

# UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

**TESIS**



## **“CONCRETO DE ALTA DURABILIDAD Y ALTO DESEMPEÑO EN INFRAESTRUCTURA”**

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:  
**MAESTRO EN INFRAESTRUCTURA DEL TRANSPORTE EN LA RAMA DE  
LAS VÍAS TERRESTRES**

PRESENTA:

**Ing. JOSÉ ALBERTO GUZMÁN TORRES**

ASESOR:

**DOCTORA EN INGENIERÍA ELIA MERCEDES ALONSO GUZMÁN**

CO-ASESOR:

**DOCTOR EN INGENIERÍA ANDRÉS TORRES ACOSTA**

*MORELIA, MICHOACÁN, FEBRERO 2014*

## AGRADECIMIENTOS

*A DIOS YA MI ÁNGEL POR PERMITIRME DAR UN PASO TAN IMPORTANTE EN MI VIDA PERSONAL Y PROFESIONAL, POR DARMER LAS LECCIONES DE VIDA QUE HE SABIDO TOMAR Y APRENDER, Y POR DARMER LAS HERRAMIENTAS NECESARIAS PARA SALIR ADELANTE.*

*“CON AMOR Y CARINO A MI FAMILIA”*

*CON RESPETO Y AGRADECIMIENTO A MI PAPÁ ALBERTO GUZMÁN DAMIAN QUIEN SE HA PRIVADO DE PASAR MOMENTOS CON NOSOTROS POR SACAR A NUESTRA FAMILIA ADELANTE Y NO NOS FALTE EL ALIMENTO, EJEMPLO DE FORTALEZA, HUMILDAD Y PERSEVERANCIA ADMIRABLE.*

*A MI MADRE CELIA TORRES MAGAÑA QUIEN SIEMPRE ME DIO SU CONFIANZA Y APOYO PARA TERMINAR CON MI CARRERA, FUERTE E INDISCUTIBLEMENTE LA MEJOR MOTIVACIÓN PARA SALIR ADELANTE, PERSONA LLENA DE CARINO Y SABIDURÍA.*

*A MIS HERMANOS ÁNGEL Y MARIO POR FORMAR PARTE DE MI VIDA Y MI FAMILIA.*

*A MIS AMIGOS NOEL, CUAUHTÉMOC Y DANIEL POR DEMOSTRARME EL VERDADERO SIGNIFICADO DE LA AMISTAD, HONRADEZ Y HUMILDAD SIN OLVIDAR SU APOYO INCONDICIONAL Y DESINTERESADO.*

*A MI ESTIMADO AMIGO Y CONSEJERO DON JOSÉ LUIS QUIEN DESDE MI ADOLESCENCIA ME GUIÓ CON SUS CONSEJOS Y SU AYUDA INCONDICIONAL, PERSONA SENCILLA Y HUMILDE QUE SIEMPRE CREYÓ EN MÍ.*

*AL Dr. HUGO YA MIS AMIGOS MIGUEL ANGEL, ANAHIS, CYNTHIA, MARCO ANTONIO NAVARRETE “TOCAYITO”, ALEJANDRO Y GERARDO POR SU APOYO Y AYUDA EN ESTA INVESTIGACIÓN.*

*A MI ASESORA Y TUTORA ELIA MERCEDES ALONSO GUZMÁN, POR BRINDARME SU APOYO INCONDICIONAL Y CONFIANZA, PERSONA TRABAJADORA ADMIRABLE, EJEMPLO DE SENCILLEZ, HONRADEZ Y HUMILDAD PERO SOBRE TODO EXCELENTE CALIDAD HUMANA.*

*AL ING. WILFRIDO MARTINEZ MOLINA POR BRINDARME SU CONFIANZA Y APOYO PARA TRABAJAR EN LABORATORIO, PERSONA EJEMPLAR Y SENCILLA.*

*YA TODAS LAS PERSONAS QUE DE UNA FORMA U OTRA INFLUYERON PARA LOGRAR MI TITULACIÓN.*

*“GRACIAS A DIOS POR TODO LO QUE ME HA DADO Y POR LO QUE NO TAMBIÉN”*



# ÍNDICE GENERAL

---

## Contenido

<b>AGRADECIMIENTOS .....</b>	<b>1</b>
<b>ÍNDICE GENERAL .....</b>	<b>2</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>6</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>7</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>10</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>11</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>12</b>
OBJETIVOS.....	13
OBJETIVOS GENERALES .....	13
ALCANCES.....	14
JUSTIFICACIÓN .....	15
FUNCIONALIDAD Y DURABILIDAD.....	16
<b>CAPITULO 1. BREVE HISTORIA ACERCA DE LAS VÍAS TERRESTRES.....</b>	<b>17</b>
Aparición del automóvil.....	17
Las vías terrestres en México .....	18
<b>CAPITULO 2. INFRAESTRUCTURA DE CONCRETO Y SU PROBLEMÁTICA ACTUAL .....</b>	<b>19</b>
2.1 Concreto en la actualidad .....	19
2.2 Problemática actual en el concreto .....	20
2.3 Estructuras de concreto que conforman las vías terrestres .....	24
<b>CAPITULO 3. MATERIALES .....</b>	<b>28</b>
3.1 La corteza terrestre.....	28
3.2 Agregados pétreos .....	28
3.3 Cementos en México. ....	31
3.4 Polímeros.....	33
<b>CAPITULO 4. NATURALEZA DEL CONCRETO .....</b>	<b>35</b>





4.1 Fundamentos del concreto .....	35
Relación agua cemento.....	36
Tipos de concreto.....	37
Aditivos para concreto.....	38
Agua para mezcla de concreto.....	41
Mezclado.....	42
Trabajabilidad.....	42
Durabilidad .....	43
Resistencia al Congelamiento y Deshielo .....	43
Reactividad Alkali-Agregado .....	44
Carbonatación.....	45
<b>CAPITULO 5. CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES EMPLEADOS.....</b>	<b>47</b>
5.1 Agregados pétreos. ....	47
Agregado pétreo Fino (Arena).....	47
Agregado pétreo grueso (Grava) .....	49
5.2 Caracterización de los agregados .....	49
ARENAS .....	49
GRAVAS .....	67
5.3 Caracterización del cemento. ....	80
<b>CAPITULO 6. DISEÑO DE MEZCLAS .....</b>	<b>86</b>
6.1 Dosificación del concreto .....	86
Método ACI (American Concrete Institute).....	86
6.1.1 Condiciones generales del proyecto .....	87
6.1.2 Metodología del diseño de mezclas .....	87
6.1.3 Dosificación del concreto empleado.....	89
6.1.4 Dosificación de concreto a través de un software .....	95





6.1.5 Software de diseño de mezclas elaborado en un lenguaje de programación “Microsoft Visual Basic 6.0” .....	102
6.1.6 Elaboración de Mezclas y Especímenes.....	107
<b>CAPITULO 7. MÉTODOS DE PRUEBAS .....</b>	<b>118</b>
7.1 Pruebas no destructivas.....	118
7.2 Pruebas destructivas.....	135
<b>CAPITULO 8. RESULTADOS .....</b>	<b>144</b>
8.1 Resistividad.....	144
8.2 Velocidad de pulso ultrasónico.....	147
8.3 Frecuencias de Resonancia y Módulo de Elasticidad Dinámico .....	149
8.3.1 Módulo de Elasticidad Dinámico .....	152
8.4 Densidad .....	153
8.5 Profundidad de carbonatación .....	154
8.6 Resistencia al esfuerzo de compresión simple en cilindros de concreto	156
8.7 Resistencia a esfuerzos de tensión indirecta .....	158
8.8 Resistencia a esfuerzos de flexión en concreto .....	161
8.9 Resumen de Resultados.....	163
<b>CAPITULO 9. ANÁLISIS ECONÓMICO DEL PRODUCTO.....</b>	<b>165</b>
Recopilación de información de fuentes primarias.....	167
Encuesta a empresas constructoras .....	169
Análisis de los resultados de las encuestas .....	170
Proyección de la demanda.....	172
Conclusiones del Análisis de mercado.....	173
Coste de la implementación del aditivo .....	174
<b>CAPITULO 10. DISCUSIONES Y CONCLUSIONES .....</b>	<b>177</b>
10.1 Discusión.....	177
10.2 Conclusiones.....	178





10.3 Propuesta de Una Formula para mitigar el impacto por Aplastamiento 185

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 190**





## ÍNDICE DE TABLAS

---

Tabla 1 Componentes de los cementos <sup>[12]</sup> .....	31
Tabla 2 Especificaciones de los cementos con características especiales <sup>[12]</sup> .....	32
Tabla 3 Especificaciones físicas de clase resistente de cemento <sup>[12]</sup> .....	33
Tabla 4 Clasificación de los aditivos para concreto <sup>[15]</sup> .....	39
Tabla 5 - Normas de la calidad del agua para empleo en morteros y concreto <sup>[9]</sup> .....	41
Tabla 6 % De humedad actual. ....	52
Tabla 7 % De humedad de absorción. ....	54
Tabla 8 Densidad promedio de la arena. ....	56
Tabla 9 Resultados de M.V.S.S. ....	57
Tabla 10 Resultados de la M.V.S.V.....	59
Tabla 11 Límites de granulometría para agregado fino.....	61
Tabla 12, 12.1, 12.2, 12.3 Análisis granulométrico de la arena.....	63
Tabla 13 Material que pasa por la malla 200.....	67
Tabla 14 % De humedad actual en gravas. ....	70
Tabla 15 % De humedad de absorción. ....	72
Tabla 16 Resultados de Densidad de la grava.....	74
Tabla 17 Resultados de la M.V.S.S. de la grava. ....	75
Tabla 18 Resultados de la M.V.S.V. de la grava. ....	77
Tabla 19, 19.1, 19.2, 19.3 Resultados de los análisis granulométricos.....	80
Tabla 20 Resultados de la densidad del cemento.....	85
Tabla 21 Elección del t. max. del agregado. ....	89





# ÍNDICE DE FIGURAS

---

FIGURA 2.2.1 Pavimentos rígidos deteriorados.....	21
FIGURA 2.2.2 Columnas de concreto deteriorado .....	22
FIGURA 2.2.3 Elementos de concreto deteriorado .....	22
FIGURA 2.2.4 Concreto deteriorado .....	23
FIGURA 2.3.1 Pavimento flexible carretera Morelia-Quiroga.....	25
FIGURA 2.3.2 Pavimentos rígidos .....	25
FIGURA 2.3.3 Obras de drenaje de concreto “cunetas”.....	26
FIGURA 2.3.4 Puentes Fuente J. A. Guzmán Torres.....	27
FIGURA 3.2.1 Primer plano de agregado fino (arena).....	29
FIGURA 3.2.2 Agregado grueso (grava).....	29
FIGURA 4.1.1 Componentes del concreto: .....	35
FIGURA 4.1.2 Variación de las proporciones usadas en concreto.....	36
FIGURA 4.1.3 Diez cilindros de pasta de cemento con relaciones agua-cemento	37
FIGURA 4.1.4 Efecto de la temperatura de colocación.....	43
FIGURA 4.1.5 La carbonatación .....	46
FIGURA 5.1.1 Macro localización del estado de Michoacán.....	47
FIGURA 5.1.2 Localización de la cd. De Morelia .....	47
FIGURA 5.1.3 Banco de Materiales Joyitas .....	48
FIGURA 5.1.4 Banco de Materiales Tarimbaro.....	49
FIGURA 5.2.3.1 Secado de la muestra de manera superficial.....	54
FIGURA 5.2.4.1 Determinación de la densidad.....	55
FIGURA 5.2.5.1 Determinación de la M.V.S.S.....	57
FIGURA 5.2.5.2 Determinación de la M.V.S.V.....	58
FIGURA 5.2.7.1 Análisis granulométrico.....	62
FIGURA 5.2.7.2 Análisis de la granulometría.....	64
FIGURA 5.2.8.1 Compración de la tabla colorimétrica “cambiar imagen” .....	65
FIGURA 5.2.11.1 Muestreo de la muestra .....	68
FIGURA 5.2.12.1 Cuarteo del material.....	69







FIGURA 5.2.13.1 Humedad actual en grava .....	70
FIGURA 5.2.14.1 Determinación de la Humedad de absorción en grava .....	72
FIGURA 5.2.15.1 Determinación de la Densidad en grava .....	73
FIGURA 5.2.15.2 Uso del picnómetro .....	74
FIGURA 5.2.16.1 Determinación de la M.V.S.S en grava .....	75
FIGURA 5.2.17.1 Determinación de la M.V.S.V en grava .....	76
FIGURA 5.3.4.1 Determinación de la Densidad del cemento .....	85
FIGURA 6.1.4.1 Página de Inicio. Hoja de cálculo de Microsoft Excel.....	95
FIGURA 6.1.4.2 Instrucciones. Hoja de Calculo de Microsoft Excel .....	96
FIGURA 6.1.4.3 Elección del revenimiento y el T. máx.....	96
FIGURA 6.1.4.4 Calculo de la cantidad de agua de mezclado.....	97
FIGURA 6.1.4.5 Cantidad de cemento en peso .....	98
FIGURA 6.1.4.6 Contenido del agregado grueso.....	98
FIGURA 6.1.4.7 Resultados de las pruebas a los materiales .....	99
FIGURA 6.1.4.8 Contenido del agregado fino .....	99
FIGURA 6.1.4.9 Corrección por humedad del agregado.....	100
FIGURA 6.1.4.10 Resultados de la cantidad de material para 35 cilindros.....	101
FIGURA 6.1.4.11 Resultados de la cantidad de material para 9 vigas.....	101
FIGURA 6.1.5.1 Microsoft Visual Basic 6.0.....	102
FIGURA 6.1.5.2 Ventana emergente de Autores .....	103
FIGURA 6.1.5.3 Ventana emergente de Presentación del software .....	103
FIGURA 6.1.5.4 Ventana emergente de Instrucciones .....	104
FIGURA 6.1.5.5 Ventana del software .....	104
FIGURA 6.1.5.6 Características físicas de los agregados .....	105
FIGURA 6.1.5.7 Características del proyecto.....	105
FIGURA 6.1.5.8 Opciones de las diferentes tablas .....	106
FIGURA 6.1.5.9 Opciones de elementos a elaborar .....	106
FIGURA 6.1.5.10 Resultados del diseño de mezcla .....	106
FIGURA 6.1.6.1.1 Preparación de los moldes y herramientas .....	112
FIGURA 6.1.6.1.2 Elaboración de la mezcla.....	112
FIGURA 6.1.6.1.3 Adición del SikaCem fluidificante en la mezcla .....	113





FIGURA 6.1.6.1.4 Adición del geopolímero orgánico natural a la mezcla .....	113
FIGURA 6.1.6.1.5 Prueba de revenimiento, .....	114
FIGURA 6.1.6.1.6 Descimbrado de los ensayos y curado .....	115
FIGURA 6.1.6.2.1 Elaboración de la mezcla a mano .....	116
FIGURA 6.1.6.2.2 Llenado de los moldes prismáticos .....	117
FIGURA 6.1.6.2.3 Descimbrado de los ensayos y curado .....	117
FIGURA 7.1.1.1 Equipo para medir la resistividad “Resistometro” .....	119
FIGURA 7.1.1.2 Prueba de Resistividad .....	120
FIGURA 7.1.2.1 Diagrama de la lectura de $V_{pu}$ .....	123
FIGURA 7.1.2.2 Prueba de Velocidad de Pulso Ultrasónico .....	126
FIGURA 7.1.3.1 Equipo E-meter C-4959 Mark II .....	127
FIGURA 7.1.3.2 Punto nodal al centro del largo de un cilindro .....	127
FIGURA 7.1.5.1 Representación gráfica de la determinación del tiempo necesario para la Carbonatación alcance la armadura.....	134
FIGURA 7.2.1.1 Prueba a compresión en cilindros de concreto .....	137
FIGURA 7.2.2.1 Forma para realizar la prueba de Tensión Indirecta .....	139
FIGURA 7.2.2.2 Prueba de Tensión Indirecta en cilindros de concreto hidráulico .....	140
FIGURA 7.2.3.1 Prueba de Flexión en vigas de concreto hidráulico.....	142
FIGURA 8.1.5.1 Especímenes expuestos al intemperismo.....	154
FIGURA 8.1.5.2 Prueba de Carbonatación ( .....	155
FIGURA 10.2.1 Comparativa del $f'_c$ VS $M_r$ según ASTM .....	184
FIGURA 10.3.1 Fallas por mal cabeceo .....	186
FIGURA 10.3.2 Características a considerar en el factor de corrección .....	187



## RESUMEN

---

*Generalmente la infraestructura de un país es la manera más sencilla y subjetiva de poder monitorear su riqueza, en México existe una gran cantidad de infraestructura de concreto deficiente por lo que se requieren mejores medios de comunicación, como lo son puentes, carreteras, edificaciones de vías terrestres. El concreto juega un papel importante en la infraestructura del país por lo cual se requiere una mayor investigación sobre el. para mejorar características intrínsecas para su desempeño entendiendo como concreto a la mezcla de un aglutinante refiriéndose como aglutinante al Cemento Portland hidráulico, con agregados como lo son agregados gruesos y finos los cuales tienen la finalidad de proporcionar estabilidad a la mezcla y al mismo tiempo proporcionar resistencia y volumen, y adicionalmente un solvente que en este caso es agua potable, y aditivos o adiciones, para esta investigación se empleara un concreto con un valor de Relación Agua/Cemento de 0.35 con un fluidificante que permita mejorar la Trabajabilidad y un aditivo orgánico natural que permita mejorar la respuesta de la estructura interna del concreto ante esfuerzos de expansión y contracción. El concreto se conoce como la mezcla de un aglutinante refiriéndose como aglutinante al Cemento Portland hidráulico, con agregados como lo son agregados gruesos y finos los cuales tienen la finalidad de proporcionar estabilidad a la mezcla y al mismo tiempo proporcionar resistencia y volumen, y adicionalmente un solvente que en este caso es agua potable, y aditivos o adiciones, para esta investigación se emplearon 2 tipos de aditivos, que al endurecerse forma un todo compacto (roca metamórfica artificial). uno de los aditivos es un fluidificante el cual mejora las características de trabajabilidad en la mezcla y el siguiente aditivo es un geopolímero orgánico natural el cual mejora las condiciones de homogeneidad en el concreto, adicionando ductilidad al concreto y mayores resistencias a los esfuerzos de compresión simple. se realizó una caracterización del material endurecido (roca artificial) el cual fue elaborado con un cemento portland ordinario 40R CPC (Cemento Portland compuesto con 40 MPa de resistencia rápida,) según la clasificación de cementos en México, un agregado grueso de material triturado, un agregado fino obtenido del banco de material joyitas ubicado en la cd. De Morelia, agua potable y las adiciones correspondientes. Este material se caracterizó a edades tardías, obteniendo datos como lo son Compresión Simple, Tensión Indirecta, Esfuerzo de Flexión, Resistencia al congelamiento, Velocidad de pulso ultrasónico, Resistividad eléctrica, frecuencias de resonancia, y carbonatación. La adición del geopolímero se utilizó en un 2% en base al peso del cemento utilizado para realizar la mezcla, la adición del fluidificante fue usado bajo las recomendaciones del proveedor y La mezcla de concreto fue diseñada por el método del ACI. Al final se hace la propuesta de cómo obtener un factor de corrección mediante una fórmula propuesta por el autor, y la implementación de un software para el diseño de mezclas de concreto normal en base a un nuevo criterio.*

**(Palabras clave:** Concreto, Fluidificante, relación agua/cemento, Geopolímero, Congelamiento).

## ABSTRACT

---

*Generally the infrastructure of a country is the easiest way to power and opinion monitor their wealth in Mexico there is a lot of concrete infrastructure so poor best media are required, such as bridges, roads , buildings, roads land . Concrete plays an important role in the country's infrastructure so more research is required to improve their performance to intrinsic characteristics understood as concrete mix as a binder referring to the hydraulic Portland cement binder with aggregates such as coarse and fine aggregates which are designed to provide stability to the mixture and while providing strength and volume , and further a solvent in this case is water , and additives or additions were employed for this investigation with a specific value of water / cement ratio of 0.35 with a fluidizing that will improve the workability and natural organic additive that improves the response of the internal structure of concrete efforts to expansion and contraction. The concrete mix is known as a binder referring as Portland cement hydraulic binder, with aggregates such as coarse and fine aggregates which are designed to provide stability to the mixture and while providing strength and volume, and further a solvent in this case is water , and additives or additions to this investigation 2 types of additives , which when hardened forms a compact whole ( artificial metamorphic rock ) were used. one of the additives is a plasticizer which improves the characteristics of workability in the mix and the following is a natural organic additive geopolimer which improves the homogeneity condition in concrete, adding ductility to concrete and greater resistance to simple compression efforts . a characterization of hardened material (artificial rock) which was prepared with portland cement standard 40R CPC was performed ( Portland cement compound with 40 MPa rapid resistance ) by classification of cement in Mexico , coarse aggregate of crushed material a fine aggregate bank jewels obtained material placed in the cd . Morelia, water and supplements. This material was characterized at later ages, obtaining data such as Simple Compression, Indirect Tension, Bending Effort, Frost resistance, ultrasonic pulse rate, electrical resistivity, resonance frequencies, and carbonation. The addition of geopolimer was used at 2% based on the weight of the cement used for mixing, the addition of the plasticizer was used under the supplier's recommendations and The concrete mixture was designed by the method of the ACI . At the end the proposal how to obtain a correction factor using a formula given by the author, and the implementation of a software for designing concrete mixes based on average a new criterion is.*

*(Keywords: Concrete, Flowing, water / cement ratio, geopolimer, Freeze).*



# INTRODUCCIÓN

---

Una forma de monitorear la riqueza de un país es simplemente observando su infraestructura, esta habla sobre la posición económica en la que se encuentra una nación, por ende es importante y de manera urgente que busquemos una forma de mejorar nuestra infraestructura, se tiene la problemática de una infraestructura existente que parece que llegó al estado límite de servicio por cause de daños medioambientales; su diseño fue para 50 años promedio, y los costos de mantenimiento que se tiene para la infraestructura, que por lo general son algo elevados, sin mencionar que el mantenimiento de estas no siempre es el adecuado y no se implementa de forma correcta, por las políticas a que se encuentran sujetos los organismos encargados de este suministro. Aunado a esto, el problema de contaminación que se tiene debido a las exageradas emisiones de dióxido de carbono por la producción de cemento, por emisiones de fuentes móviles (vehículos automotores), calefacción, industria.

A toda esta problemática se ve la necesidad de implementar un concreto resistente, durable y sobre todo amigable con el medio ambiente que soporte solicitudes de congelamiento y humedad, estudiando el “MR” que es un valor intrínseco en el diseño de pavimentos rígidos.

Este trabajo de investigación está dirigido para las personas que se encuentran en el ámbito de la construcción, y que se interesen por métodos novedosos, naturales y económicos para poder encontrar una mejor resistencia y durabilidad para cualquier tipo de obra civil que se construya.

Desde la antigüedad el hombre ha tenido la necesidad de construir cualquier tipo de obra civil para llevar una forma de vida más cómoda y ágil, esta necesidad de construir los ha llevado a tratar de encontrar aditivos para el concreto, aditivos que le den algún tipo de beneficio al concreto como puede ser mayor resistencia a la compresión, mayor resistencia a la tensión, al módulo de ruptura, etc.



## OBJETIVOS

### OBJETIVOS GENERALES

Diseñar un concreto de alta resistencia, que sea durable es decir que prolongue su vida útil sin abusar del contenido de cemento, disparando su precio y afectando de manera directa al ecosistema por la producción de esta material, de igual manera que pueda ser utilizado en la construcción de cualquier tipo de infraestructura civil, caracterizando el concreto como lo es en pruebas de compresión, tensión indirecta, Flexión, Módulo de Ruptura, Resistividad, Velocidad de pulso ultrasónico y Modulo de Elasticidad Dinámico.





## ALCANCES

A lo largo de esta investigación los alcances que se tendrán será el conocer, caracterizar y monitorear el material a edades tardías, a lo largo de un periodo de 1 año y medio.

Al mismo tiempo ya realizada la investigación y esperando los resultados, de ser positivos y alentadores publicarlos de alguna manera para que tengan conocimiento de él, los constructores y diseñadores de Infraestructura, para su valoración y consideración de ser implementado en la obra civil.

Realizar un artículo para su publicación y hacer una aportación al estado del arte,

Todo esto con la ayuda del IMT, ya que se pretende hacerlo en colaboración directa con ellos.





## JUSTIFICACIÓN

Las obras de ingeniería deben de realizarse en la forma más económica posible, pero cumpliendo cabalmente con las finalidades para las cuales fueron proyectadas. Se debe entender que una obra es económica cuando los costos de construcción, conservación y operación son mínimos en relación con otras alternativas. Los profesionales de la ingeniería están obligados a considerar variantes en sus proyectos, así como a recomendar y defender las opciones de menor costo, ya que es factible realizar obras sobre diseñadas que pudieran ser el resultado de proyectos efectuados por personas ajenas a la ingeniería o sin estudios. En resumen, la misión de un ingeniero es proyectar y construir obras con el menor costo posible y que cumplan con los objetivos para los cuales se concibieron

Las vías terrestres forman parte de La infraestructura de un País, y estas son la forma de monitorear su riqueza, sus avances tecnológicos en el desarrollo, el nivel que se le asigna si es un país de primer segundo o tercer nivel, o país en vías de desarrollo. Es por ello que se necesita valorar la implementación de un nuevo concreto que sea más durable. En la antigüedad el concreto se diseñaba para mayor resistencia, hoy en día ese no es el objetivo ahora se diseña para tener un concreto más durable que soporte las solicitaciones a las que se es expuesto.

Sin abusar del contenido de cemento en la fabricación del concreto, ya que el abuso de la fabricación del cemento ha provocado grandes estragos en nuestro medio ambiente, debido a que por cada tonelada métrica de cemento portland se liberan 650 y 920 kg. De dióxido de carbono. Esto corresponde al 5% de todas las emisiones de dióxido generadas alrededor del mundo en el año del 2010, causando un gran problema a la nación ya que México se encuentra dentro del tratado de KIOTO, el cual pretende disminuir sus emisiones a la atmosfera por lo menos en un 5% [1]. Ya que son causantes del aumento de la temperatura. Pretendiendo el usar menos cemento para poder contribuir a esta noble causa







pero al mismo tiempo alcanzar el total de su efectividad prolongando su vida útil. ¿Cómo se planea el sustituir esta pérdida de Cemento? La respuesta es utilizando un aditivo que mejore las propiedades mecánicas y aumenten su durabilidad

Las estructuras de concreto son regularmente consideradas como estructuras durables con un bajo costo de mantenimiento. Sin embargo, en las últimas tres décadas, se ha observado un incremento en agrietamientos y de laminaciones de elementos de concreto relacionados con la corrosión de la armadura de acero en el ámbito mundial.

## **FUNCIONALIDAD Y DURABILIDAD**

La funcionalidad es una cantidad cuantificable que está en función de la capacidad de carga de la estructura. La funcionalidad (o capacidad de carga) se cuantificará en este estudio basándose en el tiempo que se pretende dure la estructura. Cuando el concepto tiempo entra en juego en la evaluación de la funcionalidad de una estructura, varios factores externos (o factores de degradación) resultan en un primer plano. Como la funcionalidad está íntimamente relacionada con la durabilidad de una estructura, ésta

Se puede definir como la habilidad de mantener la funcionalidad requerida [2].





# CAPITULO 1. BREVE HISTORIA ACERCA DE LAS VÍAS TERRESTRES

---

Las obras de ingeniería, principalmente las que corresponden a la infraestructura, ósea, aquellas que en general están a cargo de los gobiernos y sirven para provocar el desarrollo de los países, deben ser eficaces y económicas; es decir, deben satisfacer las metas para las cuales fueron concebidas y tener el menor costo de construcción, mantenimiento y operación, aunque en estas obras de infraestructura también deben tomarse en cuenta los beneficios sociales y la velocidad del progreso que no son fácilmente cuantificables. En México, se han desarrollado dentro de la ingeniería civil, tecnologías que han dado lugar a obras con ese sello.

Por necesidad, los primeros caminos fueron vías de tipo peatonal (veredas) que las tribus nómadas formaban al deambular por las regiones en busca de alimentos; posteriormente, cuando esos grupos se volvieron sedentarios, los caminos peatonales tuvieron finalidades religiosas, comerciales y de conquista. En América, y en México en particular, hubo este tipo de caminos durante el florecimiento de las civilizaciones maya y azteca.

Con la invención de la rueda, apareció la carreta jalada por personas o por bestias y fue necesario acondicionar los caminos para que el tránsito se desarrollara lo más rápido y cómodo posible; así los espartanos y los fenicios hicieron los primeros caminos de que se tiene noticia, y los romanos los construyeron también en la península itálica como en varios puntos de Europa, África y Asia para extender sus dominios.

Cuando las vías peatonales se formaban sobre terrenos blandos o de lodazales, las tribus trataban de mejorar las condiciones de estas colocando piedras en el trayecto para evitar resbalar o sumergir los pies en el lodo. Los caminos para carretas se revestían de tal forma que las ruedas no se incrustaran en el terreno; para construir estos revestimientos se utilizaban desde piedra machacada hasta empedrados como los de la vía Apia, en la que se realizaban carreras de carretas; la colocación de las piedras o revestimientos en los lodazales de caminos peatonales tenían la finalidad de que las vías recibieran las cargas sin ruptura estructural, así como de distribuir los esfuerzos en zonas cada vez más amplias con la profundidad para que soportara el terreno natural. Estas son también las funciones principales de los pavimentos actuales.

## **Aparición del automóvil**

A finales del siglo XIX se inventó el automóvil, que ha tenido un rápido desarrollo. Para su tránsito, en primer lugar se acondicionaron los antiguos caminos de carretas, los cuales sufrieron después grandes transformaciones en su geometría





y estructura, pues los vehículos se han multiplicado tanto en número como en peso.

## Las vías terrestres en México

En lo que es hoy la República Mexicana, en la época precortesiana existían, como ya se dijo, numerosos caminos peatonales. Los españoles introdujeron las carretas, y fray Sebastián de Aparicio (monje franciscano) construyó las primeras brechas o veredas, con lo que comenzó una tradición caminera muy arraigada. Así hubo comunicación con el puerto de Veracruz, Puebla, Acapulco y otras ciudades importantes del país.

A partir de la segunda mitad del siglo XIX se inició la construcción de vías férreas; la actividad ferroviaria tuvo su mayor auge durante el gobierno de Porfirio Díaz, y hoy está en decadencia debido al desconocimiento gubernamental de la utilidad del ferrocarril como medio de transporte cuando se administra en forma correcta. La extensión actual de las vías férreas es muy inferior a la que necesita el desarrollo del país, y el ferrocarril incluso ha llegado a ser un factor de retroceso por los altos costos que reporta.

Al inicio de este siglo se introdujeron en el país los primeros automóviles, que utilizaron principalmente los caminos de carretas o reales; sin embargo, a partir de 1925 empezó la construcción de vías con técnicas avanzadas. Los primeros caminos de este tipo iban de la ciudad de México a Veracruz, a Laredo y a Guadalajara. Fueron proyectados y construidos por firmas de Estados Unidos, pero desde 1940 los ingenieros mexicanos se han encargado de los trabajos y ahora se tiene una red de caminos pavimentados de 85000 más 120 000 km de caminos secundarios, con superficie de rodamiento revestida, para asegurar el tránsito de vehículos en todo momento.

En este siglo también ha sido muy importante el uso del avión como medio de transporte, ya sea de pasajero o de carga, por lo que en México se ha construido una cantidad impresionante de aeropuertos, al igual que en el resto del mundo.[3]



## CAPITULO 2. INFRAESTRUCTURA DE CONCRETO Y SU PROBLEMÁTICA ACTUAL

---

### 2.1 Concreto en la actualidad

A partir del siglo XX es el periodo durante el cual el concreto se convirtió en el material óptimo para la construcción gracias a sus ventajas características como son: su facilidad de moldeado e incombustibilidad, además de poseer una resistencia fija previamente sin requerir una mano de obra especializada y sin exigir gastos adicionales para su conservación.

Todas estas bondades lo hicieron situarse muy por encima de otros materiales como las rocas naturales, la madera o el acero. Sin embargo, el concreto por si mismo, solo podría emplearse en grandes estructuras de gravedad como presas o vastos macizos de cimentación.

De este modo, surge un nuevo aliado del concreto: el acero de refuerzo.

La consecución es el concreto reforzado: un material capaz de soportar esfuerzos normales, de flexión, de cortante y/o torsión. En este contexto, el versátil material permitió la incursión en innovadores procedimientos constructivos a base de losas y vigas apoyadas en columnas o en muros de carga posibilitando la disminución y optimización de las secciones de los diferentes elementos con un mejor aprovechamiento de los espacios interiores, además de ser sumamente resistentes y estables.

Tales beneficios provocaron una rápida aceptación entre los grandes constructores de la época, quienes fueron transformando el aspecto de las ciudades constituyendo el nacimiento de la arquitectura moderna. En ese tiempo, se llegó a pensar que el concreto reforzado con su apariencia sólida y homogénea tenía una durabilidad ilimitada. Sin embargo, tal aseveración se ha cuestionado recientemente debido a que el concreto una vez endurecido presenta una serie de heterogeneidades en su microestructura que forman fases sólidas y porosidades haciéndolo susceptible a sufrir ataques de agentes agresivos del entorno. Esta situación favorece a que el periodo de vida útil de las estructuras de concreto reforzado se vea reducido en su iteración con el medio.

En este sentido, en la actualidad se ha observado un incremento en agrietamientos y delaminaciones de elementos de concreto reforzado relacionados con la corrosión del acero de refuerzo en el ámbito mundial [4].

Con respecto al proceso de carbonatación del concreto, este se presenta generalmente en ambientes urbanos densamente poblados donde el uso excesivo del automóvil, la quema de combustibles fósiles y la destrucción de bosques enteros incrementan vertiginosamente los niveles de  $\text{CO}_2$  en la atmósfera, que en combinación con la humedad reaccionan con los productos de la pasta de

cemento hidratado disminuyendo su alcalinidad, ocasionando la pérdida de pasividad en el acero y acelerando el proceso de corrosión.

Independientemente de las causas, cuando el acero de refuerzo se corroe se disminuye su sección transversal y al mismo tiempo la herrumbre que se produce alrededor del material propicia aumentos de volumen que se traducen en tensiones que provocan agrietamientos, además de disminuir la adherencia y la resistencia del material. En general, los factores principales que influyen en el desarrollo del proceso de corrosión en el acero de refuerzo del concreto son:

- ✓ Factores que dependen directamente de la calidad del concreto: la relación A/C, la cantidad y tipo de cemento usado, Características de los agregados y su proporción, uso de aditivos, la compactación, el curado, la porosidad y permeabilidad, entre otros.
- ✓ Factores que dependen del uso de la estructura, como son: solicitudes accidentales o diferentes a las calculadas originalmente, cambio de uso.
- ✓ Factores dependientes del entorno de servicio: temperatura, humedad relativa, contaminación ambiental, vientos dominantes, etc.

Todos estos factores en forma aislada o combinada resultan en una estructura de concreto reforzado con mayor o menor durabilidad. A este respecto, recientemente se han llevado a cabo estudios estadísticos en los que se señalan como responsables de los daños a elementos de concreto a [5]:

- ✓ Los defectos de la calidad de los materiales en un 16.2 %
- ✓ Errores en la ejecución de la obra en un 38.5 % y ;
- ✓ Errores de diseño en un 45.3%.

Algunos otros estudios, elevan al 30 % la calidad de los materiales como factor decisivo para la reducción de la durabilidad.

A nivel mundial, esta situación ha ocasionado grandes pérdidas económicas estimadas entre el 2 y el 5 % del PIB de cada país [6].

La economía se ve afectada ya sea por la reparación de las superficies dañadas o por elementos estructurales que llegan a fallar. Por esta razón, diversas entidades han realizado estudios que los induzcan a determinar el origen, efectos y posibles soluciones para contrarrestar el problema de la corrosión en estructuras de concreto armado [7].

## 2.2 Problemática actual en el concreto

Demanda: Es la cantidad de bienes y servicios que el mercado requiere o solicita para buscar la satisfacción de una necesidad específica a un precio determinado, (según GABRIEL BACA URBINA)

### **DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

Es importante saber que problemática se presenta en la sociedad con la infraestructura existente de concreto para poder brindar un análisis revisión y mantenimiento de la infraestructura dañada para prevenir este tipo de problemas.

Para esto se observa la necesidad de diseñar de manera correcta un concreto, de supervisar su colocación y la de dar mantenimiento de manera adecuada mediante una interpretación exacta de los daños existentes y entrar en programas de restauración de infraestructura decadente, o en mal estado, para esto se recurre a la información existente usando como lo son fuentes de información secundarias (INTERNET, LIBROS, REVISTAS, ETC).

Usando las fuentes de información secundaria se puede dar una descripción de la problemática y de su magnitud.



*FIGURA 2.2.1 Pavimentos rígidos deteriorados*

*Fuente J. A. Guzmán Torres*

Los caminos y carreteras son la principal infraestructura en las vías terrestres ya que son la principal fuente de comunicación que hay para el desarrollo de una región, estado o país, ya que por estas vías de comunicación se realizan las exportaciones e importaciones de producto que contribuyen al crecimiento económico de una zona en particular, por lo que es necesario el mantener en óptimas condiciones estas vías de comunicación, actualmente existen varias carreteras de concreto hidráulico, las cuales han demostrado ser altamente competitivas con el asfalto, pero se debe tener un buen control de calidad y un buen diseño del concreto para que estas vías de comunicación se comporten de manera adecuada, así mismo evitando costos de mantenimiento y de reparación



que en muchos casos son bastante exorbitantes y no siempre cumplen con el fin de reparar bien la infraestructura, además de que se llegan a perder cuantiosas cantidades de dinero para los inversionistas ya que se ven en la necesidad de pagar multas federales por el mal comportamiento de la infraestructura construida, se necesita un experto en patología de concretos y un buen diseño que ayude a mitigar o a erradicar estos problemas



*FIGURA 2.2.2 Columnas de concreto deteriorado  
 Fuente J. A. Guzmán Torres*

El material más utilizado en cualquier tipo de construcción es el concreto, un ejemplo claro es el de las escuelas que existen en nuestro país, mencionando que las escuelas deberían ser uno de los lugares más seguros halando estructuralmente ya que estas edificaciones albergan a miles de personas, por lo que no se puede tener ningún tipo de falla en estas edificaciones, la realidad es otra, la mayoría de ellas tienen varios problemas en su infraestructura por lo que es necesario repararlas antes de cualquier falla grave que pueda poner en riesgo las vidas de las personas y tener demandas millonarias por deficiente infraestructura.



*FIGURA 2.2.3 Elementos de concreto deteriorado  
 Fuente J. A. Guzmán Torres*

Las viviendas son el principal palacio de cada una de las personas ya que en él es donde viven, habitan, conviven y pasan por muchas situaciones por lo cual a toda persona le gusta ver su casa bonita pero lo más importante segura!! Esto nos da un indicador de que cualquier casa sin deficiencias en su estructura es una casa segura, y el aspecto de estética nos da un cierto grado de confort y seguridad por lo que las demandas de clientes insatisfechos con las viviendas que pudieran adquirir costarían cantidades muy fuertes de dinero además de realizar las reparaciones pertinentes



*FIGURA 2.2.4 Concreto deteriorado  
Fuente J. A. Guzmán Torres*

La corrosión en las estructuras de concreto armado es uno de los problemas mas comunes que existen, pero pese a su cotidianidad estos problemas no deberían de suceder con tanta facilidad, por lo tanto es necesario realizar un diseño adecuado del concreto y una colocación supervisada por profesionales y en caso de existir ya el problema hacer una adecuada reparación. La mayoría de estos problemas se dan en columnas de concreto y estas son utilizadas en un sinfín de infraestructura como lo son en puentes y muelles, lo cual nos produce un gran costo de mantenimiento impidiendo así el poder crear nuevas vialidades ya que un gran presupuesto es destinado para las reparaciones y mantenimiento, y así poder generar mayor número de empleos en nueva infraestructura y generar mayor riqueza para los inversionistas de carreteras de peaje.

La problemática es evidente.



## 2.3 Estructuras de concreto que conforman las vías terrestres

### PAVIMENTOS

Se define como pavimento al conjunto de capas de materiales seleccionados que reciben en forma directa las cargas del tránsito y las transmiten a las capas inferiores, distribuyéndolas con uniformidad. Este conjunto de capas proporciona también la superficie de rodamiento, en donde se debe tener una operación rápida y cómoda.

De acuerdo con las teorías de esfuerzos y las medidas de campo que se realizan, los materiales con que se construyen los pavimentos deben tener la calidad suficiente para resistir. Por lo mismo, las capas localizadas a mayor profundidad pueden ser de menor calidad, en relación con el nivel de esfuerzos que recibirán, aunque el pavimento también transmite los esfuerzos a las capas inferiores y los distribuye de manera conveniente, con el fin de que estas los resistan.

La calidad y los espesores de las capas del pavimento deben estar íntimamente relacionados con los materiales de las capas inferiores; es decir tanto los esfuerzos debido al tránsito como la calidad de las terracerías influyen en la estructuración del pavimento. Así, con estos 2 parámetros el ingeniero debe estructurar el pavimento; para hacer esto, usará los materiales regionales y con ellos resolverá diferentes problemas que se le presenten, en la forma más económica posible. Como se ha indicado, el pavimento proporciona la superficie de rodamiento para que los vehículos transiten con “rapidez” y “comodidad”. Estas dos últimas cualidades se colocan entre comillas porque son relativas y dependen principalmente del tipo de camino. Por ejemplo, en una autopista de cuota los usuarios exigen velocidades altas, quizá mayores que los 100 km/hr, con un alineamiento vertical y horizontal que les brinde seguridad y comodidad; sin embargo, en caminos de segundo orden se maneja en ocasiones a velocidades de 20 km/hr debido a que tanto en el alineamiento horizontal como en el vertical se utilizaron especificaciones máximas. En ambos casos, estas condiciones son las adecuadas y los usuarios se adaptan a ellas.

### *TIPOS DE PAVIMENTOS*

#### *PAVIMENTOS FLEXIBLES*

Existen 2 tipos principales de pavimento: los flexibles y los rígidos. En los primeros, una carpeta asfáltica proporciona la superficie de rodamiento; las cargas de los vehículos hacia las capas inferiores se distribuyen por medio de las características de fricción y cohesión de las partículas de los materiales; y la carpeta asfáltica se pliega a pequeñas deformaciones de las capas inferiores sin

que la estructura se rompa. Las capas que forman un pavimento flexible son: carpeta asfáltica, base y subbase, las cuales se construyen sobre la capa subrasante.



*FIGURA 2.3.1 Pavimento flexible carretera Morelia-Quiroga  
Fuente J. A. Guzmán Torres*

### PAVIMENTOS RÍGIDOS

La superficie de rodamiento de un pavimento rígido es proporcionada por losas de concreto hidráulico, las cuales distribuyen las cargas de los vehículos hacia las capas inferiores por medio de toda la superficie de la losa y de las adyacentes, que trabajan en conjunto con la que recibe directamente todas las cargas. Este tipo de pavimento no puede plegarse a las deformaciones de las capas inferiores sin que se presente la falla estructural. Aunque en teoría las losas de concreto hidráulico pueden colocarse en forma directa sobre la subrasante, es necesario construir una capa de sub-base para evitar que los finos sean bombeados hacia la superficie de rodamiento al pasar los vehículos, lo cual puede provocar fallas de esquina o de orilla en la losa. La sección transversal de un pavimento rígido está constituida por la losa de concreto hidráulico y la sub-base, que se construyen sobre la capa subrasante.



*FIGURA 2.3.2 Pavimentos rígidos en buenas condiciones, parque turístico la Zarcita,  
Zacapu Michoacán. Fuente J. A. Guzmán Torres*

## DRENAJE EN VÍAS TERRESTRES

Uno de los elementos que causa mayores problemas a los caminos es el agua, pues en general disminuye la resistencia de los suelos, presentándose así fallas en terraplenes, cortes y superficies de rodamiento. Lo anterior obliga a construir el drenaje de tal forma que el agua se aleja a la mayor brevedad posible de la obra. En consecuencia, podría decirse que un buen drenaje es el alma de los caminos.

El drenaje artificial se clasifica en superficial y subterráneo, dependiendo de si el agua escurre o no por las capas de la corteza terrestre. El drenaje superficial se considera longitudinal o transversal, según la posición que las obras guarden con respecto al eje del camino. El drenaje longitudinal tiene por objeto captar los escurrimientos para evitar que lleguen al camino o permanezcan en él, causando desperfectos. De este tipo de drenaje son las cunetas, contracunetas, bordillos y canales de encauzamiento. Se llaman de drenaje longitudinal porque se sitúan más o menos paralelos al eje del camino. Los materiales más utilizados para construir el drenaje de los caminos son los convencionales, es decir **concreto hidráulico**, mampostería, lamina de acero y morteros de cal y cemento. [3]



*FIGURA 2.3.3 Obras de drenaje de concreto “cunetas”  
Fuente J. A. Guzmán Torres*

## PUENTES

Un puente es una construcción que permite salvar un accidente geográfico como un río, un cañón, un valle, un camino, una vía férrea, un cuerpo de agua o cualquier otro obstáculo físico. El diseño de cada puente varía dependiendo de su función y la naturaleza del terreno sobre el que se construye.

Su proyecto y su cálculo pertenecen a la ingeniería estructural, siendo numerosos los tipos de diseños que se han aplicado a lo largo de la historia, influidos por los materiales disponibles, las técnicas desarrolladas y las consideraciones económicas, entre otros factores. Al momento de analizar el diseño de un puente, la calidad del suelo o roca donde habrá de apoyarse y el régimen del río por encima del que cruza son de suma importancia para garantizar la vida del mismo



*FIGURA 2.3.4 Puentes Fuente Angélica del Valle*



## CAPITULO 3. MATERIALES

---

### 3.1 La corteza terrestre.

La composición química de los principales tipos de roca que constituyen la corteza es variable y proceden tanto del exterior como del interior de ésta. En el primer caso tenemos las rocas sedimentarias y en el segundo las ígneas y las metamórficas.

Las rocas ígneas, conocidas también por magmáticas, son el resultado de la solidificación del magma que asciende desde las profundidades del manto. Están formadas, de modo mayoritario, por silicatos y presentan una estructura cristalina. Cuando solidifican en el interior de la corteza se llaman rocas intrusivas o plutónicas, mientras que si lo hacen en el exterior se llaman extrusivas o volcánicas pues surgen como consecuencia de procesos eruptivos. Algunas de las principales rocas intrusivas son los granitos, los gabros, las dioritas y las sienitas. Entre las rocas volcánicas se cuentan los basaltos, andesita, riolita, piedra pómez y obsidiana. Las rocas metamórficas son rocas de transformación procedentes de otras ya formadas con anterioridad y que al verse sometidas a presiones o temperaturas muy elevadas modifican su estructura, dependiendo los distintos tipos, del grado en que cada uno de estos factores actúa.

Su estructura puede ser cristalina o granular. Algunas rocas de este tipo son las pizarras, los mármoles, los gneises y las anfibolitas.

Las rocas sedimentarias surgen como consecuencia de la acumulación y consolidación de los sedimentos, producida por su propio peso o por el empuje de masas de roca. Dependiendo de su antigüedad, el grado de transformación es variable. Hay 2 tipos principales: las detríticas y las químicas. Son rocas detríticas los conglomerados, las areniscas y las arcillas. Rocas sedimentarias de origen químico, y que muchas veces se originan con participación de diversos organismos, son las calcáreas, las silíceas, las fotostáticas y las salinas [8].

### 3.2 Agregados pétreos

La importancia del uso del tipo y de la calidad correcta del agregado (árido) no se puede subestimar. Los agregados fino y grueso ocupan cerca del 60% al 75% del volumen del concreto e influyen fuertemente en las propiedades tanto en estado fresco como endurecido, en las proporciones de la mezcla y en la economía del concreto.

Los agregados naturales para concreto son una mezcla de roca y minerales. Mineral es una sustancia sólida natural con una estructura interna ordenada y una composición química que varía dentro de límites estrechos. Las rocas, que se clasifican según su origen en ígneas, sedimentarias o metamórficas, generalmente se componen en varios minerales. Por ejemplo, el granito contiene cuarzo, feldespato, mica y otros pocos minerales, la mayoría de las calizas

consiste en calcita, dolomita y pequeñas cantidades de cuarzo, feldespato y arcilla. El Intemperismo y la erosión de las rocas producen partículas de piedra, grava, arena, limo y arcilla. [9].



*FIGURA 3.2.1 Primer plano de agregado fino (arena).*



*FIGURA 3.2.2 Agregado grueso (grava).*

Las características físicas y químicas básicas del agregado, en general, no pueden alterarse por el procesamiento, aunque las cantidades de ciertas partículas dañinas pueden reducirse. Las características del agregado que pueden controlarse incluyen granulometría, contenido de agua, limpieza, remoción de partículas anormalmente ligeras y, en algún grado, la forma de las partículas. Los factores económicos determinan por lo regular el grado en que puede ser dirigido el procesamiento para producir el mejor arreglo entre las propiedades deseables del agregado y la economía.

La medida en que deben aplicarse al agregado los criterios de exactitud en las especificaciones depende de cuán crítico sea el uso final al que pretenda servir el concreto. Para el concreto comercial ordinario, rara vez es necesario especificar la más alta calidad o el más rígido control. Por otro lado, si se espera que el concreto mantenga altos esfuerzos o que sirva en un medio severo, entonces se recomienda de manera especial mantener la alta calidad y un control cuidadoso [9].

### 2.3. Cemento.

La palabra concreto a menudo se utiliza para describir muchos materiales usados en la industria de la construcción. Un mal entendido muy común es que el concreto es el mismo que el cemento. El concreto es una mezcla de cemento, agregado (fino y grueso) y agua. El cemento es una mezcla de conchas, piedra caliza, arcilla, sílice, mármol, esquistos, arena, bauxita y mineral de hierro componentes que son molidos, mezclados, fundidos y triturados hasta hacerlos polvo. El cemento actúa como agente de adherencia en el concreto cuando se le mezcla con agua. El agregado es un material duro, granular, como la grava que se mezcla con el cemento para proporcionar estructura y resistencia al concreto. El concreto se entrega en el sitio de la construcción en estado flexible. El concreto puede moldearse en casi cualquier forma, es económico, es fácil de elaborar y de usar, a prueba de fuego y hermético.

Los antiguos romanos fueron los primeros en usar una forma de concreto en el año 27 A. C. una ceniza volcánica conocida como puzolana fue mezclada con cal apagada y arena. La mezcla se endureció y también se endureció bajo el agua. Para aplicaciones en la construcción, se añadió el agregado grueso. El agregado grueso se colocó en el fondo de un molde y se puso concreto fresco en la parte superior, resultando de esto una mezcla inconsistente. La mezcla permaneció inconsistente aunque se la revolvió vigorosamente después de su colocación.

