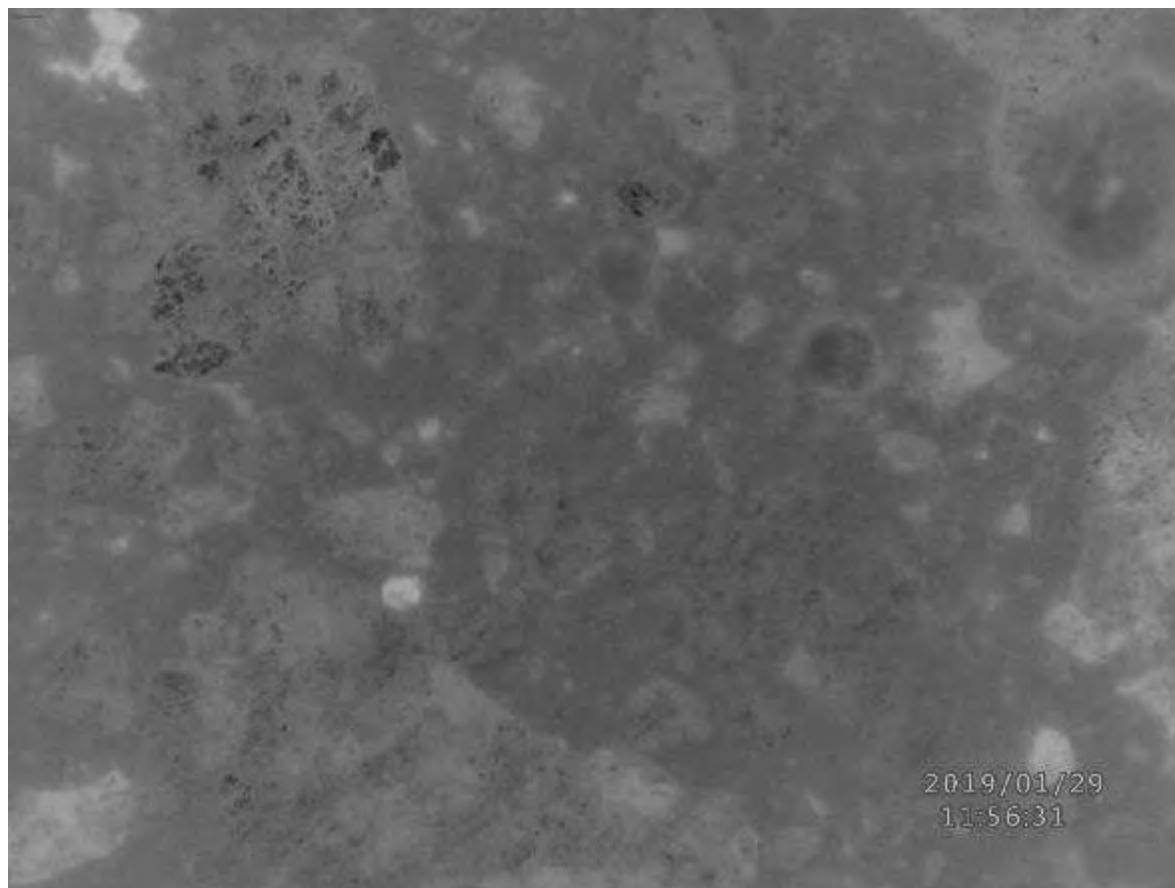


Figura. 4. 603. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-331218, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

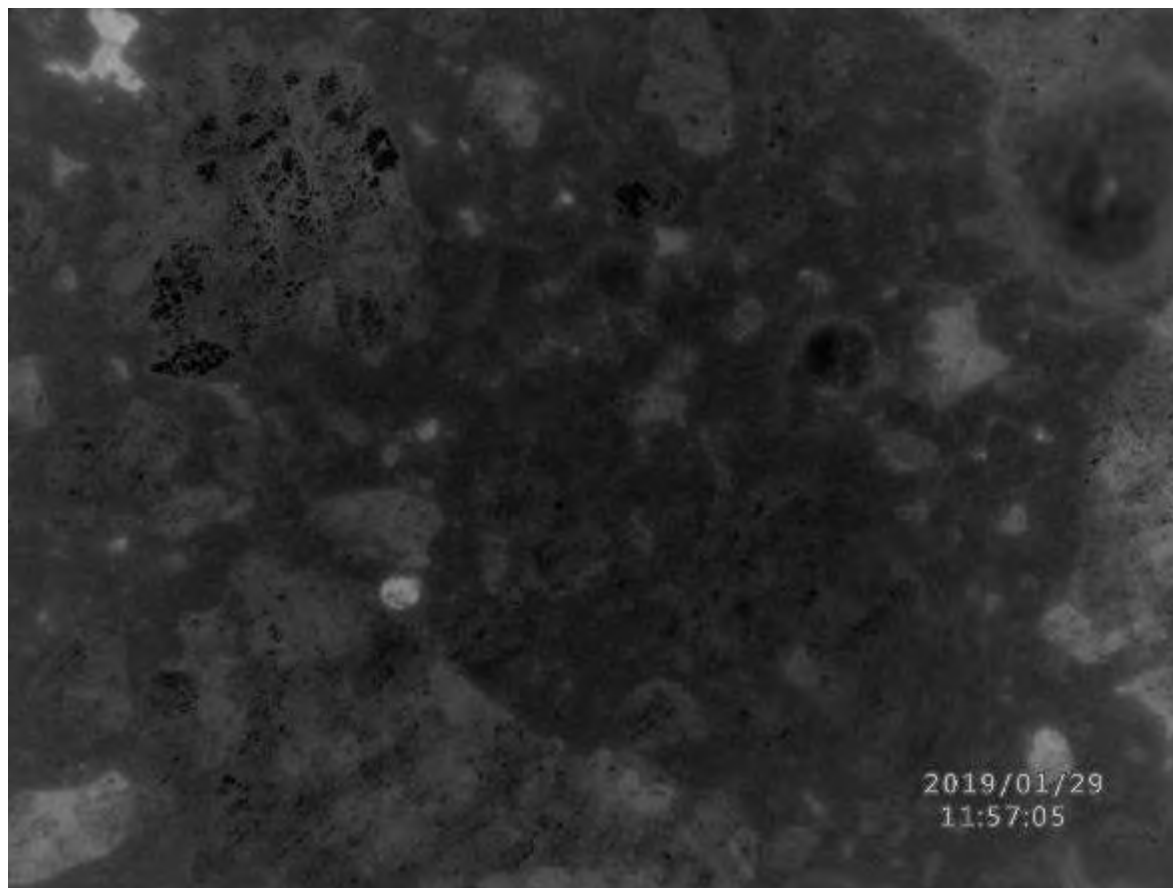


Figura. 4. 604. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-331218, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

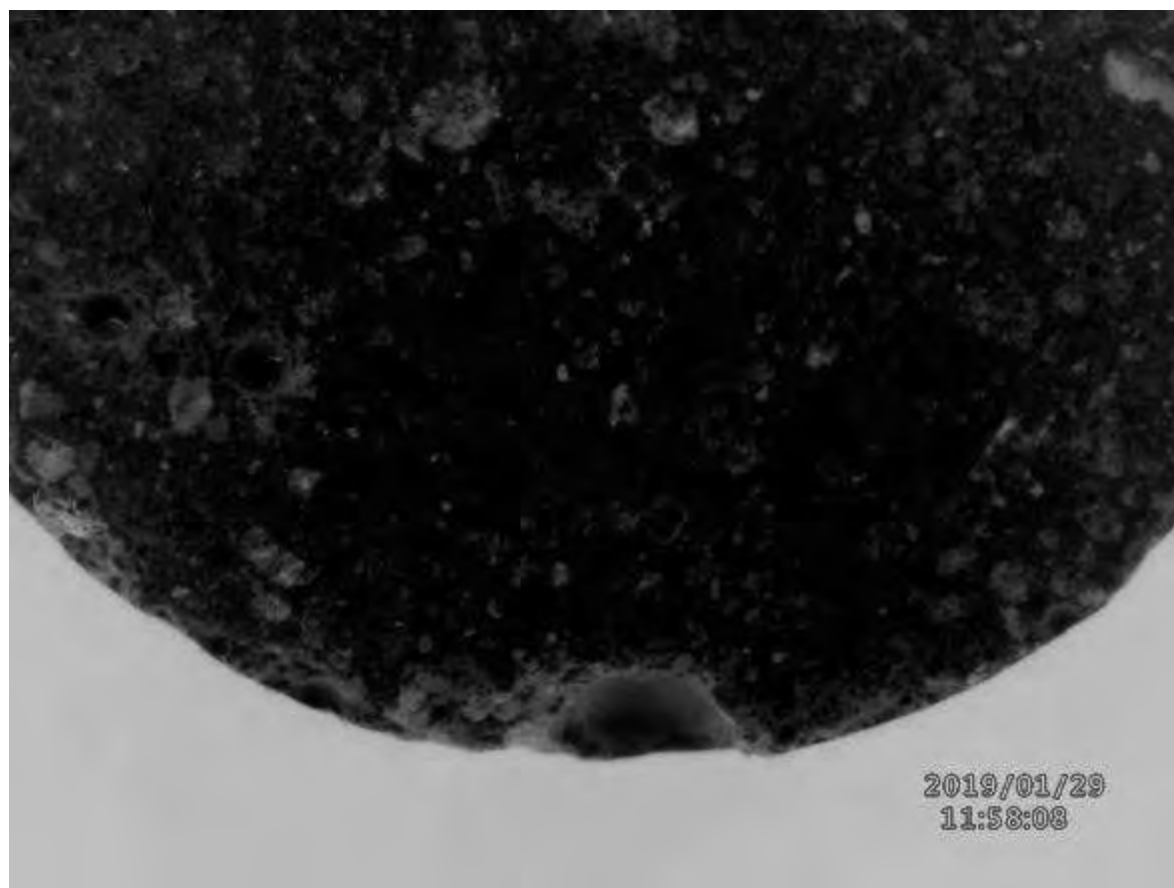


Figura. 4. 605. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-331218, con un filtro negativo bajo una luz normal.
Fuente: (autoría propia).

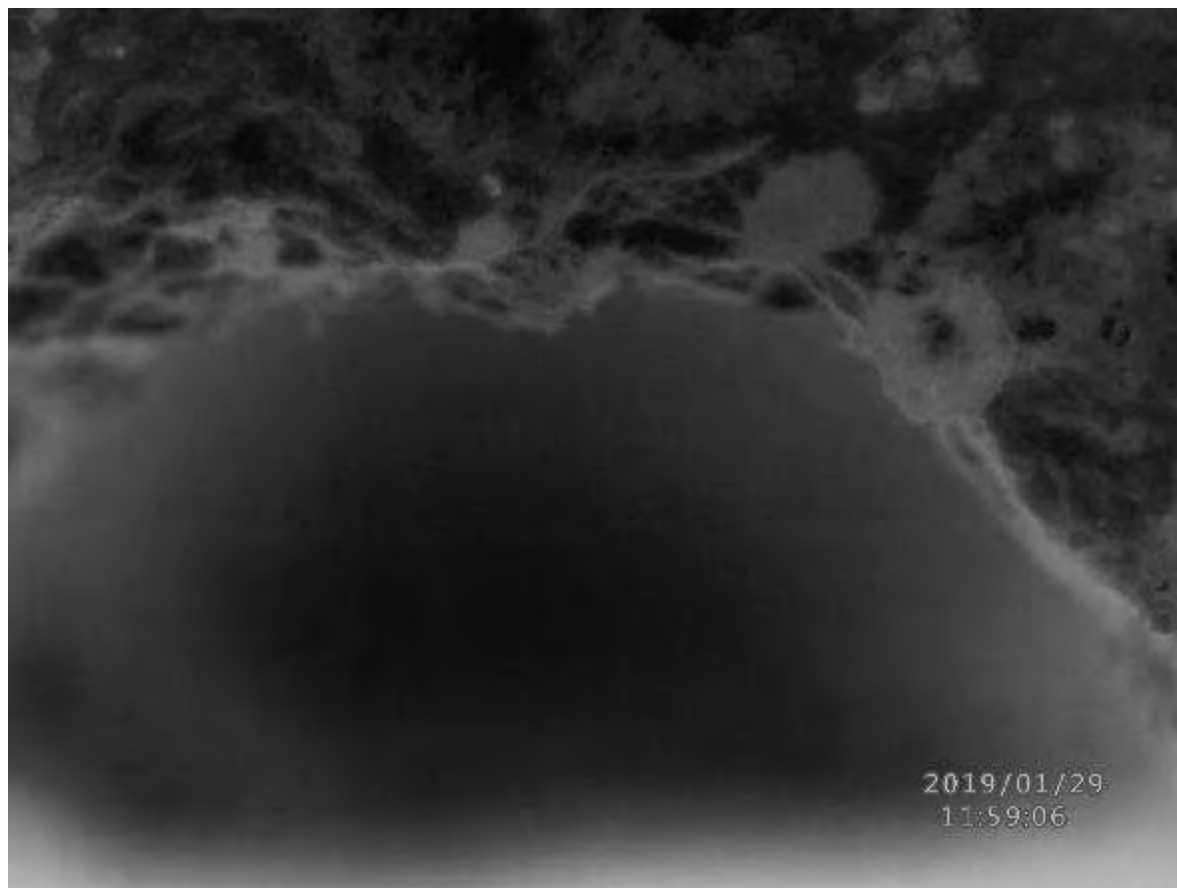


Figura. 4. 606. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-331218, con un filtro negativo bajo una luz normal.
Fuente: (autoría propia).

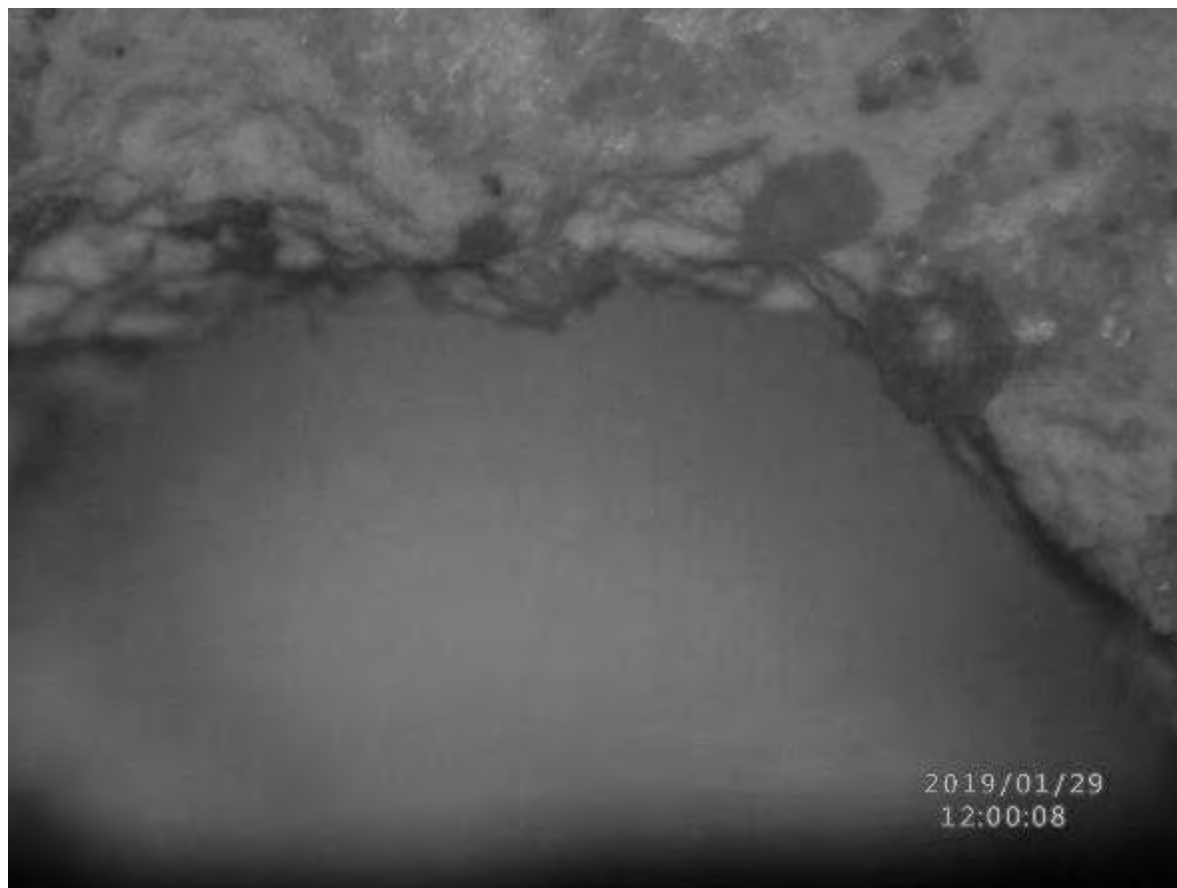


Figura. 4. 607. Microscopia de la C-331218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

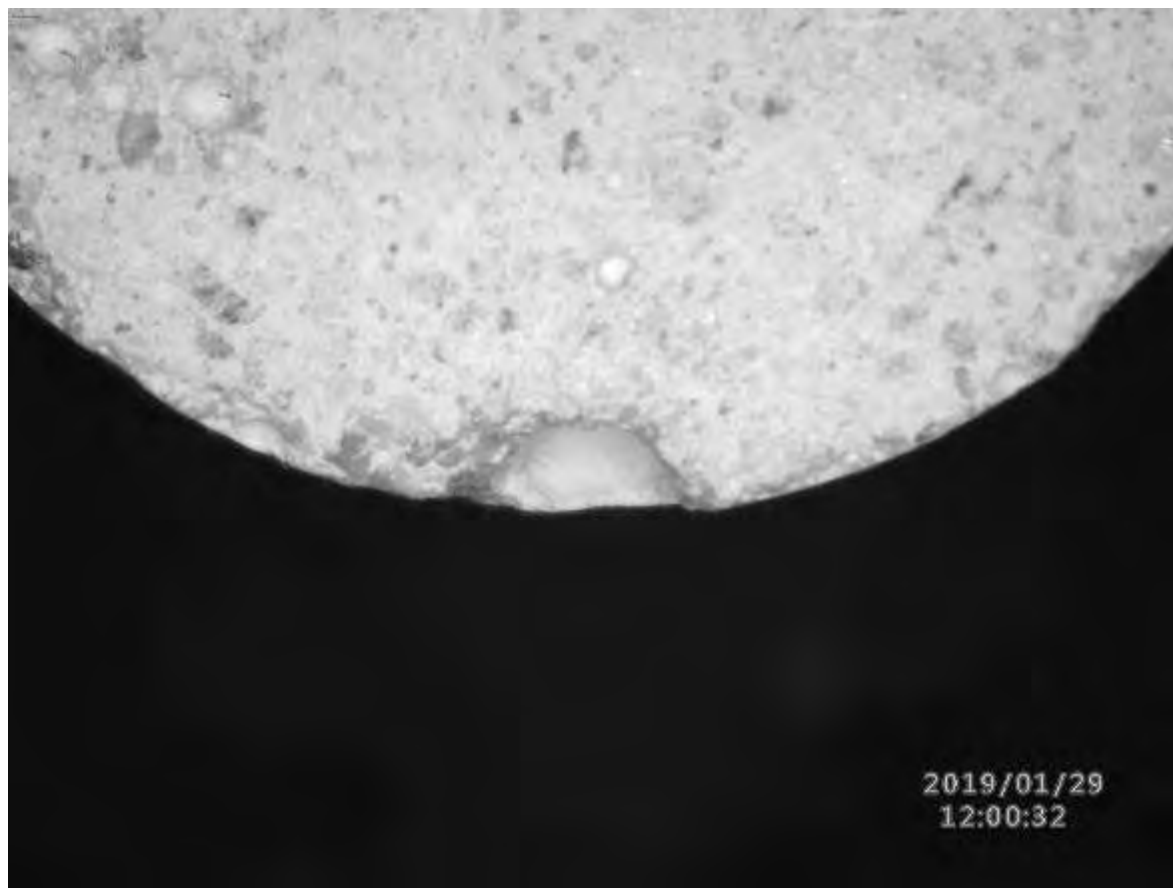


Figura. 4. 608. Microscopia de la C-331218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

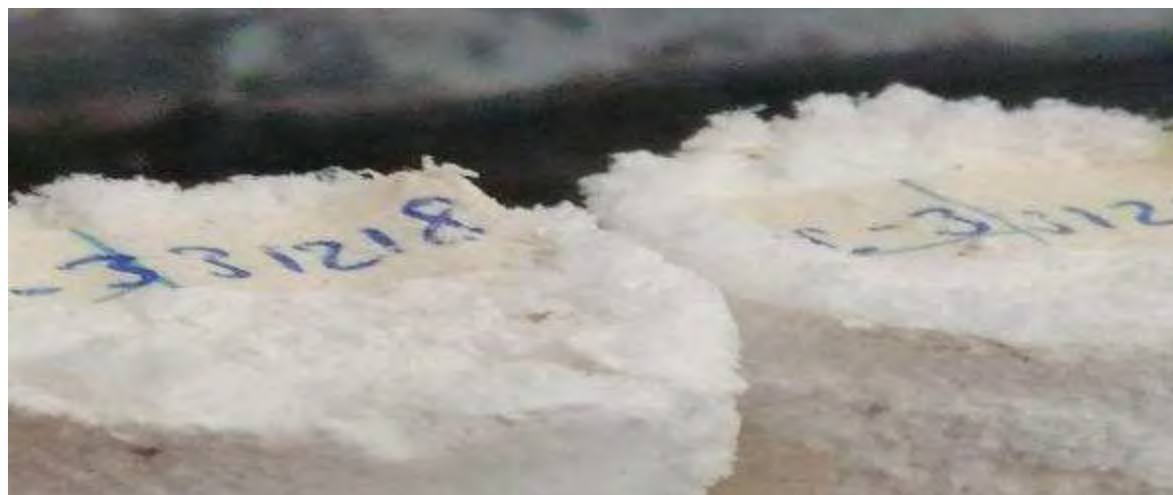


Figura. 4. 609. Imágenes de la corrida C-331218, con presencia de eflorescencias en su parte externa. (autoría propia).

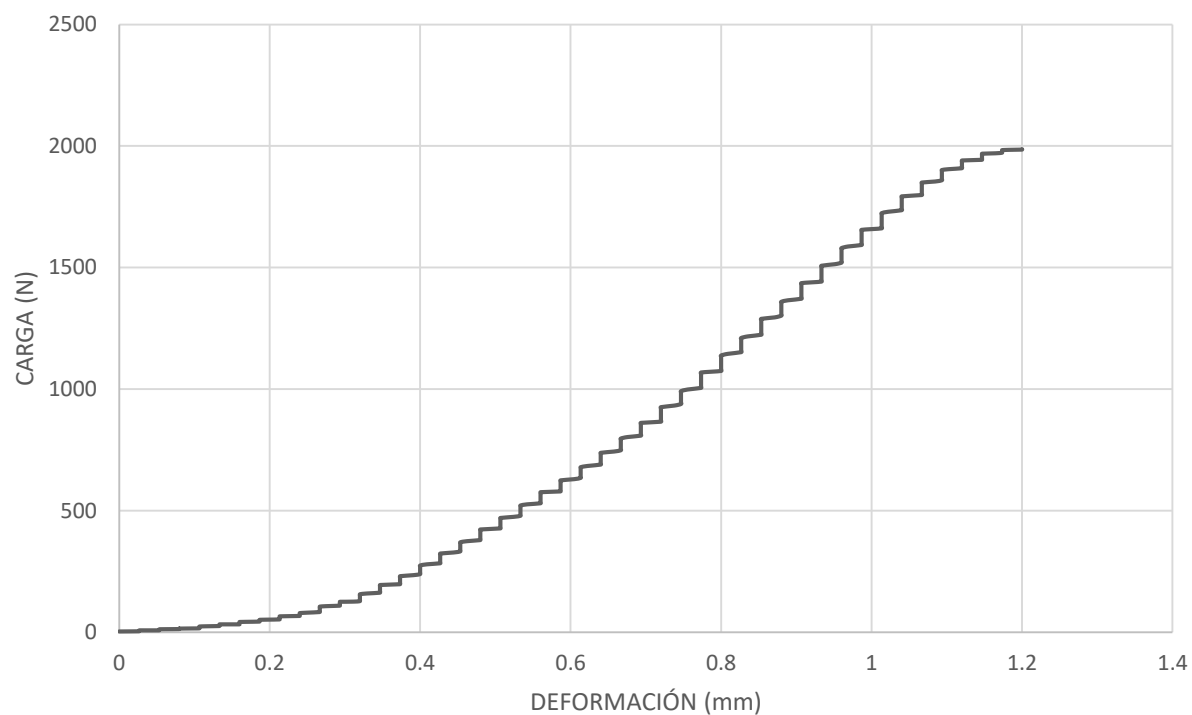


Figura. 4. 610. Fotografía de la C-331218, en la prensa. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 611. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-331218. Fuente: (autoría propia).

CARGA-DEFORMACIÓN



Gráficas 4. 47. Curva Carga-Deformación de la C-331218, en N-mm. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 612. Fotografías de la corrida C-141218. Fuente: (Autoría propia).

De composición 100% CAL ESTANDAR, 275% MARMOLINA Tipo 2, 5% METACAOLIN, 5% SULFATO DE SODIO, 10% HARINA DE ARRÓZ y A/C= 1.1:1 (calentada hasta el punto de

ebullición y agregada a la mezcla, previamente integrados todos los materiales), de dimensiones iguales a un diámetro de 23.4mm y longitud de 45.0mm, que presenta una buena dureza al ser pulido, con desprendimiento mayormente en la parte inversa de la probeta. Debido a sus buena trabajabilidad se repitió para corroborar esta propiedad, obteniendo los mismos resultados con estas proporciones. (Autoría propia).

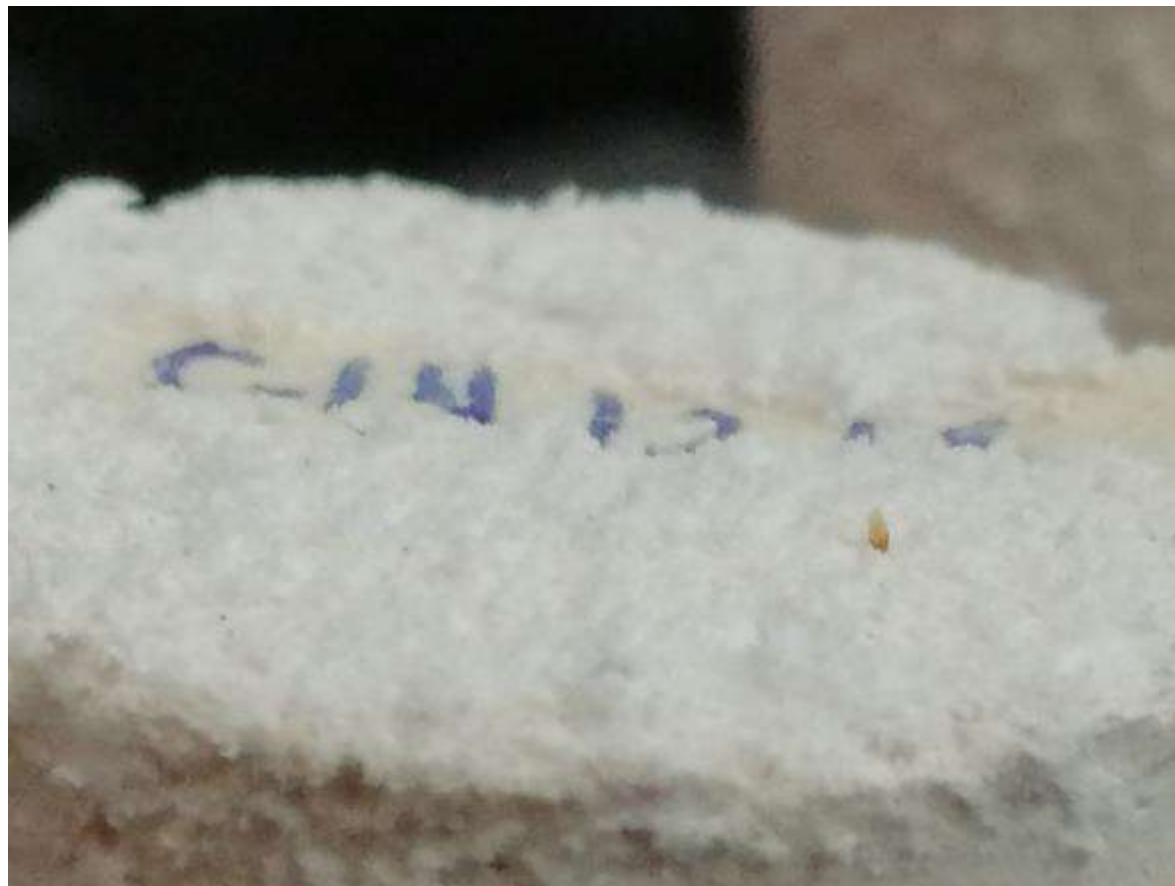


Figura. 4. 613. Imágenes de la corrida C-141218, con presencia de eflorescencias en su parte externa. (autoría propia).

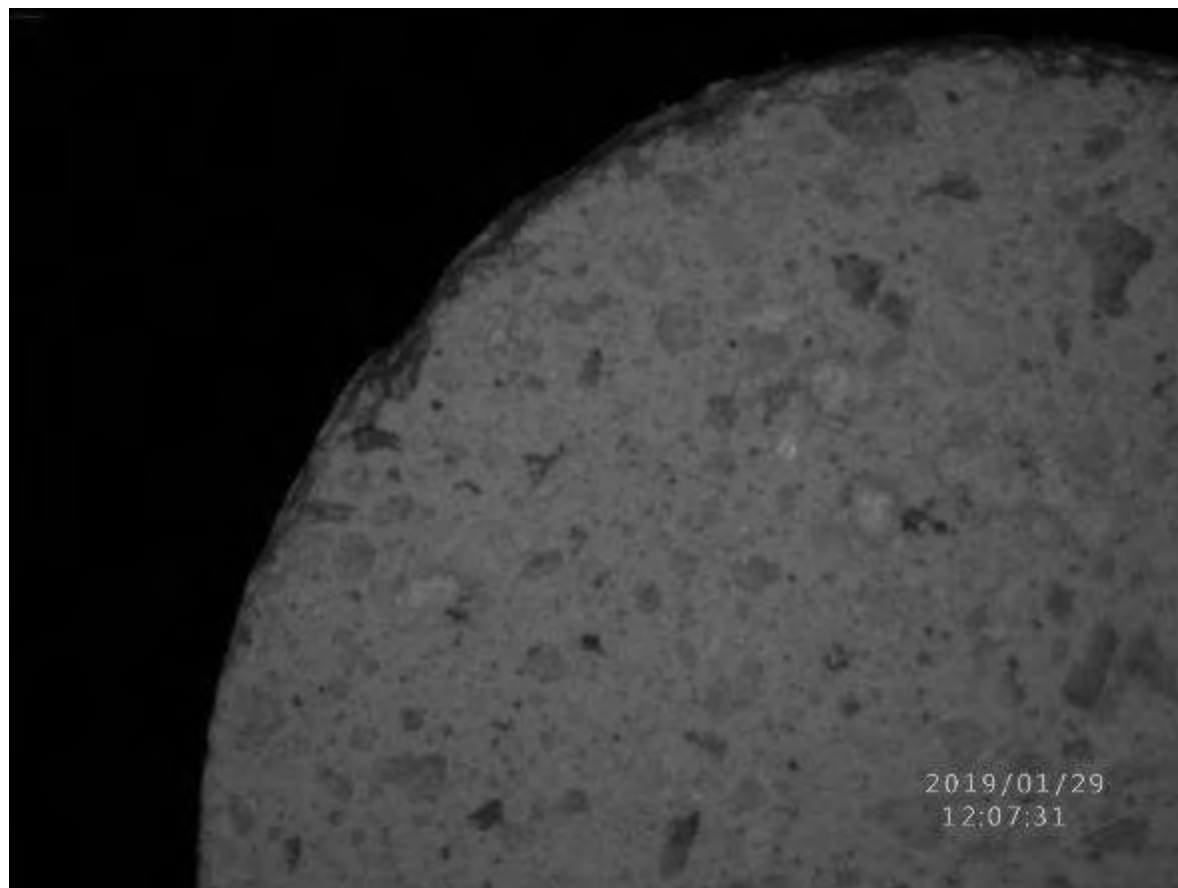


Figura. 4. 614. Microscopia de la C-141218. Fuente: Autoría propia.

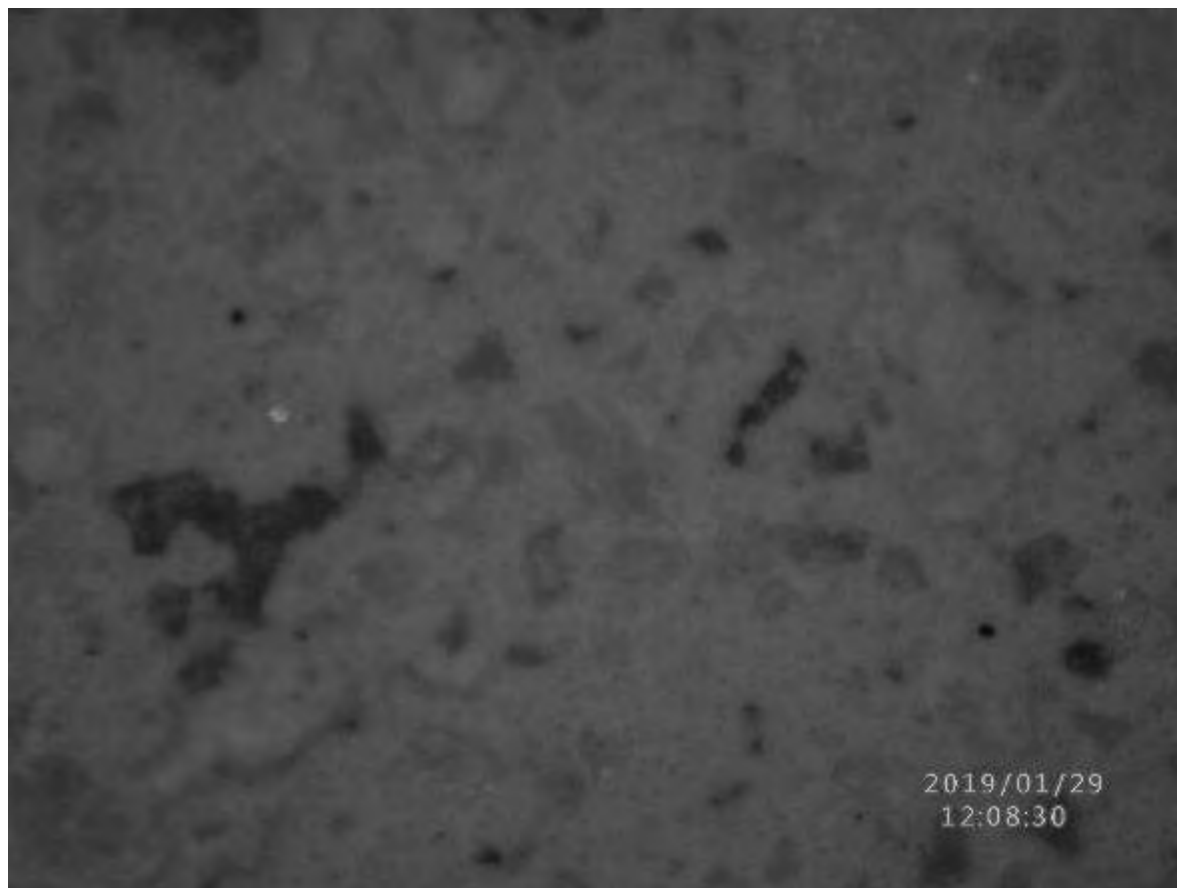


Figura. 4. 615. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-141218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

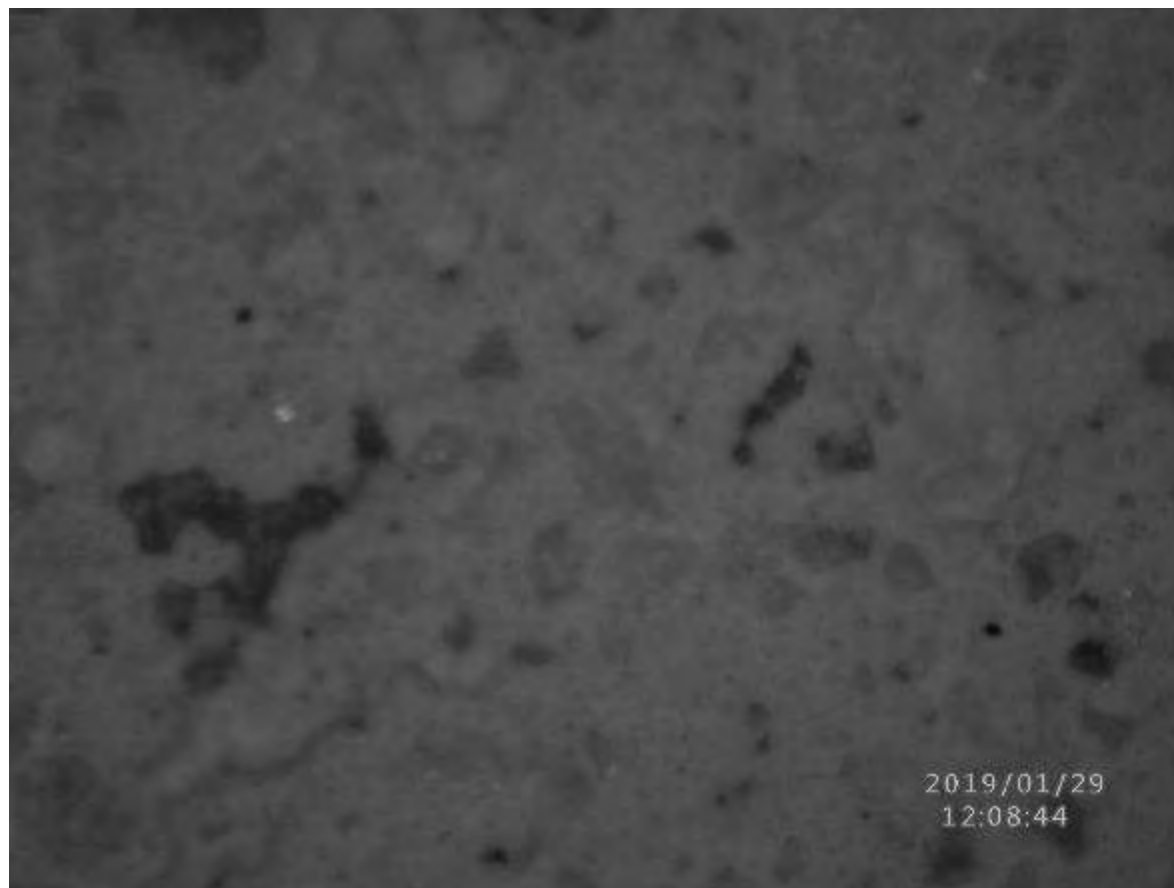


Figura. 4. 616. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-141218, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

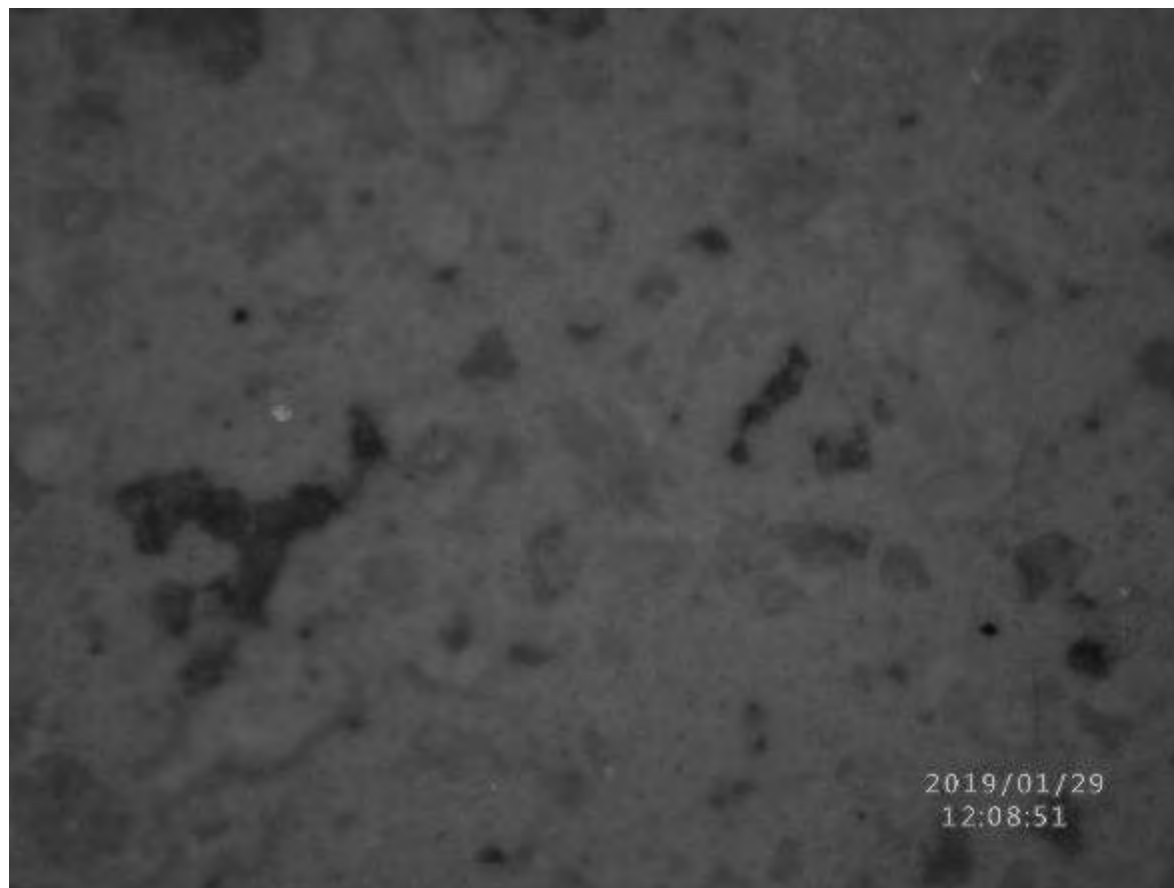


Figura. 4. 617. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-141218, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

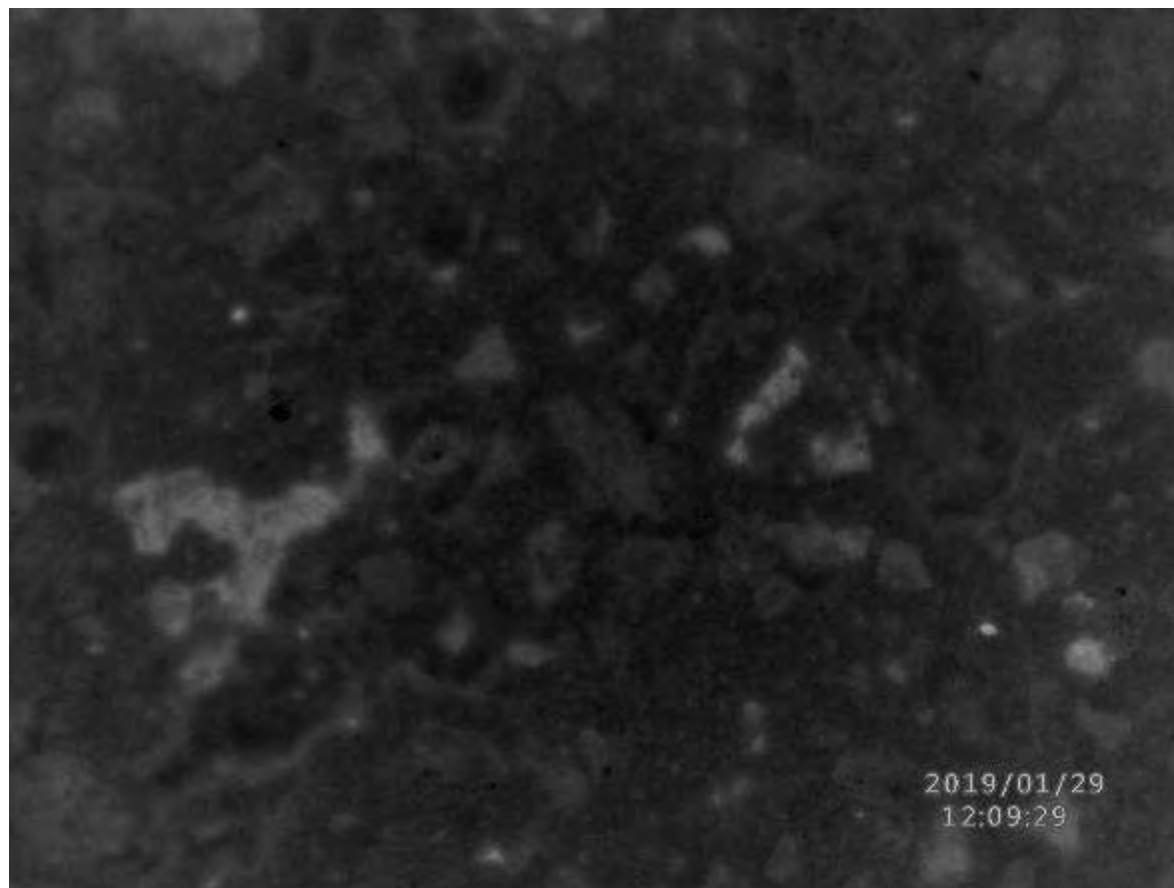


Figura. 4. 618. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-141218, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

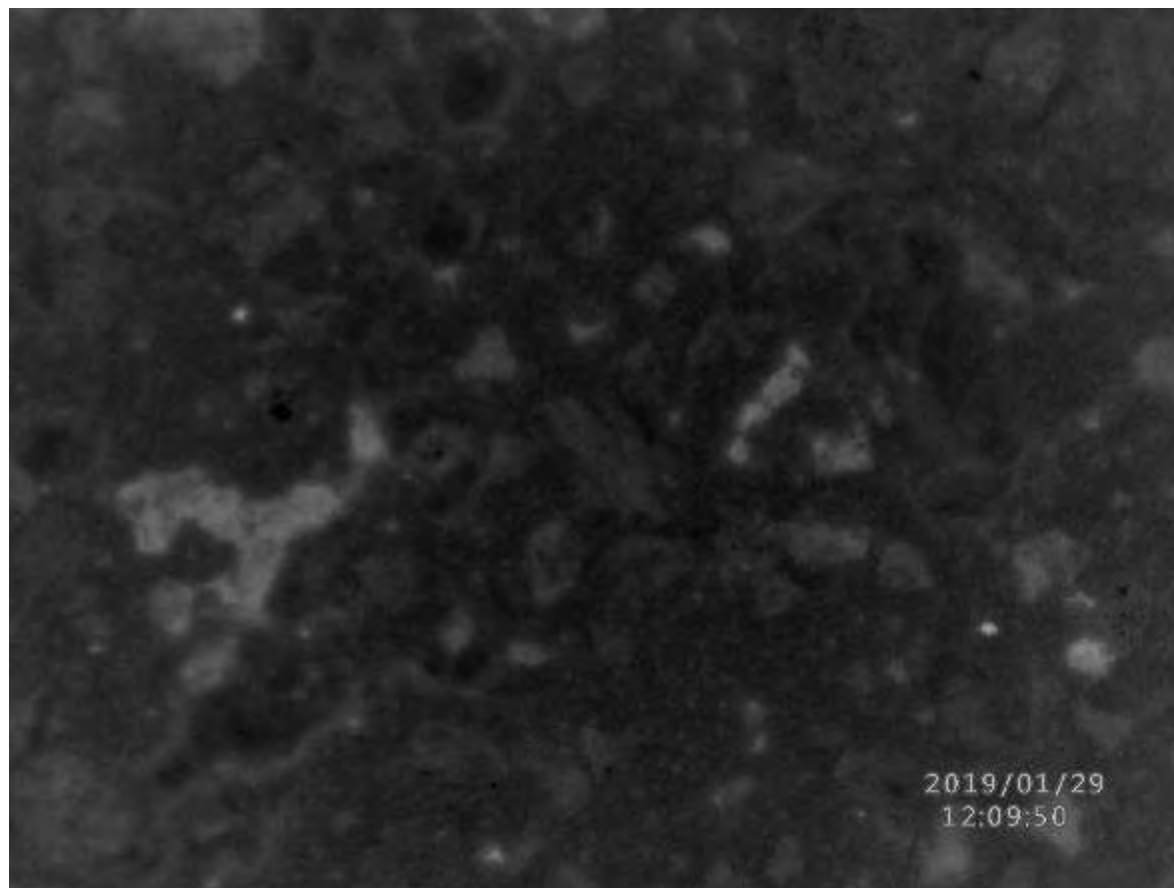


Figura. 4. 619. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-141218, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

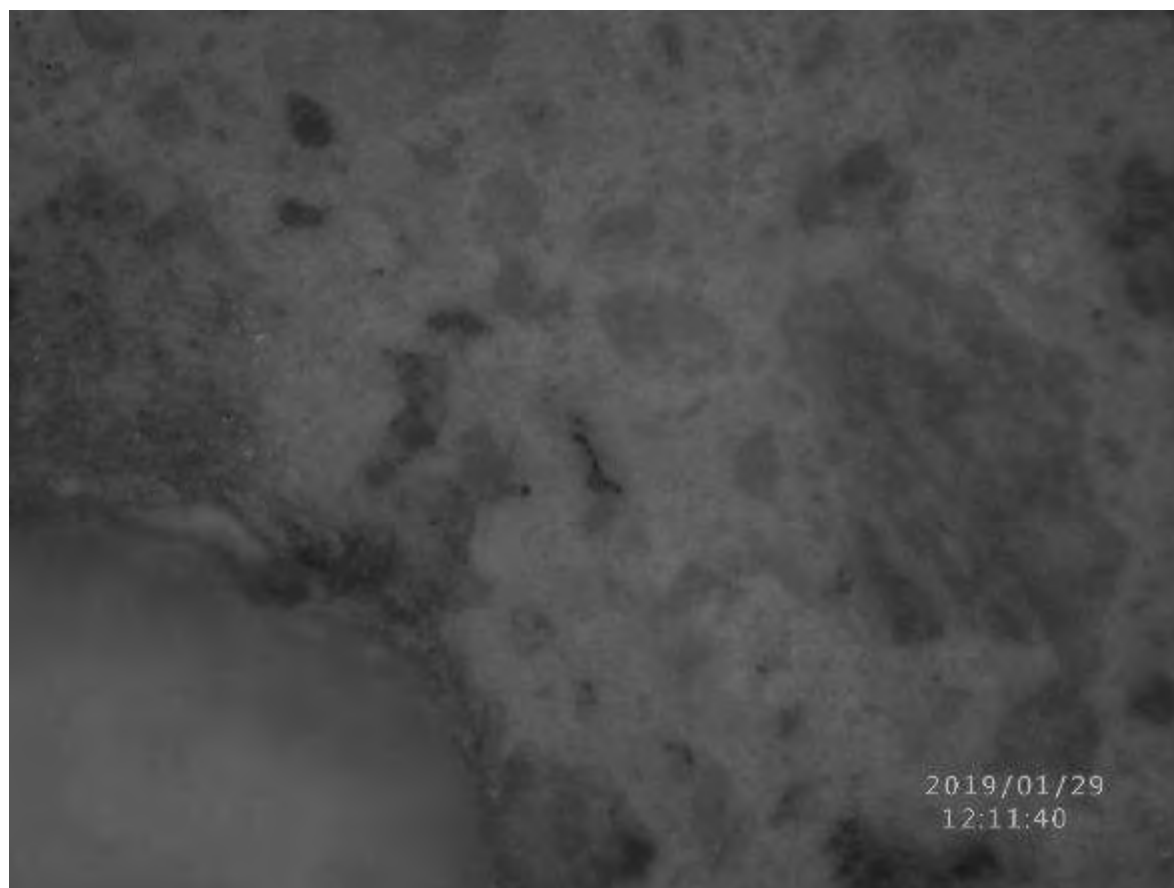


Figura. 4. 620. Microscopia de la C-141218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

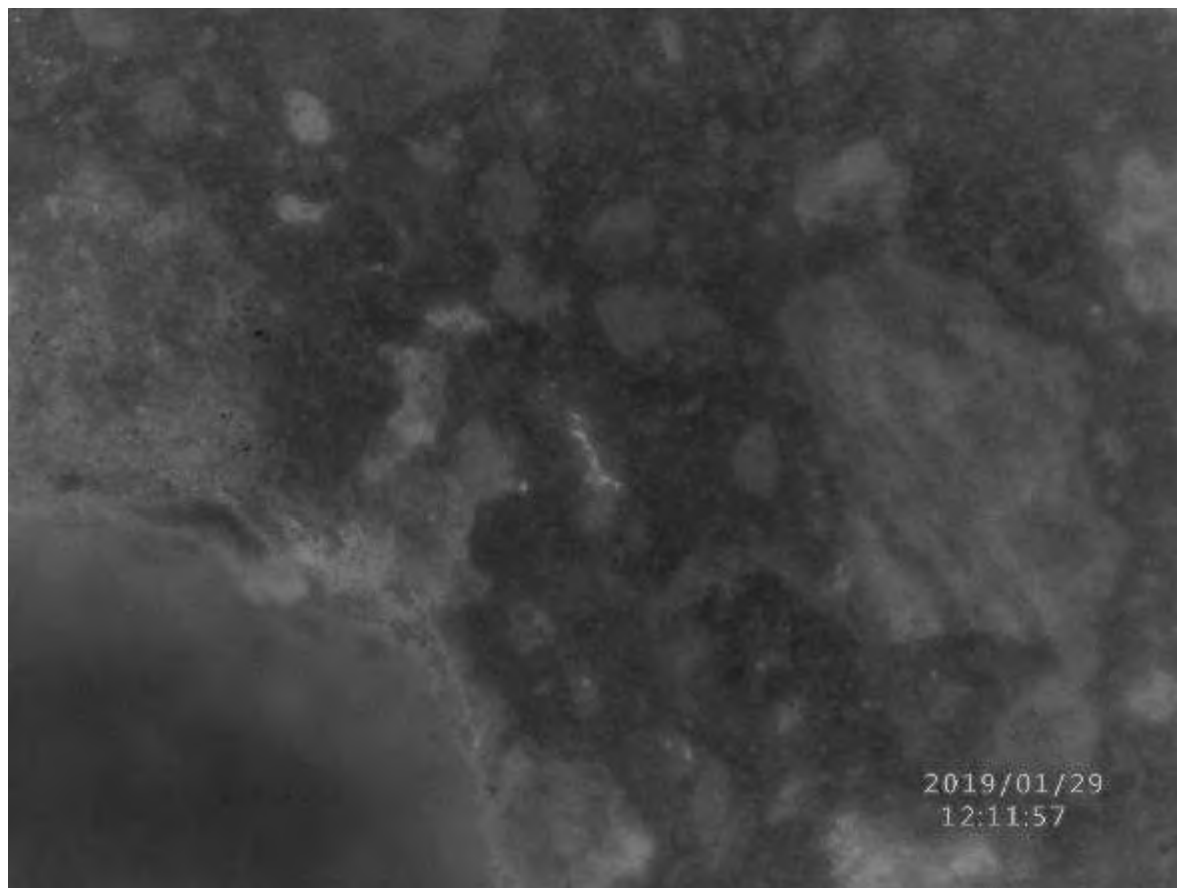


Figura. 4. 621. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-141218, con un filtro negativo bajo una luz normal.
Fuente: (autoría propia).

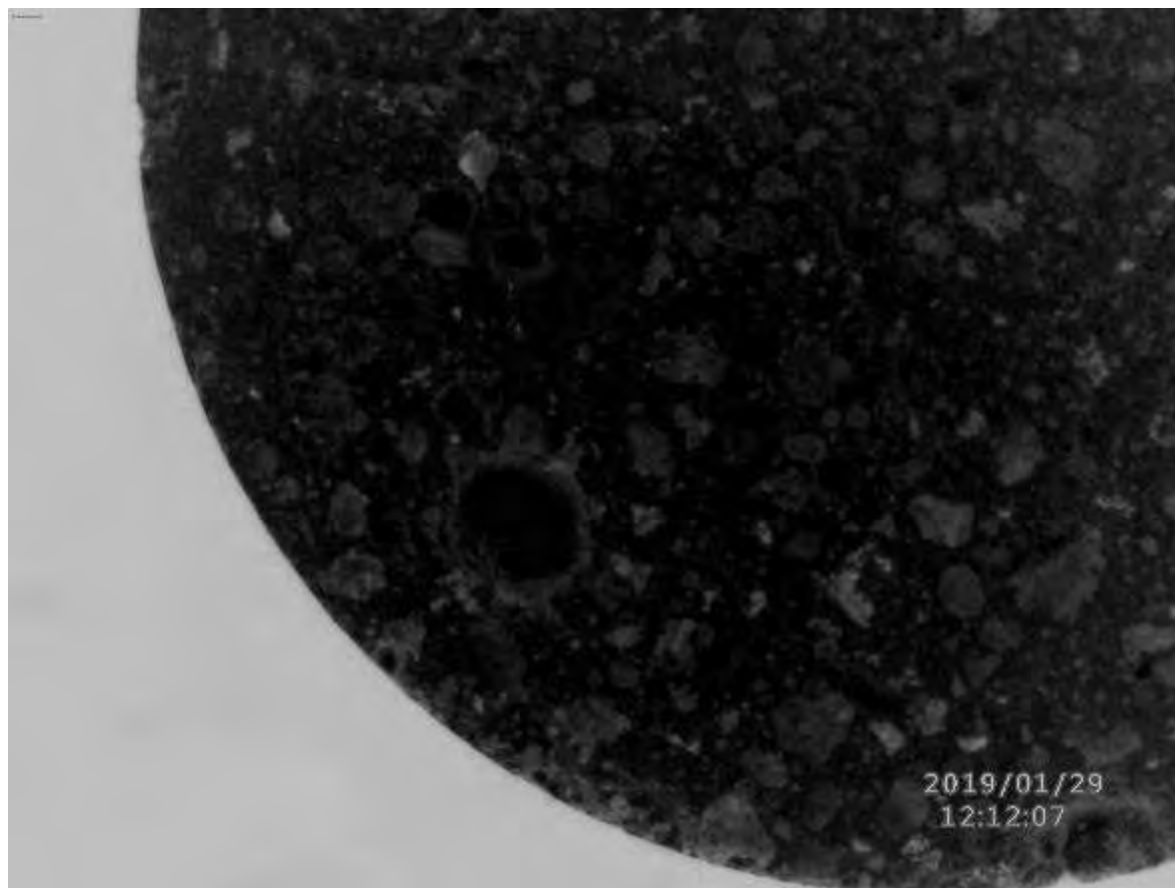


Figura. 4. 622. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-141218, con un filtro negativo bajo una luz normal.
Fuente: (autoría propia).

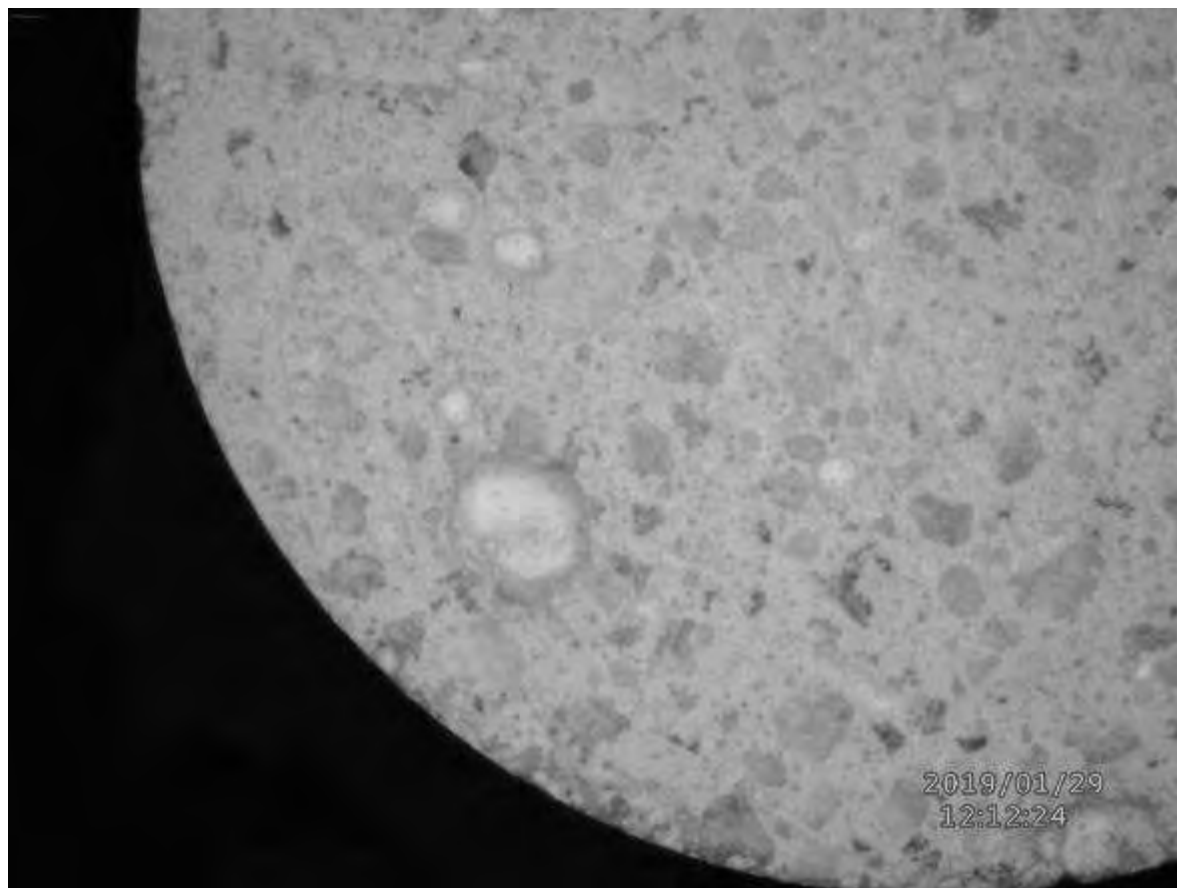
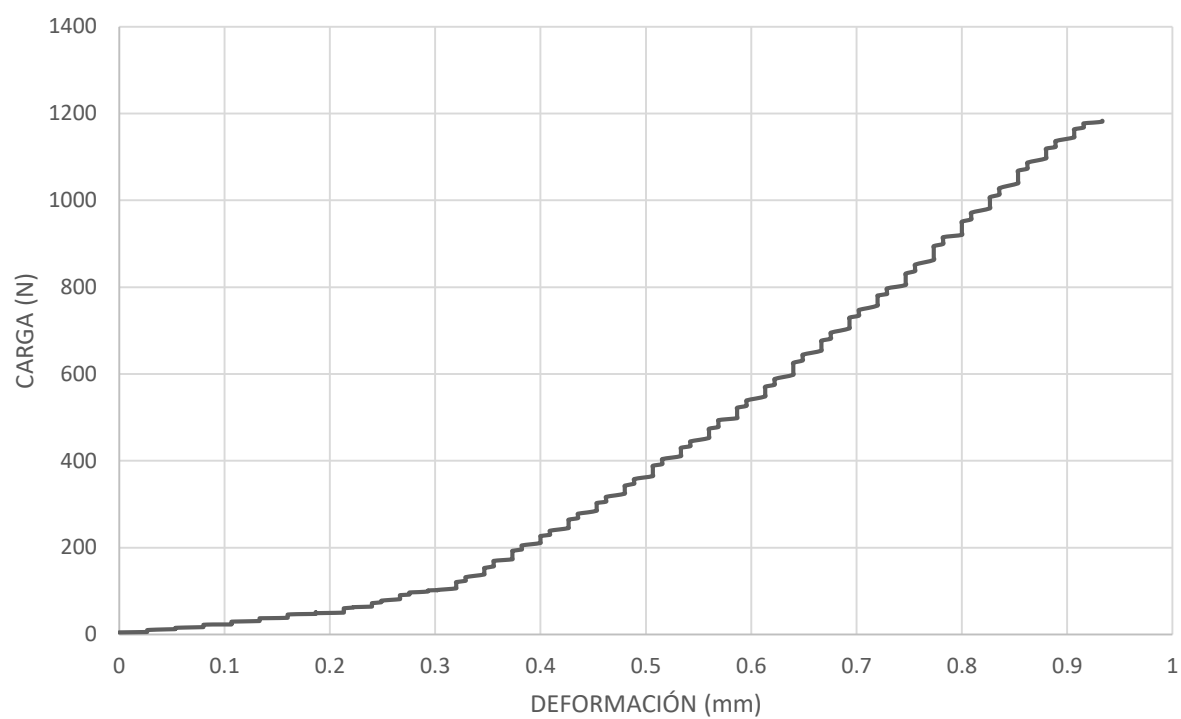


Figura. 4. 623. Microscopia de la C-141218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

CARGA-DEFORMACIÓN



Gráficas 4. 48. Curva Carga-Deformación de la C-141218, en N-mm. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 624. Fotografía de la C-141218, en la prensa. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 625. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-141218. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 626. Fotografías de la corrida C-241218. Fuente: (Autoría propia).

De composición 100% CAL ESTANDAR, 275% MARMOLINA Tipo 2, 5% METACAOLIN, 10% SULFATO DE SODIO, 10% HARINA DE ARRÓZ y A/C= 1.1:1 (calentada hasta el punto de ebullición y agregada a la mezcla, previamente integrados todos los materiales), de dimensiones iguales a un diámetro de 23.6mm y longitud de 45.8mm, que presenta una dureza al ser pulido, con desprendimiento mayormente en la parte inversa de la probeta. (Autoría propia).

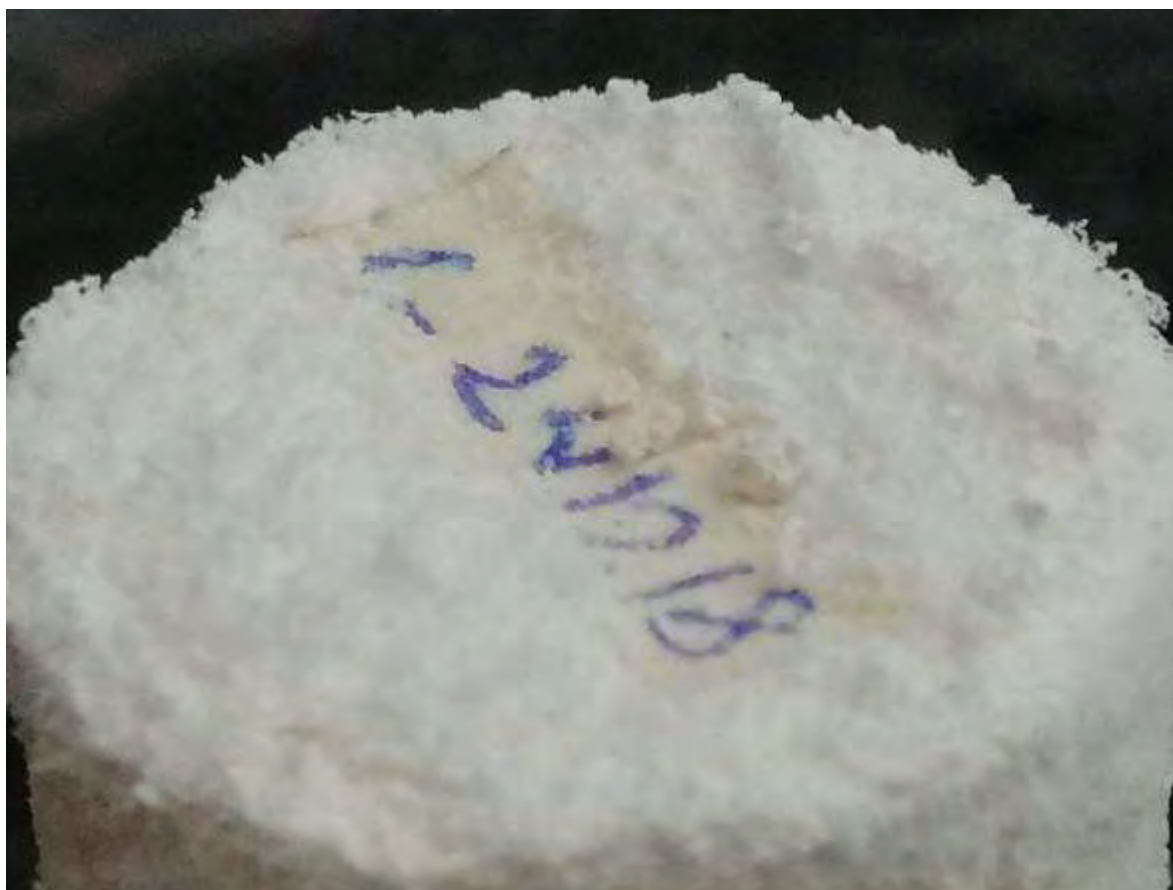


Figura. 4. 627. Imágenes de la corrida C-241218, con presencia de eflorescencias en su parte externa. (autoría propia).

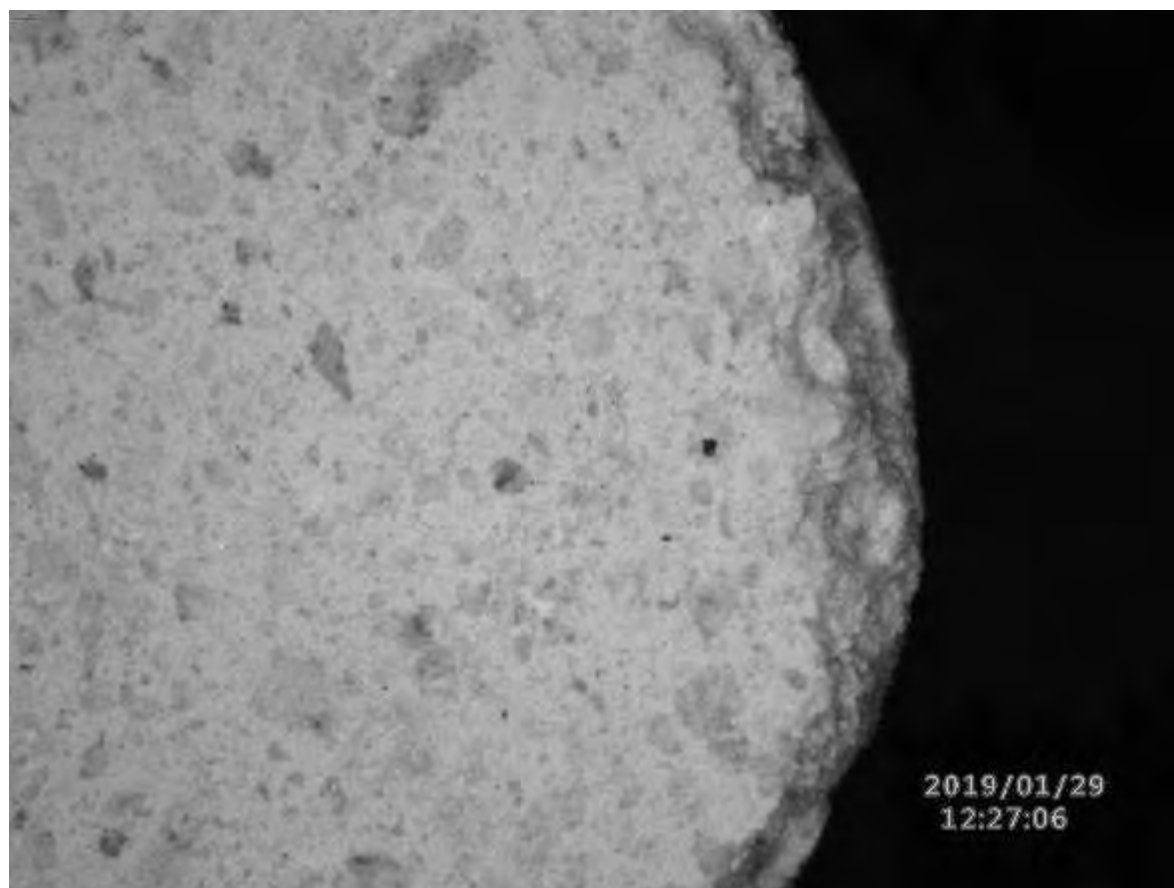


Figura. 4. 628. Microscopia de la C-241218. Fuente: Autoría propia.

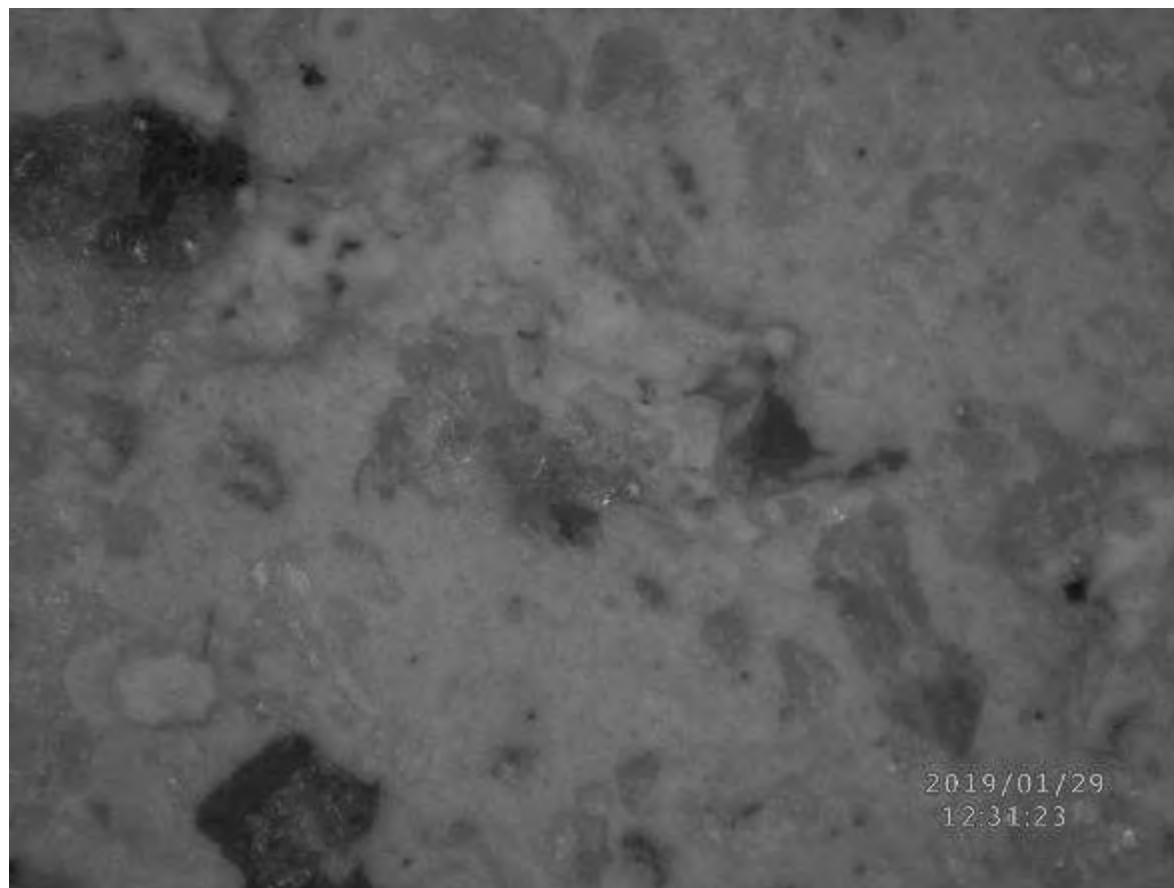


Figura. 4. 629. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-241218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

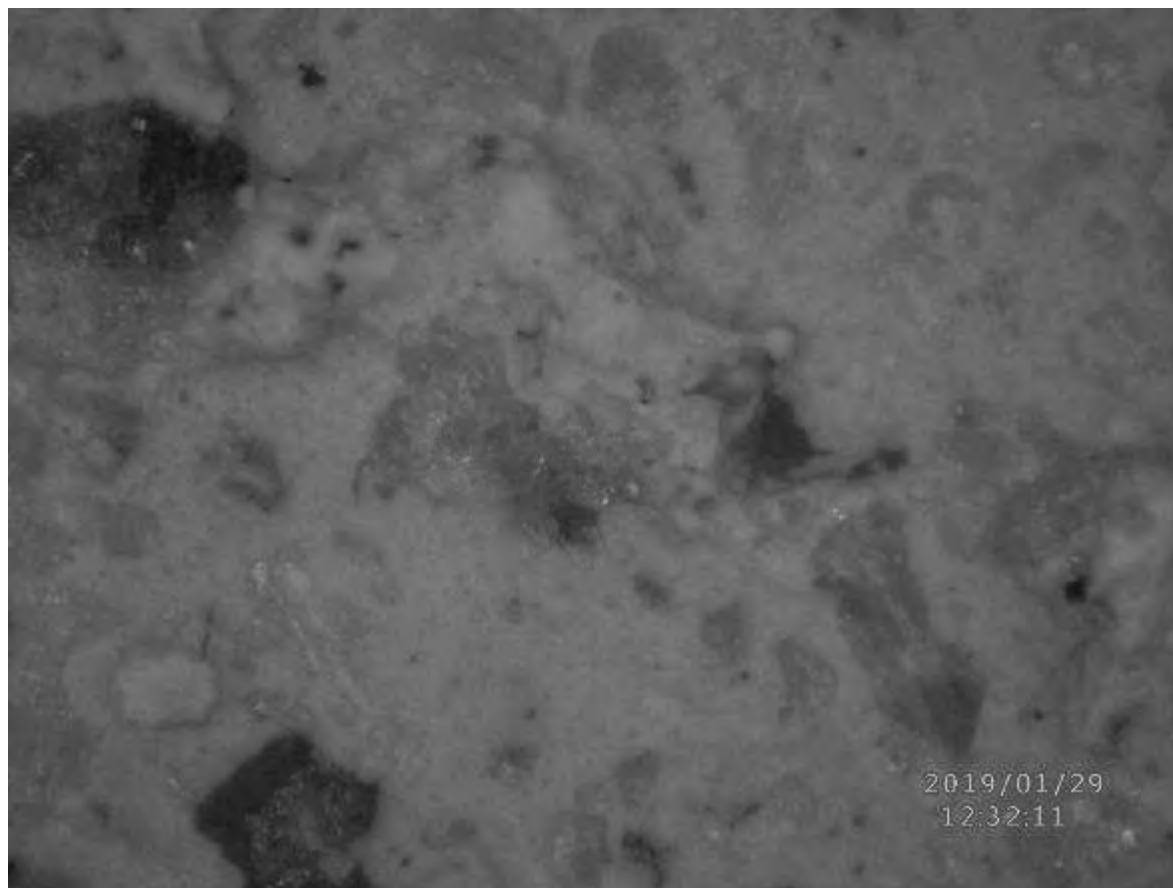


Figura. 4. 630. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-241218, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

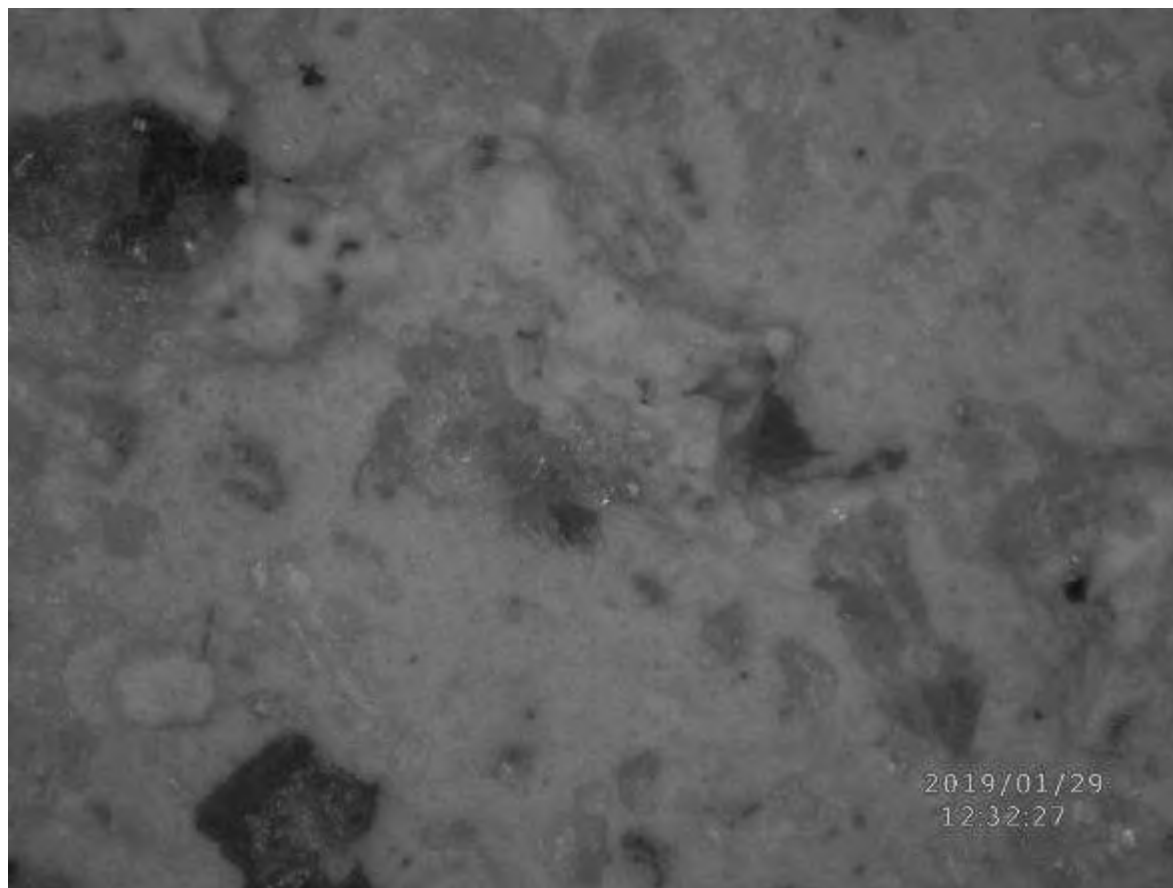


Figura. 4. 631. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-241218, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

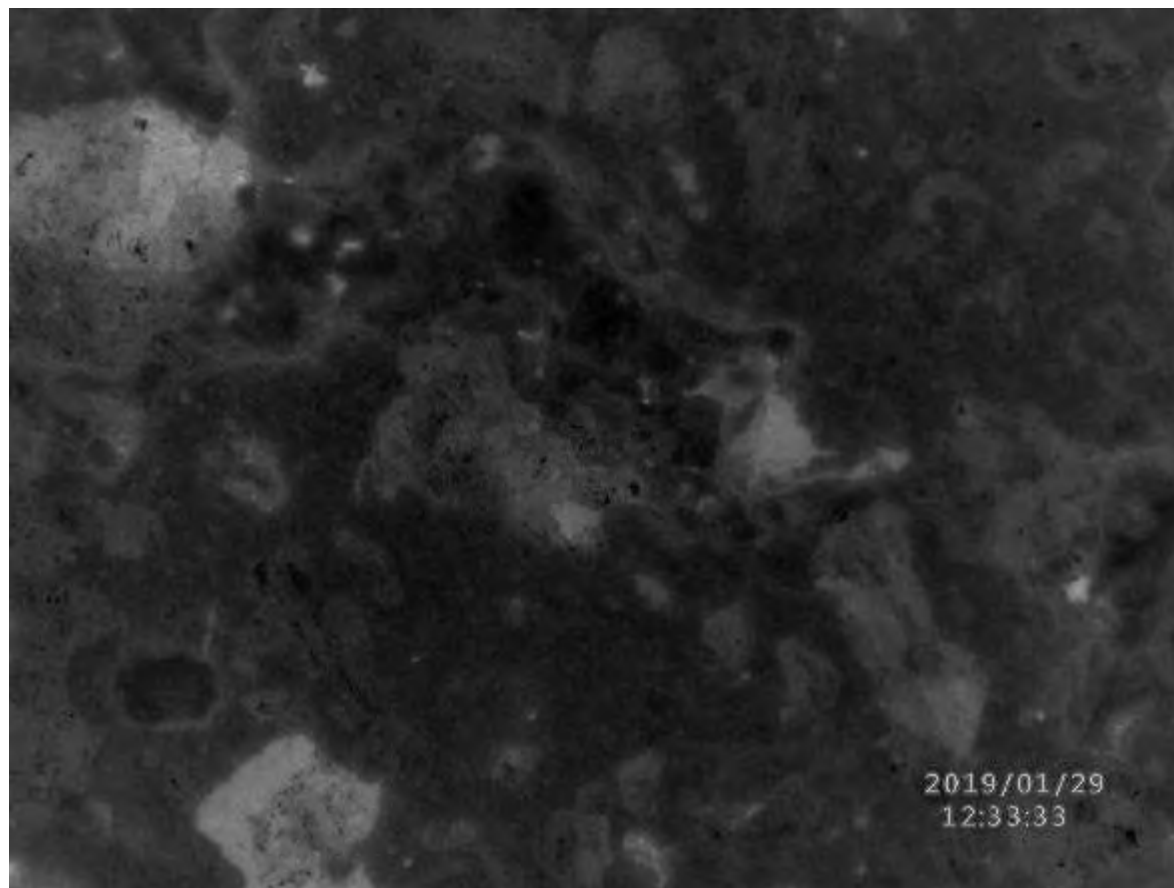


Figura. 4. 632. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-241218, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

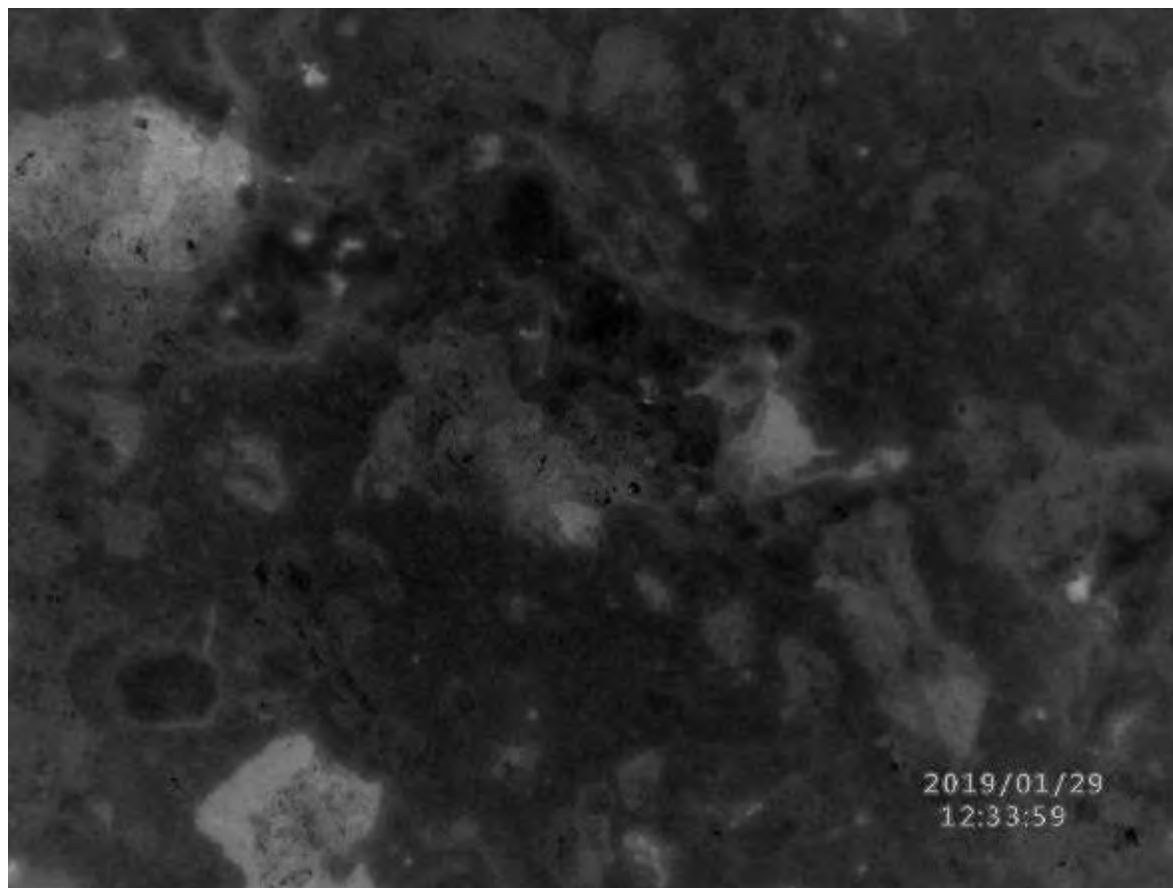


Figura. 4. 633. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-241218, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

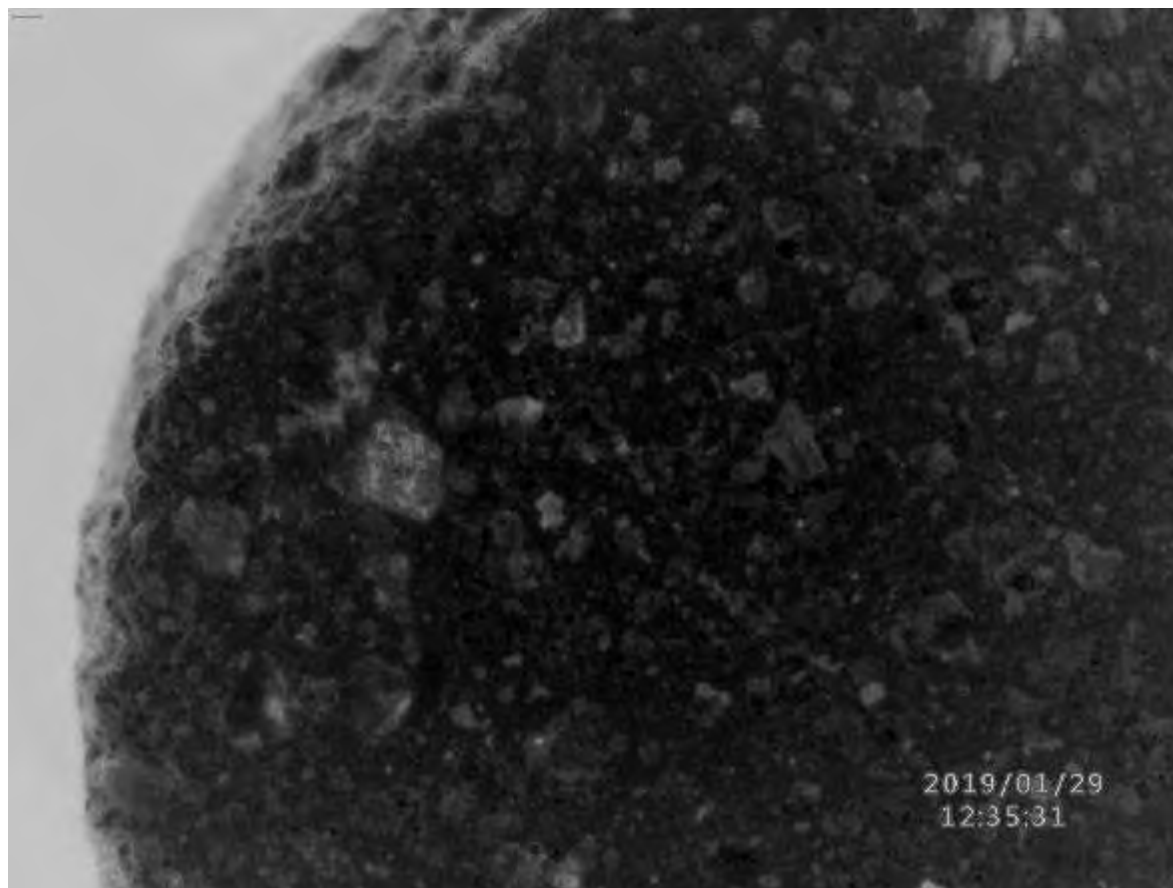


Figura. 4. 634. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-241218, con un filtro negativo bajo una luz normal.
Fuente: (autoría propia).

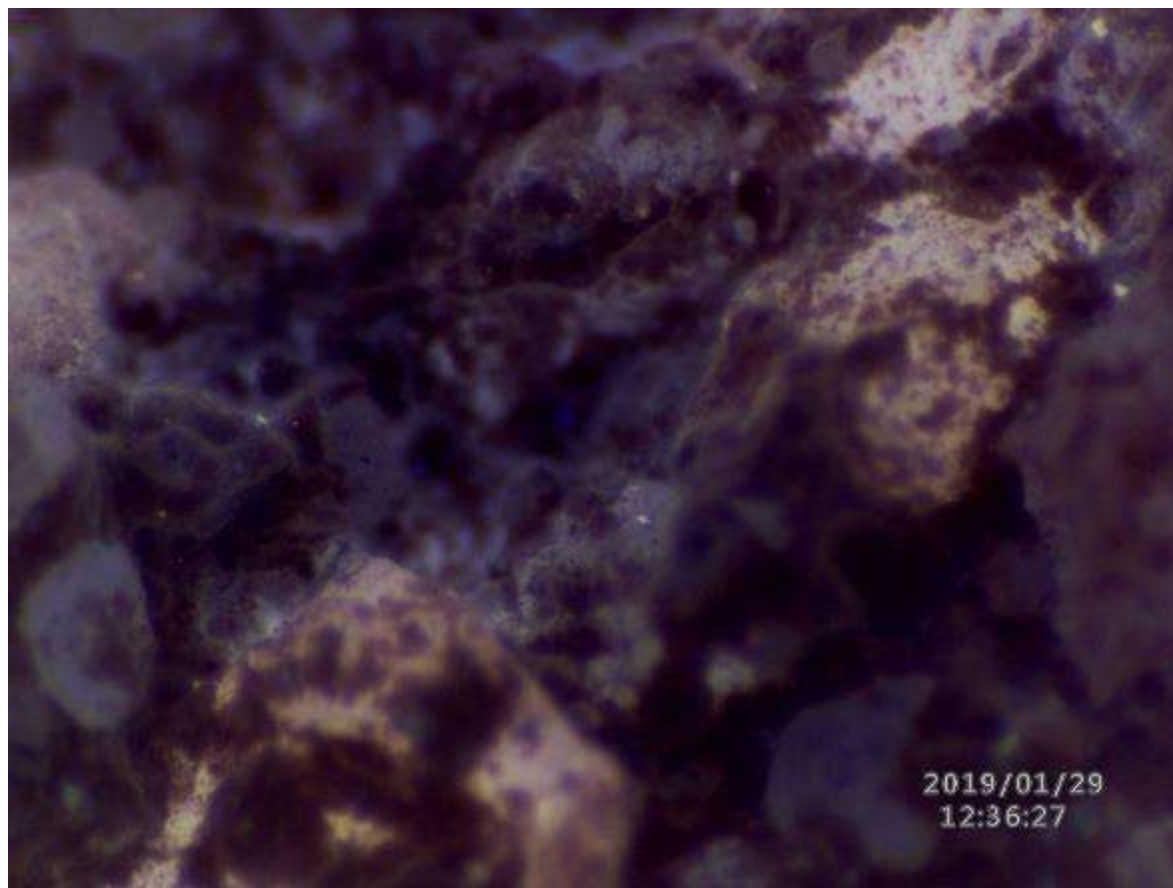


Figura. 4. 635. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-241218, con un filtro negativo bajo una luz normal.
Fuente: (autoría propia).

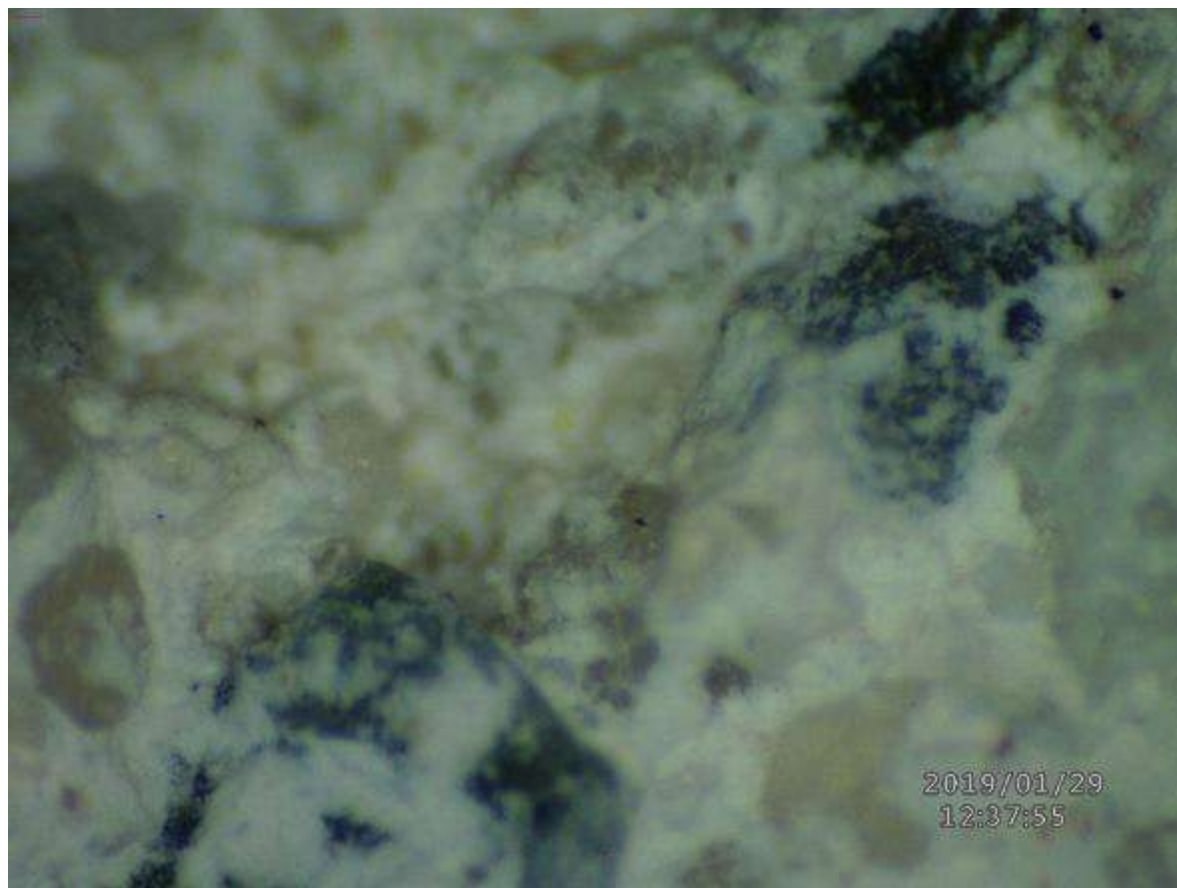


Figura. 4. 636. Microscopia de la C-241218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

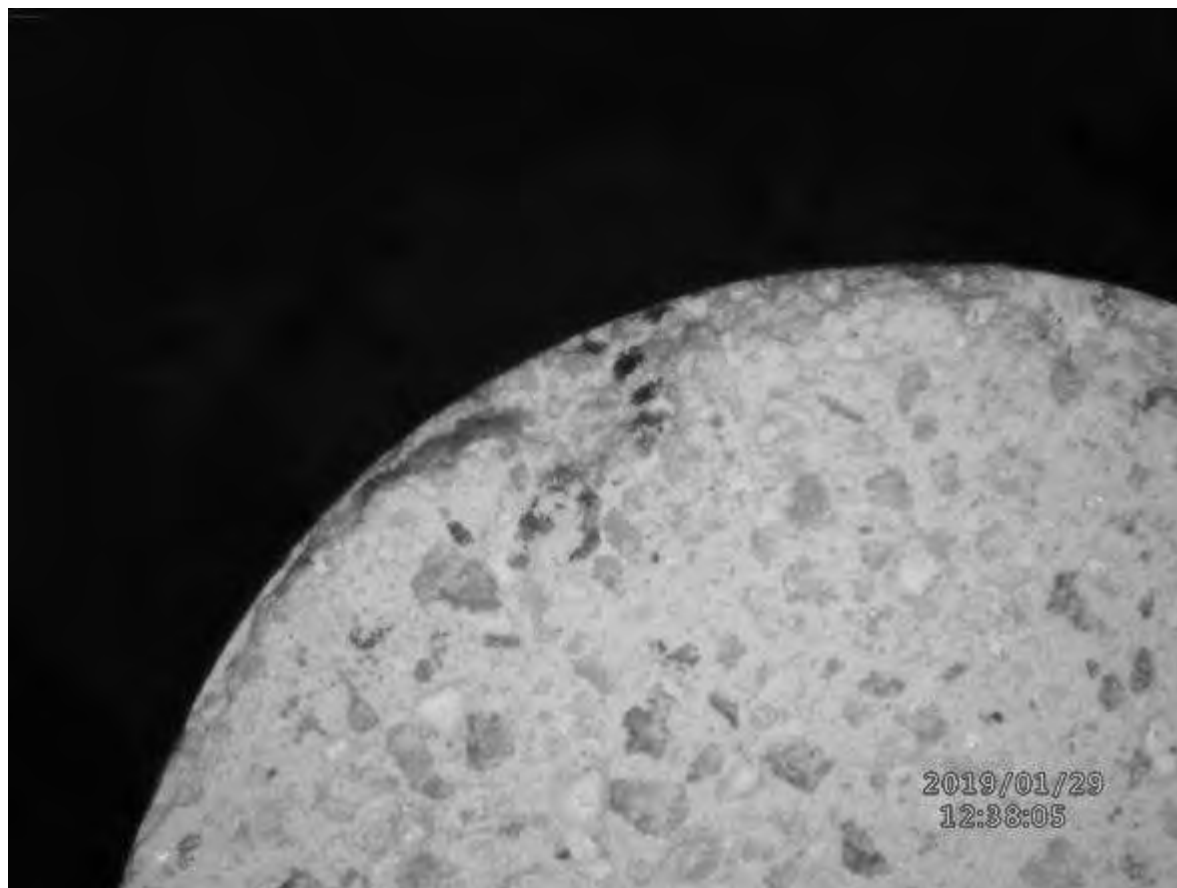
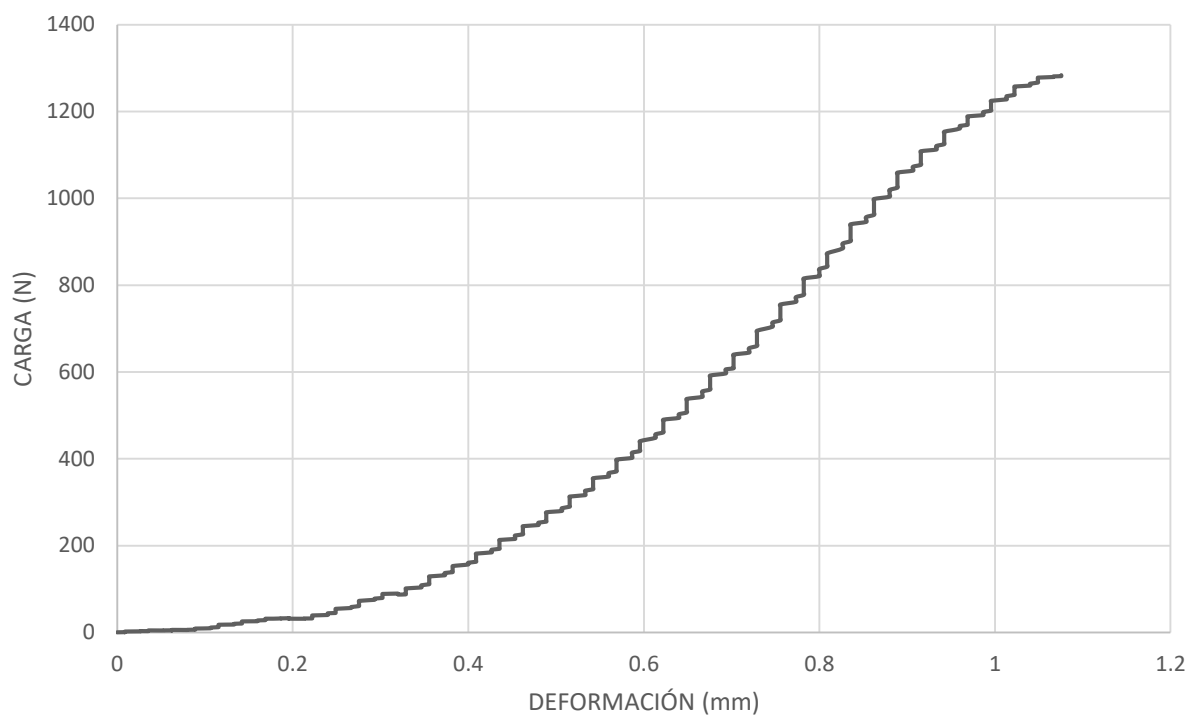


Figura. 4. 637. Microscopia de la C-241218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

CARGA-DEFORMACIÓN



Gráficas 4. 49. Curva Carga-Deformación de la C-241218, en N-mm. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 638. Fotografía de la C-241218, en la prensa. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 639. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-241218. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 640. Fotografías de la corrida C-341218. Fuente: (Autoría propia).

De composición 100% CAL ESTANDAR, 275% MARMOLINA Tipo 2, 10% METACAOLIN, 5% SULFATO DE SODIO, 10% HARINA DE ARRÓZ y A/C= 1.1:1 (calentada hasta el punto de ebullición y agregada a la mezcla, previamente integrados todos los materiales), de dimensiones iguales a un diámetro de 23.3mm y longitud de 45.0mm, que presenta una dureza al ser pulido, con desprendimiento mayormente en la parte inversa de la probeta. (Autoría propia).

