



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS
DE HIDALGO**

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis Profesional

**EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN CONCRETO
CON ADITIVO FLUIDIFICANTE, ASÍ COMO LA DISMINUCIÓN DEL
CONSUMO DEL CEMENTO EN SU ELABORACIÓN.**

Que para obtener el título de:
INGENIERO CIVIL

Presenta:
JOSÉ JESÚS CAMPOS NÚÑEZ

Asesor:
M. A. ING. WILFRIDO MARTÍNEZ MOLINA

Morelia, Michoacán, Octubre de 2013



EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN CONCRETO CON ADITIVO FLUIDIFICANTE, ASÍ COMO LA DISMINUCIÓN DEL CONSUMO DEL CEMENTO EN SU ELABORACIÓN.

RESUMEN

En el presente trabajo se presentan los resultados obtenidos de la experimentación hecha en un concreto de alta resistencia de $f'c= 250 \text{ kg/cm}^2$ para ser bombeado, diseñado por el método de la ACI, el trabajo tiene por particularidad el uso de arena negra y blanca para la realización de los cilindros de concreto además de agregar un aditivo fluidificante para disminuir la cantidad de cemento empleado en la realización del concreto hidráulico. Los cilindros que se fabricaron son de acuerdo a lo que marca la norma ASTM C31 de 10 cm. de diámetro y 20 cm. de altura, se les sometió a compresión para determinar la resistencia de cada mezcla diferente de concreto, así como también someterlos a tensión indirecta. Además se realizaron especímenes de vigas con dimensiones de 15x15x60 cm. para ser probadas a flexión.

Se muestra la resistencia que tiene cada uno de los concretos fabricados ante la presencia de iones cloruros por medio de la prueba de permeabilidad rápida de cloruros, como lo marca la norma ASTM 1202. Con la finalidad de conocer los efectos que tiene el ataque de los iones cloruro cuando penetran en la matriz de concreto, teniendo un consecuente efecto de corrosión en una posible presencia de acero de refuerzo, este caso siempre se presenta en zonas costeras donde existen edificaciones.

Además a los cilindros se les midió la resistividad eléctrica con un resistómetro de cuatro puntas (Nilsson 400).

Palabras clave: (aditivo fluidificante, compresión, flexión indirecta, corrosión, iones cloruro, permeabilidad.)

EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN CONCRETO CON ADITIVO FLUIDIFICANTE, ASÍ COMO LA DISMINUCIÓN DEL CONSUMO DEL CEMENTO EN SU ELABORACIÓN.

OBJETIVO

Determinar la calidad de los agregados pétreos así como también la adición de un aditivo fluidificante en su uso para una mezcla de concreto hidráulico, realizando pruebas de destructivas de compresión y tensión indirecta en cilindros, y la prueba de flexión directa realizada en vigas.

Además de someter los cilindros a la prueba de permeabilidad rápida de cloruros para conocer la calidad del concreto en presencia de iones de cloruro.

DEDICATORIAS

A MIS PADRES:

Ing. José Jesús Campos de la Cruz y Sra. Esperanza Núñez Covarrubias por haberme dado la vida y alentarme para cumplir mis metas sin dejarme que renunciara a ellas en momentos difíciles, así como enseñarme a través del ejemplo para ser una mejor persona.

A MIS HERMANOS:

Dra. María Guadalupe Campos Núñez e Irwing Alberto Campos Núñez que han sido un ejemplo de perseverancia y de esfuerzo, compartiendo conmigo mis triunfos y fracasos, siendo de apoyo con su incondicional confianza y cariño.

A DIOS:

Por bendecirme con la familia que me dio y cuidar de ella, dándome la fe y la confianza para superar los tropiezos que a puesto en mi vida, sirviendo para mi más que los triunfos.

AGRADECIMIENTOS

Al **M.A. Ing. Wilfrido Martínez Molina** por alentarme para realizar este trabajo y haberme dado su apoyo y confianza, por su asesoría, por ser parte de mi formación académica y por brindarme su amistad.

A la **Dra. Elia Mercedes Alonso Guzmán** por haber sido parte de mi formación académica y proporcionarme cuanta información necesitara, además de su sencillez y calidad como persona.

A la **M. I. Cindy Lara Gómez y al Dr. Hugo Luis Chávez García** por haber estado para resolver mis dudas y asesorarme con respecto al trabajo.