En el siglo XIX, ocurrieron importantes desarrollos en la tecnología del concreto. EN 1824 Joshep Aspin, un constructor ingles recibió una patente sobre cemento hidráulico. Él lo llamó cemento Portland porque después de endurecerse se asemejaba a la piedra caliza natural de la isla de Portland, cerca de la costa de Inglaterra. La mezcla era resistente a la fuerza de compresión, pero se fracturaba fácilmente bajo esfuerzos de flexión y de tensión. La mezcla no era atractiva, pero se usó ampliamente debido a que era económica y fácil de trabajar. En 1845, el primer cemento moderno Portland fue producido en Inglaterra, compuesto de cal, materiales de arcilla o de esquistos.

En 1898, existían 91 formas diferentes para el cemento Portland. El ACI International se constituyó en 1905 para desarrollar un medio estandarizado para hacer concreto durable, utilizable y seguro. La Asociación de Cemento Portland (PCA) por sus siglas en ingles fue fundada en 1916 por Robert Lesley, un fabricante americano de cemento. En 1917 la oficina de normas de los Estados Unidos y la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM) por sus siglas en inglés, estandarizaron la fórmula para el Cemento Pórtland.

En la actualidad, aproximadamente 15 millones de toneladas de cemento Portland se usan para aplicaciones residenciales en los Estado Unidos. Estacionamientos, pisos de sótano, muros, banquetas y cimentaciones son aplicaciones comunes residenciales del concreto. Vialidades, edificios y puentes son aplicaciones comunes comerciales del concreto [10].

### 3.3 Cementos en México.

Los cementos mexicanos se especifican según la norma NMX-C-414-ONNCCE. De acuerdo con esta norma, hay seis tipos básicos de cementos que se muestran en la siguiente tabla:

Tipo	Denominación	Componentes (% en masa)					
		Principales					Minoritarios
		Clínker Portland + yeso	Escoria granulada de alto horno	Materiales Puzolánicos	Humo de sílice	Caliza	
CPO	Cemento Portland Ordinario	95-100	-	-	-	-	0-5
CPP	Cemento Portland Puzolánico	50-94	-	6-50	-	-	0-5
CPEG	Cemento Portland con Escoria Granulada de Alto Horno	40-94	6-60	-	-	-	0-5
CPC	Cemento Portland Compuesto	50-94	6-35	6-35	1-10	6-35	0-5
CPS	Cemento Portland con Humo de Sílice	90-99	-	-	1-10	-	0-5
CEG	Cemento con Escoria Granulada De Alto Horno	20-39	61-80	-	-	-	0-5

Tabla 1 Componentes de los cementos <sup>[12]</sup>.

De acuerdo con esta norma, hay seis tipos básicos de cementos:

CPO – cemento portland ordinario, el cual puede tener hasta 5% de adición de materiales tales como escoria, puzolanas, humo de sílice o caliza.

CPP – cemento portland puzolánico, que posee del 6% al 50% de material puzolánico, con relación a la masa total del cemento.

CPEG – cemento portland con escoria de alto horno, el cual tiene del 6% al 60% de escoria.

CPC – cemento portland compuesto, se compone de clínker, yeso y dos o más adiciones. Las adiciones se pueden componer del 6% al 35% de escoria, del 6% al 35% de material puzolánico, del 1% al 10% de humo de sílice y del 6% al 35% de caliza. Independientemente del tipo y cantidad de material adicionado, la cantidad de clínker e yeso debe ser del 50% al 94%.



CMS – cemento portland con humo de sílice, que recibe del 1% al 10% de humo de sílice.

CEG – cemento con escoria de alto horno, el cual tiene una cantidad de escoria que varía del 61% al 80%. Además, estos cementos pueden presentar características especiales, tales como RS – resistente a sulfatos; BRA – baja reactividad álcali-agregado; BCH – bajo calor de hidratación. B – blanco. Los cementos aún se dividen en clases de resistencia: 20, 30, 40, las cuales designan resistencias a compresión mínima a los 28 días de 20 MPa, 30 MPa y 40 MPa (200 kg/fcm<sub>2</sub>, 300 kgf/cm<sub>2</sub> y 400 kgf/cm<sub>2</sub>), respectivamente. Hay dos clases más de resistencia: 30R y 40R, que además de presentar resistencia a compresión mínima a los 28 días de 30 MPa y 40 MPa, respectivamente, también deben presentar resistencia a compresión a los 3 días de 20 MPa (200 kgf/cm<sub>2</sub>) y 30 MPa (300 kgf/cm<sub>2</sub>), respectivamente. La norma también especifica resistencias máximas a los 28 días, para las clases 20, 30 y 30R. El tiempo mínimo de fraguado inicial de todas las clases es 45 minutos. Los cementos se designan por uno de los 6 tipos de cementos, seguido por la clase de resistencia y por la característica especial. Por ejemplo, un cemento portland puzolánico de clase resistente 30R, de baja reactividad álcali-agregado y bajo calor de hidratación, se designaría como CPP 30R BRA/BCH. La norma NMX – C – 184 presenta el cemento de escoria, que se compone del 65% al 90% de escoria de alto horno. Además de estos cementos, aún están disponibles en el mercado mexicano, el cemento para servicios de albañilería y el cemento para cementaciones de pozo de petróleo tipo G (según la norma NMX – C – 315).

Además, estos cementos pueden presentar características especiales, tales como las que se muestran en la siguiente tabla:

Nomenclatura	Característica especial	Expansión por ataque de sulfatos	Expansión por la reacción álcali-agregado	Calor de hidratación (Max.) (Kcal/kg)	Blancura (mín. %)
		1 Año	14 días 66 Días	7 días 28 días	
RS	Resistente a los sulfatos	0.1			
BRA	Baja Reactividad Álcali Agregado		0.020 0.050		
BCH	Bajo Calor de Hidratación			80 70	
B	Blanco				70

Tabla 2 Especificaciones de los cementos con características especiales <sup>[12]</sup>.

Los cementos se dividen en clases de resistencias como se muestra en la tabla siguiente:

Clase Resistente	Resistencia a Compresión MPa			Tiempo de Fraguado (min)	
	3 días mínimo	28 días mínimo	máximo	Inicial mínimo	Final máximo
20	-	20	40	45	600
30	-	30	50	45	600
30 R	20	30	50	45	600
40	-	40	-	45	600
40 R	30	40	-	45	600

Tabla 3 Especificaciones físicas de clase resistente de cemento <sup>[12]</sup>.

Los cementos se designan por uno de los 6 tipos de cementos, seguido por la clase de resistencia y por la característica especial. Por ejemplo, un cemento Portland puzolánico de clase resistente 30R, de baja reactividad álcali-agregado y bajo calor de hidratación, se designaría como CPP 30R BRA/BCH [3].

Para esta tesis se utilizó un CPC (Cemento portland Compuesto) 40R de marca Holcim Apasco.

### 3.4 Polímeros

Los polímeros (del Griego: poly: muchos y mero: parte, segmento) son macromoléculas (generalmente orgánicas) formadas por la unión de moléculas más pequeñas llamadas monómeros.

El almidón, la celulosa, la seda y el ADN son ejemplos de polímeros naturales, entre los más comunes de estos y entre los polímeros sintéticos encontramos el nailon, el polietileno y la baquelita.

Para esta investigación se estudió el efecto de un almidón comercial incorporado a un cemento comercial. La restauración y mantenimiento de edificios históricos ha sido destacada como vía para la protección del medio-ambiente además de como salvaguarda del Patrimonio Cultural. Para el éxito de un proceso de restauración resulta crítica la elección de un mortero de reparación adecuado, dado que la compatibilidad entre los materiales originales y los nuevos es de especial importancia. Hasta la aparición del cemento (a mediados del siglo XIX), la cal era el conglomerante más empleado en construcción, por lo que los materiales basados en ella constituyen la mejor opción para los trabajos de restauración. [13] Se han realizado trabajos de investigación previos enfocados hacia el efecto de almidones y sus derivados en materiales con base cemento, ya que aquellos pueden actuar como aditivos modificadores de la reología.

Estos aditivos han actuado como espesantes y como reductores de agua. El uso de almidones como reductores de agua podría ser de especial interés, dado que son biodegradables y pueden ser incorporados en las mezclas en lugar de condensados de formaldehído-sulfonato de naftaleno (FDN) o plastificantes tipo policarboxilato (PC). La adición de almidones contribuiría, por lo tanto, a reducir los problemas medioambientales. En relación con el mecanismo de acción de los



aditivos, se han publicado diversos factores que afectan a la influencia que un polímero ejerce sobre una mezcla, como: a) el tipo y propiedades de conglomerante; b) la cantidad de agua de amasado; c) el proceso de amasado; d) los procedimientos experimentales y e) la presencia y propiedades de aditivos. Todos estos factores apuntan hacia la dificultad en predecir el comportamiento de los almidones. El peso molecular de un almidón concreto o de alguno de sus derivados parece ser determinante para su comportamiento:

Polímeros de alto peso molecular tienden a aglomerarse y a producir un efecto espesante en los morteros, mientras que derivados de bajo peso molecular pueden ser fácilmente adsorbidos sobre la superficie de las partículas de conglomerante, dando lugar a repulsiones estéricas (esto es, un efecto dispersante) que conduce a viscosidades más bajas.

Teniendo como base la similitud entre almidones y derivados celulósicos se han dilucidado y ensayado diversos efectos de los almidones, tales como:

a) comportamiento espesante, que permite la utilización de almidones como aditivos mejoradores de la viscosidad

b) estrechamente relacionado con ello, un efecto retenedor de agua, debido a que estos aditivos —con grupos funcionales hidrofílicos— son capaces de fijar agua en su estructura, reduciendo la cantidad de agua libre en la mezcla y produciendo un incremento en la viscosidad. Además, las cadenas laterales de estas moléculas pueden interaccionar entre sí, contribuyendo a ulteriores aumentos de la viscosidad.

c) capacidad retardadora del fraguado, si bien el mecanismo de acción de este proceso hasta el momento no se ha aclarado completamente; d) un efecto dispersante sobre las partículas de cemento, comportamiento como plastificante.

En ese sentido, se han señalado muchas ventajas relativas al uso de éteres de almidón como reductores de agua (en lugar de FDN o plastificantes tipo policarboxilato): reducción de problemas medioambientales, acción reductora de agua más intensa ya que el principal mecanismo de dispersión es una fuerte repulsión estérica, y mejores propiedades reológicas de las pastas de cemento.[14]



## CAPITULO 4. NATURALEZA DEL CONCRETO

### 4.1 Fundamentos del concreto

El concreto (hormigón) es básicamente una mezcla de dos componentes: agregados y pasta. La pasta, compuesta de cemento portland y agua, une los agregados, normalmente arena y grava (piedra triturada piedra machacada, pedrejón), creando una masa similar a una roca. Esto ocurre por el endurecimiento de la pasta en consecuencia de la reacción química del cemento con el agua. Otros materiales cementantes (cementicios, cementosos) y adiciones minerales se pueden incluir en la pasta. Generalmente los agregados (áridos) se dividen en dos grupos: finos y gruesos. Los agregados finos pueden ser arena natural o artificial (manufacturadas) con partículas de hasta 9.5 mm (3/8 pulg.); agregados gruesos son las partículas retenidas en la malla 1.18 mm (tamiz no.16) y pueden llegar hasta 150 mm (6 pulg.). El tamaño máximo del agregado grueso comúnmente empleado es 19 mm o 25 mm (3/4 pulg. o 1 pulg.).

Un agregado de tamaño intermedio, cerca de 9.5 mm (3/8 pulg.) es, algunas veces, adicionado para mejorar la granulometría general del agregado. La pasta se compone de materiales cementantes, agua y aire atrapado o aire incluido (intencionalmente incorporado). La pasta constituye aproximadamente del 25% hasta 40% del volumen total del concreto. [9]



*FIGURA 4.1.1 Componentes del concreto: cemento, agua, agregado fino, agregado grueso, son combinados para formar el concreto.*

La siguiente figura muestra que el volumen absoluto del cemento está normalmente entre 7% y 15% y el volumen del agua está entre 14% y 21%. El contenido de aire atrapado varía del 4% hasta 8% del volumen. Como los agregados constituyen aproximadamente del 60% al 75% del volumen total del concreto, su selección es muy importante. Los agregados deben componerse de partículas con resistencia mecánica adecuada y con resistencia a las condiciones de exposición y no deben contener materiales que puedan causar deterioro del

concreto. La granulometría continua de tamaños de partículas es deseable para el uso eficiente de la pasta. [9]

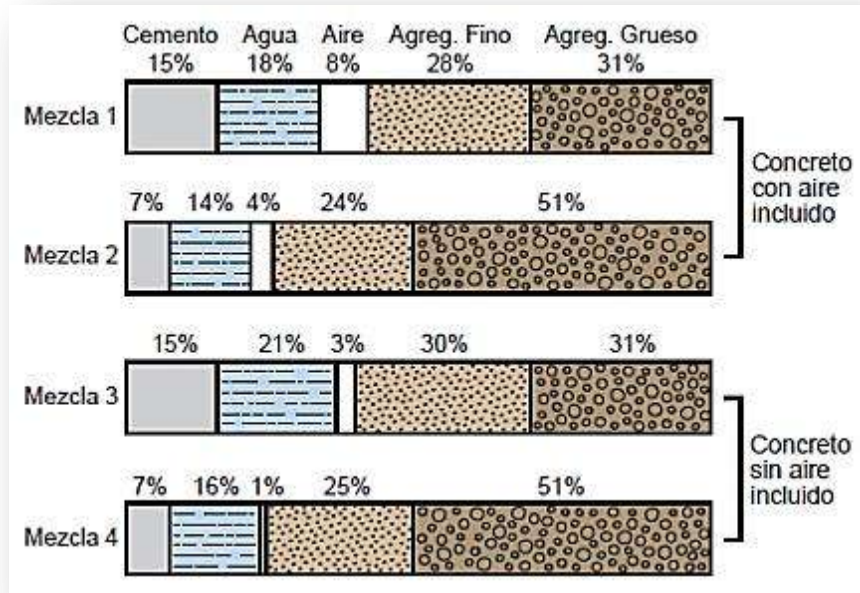


FIGURA 4.1.2 Variación de las proporciones usadas en concreto en volumen absoluto. Las barras 1 y 3 representan mezclas ricas con agregados de pequeño tamaño. Las barras 2 y 4 representan mezclas pobres con agregados gruesos grandes.

## Relación agua cemento

Para cualquier grupo de materiales y condiciones de curado, la calidad del concreto endurecido es fuertemente influenciada por la cantidad de agua usada con relación a la cantidad de cemento. Cuando grandes cantidades de agua son innecesariamente empleadas, ellas diluyen la pasta de cemento (la cola o pegamento del concreto). Las ventajas de la disminución de la cantidad de agua son:

- Aumento de la resistencia a la compresión (resistencia en compresión) y de la resistencia a flexión.
- Disminución de la permeabilidad, entonces disminución de la absorción y aumento de la estanquidad (hermeticidad).
- Aumento de la resistencia a la intemperie.
- Mejor unión entre concreto y armadura.
- Reducción de la contracción (retracción, encogimiento) y de la fisuración (agrietamiento, fisuramiento).
- Menores cambios de volumen causado por el humedecimiento y el secado. Cuanto menos agua se usa, mejor es la calidad del concreto, si es que la mezcla



se puede consolidar adecuadamente. Menores cantidades de agua de mezcla (mezclado) resultan en mezclas más rígidas (secas); pero, con vibración, aún las mezclas más rígidas pueden ser fácilmente colocadas. Por lo tanto, la consolidación por vibración permite una mejoría de la calidad del concreto. [9]



*FIGURA 4.1.3 Diez cilindros de pasta de cemento con relaciones agua-cemento de 0.25 a 0.70. La faja indica que cada cilindro contiene la misma cantidad de cemento. El aumento del agua, diluye el efecto de la pasta de cemento, aumentando el volumen, reduciendo la masa volumétrica y disminuyendo la resistencia. [9]*

### Tipos de concreto.

Con base en su peso unitario, el concreto se puede clasificar en tres grandes categorías. El concreto que contiene arena natural y grava o agregados de roca triturada, que pesa aproximadamente  $2,400 \text{ kg/m}^3$ , es conocido como **concreto de peso normal** y es el concreto más comúnmente utilizado para propósitos estructurales.

Para aplicaciones en donde se desea una relación más alta de resistencia contra peso; es posible reducir el peso unitario del concreto usando ciertos agregados naturales o piropocados que tienen una densidad de masa más baja. El término **concreto ligero** se utiliza para un concreto que pesa menos de  $1,800 \text{ kg/m}^3$ .

Por otra parte, el **concreto pesado**, que se utiliza por ejemplo para escudos contra radiación, es un concreto producido con agregados de alta densidad y pesa en general más de  $3,200 \text{ kg/m}^3$ .

La clasificación por resistencia del concreto, que prevalece en Europa y en muchos otros países, es en tres categorías generales:

- 1.- Concreto de baja resistencia: menos de  $20 \text{ MPa}$  ( $204 \text{ kgf/cm}^2$ ) de resistencia a la compresión.
- 2.- Concreto de resistencia moderada: de  $20$  a  $40 \text{ MPa}$  ( $204$  a  $408 \text{ kgf/cm}^2$ ) de resistencia a la compresión.
- 3.- Concreto de alta resistencia: más de  $40 \text{ MPa}$  ( $408 \text{ kgf/cm}^2$ ) de resistencia a la compresión.

El concreto de resistencia moderada es un concreto ordinario o normal, que se utiliza en la mayor parte de los trabajos estructurales. El concreto de alta resistencia se utiliza para aplicaciones especiales [11].

### Aditivos para concreto.

Definición de Aditivo: es un material distinto del agua, los agregados o el cemento hidráulico, que se utiliza como ingrediente del mortero o concreto, y que se añade a la revoltura inmediatamente antes o después del mezclado (ASTM C 125). El uso de aditivos cumple con diversos objetivos que pueden ser los siguientes: modificar a conveniencia las propiedades del concreto en estado fresco, influir en beneficio de algunas características y/o propiedades del concreto endurecido y beneficios de costo. Para obtener las máximas ventajas en el uso de aditivos, es conveniente tener precauciones con su uso, ya que este tipo de productos puede afectar una o más propiedades del concreto, o bien contribuir a la aparición de efectos indeseables en el mismo. Por estas razones, es importante realizar las verificaciones de calidad antes de utilizarlos, ya que existen situaciones que esta evaluación se convierte en una practica vital, como son los siguientes casos: Tipos especiales de cemento donde esta especificada la combinación de dos o mas aditivos en una mezcla, o cuando la mezcla y colocación del concreto se realizan en condiciones de temperatura por encima o debajo de las temperaturas recomendadas para la fabricación de concreto. [9]

### Clasificación de los aditivos para concreto

Tipo de Aditivo	Efecto Deseado	Material
Accelerantes (ASTM C 494, Tipo C)	Acelera el fraguado y el desarrollo de la resistencia a edad temprana	Cloruro de calcio (ASTM D 98) Tricloroaluminio, tiocianato de sodio, formato de calcio, nitrato de calcio, nitrato de calcio
Exclusores de aire	Disminuyen el contenido de aire	Fosfatos tributilo, silatos dibutilo, alcohol octilo, ésteres insolubles al agua de ácido carbónico y bórico, silicatos
Aditivos Incluidores de aire (ASTM C 260)	Mejoran la durabilidad en los ambientes en que existe congelación – deshielo, productos químicos descongelantes, sulfatos, y reactividad a los álcalis. Mejora la trabajabilidad.	Sales de resinas de madera (Resina Vinsol) Algunos detergentes sintéticos Sales de Lignina sulfonatada Sales de ácidos de petróleo Sales de material proteínico Ácidos Grasos y resinosos y sus sales Sulfatos de alquilbenceno Sales de hidrocarburos sulfonados
Reductores de reactividad con los álcalis	Reducen la expansión provocada por la reactividad con los álcalis	Fuzolamas (ceniza volante, Humo de silice), escoria de alto horno, sales de litio y de bario, aceites incluidos de aire
Aditivos para unir	Mejoran la unión	Hule, cloruro de polivinilo, acetato de polivinilo, acrilatos, copolímeros de butadienoestireno
Agentes colorantes	Concreto con color	Negro de horno modificado, óxido de hierro, tierra de sombra, óxido de cromo, óxido de titanio, azul cobalto (ASTM C 979)
Inhibidores de la corrosión	Reducen el avance de la corrosión del acero en un ambiente con cloruros	Nitrato de calcio, nitrato de sodio, benzoato de sodio, algunos fosfatos o fluorosilicatos, fluoaluminatos
Aditivos a prueba de humedad	Retardan la penetración de la humedad en el concreto seco	Jabones de calcio o estearato de amonio u oleato Estearato butilo Productos de petróleo

Aditivos finamente divididos		
Cementantes	Propiedades hidráulicas Sustitución parcial del cemento	Escoria de alto horno granulada molida (ASTM C 989) Cemento natural Cal hidráulica hidratada (ASTM 141)
Puzolanas	Actividad puzolánica Mejora la trabajabilidad, la plasticidad, la resistencia a los sulfatos; reduce la reactividad con los álcalis, la permeabilidad y el calor de hidratación Sustitución parcial del cemento Relleno	Tierras y atomizadas, hornos opalinos, arcillas, pizarras, tufas volcánicas, pumicitas (ASTM C 618, clase N); cenizas volantes (ASTM C 618, clases F y C); humo de sílice
Puzolánicos y cementantes	Los mismos que en las categorías de cementantes y Puzolánicos	Cenizas volantes con contenidos altos en calcio (ASTM C 618, clase C) Escoria de alto horno granulada molida (ASTM C 989)
Nominalmente inertes	Mejora la trabajabilidad Relleno	Mármol, dolomita, cuarzo, granito
Funguicidas, germicidas e insecticidas	Inhiben o controlan el crecimiento de bacterias y hongos	Fenoles polihalogenados Emulsiones de dietilán Compuestos de cobre
Formadores de gas	Provocan expansión antes de que se presente el fraguado	Polvos de aluminio Jabón de resina y goma vegetal o animal Saponina Proteínas hidrolizadas
Agentes para morteros (lechadas)	Ajustan propiedades los morteros (Lechadas) para aplicaciones específicas	Vea los aditivos inclusiones de aire, acelerantes retardantes y agentes para la trabajabilidad
Impermeabilizantes	Disminuyen la permeabilidad	Humo de sílice Cenizas volantes (ASTM C 618) Escoria sólida (ASTM C 989) Puzolanas naturales Reductores de agua Látex
<b>Tipo de Aditivo</b>	<b>Efecto deseado</b>	<b>Material</b>
Ayudas de bombeo	Mejoran la capacidad de bombeo	Polímeros orgánicos y sintéticos Floculantes orgánicos Emulsiones orgánicas de parafina, alquitran, asfalto, acrílicos Bentonitas y sílices pirogénicas Puzolanas naturales (ASTM C 618, clase N) Cenizas volantes (ASTM C 618 clases F y C) Cal hidratada (ASTM C141)
Retardantes (ASTM C 494, tipo B)	Retardan el tiempo de fraguado	Lignina Borax Azúcares Ácido tartárico y sales
Superplastificantes* (ASTM C 1017, tipo D)	Concreto con mayor fluidez Disminuye la relación agua cemento	Condensados de formaldehído de melamina sulfonados Condensados de formaldehído de naftaleno sulfonados Ligno sulfonatos
Superplastificantes* y retardantes (ASTM C 1017, tipo II)	Concreto con mayor fluidez y con retardo en el fraguado Disminuyen la cantidad de agua	Vea los aditivos Superplastificantes y también los reductores de agua
Reductores de agua (ASTM C 494, tipo A)	Reducen la demanda de agua al menos 5%	Ligno sulfonatos Ácidos carboxílicos hidroxilados Carbohidratos (También tienden a retardar el fraguado, por lo que a menudo se les agrega un acelerante)
Reductores de agua y acelerante (ASTM C 494, tipo E)	Reducen el agua (mínimo el 5%) y aceleran el fraguado	Vea los aditivos reductores de agua, tipo A (se agrega un acelerante)
Reductores de agua y retardantes (ASTM C 494, tipo D)	Reducen el agua (mínimo 5%) y aceleran el fraguado	Vea los aditivos reductores de agua, tipo A
Reductores de agua de alto rango (ASTM C 494, tipo F)	Reducen la demanda de agua (mínimo 12%)	Vea los aditivos Superplastificantes
Reductores de agua de alto rango y retardantes (ASTM C 494, tipo G)	Reducen la demanda de agua (mínimo 12%) y retarda el fraguado	Vea los aditivos Superplastificantes y también los reductores de agua
Agentes para la trabajabilidad	Mejoran la trabajabilidad	Aditivos inclusiones de aire Aditivos minerales finamente divididos, excepto el humo de sílice Reductores de agua

Tabla 4 Clasificación de los aditivos para concreto [15].

Tanto las propiedades del concreto fresco (plástico) como del concreto endurecido se pueden cambiar con la adición al concreto de aditivos químicos, normalmente en la forma líquida, durante la dosificación. Los aditivos químicos



comúnmente se emplean para (1) el ajuste del tiempo de fraguado o de endurecimiento, (2) la reducción de la demanda de agua, (3) el aumento de la trabajabilidad (manejabilidad, docilidad), (4) la inclusión intencional de aire y (5) el ajuste de otras propiedades del concreto fresco o endurecido.

Después de terminar el proporcionamiento, dosificación, colocación (hormigonado, puesta, colado), consolidación, acabamiento (terminación, acabado) y curado adecuados, el concreto se endurece, se transforma en un material no-combustible, durable, resistente a la abrasión e impermeable lo cual requiere poca o ninguna conservación (mantenimiento). Además, el concreto es un excelente material de construcción porque se lo puede moldear en una gran variedad de formas, colores y texturas para ser utilizado en un número ilimitado de aplicaciones.

Los aditivos son aquellos ingredientes del concreto que, además del cemento Portland, del agua y de los agregados, se adicionan a la mezcla inmediatamente antes o durante el mezclado. Los aditivos se pueden clasificar según sus funciones, como sigue.

- 1.- Aditivos incorporadores de aire (Inclusores de aire)
- 2.- Aditivos reductores de agua
- 3.- Plastificantes (Fluidificantes)
- 4.- Aditivos aceleradores (Acelerantes)
- 5.- Aditivo retardadores (Retardantes)
- 6.- Aditivos de control de la hidratación
- 7.- Inhibidores de corrosión
- 8.- Reductores de retracción
- 9.- Inhibidores de reacción álcali-agregado
- 10.- Aditivos colorantes
- 11.- Aditivos diversos, tales como aditivos para mejorar la trabajabilidad (manejabilidad), para mejorar la adherencia, a pruebas de humedad, impermeabilizantes, para lechadas, formadores de gas, anti-deslave, espuma y auxiliares de bombeo.

El concreto debe ser trabajable, fácilmente acabado, fuerte, durable, estanco y resistente al desgaste. Estas calidades se les puede obtener fácil y económicamente con la selección de los materiales adecuados, preferiblemente al uso de aditivos.

Las razones principales para el uso de aditivos son:

- 1.- Reducción del costo de la construcción de concreto;
- 2.- Obtención de ciertas propiedades en el concreto de manera más efectiva que otras;
- 3.- Manutención de la calidad del concreto durante las etapas de mezclado, transporte, colado (colocación) y curado en condiciones de clima adverso;
- 4.- Superación de ciertas emergencias durante las operaciones de mezclado, transporte, colocación y curado.

A pesar de estas consideraciones, se debe observar que ningún aditivo de cualquier tipo o de cualquier cantidad se le puede considerar como un sustituto de las buenas prácticas de construcción. La eficiencia de un aditivo depende de factores tales como: tipo, marca y cantidad del material cementante; contenido de agua; forma, granulometría y proporción de los agregados; tipo de mezclado y temperatura del concreto [16].

### Agua para mezcla de concreto.

Toda agua natural que sea potable y no presente fuerte sabor u olor se le puede usar como agua de mezcla para la preparación del concreto, sin embargo también se pueden usar algunas aguas que no se consideran potables.

En la siguiente tabla se presentan las normas que tratan específicamente de la calidad del agua para el empleo en morteros y concretos. El exceso de impurezas en el agua de mezcla no sólo puede afectar el tiempo de fraguado y la resistencia del concreto, sino también puede causar eflorescencia, manchado, corrosión del esfuerzo, inestabilidad del volumen y reducción de la durabilidad. Por lo tanto, se pueden marcar ciertos límites opcionales para cloruros, sulfatos, álcalis y sólidos en el agua de mezcla o se pueden realizar ensayos adecuados para la determinación del efecto de las impurezas, ya que algunas impurezas pueden tener efecto sobre la resistencia de fraguado y aún afectar la durabilidad y otras propiedades.

PAÍS	NORMA	NOMBRE DE LA NORMA
Argentina	IRAM 1601	Agua para morteros y hormigones de cemento Pórtland
Chile	NCh 1498.Of1982	Hormigón – Agua de amasado – Requisitos
Colombia	NTC 3459	Concretos. Agua para la elaboración del concreto
Ecuador	1 855-1:01	Hormigón premezclado: requisitos
	1 855-2:02	Hormigón preparado en obra: requisitos
EE.UU.	ASTM C 94	Standard specification for ready mixed concrete
Perú	NSTP 339.088-1982	Hormigón (concreto). Agua para morteros y hormigones de cementos Pórtland. Requisitos
México	NMX-C-122-82	Agua para concreto
Venezuela	CONVENIN 2385:2000	Concreto y mortero. Agua de mezcla. Requisitos

Tabla 5 - Normas de la calidad del agua para empleo en morteros y concreto <sup>[9]</sup>

## Mezclado

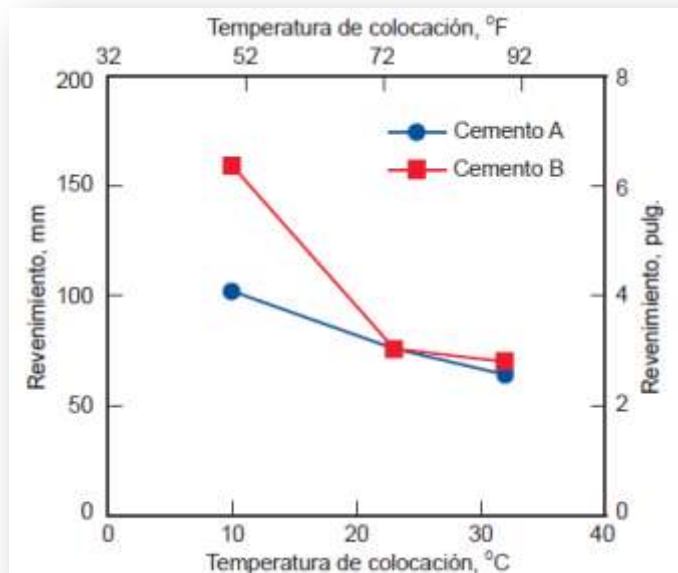
Son necesarios esfuerzo y cuidado para que se asegure que la combinación de estos elementos sea homogénea. La secuencia de carga de los ingredientes en la mezcladora (hormigonera) puede desempeñar un papel importante en la uniformidad del producto acabado. La secuencia, sin embargo, puede variar y aún producir un concreto de buena calidad. Las diferentes secuencias requieren ajustes en el momento de la adición del agua, el número total de revoluciones del tambor de la mezcladora y la velocidad de la revolución (rotación). El volumen del concreto mezclado en relación con el tamaño del tambor de la mezcladora, el tiempo transcurrido entre el proporcionamiento

y el mezclado, y el diseño, configuración y condiciones del tambor y de las paletas de la mezcladora son otros factores importantes en el mezclado. Las mezcladoras aprobadas, correctamente operadas y conservadas garantizan un intercambio de materiales de extremo a extremo a través de la acción del rolado, plegado y mezclado (amasado) del volumen del concreto sobre si mismo mientras que el concreto se mezcla. [9]

## Trabajabilidad

La facilidad de colocación, consolidación y acabado del concreto fresco y el grado que resiste a la segregación se llama trabajabilidad. El concreto debe ser trabajable pero los ingredientes no deben separarse durante el transporte y el manejo. El grado de la trabajabilidad que se requiere para una buena colocación del concreto se controla por los métodos de colocación, tipo de consolidación y tipo de concreto. Los diferentes tipos de colocación requieren diferentes niveles de trabajabilidad. Los factores que influyen en la trabajabilidad del concreto son: (1) el método y la duración del transporte; (2) cantidad y características de los materiales cementantes; (3) consistencia del concreto (asentamiento en cono de Abrams o revenimiento); (4) tamaño, forma y textura superficial de los agregados finos y gruesos; (5) aire incluido (aire incorporado); (6) cantidad de agua; (7) temperatura del concreto y del aire y (8) aditivos. La distribución uniforme de las partículas de agregado y la presencia de aire incorporado ayudan considerablemente en el control de la segregación y en la mejoría de la trabajabilidad. La siguiente Figura enseña el efecto de la temperatura de colocación sobre la consistencia o revenimiento (asentamiento en cono de abrams) y sobre la trabajabilidad potencial de las mezclas. Las propiedades relacionadas con la trabajabilidad incluyen consistencia, segregación, movilidad, bombeabilidad, sangrado (exudación) y facilidad de acabado. La consistencia es considerada una buena indicación de trabajabilidad. El revenimiento (asentamiento en cono de abrams) se usa como medida de la consistencia y de la humedad del concreto. Un concreto de bajo revenimiento tiene una consistencia rígida o seca. Si la consistencia es muy seca y rígida, la colocación y compactación del concreto serán difíciles y las partículas más grandes de agregados pueden separarse de la mezcla. Sin embargo, no debe suponerse que una mezcla más húmeda y fluida es más trabajable. Si la mezcla es muy húmeda, pueden ocurrir segregación y formación de huecos. La consistencia debe ser lo

más seca posible para que aún se permita la colocación empleándose los equipos de consolidación disponibles. [9]



*FIGURA 4.1.4 Efecto de la temperatura de colocación (hormigonado o puesta en obra) en el revenimiento (asentamiento en cono de abrams) (y la trabajabilidad relativa) de dos concretos confeccionados con diferentes cementos. (Burg 1996)*

## Durabilidad

La durabilidad del concreto se puede definir como la habilidad del concreto en resistir a la acción del ambiente, al ataque químico y a la abrasión, manteniendo sus propiedades de ingeniería. Los diferentes tipos de concreto necesitan de diferentes durabilidades, dependiendo de la exposición del ambiente y de las propiedades deseables. Los componentes del concreto, la proporción de éstos, la interacción entre los mismos y los métodos de colocación y curado determinan la durabilidad final y la vida útil del concreto. [9]

## Resistencia al Congelamiento y Deshielo

Se espera que el concreto empleado en estructuras y pavimentos tenga una vida larga y poco mantenimiento. El concreto debe tener una buena durabilidad para resistir a condiciones de exposición anticipadas. El factor de intemperismo potencialmente más destructivo es la congelación y deshielo (hielo-deshielo) mientras el concreto está húmedo, principalmente en la presencia de anticongelantes (descongelantes). El deterioro es causado por la congelación del agua y su posterior expansión en la pasta, agregado o ambos. Con el empleo de aire incluido, el concreto es altamente resistente a este tipo de deterioro. Durante la congelación, el agua desplazada por la formación de hielo en la pasta se acomoda, no siendo perjudicial; las burbujas microscópicas de aire en la pasta ofrecen cámaras para que el agua entre y entonces alíviase la presión hidráulica

generada. Cuando la congelación ocurre en el concreto que contiene agregado saturado, presiones hidráulicas perjudiciales se pueden crear también en el agregado. El agua, desplazada de las partículas de agregado durante la formación del hielo, no se puede escapar hacia la pasta circundante suficientemente rápido para el alivio de presión. Sin embargo, para la mayoría de las condiciones de exposición, una pasta de buena calidad (baja relación agua-cemento) va a prevenir la saturación de la mayoría de los agregados. Si la pasta contiene aire incluido, ella va a acomodar la pequeña cantidad de agua en exceso que se pueda expeler de los agregados, protegiendo así el concreto contra el daño del congelamiento y deshielo. El concreto con aire incluido y baja relación agua-cemento, con un contenido de aire del 5% al 8% va a resistir a un gran número de ciclos de congelación y deshielo sin presentar fallas. La durabilidad al congelamiento y deshielo se puede determinar a través de ensayos (pruebas) de laboratorio como la ASTM C 666, *Standard Test Method for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing* (AASHTO 161) (Norma de método de ensayo acelerado para la resistencia a congelamiento y deshielo), IRAM 1661 (Hormigones. Método de ensayo de resistencia a la congelación en aire y deshielo en agua), NCh2185 of 1992 (Hormigón y mortero - Método de ensayo – Determinación de la resistencia a la congelación y el deshielo) y NMX-C-205-2005 (Determinación de la resistencia del concreto a la congelación y deshielo acelerados). A través del ensayo de la ASTM se calcula un factor de durabilidad que refleja el número de ciclos de congelación y deshielo necesario para producir una cierta cantidad de deterioro. La resistencia al descascaramiento por anticongelantes puede ser determinada por la ASTM C 672, Norma de método de ensayo para resistencia al descascaramiento de superficies de concreto expuestas a anticongelantes (*Standard Test Method for Scaling Resistance of Concrete Surfaces Exposed to Deicing Chemicals*). [9]

### Reactividad Álcali-Agregado

La reactividad álcali-agregado es un tipo de deterioro que ocurre cuando los constituyentes minerales activos de algunos agregados reaccionan con los hidróxidos de los álcalis en el concreto. La reactividad es potencialmente peligrosa sólo cuando produce expansión considerable. La reactividad álcali-agregado ocurre de dos formas – reacción álcali-sílice (RAS) y reacción álcali-carbonato (RAC). La reacción álcali-sílice es más preocupante que la reacción álcali-carbonato pues es más común la ocurrencia de agregados conteniendo minerales de sílice. Las manifestaciones de la presencia de reactividad álcali-agregado son red de agrietamiento, juntas cerradas o lascadas o dislocación de diferentes partes de la estructura. Como el deterioro por reactividad álcali-agregado es un proceso lento, el riesgo de rotura catastrófica es bajo. La reacción álcali-agregado puede causar problemas de utilización (servicio, funcionalidad) y empeorar otros mecanismos de deterioro, como aquellos de la exposición a congelamiento, anticongelantes o sulfatos.

Las prácticas corrientes para el control de la reacción álcali-sílice incluyen el uso de materiales cementantes suplementarios o cementos adicionados. Estos materiales han sido verificados y comprobadamente pueden controlar la reacción



álcali-sílice. Los materiales cementantes suplementarios incluyen cenizas volantes, escoria granulada de alto horno, sílice activa (humo de sílice, microsílíce) y puzolanas naturales. Los cementos adicionados también contienen estos materiales para el control de la reactividad álcali-sílice. Esta práctica permite el uso de agregados y materiales cementantes disponibles en la región. La reducción del contenido de álcalis en el concreto también puede controlar la reacción. El uso de materiales cementantes suplementarios o de cementos adicionados no controla la reacción álcali-carbonato. Felizmente, esta reacción es rara. Si los ensayos (pruebas) de los agregados indican que un agregado es susceptible a la reacción álcali-carbonato, la reacción se puede controlar a través del uso de mezcla de agregados, reducción del tamaño máximo del agregado o uso de agentes inhibidores de la reacción. Para más informaciones sobre las reacciones álcali-sílice y álcali-carbonato, consulte Farny y Kosmatka (1997). [9]

### Carbonatación

La carbonatación del concreto es un proceso por el cual el dióxido (bióxido) de carbono del aire penetra en el concreto y reacciona con los hidróxidos, tales como los hidróxidos de calcio para formar carbonatos (Verbeck, 1958). En la reacción con el hidróxido de calcio hay formación de carbonato de calcio. La carbonatación y el secado rápido del concreto fresco pueden afectar la durabilidad de la superficie, pero esto se puede evitar con el curado adecuado. La carbonatación del concreto endurecido no hace daño a la matriz del concreto. Sin embargo, la carbonatación reduce considerablemente la alcalinidad (Mh) del concreto. La alta alcalinidad es necesaria para la protección de la armadura (refuerzo) contra la corrosión y, por consiguiente, el concreto debe ser resistente a la carbonatación para prevenirse la corrosión del acero de refuerzo. Se aumenta considerablemente el grado de la carbonatación en el concreto que tiene alta relación agua-cemento, bajo contenido de cemento, corto periodo de curado, baja resistencia y pasta altamente permeable (porosa). La profundidad de la carbonatación en el concreto de buena calidad y bien curado tiene generalmente poca importancia desde que la armadura (refuerzo) en el concreto tenga suficiente recubrimiento. Las superficies acabadas tienden a tener menos carbonatación. La carbonatación de las superficies acabadas normalmente se observa a una profundidad de 1 hasta 10 mm (0.04 hasta 0.4 pulg.) y de las superficies no acabadas de 2 hasta 20 mm (0.1 hasta 0.9 pulg.), después de muchos años de exposición, dependiendo de las propiedades del concreto, sus componentes, edad y condiciones de exposición (Campbell, Sturm y Kosmatka, 1991). El ACI 201 2R, Guía del concreto durable (*Guide to Durable Concrete*), tiene más informaciones sobre la carbonatación atmosférica y en agua y el ACI 318 código de construcción presenta los requisitos del recubrimiento de la armadura (refuerzo) para diferentes exposiciones. [9]



*FIGURA 4.1.5 La carbonatación destruye la habilidad del concreto de proteger el acero embebido contra la corrosión. Todo concreto carbonata hasta una pequeña profundidad, pero la armadura debe tener un recubrimiento adecuado para prevenir que la carbonatación alcance el acero. Esta barra de armadura en un muro tenía menos de 10 mm (0.4 pulg.) de recubrimiento de concreto; El código de construcción del ACI requiere un recubrimiento mínimo de 38 mm (1 1/2 pulg.). Después de años de exposición al aire, el concreto carbonató hasta la profundidad de la barra, permitiendo que el acero se oxidara y que la superficie del concreto se desprendiera. (IMG12499). [9]*

# CAPITULO 5. CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES EMPLEADOS.

## 5.1 Agregados pétreos.

### Agregado pétreo Fino (Arena)

Los materiales pétreos empleados en la presente investigación, son materiales de la región, el agregado pétreo fino, es decir la arena se obtuvo del banco de arena joyitas de la ciudad de Morelia en el estado de Michoacán de Ocampo, México, uno de los factores para la elección del material a emplear fue la cercanía y factibilidad ya que es uno de los bancos de material que abastece a la ciudad de Morelia y sus alrededores además que el material pétreo se encuentra en estado natural.

#### MACROLOCALIZACIÓN

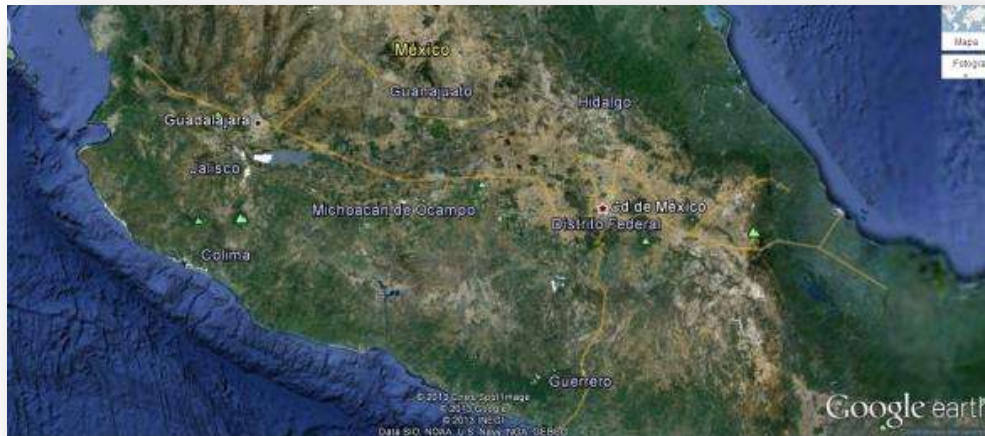


FIGURA 5.1.1 Macro localización del estado de Michoacán (Fuente Google maps)



FIGURA 5.1.2 Localización de la cd. De Morelia (Fuente Google maps)





*FIGURA 5.1.3 Banco de Materiales Joyitas en la cd. De Morelia (Fuente Google maps)*

Una vez que se obtuvo el material, se procedió a trasladarlo a laboratorio, ya estando ahí, se extendió el material para poder secarlo y caracterizarlo, para así mismo obtener las características físicas y mecánicas para poder realizar un diseño de mezclas, además de que se consideró que eran datos obtenidos en condiciones estrictamente controladas de laboratorio.

## Agregado pétreo grueso (Grava)



FIGURA 5.1.4 Banco de Materiales Tarimbaro afuera de la cd. De Morelia (Fuente Google maps)

## 5.2 Caracterización de los agregados

### ARENAS

#### 5.2.1 Reducción de las muestras de agregados obtenidas en el campo al tamaño requerido para las pruebas "Cuarteo"

La presente prueba está referida a la norma NMX-C-170-1997-ONNCCE [18].

**OBJETIVO.** Obtener una muestra representativa y del tamaño adecuado, para la prueba de que se trate, de la muestra obtenida en el campo.





## **EQUIPO.**

Charolas grandes de lámina, Palas de boca recta, Cucharones, Brochas o cepillos de pelo, Balanza o báscula, Divisor de muestras, Trozo de plástico flexible de 40 por 40 centímetros.

## **PROCEDIMIENTO.**

Existen tres procedimientos usuales para efectuar el cuarteo de las muestras.

Método “A” Cuarteo Mecánico.

- **Procedimiento para divisor de muestras.**

Se toma la muestra previamente puesta en una charola ancha y se vacía sobre la parte superior del divisor, procurando repartirla en toda la longitud del divisor.

El material recibido en uno de los recipientes se elimina o se reintegra a la bolsa de donde se extrajo. Si se desea una muestra más pequeña, entonces el material que ha quedado en uno de los recipientes se vierte en una charola, para posteriormente vaciar la charola sobre el divisor, se repite este proceso de división y eliminación hasta lograr la muestra del tamaño que se requiera.

Método “B” Cuarteo Manual.

- **Procedimiento por cuarteo con palas.**

1. Se vacía la muestra de material en uno de los extremos de la charola grande.
2. Se cambia el material al extremo opuesto, este cambio deberá hacerse por medio del paleado, tratando de revolver todo el material, además se procurará apilar el material en forma cónica. Este procedimiento se repite tres veces.
3. Una vez terminado el paso anterior el material apilado en forma cónica se aplana la parte superior por medio de la cara posterior de la pala y después se divide el material trazando dos líneas perpendiculares sobre la superficie horizontal aplana del material, eliminando las dos porciones opuestas, el material sobrante nos servirá para realizar las pruebas correspondientes. Si se desea disminuir el tamaño de la muestra se repite el procedimiento anterior señalado.

- **Procedimiento con el trozo de plástico.**

Cuando el material del piso pueda contaminar la muestra de campo.

1. Se coloca el trozo de plástico sobre la superficie de una mesa, posteriormente se coloca el material en la parte central del plástico.
2. Se levantan los dos extremos opuesto del plástico y se une a continuación, se regresa a la posición original del trozo de plástico. Enseguida se levantan los otros dos extremos opuestos y se unen, posteriormente se regresa a su posición



original. Este proceso se repite varias veces hasta obtener una muestra homogénea.

3. Se elimina la mitad del material ya revuelto, para lo cual se lleva el trozo de plástico con el material, hasta el bordo de la mesa, de tal manera que la mitad del plástico quede sobre la muestra y la otra mitad en el aire sujeta con una de las manos, cogiendo el extremo que esta sobre la mesa, se suelta el extremo que está en el aire con lo cual se elimina la mitad del material. Este deberá ser recibido en un recipiente.

Cuando se utilice este último método para una mayor cantidad de material se utilizara una lona de aproximadamente 2.0 m x 2.5 m. El procedimiento será el mismo.

### **ESPECIFICACIONES.**

Las muestras de campo de agregado fino se encuentran superficialmente secas se deben reducir en tamaño por el método "A". Las muestras de campo que se reduzcan por el método "B" deben encontrarse húmedas superficialmente de no ser así se deben humedecer y después deben ser remezcladas.

#### *5.2.2 Contenido de agua por secado "Humedad actual en arenas".*

La presente prueba está referida a la norma NMX-C-166-ONNCCE-2006 [19], o su equivalente de acuerdo con la norma ASTM C70-01.

**.OBJETIVO.** Determinar el porcentaje de humedad que contiene una arena en el momento que se va a utilizar para elaborar una mezcla, para así poder realizar la corrección correspondiente por humedad.

### **EQUIPO.**

Muestra representativa de arena de 500 gramos aproximadamente, Balanza con aproximación al décimo de gramo, Parrilla eléctrica, Charolas metálicas, Espátulas, Cristal.

### **PROCEDIMIENTO.**

De la muestra representativa se pesan 300 gramos registrando este valor como masa inicial de la muestra o masa húmeda actual (Mh), posteriormente, esta muestra se coloca en una charola metálica sobre la parrilla eléctrica para hacer el secado del material moviéndolo esta con la espátula en forma constante para que el secado sea homogéneo hasta eliminar completamente la humedad del material.

Para saber cuándo el material ya está seco, se coloca el cristal sobre el material y en el momento que ya no se empañe esto significa que el material ya está seco. Procediendo a dejar enfriar el material a temperatura ambiente y pesarlo. Este peso se registrará como masa final o masa seca de la muestra (Ms).

## CÁLCULOS

$$\% \text{ humedad actual} = \frac{Mh - Ms}{Ms} * 100$$

Dónde:

Mh → masa de la muestra en gramos.

Ms → masa seca del material en gramos.

Mh-Ms → masa de agua que contenía el material.

Para la prueba del % de humedad actual se realizaron pruebas al quintuplicado del material, y los resultados se muestran en la siguiente tabla:

% HUMEDAD ACTUAL					
	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	MUESTRA 4	MUESTRA 5
MASA HÚMEDA (Mh) g	350	380	350	370	350
MASA SECA (Ms) g	349.5	379.5	349	369	349.6
CONTENIDO DE AGUA (Mh-Ms) g	0.5	0.5	1	1	0.4
% DE ABSORCIÓN [(Mh-Ms)/(Ms)]*100	0.14	0.13	0.29	0.27	0.11
<b>PROMEDIO</b>	<b>0.19 %</b>				

Tabla 6 % De humedad actual.

### EL % DE HUMEDAD ACTUAL DE LA ARENA ES DE 0.19

#### 5.2.3 Determinación de la masa específica y absorción de agua del agregado fino "Humedad superficial y humedad de absorción en arenas".