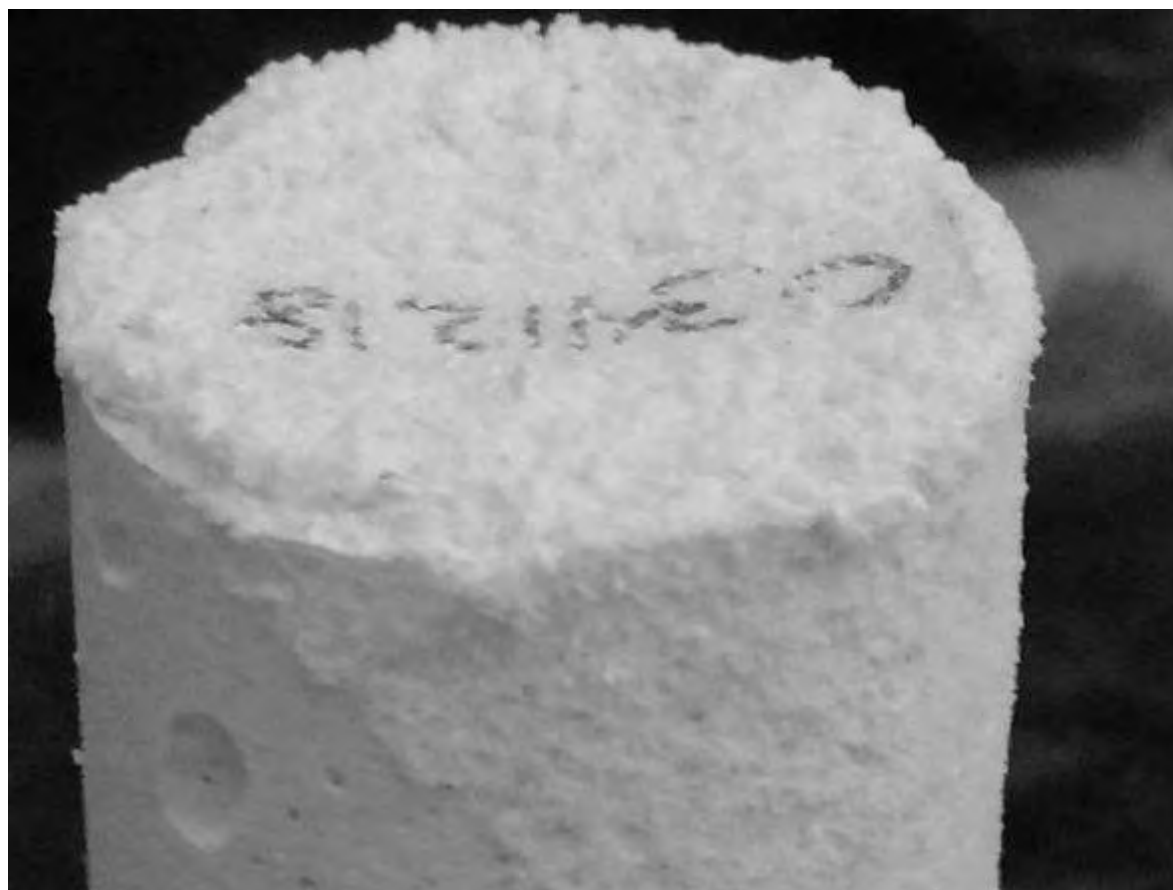
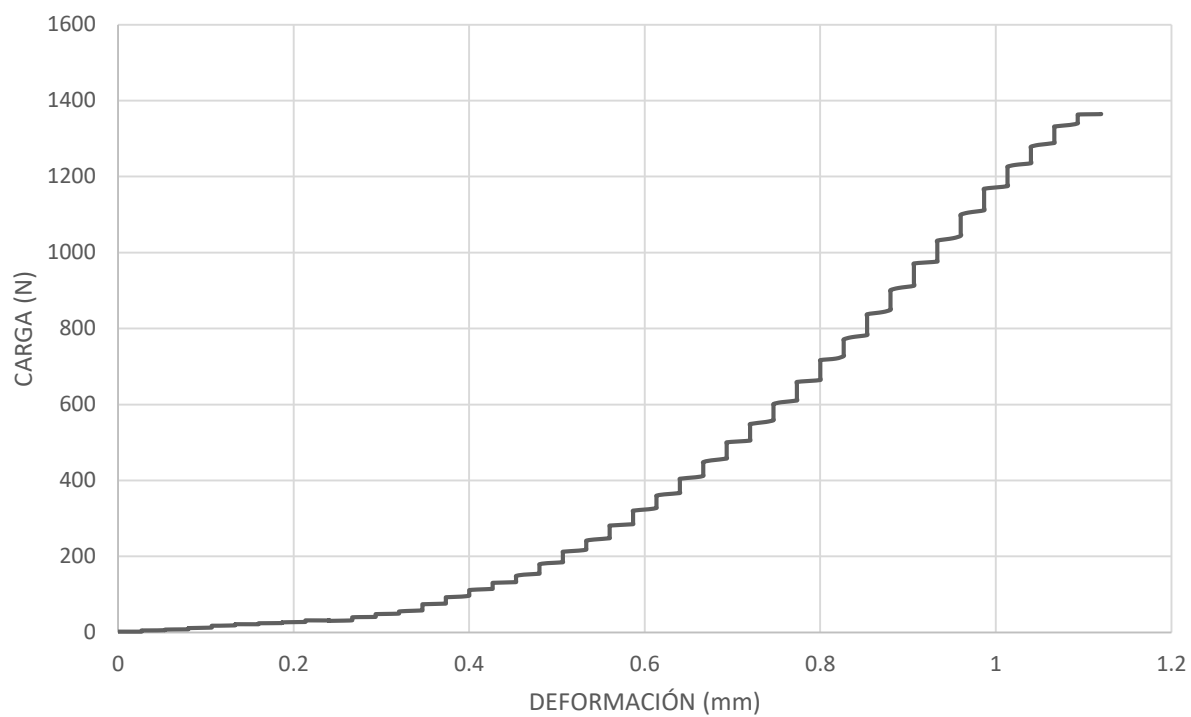


Figura. 4. 641. Microscopia de la C-341218. Fuente: Autoría propia.

CARGA-DEFORMACIÓN



Gráficas 4. 50. Curva Carga-Deformación de la C-341218, en N-mm. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 642. Fotografía de la C-341218, en la prensa. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 643. Fotografía de la C-341218, en la prensa. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 644. Fotografías de la corrida C-161218. Fuente: (Autoría propia).

De composición 100% CAL ESTANDAR, 275% MARMOLINA Tipo 2, 10% METACAOLIN, 10% SULFATO DE SODIO, 10% HARINA DE ARRÓZ y A/C= 1.1:1 (calentada hasta el punto de ebullición y agregada a la mezcla, previamente integrados todos los materiales), de dimensiones iguales a un diámetro de 23.3mm y longitud de 44.7mm, que presenta una dureza moderada al ser pulido, con desprendimiento mayormente en la parte inversa de la probeta, al contrario de la corridas con proporción de 5% del SULFATO DE CALCIO, estas presentan muy poca trabajabilidad y se reseca a la brevedad, sin obtener la TRABAJABILIDAD al ser mezcladas como es el caso de las activadas con CARBONATO DE CALCIO. (Autoría propia).

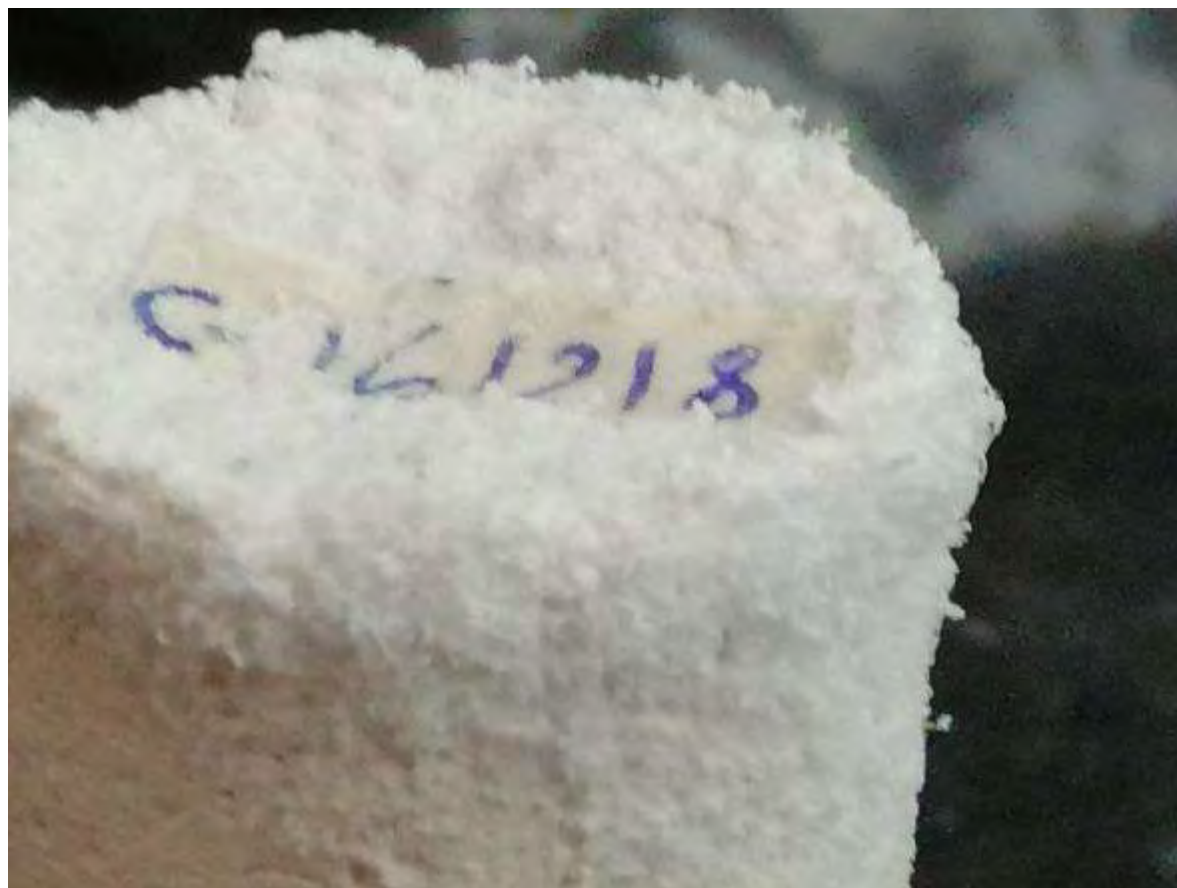


Figura. 4. 645. Imágenes de la corrida C-16128, con presencia de eflorescencias en su parte externa. (autoría propia).

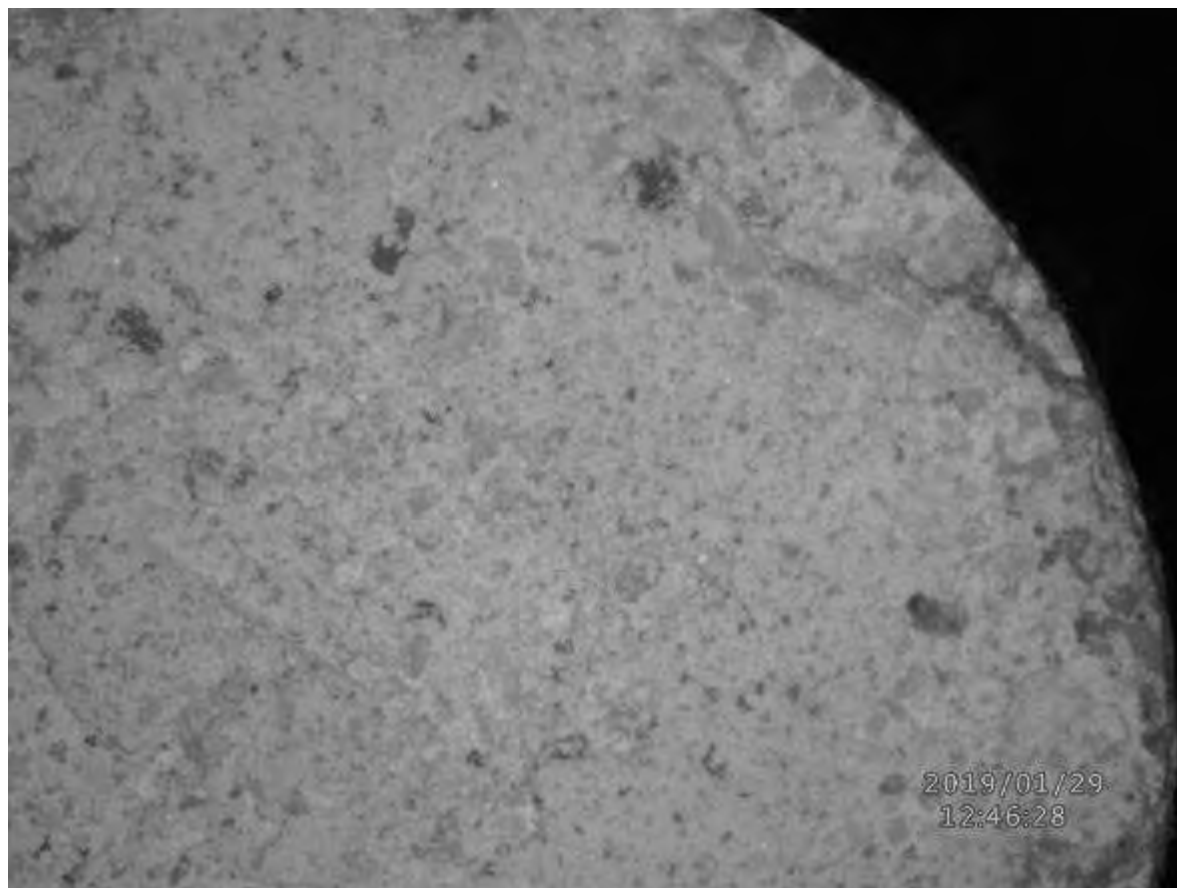


Figura. 4. 646. Microscopia de la C-161218. Fuente: Autoría propia.

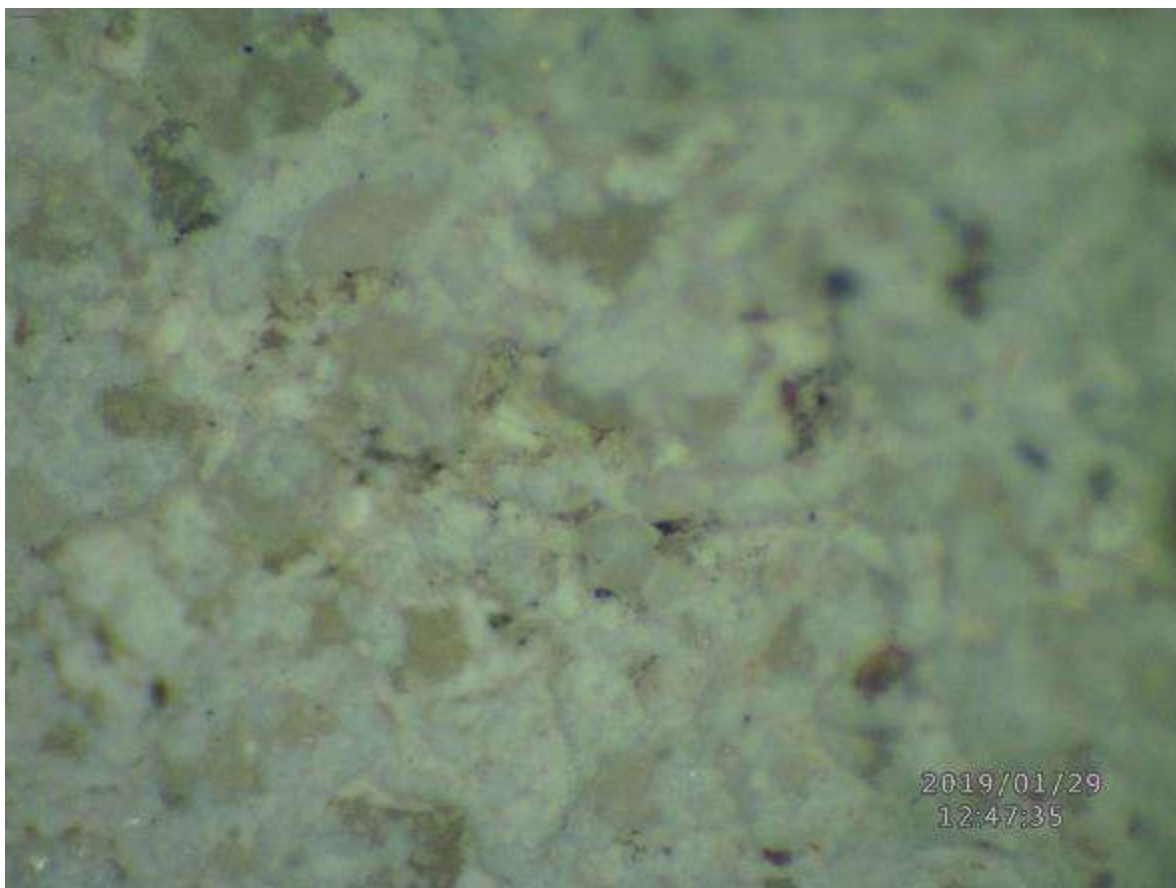


Figura. 4. 647. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-161218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

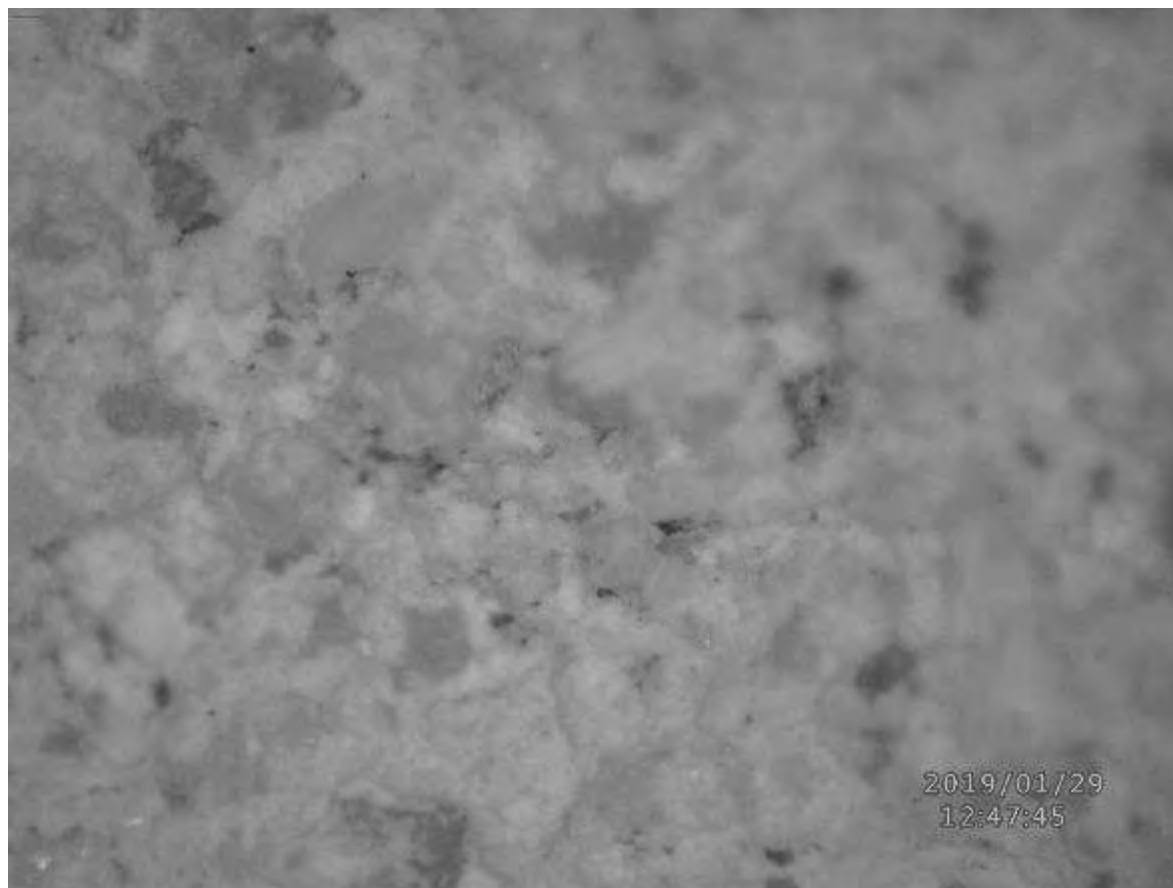


Figura. 4. 648. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-161218, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

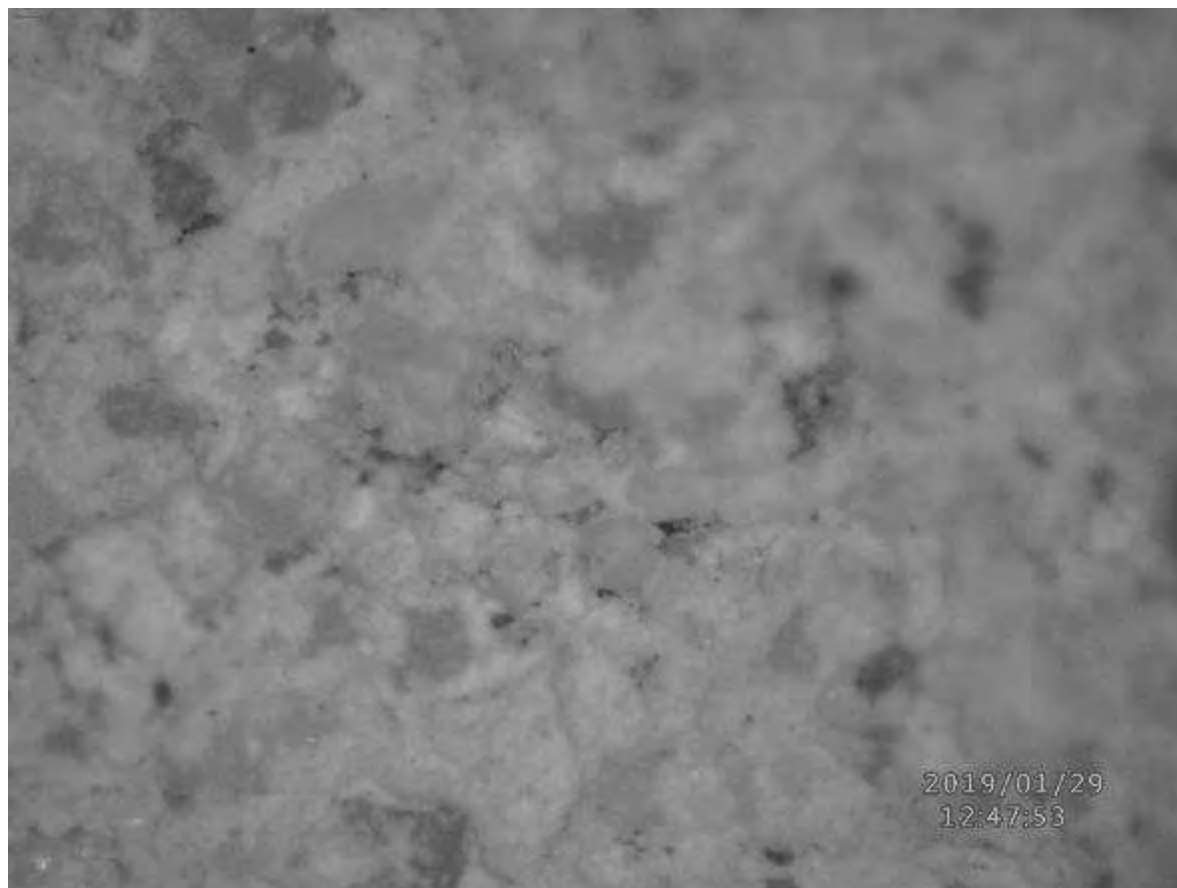


Figura. 4. 649. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-161218, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

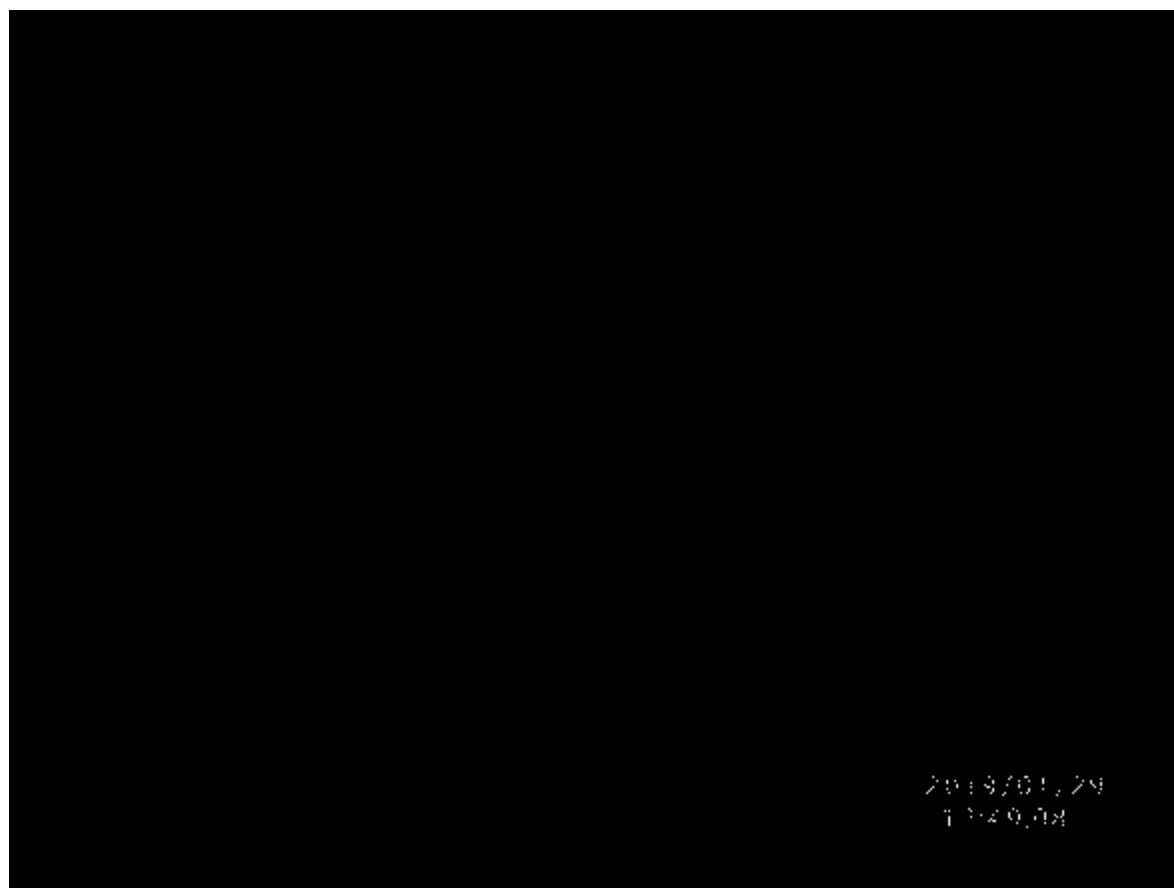


Figura. 4. 650. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-161218, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 651. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-161218, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

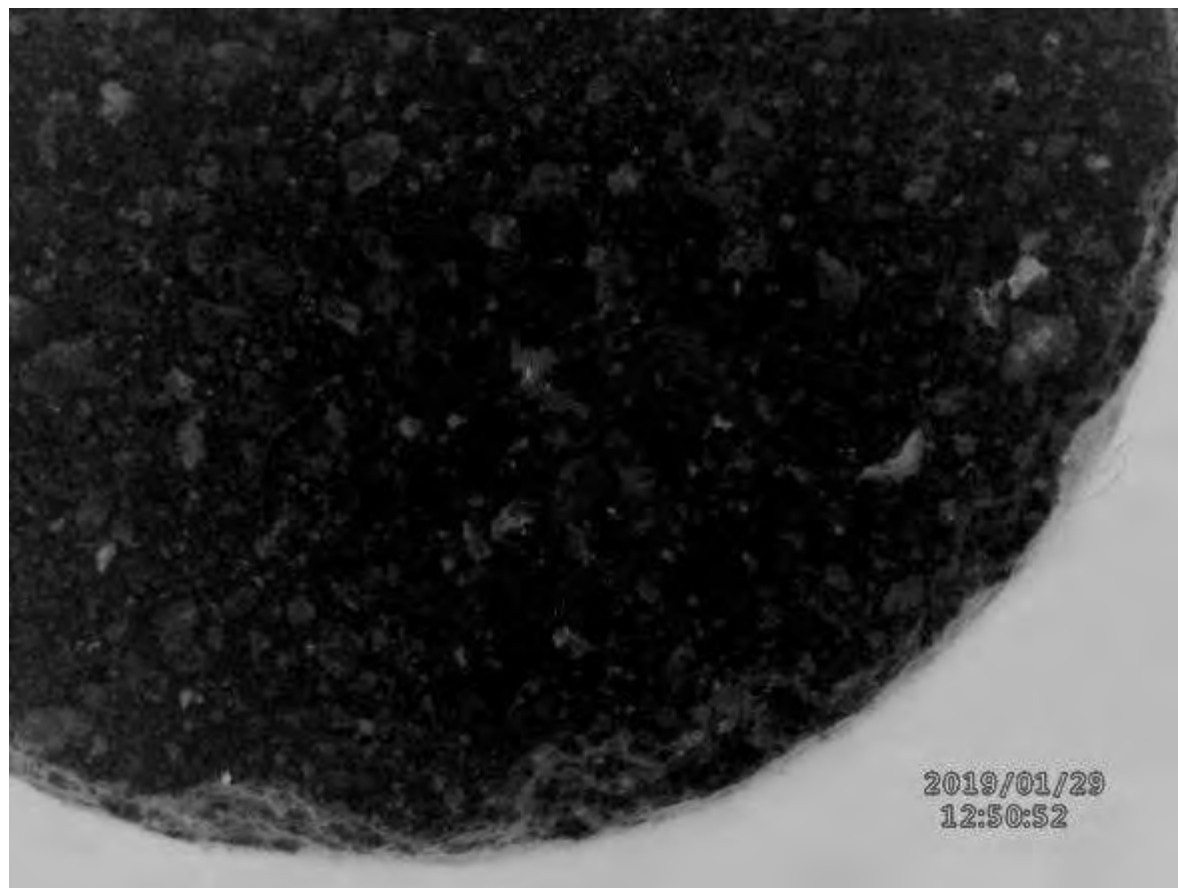


Figura. 4. 652. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-161218, con un filtro negativo bajo una luz normal.
Fuente: (autoría propia).

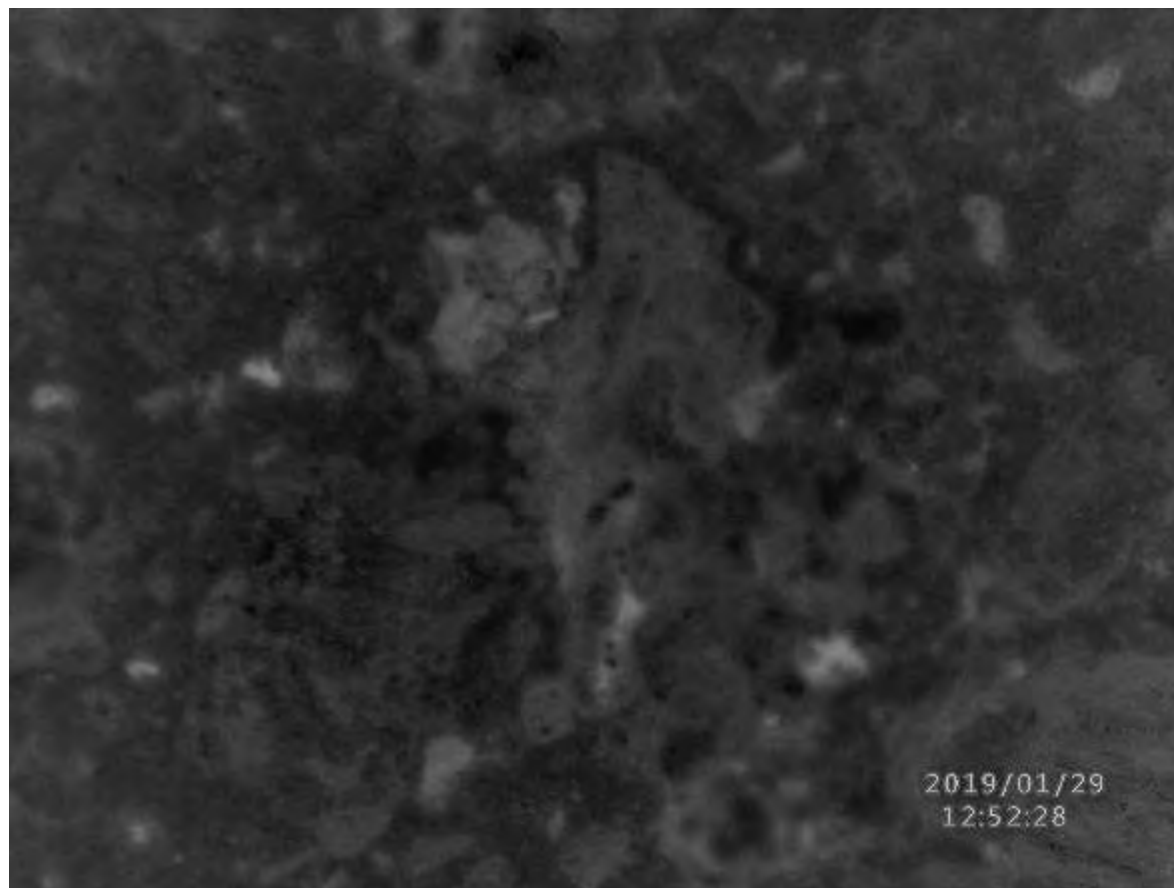


Figura. 4. 653. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-161218, con un filtro negativo bajo una luz normal.
Fuente: (autoría propia).

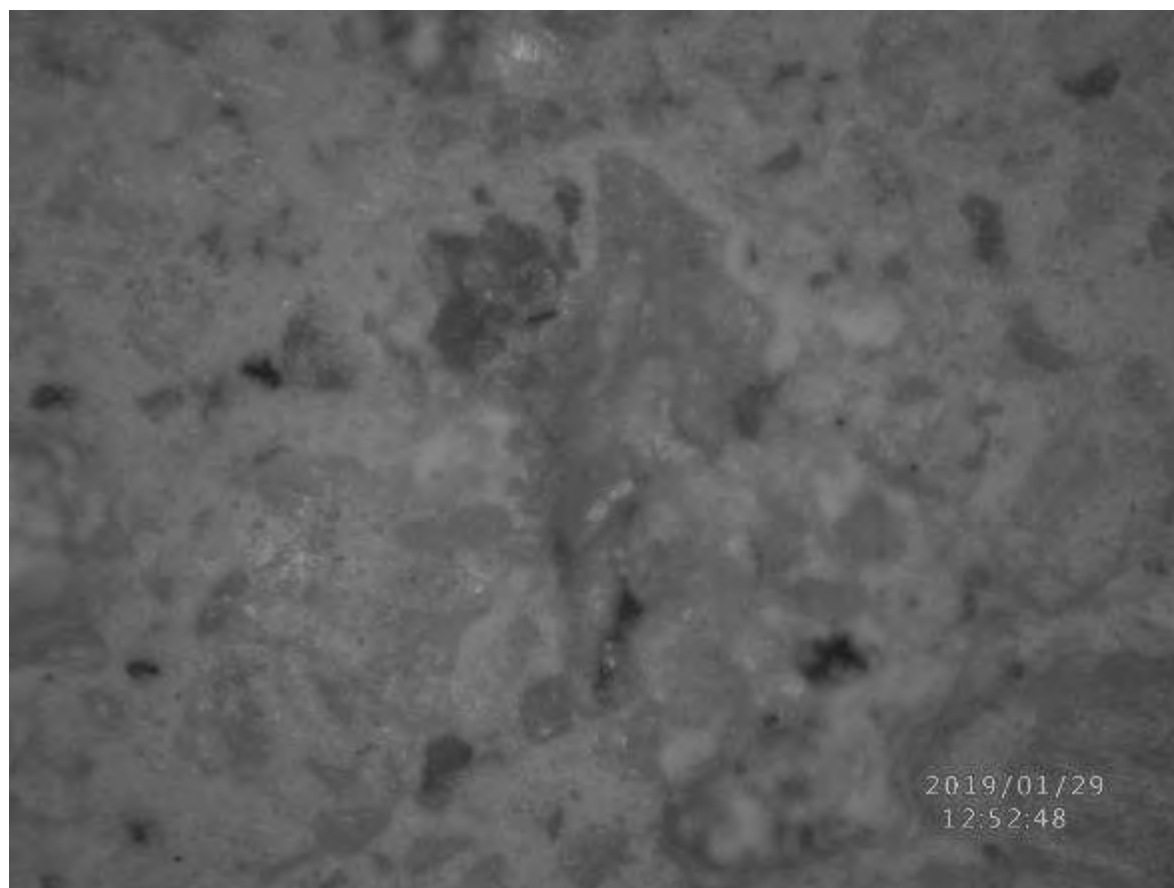
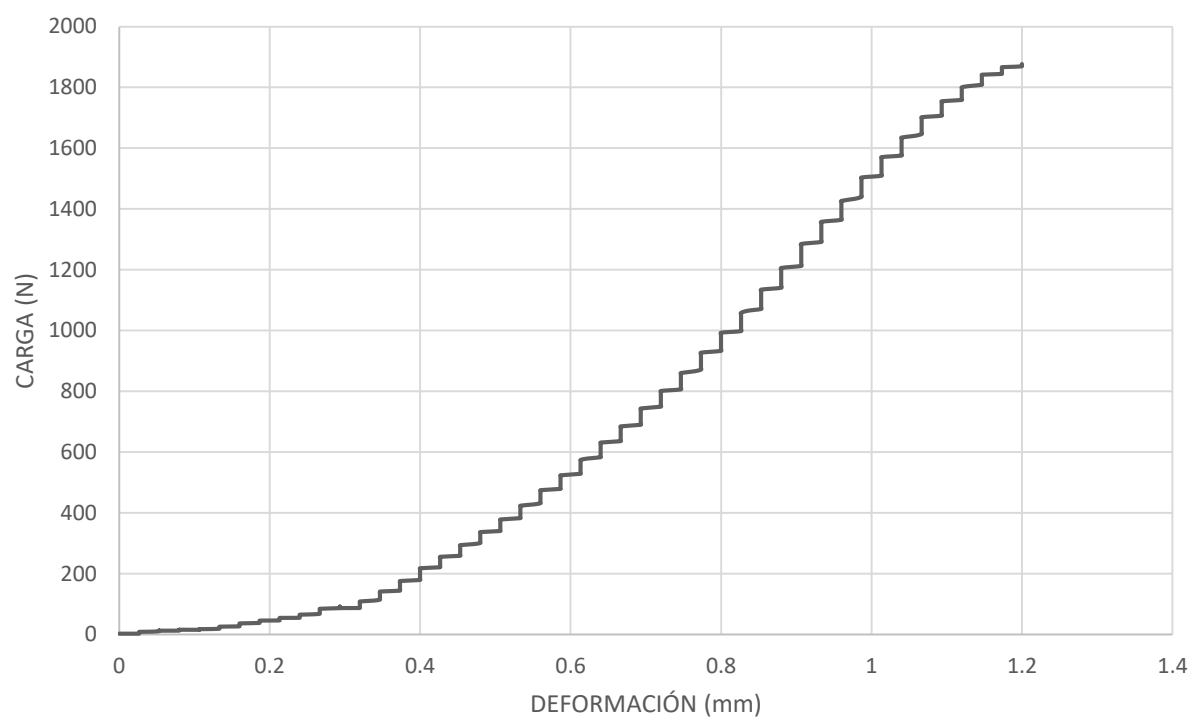


Figura. 4. 654. Microscopia de la C-161218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

CARGA-DEFORMACIÓN



Gráficas 4. 51. Curva Carga-Deformación de la C-161218, en N-mm. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 655. Fotografía de la C-161218, en la prensa. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 656. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-161218. Fuente: (autoría propia).

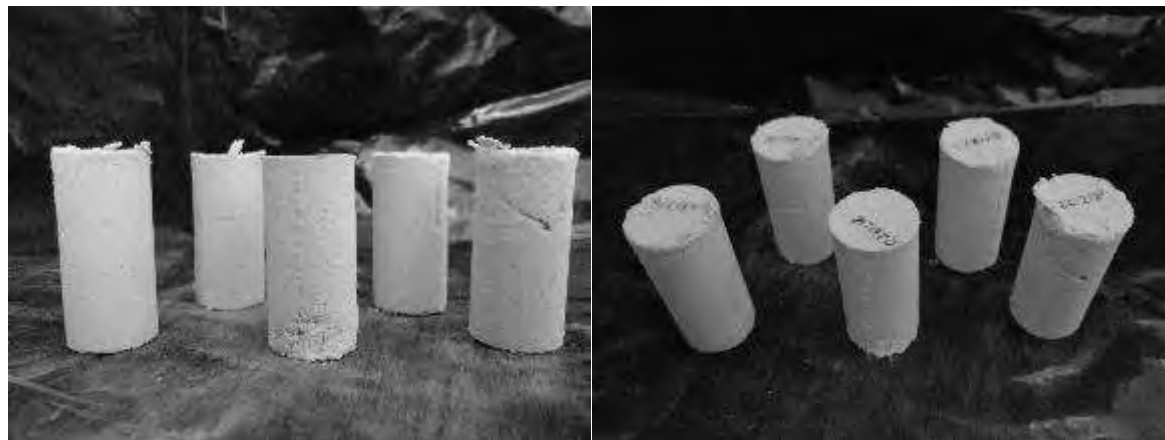


Figura. 4. 657. Fotografías de la corrida C-261118. Fuente: (Autoría propia).

De composición 100% CAL ESTANDAR, 275% MARMOLINA Tipo 2, 5% METACAOLIN, 5% SULFATO DE SODIO, 20% HARINA DE ARRÓZ y A/C= 1.2:1 (calentada hasta el punto de ebullición y agregada a la mezcla, previamente integrados todos los materiales), de dimensiones iguales a un diámetro de 23.4mm y longitud de 44.7mm, que presenta una dureza moderada al ser pulido, con desprendimiento mayormente en la parte inversa de la probeta. (Autoría propia).

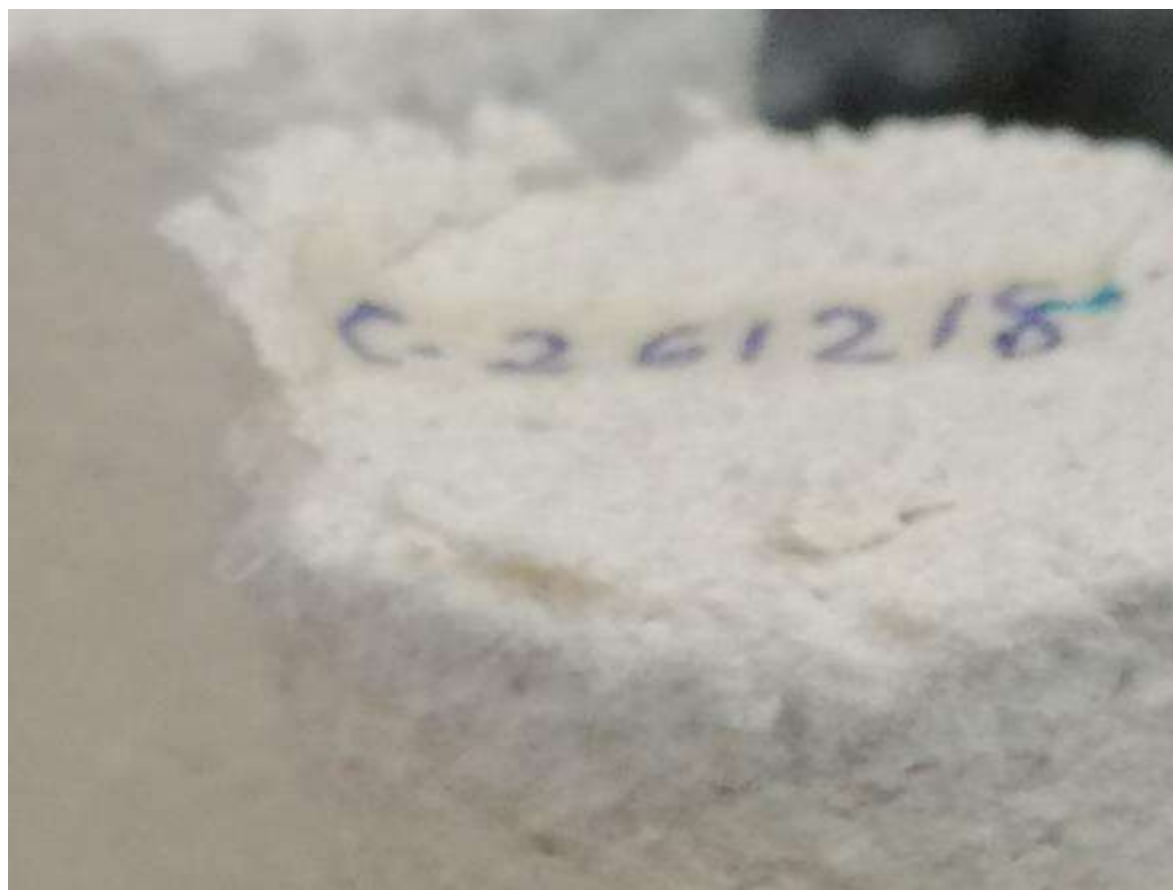


Figura. 4. 658. Imágenes de la corrida C-261218, con presencia de eflorescencias en su parte externa. (autoría propia).

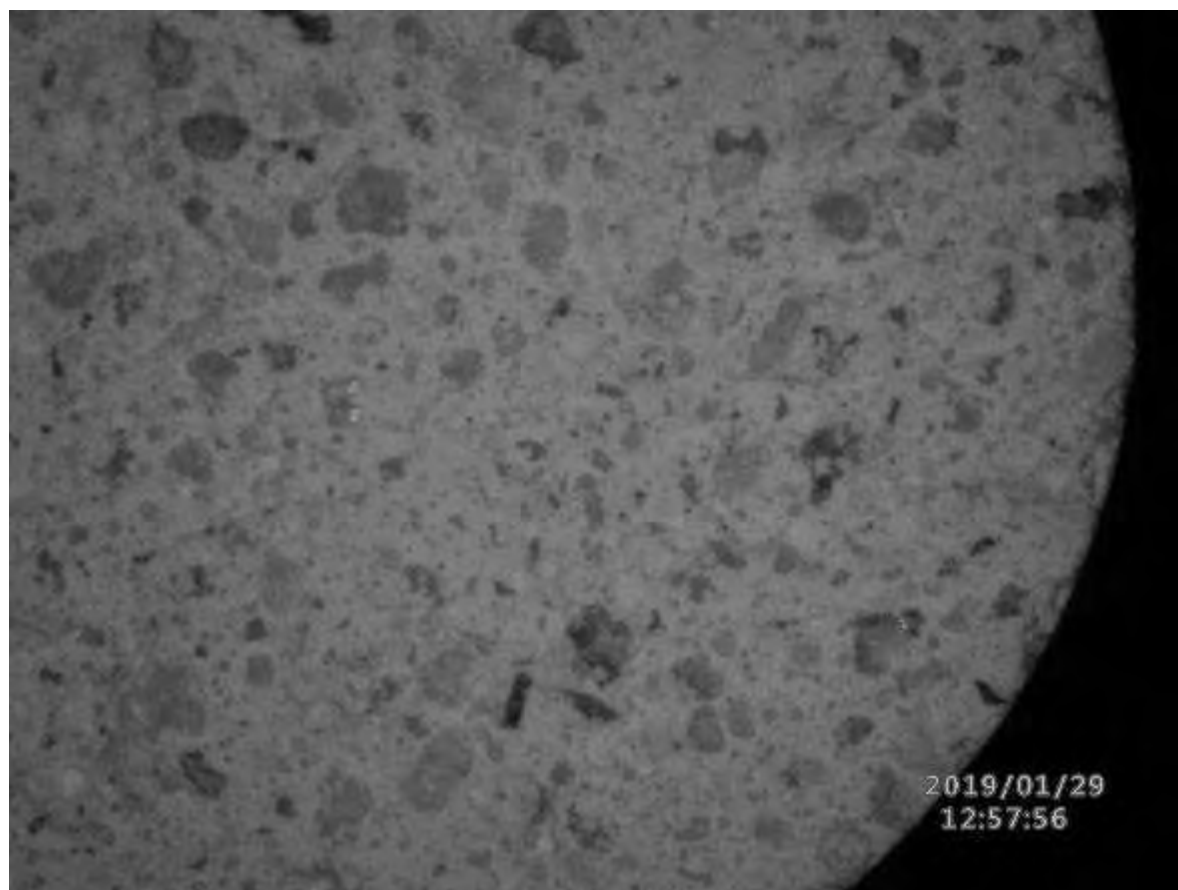


Figura. 4. 659. Microscopia de la C-261218. Fuente: Autoría propia.

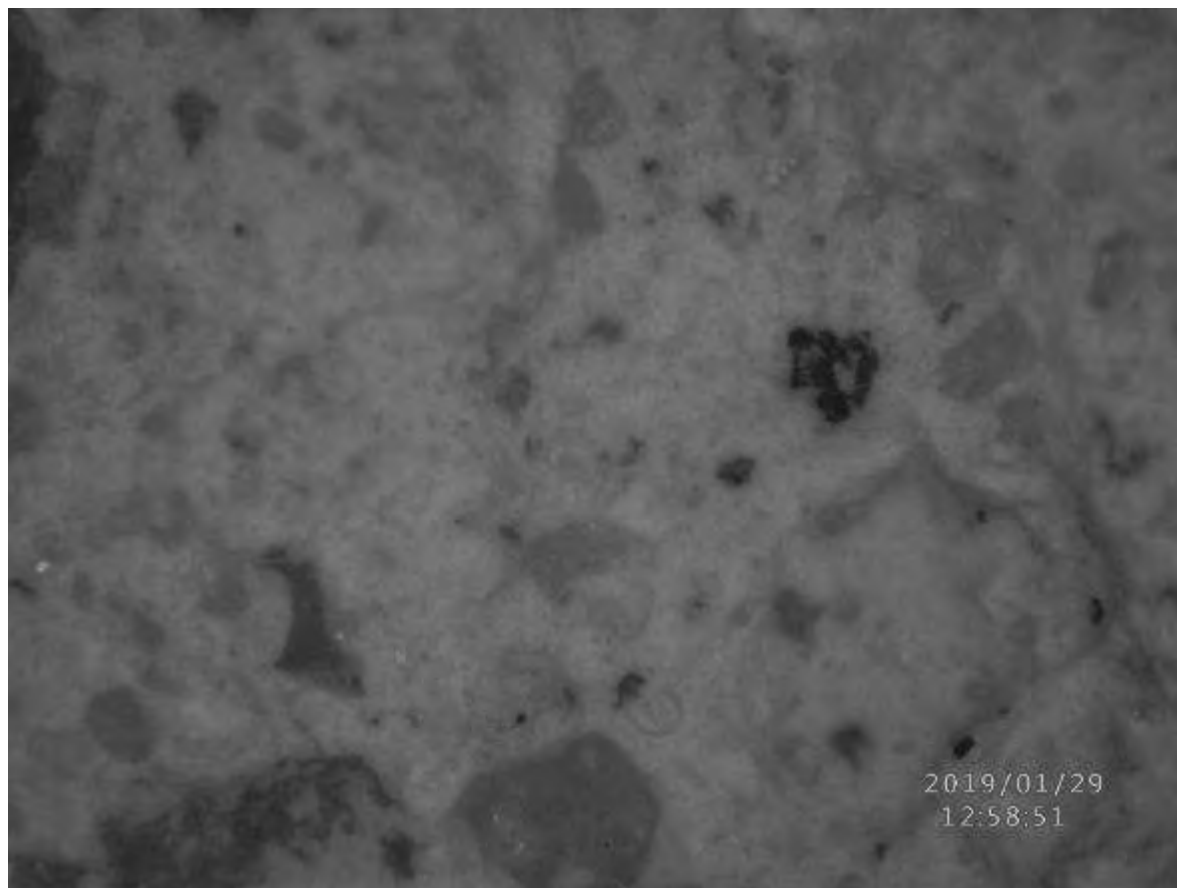


Figura. 4. 660. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-261218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

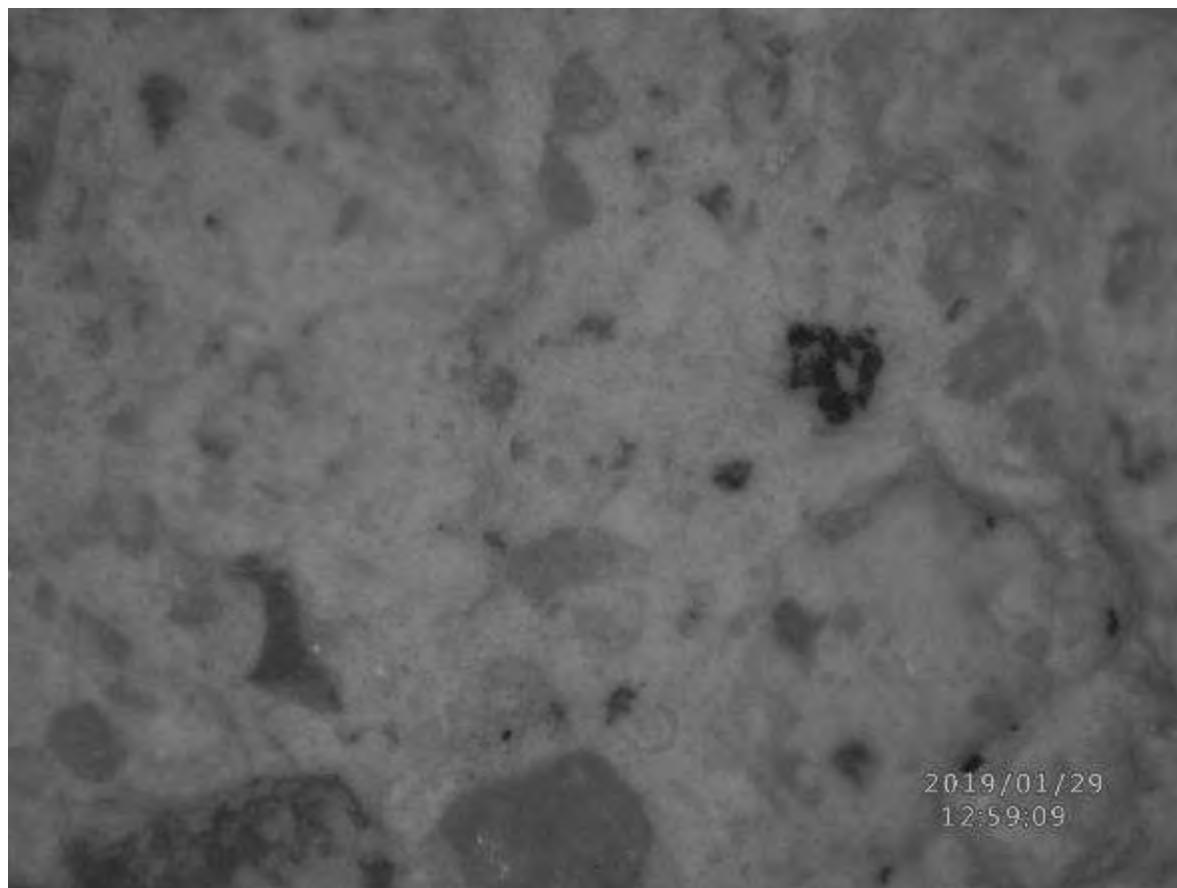


Figura. 4. 661. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-261218, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

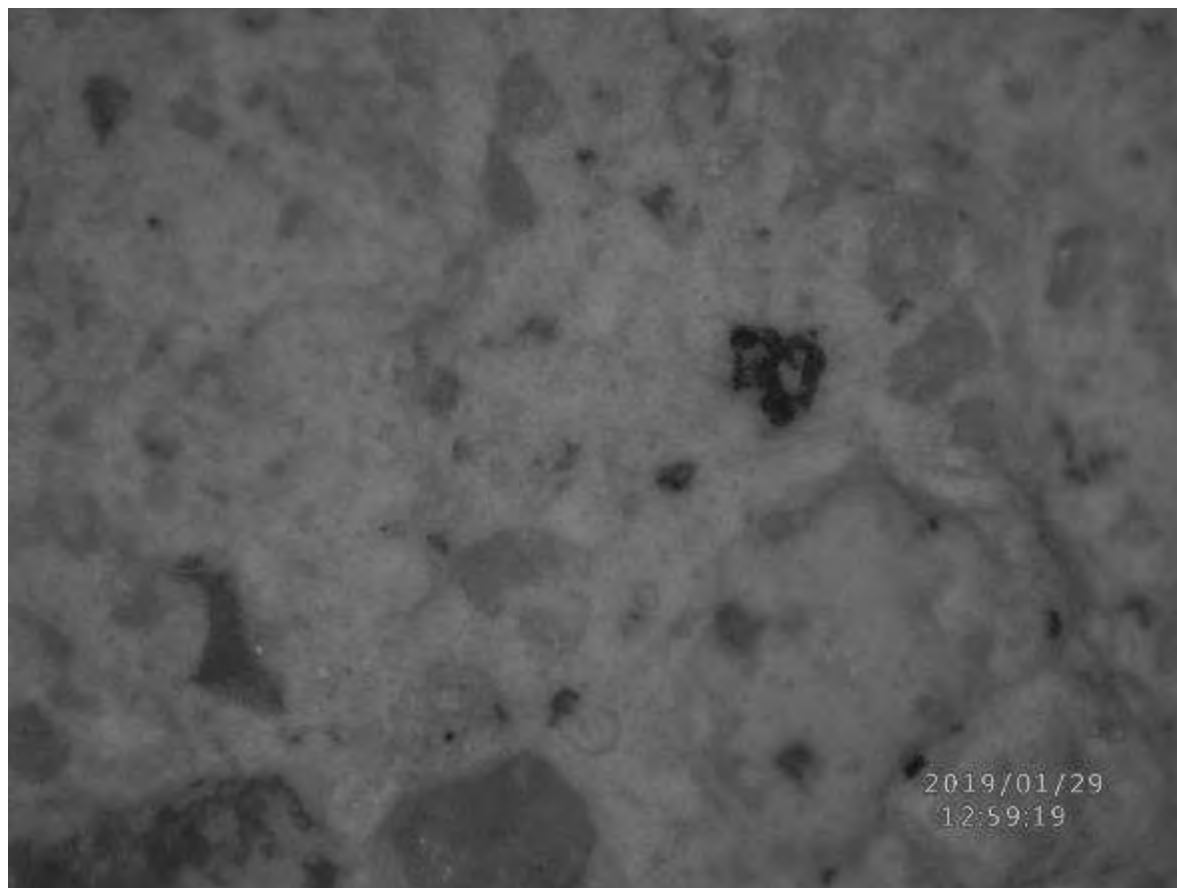


Figura. 4. 662. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-261218, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

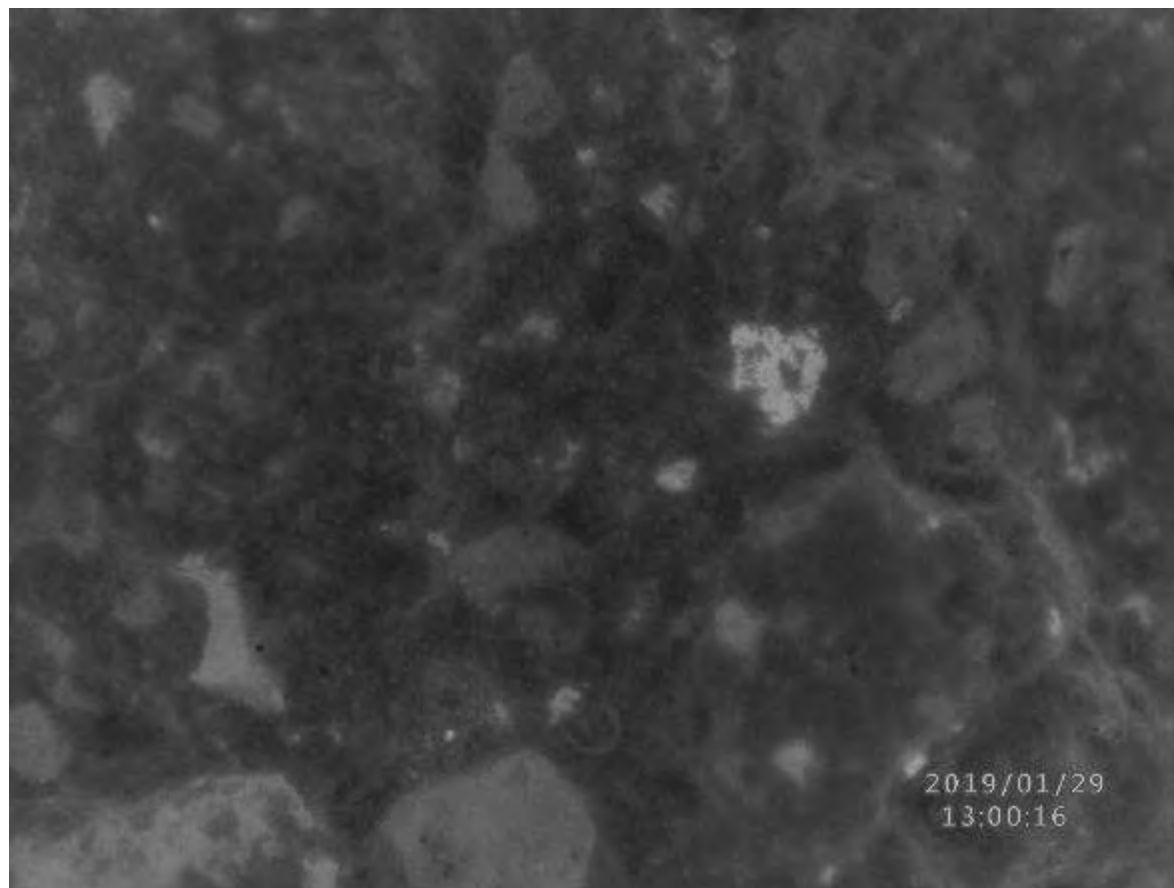


Figura. 4. 663. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-261218, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

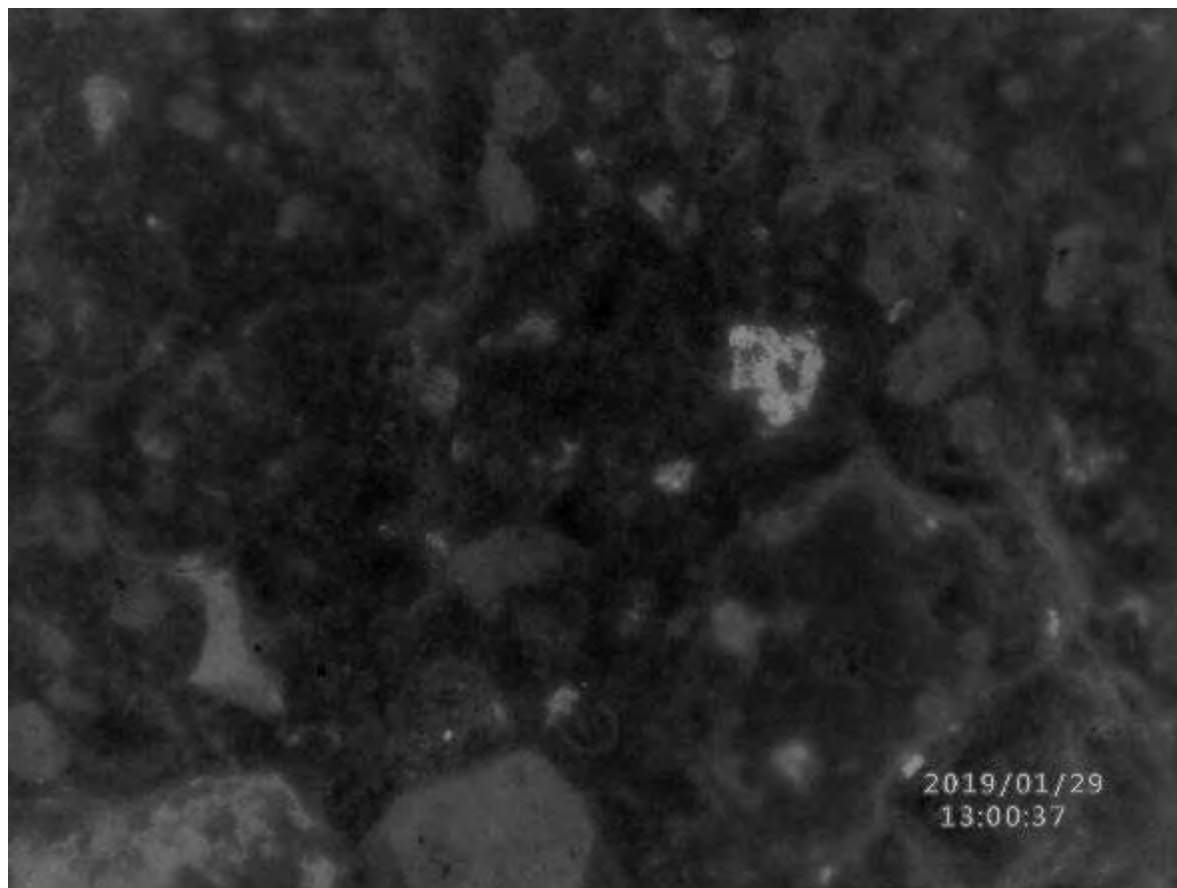
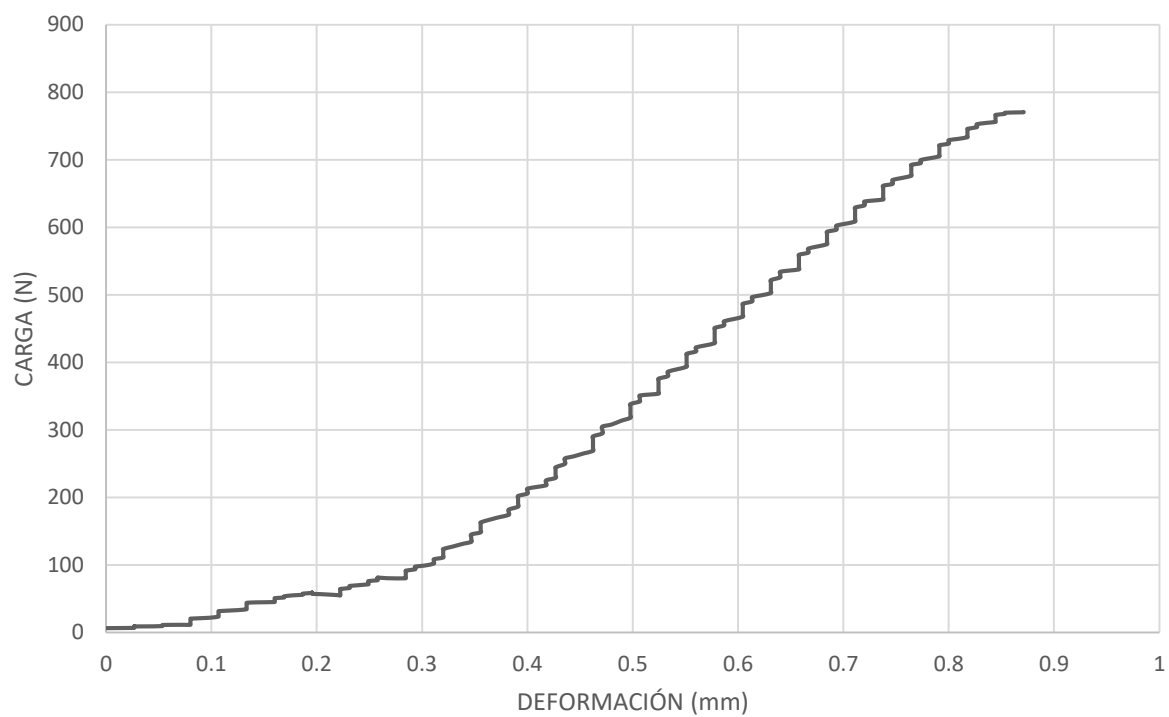


Figura. 4. 664. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-261218, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

CARGA-DEFORMACIÓN



Gráficas 4. 52. Curva Carga-Deformación de la C-261218, en N-mm. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 665. Fotografía de la C-261218, en la prensa. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 666. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-261218. Fuente: (autoría propia).

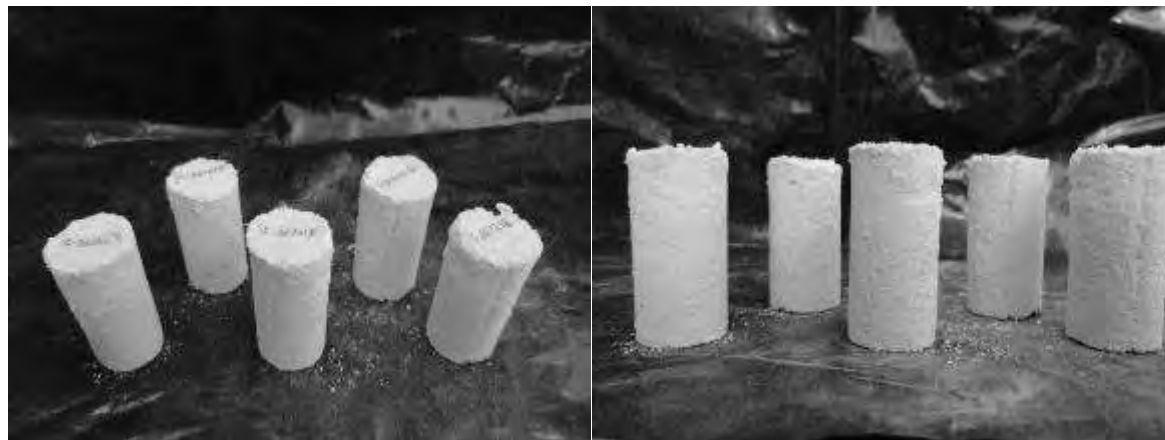


Figura. 4. 667. Fotografías de la corrida C-361218. Fuente: (Autoría propia).

De composición 100% CAL ESTANDAR, 275% MARMOLINA Tipo 2, 5% METACAOLIN, 10% SULFATO DE SODIO, 20% HARINA DE ARRÓZ y A/C= 1.2:1 (calentada hasta el punto de ebullición y agregada a la mezcla, previamente integrados todos los materiales), de dimensiones iguales a un diámetro de 23.7mm y longitud de 45.2mm, que presenta una dureza MODERADA al ser pulido, con desprendimiento mayormente en la parte inversa de la probeta.



Figura. 4. 668. Imágenes de la corrida C-361218, con presencia de eflorescencias en su parte externa. (autoría propia).

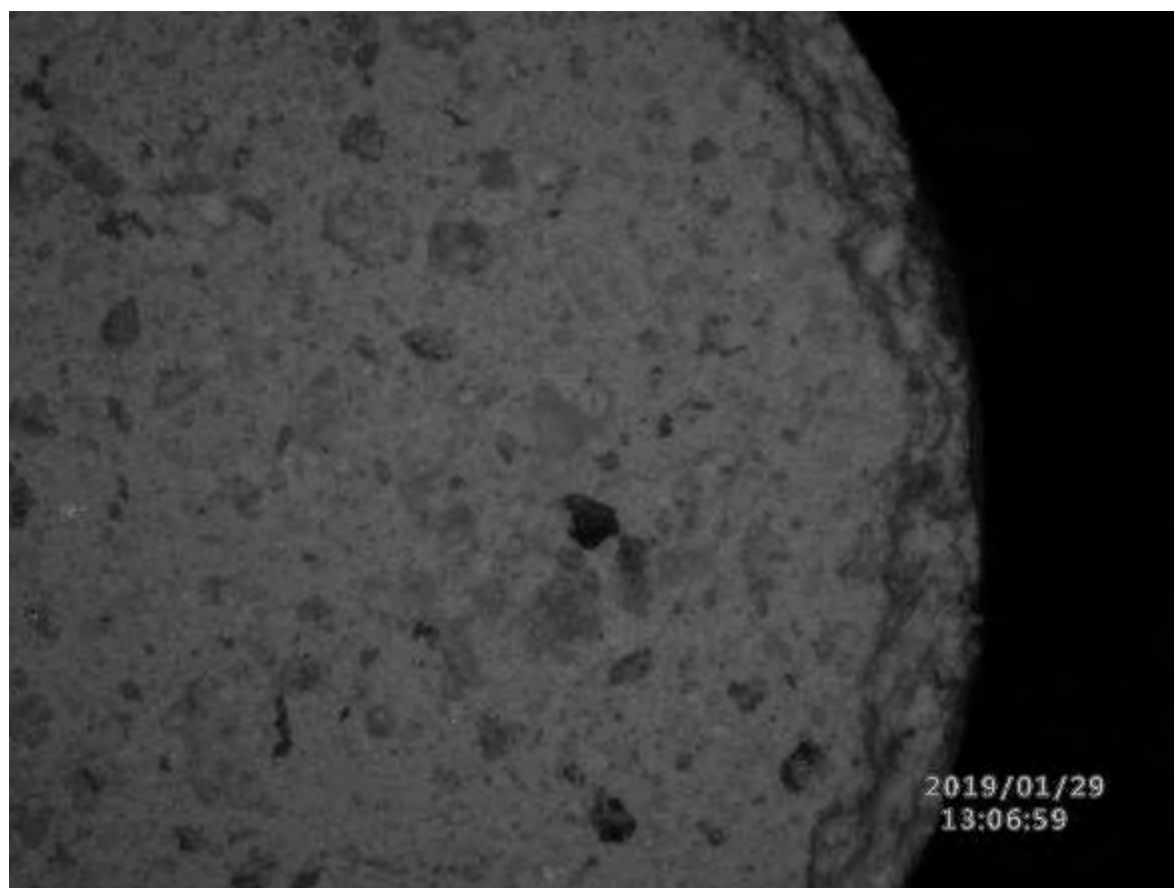


Figura. 4. 669. Microscopia de la C-361218. Fuente: Autoría propia.

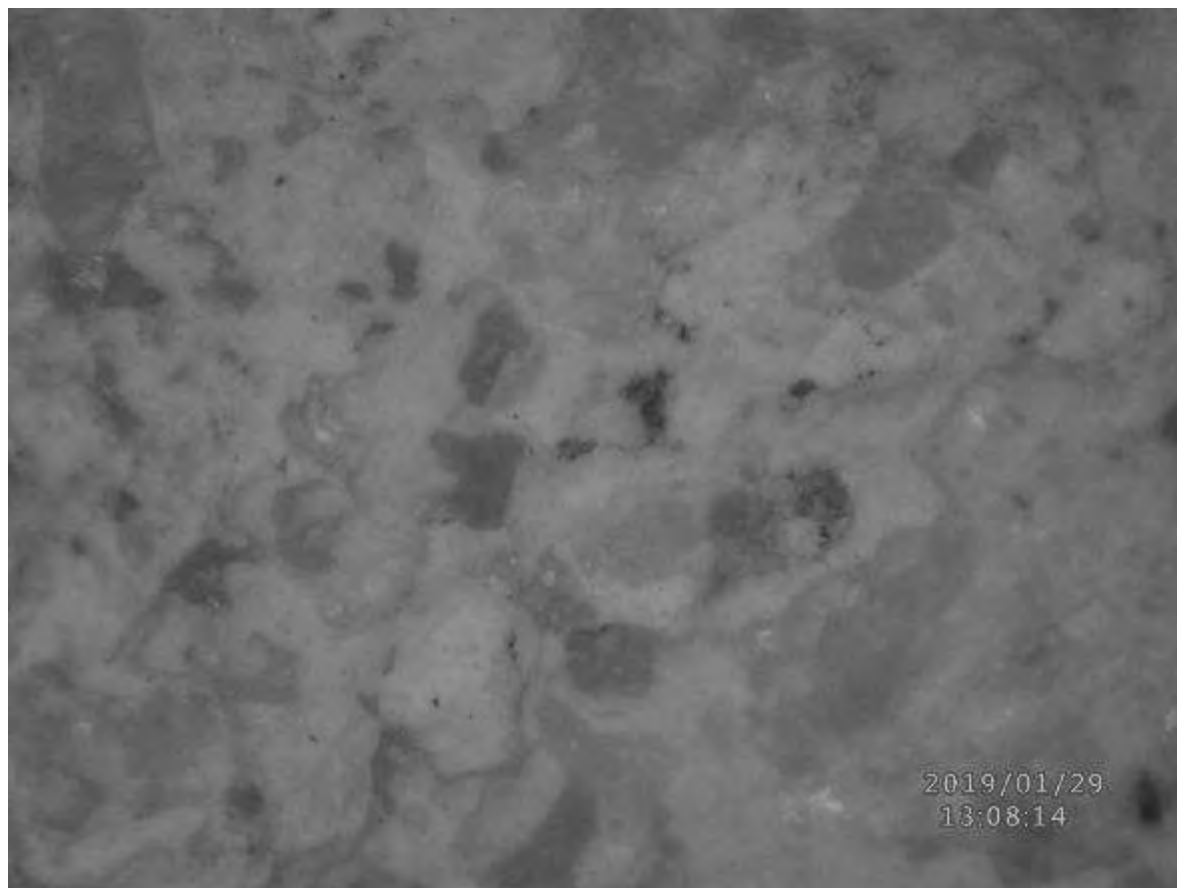


Figura. 4. 670. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-361218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

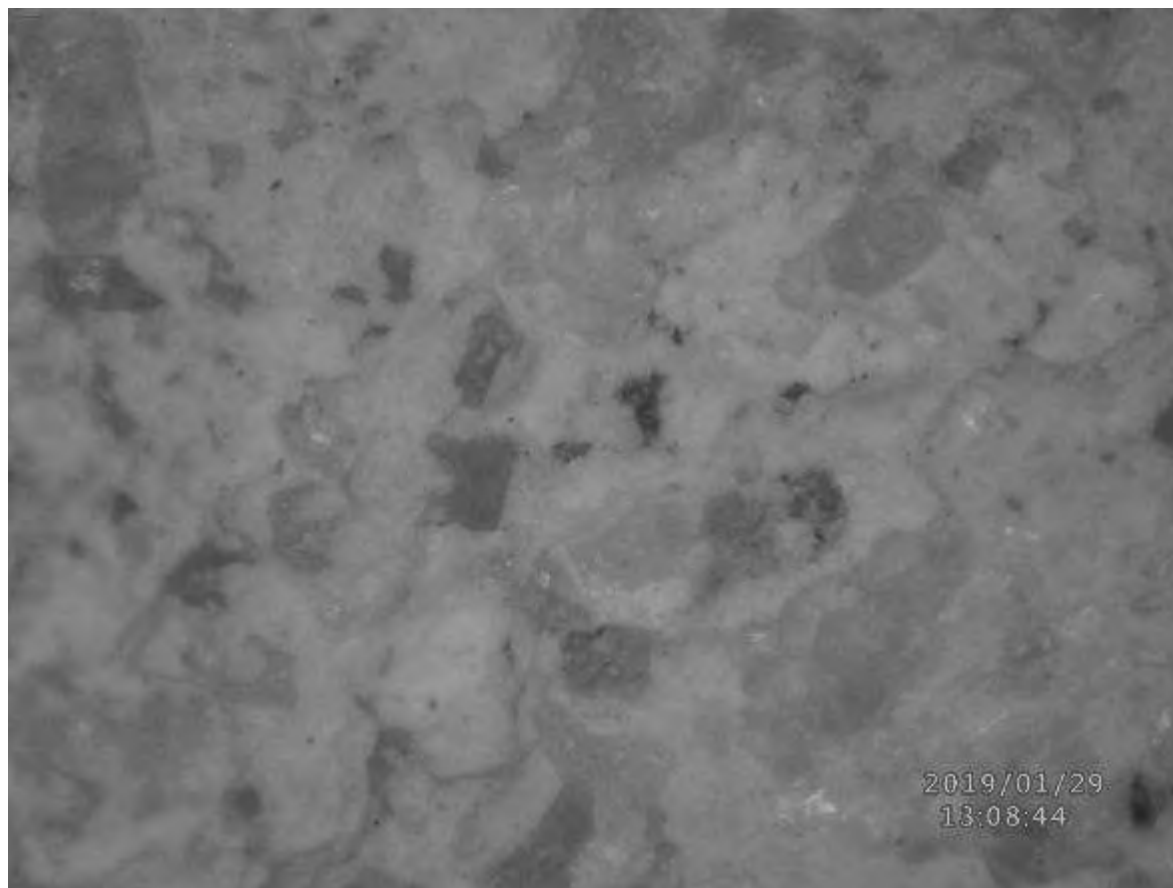


Figura. 4. 671. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-361218, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

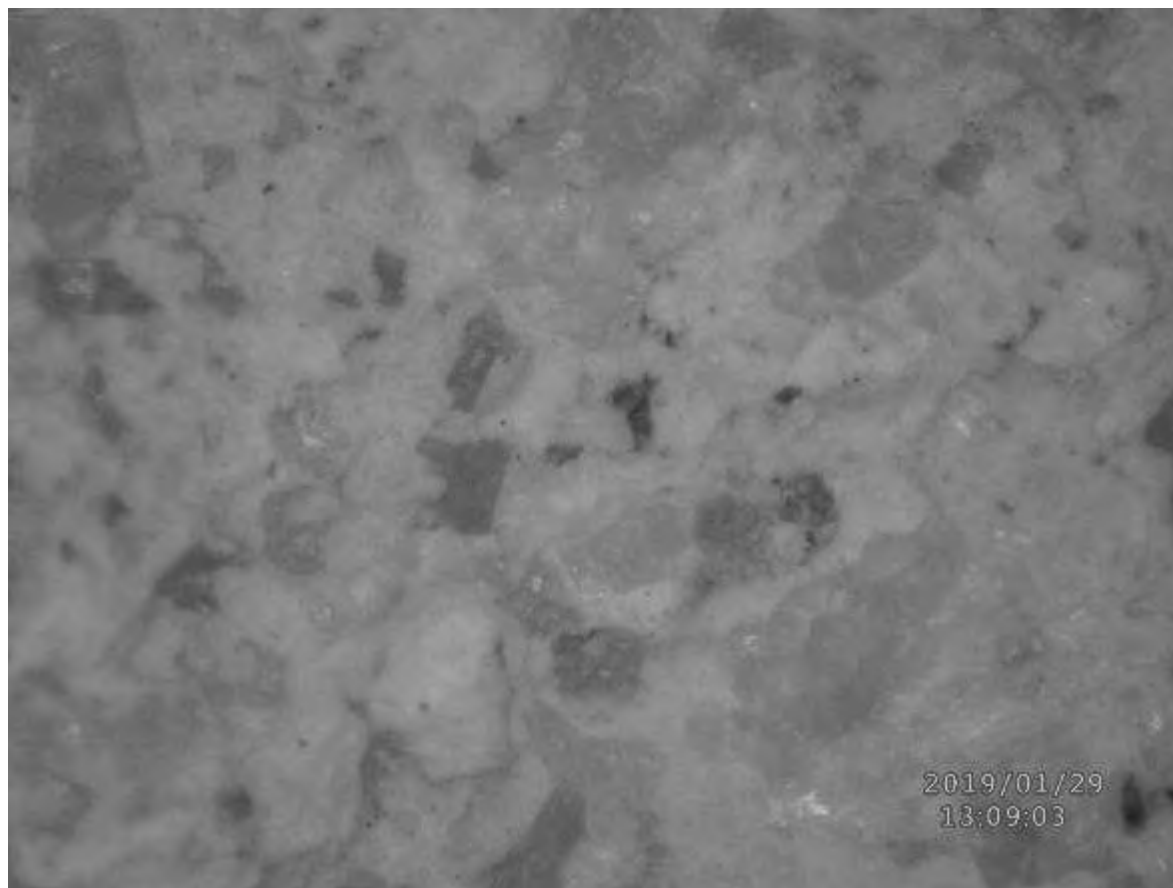


Figura. 4. 672. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-361218, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

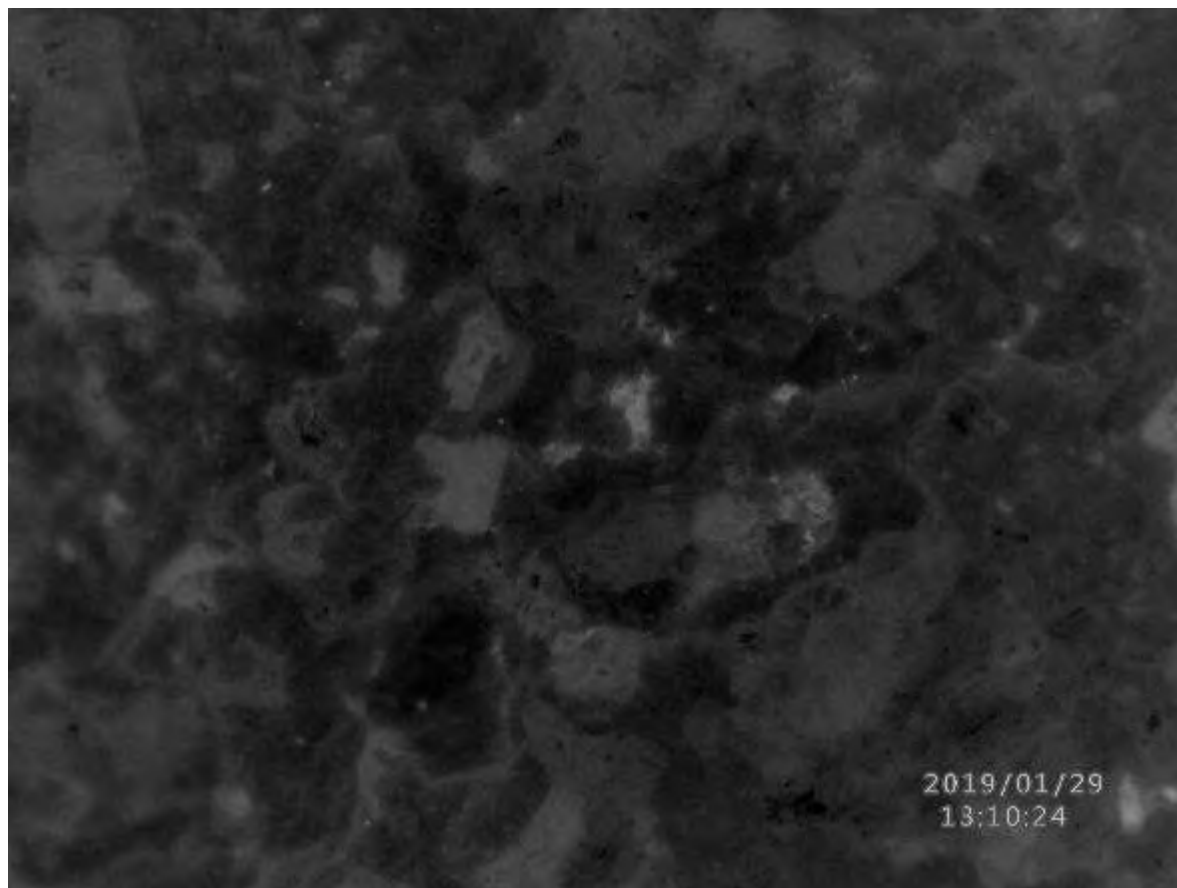


Figura. 4. 673. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-361218, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

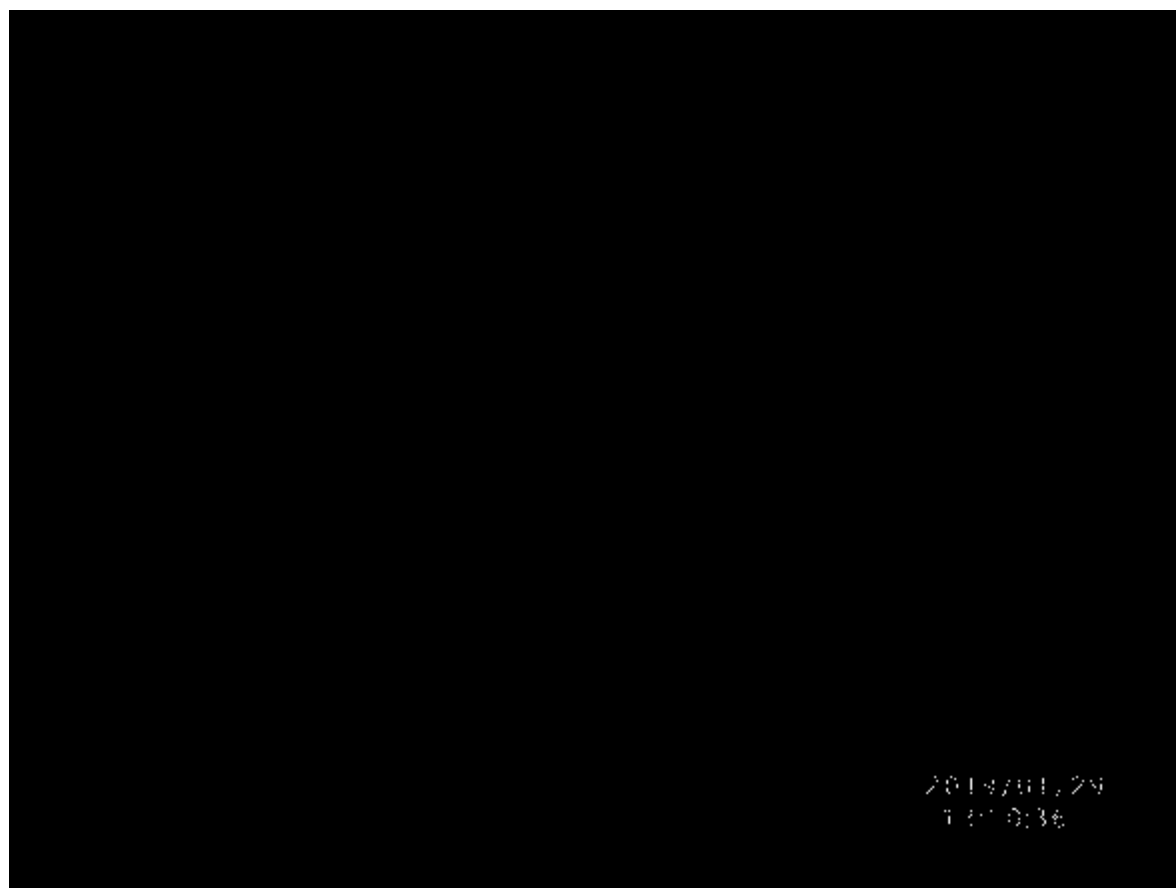


Figura. 4. 674. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-361218, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

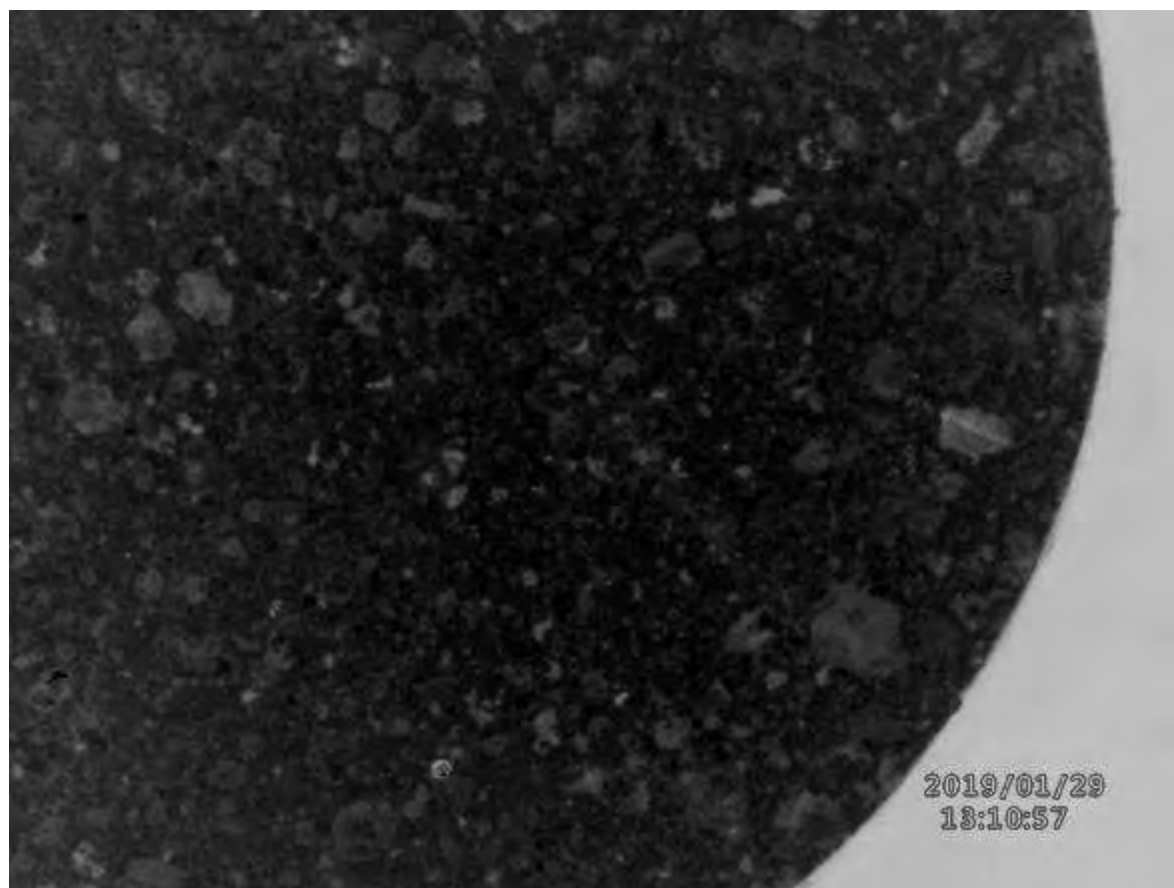


Figura. 4. 675. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-361218, con un filtro negativo bajo una luz normal.
Fuente: (autoría propia).

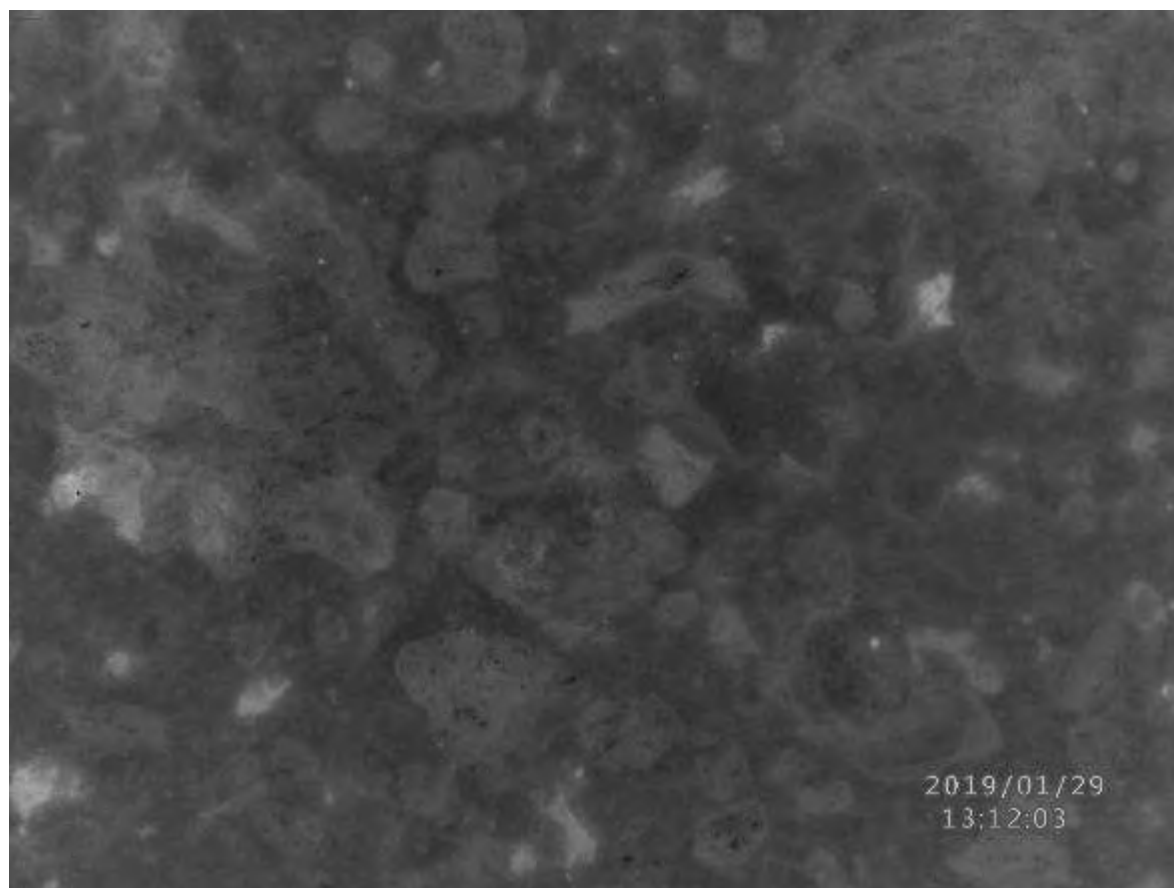


Figura. 4. 676. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-361218, con un filtro negativo bajo una luz normal.
Fuente: (autoría propia).

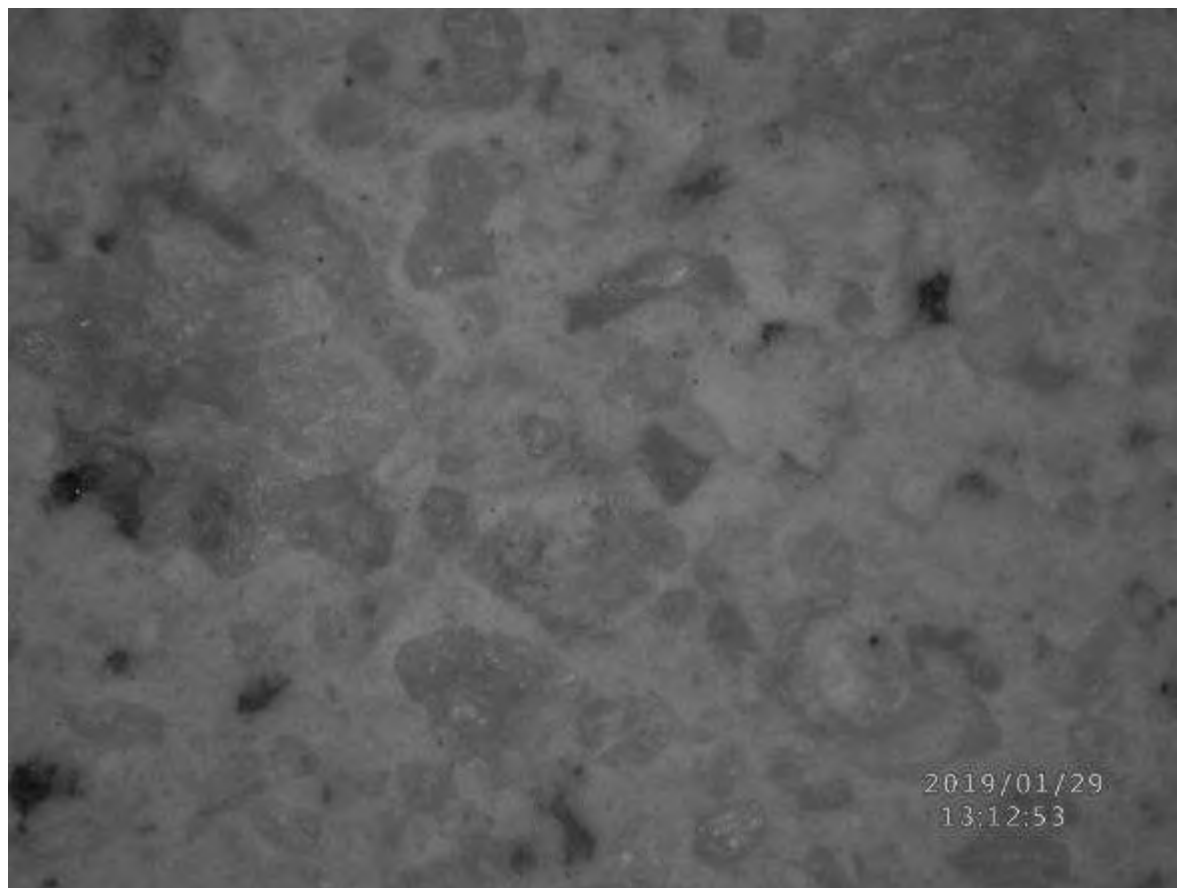
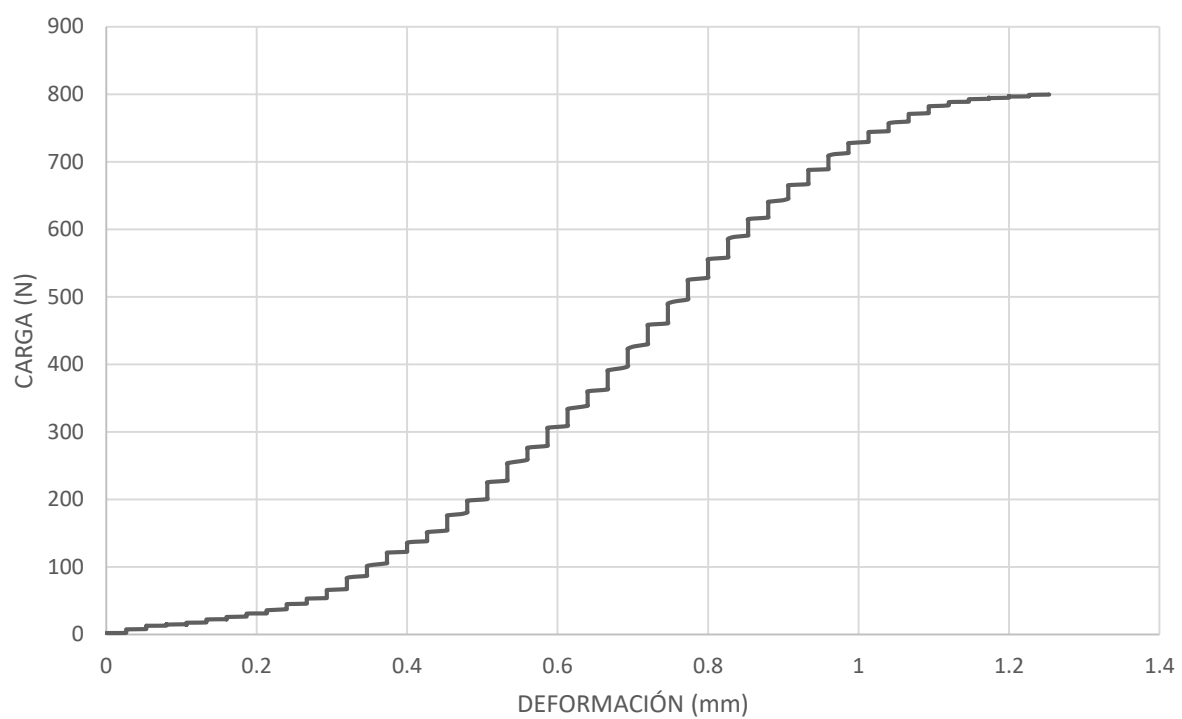


Figura. 4. 677. Microscopia de la C-361218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

CARGA-DEFORMACIÓN



Gráficas 4. 53. Curva Carga-Deformación de la C-361218, en N-mm. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 678. Fotografía de la C-361218, en la prensa. Fuente: (autoría propia).



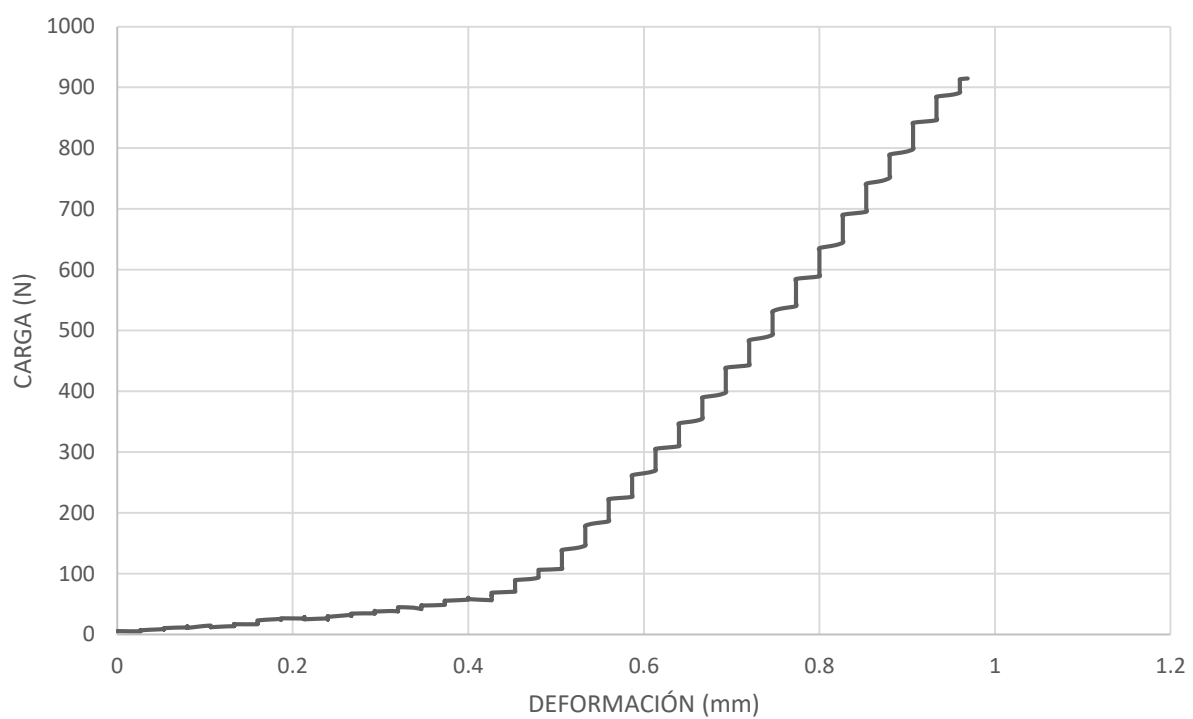
Figura. 4. 679. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-361218. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 680. Fotografías de la corrida C-461218. Fuente: (Autoría propia).

De composición 100% CAL ESTANDAR, 275% MARMOLINA Tipo 2, 10% METACAOLIN, 5% SULFATO DE SODIO, 20% HARINA DE ARRÓZ y A/C= 1:1 (calentada hasta el punto de ebullición y agregada a la mezcla, previamente integrados todos los materiales), de dimensiones iguales a un diámetro de 23.5mm y longitud de 44.8mm, que presenta una POCA dureza al ser pulido, con desprendimiento mayormente en la parte inversa de la probeta, teniendo nula trabajabilidad generando un fraguado relámpago, no se mostrará la producción de la familia de CARBONATO DE CALCIO, debido a que se sigue presentando este fraguado relámpago.

CARGA-DEFORMACIÓN



Gráficas 4. 54. Curva Carga-Deformación de la C-461218, en N-mm. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 681. Fotografías de la corrida C-1101218. Fuente: (Autoría propia).

De composición 100% CAL ESTANDAR, 275% MARMOLINA Tipo 2, 5% CLORURO DE SODIO y A/C= 1:1, de dimensiones iguales a un diámetro de 23.4mm y longitud de 44.5mm, que presenta una dureza POBRE al ser pulido, con desprendimiento mayormente en la parte inversa de la probeta.