Al **Ingeniero José Guiza Martínez** por el material aportado para la realización de este trabajo, así como la confianza y la paciencia que me tuvo para realizarlo.

Al **Tec. Rubén Hernández Guzmán** por haberme dado consejos y brindarme su amistad incondicional desde que empecé en el laboratorio.

Al **Tec. Jesús Zauno Zamudio**, a los compañeros de medio tiempo que trabajan en el laboratorio así como a mis amigos y compañeros que estuvieron ayudándome sacrificando un poco de su valioso tiempo para que este trabajo se llevara a cabo.

A la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, especialmente a la Facultad de Ingeniería Civil y al laboratorio de Materiales “Ing. Luis Silva Ruelas” que fueron parte de mi formación profesional y personal, a través de su personal docente y sus instalaciones fomentando en mi una actitud de ética y valores.

EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN CONCRETO CON ADITIVO FLUIDIFICANTE, ASÍ COMO LA DISMINUCIÓN DEL CONSUMO DEL CEMENTO EN SU ELABORACIÓN.

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.....	I
OBJETIVO.....	II
DEDICATORIAS	III
AGRADECIMIENTOS	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO	V
ÍNDICE DE IMÁGENES.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	IX
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. CEMENTO	3
2.1 Cemento Portland.....	3
2.2 Tipos de cemento Portland.....	4
3. CONCRETO.....	7
3.1 Antecedentes del concreto.....	7
3.2 Definición de concreto.	7
3.3 Agregados.	8
3.4 Agua	9
3.5 Revenimiento.	10
3.6 Sangrado.....	11
3.7 Aditivos.	11
3.7.1 Aditivos acelerantes.	11
3.7.2 Aditivos retardantes.....	11
3.7.3 Aditivos superplastificantes.	12
3.7.4 Aditivos inclusores de aire.	12
3.7.5 Aditivos reductores de agua.	12
3.7.6 Aditivos impermeabilizantes.....	12
3.7.7 Otros aditivos.	12
3.8 Diseño de mezclas de concreto.	13
3.9 Dosificación del concreto.....	13
3.10 Resistencia mecánica del concreto.....	14
3.10.1 Módulo de elasticidad.	14

**EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN CONCRETO CON
ADITIVO FLUIDIFICANTE, ASÍ COMO LA DISMINUCIÓN DEL CONSUMO DEL
CEMENTO EN SU ELABORACIÓN.**

3.10.2 Resistencia a compresión del concreto.....	14
3.10.3 Resistencia a Flexión (Modulo de Ruptura).....	15
3.10.4 Resistencia a Tensión.....	15
3.11 Concreto armado.....	15
4. BANCOS DE MATERIAL.....	18
4.1 Localización del banco de Chamacuero, Puruándiro, Michoacán.....	18
4.2 Localización del banco Mesón Nuevo, Tarímbaro, Michoacán.....	20
4.3 Localización del banco San Nicolás de Parangón, Valle de Santiago, Guanajuato.....	21
5. PRUEBAS EN MATERIALES PARA ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES.....	23
5.1 Arenas.....	23
5.1.1 Humedad superficial y de absorción.....	23
5.1.2 Densidad.....	25
5.1.3 Peso volumétrico seco y suelto (P.V.S.S.).....	28
5.1.4 Peso volumétrico seco y varillado (P.V.S.V.).....	29
5.1.5 Granulometría.....	31
5.1.6 Colorimetría.....	35
5.2 Grava.....	36
5.2.1 Humedad de absorción.....	36
5.2.2 Densidad.....	38
5.2.3 Peso volumétrico seco y suelto (P.V.S.S.).....	39
5.2.4 Peso volumétrico seco y varillado (P.V.S.V.).....	40
5.2.5 Granulometría.....	41
5.3 Tipo de cemento empleado.....	43
5.3.1 Tiempos de fraguado para el cemento hidráulico por el método de Vicat.....	44
5.3.2 Densidad aparente del cemento.....	46
5.4 Características del aditivo empleado.....	47
5.5 Diseño de concreto de alta resistencia $f'c=250 \text{ kgf/cm}^2$	48
5.5.1 Proporcionamientos utilizados en la realización del concreto.....	52
5.5.2 Corrección de la resistencia $f'c$ de diseño.....	54
6. EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS.....	57
6.1 Permeabilidad rápida de cloruros.....	57
6.1.1 Resultados de la Prueba permeabilidad rápida de cloruros.....	63

EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN CONCRETO CON ADITIVO FLUIDIFICANTE, ASÍ COMO LA DISMINUCIÓN DEL CONSUMO DEL CEMENTO EN SU ELABORACIÓN.