La presente prueba está referida a la norma NMX-C-165-ONNCCE-2004 [20], o su equivalente de acuerdo con la norma ASTM C128-01.

**OBJETIVO.** Determinar la capacidad máxima de absorción que tiene una arena expresada en porcentaje.

#### EQUIPO.

Una muestra representativa de aproximadamente 2 kilogramos, Una balanza con aproximación al décimo de gramo, Una parrilla eléctrica, Charolas metálicas, Un cono metálico (truncocónico), Un pisón, Una espátula.

#### PROCEDIMIENTO.

1. La muestra de 2 kg se pone a saturar durante 24 horas, como mínimo. Dicha muestra se obtiene mediante alguno de los métodos de reducción de muestras.

2. Al término de este tiempo se seca superficialmente, la arena por medio del molde troncocónico como se describe a continuación:
  - Se coloca la arena en la charola y se coloca en la parrilla eléctrica para realizar la eliminación de agua que tiene en exceso, esto es, hacer el secado de la arena en forma superficial.

Para saber cuándo la arena está seca superficialmente se coloca el molde troncocónico dentro de la charola con el diámetro mayor hacia abajo, se llena el molde con la arena en tres capas distribuyendo 25 golpes dados con el pisón, dando 12 a la primera, 8 a la segunda y 5 a la tercera. Inmediatamente se retira el cono y si la arena trata de disgregarse quiere decir, que ya está seca superficialmente y si la arena mantiene la forma del cono significa que todavía tiene agua en exceso por lo tanto hay que seguir secando el material hasta que se obtenga el secado superficial. Conforme vaya perdiendo la humedad la muestra hay que realizar más continuamente el procedimiento con el cono para evitar que se seque en exceso.

3. Cuando la arena está seca superficialmente hay que pesar una muestra de 300 gramos, registrando este dato como masa saturada y superficialmente seca (Mh).
4. La muestra de 300 gramos, se coloca en una charola para secarla hasta peso constante, o sea, hasta eliminar completamente el agua.
5. Para saber cuándo el material está seco se coloca el cristal sobre el material, si no lo empaña retiramos el material y lo dejamos enfriar un poco, procediendo a pesarlo y registrar el valor obtenido como masa seca del material (Ms), si todavía se empaña el cristal hay que seguir secando el material para secarlo completamente.

## CÁLCULOS.

$$\% \text{ de humedad de absorción} = \frac{Mh - Ms}{Ms} * 100$$

Dónde:

Mh → masa saturada y superficialmente seca (gramos).

Ms → masa seca del material (gramos).



FIGURA 5.2.3.1 Secado de la muestra de manera superficial con ayuda del cono troncocónico (Fuente J. A. Guzmán Torres)

Para la prueba del % de humedad actual se realizaron pruebas al quintuplicado del material, y los resultados se muestran en la siguiente tabla:

<b>% ABSORCIÓN</b>					
	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	MUESTRA 4	MUESTRA 5
MASA SUPERFICIALMENTE SECA (Mh) g	305.3	305.2	223	196.5	265.8
MASA SECA (Ms) g	294.4	296.9	216	193	260.6
AGUA ABSORBIDA (Mh-Ms) g	10.9	8.3	7	3.5	5.2
% DE ABSORCIÓN [(Mh-Ms)/(Ms)]*100	3.70	2.80	3.24	1.81	2.00
<b>PROMEDIO</b>	<b>2.71 %</b>				

Tabla 7 % De humedad de absorción.

**EL % DE ABSORCIÓN DE LA ARENA ES DE 2.71**

### 5.2.4 Densidad de la arena

La presente prueba está referida a la norma ASTM C128-01.

**OBJETIVO.** Determinar el volumen obstáculo de las partículas de arena, es decir, el volumen efectivo excluyendo los vacíos que se forman entre las partículas de arena cuando se acomodan una sobre la otra.

#### EQUIPO.

Muestra representativa de arena de aproximadamente 1000 gramos, Charolas, Espátulas, Parrilla eléctrica, Molde tronco cónico, Pisón, Probeta, Frasco, Vidrio, Balanza con aproximación al décimo de gramo.



## PROCEDIMIENTO.

- Utilizando la probeta.
1. Se pone a saturar la arena en una charola durante 24 horas al término de este tiempo se seca superficialmente utilizando el procedimiento descrito en la prueba de humedad de absorción con el molde tronco cónico.
  2. En la probeta se coloca un volumen de agua conocido, registrándolo como volumen inicial  $V_i$  en  $\text{cm}^3$
  3. Enseguida se pesa una muestra de arena superficialmente seca anotando este valor como peso de la arena ( $M_a$ ) que aproximadamente sea entre 200 y 300 gramos.
  3. Posteriormente se coloca la arena dentro de la probeta, procurando que no salpique agua porque esto no ocasionaría un error en la prueba, agitando un poco la probeta para expulsar el aire atrapado, esta operación va a provocar un aumento en el volumen de agua y vamos a registrar este valor como volumen final  $V_f$ .

## CÁLCULOS.

La densidad de la arena se calcula de la siguiente manera:

$$DA = \frac{Ma}{V_f - V_i}$$

Dónde:

DA → densidad de la arena en  $\text{gr}/\text{cm}^3$  ó  $\text{gr}/\text{ml}$ .

$M_a$  → masa de la arena saturada y superficialmente seca en gramos.

$V_f - V_i$  → volumen colocado dentro de la probeta en  $\text{cm}^3$  ó en ml.



FIGURA 5.2.4.1 Determinación de la densidad por el método del Picnómetro (Fuente J. A. Guzmán Torres)

Para la prueba de la densidad se realizaron pruebas al quintuplicado del material, y los resultados se muestran en la siguiente tabla

## DENSIDAD

	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	MUESTRA 4	MUESTRA 5
MASA HUMEDA (Mi) g	264.1	270.9	229.9	224.3	263.8
VOLUMEN DESALOJADO (ml)	104	104	90	88	105
DENSIDAD g/cm <sup>3</sup>	2.54	2.60	2.55	2.55	2.51
PROMEDIO	2.55 g/ml				

Tabla 8 Densidad promedio de la arena.

**LA DENSIDAD DE LA ARENA ES DE 2.55 g/cm<sup>3</sup>**

### 5.2.5 Determinación de la masa volumétrica seca y suelta de una arena (M.V.S.S)

La presente prueba está referida a la norma NMX-C-073-ONNCCE-2004 [22].

**OBJETIVO.** Determinar la masa por unidad de volumen de una arena cuando el acomodo de sus partículas es en forma libre o natural.

#### EQUIPO.

Una muestra de arena completamente seca. Un recipiente de masa y volumen conocido. Una varilla lisa punta de bala de 5/8 de diámetro. Una balanza o báscula. Un cucharón y una pala.

#### PROCEDIMIENTO.

Se vacía arena dentro del recipiente dejándose caer a una altura medida a partir de la arista superior del recipiente de aproximadamente 5 centímetros, distribuyendo uniformemente el material y llenando completamente el recipiente hasta colmarlo formando un cono.

Enseguida se enrasa el recipiente con la varilla y se limpia el recipiente de las partículas adheridas en las paredes exteriores procediendo a pesarlo.

La masa obtenida anteriormente se le resta el peso del recipiente para obtener la masa de la arena.

#### CÁLCULOS.

$$M.V.S.S. = \frac{M}{V}$$

Dónde:

M.V.S.S. → Masa volumétrica seca y suelta (gramos/cm<sup>3</sup>).

M → Masa de la arena (gramos).

$V \rightarrow$  Volumen del recipiente ( $\text{cm}^3$ ).



FIGURA 5.2.5.1 Determinación de la M.V.S.S se llena el molde y se pesa la muestra (Fuente J. A. Guzmán Torres)

Para la prueba de la M.V.S.S se realizaron pruebas al quintuplicado del material, y los resultados se muestran en la siguiente tabla

### MASA VOLUMÉTRICA SECA Y SUELTA

	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	MUESTRA 4	MUESTRA 5
MASA DE LA TARA (g)	1945	1945	1900	1900	1900
MASA TOTAL (g)	5590	5532	5470	5470	5380
MASA DE LA ARENA (Mg) g	3645	3587	3570	3570	3480
VOLUMEN (V) $\text{cm}^3$	2783	2783	2759	2759	2759
M.V.S.S. (Mg)/(V) $\text{g/cm}^3$	1.31	1.29	1.29	1.29	1.26
<b>PROMEDIO</b>	<b>1.29 <math>\text{g/cm}^3</math></b>				

Tabla 9 Resultados de M.V.S.S.

**LA M.V.S.S. DE LA ARENA ES DE  $1.29 \text{ g/cm}^3$**

#### 5.2.6. Determinación de la masa volumétrica seca y varillada de una arena (M.V.S.V.).

La presente prueba está referida a la norma NMX-C-073-ONNCCE-2004 [22].

**OBJETIVO.** Obtener la masa por unidad de volumen de una arena, cuando el material tiene una determinada compactación.

#### EQUIPO.

Una muestra de arena completamente seca, Un recipiente de peso y volumen conocido, Una varilla lisa punta de bala de 5/8 de diámetro, Una balanza o báscula. Un cucharón y una pala.

### PROCEDIMIENTO.

Se procede a llenar el recipiente con arena a volteo dejándola caer a una altura aproximada de 5 centímetros, el llenado del recipiente debe de hacerse en tres capas dando a cada capa de arena 25 golpes con la varilla punta de bala distribuyéndolos en toda la superficie del material.

Debe cuidarse que la varilla no penetre en la capa anterior al dar los golpes. Se enrasa el recipiente con la varilla punta de bala y se limpian todas las partículas que hayan quedado adheridas a las paredes exteriores.

Después de haber realizado los pasos anteriores se pesa el recipiente con el material y se le resta el peso del recipiente para así obtener la masa neta del material.

### CÁLCULOS.

$$M.V.S.V. = \frac{M}{V}$$

Dónde:

M.V.S.V. → Masa volumétrica seca y varillada (gramos/cm<sup>3</sup>).

M → Masa de la arena (gramos).

V → Volumen del recipiente (cm<sup>3</sup>).



FIGURA 5.2.5.2 Determinación de la M.V.S.V. Se llena el molde en 3 capas, se varilla y se pesa la muestra (Fuente J. A. Guzmán Torres)

Para la prueba de la M.V.S.V. se realizaron pruebas al quintuplicado del material, y los resultados se muestran en la siguiente tabla:

### MASA VOLUMÉTRICA SECA Y VARILLADA

	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	MUESTRA 4	MUESTRA 5
MASA DE LA TARA (g)	1945	1945	1900	1900	1900
MASA TOTAL (g)	5865	5820	5925	5750	5945
MASA DE LA ARENA (Mg) g	3920	3875	4025	3850	4045
VOLUMEN (V) cm <sup>3</sup>	2783	2783	2759	2759	2759
M.V.S.V. (Mg)/(V) g/cm <sup>3</sup>	1.41	1.39	1.46	1.40	1.47
<b>PROMEDIO</b>	<b>1.42 g/cm<sup>3</sup></b>				

Tabla 10 Resultados de la M.V.S.V.

**LA M.V.S.V. DE LA ARENA ES DE 1.42 g/cm<sup>3</sup>**

#### 5.2.7 Análisis granulométrico o Granulometría

La presente prueba está referida a la norma NMX-C-077-ONNCCE-1997 [23], o su equivalente de acuerdo con la norma ASTM C136-01.

**OBJETIVO.** Pasar por una serie de mallas o tamices la muestra representativa de arena, para conocer la distribución de los diámetros de las partículas y el módulo de finura.

#### EQUIPO.

Un juego de mallas con abertura rectangular o circular del N° 4, 8, 16, 30, 50, 100 y charola con su respectiva tapa, Una balanza con capacidad de 2160 gramos y aproximación al décimo de gramo, Charolas, espátulas y parrillas eléctricas, Cepillos de cerdas y alambre, Hojas de papel.

#### PROCEDIMIENTO.

1. Se toma una muestra representativa de arena de aproximadamente 600 gramos.
2. Se seca la muestra hasta peso constante, a una temperatura de no mayor de 110°C.
3. Cuando el material este seco y frío, se toman 500 gramos, pesados al décimo de gramo.
4. Se colocan las mallas en orden decreciente (4, 8, 16, 30, 50, 100 y charola), se coloca la muestra de 500 gramos y se tapa.



5. Se agita el juego de mallas durante un tiempo de 10 minutos como mínimo, el agitado puede ser a mano o mecánicamente (Raf-tap).
6. Se procede a pesar el material retenido en cada una de las mallas con aproximación al décimo de gramo, anotando los pesos en el registro correspondiente. Para lo cual se invertirán las mallas con todo cuidado y utilizando cepillo de alambre las mallas 4, 8, 16 y 30 para desalojar el material que se encuentra entre los espacios de la malla, mientras que las mallas 50 y 100 se limpiarán con cepillo de cerdas.
7. En una superficie horizontal y limpia se colocan siete hojas de papel y sobre ellas se coloca el material retenido en cada una de las mallas previamente pesado, esto para tenerlo como testigo si es que surge algún error.

### REGISTRO.

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
MALLA	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% ACUMULATIVO	% QUE PASA
4				
8				
16				
30				
50				
100				
200				
CHAROLA				
SUMA				

1. Se anotan los pesos en las respectivas mallas en la columna (1).
2. El retenido de la columna (2) se calcula de la siguiente manera:

$$\% \text{ retenido} = \frac{\text{peso retenido}}{\text{suma del peso retenido}} * 100$$

3. El % acumulativo se calcula a partir de los datos de la columna (2) como sigue:  
% acumulativo de la malla = % retenido malla + % acumulativo malla anterior

4. El % que pasa se calcula de la siguiente manera:  
% Que pasa de la malla = 100 – % acumulativo de la malla

5. Módulo de finura:

$$MF = \frac{\sum \text{de malla \#8 hasta \#100}}{100}$$

### RECOMENDACIONES Y ESPECIFICACIONES.

Para fines de calidad se recomienda que el Modulo de finura este entre 2.5 y 3.0, de acuerdo a la NMX-C-111-ONNCCE-2004 puede quedar entre 2.3 y 3.2.

Especificaciones de granulometrías según Bureau Of Reclamation A.S.T.M.

MAILLA	% QUE PASA
3/8	100
4	95-100
8	80-100
16	50-85
30	25-60
50	10-30
100	2-10

Tabla 11 Límites de granulometría para agregado fino

El porciento referido de dos mallas sucesivas no debe de ser mayor a 45%.

GRÁFICA.

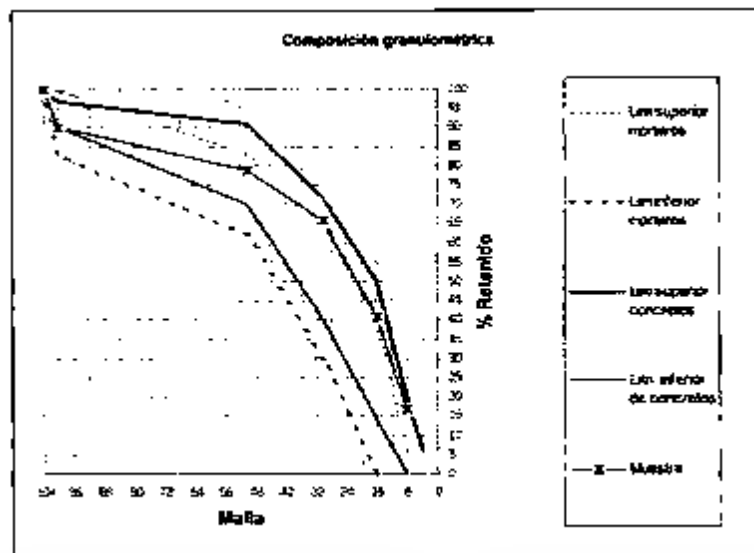




FIGURA 5.2.7.1 Análisis granulométrico se colocan las mallas en tamaño decreciente y se hace pasar el material (Fuente J. A. Guzmán Torres)

Para los análisis granulométricos se realizaron análisis al cuadruplicado del material, y los resultados se muestran en las siguientes tablas:

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO 1					NMX-C-111-ONNCEE-2004	MASA INICIAL (g)
MALLA	MASA RETENIDA (g)	% RETENIDO	% ACUMULATIVO	% QUE PASA		
8	55.9	9.320084031	9.320084031	90.67991597	SI CUMPLE	600
16	170.38	28.4070826	37.72716663	62.27283337	SI CUMPLE	<b>APROXIMACIÓN</b>
30	195.5	32.59528494	70.32245157	29.68	SI CUMPLE	99.96 %
50	77.5	12.92140451	83.24385608	16.76	SI CUMPLE	GRANULOMETRÍA ACEPTABLE
100	39.5	6.585748108	89.82960419	10.17	SI CUMPLE	
CHAROLA	61	10.17039581	100	0.00		
<b>TOTAL</b>	<b>599.78</b>	<b>100</b>				

$$\text{M.F.} = \frac{290.4431625}{100} = 2.904$$

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO 2					NMX-C-111-ONNCEE-2004	MASA INICIAL (g)
MALLA	MASA RETENIDA (g)	% RETENIDO	% ACUMULATIVO	% QUE PASA		
8	74	12.35804943	12.35804943	87.64195057	SI CUMPLE	600
16	172	28.7241149	41.08216433	58.91783567	SI CUMPLE	<b>APROXIMACIÓN</b>
30	185.8	31.02872411	72.11088844	27.89	SI CUMPLE	99.80 %
50	75.8	12.65865063	84.76953908	15.23	SI CUMPLE	GRANULOMETRÍA ACEPTABLE

100	43.6	7.281229125	92.0507682	7.95	SI CUMPLE
CHAROLA	47.6	7.949231797	100	0.00	
<b>TOTAL</b>	<b>598.8</b>	<b>100</b>			

$$\text{M.F.} = \frac{302.3714095}{100} = 3.024$$

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO 3					NMX-C-111-ONNCEE-2004	MASA INICIAL (g)
MALLA	MASA RETENIDA (g)	% RETENIDO	% ACUMULATIVO	% QUE PASA		
8	55.3	9.236679472	9.236679472	90.76332053	SI CUMPLE	600
16	168.3	28.11090697	37.34758644	62.65241356	SI CUMPLE	<b>APROXIMACIÓN</b>
30	188	31.40136963	68.74895607	31.25	SI CUMPLE	99.78 %
50	78.5	13.11174211	81.86069818	18.14	SI CUMPLE	GRANULOMETRÍA ACEPTABLE
100	48.7	8.134290964	89.99498914	10.01	SI CUMPLE	
CHAROLA	59.9	10.00501086	100	0.00		
<b>TOTAL</b>	<b>598.7</b>	<b>100</b>				

$$\text{M.F.} = \frac{287.1889093}{100} = 2.872$$

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO 4					NMX-C-111-ONNCEE-2004	MASA INICIAL (g)
MALLA	MASA RETENIDA (g)	% RETENIDO	% ACUMULATIVO	% QUE PASA		
8	58.6	9.769923308	9.769923308	90.23007669	SI CUMPLE	600
16	185.5	30.92697566	40.69689897	59.30310103	SI CUMPLE	<b>APROXIMACIÓN</b>
30	197.5	32.92764255	73.62454151	26.38	SI CUMPLE	99.97 %
50	73.9	12.32077359	85.94531511	14.05	SI CUMPLE	GRANULOMETRÍA ACEPTABLE
100	41	6.835611871	92.78092698	7.22	SI CUMPLE	
CHAROLA	43.3	7.219073024	100	0.00		
<b>TOTAL</b>	<b>599.8</b>	<b>100</b>				

$$\text{M.F.} = \frac{302.8176059}{100} = 3.028$$

Tabla 12, 12.1, 12.2, 12.3 Análisis granulométrico de la arena

## EL MODULO DE FINURA DE LA ARENA ES DE 2.957



FIGURA 5.2.7.2 Análisis de la granulometría se limpian las mallas y se separan las cantidades obtenidas en cada una de ellas (Fuente J. A. Guzmán Torres)

### 5.2.8 Determinación de impurezas orgánicas en el agregado fino “Prueba de colorimetría en arena”.

La presente prueba está referida a la norma NMX-C-088-ONNCCE-1997 [24].

**OBJETIVO.** Determinar el contenido de materia orgánica en una arena, en forma comparativa, utilizando una solución de color normal.

#### EQUIPO.

Dos botellas iguales de vidrio incoloro de 250 a 350 cm<sup>3</sup> con marcas a cada 25 cm<sup>3</sup> (frasco de biberón), Charolas, parrillas de secado, espátulas, balanza, vasos de precipitado, Material para las soluciones y tabla colorimétrica, Solución de sosa cáustica 30 gramos por litro de solución de normal en agua destilada.

#### PROCEDIMIENTO.

Cuando no se tiene la tabla colorimétrica hay que preparar la solución de color normal como sigue:

- Solución de ácido tánico 2 gramos en 10 cm<sup>3</sup> de alcohol, posteriormente se añaden 90 cm<sup>3</sup> de agua destilada, se hace en un vaso de precipitado.
- Solución de sosa cáustica 30 gramos por litro de agua destilada.
- Se toman 2.5 cm<sup>3</sup> de la primera solución (ácido tánico) y se reúnen con 97.5 cm<sup>3</sup> de solución de sosa cáustica.

Esta solución es de color normal se hará simultáneamente con la prueba que se hace con la arena y se colocará en una botella de las indicadas anteriormente (frasco de biberón).

Cabo de 24 horas se compararán los colores.



- Se toma una muestra representativa de arena de 500 gramos aproximadamente.
- Se seca hasta peso constante a una temperatura no mayor a 110 ° C.
- Se coloca la arena seca y fría en el frasco de biberón hasta 133 cm<sup>3</sup> adicionándole solución de sosa cáustica hasta los 206 cm<sup>3</sup>
- Se tapa el frasco de biberón y se agita fuertemente durante dos minutos como mínimo posteriormente se dejará reposar 24 horas.
- Al cabo de este tiempo se comparará el color del líquido de la botella con la tabla colorimétrica. Si no se tiene esta, se comparará con el color de la solución normal que se haya hecho en la otra botella idéntica.

### RECOMENDACIONES.

Si el color obtenido es más oscuro que el color normal, podemos sospechar de un exceso de materia orgánica en la arena.

Para comprobarlo debemos hacer otra prueba de colorimetría con la misma arena pero lavada ya que ocasionalmente se presentan materiales de origen inorgánico que reaccionan con la solución de sosa cáustica dando un color oscuro sin existir materia orgánica. Esta es la razón por la cual debe de repetirse la prueba y si esta vuelve a dar un color oscuro debemos completar la prueba de colorimetría con un análisis químico.

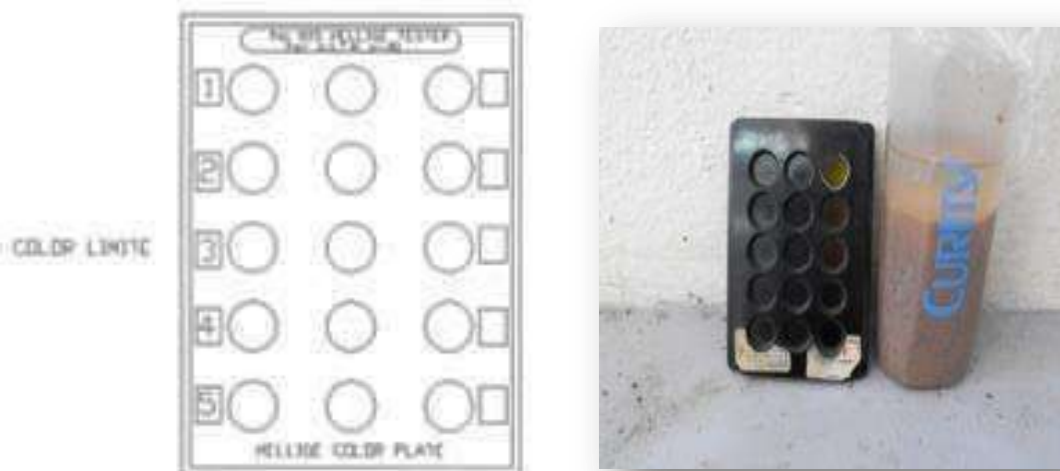


FIGURA 5.2.8.1 Comparación de la tabla colorimétrica (Fuente J. A. Guzmán Torres)

### AL COMPARAR CON LA TABLA COLORIMÉTRICA DA UN 3

#### 5.2.9 Partículas más finas que la criba 0,075 mm (200) por medio de lavado.

La presente prueba está referida a la norma NMX-C-084-ONNCCE-2006 [26], o su equivalente de acuerdo con la norma ASTM C117-95.

**OBJETIVO.** Determinar la cantidad de materia fina que contiene una arena, cribándola por la malla N° 200.

### **EQUIPO.**

Malla N° 200, Malla N° 16, Charola de dimensiones adecuadas para contener el material con agua, Una balanza con aproximación al décimo de gramo, Espátula y parrilla eléctrica, Un cristal.

### **PROCEDIMIENTO.**

1. Se toma una muestra representativa de 600 gramos de arena, se seca a una temperatura no mayor de 110°C.
2. La muestra seca y fría se coloca en la balanza y se pesa al décimo de gramo ( $M_i$ ).
3. Se coloca el material en un recipiente y se le agrega agua hasta saturar.
4. Se agita enérgicamente la muestra con aguay viértase inmediatamente sobre el juego de mallas (la N° 16 arriba y la N° 200 abajo).
5. Una vez puesto el material en el juego de mallas se le sigue agregando agua y agitando hasta que el agua salga completamente clara.
6. Se regresa el material retenido en las mallas por medio del lavado.
7. Se seca el material completamente, se deja enfriar y se pesa ( $M_f$ ).

### **CÁLCULO.**

$$A = \frac{M_i - M_f}{M_i} * 100$$

Dónde:

A = porcentaje de material que pasa la malla N° 200.

$M_i$  = masa seca inicial.

$M_f$  = masa seca después de lavar (final).

### **RECOMENDACIONES Y ESPECIFICACIONES.**

Cuando la arena se va a emplear en la elaboración de concreto hidráulico y esta contiene exceso de partículas finas que pasan la malla N° 200, la cantidad de cemento necesario aumenta considerablemente, existiendo la posibilidad de que aparezcan grietas en las estructuras de concreto.

Cuando la arena cae fuera de las especificaciones, si económicamente es posible se recomienda lavarla o adoptar una solución que permita quitarle el material fino o desecharla totalmente.

Uso del concreto	Máximo % del material que pasa la malla N° 200.
Concreto sujeto a abrasión	3.0*
Otro tipo de concreto	5.0*

ESPECIFICACIONES DE LA BUREAU OF RECLAMATION (ASTM-C-117)

- Cuando se trate de arena producto de la trituración de rocas, estos valores se aumenta a 5 y 7 respectivamente.

## RESULTADOS.

MATERIAL QUE PASA POR LA MALLA No. 200					
	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	MUESTRA 4	MUESTRA 5
Mi (g).	312.4	320	305	315	330
Mf (g).	297.7	305.4	286	299.7	312
A [(Mi-Mf)/Mf]*100 %	4.94	4.78	6.64	5.11	5.77
<b>PROMEDIO</b>	5.45 %				

Tabla 13 Material que pasa por la malla 200.

**EL % DE MATERIAL QUE PASA LA MALLA No. 200 ES 5.45**

## GRAVAS

### 5.2.11 Muestreo en gravas

La presente prueba está referida a la norma NMX-C-030-ONNCCE-2004 [27].

**OBJETIVO.** Obtener una muestra representativa de este material para llevarla al laboratorio y realizarle las pruebas correspondientes para su estudio respectivo.

### EQUIPO.

Medio de transporte, Costales, Palas, Cucharones, Bolsas de plástico

### PROCEDIMIENTO.

1. Dependiendo del estudio que se va a realizar se debe elegir el tamaño de la muestra, por ejemplo para realizar estudios para un proporcionamiento se debe obtener una muestra de 50 kilogramos aproximadamente.
2. Si el muestreo se realiza en los bancos de material se debe de tomar éste del frente que se vaya a utilizar en la obra respectiva, por lo que de nada nos servirá hacer un estudio de un material equivocado o del que no se vaya utilizar.

3. La muestra debe de reunir las características de todo el material en general, para que esta sea realmente representativa, (tamaño, colores, formas, Etc.).
4. También el muestreo se puede realizar en los camiones que suministran a las obras, así mismo del que se encuentra en las obras, esto nos sirve para verificar la calidad de los materiales.

Especificaciones:

Material	T.M. nominal en (mm)	Pasa por la malla (cribado No.)	Masa mínima de la muestra de campo
Arena	Hasta 5	4.75 mm (No. 4)	100
Grava	Hasta 75	75 mm (3")	150
Grava	Mayor de 75	-----	200
Grava	cualquiera	-----	300



*FIGURA 5.2.11.1 Muestreo de la muestra y se pesa el material para su carteo (Fuente J. A. Guzmán Torres)*

### *5.2.12 Reducción de las muestras de agregados obtenidas en el campo al tamaño requerido para las pruebas "Cuarteo en gravas".*

La presente prueba está referida a la norma NMX-C-170-1997-ONNCCE.

**OBJETIVO.** Obtener una muestra representativa y del tamaño adecuado para realizar la prueba correspondiente al material de estudio.

EQUIPO: Palas, Charolas, Escoba, Cepillo, Cuarteador de muestras.

#### **PROCEDIMIENTO.**

Para realizar el cuarteo de gravas existen dos métodos:

1. Cuarteo por paleado.
2. Cuarteo con el divisor de muestras.



*FIGURA 5.2.12.1 Cuarteo del material para obtener una muestra lo más homogénea posible (Fuente J. A. Guzmán Torres)*

### 5.2.13 Contenido de agua por secado “Humedad actual en gravas”.

La presente prueba está referida a la norma NMX-C-166-ONNCCE-2006, o su equivalente de acuerdo con la norma ASTM C127-04.

**OBJETIVO.** Determinar la cantidad de agua que contiene una grava, en estado natural, es decir, en el momento que va a ser utilizada.

#### **EQUIPO.**

Muestra representativa de 1000 gramos de aproximación, Charola metálica, Espátula, Parrilla eléctrica, Vidrio, Balanza con aproximación al décimo de gramo.

#### **PROCEDIMIENTO.**

1. Se toma una muestra representativa de 400 a 500 g. y se determina su masa, registrándola como masa húmeda  $M_h$ .
2. Enseguida se coloca en la charola para exponerlo en la fuente de calor para eliminar el agua que contiene la grava moviéndola constantemente con la espátula para que el secado sea uniforme. Cuando aparentemente este seca colocamos el cristal sobre ella para hacer la verificación del secado, si se empañía el cristal o se le forman gotas de agua quiere decir que el material todavía está húmedo y por lo tanto debemos seguir moviéndolo hasta que se seque completamente, para darnos cuenta de esto repetimos la operación con el vidrio.
3. Cuando esta seca la grava la retiramos de la fuente de calor y la dejamos enfriar un poco, posteriormente la pesamos para determinar la masa seca ( $M_s$ ) en gramos.

$$\% H. ACTUAL = \frac{M_h - M_s}{M_s} * 100$$



Dónde:

% H. ACTUAL = Porcentaje de humedad

Mh =Masa húmeda de la grava en gramos

Ms = Masa seca en gramos



FIGURA 5.2.13.1 Humedad actual en grava (Fuente J. A. Guzmán Torres)

Para la prueba del % de humedad actual se realizaron pruebas al quintuplicado del material, y los resultados se muestran en la siguiente tabla:

### % HUMEDAD ACTUAL

	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	MUESTRA 4	MUESTRA 5
<b>MASA HÚMEDA (Mh) g</b>	323	502.1	283.3	502.8	501.5
<b>MASA SECA (Ms) g</b>	317.5	491.9	277.3	496.2	492.6
<b>CONTENIDO DE AGUA (Mh-Ms) g</b>	5.5	10.2	6	6.6	8.9
<b>% DE ABSORCIÓN [(Mh-Ms)/(Ms)]*100</b>	1.73	2.07	2.16	1.33	1.81
<b>PROMEDIO</b>	1.82 %				

Tabla 14 % De humedad actual en gravas.

**EL % DE HUMEDAD ACTUAL DE LA GRAVA ES DE 1.82**

### 5.2.14 Determinación de la masa específica y absorción de agua del agregado grueso "Humedad de absorción en gravas".

La presente prueba está referida a la norma NMX-C-165-ONNCCE-2004, o su equivalente de acuerdo con la norma ASTM C127-04.

**OBJETIVO.** Determinar la capacidad máxima de absorción de una grava expresándola en porcentaje respecto a su peso seco.

#### **EQUIPO.**

Muestra de grava de aproximadamente un kilogramo, Franela, Charolas metálicas, Parrilla eléctrica, Espátula, Vidrio, Mallas 3/4y 3/8", Balanza con aproximación al décimo de gramo.

#### **PROCEDIMIENTO.**

1. De la muestra que se trae de campo se criba a través de las mallas 3/4 y 3/8 y del material que pasa la 3/4 y se retiene en 3/8 se pone a saturar en una charola un muestra de 0.5 a 1.0 kilogramo durante 24 horas.
2. Enseguida con una franela se seca superficialmente una muestra de grava de aproximadamente 300 gramos anotando este valor como (Mh) masa saturada y superficialmente seca.
3. Se procede a colocar este material en una charola para secarlo en la parrilla eléctrica, para saber cuándo se eliminado completamente la humedad se coloca el vidrio sobre el material y si no empaña o se forman gotas de agua se retira, se deja enfriar un poco y se procede a pesarlo registrando como masa seca (Ms).

#### **CÁLCULOS:**

$$\% H. ABSORCIÓN = \frac{Mh - Ms}{Ms} * 100$$

Dónde:

Mh = Masa saturada y superficialmente seca de la grava en gramos.

Ms = Masa seca de la grava en gramos.

#### **ESPECIFICACIONES.**

TIPO DE ABSORCIÓN	% H. ABSORCIÓN
Baja	Menos del 2 %
Media	Entre 2 % y 4%
Alta	Más del 4 %



FIGURA 5.2.14.1 Determinación de la Humedad de absorción en grava (Fuente J. A. Guzmán Torres)

Para la prueba del % de humedad actual se realizaron pruebas al quintuplicado del material, y los resultados se muestran en la siguiente tabla:

<b>% ABSORCIÓN</b>					
	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	MUESTRA 4	MUESTRA 5
<b>MASA SUPERFICIALMENTE SECA (Mh) g</b>	348	419.5	400	425.5	380
<b>MASA SECA (Ms) g</b>	335.5	406.95	388.3	412.2	365.5
<b>AGUA ABSORBIDA (Mh-Ms) g</b>	12.5	12.55	11.7	13.3	14.5
<b>% DE ABSORCIÓN [(Mh-Ms)/(Ms)]*100</b>	3.73	3.08	3.01	3.23	3.97
<b>PROMEDIO</b>	3.40 %				

Tabla 15 % De humedad de absorción.

**EL % DE ABSORCIÓN DE LA GRAVA ES DE 3.40**

### 5.2.15 Densidad en gravas.

La presente prueba está referida a la norma ASTM C127-04 [28].

**OBJETIVO.** Determinar el volumen absoluto de las partículas de grava en masa por unidad de volumen.

#### **EQUIPO.**

Muestra representativa de grava, Probeta graduada, Picnómetro, Franela, Charola.

## PROCEDIMIENTO.

1. Se toma una muestra de grava saturada y superficialmente seca de 300 gramos, para obtenerlo se deja saturando la grava retenida en la malla 3/8 y que pasa la 3/4 durante 24 horas, secándola superficialmente con una franela, esta masa se registra como el masa de la muestra (M).
2. Se llena el picnómetro hasta el nivel del orificio con agua, se coloca en una superficie plana y se procede a colocar la muestra de grava dentro, recibiendo el agua desalojada con una probeta graduada. Cuando se haya terminado de colocar la grava dentro del picnómetro esperamos a que escurra el agua desalojada y tendremos en la probeta el volumen del agua que corresponde al volumen (V) de las partículas de grava.

## CÁLCULOS:

$$D = \frac{M}{V}$$

Dónde:

D=densidad en g/cm<sup>3</sup>

M= masa de la grava en g

V= volumen de la grava cm<sup>3</sup>



FIGURA 5.2.15.1 Determinación de la Densidad en grava (Fuente J. A. Guzmán Torres)

Para la prueba de la densidad se realizaron pruebas al quintuplicado del material, y los resultados se muestran en la siguiente tabla:

## DENSIDAD

	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	MUESTRA 4	MUESTRA 5
MASA SUPERFICIALMENTE SECA (M) g	301.2	430.05	228.66	417.12	415
VOLUMEN DESALOJADO (ml)	88	162	90	162	149
DENSIDAD g/cm <sup>3</sup>	3.42	2.65	2.54	2.57	2.79
<b>PROMEDIO</b>	<b>2.80 g/cm<sup>3</sup></b>				

Tabla 16 Resultados de Densidad de la grava.

**LA DENSIDAD DE LA GRAVA ES DE 2.80 g/cm<sup>3</sup>**



FIGURA 5.2.15.2 Uso del picnómetro para la determinación de la Densidad (Fuente J. A. Guzmán Torres)

### 5.2.16 Determinación de la masa volumétrica seca y suelta en gravas (M.V.S.S.)

La presente prueba está referida a la norma NMX-C-073-ONNCCE-2004, o su equivalente de acuerdo con la norma ASTM C29-97.

**.OBJETIVO.** Determinar la masa por unidad de volumen cuando la grava se encuentra en estado natural seco y suelto.

#### EQUIPO.

Muestra representativa de grava de aproximadamente 15 kilogramos, Recipiente con un volumen de 10 litros, Balanza con aproximación al gramo, Cucharón, Pala, Rastrillo.

#### PROCEDIMIENTO.

1. Se seca la muestra hasta masa constante, esto se puede realizar extendiendo el material con el rastrillo al sol para lograr el secado.
2. Cuando el material este completamente seco, se continúa con el siguiente procedimiento.



3. Primeramente se determina la masa y el volumen del recipiente que vamos a utilizar. Enseguida con el cucharón se va llenado el recipiente, dejando caer la grava, a la altura de 5 cm del borde superior del molde, cuidando el acomodo de las partículas sea por caída libre, esto es sin que el recipiente se someta a vibraciones hasta que quede completamente lleno y forme un cono el material.

4. Enseguida se procede a enrasarlo con la varilla punta de bala o con la mano que es más práctico ya que esta enrasado se pesa obteniendo así la masa del recipiente más la masa del material.

### CÁLCULOS.

$$M.V.S.S. = \frac{\text{Masa de la grava}}{\text{Volumen de la grava}}$$



FIGURA 5.2.16.1 Determinación de la M.V.S.S en grava (Fuente J. A. Guzmán Torres)  
Para obtener la M.V.S.S del material se realizaron pruebas al quintuplicado del material, y los resultados se muestran en la siguiente tabla:

<b>MASA VOLUMÉTRICA SECA Y SUELTA</b>					
	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	MUESTRA 4	MUESTRA 5
MASA DE LA TARA (g)	2950	2950	2950	2930	2930
MASA TOTAL (g)	17800	17550	17602	17652	17720
MASA DE LA GRAVA (Mg) g	14850	14600	14652	14702	14770
VOLUMEN (V) cm <sup>3</sup>	10600	10600	10600	10600	10600
M.V.S.S. (Mg)/(V) g/cm <sup>3</sup>	1.40	1.38	1.38	1.39	1.39
<b>PROMEDIO</b>	<b>1.39 g/cm<sup>3</sup></b>				

Tabla 17 Resultados de la M.V.S.S. de la grava.

**LA M.V.S.S. DE LA GRAVA ES DE 1.39 g/cm<sup>3</sup>**

### 5.2.17 Determinación de la masa volumétrica seca y varillada en gravas (M.V.S.V.)

La presente prueba está referida a la norma NMX-C-073-ONNCCE-2004, o su equivalente de acuerdo con la norma ASTM C29-97.

**.OBJETIVO.** Obtener la masa de la grava por unidad de volumen cuando es sometida a cierto grado de compactación.

#### EQUIPO.

Muestra representativa de grava de aproximadamente 15 kilogramos, Recipiente de 10 litros de volumen, Balanza con aproximación al gramo, Cucharón, Pala, Varilla punta de bala.

#### PROCEDIMIENTO.

1. Se seca la grava donde quede expuesta a los rayos del sol, se obtiene la masa y el volumen exacto del recipiente que se va a utilizar.
2. Enseguida con el cucharón se llena el recipiente en tres capas, cada capa deberá ser aproximadamente una tercera parte del volumen del recipiente.
3. Con la varilla punta de bala se le da a cada capa 25 golpes distribuyéndolo en toda la superficie, al término se enrasa el recipiente y determina su masa.

#### CÁLCULOS.

$$M.V.S.V. = \frac{\text{Masa de la grava compactada}}{\text{Volumen de la grava}}$$



FIGURA 5.2.17.1 Determinación de la M.V.S.V en grava (Fuente J. A. Guzmán Torres)

Para obtener la M.V.S.V. del material se realizaron pruebas al quintuplicado del material, y los resultados se muestran en la siguiente tabla:

### MASA VOLUMÉTRICA SECA Y VARILLADA

	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	MUESTRA 4	MUESTRA 5
MASA DE LA TARA (g)	2950	2950	2950	2930	2930
MASA TOTAL (g)	19100	18800	18790	19000	19050
MASA DE LA GRAVA (Mg) g	16150	15850	15840	16070	16120
VOLUMEN (V) cm <sup>3</sup>	10600	10600	10600	10600	10600
M.V.S.V. (Mg)/(V) g/cm <sup>3</sup>	1.52	1.50	1.49	1.52	1.52
<b>PROMEDIO</b>	<b>1.51 g/cm<sup>3</sup></b>				

Tabla 18 Resultados de la M.V.S.V. de la grava.

**LA M.V.S.V. DE LA GRAVA ES DE 1.51 g/cm<sup>3</sup>**

#### 5.2.18 Análisis granulométrico o Granulometría

La presente prueba está referida a la norma NMX-C-077-ONNCCE-1997, o su equivalente de acuerdo con la norma ASTM C136-01.

**OBJETIVO.** Obtener la distribución de los tamaños de las partículas de la grava así, como el tamaño máximo (T.M.) de la grava, valor que se utiliza para el CÁLCULO del diseño de mezclas.

#### EQUIPO.

Muestra aproximadamente 15 kilogramos en estado suelto, Juego de mallas: 2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", 1/4", y N° 4, Juego de charolas para recibir el material que se retiene en cada una de la mallas, Balanza con aproximación al gramo, Recipiente de 10 litros.

#### PROCEDIMIENTO.

1. Se seca previamente la muestra de grava, enseguida se llena el recipiente de 10 litros, previamente destarado, la grava que se utilizó para llenar el recipiente se pesa y se obtiene la masa de la muestra registrándose como masa de la muestra (Mm).
2. Enseguida se pasa la grava a través de las mallas colocándolas de la mayor a la menor, agitándolas con la mano para que las partículas de menor tamaño pasen a la malla siguiente, cuando se haya terminado con la muestra de grava, al realizarle este procedimiento se elabora una tabla como a continuación se

indica, registrando las masas retenidas en cada una de las mallas correspondientes.

### REGISTRO.

(1) MALLA	(2) MASA RETENIDA	(3) % RETENIDO	(4) % ACUMULATIVO	(5) % QUE PASA
2"	(A2)	$(A3) = \frac{A2}{M.M} * 100$	(A4)=A3	(A5)=100-A4
1 1/2"	(B2)	$(B3) = \frac{B2}{M.M} * 100$	(B4)=A4+B3	(B5)=100-B4
1"	(C2)	$(C3) = \frac{C2}{M.M} * 100$	(C4)=B4+C3	(C5)=100-C4
3/4"	(D2)	$(D3) = \frac{D2}{M.M} * 100$	(D4)=C4+D3	(D5)=100-D4
1/2"	(E2)	$(E3) = \frac{E2}{M.M} * 100$	(E4)=D4+E3	(E5)=100-E4
3/8"	(F2)	$(F3) = \frac{F2}{M.M} * 100$	(F4)=E4+F3	(F5)=100-F4
1/4"	(G2)	$(G3) = \frac{G2}{M.M} * 100$	(G4)=F4+G3	(G5)=100-G4
Nº 4	(H2)	$(H3) = \frac{H2}{M.M} * 100$	(H4)=G4+H3	(H5)=100-H4
PASA Nº 4	(I2)	$(I3) = \frac{I2}{M.M} * 100$	(I4)=H4+I3	(I5)=100-I4
TOTAL	MASA DE LA MUESTRA (M.M.) $\Sigma(A2+B2++I2)$	$\Sigma(A3+B3++I3)=100\%$	$\Sigma(A4+B4++I4)=100\%$	$\Sigma(A5+B5++I5)=100\%$

### CALCULO.

Al realizar la suma de las masas parciales retenidas debe ser igual al peso de la muestra inicial, teniendo una tolerancia de  $\pm 1$  % del peso de la muestra.

El porcentaje retenido se calcula con:

$$\% \text{ retenido} = \frac{\text{Masa retenida en la malla}}{\text{Masa de la muestra}} * 100$$

El porcentaje acumulativo se calcula de la siguiente manera:

$$\% \text{ acumulativo malla} = \% \text{ acumulado} + \% \text{ retenido malla}$$

El porcentaje de la malla que pasa:

$$\% \text{ que pasa} = 100 - \% \text{ acumulativo de la malla}$$

El tamaño máximo de la grava se obtiene observando la columna de los % retenidos y el tamaño máximo será el tamaño de la malla que retenga el 5% o más de la masa de la muestra.

### EJEMPLO.

(1)	(2)
MALLA	% RETENIDO
2"	0
1 1/2"	3.50
<b>1"</b>	<b>6.30</b>
3/4"	25.00
1/2"	32.20
1/4"	28.00
N° 4	3.00
PASA N° 4	2.00
TOTAL	100.00

Se observa en este sentido que el tamaño máximo (T.M.), para este caso es de 1" (una pulgada).

#### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO 1

MALLA	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% ACUMULATIVO	% QUE PASA
1"	258	1.84840235	1.84840235	98.15159765
3/4"	1092	<b>7.82</b>	9.67	90.32812724
1/2"	8640	61.90	71.57	28.43
3/8"	2150	15.40	86.98	13.02
1/4"	1785	12.79	99.76	0.24
No.4	33	0.24	100.00	0.00
<b>TOTAL</b>	<b>13958</b>	<b>100</b>		

PESO INICIAL

17050 g

TARA

2950 g

PESO DE LA MUESTRA

14100 g

98.99 %

**OK TODO BIEN**

**EL TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO QUE SE TIENE ES DE 3/4"**

#### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO 2

MALLA	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% ACUMULATIVO	% QUE PASA
1"	300	2.149305058	2.149305058	97.85069494
3/4"	1092	<b>7.82</b>	9.97	90.02722453
1/2"	8500	60.90	70.87	29.13
3/8"	2200	15.76	86.63	13.37
1/4"	1785	12.79	99.42	0.58
No.4	40	0.29	99.71	0.29
<b>TOTAL</b>	<b>13917</b>	<b>99.70626164</b>		

PESO INICIAL

17050 g

TARA

2950 g

PESO DE LA MUESTRA

14100 g



98.70 %

OK TODO BIEN

EL TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO QUE SE TIENE ES DE  $\frac{3}{4}$ "

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO 3**

MALLA	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% ACUMULATIVO	% QUE PASA
1"	289	2.070497206	2.070497206	97.92950279
$\frac{3}{4}$ "	1040	<b>7.45</b>	9.52	90.47857859
$\frac{1}{2}$ "	8200	58.75	68.27	31.73
$\frac{3}{8}$ "	2398	17.18	85.45	14.55
$\frac{1}{4}$ "	1980	14.19	99.63	0.37
No.4	33	0.24	99.87	0.13
<b>TOTAL</b>	<b>13940</b>	<b>99.8710417</b>		

PESO INICIAL

TARA

PESO DE LA MUESTRA

17050 g

2950 g

14100 g

98.87 %

OK TODO BIEN

EL TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO QUE SE TIENE ES DE  $\frac{3}{4}$ "

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO 4**

MALLA	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% ACUMULATIVO	% QUE PASA
1"	258	1.84840235	1.84840235	98.15159765
$\frac{3}{4}$ "	1092	<b>7.82</b>	9.67	90.32812724
$\frac{1}{2}$ "	8640	61.90	71.57	28.43
$\frac{3}{8}$ "	2150	15.40	86.98	13.02
$\frac{1}{4}$ "	1785	12.79	99.76	0.24
No.4	33	0.24	100.00	0.00
<b>TOTAL</b>	<b>13958</b>	<b>100</b>		

PESO INICIAL

TARA

PESO DE LA MUESTRA

17050 g

2950 g

14100 g

98.99 %

OK TODO BIEN

Tabla 19, 19.1,19.2,19.3 Resultados de los análisis granulométricos

EL TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO QUE SE TIENE ES DE  $\frac{3}{4}$ "

## 5.3 Caracterización del cemento.

### 5.3.1 Muestras del cemento hidráulico

**OBJETIVO.** Realizar un muestreo de cemento hidráulico.

**EQUIPO.**

- Charolas.

## PROCEDIMIENTO.

El cemento puede muestrearse mediante los métodos siguientes:

- En la descarga del transportador al almacenamiento a granel se toma una muestra que pese un mínimo de 2.5 kilogramos de cada 35 toneladas o menos, que pasen por el transportador. La muestra puede ser individual o continua.
  - Del almacén a granel, en los puntos de descarga, se extrae cemento por las aberturas de descarga en forma de flujo constante hasta que la muestra se haya completado por cualquiera de los siguientes métodos.
1. Se coloca en el depósito o silo indicadores en la parte superior del cemento, el muestro en cualquier abertura de descarga se completa cuando un indicador pase a través de dicha abertura.
  2. La cantidad de cemento en toneladas que debe sacarse por una abertura de descarga puede estimarse como  $0.0103 d^3$  donde "d" es la profundidad en metros del cemento arriba de la abertura de descarga.
    - El cemento almacenado a granel o embarco a granel, por medio de un muestreador de tubo ranurado, o un tubo muestreador. Cuando la profundidad del cemento no exceda de dos metros puede emplearse un muestreador de tubo ranurado de 150 a 180 centímetros de largo y aproximadamente 35 mm de diámetro exterior, formado por dos tubos telescópicos de latón pulido con ranuras de registro, las cuales se abren o se cierran con la rotación del tubo interior, el tubo exterior debe de estar provisto por una punta aguda que facilite la penetración, para profundidades de cemento mayores a 200 centímetros puede usarse un tubo muestreador activado con un chiflón de aire, capaz de obtener muestras a diferentes profundidades del cemento. Las muestras se toman con el muestreador de tubo ranurado o con el tubo muestreador, en puntos bien distribuidos y profundidades, de tal manera que sean muestras representativas del cemento muestreado.
    - El cemento envasado por medio de un muestreador de tubo, el tubo se inserta diagonalmente en la válvula del saco y se coloca el dedo pulgar sobre la perforación de entrada de aire, sacando después el muestreador debe tomarse una muestra de un saco por cada 85 o fracción.
    - De remesas a granel, ya sea en camiones o en carros de vía y de más casos no incluidos se toman muestras, con peso mínimo de 2.5 kilogramos de tres puntos bien distribuidos por lo menos si la remesa consta de varios camiones o carros de vía cargados del mismo depósito de almacenamiento

el mismo día, se permite combinar la muestra de 2.5 kilogramos para formar la de prueba.