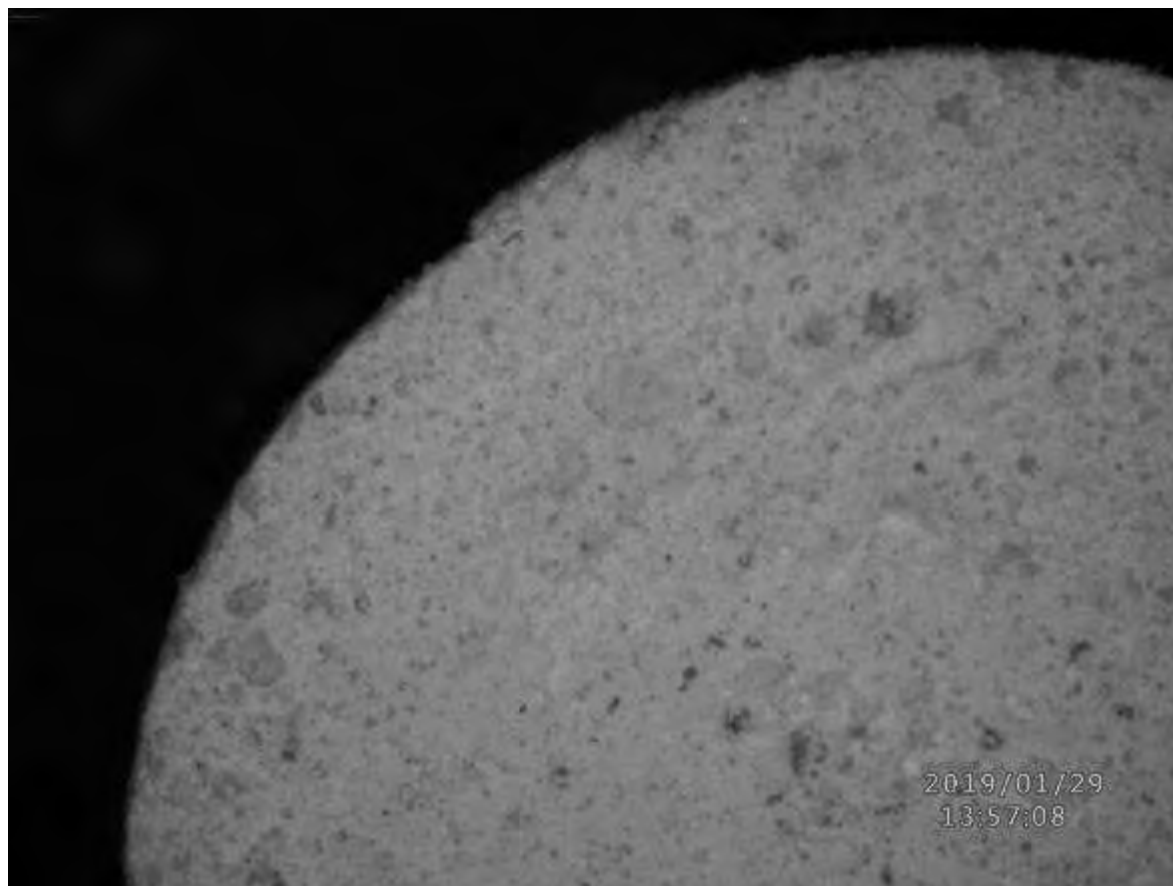


Figura. 4. 682. Microscopia de la C-1101218. Fuente: Autoría propia.

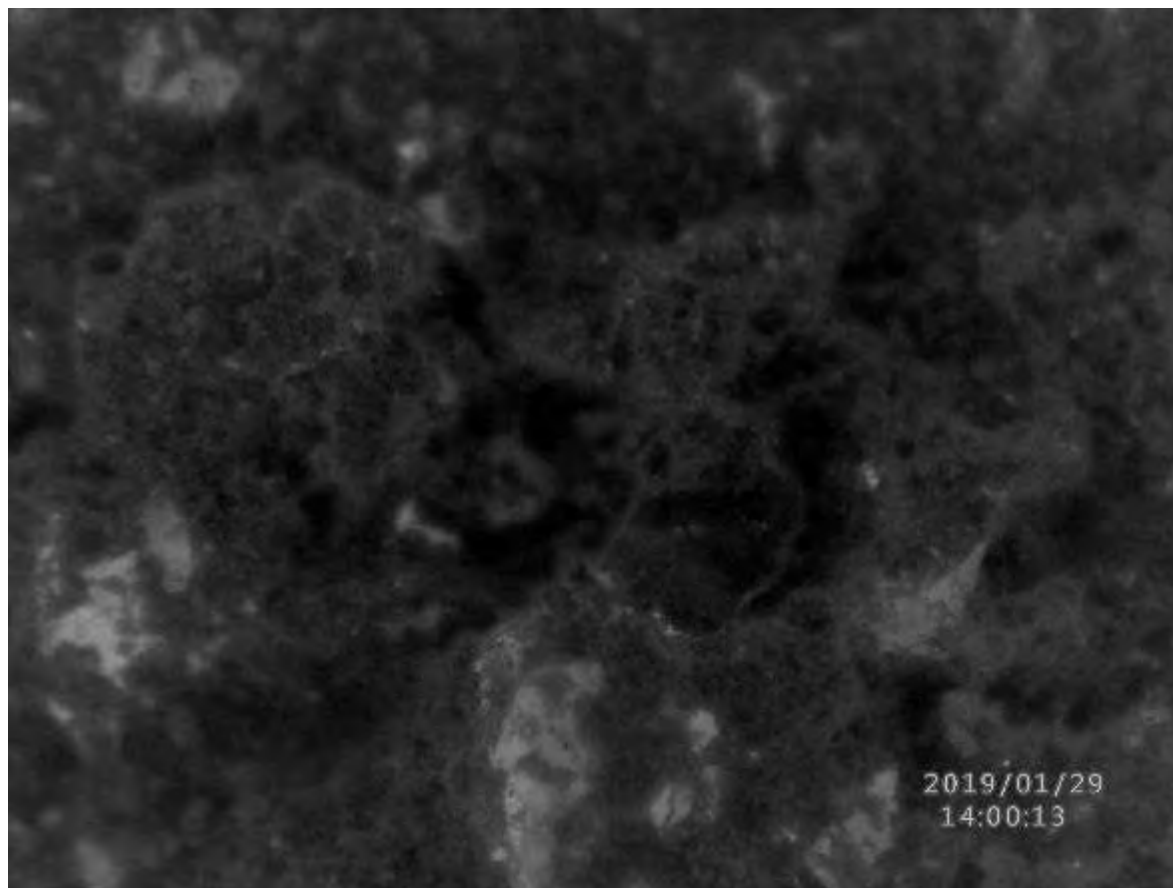


Figura. 4. 683. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1101218, con un filtro negativo bajo una luz normal.
Fuente: (autoría propia).

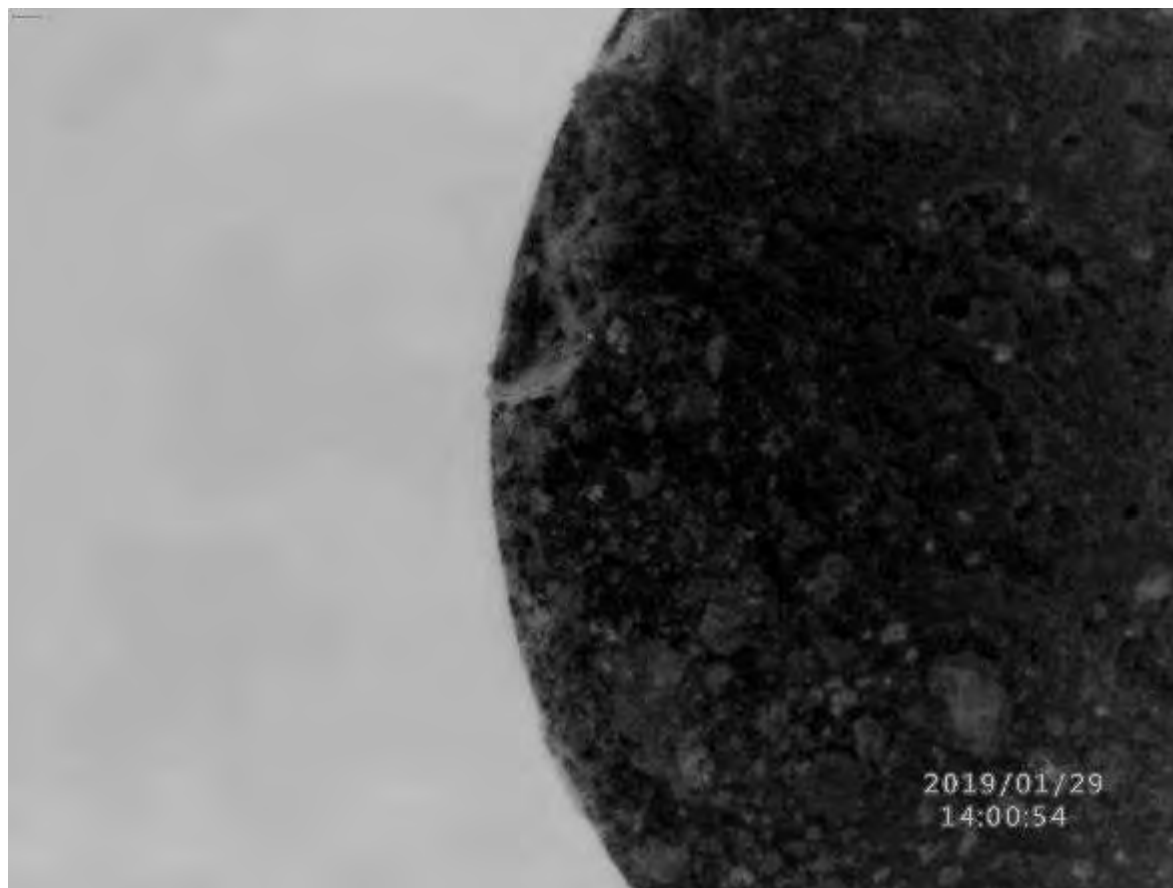


Figura. 4. 684. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1101218, con un filtro negativo bajo una luz normal.
Fuente: (autoría propia).

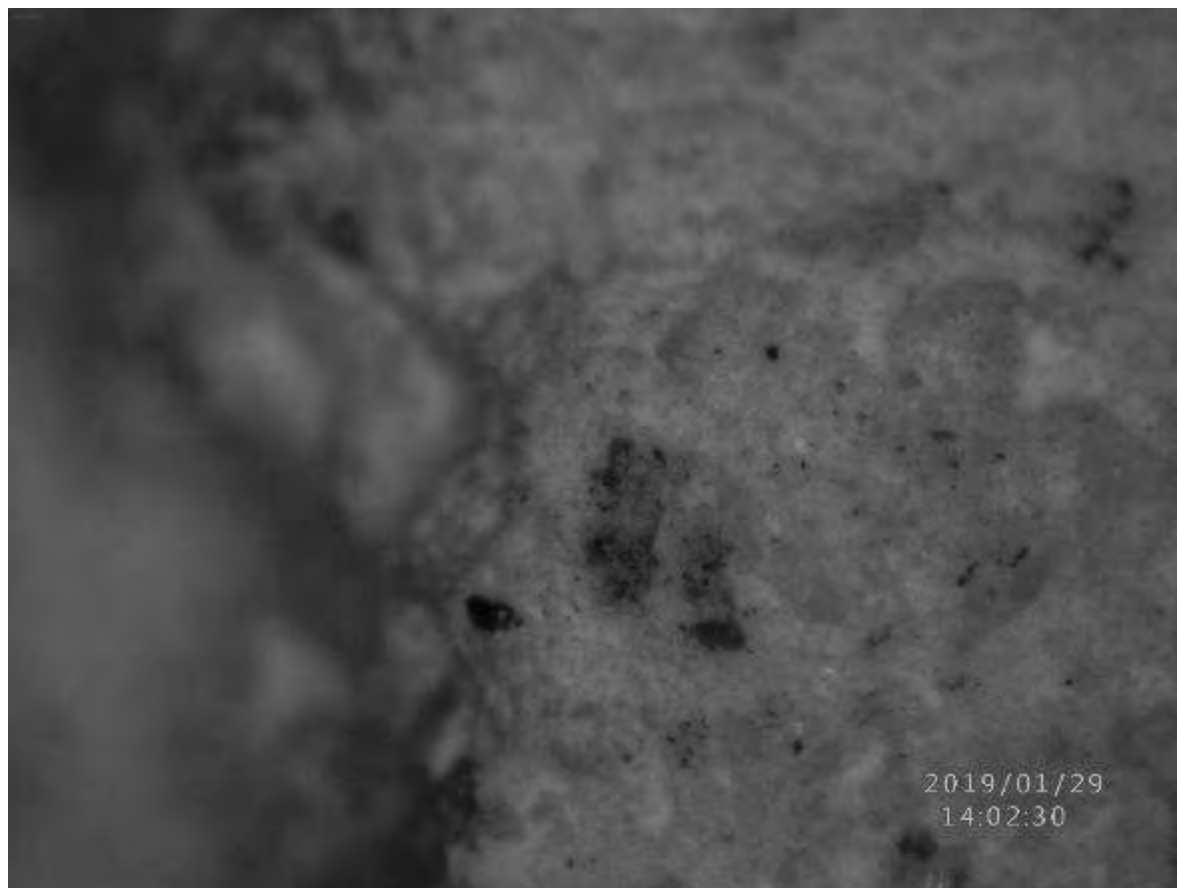


Figura. 4. 685. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1101218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

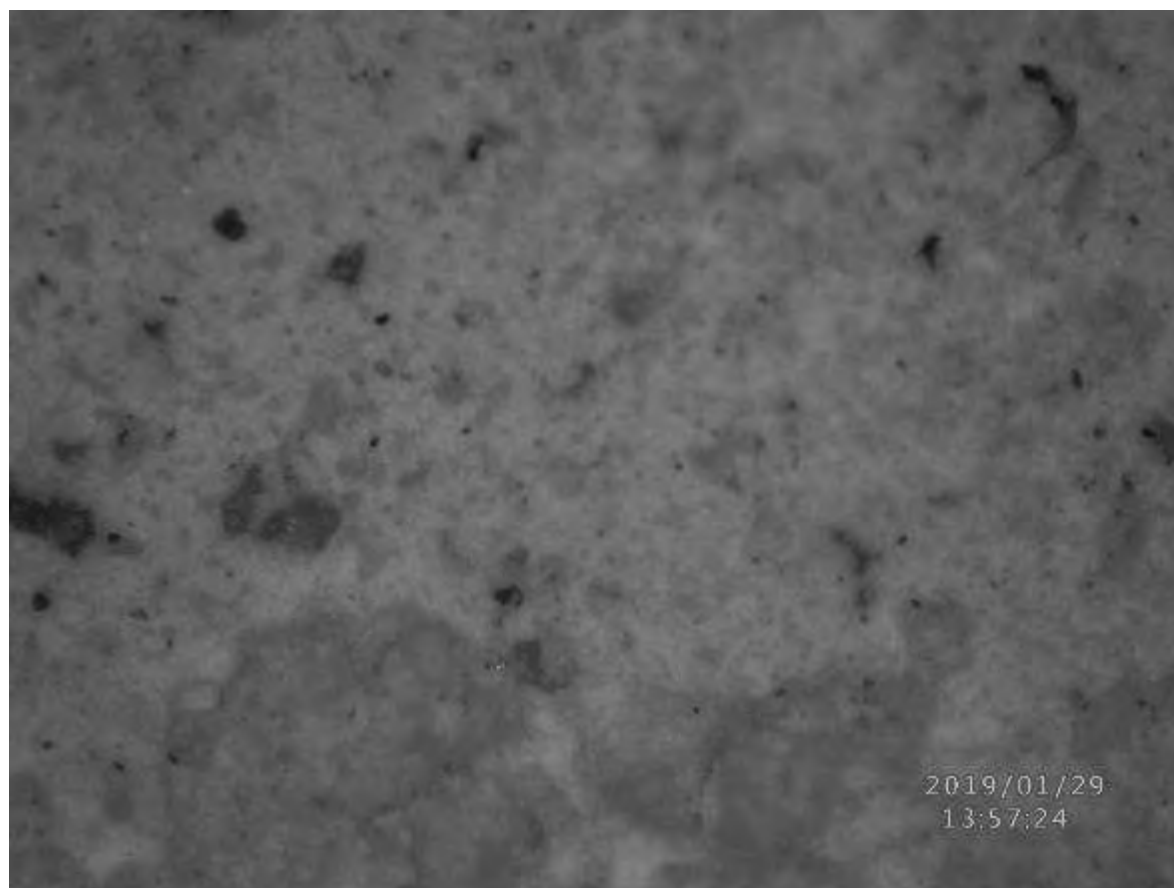


Figura. 4. 686. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1101218, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

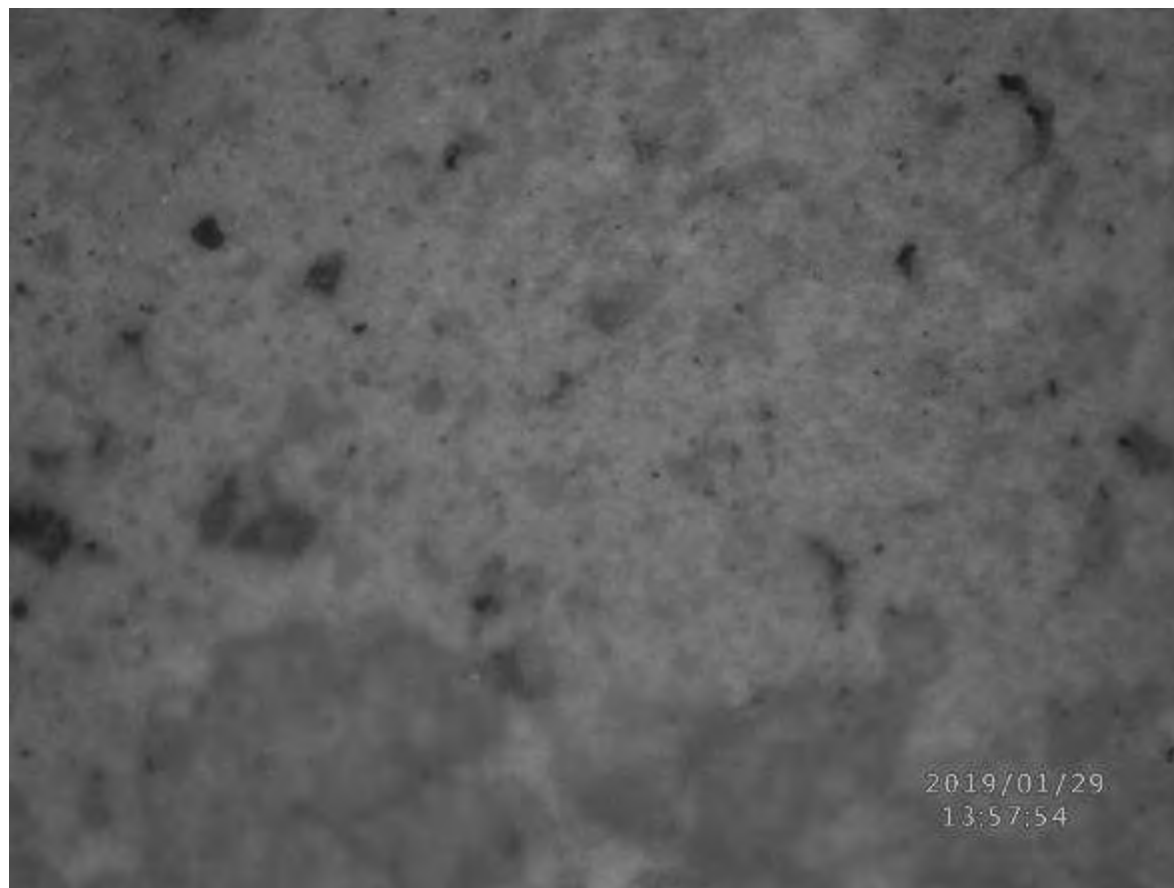


Figura. 4. 687. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1101218, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

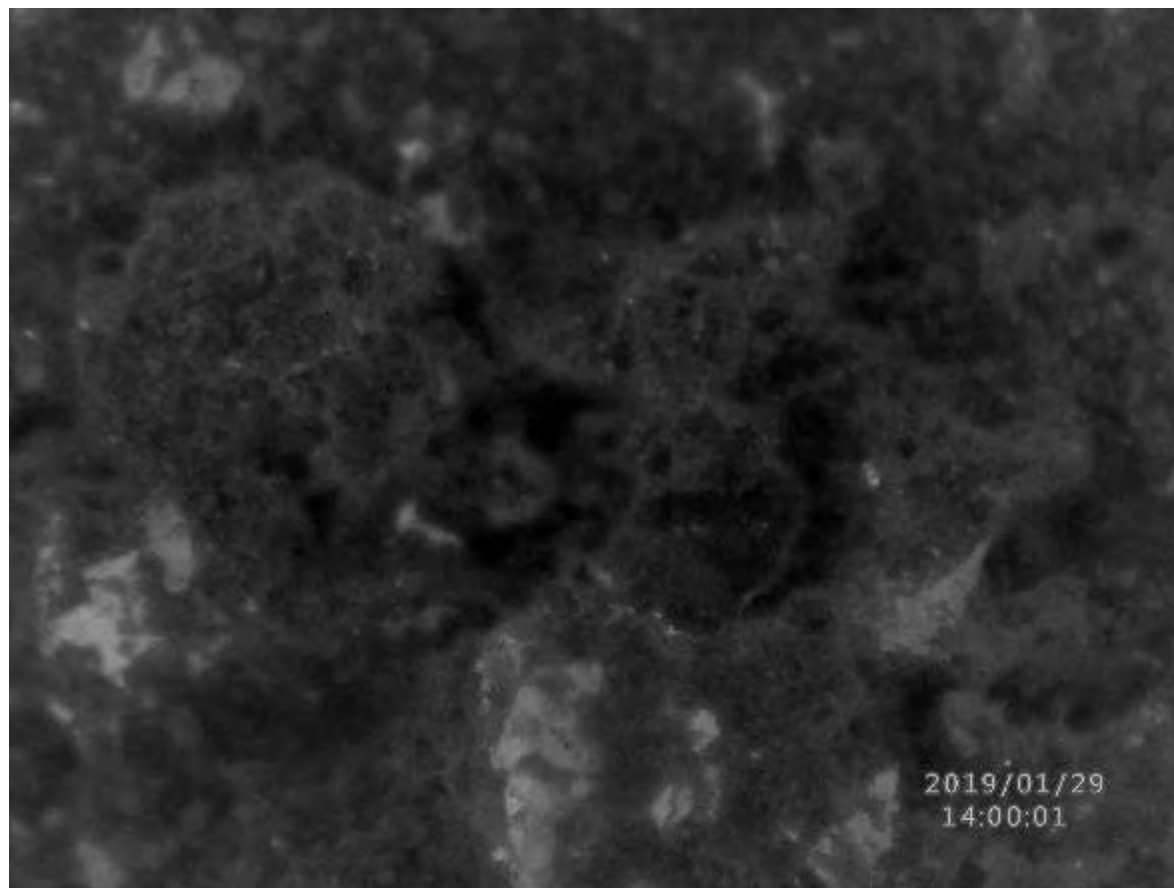


Figura. 4. 688. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1101218, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

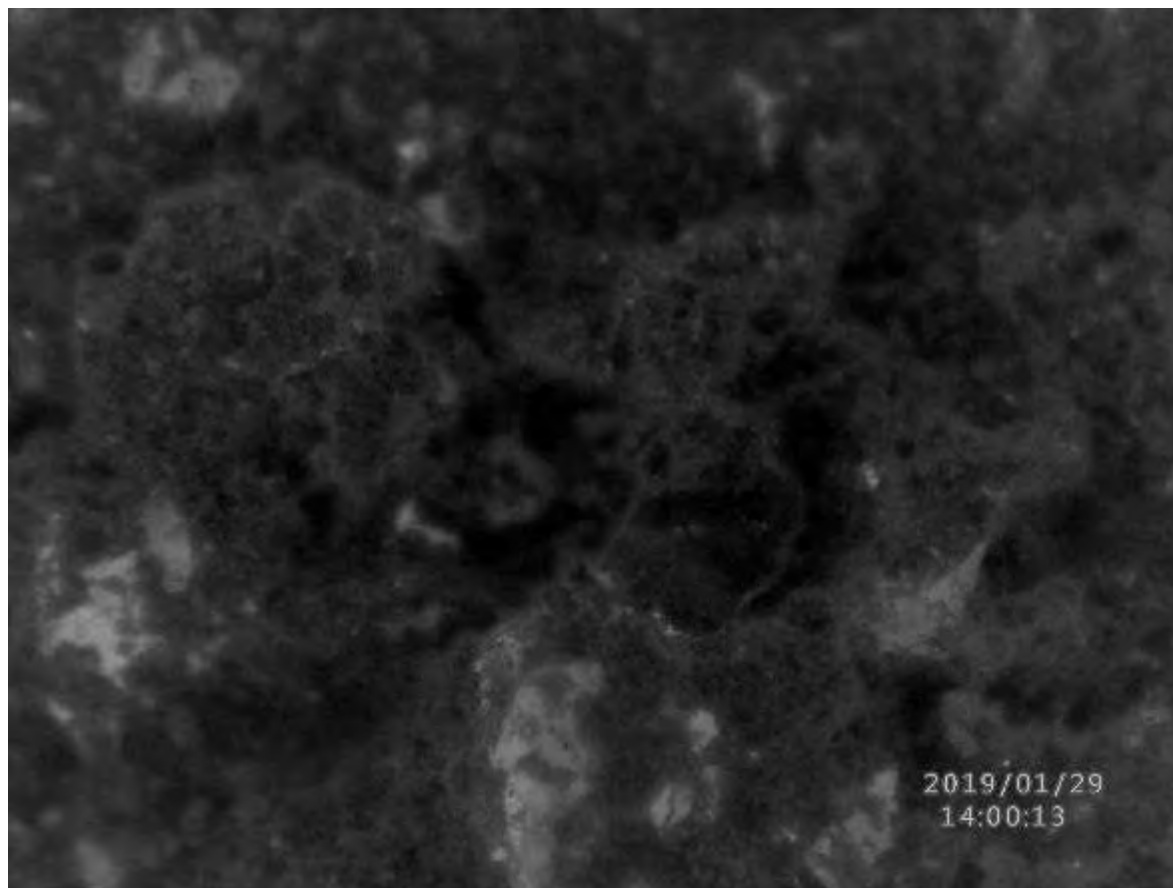


Figura. 4. 689. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1101218, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

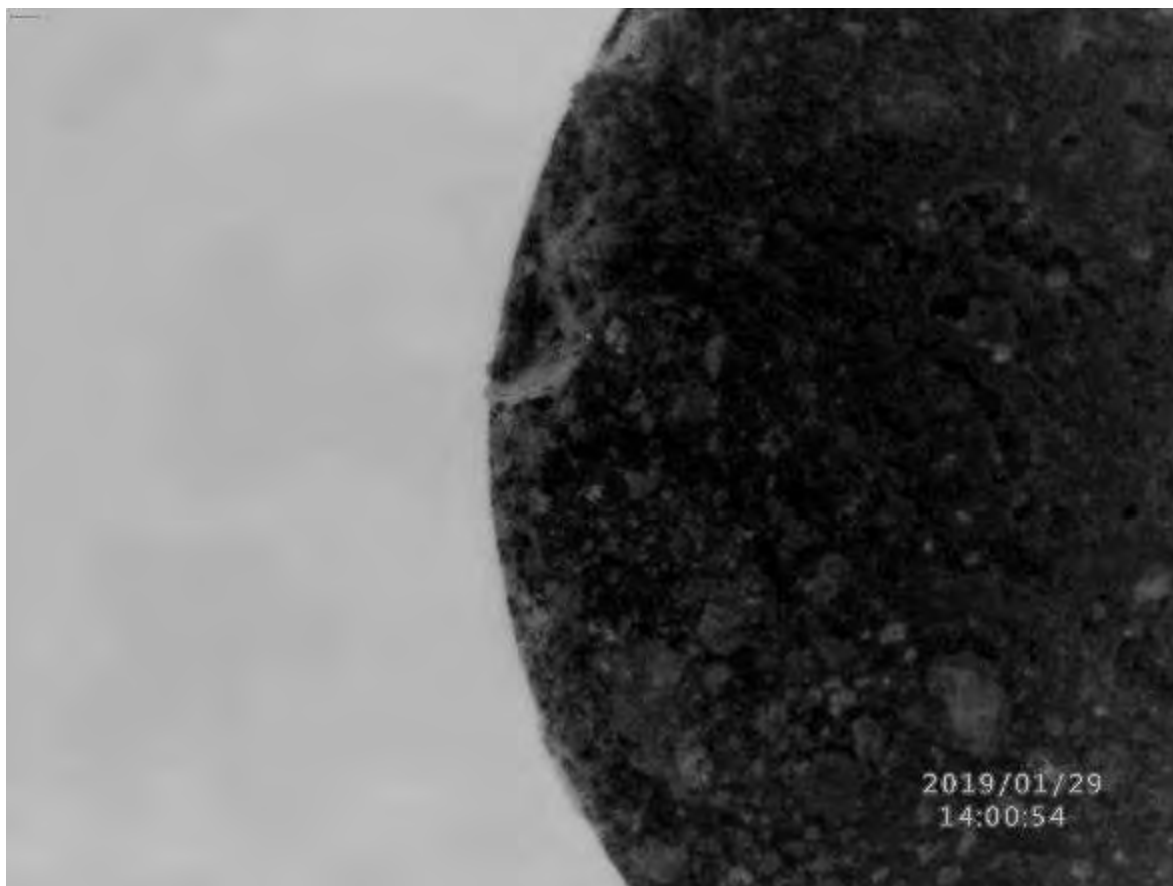
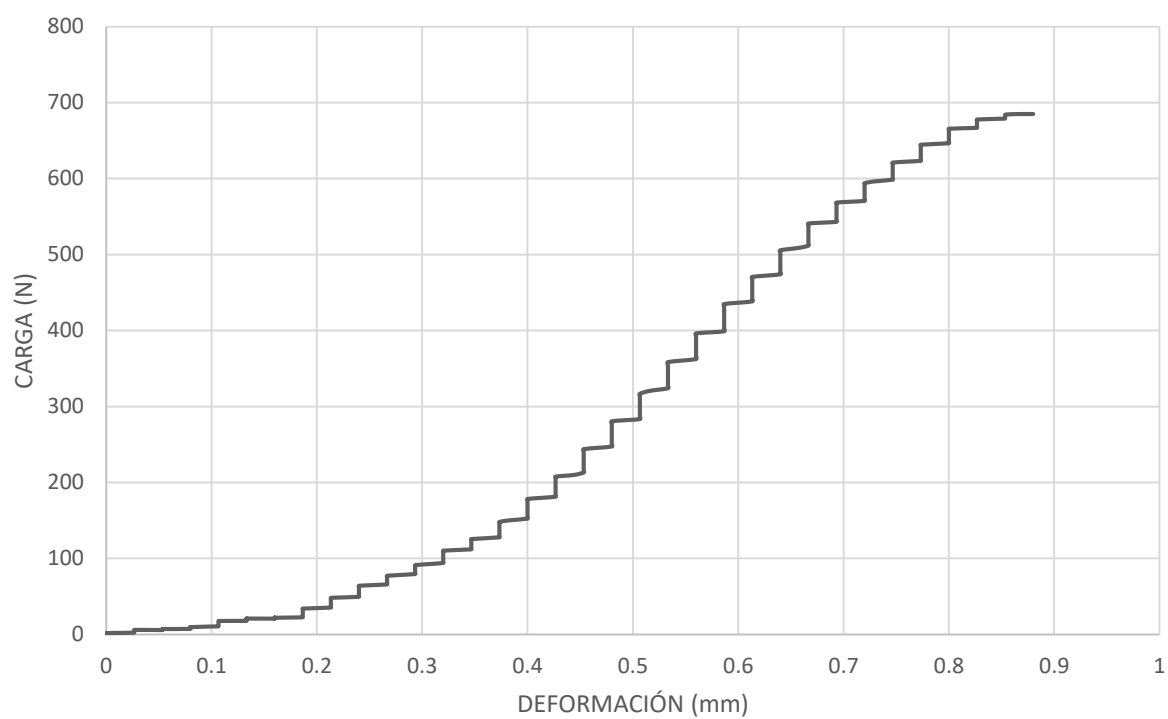


Figura. 4. 690. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1101218, con un filtro negativo bajo una luz normal.
Fuente: (autoría propia).

CARGA-DEFORMACIÓN



Gráficas 4. 55. Curva Carga-Deformación de la C-1101218, en N-mm. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 691. Fotografía de la C-1101218, en la prensa. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 692. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-1101218. Fuente: (autoría propia).

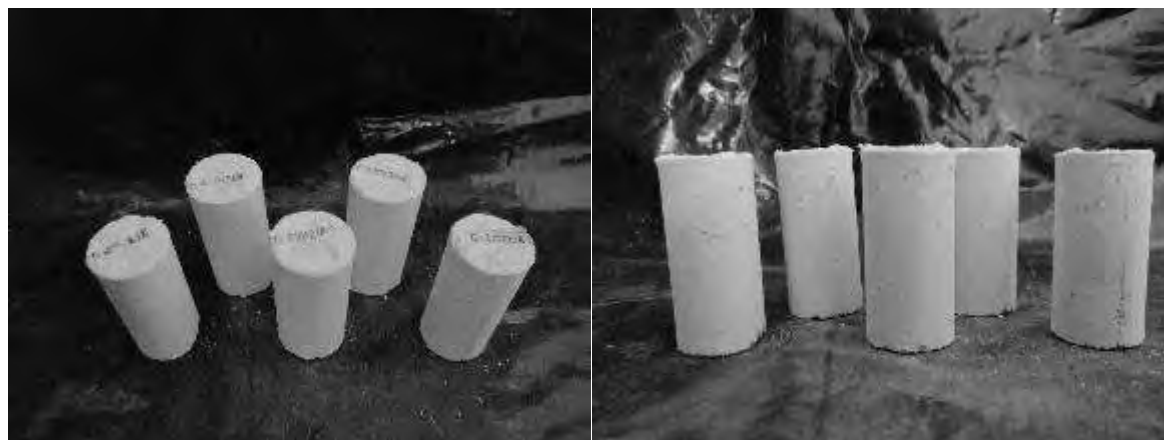


Figura. 4. 693. Fotografías de la corrida C-2101218. Fuente: (Autoría propia).

De composición 100% CAL ESTANDAR, 275% MARMOLINA Tipo 2, 5% CARBONATO DE SODIO y A/C= 1:1, de dimensiones iguales a un diámetro de 23.3mm y longitud de 44.6mm, que presenta poca dureza al ser pulido, con desprendimiento mayormente en la parte inversa de la probeta.



Figura. 4. 694. Imágenes de la corrida C-2101218, con presencia de eflorescencias en su parte externa. (autoría propia).

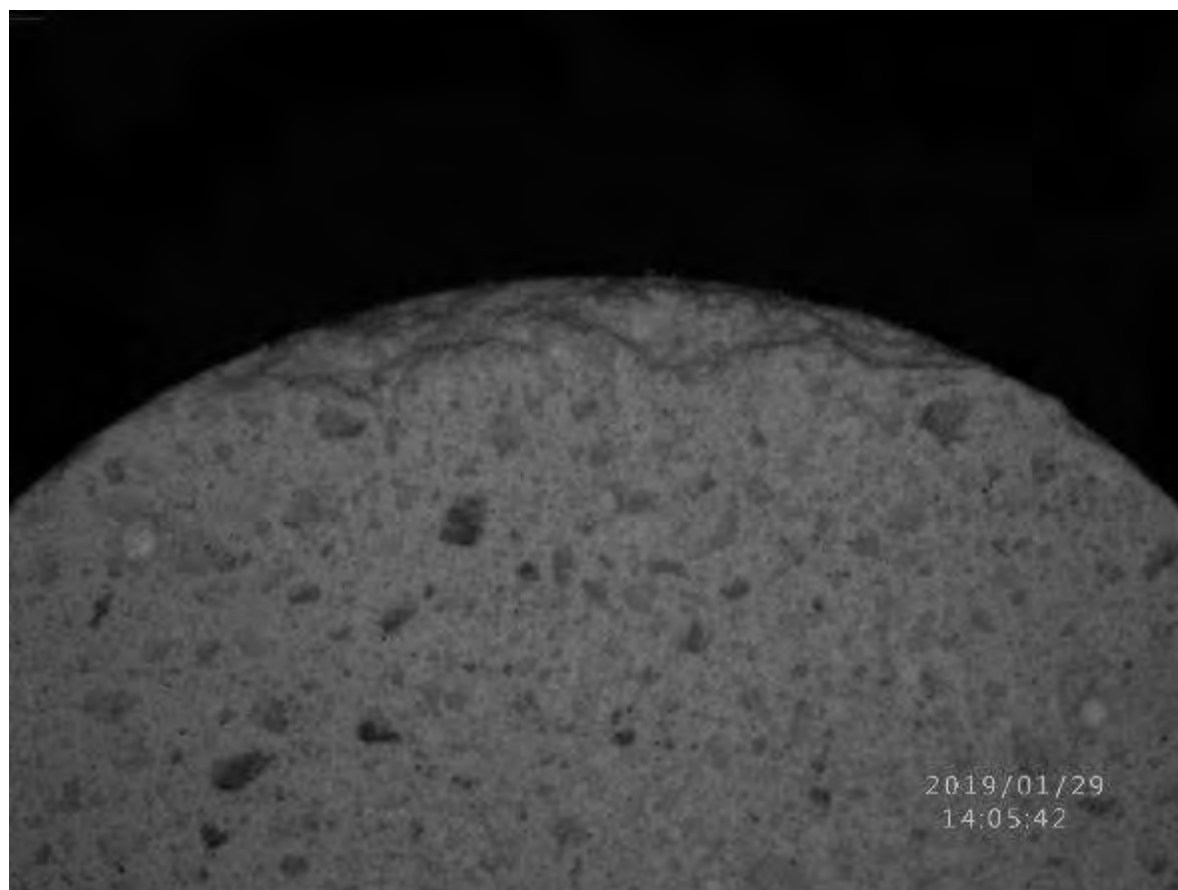


Figura. 4. 695. Microscopia de la C-2101218. Fuente: Autoría propia.

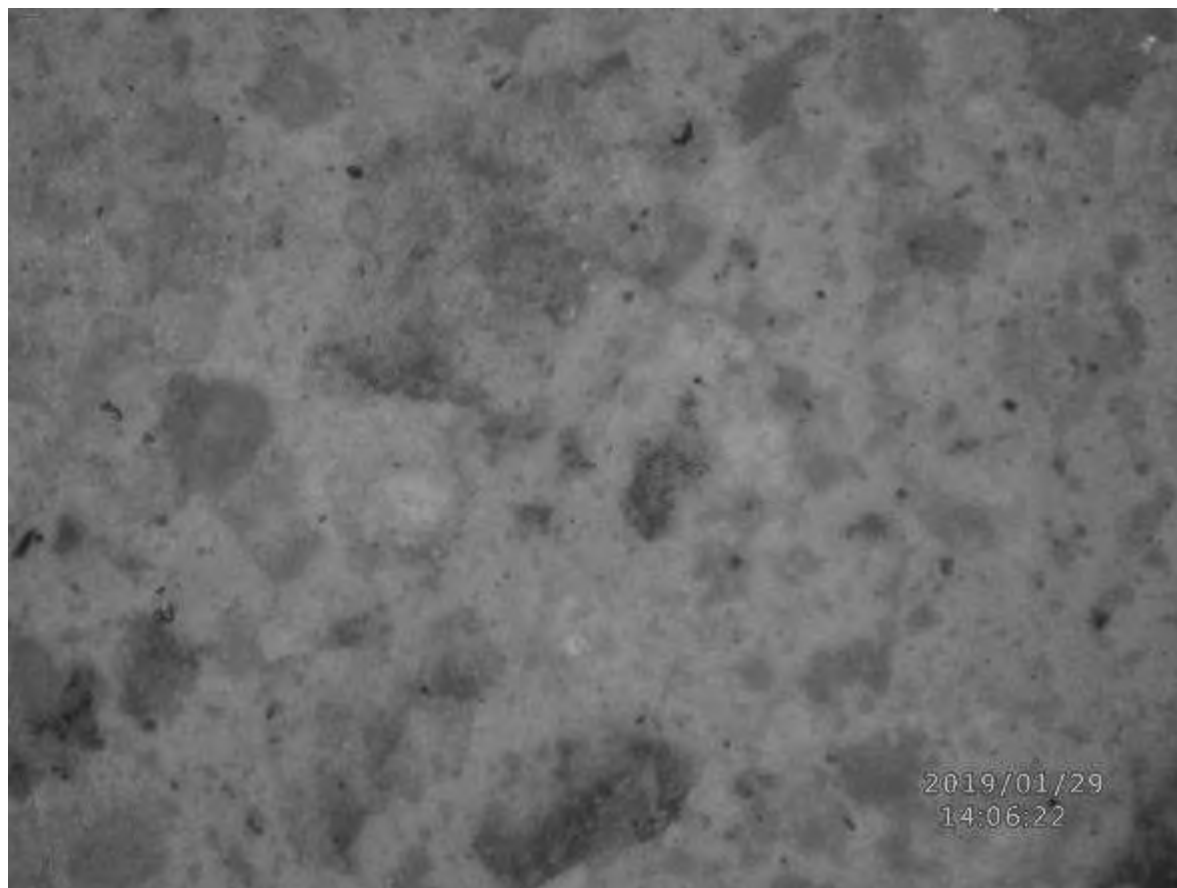


Figura. 4. 696. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2101218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

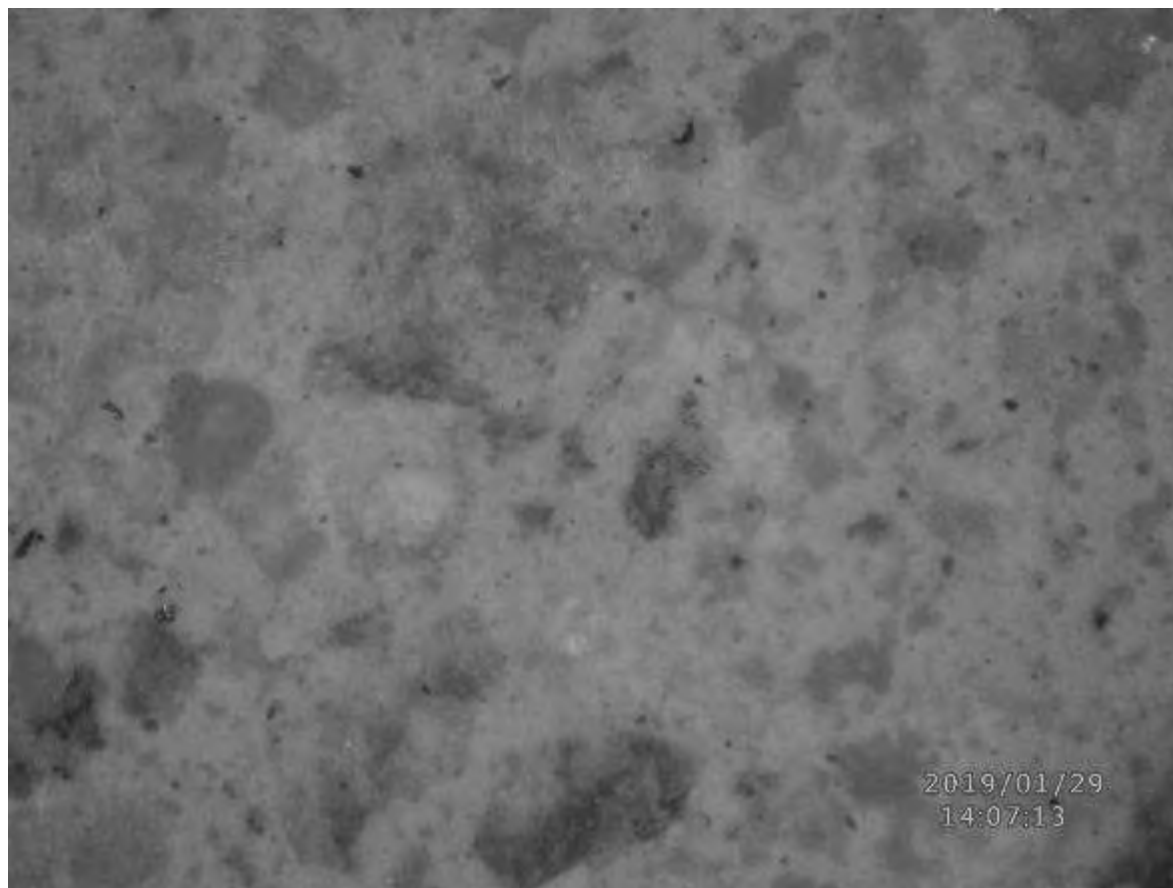


Figura. 4. 697. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2101218, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

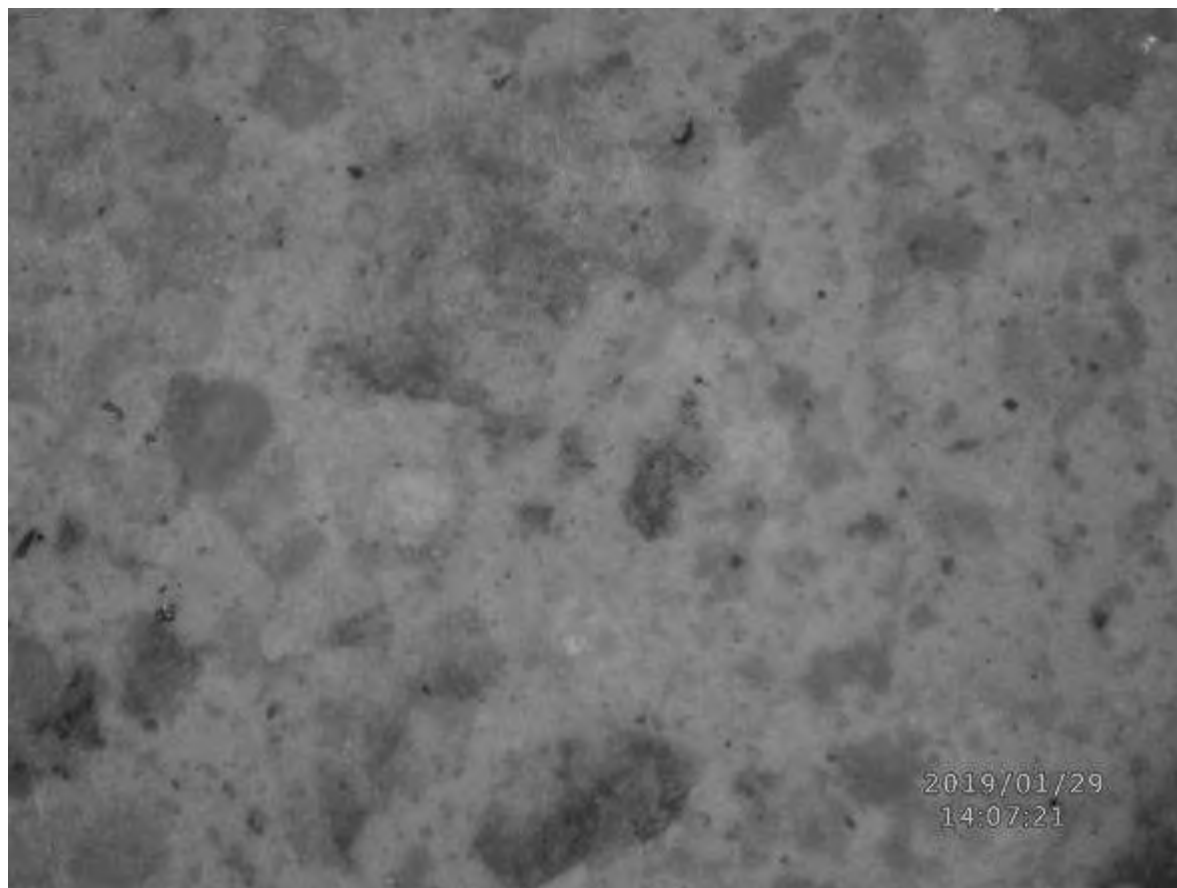


Figura. 4. 698. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2101218, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

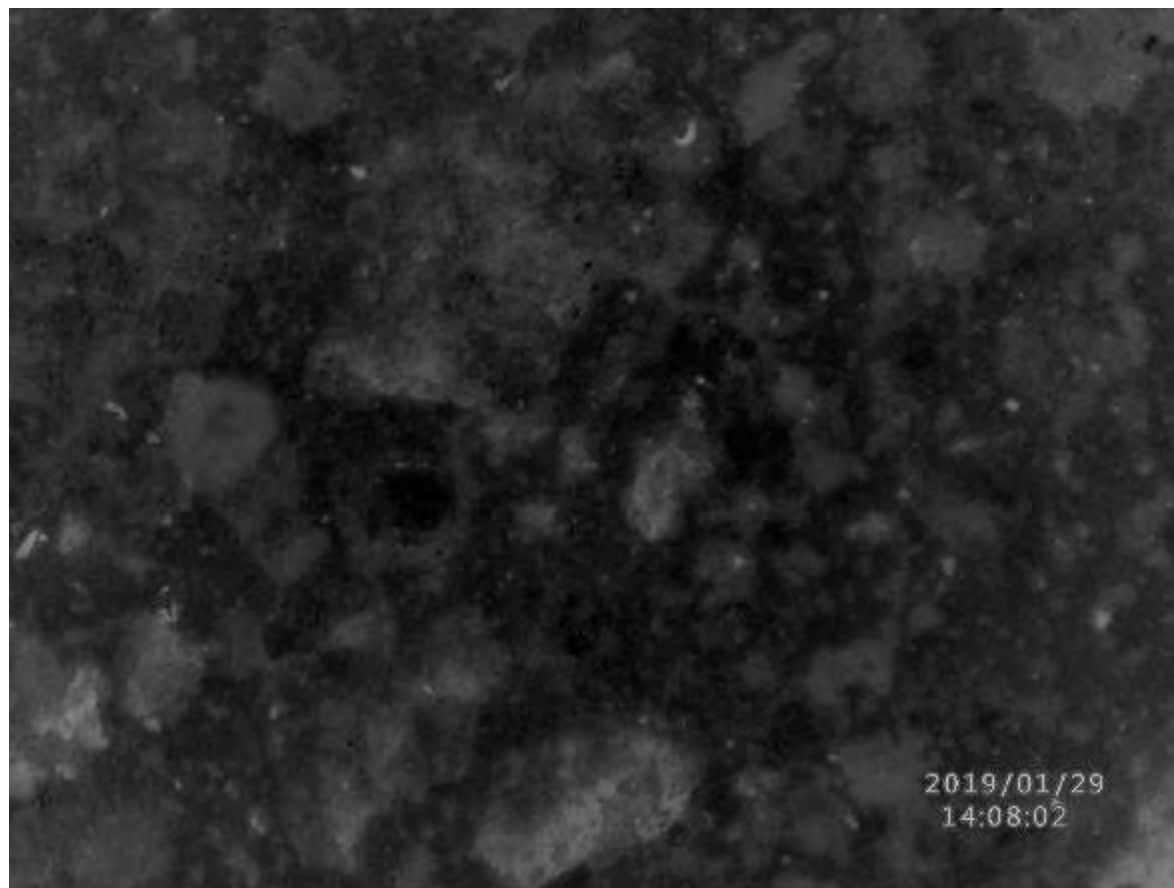


Figura. 4. 699. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2101218, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

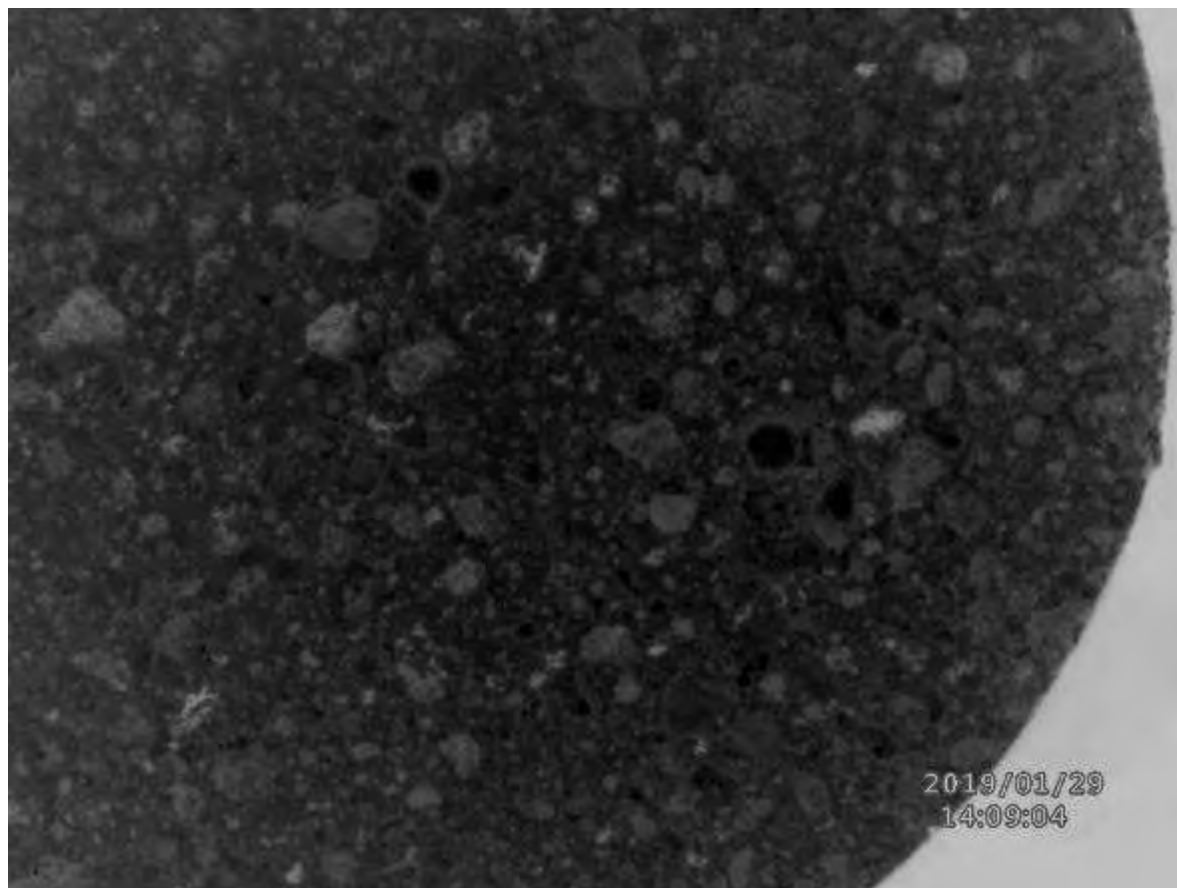


Figura. 4. 700. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2101218, con un filtro negativo bajo una luz normal.
Fuente: (autoría propia).

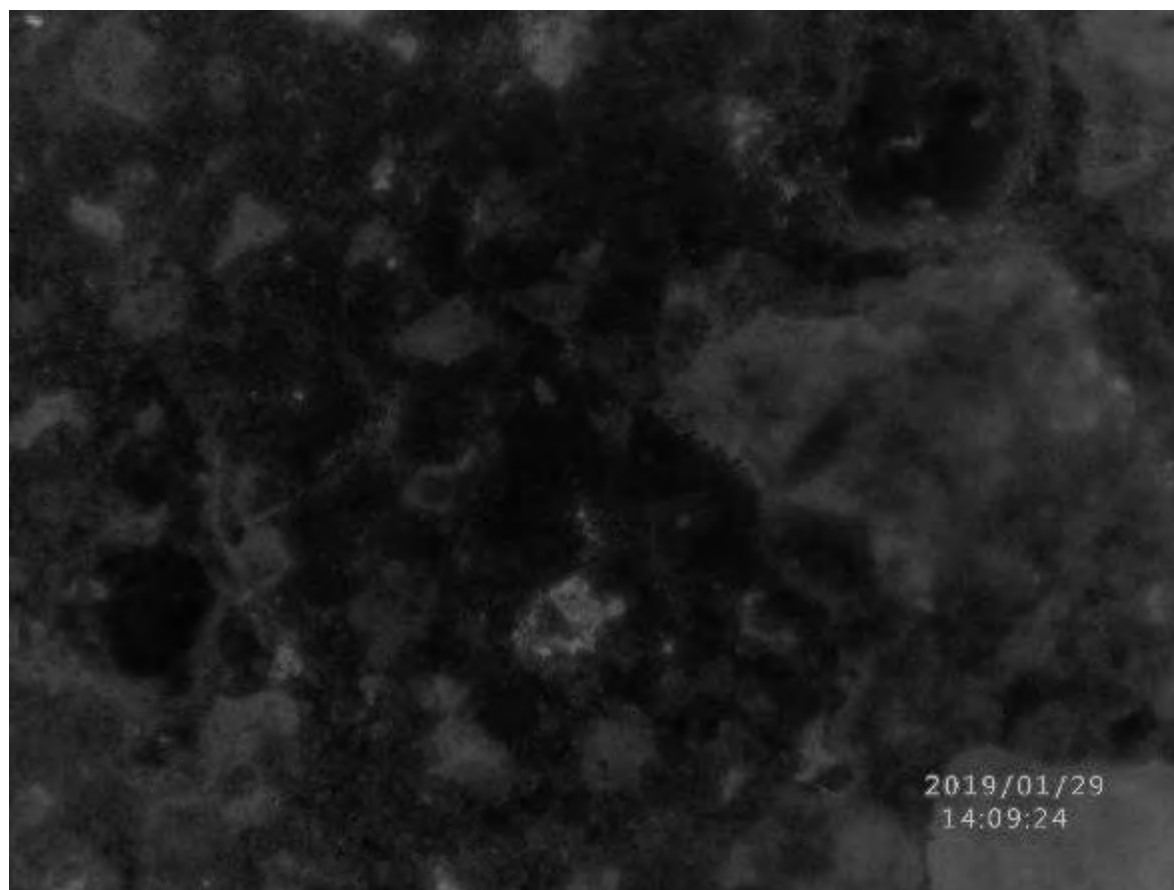


Figura. 4. 701. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2101218, con un filtro negativo bajo una luz normal.
Fuente: (autoría propia).

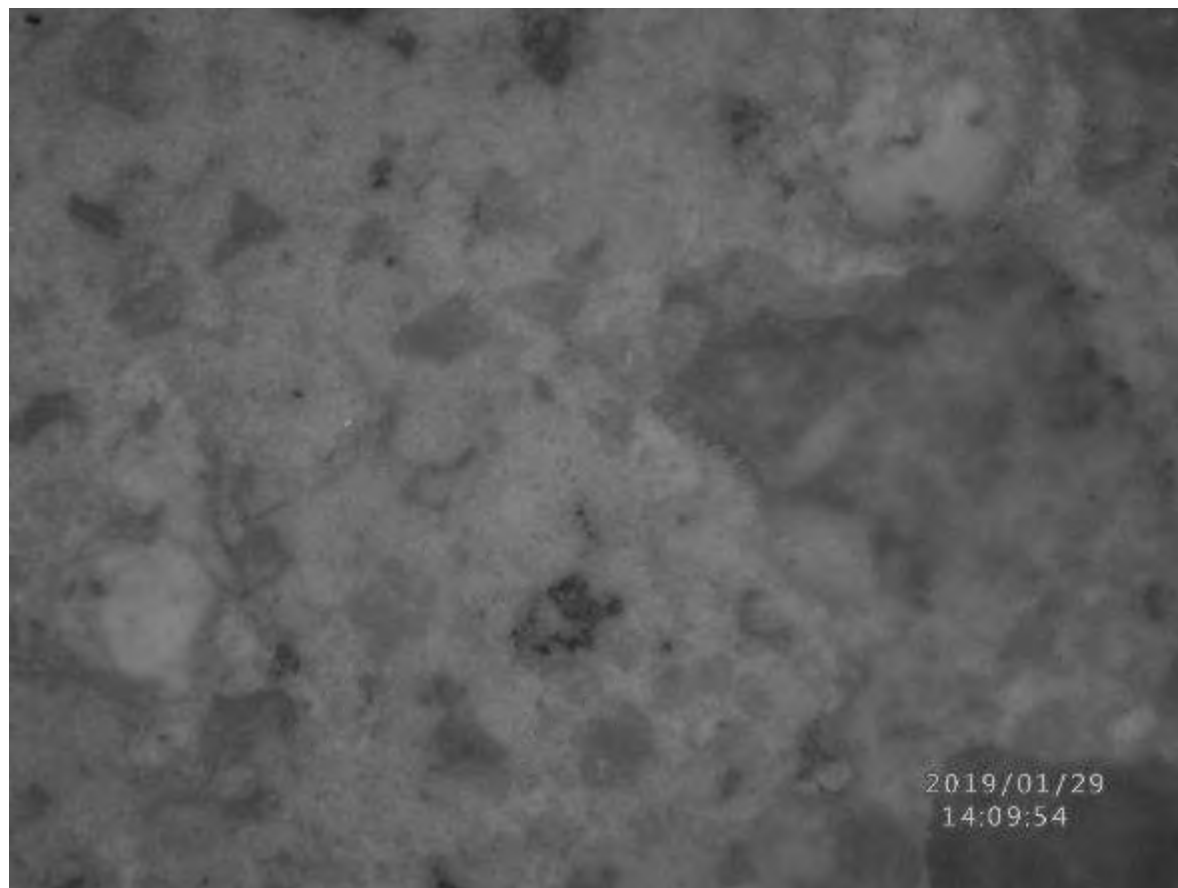
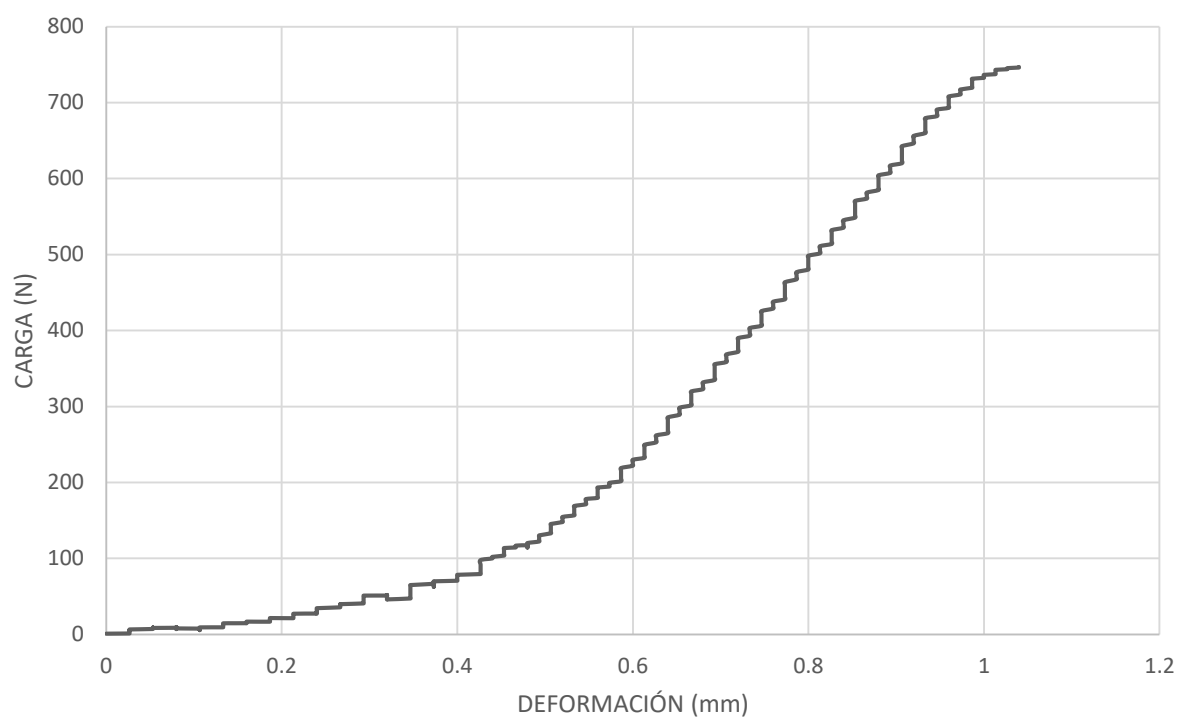


Figura. 4. 702. Microscopia de la C-2101218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

CARGA-DEFORMACIÓN



Gráficas 4. 56. Curva Carga-Deformación de la C-2101218, en N-mm. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 703. Fotografía de la C-2101218, en la prensa. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 704. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-2101218. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 705. Fotografías de la corrida C-3101218. Fuente: (Autoría propia).

De composición 100% CAL ESTANDAR, 275% MARMOLINA Tipo 2, 10% CARBONATO DE SODIO y A/C= 1:1, de dimensiones iguales a un diámetro de 23.1mm y longitud de 44.7mm, que presenta poca dureza al ser pulido, con desprendimiento mayormente en la parte inversa de la probeta. (Autoría propia).

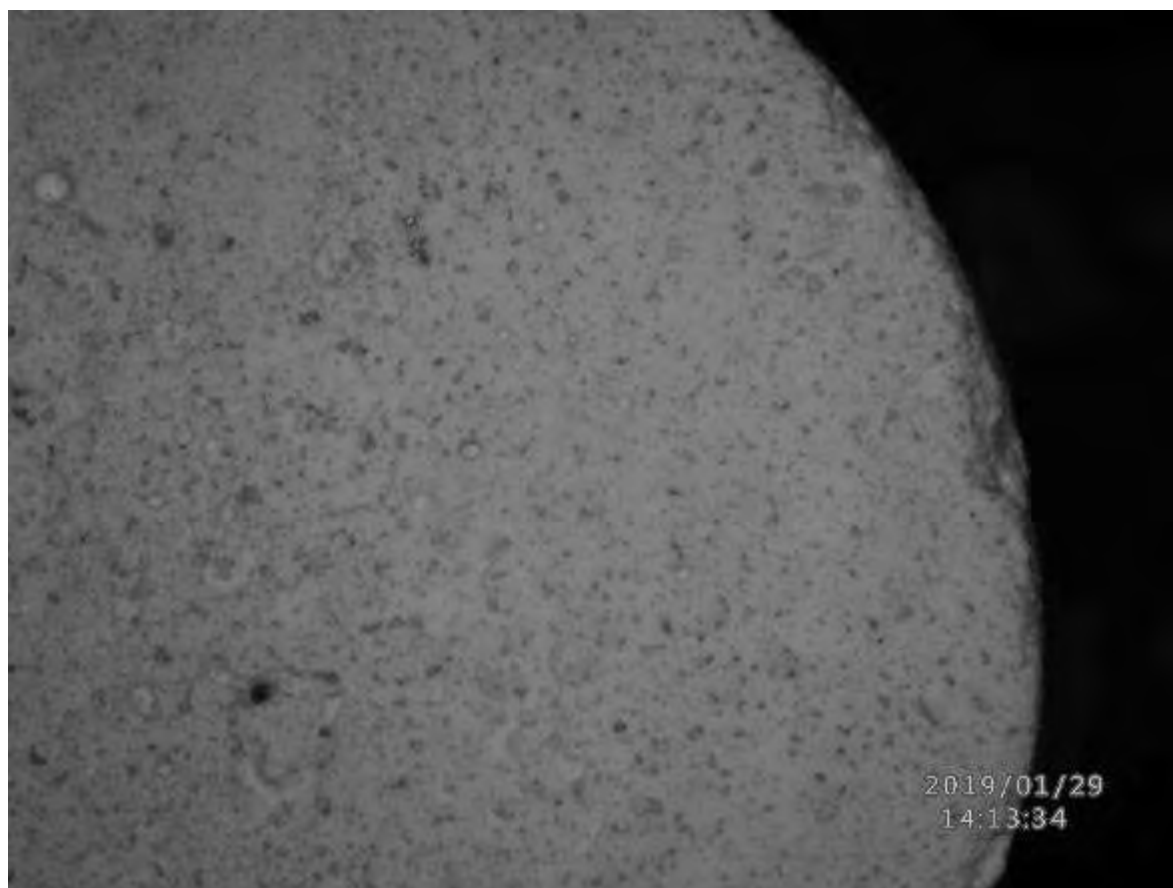


Figura. 4. 706. Microscopia de la C-3101218. Fuente: Autoría propia.

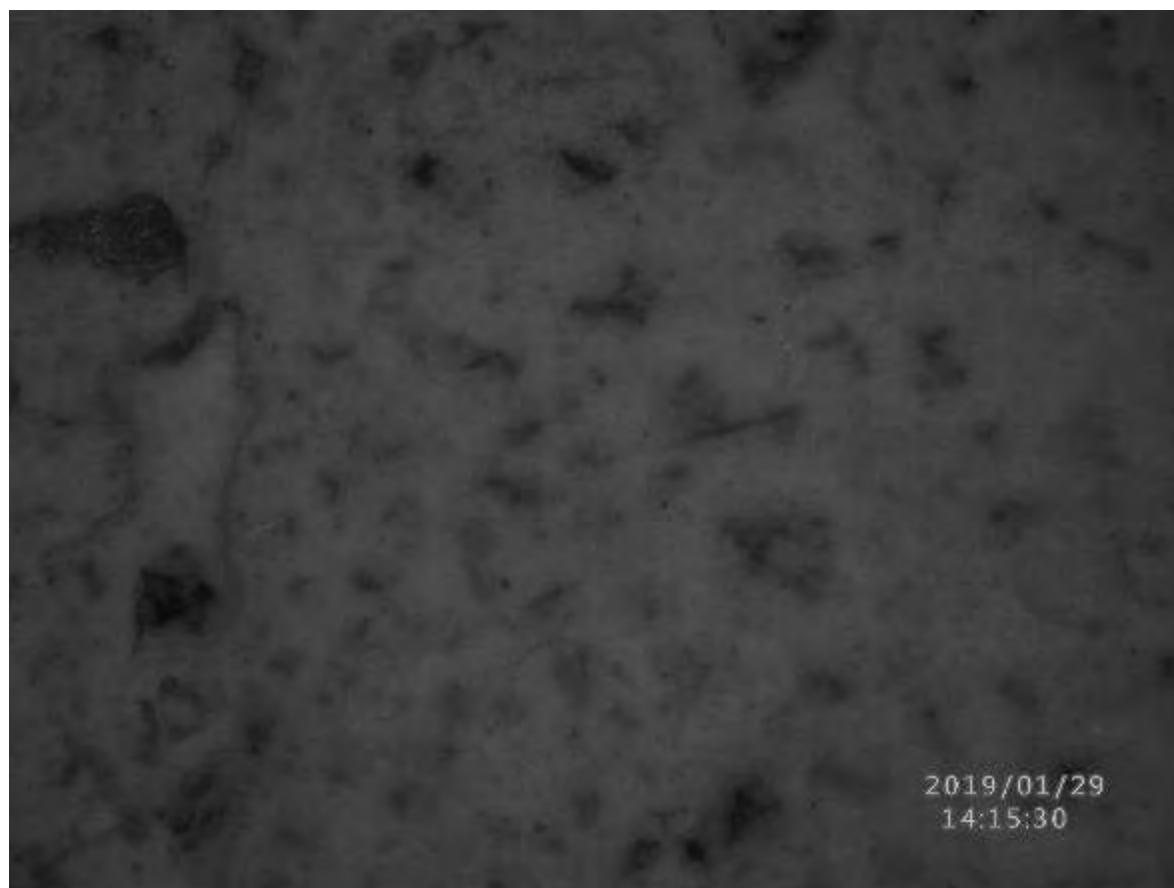


Figura. 4. 707. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3101218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

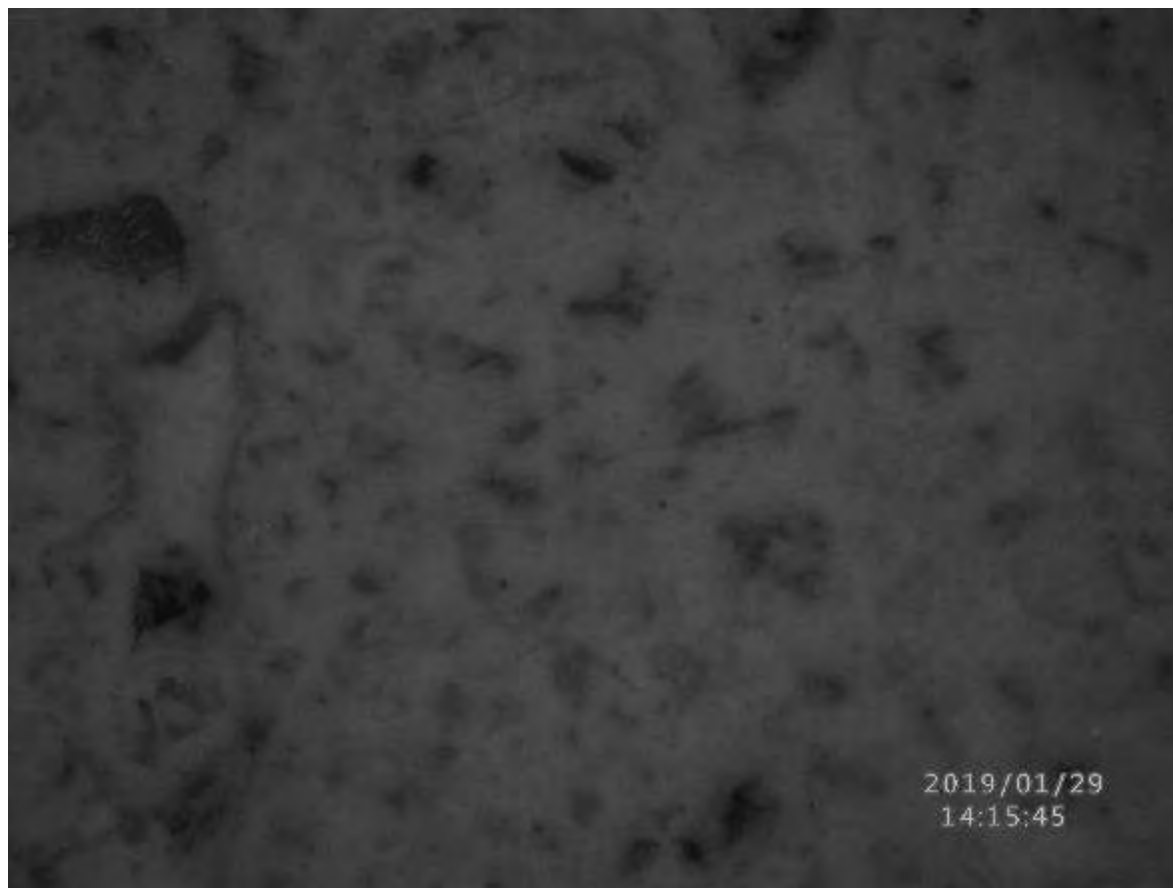


Figura. 4. 708. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3101218, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

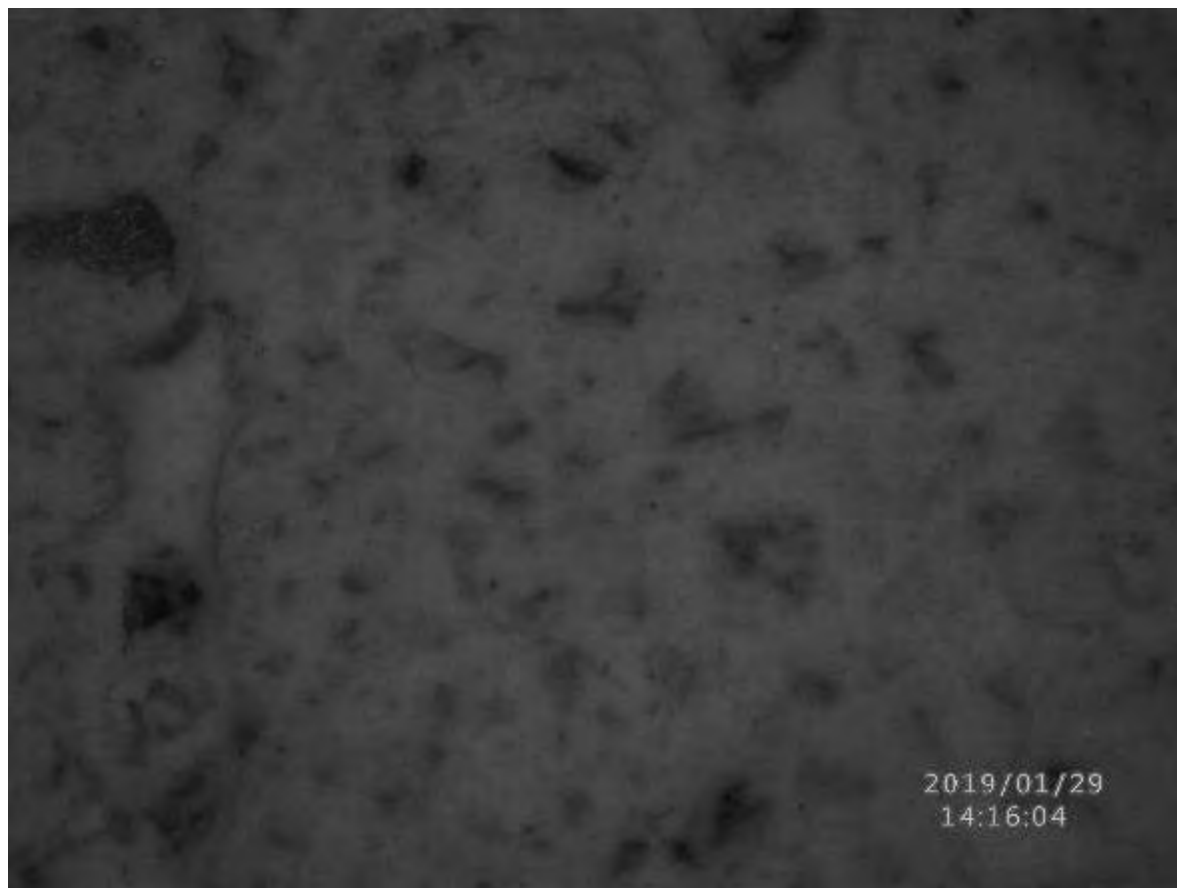


Figura. 4. 709. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3101218, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

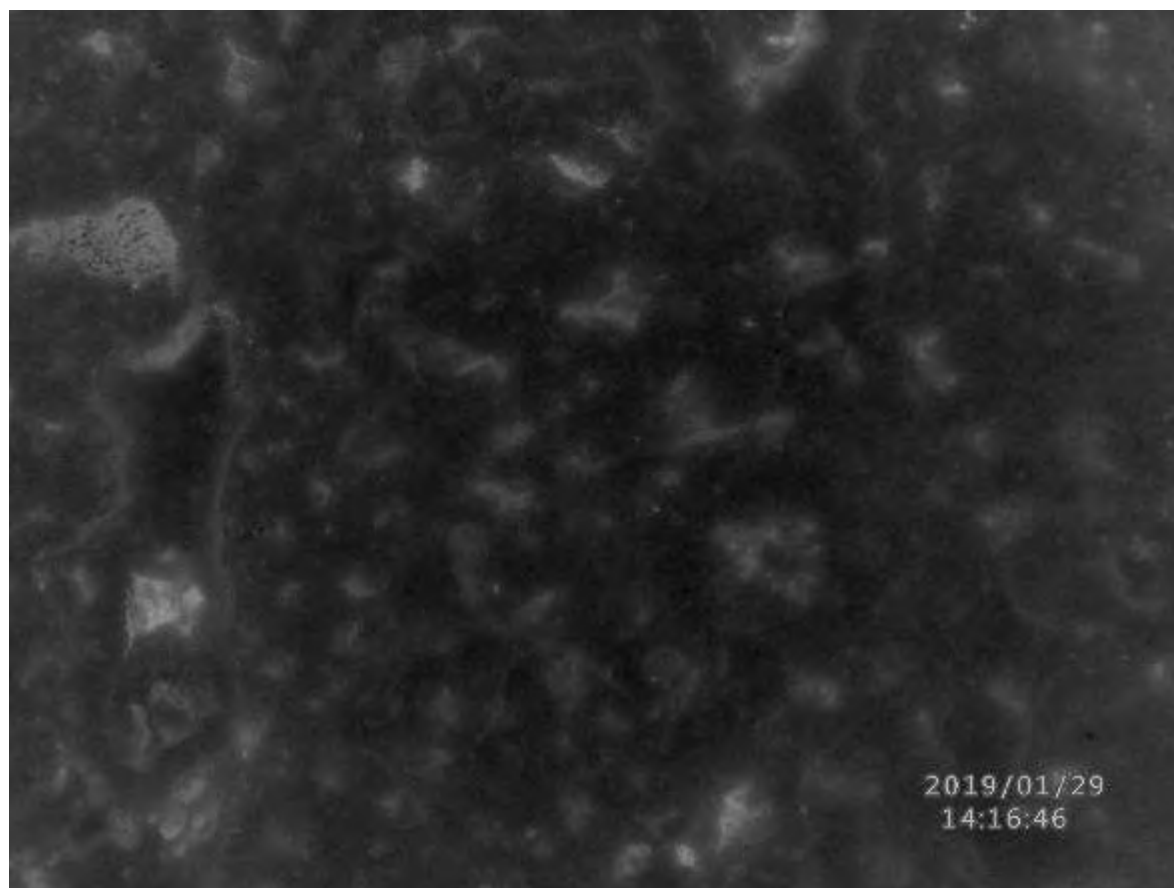


Figura. 4. 710. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3101218, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

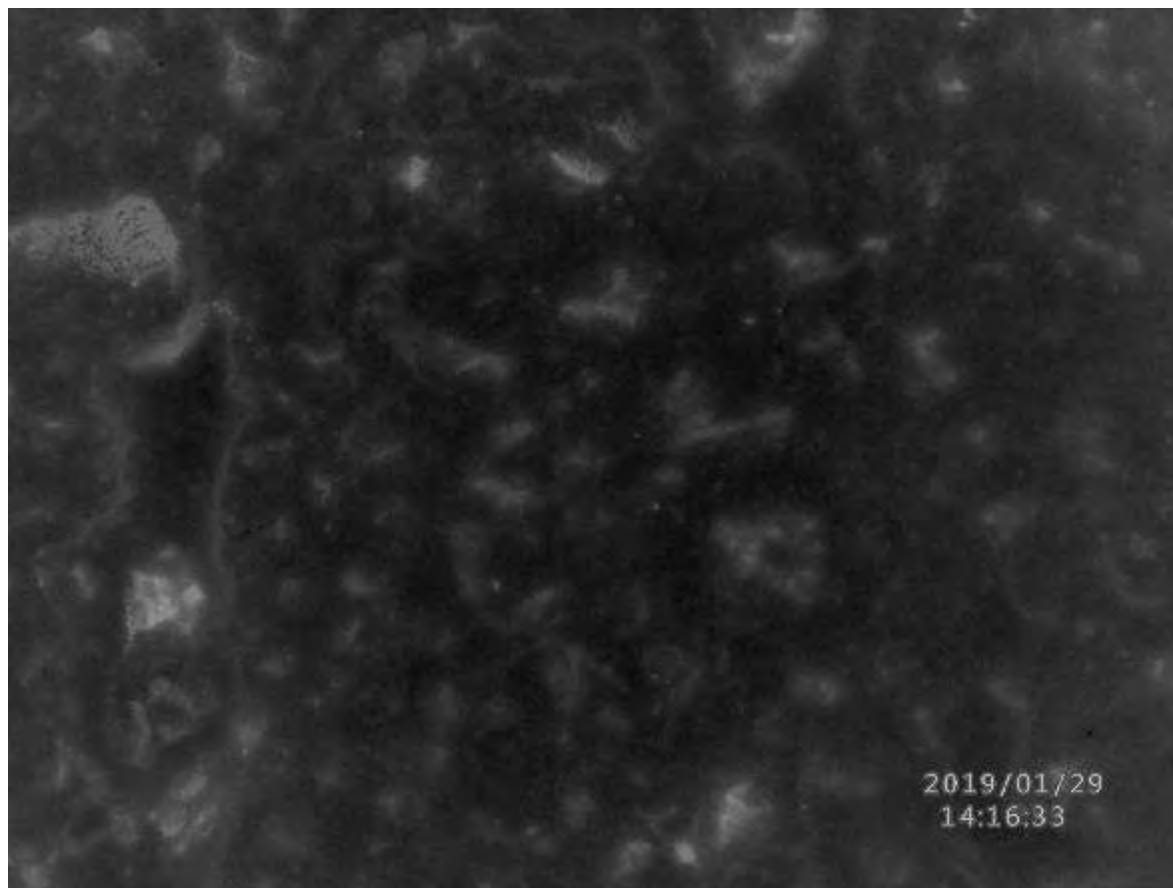


Figura. 4. 711. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3101218, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

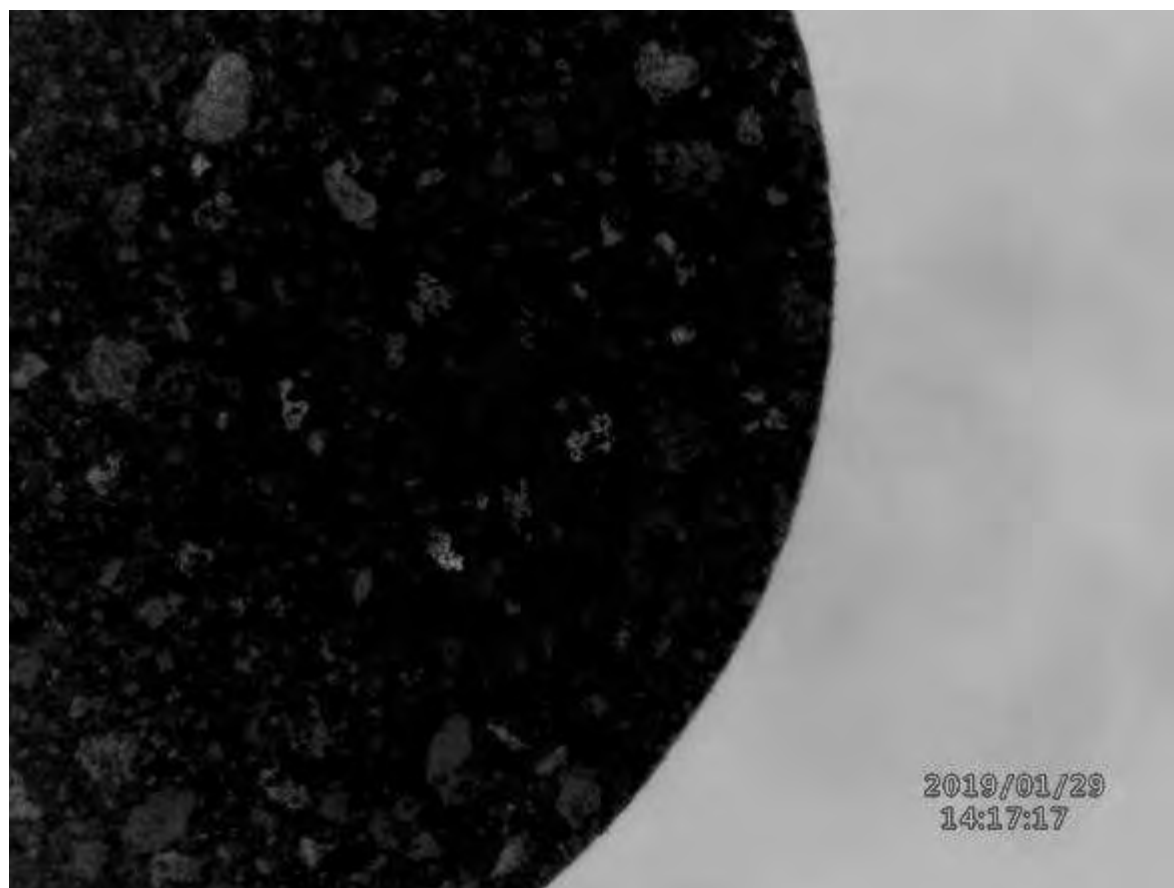


Figura. 4. 712. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3101218, con un filtro negativo bajo una luz normal.
Fuente: (autoría propia).

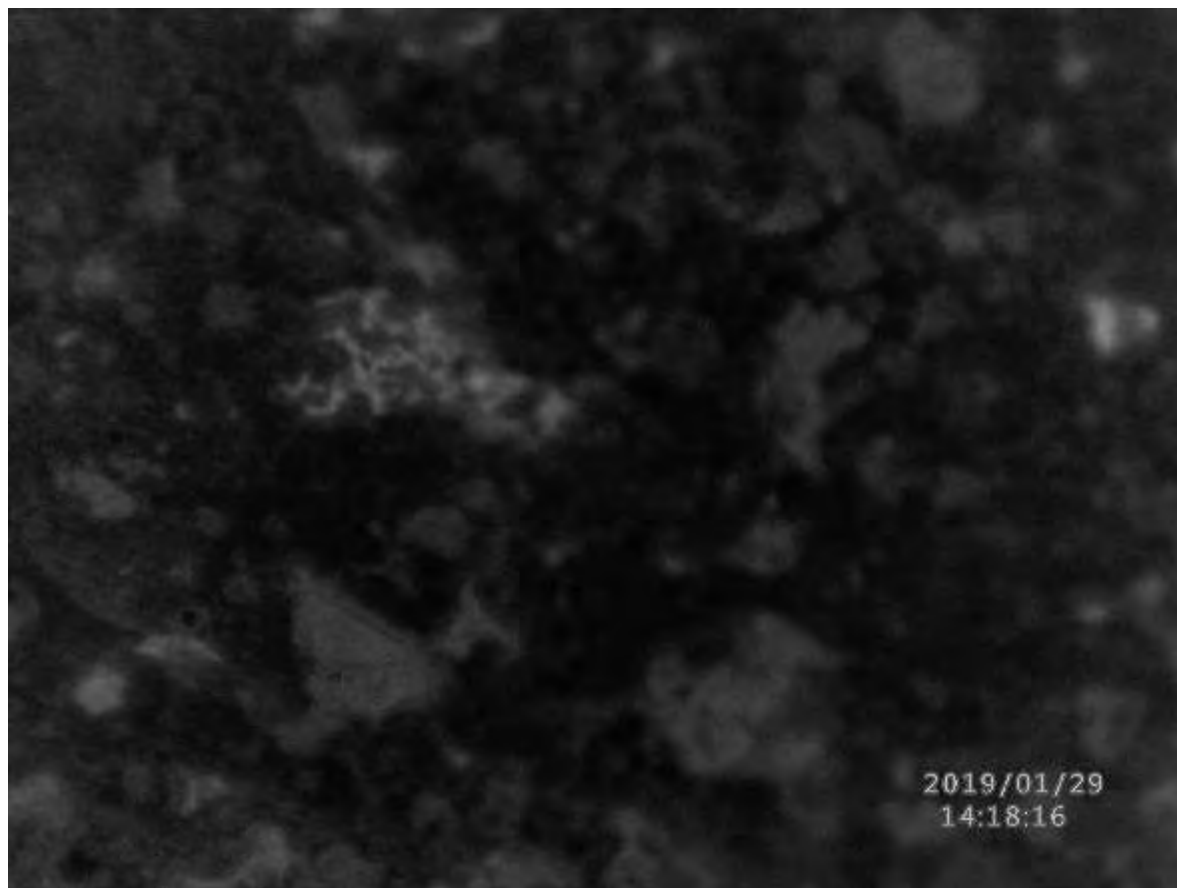


Figura. 4. 713. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3101218, con un filtro negativo bajo una luz normal.
Fuente: (autoría propia).

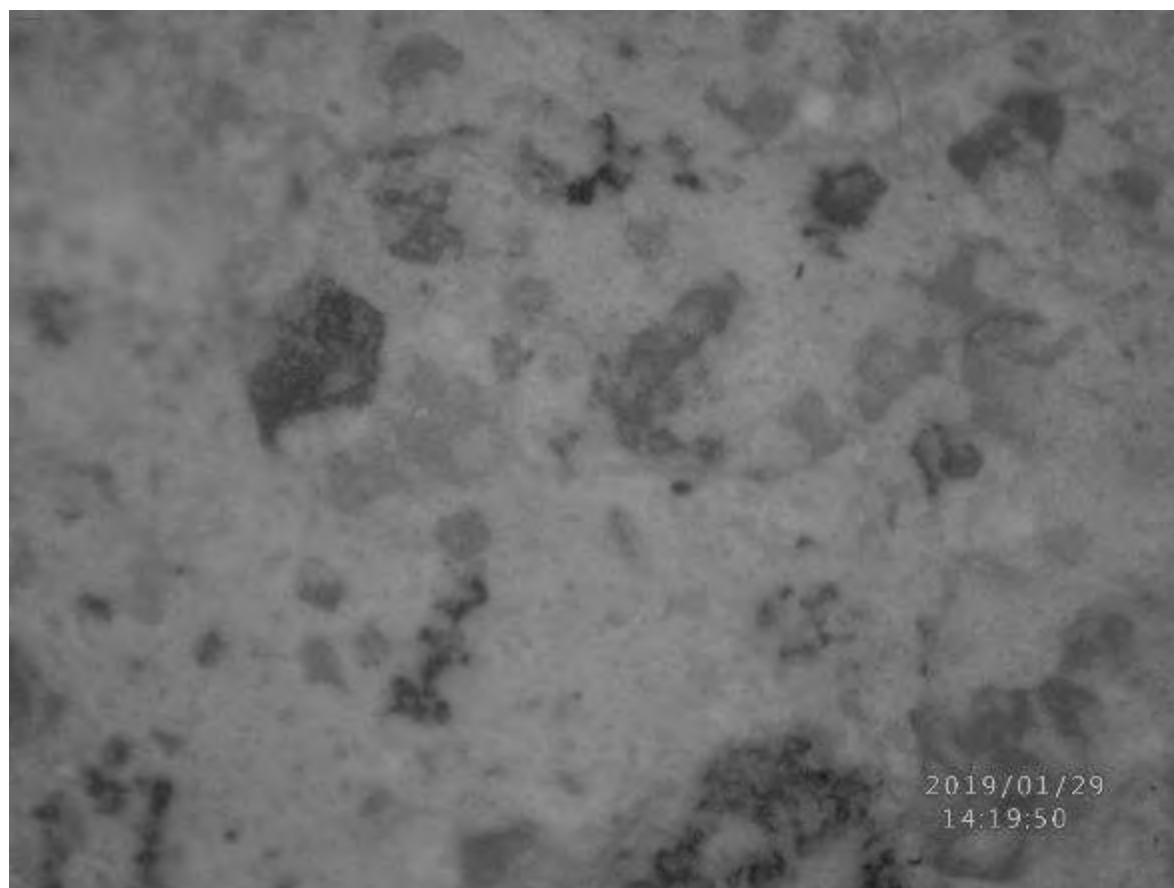


Figura. 4. 714. Microscopia de la C-3101218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

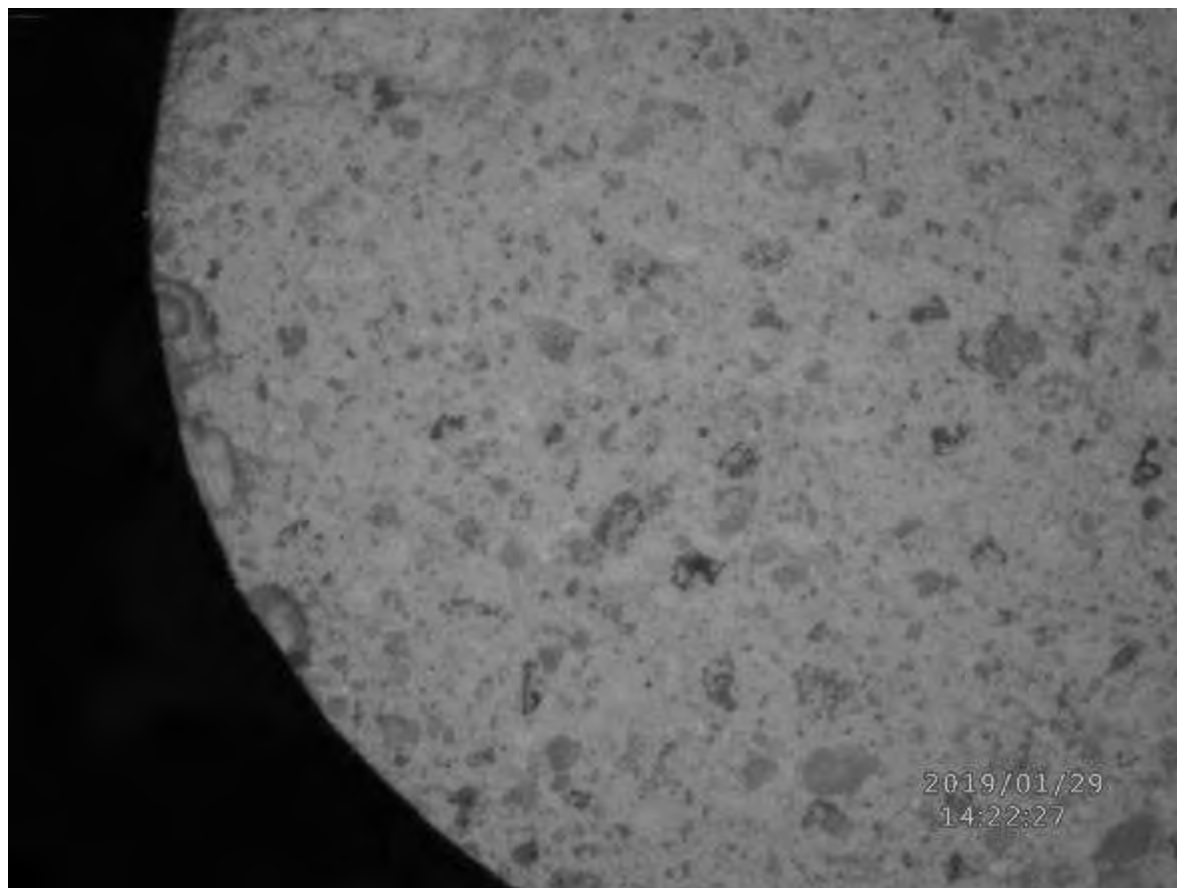
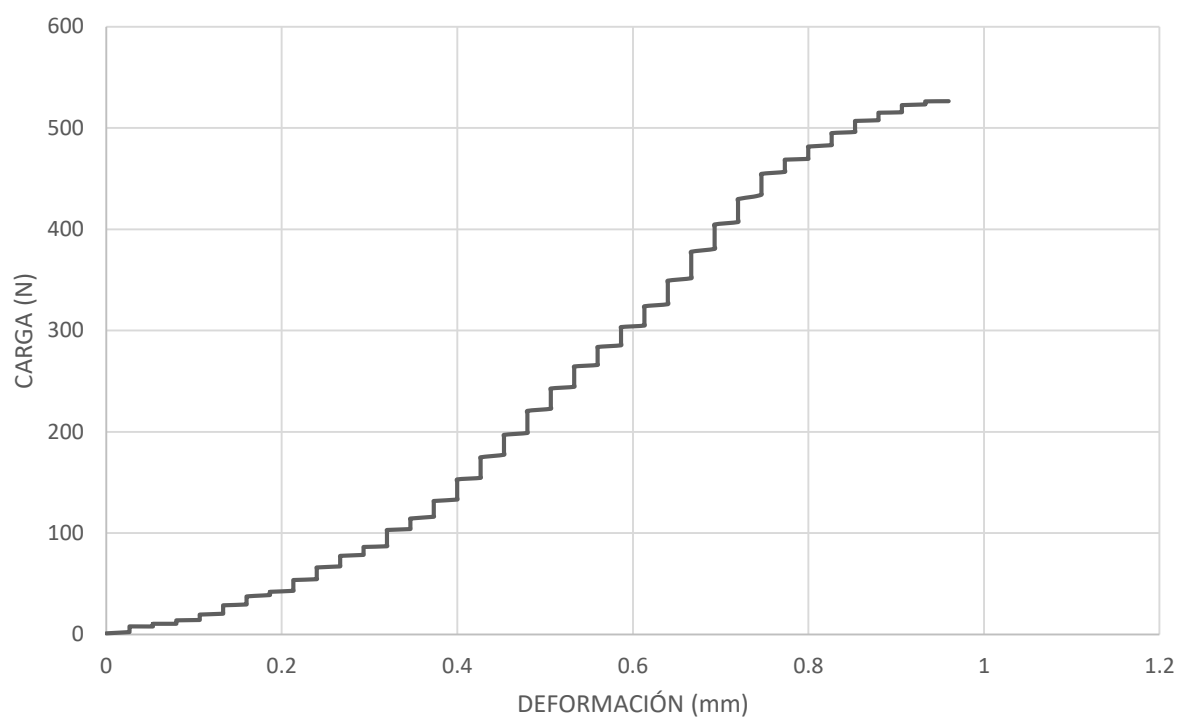


Figura. 4. 715. Microscopia de la C-3101218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

CARGA-DEFORMACIÓN



Gráficas 4. 57. Imágenes de la corrida C-3101218, con presencia de eflorescencias en su parte externa. (autoría propia).



Figura. 4. 716. Fotografía de la C-3101218, en la prensa. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 717. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-3101218. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 718. Fotografías de la corrida C-4101218. Fuente: (Autoría propia).

De composición 100% CAL ESTANDAR, 275% MARMOLINA Tipo 2, 5% SULFATO DE SODIO y A/C= 1:1, de dimensiones iguales a un diámetro de 23.5mm y longitud de 44.6mm, que presenta poca dureza al ser pulido, con desprendimiento mayormente en la parte inversa de la probeta. (Autoría propia).



Figura. 4. 719. Imágenes de la corrida C-410128, con presencia de eflorescencias en su parte externa. (autoría propia).

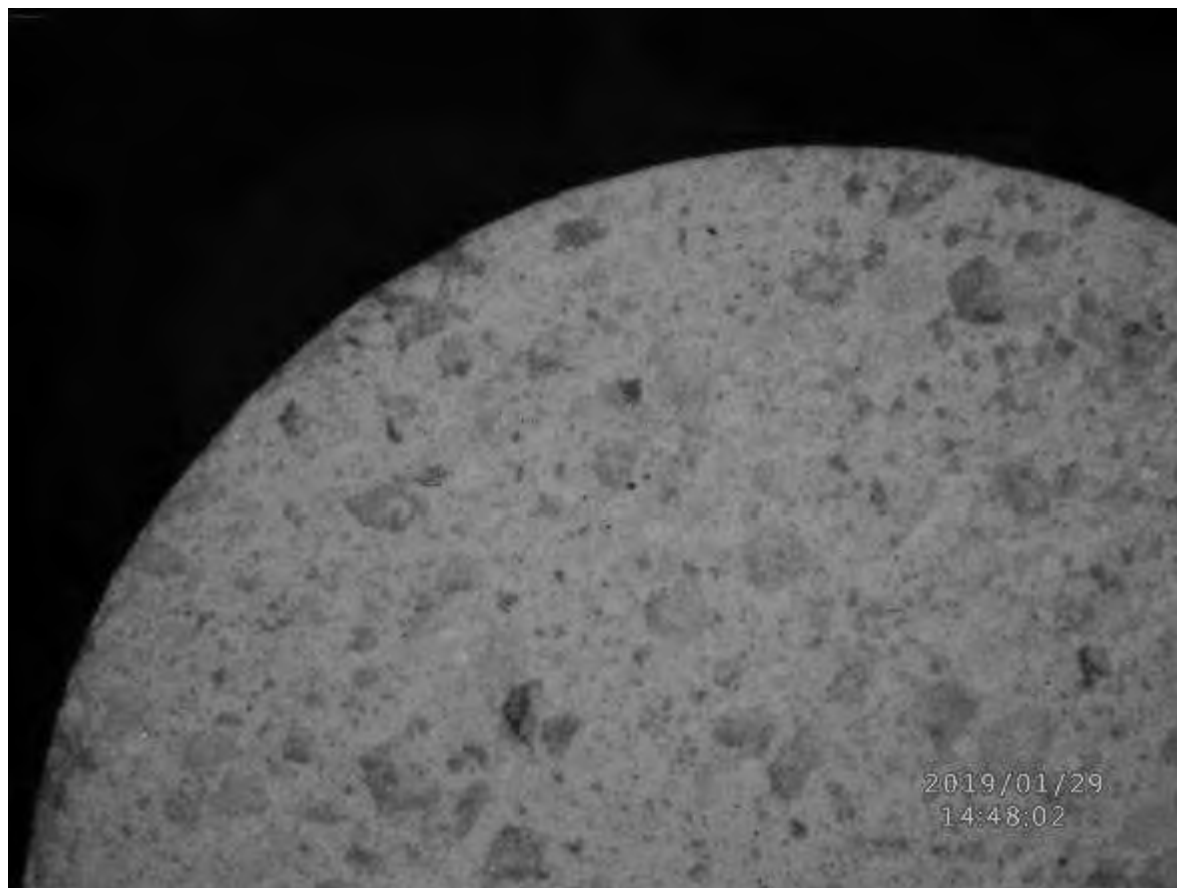


Figura. 4. 720. Microscopia de la C-4101218. Fuente: Autoría propia.