6.2 Pruebas en cilindros de concreto 10x20 cm.	65
6.2.1 Resultados de la resistencia a compresión.	65
6.2.2 Resultados de la resistencia a tensión indirecta.....	67
6.2.3 Resistividad eléctrica de cilindros de concreto.	69
6.3 Pruebas en vigas de concreto 60x15x15 cm.....	75
7. CONCLUSIONES.	79
8. BIBLIOGRAFÍA.....	81

ÍNDICE DE IMÁGENES

Figura no 4.1. Localización del municipio de Puruándiro, Mich.	19
Figura no. 4.2. Vista satelital del banco “Chamacuero”	19
Figura no 4.3. Localización de Tarímbaro, Mich.	20
Figura no. 4.4. Vista satelital del banco “Mesón Nuevo”.	21
Figura no 4.5. Localización de Valle de Santiago, Gto.	22
Figura no. 4.6. Vista satelital del banco “San Nicolás de Parangón”	22
Figura no. 5.1. Humedad de absorción en arena	24
Figura no 5.2. Densidad de la arena.	27
Figura no 5.3. P.V.S.S. en arena.	28
Figura no 5.6. Granulometría en arena.	32
Figura no 5.7. Gráfica de granulometría en arena negra.	33
Figura no 5.8. Gráfica de granulometría en arena blanca.	34
Figura no 5.9. Gráfica de granulometría en mezcla de arena negra y blanca (75-25).	35
Figura no 5.10. Colorimetría en arena.	36
Figura no 5.11. Humedad de absorción en grava.	37
Figura no 5.12. Densidad en grava.	38
Figura no 5.14. Gráfica de granulometría de grava.	42
Figura no. 5.15. Ubicación de la Planta Cerritos, San Luis Potosí.	43
Figura no. 5.16. Planta Cerritos, San Luis Potosí.	43
Figura no 5.15. Consistencia normal del cemento.	45
Figura no 5.16. Tiempos de fraguado del cemento hidráulico.	45
Figura no 5.17. Densidad del cemento.	47
Figura no 5.18. Revenimiento de 14 cm. de las mezclas de concreto.	53
Figura no 5.19. Sangrado excesivo en las mezclas con aditivo.	54
Figura no 6.1. equipo empleado en la prueba permeabilidad rápida de cloruros (a la izquierda: celdas de cloruro y fuente de voltaje, derecha: dispositivo encargado de tomar las mediciones).[ASTM C-1202-97]	58
Figura no 6.2. Especímenes en el desecador. [ASTM C-1202-97]	59
Figura no 6.3. Preparación de especímenes para prueba de cloruros. [ASTM C-1202-97]. 62	
Figura no 6.4. Diagrama para el armado de las celdas de prueba.	62
Figura no 6.5. Gráfica de resultados de la Prueba de Permeabilidad Rápida de Cloruros. ...	64
Figura no 6.6. Gráfica comparativa de resultados de resistencia a compresión.	67
Figura no 6.7. Especímenes probados a compresión.	67
Figura no 6.8. Gráfica de resistencia a tensión indirecta.	69
Figura no 6.9. Especímenes probados a tensión indirecta.	69
Figura no 6.10. Resistividad eléctrica en mezcla de arena negra.	71
Figura no 6.11. Resistividad eléctrica en mezcla de arena negra con aditivo	72
Figura no 6.12. Resistividad eléctrica en mezcla de arena relación 75-25%.	72

EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN CONCRETO CON ADITIVO FLUIDIFICANTE, ASÍ COMO LA DISMINUCIÓN DEL CONSUMO DEL CEMENTO EN SU ELABORACIÓN.