- Protección de la muestra, a medida que se tomen las muestra deberán colocarse directamente en recipientes herméticos a prueba de humedad para evitar la absorción de humedad y la aeración.

### *5.3.2 Tiempos de fraguado de cemento hidráulico.*

**OBJETIVO.** Determinar el tiempo de fraguado inicial y final del cemento hidráulico mediante las agujas de Gillmore.

#### **EQUIPO.**

Aparato de Gillmore, Balanzas, Pesas, Probetas graduadas.

#### **TEMPERATURA Y HUMEDAD.**

Observa las mismas condiciones de temperatura y humedad que con las agujas de Vicat.

#### **PREPARACIÓN DE LA PASTA DE CEMENTO.**

Siguiendo el procedimiento descrito en la preparación de mezcla para la consistencia normal mezcle 650g del cemento con el agua necesaria para su consistencia normal.

#### **MOLDEADO DEL ESPÉCIMEN.**

Con la pasta de cemento preparada y sobre una placa de vidrio cuadrada, plana y limpia de aproximadamente 4" por lado, hágase una pastilla de poco más o menos 7.5 centímetros de diámetro y 1.3 centímetros de espesor en la parte central, disminuyendo hacia los bordes. Para moldearla aplánese primero la pasta de cemento sobre el vidrio y forme después moviendo la cuchara desde los bordes hacia el centro, aplanado a continuación la parte central superior, se coloca la pastilla en el cuarto húmedo y se deja ahí, salvo cuando vaya efectuarse determinaciones del tiempo de fraguado.

#### **DETERMINACIÓN DE LOS TIEMPOS DE FRAGUADO.**

Al determinar el tiempo de fraguado manténgase las agujas en posición vertical y póngase en contacto ligeramente con la superficie de la pastilla, considere que el cemento ha alcanzado su fraguado inicial cuando soporte a las agujas de Gillmore inicial (la menos pesada), sin que marque huellas apreciables. Se considera que el cemento ha alcanzado su fraguado final cuando soporte la aguja de Gillmore Final (la más pesada), sin que marque huella apreciable.

## RECOMENDACIONES.

El tiempo de fraguado se afecta no solo por el porcentaje y temperatura del agua empleada, y cantidad de amasado que haya recibido la pasta, sino también por la temperatura y humedad, entonces su determinación es solo aproximada.

NOTA: Se realizaron 2 pruebas de tiempo de fraguado, una se realizó solo con el cemento, y la otra contenía cemento con geopolímero orgánico, la cantidad de la fibra de cactus era el 2% en relación con el peso del cemento.

## RESULTADOS.

### Cemento normal

**FRAGUADO INICIAL: 3 horas y 44 min.**

**FRAGUADO FINAL: 8 horas y 2 min.**

### Cemento normal adicionado

**FRAGUADO INICIAL: 4 horas y 32 min.**

**FRAGUADO FINAL: 9 horas y 12 min.**

### *5.3.3 Densidad del cemento hidráulico*

La presente prueba está referida a la norma NMX-C-152-ONNCCE-2010 [29].

**OBJETIVO.** Conocer el método de ensayo bajo el cual se efectúa la determinación de la densidad del cemento hidráulico. Su utilidad práctica es para el proporcionamiento del concreto.

Para efectos de esta práctica, se entiende por densidad del cemento hidráulico, la relación de la masa del cemento en gramos, entre el volumen en milímetros que desplaza al introducirse en un líquido, con el cual no se efectuó reacción química alguna.

## MATERIAL.

Una muestra representativa del cemento tal y como se recibe a menos de indicaciones especiales, como calcular la densidad en una muestra exenta de pérdida por calcinación, primero en este caso debe calcinarse como se describe en las normas DGN C131 y ASTM C114.

## EQUIPO.

Frasco de Le Chatelier, Balanza con aproximación a los 0.1 gramos, Reactivo: Keroseno libre de agua, o nafta con una gravedad específica mayor de 0.73 g/ml a 23°C  $\pm$ 2°C o petróleo, Un recipiente con agua, Un termómetro, Embudo de cristal.

### PROCEDIMIENTO:

1. Se vierte el líquido (reactivo) en el frasco de LeChatelier hasta un nivel entre 0 y 1 ml, como quedará líquido adherido en las paredes del frasco además de burbujas de aire, se gira sobre un círculo horizontal sumergiendo la parte inferior del frasco en un baño de agua a la temperatura del laboratorio con la finalidad que se establezca un nivel del líquido.  
Debe tenerse la precaución de que la temperatura del baño sea constante durante el ensayo. La variación de temperatura no debe ser mayor a 0.2°C al momento de tomar la lectura inicial y final.
2. Se toma la lectura del líquido en la parte inferior del menisco y se anota como lectura inicial del reactivo  $L_i$
3. Se pesan 60 gramos aproximadamente de cemento hidráulico, con la finalidad que al verterlo en el frasco el líquido alcance a sobre pasar a lecturas superiores a la esfera intermedia.
4. Se sujeta el frasco en forma vertical, se agrega el cemento muy lentamente de manera que el cemento vaya pasando al interior sin obstruirse.
5. Se coloca el tapón del frasco se inclina y rueda horizontalmente de manera de lograr que salga el aire atrapado en el cemento y baje el que haya quedado en las paredes.
6. Se repite el paso N° 2 para lograr que se establezca nuevamente el nivel del líquido hasta lograr que sea repetidamente la misma lectura.
7. Se toma la lectura de la parte inferior del menisco tomando como la lectura final registrándola como  $L_f$ .

### CÁLCULO.

$$\text{Densidad} = \frac{\text{masa del cemento hidraulico, g}}{\text{volumen del líquido desplazado, ml}} = \frac{60 \text{ g aprox.}}{L_f - L_i}$$

### Dónde:

Densidad = densidad del cemento en g/ml, g/cm<sup>3</sup>.

M = masa del cemento hidráulico, 60 gramos aproximadamente.

V = volumen del líquido desplazado en ml.

### PRECISIÓN.

Las pruebas se efectuarán por duplicado para no tener errores de más de 0.01 gr/ml.





FIGURA 5.3.4.1 Determinación de la Densidad del cemento (Fuente J. A. Guzmán Torres)

Para obtener la densidad del cemento se realizaron pruebas al quintuplicado del material, y los resultados se muestran en la siguiente tabla:

<b>DENSIDAD</b>					
	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	MUESTRA 4	MUESTRA 5
MASA DEL CEMENTO (P) g	64	64	64	64	64
LECTURA INICIAL (Li) cm <sup>3</sup>	0.7	0.7	0.8	0.72	0.8
TEMPERATURA DEL LIQUIDO °C	19	19	19	19	19
LECTURA FINAL (Lf) cm <sup>3</sup>	21.3	21.35	21.39	21.3	21.4
VOLUMEN DEL CEMENTO (Lf-Li) cm <sup>3</sup>	20.6	20.65	20.59	20.58	20.6
DENSIDAD [(P)/(Lf-Li)] g/cm <sup>3</sup>	3.11	3.10	3.11	3.11	3.11
<b>PROMEDIO</b>	<b>3.11 g/cm<sup>3</sup></b>				

Tabla 20 Resultados de la densidad del cemento

**LA DENSIDAD DEL CEMENTO ES DE 3.11 g/cm<sup>3</sup>**  
**EL CEMENTO UTILIZADO FUE UN CEMENTO HOLCIM APASCO CPC**  
**40 R**

## CAPITULO 6. DISEÑO DE MEZCLAS

---

### 6.1 Dosificación del concreto

La dosificación de los materiales para el concreto debe establecerse para lograr:

(a) Trabajabilidad y consistencia que permitan colocar fácilmente el concreto dentro del encofrado y alrededor del refuerzo bajo las condiciones de colocación que vayan a emplearse, sin segregación ni exudación excesiva.

(b) Resistencia a exposiciones especiales.

(c) Conformidad con los requisitos del ensayo de resistencia.

La relación agua/material cementante seleccionada debe ser lo suficientemente baja, o la resistencia a la compresión lo suficientemente alta, en el caso de concreto liviano, como para satisfacer tanto los criterios de resistencia como los requisitos para exposición especial o durabilidad. El reglamento no incluye disposiciones sobre condiciones de exposición especialmente severas, tales como la exposición a ácidos o altas temperaturas, ni sobre consideraciones estéticas, tales como acabado de superficies.

Estos puntos están fuera del alcance del reglamento y deben estar específicamente cubiertos en las especificaciones del proyecto. Los componentes y la dosificación del concreto deben seleccionarse de manera que puedan cumplir con los requisitos mínimos establecidos por el reglamento y con los requisitos adicionales de los documentos contractuales.

#### Método ACI (American Concrete Institute)

Las recomendaciones para la dosificación del concreto se dan en detalle en “**Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavy Weight, and Mass Concrete**” (ACI 211.1).<sup>5.1</sup> (Esta recomendación práctica proporciona dos métodos para seleccionar y ajustar la dosificación de un concreto de peso normal; el método del peso estimado y el del volumen absoluto.

Las recomendaciones para concreto liviano se proporcionan en “**Standard Practice for Selecting Proportions for Structural Lightweight Concrete**” (ACI 211.2). (En esta recomendación se describe un método para dosificar y ajustar el concreto estructural que contiene agregados livianos).

El reglamento hace hincapié en el empleo de la experiencia de obra o de mezclas de prueba de laboratorio como el método preferido para seleccionar la dosificación del concreto.[10]

Existen diversos métodos para el diseño de mezclas, como lo son el método del American Concrete Institute (ACI), el método de las Curvas de Abrams, por mencionar algunos.

Esta investigación se basó en el método del American Concrete Institute (ACI) para el diseño de mezclas, debido a que es un método amigable con las pruebas a realizarse, y su sistema de cálculo es confiable, cabe mencionar que la elección del método de diseño de mezclas a utilizar es cuestión también de gustos.

El método del ACI es un método de diseño de mezclas de concreto normal que se basa en las propiedades físicas de los materiales como lo son: la Densidad, Masa Volumétrica Seca y Suelta, Mas Volumétrica Seca y Varillada, % de Absorción, % de Humedad Actual, Módulo de finura, y Tamaño Máximo del agregado, estas propiedades las usa para obtener la cantidad necesaria del concreto por unidad de volumen para un concreto de peso normal. Este procedimiento tiene en consideración los requisitos para la facilidad de colocación, la coherencia, fuerza y durabilidad.

### 6.1.1 Condiciones generales del proyecto

En este método se utiliza el método del volumen absoluto, que es generalmente aceptado y es más conveniente para el concreto de peso pesado. El método de volúmenes absolutos se utiliza debido a su general aceptación.

El cálculo de las cantidades de material se realizó para cilindros de 10 cm de diámetro y 20 cm de altura respetando la relación ancho-espesor 1:2, con una mezcla sin aire incluido. Con un revenimiento de proyecto de 8 cm y un  $f'c$  de proyecto de 350 Kg/cm<sup>2</sup>. Además también se elaboraron especímenes prismáticos de un área de 15 cm x 15 cm y con una longitud de 60 cm, con un revenimiento de proyecto de 8 cm y un  $f'c$  de proyecto de 350 kgf/cm<sup>2</sup>. Se manejan 2 relaciones agua/cemento, la primera relación agua/cemento es de .42 para la mezcla del grupo control y la segunda relación agua/cemento es para la mezcla 2 y 3, las cuales constan de un concreto con un fluidificante y con un concreto con fluidificante y geopolímero orgánico natural respectivamente.

### 6.1.2 Metodología del diseño de mezclas

- 1.- Elección del Revenimiento y Tamaño Máximo del agregado.
- 2.- Cálculo del Agua de mezclado y el Contenido del Aire.
- 3.- Selección de la relación Agua/Cemento.
- 4.- Cálculo del contenido de Cemento.

$$\text{Cantidad de Cemento en peso} = \frac{\text{Cantidad de agua en Kg.}}{\text{Relación Agua/Cemento}}$$

- 5.- Estimación del contenido del Agregado Grueso.
- 6.- Estimación del contenido de Agregado Fino

#### Método del Volumen absoluto

Cálculo de la masa de la grava =  $(Cantidad\ de\ grava) * (M.V.S.V.)$

Cálculo de la masa del cemento =  $\frac{(Masa\ del\ agua)}{(Relación\ A/C)}$

Cálculo del Volumen de la grava =  $\frac{\left[ \frac{Masa\ de\ la\ grava}{Densidad\ de\ la\ grava} \right]}{1000}$

Cálculo del Volumen del cemento =  $\frac{\left[ \frac{Masa\ del\ cemento}{Densidad\ del\ cemento} \right]}{1000}$

Cálculo del Volumen del agua =  $\frac{\left[ \frac{Masa\ del\ Agua}{Densidad\ del\ Agua} \right]}{1000}$

Calculo del Volumen del aire =  $\left[ \frac{\% de\ Aire\ incluido}{100} \right]$

Una vez obtenidos estos valores se realiza una suma de volúmenes con excepción del volumen de la arena (Sv-a), ya que es el volumen que queremos encontrar.

$(Sv-a) = (Volumen\ de\ la\ grava) + (Volumen\ del\ Cemento) + (Volumen\ del\ Agua)$

Cálculo del Volumen de la Arena =  $1 - (Sv - a)$

Una vez que se obtiene el volumen de la arena se calcula la masa de la arena para  $1\ m^3$ .

Cálculo de la masa de la Arena =  $(Densidad\ de\ la\ arena) * (Volumen\ de\ la\ arena)$

#### 7.- Ajustes ó Correcciones por Humedad del Agregado.

Una vez que ya se tiene calculada la cantidad de material necesario para  $1\ m^3$  de mezcla se realizan las correcciones por humedad del agregado, esta corrección consiste en restar el % de la Humedad actual menos el % de Absorción del material (% H. ACTUAL - % ABS.).

Corrección por Humedad de la Grava en masa

$$(Masa\ de\ la\ grava) + \left[ \left( \frac{\% H. ACTUAL}{100} \right) * (Peso\ de\ la\ grava) \right]$$

Corrección por Humedad de la Arena en masa

$$(Masa\ de\ la\ arena) + \left[ \left( \frac{\% H. ACTUAL}{100} \right) * (Peso\ de\ la\ arena) \right]$$

Corrección de la cantidad de Agua en base a la diferencia de los % de Humedad y de Absorción.

Si el % de ABS. Es mayor al % de HUMEDAD, en la grava se suma la diferencia del % de grava, y si el % de ABS, es mayor al % de HUMEDAD en la arena también se suma la Diferencia del % de la Arena.

Caso contrario si el % de ABS. Es menor al % de HUMEDAD en la grava se resta la diferencia del % de grava, y si el % de ABS. Es menor al % de HUMEDAD en la arena también se resta la Diferencia del % de la Arena.

### 6.1.3 Dosificación del concreto empleado

#### 3.1.1 Cálculo.

##### 1.- Elección del Revenimiento y Tamaño Máximo del agregado.

Se eligió un revenimiento de **8 cm** ya que se trata de un concreto de alto desempeño, el cual debe estar mejorado en ciertas características y un revenimiento bajo, nos indica una relación agua-cemento baja lo cual puede mejorar las características físicas, estáticas y dinámicas del concreto. El tamaño máximo del agregado es de  $\frac{3}{4}$ ", debido a que los moldes cilíndricos que fueron utilizados para elaborar los especímenes eran de 10 cm de diámetro y 20 cm de altura, y para estas dimensiones el tamaño máximo del agregado que más se adecúa es  $\frac{3}{4}$ ", además de que los resultados del análisis granulométrico en las gravas se observó que es la dimensión correcta a utilizar.

A continuación se muestra una de las recomendaciones del porque se eligió el T.máx. del agregado de  $\frac{3}{4}$ "

- En ningún caso el Tamaño Máximo debe exceder  $\frac{1}{5}$  de la menor dimensión entre los costados del molde.

Por lo tanto:

Si el molde es de 10 cm de diámetro

Una quinta parte de la distancia de los costados es:  $\frac{10}{5} = 2 \text{ cm.}$

Entonces la distancia entre los costados es de 2 cm. y el tamaño más cercano a esta medida es el de  $\frac{3}{4}$ " ó 1.905 cm.

Tamaño del Agregado en Plg.	Tamaño del Agregado en cm.
$\frac{3}{8}$ "	.9525
$\frac{1}{2}$ "	1.27
<b><math>\frac{3}{4}</math>"</b>	<b>1.905</b>
1"	2.54

Tabla 21 Elección del t. max. del agregado.



## 2.- Cálculo del Agua de mezclado y el Contenido del Aire.

Debido a que la mezcla es de concreto sin aire incluido y el Revenimiento es de 8 cm se elige un valor de 205 kg de agua por metro cubico de concreto, según ACI-318-05.

**LA CANTIDAD DE AGUA NECESARIA ES DE 205 Kg. Y EL % DE AIRE INCLUIDO ES DEL 2%.**

## 3.- Selección de la relación Agua/Cemento.

El  $f'c$  de proyecto es de 350 Kgf/cm<sup>2</sup>, (34.32 MPa), pero el artículo 308 del reglamento de construcción de Michoacán marca que debemos tener un  $f'c$  de diseño llamado  $fcr$ , este  $fcr$  consiste en sumar al  $f'c$  de proyecto la desviación estándar de la resistencia del concreto, para esto debemos definir que procedimiento de fabricación se usará para poder elegir un valor "c", en este caso se elige un  $c= 35$  debido a que se usara un mezclado mecánico, proporcionamiento, corrección por humedad y absorción de los agregados de una misma fuente y de calidad controlada,

**EL  $fcr$  DE DISEÑO ES DE 403.2 Kgf/cm<sup>2</sup> (39.54 MPa)**

Una vez que se obtiene el valor de  $fcr$  se procede a calcular la Relación Agua/Cemento por peso, en base a que nuestro  $fcr=403.2$  Kgf/cm<sup>2</sup>, y esta resistencia no está especificada, por lo que no hay un lineamiento oficial para poder definir una relación agua-cemento baja, y lo que existe en la literatura actual son recomendaciones por lo tanto se propone una relación agua-cemento de 0.35 para tener un concreto con las mejores características posibles recordando que nuestra mezcla es SIN AIRE INCLUIDO.

**LA RELACIÓN A/C ES DE 0.35 PARA 1 m<sup>3</sup>.**

## 4.- Cálculo del contenido de Cemento.

$$\text{Cantidad de Cemento en peso} = \frac{\text{Cantidad de agua en Kg.}}{\text{Relación Agua/Cemento}}$$

Y nuestras cantidades eran de:

Cantidad de agua= 205 Kg

Relación Agua/Cemento= .35

$$\text{Por lo tanto: } \text{Cantidad de Cemento en masa} = \frac{205}{.35}$$
$$\text{Cantidad de Cemento en masa} = 585.714 \text{ Kg.}$$

**LA CANTIDAD DE CEMENTO EN PESO ES 585.714 Kg PARA 1 m<sup>3</sup>**

## 5.- Estimación del contenido del Agregado Grueso.

Una vez que se obtiene la cantidad de cemento, estimamos el contenido de Agregado grueso en base al módulo de finura que contiene el material, para determinar este módulo de finura se realiza el análisis granulométrico a los agregados pétreos, una vez realizado el análisis para el agregado fino se obtuvo que el módulo de finura sea de **2.957**

### **EL VOLUMEN DEL AGREGADO GRUESO ES DEL 60.43 % PARA 1 m<sup>3</sup>.**

#### **6.- Estimación del contenido de Agregado Fino.**

Para realizar el cálculo del contenido de Agregado Fino debe contarse con la caracterización de los agregados a utilizar, estos datos se obtuvieron del laboratorio en un ambiente controlado.

Para la estimación del contenido de Agregado fino se utilizó el método del Volumen absoluto, el cual se describe a continuación:

- Cálculo de masa de la grava =  $(\text{Cantidad de grava}) * (M.V.S.V.)$   
 $(.6043) * (1510) = \mathbf{912.493 Kg.}$

Masa de la grava = **912.493 Kg.**

- Cálculo de masa del cemento =  $\frac{(\text{Masa del agua})}{(\text{Relación A/C})} =$   
 $\frac{205}{.35} = \mathbf{585.714 Kg.}$

Masa del cemento = **585.714 Kg.**

Masa del agua = **205 Kg.** “se calculó en el paso 2”.

Las densidades se obtuvieron de la caracterización de los materiales

$$\text{“Cálculo del Volumen de la grava} = \frac{[\text{Masa de la grava}]}{[\text{Densidad de la grava}]} =$$
$$\frac{[912.493]}{2.8} / 1000 = \mathbf{0.3258 m^3}$$

Volumen de la grava = **0.3258 m<sup>3</sup>**

- Cálculo del Volumen del cemento =  $\frac{[\text{Masa del cemento}]}{[\text{Densidad del cemento}]} =$   
 $\frac{[585.714]}{3.1} / 1000 = \mathbf{0.1889 m^3}$

Volumen del Cemento = **0.1889 m<sup>3</sup>**

- Cálculo del Volumen del agua =  $\frac{[\text{Masa del Agua}]}{[\text{Densidad del Agua}]} =$   
 $\frac{[205]}{1.0} / 1000 = \mathbf{0.205 m^3}$

$$\left[\frac{205}{1}\right]/1000 = \mathbf{0.205\ m^3}$$

Volumen del Agua= **0.205 m<sup>3</sup>**

➤ Cálculo del Volumen del aire =  $\left[\frac{\% \text{ de Aire incluido}}{100}\right] =$

$$\left[\frac{2}{100}\right] = \mathbf{0.020\ cm^3}$$

Volumen del Aire= **0.020 cm<sup>3</sup>**

Una vez obtenidos estos valores se realiza una suma de volúmenes con excepción del volumen de la arena (Sv-a), ya que es el volumen que queremos encontrar.

$$(Sv-a) = (\text{Volumen de la grava} = \mathbf{0.3258\ m^3}) + (\text{Volumen del Cemento} = \mathbf{0.1889\ m^3}) + (\text{Volumen del Agua} = \mathbf{0.205\ m^3})$$

$$(Sv-a) = \mathbf{.7398\ m^3}$$

➤ Cálculo del Volumen de la Arena =  $1 - (Sv - a)$

$$1 - (.7398) = \mathbf{0.2601\ m^3}$$

Volumen de la Arena= **0.2601 m<sup>3</sup>**

Una vez que se obtiene el volumen de la arena se calcula la masa de la arena para 1 m<sup>3</sup>.

➤ Cálculo de masa de la Arena =  $(\text{Densidad de la arena}) * (\text{Volumen de la arena})$

$$(2.55) * (.2601) = \mathbf{663.4323\ Kg.}$$

Masa de la arena = **663.4323 Kg**

## 7.- Ajustes ó Correcciones por Humedad del Agregado.

Una vez que ya se tiene calculada la cantidad de material necesario para 1m<sup>3</sup> de mezcla se realizan las correcciones por humedad del agregado, esta corrección consiste en restar el % de la Humedad actual menos el % de Absorción del material (% H.ACTUAL - % ABS.).

El % de H.ACTUAL y el % de ABS. Son datos que se obtuvieron de las pruebas realizadas al Agregado Pétreo “capítulo 4”.

➤ Corrección por Humedad de la Grava en masa

$$(\text{Masa de la grava}) + \left[\left(\frac{\% \text{ H. ACTUAL}}{100}\right) * (\text{Masa de la grava})\right]$$

$$(912.493) + \left[ \left( \frac{1.82}{100} \right) * (912.493) \right] = \mathbf{929.1003 Kg.}$$

Masa de la Grava corregida por Humedad = **929.1003 Kg.**

- Corrección por Humedad de la Arena en masa

$$(Masa\ de\ la\ arena) + \left[ \left( \frac{\% H. ACTUAL}{100} \right) * (Masa\ de\ la\ arena) \right]$$

$$(663.4323) + \left[ \left( \frac{1.17}{100} \right) * (671.3997) \right] = \mathbf{663.4323 Kg.}$$

Masa de la Arena corregida por Humedad = **663.4323 Kg.**

- Al cemento no se le hace corrección por Humedad
- Corrección de la cantidad de Agua en base a la diferencia de los % de Humedad y de Absorción.

Si el % de ABS. Es mayor al % de HUMEDAD, en la grava se suma la diferencia del % de grava, y si el % de ABS, es mayor al % de HUMEDAD en la arena también se suma la Diferencia del % de la Arena.

Caso contrario si el % de ABS. Es menor al % de HUMEDAD en la grava se resta la diferencia del % de grava, y si el % de ABS. Es menor al % de HUMEDAD en la arena también se resta la Diferencia del % de la Arena.

Para nuestro caso el % de ABS. Es mayor que el % de HUMEDAD en gravas y arenas, por lo tanto en ambos casos se suma.

$$Cantidad\ de\ Agua\ Corregida = (Cantidad\ de\ Agua) + (Diferencia\ del\ \%\ de\ Grava) + (Diferencia\ del\ \%\ de\ Arena)$$

Dónde:

$$Diferencia\ del\ \%\ de\ Grava = (Masa\ de\ la\ grava) * \left( \frac{Factor\ de\ Corrección\ de\ la\ Grava}{100} \right)$$

$$Diferencia\ del\ \%\ de\ Arena = (Masa\ de\ la\ Arena) * \left( \frac{Factor\ de\ Corrección\ de\ la\ Arena}{100} \right)$$

$$Factor\ de\ Corrección\ de\ la\ Grava = (\% H. ACTUAL - \% ABSORCIÓN)$$

$$Factor\ de\ Corrección\ de\ la\ Arena = (\% H. ACTUAL - \% ABSORCIÓN)$$

Realizando operaciones:

$$Factor\ de\ Corrección\ de\ la\ Grava = (1.82 - 3.4)$$

$$= \mathbf{-1.58 \%}$$
 "solo se toma el valor absoluto del resultado"

$$Diferencia\ del\ \%\ de\ Grava = (912.493\ kg.) * \left( \frac{1.58}{100} \right) = \mathbf{14.4173 Kg.}$$

$$Diferencia\ del\ \%\ de\ Grava = \mathbf{14.4173 Kg.}$$

$$\text{Factor de Corrección de la Arena} = (\% H. \text{ACTUAL} - \% \text{ABSORCIÓN})$$

$$\begin{aligned} \text{Factor de Corrección de la Arena} &= (2.71 - .19) \\ &= -2.52 \% \text{ "solo se toma el valor absoluto del resultado"} \end{aligned}$$

$$\text{Diferencia del \% de Arena} = (663.4323 \text{ kg.}) * \left(\frac{2.05}{100}\right) = 16.7184 \text{ Kg.}$$

$$\text{Diferencia del \% de Arena} = 16.7184 \text{ Kg.}$$

Recordando que:

$$\begin{aligned} \text{Cantidad de Agua Corregida} &= \\ &(\text{Cantidad de Agua}) + (\text{Diferencia del \% de Grava}) + (\text{Diferencia del \% de Arena}) \end{aligned}$$

$$\text{Cantidad de Agua Corregida} =$$

$$(205 \text{ Kg.}) + (14.4173 \text{ Kg}) + (16.7184 \text{ Kg}) = 236.1358 \text{ Kg.}$$

De esta forma se obtiene la cantidad necesaria para un  $1\text{m}^3$  de mezcla.

**8.-** Cálculo de la cantidad de material necesario para los especímenes que se van a realizar.

Una vez que ya se corrigieron las cantidades de material por humedad se procede a realizar el cálculo de la cantidad para un volumen determinado, esta cantidad se busca en peso.

Para nuestro caso se tiene un volumen de **1570.7963  $\text{cm}^3$** , que es el volumen de un cilindro de dimensiones de 10 cm de diámetro por 20 cm de altura. Este volumen se multiplica por el No. de cilindros a colar, en este caso son 35.

$$(1570.7963) * (35) = 54977.8705 \text{ cm}^3$$

A esta cantidad se le agrega el factor de desperdicio que en este caso es el 10%.

$$(54977.8705) * (1.1) = 60475.65755 \text{ cm}^3$$

➤ Masa total de la grava.

Esta cantidad es el volumen que se necesita, pero lo que se ocupa es la masa entonces se multiplica este volumen por la cantidad en masa

$$(60475.65755) * (929.1003) = 56187951.572402265 \text{ cm}^3 * \text{Kg.}$$

$$\frac{56187951.572402265}{1000000} = 56.1879 \text{ Kg.}$$

MASA TOTAL DE LA GRAVA ES DE **56.1879 Kg.**

➤ Masa total de la Arena.



$$(60475.65755) * (664.6928) = 40197734.14875064 \text{ cm}^3 * \text{Kg.}$$

$$\frac{40197734.14875064}{1000000} = \mathbf{40.1977 \text{ Kg.}}$$

MASA TOTAL DE LA ARENA ES DE **40.1977 Kg.**

➤ Masa total del Cemento.

$$(60475.65755) * (585.714) = 35421439.2862407 \text{ cm}^3 * \text{Kg.}$$

$$\frac{35421439.2862407}{1000000} = \mathbf{35.4214 \text{ Kg.}}$$

MASA TOTAL DEL CEMENTO ES DE **35.4214 Kg.**

➤ Masa total del Agua.

$$(60475.65755) * (236.1358) = 14280467.77609529 \text{ cm}^3 * \text{Kg.}$$

$$\frac{14280467.77609529}{1000000} = \mathbf{14.2804 \text{ Kg.}}$$

MASA TOTAL DEL AGUA ES DE **14.2804 Kg.**

#### 6.1.4 Dosificación de concreto a través de un software

A continuación se ilustra de manera detallada y explicada el procedimiento para realizar el cálculo de las cantidades de material necesarias para 1 m<sup>3</sup> de mezcla, posteriormente se realiza para el volumen necesario, todo esto con la ayuda de una hoja de cálculo de Microsoft Excel que fue programada para realizar los cálculos pertinentes en la dosificación y optimizara tiempos y desgaste físico para variar algunos datos durante el proporcionamiento, recordando que debemos ser ingenieros competitivos que sean capaces de elaborar herramientas para optimizar procesos que nos den un mayor confort a la hora de realizar algún trabajo solicitado.



FIGURA 6.1.4.1 Página de Inicio. Hoja de cálculo de Microsoft Excel (Fuente J. A. Guzmán Torres)

Se muestran las instrucciones que se deben seguir para realizar el  
Proporcionamiento

**INSTRUCCIONES:**

\*LAS CELDAS DEL SIGUIENTE COLOR ES DONDE PONES VALORES Y SON LAS UNICAS QUE MODIFICAS, LAS TABLAS Y LO DEMAS NO SE LES HACE NADA, NI SE LE MODIFICA NADA

**DATOS**

\*LAS CELDAS DEL SIGUIENTE COLOR SON LAS CELDAS DE LOS RESULTADOSII, ESAS POR NINGUN MOTIVO SE MODIFICAN O SE CAMBIAN, YA QUE TIENEN FORMULAS.

**RESULTADO**

\*LOS SIGUIENTES CIRCULOS SON LOS PASOS, ESTOS TE INDICAN QUE MODIFICAS PRIMERO Y QUE MODIFICAS DESPUES, ESTOS VAN EN ORDEN DEL 1 EN ADELANTE.

1      2

FIGURA 6.1.4.2 Instrucciones. Hoja de Calculo de Microsoft Excel (Fuente J. A. Guzmán Torres)

1.- Elección del Revenimiento y Tamaño Máximo del agregado.

REVENIMIENTO      8      1

T. MAX      3/4      2

TIPOS DE CONSTRUCCIÓN	REVENIMIENTOS RECOMENDADOS PARA DIVERSOS TIPOS DE CONSTRUCCION		
	REVENIMIENTO EN CENTIMETROS		
	Máximo*	Mínimo	Tolerancias
Vigas y muros reforzados	10	2.5	± 3.5
Columnas para edificios	10	2.5	± 3.5
Pavimentos y losas	8	2.5	± 2.5
Concreto masivo	5	2.5	± 2.5

NOTA:  
REVENIMIENTO  
MAYOR DE 10  
cm ES DE ± 3.5

\*Puede incrementarse en 2.5 cm. Cuando los métodos de comparación no sean mediante

**REGLAS GENERALES**

\*EN NINGUN CASO EL TAMAÑO MAXIMO DEBE DE EXCEDER 1/5 DE LA MENOR DIMENSION ENTRE LOS COSTADOS DE LA CIMBRA

\*TAMPOCO DEBE DE EXCEDER 1/3 DEL ESPESOR DE LAS LOSAS

\*NI DEBE PASAR 3/4 DEL ESPACIO LIBRE MINIMO ENTRE VARILLAS DE REFUERZO

FIGURA 6.1.4.3 Elección del revenimiento y el T. máx (Fuente J. A. Guzmán Torres)

2.- Cálculo del Agua de mezclado y el Contenido del Aire.

Debido a que la mezcla es de concreto sin aire incluido y el Revenimiento es de 1 cm entra con este valor y donde se cruce con el valor del T.Max. Del agregado que es de  $\frac{3}{4}$ " , ese será el valor para la cantidad de agua para 1 m<sup>3</sup>.

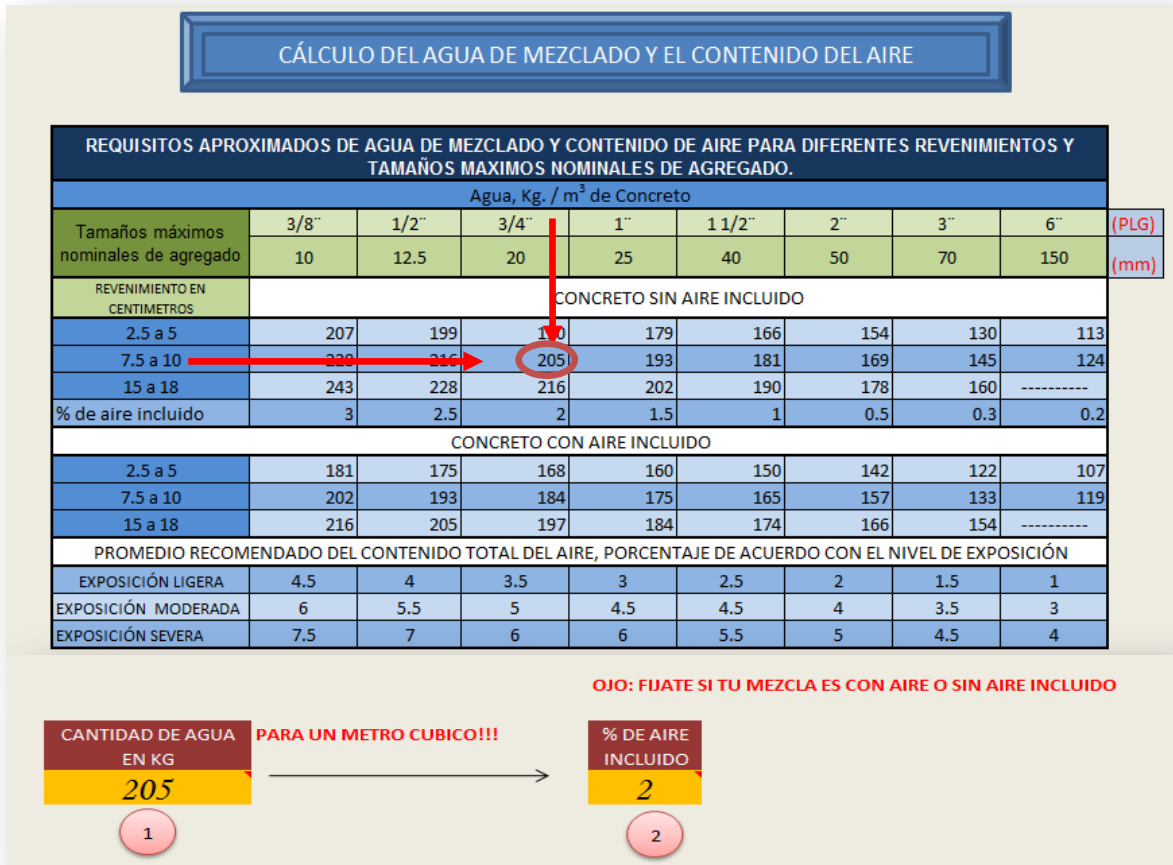


FIGURA 6.1.4.4 Cálculo de la cantidad de agua de mezclado (Fuente J. A. Guzmán Torres)

**LA CANTIDAD DE AGUA NECESARIA ES DE 205 Kg. Y EL % DE AIRE INCLUIDO ES DEL 2%.**

**EL fcr DE DISEÑO ES DE 403.2 Kg/cm<sup>2</sup>**

Una vez que se obtiene el valor de fcr se procede a calcular la Relación Agua/Cemento por peso la cual se propone de **0.35**

**LA RELACIÓN A/C ES DE 0.35 PARA 1 m<sup>3</sup>.**

#### 4.- Cálculo del contenido de Cemento.



FIGURA 6.1.4.5 Cantidad de cemento en peso (Fuente J. A. Guzmán Torres)

**LA CANTIDAD DE CEMENTO EN PESO ES 585.714286 Kg PARA 1 m<sup>3</sup>**

#### 5.- Estimación del contenido del Agregado Grueso.

El valor de 2.95 no está en la tabla por lo tanto se hará una interpolación lineal para obtener el volumen de agregado grueso.

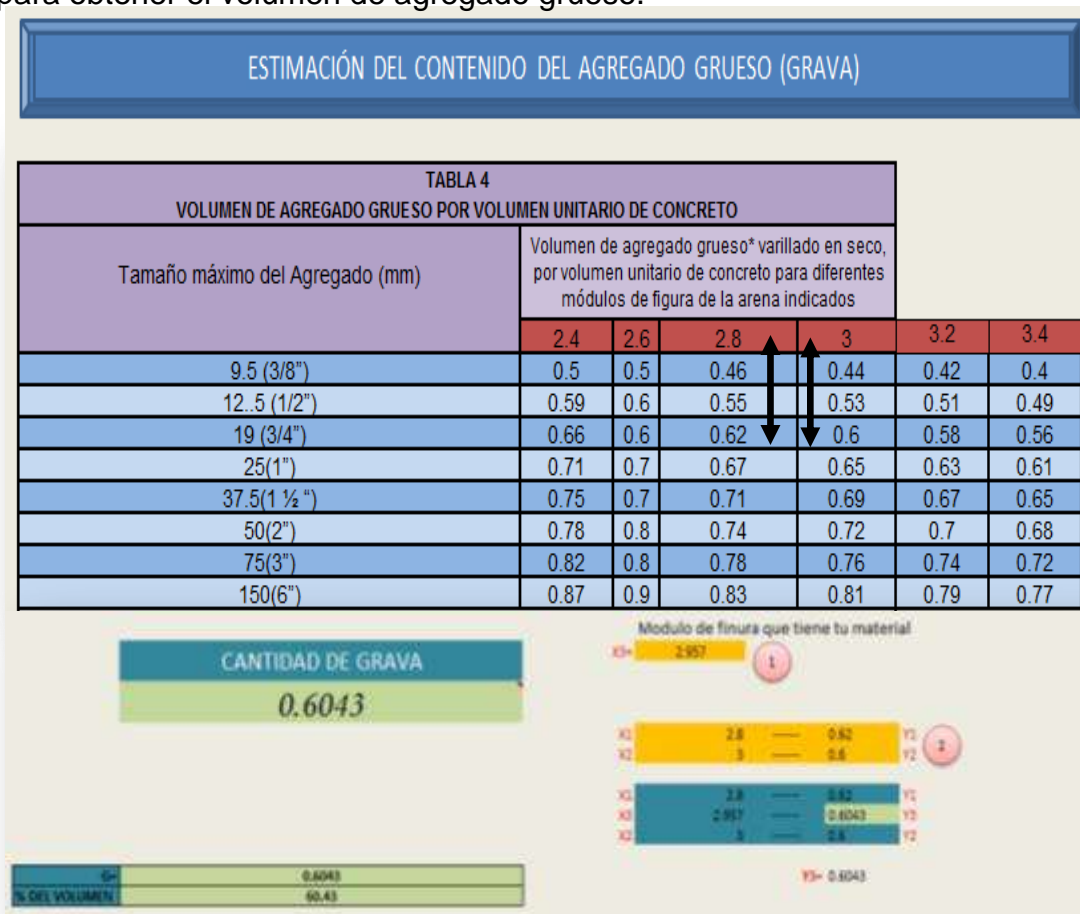


FIGURA 6.1.4.6 Contenido del agregado grueso (Fuente J. A. Guzmán Torres)

**EL CONTENIDO DEL AGREGADO GRUESO ES DEL 60.43 % PARA 1 m<sup>3</sup>.**

**6.- Estimación del contenido de Agregado Fino.**

MATERIAL	M.V.S.S. (kg/m <sup>3</sup> )	M.V.S.V. (kg/m <sup>3</sup> )	DENSIDAD g/cm <sup>3</sup>	% ABSORCIÓN	% HUM. ACT.	M.F.	T. MAX
GRAVA	1390	1530	2.8	1.4	1.82	—	3/4
ARENA	1290	1420	2.55	2.71	0.19	2.957	—
CEMENTO	1490	—	3.1	—	—	—	—
AGUA	1000	—	1	—	—	—	—
AIRE	—	—	—	—	—	—	—

FIGURA 6.1.4.7 Resultados de las pruebas a los materiales (Fuente J. A. Guzmán Torres)

**ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE AGREGADO FINO**

METODO DEL VOLUMEN ABSOLUTO\*

MATERIALES	PESO (Kg.)	DENSIDAD	VOLUMEN (m <sup>3</sup> )
Grava	912.493	2.8	0.325890357
Arena	663.4323543	2.55	0.260169551
Cemento	585.7142857	3.1	0.188940092
Agua	205	1	0.205
Aire	-----	-----	0.0200
<b>SUMAS=</b>	<b>2366.63964</b>		<b>1</b>

SUMA DE VOLUMENES, EXCEPTO ARENA (Sv-a)  
CONTENIDO DE ARENA= 1 m<sup>3</sup> - (Sv-a)

(Sv-a)= 0.7398

OK NO HAY PROBLEMA

FIGURA 6.1.4.8 Contenido del agregado fino (Fuente J. A. Guzmán Torres)



### 7.- Ajustes ó Correcciones por Humedad del Agregado.

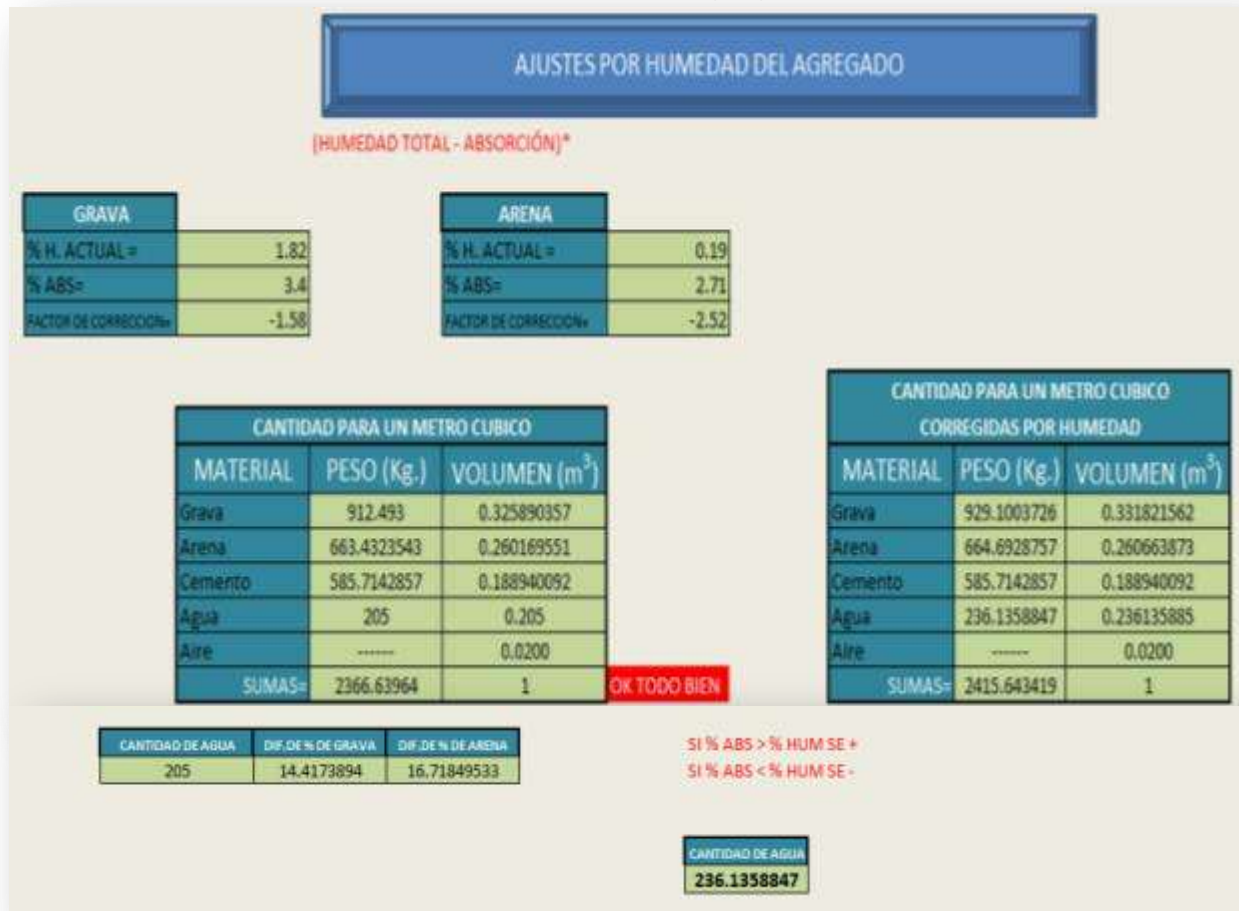


FIGURA 6.1.4.9 Corrección por humedad del agregado (Fuente J. A. Guzmán Torres)

De esta forma se obtiene la cantidad necesaria para un 1cm<sup>3</sup> de mezcla.

8.- Cálculo de la cantidad de material necesario para los especímenes que se van a realizar.



FIGURA 6.1.4.10 Resultados de la cantidad de material para 35 cilindros (Fuente J. A. Guzmán Torres)



FIGURA 6.1.4.11 Resultados de la cantidad de material para 9 vigas (Fuente J. A. Guzmán Torres)

## 6.1.5 Software de diseño de mezclas elaborado en un lenguaje de programación “Microsoft Visual Basic 6.0”

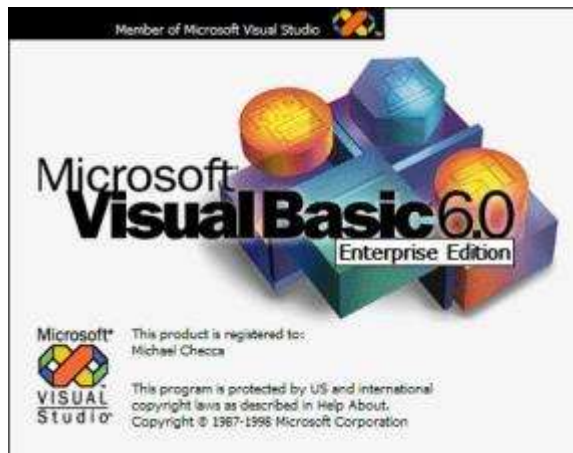


FIGURA 6.1.5.1 Microsoft Visual Basic 6.0 (Fuente J. A. Guzmán Torres)

Se elaboró un software para realizar los diseños de mezcla por el método del ACI, con la finalidad de proporcionar una herramienta más para el Ingeniero civil, interesado en usar este tipo de programas para optimizar los diseños de Mezcla, también puede ser utilizado como una herramienta computacional didáctica para las Universidades que cuenten con la carrera de Ingeniería Civil, ya que el diseño de mezcla de concreto hidráulico es una herramienta muy importante en la carrera de cualquier ingeniero civil. El software se desarrolló con la ayuda del programa Visual Basic el cual es un lenguaje de programación dirigido por eventos, desarrollado por Alan Cooper para Microsoft. Este lenguaje de programación es un dialecto de BASIC, con importantes agregados. Su primera versión fue presentada en 1991, con la intención de simplificar la programación utilizando un ambiente de desarrollo completamente gráfico que facilitara la creación de interfaces gráficas y, en cierta medida, también la programación misma.

La última versión fue la 6, liberada en 1998, para la que Microsoft extendió el soporte hasta marzo de 2008.

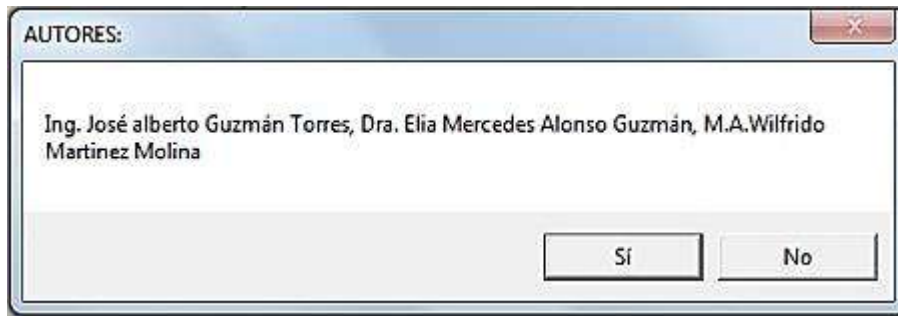
En 2001 Microsoft propuso abandonar el desarrollo basado en la API Win32 y pasar a un framework o marco común de librerías, independiente de la versión del sistema operativo, .NET Framework, a través de Visual Basic .NET (y otros lenguajes como C Sharp (C#) de fácil transición de código entre ellos); fue el sucesor de Visual Basic 6.

Aunque Visual Basic es de propósito general, también provee facilidades para el desarrollo de aplicaciones de bases de datos usando Data Access Objects, Remote Data Objects o ActiveX Data Objects. Visual Basic contiene un entorno de desarrollo integrado o IDE que integra editor de textos para edición del

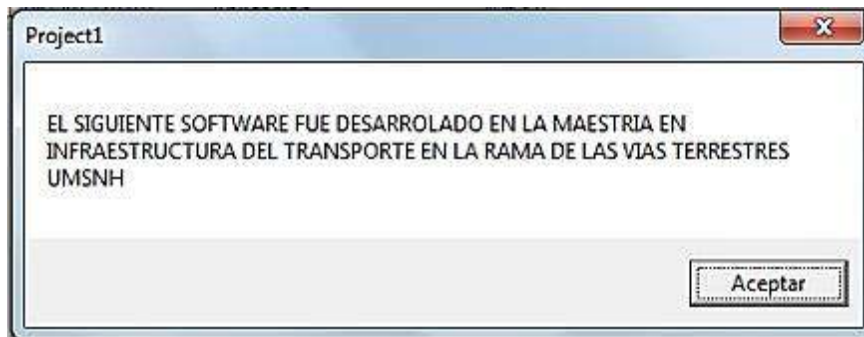
código fuente, un depurador, un compilador (y enlazador) y un editor de interfaces gráficas o GUI.