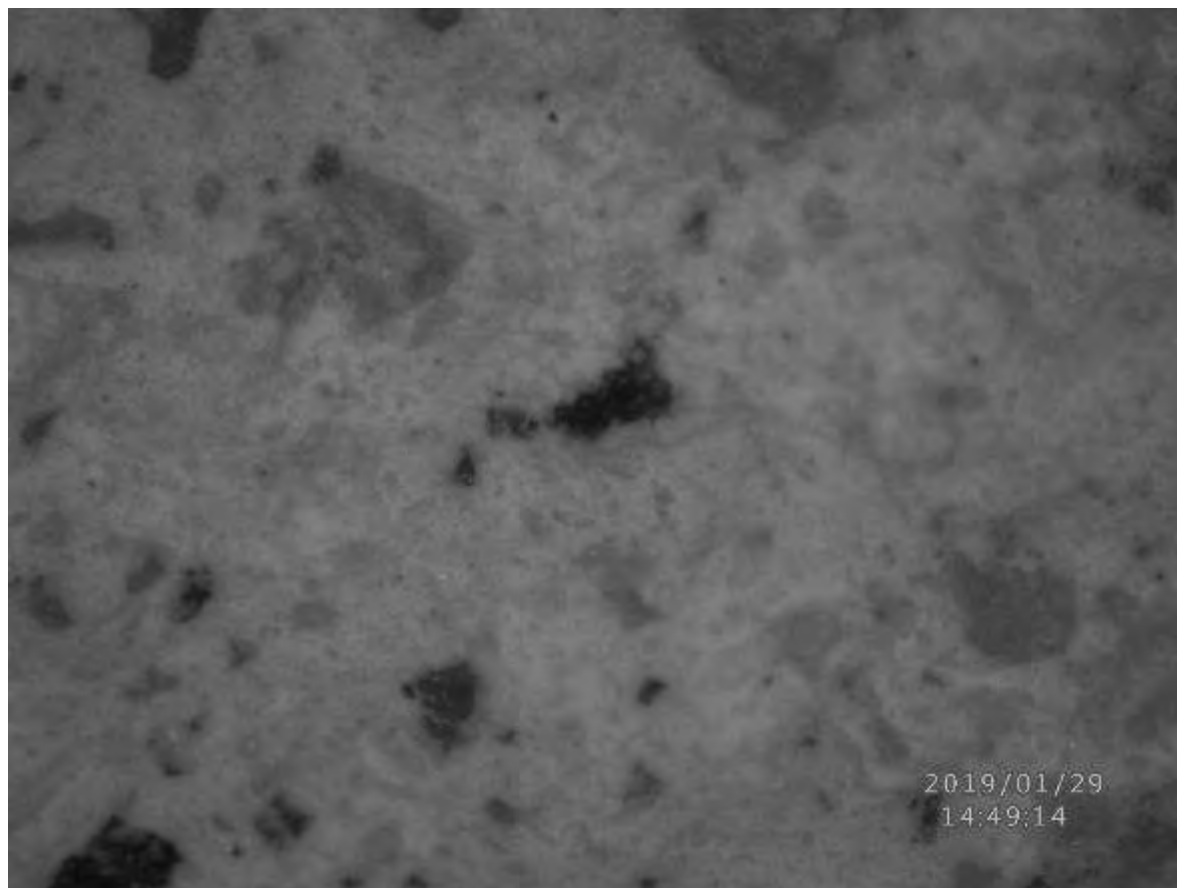


Figura. 4. 721. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-4101218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

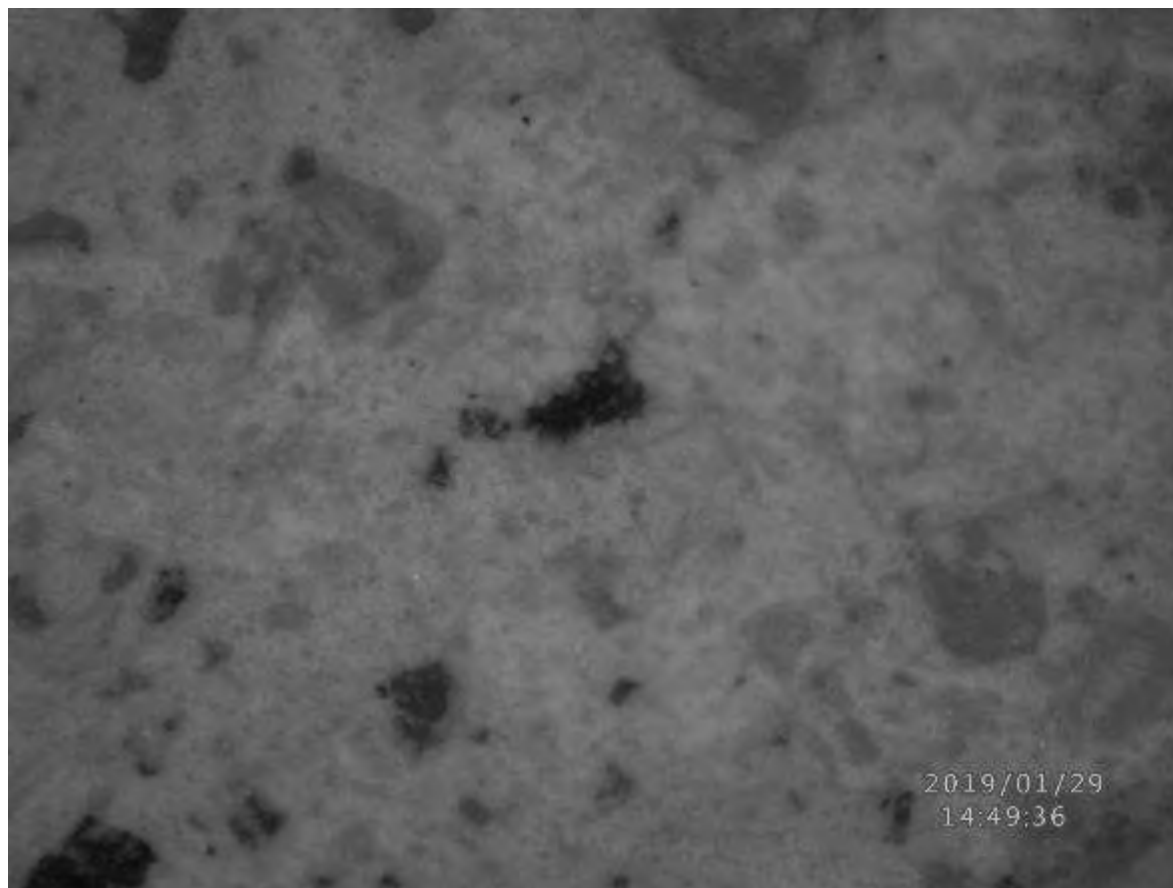


Figura. 4. 722. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-4101218, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

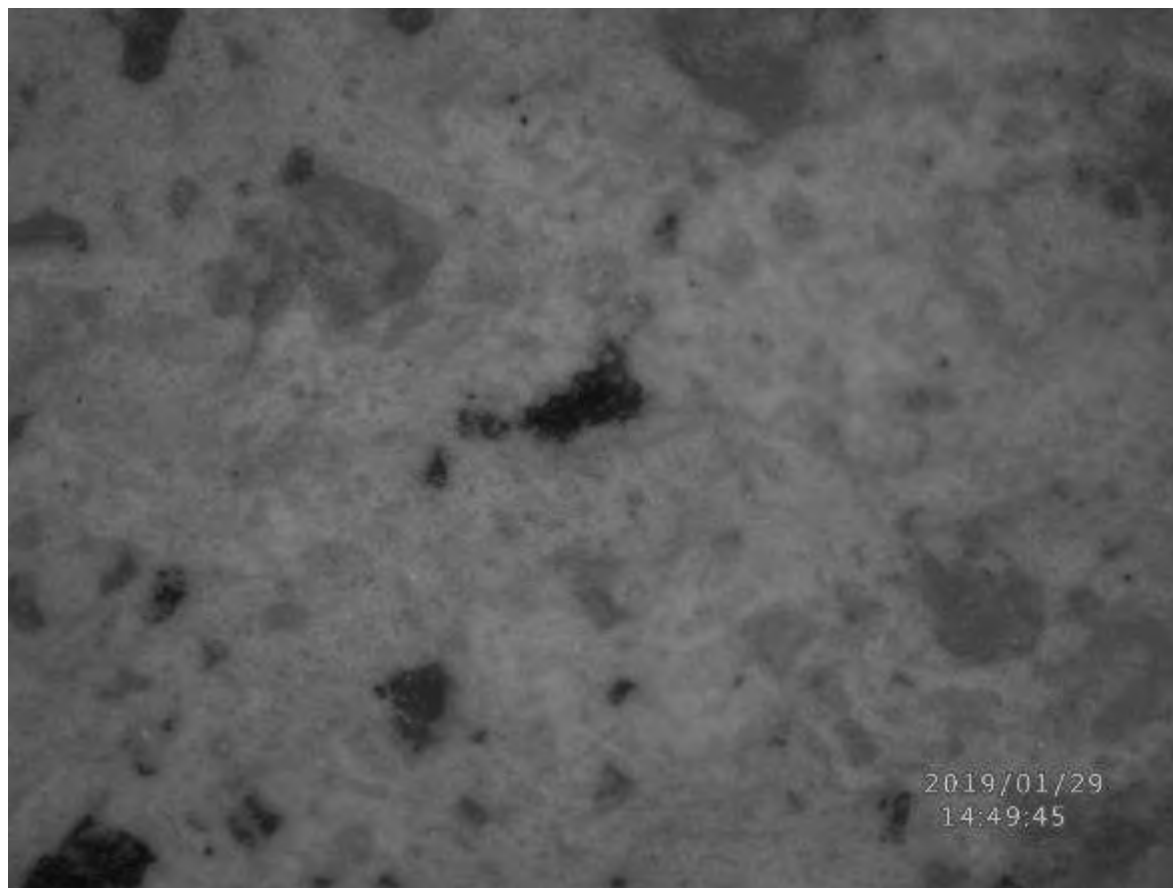


Figura. 4. 723. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-4101218, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

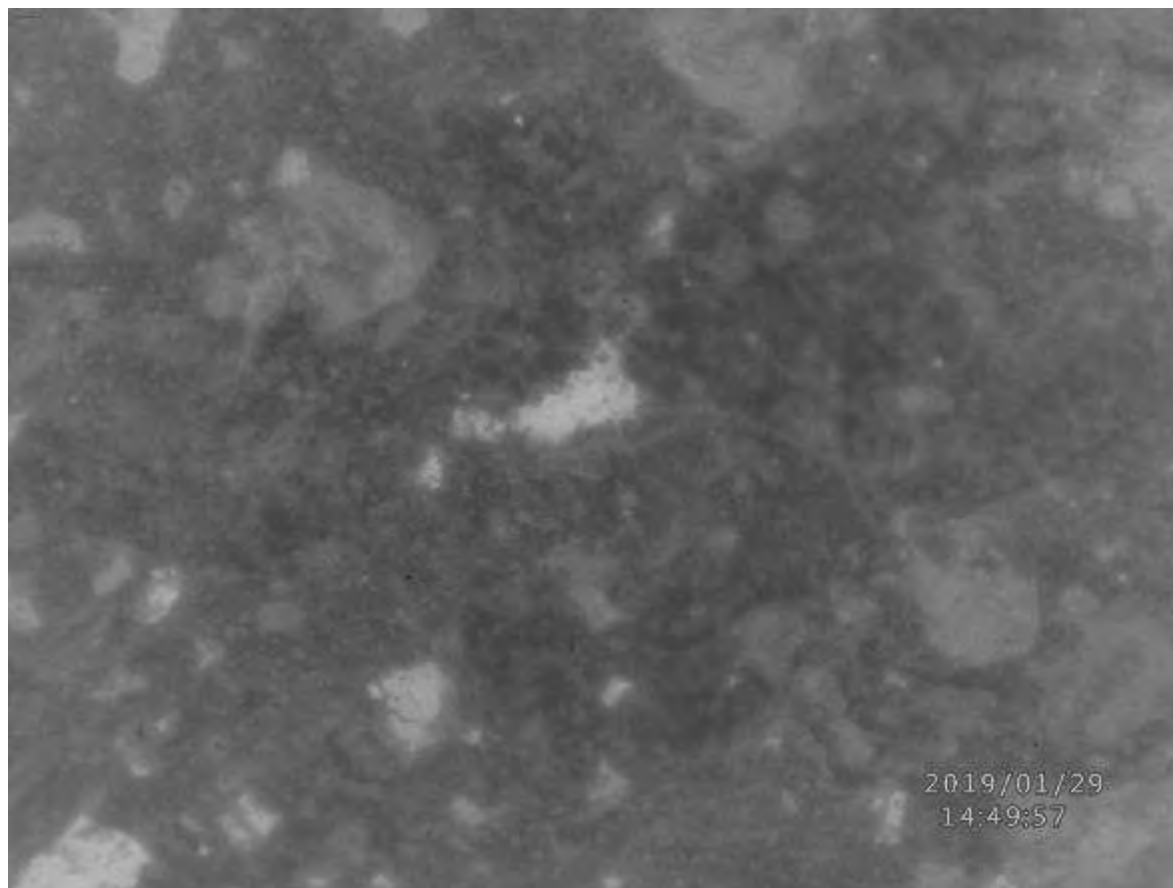


Figura. 4. 724. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-4101218, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

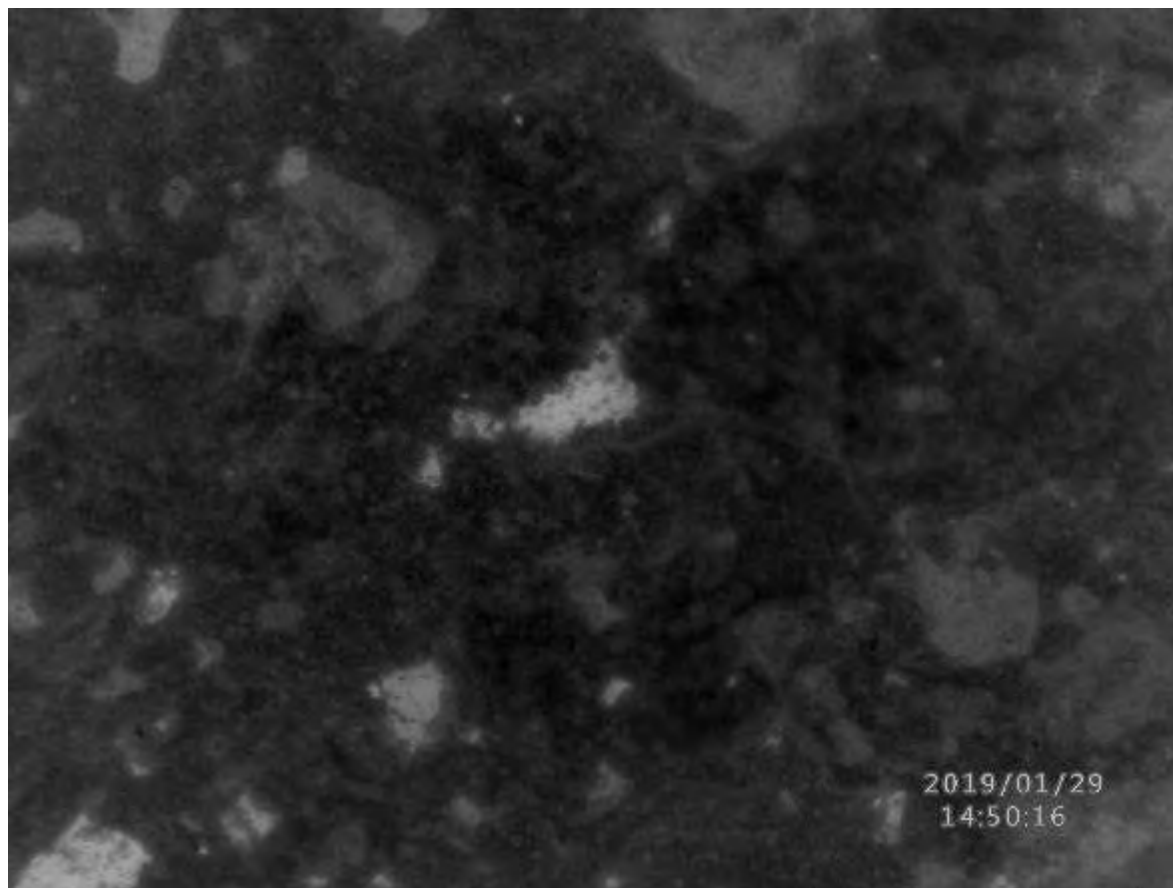


Figura. 4. 725. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-4101218, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

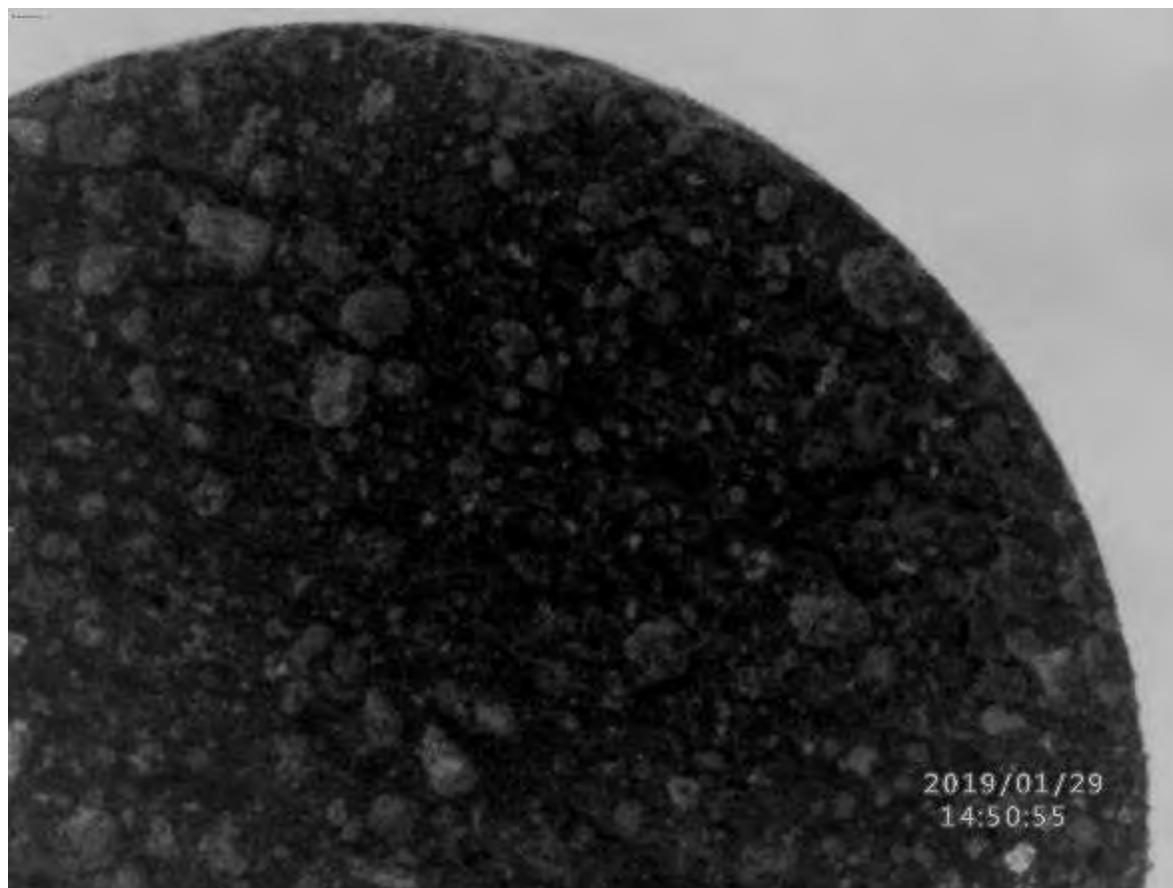


Figura. 4. 726. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-4101218, con un filtro negativo bajo una luz normal.
Fuente: (autoría propia).

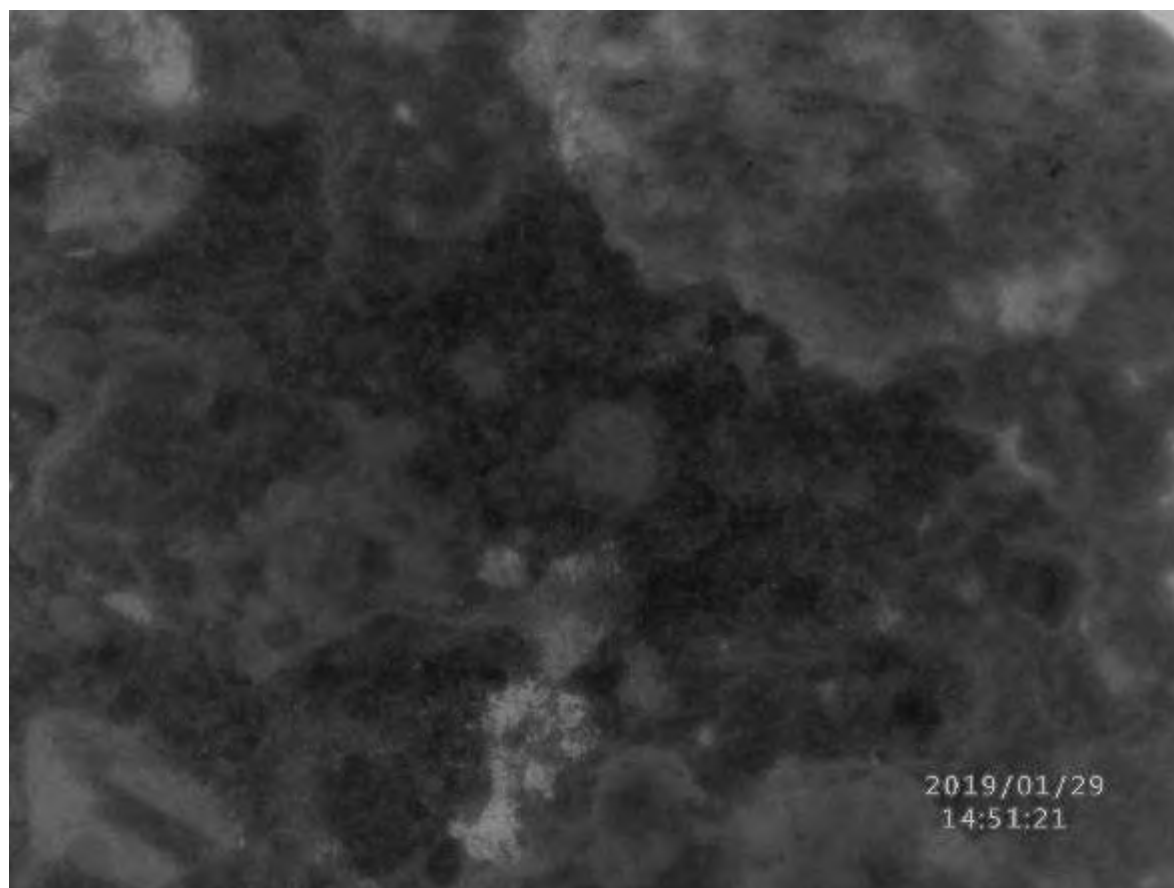


Figura. 4. 727. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-4101218, con un filtro negativo bajo una luz normal.
Fuente: (autoría propia).

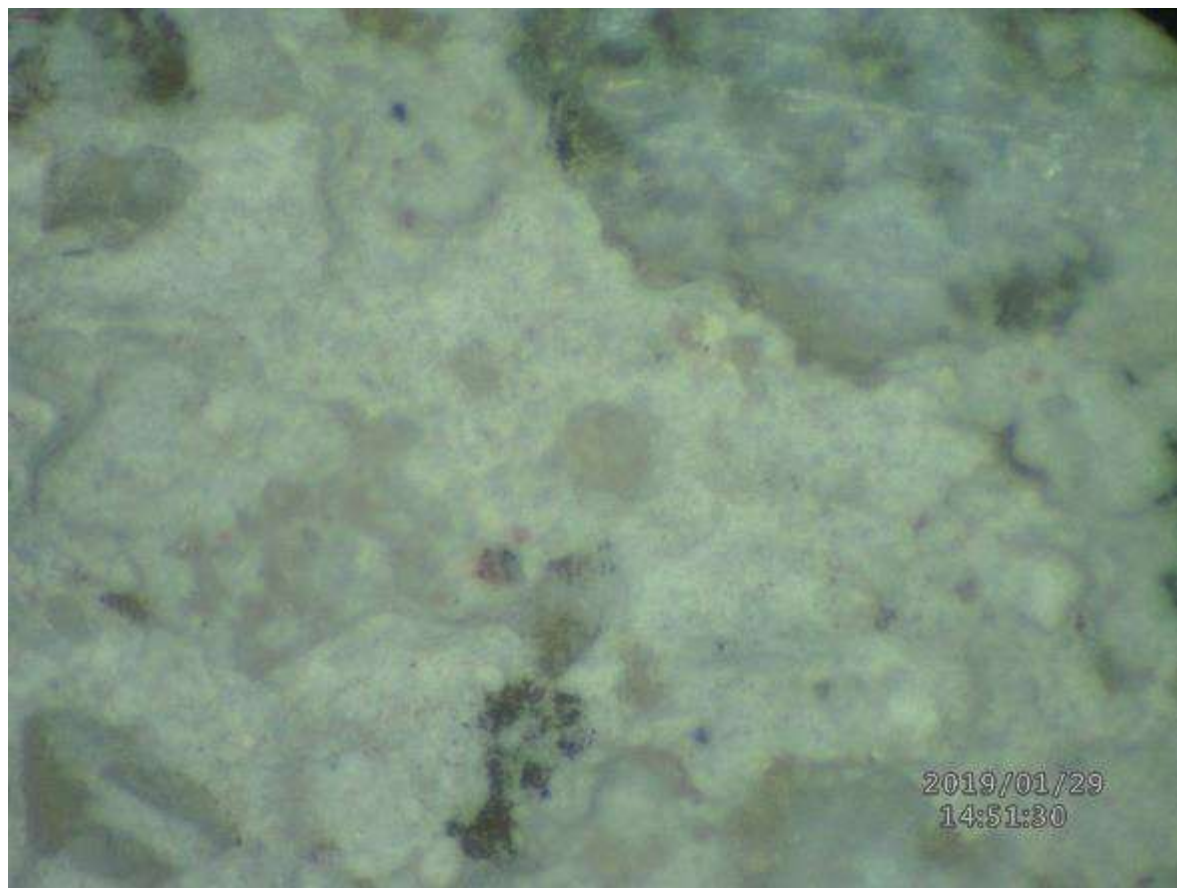
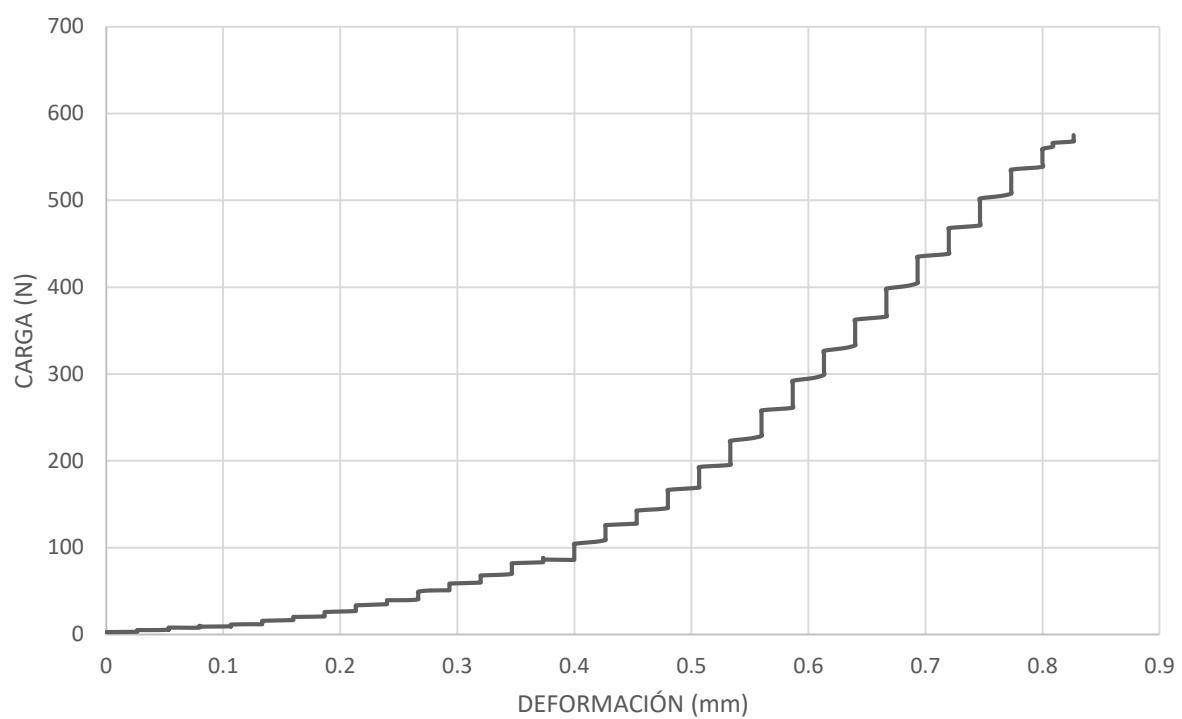


Figura. 4. 728. Microscopia de la C-4101218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

CARGA-DEFORMACIÓN



Gráficas 4. 58. Curva Carga-Deformación de la C-4101218, en N-mm. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 729. Fotografía de la C-4101218, en la prensa. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 730. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-4101218. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 731. Fotografías de la corrida C-5101218. Fuente: (Autoría propia).

De composición 100% CAL ESTANDAR, 275% MARMOLINA Tipo 2, 10% SULFATO DE SODIO y A/C= 1:1 de dimensiones iguales a un diámetro de 21.7mm y longitud de 44.8mm, que presenta poca dureza al ser pulido, con desprendimiento mayormente en la parte inversa de la probeta. (Autoría propia).



Figura. 4. 732. Imágenes de la corrida C-5101218, con presencia de eflorescencias en su parte externa. (autoría propia).

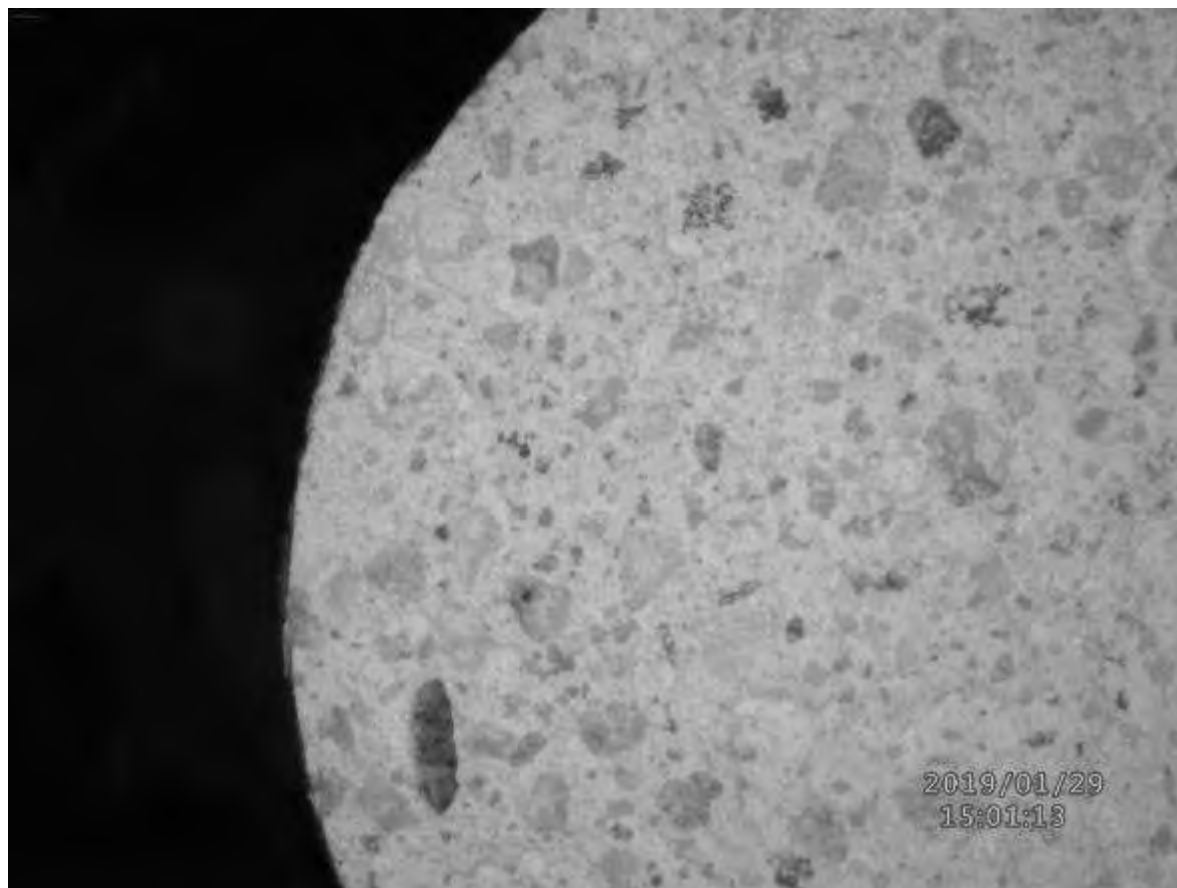


Figura. 4. 733. Microscopia de la C-5101218. Fuente: Autoría propia.

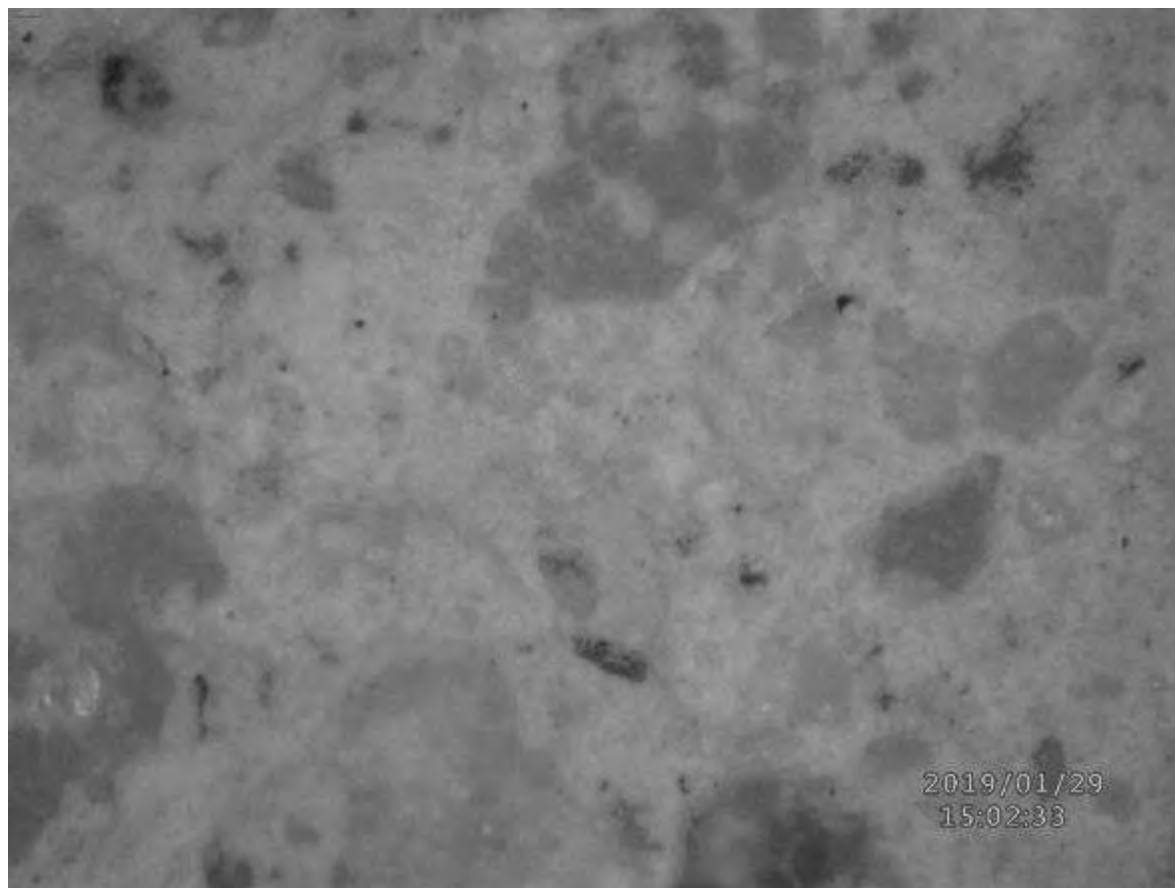


Figura. 4. 734. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-5101218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

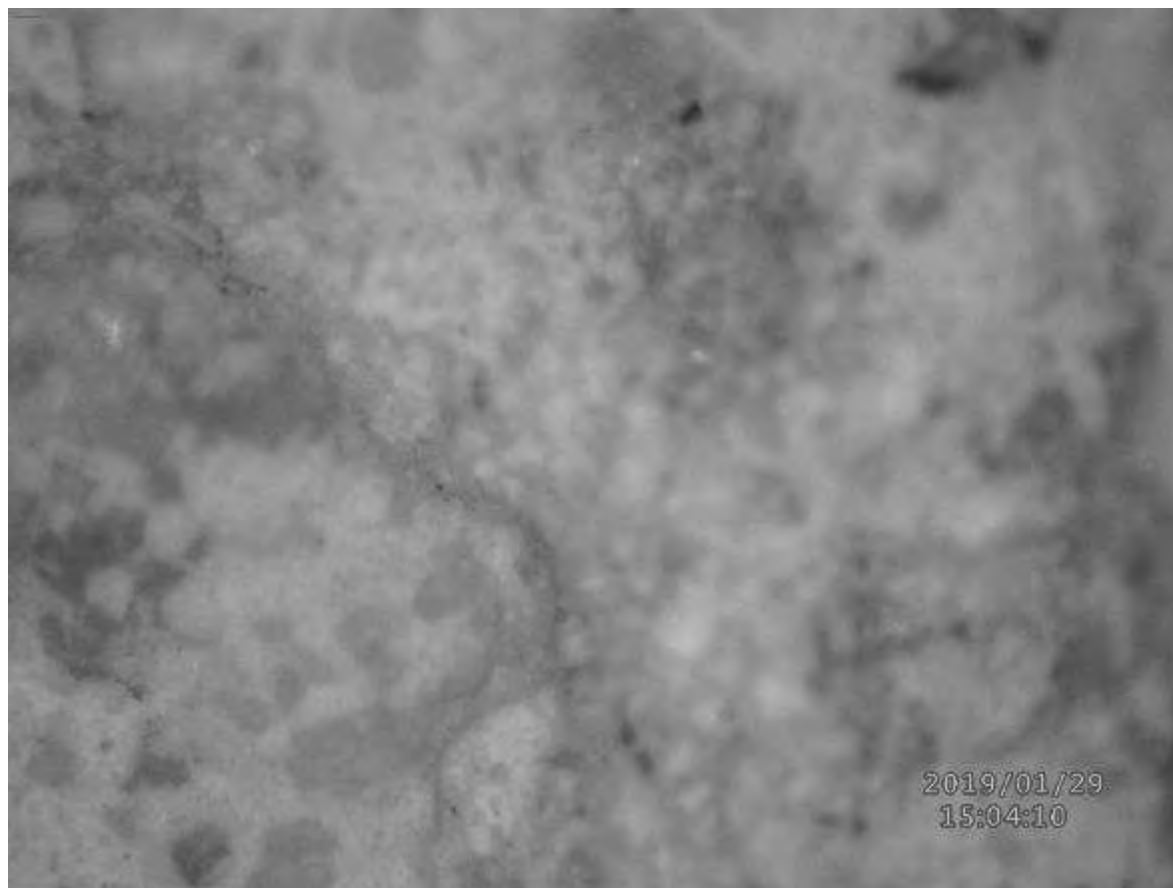


Figura. 4. 735. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-5101218, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

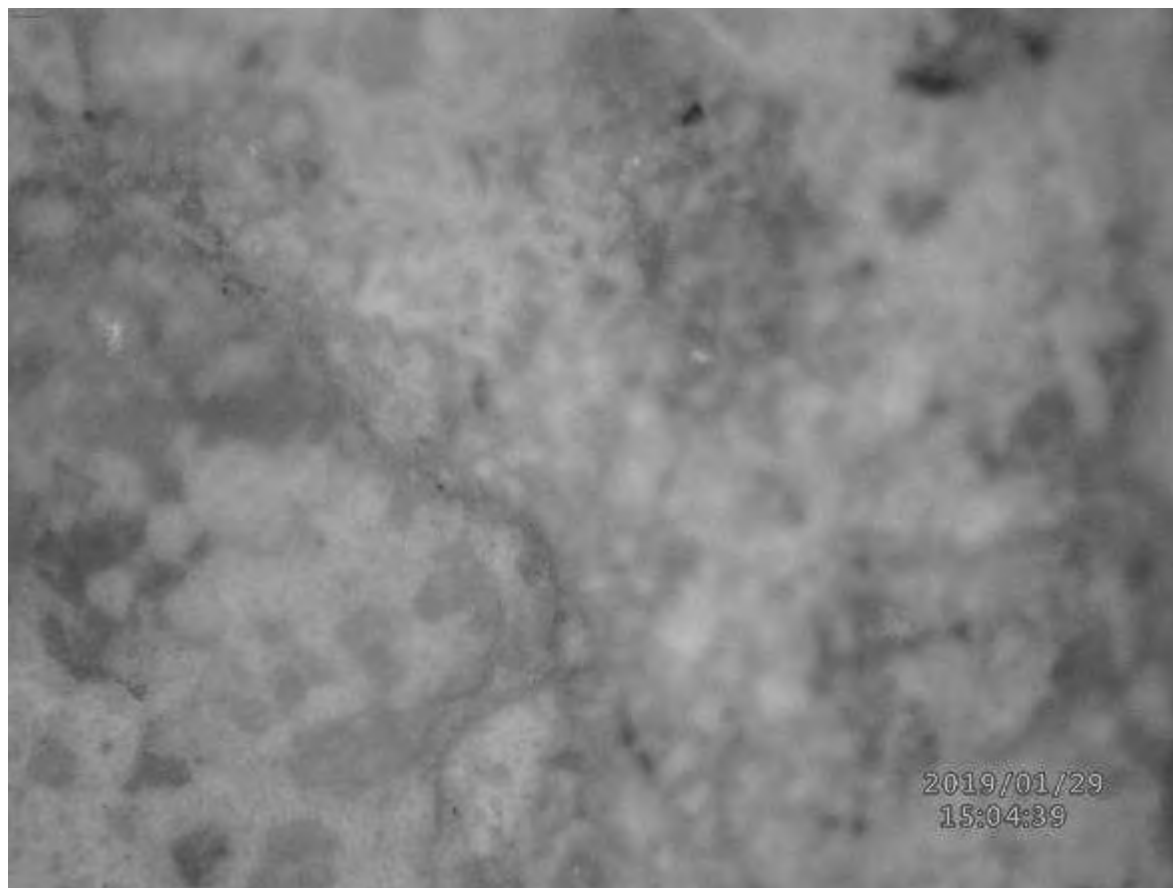


Figura. 4. 736. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-5101218, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

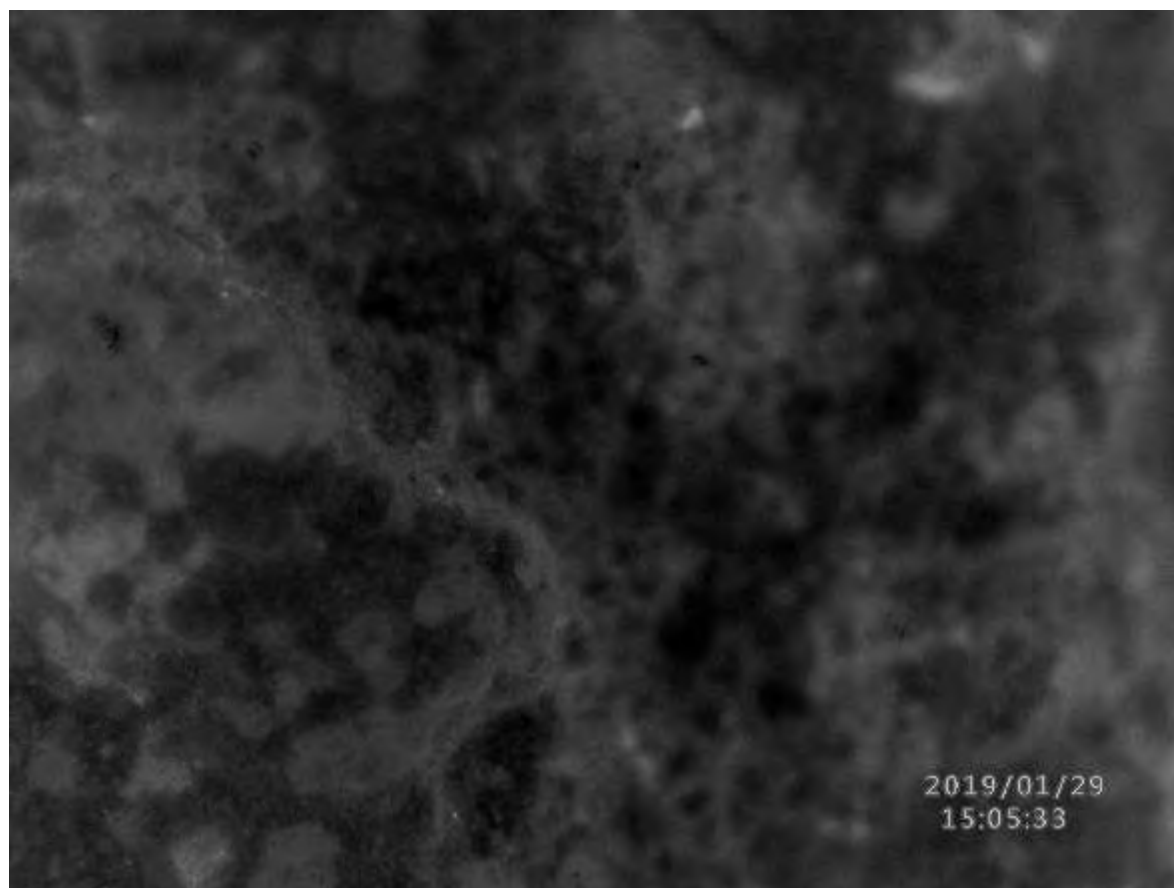


Figura. 4. 737. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-5101218, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

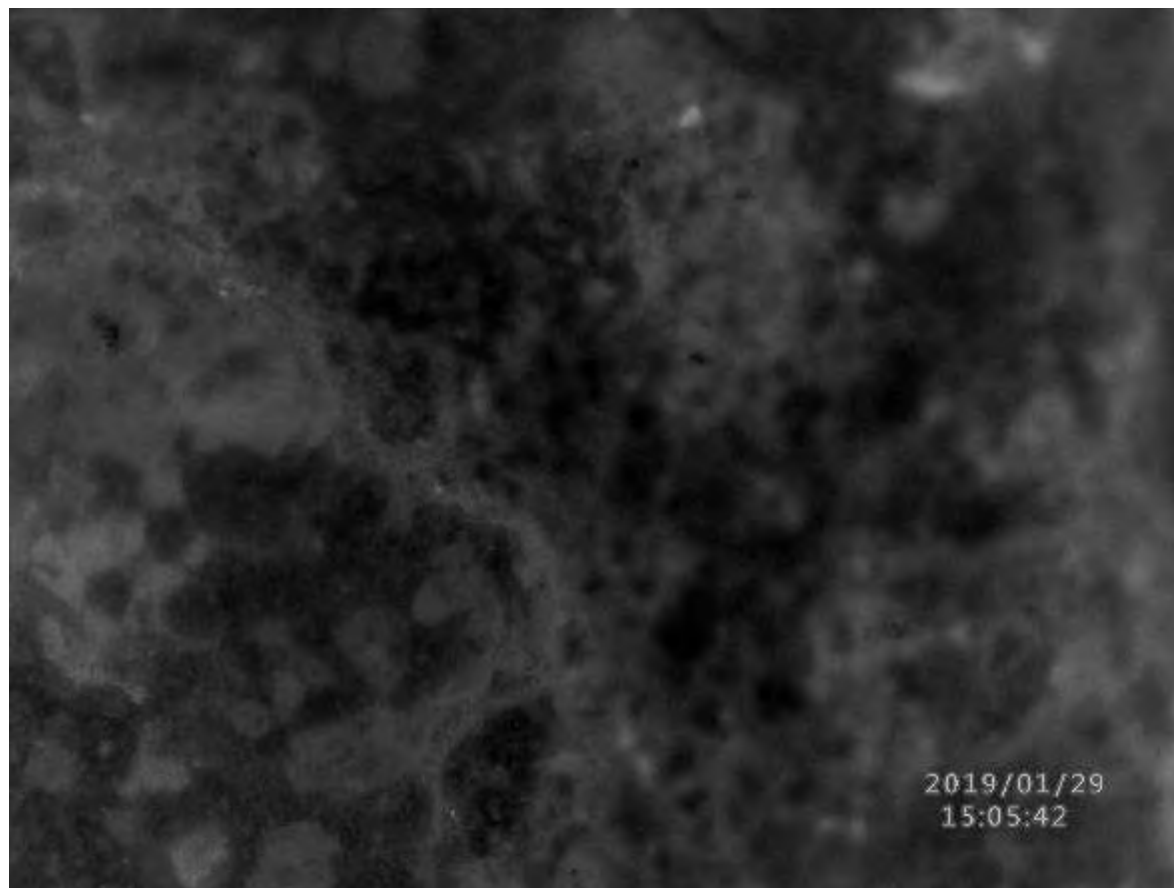


Figura. 4. 738. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-5101218, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

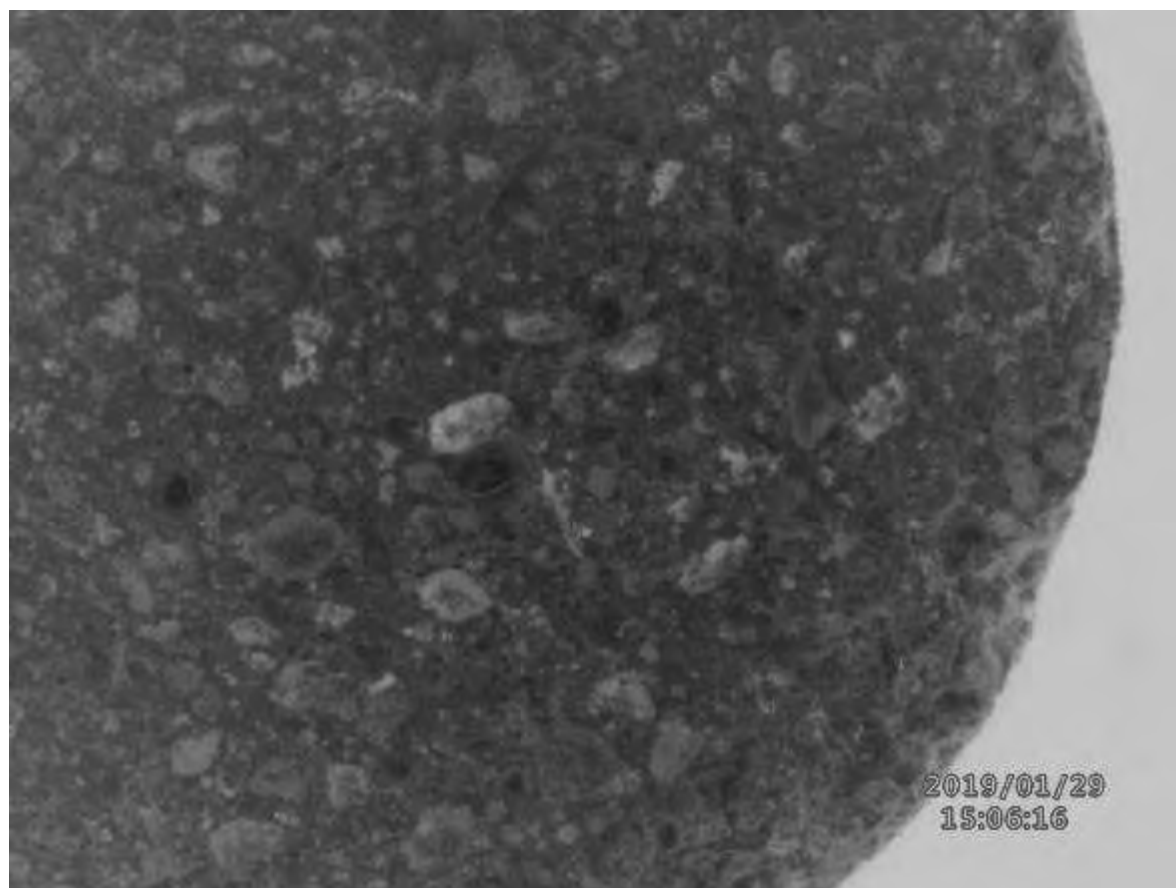


Figura. 4. 739. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-5101218, con un filtro negativo bajo una luz normal.
Fuente: (autoría propia).

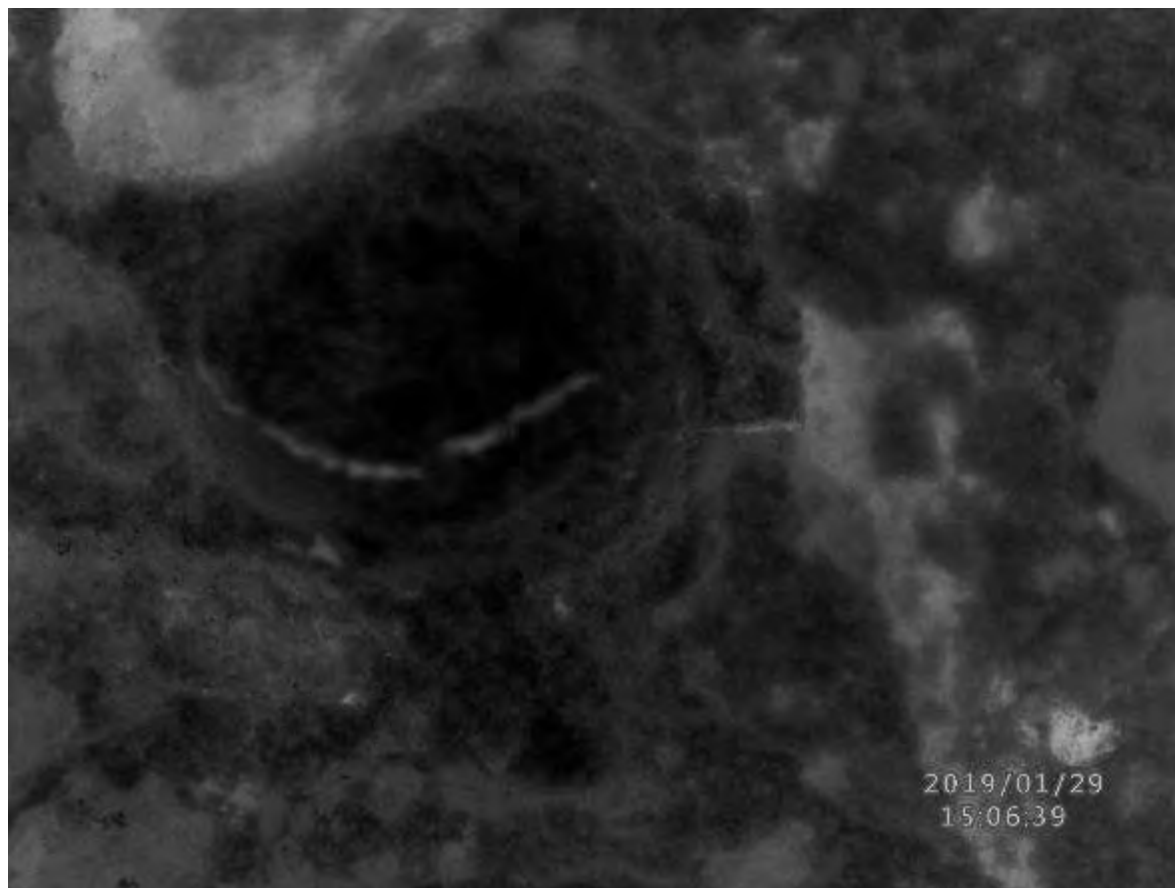


Figura. 4. 740. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-5101218, con un filtro negativo bajo una luz normal.
Fuente: (autoría propia).

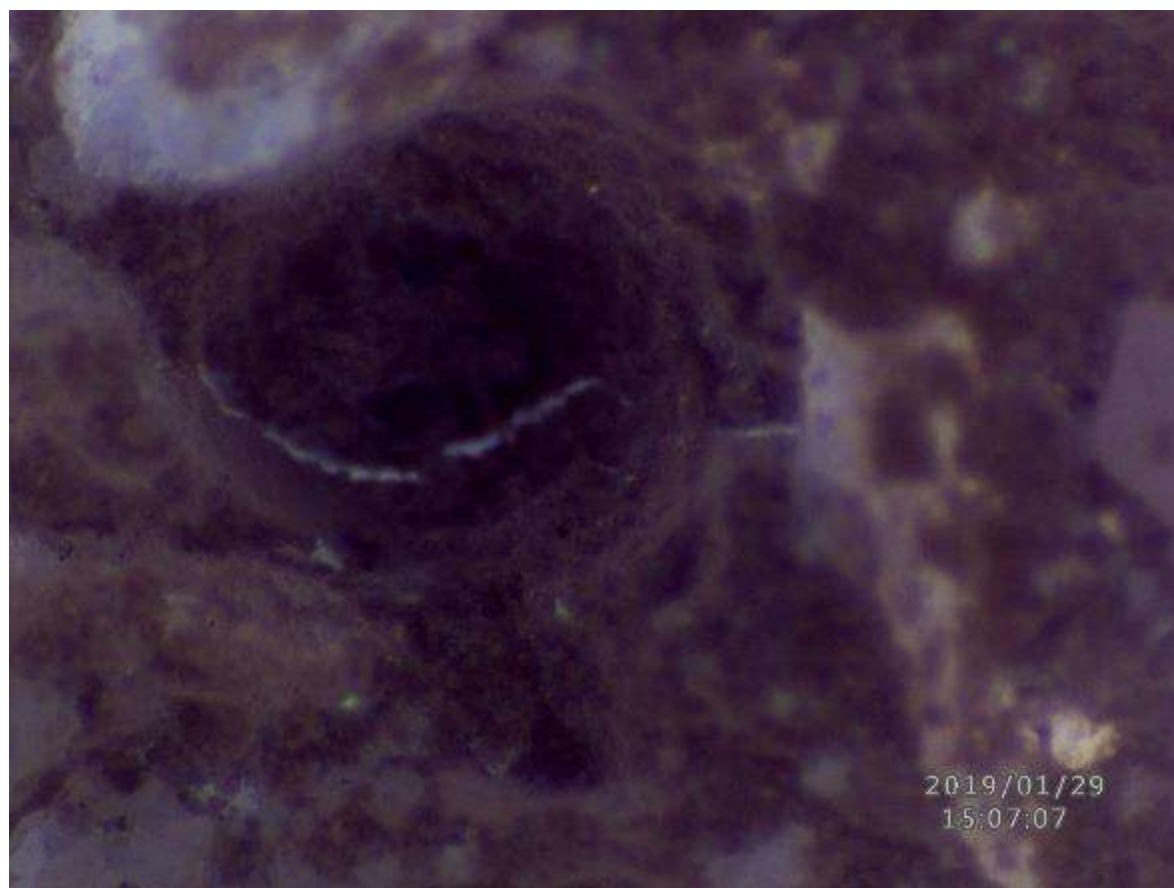


Figura. 4. 741. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-5101218, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 742. Microscopia de la C-5101218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

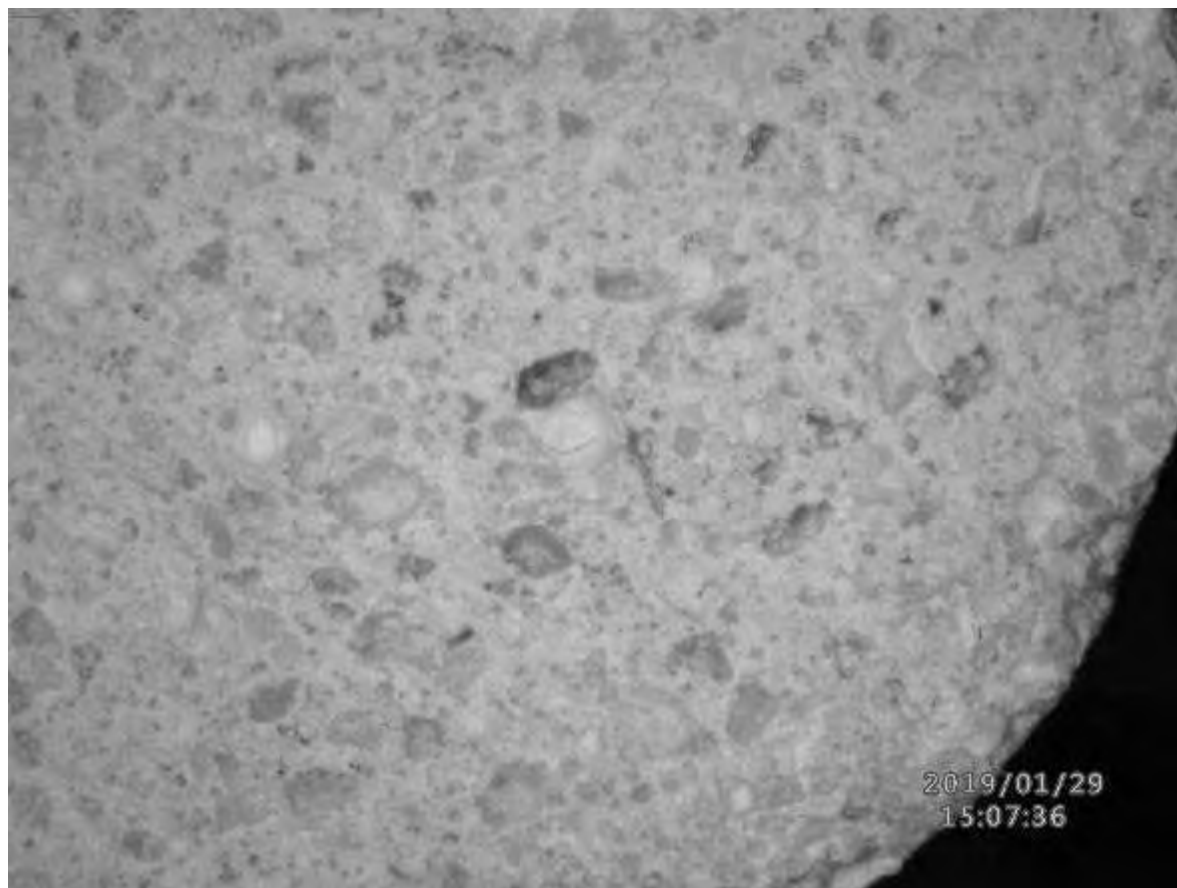
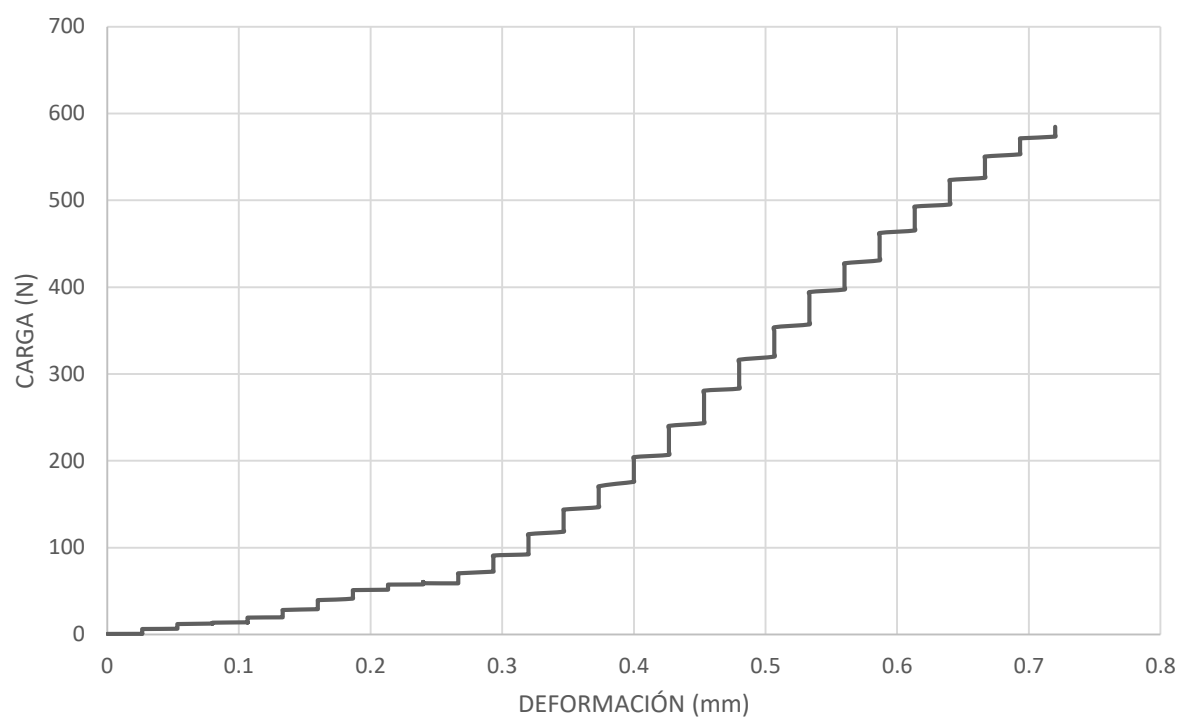


Figura. 4. 743. Microscopia de la C-5101218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

CARGA-DEFORMACIÓN



Gráficas 4. 59. Curva Carga-Deformación de la C-5101218, en N-mm. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 744. Fotografía de la C-5101218, en la prensa. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 745. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-5101218. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 746. Fotografías de la corrida C-1131218. Fuente: (Autoría propia).

De composición 100% CAL ESTANDAR, 275% MARMOLINA Tipo 2, 5% CARBONATO DE SODIO, 10% HARINA DE ARRÓZ y A/C= 1.1:1 (calentada hasta el punto de ebullición y agregada a la mezcla, previamente integrados todos los materiales), de dimensiones iguales a un diámetro de 23.2mm y longitud de 45.2mm, que presenta ALTA dureza al ser pulido. (Autoría propia).

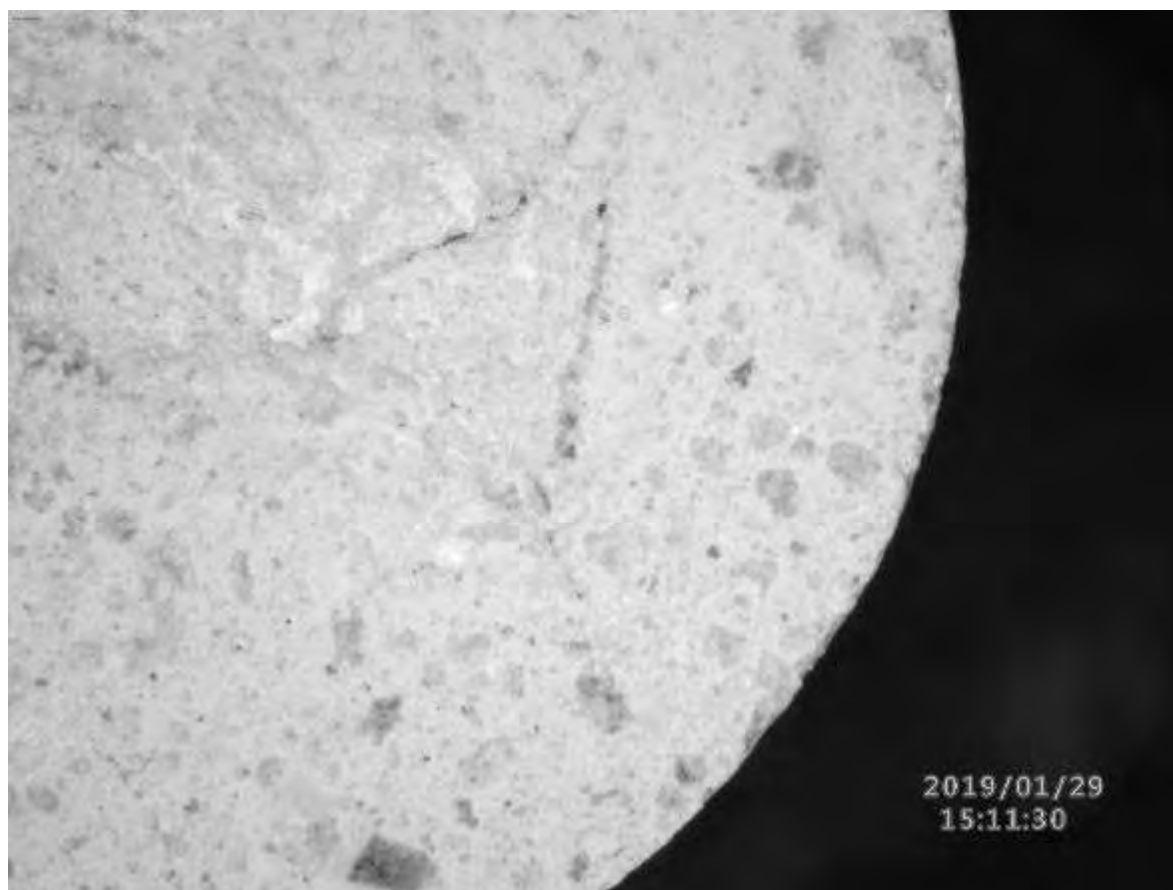


Figura. 4. 747. Microscopia de la C-1131218. Fuente: Autoría propia.

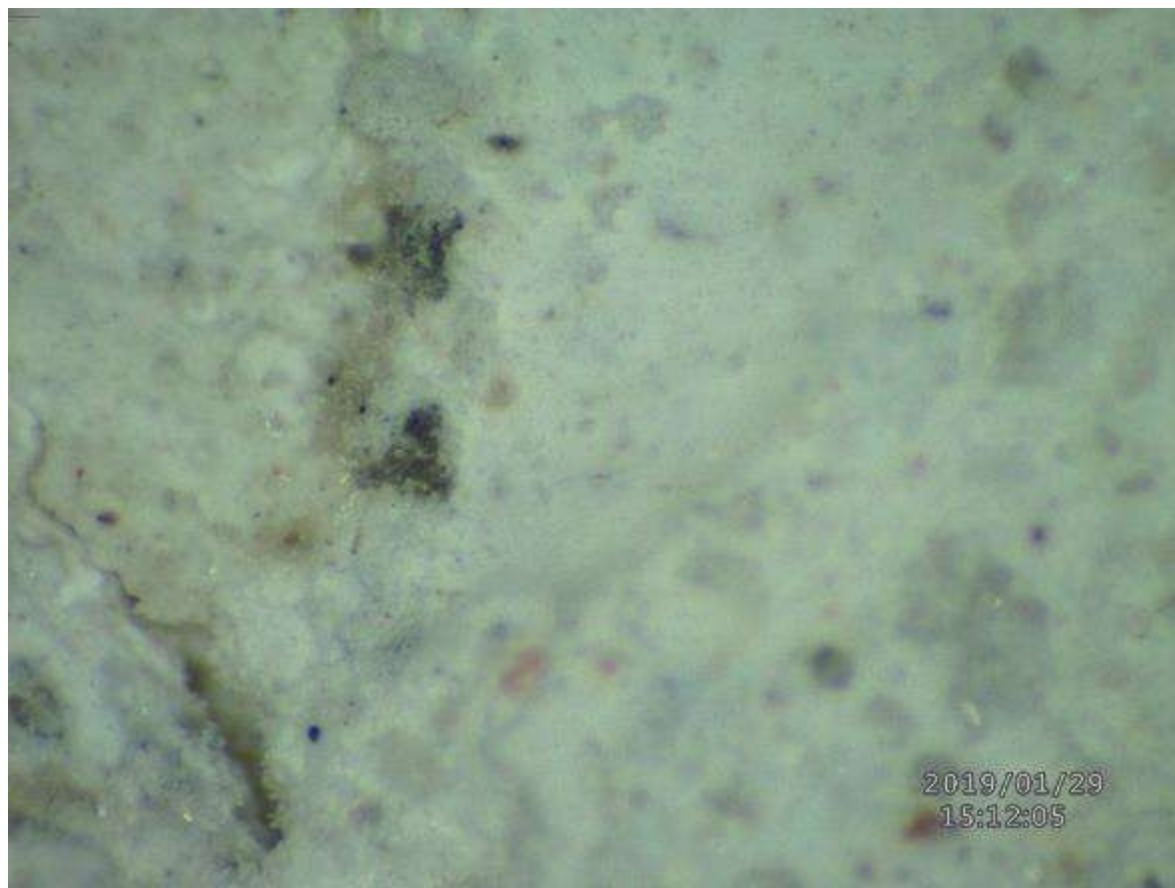


Figura. 4. 748. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1131218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

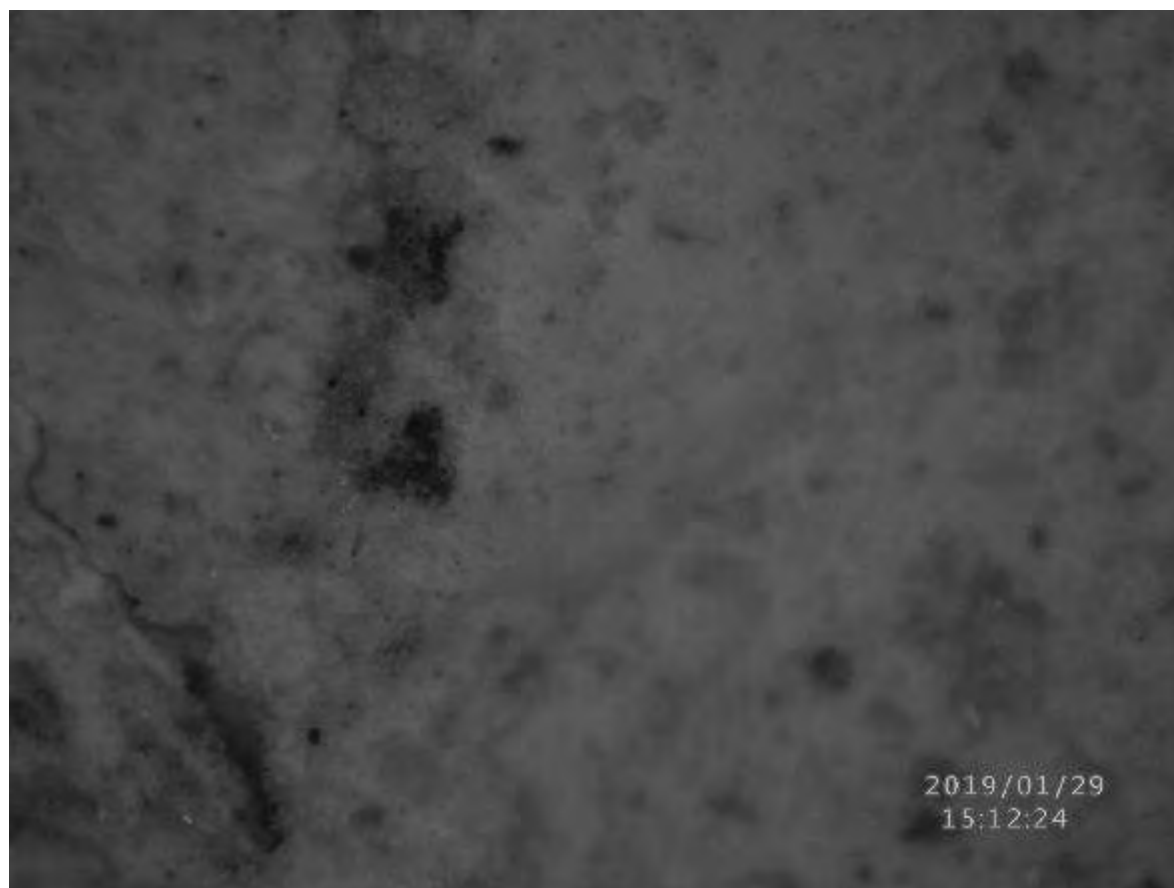


Figura. 4. 749. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1131218, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

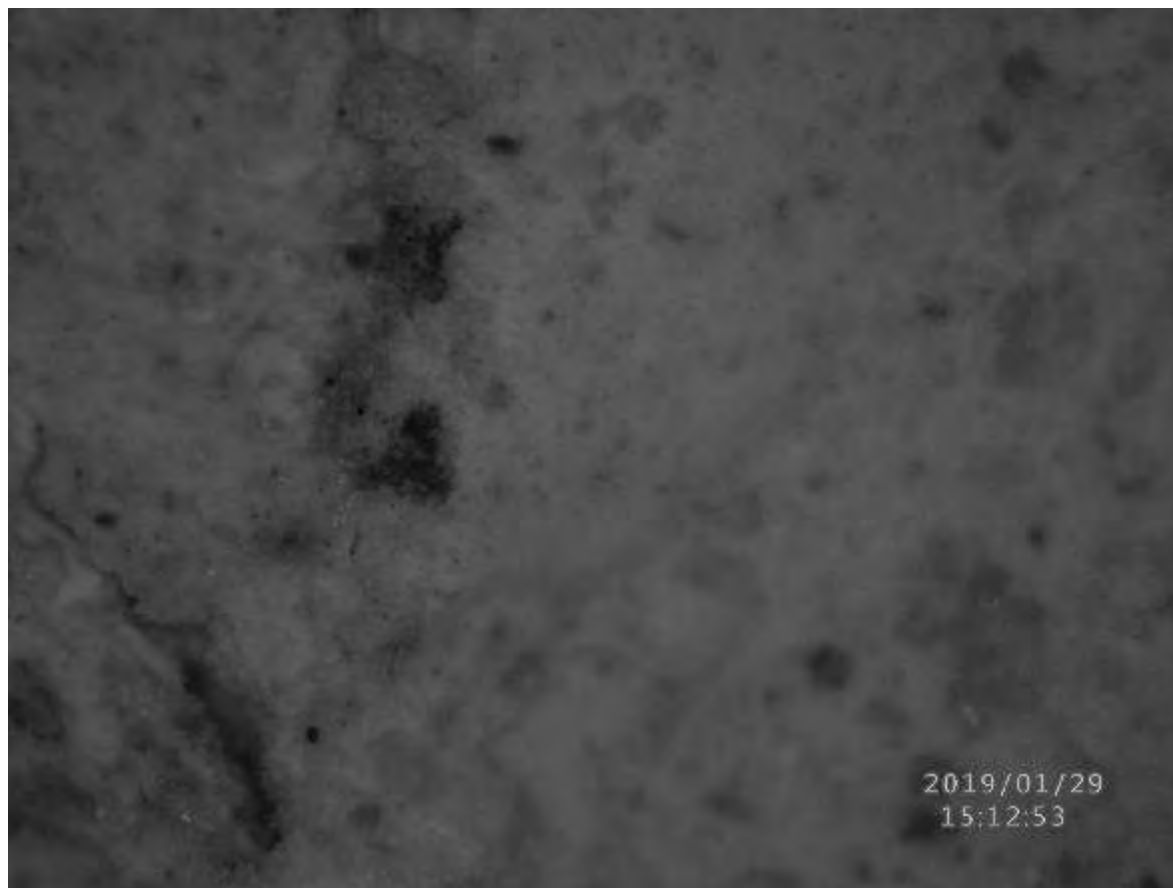


Figura. 4. 750. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1131218, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

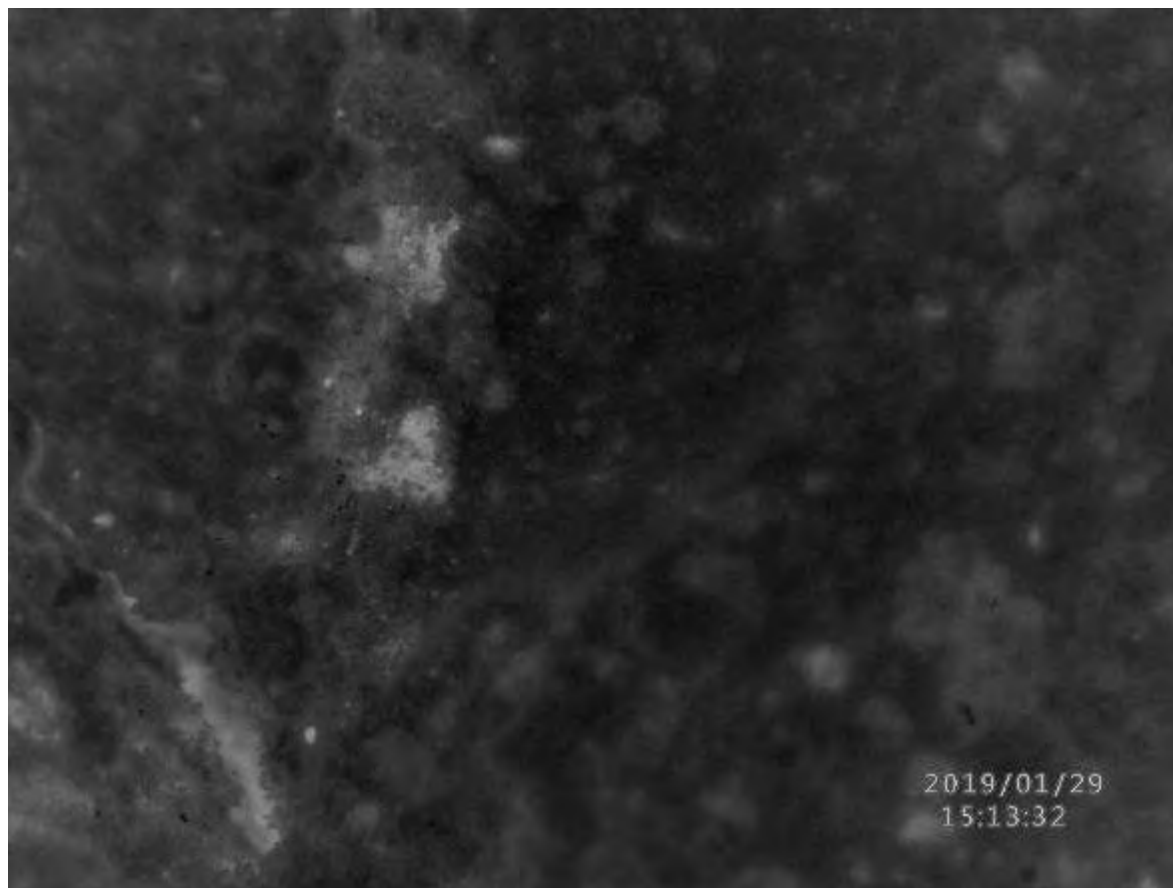


Figura. 4. 751. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1131218, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

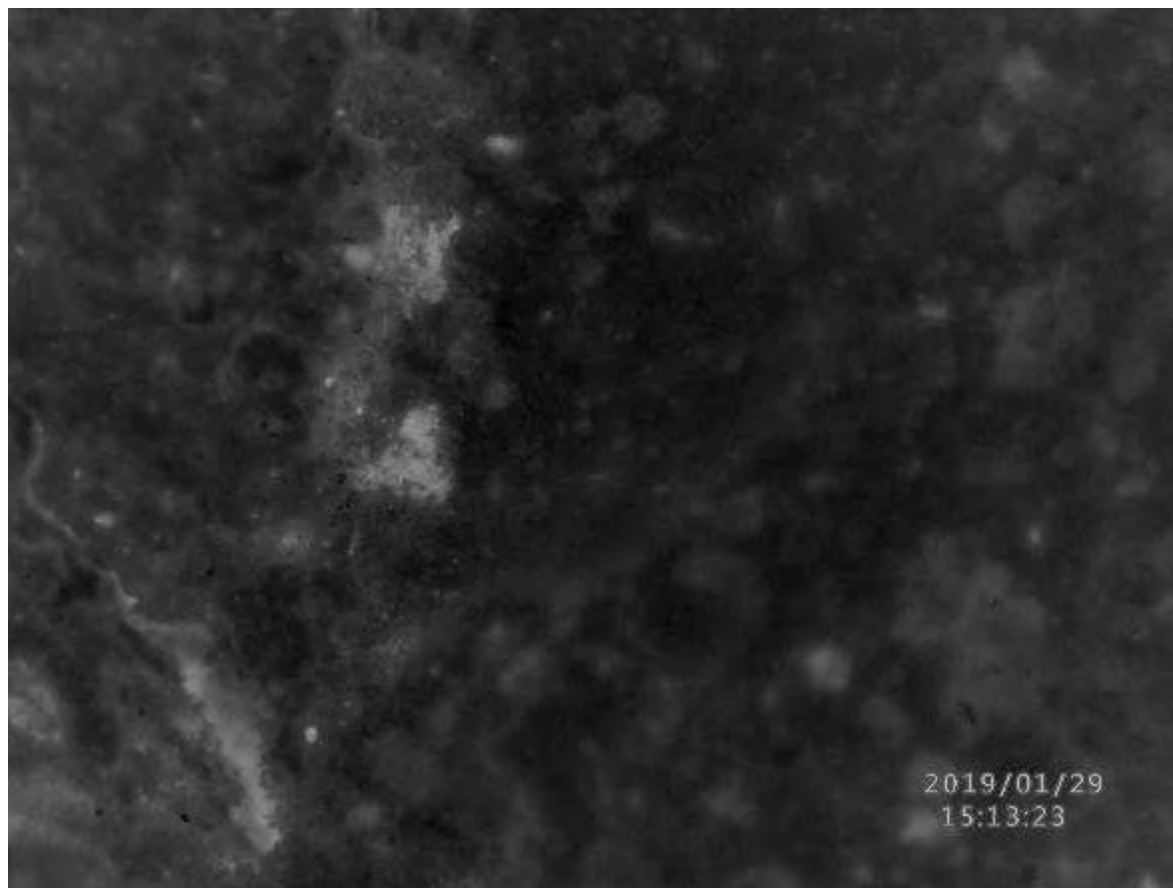


Figura. 4. 752. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1131218, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

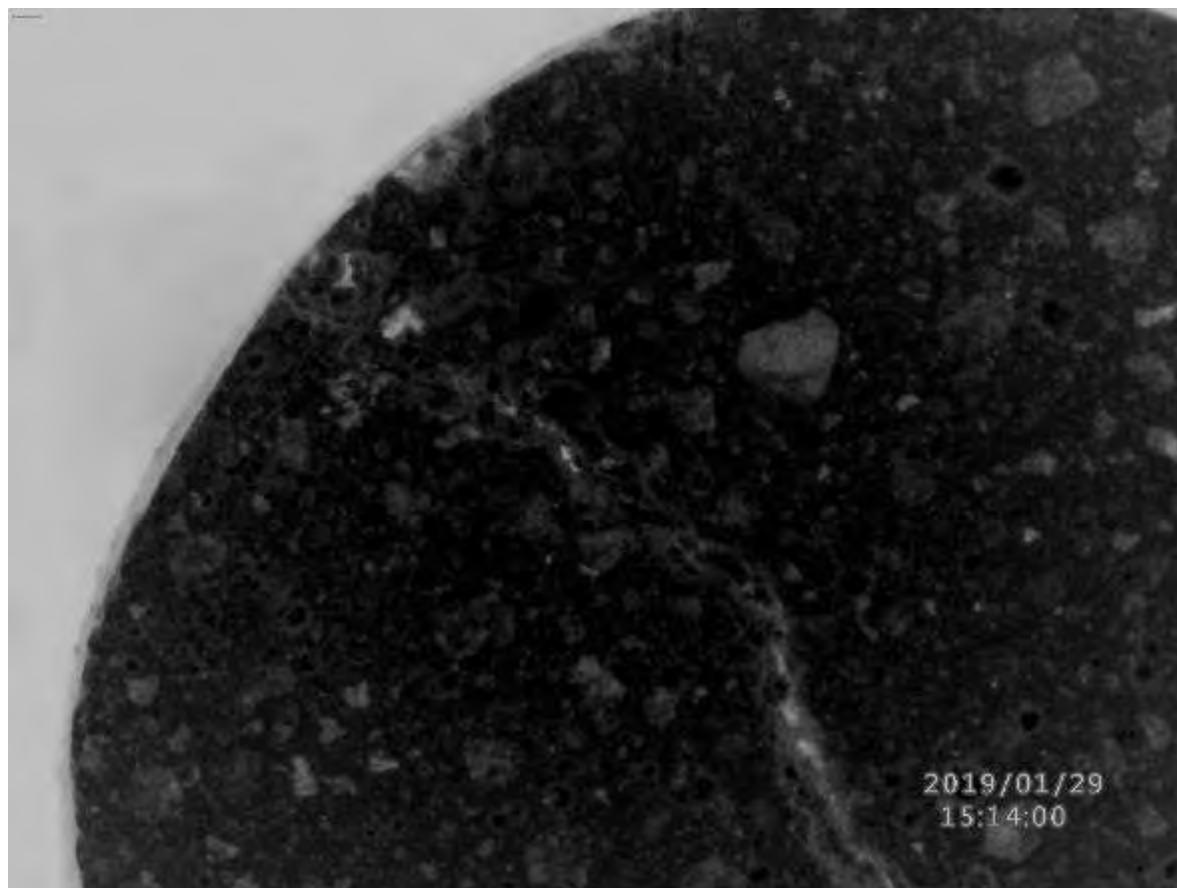


Figura. 4. 753. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1131218, con un filtro negativo bajo una luz normal.
Fuente: (autoría propia).

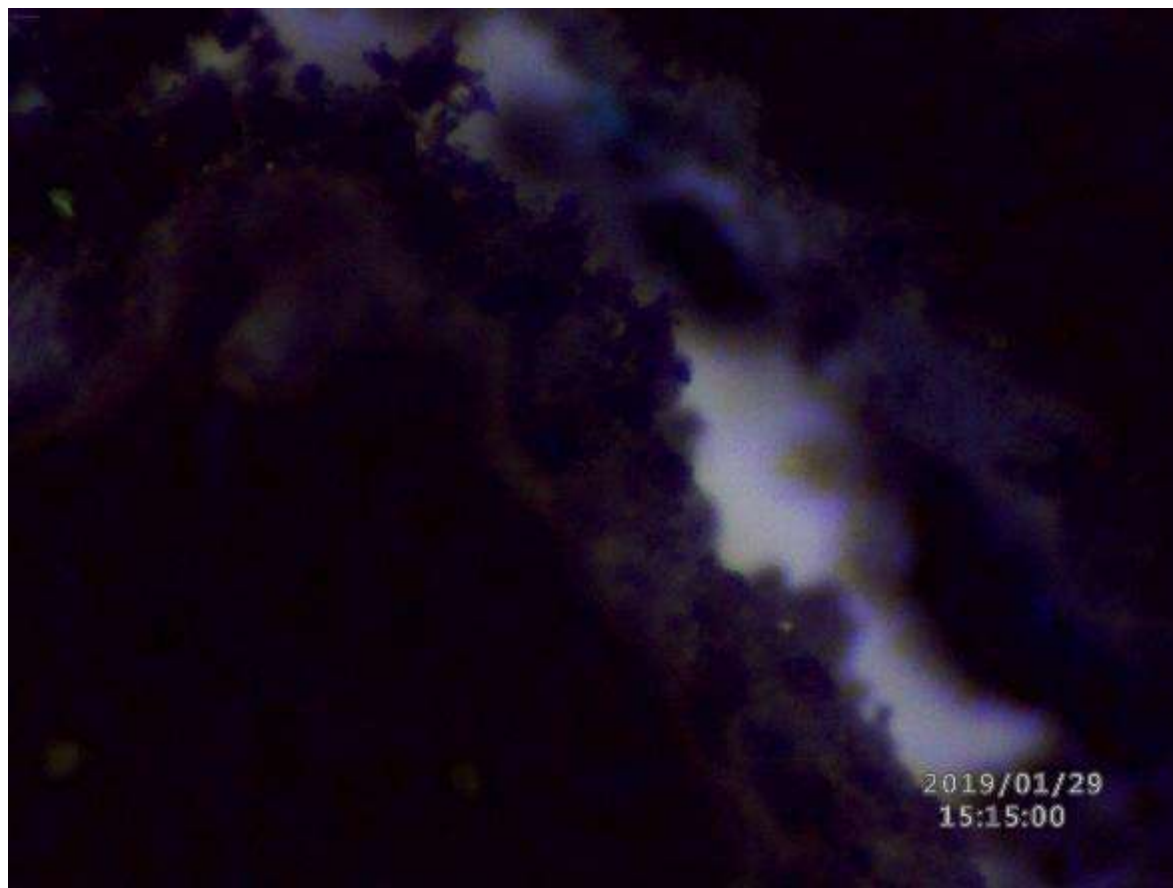


Figura. 4. 754. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1131218, con un filtro negativo bajo una luz normal.
Fuente: (autoría propia).

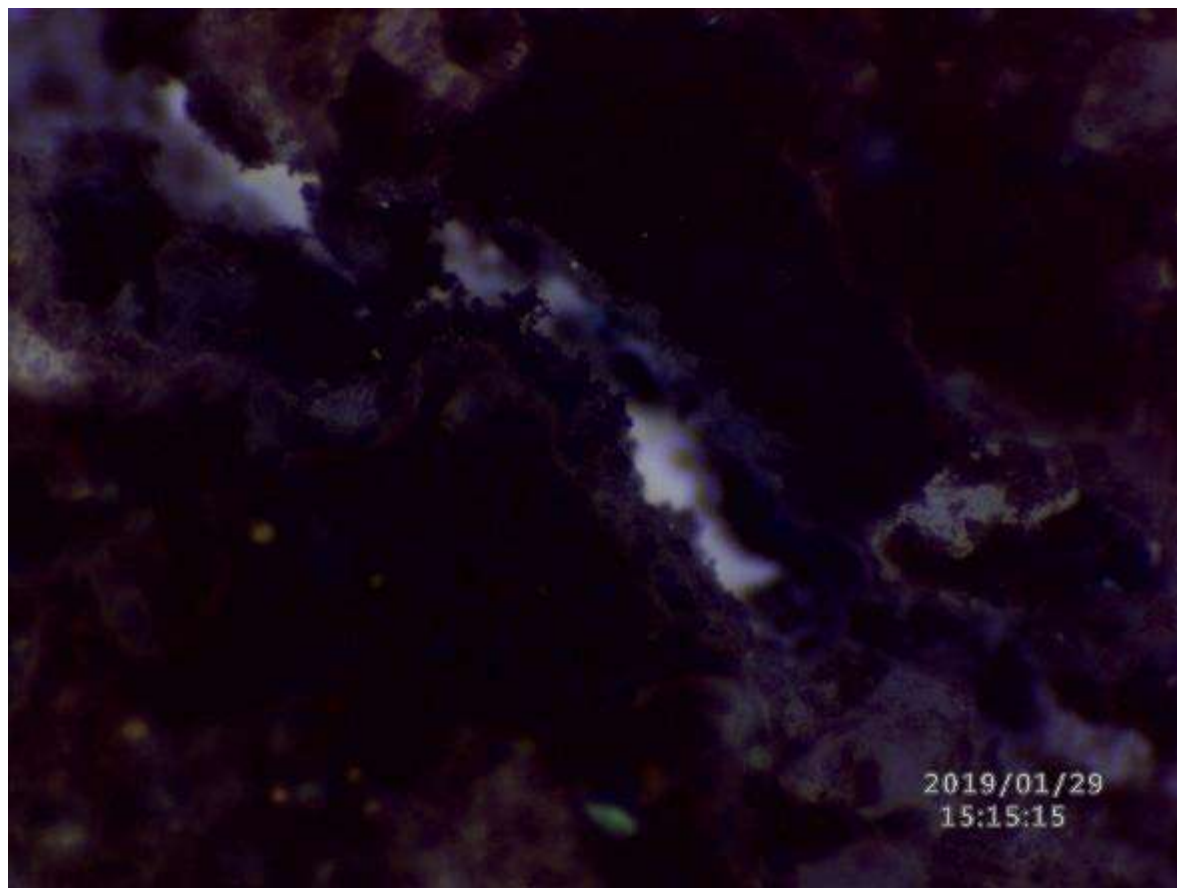


Figura. 4. 755. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1131218, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

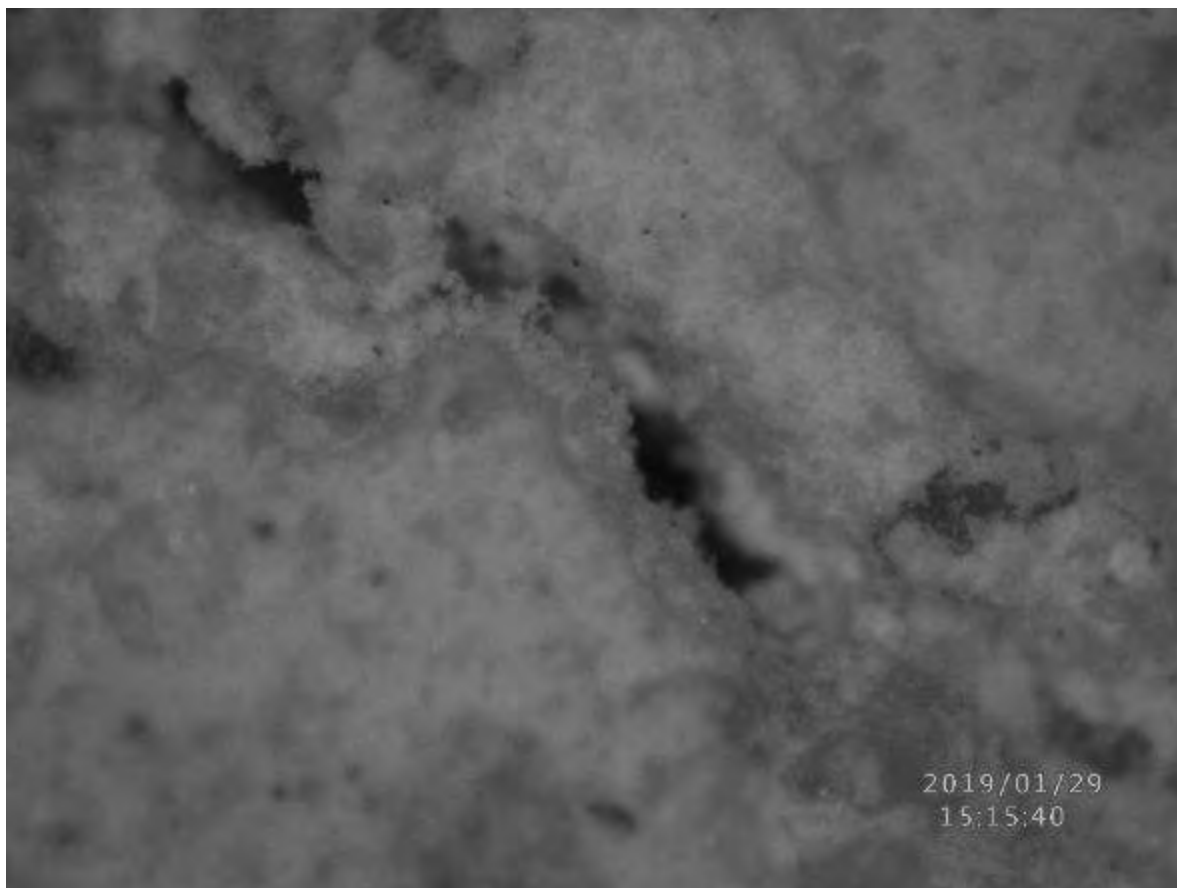


Figura. 4. 756. Microscopia de la C-1131218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

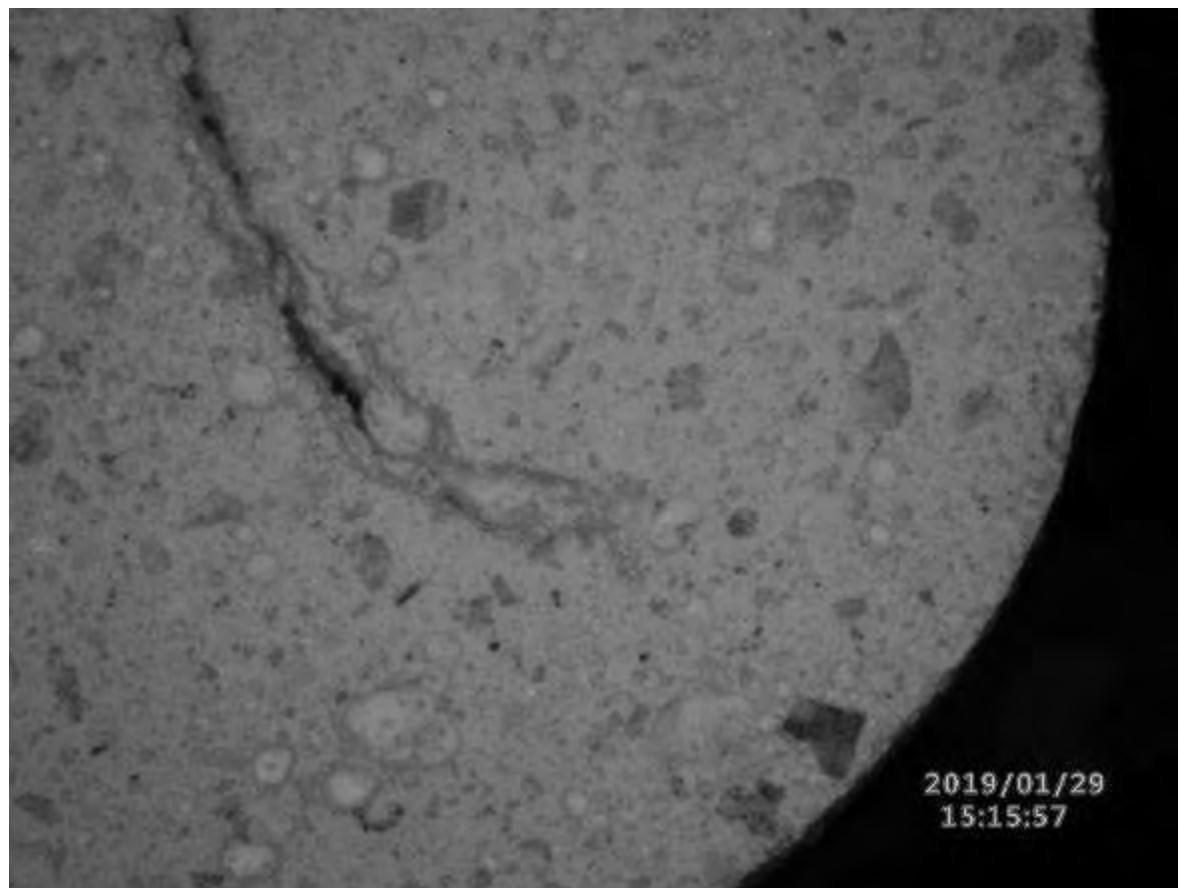
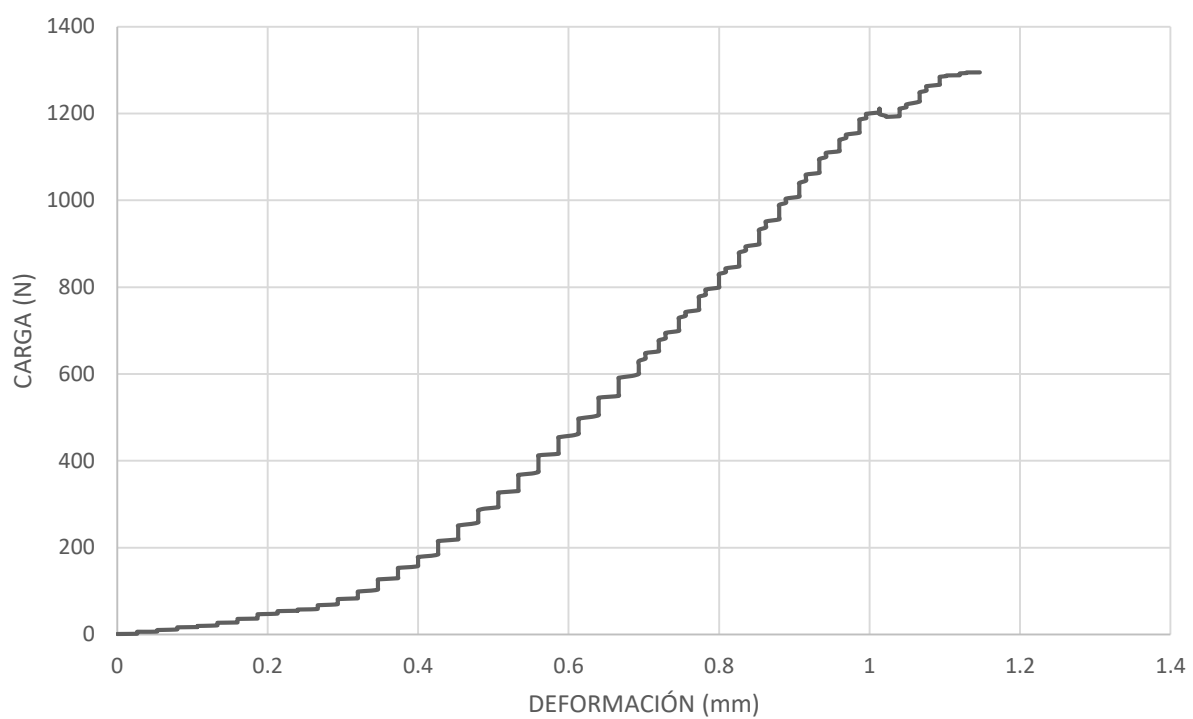


Figura. 4. 757. Microscopia de la C-1131218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

CARGA-DEFORMACIÓN



Gráficas 4. 60. Curva Carga-Deformación de la C-1131218, en N-mm. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 758. Fotografía de la C-1131218, en la prensa. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 759. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-1131218. Fuente: (autoría propia).

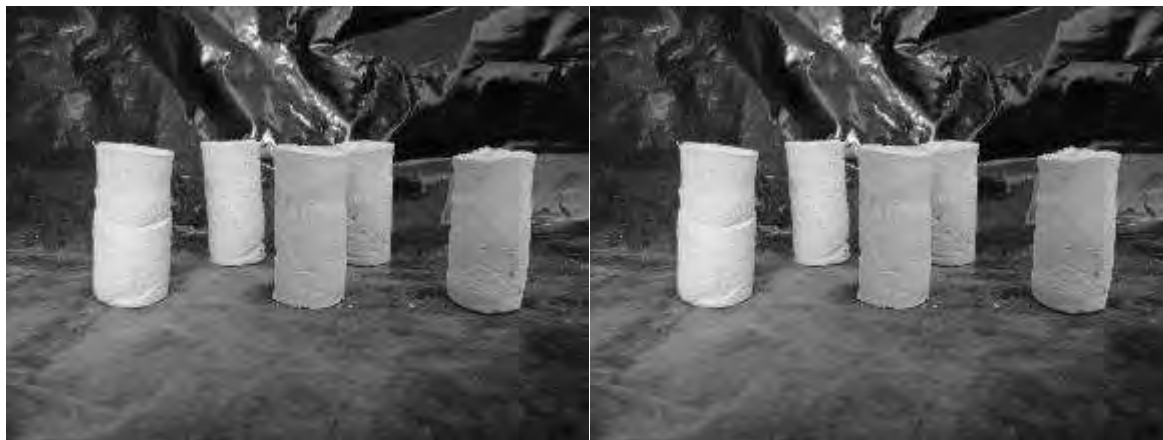


Figura. 4. 760. Fotografías de la corrida C-2131218. Fuente: (Autoría propia).

De composición 100% CAL ESTANDAR, 275% MARMOLINA Tipo 2, 10% CARBONATO DE SODIO, 10% HARINA DE ARRÓZ y A/C= 1.1:1 (calentada hasta el punto de ebullición y agregada a la mezcla, previamente integrados todos los materiales), de dimensiones iguales a un diámetro de 23.1mm y longitud de 45.2mm, que presenta alta DUREZA al ser pulido. (Autoría propia).