Figura no 6.13. Resistividad eléctrica en mezcla de arena relación 75-25% y aditivo.	73
Figura no 6.14. Grafica comparativa de resistividad.....	74
Figura no 6.15. Medición de la resistividad eléctrica en los cilindros de concreto.....	74
Figura no 6.16. Prueba de flexión en vigas de concreto.....	75
Figura no 6.17. Grafica comparativa de Modulo de ruptura.....	77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla no 2.1. Principales componentes en el cemento Portland. [A.M. Neville y J.J. Brooks, 2010].	4
Tabla no 2.2. Clasificación del cemento por su uso.	5
Tabla no 2.3. Clasificación del cemento por su tipo	5
Tabla no 2.4. Clasificación del cemento por su resistencia.....	6
Tabla no 2.5. Clasificación del cemento por sus características especiales.	6
Tabla no 3.1.Limites granulométricos del agregado fino. [ASTM C 33].	9
Tabla no 3.2.Limites granulométricos del agregado grueso. [ASTM C 33].	9
Tabla no 3.3. Valor nominal del revenimiento y tolerancias.[NMX-C-156-ONNCCE-2010].	10
Tabla no 5.1. Humedad de absorción de arena negra.	25
Tabla no 5.2. Humedad de absorción de arena blanca.	25
Tabla no 5.3. Humedad de absorción en mezcla de arena negra y blanca (75-25).	25
Tabla no 5.4. Densidad de arena negra.....	27
Tabla no 5.5. Densidad de arena blanca.	27
Tabla no 5.6. Densidad en mezcla de arena negra y blanca (75-25).	27
Tabla no 5.7. P.V.S.S. en arena negra.	29
Tabla no 5.8. P.V.S.S. en arena blanca.....	29
Tabla no 5.9. P.V.S.S. en mezcla de arena negra y blanca (75-25).....	29
Tabla no 5.10. P.V.S.V. en arena negra.....	30
Tabla no 5.11. P.V.S.V. en arena blanca.	30
Tabla no 5.12. P.V.S.V. en mezcla de arena negra y blanca (75-25).	31
Tabla no 5.13. Granulometría de arena negra.	32
Tabla no 5.14. Granulometría de arena blanca.	33
Tabla no 5.15. Granulometría en mezcla de arena negra y blanca (75-25).	34
Tabla no 5.16. Especificaciones para absorción en grava.	37
Tabla no 5.17 Absorción en grava.....	37
Tabla no 5.18. Densidad en grava.	39
Tabla no 5.19. P.V.S.S. en grava.....	40
Tabla no 5.20. Granulometría en grava.	42
Tabla no 5.21. Producción de la Planta Cerritos, San Luis Potosí.	44
Tabla no 5.22. Densidad del cemento.....	47

EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN CONCRETO CON ADITIVO FLUIDIFICANTE, ASÍ COMO LA DISMINUCIÓN DEL CONSUMO DEL CEMENTO EN SU ELABORACIÓN.

Tabla no 5.23. Propiedades del aditivo.....	48
Tabla no 5.24. Revenimientos recomendados para diversos tipos de construcción.....	49
Tabla no 5.25. Determinación de agua de mezclado y contenido de aire para diferentes revenimientos.	49
Tabla no 5.26. Determinación de la relación agua-cemento.	50
Tabla no 5.27. Relaciones especiales de a/c.	50
Tabla no 5.28. Determinación del volumen de agregado grueso.	51
Tabla no 5.29. Características físicas de los materiales a emplearse en la elaboración del concreto.	51
Tabla no 5.30. Proporcionamiento para una mezcla de concreto con arena negra.....	52
Tabla no 5.31. Proporcionamiento para una mezcla de concreto con arena negra y adicionando el aditivo.....	52
Tabla no 5.32. Proporcionamiento para una mezcla de concreto con mezcla de arena negra y blanca (75-25%).	53
Tabla no 5.33. Proporcionamiento para una mezcla de concreto con mezcla de arena negra y blanca (75-25%) y adicionando aditivo.....	53
Tabla no 5.34. Valor de (σ_c), conociendo valores de ensayos anteriores.	55
Tabla no 5.35. Valor de (σ_c), sin tener registros previos.....	55
Tabla no 6.1. Variables, semejanzas del experimento.....	63
Tabla no 6.2. Tipos de permeabilidad de acuerdo a la ASTM C 1202.	63
Tabla no 6.3. Resultados de la Prueba Permeabilidad Rápida de Cloruros.	64
Tabla no 6.4. Resultados de resistencia a compresión.	66
Tabla no 6.5. Resultados de resistencia a tensión indirecta.....	68
Tabla no 6.6. Resistividad en mezcla de arena negra.	71
Tabla no 6.7. Resistividad en mezcla de arena negra con aditivo.....	71
Tabla no 6.8. Resistividad en mezcla de arena relación 75-25%.	72
Tabla no 6.9. Resistividad en mezcla de arena relación 75-25% y aditivo.	73
Tabla no 6.10. Promedio de la resistividad eléctrica de los cilindros de concreto.	73
Tabla no 6.11. Tipos de Resistividad [MANUAL DURAR 2000].....	74
Tabla no 6.12. Valores del Modulo de Ruptura del concreto (MR).[NMX-C-303-ONNCCE-2010].....	76