A continuación se mostrará de manera muy general el software desarrollado en Visual Basic, ya que el mostrar las sentencias de control, las cuales se encargan de hacer funcionar de manera adecuada cada uno de los objetos, sería algo engorroso ya que se debe contar con un conocimiento básico de programación y lenguaje C++.

Cuando se inicia el programa Aparece la ventana emergente en donde se muestran los Autores del Software, para dar a conocer las personas que participaron de manera importante en el desarrollo del programa.



*FIGURA 6.1.5.2 Ventana emergente de Autores (Fuente J. A. Guzmán Torres)*  
Seguida de esta ventana aparece una ventana la cual solo menciona el lugar en el que fue desarrollado el software



*FIGURA 6.1.5.3 Ventana emergente de Presentación del software (Fuente J. A. Guzmán Torres)*



A continuación se muestran las instrucciones para poder operar el software

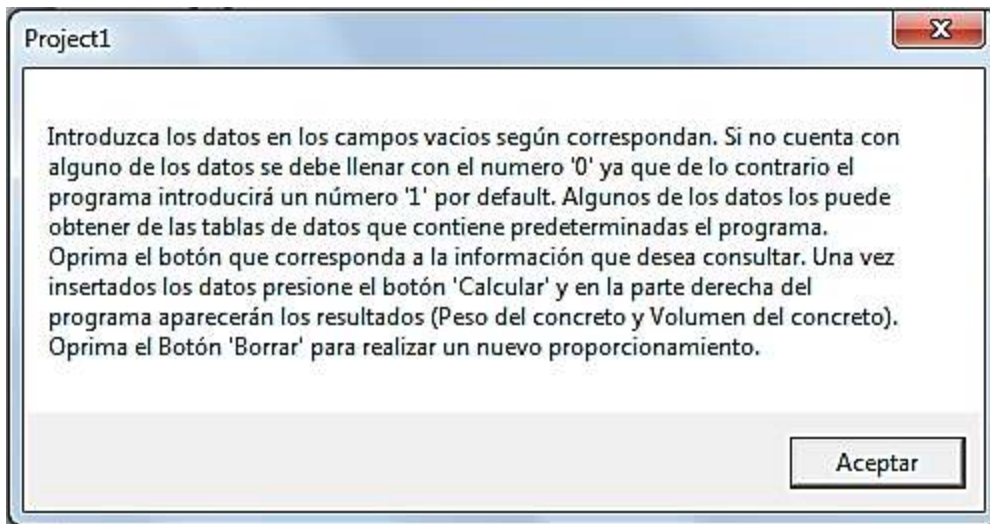


FIGURA 6.1.5.4 Ventana emergente de Instrucciones (Fuente J. A. Guzmán Torres)

Seguido de esto aparece la ventana que muestra el contenido del programa y su entorno.



FIGURA 6.1.5.5 Ventana del software (Fuente J. A. Guzmán Torres)

En la parte superior izquierda se introducen los valores de la caracterización de los agregados, esta parte es muy importante ya que de estos valores dependen los resultados que arrojará el programa, la caracterización de los agregados debe de realizarse bajo condiciones de laboratorio para obtener los mejores resultados posibles.

MATERIAL	MVSS (Kg/m <sup>3</sup> )	MVSV (Kg/m <sup>3</sup> )	DENSIDAD (g/cm <sup>3</sup> )	ABSORCIÓN (%)	% HUMEDAD ACTUAL	M.F	T.M (mm)
ARENA	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	-
GRAVA	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	-	<input type="text"/>
CEMENTO	<input type="text"/>	-	<input type="text"/>	-	-	-	-

FIGURA 6.1.5.6 Características físicas de los agregados (Fuente J. A. Guzmán Torres)

En la parte de la derecha solamente hay que introducir los valores de Revenimiento, Agua de Mezclado, Aire incluido,  $f'c$  de proyecto, la desviación estándar por el tipo de mezclado, Relación Agua/cemento y el volumen de agregado grueso. Es importante mencionar que este software es desarrollado particularmente para el estado de Michoacán ya que en el reglamento de construcción del estado en el artículo 108, se marca que debe de haber un valor "C", este valor corresponde a la desviación estándar, y está dado en base al tipo de mezclado que se va a realizar, así obtenemos un valor  $F'cr$  el cual sería la resistencia final del concreto. Este valor  $Fcr$  garantiza que el número de especímenes realizados van a cumplir en un 80% con la resistencia de diseño.

Revenimiento (cm): <input type="text"/>	C: <input type="text"/>	<input type="button" value="CALCULAR"/> <input type="button" value="BORRAR"/>
Agua de mezclado (Kg/m <sup>3</sup> ): <input type="text"/>	$Fcr$ (kg/cm <sup>2</sup> ): <input type="text"/>	
Aire incluido (%): <input type="text"/>	Relación A/C: <input type="text"/>	
$f'c$ (Kg/cm <sup>2</sup> ): <input type="text"/>	Vol. de agregado grueso: <input type="text"/>	

FIGURA 6.1.5.7 Características del proyecto (Fuente J. A. Guzmán Torres)

Existen botones de ayuda para obtener ciertos valores que pueden llegar a desconocerse, los cuales muestran una tabla según sea la opción que se elija.



**TABLAS CON VALORES SUGERIDOS POR EL ACI**

<b>REVENIMIENTO RECOMENDADO PARA DIVERSOS TIPOS DE CONSTRUCCIÓN</b>
<b>REQUISITOS APROX. DE AGUA DE MEZCLADO Y CONTENIDO DE AIRE PARA DIFERENTES REVENIMIENTOS Y TAMAÑOS MAX. NOMINALES DE AGREGADO</b>
<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO</b>
<b>RELACION A/C EN BASE A LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN</b>
<b>VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO POR VOLUMEN UNITARIO DE CONCRETO</b>

FIGURA 6.1.5.8 Opciones de las diferentes tablas (Fuente J. A. Guzmán Torres)

No. DE CILINDROS:  FACTOR DE DESPERDICIO:

**CALCULAR**

Elemento a colar:

Cilindros 10 X 20

Cilindros 15 X 30

Vigas

Elemento X

**OTRO ELEMENTO**

El software te da la opción de elegir para qué tipo de elemento quieres realizar el diseño, como lo son cilindros, vigas o un elemento prismático, también te da la opción de agregar un factor de desperdicio en caso de ser necesario. Al final se muestran como los resultados las cantidades necesarias de cada material a emplear, estas cantidades se observan en unidades de peso para un proporcionamiento elaborado bajo condiciones de laboratorio, en m<sup>3</sup> para cuestiones de precios unitarios y volúmenes de obra, es decir viajes de arena, de grava pipas de agua y también se muestran en unidades de botes alcohólicos, esta unidad de medida es utilizada por lo general en México en condiciones de campo “en la obra” para que los usuarios que usen este programa puedan aterrizar los valores obtenidos a sus necesidades.

FIGURA 6.1.5.9 Opciones de elementos a elaborar (Fuente J. A. Guzmán Torres)

	PESO TOTAL (kg):	CANTIDAD EN M3	BOTES 19 L
CEMENTO	.17495	.00017	9.20789
ARENA	174.39986	.17442	9178.94
GRAVA	.1767	.00017	9.3
AGUA	.17495	.00017	.00921

FIGURA 6.1.5.10 Resultados del diseño de mezcla (Fuente J. A. Guzmán Torres) “Cambiar imagen”

### 6.1.6 Elaboración de Mezclas y Especímenes.

En la investigación presente se elaboraron diferentes mezclas, todas ellas diseñadas por el método del ACI, mencionado con anterioridad, en cada una de las mezclas se realizaron especímenes cilíndricos y especímenes prismáticos.

#### *MEZCLA 1*

La elaboración de la primera mezcla se trató de una mezcla testigo, la cual tendría las características de ser una mezcla de concreto normal, la cual serviría para comparar con las demás mezclas, esta mezcla testigo fue diseñada de manera normal, con las observaciones que durante su elaboración no fue posible realizarse ya que el contenido de agua era insuficiente para elaborarlo, por lo que fue necesario incrementar la relación agua cemento a 0.45, para que así su mezclado fuera posible, esta colada se realizó para especímenes cilíndricos los cuales fueron 31.

#### *MEZCLA 2*

La segunda mezcla tenía la misma relación agua-cemento de 0.35 pero en esta mezcla se adiciono un aditivo con característica de fluidificante de la marca Sika con el nombre comercial de "SikaCem Fluidificante" que es un fluidificante de concretos o morteros que aumenta el revenimiento y/o disminuye el consumo de agua en un 10% aprox. El modo de empleo puede consistir en 2 variantes, una, que es el agregar directamente a la mezcla de concreto o mortero una bolsa de SikaCem fluidificante por cada saco de cemento que lleve la mezcla, o colocar directamente en el agua de mezcla si lo requiere, para reducir consumos de agua, para asegurar la correcta integración del aditivo se recomienda mezclar durante 3 minutos adicionales. En este caso como en la 2da mezcla se elaboraron especímenes prismáticos, la cantidad de SikaCem fluidificante que se adiciono se determinó de la siguiente manera:

Una vez realizado el proporcionamiento y obtenidos los resultados para 9 vigas se tiene que:



Si por cada bulto de cemento se adiciona un bulto de SikaCem Fluidificante:

1 bulto de cemento (50 Kg) = 1 bulto de Aditivo (200 gr)

Y se tiene 1.5656 bultos de cemento por lo tanto se tienen 78.2807 kg de cemento ya que:

$$50 (kg) * 1.5656 = 78.2807Kg \text{ de cemento}$$

Por lo tanto:

$$\frac{(78280.7gr * 200 gr)}{50000 gr} = 313.1228 gr \text{ de SikaCem Fluidificante}$$

**Se adicionaron 313.1228 gr de SikaCem fluidificante a la mezcla.**

### MEZCLA 3

La elaboración de la tercera mezcla se trató de una mezcla testigo, la cual tendría las características de ser una mezcla de concreto normal, la cual serviría para comparar con las demás mezclas, esta mezcla testigo fue diseñada de manera normal con la metodología del ACI, esta colada se realizó para especímenes prismáticos los cuales fueron 9.

### MEZCLA 4

La cuarta mezcla tenía la misma relación agua-cemento de 0.35 pero en esta mezcla se adiciono un aditivo con característica de fluidificante de la marca Sika con el nombre comercial de "SikaCem Fluidificante" que es un fluidificante de concretos o morteros que aumenta el revenimiento y/o disminuye el consumo de agua en un 10% aprox. y adicionalmente también se agregó un aditivo el cual

vamos a llamar geopolímero orgánico natura, el cual en base a la literatura existente se adiciono en 2% del peso del cemento, su incorporación a la mezcla se realiza durante el mezclado de los agregados finos, gruesos y el cemento y de forma posterior es adicionada el agua con fluidificante. En este caso se elaboraron especímenes cilíndricos, la cantidad de SikaCem fluidificante y el geopolímero orgánico natural que se adiciono se determinó de la siguiente manera:

Una vez realizado el proporcionamiento y obtenidos los resultados para 31 cilindros se tiene que:



Y se tiene 0.6275 bultos de cemento por lo tanto se tienen 31.3732 kg de cemento ya que:

$$50 (kg) * 0.6275 = 31.372 kg \text{ de cemento}$$

Por lo tanto:

$$\frac{(31372 gr * 200 gr)}{50000 gr} = 125.488 gr \text{ de SikaCem Fluidificante}$$

**Se necesitaron 125.488 gr de SikaCem fluidificante para elaborar la mezcla**

Para adicionar el geopolímero orgánico natural se tiene, que si son 31.3732 kg de cemento entonces

El 2% de (31.3732 kg) =

$$(31.3732 kg * 0.02) = 0.6274 kg$$

**Se adicionaron 0.6274 kg de geopolímero orgánico natural a la mezcla**

### MEZCLA 5

La quinta mezcla tenía la misma relación agua-cemento de 0.35 pero en esta mezcla se adiciono un aditivo con característica de fluidificante de la marca Sika con el nombre comercial de “SikaCem Fluidificante” que es un fluidificante de concretos o morteros que aumenta el revenimiento y/o disminuye el consumo de agua en un 10% aprox. Se elaboraron 31 cilindros y la cantidad de SikaCem fluidificante que se adiciono se determinó de la siguiente manera:

Si por cada bulto de cemento se adiciona un bulto de SikaCem Fluidificante:

1 bulto de cemento (50 Kg) = 1 bulto de Aditivo (200 gr)

Y se tiene 0.6275 bultos de cemento por lo tanto se tienen 31.3732 kg de cemento ya que:

$$50 (kg) * 0.6275 = 31.372 kg \text{ de cemento}$$

Por lo tanto:

$$\frac{(31372 gr * 200 gr)}{50000 gr} = 125.488 gr \text{ de SikaCem Fluidificante}$$

**Se necesitaron 125.488 gr de SikaCem fluidificante para elaborar la mezcla**

### MEZCLA 6

La sexta mezcla tenía la misma relación agua-cemento de 0.35 pero en esta mezcla se adiciono un aditivo con característica de fluidificante de la marca Sika con el nombre comercial de “SikaCem Fluidificante” que es un fluidificante de concretos o morteros que aumenta el revenimiento y/o disminuye el consumo de agua en un 10% aprox. y adicionalmente también se agregó un aditivo el cual vamos a llamar geopolímero orgánico natura, el cual en base a la literatura existente se adiciono en 2% del peso del cemento, su incorporación a la mezcla se realiza durante el mezclado de los agregados finos, gruesos y el cemento y de forma posterior es adicionada el agua con fluidificante. En este caso se elaboraron especímenes prismáticos, la cantidad de SikaCem fluidificante y el geopolímero orgánico natural que se adiciono se determinó de la siguiente manera:

Una vez realizado el proporcionamiento y obtenidos los resultados para 9 vigas se tiene que:

Si por cada bulto de cemento se adiciona un bulto de SikaCem Fluidificante:

1 bulto de cemento (50 Kg) = 1 bulto de Aditivo (200 gr)

Y se tiene 1.5656 bultos de cemento por lo tanto se tienen 78.2807 kg de cemento ya que:

$$50 (kg) * 1.5656 = 78.2807Kg \text{ de cemento}$$



Por lo tanto:

$$\frac{(78280.7 \text{ gr} * 200 \text{ gr})}{50000 \text{ gr}} = 313.1228 \text{ gr de SikaCem Fluidificante}$$

**Se necesitaron 313.1228 gr de SikaCem fluidificante para elaborar la mezcla**

Para adicionar el geopolímero orgánico natural se tiene, que si son 78.2807 kg de cemento entonces

El 2% de (78.2807 kg) =

$$(78.2807 \text{ kg} * 0.02) = 1.565614 \text{ kg}$$

**Se adicionaron 1.5656 kg de geopolímero orgánico natural a la mezcla.**

#### 6.1.6.1 Elaboración de cilindros

En esta fase de la investigación se realizaron los especímenes cilíndricos los cuales fueron realizados con un cemento normal CPC 40R APASCO, en condiciones controladas de laboratorio.

A continuación se muestra el proceso de fabricación de los especímenes y sus dimensiones.



Los especímenes fueron realizados según la norma NMX-C-159-ONNCCE-2004[30]

1.- Se preparan los moldes que van a ser colados, previamente se les aplica desmoldante para su fácil descimbrado y para que el concreto no se adiera a las paredes de los moldes. Al mismo tiempo se prepara el material que será utilizado para elaborar los especímenes, como lo son: palas, cucharones, balanzas, maso de goma, varilla punta de bala de 5/8", charola de mezclado, placa de acero, cono de abrams, y cubetas.



*FIGURA 6.1.6.1.1 Preparación de los moldes y herramientas (Fuente J. A. Guzmán Torres)*

2.- Se elabora la revoltura, empezando por los agregados pétreos, seguidos del cementante y en los casos particulares ya mencionados se agrega el geopolímero, realizando una revoltura abundante para lograr la homogeneización de la mezcla

3.- Se adiciona el agua a la mezcla (en algunos casos el agua va incorporada con fluidificante), y se revuelve generosamente hasta obtener una pasta de condiciones aceptables de trabajabilidad y homogeneización.



*FIGURA 6.1.6.1.2 Elaboración de la mezcla, la cantidad de material se calculó en el proporcionamiento (Fuente J. A. Guzmán Torres)*



FIGURA 6.1.6.1.3 Adición del SikaCem fluidificante en la mezcla, *el fluidificante fue incorporado directamente al agua para mejorar los resultados de reducción de agua en la mezcla (Fuente J. A. Guzmán Torres)*

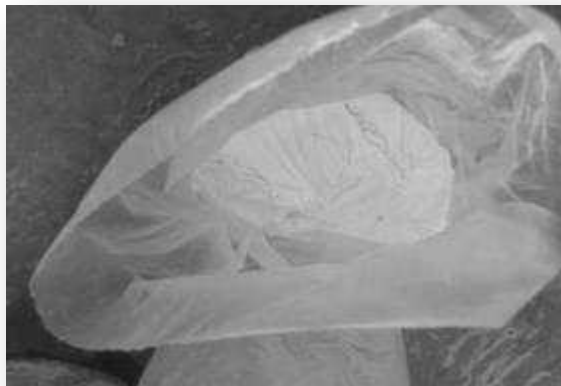


FIGURA 6.1.6.1.4 Adición del geopolímero orgánico natural a la mezcla, *(Fuente J. A. Guzmán Torres)*

4. – Después de haberse obtenido la muestra, se remezcla el concreto con una pala o cucharón lo necesario para garantizar uniformidad en la mezcla y se procede a hacer la prueba inmediatamente. Se humedece el molde; se coloca sobre una superficie horizontal, plana rígida, húmeda y no absorbente. Se debe mantener firme en su lugar durante la operación de llenado, apoyando los pies en los estribos que tiene para ello el molde. A continuación se llena el molde con tres capas aproximadamente de igual volumen. La primera capa corresponde a una altura de aproximadamente 7 cm, la segunda capa debe llegar a una altura de aproximadamente 15 cm y la tercera, al extremo del molde. Se compacta cada capa con 25 penetraciones de la varilla introduciéndola por el extremo redondeado, distribuidos uniformemente sobre la sección de cada capa, por lo que es necesario inclinar la varilla ligeramente en la zona perimetral; aproximadamente

la mitad de las penetraciones se hacen cerca del perímetro, después, con la varilla vertical se avanza en espiral hacia el centro.

Se compacta la segunda capa y la superior a través de todo su espesor, de manera que la varilla penetre en la capa anterior aproximadamente 2 cm, para el llenado de la última capa se coloca un ligero excedente de concreto por encima del borde superior del molde, antes de empezar la compactación. Si a consecuencia de la compactación, el concreto se asienta a un nivel inferior del borde superior del molde a la décima y/o vigésima penetración, se agrega concreto en exceso para mantener su nivel por encima del borde del molde, todo el tiempo. Después de terminar la compactación de la última capa, se enrasa el concreto mediante un movimiento de rodamiento de la varilla. Se limpia la superficie exterior de la base de asiento, e inmediatamente se levanta el molde con cuidado en dirección vertical. La prueba de revenimiento es una medida de la consistencia del concreto fresco en término de la disminución de altura, según la norma NMX-C-156-ONNCCE-2010 [31].



*FIGURA 6.1.6.1.5 Prueba de revenimiento, para verificar la fluidez elaborada a cada una de las mezclas (Fuente J. A. Guzmán Torres)*

5.- Se procede a realizar el llenado de los moldes en donde cada molde es llenado en 3 capas, cada capa se penetra 25 veces con la varilla punta de bala de 5/8", hasta llenar el molde y enrasar.

6.- Una vez realizados los especímenes después de 24 horas se procede a descimbrar los moldes para ponerlos a curar y se ponen a curar hasta la fecha que les toque su respectiva prueba. El método de curado que se realizó fue por inmersión.



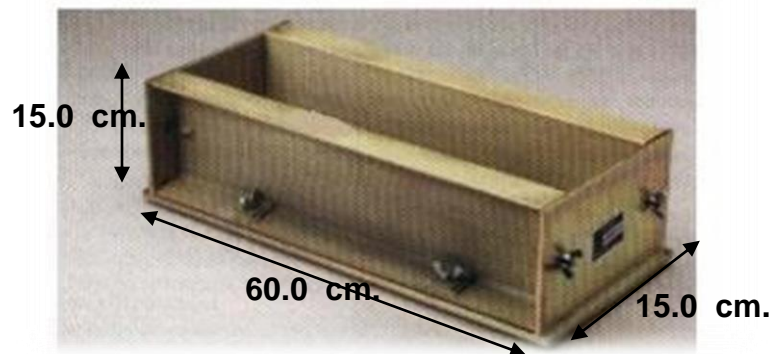


FIGURA 6.1.6.1.6 Descimbrado de los ensayos y curado (Fuente J. A. Guzmán Torres)

### 6.1.6.2 Elaboración de Vigas

En esta fase de la investigación se realizaron los especímenes prismáticos los cuales fueron realizados con un cemento normal HOLCIM APASCO con características CPC 40 R, en condiciones controladas de laboratorio.

A continuación se muestra el proceso de fabricación de los especímenes y sus dimensiones.



1.- Se preparan los moldes que van a ser colados, previamente se les aplica desmoldante para su fácil descimbrado y para que el concreto no se adhiera a las paredes de los moldes. Al mismo tiempo se prepara el material que será utilizado para elaborar los especímenes, como lo son: palas, cucharones, balanzas, maso de goma, varilla punta de bala de 5/8", charola de mezclado, placa de acero, cono de abrams, y cubetas.

2.- Se elabora la revoltura, empezando por los agregados pétreos, seguidos del cementante y en los casos particulares ya mencionados se agrega el geopolímero, realizando una revoltura abundante para lograr la homogeneización de la mezcla.



3.- Se adiciona el agua a la mezcla (en algunos casos el agua va incorporada con fluidificante), y se revuelve generosamente hasta obtener una pasta de condiciones aceptables de trabajabilidad y homogeneización.



*FIGURA 6.1.6.2.1 Elaboración de la mezcla a mano (Fuente J. A. Guzmán Torres)*

4. – Después de haberse obtenido la muestra, se remezcla el concreto con una pala o cucharón lo necesario para garantizar uniformidad en la mezcla y se procede a hacer la prueba inmediatamente. Se humedece el molde; se coloca sobre una superficie horizontal, plana rígida, húmeda y no absorbente. Se debe mantener firme en su lugar durante la operación de llenado, apoyando los pies en los estribos que tiene para ello el molde. A continuación se llena el molde con tres capas aproximadamente de igual volumen. La primera capa corresponde a una altura de aproximadamente 7 cm, la segunda capa debe llegar a una altura de aproximadamente 15 cm y la tercera, al extremo del molde. Se compacta cada capa con 25 penetraciones de la varilla introduciéndola por el extremo redondeado, distribuidos uniformemente sobre la sección de cada capa, por lo que es necesario inclinar la varilla ligeramente en la zona perimetral; aproximadamente la mitad de las penetraciones se hacen cerca del perímetro, después, con la varilla vertical se avanza en espiral hacia el centro.

Se compacta la segunda capa y la superior a través de todo su espesor, de manera que la varilla penetre en la capa anterior aproximadamente 2 cm, para el llenado de la última capa se coloca un ligero excedente de concreto por encima del borde superior del molde, antes de empezar la compactación. Si a consecuencia de la compactación, el concreto se asienta a un nivel inferior del borde superior del molde a la décima y/o vigésima penetración, se agrega concreto en exceso para mantener su nivel por encima del borde del molde, todo el tiempo. Después de terminar la compactación de la última capa, se enrasa el concreto mediante un movimiento de rodamiento de la varilla. Se limpia la superficie exterior de la base de asiento, e inmediatamente se levanta el molde con cuidado en dirección vertical. La prueba de revenimiento es una medida de la

consistencia del concreto fresco en término de la disminución de altura, según la norma NMX-C-156-ONNCCE-2010 [31].

5.- Se procede a realizar el llenado de los moldes en donde cada molde es llenado en 2 capas, cada capa se penetra 90 veces con la varilla punta de bala de 5/8", distribuyendo de manera adecuada las penetraciones hasta llenar el molde y enrasar.



*FIGURA 6.1.6.2.2 Llenado de los moldes prismáticos (Fuente J. A. Guzmán Torres)*

6.- Una vez realizados los especímenes después de 24 horas se procede a descimbrar los moldes para ponerlos a curar y se ponen a curar hasta la fecha que les toque su respectiva prueba. El método utilizado para el curado fue por inmersión.



*FIGURA 6.1.6.2.3 Descimbrado de los ensayes y curado (Fuente J. A. Guzmán Torres)*

## CAPITULO 7. MÉTODOS DE PRUEBAS

---

### 7.1 Pruebas no destructivas

#### 7.1.1 Resistividad

El objetivo de este ensayo es la determinación de la Resistividad Eléctrica del Concreto en campo o en el laboratorio.

#### DEFINICIONES.

La Resistividad Eléctrica es una propiedad de cada material y corresponde al recíproco de su conductividad; su unidad de medida es el ohm-cm u ohm-m. Depende en gran proporción del grado de saturación de los poros del hormigón y en menor grado de la hidratación de la pasta y de la presencia de sales disueltas en la fase acuosa. Es función de variables tales como: el tipo de cemento, las adiciones inorgánicas la relación agua/cemento, la porosidad de la estructura, entre otras.

#### MATERIALES Y EQUIPOS.

La medida de resistividad eléctrica puede efectuarse bien sea: en laboratorio sobre testigos de hormigón extraídos de la estructura o, directamente sobre la estructura en campo. Los materiales y equipos requeridos son los siguientes:

- Equipo para la toma de núcleos cilíndricos
- Medidor de Resistividad Eléctrica. Método de Wenner, 4 electrodos tipo pines [32].
- Equipo para medir dimensiones, con precisión de décimas.

En caso de no disponer de un equipo de medición de resistividades se puede utilizar lo siguiente:

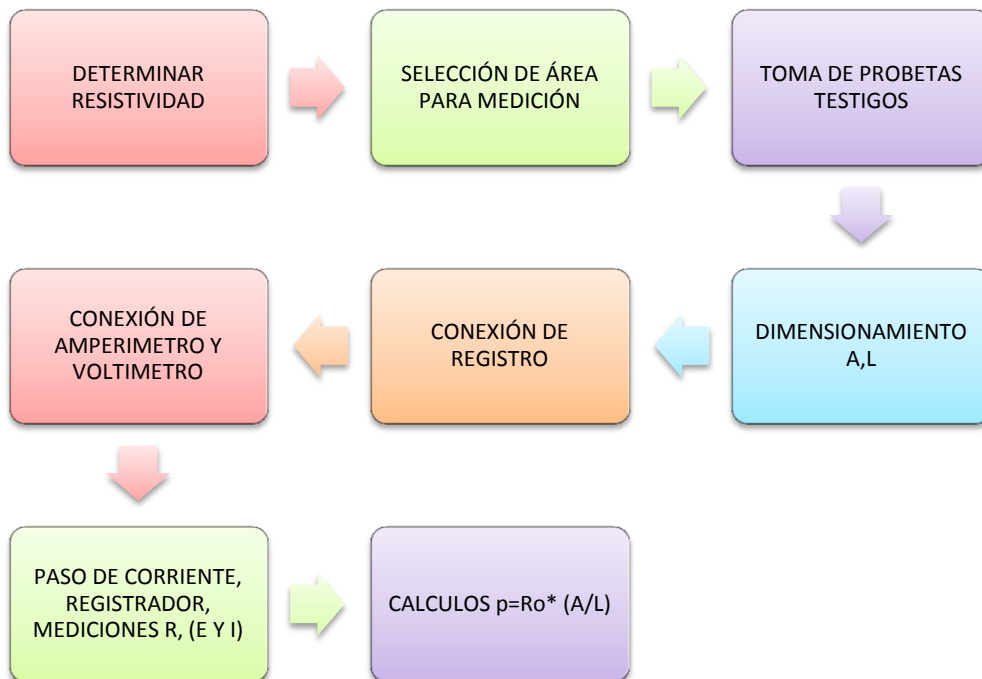
- Fuente de corriente Alterna o baterías.
- Voltmetro, con capacidad de lectura de 50 V y precisión del 1% e impedancia alta ( $>10\text{ M}\Omega$ )
- Miliamperímetro, con capacidad de 0.1 a 250 mA y precisión del 1%.
- Electrodo



FIGURA 7.1.1.1 Equipo para medir la resistividad “Resistometro” (Fuente J. A. Guzmán Torres)

Las mediciones correspondientes a esta prueba se realizaron con el equipo llamado Resistometro marca Nilsson que mide la resistencia resistividad eléctrica.

### PROCEDIMIENTO.



Dado que la resistividad es función de la humedad, debe utilizarse un flujo mínimo de agua en los especímenes hasta tanto se efectuó el ensayo.

Para ensayos a nivel de laboratorio se procede a tomar sus dimensiones (área, A, diámetro D y longitud L) y a efectuar el montaje del ensayo.

Mediante la fuente y a través de las placas metálicas adosadas a las caras laterales del espécimen se somete este a una corriente dada, (I) y se registra el voltaje, E. la resistencia eléctrica,  $R_e$ , se calcula como  $E/I$  y se expresa en Ohm. De esta manera la resistividad eléctrica está dada por:

$$\rho = R_e \left( \frac{A}{L} \right)$$

Dónde:

A = área transversal del espécimen

L = longitud del espécimen

$R_e$  = Resistencia eléctrica

$\rho$  = Resistividad eléctrica ohm-cm ( $\Omega$ -m)

### CRITERIOS DE EVALUACIÓN

No existe un acuerdo de carácter general entre los diferentes investigadores acerca del nivel límite de resistividad eléctrica por encima del cual el riesgo de corrosión en las armaduras puede ser considerado despreciable. Sin embargo, la práctica ha demostrado que se puede utilizar como criterio general [33]:

<b>P &gt; 200 k<math>\Omega</math>-cm</b>	<b>Poco riesgo</b>
<b>200 &gt; p &gt; 10 k<math>\Omega</math>-cm</b>	Riesgo moderado
<b>P &lt; k<math>\Omega</math>-cm</b>	Alto riesgo



FIGURA 7.1.1.2 Prueba de Resistividad (Fuente J. A. Guzmán Torres)

### 7.1.2 Velocidad de pulso Ultrasónico

La presente prueba está referida a la norma (ASTM C597-02)[34].



## OBJETIVO

Este ensayo no destructivo tiene como principales objetivos:

- a) Verificar la homogeneidad (uniformidad y calidad relativa) del hormigón.
- b) Detectar las fallas internas (presencia de vacíos) introducidas durante la fabricación, la profundidad de las fisuras y otras imperfecciones.
- c) Monitorear las variaciones de las propiedades del hormigón a lo largo del tiempo, debido a la agresividad del medio.

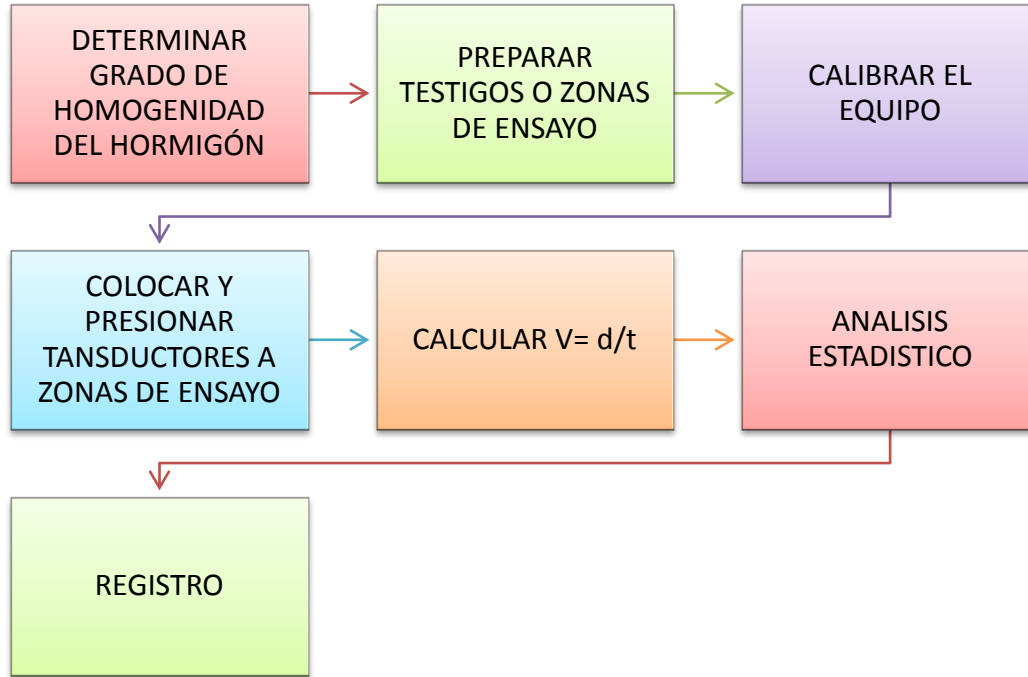
## DEFINICIONES

**Velocidad de pulso.** La velocidad de pulso ultrasónico es la relación que existe entre la distancia de viaje a través del hormigón de una onda ultrasónica y el tiempo que tarda en recorrerla. Un impulso eléctrico generado por una unidad central se transmite a un emisor que excita un bloque de cristales. El emisor a través del bloque emite un pulso ultrasónico que viaja a través del hormigón hasta que es detectado por el receptor. Aquí el pulso ultrasónico se convierte en un impulso eléctrico, el cual se registra en un osciloscopio. El tiempo entre la descarga inicial y la recepción del pulso se mide electrónicamente. La longitud de la trayectoria entre los transmisores, dividido entre el tiempo de viaje, da la velocidad promedio de la propagación de la onda.

**Homogeneidad.** Es la cualidad del hormigón por la cual sus componentes aparecen regularmente distribuidos en toda su masa, de manera tal que se encuentre en toda ella, uniformidad de características, estructura, composición y propiedades físicas, mecánicas y químicas.

## EQUIPOS Y MATERIALES

- Pacómetro.
- Acoplante (silicona, vaselina, gel).
- Equipo comercial de ultrasonido.
- Circuito generador-receptor (aparato de pulso eléctrico de baja frecuencia ultrasónica)
- Transductor-emisor (aparato que posibilita la transformación del pulso eléctrico en onda de choque en una banda de 24 kHz hasta 500 kHz).
- Circuito medidor de tiempo (aparato que permite medir el tiempo recorrido desde la emisión de la onda hasta su recepción).
- Cables coaxiales que deben permitir la conexión perfecta de los transductores al circuito generador-receptor.
- Barra de referencia. Pieza que permite la calibración del equipo de ultrasonido, cuya superficie tiene un acabado pulido y el tiempo de recorrido grabado.



### PREPARACIÓN DE LOS ESPECIMENES O ZONAS DE ENSAYO DEL HORMIGÓN.

Los especimenes o zonas del hormigon a ser ensayados deben tener la superficie plana, lisa, exenta de suciedad y no deben estar carbonatadas.

Aquellas superficies que no sean suficientemente lisas, deberan regularizarse a traves de procesos mecanicos o con una capa de pasta de cemento, yeso o resina epóxica con un espesor minimo, a fin de posibilitar un buen acoplamiento con los transductores, pero sin que puedan interferir en la medida.

Los especimenes o zonas de hormigon a ser ensayados deben ser homogeneos en composición y en humedad relativa.

**ENSAYO.** Calibrar el aparato usando la barra de referencia o dispositivo equivalente del equipo. Posicionar los transductores como se indica a continuación:

- ✓ Transmision directa, con los transductores en las caras opuestas del material
- ✓ Transmisión inidrecta, con los transductores en la misma cara
- ✓ Transmision semidirecta, con los transductores en las caras adyacentes.

Colocar y presionar las superficies de los transductores sobre la zona de ensayo, considerandose satisfactorios cuando sea obtenido un valor minimo de lectura como variación de  $\pm 1\%$ .

Diagrama de la lectura de VPU

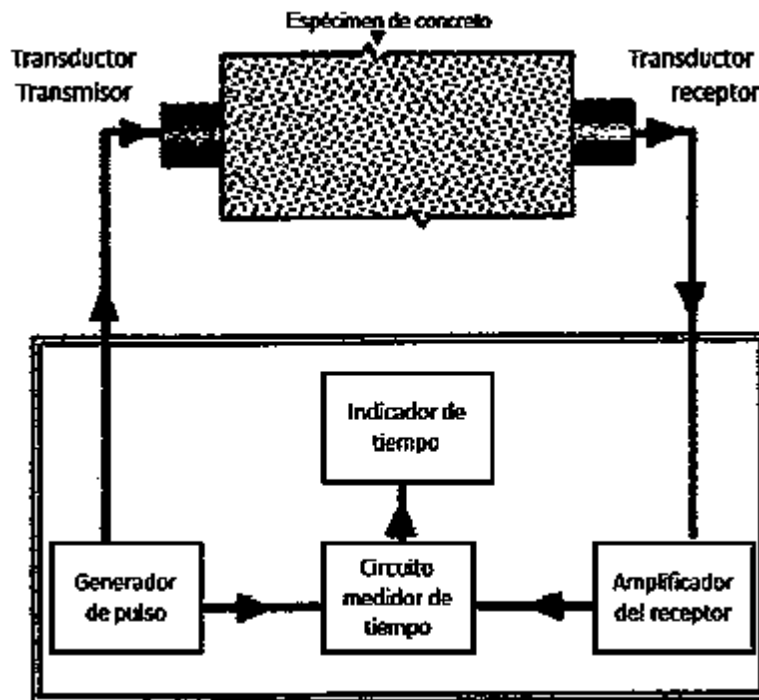


FIGURA 7.1.2.1 Diagrama de la lectura de  $V_{pu}$  (Fuente J. A. Guzmán Torres)

## RESULTADOS.

Calcular la velocidad de propagación de ondas conforme a la siguiente formula:

$$V = \frac{d}{t}$$

Dónde:

$V$  = velocidad de propagación (m/s)

$d$  = distancia entre los puntos de acoplamiento (m).

$t$  = tiempo recorrido desde la emisión de la onda hasta su recepción (s).

Existe también la posibilidad de poder predecir el módulo de elasticidad Dinámico con esta prueba pero eso se puede obtener si conoces la relación de poisson obteniéndolo de la siguiente manera:

$$E = v^2 Q \frac{(1+\nu)(1-2\nu)}{(1-\nu)}$$

Dónde:

$E$  = Módulo de Elasticidad Dinámico

$\nu$  = Modulo de poisson

$Q$  = Densidad del concreto

## CRITERIOS DE EVALUACIÓN

Es posible expresar la homogeneidad del hormigón en forma de parámetros estadísticos, tales como la desviación estándar o el coeficiente de variación de las

medidas de velocidad de propagación de ondas ultrasónicas en el hormigón hechas en los puntos de la malla.

Con todo, tales parámetros solo pueden ser usados para comparar variaciones en la composición de hormigones similares, debiendo ser considerados los siguientes factores:

- Distancias de las superficies de contacto de los transductores.
- Densidad del hormigón, que depende del trazo y de las condiciones de fabricación.
- Tipo y densidad y otras de las características de los agregados
- Tipo de cemento y grado de hidratación
- Edad del hormigón[31]

Existen varios criterios de evaluación, uno de ellos puede ser:

VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN	CALIDAD DEL HORMIGÓN
< 2000 m/s	Deficiente
2001 a 3000 m/s	Normal
3001 a 4000 m/s	Alta
>4000 m/s	Durable

El investigador Castellanos en 1985, en un trabajo exploratorio, estudió la correlación entre la velocidad y la resistencia utilizando concretos preparados con un agregado con propiedades físicas promedio, respecto a la variabilidad que se da en Yucatán, México. La curva de ajuste exponencial que obtuvo (concretos curados al ambiente por 28 días) tuvo un coeficiente de correlación ( $r$ ) de 0.94; después de obtener esta alta correlación, surgió la pregunta sobre si este modelo tendría aplicación general para los concretos de la región preparados con cualquier agregado calizo triturado [36].

En el experimento de Castellanos las propiedades elásticas de los agregados permanecieron constantes, ya que se utilizó un único agregado, y se hicieron variar las proporciones de los componentes del concreto, vía la aplicación del método de dosificación del ACI; el análisis estadístico mostró que gran parte de la varianza de la resistencia podía ser explicada por medio del cambio de la velocidad ultrasónica.

La respuesta a la interrogante planteada arriba fue que no se podía usar un único modelo variado entre la velocidad y la resistencia, aun cuando los concretos fueran preparados con el mismo tipo de agregado.

En una investigación posterior se obtuvo una curva de regresión exponencial con una  $r$  de 0.82 para concretos preparados con 6 diferentes muestras de agregados calizos triturados que se escogieron entre los más utilizados en una misma región. Aunque en términos estadísticos, un coeficiente de correlación como el que se obtuvo significa que las variables tienen una fuerte

relación, en términos ingenieriles la dispersión que se produjo entre los datos experimentales es demasiado grande para poder aplicar el modelo. Se hicieron variar en forma simultánea las propiedades elásticas de los agregados, ya que se utilizaron seis agregados diferentes y las proporciones de los componentes del concreto, vía el método del ACI; de aquí se pudo concluir que la variación en los agregados introdujo una varianza en la resistencia que la velocidad por sí misma no puede explicar [37].

Por otro lado tenemos la velocidad de pulso ultrasónico como una alternativa de prueba no destructiva para evaluar la calidad del concreto, la cual se ha utilizado desde hace aproximadamente 50 años. La técnica fue desarrollada por Leslie y Cheesman en Canadá y se utilizó con gran éxito desde la década de los sesentas para diagnosticar el estado del concreto utilizado en cortinas de presas; casi simultáneamente Jones desarrolló en Inglaterra una técnica basada en el mismo principio [38].

Las ondas de sonido se propagan en los medios sólidos a partir de excitaciones vibratorias en forma de: ondas longitudinales o de compresión, ondas transversales o de cortante y ondas superficiales o Rayleigh. La velocidad de estas ondas depende de las propiedades elásticas del medio, de tal manera que, conociendo la velocidad del sonido y la masa del sólido, se pueden estimar las propiedades elásticas del medio, mismas que se pueden relacionar con los parámetros de calidad del material [39].

Se publicó un criterio de aceptación para el concreto hidráulico por Malhotra en 1985 sobre la base de la medición de la velocidad ultrasónica [40]. La clasificación del concreto en categorías con base a intervalos de velocidad se presenta en la Tabla 20.

Tabla 20. Clasificación del concreto según su velocidad ultrasónica [40]

Velocidad ultrasónica, $v$ (m/s)	Clasificación del concreto
$V > 4\ 575$	Excelente
$4\ 575 > V > 3\ 660$	Bueno
$3\ 660 > V > 3\ 050$	Cuestionable
$3\ 050 > V > 2\ 135$	Pobre
$V < 2\ 135$	Muy pobre

Fuente: Malhotra V. M.

Dentro de los métodos de ultrasonido existen combinaciones y con esto grandes aplicaciones como es el caso de la amplitud relativa ultrasónica y el método de la velocidad de pulso ultrasónico, esta combinación es utilizada para determinar la resistencia del concreto hidráulico de alto rendimiento. La combinación de estos métodos se aplicó en el concreto hidráulico con diferentes contenidos de humo de sílice que van de 10%, 20% y 30% y con una relación de agua cemento de 0.22 a 0.40, además con diferentes condiciones de curado. Debido a que la edad, la composición, el contenido de agua libre y las condiciones



de curado son factores que influyen en la resistencia del concreto se determinaron mediciones de velocidad de pulso y de amplitud relativa ultrasónica obteniendo que las mediciones de velocidad de pulso ultrasónico son menos sensibles para un alto nivel de esfuerzo pero existe una buena correlación con la resistencia del concreto a la compresión de alto rendimiento con humo de sílice, en cambio las mediciones de amplitud relativa tienen una buena sensibilidad en todos los niveles de esfuerzo (independientemente de los factores que influyen en el esfuerzo). En dicho trabajo se sugiere esta combinación para estimar la resistencia del concreto con humo de sílice pero además se dice que se puede hacer una combinación con otros métodos para una mejor estimación del esfuerzo [41].



FIGURA 7.1.2.2 Prueba de Velocidad de Pulso Ultrasónico (Fuente J. A. Guzmán Torres)

### 7.1.3 Frecuencias de Resonancia y Módulo de Elasticidad Dinámico

Se denomina frecuencia de resonancia a aquella frecuencia característica de un cuerpo o un sistema que alcanza el grado máximo de oscilación.

Todo cuerpo o sistema tiene una, o varias, frecuencias características. Cuando un sistema es excitado a una de sus frecuencias características, su vibración es la máxima posible. El aumento de vibración se produce porque a estas frecuencias el sistema entra en resonancia.

Las frecuencias de resonancia fueron determinadas después de la velocidad de pulso, con un equipo E-meter C-4959 Mark II de James instrument del Laboratorio de Materiales “Ing. Luis Silva Ruelas” de la Facultad de Ingeniería Civil de la U.M.S.N.H. Cuenta con un oscilador que tiene 4 rangos de frecuencia cubriendo de 10Hz a 100kHz, dos controles de velocidad 10:1 y 50:1, y un display de medidor de frecuencia de 6 dígitos; un indicador de resonancia graduado de 0 a 100 con indicación en 70.7 para mediciones de ancho de banda, un amplificador de entrada con una sensibilidad de 1 mV, impedancia de entrada de 10M ohm, un acelerómetro tipo pick-up de 35Hz, cuenta con modo semiautomático de manejo con paradas automáticas en los picos de amplitud; un control de acelerómetro;

opera en un rango de temperatura de 0 a 40°C; dimensiones de 14.6in x 7.5in x10in, y es alimentado por 120/240V, 50-60Hz



FIGURA 7.1.3.1 Equipo E-meter C-4959 Mark II (Fuente J. A. Guzmán Torres)

### Procedimiento:

1.- Se llevó el control de voltaje de salida y ganancia de amplificador totalmente a la izquierda. Se colocó en 1seg, el output-input se llevó a output, se seleccionó el modo manual en el botón de manual-auto. Se prendió el instrumento y se dejó prendido 10min para alcanzar una estabilidad térmica.

2.- La frecuencia de resonancia fundamental longitudinal está en un punto nodal al centro del largo de un prisma o cilindro, por tanto el espécimen debe colocarse en el centro de apoyo de la tabla de pruebas en el punto nodal (ver figura N° 7.1.3.2). La muestra puede ser simplemente apoyada o sujeta por la barra de sujeción del equipo.



FIGURA 7.1.3.2 Punto nodal al centro del largo de un cilindro (Fuente J. A. Guzmán Torres)

3.- Se debe poner vaselina o un medio grasoso en los extremos de las barras de contacto del vibrador y acelerómetro. En esta investigación se usó grasa de calidad mecánica automotriz.

4.- Para que los extremos de los especímenes estén libres a la vibración en la dirección longitudinal es esencial que se cuente con un mínimo de restricción en dichos extremos. Ambas barras, la del vibrador y la del acelerómetro son libres a moverse en el montaje y es necesario solamente el movimiento de los apoyos del vibrador y del acelerómetro a lo largo de los rieles hasta que las barras hagan contacto con el centro de los extremos del espécimen. Los apoyos deben asegurarse usando el tornillo de sujeción.

5.- Se seleccionó el rango de frecuencia de interés, para especímenes de concreto éste estará generalmente en un rango de 1khz a 10khz dependiendo de las dimensiones del espécimen.

6.- Posteriormente se ajustó el control del voltaje de salida para una lectura de 4 volt y se aumentó ligeramente la ganancia del amplificador partiendo de cero.

7.- Comenzando del final de bajas frecuencias del rango se giró el control de frecuencia y al mismo tiempo se observó el medidor de ganancia. En la frecuencia fundamental de resonancia, la vibración de los extremos del espécimen será presentada por un máximo indicado por un pico del medidor de ganancia.

Teniendo establecida la región de la resonancia fundamental, el botón del control fino puede ser ajustado hasta que el medidor de ganancia de entrada indique un pico absoluto, la frecuencia de resonancia es entonces indicada en el contador digital de frecuencia.

### **Cálculos:**

$$E = 4n^2 l^2 \rho 10^{-12} \quad [31]$$

Dónde:

E = Módulo de Elasticidad Dinámico, MN.

n = Frecuencia de resonancia fundamental, Hz.

l = Longitud del espécimen, mm.

$\rho$  = Densidad del espécimen, kg/m<sup>3</sup>.

### ***Módulo de Elasticidad Dinámico***

Los materiales en general, tienen un comportamiento elástico hasta que alcanzan cierta deformación. Si el esfuerzo que incide sobre el material aumenta hasta superar las fuerzas internas de cohesión y adherencia, el material comienza a microfisurarse y termina por fallar.

### ***Elasticidad***

La elasticidad, es la propiedad mecánica que hace que los materiales sufran deformaciones reversibles por la acción de las fuerzas exteriores que actúan sobre ellos. La deformación, es la variación de forma y dimensión de un cuerpo. Un material es elástico cuando la deformación que sufre ante la acción de una fuerza, cesa al desaparecer la misma.

Los materiales totalmente elásticos pueden llegar hasta cierta deformación máxima, es lo que se conoce como límite elástico. Si se sobrepasa este límite, la deformación del material es permanente y sus propiedades cambian. Si el esfuerzo que incide sobre el material supera las fuerzas internas de cohesión, el material se fisura y termina por fallar.

Observa en la siguiente figura los estados de deformación de un material.

### **MÓDULO DE ELASTICIDAD**

El módulo de elasticidad de un material es la relación entre el esfuerzo al que está sometido el material y su deformación unitaria. Representa la rigidez del material ante una carga impuesta sobre el mismo.

Cuando la relación entre el esfuerzo y la deformación unitaria a que está sometido el material es lineal, constante y los esfuerzos aplicados no alcanzan el límite de proporcionalidad, el material tiene un comportamiento elástico que cumple con la Ley de Hooke.

### **MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICA DEL CONCRETO**

El módulo de elasticidad del hormigón representa la rigidez de este material ante una carga impuesta sobre el mismo. El ensayo para la determinación del módulo de elasticidad estático del concreto tiene como principio la aplicación de carga estática y de la correspondiente deformación unitaria producida.

La primera fase es la zona elástica, donde el esfuerzo y la deformación unitaria pueden extenderse aproximadamente entre 0% al 40% y 45% de la resistencia a la compresión del concreto. Una segunda fase, representa una línea curva como consecuencia de una microfisuración que se produce en el concreto al recibir una carga, estas fisuras se ubican en la interfase agregado- pasta y está comprendida entre el 45% y 98% de la resistencia del concreto.