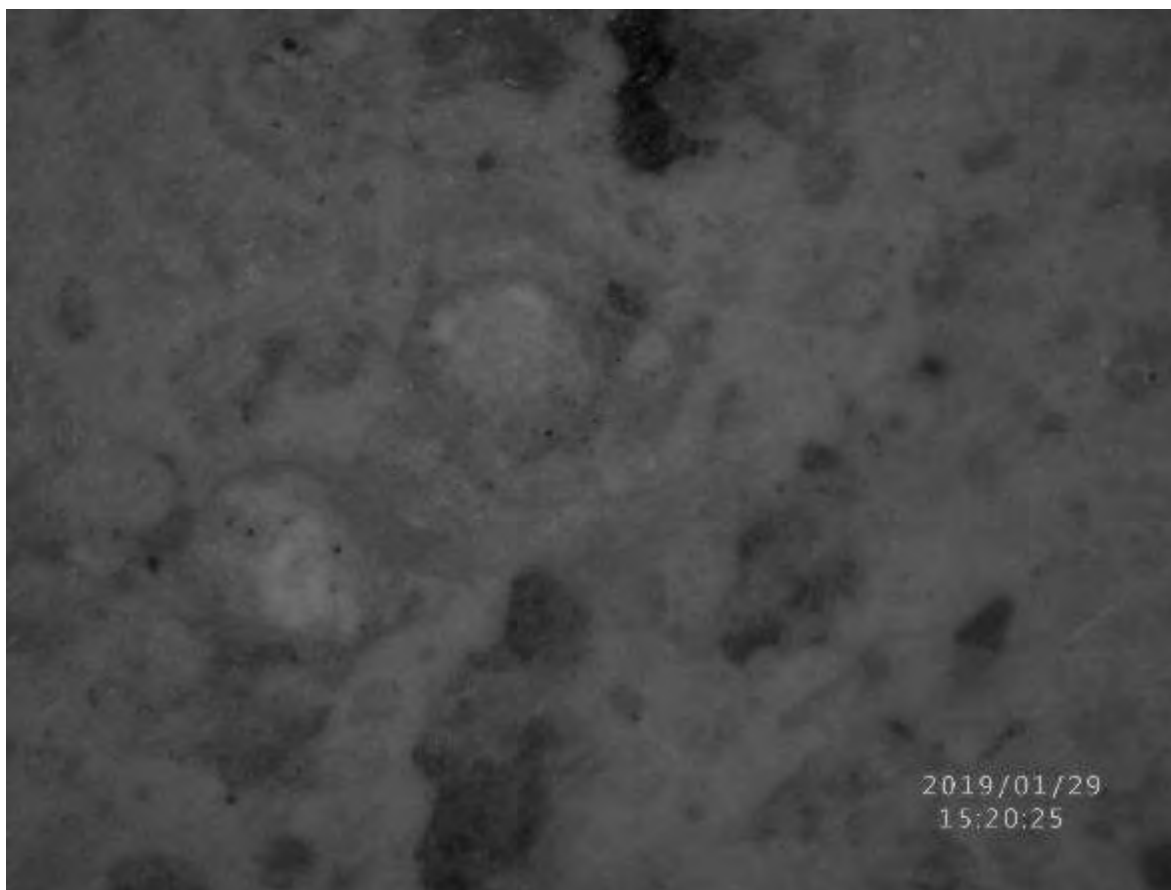


Figura. 4. 761. Microscopia de la C-2131218. Fuente: Autoría propia.

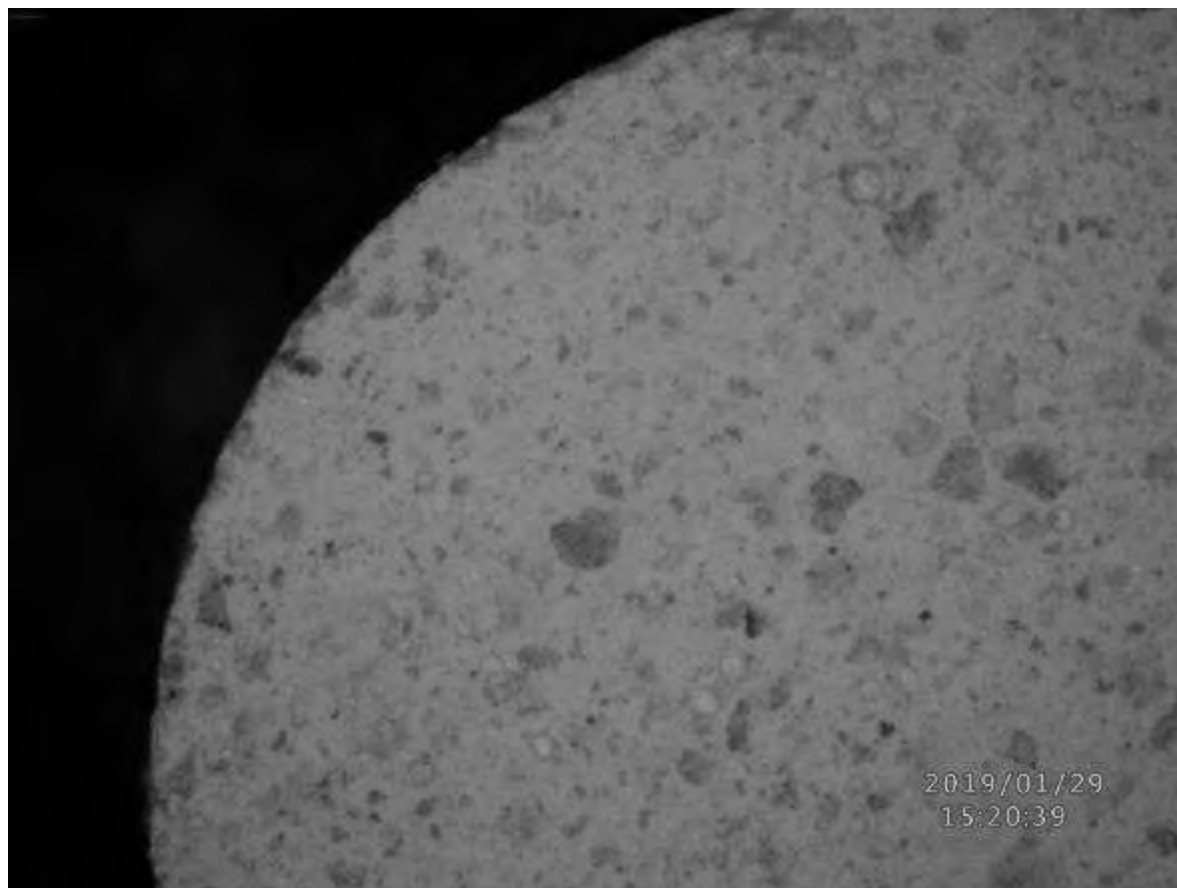


Figura. 4. 762. Microscopia aumentada de la C-2131218, sin filtros (autoría propia).

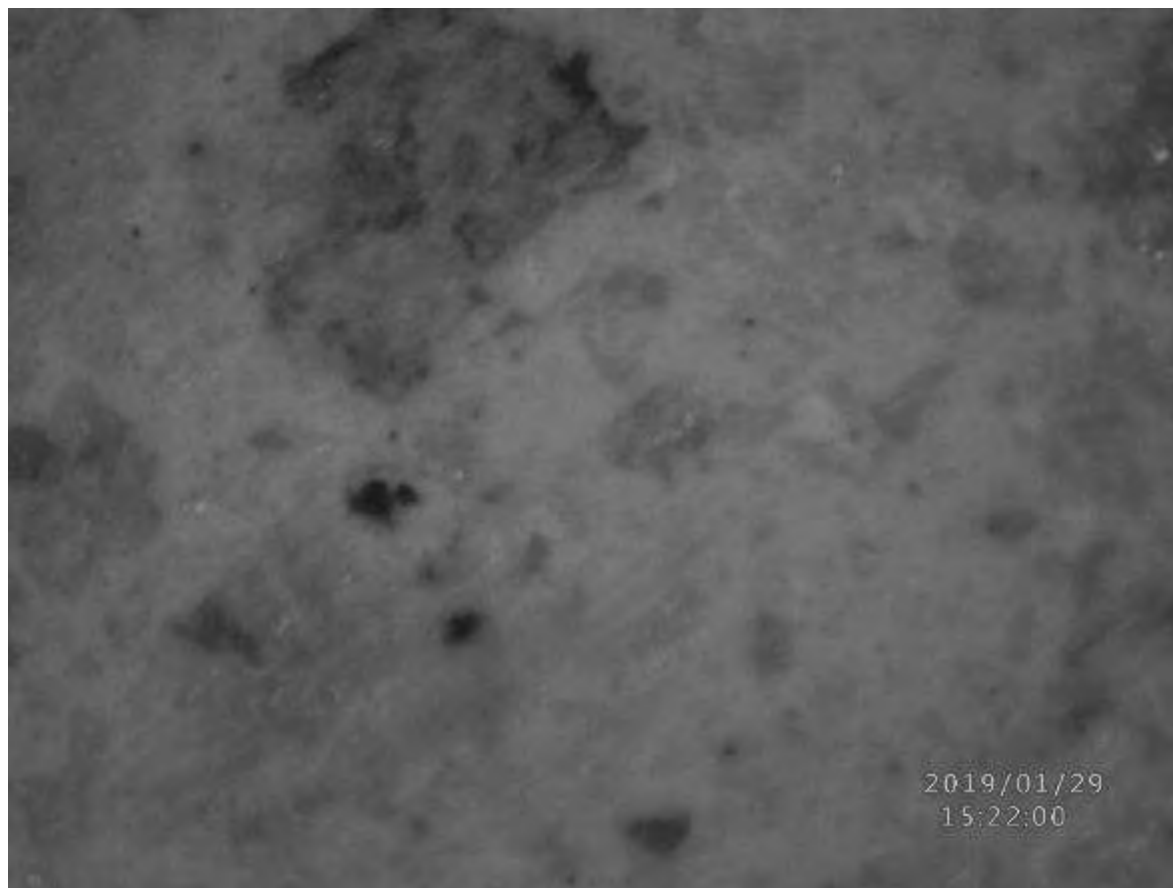


Figura. 4. 763. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2131218, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

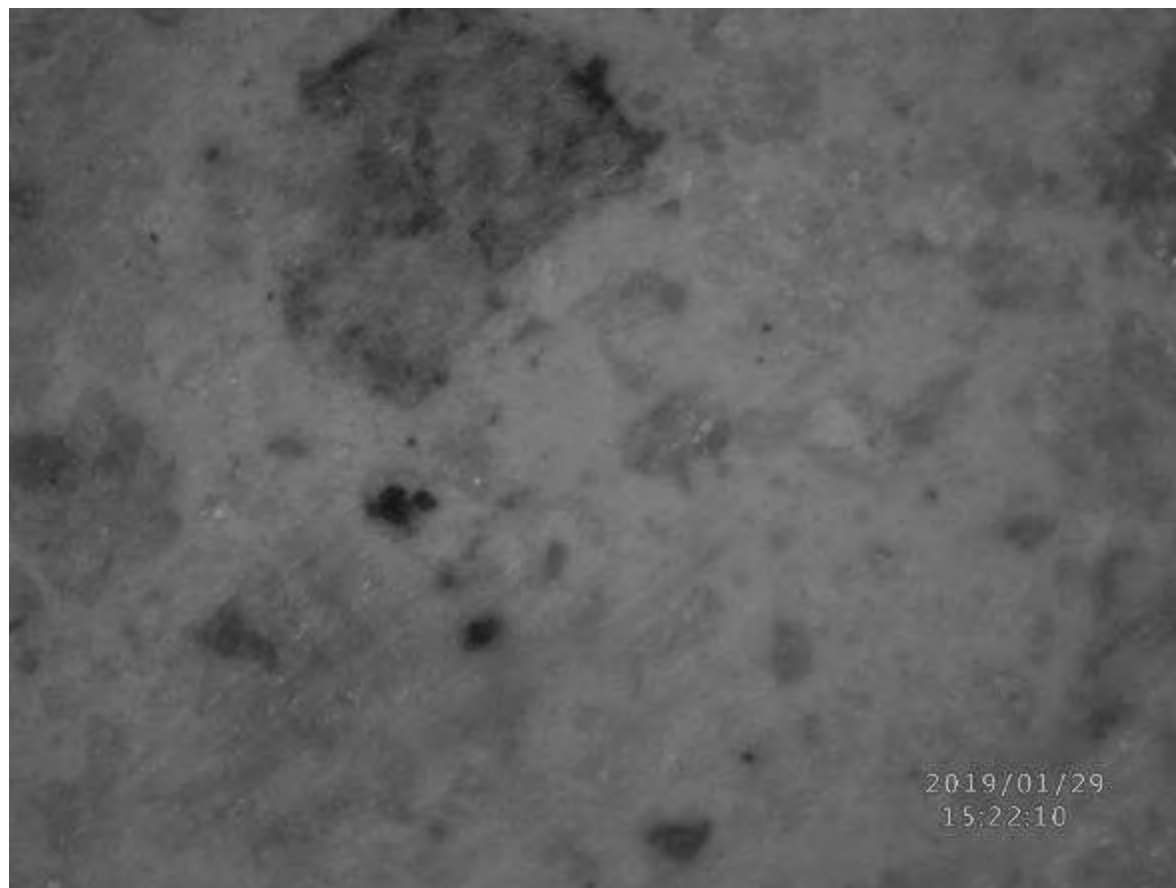


Figura. 4. 764. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2131218, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

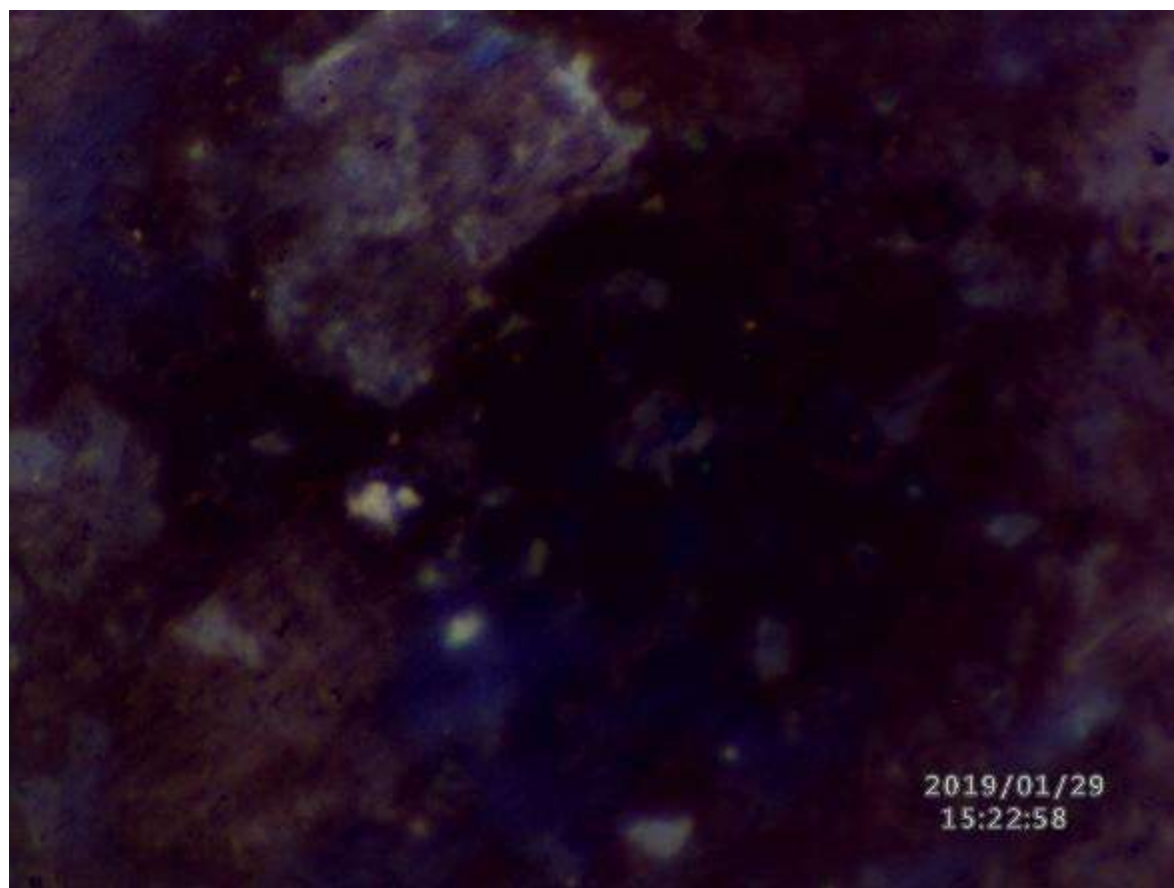


Figura. 4. 765. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2131218, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

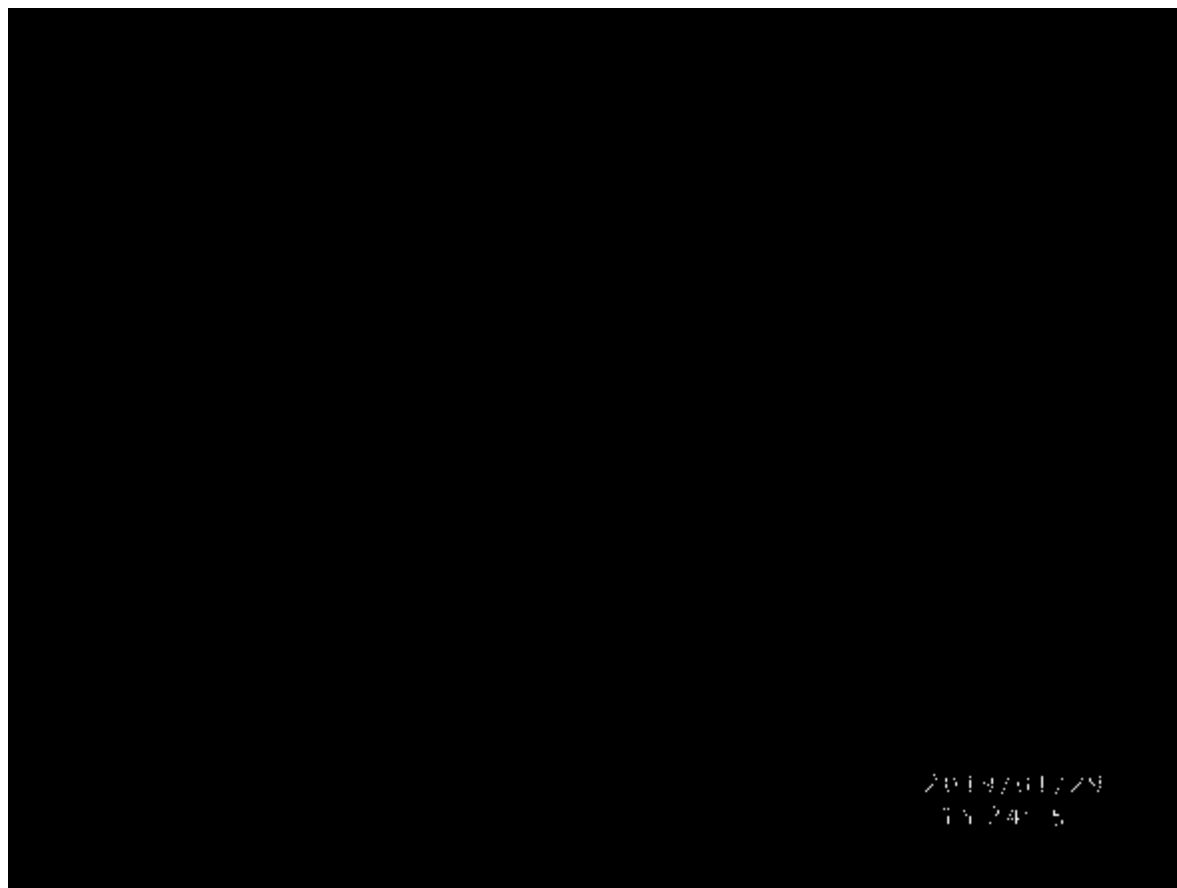


Figura. 4. 766. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2131218, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

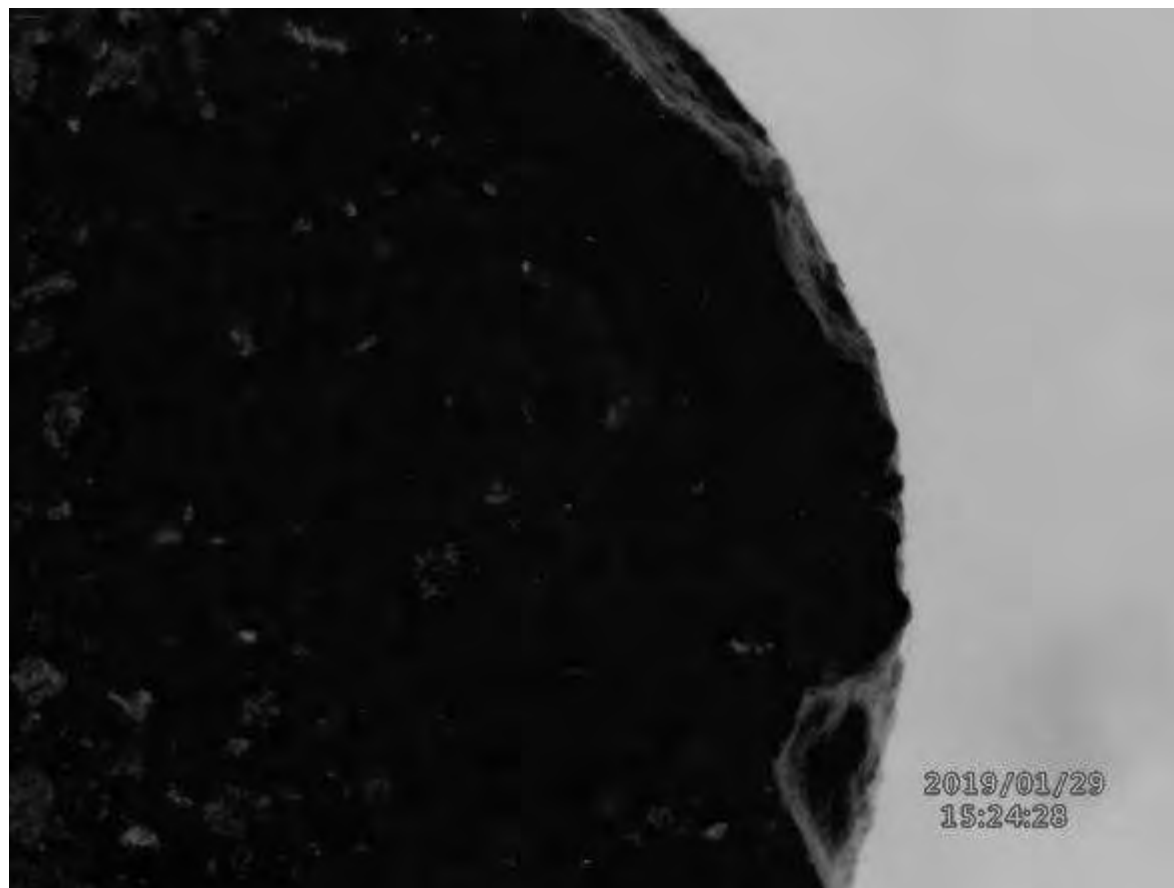


Figura. 4. 767. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2131218, con un filtro negativo bajo una luz normal.
Fuente: (autoría propia).

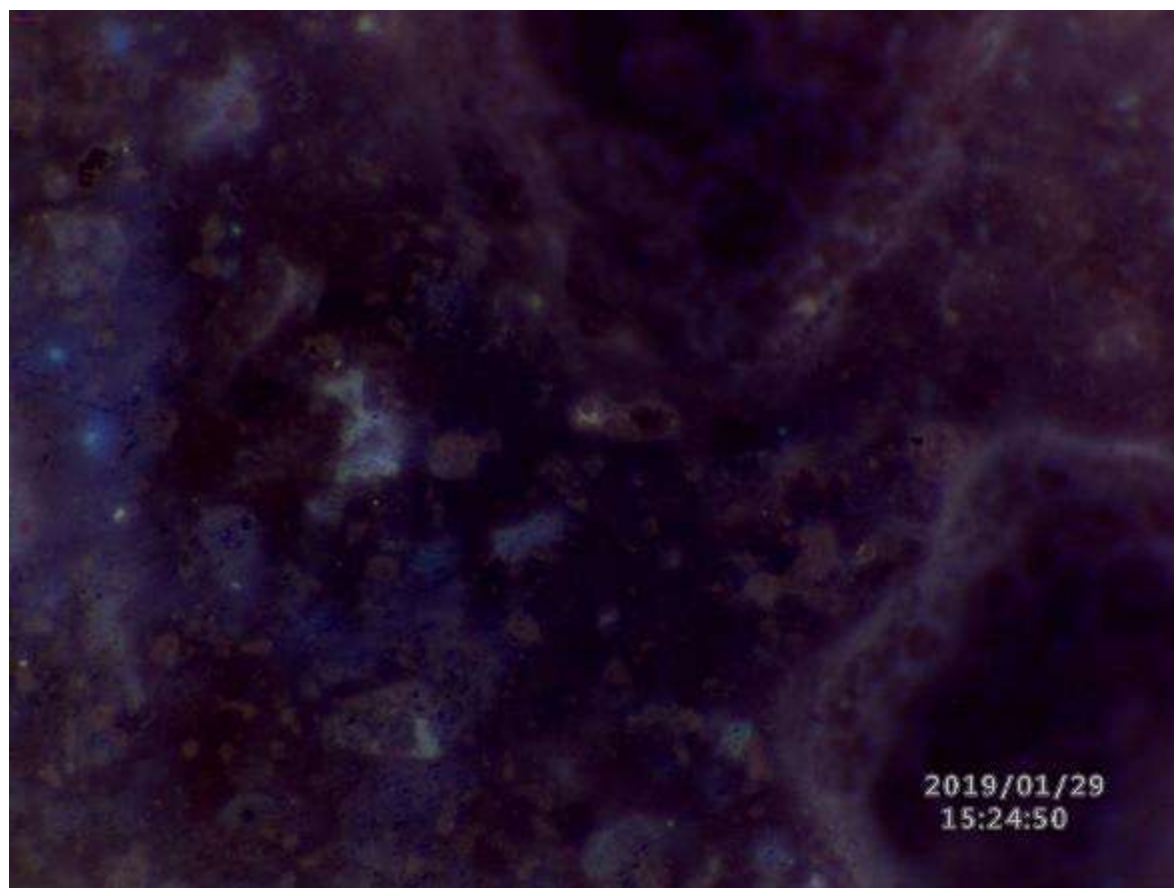


Figura. 4. 768. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-2131218, con un filtro negativo bajo una luz normal.
Fuente: (autoría propia).

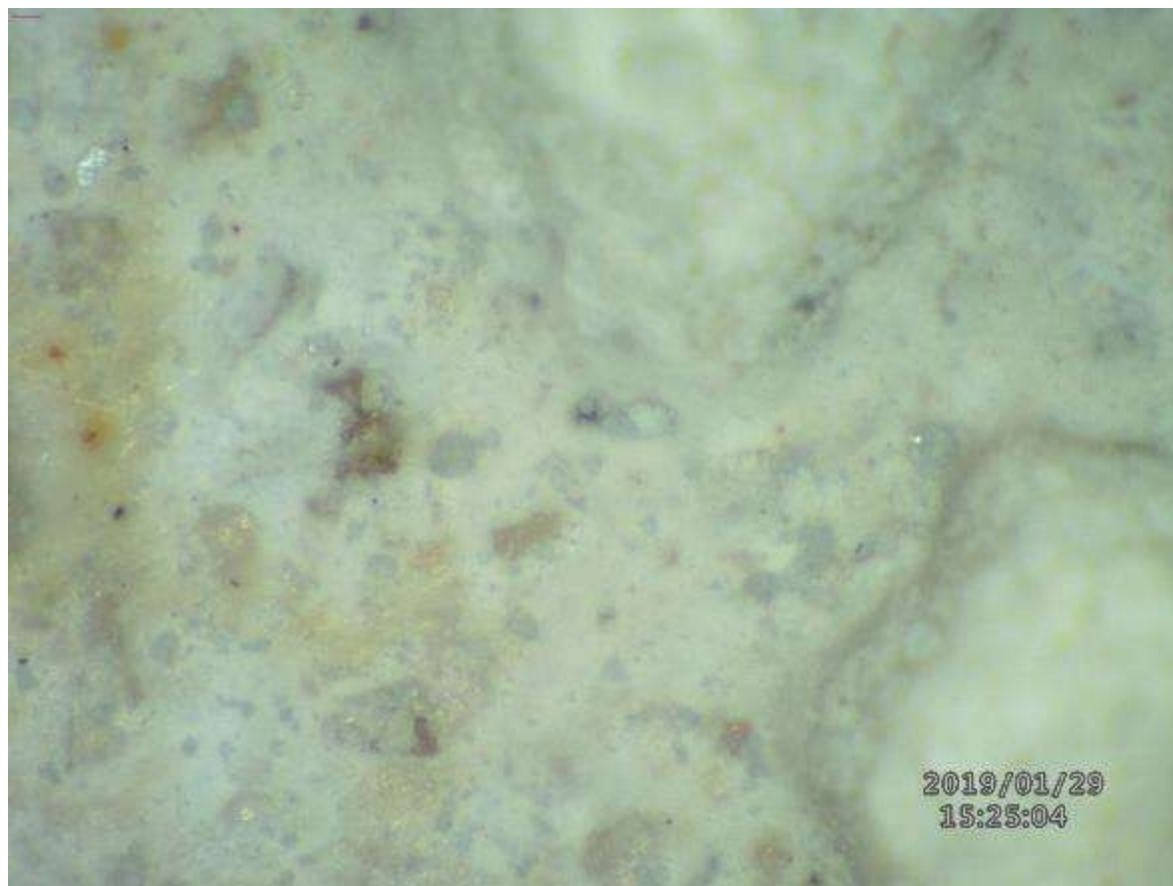


Figura. 4. 769. Microscopia de la C-2131218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

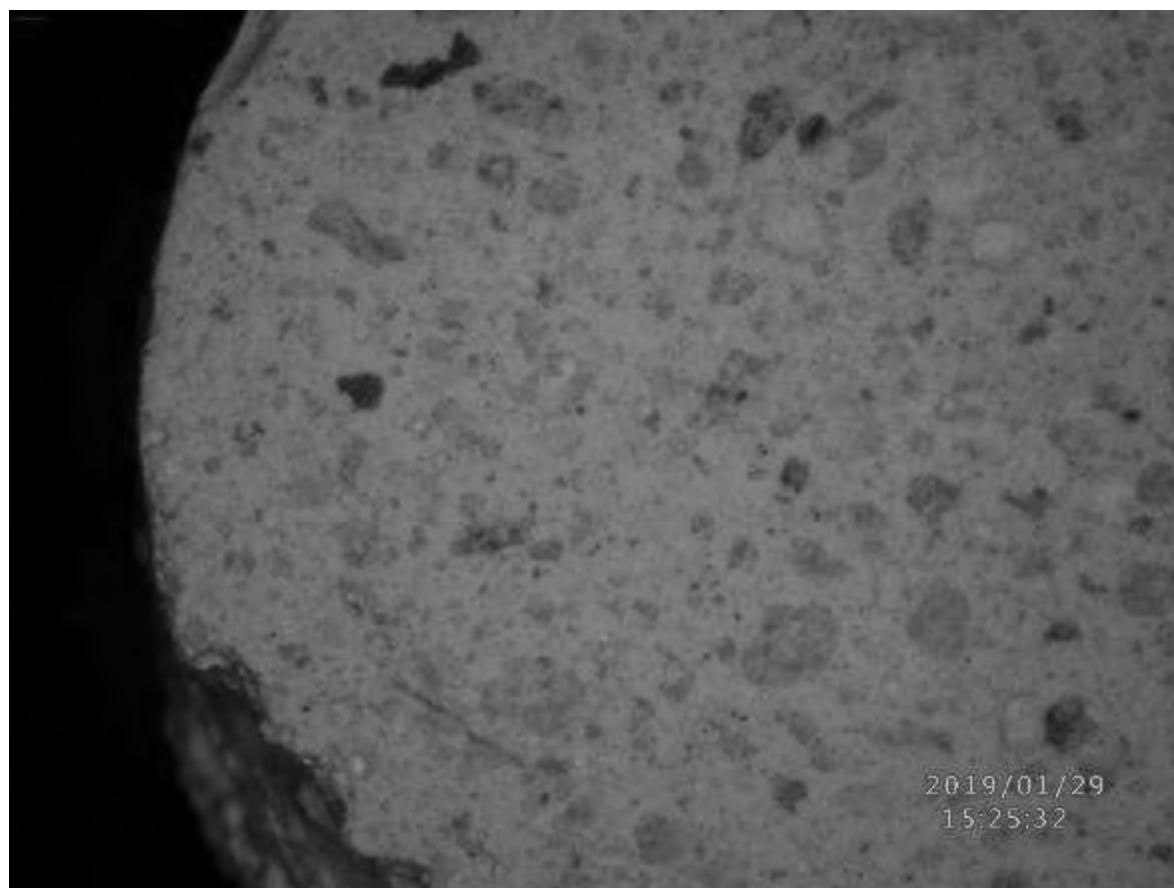
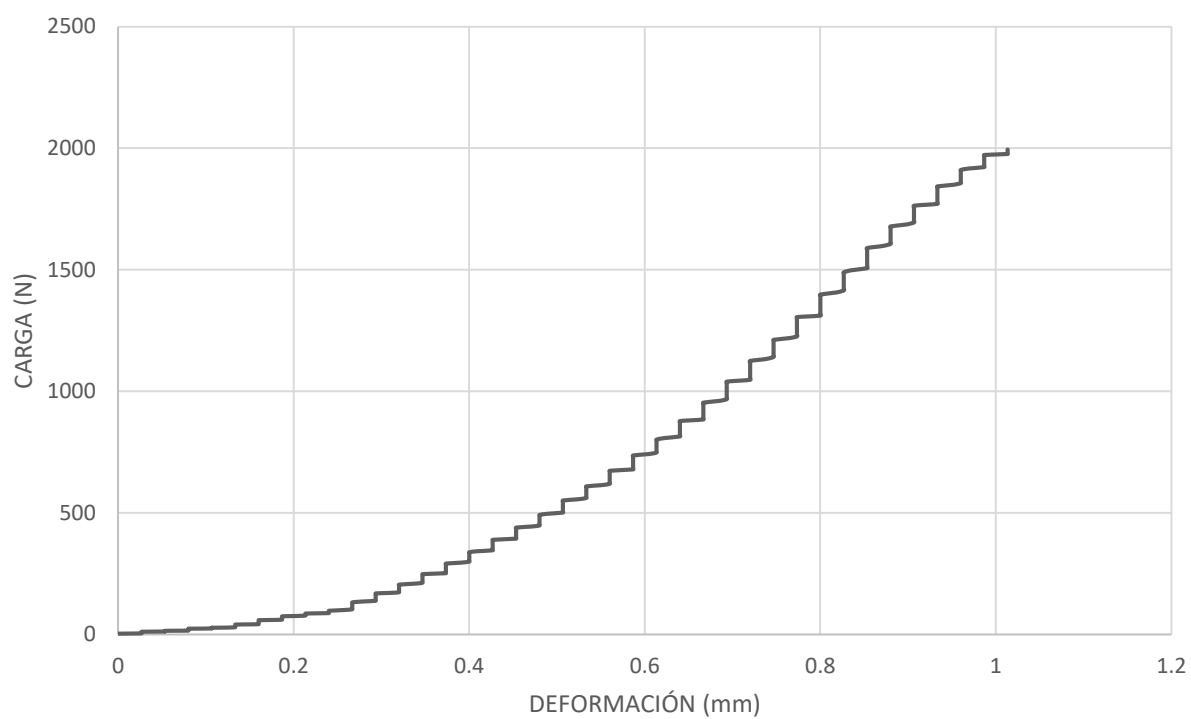


Figura. 4. 770. Microscopia de la C-2131218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

CARGA-DEFORMACIÓN



Gráficas 4. 61. Curva Carga-Deformación de la C-2131218, en N-mm. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 771. Fotografía de la C-2131218, en la prensa. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 772. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-2131218. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 773. Fotografías de la corrida C-3131218. Fuente: (Autoría propia).

De composición 100% CAL ESTANDAR, 275% MARMOLINA Tipo 2, 5% CARBONATO DE SODIO, 20% HARINA DE ARRÓZ y A/C= 1.2:1 (calentada hasta el punto de ebullición y agregada a la mezcla, previamente integrados todos los materiales), de dimensiones iguales a un diámetro de 45.2mm y longitud de 22.8mm, que presenta alta DUREZA al ser pulido. (Autoría propia).



Figura. 4. 774. Microscopia de la C-3131218. Fuente: Autoría propia.

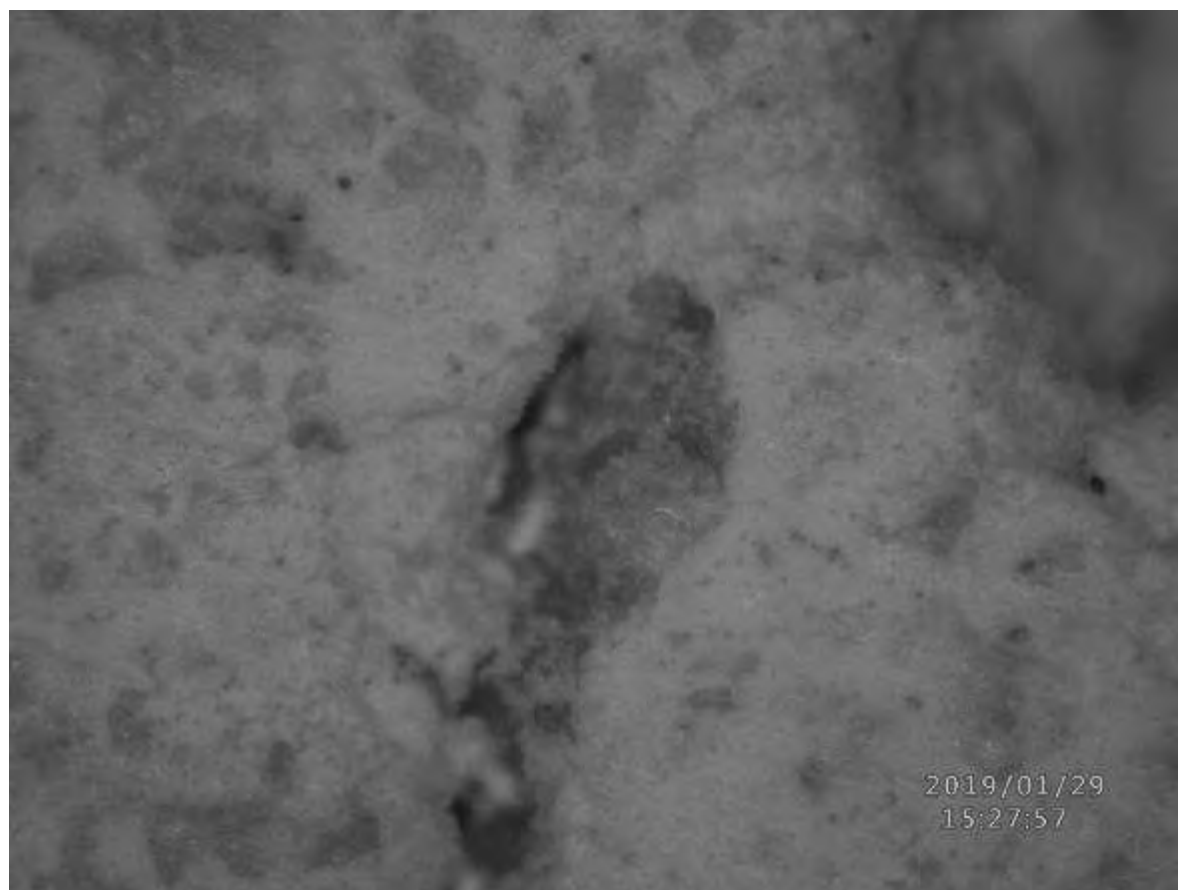


Figura. 4. 775. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3131218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

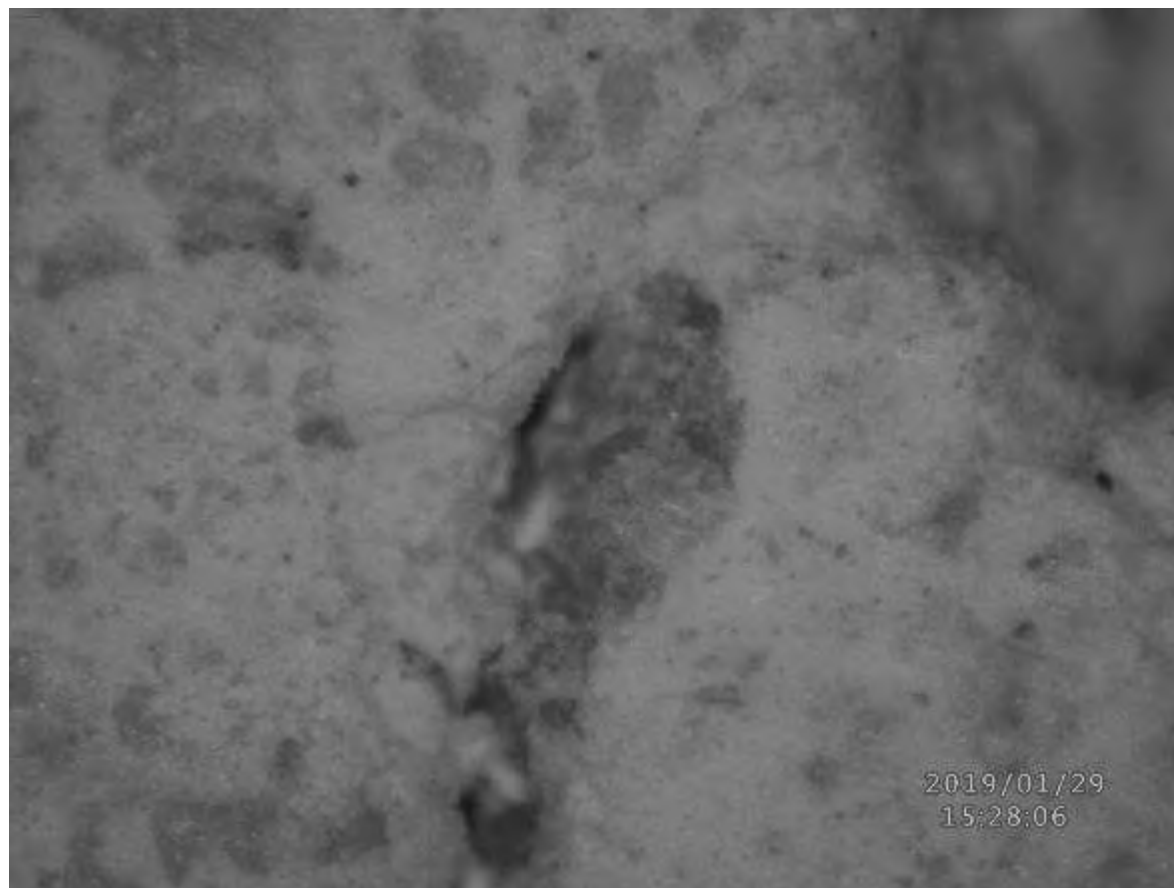


Figura. 4. 776. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3131218, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

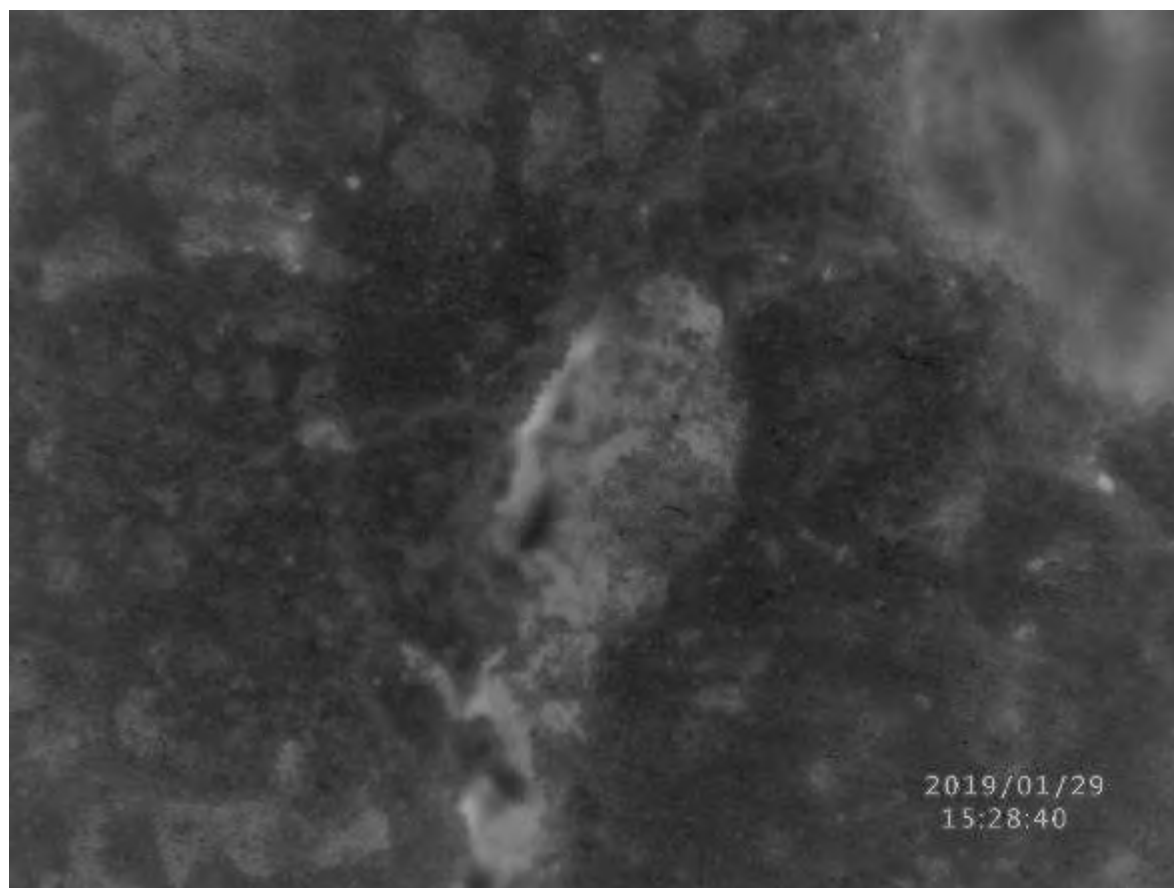


Figura. 4. 777. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3131218, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

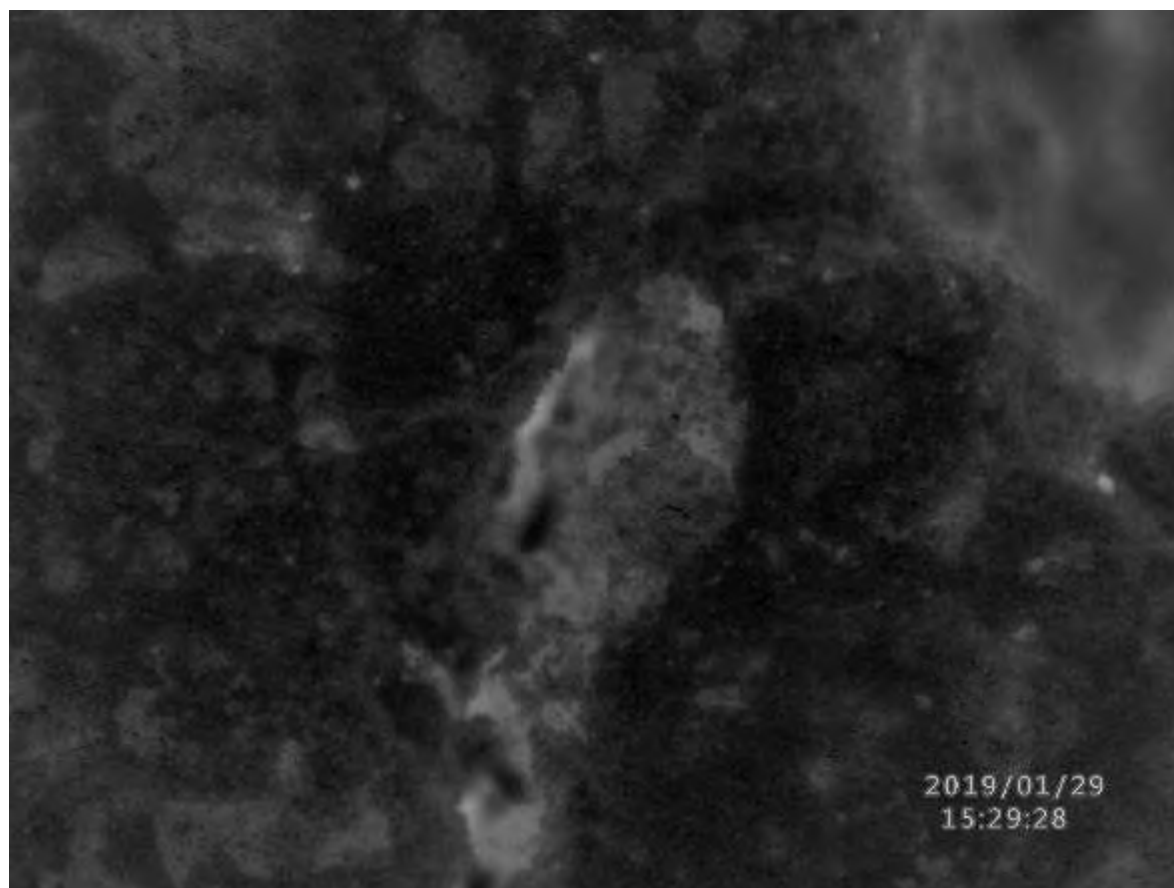


Figura. 4. 778. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3131218, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

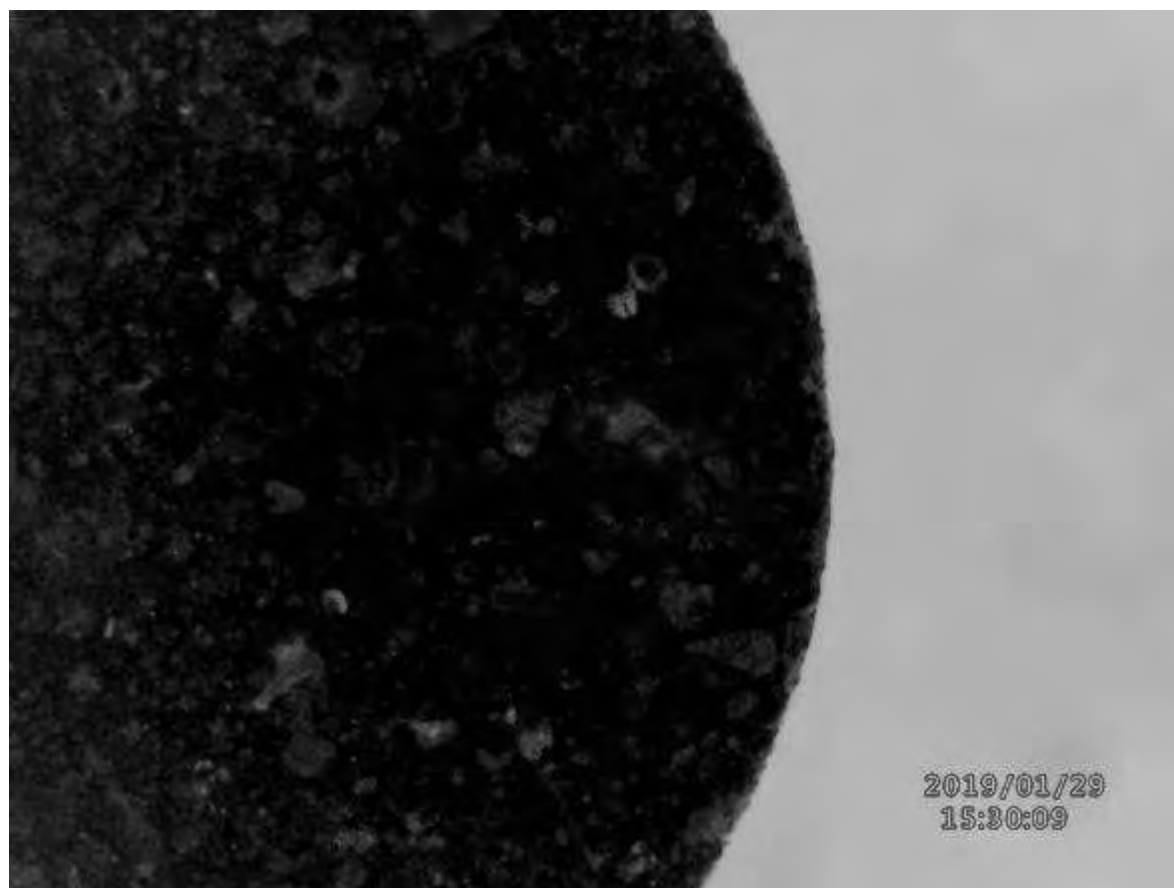


Figura. 4. 779. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3131218, con un filtro negativo bajo una luz normal.
Fuente: (autoría propia).

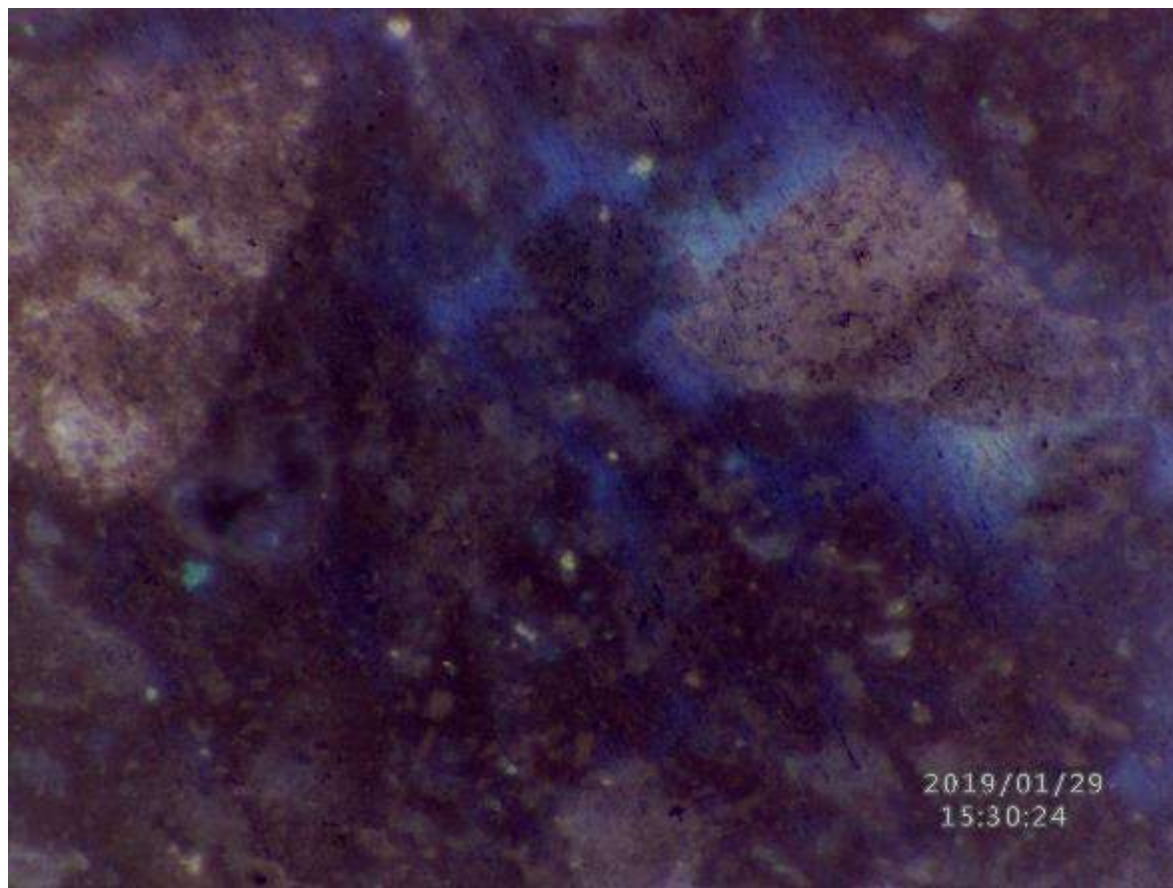


Figura. 4. 780. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-3131218, con un filtro negativo bajo una luz normal.
Fuente: (autoría propia).

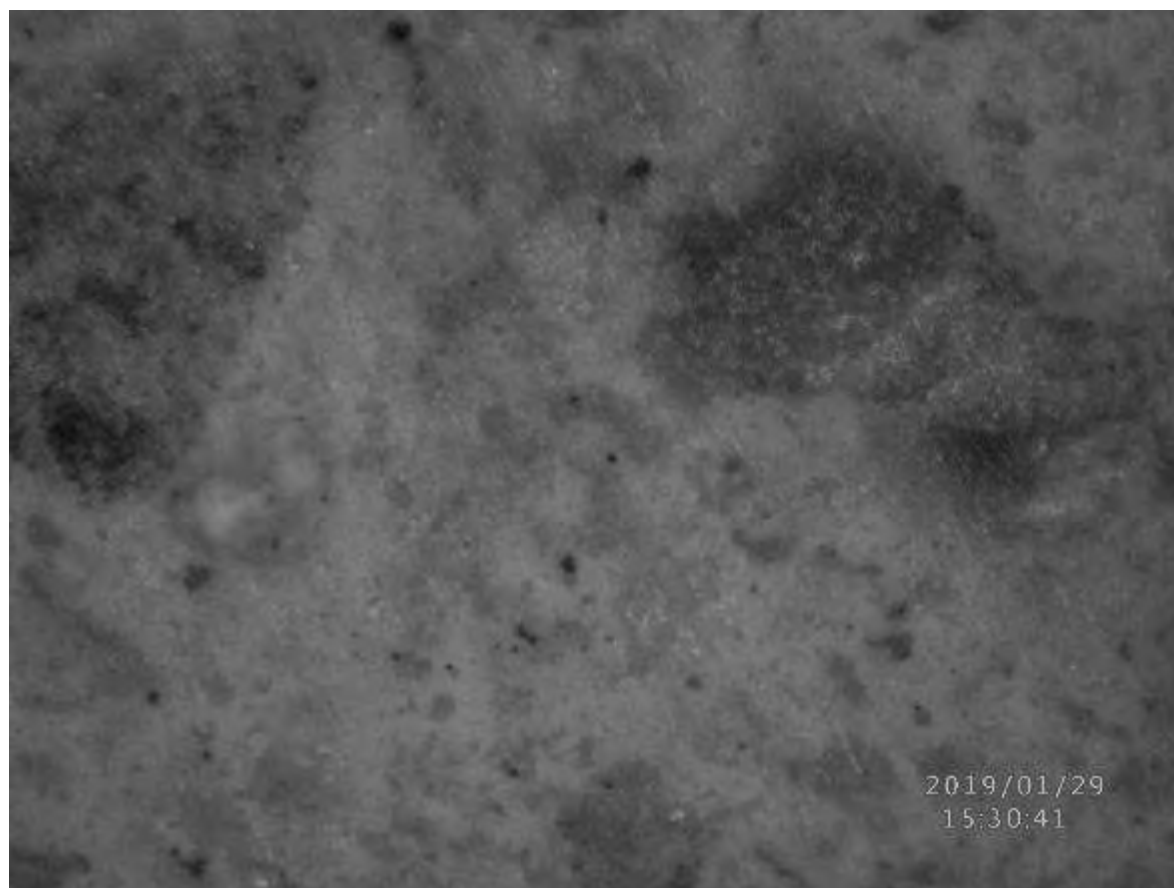


Figura. 4. 781. Microscopia de la C-3131218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

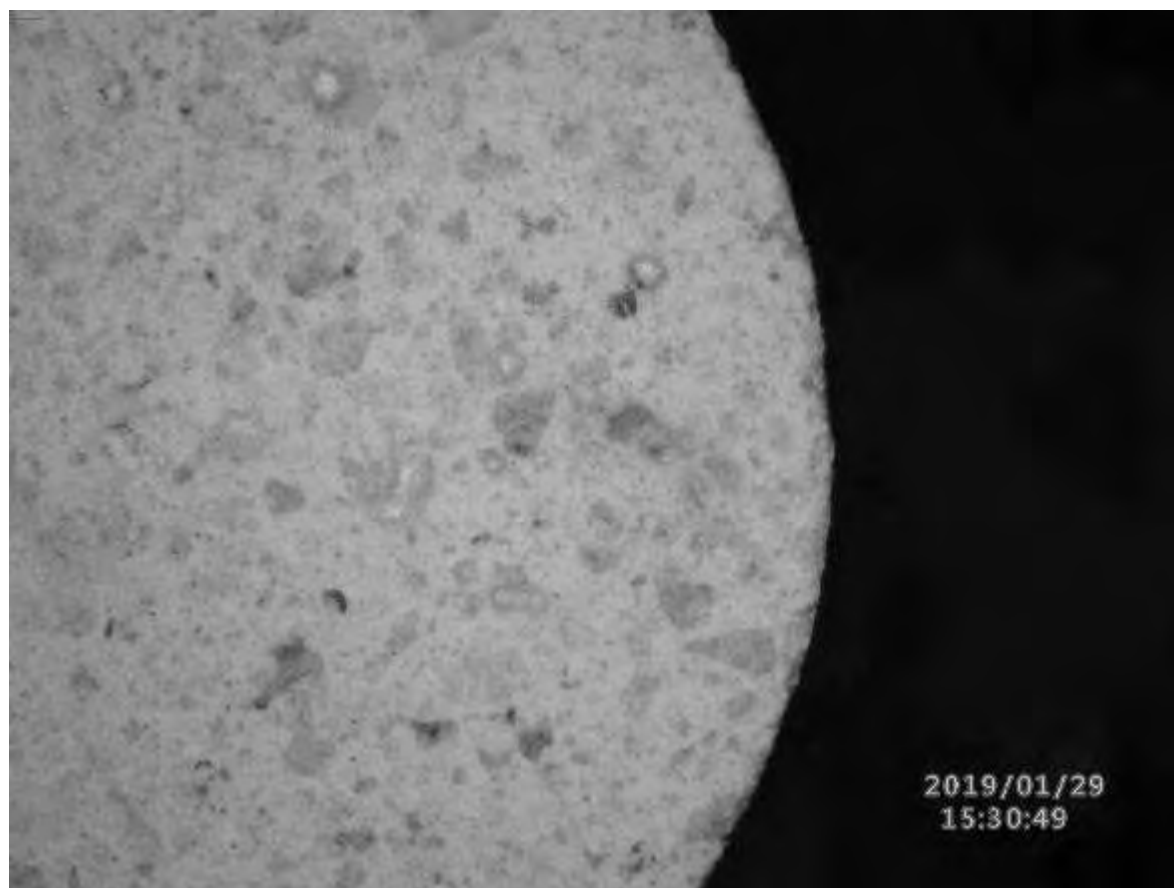
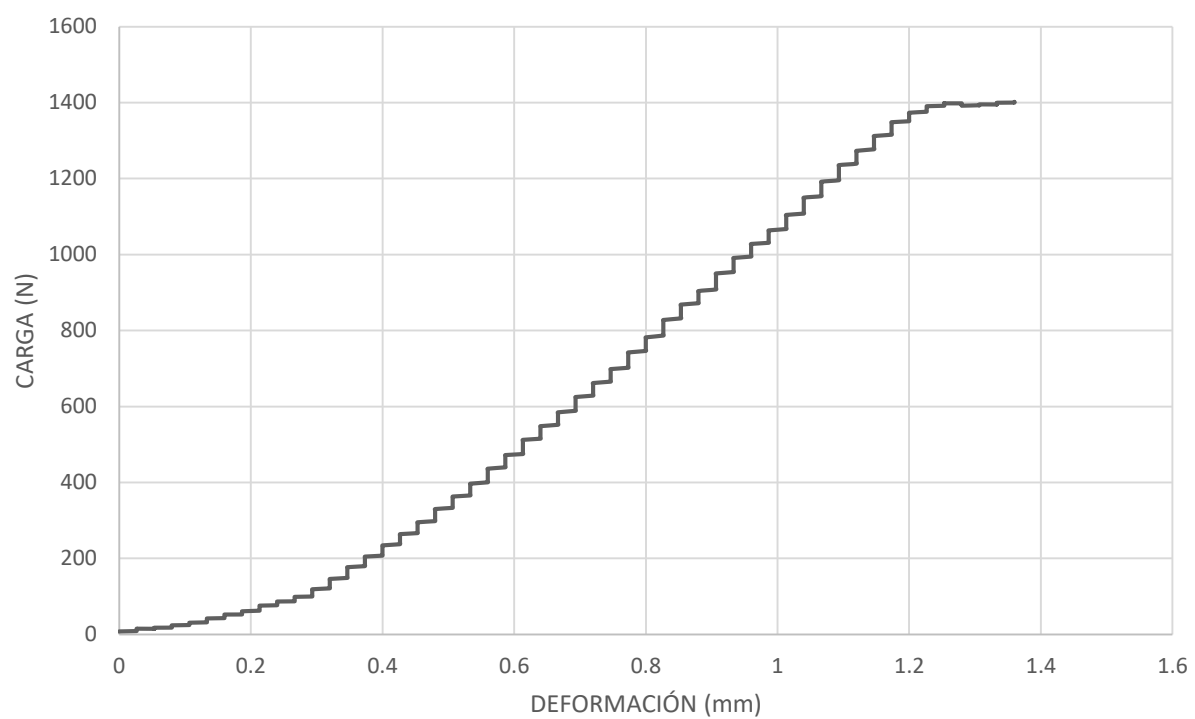


Figura. 4. 782. Microscopia de la C-3131218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

CARGA-DEFORMACIÓN



Gráficas 4. 62. Curva Carga-Deformación de la C-3131218, en N-mm. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 783. Fotografía de la C-3131218, en la prensa. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 784. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-3131218. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 785. Fotografías de la corrida C-4131218. Fuente: (Autoría propia).

De composición 100% CAL ESTANDAR, 275% MARMOLINA Tipo 2, 10% CARBONATO DE SODIO, 20% HARINA DE ARRÓZ y A/C= 1.2:1 (calentada hasta el punto de ebullición y agregada a la mezcla, previamente integrados todos los materiales), de dimensiones iguales a un diámetro de 23.0mm y longitud de 45.1mm, que presenta alta DUREZA al ser pulido. (Autoría propia).

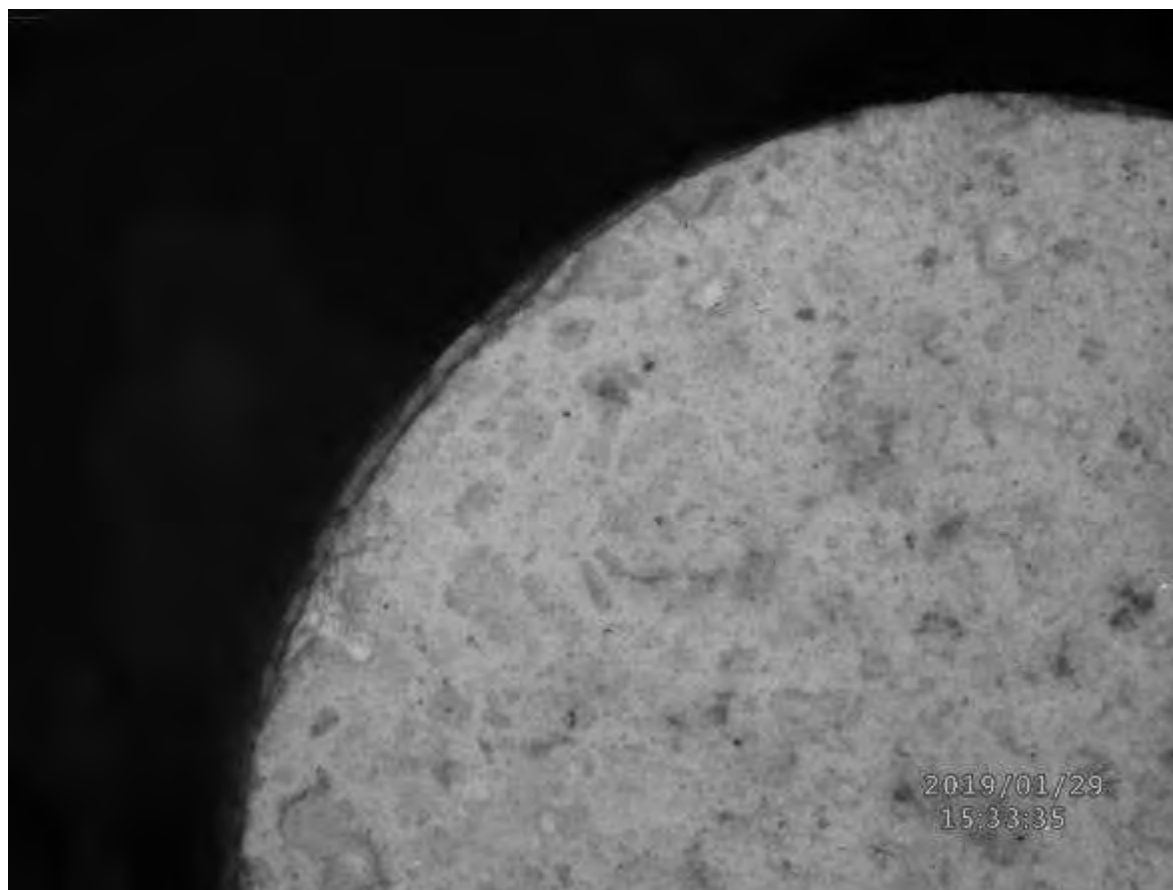


Figura. 4. 786. Microscopia de la C-4131218. Fuente: Autoría propia.

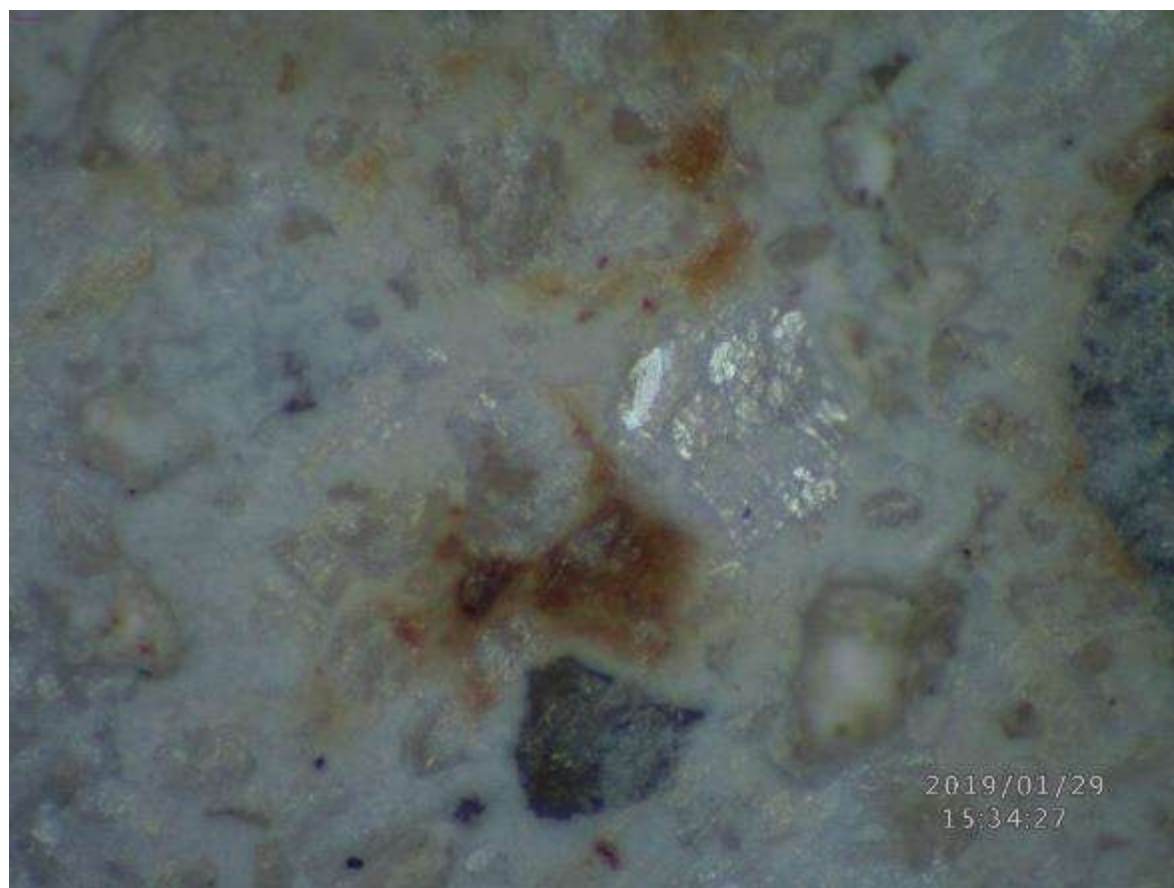


Figura. 4. 787. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-4131218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 788. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-4131218, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

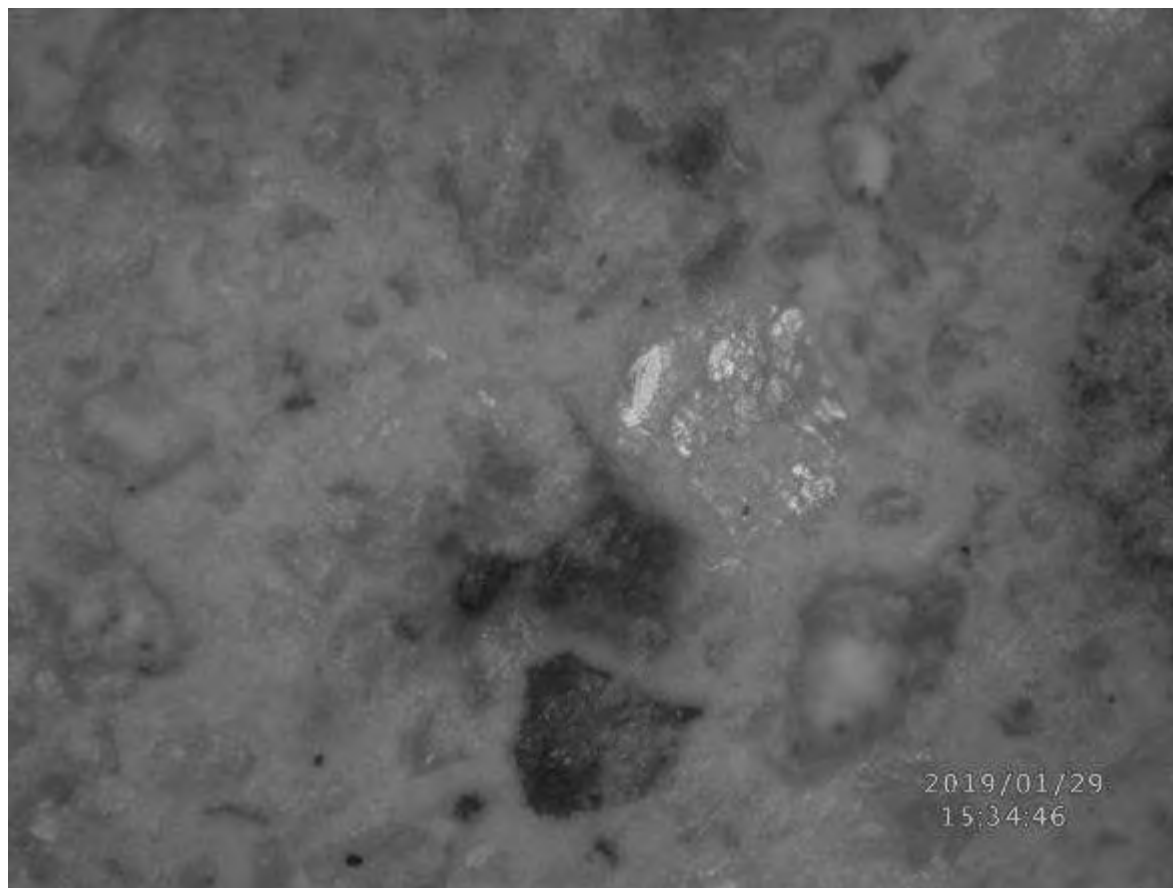


Figura. 4. 789. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-4131218, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

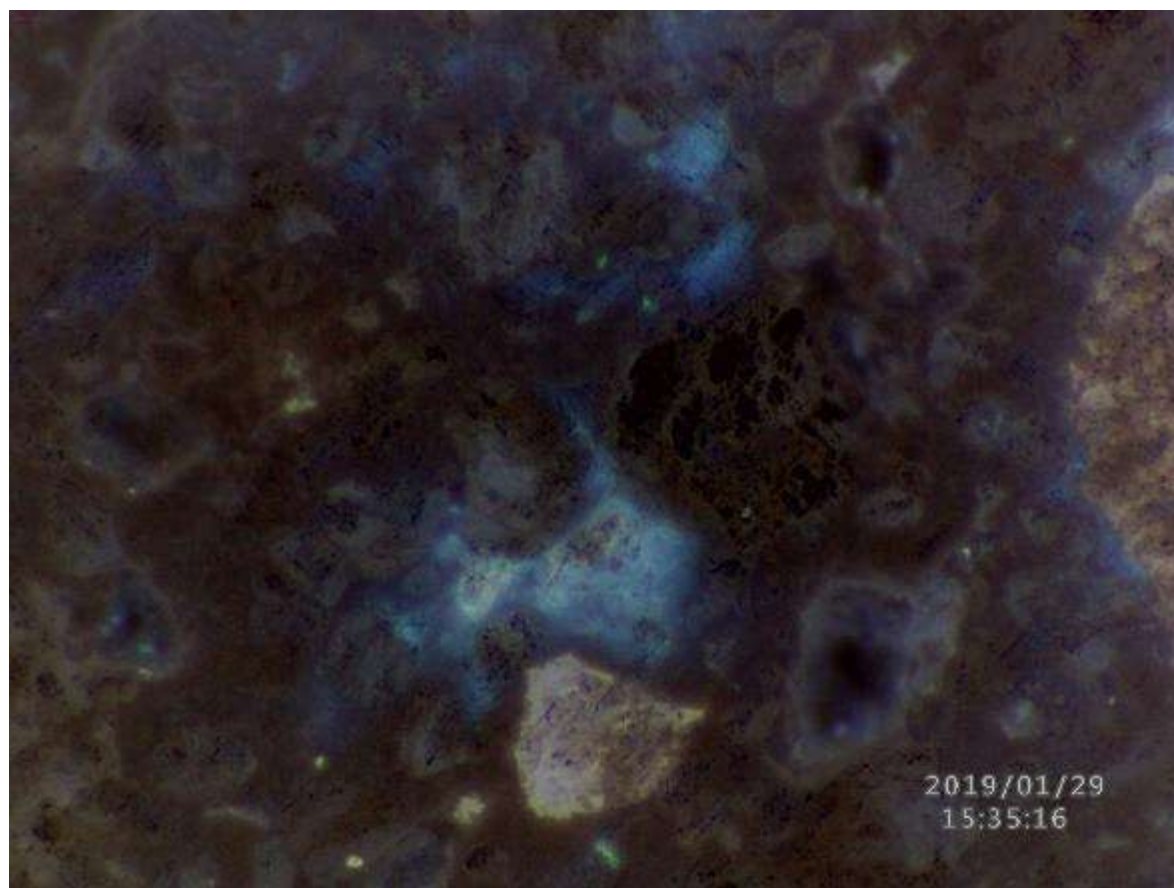


Figura. 4. 790. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-4131218, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

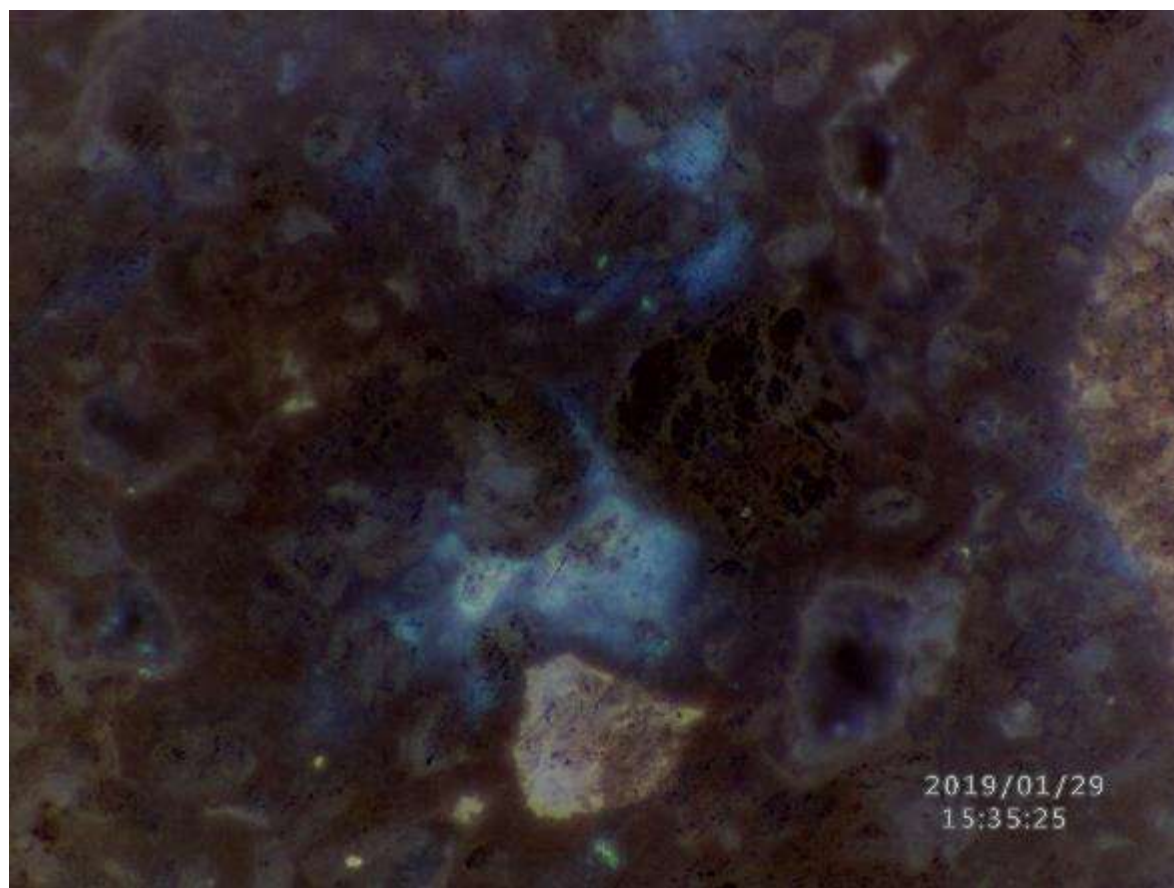


Figura. 4. 791. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-4131218, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

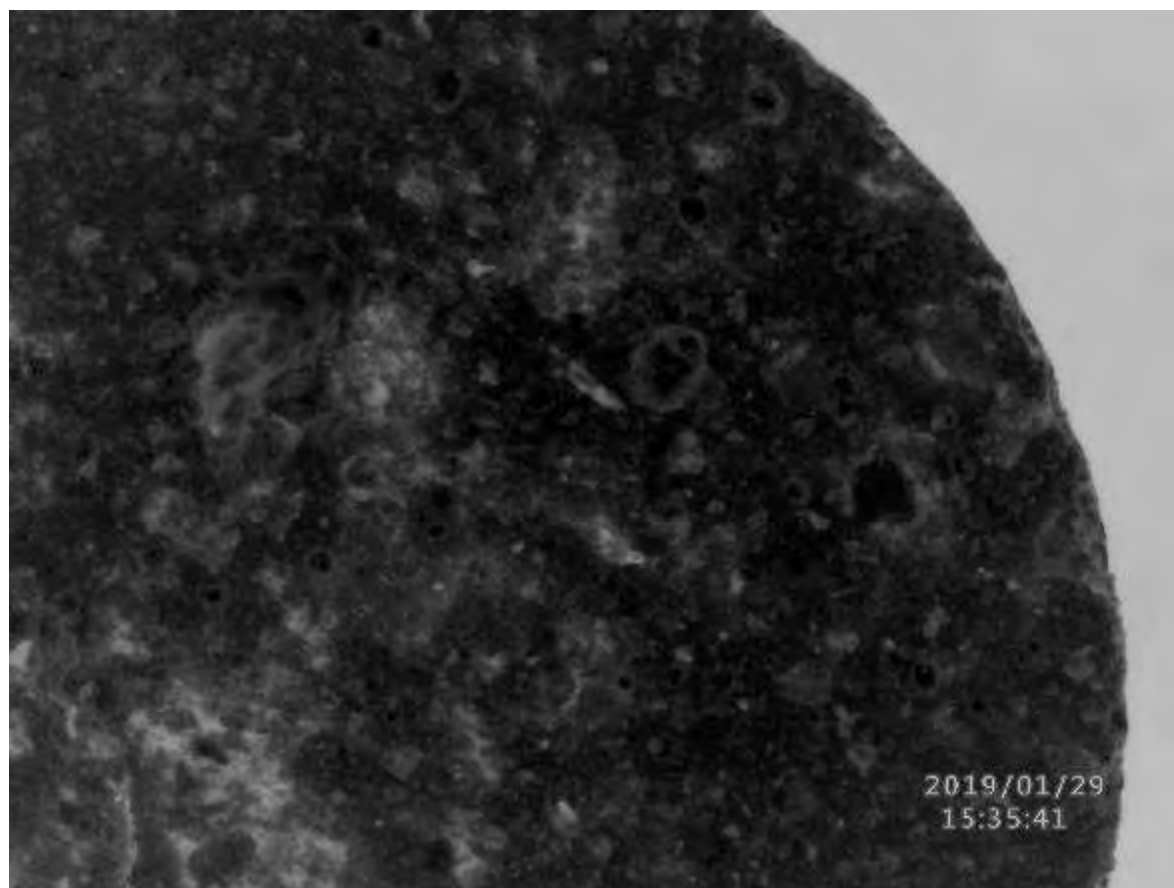


Figura. 4. 792. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-4131218, con un filtro negativo bajo una luz normal.
Fuente: (autoría propia).

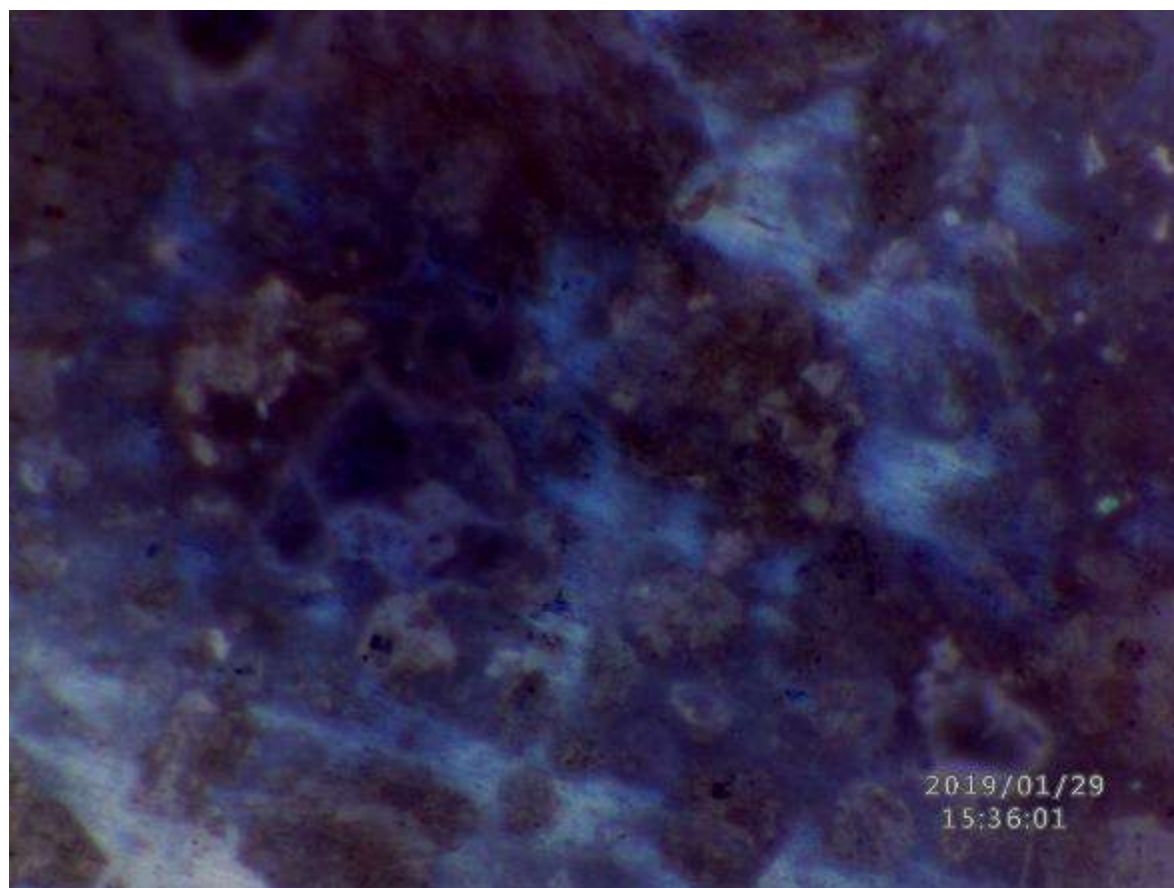


Figura. 4. 793. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-4131218, con un filtro negativo bajo una luz normal.
Fuente: (autoría propia).

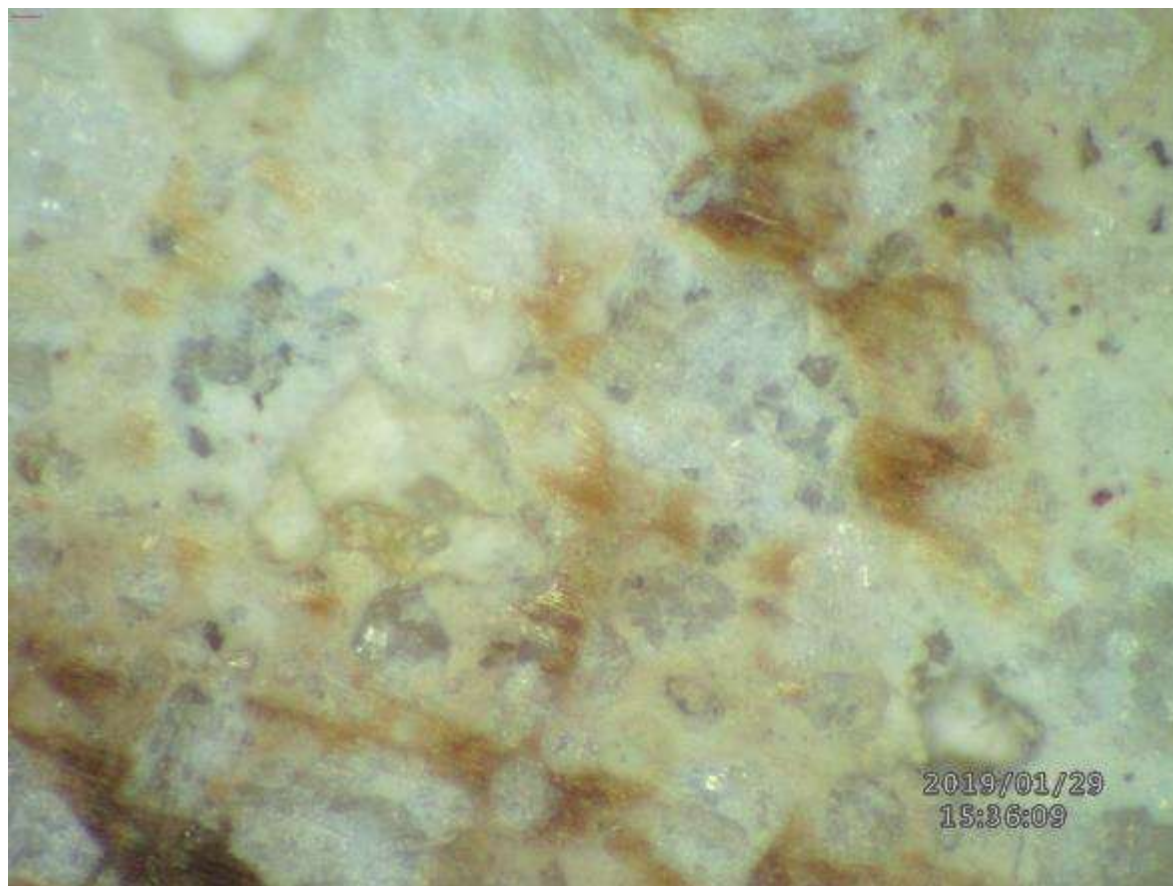


Figura. 4. 794. Microscopia de la C-4131218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

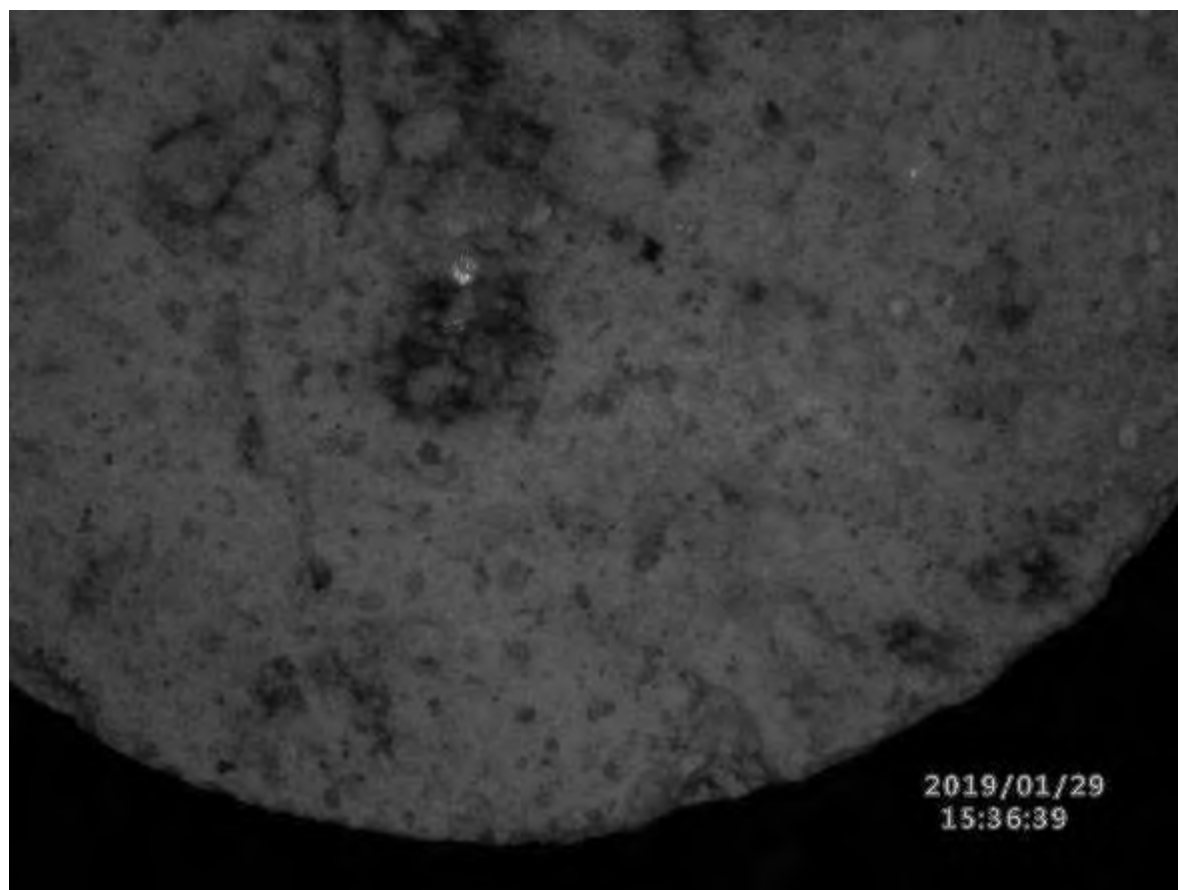
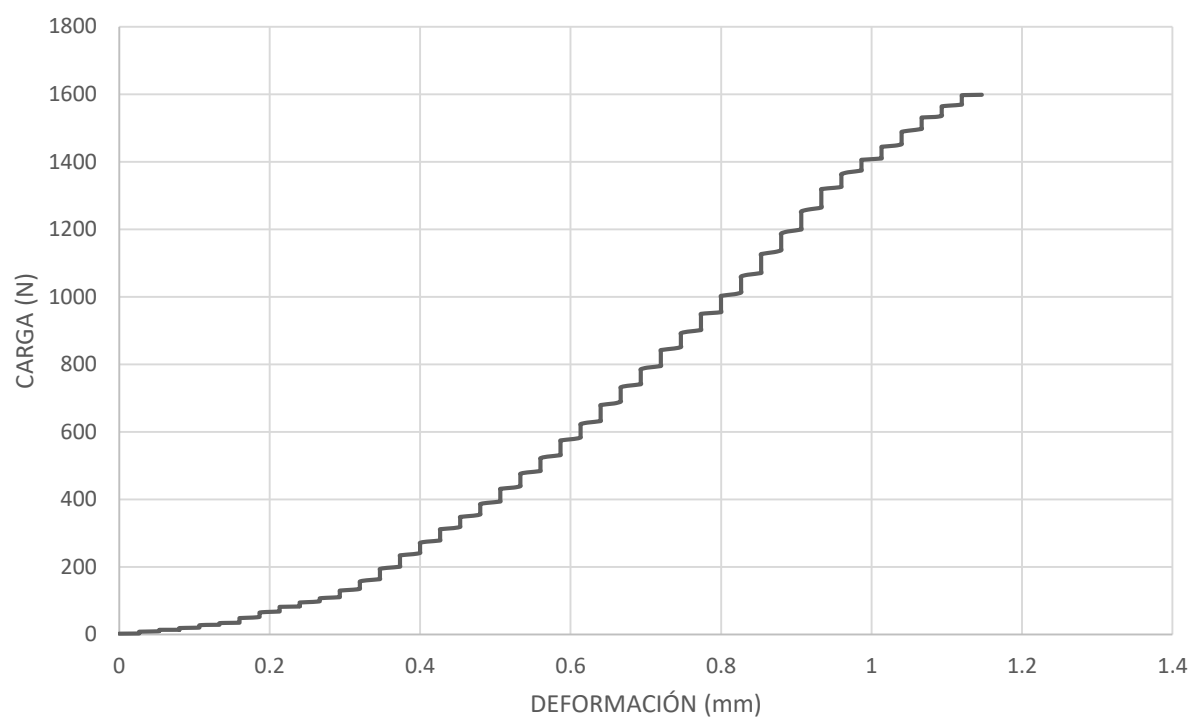


Figura. 4. 795. Microscopia de la C-4131218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

CARGA-DEFORMACIÓN



Gráficas 4. 63. Curva Carga-Deformación de la C-4131218, en N-mm. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 796. Fotografía de la C-4131218, en la prensa. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 797. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-4131218. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 798. Fotografías de la corrida C-5131218. Fuente: (Autoría propia).

De composición 100% CAL ESTANDAR, 275% MARMOLINA Tipo 2, 5% CARBONATO DE SODIO, 30% HARINA DE ARRÓZ y A/C= 1.3:1 (calentada hasta el punto de ebullición y agregada a la mezcla, previamente integrados todos los materiales), de dimensiones iguales a un diámetro de 22.8mm y longitud de 43.8mm, que presenta alta DUREZA al ser pulido. (Autoría propia).

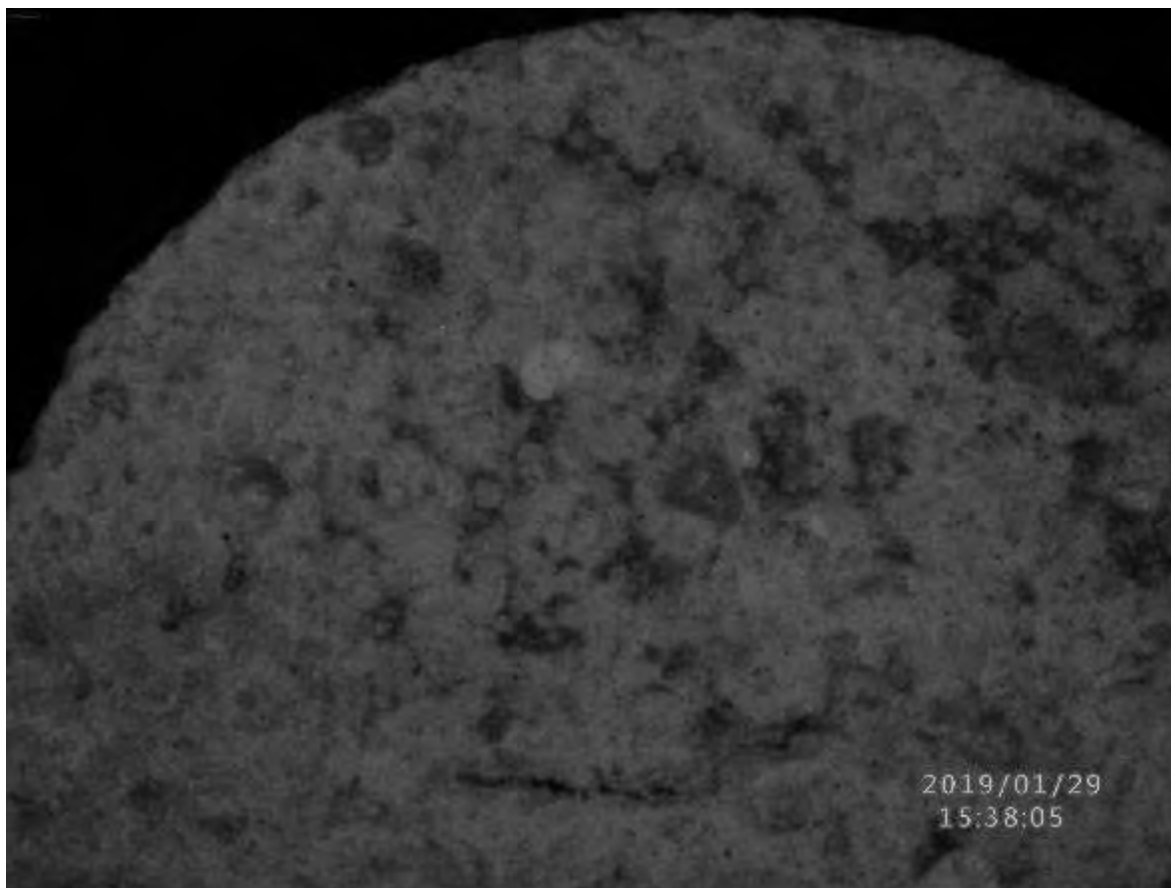


Figura. 4. 799. Microscopia de la C-5131218. Fuente: Autoría propia.

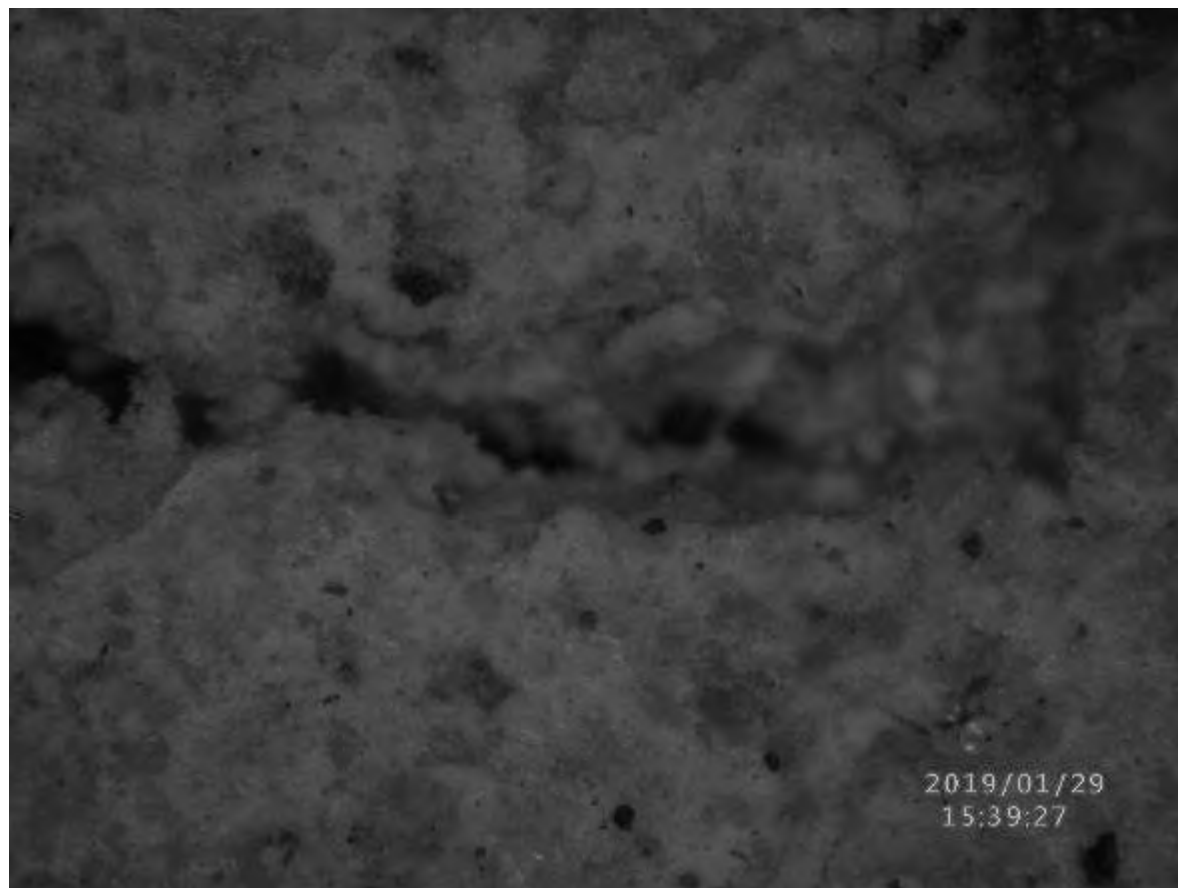


Figura. 4. 800. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-5131218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

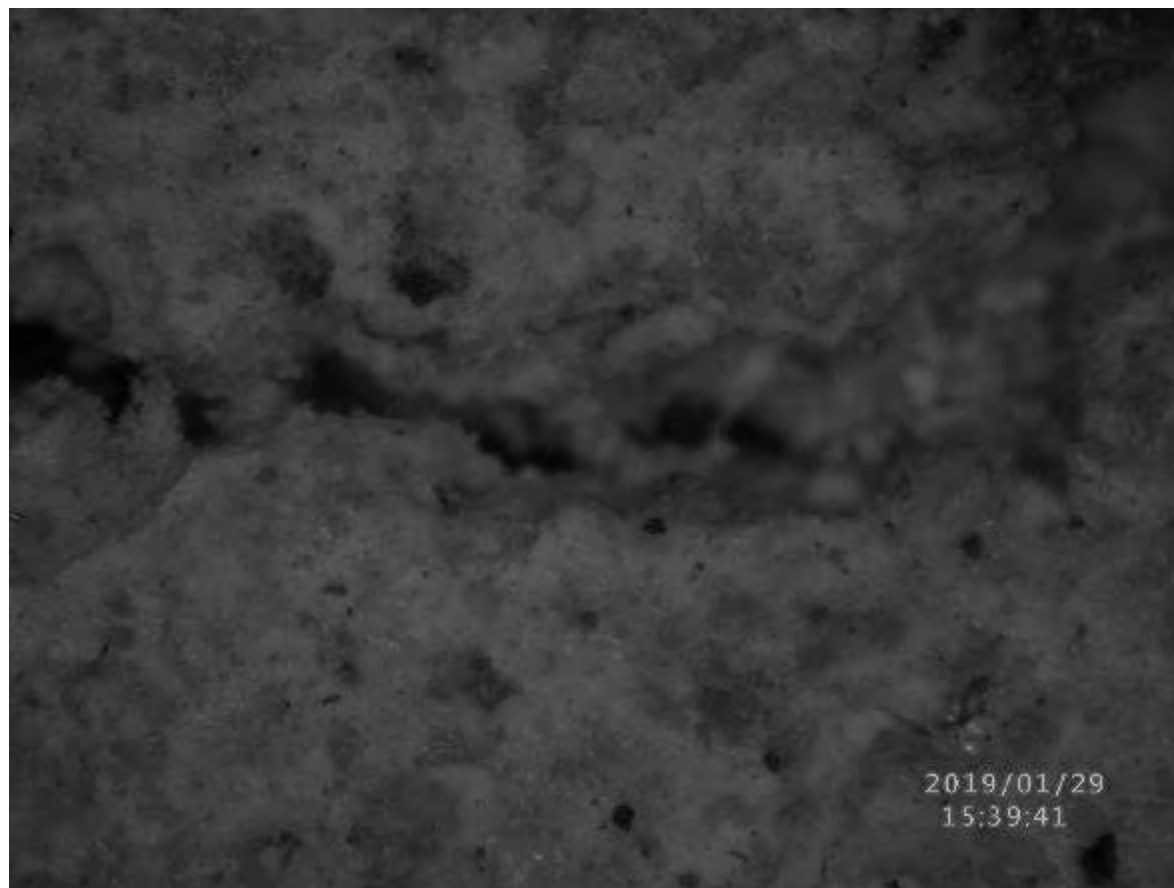


Figura. 4. 801. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-5131218, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

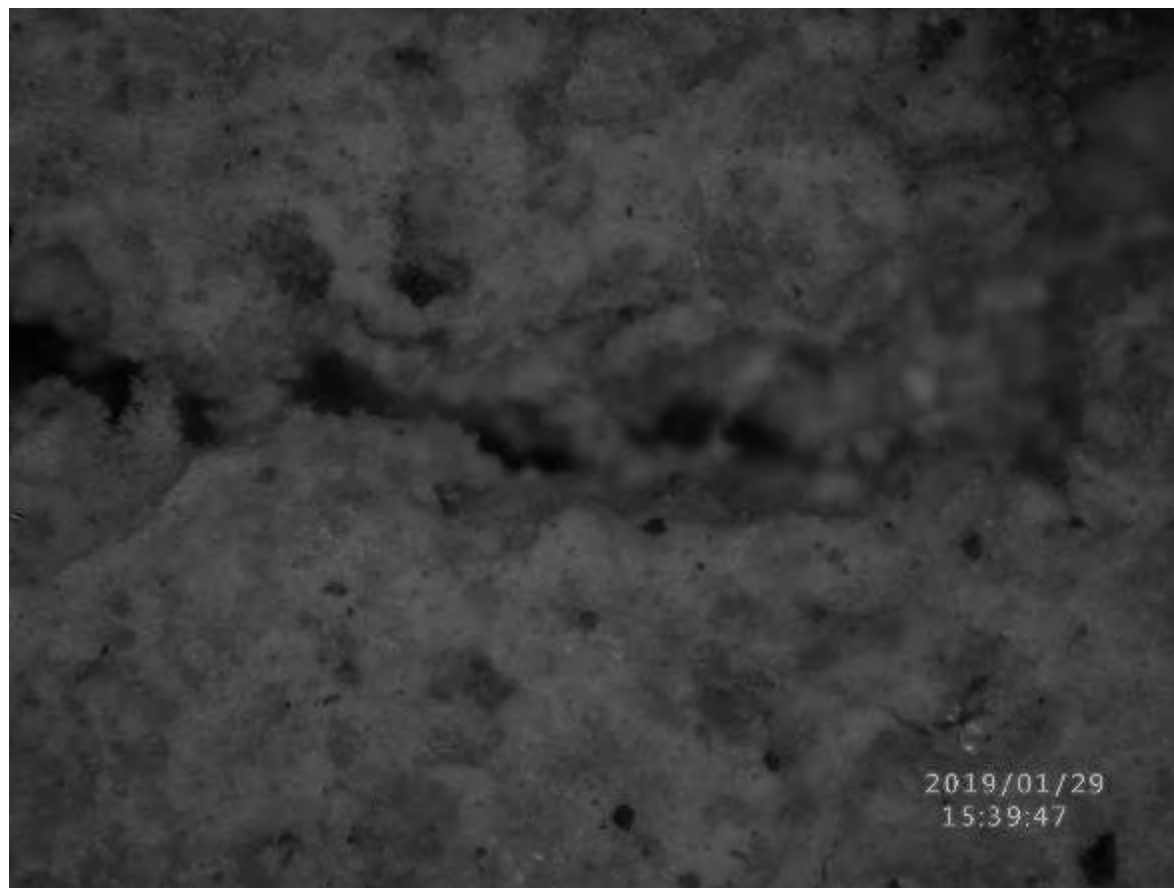


Figura. 4. 802. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-5131218, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

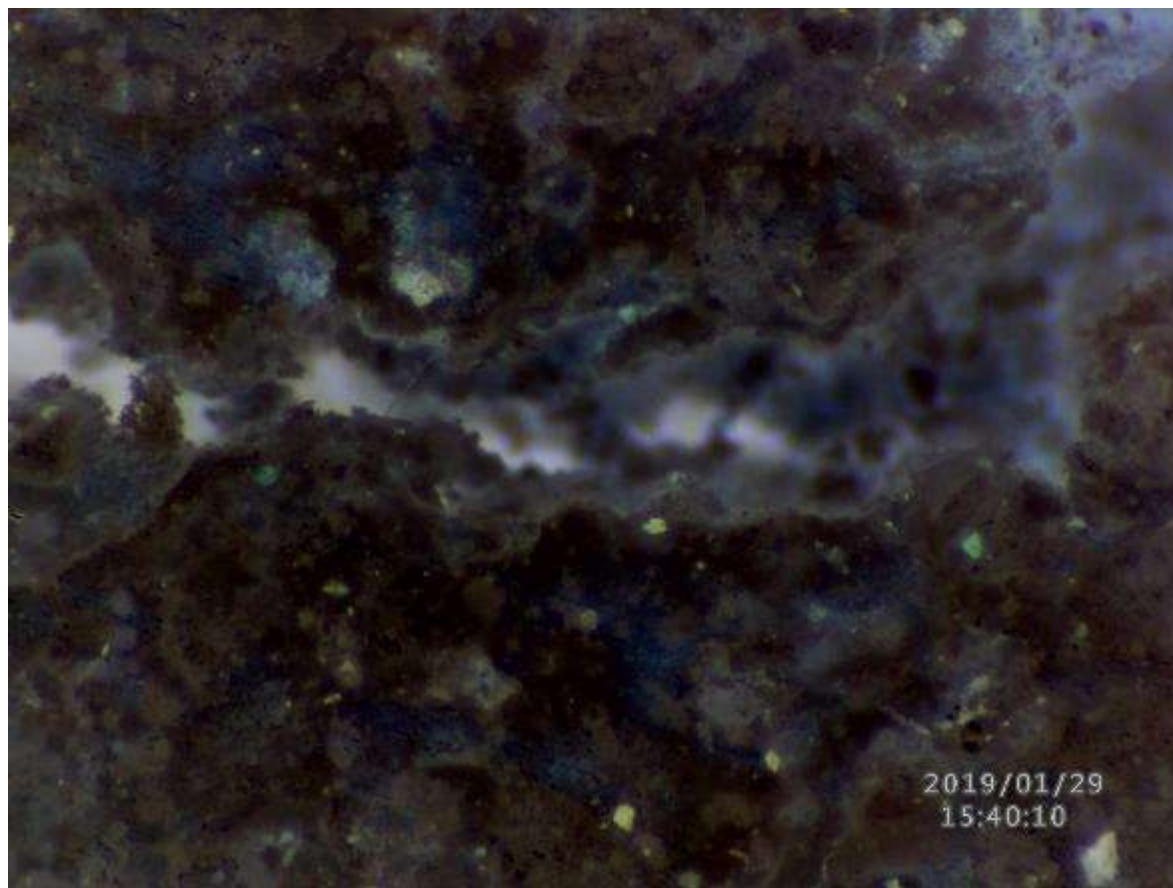


Figura. 4. 803. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-5131218, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

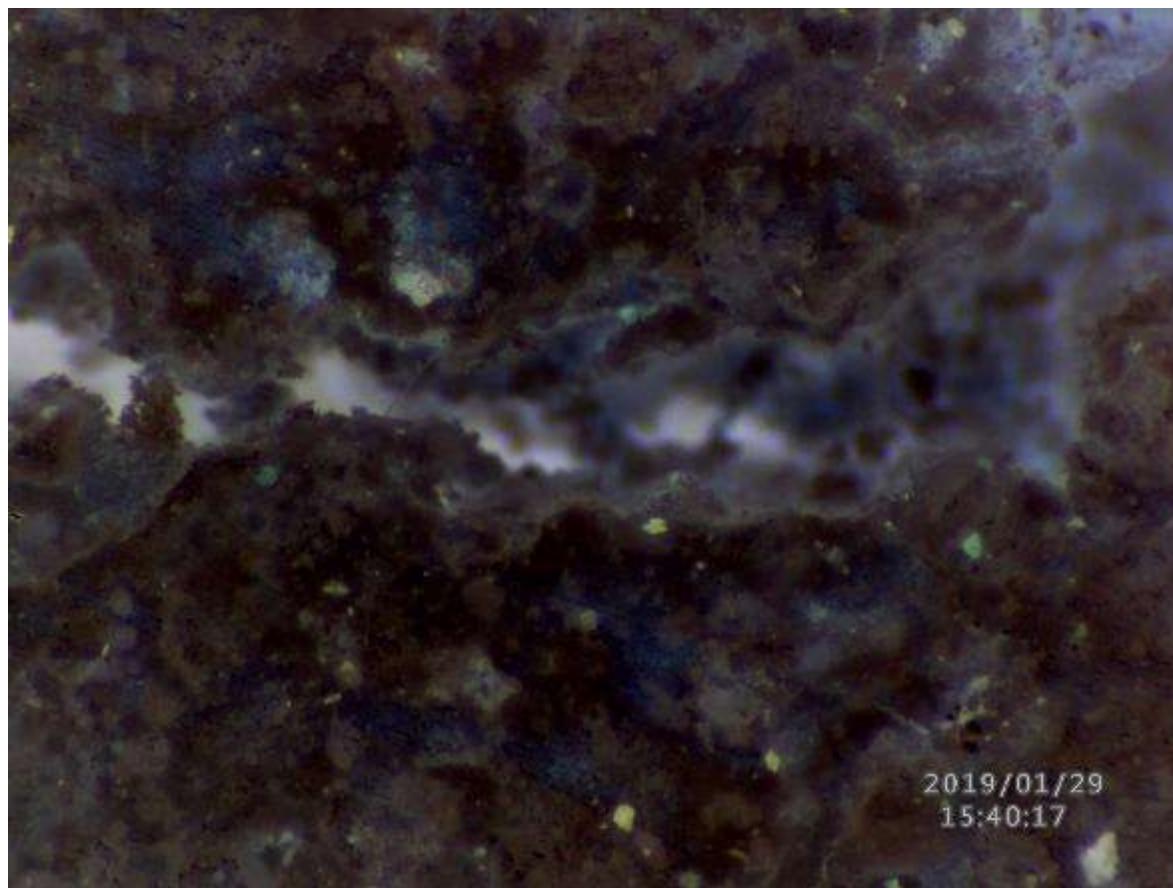


Figura. 4. 804. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-5131218, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

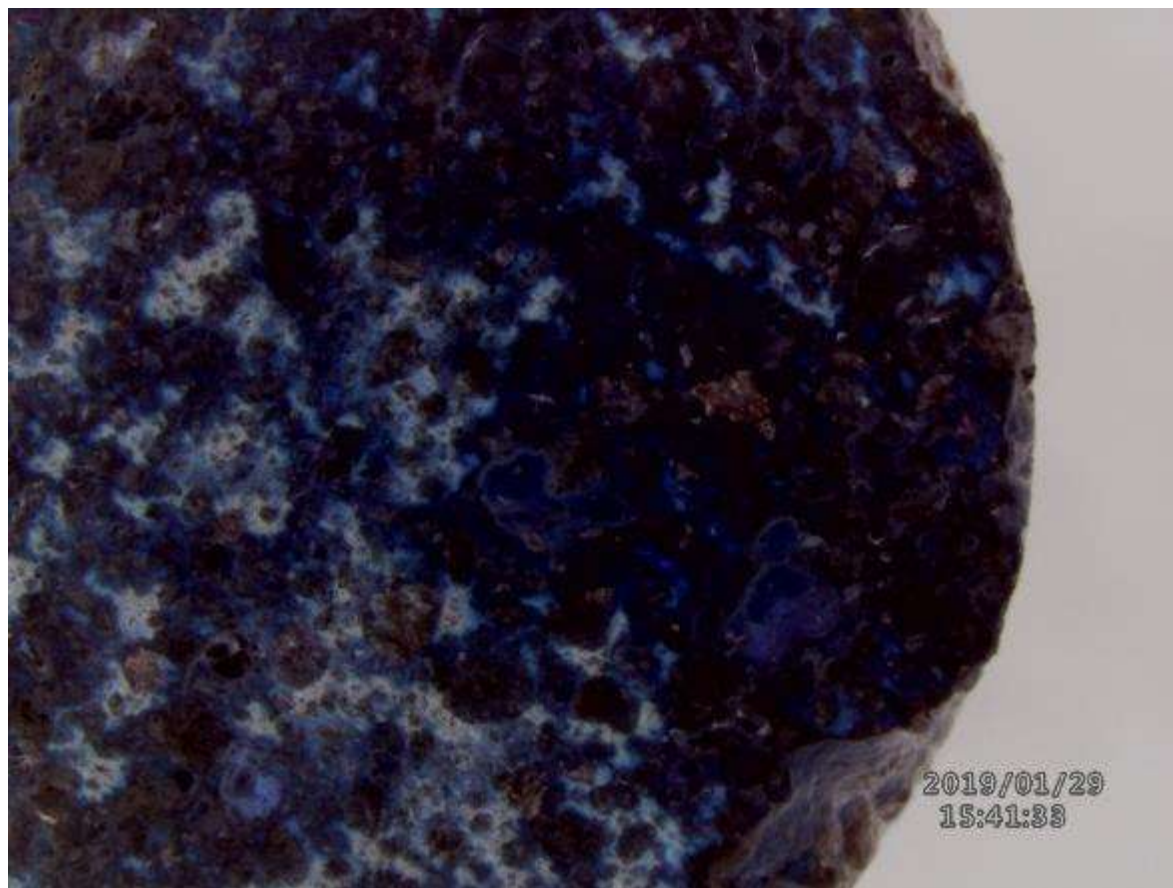


Figura. 4. 805. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-5131218, con un filtro negativo bajo una luz normal.
Fuente: (autoría propia).

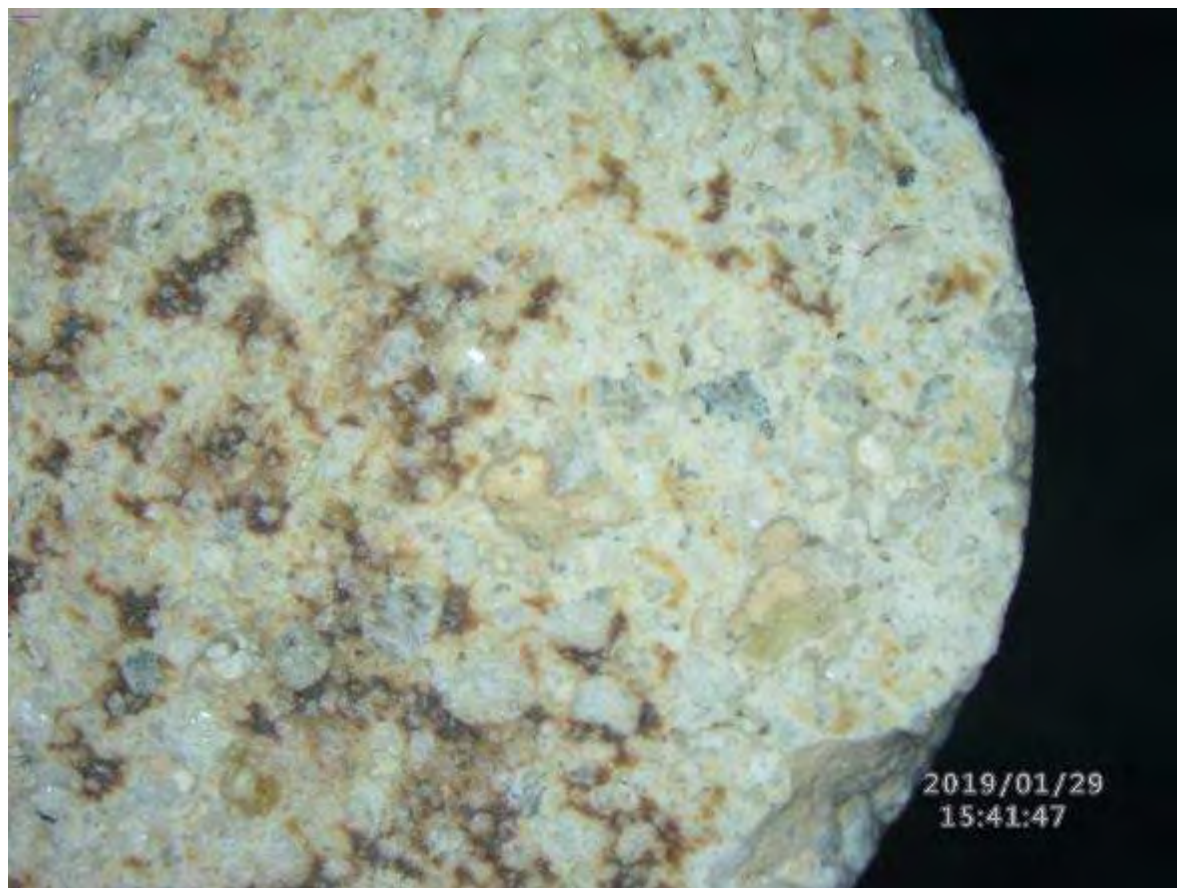


Figura. 4. 806. Microscopia de la C-5131218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

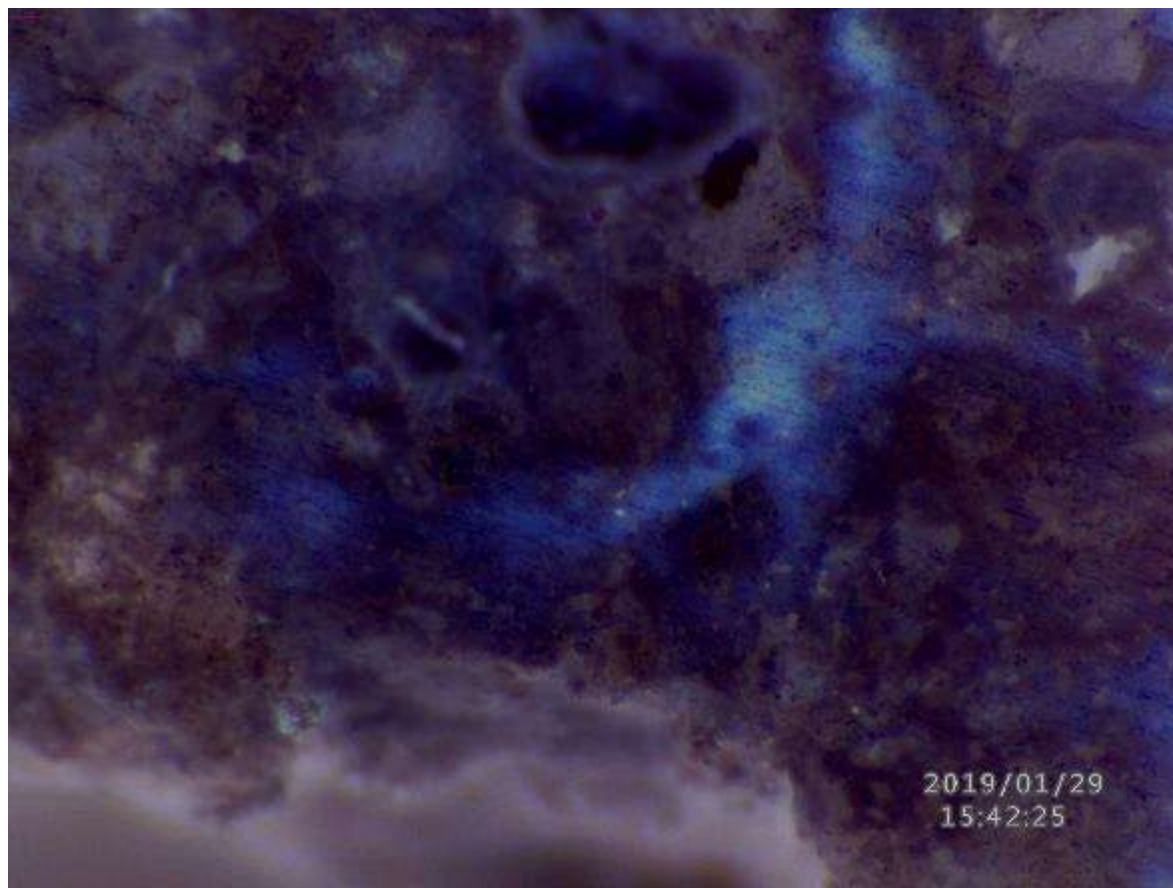
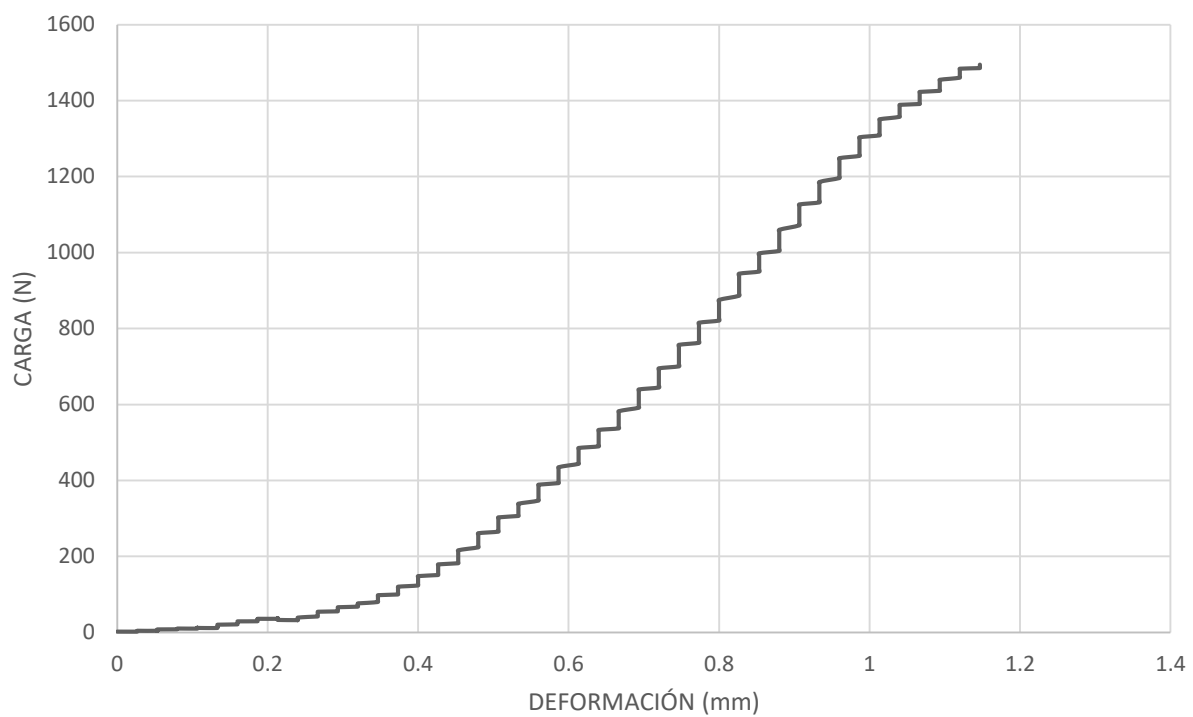


Figura. 4. 807. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-5131218, con un filtro negativo bajo una luz normal.
Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 808. Microscopia de la C-5131218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

CARGA-DEFORMACIÓN



Gráficas 4. 64. Curva Carga-Deformación de la C-5131218, en N-mm. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 809. Fotografía de la C-5131218, en la prensa. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 810. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-5131218. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 811. Fotografías de la corrida C-6131218. Fuente: (Autoría propia).

De composición 100% CAL ESTANDAR, 275% MARMOLINA Tipo 2, 10% CARBONATO DE SODIO, 30% HARINA DE ARRÓZ y A/C= 1.3:1 (calentada hasta el punto de ebullición y agregada a la mezcla, previamente integrados todos los materiales), de dimensiones iguales a un diámetro de 23.2mm y longitud de 44.7mm, que presenta alta DUREZA al ser pulido. (Autoría propia).



Figura. 4. 812. Microscopia de la C-6131218. Fuente: Autoría propia.



Figura. 4. 813. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-5131218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 814. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-5131218, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 815. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-5131218, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

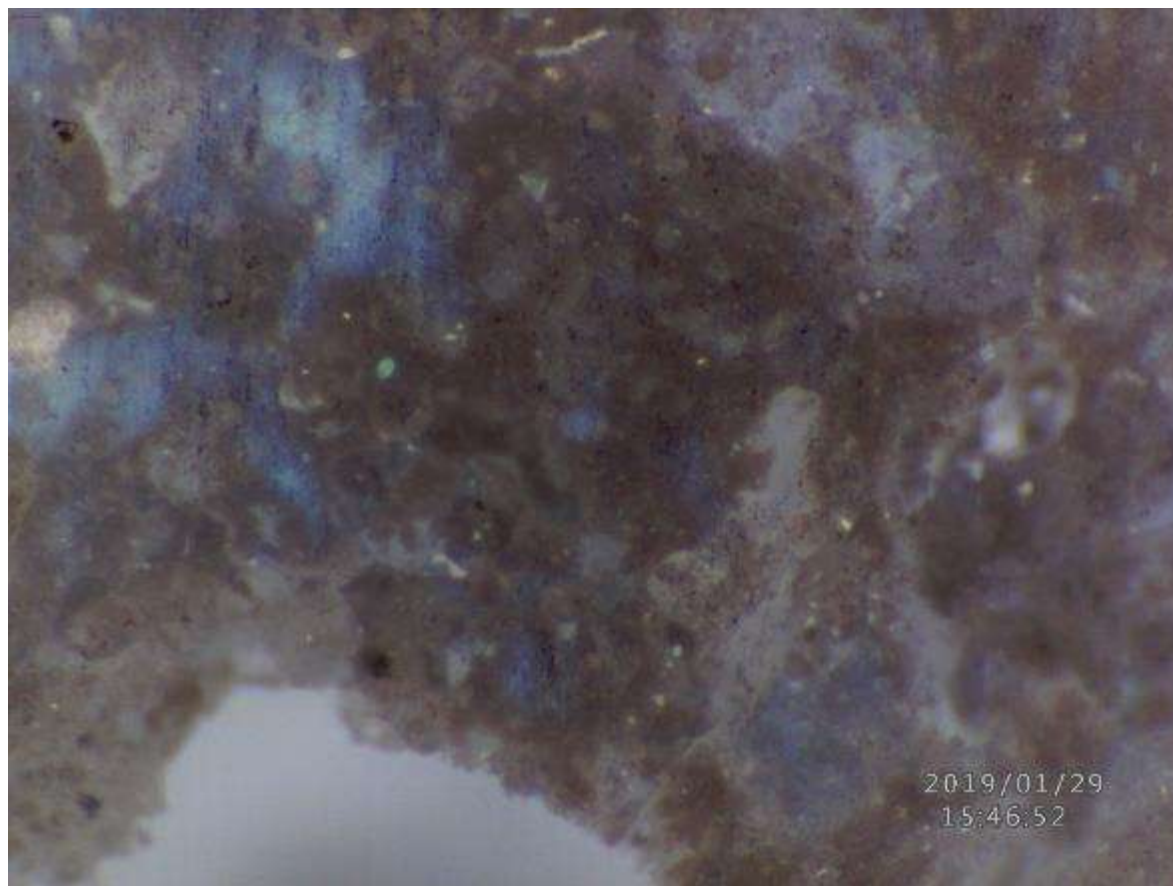


Figura. 4. 816. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-6131218, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

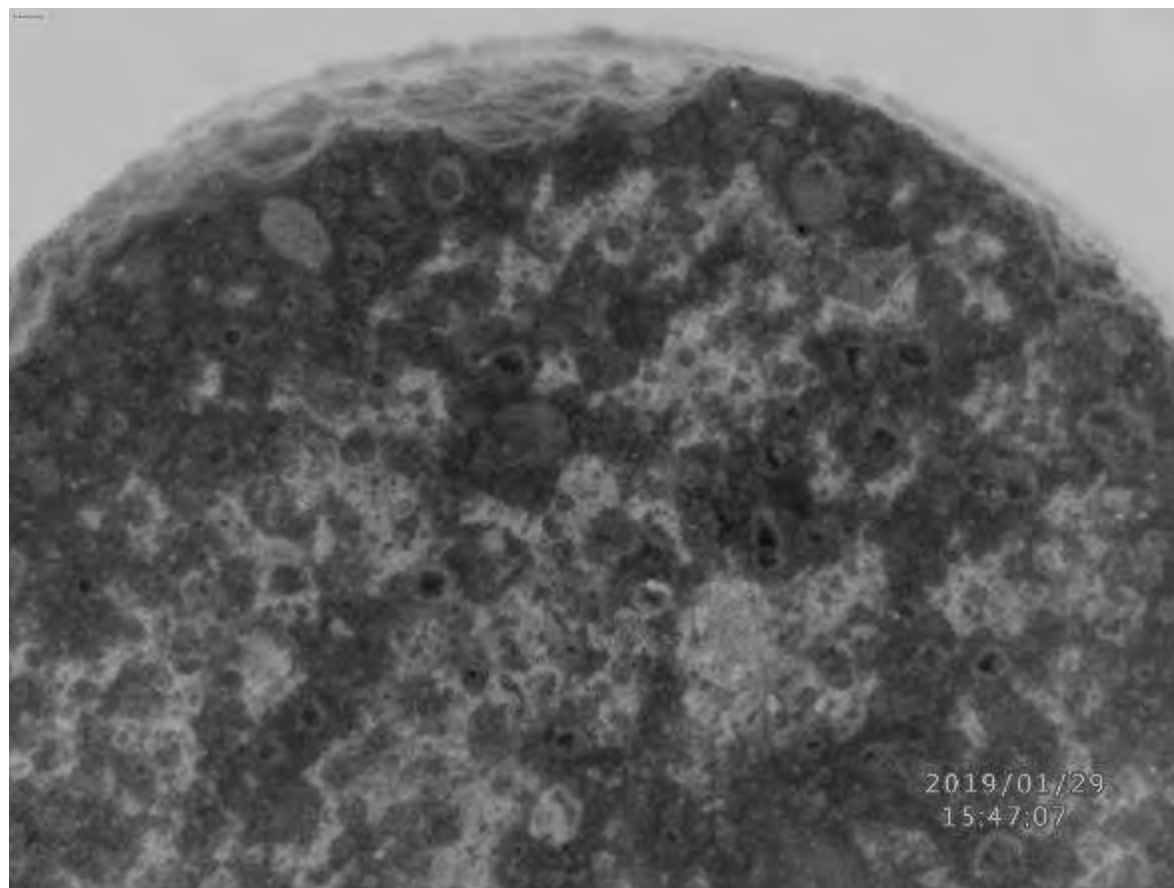


Figura. 4. 817. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-6131218, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

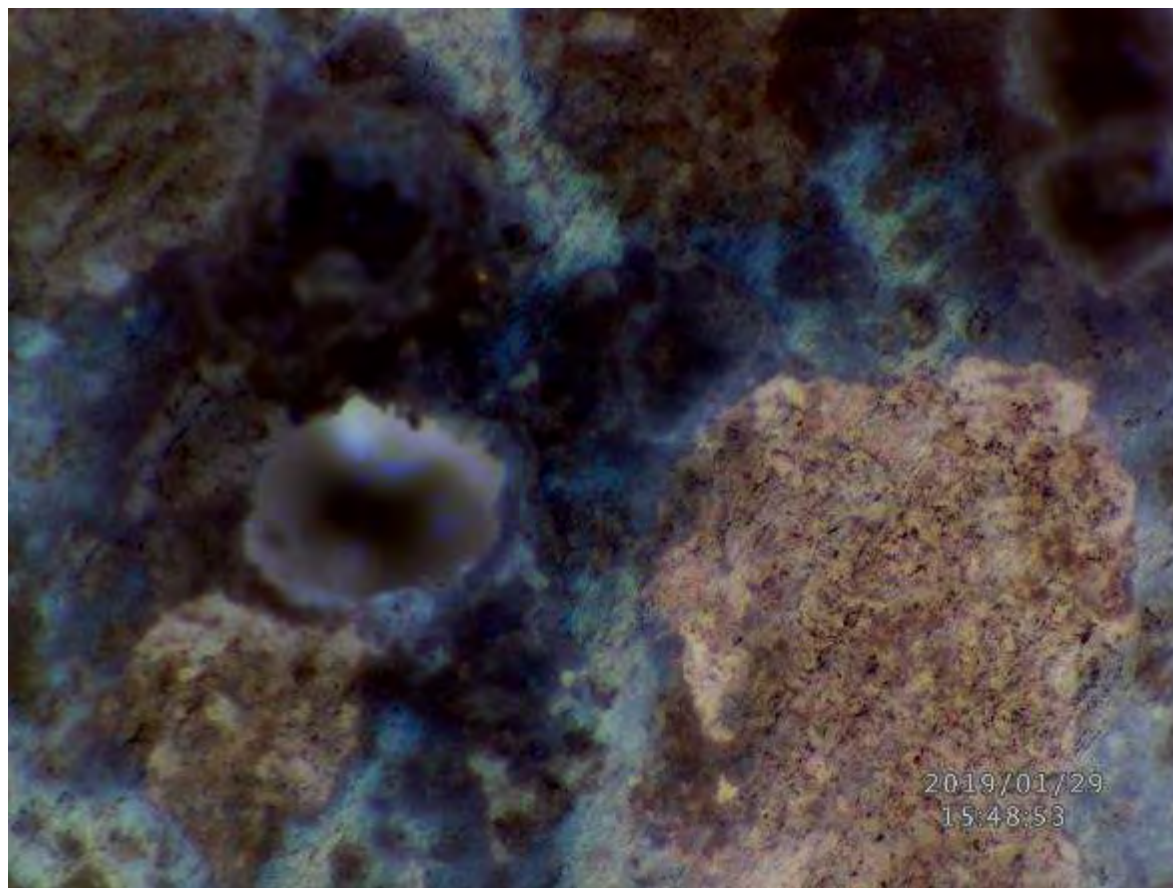


Figura. 4. 818. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-6131218, con un filtro negativo bajo una luz normal.
Fuente: (autoría propia).

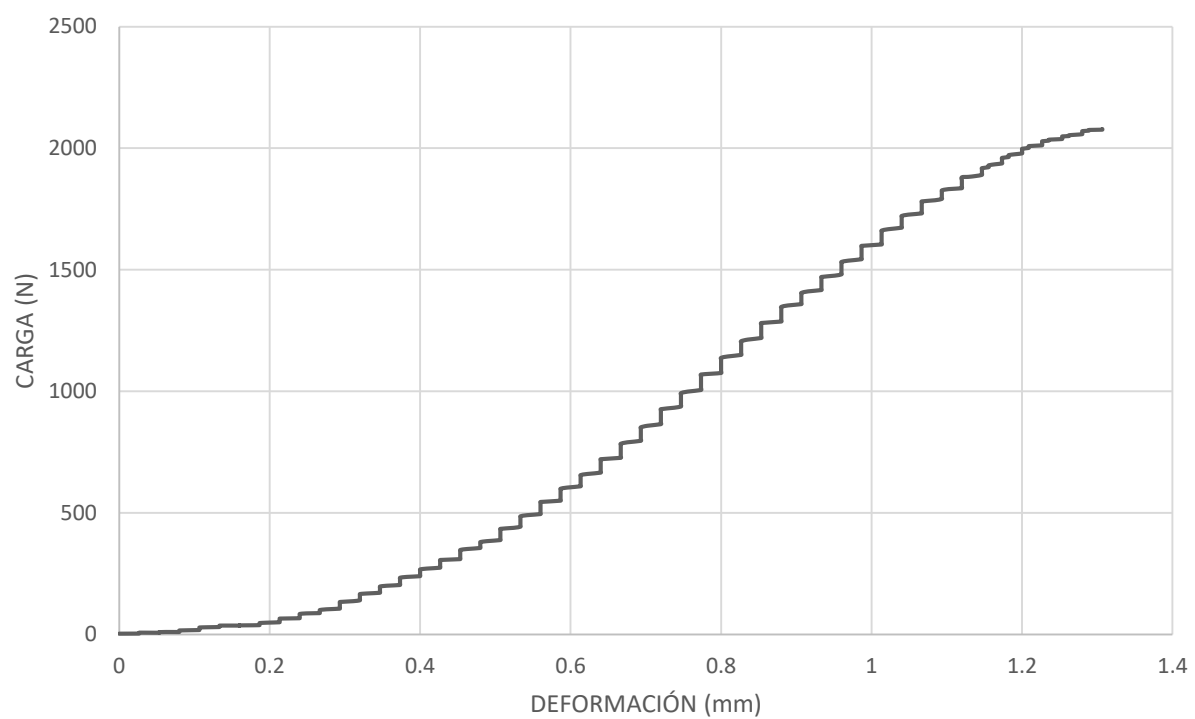


Figura. 4. 819. Microscopia de la C-6131218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 820. Microscopia de la C-6131218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

CARGA-DEFORMACIÓN



Gráficas 4. 65. Curva Carga-Deformación de la C-6131218, en N-mm. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 821. Fotografía de la C-6131218, en la prensa. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 822. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-6131218. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 823. Fotografías de la corrida C-1171218. Fuente: (Autoría propia).

De composición 100% CAL ESTANDAR, 275% MARMOLINA Tipo 2, 5% SULFATO DE SODIO, 20% HARINA DE ARRÓZ y A/C= 1.1:1 (calentada hasta el punto de ebullición y agregada a la mezcla, previamente integrados todos los materiales), de dimensiones iguales a un diámetro de 23.2mm y longitud de 44.6mm, que presenta alta DUREZA al ser pulido. (Autoría propia).



Figura. 4. 824. Imágenes de la corrida C-1171218, con presencia de eflorescencias en su parte externa. (autoría propia).

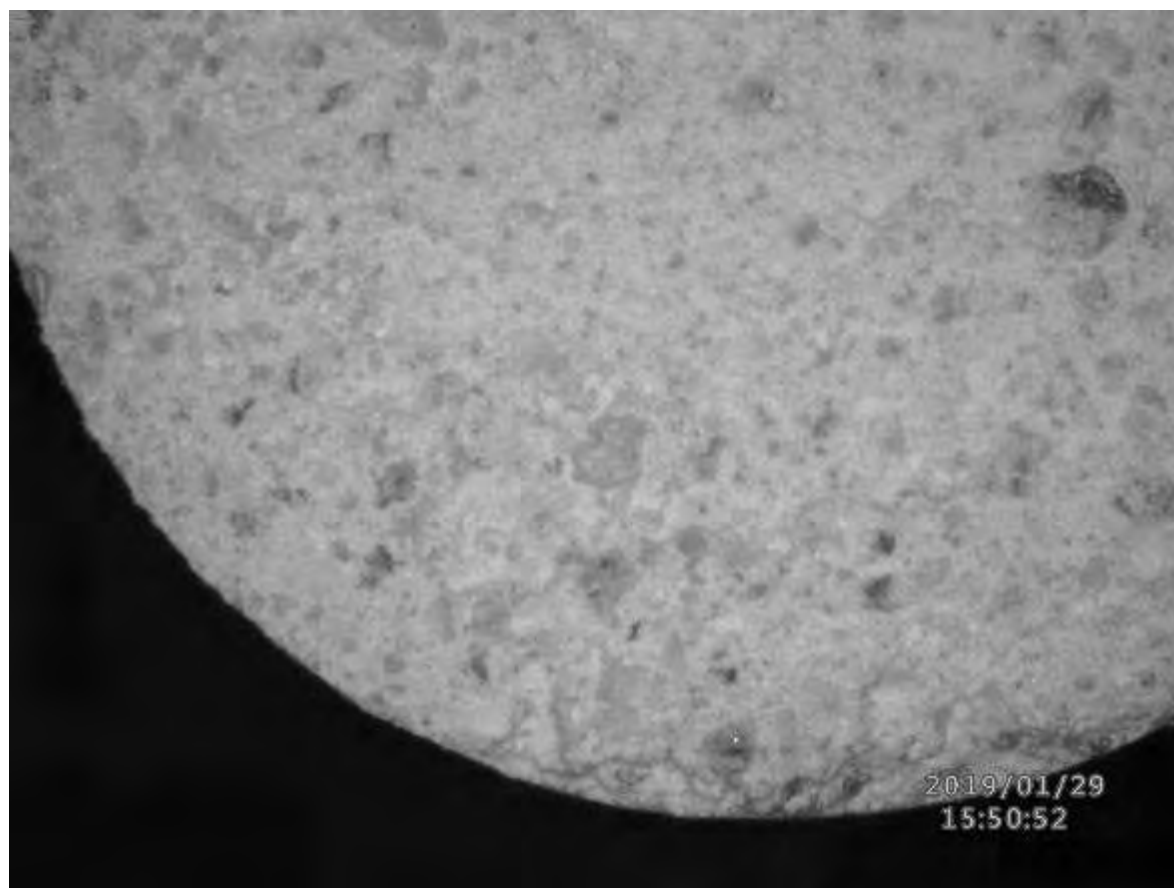


Figura. 4. 825. Microscopia de la C-1171218. Fuente: Autoría propia.

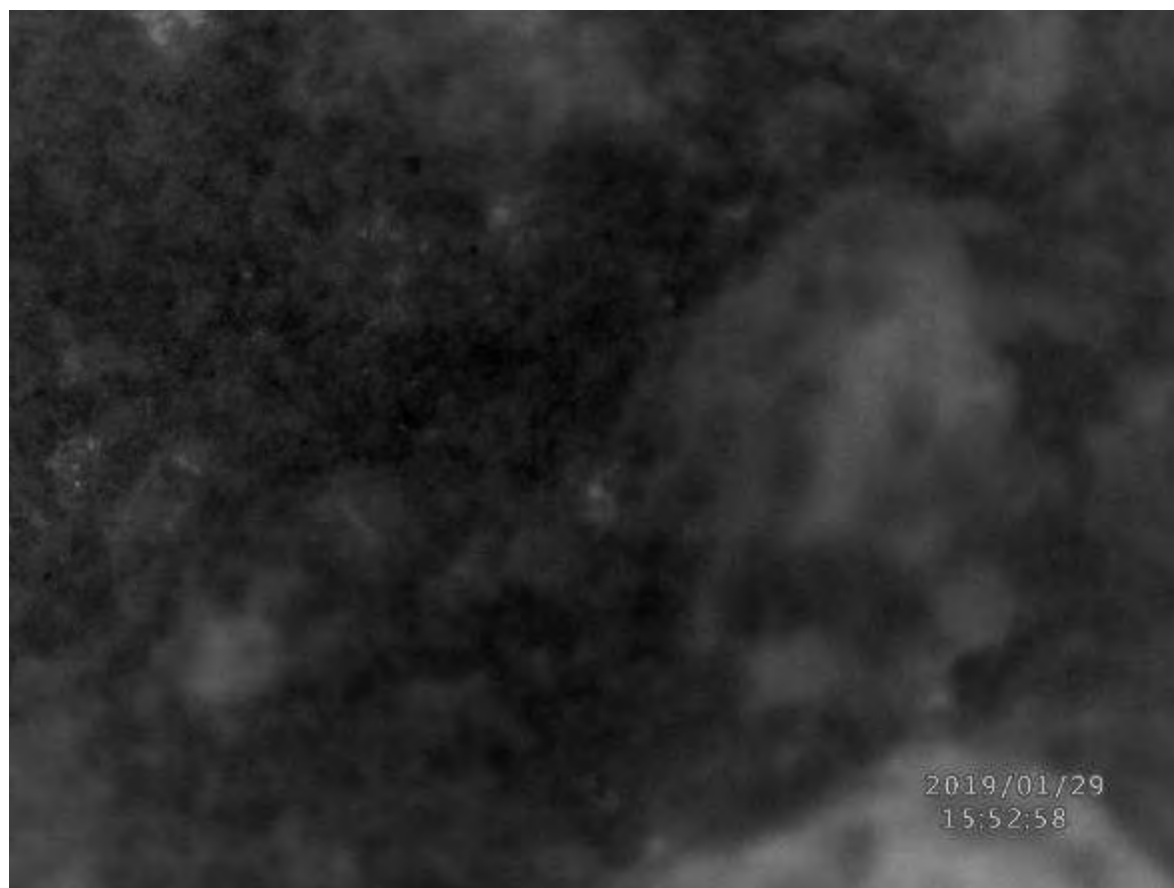


Figura. 4. 826. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-1171218, con un filtro negativo. Fuente: (autoría propia).

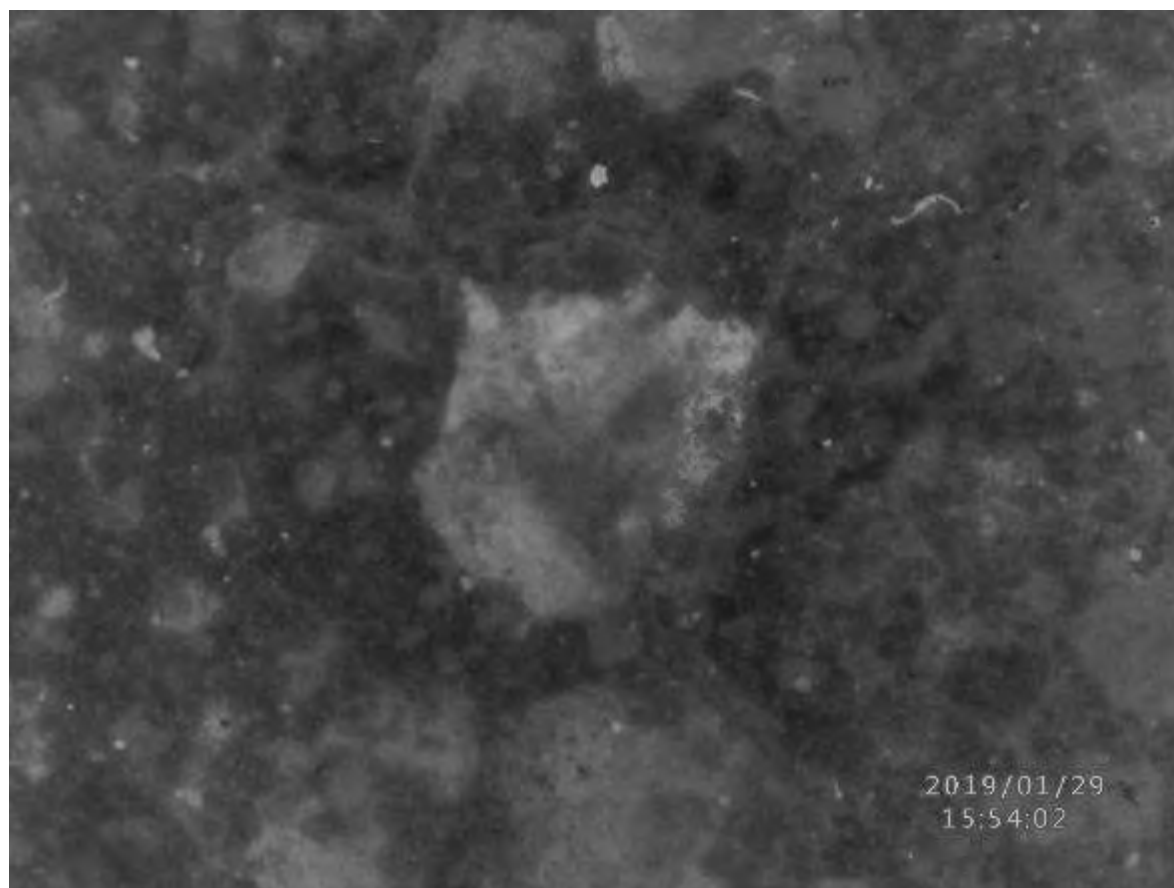


Figura. 4. 827. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-117121818, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

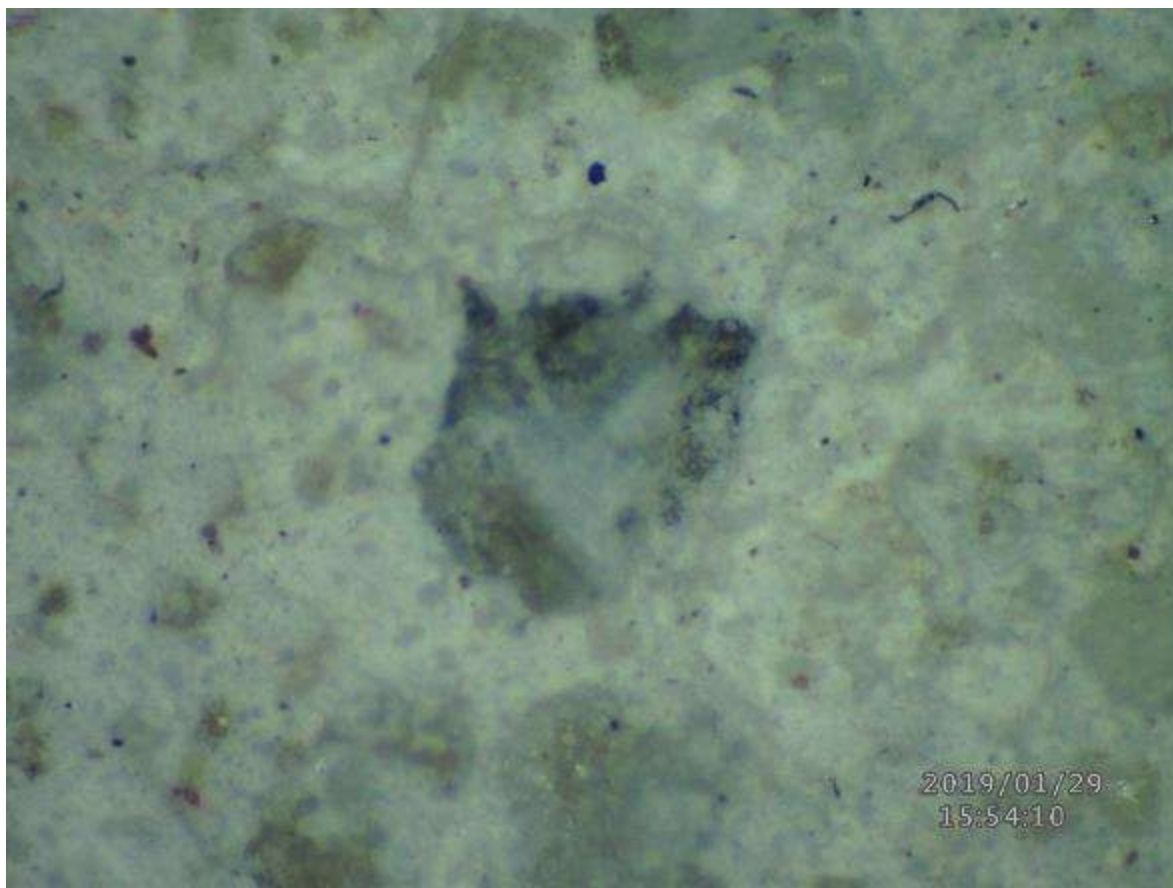
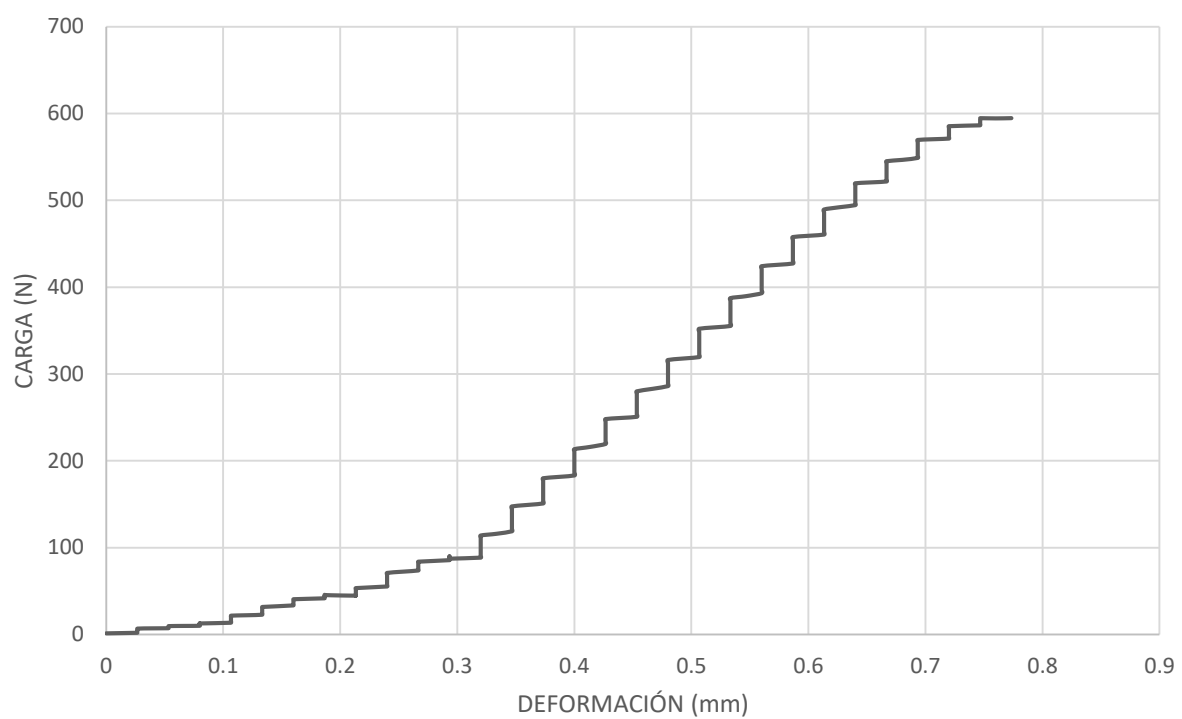


Figura. 4. 828. Microscopia de la C-1171218, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

CARGA-DEFORMACIÓN



Gráficas 4. 66. Curva Carga-Deformación de la C-1171218, en N-mm. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 829. Fotografía de la C-1171218, en la prensa. Fuente: (autoría propia).



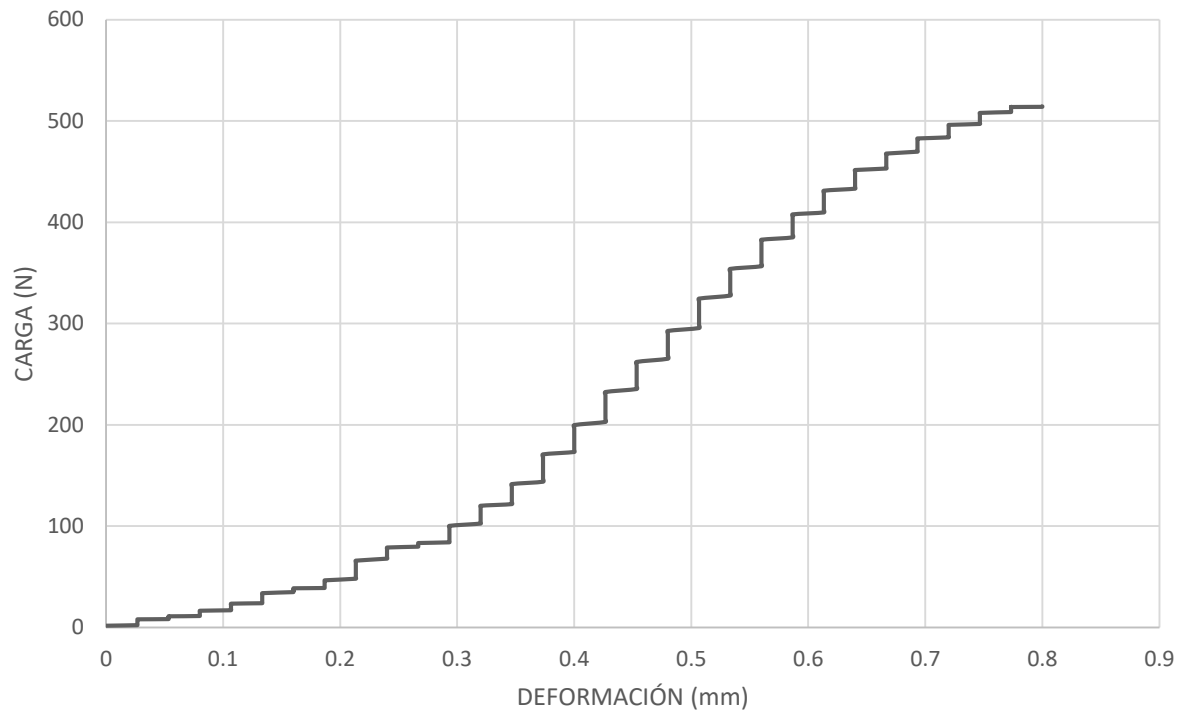
Figura. 4. 830. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-1171218. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 831. Fotografías de la corrida C-1181218. Fuente: (Autoría propia).

De composición 100% CAL ESTANDAR, 275% MARMOLINA Tipo 2, 10% SULFATO DE SODIO, 10% HARINA DE ARRÓZ y A/C= 1.1:1 (calentada hasta el punto de ebullición y agregada a la mezcla, previamente integrados todos los materiales), de dimensiones iguales a un diámetro de 22.7mm y longitud de 45.3mm, que presenta poca DUREZA al ser pulido, SE RESECA MUY PRONTO, POCA TRABAJABILIDA, no se mostrara el resto de la familia se SULFATO DE SODIO debido a que tienen un fraguado relámpago. (Autoría propia).

CARGA-DEFORMACIÓN



Gráficas 4. 67. Curva Carga-Deformación de la C-1181218, en N-mm. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 832. Fotografías de la corrida C-13019. Fuente: (Autoría propia).

De composición 100% CAL ESTANDAR, 275% MARMOLINA Tipo 2, 5% CLORURO DE SODIO, 10% HARINA DE ARRÓZ y A/C= 1.1:1 (calentada hasta el punto de ebullición y agregada a la mezcla, previamente integrados todos los materiales), de dimensiones iguales a un diámetro de 23.4mm y longitud de 43.7mm, que presenta baja DUREZA al ser pulido. (Autoría propia).

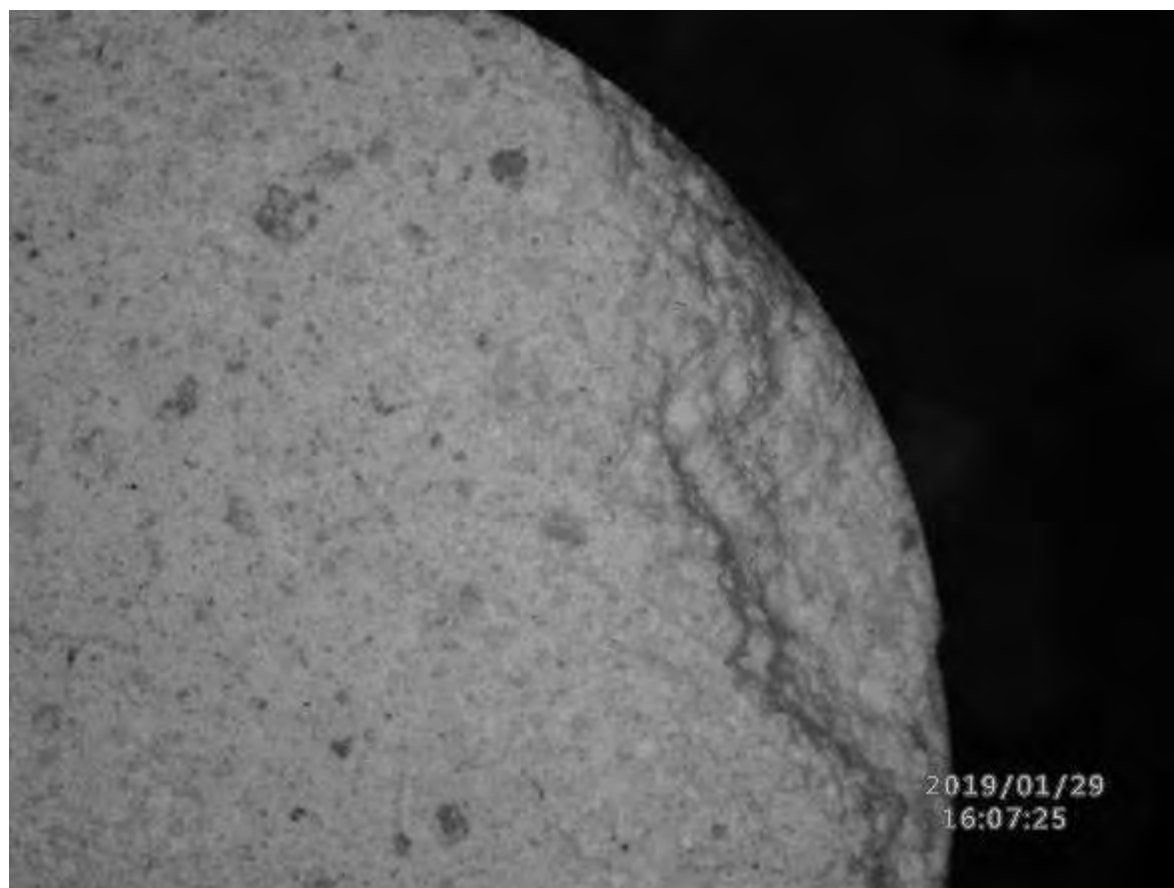


Figura. 4. 833. Microscopia de la C-130119. Fuente: Autoría propia.

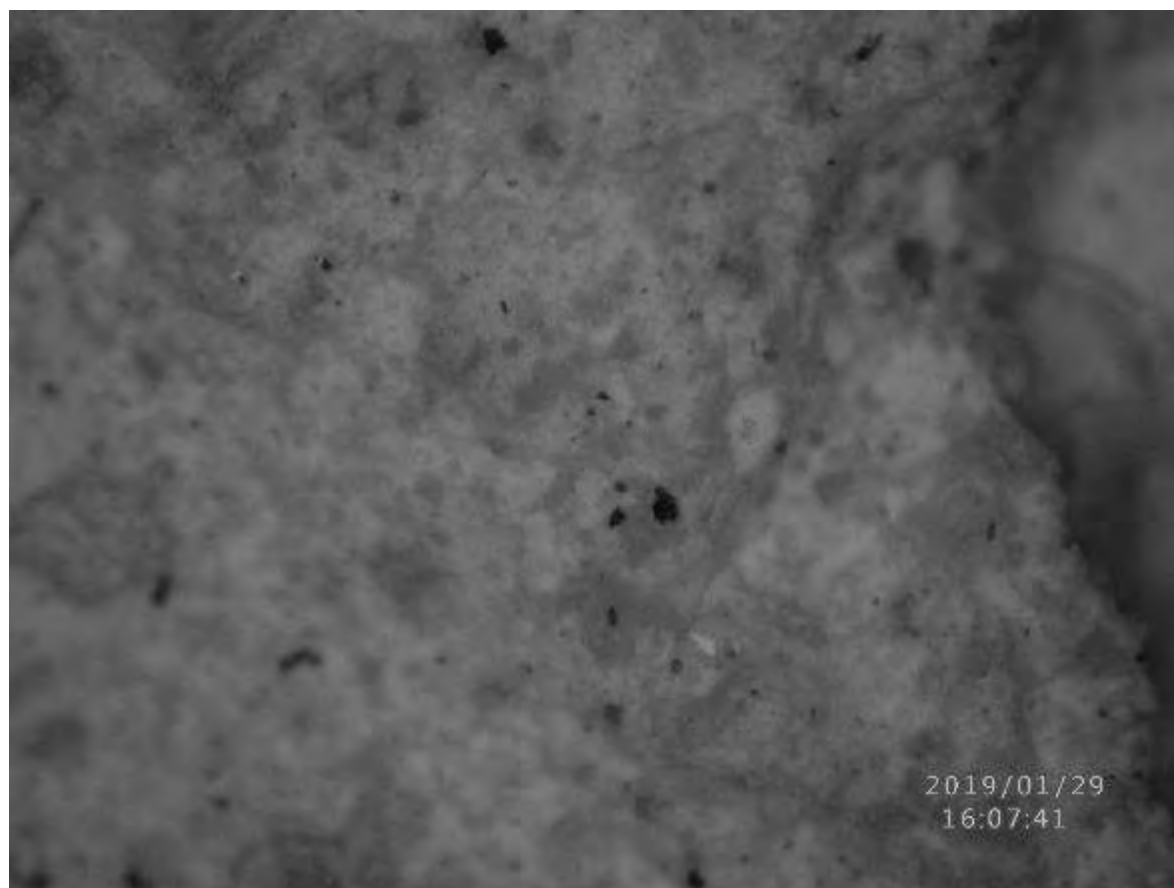


Figura. 4. 834. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-130119, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

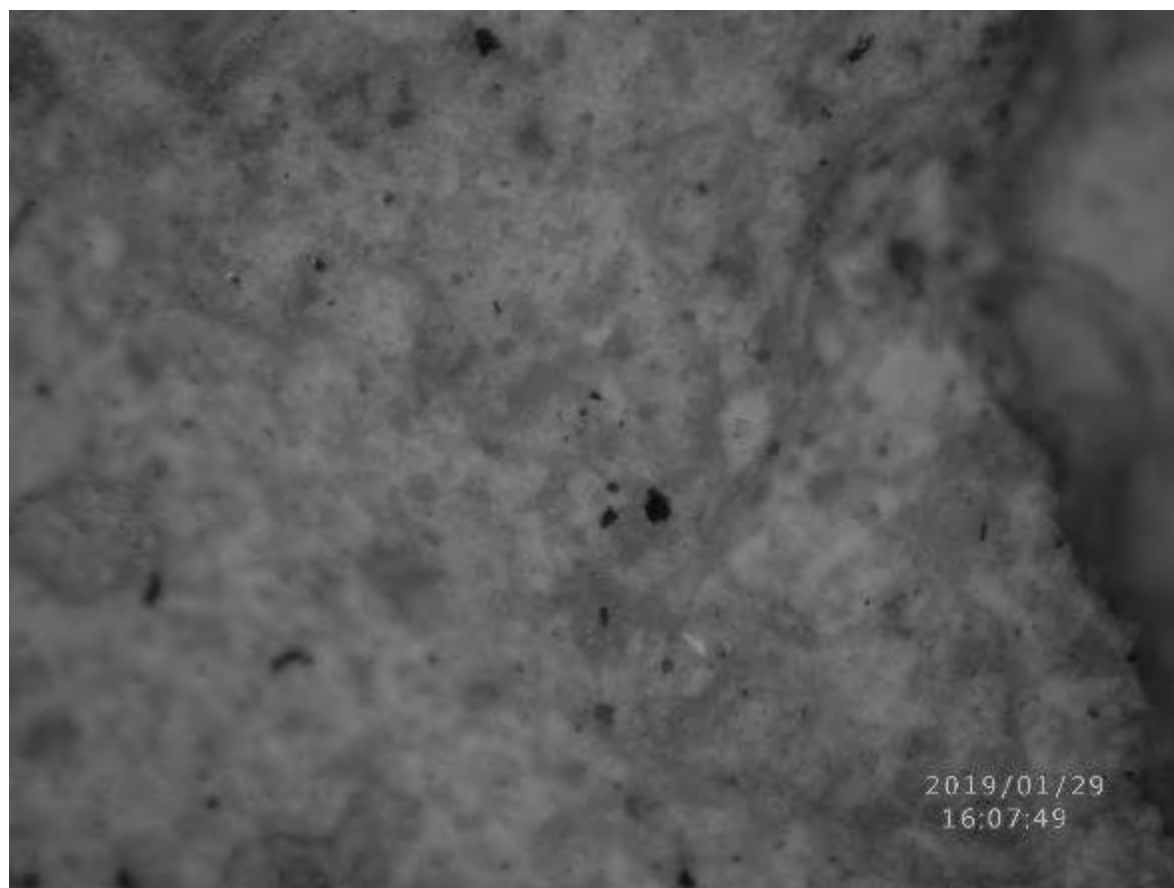


Figura. 4. 835. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-130119, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

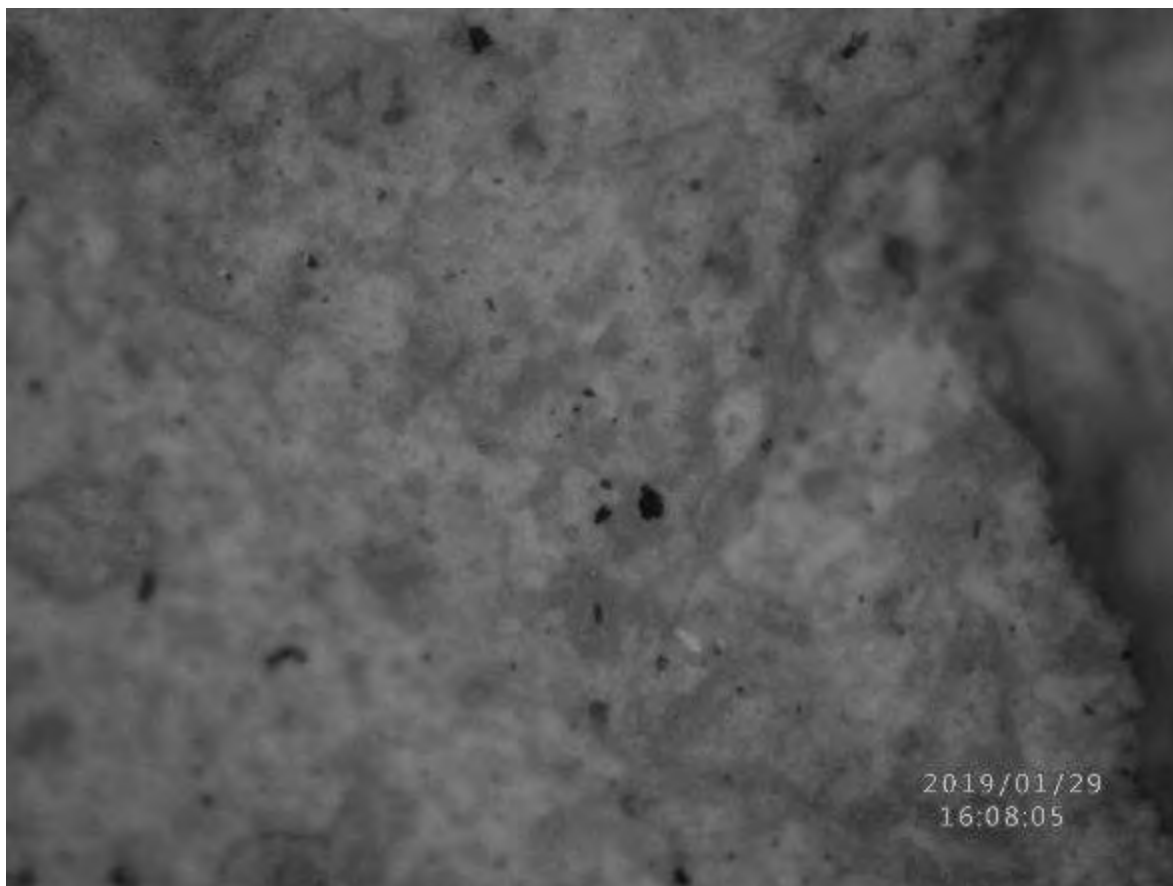


Figura. 4. 836. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-130119, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

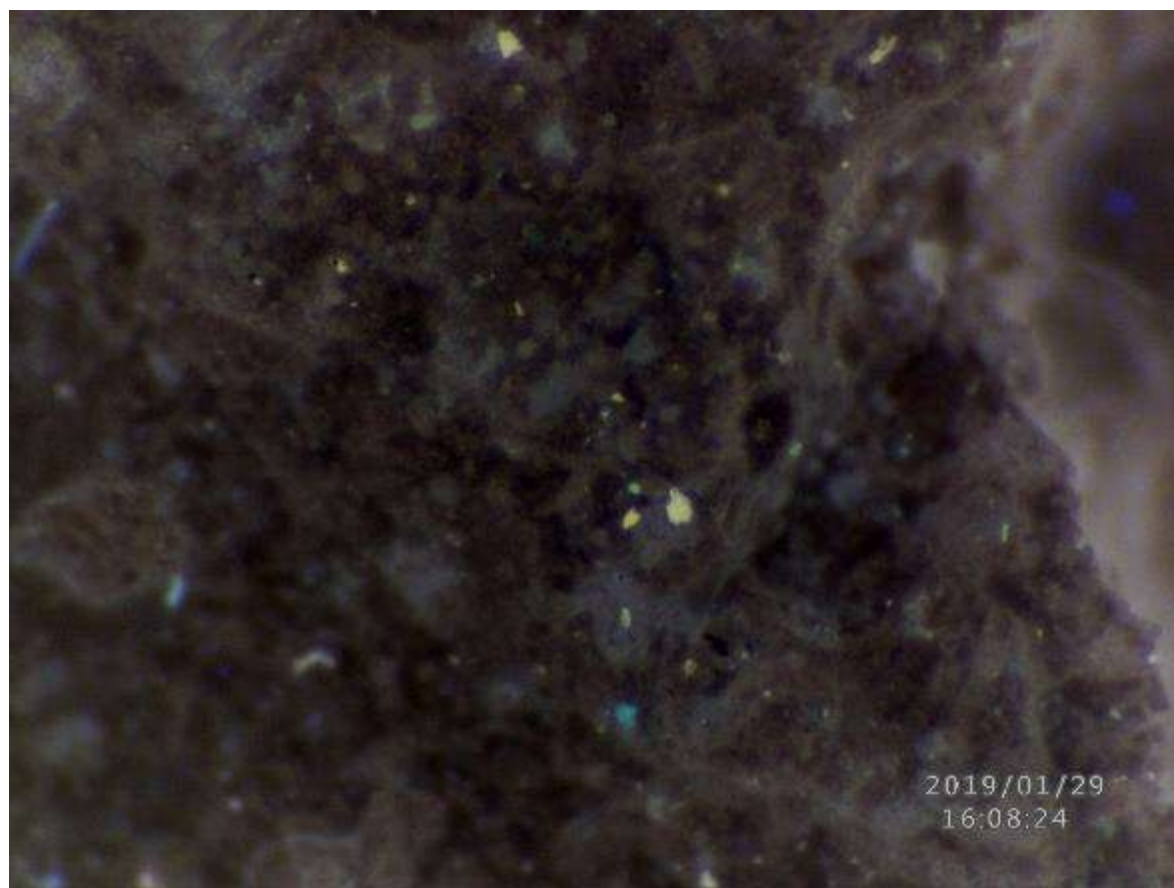


Figura. 4. 837. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-130119, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

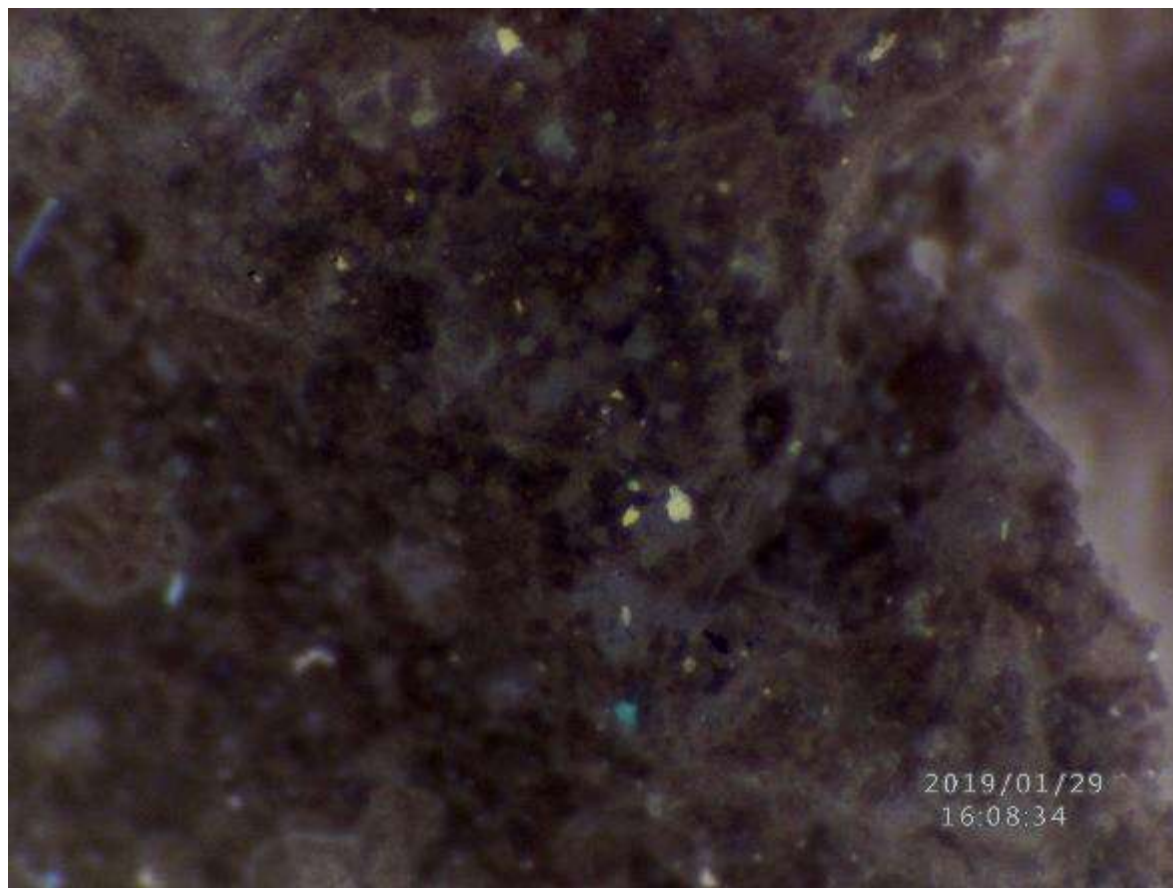
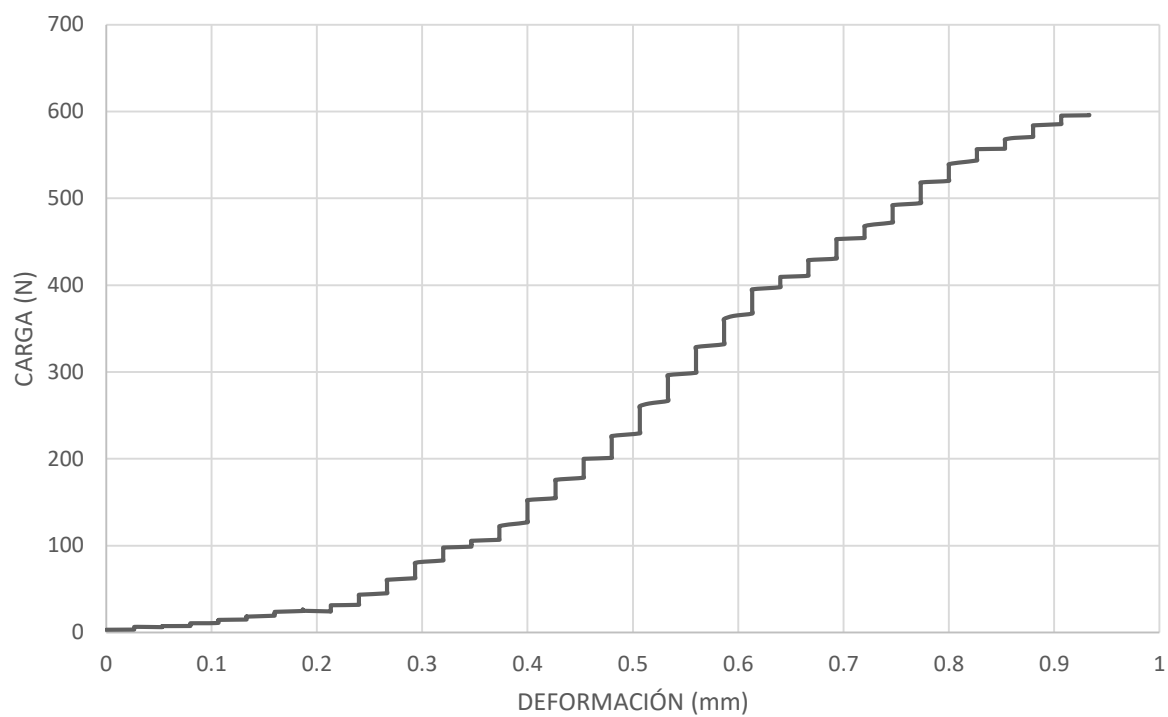


Figura. 4. 838. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-130119, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

CARGA-DEFORMACIÓN



Gráficas 4. 68. Curva Carga-Deformación de la C-130119, en N-mm. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 839. Fotografía de la C-130119, en la prensa. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 840. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-130119. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 841. Fotografías de la corrida C-230119. Fuente: (Autoría propia).

De composición 100% CAL ESTANDAR, 275% MARMOLINA Tipo 2, 10% CLORURO DE SODIO, 10% HARINA DE ARRÓZ y A/C= 1.1:1 (calentada hasta el punto de ebullición y agregada a la mezcla, previamente integrados todos los materiales), de dimensiones iguales a un diámetro de 23.5mm y longitud de 43.5mm, que presenta baja DUREZA al ser pulido. (Autoría propia).

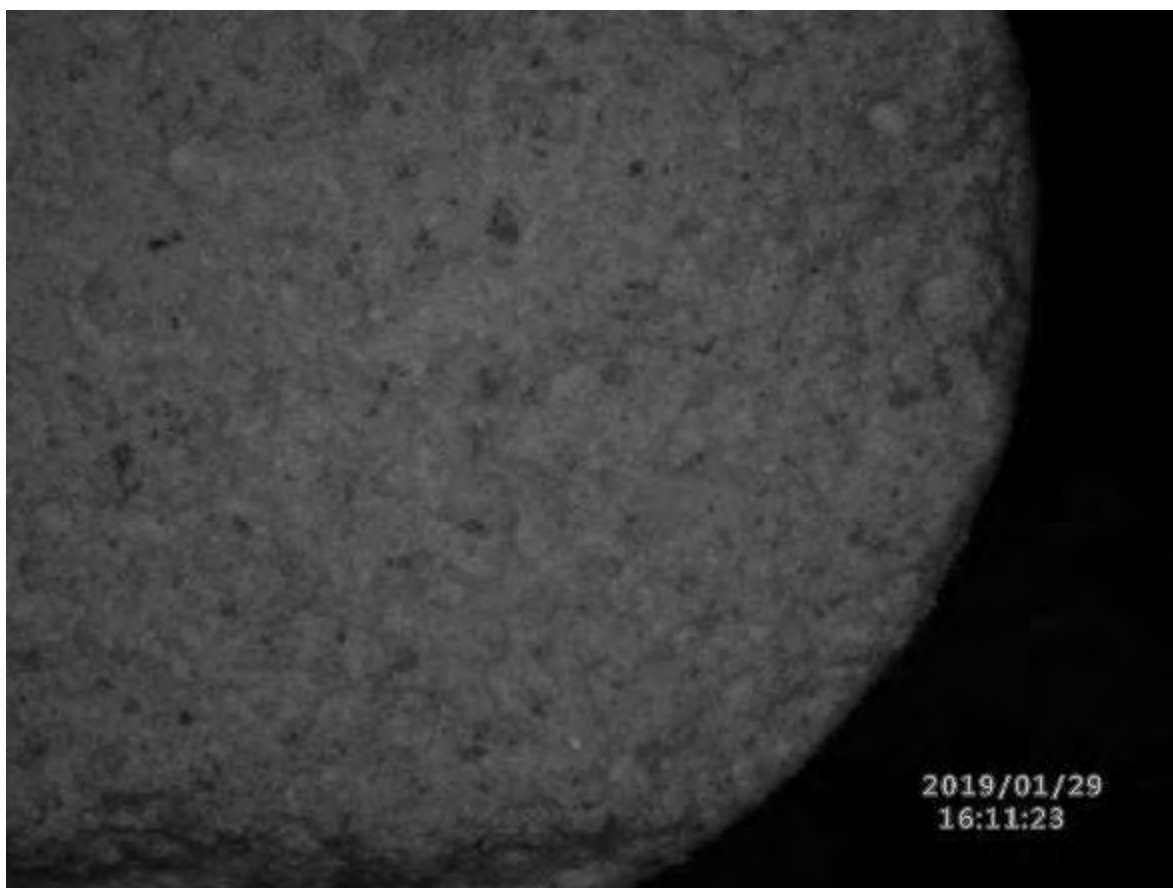


Figura. 4. 842. Microscopia de la C-230119. Fuente: Autoría propia.

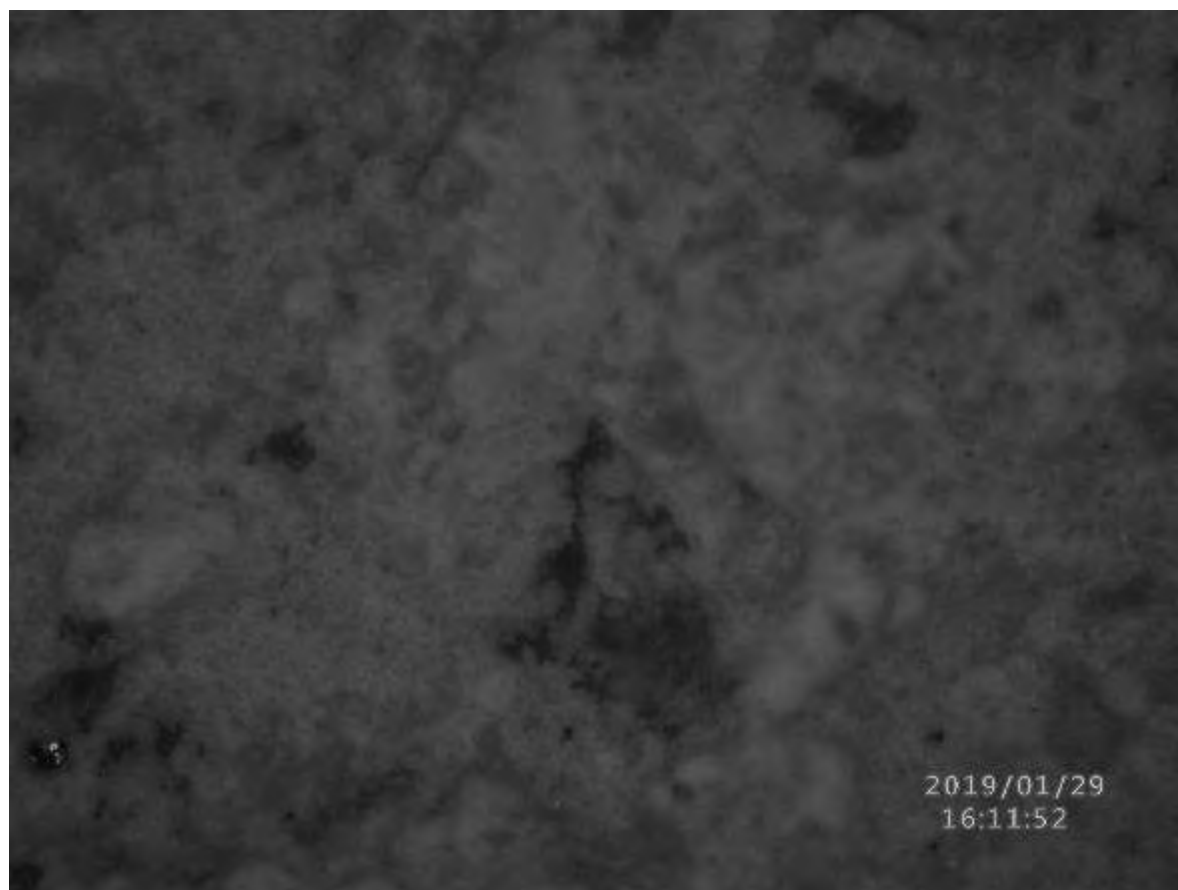


Figura. 4. 843. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-230119, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

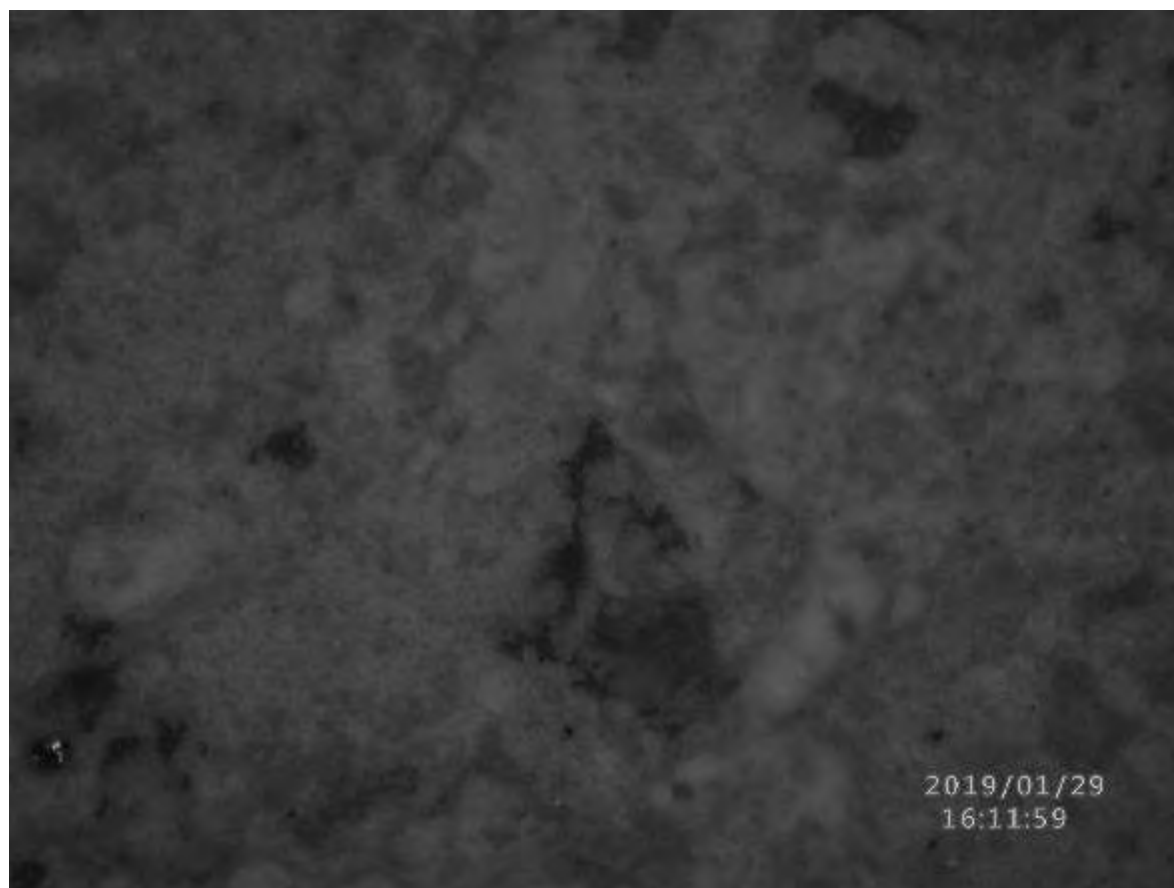


Figura. 4. 844. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-230119, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

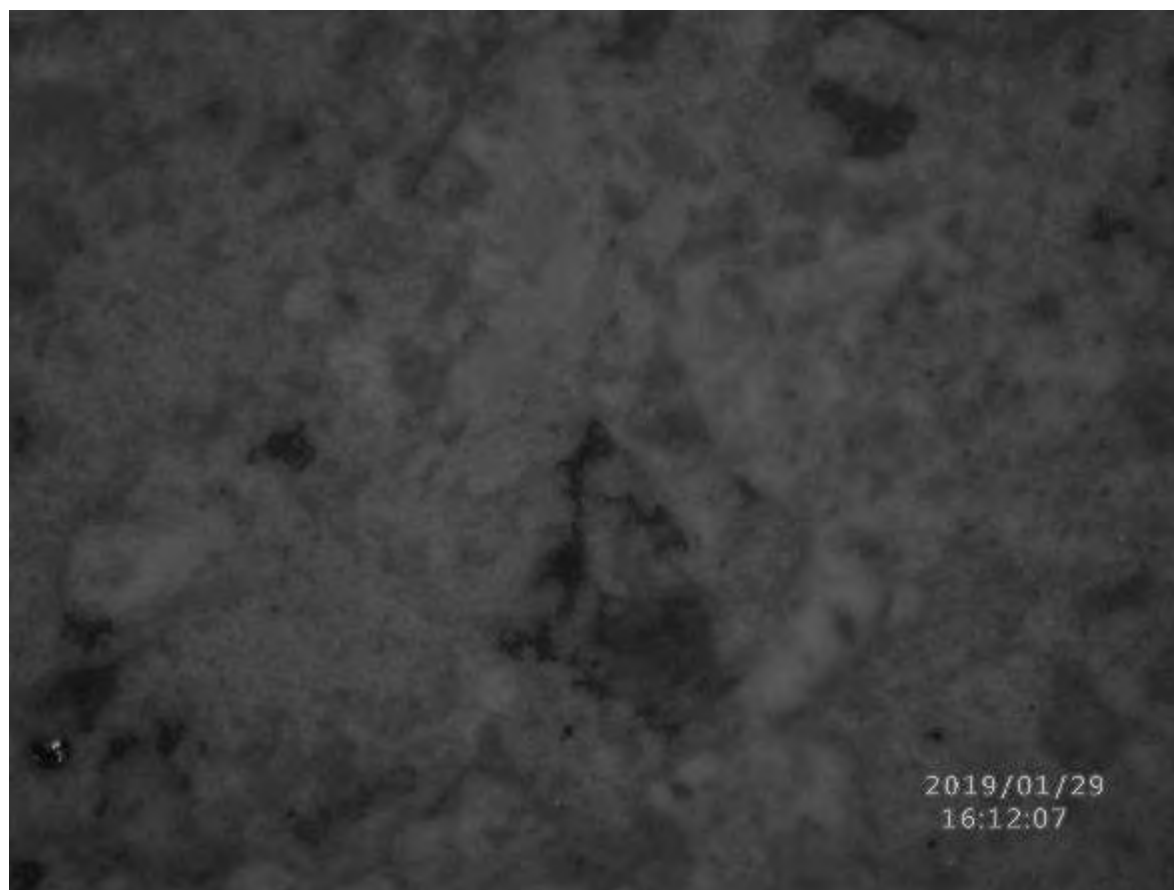


Figura. 4. 845. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-230119, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

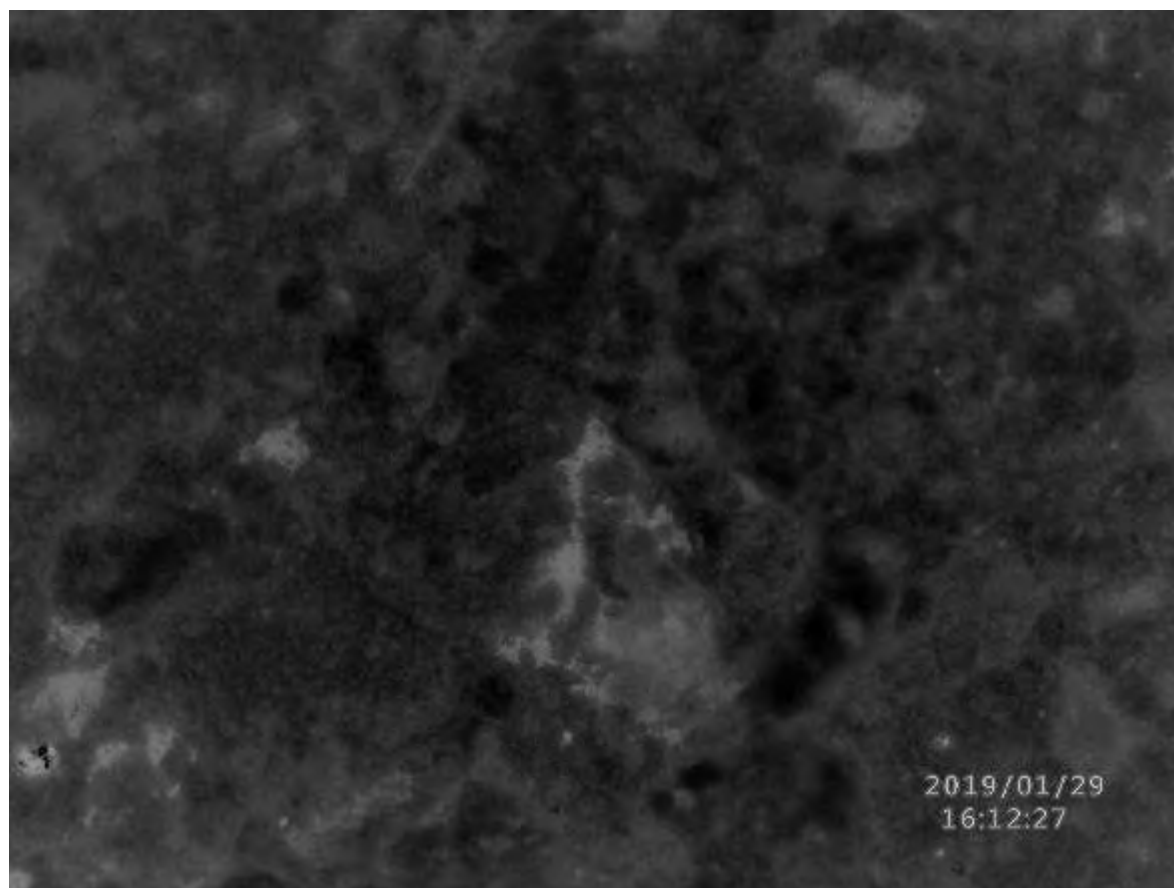


Figura. 4. 846. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-230119, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

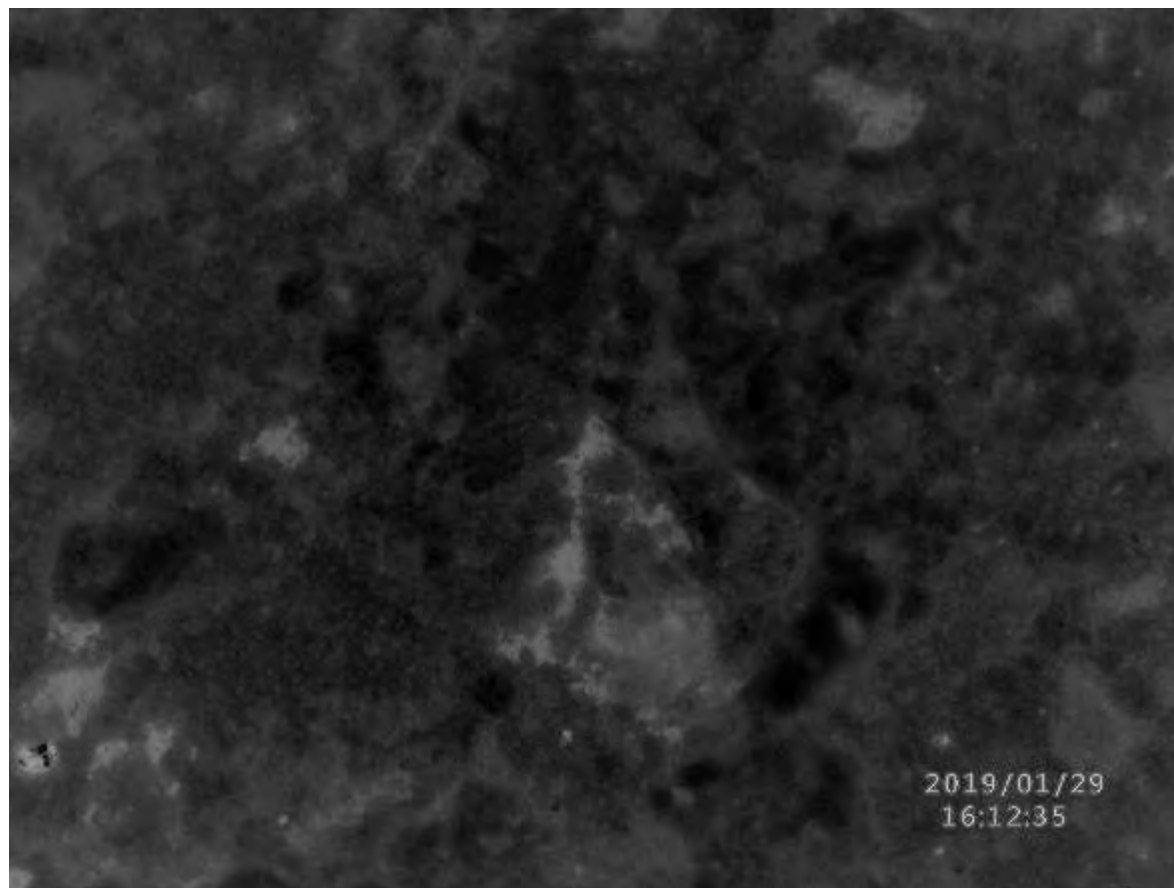
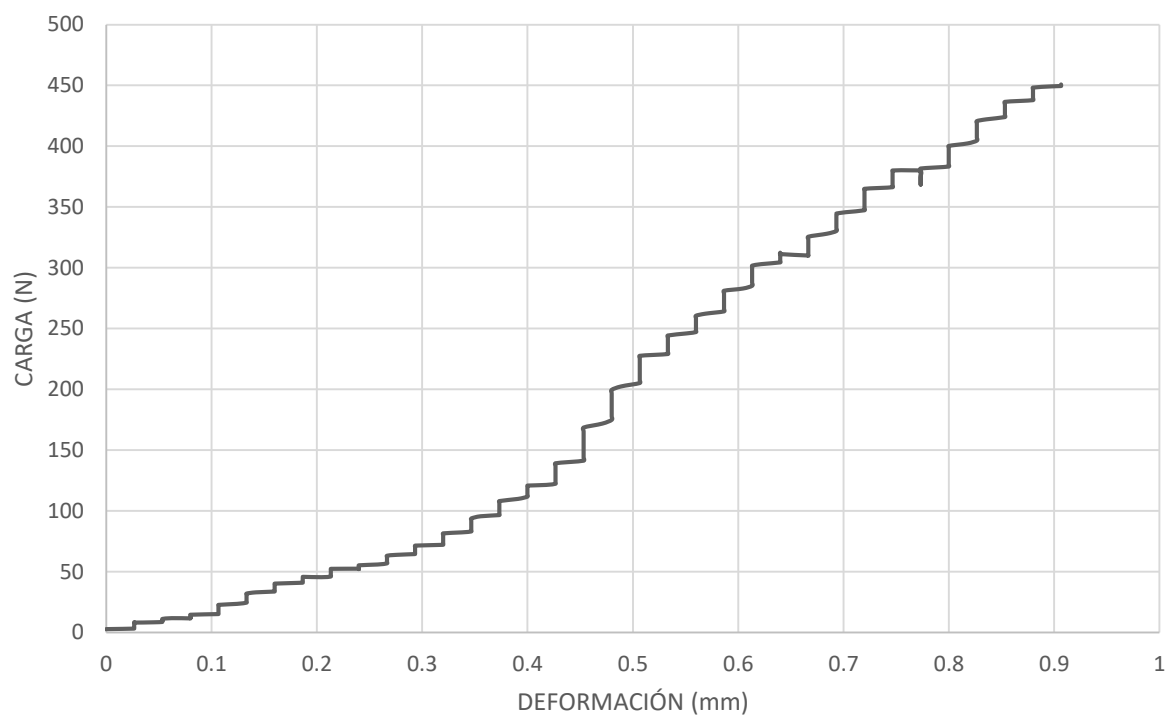


Figura. 4. 847. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-230119, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

CARGA-DEFORMACIÓN



Gráficas 4. 69. Curva Carga-Deformación de la C-230119, en N-mm. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 848. Fotografía de la C-230119, en la prensa. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 849. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-230119. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 850. Fotografías de la corrida C-330119. Fuente: (Autoría propia).

De composición 100% CAL ESTANDAR, 275% MARMOLINA Tipo 2, 10% CLORURO DE SODIO, 20% HARINA DE ARRÓZ y A/C= 1.2:1 (calentada hasta el punto de ebullición y agregada a la mezcla, previamente integrados todos los materiales), de dimensiones iguales a un diámetro de 22.4mm y longitud de 43.0mm, que presenta baja DUREZA al ser pulido. (Autoría propia).

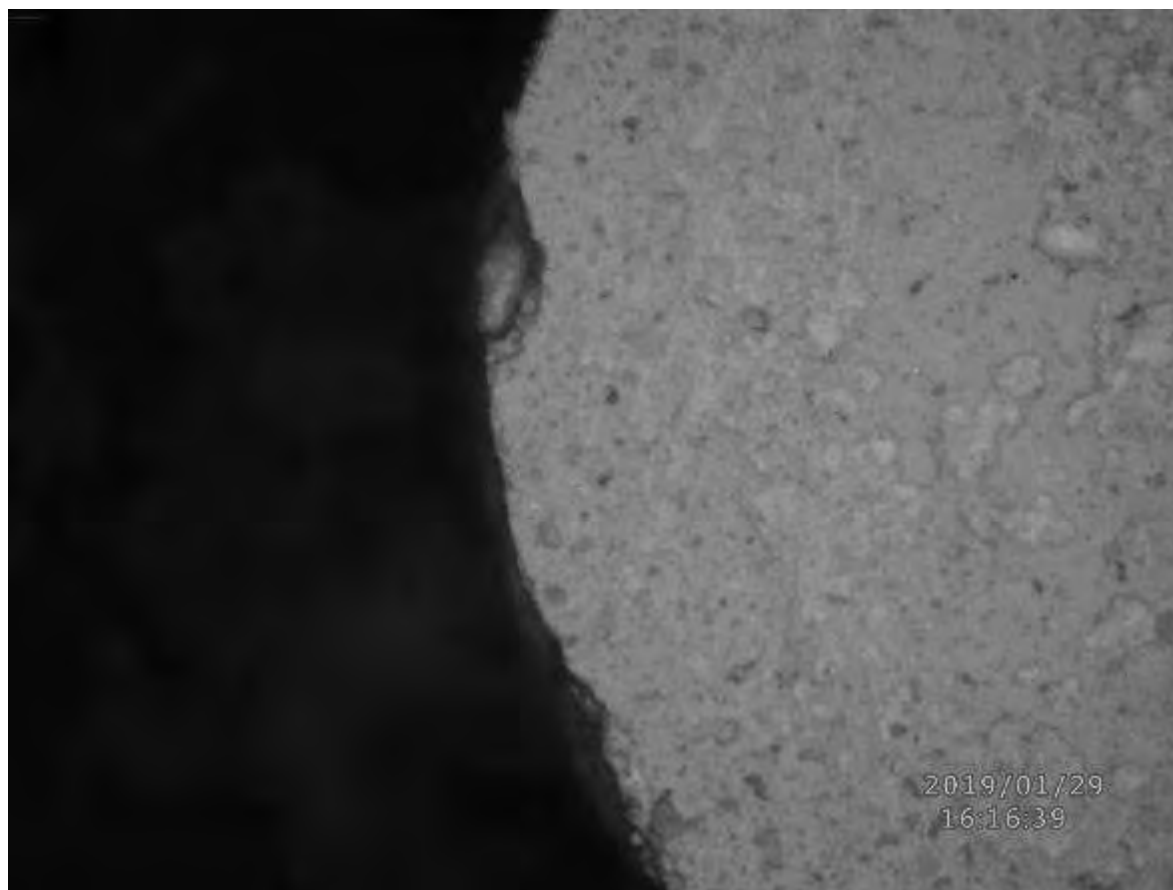


Figura. 4. 851. Microscopia de la C-330119. Fuente: Autoría propia.