### **¿POR QUÉ ES IMPORTANTE CONOCER EL MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN?**

1. Uno de los valores más importantes en el diseño de concreto reforzado es el módulo de elasticidad, puesto que este influye en las deflexiones, derivas y rigidez de una estructura.
2. El módulo de elasticidad del concreto está determinado por una estrecha relación que existe entre el esfuerzo que experimenta un material y la correspondiente deformación unitaria. Es un valor muy importante para el análisis estructural.

3. Tener un buen conocimiento del módulo de elasticidad del concreto bajo condiciones de carga lenta podría emplearse en futuras investigaciones acerca del módulo de elasticidad dinámico de concreto (es decir bajo cargas rápidas) lo anterior sería importante para conocer el comportamiento real del concreto bajo la acción de un sismo.
4. Con el dato del módulo de elasticidad podemos conocer el acortamiento por carga axial de un elemento estructural.
5. El uso masivo de concreto como principal material de construcción hacen indispensable conocer todas sus propiedades mecánicas para tener unos diseños acertados de los proyectos de construcción.
6. Un aspecto importante del análisis y diseño de estructuras se relaciona con las deformaciones que causan las cargas aplicadas a la estructura. Obviamente es importante evitar las deformaciones grandes que puedan impedir que la estructura cumpla con el propósito para el cual se concibió, pero el análisis de deformaciones puede ayudarnos también para el cálculo de los esfuerzos.[42]

#### **7.1.4 Densidad**

La densidad se define como la masa por unidad de volumen de una sustancia, para determinar la densidad de un cuerpo se puede utilizar el principio de Arquímedes el cual nos dice que un cuerpo total o parcialmente sumergido en un fluido en reposo, recibe un empuje de abajo hacia arriba igual al peso del volumen del fluido que desaloja.

En esta prueba lo que se busca determinar es la densidad que contiene cada uno de los especímenes realizados, ya que cada mezcla tiene características muy particulares y así mismo tienen una densidad diferente cada una de ellas. Esta densidad está en función de la porosidad que tenga cada una de las muestras y así poder determinar el grado de permeabilidad que tiene cada mezcla de concreto. Las probetas se midieron con un calibrador o vernier y fueron pesados en una balanza de comercio y aproximación al centésimo de gramo para determinar su densidad, con carácter previo a los ensayos mecánicos. Tomando como referencia las dimensiones medidas al desmoldarlas, se pudo calcular la retracción.

#### **7.1.5 Profundidad de Carbonatación**

El objetivo es determinar el avance de la carbonatación en el concreto por el método de vía húmeda con solución de indicador ácido-base

#### **Definiciones**

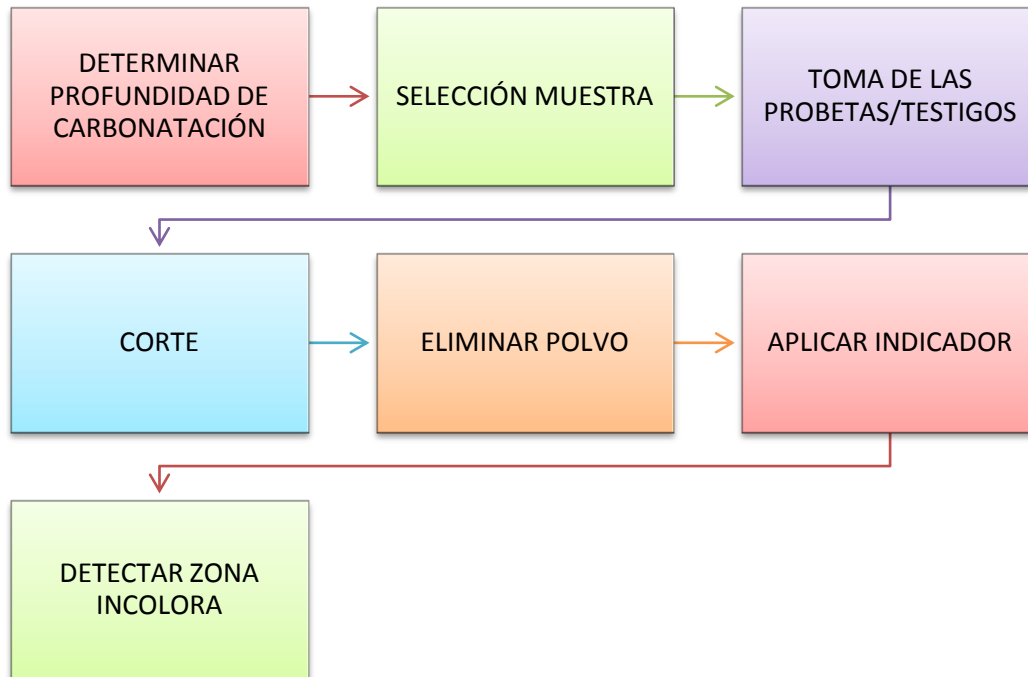
La carbonatación es la reducción de la alcalinidad normal (pH entre 12-14) del concreto por efecto del  $\text{CO}_2$  que difunde desde el medio ambiente que lo rodea. En presencia de humedad, el  $\text{CO}_2$  reacciona con los álcalis (usualmente con los



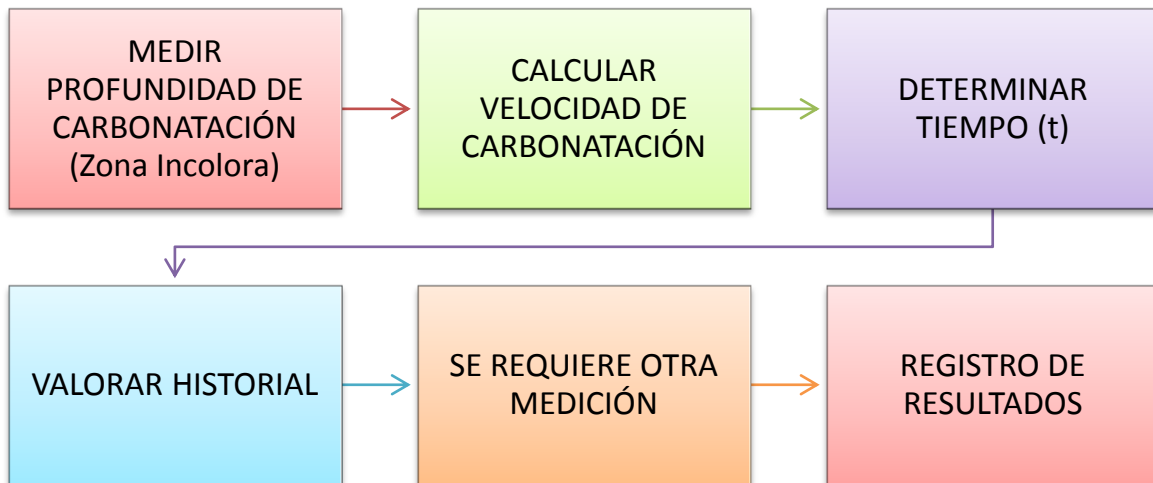
hidróxidos de calcio, sodio y potasio), neutralizándolos para formar carbonatos disminuyendo el pH por debajo de 10.

### Equipos y Materiales

- Instrumentos de medición: escala milimétrica, vernier, etc.
- Herramientas para extracción de muestras: piquetas, taladros, etc.
- Material para limpieza superficial: brocha, trapos, etc.
- Solución indicadora acido-base: fenolftaleína (1g fenolftaleína + 49g alcohol + 50g Agua) o timolftaleína (1g timolftaleína + 99 agua)



En caso de no encontrar zona incolora es decir que el concreto tiene un color que se asemeja al púrpura o fucsia se termina la prueba y se dice que no hay carbonatación. En caso de encontrar zona incolora se realizan los siguientes pasos



### Toma de probetas/testigo.

La sección será un corte transversal donde un extremo corresponderá a la superficie expuesta a la atmósfera. La probeta / testigo puede ser cilíndrica o una porción extraída. El tiempo de exposición de la superficie a evaluar no podrá ser mayor de 15 minutos (fractura fresca).

En caso de que no pueda extraerse un testigo o porción, se procederá a taladrar una o varias secciones manual o mecánicamente hasta la profundidad de interés, dejando el lugar libre de material suelto y polvo, lo cual expondrá la superficie para el análisis.

### Determinación de la profundidad de carbonatación.

Una vez seleccionada la probeta y estando su superficie libre de polvo, se aplicará por atomización el indicador ácido-base en forma uniforme. Luego de 1a aplicación, antes de transcurridos 15 minutos, se efectuará la medición de la longitud (profundidad) de la zona incolora desde la superficie, determinándose con precisión los valores máximos/mínimos del frente incoloro y la media aritmética, de un mínimo de medición, en función del tamaño de la probeta. El procedimiento no debe tardar más de 20 minutos.

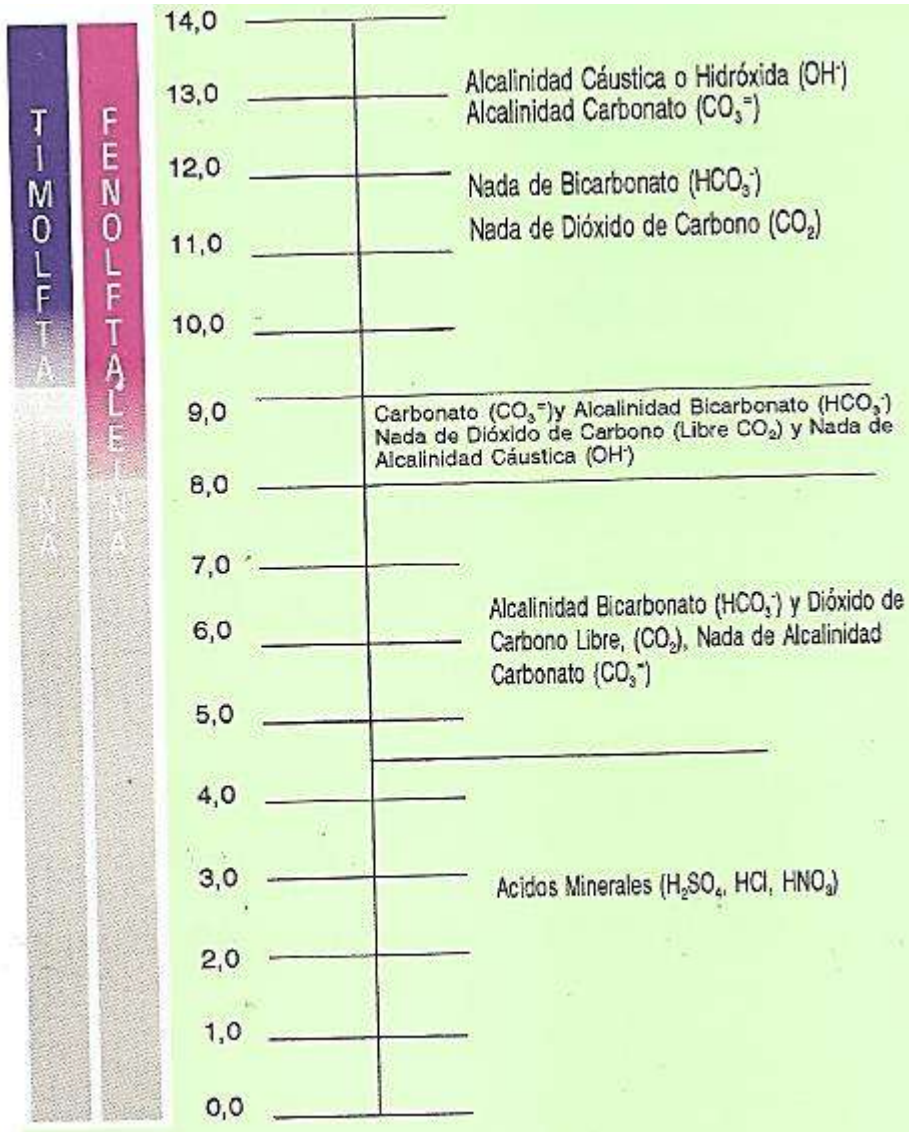
Deberá levantarse un registro preciso sobre la ubicación de las probetas/testigos, tonalidad visualizada, profundidad de carbonatación medida e indicar explícitamente el tipo de indicador utilizado. Igualmente se 'efectuará un registro fotográfico donde sea pertinente

### Criterios de Evaluación

- a) Nivel de pH.

En función del indicador ácido-base seleccionado se establecerá el pH del frente incoloro en la muestra. La fenolftaleína es el indicador más comúnmente utilizado y su rango de viraje está entre pH 8,2 y pH 9,8. Varía su tonalidad de incoloro a violeta rojizo.

La timolftaleína es otro indicador que podría utilizarse, ya que su rango de viraje está entre pH 9,3 y pH 10,5 con tonalidades de incolora a azul. La siguiente Figura muestra los indicadores, su rango de viraje, el pH y las especies predominantes.



b) Cálculo de la velocidad de carbonatación.

Uno de los modelos más sencillos que permite predecir la velocidad de carbonatación del concreto armado es el que relaciona la profundidad de carbonatación con la raíz cuadrada del tiempo de exposición.

$$X_{CO_2} = K_{CO_2} * \sqrt{t}$$

Dónde:

$X_{CO_2}$  = Profundidad de carbonatación, mm

$K_{CO_2}$  = Constante de Carbonatación, mm-año<sup>0.5</sup>

t = tiempo en años

Con los resultados de una determinación de profundidad de carbonatación es posible predecir la progresión de la misma y el tiempo en el cual la carbonatación alcanzará el refuerzo del concreto si se conoce la profundidad de este.

$$K_{CO_2} = \frac{X_{CO_2}}{\sqrt{t}}; \quad t = \left(\frac{ec}{K_{CO_2}}\right)^2$$

Se calcula la constante  $K_{CO_2}$  de la primera determinación y el tiempo en que ocurrió la carbonatación. Se utiliza esa constante junto con la profundidad de la armadura  $ec$  y se determina en cuanto tiempo la carbonatación alcanzará la armadura.

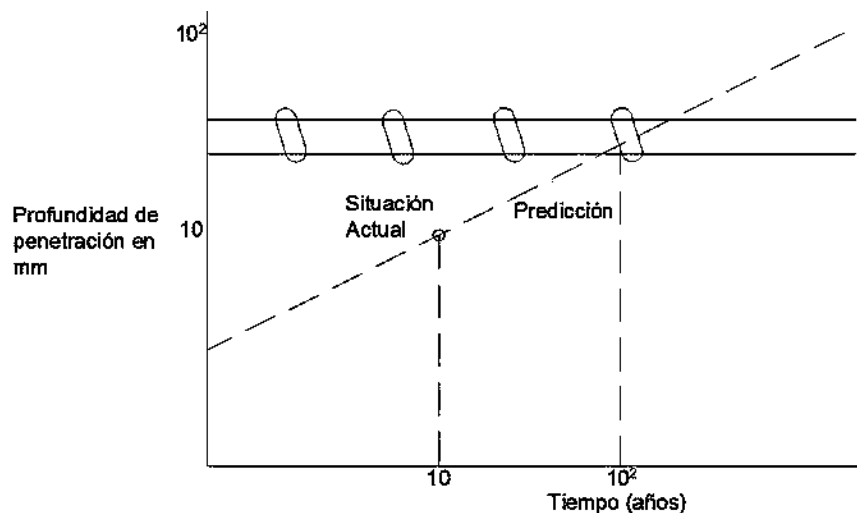


FIGURA 7.1.5.1 Representación gráfica de la determinación del tiempo necesario para la Carbonatación alcance la armadura

Este modelo no debe ser aplicado directamente a estructuras con menos de 3 años de vida, en cuyo caso se recomiendan dos o más medidas con un intervalo mínimo de 6 meses. Siempre es recomendable hacer más de una evaluación para aumentar la certeza de la información obtenida para predecir el comportamiento de la carbonatación, con un desfase de al menos de 6 meses.

Adicionalmente, se ha indicado que valores  $K_{CO_2}$  de a 3 mm/año<sup>0.5</sup> (en función del recubrimiento) pueden ser considerados como indicativos de elevada resistencia a la carbonatación, mientras que valores de  $K_{CO_2} > 6$  mm/año<sup>0.5</sup> indican concretos de muy baja resistencia [3] del manual de la red durar

## 7.2 Pruebas destructivas

### 7.2.1 Resistencia al esfuerzo de compresión simple en cilindros de concreto

La presente prueba está referida a la norma NMX-C-083-ONNCCE-2002[44], o su equivalente de acuerdo con la norma ASTM C 39-01

**OBJETIVO.** Conocer el esfuerzo de ruptura por compresión en una muestra representativa del concreto usado en la obra para comparar su resistencia y saber si es equivalente a la resistencia de proyecto.

**COMPRESIÓN SIMPLE.** Significa que se le aplicara una carga axial concéntrica al cilindro de concreto.

**UTILIDAD PRÁCTICA.** Control de calidad del concreto es decir, verificar la resistencia real del concreto con la resistencia de proyecto.

#### EQUIPO

- Regla para medir el diámetro de cilindro.
- Máquinas hidráulicas (máquina universal, Forney o prensas).

#### PROCEDIMIENTO.

1. El diámetro del espécimen de prueba debe ser determinado con una aproximación a 0.25 mm promedio de las medidas de 2 diámetros perpendiculares entre si
2. Teniendo ya el diámetro del espécimen se coloca en la máquina limpiando perfectamente las placas de apoyo en la máquina y centrando el eje vertical del espécimen en el centro de la placa de apoyo.
3. Se ajusta la platina superior a la cara del espécimen de manera que no se aplique carga de impacto si no que apenas quiera rozar el espécimen.
4. Se nivela y se pone en ceros la máquina. Se aplica la carga a una velocidad constante (continua y sin impactos), de 1.4 a 3.1 kgf/cm<sup>2</sup>/seg. Esta velocidad puede ser un poco mayor a la primera mitad de la carga total del espécimen, respecto a este punto se pueden hacer las siguientes recomendaciones.
  - Que no se suspenda la aplicación de la carga por ningún contratiempo y luego se vuelva a poner a funcionar cuando el espécimen ya se aproxime a la carga de falla.
  - Esta carga falla la podemos prefijar conociendo el porciento de resistencia según su edad, que debe de observar, esta masa se prefija multiplicando el área de la sección transversal del cilindro por la resistencia de proyecto ( $F'c$ ).
5. Se continúa la carga del espécimen hasta la falla registrándola y observando su tipo de falla y la apariencia del material.
  - Las pruebas a la compresión de los especímenes curados en húmedo deben ser relacionados tan pronto como sea posible después de retirarlos de la pileta o del cuarto húmedo y una vez que el material de cabeceo haya adquirido la resistencia requerida



## CÁLCULO.

Para calcular el esfuerzo real que resiste el concreto, se divide la masa resistente entre el área de la sección transversal.

$$R = \frac{P}{A}$$

Dónde:

R = es la carga de ruptura en kg

A = Área de la sección transversal del espécimen en cm<sup>2</sup>

R = Esfuerzo que resiste el espécimen en kgf/cm<sup>2</sup>

Conociendo y registrando su edad se determina su porcentaje de resistencia respecto a la resistencia de proyecto de la forma siguiente:

$$\%Resistencia = \frac{R}{R_p}$$

Dónde:

R = resistencia real a cierta edad en días y en kgf/cm<sup>2</sup>

R<sub>p</sub> = resistencia de proyecto en kg/cm<sup>2</sup>

Este porcentaje de resistencia calculado se compara con la cura de resistencia del concreto respecto a la edad en días y se verifica si está dentro de las especificaciones.

Por ejemplo si se analiza el resultado de la siguiente prueba, se tiene % resistencia del ensaye es de 88 % y la resistencia de proyecto a los 7 días es del 71 % se acepta y está dentro de las especificaciones.

Los especímenes para la aceptación o rechazo de concreto deben ensayarse a la edad de 14 días en caso del concreto de resistencia rápida o 28 días en el caso de resistencia normal con las tolerancias que se indican a continuación:

EDAD DE PRUEBA	TOLERANCIAS PERMISIBLES
24 hr	± 0:30 h
3 Días	± 2h
7 Días	± 6h
14 Días	± 12h
28 Días	± 24h



FIGURA 7.2.1.1 Prueba a compresión en cilindros de concreto (Fuente J. A. Guzmán Torres)

### 7.2.2 Resistencia a esfuerzos de tensión indirecta

La presente prueba está referida a la norma ASTM C 496-96

**OBJETIVO.** Determinar la resistencia a la tensión indirecta de cilindros de concreto y corazones extraídos con barreno.

#### EQUIPO.

- Máquina de prueba.
- Placa o barra de apoyo suplementario.
- Tiras de apoyo.

**OBSERVACIONES.** Para cada espécimen se usarán dos tiras de apoyo de triplay, de un espesor de 3mm (1/8"), libre de imperfecciones, con un ancho de 25 mm (1"), y una longitud igual al espécimen, se emplearán las tiras una sola vez. Los especímenes se mantendrán en humedad.

## PROCEDIMIENTO.

1. Marcado de los especímenes. En cada extremo de los especímenes se trazarán líneas diametrales usando un dispositivo adecuado que asegure estén en el mismo plano axial.
2. Tomaremos las dimensiones del diámetro promediando las medidas dos cerca de los extremos y una al centro siguiendo el plano de los diámetros marcados en los extremos. La longitud la mediremos promediando las dos medidas de las líneas que unen los extremos de cada línea que marca el diámetro en las dos caras del espécimen.
3. Colocamos una de las tiras de triplay a lo largo del centro de la placa de apoyo inferior. El espécimen se coloca sobre la tira de triplay y se acomoda de tal modo que las líneas marcadas en sus dos extremos sean verticales y queden concentradas sobre la tira, se coloca longitudinalmente la segunda tira de triplay sobre el cilindro, concentrándola sobre las líneas marcadas sobre las líneas en los extremos del mismo. El conjunto debe de colocarse de tal manera que garantice las siguientes condiciones:
  - Que la prolongación del plano que contenga las dos líneas marcadas en los extremos del espécimen pasen por el centro de la placa superior de apoyo.
  - Que la placa suplementaria cuando se use y el centro del espécimen esté directamente debajo del centro de la placa con apoyo esférico.
4. Aplicación de carga. La carga se aplica continuamente y sin impacto a una velocidad uniforme dentro del intervalo de 7 a 14 kg/cm<sup>2</sup>/min de esfuerzo indirecto de tensión, hasta la falla del espécimen, debe de anotarse la carga máxima aplicada que indique la máquina de ensaye en la falla, el tipo de falla y la apariencia del concreto.

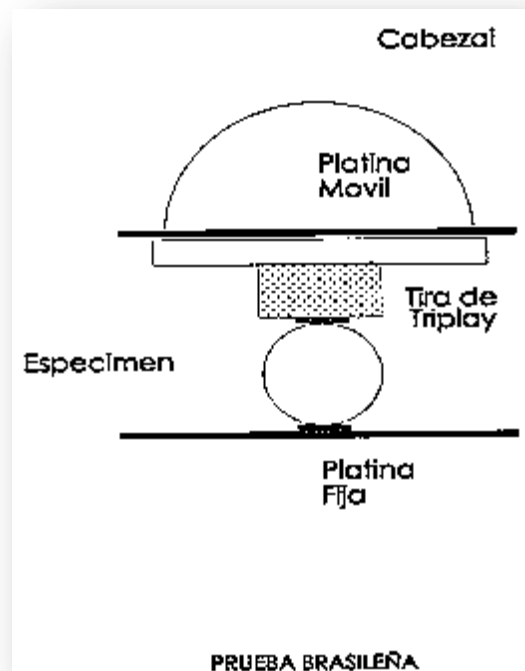


FIGURA 7.2.2.1 Forma para realizar la prueba de Tensión Indirecta (Fuente J. A. Guzmán Torres)

## CÁLCULO.

La resistencia a la tensión indirecta del espécimen se calcula con:

$$T = \frac{2P}{dL\pi}$$

Dónde:

T = Resistencia a tensión indirecta en kg/cm<sup>2</sup>.

P = Carga aplicada máxima en kg.

L = Longitud en cm.

d = Diámetro en cm.

La resistencia a la tensión (resistencia a tracción, resistencia en tracción) directa del concreto es aproximadamente de 8% a 12% de la resistencia a compresión y se estima normalmente como siendo de 0.4 a 0.7 veces la raíz cuadrada de la resistencia a compresión en Megapascales o de 1.3 a 2.2 veces la raíz cuadrada de la resistencia a compresión en kilogramos por centímetro cuadrado (5 a 7.5 veces la raíz cuadrada de la resistencia a compresión en libras por pulgada cuadrada)



FIGURA 7.2.2.2 Prueba de Tensión Indirecta en cilindros de concreto hidráulico (Fuente J. A. Guzmán Torres)

### 7.2.3 Resistencia a esfuerzos de flexión en concreto

La presente prueba está referida a la norma NMX-C-191-ONNCCE-2004 [46], o su equivalente de acuerdo con la norma ASTM C 78-00.

**OBJETIVO.** Determinar la resistencia a flexión del concreto en vigas moldeadas en el laboratorio o en la obra.

#### EQUIPO.

Máquina de prueba. Accesorios para la flexión. Metro.

#### PROCEDIMIENTO.

1. El espécimen debe de voltearse sobre uno de sus lados, respecto a la posición original en la que fue colado, se marcará con un crayón la posición en donde tendrán que ir los cuatro apoyos, se centran los apoyos inferiores y los apoyos superiores deben de poner en contacto con la cara superior del espécimen sobre los puntos externos del tercio central del claro entre apoyos interiores, si



no se tiene un buen contacto con los apoyos interiores será necesario pulir, cabecear o calzar el espécimen con tiras de madera o acero las superficies de contacto, la carga deberá aplicarse en forma uniforme de modo que no produzca impacto, puede aplicarse rápidamente hasta poco menos del 50 % de carga de ruptura, después se aplicara de manera que el esfuerzo en la fibra externa no exceda de 10 kg/cm<sup>2</sup>/min (980 kPa/min).

2. Se determinaran las dimensiones del espécimen, ancho y peralte promedio del espécimen en la sección de falla, deberá hacerse mediciones redondeando al 0.25 cm.

### Cálculos.

Si la fractura ocurre en tercio medio del claro el módulo de ruptura se calculará con:

$$R = \frac{PL}{bd^2}$$

Si la fractura ocurre fuera del tercio medio en no más del 5 % del claro, el módulo de ruptura se calculará:

$$R = \frac{3Pa}{bd^2}$$

Dónde:

R = Módulo de ruptura en kgf/cm<sup>2</sup>.

P = Carga de ruptura en kg.

L = Claro en cm.

b = Ancho promedio en cm.

d = Peralte promedio en cm.

A = Distancia entre la línea de falla y el apoyo más cercano.

Si la fractura ocurre fuera del tercio medio en más del 5 % del claro, los resultados deben de descartarse.



*FIGURA 7.2.3.1 Prueba de Flexión en vigas de concreto hidráulico (Fuente J. A. Guzmán Torres)*

#### ***7.2.4 Determinación de la resistencia del concreto a la congelación y deshielo acelerados***

La presente prueba está referida a la norma NMX-C-205-ONNCCE-2005 [47], o su equivalente de acuerdo con la norma ASTM C 666 y CRD C-114.

Esta prueba se realiza habitualmente para agregados grueso, ya que el agregado fino no afecta la congelación y el deshielo en gran medida, los resultados dependen de las condiciones de humedad del agregado grueso y del concreto.

Esta norma mexicana establece 2 procedimientos para la determinación de la resistencia de probetas de concreto a ciclos acelerados y repetidos, de congelación y deshielo en laboratorio, pudiendo someterse el material a cualquiera de ellos.



Ambos procedimientos tienen por objeto determinar los efectos de las variaciones en las propiedades del concreto, sobre la resistencia del mismo a los ciclos de congelación y deshielo especificados en el procedimiento particular.

Ninguno de los procedimientos pretende proporcionar cuantitativamente la durabilidad que puede esperarse de un tipo específico de concreto.

Las probetas que se usan en esta prueba deben ser de forma prismática, elaboradas y curadas de acuerdo con la norma mexicana NMX-C-159-ONNCCE. Se recomienda el uso de probetas no menores de 76 mm de grueso ni mayores de 137 mm de ancho y no menores de 360 mm ni mayores de 406 mm de longitud. Estas probetas pueden ser también corazones o prismas cortados de concreto endurecido con la norma mexicana NMX-C-169-ONNCCE. Si se usa este tipo de probeta no debe dejarse secar a condiciones de humedad menores que la estructura de la cual se han extraído. Esto puede lograrse envolviéndola en plástico u otro medio adecuado.

Para esta prueba las probetas se guardan en agua saturada de cal desde el momento que se saquen de los moldes hasta el comienzo de la prueba de congelación y deshielo. Todas las probetas que se vayan a comparar unas con otras, inicialmente deben ser de las mismas dimensiones nominales.

Las condiciones ambientales, son las que imperan en el lugar al momento de realizar la prueba.

A continuación se mencionan 2 procedimientos para la determinación de la resistencia de probetas de concreto a ciclos acelerados y repetidos, de congelación y deshielo en laboratorio, pudiendo someterse el material a cualquiera de ellos:

- A) Congelación y deshielo acelerados en agua.
- B) Congelación en aire y deshielo en agua, acelerados

Inmediatamente después del periodo de curado el cual a menos que se especifique otra cosa debe ser de 14 días.

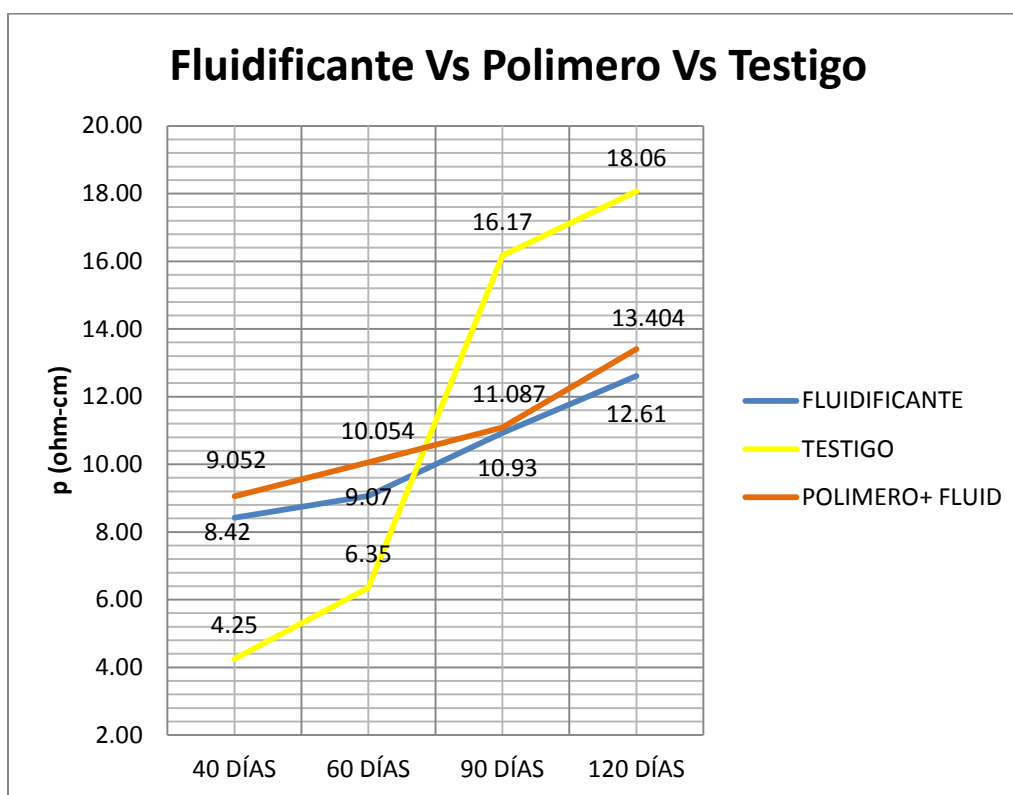
En caso de que se sepa por anticipado que las probetas se puedan deteriorar rápidamente, se deben probar la frecuencia fundamental transversal que no excedan 10 ciclos. Para asegurarse que las probetas están completamente descongeladas y a su temperatura especificada, se colocan en el tanque de control de temperatura o se mantienen hasta el final del ciclo de deshielo, en la cámara de congelación y deshielo, por un tiempo suficiente para que alcancen la temperatura especificada. Se deben proteger las probetas contra la pérdida de humedad mientras se encuentren fuera de la cámara de congelación y deshielo.



## CAPITULO 8. RESULTADOS

En este capítulo se abordarán los resultados obtenidos a lo largo de la investigación mostrando cada uno de ellos obtenidos de las diferentes pruebas que se realizaron a los especímenes elaborados, recordando que son 3 tipos de especímenes, uno que es una mezcla testigo o un grupo control, el cual nos va a ayudar a comparar los resultados obtenidos con las otras 2 mezclas realizadas, y el cual nos va a ayudar a tener un criterio de evaluación de resultados. Otros especímenes elaborados simplemente con el fluidificante y otros que son elaborados con el geopolímero orgánico natural, el cual es la mezcla en estudio, y de la cual se pretende obtener una evaluación de su comportamiento.

### 8.1 Resistividad



**RESISTIVIDAD (ohm-cm) GRUPO GEOPOLÍMERO + FLUIDIFICANTE**

EDAD EN DÍAS	Media Aritmética	Mediana	Desviación Media	Desviación Estándar	CV en %	X-DESV	X+DESV
40	9.05	9.03	0.23562	0.31045661	3.43725833	8.72	9.34
60	10.05	10.29	0.5623464	0.68671991	6.8469609	9.34	10.72
90	11.087	11.39	0.408408	0.58246823	5.15013784	10.73	11.89
120	13.40	13.35	0.596904	0.76551323	5.63398517	12.82	14.35

Promedio de 5 ensayos por fecha de prueba

### RESISTIVIDAD (ohm-cm) GRUPO FLUIDIFICANTE

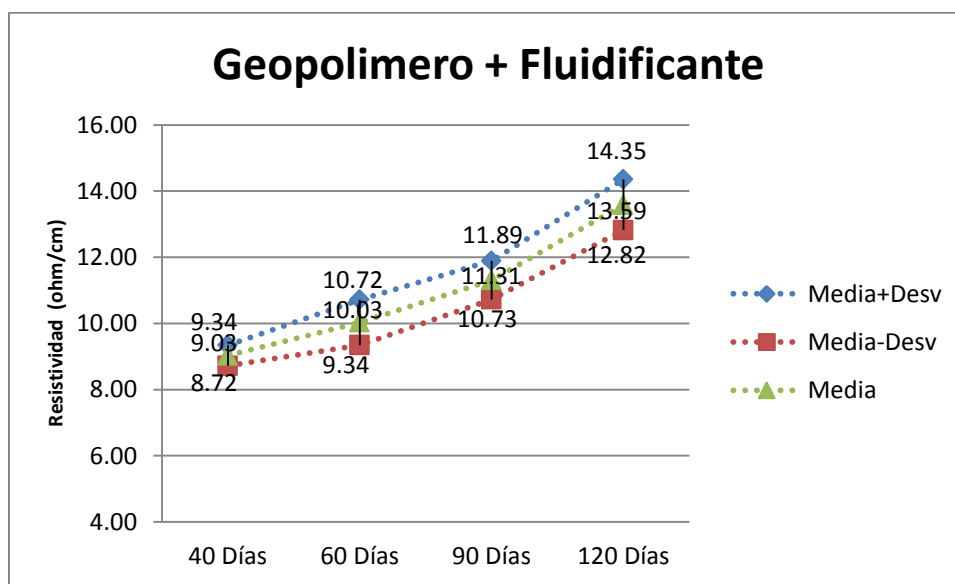
EDAD EN DÍAS	Media Aritmética	Mediana	Desviación Media	Desviación Estándar	CV en %	X-DESV	X+DESV
40	8.42	8.64	0.408408	0.49361625	5.84642097	7.95	8.94
60	9.07	9.15	0.3989832	0.53513931	5.91971274	8.50	9.58
90	10.93	11.00	0	0.27768083	2.52538136	10.72	11.27
120	12.61	12.57	0.361284	0.44774689	3.57421763	12.08	12.97

Promedio de 5 ensayos por fecha de prueba

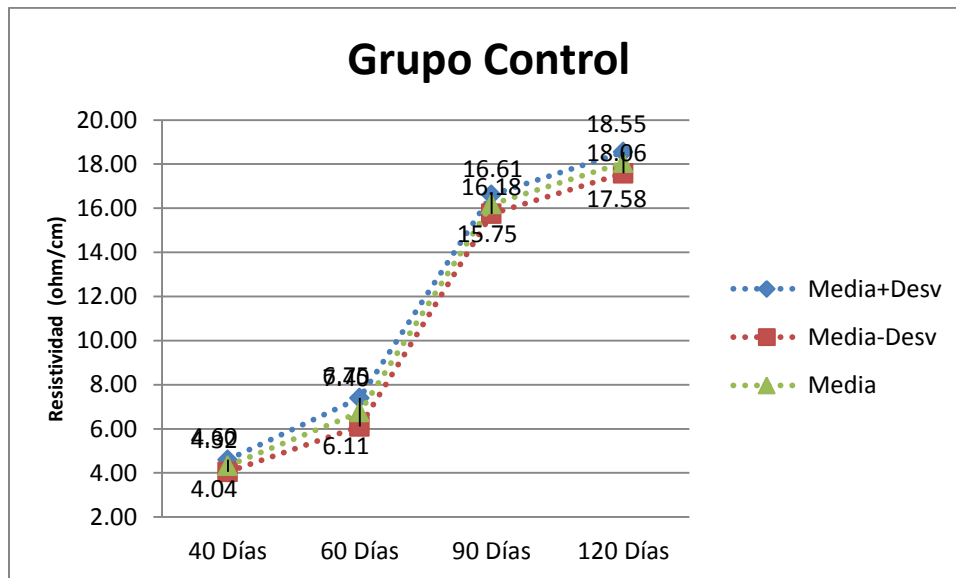
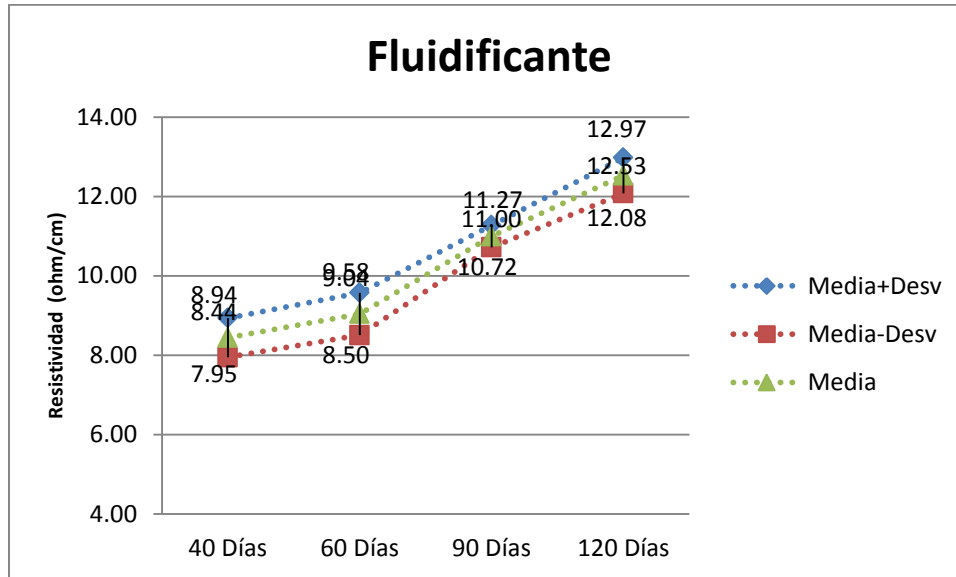
### RESISTIVIDAD (ohm-cm) GRUPO CONTROL

EDAD EN DÍAS	Media Aritmética	Mediana	Desviación Media	Desviación Estándar	CV en %	X-DESV	X+DESV
40	4.25	4.32	0.15708	0.27768083	6.42824347	4.04	4.60
60	6.35	7.07	0.534072	0.64527194	9.55330042	6.11	7.40
90	16.17	16.10	0.282744	0.4301813	2.65884737	15.75	16.61
120	18.06	18.06	0.31416	0.48095731	2.66248885	17.58	18.55

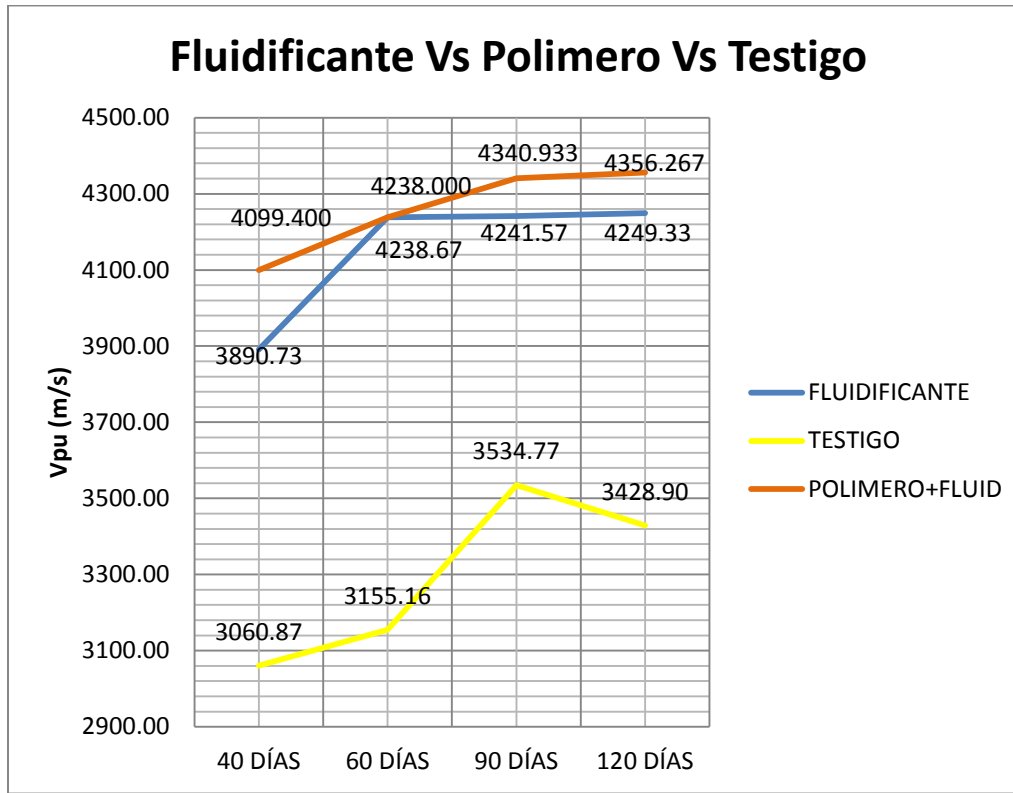
Promedio de 5 ensayos por fecha de prueba







## 8.2 Velocidad de pulso ultrasónico



**VPU(m/s) GRUPO GEOPOLÍMERO + FLUIDIFICANTE**

EDAD EN DÍAS	Media Aritmética	Mediana	Desviación Media	Desviación Estándar	CV en %	X-DESV	X+DESV
40	4099.40	4121.00	77.44	107.245979	2.61613843	3992.15	4206.65
60	4238.00	4236.00	21.2	26.9907392	0.63687445	4211.01	4264.99
90	4340.93	4370.00	25.84	37.3991979	0.86154805	4303.53	4378.33
120	4356.26	4335.00	35.44	42.522935	0.976134	4313.74	4398.78

Promedio de 5 ensayos por fecha de prueba

**VPU(m/s) GRUPO FLUIDIFICANTE**

EDAD EN DÍAS	Media Aritmética	Mediana	Desviación Media	Desviación Estándar	CV en %	X-DESV	X+DESV
40	3890.73	3928.00	55.04	70.7191629	1.81763224	3820.01	3961.45
60	4238.67	4243.00	44.8	53.8562903	1.27059408	4184.81	4292.53
90	4241.57	4295.00	7.44	10.6630202	0.25139324	4230.91	4252.23
120	4249.33	4291.00	42.4444444	59.9360771	1.410483	4189.39	4309.27

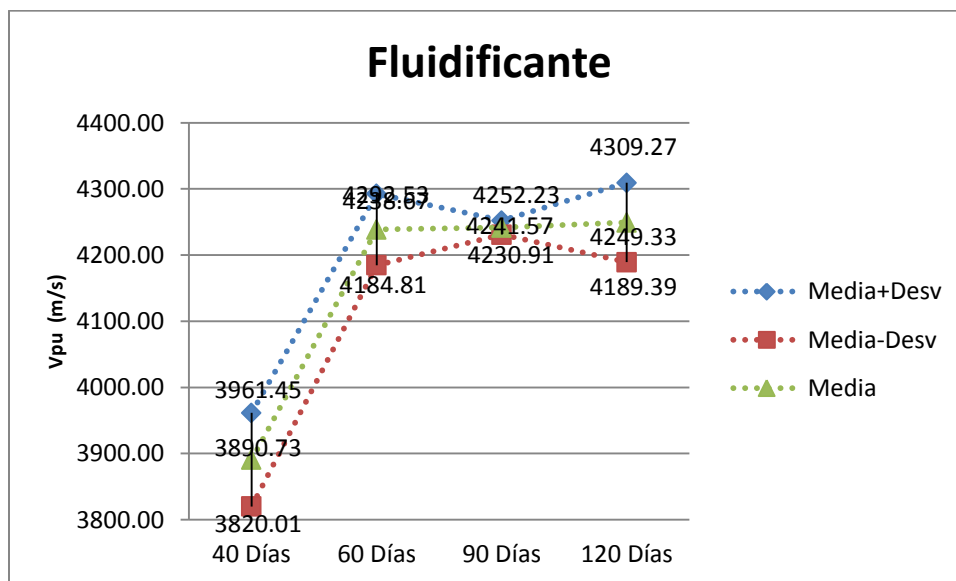
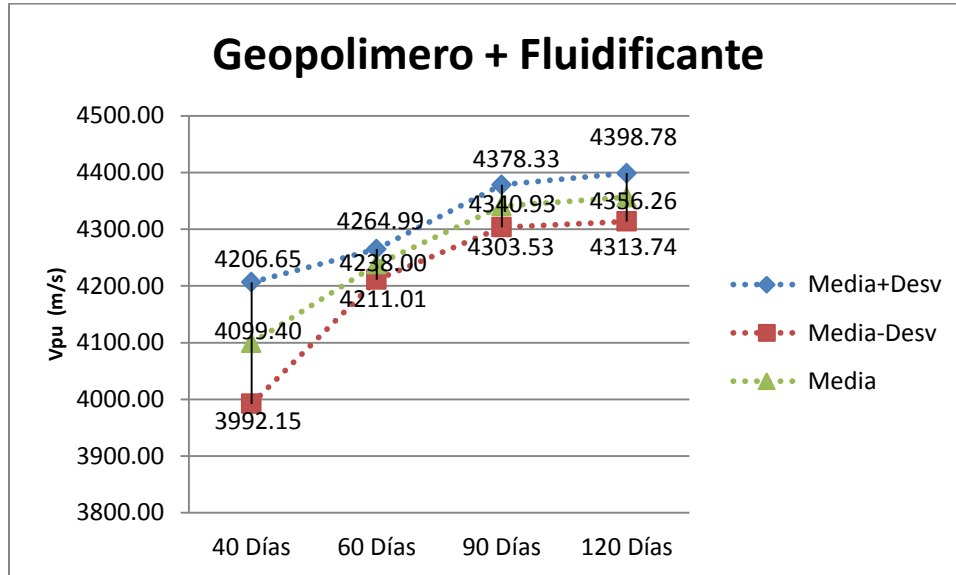
Promedio de 5 ensayos por fecha de prueba

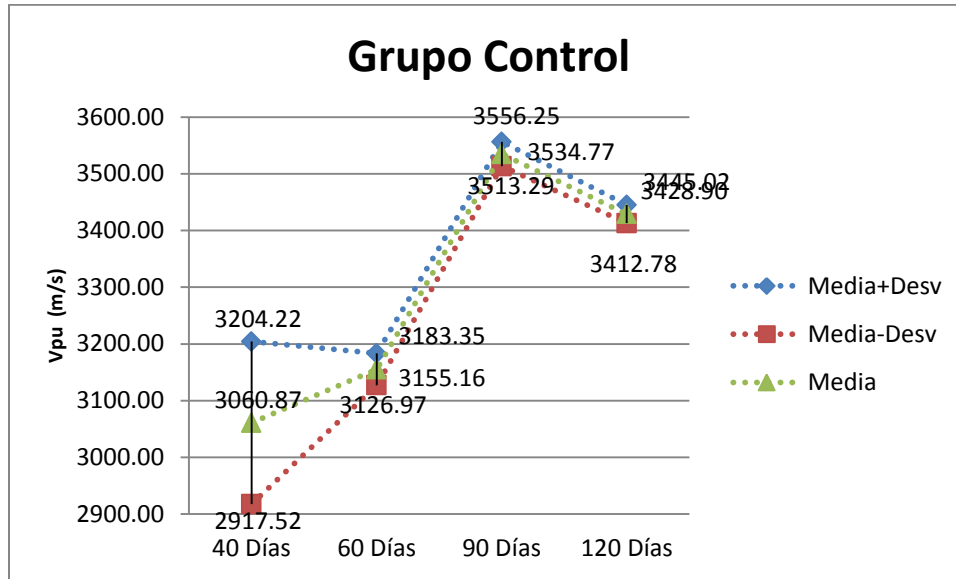
**VPU(m/s) GRUPO CONTROL**

EDAD EN DÍAS	Media Aritmética	Mediana	Desviación Media	Desviación Estándar	CV en %	X-DESV	X+DESV
40	3060.87	3008.00	123.28	143.35027	4.68331783	2917.52	3204.22