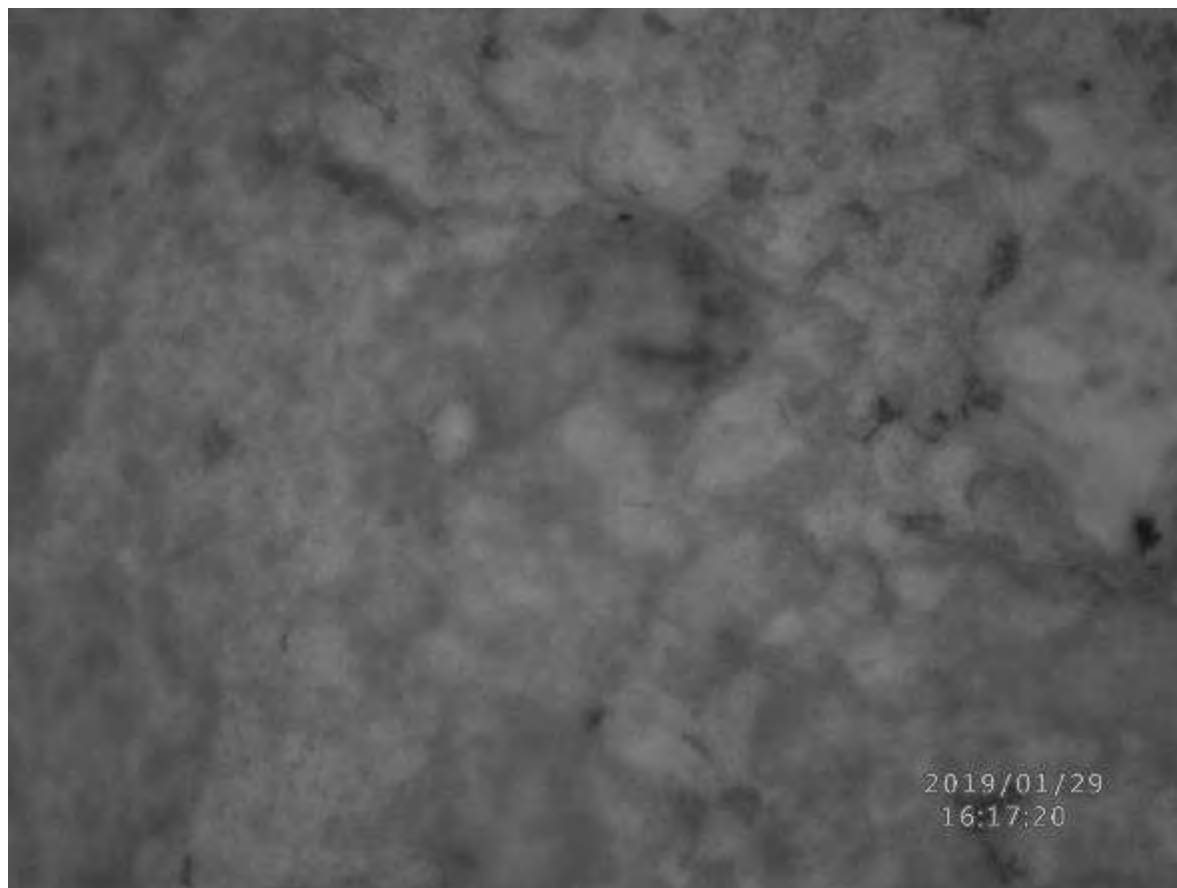


Figura. 4. 852. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-330119, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

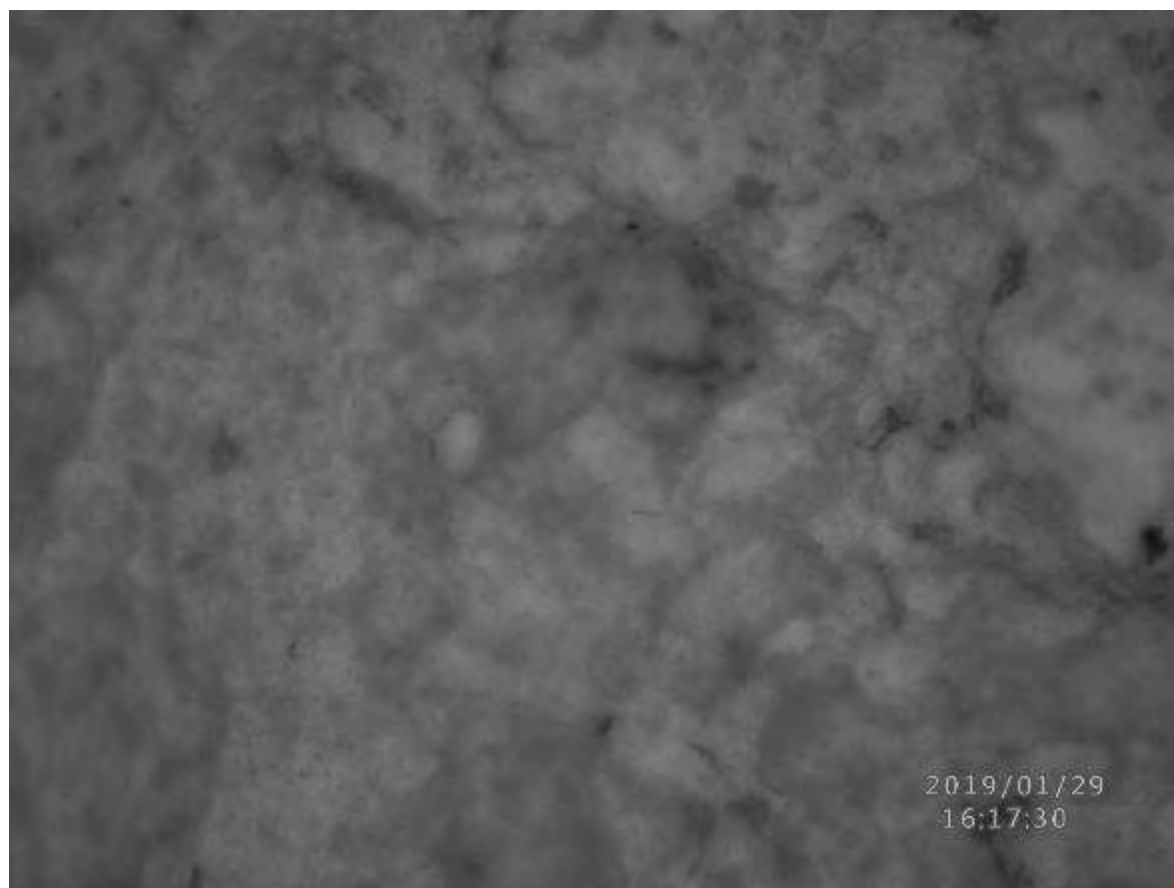


Figura. 4. 853. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-330119, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

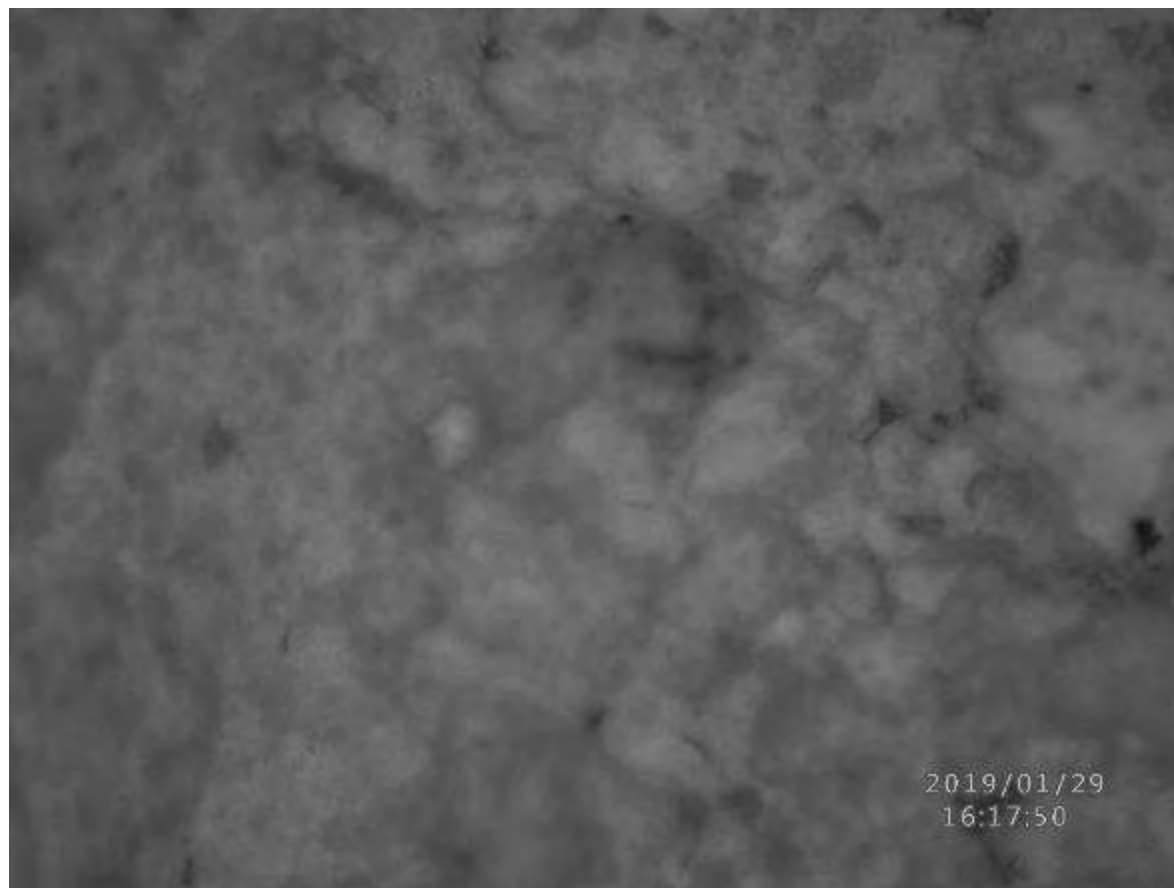


Figura. 4. 854. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-330119, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

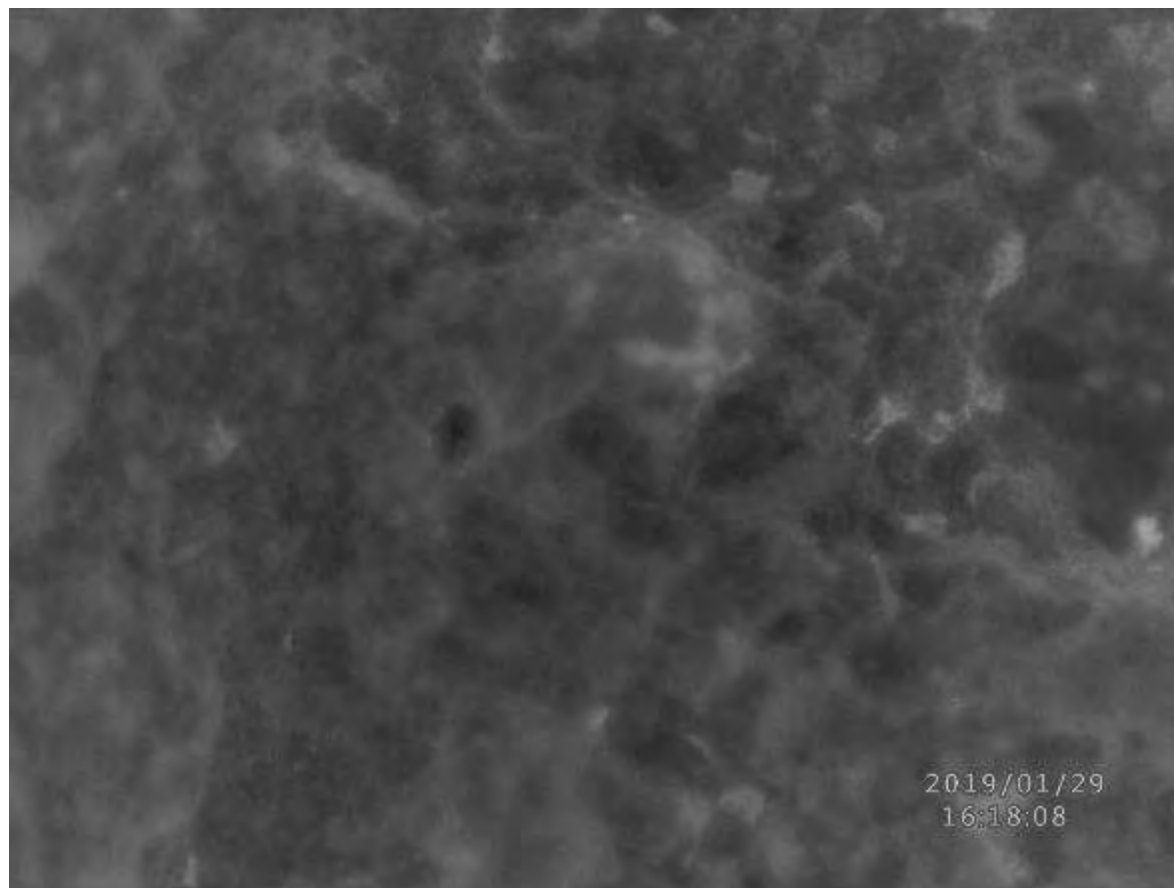


Figura. 4. 855. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-330119, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

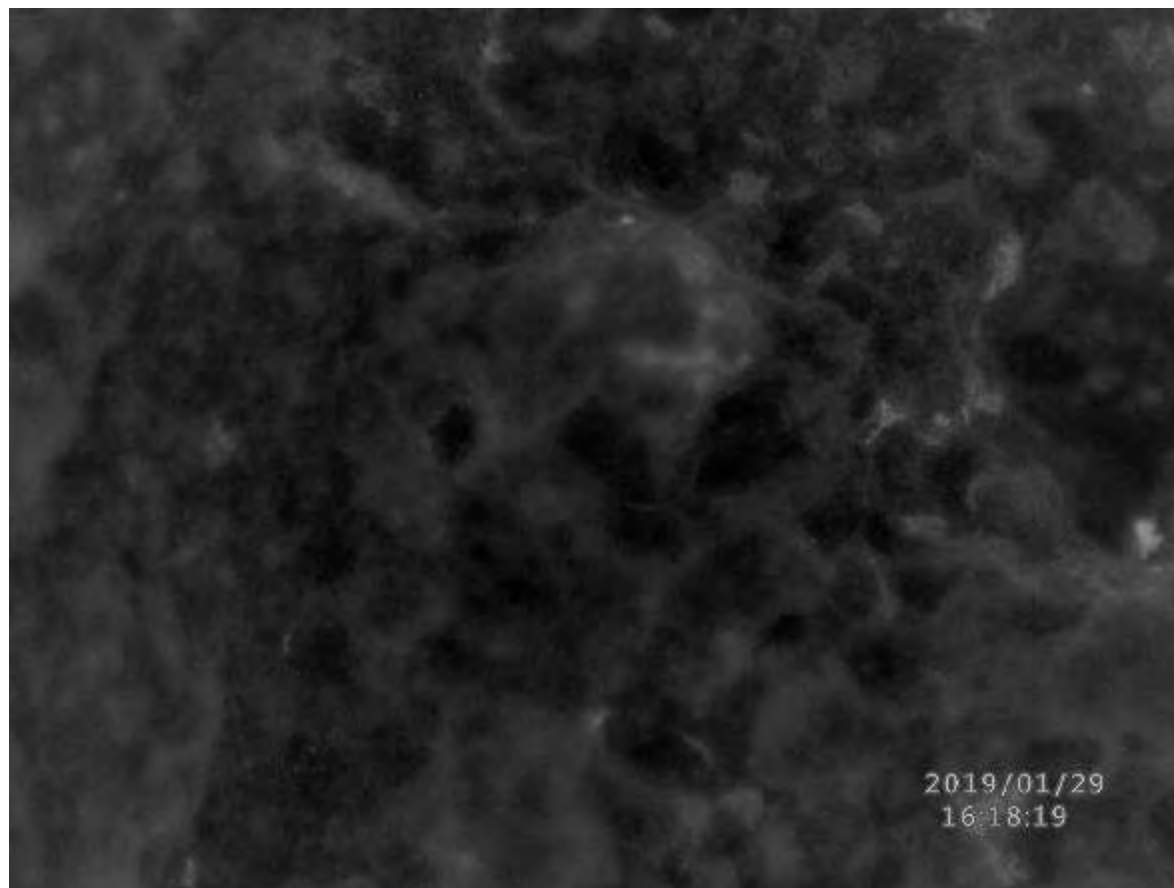


Figura. 4. 856. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-330119, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

CARGA-DEFORMACIÓN

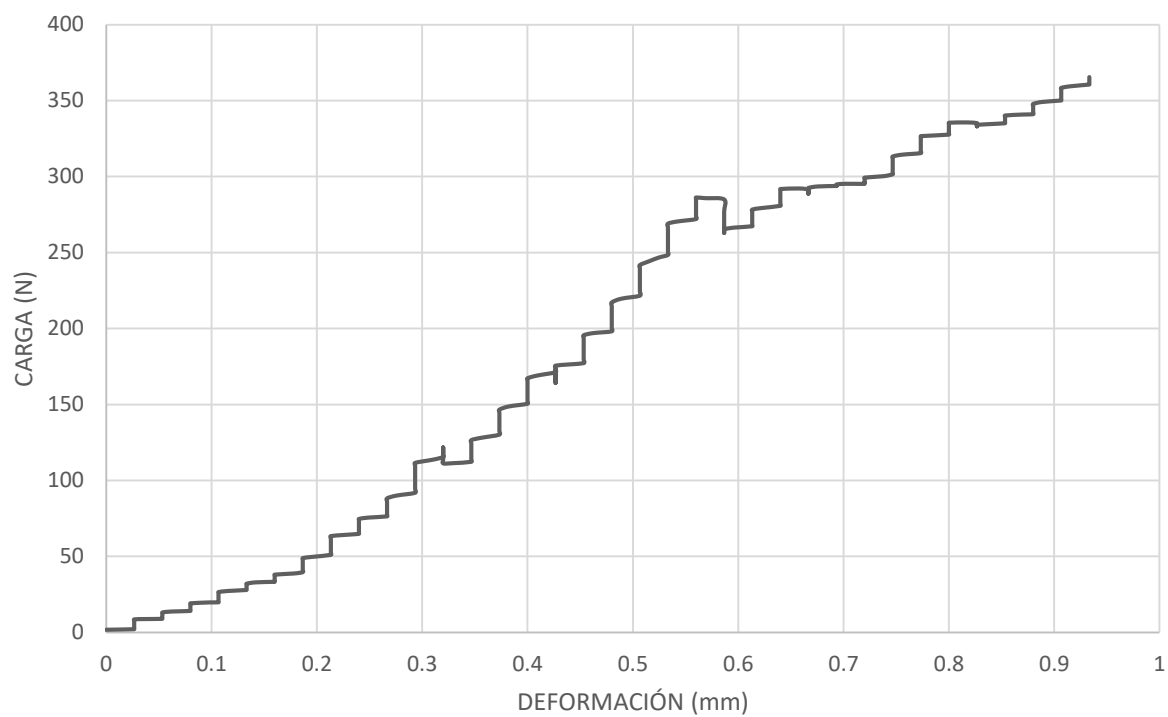


Figura. 4. 857. Curva Carga-Deformación de la C-330119, en N-mm. Fuente: (autoría propia).

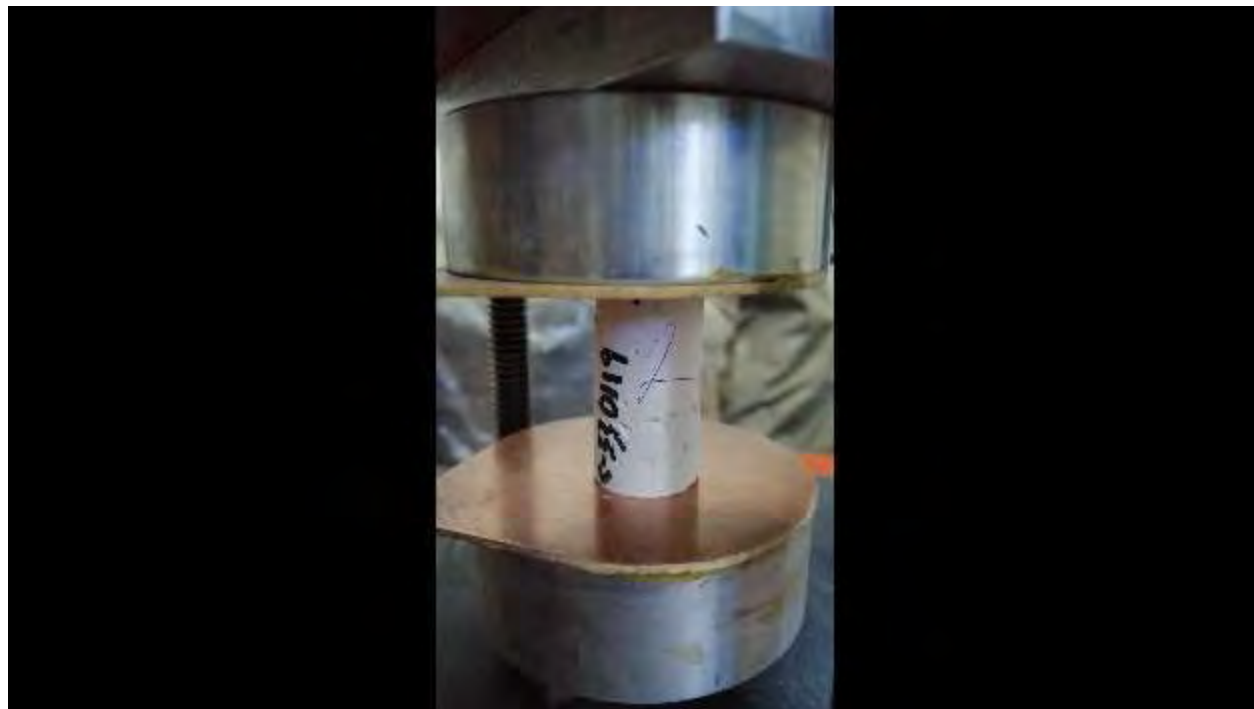


Figura. 4. 858. Fotografía de la C-330119, en la prensa. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 859. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-330119. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 860. Fotografías de la corrida C-430119. Fuente: (Autoría propia).

De composición 100% CAL ESTANDAR, 275% MARMOLINA Tipo 2, 10% CLORURO DE SODIO, 20% HARINA DE ARRÓZ y A/C= 1.2:1 (calentada hasta el punto de ebullición y agregada a la mezcla, previamente integrados todos los materiales), de dimensiones iguales a un diámetro de 23.1mm y longitud de 44.5mm, que presenta baja DUREZA al ser pulido. (Autoría propia).

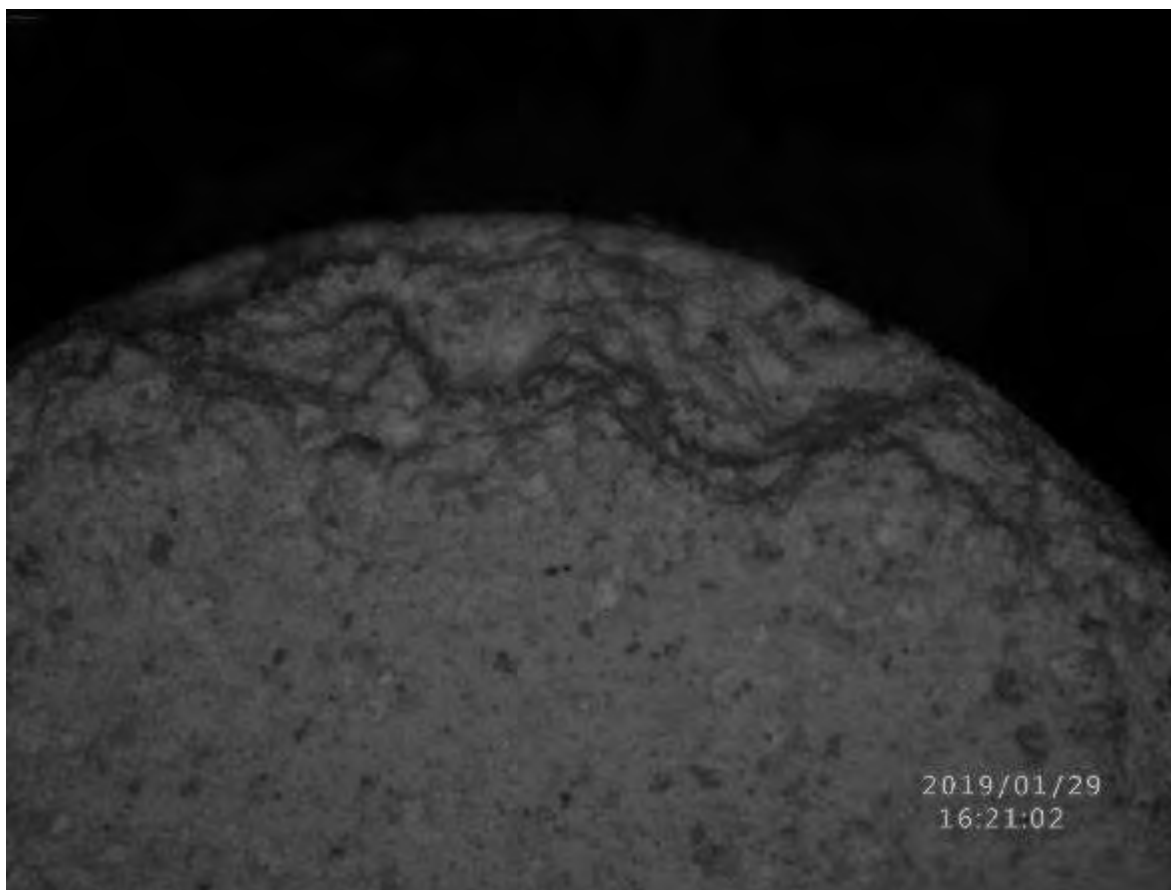


Figura. 4. 861. Microscopia de la C-430119. Fuente: Autoría propia.

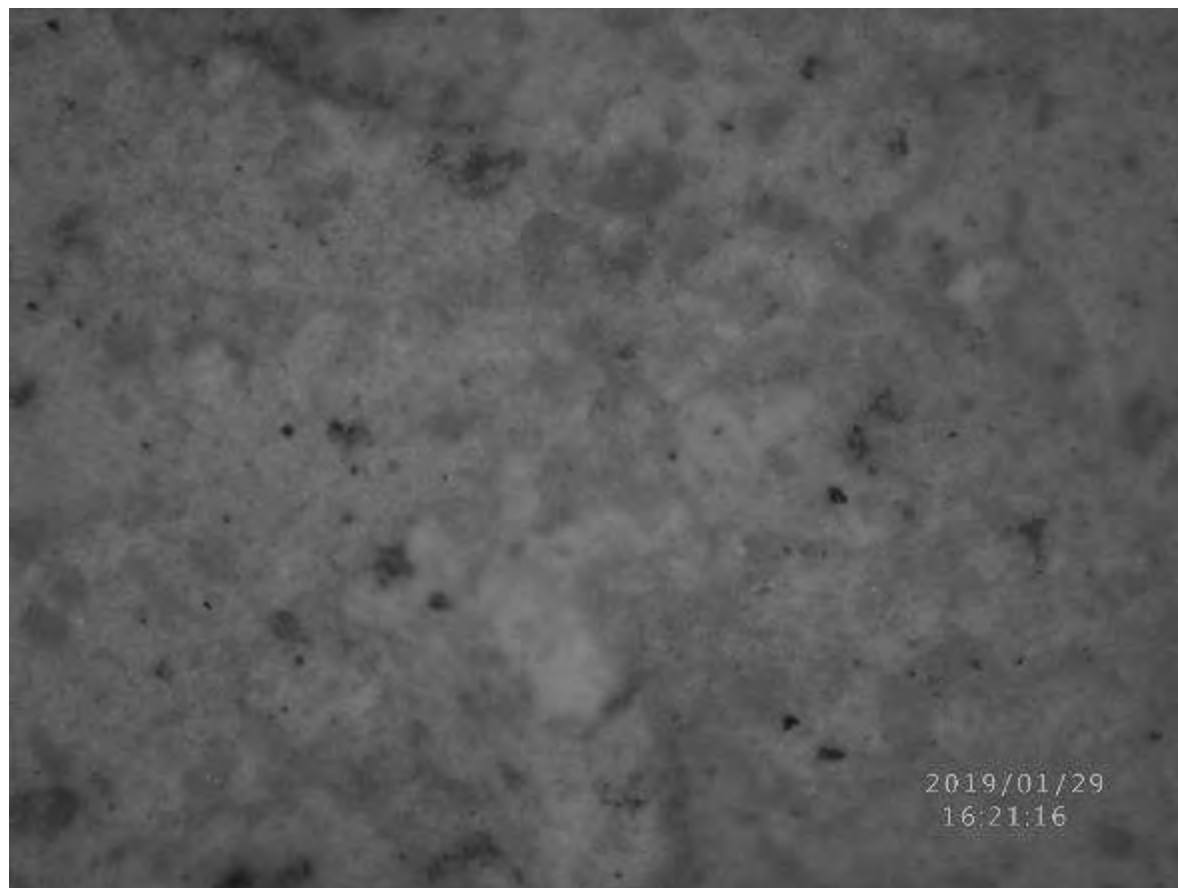


Figura. 4. 862. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-430119, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

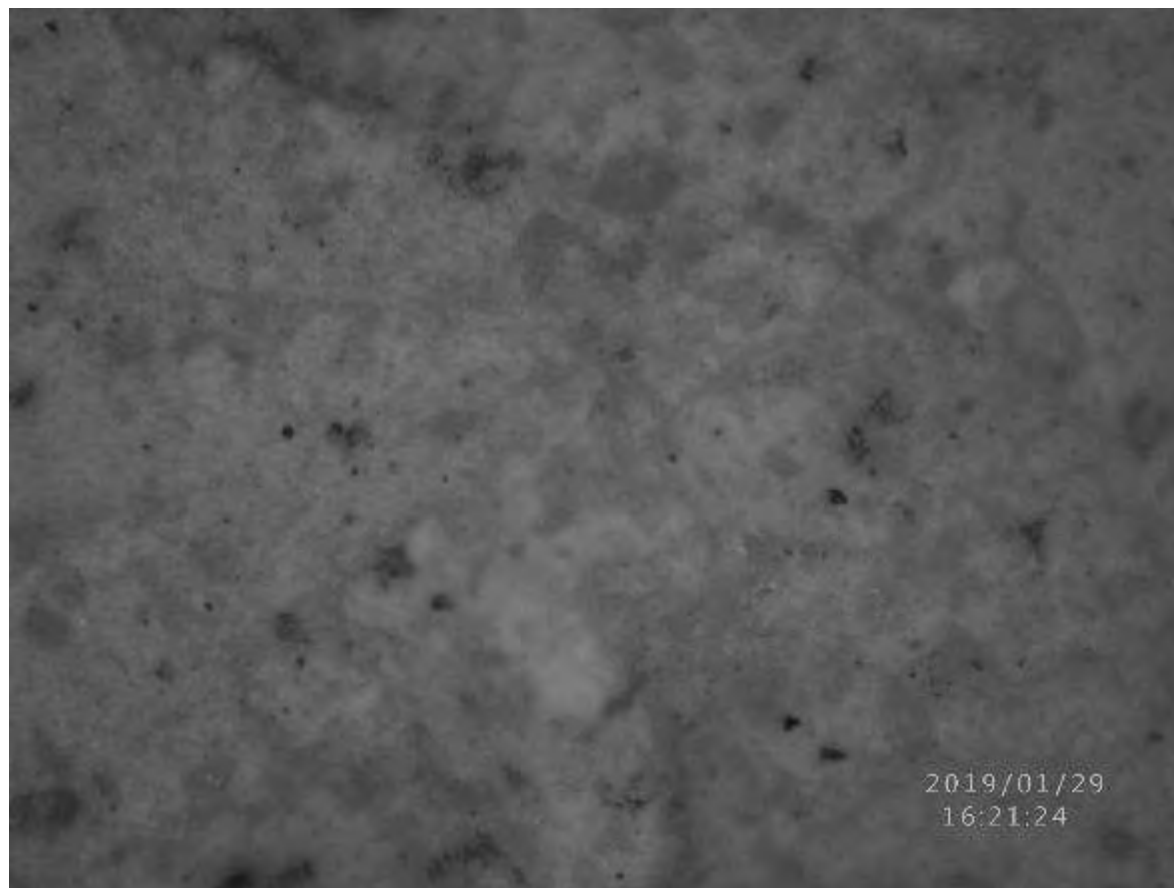


Figura. 4. 863. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-430119, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

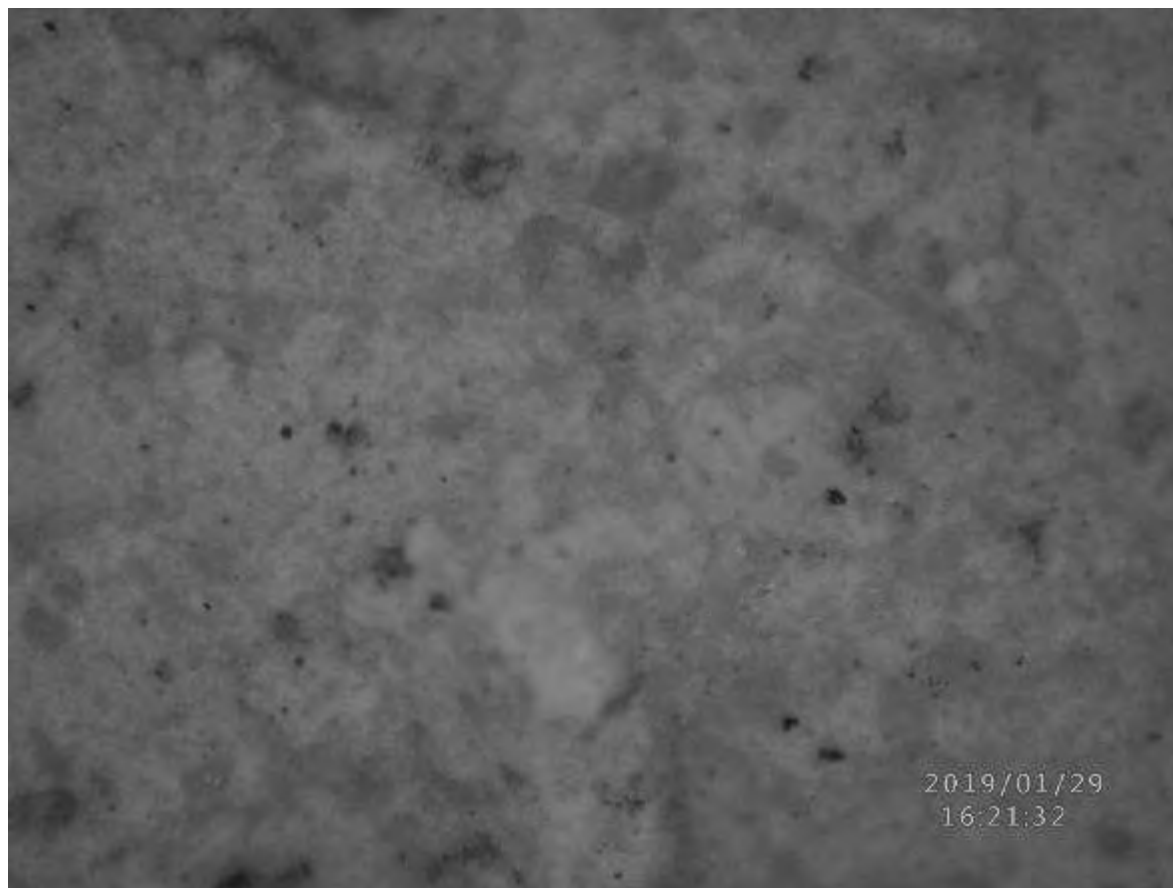


Figura. 4. 864. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-430119, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

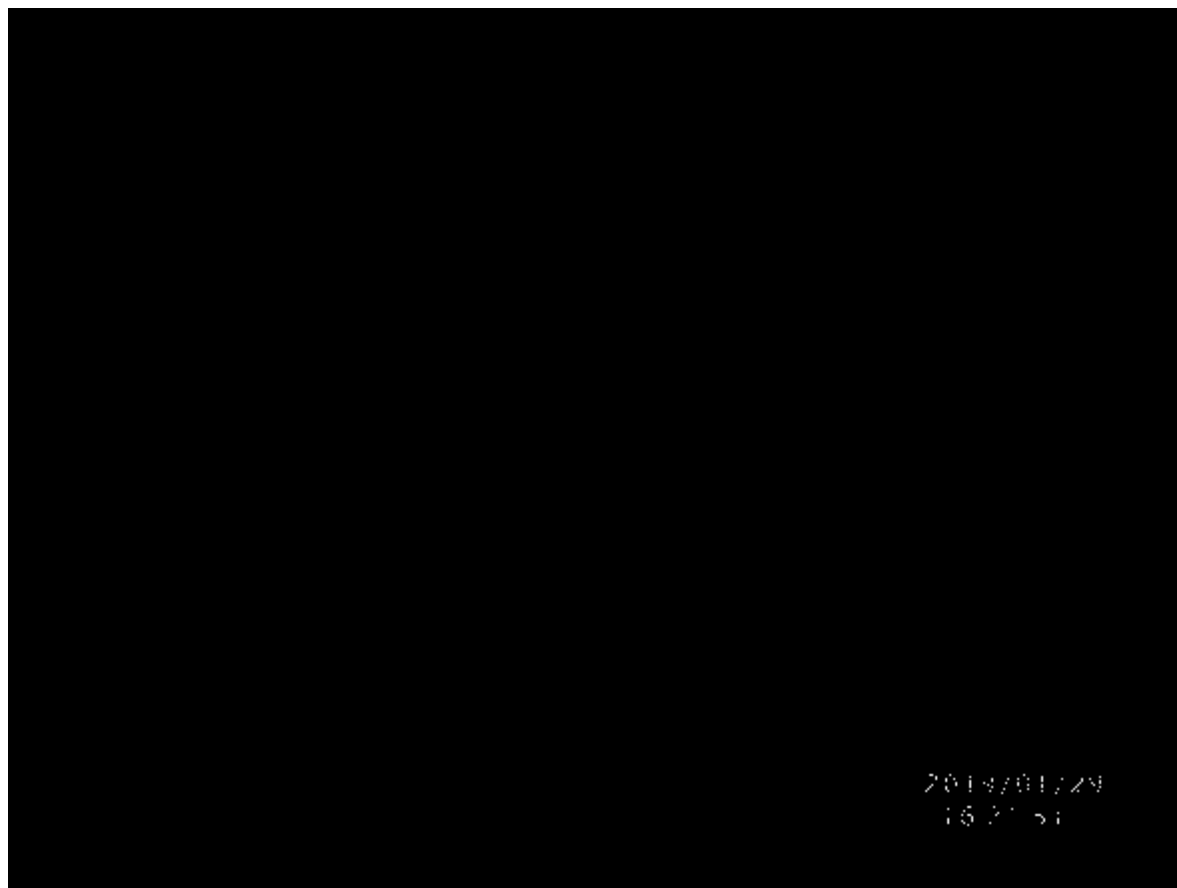


Figura. 4. 865. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-430119, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

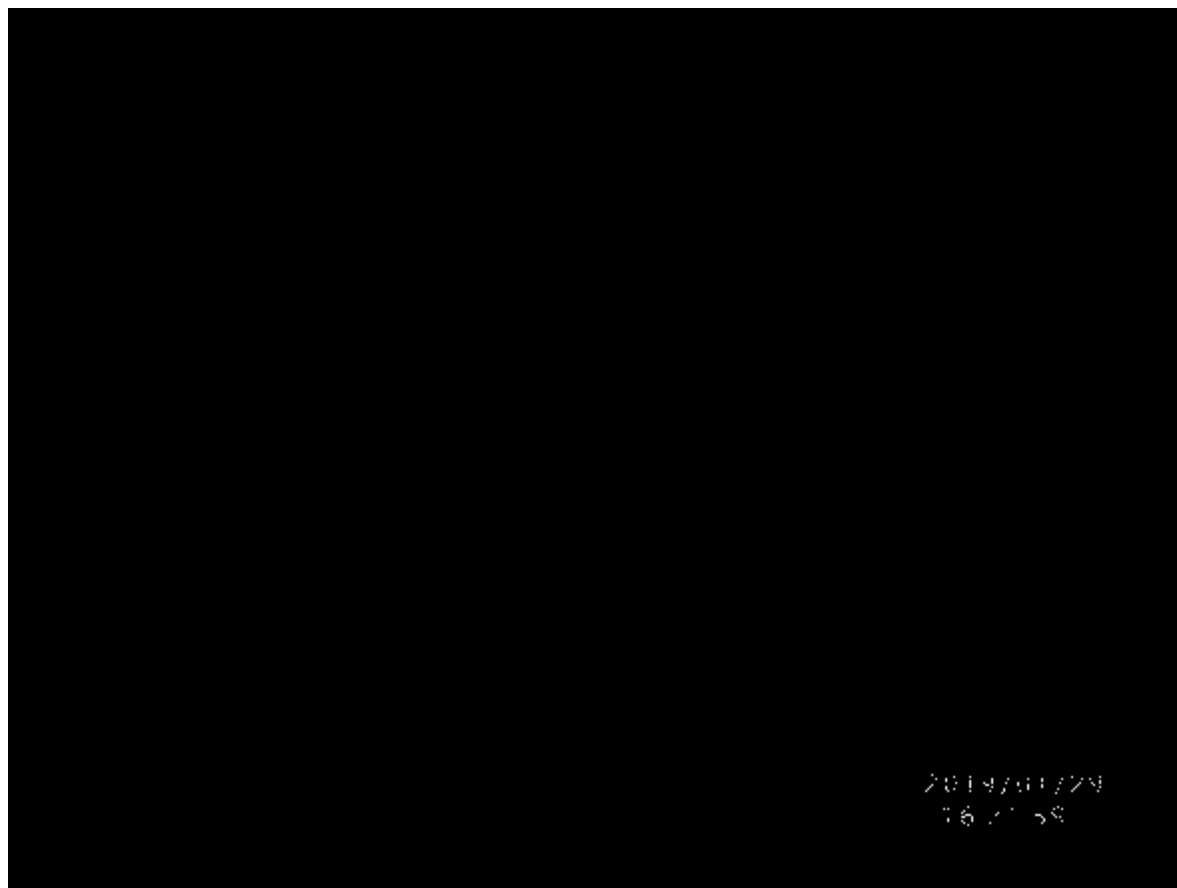
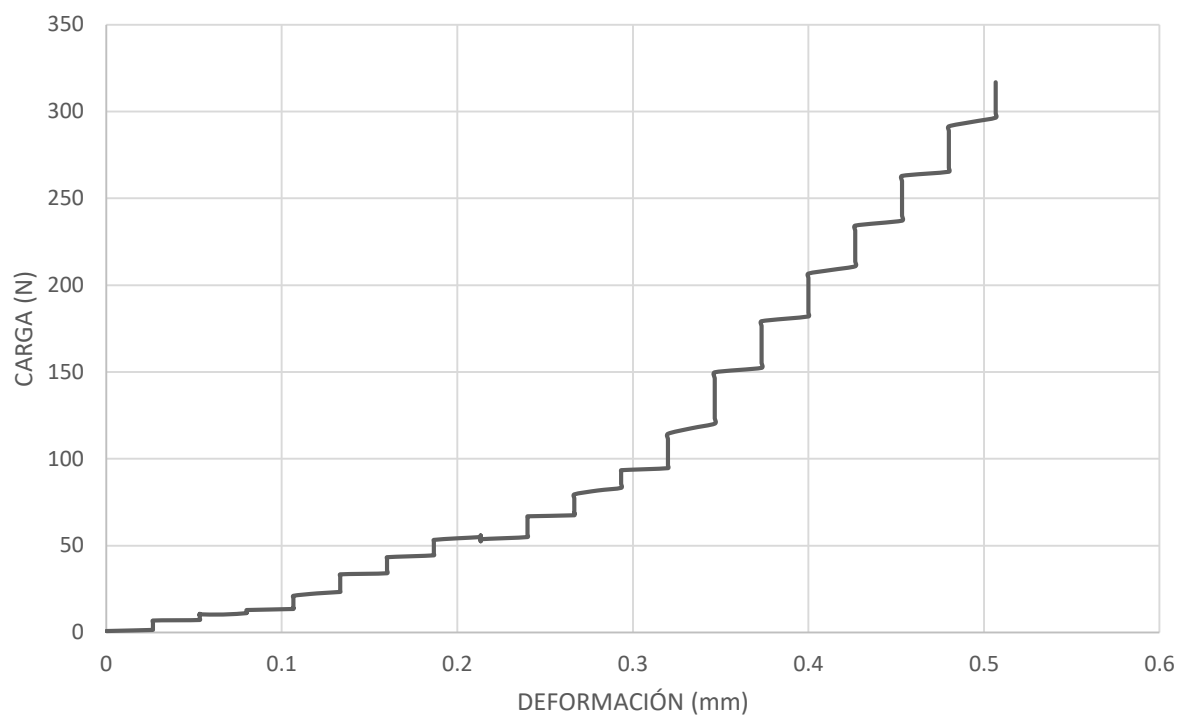


Figura. 4. 866. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-430119, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

CARGA-DEFORMACIÓN



Gráficas 4. 70. Curva Carga-Deformación de la C-430119, en N-mm. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 867. Fotografía de la C-430119, en la prensa. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 868. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-430119. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 869. Fotografías de la corrida C-530119. Fuente: (Autoría propia).

De composición 100% CAL ESTANDAR, 275% MARMOLINA Tipo 2, 5% CLORURO DE SODIO, 30% HARINA DE ARRÓZ y A/C= 1.3:1 (calentada hasta el punto de ebullición y agregada a la mezcla, previamente integrados todos los materiales), de dimensiones iguales a un diámetro de 23.1mm y longitud de 45.0mm, que presenta baja DUREZA al ser pulido. (Autoría propia).

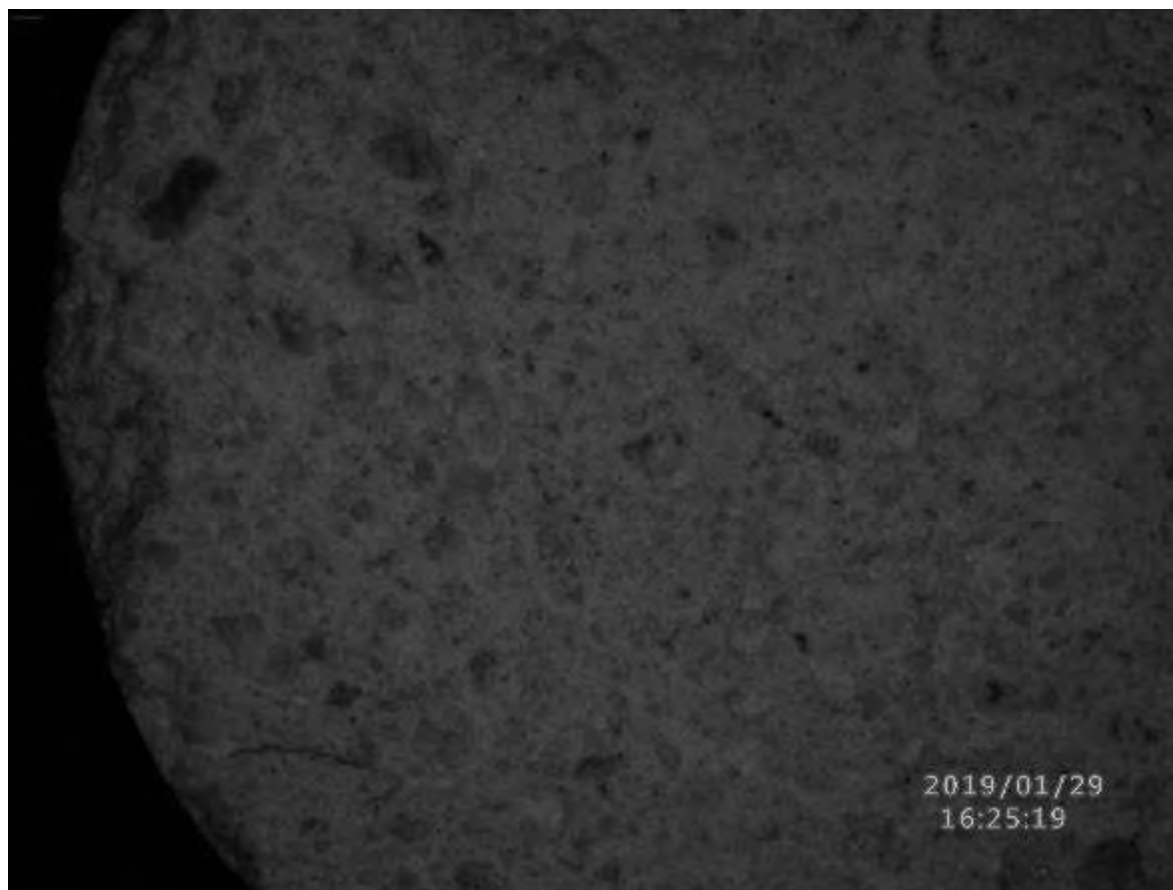


Figura. 4. 870. Microscopia de la C-530119. Fuente: Autoría propia.

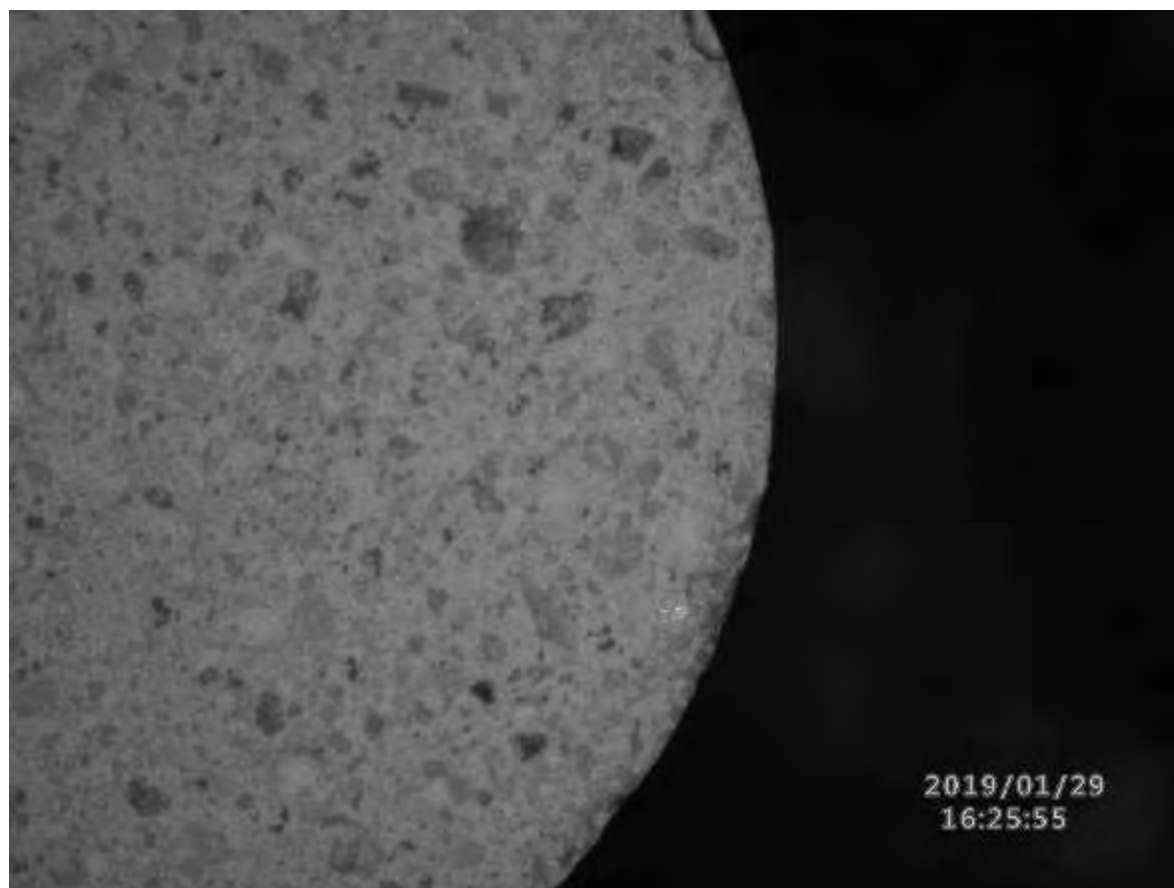


Figura. 4. 871. Microscopia de la C-530119. Fuente: Autoría propia.

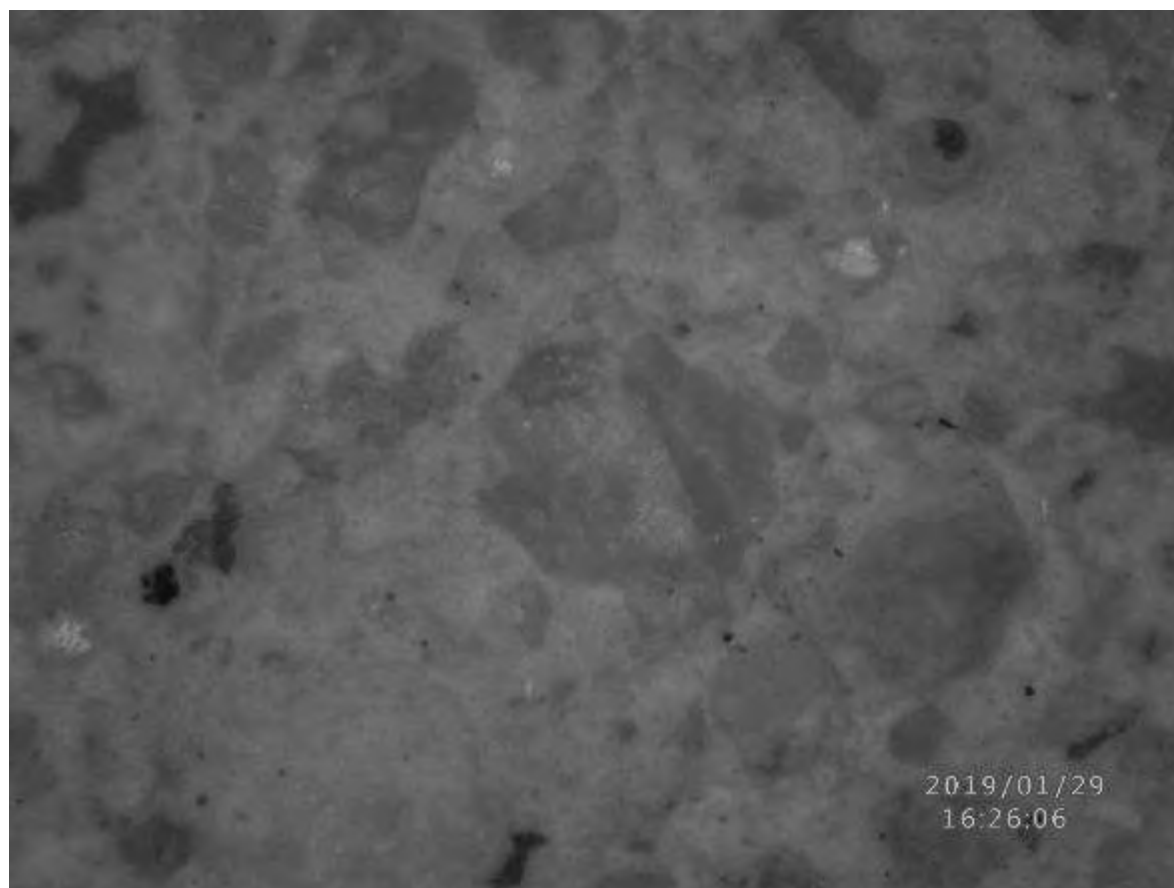


Figura. 4. 872. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-530119, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

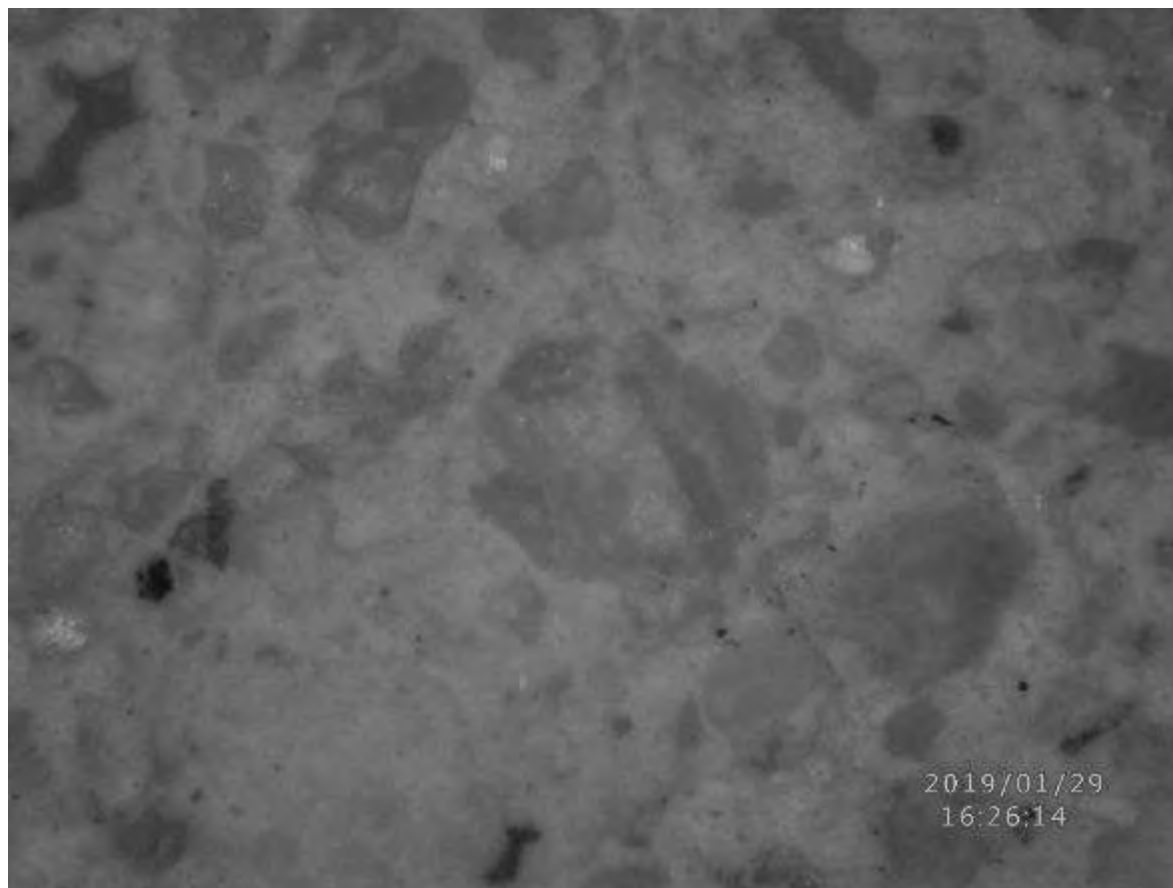


Figura. 4. 873. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-530119, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

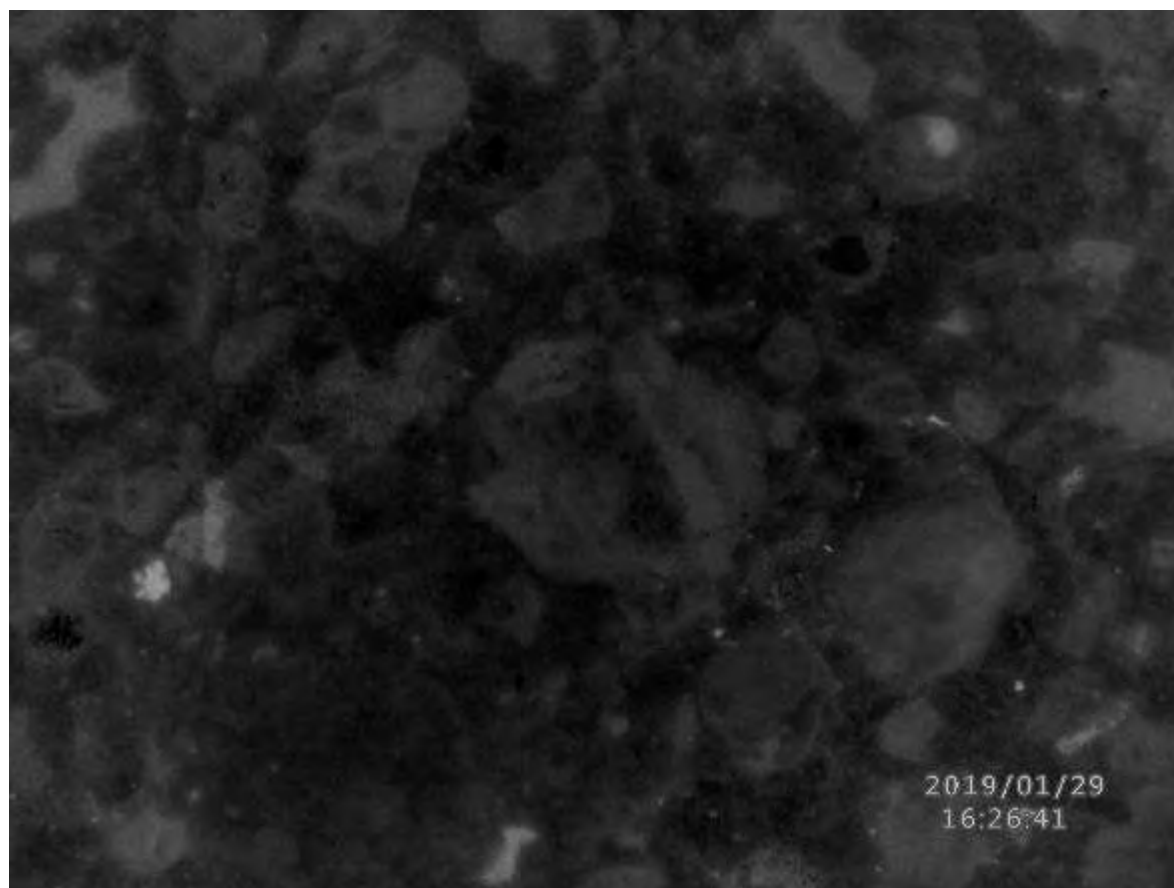


Figura. 4. 874. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-530119, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

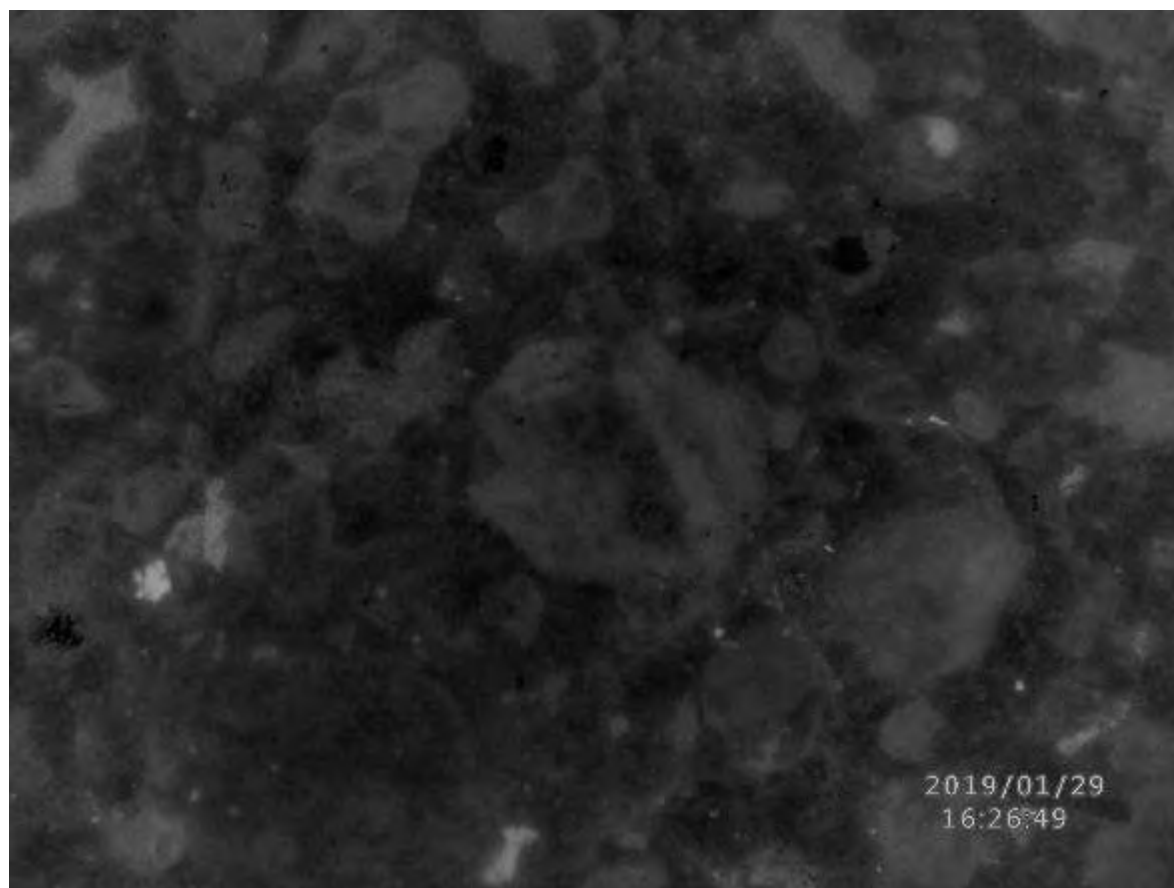
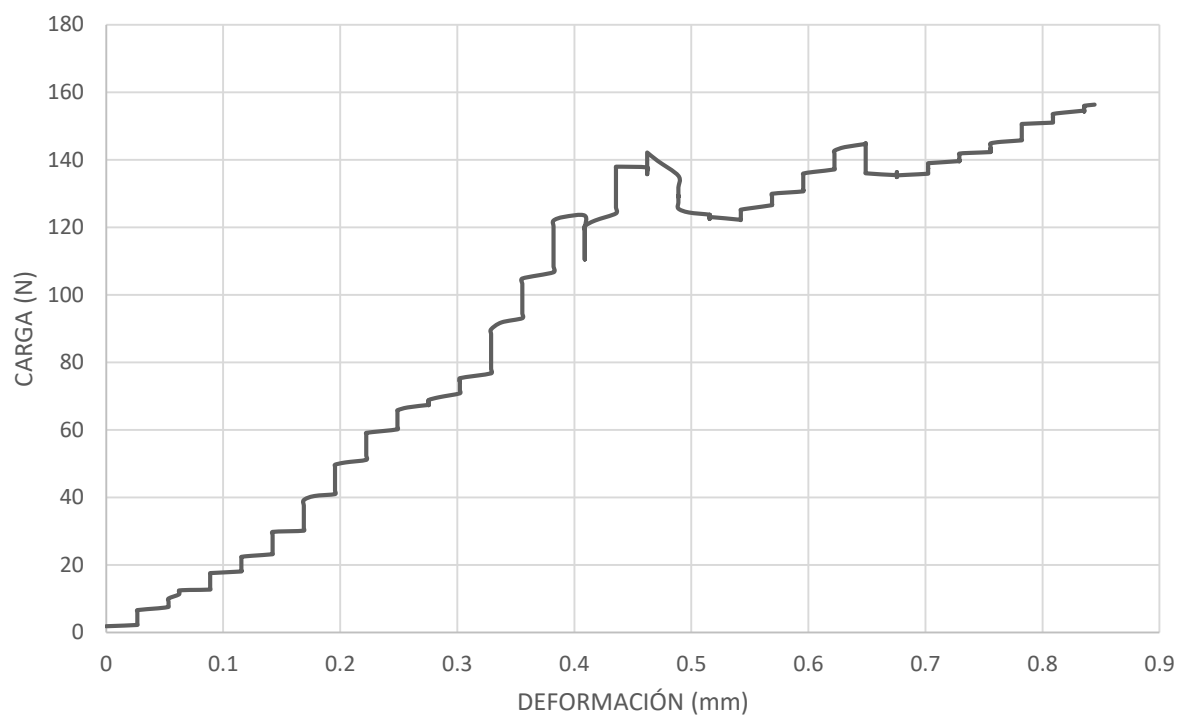


Figura. 4. 875. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-530119, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

CARGA-DEFORMACIÓN



Gráficas 4. 71. Curva Carga-Deformación de la C-530119, en N-mm. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 876. Fotografía de la C-530119, en la prensa. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 877. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-530119. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 878. Fotografías de la corrida C-150119. Fuente: (Autoría propia).

De composición 100% CAL ESTANDAR, 275% MARMOLINA Tipo 2, 10% CLORURO DE SODIO, 30% HARINA DE ARRÓZ y A/C= 1.3:1 (calentada hasta el punto de ebullición y agregada a la mezcla, previamente integrados todos los materiales), de dimensiones iguales a un diámetro de 22.9mm y longitud de 44.6mm, que presenta baja DUREZA al ser pulido. (Autoría propia).

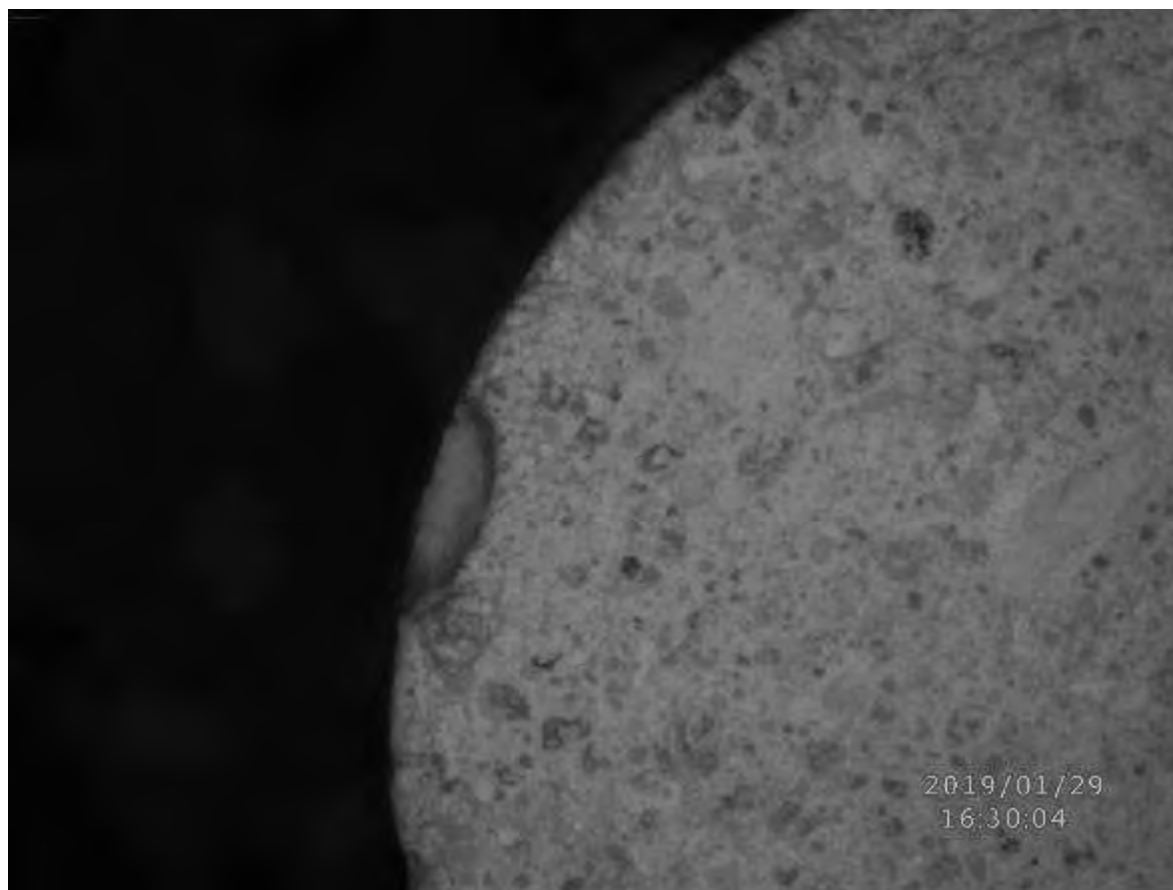


Figura. 4. 879. Microscopia de la C-150119. Fuente: Autoría propia.

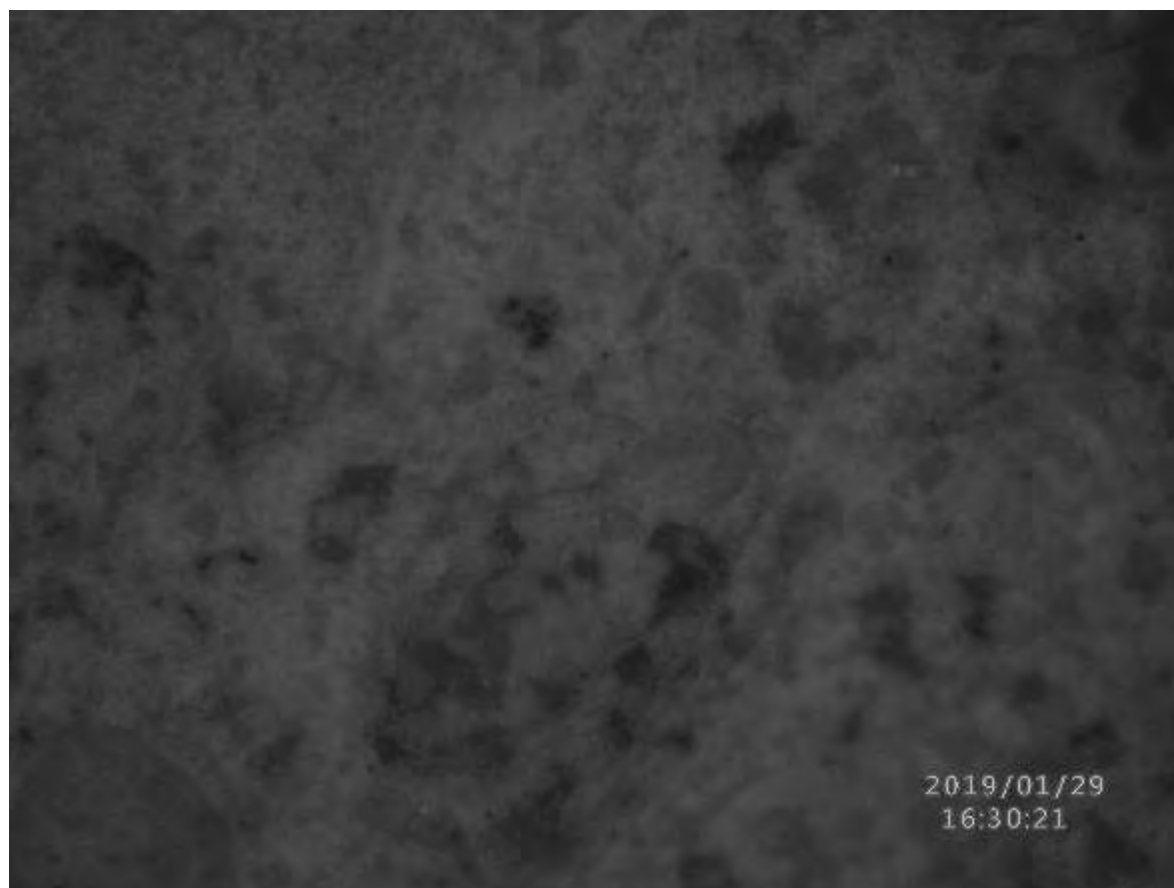


Figura. 4. 880. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-150119, sin filtros. Fuente: (autoría propia).

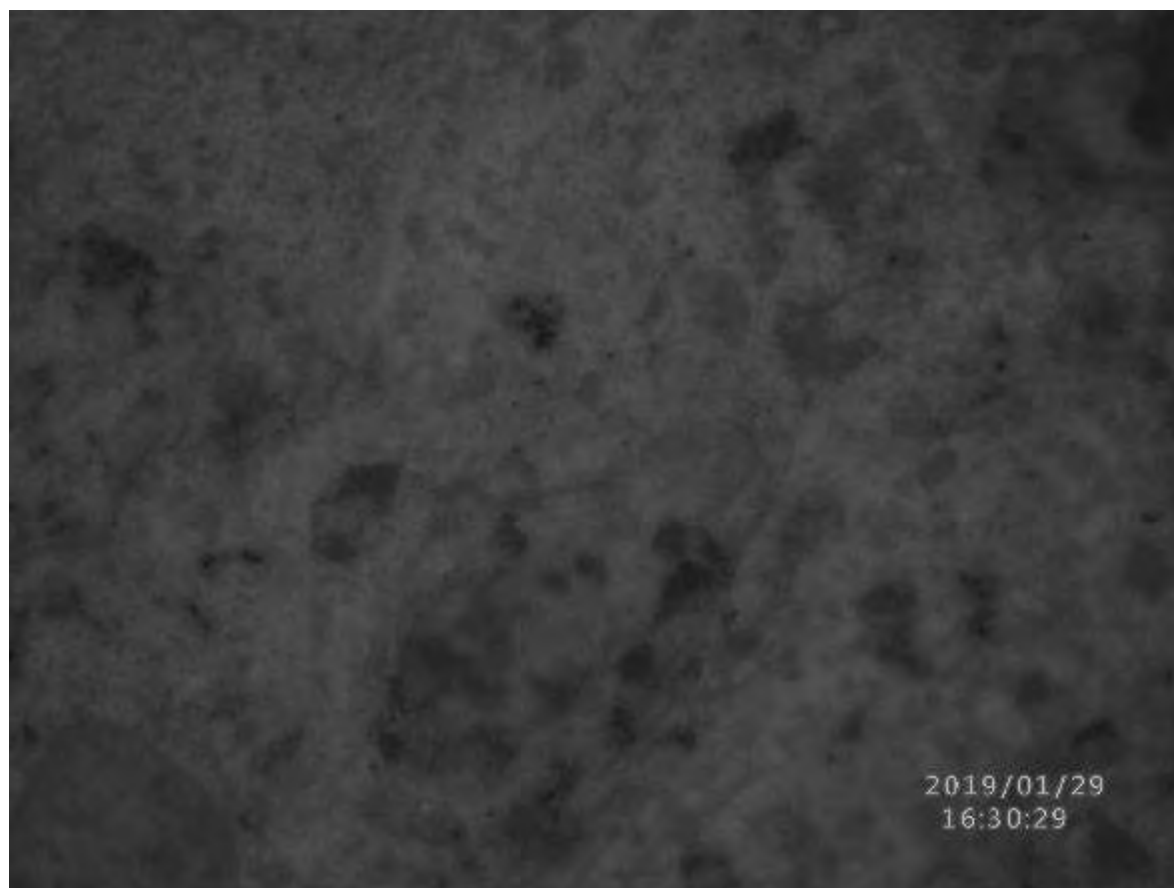


Figura. 4. 881. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-150119, sin filtro bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

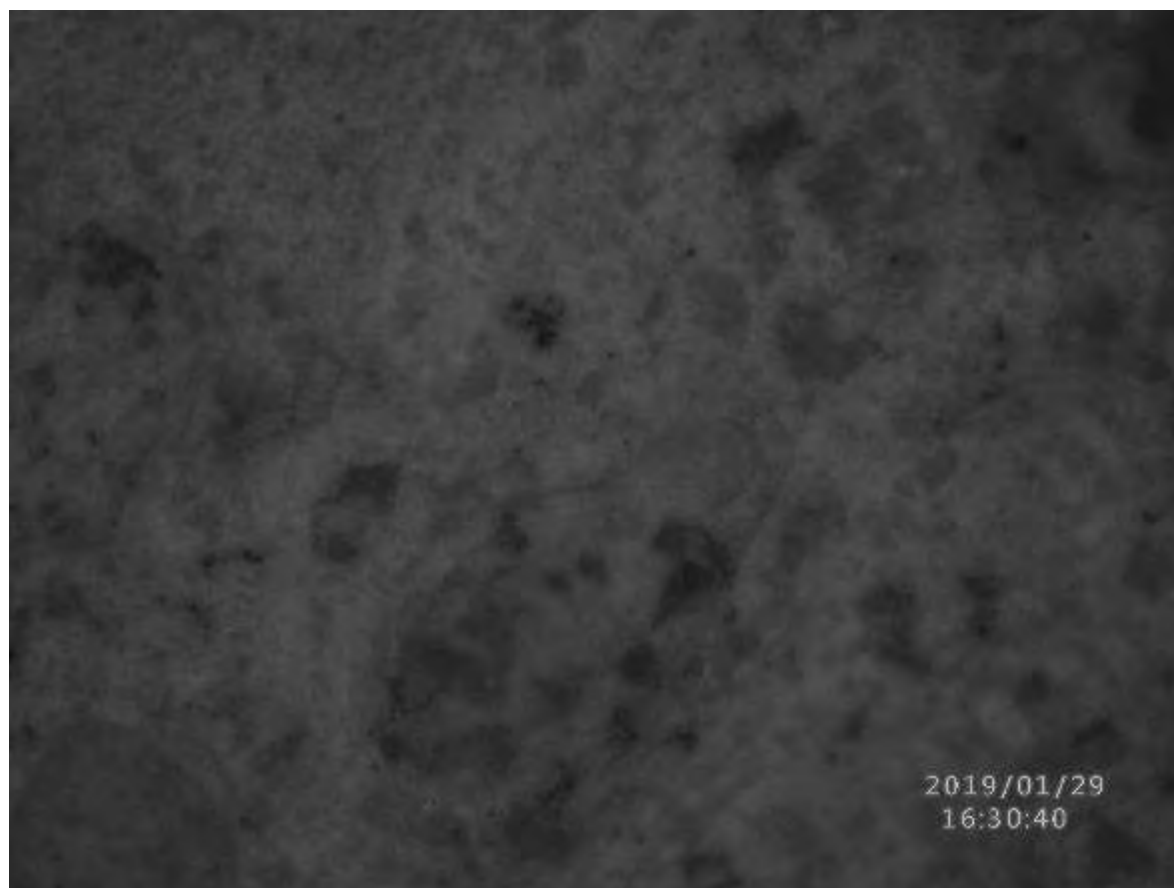


Figura. 4. 882. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-150119, sin filtro bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

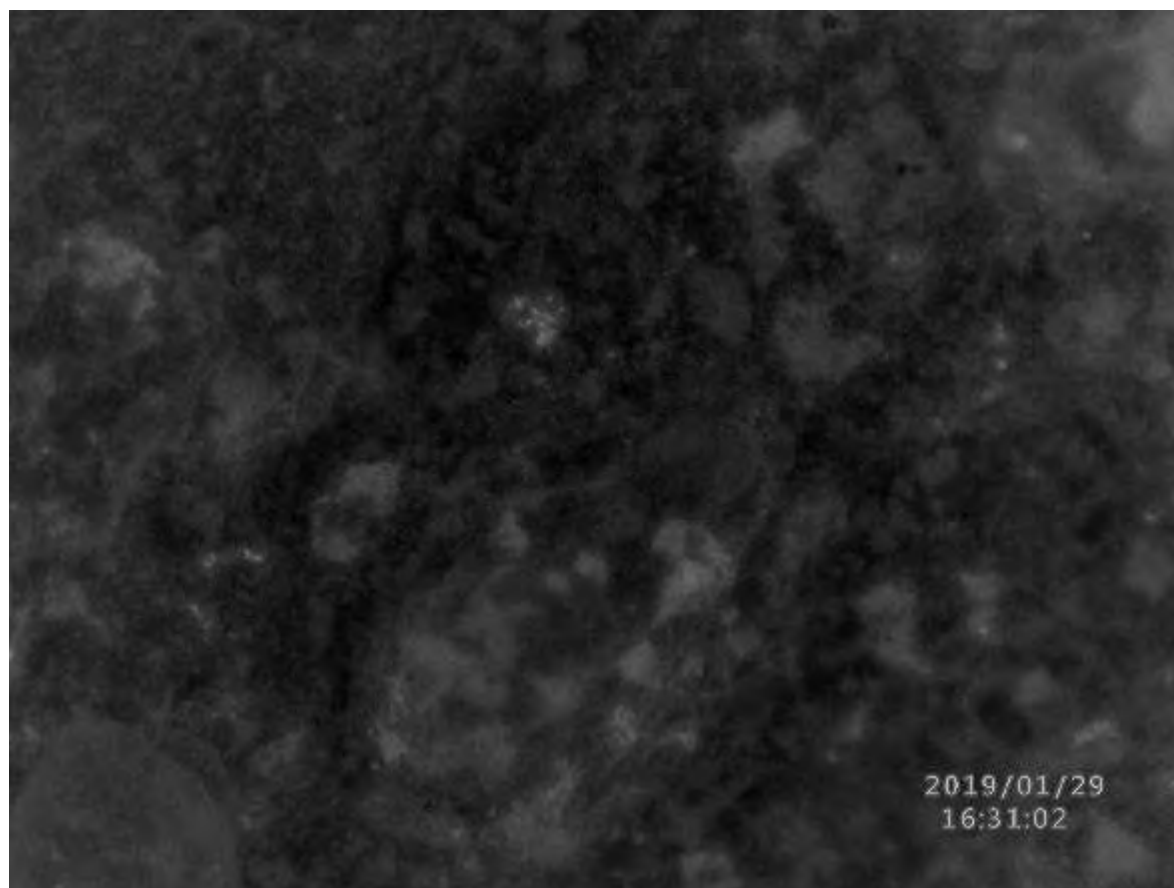


Figura. 4. 883. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-150119, con un filtro negativo bajo una luz fluorescente. Fuente: (autoría propia).

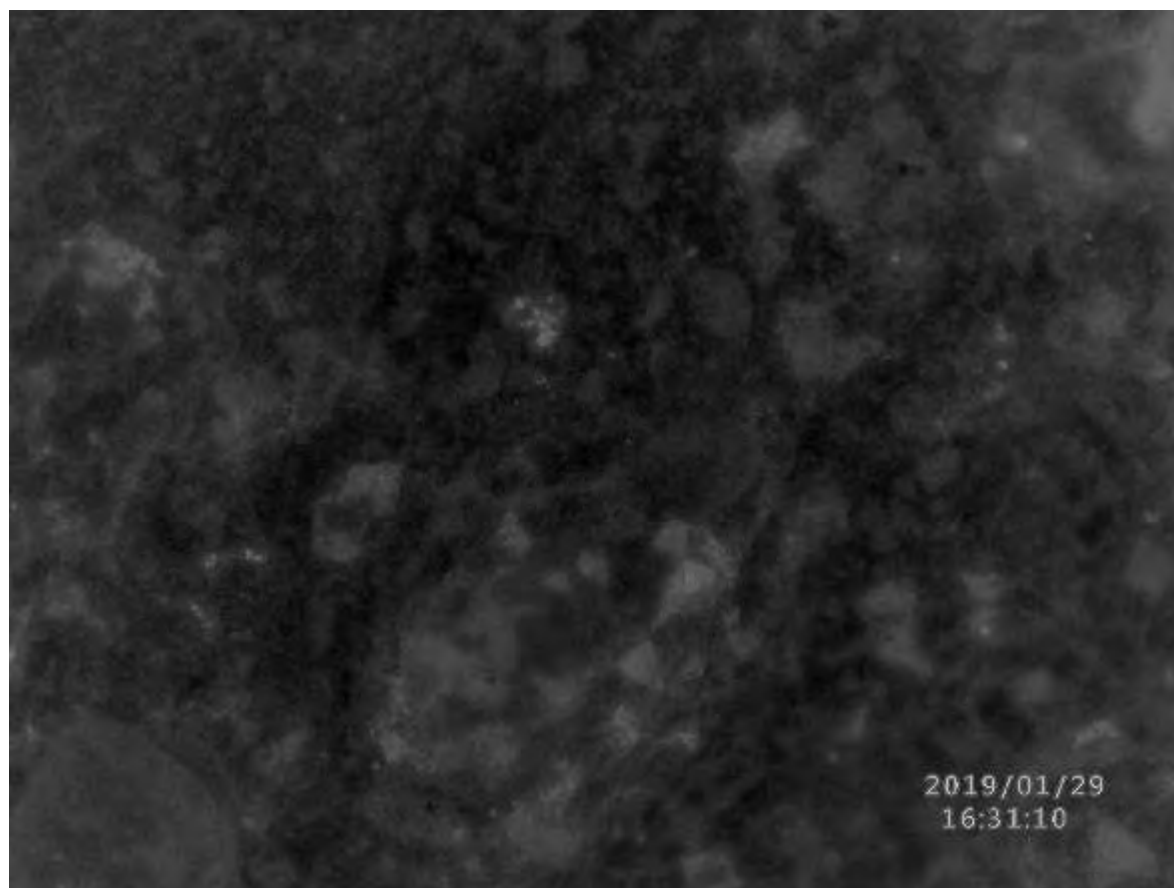
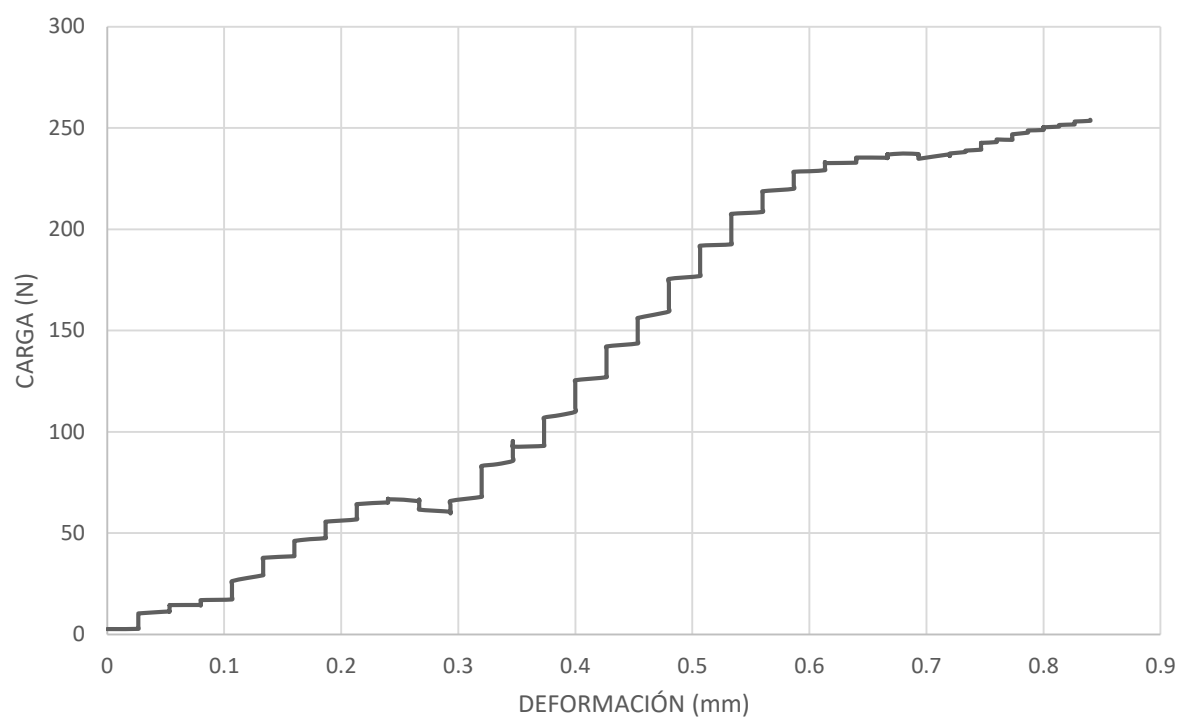


Figura. 4. 884. Microscopia aumentada digitalmente, de la C-150119, con un filtro negativo bajo una luz incandescente. Fuente: (autoría propia).

CARGA-DEFORMACIÓN



Gráficas 4. 72. Curva Carga-Deformación de la C-150119, en N-mm. Fuente: (autoría propia).

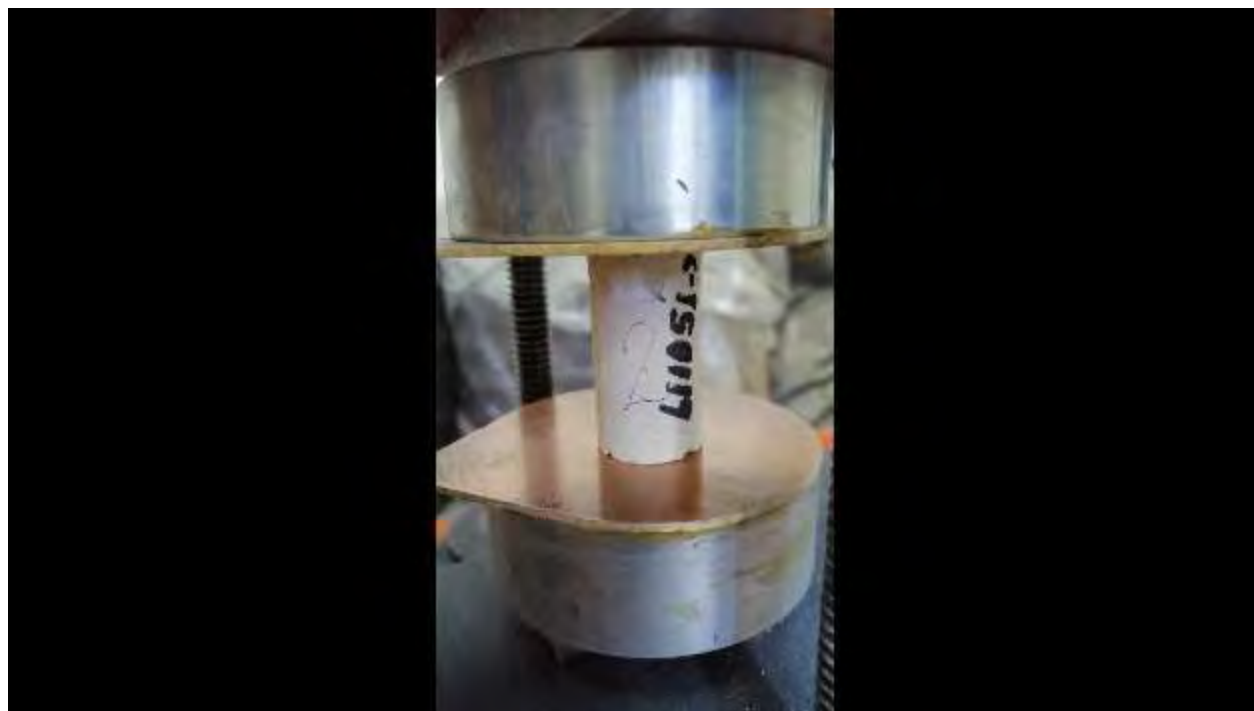
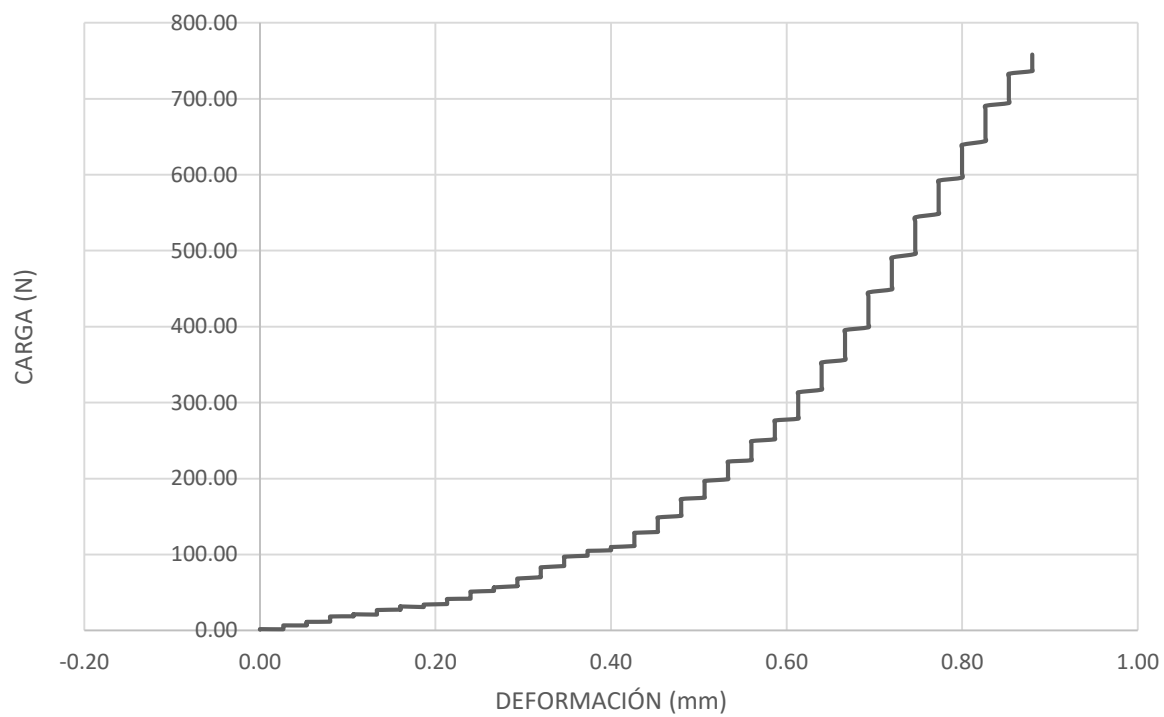


Figura. 4. 885. Fotografía de la C-150119, en la prensa. Fuente: (autoría propia).



Figura. 4. 886. Fotografía, mostrando la falla en la probeta representativa de la C-150119. Fuente: (autoría propia).

CARGA-DEFORMACIÓN



Gráficas 4. 73. Curva Carga-Deformación de la C-2151018, en N-mm. Fuente: (autoría propia).

4.3.Comparativa de las densidades obtenidas de las probetas comparadas, todas las familias contra la CAL.

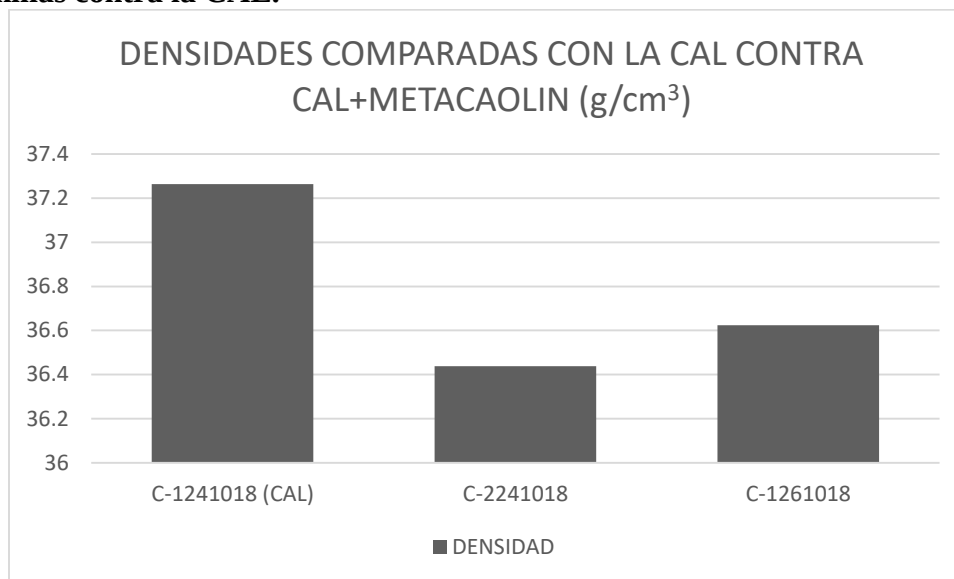


Figura. 4. 887. DENSIDADES COMPARADAS CON LA CAL CONTRA CAL+METACAOLIN en (g/cm³).

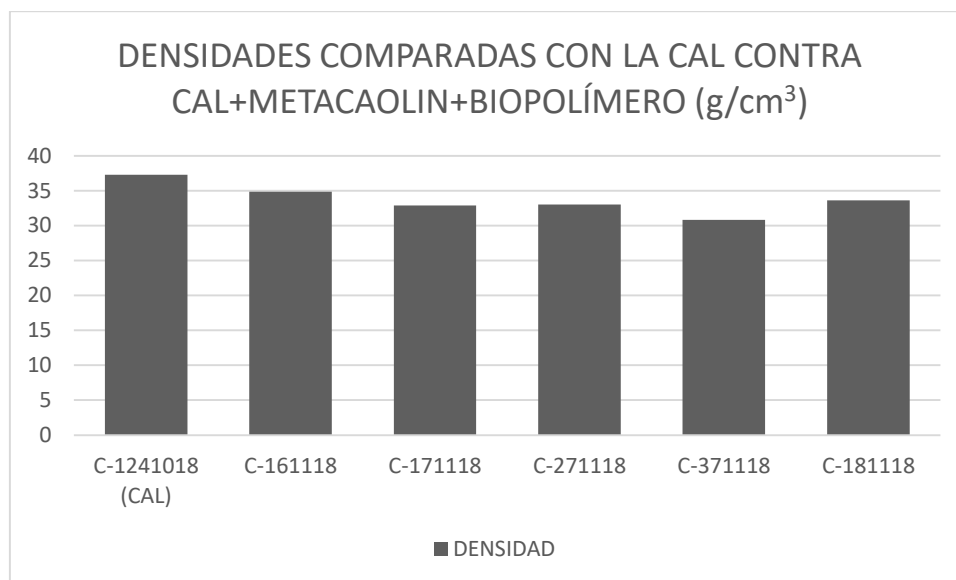


Figura. 4. 888. DENSIDADES COMPARADAS CON LA CAL CONTRA CAL+METACAOLIN+BIOPOLÍMERO en (g/cm³).

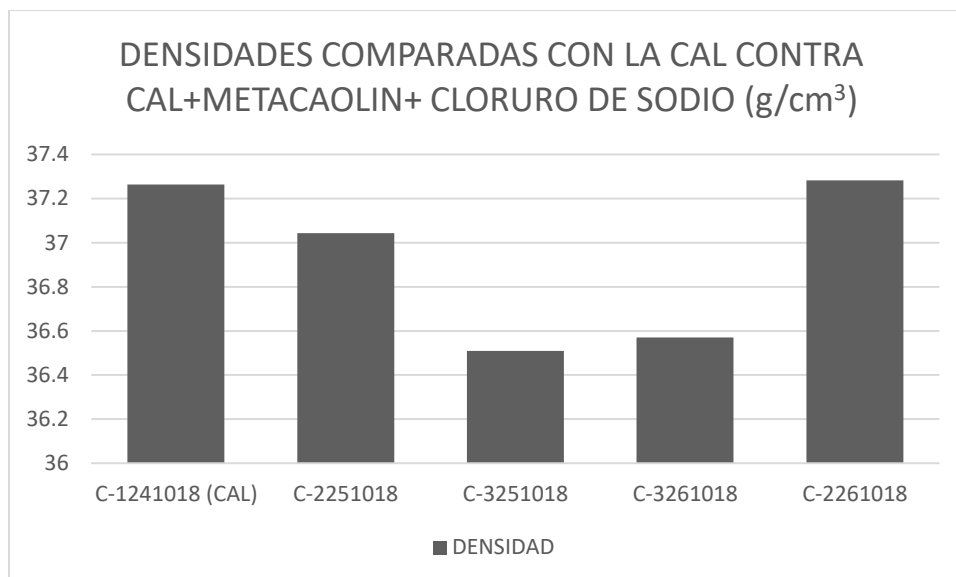


Figura. 4. 889. DENSIDADES COMPARADAS CON LA CAL CONTRA CAL+METACAOLIN+ CLORURO DE SODIO en (g/cm^3).

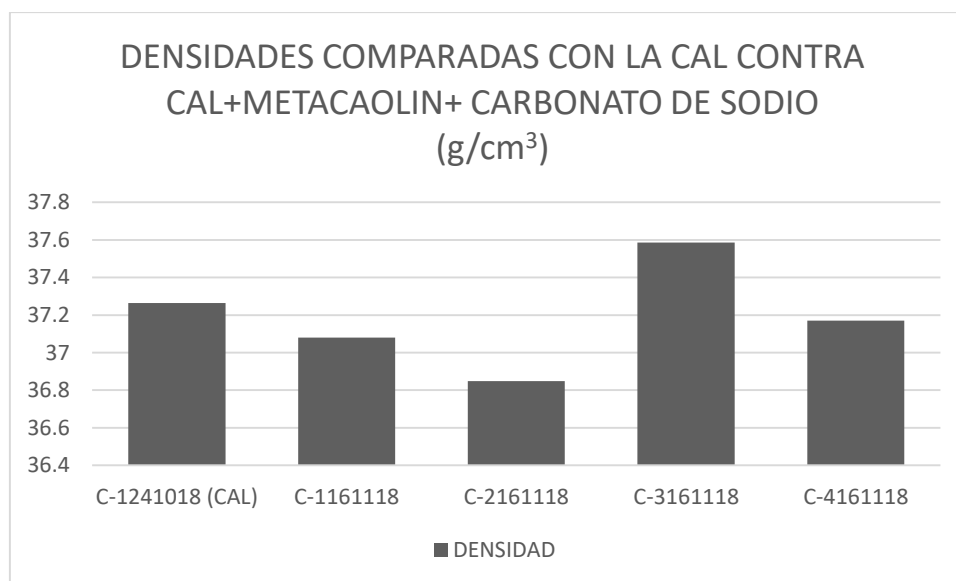


Figura. 4. 890. DENSIDADES COMPARADAS CON LA CAL CONTRA CAL+METACAOLIN+ CARBONATO DE SODIO en (g/cm^3).