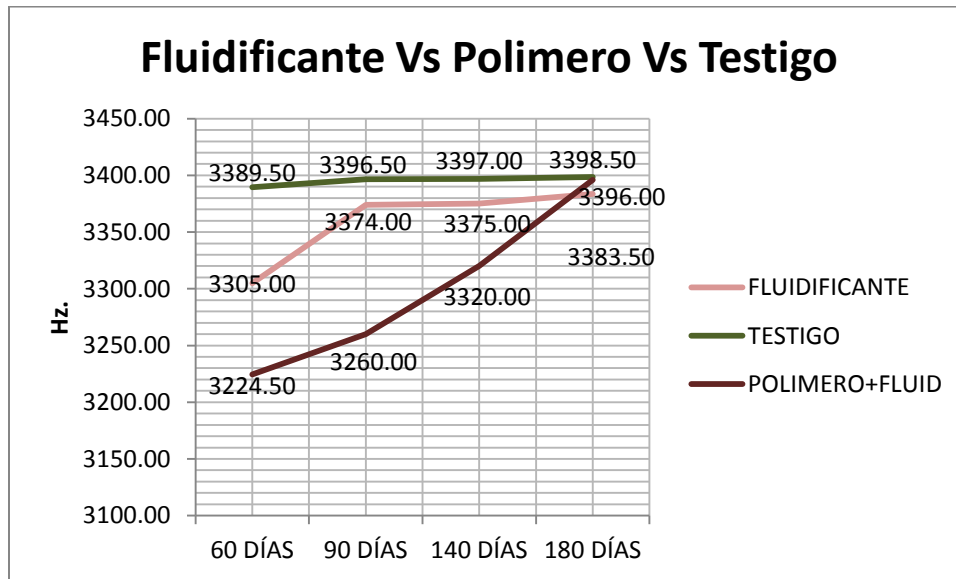
<b>60</b>	3155.16	3157.89	22.8176	28.191797	0.89351402	3126.97	3183.35
<b>90</b>	3534.77	3537.00	13.52	21.4755675	0.60755205	3513.29	3556.25
<b>120</b>	3428.90	3361.00	11.76	16.1152102	0.46998192	3412.78	3445.02

Promedio de 5 ensayos por fecha de prueba





### 8.3 Frecuencias de Resonancia y Módulo de Elasticidad Dinámico



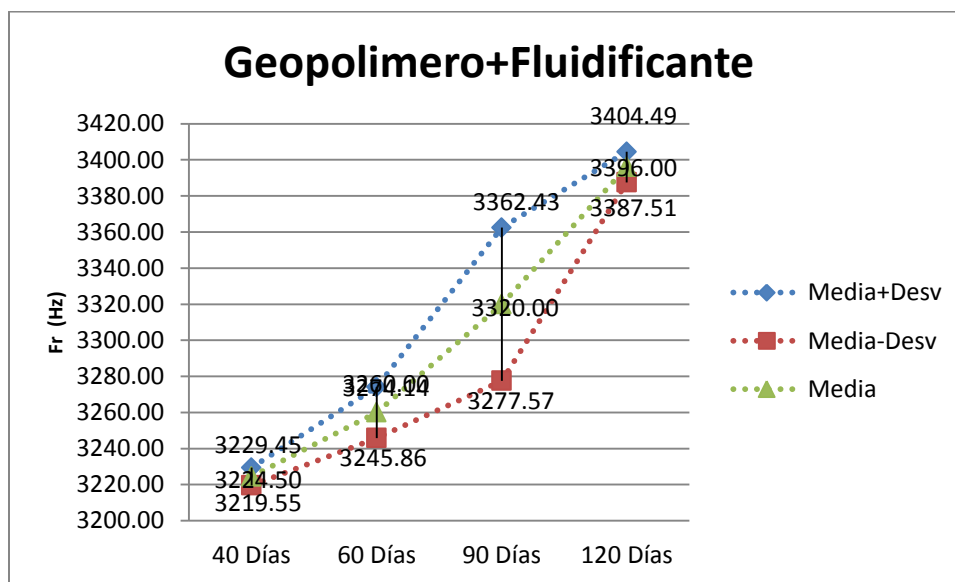
FRECUENCIAS DE RESONANCIA (kg/cm <sup>2</sup> ) GRUPO GEOPOLÍMERO + FLUIDIFICANTE							
EDAD EN DÍAS	Media Aritmética	Mediana	Desviación Media	Desviación Estándar	CV en %	X-DESV	X+DESV
60	3224.50	3224.50	3.5	4.94974747	0.15350434	3219.55	3229.45
90	3260.00	3260.00	10	14.1421356	0.43380784	3245.86	3274.14
140	3320.00	3320.00	30	42.4264069	1.27790382	3277.57	3362.43
180	3396.00	3396.00	6	8.48528137	0.24986105	3387.51	3404.49

### FRECUENCIAS DE RESONANCIA (kg/cm<sup>2</sup>) GRUPO FLUIDIFICANTE

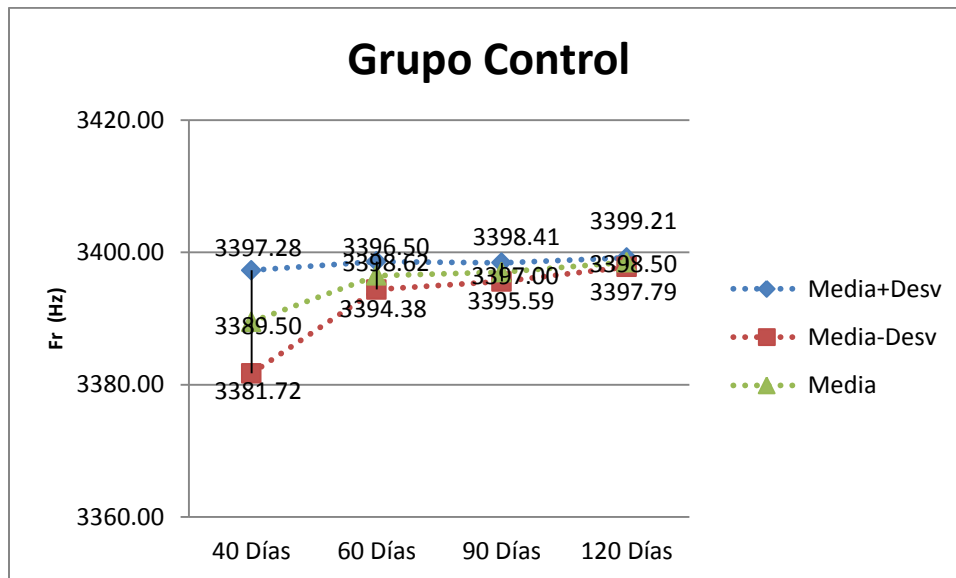
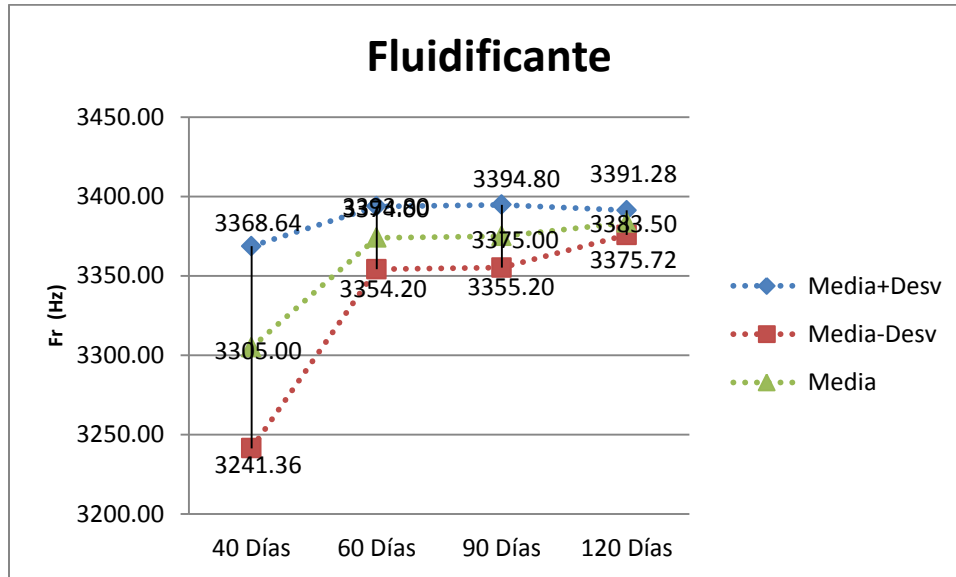
EDAD EN DÍAS	Media Aritmetica	Mediana	Desviación Media	Desviación Estándar	CV en %	X-DESV	X+DESV
60	3305.00	3305.00	45	63.6396103	1.92555553	3241.36	3368.64
90	3374.00	3374.00	14	19.7989899	0.58681061	3354.20	3393.80
140	3375.00	3375.00	14	19.7989899	0.58663674	3355.20	3394.80
180	3383.50	3383.50	5.5	7.77817459	0.22988546	3375.72	3391.28

### FRECUENCIAS DE RESONANCIA (kg/cm<sup>2</sup>) GRUPO CONTROL

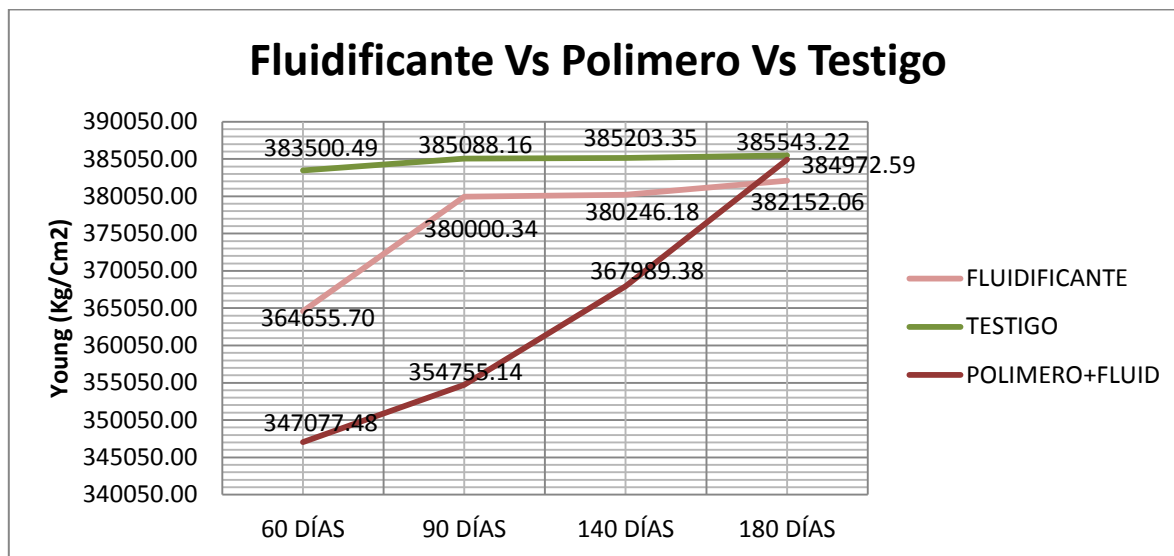
EDAD EN DÍAS	Media Aritmetica	Mediana	Desviación Media	Desviación Estándar	CV en %	X-DESV	X+DESV
60	3389.50	3389.50	5.5	7.77817459	0.22947852	3381.72	3397.28
90	3396.50	3396.50	1.5	2.12132034	0.06245607	3394.38	3398.62
140	3397.00	3397.00	1	1.41421356	0.04163125	3395.59	3398.41
180	3398.50	3398.50	0.5	0.70710678	0.02080644	3397.79	3399.21







### 8.3.1 Módulo de Elasticidad Dinámico



Modulo Elasticidad Dinámico (kg/cm <sup>2</sup> ) GRUPO GEOPOLÍMERO + FLUIDIFICANTE							
EDAD EN DÍAS	Media Aritmética	Mediana	Desviación Media	Desviación Estándar	CV en %	X-DESV	X+DESV
60	347077.48	347077.48	1883.99462	2664.37074	0.76765878	344413.11	349741.85
90	354755.14	354755.14	1020.85763	1443.7107	0.40695977	353311.43	356198.85
140	367989.38	367989.38	7848.06796	11098.8441	3.01607732	356890.53	379088.22
180	384972.59	2274.07	7.40740741	10.475656	0.00272114	384962.12	384983.07

Modulo Elasticidad Dinámico (kg/cm <sup>2</sup> ) GRUPO FLUIDIFICANTE							
EDAD EN DÍAS	Media Aritmética	Mediana	Desviación Media	Desviación Estándar	CV en %	X-DESV	X+DESV
60	364655.70	364655.70	8741.24091	12361.9814	3.39004201	352293.72	377017.68
90	380000.34	380000.34	1915.74116	2709.26713	0.7129644	377291.07	382709.61
140	380246.18	380246.18	4393.04883	6212.70924	1.63386502	374033.47	386458.88
180	382152.06	382152.06	2487.16896	3517.38807	0.92041584	378634.67	385669.44

Modulo Elasticidad Dinámico (kg/cm <sup>2</sup> ) GRUPO CONTROL							
EDAD EN DÍAS	Media Aritmética	Mediana	Desviación Media	Desviación Estándar	CV en %	X-DESV	X+DESV
60	383500.49	383500.49	4.61015291	6.51974076	0.00170006	383493.97	383507.01
90	385088.16	385088.16	914.227713	1292.91323	0.33574474	383795.25	386381.07
140	385203.35	385203.35	1481.5215	2095.18779	0.54391733	383108.16	387298.54
180	385543.22	385543.22	1369.28489	1936.46127	0.50226828	383606.75	387479.68

## 8.4 Densidad

En esta sección se muestran las densidades que se obtuvieron de las probetas:

MEZCLA CON FLUIDIFICANTE	PESO (kg)	Vol. Inicial Litros	Vol. Final Litros	Diferencia de Vol. Litros	DENSIDAD (kg/m <sup>3</sup> )
1.00	3.49	7.20	8.77	0.00157	2222.93
2.00	3.52	7.20	8.77	0.00157	2242.04
3.00	3.48	7.20	8.76	0.00156	2230.77
4.00	3.50	7.20	8.70	0.00150	2330.00
5.00	3.51	7.20	8.80	0.00160	2193.75
6.00	3.49	7.20	8.79	0.00159	2194.97
7.00	3.49	7.20	8.73	0.00153	2281.05
8.00	3.53	7.20	8.78	0.00158	2234.18
9.00	3.50	7.20	8.79	0.00159	2201.26
10.00	3.47	7.20	8.75	0.00155	2238.71
11.00	3.50	7.20	8.74	0.00154	2272.73
12.00	3.48	7.20	8.81	0.00161	2161.49
<b>PROMEDIO</b>					<b>2233.66</b>

GRUPO CONTROL	PESO (kg)	Vol. Inicial Litros	Vol. Final Litros	Diferencia de Vol. Litros	DENSIDAD (kg/m <sup>3</sup> )
1	3.51	7.2	8.77	0.00157	2235.67
2	3.52	7.2	8.77	0.00157	2242.04
3	3.5	7.2	8.78	0.00158	2215.19
4	3.52	7.2	8.76	0.00156	2256.41
5	3.53	7.2	8.75	0.00155	2277.42
6	3.51	7.2	8.79	0.00159	2207.55
7	3.5	7.2	8.77	0.00157	2229.30
8	3.5	7.2	8.79	0.00159	2201.26
9	3.53	7.2	8.74	0.00154	2292.21
10	3.52	7.2	8.75	0.00155	2270.97
11	3.54	7.2	8.76	0.00156	2269.23
12	3.53	7.2	8.74	0.00154	2292.21
<b>PROMEDIO</b>					<b>2249.12</b>

MEZCLA CON POLÍMERO ORGANICO + FLUIDIFICANTE	PESO (kg)	Vol. Inicial Litros	Vol. Final Litros	Diferencia de Vol. Litros	DENSIDAD (kg/m3)
1	3.51	7.5	9.08	0.00158	2221.52
2	3.5	7.5	9.09	0.00159	2201.26
3	3.52	7.5	9.07	0.00157	2242.04
4	3.5	7.5	9.08	0.00158	2215.19
5	3.52	7.5	9.09	0.00159	2213.84
6	3.53	7.5	9.12	0.00162	2179.01
7	3.5	7.5	9.01	0.00151	2317.88
8	3.53	7.5	8.98	0.00148	2385.14
9	3.52	7.5	9.12	0.00162	2172.84
10	3.54	7.5	9.08	0.00158	2240.51
11	3.53	7.5	9.1	0.00160	2206.25
12	3.51	7.5	9.1	0.00160	2193.75
<b>PROMEDIO</b>					<b>2232.43</b>

## 8.5 Profundidad de carbonatación

Para poder determinar la profundidad de carbonatación en los especímenes realizados hubo la necesidad de colocar los especímenes sobre un lugar en donde estuvieran directamente expuestos al intemperismo, en donde los vientos dominantes golpearan al elemento sobre una de sus caras para poder comprobar su influencia en la degradación del concreto.



FIGURA 8.1.5.1 Especímenes expuestos al intemperismo (Fuente J. A. Guzmán Torres)

Una vez que se dejaron los especímenes al intemperismo por un periodo de 6 meses en cada uno de los grupos elaborados, se sometieron a pruebas de profundidad de carbonatación, para esto se utilizó una guillotina (equipo proporcionado por el IMT), la cual permite realizar un corte en el concreto para poder verificar que profundidad de carbonatación se tiene.

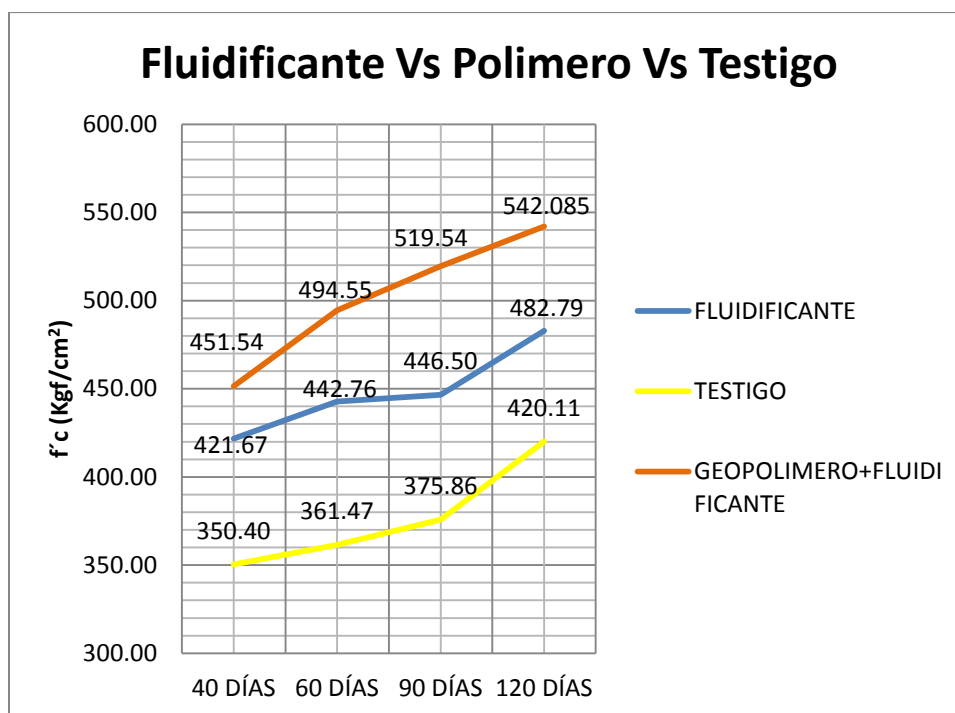


FIGURA 8.1.5.2 Prueba de Carbonatación (Fuente J. A. Guzmán Torres)

Una vez realizada la prueba se determinó que la profundidad de carbonatación para las mezclas elaboradas es la siguiente:

	Grupo Control	Geopolímero + Fluid	Fluidificante
Profundidad de carbonatación	1.5 mm	0 mm "Nula"	0 mm "Nula"

## 8.6 Resistencia al esfuerzo de compresión simple en cilindros de concreto



**f' c (kgf/cm<sup>2</sup>) GRUPO GEOPOLÍMERO + FLUIDIFICANTE**

EDAD EN DÍAS	Media Aritmética	Mediana	Desviación Media	Desviación Estándar	CV en %	X-DESV	X+DESV
40	451.54	453.78	12.6203504	16.5556886	3.66648077	434.99	468.10
60	494.55	503.69	27.2676981	34.9261699	7.06218775	459.63	529.48
90	519.54	514.64	11.1576528	13.6495543	2.62723685	505.89	533.19
120	542.08	557.07	23.7148114	27.664191	5.10329769	514.42	569.75

Promedio de 5 ensayos por fecha de prueba

**f' c (kgf/cm<sup>2</sup>) GRUPO FLUIDIFICANTE**

EDAD EN DÍAS	Media Aritmética	Mediana	Desviación Media	Desviación Estándar	CV en %	X-DESV	X+DESV
40	421.67	419.07	24.5521328	36.619739	8.68452901	385.05	458.29
60	442.76	440.03	25.7805543	38.4503165	8.68430664	404.31	481.21
90	446.50	449.71	9.95367746	12.8886637	2.88658466	433.61	459.39
120	482.79	490.60	17.1497997	20.1291882	4.16930649	462.67	502.92

Promedio de 5 ensayos por fecha de prueba

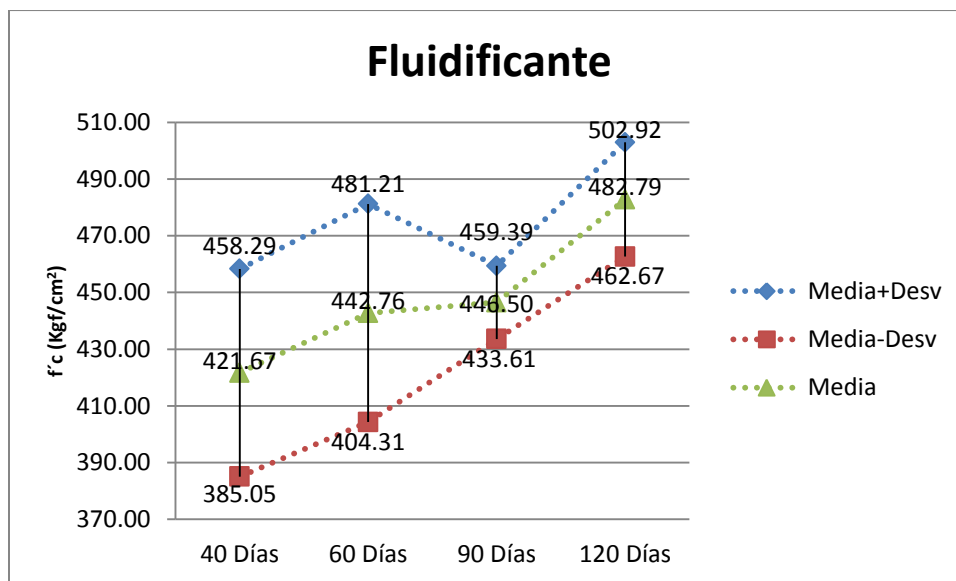
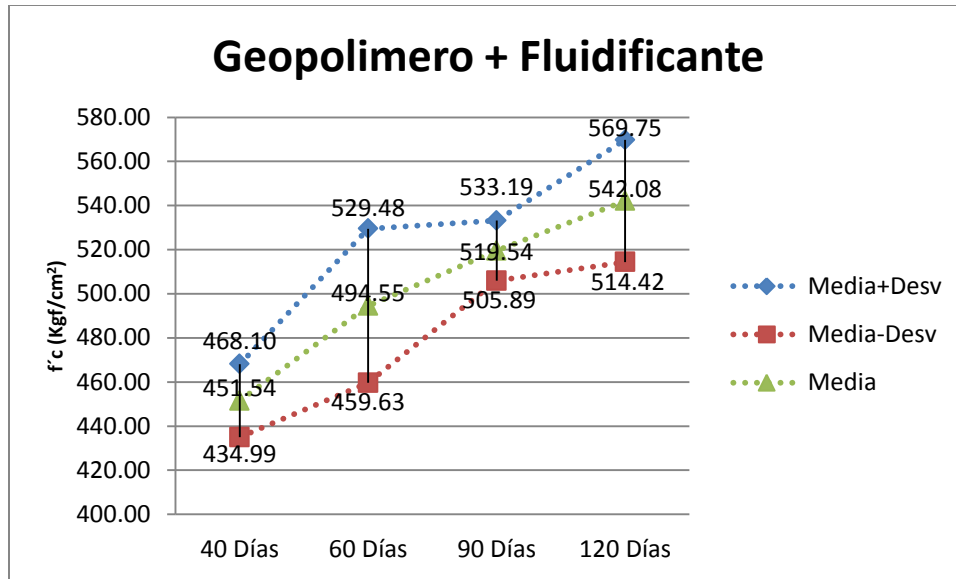
**f' c (kgf/cm<sup>2</sup>) GRUPO CONTROL**

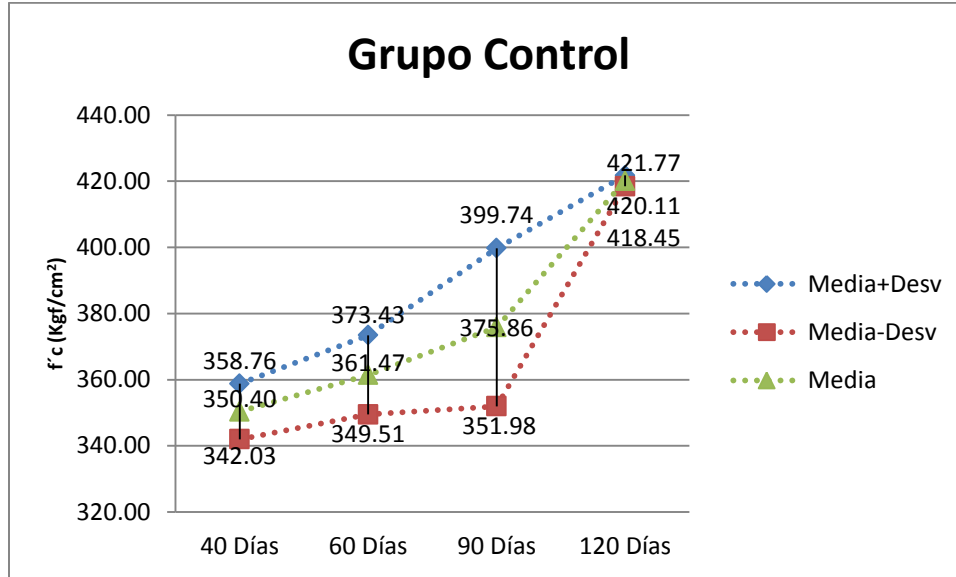
EDAD EN DÍAS	Media Aritmética	Mediana	Desviación Media	Desviación Estándar	CV en %	X-DESV	X+DESV
40	350.40	356.51	7.33385978	8.36858424	2.38832511	342.03	358.76



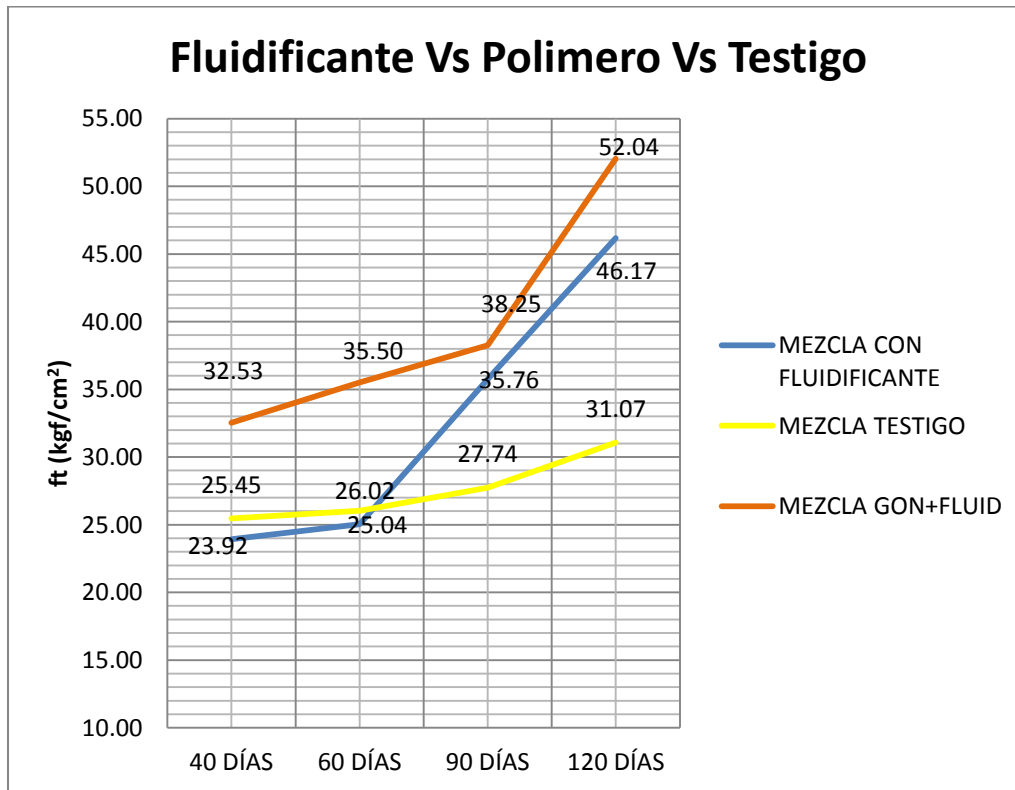
<b>60</b>	361.47	359.37	8.20577422	11.9636267	3.30971349	349.51	373.43
<b>90</b>	375.86	366.29	16.9177885	23.8801947	6.35343293	351.98	399.74
<b>120</b>	420.11	419.09	1.32518772	1.65865048	0.39481293	418.45	421.77

Promedio de 5 ensayos por fecha de prueba





## 8.7 Resistencia a esfuerzos de tensión indirecta



ft (kgf/cm <sup>2</sup> ) GRUPO GEOPOLIMERO + FLUIDIFICANTE							
EDAD EN DÍAS	Media Aritmética	Mediana	Desviación Media	Desviación Estandar	CV en %	X-DESV	X+DESV
40	32.53	32.53	0.1061033	0.15915494	0.48923679	32.37	32.69
60	35.50	36.73	1.85327089	2.41272455	6.79599317	33.09	37.91

90	38.25	38.26	0.01414711	0.01837763	0.04804579	38.23	38.27
120	52.04	52.61	1.52505803	2.06407538	3.96612615	49.98	54.11

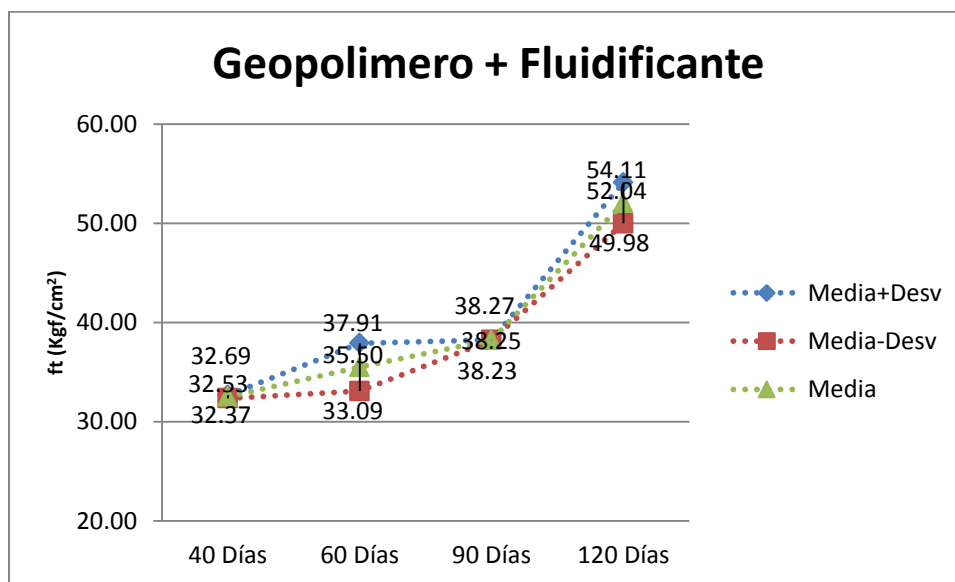
Promedio de 5 ensayos por fecha de prueba

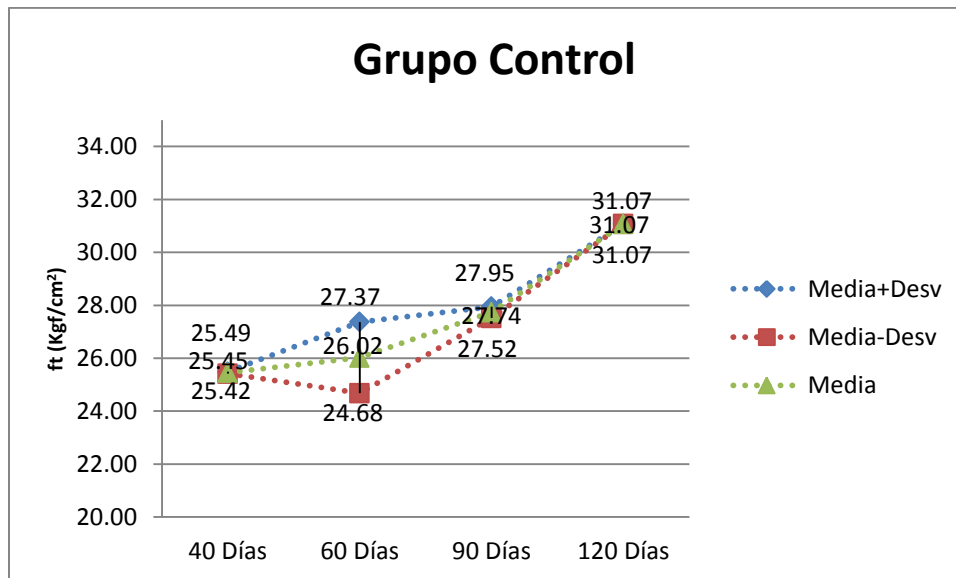
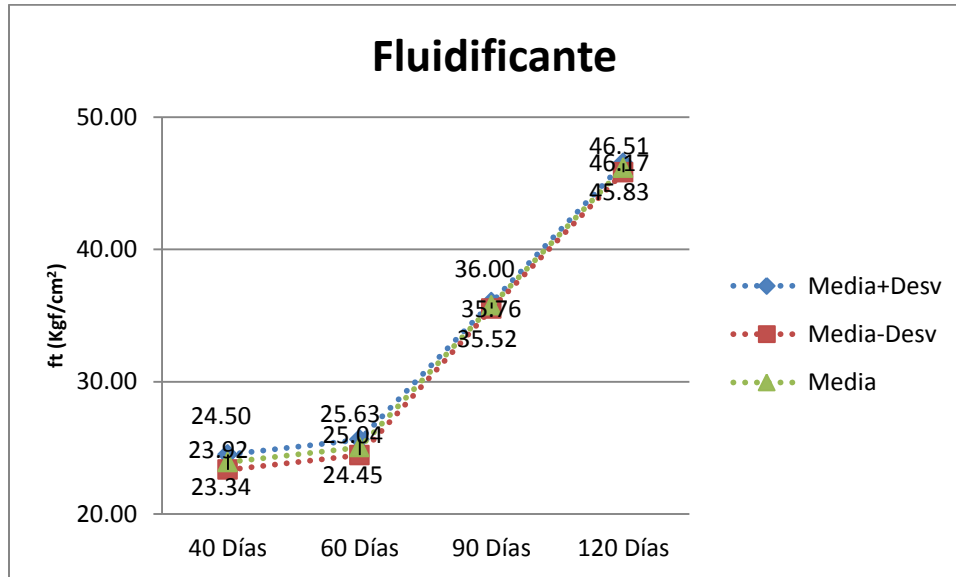
ft (kgf/cm <sup>2</sup> ) GRUPO FLUIDIFICANTE							
EDAD EN DÍAS	Media Aritmetica	Mediana	Desviación Media	Desviación Estandar	CV en %	X-DESV	X+DESV
40	23.92	24.08	0.42653525	0.57693173	2.41182233	23.34	24.50
60	25.04	25.04	0.39470426	0.5888991	2.3519973	24.45	25.63
90	35.76	35.63	0.18179031	0.23641519	0.66111642	35.52	36.00
120	46.17	46.15	0.23413461	0.33965818	0.73567194	45.83	46.51

Promedio de 5 ensayos por fecha de prueba

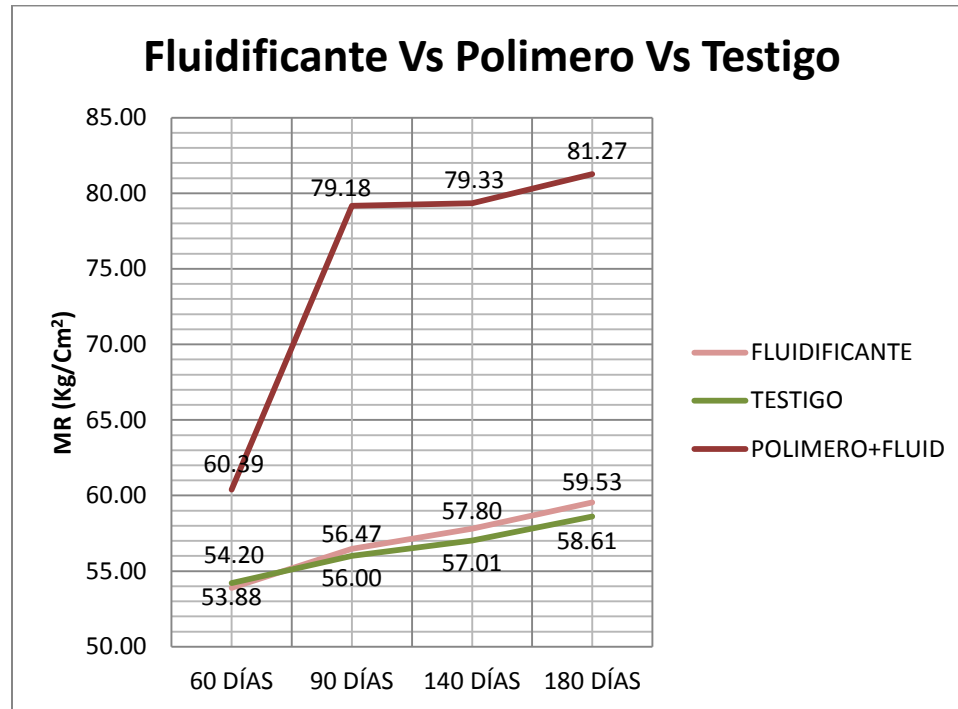
ft (kgf/cm <sup>2</sup> ) GRUPO CONTROL							
EDAD EN DÍAS	Media Aritmetica	Mediana	Desviación Media	Desviación Estandar	CV en %	X-DESV	X+DESV
40	25.45	25.43	0.02900157	0.03770774	0.14814586	25.42	25.49
60	26.02	25.40	1.02920197	1.3454948	5.17063801	24.68	27.37
90	27.74	27.66	0.16269172	0.21666906	0.78120038	27.52	27.95
120	31.07	31.07	0	0	0	31.07	31.07

Promedio de 5 ensayos por fecha de prueba





## 8.8 Resistencia a esfuerzos de flexión en concreto



**Mr (kg/cm<sup>2</sup>) Gupo Geopolímero + Fluidificante**

EDAD EN DÍAS	Media Aritmética	Mediana	Desviación Media	Desviación Estándar	CV en %	X-DESV	X+DESV
60	60.39	60.39	0.68666667	0.97109331	1.60794786	59.42	61.36
90	79.18	79.18	3.28666667	4.64804857	5.87023058	74.53	83.83
140	79.33	79.33	0.8	1.13137085	1.42609771	78.20	80.46
180	81.27	79.33	0.8	1.13137085	1.39217086	80.14	82.40

Promedio de 3 ensayos por fecha de prueba

**Mr (kg/cm<sup>2</sup>) Gupo Fluidificante**

EDAD EN DÍAS	Media Aritmética	Mediana	Desviación Media	Desviación Estándar	CV en %	X-DESV	X+DESV
60	53.88	53.88	0.52	0.73539105	1.36486832	53.14	54.62
90	56.47	56.47	1.13333333	1.60277537	2.83844517	54.86	58.07
140	57.80	57.80	0.2	0.28284271	0.48934725	57.52	58.08
180	59.53	59.53	0.2	0.28284271	0.47509974	59.25	59.82

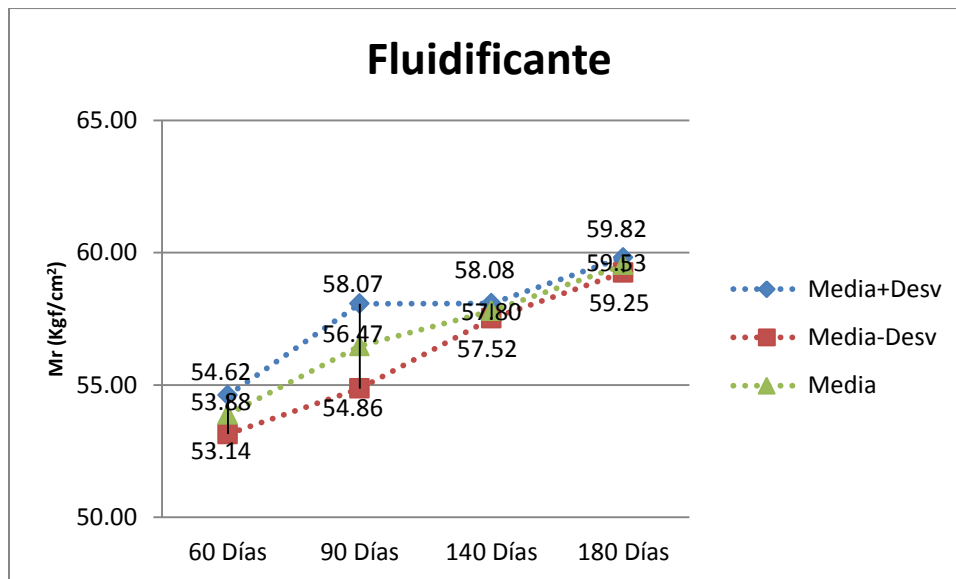
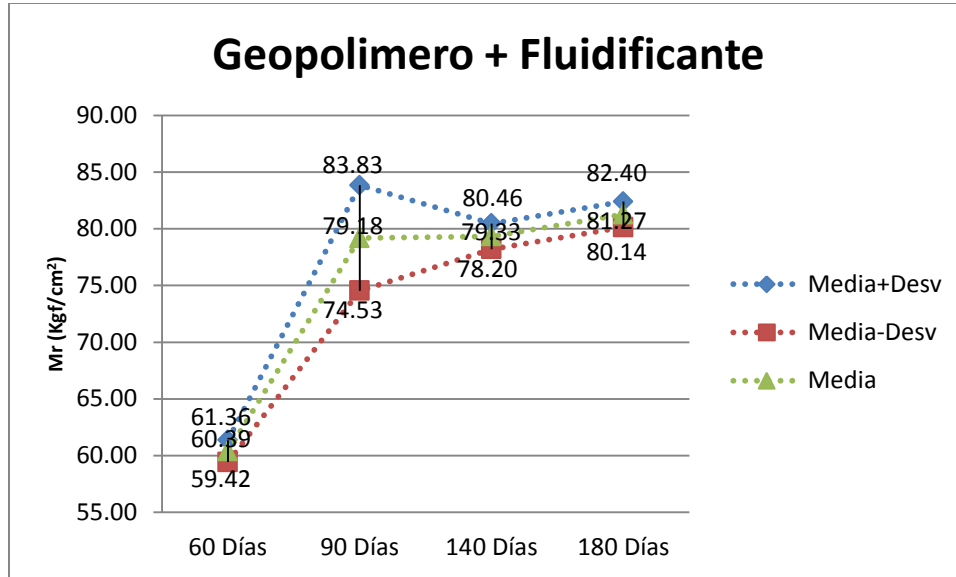
Promedio de 3 ensayos por fecha de prueba

**Mr (kg/cm<sup>2</sup>) Grupo Control**

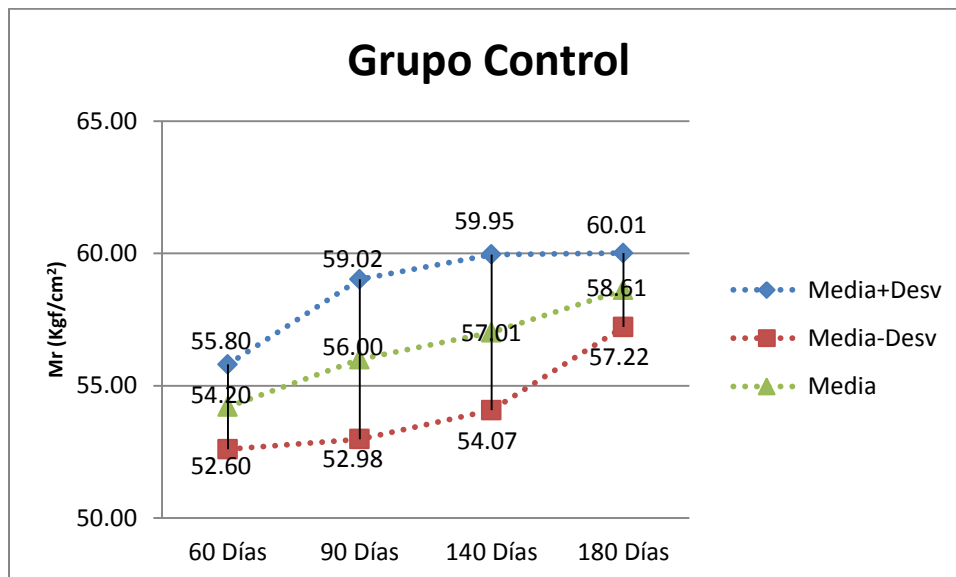
EDAD EN DÍAS	Media Aritmética	Mediana	Desviación Media	Desviación Estándar	CV en %	X-DESV	X+DESV
60	54.20	54.20	1.13333333	1.60277537	2.95715013	52.60	55.80

90	56.00	56.00	2.13333333	3.01698893	5.38748024	52.98	59.02
140	57.01	57.01	2.08	2.94156421	5.15943208	54.07	59.95
180	58.61	58.61	0.98666667	1.39535738	2.38061428	57.22	60.01

Promedio de 3 ensayos por fecha de prueba







A continuación se muestra un resumen de los resultados de las resistencias de los especímenes que contienen el polímero orgánico, los especímenes que solo tienen el fluidificante y los resultados del grupo control. Solamente se muestran los promedios de los resultados a cada fecha de prueba, esto debido a que el poner demasiados números y/o resultados puede resultar inapropiado para el lector.

## 8.9 Resumen de Resultados

MEZCLA GEOPOLÍMERO + FLUIDIFICANTE								
EDA D EN DÍAS	RESISTIVIDA D p (ohm-cm)	CRITERIO DE EVALUACIÓN	ULTRASONID O (m/seg)	CALIDAD DEL CONCRET O	RELACIÓ N F' C CON FT	RELACIÓ N F' C de DISEÑO CON FT	TENSIÓ N (Kg/cm <sup>2</sup> )	COMPRESIÓ N (Kg/cm <sup>2</sup> )
40	9.052	ALTO RIESGO	4099.400	DURABL E	7.204	9.295	32.531	451.542
60	10.054	RIESGO MODERADO	4238.000	DURABL E	7.179	10.143	35.502	494.552
90	11.087	RIESGO MODERADO	4340.933	DURABL E	7.362	10.929	38.250	519.540
120	13.404	RIESGO MODERADO	4356.267	DURABL E	9.600	14.869	52.043	542.085

### MEZCLA GEOPOLÍMERO + FLUIDIFICANTE

EDAD EN DÍAS	FRECUENCIAS DE RESONANCIA (Hz)	RELACIÓN DEL MR CON EL F' C de DISEÑO	MODULO DE RUPTURA (Kg/cm <sup>2</sup> )
60	3224.50	17.2552381	60.39
90	3260	22.6285	79.18
140	3320	22.6666	79.33
180	3396	23.2190	81.27

### MEZCLA CONTROL

EDA D EN DÍAS	RESISTIVIDA D p (ohm-cm)	CRITERIO DE EVALUACIÓN	ULTRASONID O (m/s)	CALIDAD DEL CONCRET O	RELACIÓ N F' C CON FT	RELACIÓ N F' C de DISEÑO CON FT	TENSIÓ N (Kg/cm <sup>2</sup> )	COMPRESIÓ N (Kg/cm <sup>2</sup> )
40	4.25	ALTO RIESGO	3060.87	ALTA	6.004	6.010	21.04	350.40
60	6.35	ALTO RIESGO	3155.16	ALTA	6.322	6.530	22.86	361.47
90	16.17	RIESGO MODERADO	3534.77	ALTA	6.378	6.849	23.97	375.86
120	18.06	RIESGO MODERADO	3428.90	ALTA	6.058	7.272	25.45	420.11

### MEZCLA CONTROL

EDAD EN DÍAS	FRECUENCIAS DE RESONANCIA (Hz)	RELACIÓN DEL MR CON EL F' C de DISEÑO	MODULO DE RUPTURA (Kg/cm <sup>2</sup> )
60	3389.50	15.485	54.20
90	3396.50	16	56.00
140	3397.00	16.289	57.01
180	3398.50	16.746	58.61

### MEZCLA FLUIDIFICANTE

EDA D EN DÍAS	RESISTIVIDA D p (ohm-cm)	CRITERIO DE EVALUACIÓN	ULTRASONID O (m/s)	CALIDAD DEL CONCRET O	RELACIÓ N F' C CON FT	RELACIÓ N F' C de DISEÑO CON FT	TENSIÓ N (Kg/cm <sup>2</sup> )	COMPRESIÓ N (Kg/cm <sup>2</sup> )
40	8.42	ALTO RIESGO	3890.73	ALTA	5.672	6.834	23.92	421.67
60	9.07	ALTO RIESGO	4238.67	DURABL E	5.655	7.153	25.04	442.76

90	10.93	RIESGO MODERADO	4241.57	DURABL E	8.008	10.217	35.76	446.50
120	12.61	RIESGO MODERADO	4249.33	DURABL E	9.563	13.191	46.17	482.79

### MEZCLA FLUIDIFICANTE

EDAD EN DÍAS	FRECUENCIAS DE RESONANCIA (Hz)	RELACIÓN DEL MR CON EL F'C de DISEÑO	MODULO DE RUPTURA (Kg/cm <sup>2</sup> )
60	3305	15.3942	53.88
90	3374	16.1333	56.47
140	3375	16.5142	57.80
180	3383	17.0095	59.53

## CAPITULO 9. ANÁLISIS ECONÓMICO DEL PRODUCTO

Para ver la factibilidad de poder implementar un aditivo al concreto ya sea para aportar algo más a la literatura existente o para poder comercializar un producto es necesario saber cómo el ramo Ingenieril acogerá este nuevo producto o esta nueva aportación al conocimiento de desarrollo de materiales. Para esto primero se hace un análisis económico a micro escala donde se pueda ver la necesidad de la implantación de nuevos productos que satisfagan las necesidades existentes.