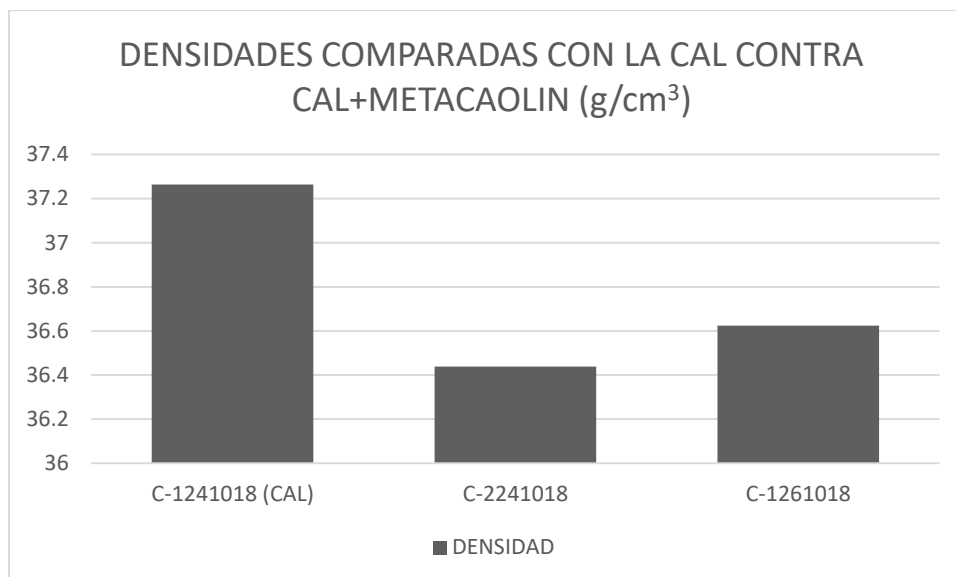


Figura. 4. 891. DENSIDADES COMPARADAS CON LA CAL CONTRA CAL+METACAOLIN+ SULFATO DE SODIO en (g/cm³).

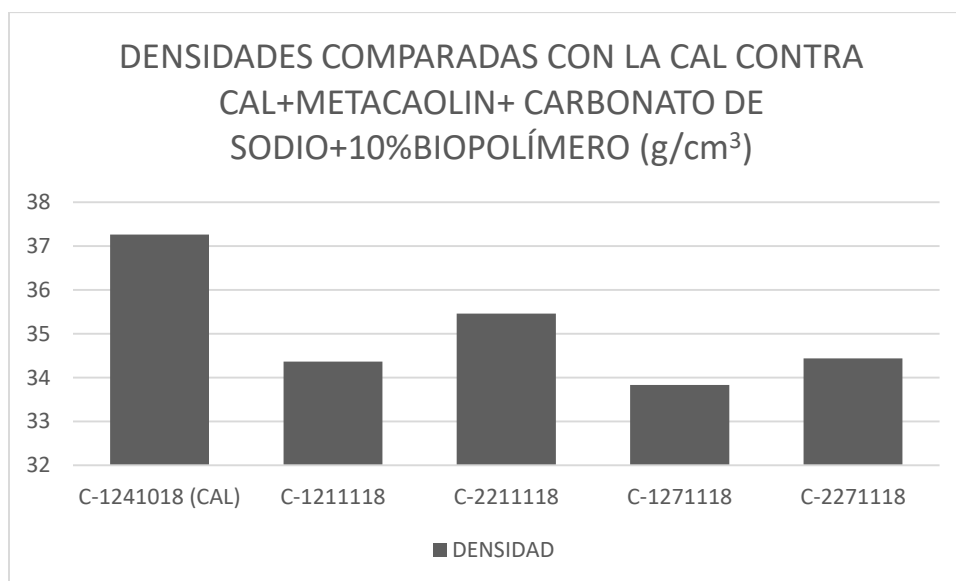


Figura. 4. 892. DENSIDADES COMPARADAS CON LA CAL CONTRA CAL+METACAOLIN+ CARBONATO DE SODIO+10%BIOPOLÍMERO en (g/cm³).

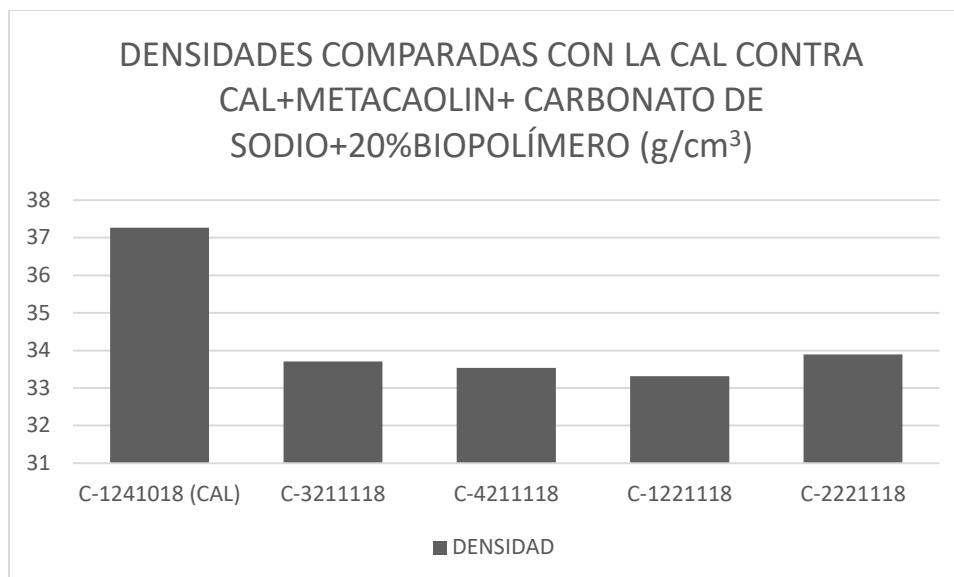


Figura. 4. 893. DENSIDADES COMPARADAS CON LA CAL CONTRA CAL+METACAOLIN+ CARBONATO DE SODIO+20%BIOPOLÍMERO en (g/cm³).

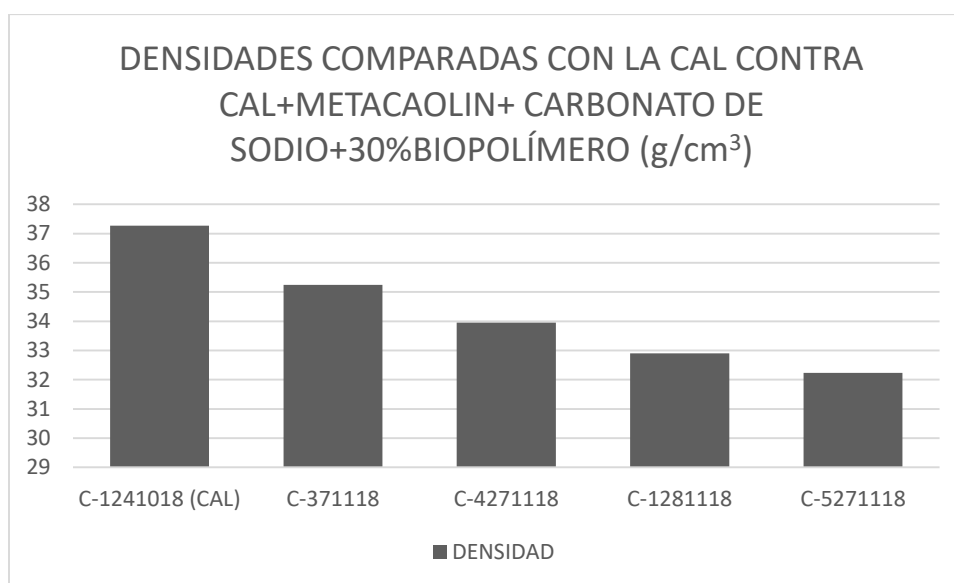


Figura. 4. 894. DENSIDADES COMPARADAS CON LA CAL CONTRA CAL+METACAOLIN+ CARBONATO DE SODIO+30%BIOPOLÍMERO en (g/cm³).

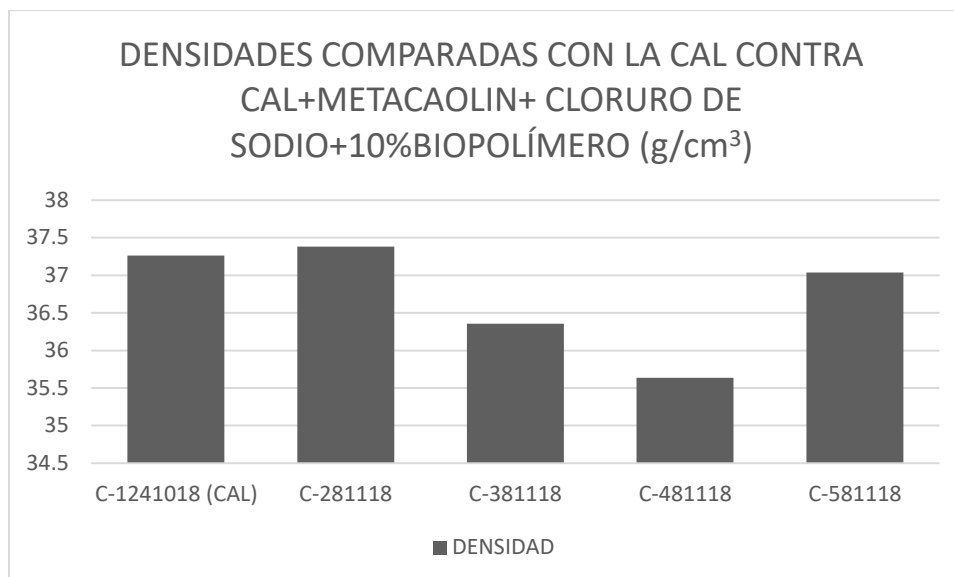


Figura. 4. 895. DENSIDADES COMPARADAS CON LA CAL CONTRA CAL+METACAOLIN+ CLORURO DE SODIO+10%BIOPOLÍMERO en (g/cm³).

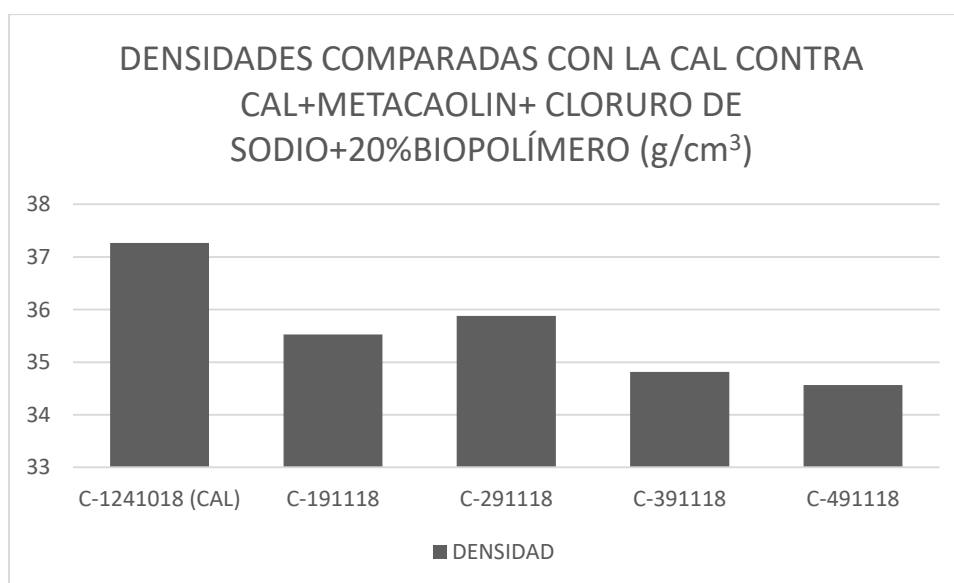


Figura. 4. 896. DENSIDADES COMPARADAS CON LA CAL CONTRA CAL+METACAOLIN+ CLORURO DE SODIO+20%BIOPOLÍMERO en (g/cm³).

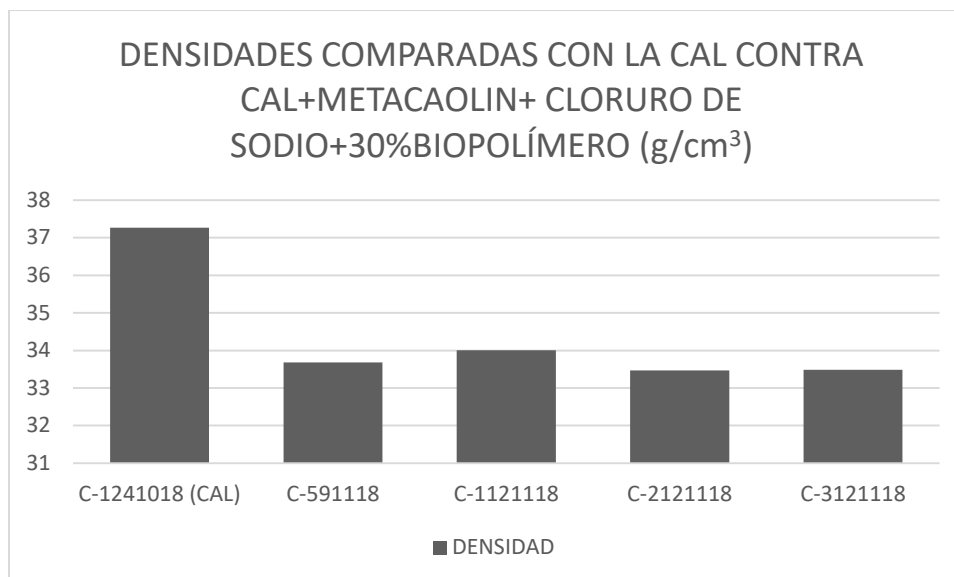


Figura. 4. 897. DENSIDADES COMPARADAS CON LA CAL CONTRA CAL+METACAOLIN+ CLORURO DE SODIO+30%BIOPOLÍMERO en (g/cm³).

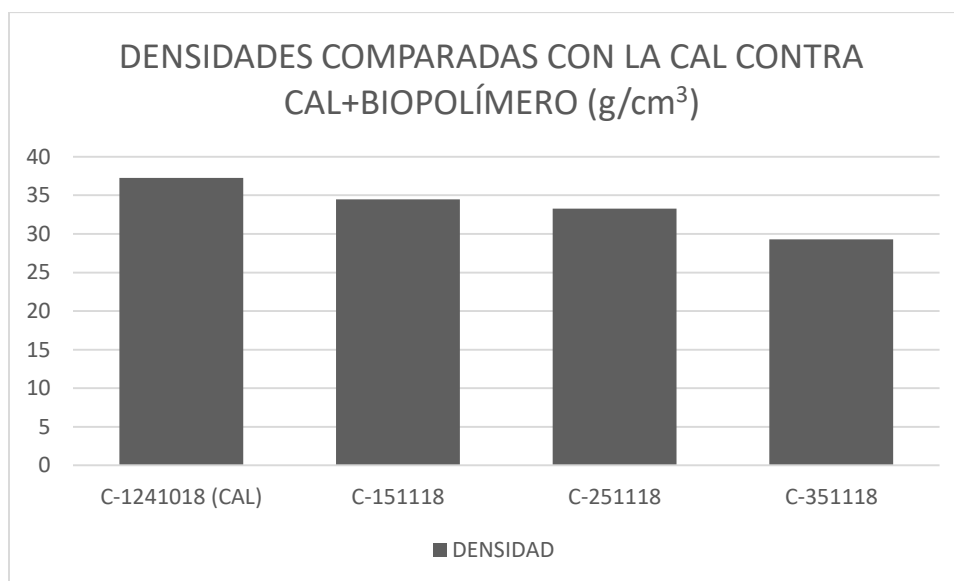


Figura. 4. 898. DENSIDADES COMPARADAS CON LA CAL CONTRA CAL+BIOPOLÍMERO en (g/cm³).

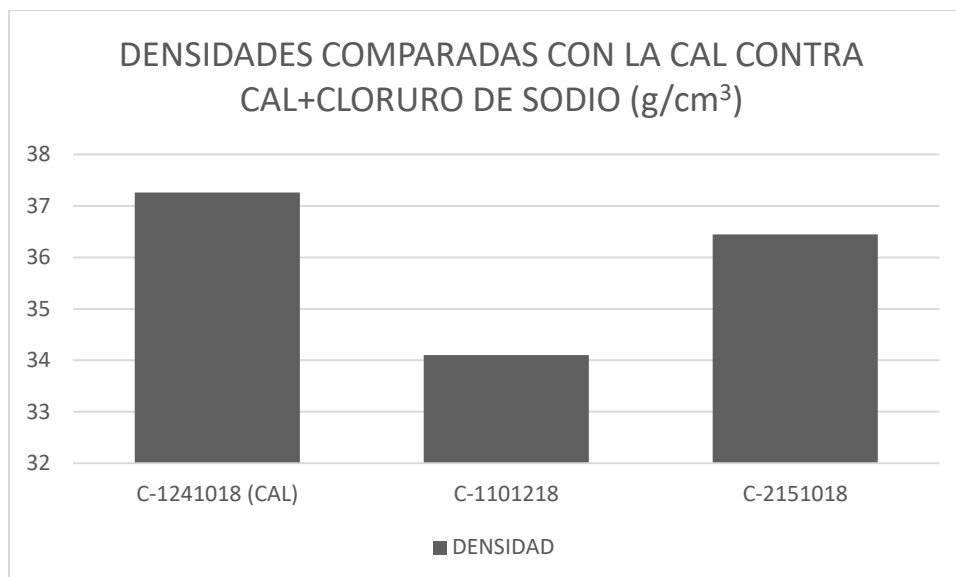


Figura. 4. 899. DENSIDADES COMPARADAS CON LA CAL CONTRA CAL+CLORURO DE SODIO en (g/cm^3).

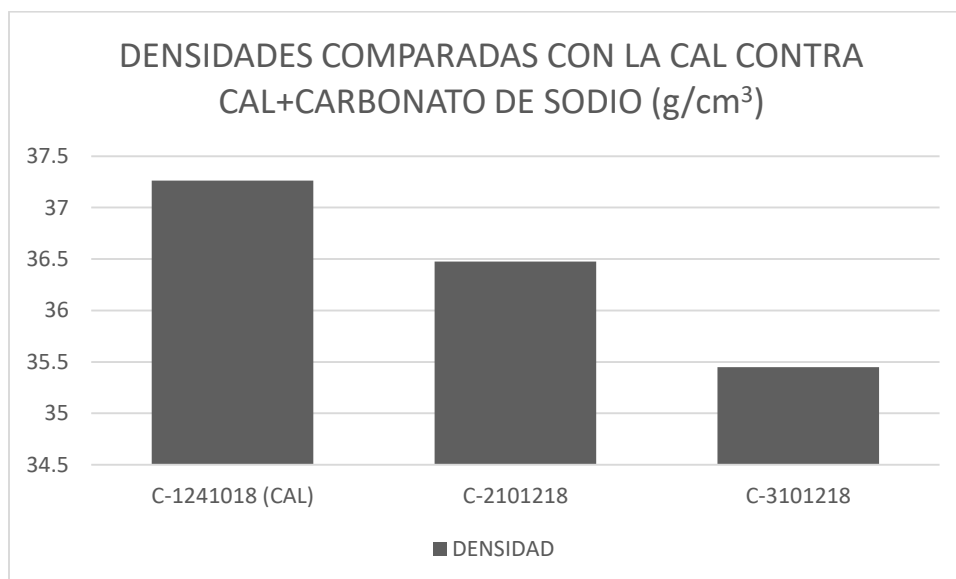


Figura. 4. 900. DENSIDADES COMPARADAS CON LA CAL CONTRA CAL+CARBONATO DE SODIO en (g/cm^3).

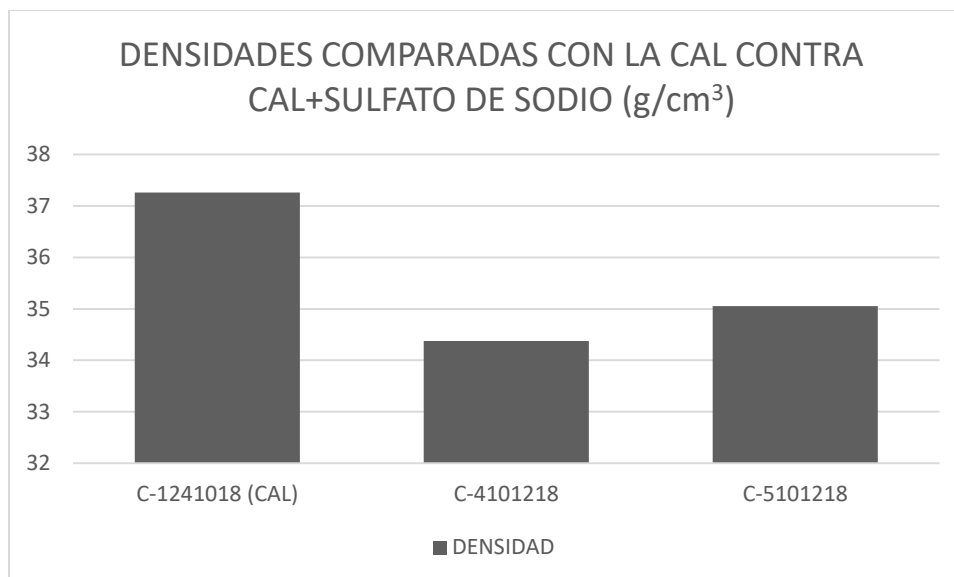


Figura. 4. 901. DENSIDADES COMPARADAS CON LA CAL CONTRA CAL+SULFATO DE SODIO en (g/cm^3).

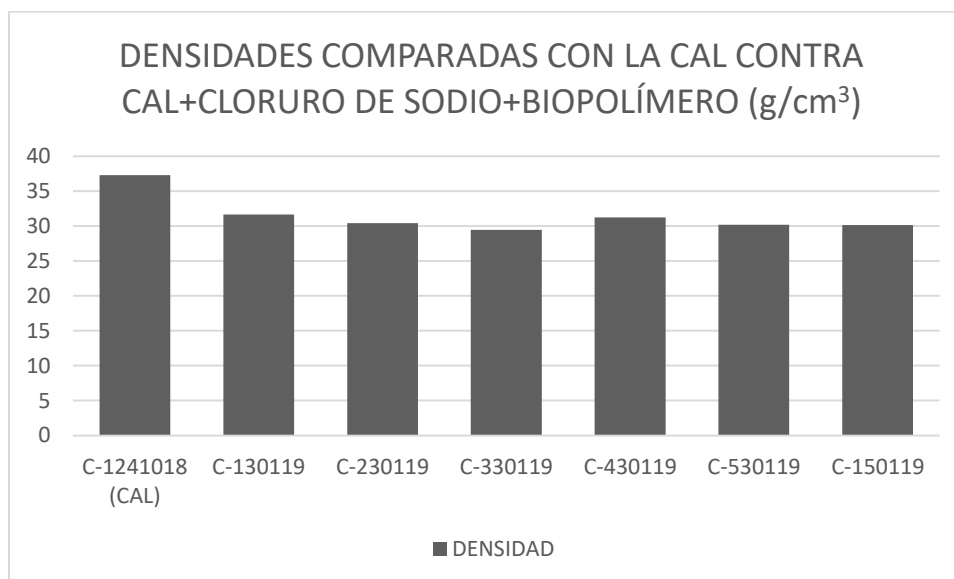


Figura. 4. 902. DENSIDADES COMPARADAS CON LA CAL CONTRA CAL+CLORURO DE SODIO+BIOPOLÍMERO en (g/cm^3).

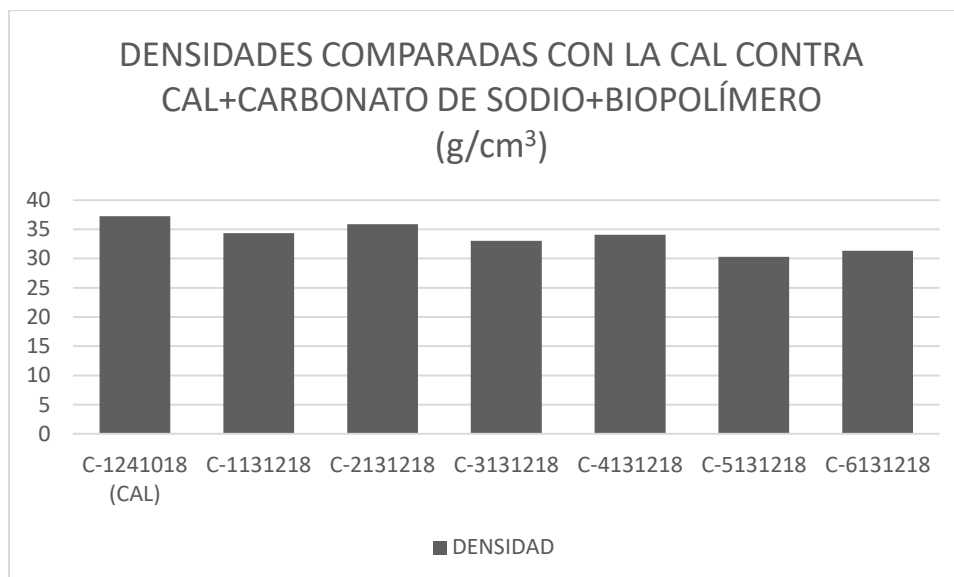


Figura. 4. 903. DENSIDADES COMPARADAS CON LA CAL CONTRA CAL+CARBONATO DE SODIO+BIOPOLÍMERO en (g/cm³).

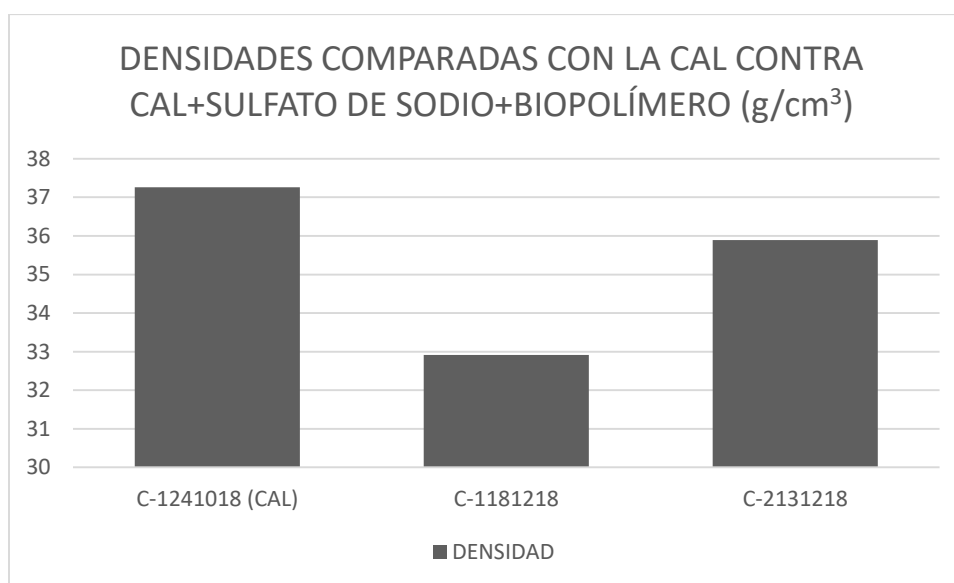


Figura. 4. 904. DENSIDADES COMPARADAS CON LA CAL CONTRA CAL+SULFATO DE SODIO+BIOPOLÍMERO en (g/cm³).

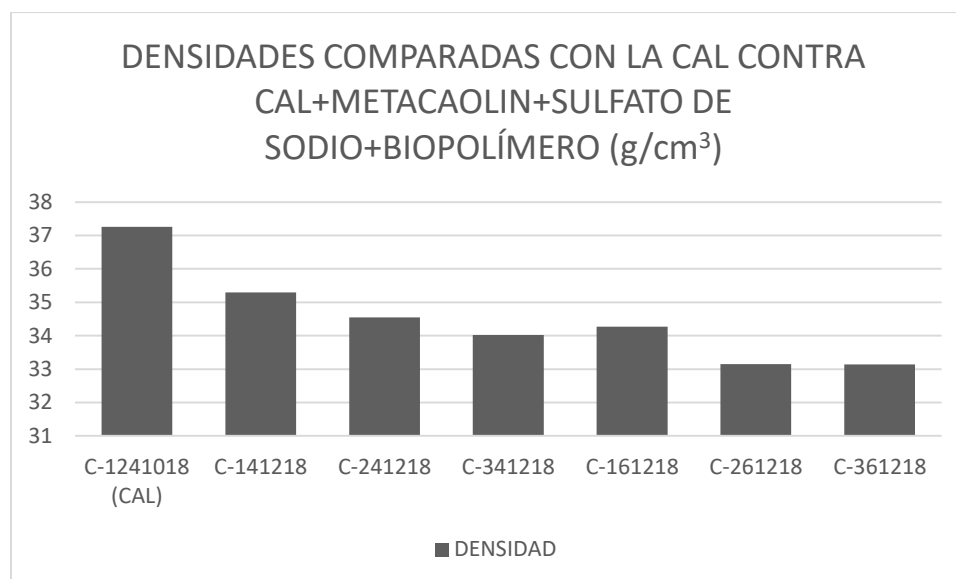
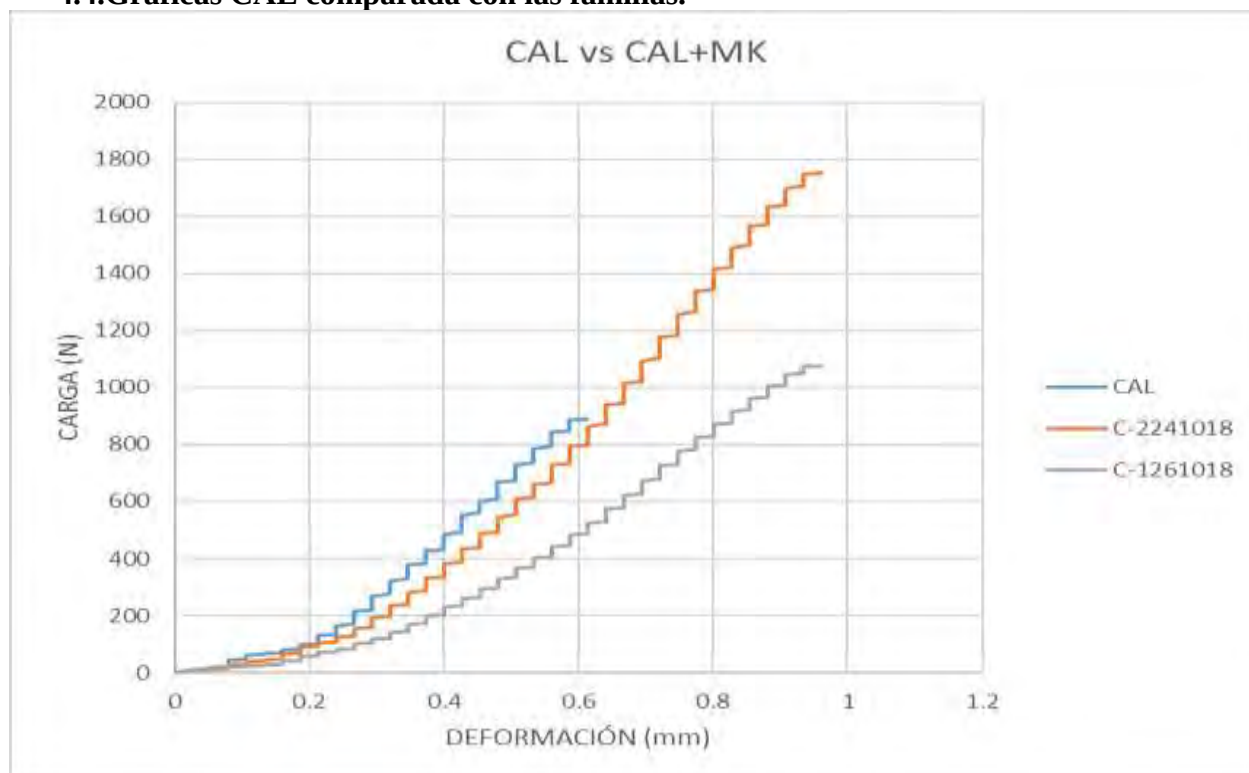
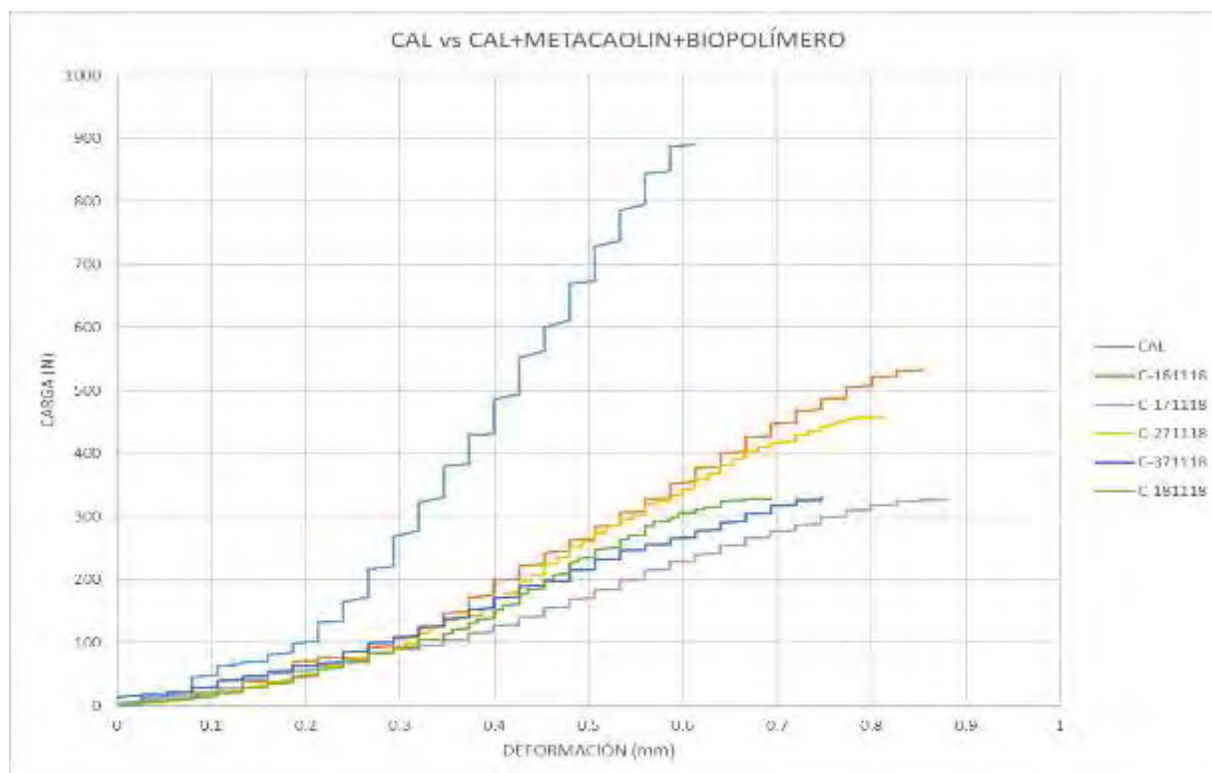


Figura. 4. 905. DENSIDADES COMPARADAS CON LA CAL CONTRA CAL+METACAOLIN+SULFATO DE SODIO+BIOPOLÍMERO en (g/cm³).

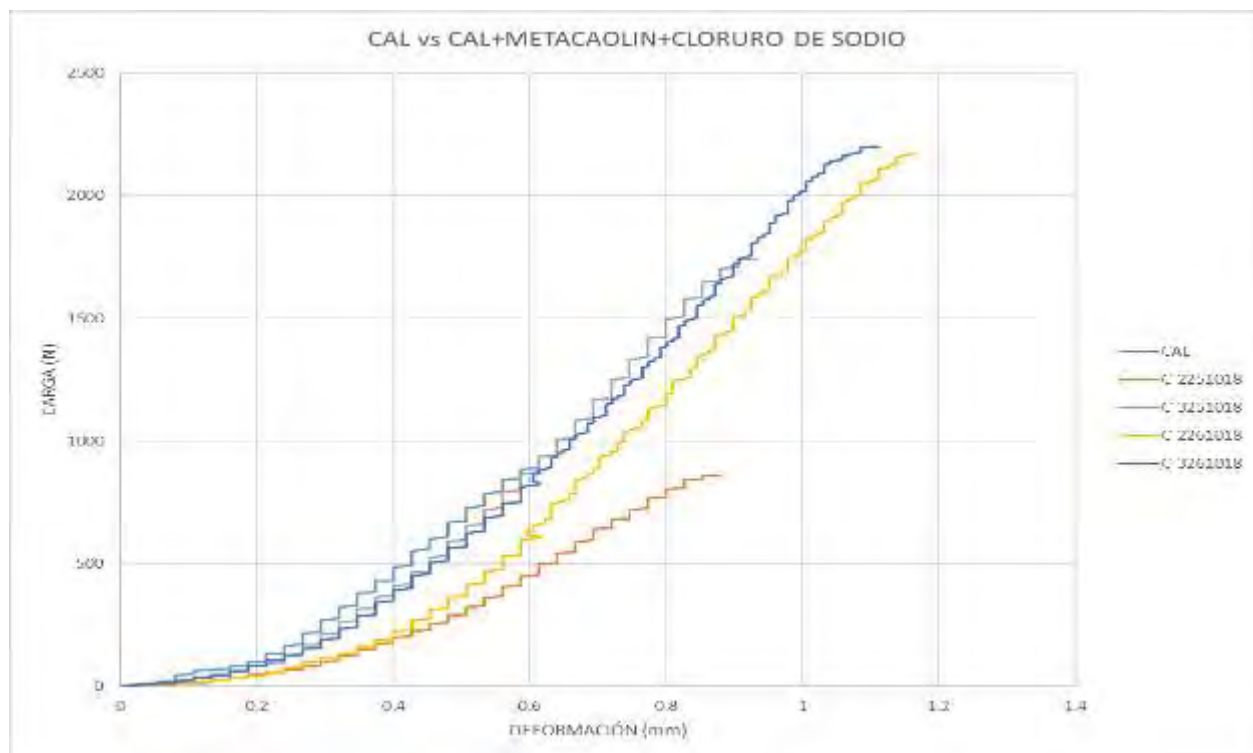
4.4. Graficas CAL comparada con las familias.



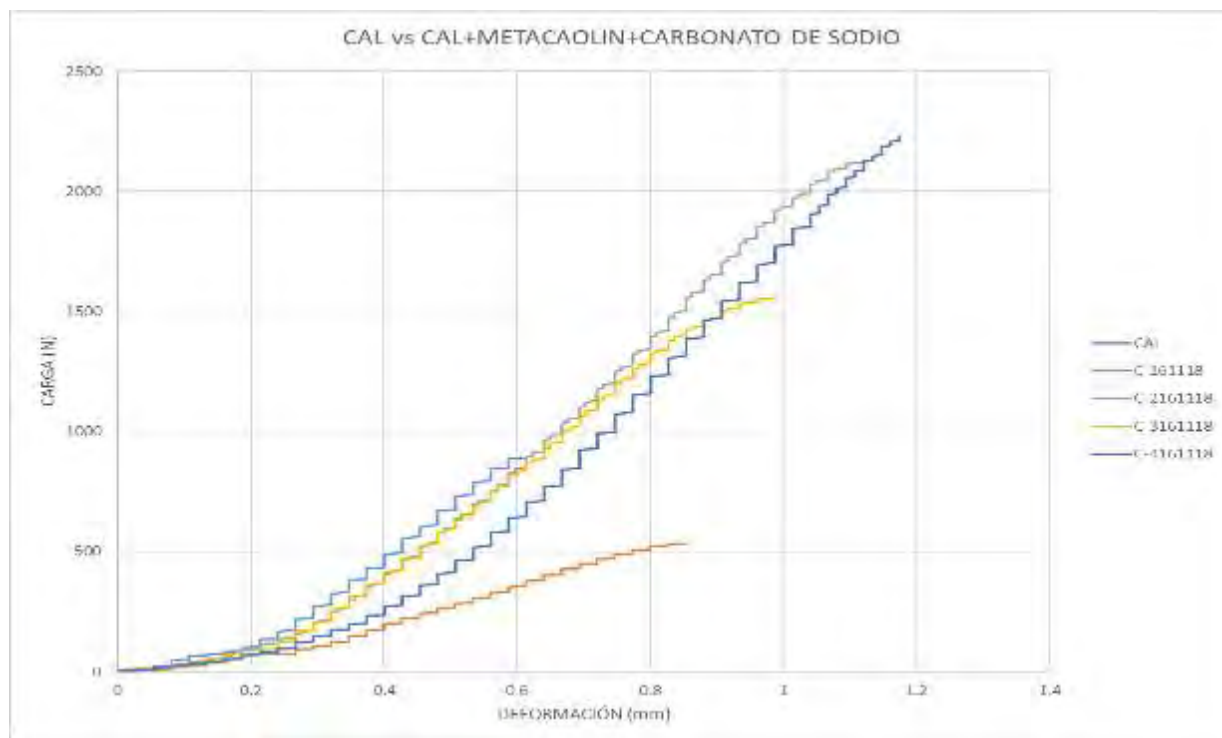
Gráficas 4. 74. Curvas comparativas de la CAL contra la CAL y el METACAOLIN en N-mm. Fuente: (Autoría propia).



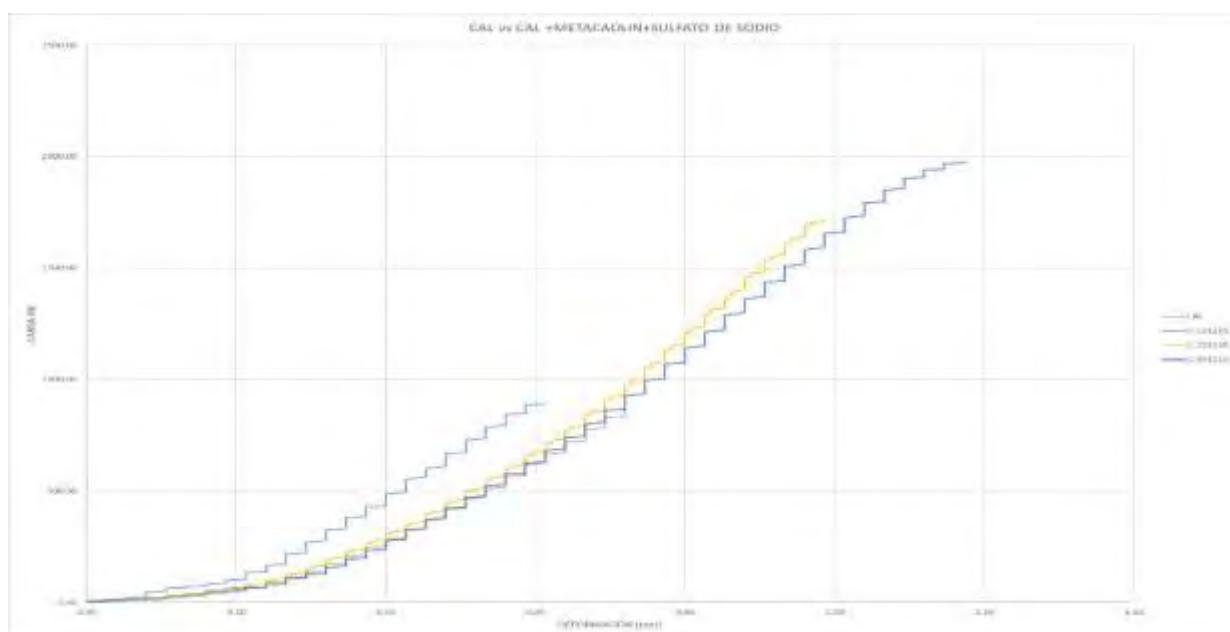
Gráficas 4. 75. Curvas comparativas de la CAL contra la CAL+METACAOLIN+BIOPOLÍMERO en N-mm. Fuente: (Autoría propia)



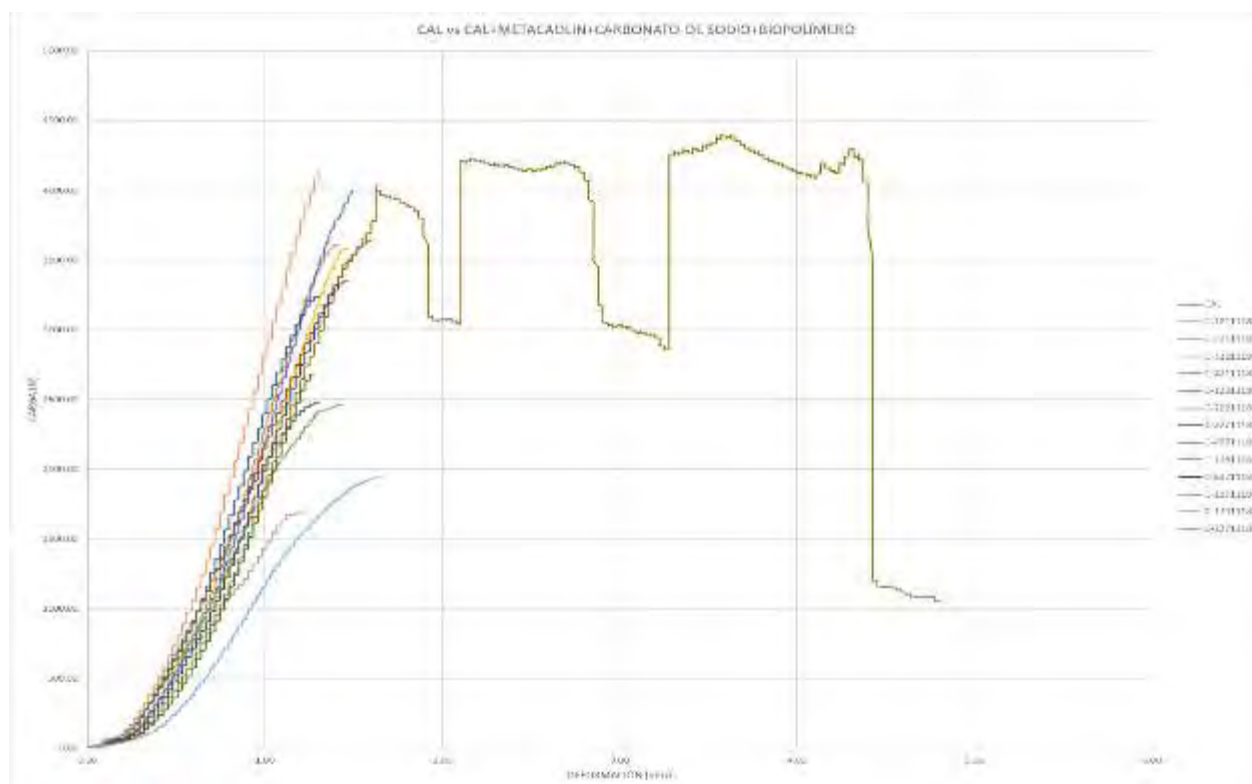
Gráficas 4. 76. Curvas comparativas de la CAL contra la CAL+METACOLIN+CLORURO DE SODIO en N-mm.
Fuente: (Autoría propia).



Gráficas 4. 77. Curvas comparativas de la CAL contra la CAL+METACOLIN+CARBONATO DE SODIO en N-mm.
Fuente: (Autoría propia)

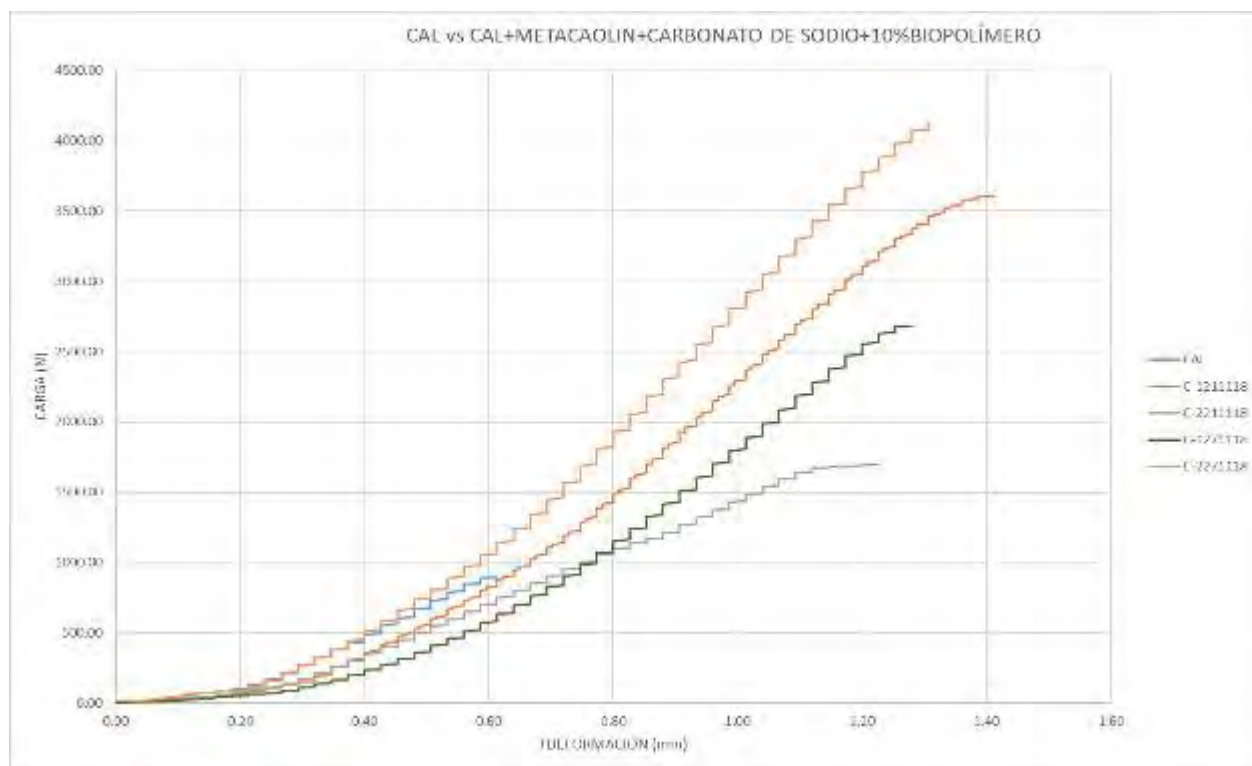


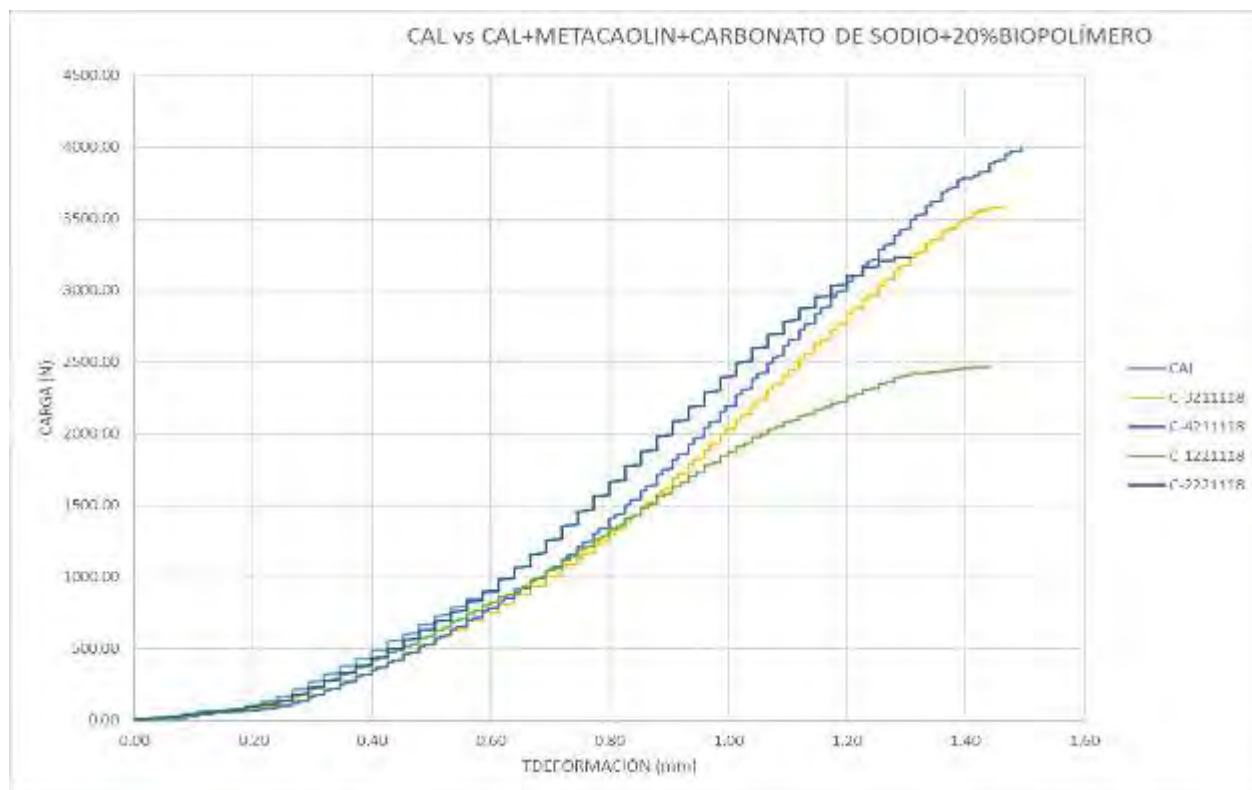
Gráficas 4. 78. Curvas comparativas de la CAL contra la CAL vs CAL + METACAOLIN + SULFATO DE SODIO en N-mm. Fuente: (Autoría propia).



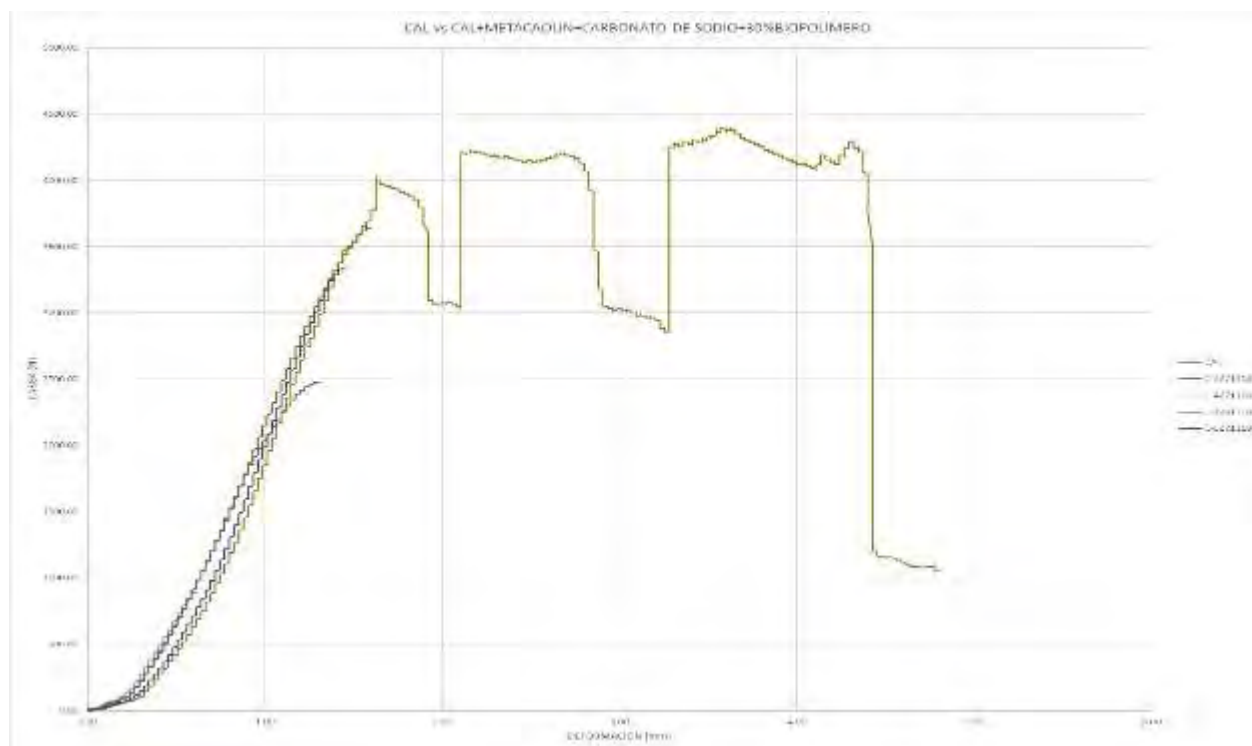
Gráficas 4. 79. Curvas comparativas de la CAL contra la CAL + METACAOLIN + CARBONATO DE SODIO + BIOPOLÍMERO en N-mm. Fuente: (Autoría propia).

CAL COMPARADA CON CAL, METACAOLIN, CARBONATO DE SODIO Y EL BIOPOLÍMERO.

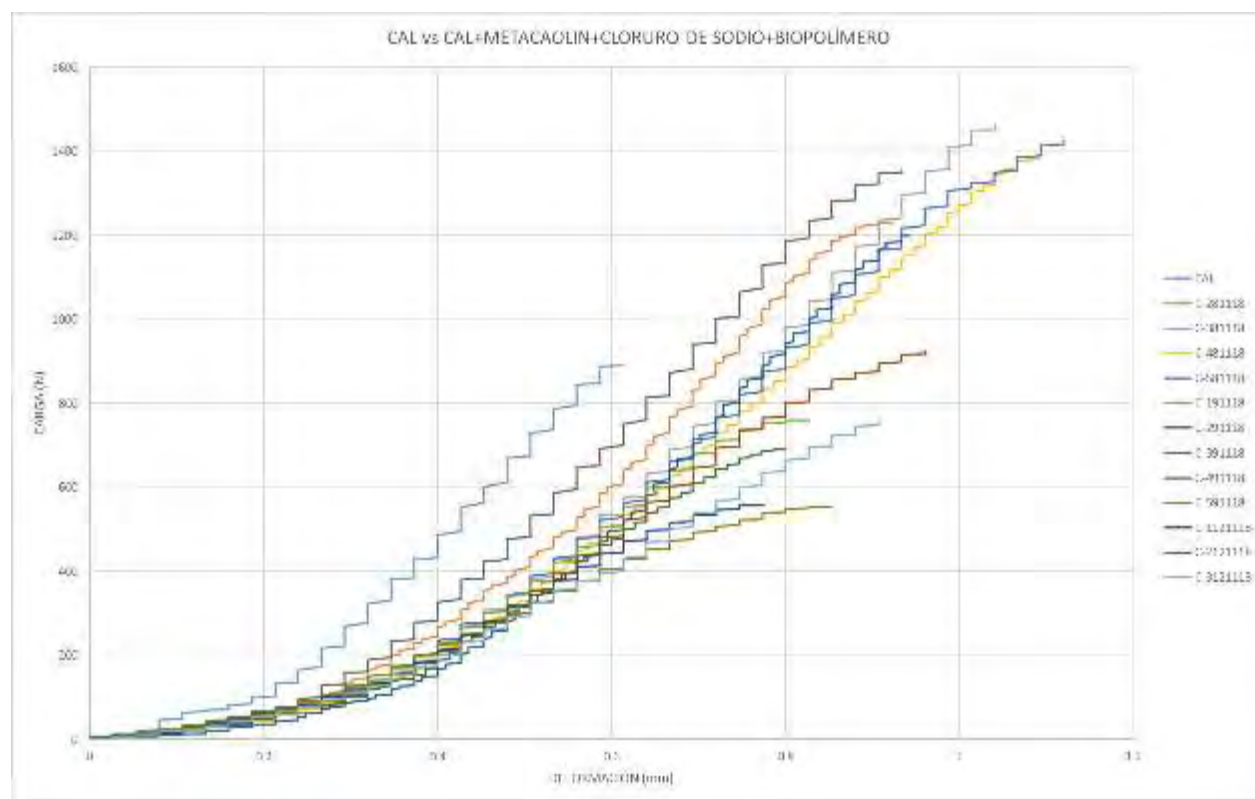




Gráficas 4. 81. Curvas comparativas de la CAL contra la CAL+METACAOLIN+CARBONATO DE SODIO+20%BIOPOLÍMERO en N-mm. Fuente: (Autoría propia)

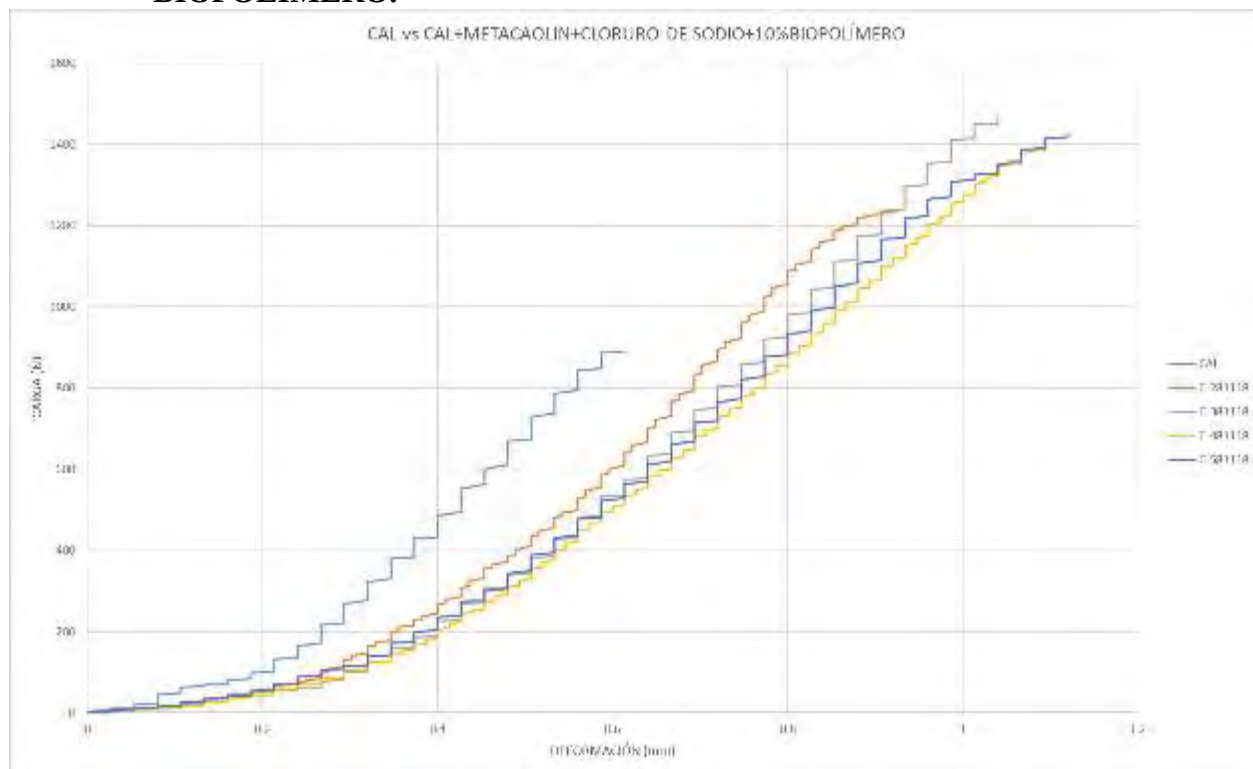


Gráficas 4. 82. Curvas comparativas de la CAL contra la CAL+METACAOLIN+CARBONATO DE SODIO+30%BIOPOLÍMERO en N-mm. Fuente: (Autoría propia)

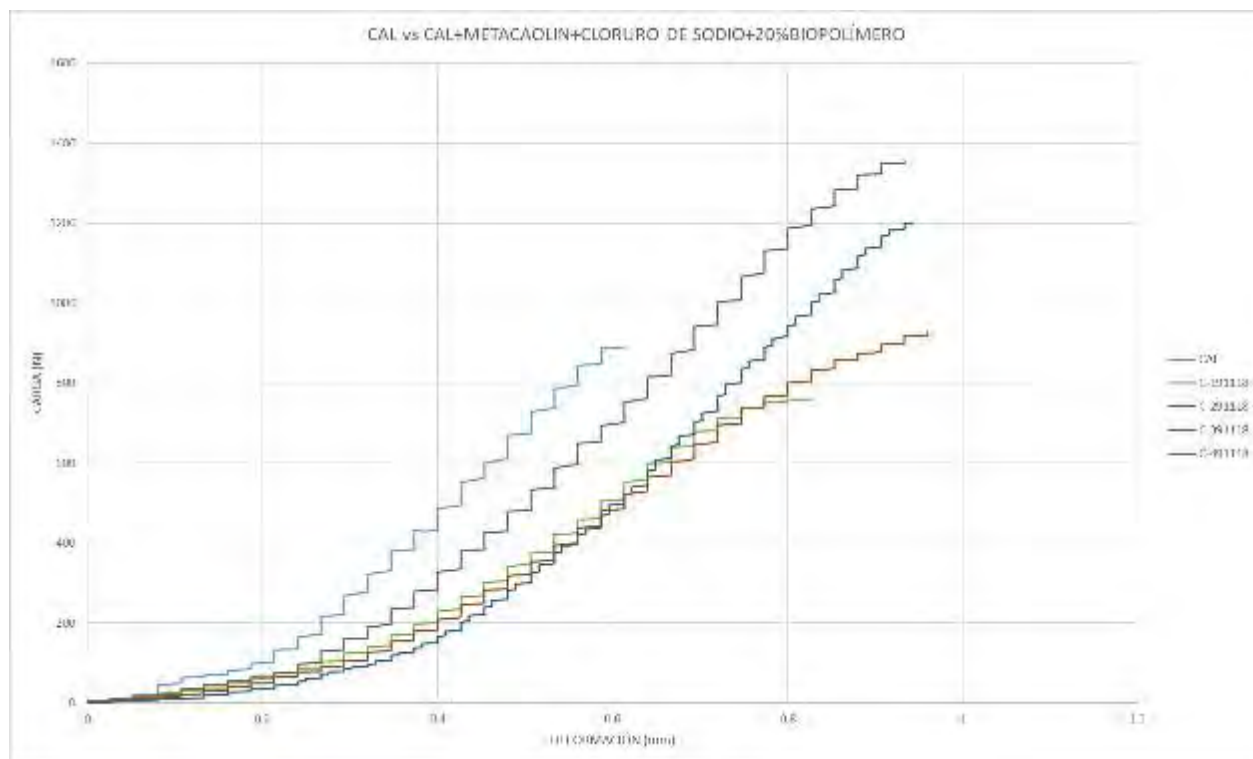


Gráficas 4. 83. Curvas comparativas de la CAL contra la CAL+METACAOLIN+CLORURO DE SODIO+BIOPOLÍMERO en N-mm. Fuente: (Autoría propia).

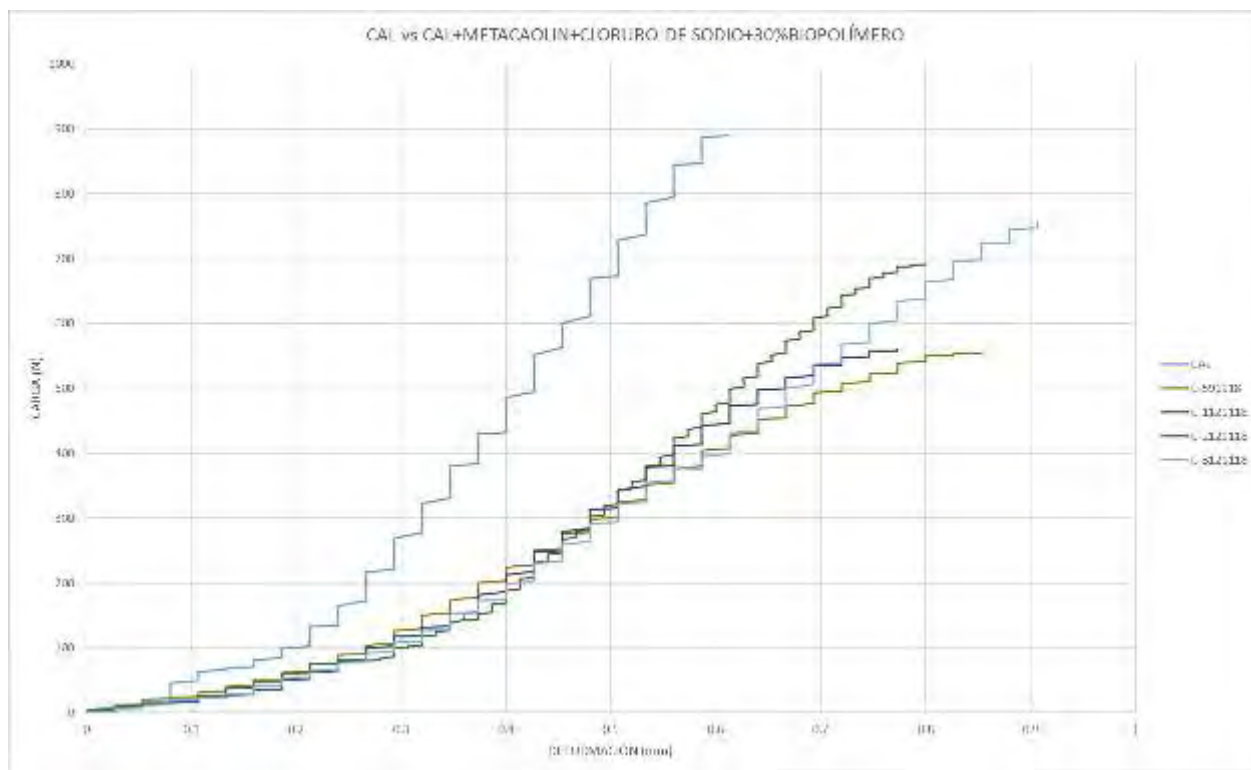
CAL COMPARADA CON CAL, METACAOLIN, CLORURO DE SODIO Y EL BIOPOLÍMERO.



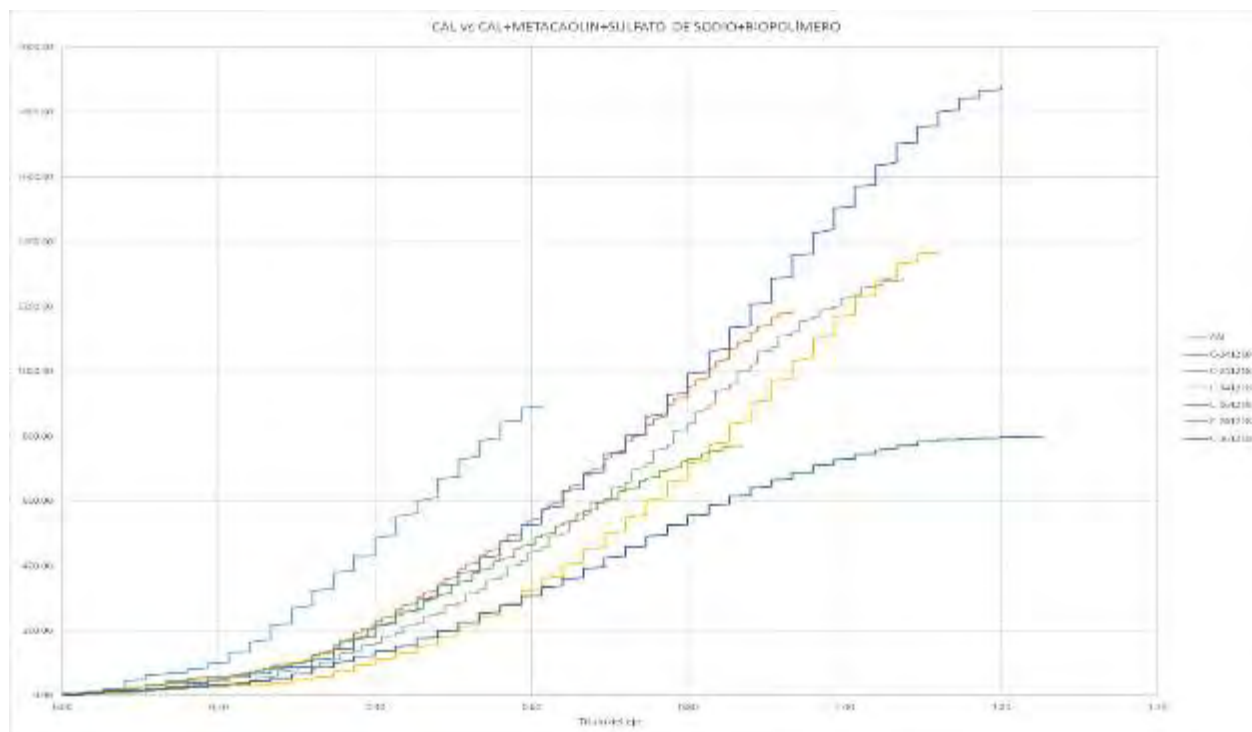
Gráficas 4. 84. Curvas comparativas de la CAL contra la CAL+METACAOLIN+CLORURO DE SODIO+10%BIOPOLÍMERO en N-mm. Fuente: (Autoría propia).



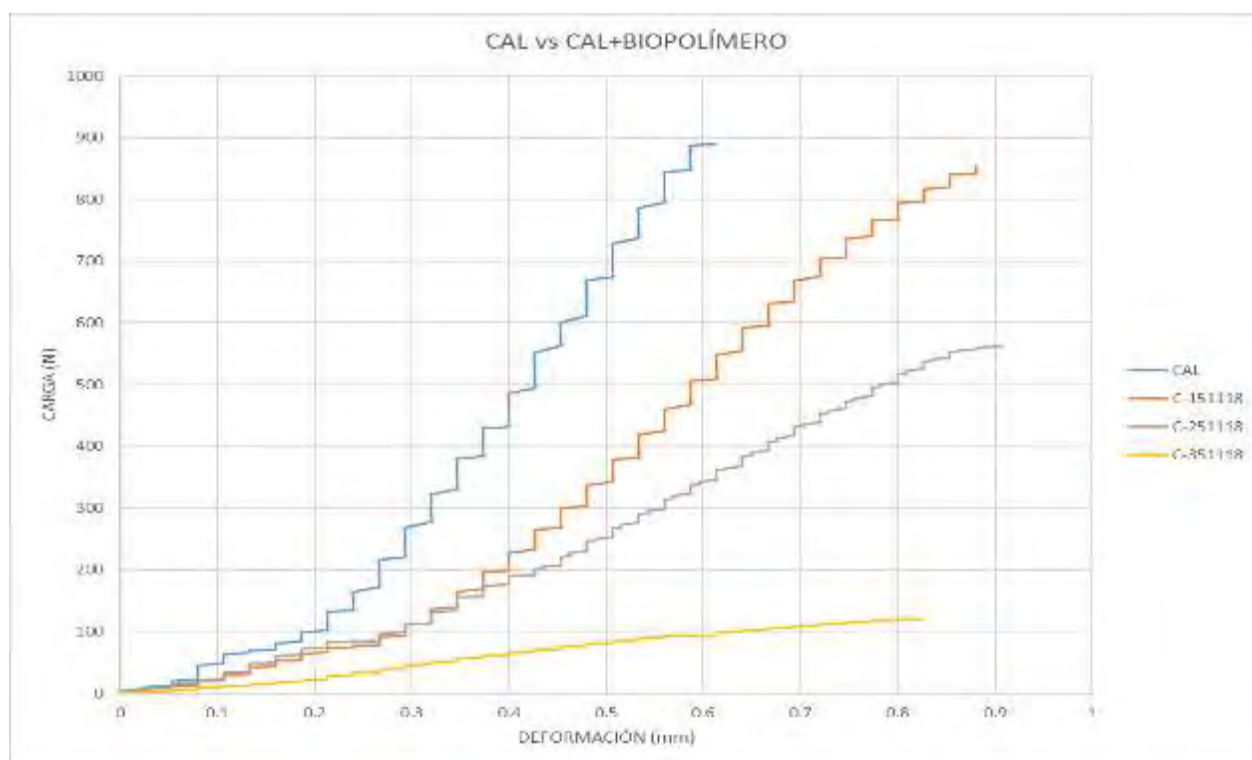
Gráficas 4. 85. Curvas comparativas de la CAL contra la CAL+METACAOLIN+CLORURO DE SODIO+30%BIOPOLÍMERO en N-mm. Fuente: (Autoría propia).



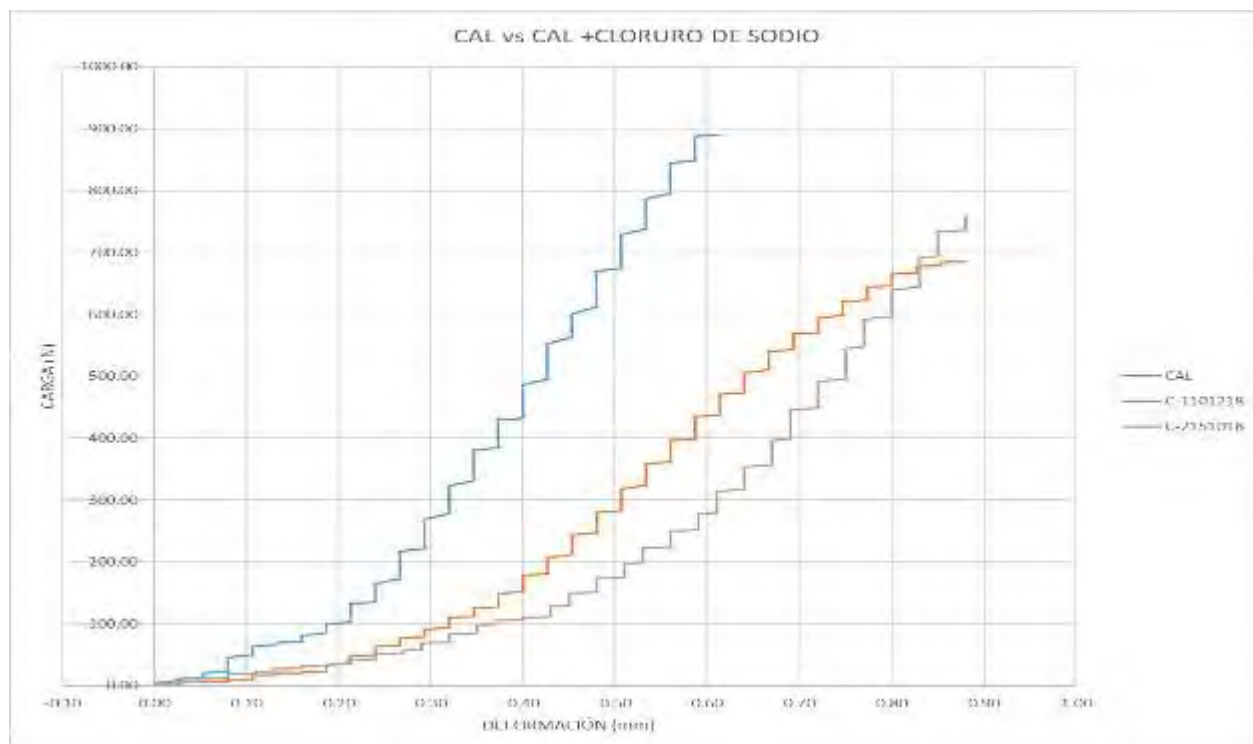
Gráficas 4. 86. Curvas comparativas de la CAL contra la CAL+METACAOLIN+CLORURO DE SODIO+20%BIOPOLÍMERO en N-mm. Fuente: (Autoría propia).



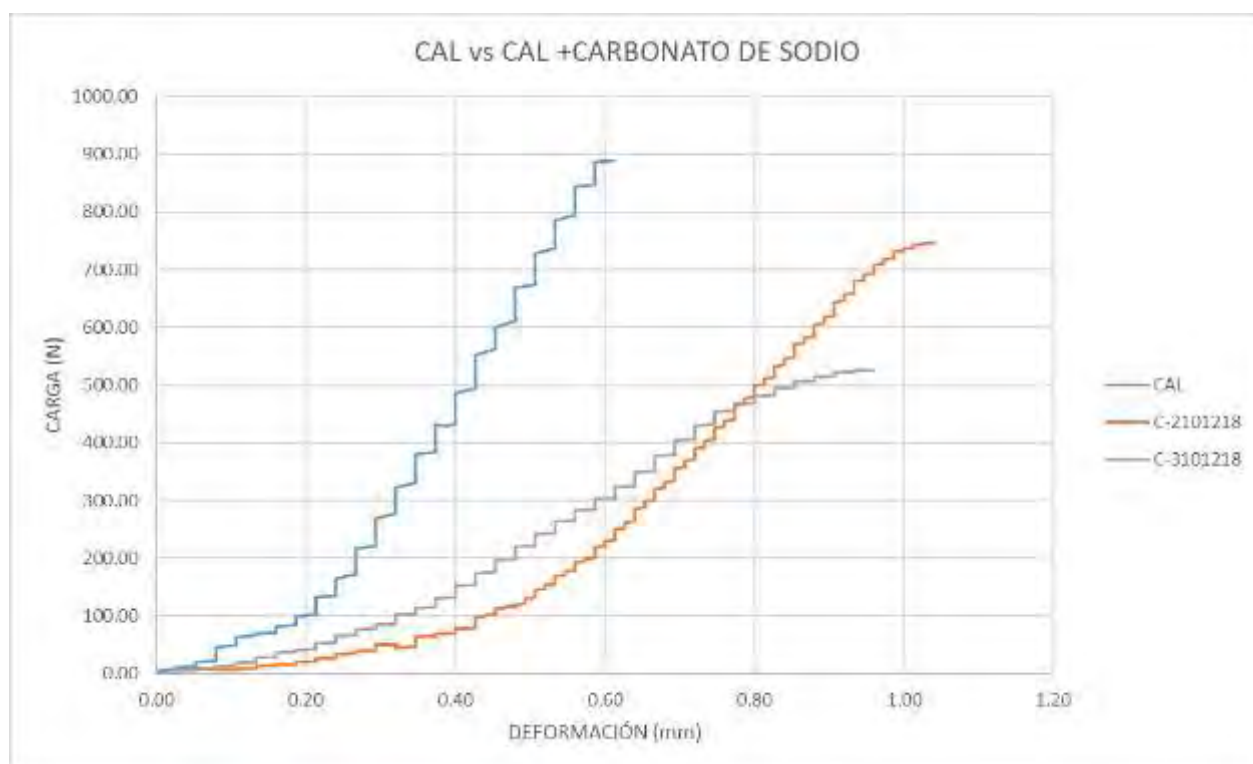
Gráficas 4. 87. Curvas comparativas de la CAL contra la CAL+METACAOLIN+SULFATO DE SODIO+BIOPOLÍMERO en N-mm. Fuente: (Autoría propia).



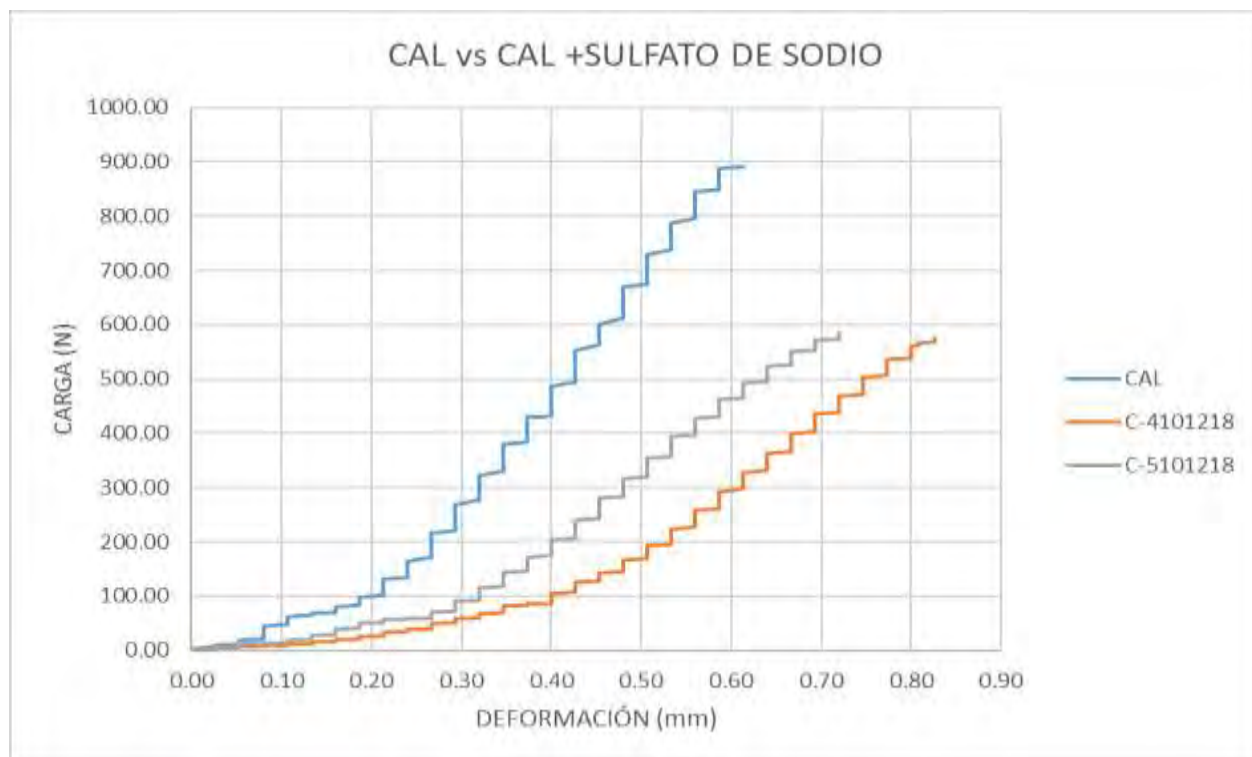
Gráficas 4. 88. Curvas comparativas de la CAL contra la CAL vs CAL+BIOPOLÍMERO en N-mm. Fuente: (Autoría propia).



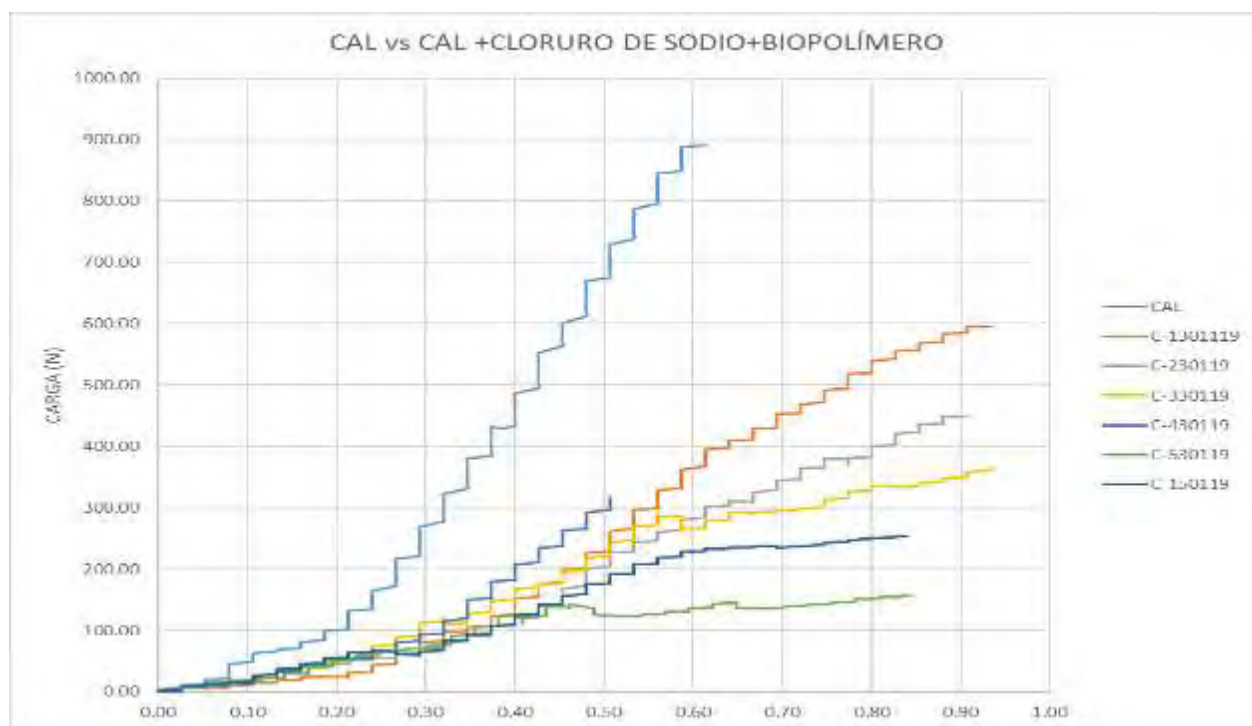
Gráficas 4. 89. Curvas comparativas de la CAL contra la CAL +CLORURO DE SODIO en N-mm. Fuente: (Autoría propia).



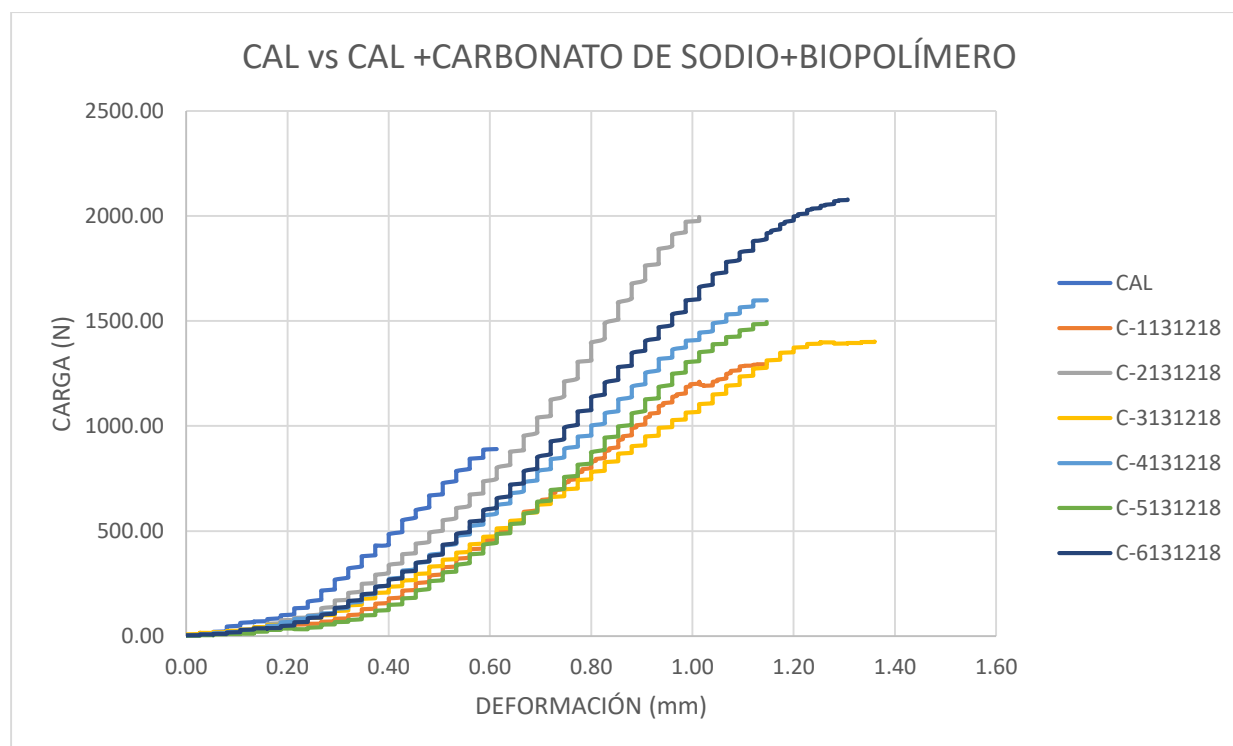
Gráficas 4. 90. Curvas comparativas de la CAL contra la CAL +CARBONATO DE SODIO en N-mm. Fuente: (Autoría propia).



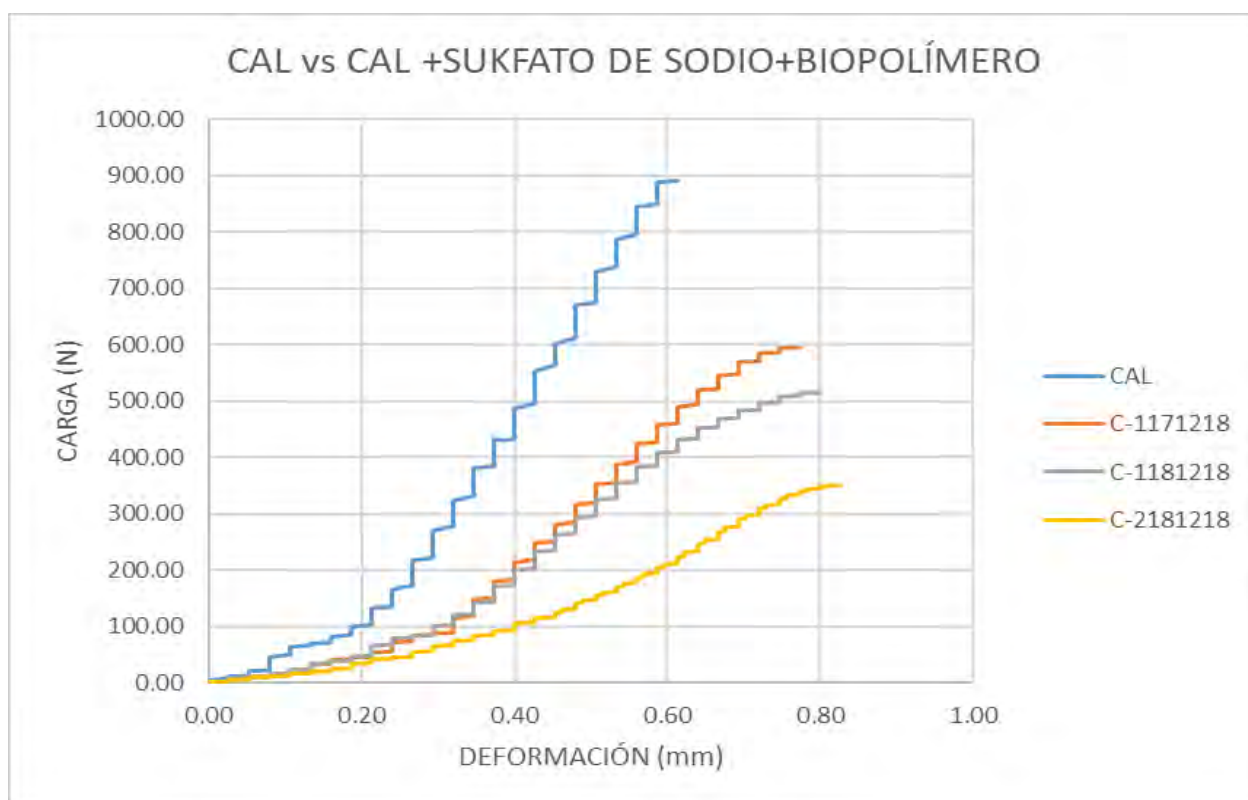
Gráficas 4. 91. Curvas comparativas de la CAL contra la CAL +SULFATO DE SODIO en N-mm. Fuente: (Autoría propia).



Gráficas 4. 92. Curvas comparativas de la CAL contra la CAL +CLORURO DE SODIO+BIOPOLÍMERO en N-mm. Fuente: (Autoría propia).



Gráficas 4. 93. Curvas comparativas de la CAL contra la CAL +CARBONATO DE SODIO+BIOPOLÍMERO en N-mm. Fuente: (Autoría propia).



Gráficas 4. 94. Curvas comparativas de la CAL contra la CAL +SUKFATO DE SODIO+BIOPOLÍMERO en N-mm. Fuente: (Autoría propia).

Capítulo 5- Análisis Y Discusión De Resultados.

5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

Sí es posible, modificar un cemento de cal alcalinamente activado con un biopolímero, no con todos los activadores obtenemos buenos resultados, por ejemplo con el metacaolín y el sulfato de sodio, nos damos cuenta que las reacciones que ocurren entre un sulfato y el álcali pueden ser desastrosas, comenzando con el llamado fraguado relámpago y la aparición de eflorescencias, o teniendo disminución en la resistencia, comparada con la del cemento de cal, incrementando su módulo de elasticidad, hasta llegar a los porcentajes iguales o mayores a un 10% del sulfato de sodio, viendo peores resultados adicionando porcentajes más altos del 10% del biopolímero, disminuyendo por completo su trabajabilidad e incrementando el riesgo del fraguado relámpago. Caso contrario, y en otro ejemplo el cemento de cal modificado con el metacaolín y el carbonato de calcio, obteniendo una buena trabajabilidad (cuando se es mezcla hasta obtenerla), como un incremento en la resistencia final.

Apreciando, en lo general, la totalidad de las densidades, de cada familia comparada una a una con la corrida de la Cal estándar, apreciamos que la activación alcalina disminuyó, en peso y densidad neta.

Exceptuando la familia CAL con METACAOLIN con CARBONATO DE SODIO, como se ha ido apreciando las cualidades que ha adquirido el cemento de Cal modificado con esta sal son asombrosos en este caso, particular con la C-3161118, que es a simple vista la que tiene una densidad mayor a la de la Cal. Hablando particularmente de esta familia, no aumento la resistencia final comparado con la Cal estándar, si lo hizo con un incremento en su módulo de elasticidad.

Las familias alcalinamente activadas con la sal carbonato de sodio, y el biopolímero es apreciable, su incremento en la resistencia disminuyendo el módulo de elasticidad. Notando factores, como que al ser pulidos los especímenes para lograr el cabeceó de estos, fue apreciable una gran resistencia a la abrasión, calentando e incluso el, espécimen, como se nota en la microscopia estereográfica, la homogeneidad en los materiales y las fronteras se nota una gran unión entre materiales, se apreciaron grietas, que aparecieron al ser pulidos los especímenes de estas familias, se deben al procesos de fabricación, al no ser vibrado al momento de ser colados los especímenes, ocurren esta clase de irregularidades en el producto que se obtiene al final.

Las familias alcalinamente activas con la sal CLORURO DE SODIO, son más variables los resultados finales obtenidos desde resistencias finales que alcanzan casi el doble de la resistencia final de la Cal, también se obtuvieron resultados donde el casi llegamos a la media de la resistencia de la propia Cal estándar, en todas las familias el módulo de elasticidad se incrementó, si en resultados también variables, estos se aprecian mejor al observar las gráficas del capítulo 4. En esta familia se presenta la homogeneidad, estas, si se pudieron vibrar y obtuvimos, mejores características visuales.

Al ser pulidos presentaban, características regulares no eran, tan duros, pero presentaron en lo general buena dureza.

La familia alcalinamente activada con la sal SULFATO DE SODIO, como ya fue mencionado hay reacciones, que no son tan favorables, era apreciable la energía que se generaba en el proceso de fabricación, pues antes de agregar el agua en punto de ebullición, podía sentirse el calor que irradiaba, la mezcla. Presentando esta familia poca dureza al ser pulido, pero con una buena

homogeneidad captada en el microscopio. irradiaba, la mezcla. Presentando está familia poca dureza al ser pulido, pero con una buena homogeneidad captada en el microscopio.

Capítulo 6– Conclusiones

6. CONCLUSIONES.

Atraves de este trabajo de grado, mediante el cual se realizó, un estudio, de cementos alcalinamente activados y su modificación con un el almidón de arroz, con la finalidad, de crear una alternativa a la disminución de emisiones de CO_2 a la atmósfera, producida en la industria de la construcción, que es más del 60% del total producido al año en el mundo, disminuyendo así el impacto ambiental, así como también, se buscó incrementar las propiedades de los morteros y/o cementos a base Cal e incluyendo el biopolímero, logramos ver sus efectos dentro de la mezcla.

Por tanto, se concluye que no todos los álcalis, funcionan, como fue ya demostrado, en este trabajo, presentando e en el caso del SULFATO DE CALCIO, el fraguado relámpago y la formación de cristales florecientes, y con el CLORURO DE SODIO, APRECIANDO RENDIMIENTOS promedios o no tan espectaculares como un incremento considerable en el módulo de elasticidad, viendo resultados inertes, como lo fue el CLORURO DE SODIO, y apreciando los rendimos y propiedades que genera el CARBONATO DE CALCIO.

Las adiciones del biopolímero, aunados a la activación alcalina, también presentan resultados semejantes a los previamente dichos.

Las alternativas existen, y no son tan complicados de encontrar basta con ver lo que se implementa a antes, y mover unas cuantas cosas para que salgan más y más ideas.

7. Referencias

- 1 E. Vidaud, « De la historia del cemento,» 28 Octubre 2013. [En línea]. Available: <http://www.revistacyt.com.mx/pdf/noviembre2013/ingenieria.pdf>. [Último acceso: 2018].
- 2 Salazar J. Alejandro, «¿Que es una puzolana?».
- 3 S. Mariela Rendón b. Ana Fernández j. Ángel Palomo s. Miguel Martínez M. Andrés Torres A. José T. Pérez Q., «Desarrollo de nuevos cementos alcalinos y cementos híbridos,» 2015..
- 4 A. M. F. Jiménez, «Cementos de escorias activadas alcalinamente: influencia de las variables y modelización del proceso.,» Madrid, 2000.
- 5 Grupo RMC, «the concretSociety,» Concreto a tu alcance, [En línea]. Available: <http://www.concrete.org.uk/fingertips-document.asp?id=768>. [Último acceso: 14 diciembre 2018].
- 6 E. Hermida, «Polímeros guía didáctica,» Buenos Aires, 2011.
- 7 Arquitectura técnica. Materiales II , «2.- Hormigón, Escuela de ingeniería técnica civil.,» 2007.
- 8 Y. FuWei , P. ChangChu y Z. YuYao , «Mortero tradicional representado por arroz pegajoso mortero de cal: uno de los grandes inventos en la antigua China.,» Hangzhou, China, 2009.
- 9 Constricción y tecnología, Mafer, «Concretos prehispánicos,» 2006.
- 10 H. P. C. R. D. C. H. E. S. Ramírez de Alba, «El cemento y el concreto de los mayas Ciencia,» Toluca, México, 1999.
- 11 INSTITUT DE PROMOCIÓ CERÀMICA , «EL CEMENTO Y SUS Tipos».
- 12 B. Krkhoff, W. C. Panarese, J. Tanesi y S. Kosmatka, iseño y Control de Mezclas de Concreto, Ilinois: portland cement association, 2000.
- 13 Secretaría de Comunicaciones y transportes, *Título: 02. Materiales para Concreto Hidráulico*, 2002.
- 14 C. V. Fernández, «Cementos activados alcalinamente. Comportamiento reológico y durable en medio ácido.,» Madrid, 2015.
- 15 pamphlet of Taiheigo Cement Corpotation, «Ecocement.,» [En línea]. Available: <http://www.jsce.or.jp/committee/concrete/e/newsletter/newsletter08/Ecocement.pdf>. [Último acceso: septiembre 2018].
- 16 L. C. Ramírez., «Tecnología del concreto permeable o ecológico en la construcción.,» Ciudad de México , 2010.

- 17 J. L. R. Ortiz, «La múltiple identidad del concreto,,» 1999.
- 18 A. P. M. C. A. Fernández-Giménez, *Activación alcalina de cenizas volantes. Estudio comparativo entre activadores sódico y potásicos.*, ukraine, 2006.
- 19 A. R. William G. Valencia Saavedra, «Concretos de activación alcalina basados en subproductos industriales (ceniza volantes y escorias de alto horno) expuestos a elevadas temperaturas.,» Cali, 2016.
- 20 L. Carrasquero, «FUNDAMENTOS DE POLÍMEROS.,» Mérida, 2004.
- 21 A. M. M. Beltrán, «TEMA 1. Estructura y propiedades de los polímeros.».
- 22 Y. O. Y. U. M. F. VALERO-VALDIVIESO, «BIOPOLÍMEROS: AVANCES Y PERSPECTIVAS.,» 2013.
- 23 B. A. d. I. Á. Rosales., «Obtención de biopolímero plástico a partir del almidón de malanga (*Colocasia esculenta*), por el método de polimerización por condensación en el laboratorio 110 de la UNAN-Managua.,» Managua, 2016.
- 24 J. Davidovits, «Geopolymer Chemistry & Applications,,» Saint-Quentin France., 1976.
- 25 M.-D. G. R. .. Villaquirán-Caicedo, «Evaluación microestructural de geopolímeros basados en metacaolín y fuentes alternativas de sílice expuestos a temperaturas altas.,» Cali , 2013.
- 26 J. a. V. M. I. C. Cliff j. Kirchner, «Polímeros naturales y su aplicación como ayudantes de floculación,,» lima, 1975.
- 27 I. Balázs, «Modification of Biopolymers – Chemistry, Interactions, Structure and Properties,,» Budapest, 2013.
- 28 C. Vásquez, «Industria del cemento en México: análisis de sus determinantes,,» México , 2016.
- 29 P. L. ARANDA, TESIS EFECTO DE LA ADICIÓN DE HIDRÓXIDO CÁLCICO SOBRE MEZCLAS CON ALTA SUSTITUCIÓN DE CEMENTO POR CENIZA VOLANTE. , Valencia, 2014.
- 30 A.Colas, «Silicones: Preparation, Properties and Performance».
- 31 E. Arriagada, «RESINAS SINTÉTICAS O POLÍMEROS O MATERIALES ORGÁNICOS SINTÉTICOS.».
- 32 Domoterra, «Domoterra. Casas de Tierra, Espacios Vivos,,» 16 Julio 2016. [En línea]. Available: <http://www.domoterra.es/blog/2016/07/16/la-huella-de-carbono/>. [Último acceso: octubre 2018].
- 33 O. Acosta., «Propiedades de la Silicona La silicona.».

- 34 A. Aguado, «Los hormigones con polímeros en la construcción: propiedades y aplicaciones.,» Cataluña.
- 35 E. Arriagada., «RESINAS SINTÉTICAS O POLÍMEROS O MATERIALES ORGÁNICOS SINTÉTICOS. Materiales Dentales Polímeros.».
- 36 E. Arriagada., «RESINAS SINTÉTICAS O POLÍMEROS O MATERIALES ORGÁNICOS SINTÉTICOS. Materiales Dentales Polímeros.».
- 37 A. S. L. K. Vinutha Moses, «Emerging Trends in Chemical Engineering Bioresins: An Environment Friendly Product.,» 2015.
- 38 . M. d. M. Herrero Rodríguez., «NANOMATERIALES HÍBRIDOS ORGÁNICOS/INORGÁNICOS CON HIDRÓXIDOS DOBLES LAMINARES.,» Salamanca., 2008..
- 39 E. Alfredo Favret., «LA BIOLOGÍA INSPIRA NUEVOS DESARROLLOS TECNOLÓGICOS EN EL CAMPO DE LA CIENCIA DE LOS MATERIALES Y LA INGENIERÍA.».
- 40 J. M. S. E. A. Aguado, «LOS HORMIGONES CON POLÍMEROS EN LA CONSTRUCCION: PROPIEDADES Y APLICACIONES.,» Catalunya..
- 41 «MORTEROS MODIFICADOS CON POLÍMEROS.».
- 42 A. Gessa Perera y e. a. , «Alternativas de reducción de las emisiones de carbono en la producción de cemento. Propuesta de un modelo de evaluación.».
- 43 «El cemento y sus tipos».
- 44 G. C. & A. J. D. I. G. I. r. G. F.-0. S.-Q. F. https://www.researchgate.net/publication/265076752_Geopolymer_Chemistry_and_Applications.
- 45 B. V. S. Corrales, , México , 2016.