Para realizar un correcto análisis de mercado se deben tomar en cuenta varios factores que están ligados muy intrínsecamente entre cada uno de ellos como lo son:



En el estudio del mercado debemos comprobar y corroborar que:

- ✓ Existe una necesidad insatisfecha en el mercado
- ✓ Conocer el riesgo de que triunfe o fracase el producto o la inversión.
- ✓ Ver la cantidad de población que adquiriría un nuevo servicio

Conforme a lo anterior tomando en cuenta que existe una necesidad de un concreto que sea capaz de resistir solicitaciones estáticas, dinámicas y que se tenga un menor consumo de cemento, para poder tener un ahorro sustantivo en la obra, y que se incremente su capacidad de resistencia a la flexión, se parte de la idea de que se haga un estudio completo en infraestructuras de concreto, revise la patología y de solución a las diferentes problemáticas que se presenten. Ya que la mayoría de las estructuras de concreto solamente se realizan bajo condiciones



sin control de calidad y sin la implementación de productos que puedan dar más durabilidad o realizar un diseño adecuado de mezcla que proporcione y garantice el adecuado comportamiento del concreto.

Como ya se vio en el capítulo 2 la problemática actual en el concreto es evidente, esta problemática la llamaremos “Problema principal”

### **Recopilación de información de fuentes primarias**

Para seguir con nuestro análisis también vamos a ver la necesidad de las empresas para saber cómo podemos utilizar esa información a nuestro favor, y verificar que la demanda realmente esta insatisfecha, es decir la demanda de productos nuevos que ayuden a mejorar la durabilidad del concreto para así ellas como empresas prestadoras de servicio den la garantía de que entregaran obras de calidad. Pero para eso es necesario realizar una encuesta a varias empresas constructoras que puedan dar testimonio sobre el conocimiento que se tiene acerca del concreto y la durabilidad, y que criterios usan para desarrollar un concreto durable, la encuesta debe contener preguntas claras y precisas que nos ayuden a darnos una idea más clara de lo que podemos usar a nuestro favor y poder tener así un analisis de mercado mucho más completo, además de poder dar un pronóstico de la respuesta que tendrá el mercado ante un producto que mejore la calidad de su producto y que puede llegar a disminuir precios.

Uno de los métodos de pronóstico de fuentes primarias son las encuestas, estas nos ayudan a darnos una idea sobre el potencial de la demanda insatisfecha que existe.

Algo importante que hay que considerar para evitar una encuesta sesgada que debemos de tener una encuesta estratificada es decir que debemos tener más de una variante para que la encuesta sea lo más aproximada posible a lo que realmente está sucediendo en el mercado, nuestra estratificación la haremos de la



siguiente

manera



Al mencionar nivel municipio, nivel estado y nivel nacional nos referimos al lugar donde fungen o radican y al tipo de obra que en lo general se dedican es decir una constructora nivel municipio se dedica por lo general a obras locales o de su municipio, obras de gobierno municipal, y que por razones monetarias no entran a obras de mayor magnitud.

Las empresas constructoras de nivel estado realizan obras en todo el estado pero no se dedican a hacer obras lejos de su estado donde radica la empresa ya que no les es factible el trasladarse de un lugar a otro.

Y las empresas constructoras nivel nacional son empresas que se dediquen a hacer infraestructura en todo el país, teniendo varias sedes a lo largo de la republica lo que le facilite el poder fungir en toda la nación sin el impedimento económico que tienen otras empresas constructoras.

La encuesta puede tener preguntas de tipo Nominal, Ordinal o de intervalos, la siguiente encuesta es la que se realizará a las empresas constructoras donde se desea conocer cuál es su situación, se realizarán un total de 35 encuestas donde



se determinó que el nivel de confianza de las encuestas sería del 90% con un error del 10 % ya que esto estaba en función de las personas que contestaran las encuestas y es la que se muestra a continuación:

### Encuesta a empresas constructoras

- 1.- ¿CUAL ES EL ELEMENTO O MATERIAL MAS UTILIZADO EN SU EMPRESA?
- 2.- ¿REALIZA ALGÚN TIPO DE CONTROL DE CALIDAD EN EL CONCRETO?
- 3.- ¿DISEÑA TODAS LAS MEZCLAS DE CONCRETO POR MAS PEQUEÑO QUE SEA SU VOLUMEN O SU USO?
- 4.- ¿REALIZA ALGUNA CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS PÉTREOS PARA PODER REALIZAR UN DISEÑO DE MEZCLA?
- 5.- ¿VERIFICA LA CALIDAD DE AGUA UTILIZADA EN LA MEZCLA DEL CONCRETO HIDRÁULICO?
- 6.- ¿REALIZA ALGÚN DISEÑO DE MEZCLA?
- 7.- ¿VERIFICA LA CALIDAD DE LA MEZCLA?
- 8.- ¿QUÉ MÉTODOS DE DISEÑO UTILIZAN?
- 9.- ¿MONITOREA EL CONCRETO EN ESTADO FRESCO?
- 10.- ¿QUÉ PRUEBAS LE REALIZA AL CONCRETO EN ESTADO FRESCO?
- 11.- ¿QUIEN SUPERVISA EL MEZCLADO Y ELABORADO DEL CONCRETO HIDRÁULICO?
- 12.- ¿Qué PROFESIONISTA ES EL QUE SUPERVISA?
- 13.- ¿HACE ALGÚN TIPO DE CURADO EN EL CONCRETO HIDRÁULICO?
- 14.- ¿QUE TIPO DE CURADO REALIZA?
- 15.- ¿GENERALMENTE QUE RELACIÓN AGUA CEMENTO UTILIZA EN SUS OBRAS DE CONCRETO?
- 16.- ¿CONTRATA ALGÚN LABORATORIO PARA EL MONITOREO DEL CONCRETO?
- 17.- ¿VERIFICA LA CALIDAD EN ESTADO SECO DE LA MEZCLA DE CONCRETO?

- 18.- ¿QUÉ TIPO DE MONITOREO REALIZA AL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO?
- 19.- ¿QUÉ TIPO DE MONITOREO REALIZA AL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO CUANDO HAY FALLAS O DAÑOS EN LA ESTRUCTURA?
- 20.- ¿CONTRATA ALGÚN ESPECIALISTA PARA DESIGNAR LA SOLUCIÓN INDICADA?
- 21.- GENERALMENTE ¿QUIEN ES EL QUE REALIZA ESTAS REPARACIONES?
- 22.- ¿UTILIZAN PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS PARA DAR UNA SOLUCIÓN AL PROBLEMA?
- 23.- ¿QUÉ TIEMPO DURAN LAS OBRAS ANTES DE EMPEZAR A REALIZAR REPARACIONES?
- 24.- ¿SON REPARACIONES DE MAGNITUD GRANDES, MEDIANAS O PEQUEÑAS?
- 25.- ¿QUÉ PROBLEMAS SON LOS MAS COMUNES EN EL CONCRETO HIDRÁULICO QUE SE PRESENTAN?
- 26.- ¿TIENE ALGÚN PROBLEMA CON CONTRATAR ALGÚN ESPECIALISTA EN LA MATERIA COMO APOYO?
- 27.- ¿CUENTA EN SU EMPRESA CON ALGUIEN ESPECIALISTA Y CERTIFICADO EN CONCRETO HIDRÁULICO?
- 28.- ¿QUÉ PRECIO TIENE UN ESTUDIO DE CALIDAD DE CONCRETO FRESCO?
- 29.- ¿QUE PRECIO TIENE UN ESTUDIO DE PATOLOGÍA DE CONCRETO ENDURECIDO?

### **Análisis de los resultados de las encuestas**

Las encuestas realizadas fueron a 5 empresas constructoras de la cd. De Morelia Michoacán, 5 empresas que trabajan en todo el estado de Michoacán y que tienen participación en los municipios del estado, y 5 empresas que trabajan en todo el país ya que tienen obras a lo largo de la república. A continuación se muestra el resumen de los resultados de las encuestas, ya que el mostrar cada una de las encuestas puede ser engorroso y repetitivo, se consideró que por factibilidad solo se mostrará el resultado general de las encuestas para poder tener un panorama de la situación de la necesidad insatisfecha.

PREGUNTA	EMPRESAS MUNICIPALES	EMPRESA ESTATALES	EMPRESAS NACIONALES
1	CONCRETO	CONCRETO	ASFALTO
2	NO	A VECES	SI
3	NO	NO	NO
4	NO	NO	A VECES
5	NO	NO	NO
6	NO	NO	NO
7	NO	A VECES	SI
8	NINGUNO	NINGUNO	CEMEX
9	A VECES	A VECES	SI
10	REVENIMIENTO	REVENIMIENTO	REVENIMIENTO
11	SUPERVISOR	RESIDENTE	RESIDENTE
12	ARQUITECTO	INGENIERO	INGENIERO CIVIL
13	NO	A VECES	SI
14	NINGUNO	REGADO CON MANGUERA	CAMA DE ARENA
15	NO SE	NO SE	.45
16	A VECES	A VECES	SI
17	NO	NO	NO
18	NINGUNA	VISUAL	VISUAL
19	VISUAL	ESTRUCTURAL	ESTRUCTURAL
20	NO	NO	A VECES
21	EL ALBAÑIL	ARQUITECTO	ESTRUCTURISTA
22	NO	NO	NO
23	3 AÑOS	3 AÑOS	5 AÑOS
24	MEDIANAS	PEQUEÑAS	MEDIANAS
25	GRIETAS	FISURAS	GRIETAS, PERDIDA DE RECUBRIMIENTO
26	NO	NO	SI
27	NO	NO	SI
28	1500	1600	1800
29	NO SE	NO SE	NO SE

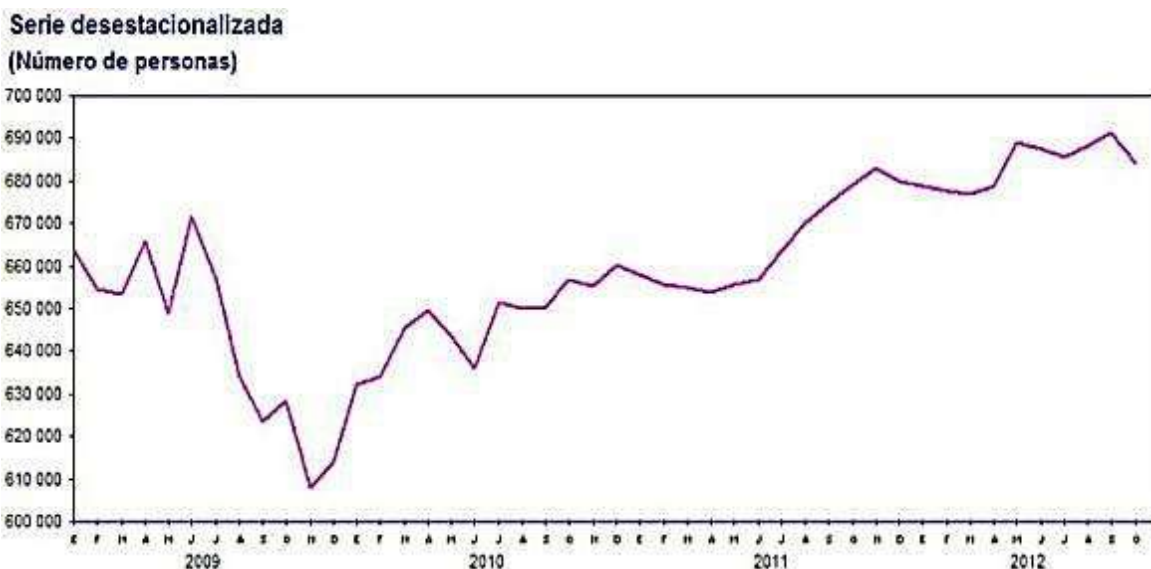
Se puede apreciar que generalmente no hay una cultura de prevención y calidad en el sector de la construcción, por lo menos con relación en infraestructura de

concreto hidráulico, ya que se pudo observar la deficiencia con la que cuenta este sector, sin diseños, sin control con muchas fallas y poca mano de obra especializada en el tema, además de tener una idea muy somera sobre el comportamiento del concreto, esto nos da un buen panorama para ver que hace falta mucho por hacer y se puede ayudar a dar muchas soluciones y prevenciones de este problema.

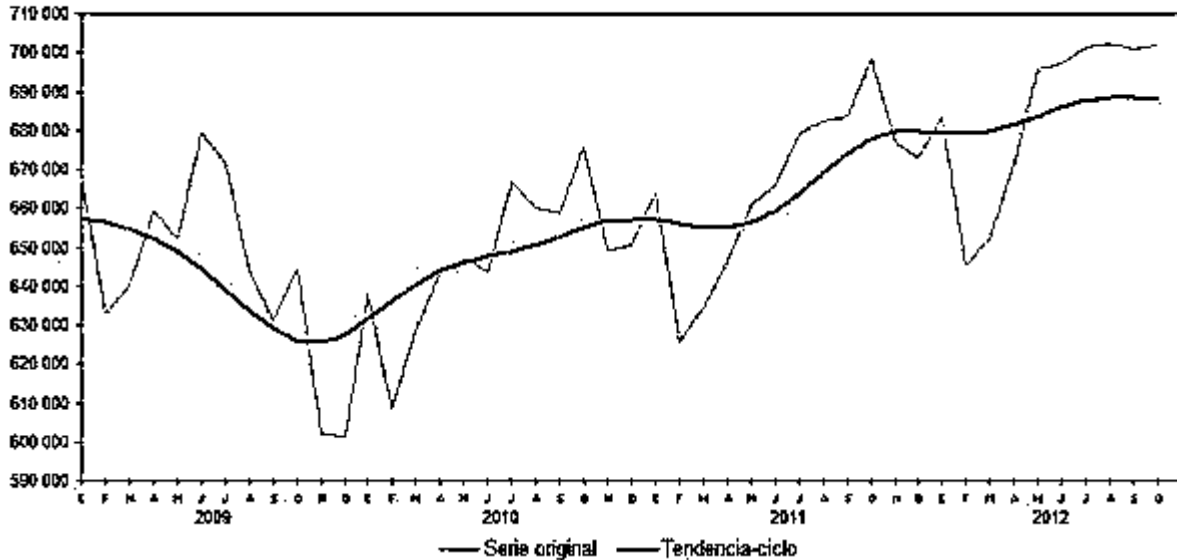
### Proyección de la demanda

Es importante saber la construcción tiene futuro en el mercado, en este caso el sector de estudio es el sector de la construcción ya que entre mayor construcción y mayor inversión en la infraestructura mayor es el campo donde se puede apoyar y tener una respuesta favorable de nuestro producto. Para esto nos apoyamos en la información secundaria pero confiable que es el INEGI en donde podemos ver que las personas cada vez se ocupan más en el sector de la construcción lo que es un indicador que el sector de la construcción crece de manera favorable

## SERIE DESESTACIONALIZADA Y TENDENCIA-CICLO DEL PERSONAL OCUPADO TOTAL EN LAS EMPRESAS CONSTRUCTORAS



**Tendencia-ciclo**  
**(Número de personas)**



Se puede apreciar que el personal ocupado activo va creciendo en el sector de la construcción y que las tendencias son positivas hacia esta dirección, la dirección del crecimiento.

FUENTE: PORTAL OFICIAL DE INEGI [www. Inegi.org.mx](http://www.Inegi.org.mx)

### Conclusiones del Análisis de mercado

Es clara la necesidad insatisfecha de un mercado que necesita mejores productos y mejor diseño de construcción hablando en específico del concreto hidráulico y su patología, se tiene que el 66.66% de material utilizado en la infraestructura y en la construcción en México es el concreto hidráulico, que el 66.66 % de las empresas constructoras no realizan un control de calidad en el concreto, al confiarse del concreto que les manda la distribuidora, y que consideran no es importante, un 90% de empresas que no realizan un buen diseño de concreto, mucho menos un diseño para un volumen pequeño de concreto, un 70% que no verifica la calidad de la mezcla en estado fresco por no considerarlo importante, un 75% de personas que supervisan la calidad en estado fresco no tienen la formación ni el conocimiento suficiente para conocer el daño que se le hace al concreto al no elaborarlo de manera correcta, el 75% de los constructores no contratan un

laboratorio especialista que les supervisa la calidad de sus obras, el 85 % de las empresas constructoras contrata un laboratorio especialista cuando el problema es muy muy grave, y un 78% de las empresas realiza reparaciones superficiales ante daños de infraestructura de concreto por desconocimiento del correcto procedimiento de reparación y 80% de los constructores desconocen el equipo y los procedimientos de pruebas no destructivas para la reparación y rehabilitación de las obras la infraestructura de concreto hidráulico.

### Coste de la implementación del aditivo

Para estimar un aproximado de cuál sería el costo del concreto de alta durabilidad se deben considerar varios factores como lo son:

El tipo de cemento que se va a utilizar

El precio del cemento que se tenga en un lugar determinado

El tipo de agregados pétreos

El precio de los agregados pétreos

El precio de los aditivos a utilizar, entre otros factores económicos

Para fines demostrativos sobre la factibilidad del uso e implementación del geopolímero orgánico natural en el punto de vista económico, sobre un volumen determinado de concreto, se hará la comparación con un concreto convencional.

### **PRECIO DE UN CONCRETO CONVENCIONAL**

Nota: Los precios se estimaron para la zona de Michoacán, en la ciudad de Morelia, tomando en cuenta los precios del mercado en el mes de noviembre del año 2013. Los costes de los materiales empleados pueden variar dependiendo de la zona y el estado. Las siguientes tablas muestran el coste para la cantidad de  $1\text{m}^3$  de concreto. Las cantidades empleadas de los materiales fueron obtenidas por el método de diseño de mezclas del ACI para una resistencia de  $350\text{ kg/cm}^2$ , tomando en consideración el artículo 308 del reglamento de construcción del estado de Michoacán para garantizar una desviación estándar mínima. Al mismo tiempo se considera que el agua empleada para la



mezcla es agua potable que proporciona el estado y no genera un incremento en el coste del concreto.

Material a utilizar	Marca	Precio Unitario Comercial (\$)	Unidad	Cantidad	Precio total (Peso Mex \$)
Cemento	Apasco	104	Bultos	11.98	1245.92
Agregado Fino	Depende del Banco de Material	800	Viaje de 6 m <sup>3</sup>	.3013	241.04
Agregado Grueso	Depende del Banco de Material	2100	Viaje de 6 m <sup>3</sup>	0.3650	766.5
<b>Suma =</b>					<b>2253.46</b>

El coste de 1m<sup>3</sup> de concreto con una relación A/C de 0.43 es de \$2253.46 MNX

### **PRECIO DE UN CONCRETO CON BAJA RELACIÓN A/C**

Material a utilizar	Marca	Precio Unitario Comercial (\$)	Unidad	Cantidad	Precio total (\$)
Cemento	Apasco	104	Saco de 50 kg	12.88	1339.52
Agregado Fino	Depende del Banco de Material	800	Viaje de 6 m <sup>3</sup>	.2867	229.36
Agregado Grueso	Depende del Banco de Material	2100	Viaje de 6 m <sup>3</sup>	0.3650	766.5
Fluidificante	SikaCem	19	Saco de 200g	12.88	244.72
<b>Suma =</b>					<b>2580.1</b>

El coste de 1m<sup>3</sup> de concreto con una relación A/C de 0.35 es de \$2580.1 MNX

Nota: El fluidificante es adicionado en una proporción directa de 1 saco de fluidificante de 200 g por saco de cemento de 50 kg es decir 1 saco de cemento es igual a 1 saco de fluidificante.

### **PRECIO DE UN CONCRETO CON BAJA RELACIÓN A/C + GEOPOLIMERO**

Material a utilizar	Marca	Precio Unitario Comercial (\$)	Unidad	Cantidad	Precio total (\$)
Cemento	Apasco	104	Saco de 50 kg	12.88	1339.52
Agregado Fino	Depende del Banco de Material	800	Viaje de 6 m <sup>3</sup>	.2867	229.36
Agregado Grueso	Depende del Banco de Material	2100	Viaje de 6 m <sup>3</sup>	0.3650	766.5
Fluidificante	SikaCem	19	Saco de 200g	12.88	244.72
Geopolímero	X	24	Saco de 425g	30.30	727.2
<b>Suma =</b>					<b>3307.3</b>

El coste de 1m<sup>3</sup> de concreto con una relación A/C de 0.35 adicionado con el geopolímero es de \$3307.3 MNX

Nota: El geopolímero es adicionado en una proporción directa del 2% del peso de cemento, es decir, por cada Saco de cemento de 50 kg se necesita un 1 kg de geopolímero y como se necesitan 12.88 sacos de cemento de 50 kg, se necesitan 12.88 kg de geopolímero. Entonces se divide la cantidad de 12880 g de geopolímero entre la cantidad que trae un saco de este producto quedando:

$$\frac{12880 \text{ g}}{425 \text{ g}} = 30.30 \text{ Sacos de } 425 \text{ g}$$



# CAPITULO 10. DISCUSIONES Y CONCLUSIONES

---

## 10.1 Discusión

El agregado pétreo grueso que se utilizó para realizar esta investigación fue un agregado pétreo triturado, este agregado es un material que es muy común en la infraestructura ya que presenta muy buenas características mecánicas, el agregado pétreo fino que se usó es de origen volcánico, particularmente del banco de Joyitas ubicado en la carretera Morelia-Guadalajara Km 25, en conjunto este tipo de agregados es el más usual en el país de México, de aquí la primicia de usarlos, para poder tener aproximadamente una comparación a nivel nacional, ya que en esta investigación se pretende dar a conocer un aditivo que mejora las características físicas, mecánicas y químicas del concreto, y que el concreto se puede elaborar con materiales comunes de características apegadas a las normativas, sin ser muy exigente en el cumplimiento de ciertos valores o rangos de los materiales.

De misma forma se utilizó un cemento comercial el cual puede ser adquirido en casi todo el país, este cemento que se utilizó es un cemento Holcim APASCO CPO 40R donde según el fabricante esta recomendado para estructuras de concreto que requieren altas resistencias iniciales y finales, esta marca de cemento en México es una marca muy conocida y muy usada en la práctica profesional.

Se utilizó un aditivo fluidificante debido a que cuando se elaboran concretos de baja relación Agua/Cemento, se hace muy difícil el proceso de mezclado y la obtención de una mezcla totalmente homogénea, debido a esta situación se usó un aditivo que mejorara la trabajabilidad de la mezcla sin afectar el contenido agua, se usó el fluidificante de la marca Sika llamado Sika-cem fluidificante, Sika es una marca que además de participar en la fabricación industrial de automóviles, autobuses, camiones y centrales de energía solar también participan en el sector





de la construcción con aditivos para concretos, morteros y selladores, siendo así una empresa líder.

El geopolímero orgánico natural es fundamental en esta investigación se usó en el concreto ya que en la literatura ha demostrado tener buenos resultados, se implementó en el concreto ya que la mayoría de la infraestructura es de concreto hidráulico, por lo tanto su aplicación es factible.

## 10.2 Conclusiones

En la investigación realizada se obtuvieron varios resultados, estos resultados cada uno de ellos son muy interesantes y con varios comentarios que iremos desarrollando poco a poco. Partiendo desde la decisión de utilizar un fluidificante en la mezcla, ya que cuando se adiciono el geopolímero en la cantidad del 2 % en base del peso del cemento, se observó que había muy poca trabajabilidad en la mezcla y no podía lograrse la homogeneidad en ella, por lo tanto se recurrió a utilizar un fluidificante, al ir avanzando con las mezclas se concluyó que al incrementar el % en adición del geopolímero el comportamiento era mucho mejor, es decir se tenía más trabajabilidad y este podía reducir la cantidad de fluidificante en la mezcla y abatir costos, lamentablemente de esta información nos percatamos cuando se tenía muy avanzada la investigación pero abre las puertas para seguir investigando en esta área.

Para empezar las tres mezclas tuvieron un comportamiento adecuado debido a que la relación agua/cemento que se manejó pues era relativamente baja en comparación con un concreto convencional, pero dentro de sus buenas características, también hay diferencias entre ellos, esas diferencias son las que marcan un comportamiento adecuado y óptimo en un concreto con criterios de alta durabilidad. En primer lugar una vez que los especímenes eran realizados, se observó que la mezcla con geopolímero + el fluidificante se comportó de manera adecuada ya que el contenido de fluidez fue adecuado para poder cumplir con el revenimiento de proyecto que se tenía en el diseño de mezclas, la mezcla del grupo control (mezcla que no contenía ningún tipo de aditivo) tuvo un buen





contenido de fluidez debido a que la cantidad de agua era mayor y esto disminuía los criterios de durabilidad de la mezcla, la mezcla que solo contenía fluidificante era trabajable y eso es bueno porque se respeta la relación agua cemento de 0.35, una vez elaborados los especímenes, y después de 24 horas se procedió a realizar el descimbrado y el curado de los especímenes, el cual se llevó a cabo por inmersión durante todo el tiempo.

La primer prueba que se realizó fue la de resistividad, debido a que los especímenes deben estar saturados para poder realizar la prueba ya que esta prueba está en función del grado de saturación de los poros del concreto, en esta prueba se observó que el mejor comportamiento lo obtuvo el grupo control, por encima de la mezcla 2 en un 30.17 % y por encima de la mezcla 3 en un 25.80% a la edad de 120 días, en realidad estos valores no son muy diferentes, sin embargo se puede justificar esa diferencia debido a que las mezclas 2 y 3 tenían una relación a/c de 0.35, lo cual las hace menos trabajables, y aunque se haya utilizado un aditivo fluidificante en ambas mezclas, el proceso de elaboración, el cual se realizó a mano no aprovecha al 100% las características del fluidificante, ya que la energía cinética que se crea es menor contra una mezcla que se elabora en una revolvedora, además de que debido a esa baja relación a/c se debe optar por cambiar el equipo de vibrado, ya que una varilla no podría igualar las condiciones de acomodo del material en una mezcla como un vibrador, es por eso que hay un mayor contenido de poros en los especímenes de las mezclas 2 y 3 y de ahí la causa de que se tengan valores inferiores comparados con la mezcla 1, esta mezcla proporcionó resultados un poco más altos que las otras 2 mezclas en una mínima cantidad debido a que el contenido de fluidez de esta mezcla al ser realizada ayudo de cierta manera para disminuir el contenido de poros en el concreto endurecido, aun así la prueba de resistividad es un parámetro el cual se puede usar para definir la calidad del concreto en algunos casos, porque en realidad los valores de las 3 mezclas solamente alcanzan un valor final muy similar el cual ablando en criterios de durabilidad para este tipo de prueba se está en el rango de un riesgo moderado a la corrosión, faltando aun valores más altos para alcanzar un excelente nivel. Entonces se puede concluir que si se utiliza un equipo





adecuado para realizar y vibrar la mezcla con una relación a/c baja se pueden obtener mejores características en el concreto endurecido, características como la resistividad.

La prueba de Velocidad de pulso ultrasónico la cual consta en hacer pasar una onda ultrasónica a través del espécimen tomando en cuanto la velocidad en m/s en la cual atraviesa el ensaye es una prueba que se le realizo a todo el concreto monitoreado, en esta prueba se tiene un criterio de durabilidad para el concreto en base al contenido de poros existentes en la matriz cementicia (presencia de vacíos), grietas y verificar la homogeneidad (calidad del concreto por la cual sus componentes aparecen regularmente distribuidos a lo largo de toda su masa) del concreto, esta prueba nos dio un panorama más amplio sobre la calidad del concreto ya que las mezclas 2 y 3 presentaron los valores más altos, pero en especial la mezcla 3 presento el resultado más alto a los 120 días de prueba, por encima de la mezcla 1 con un 21.28% y encima de la mezcla 2 con un 2.45% respectivamente lo cual nos indica que la calidad del concreto cuando se tiene una relación de agua/cemento baja es muy superior a una relación agua cemento alta. Obteniéndose un criterio de calidad del concreto para la mezcla 1 de “Alta”, para la mezcla No. 2 un criterio de calidad “Durable”, para la mezcla No. 3 un criterio de calidad “Durable”, la calidad de los concretos proporcionada es una calidad cualitativa ya que depende de varios factores, pero para un criterio general esos son los resultados concluyendo que elaborar mezclas de concreto con la menor cantidad de agua posible nos proporciona un concreto más durable.

Hablando sobre las pruebas electroquímicas que se realizaron también entra la prueba de “Frecuencias de Resonancia” que si bien es una prueba en la cual el valor que obtienes es un valor en Hertz, te puede proporcionar varios criterios como lo pueden ser el módulo de elasticidad dinámico en el concreto también conocido como el módulo de Young, y la frecuencia de resonancia del concreto el cual puede ser un valor muy útil en estructuras de concreto ya que al momento de ocurrir un sismo las ondas generadas producen una oscilación en la estructura y cuando esta estructura entra en resonancia con el movimiento de oscilación del







sismo se puede generar una falla. Las frecuencias de resonancia obtenidas en el monitoreo de las mezclas fueron muy similares a la edad de 120 días, es importante mencionar que a los 60 días de elaboración las mezclas presentaban ciertas diferencias pero a medida que pasaba el tiempo los resultados entre las mezclas se fueron homogeneizando, la frecuencia de resonancia más alta la obtuvo la mezcla No. 1 con un valor de 3398.5 Hertz, seguido de la mezcla No.3 con un valor obtenido de 3396 Hertz y la mezcla No. 2 con un valor obtenido de 3383.5 Hertz, como se puede observar la diferencia entre ellas es mínima ya que la mezcla No.1 es superior a la mezcla No 3 en un 0.07%, y en un 0.44% a la mezcla No. 2, esto nos da una idea de que sin importar la relación agua cemento las frecuencias de resonancia en el concreto son muy similares, ya que no pinta ningún aditivo para esta prueba, lo que indica que es el tipo de agregado pétreo utilizado en la mezcla el que se ve intrínseco de manera directa en las frecuencias de resonancia, es decir la manera en que se propagan las ondas oscilatorias en el concreto está en función de las características del agregado pétreo, como lo son la densidad y la morfología. Debido a que las 3 mezclas llevan el mismo agregado pétreo el resultado es muy similar entre ellas, las diferencias que se observaron a las diferentes fechas fueron porque los aditivos implementados en las mezclas 2 y 3 tardaron más tiempo en estabilizar químicamente la matriz cementicia, pero al final lograron su objetivo. En cuanto al módulo de elasticidad dinámico el comportamiento está en función de las frecuencias de resonancia obtenidas, el modulo se presentó con valores muy similares en las 3 mezclas.

En la prueba de Carbonatación los resultados fueron satisfactorios, ya que ninguna de las muestras mostraban valores de carbonatación, también esto puede llegar a ser muy subjetivo ya que en la zona en donde se realizaron las pruebas no es una ciudad con demasiadas emisiones de  $Co^2$ , uno de los datos importantes que hay que considerar es que en realidad el periodo en el que se realizó la prueba era poco, ya que para tener valores más objetivos en esta prueba el tiempo debe ser mayor, por esta situación no se da un pronóstico sobre el comportamiento que se pueda tener en un futuro, ya que para poder tener un resultado conciso debemos dejar pasar varios años en las muestras para poder





ver cómo se comportan a través del tiempo afectados directamente por el intemperismo.

En las pruebas de resistencia a compresión simple se pudieron observar que los especímenes que contenían el fluidificante fueron superiores en un 14.92% a los especímenes del grupo control en un periodo de prueba de 120 días, es decir los que se realizaron de manera convencional, esta es una cifra realmente considerable ya que los especímenes que tienen fluidificante pueden tener más resistencia al esfuerzo de compresión que un concreto convencional con una cantidad de agua superior. Los especímenes que tiene el geopolímero + fluidificante fueron los que mejores resultados tuvieron, sus valores fueron muy notables y superiores ante los demás especímenes, es decir se habla de una resistencia al esfuerzo de compresión mayor en un 29.03% es decir se eleva el  $f'c$  casi una tercera parte en un periodo de 120 días, comparada con la mezcla que solo tiene fluidificante también hay cierto porcentaje arriba ya que la mezcla del geopolímero + fluidificante es superior en un 12.28% a una edad de prueba de 120 días, como se puede observar el  $f'c$  del concreto se incrementa con el geopolímero orgánico natural y el fluidificante, además de que en esta mezcla el comportamiento es más homogéneo. Al realizar la prueba de compresión simple se pudo observar que existen ciertos comportamientos en el concreto cuando no se realiza un buen proceso de cabeceado, o cuando no se tiene un buen aditamento para poder proporcionar una superficie uniforme y aplicar la carga, por lo tanto se hizo un análisis el cual se tratara en breve.

La prueba de resistencia a la tensión indirecta en el concreto es una prueba que ayuda determinar el comportamiento mecánico del concreto de una muestra sujeta a esfuerzos de tensión, se conoce que el concreto por naturaleza es una roca artificial y su comportamiento es muy rígido por lo que los esfuerzos de tensión que se presentan en el concreto por lo general son despreciables, en esta investigación se obtuvieron los siguientes resultados. La mezcla del grupo control fue la mezcla que mas homogeneidad presento en los resultados, ya que los resultados obtenidos no variaban mucho según se incrementaba el tiempo



transcurrido, obteniéndose  $25.45 \text{ kg/cm}^2$  a los 40 días de prueba y  $31.07 \text{ kg/cm}^2$  a los 120 días de prueba, como se puede ver el incremento de resistencia a este esfuerzo es poco, además de que a la edad de 40 días el porcentaje de  $f_t$  que hay en relación con el  $f'_c$  es de un 6.05% y la relación que hay con el  $f'_c$  de diseño es de 7.27%, a los 120 días es de 8.71% en relación con el  $f'_c$ , y de 7.43% con el  $f'_c$  de diseño, en la mezcla que solo contenía el fluidificante para mejorar las condiciones de trabajabilidad de la mezcla se obtuvo que a los 40 días de prueba el valor del  $f_t$  era de  $23.92 \text{ kg/cm}^2$  teniéndose un 5.65 % de relación con el esfuerzo de compresión obtenido a esa fecha y un 10.21% con el  $f'_c$  de diseño de la mezcla, y a los 120 días de prueba teniéndose  $46.17 \text{ kg/cm}^2$  es decir un 9.56% en relación al esfuerzo de compresión obtenido para esa fecha con ese tipo de muestras y un 13.19% con el  $f'_c$  de diseño, como se puede ver el esfuerzo de tensión se incrementó al paso del tiempo y supero a la mezcla control a la edad de 120 días ya que a la edad de 40 días los resultados eran similares y parecía que no habría alguna mejoría. Finalmente en la mezcla que contenía el geopolímero y estaba adicionado con fluidificante para mejorar las características maleables de la mezcla se obtuvo que a los 40 días se tenía una resistencia de  $32.53 \text{ kg/cm}^2$  de resistencia a la tensión indirecta y teniéndose un 7.204% de relación con el esfuerzo de compresión( $f'_c$ ) a esa fecha y un 10.92% con el  $f'_c$  de diseño, obteniéndose una resistencia a la tensión a la edad de 120 días de prueba de  $52.043 \text{ kg/cm}^2$  y un 9.6% en relación con el  $f'_c$  para esa fecha de prueba y un 14.86% con el  $f'_c$  de diseño. En esta prueba se obtuvo que la mezcla con el geopolímero + el fluidificante fue la que mostró un mejor desempeño obteniendo un 14.86% del  $f'_c$  de diseño, porcentaje que es un buen factor para no presentar fallas sumamente frágiles. Además de que se tiene conocimiento de que la resistencia a la tensión indirecta en el concreto es aproximadamente de 8 a 12% de la resistencia a compresión por lo tanto este resultado cumple de manera satisfactoria las exigencias de concreto normal, ya que se puede observar que desde la primera fecha de prueba la resistencia a la tensión fue más alta esto puede ser porque el geopolímero actuó en la mezcla dando un poco de ductilidad al concreto, ductilidad que generalmente es proporcionada por el acero, así

teniendo un concreto de alta resistencia y al mismo tiempo reduciendo las fallas frágiles que un concreto de este tipo puede llegar a presentar, teniendo una falla más dúctil, además que esta propiedad de ductilidad se puede usar en favor de la disminución del acero de refuerzo en un cierto porcentaje, ya que el acero de refuerzo es uno de los materiales que mayor coste tiene en la infraestructura y es el insumo que eleva generalmente los presupuestos de inversión para la infraestructura, pero para esto valdría la pena hacer una investigación completa y detallada de especímenes de concreto armado y haciendo toda una investigación, pero esto es la pauta para un gran avance en el concreto estructural usado en toda la infraestructura ingenieril.

Uno de los temas importantes de la aplicación del concreto hidráulico en las vías terrestres, es en los pavimentos rígidos, lamentablemente en la actualidad en este tipo de infraestructura en México solamente logramos alcanzar un valor desde un 15% hasta un 18% de la resistencia del  $f'c$  de diseño.

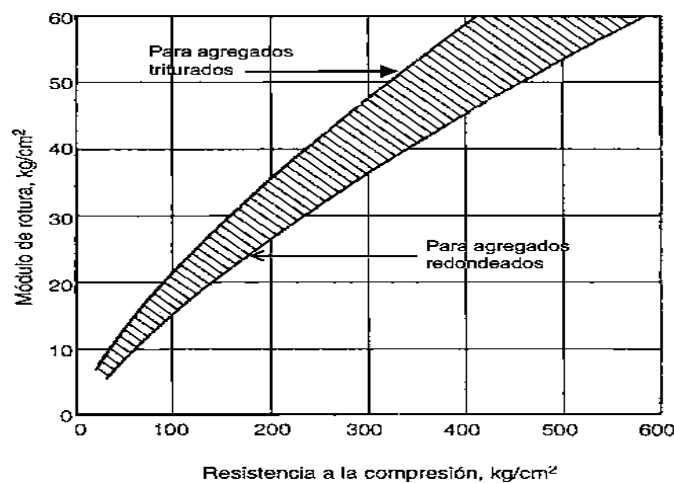


FIGURA 10.2.1 Comparativa del  $f'c$  VS  $M_r$  según ASTM

Los resultados que se obtuvieron fueron alentadores para estas cifras, primeramente no hubo mucha diferencia entre la mezcla que contenía solo fluidificante con la muestra testigo, ya que a una edad de 180 días de prueba hubo una diferencia de 1.57%, quedando por encima la mezcla con el fluidificante,

el comportamiento de estas 2 mezclas fue muy similar durante todo el tiempo, mientras que la mezcla que contenía el fluidificante con el geopolímero tuvo mejores resultados ante el esfuerzo de flexión, este resultado fue superior en un 38.66% contra el grupo control y en un 36.52% contra el grupo que solo contenía fluidificante, con esto se mejoran las características de un concreto que va a ser sometido a esfuerzos de flexión, ya que con la mezcla que contiene el g+f se obtuvo un 23.22% en relación con el  $f'c$  de diseño que fue de  $350 \text{ kgf/cm}^2$  a los 180 días de prueba con un máximo esfuerzo de  $M_r$  de  $81.27 \text{ kgf/cm}^2$ , con el grupo control apenas se obtuvo un 16.74% del  $f'c$  de diseño y un  $M_r$  de  $56.47 \text{ Kgf/cm}^2$ , y con el grupo de mezclas que contenían el fluidificante se alcanzó un 17.00% teniendo como un esfuerzo máximo de  $M_R$  de  $59.53 \text{ Kgf/cm}^2$ .

### 10.3 Propuesta de Una Formula para mitigar el impacto por Aplastamiento

El tipo de falla por aplastamiento en especímenes de concreto hidráulico, hablando específicamente de los ensayos que tienen una geometría cilíndrica se produce cuando no se tiene una superficie totalmente lisa y alineada con el centro de carga, también puede producirse debido a que el material de cabeceo no se use adecuadamente, como lo pueden ser las fibras de neopreno de baja resistencia, calidad o duración, o simplemente cuando no se tiene un material apropiado para proporcionar un cabeceo al material y se pueda tener una cara la cual soporte las cargas de manera correcta y se distribuyan en forma adecuada en el área de contacto del ensaye. Durante la investigación se presentaron ciertos detalles que despertaron curiosidad para su análisis, uno de esos detalles muy importantes es la falla que presentaban los especímenes cilíndricos al esfuerzo de compresión como se muestra en las siguientes figuras:







*FIGURA 10.3.1 Fallas por mal cabeceo (Fuente J. A. Guzmán Torres)*

Como se puede observar todos los cilindros presentan un patrón en la falla debido a que el cabeceo que se realizaba no era el adecuado, debido a que los especímenes eran sometidos a esfuerzos de compresión con placas de neopreno para su cabeceo, las cuales eran de mala calidad y no proporcionaban una superficie adecuada para realizar la carga. Debido a esta situación se hizo un análisis en el cual se toma a consideración el tipo de falla que se presenta en el espécimen, la profundidad de la misma y el área transversal perdida del ensaye, ya que esas son las partes del espécimen que más afectadas al realizar la prueba de compresión simple, por lo tanto al presentarse una falla de este tipo se presenta un error en la lectura de los resultados, presentándose una disminución en su resistencia, para mitigar este error en las pruebas se propone la siguiente formula:



$$Wf = Wi * \left[ 1 + \left( p + \frac{A}{r-l} \right) \right]$$

Dónde:

$Wf$  = Carga final

$Wi$  = Carga inicial de prueba

$p$  = Profundidad de la falla en cm

$A$  = Área del espécimen en  $cm^2$

$r$  = radio del espécimen en cm

$l$  = longitud de falla en la cara transversal (Seccion perdida en el área de contacto) en cm

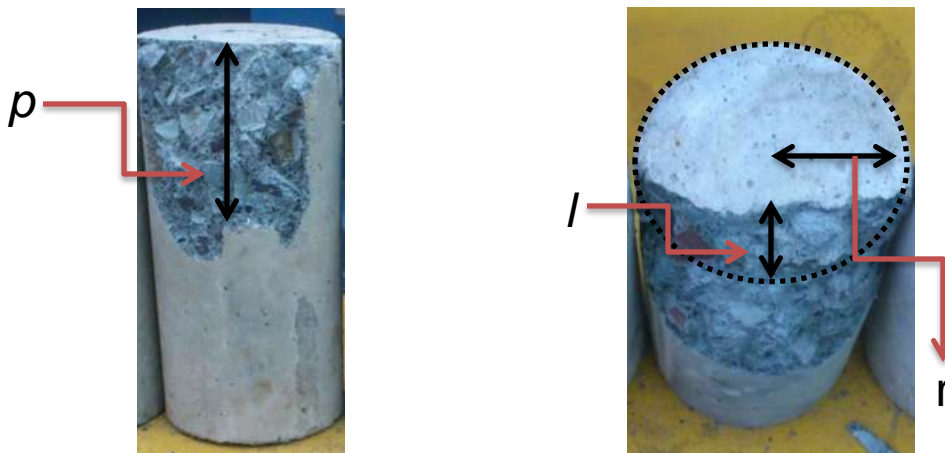


FIGURA 10.3.2 Características a considerar en el factor de corrección (Fuente J. A. Guzmán Torres)

La fórmula fue probada en especímenes cilíndricos comparadas vs especímenes que si tenían un correcto cabeceado y que habían presentado una falla en toda la matriz cementicia, ambos especímenes tenían las mismas características y fueron elaborados en la misma fecha bajo la misma instrumentación y bajo el mismo control de calidad. Los resultados se muestran a continuación:

Resultados de especímenes cilíndricos a la edad de 120 días en una mezcla con  
geopolímero + fluidificante

No. DE CILINDROS	CARGA (kg.)	RESISTENCIA (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	43752	557.07
2	44617	568.08
3	40706	518.28
4	39788	506.60
5	44013	560.39
<b>PROMEDIO</b>	<b>42575.2</b>	<b>542.08</b>

Resultados Modificados de especímenes cilíndricos a la edad de 120 días en una  
mezcla con geopolímero + fluidificante

No. DE CILINDROS	Wi	p	a	r	l	Wf	RESISTENCIA
1	34090	8	78.54	5	0.3	42513.8566	541.301968
2	33890	8	78.54	5	0.5	42516.1347	541.330974
3	34960	9.5	78.54	5	0.7	44142.2847	562.03571
4	32025	9	78.54	5	1	40916.7785	520.967386
5	30820	8	78.54	5	0.5	39645.307	504.778546
<b>PROMEDIO</b>						<b>41946.8723</b>	<b>534.082917</b>

En la primera comparación se tiene un promedio de carga de 42575.2 kg vs 41946.87 kg de carga ya corregida con la formula, como se observa se mitiga la disminución de carga debido al error de cabeceo al aplicar la formula. Al mismo tiempo se hizo una prueba de los valores obtenidos con la mezcla control a los 40 días de prueba.

Resultados de especímenes cilíndricos a la edad de 40 días en una mezcla control

No. DE CILINDROS	CARGA (kg.)	RESISTENCIA (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	26800	341.23
2	28000	356.51
3	28000	356.51
4	26800	341.23
5	28000	356.51
<b>PROMEDIO</b>	<b>27520</b>	<b>350.40</b>

Resultados Modificados de especímenes cilíndricos a la edad de 40 días en una mezcla control

No. DE CILINDROS	Wi	p	a	r	l	Wf	RESISTENCIA
1	23230	2	78.54	5	1	28255.8105	359.763312
2	22125	2.5	78.54	5	1.1	27133.7596	345.47695
3	21010	3.2	78.54	5	0.8	25611.19	326.091036
4	22060	2.7	78.54	5	0.25	26303.1829	334.901744
5	23690	3.1	78.54	5	0.45	28513.6485	363.046199
<b>PROMEDIO</b>						<b>27163.5183</b>	<b>345.855848</b>

Esta es una propuesta que se puede implementar para obtener un factor de corrección cuando no se pueda tener una superficie completamente lisa para realizar la prueba de compresión simple, haciendo énfasis que se puede utilizar esta fórmula siempre y cuando se tenga un tipo de falla similar a la aquí presentada.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. [http://http://www.technologyreview.es/read\\_article.aspx?id=36251](http://http://www.technologyreview.es/read_article.aspx?id=36251)
- 2-RILEM Report 14, "Durability design of concrete structures," Eds. Sarja A. y Vesikari
- 3- Estructuración de vías terrestres, decimaprimera reimpresión Mexico 2011, Fernando Olivera Bustamente ISBN 968-26-0710-8, GRUPO EDITORIAL PATRIA
- 4-Torres Acosta, A., Martinez Madrid, M., 2001 Diseño de estructuras de concreto con criterios de durabilidad, instituto Mexicano del transporte, publicación técnica No.181
- 5-San Juan barbudo, Muguel Angel, castro Borges, Pedro 2001, Accion de los agentes químicos y físicos sobre el concreto IMCYC
- 6-Brito Chávez, E., 2007 Durabilidad de estructuras existentes de concreto reforzado, obtención de su metodología de evaluación y anteproyecto de la normativa correspondiente para la secretaria de comunicaciones y transportes, Tesis de maestria en Infraestructura del transporte, Facultad de ingeniería civil, UMSNH.
- 7-INSPECCIÓN, EVALUACIÓN, DIAGNOSIS Y PROGNOSIS DE LA ARQUITECTURA MODERNA DE CONCRETO REFORZADO CON FUNDAMENTOS DE DURABILIDAD, EMMA PAREDES CAMARILLO
- 8- Nueva Enciclopedia Autodidáctica Estudiantil (2000), Editorial LetrArte, S.A. ISBN 968 7999 01-02 pp 357-359.
- 9- H.Kosmatka, S. (2004). Diseño y Control de Mezclas de Concreto. Portland Cement Association.
- 10- ACI, C. 2. (2001). Guía para el uso de agregados . IMCYC
- 11-Fahl, T. P. (2006). CONCRETO: Herramientas, materiales y prácticas de construcción. IMCYC.
- 12-NMX-C-414-2006-ONNCCE. Industria de la construcción - cementos hidráulicos - especificaciones y métodos de prueba.
- 13- Sebaibi, Y.; Dheilly, R. M.; Queneudec, M.: "A study of the viscosity of lime-cement paste: influence of the physico-chemical characteristics of lime", Constr. Build. Mater., vol. 18 (2004), pp. 653-660. doi:10.1016/j.conbuildmat.2004.04.028
- 14- Efecto de un polimero natural biodegradable en las propiedades de morteros de cal en estado endurecido Materiales de Construccion Vol. 61, 302, 257-274 abril-junio 2011 ISSN: 0465-2746 ISSN: 1988-3226 doi: 10.3989/mc.2010.56009 A. Izaguirre(\*), J. Lanás(\*\*), J. I. Alvarez(\*)
- 15-Monteiro, P. K. (1998). Concreto Estructura, propiedades y materiales. IMCYC.
- 16-Tecnología del Concreto. Aditivos para Concreto. E alonso/C Rubio/W Martínez



17-Reglamento ACI 318S y Comentarios, Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-05) y Comentario (ACI 318SR-05) (Versión en español y en sistema métrico), **american concrete institute** P.O. BOX 9094 FARMINGTON HILLS, MICHIGAN 48333-9094 USA, ISBN 0-087031-083-6.

18-NMX – C – 170 – 1997 – ONNCCE.

19-NMX–C–166–ONNCCE–2006.

20-NMX–C–165–ONNCCE-2004

21 ASTM C128-01

22 NMX–C–073–ONNCCE–2004

23NMX-C-077-ONNCCE-1997

24NMX-C-088-ONNCCE-1997

25NMX–C–072–ONNCCE–1997

26NMX-C-084-ONNCCE-2006

27NMX-C-030-ONNCCE-2004

28ASTM C127-04

29NMX-C-152-ONNCCE-2010.

30NMX-C-159-ONNCCE-2004

31NMX-C-156-ONNCCE-2010

32 ASTM G-57-84': Standard Method for Field "Measurement of Soil Resistivity using the Wenner four-electrode Method

33 Manual de la red durar 88-92

34 ASTM C597 Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete.

35 Manual de la red durar 92-96

36 Castellanos G., "Aplicaciones del método de velocidad de pulso ultrasónico correlacionado con la resistencia a la compresión para la evaluación de la calidad del concreto hidráulico". Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Yucatán, 1985, Yucatán, México

37 Solís R. y Baeza J. 2003, "Influencia de las propiedades físicas de los agregados en la técnica de pulso ultrasónico para predecir la resistencia a la compresión del concreto", Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería, Universidad del Zulia, Venezuela, Volumen 26, N°. 1, pp 44-55.

38 Malhotra V. M. y Carino N. J., "Handbook on nondestructive testing of concrete", CRC Press, Boca Raton, 2004, U.S.A.

39 Rose J. L. 1999, "Ultrasonic waves in solid media". Cambridge University Press, United Kingdom.

40 Malhotra V. M. 1985, "Nondestructive methods for testing concrete", Department of Energy, Mines and Resources, Ottawa, Canada.

41 Hamid R., Yusof K.M., Zain M.F.M., (2009) "A combined ultrasound method applied to high performance concrete with silica fume", Construction and Building Materials, Elsevier Science, Number 24, September, pp. 94-98





42 - See more at: <http://360gradosblog.com/index.php/que-es-el-modulo-de-elasticidad-en-el-concreto/#sthash.ppflmWd1.dpuf>

43 manual de la red durar pag 117-119

44 NMX-C-083-ONNCCE-2002

45 ASTM C 496-96

46 NMX-C-191-ONNCCE-2004

47 NMX-C-205-ONNCCE-2005