1. INTRODUCCIÓN

El concreto de cemento Portland es actualmente el material manufacturado más extensamente utilizado por el hombre, que de acuerdo con las tendencias mundiales, su futuro tiende a ser más significativo e importante, porque para la mayoría de las aplicaciones de ingeniería de construcción, ofrece propiedades adecuadas a bajo costo, combinada con el ahorro de energía y ventajas ecológicas. [IMCYC, 2007].

Es el material de construcción más utilizado debido a su durabilidad, versatilidad y economía. El concreto se usa en carreteras, calles estacionamientos, puentes, edificios altos, presas, casas, pisos, veredas y muchas otras aplicaciones. [Portland Cement Association, 2004].

Esto se constata al comparar la producción mundial de cemento Portland que en el año de 2002 fue 1 750 000 000 TM para una per cápita de 289 kg. por cada ser humano, pasando en el 2009 a 3 033 000 000 TM para una per cápita de 347 kg por cada habitante. [http://www.ficem.org/estadisticas/informe_estadistico_2011.pdf].

Son muchas las razones por las que el concreto juega este papel tan protagónico en el desarrollo de la humanidad, en primer lugar, se debe a la posibilidad de lograr elementos estructurales de diversas formas, debido a su carácter plástico en estado fresco, posee una magnífica resistencia al agua sin un serio deterioro, a diferencia de la madera y el acero, pero lo más significativo de sus ventajas, es, que esta constituido por materiales abundantes y baratos que existen en todas partes del globo terráqueo. [IMCYC, 2007].

Estos días, se usan comúnmente dos materiales estructurales: concreto y el acero. Ellos algunas veces se complementan el uno al otro, y a veces compiten entre sí, de modo que muchas estructuras de un tipo similar y función pueden ser fabricadas con cualquiera de estos materiales. [A.M. Neville y J.J. Brooks, 2010].

Cabe hacer la aclaración que el concreto reforzado es un relativamente nuevo material de construcción el cual ha sido desarrollado y aplicado extensivamente solo en el siglo XX. Siempre se ha dicho que la combinación del concreto y el acero de refuerzo es óptimo no solo por su desempeño mecánico sino también desde el punto de vista de su desempeño a largo plazo. Teóricamente esta combinación debería de ser altamente durable, como el concreto cubre alrededor del acero provee de una protección química y física una

EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN CONCRETO CON ADITIVO FLUIDIFICANTE, ASÍ COMO LA DISMINUCIÓN DEL CONSUMO DEL CEMENTO EN SU ELABORACIÓN.

barrera al acero, y puede potencialmente eliminar los problemas de corrosión en el acero los cuales ocurren fácilmente en estructuras de acero descubierto. [Arnon Bentur, Sidney Diamond and Neale Berke, 2006].

La tendencia del acero descubierto a la corrosión es bien conocida, y no todos nosotros somos conscientes de las sofisticadas tecnologías para protegerlo, tal como sistemas de pintura y métodos de activación electroquímica (protección catódica). Siempre con estas protecciones significa procesos de mantenimiento tediosos y puede no ser evitado el problema y los costos excesivamente altos. El recubrimiento del acero en concreto puede teóricamente proveer de durabilidad y libre de mantenimiento al material de construcción. Experiencias con muchas estructuras han demostrado que esto puede ser verdaderamente el caso, excepto quizás en algunos severas condiciones ambientales. [Arnon Bentur, Sidney Diamond and Neale Berke, 2006].

2. CEMENTO

2.1 Cemento Portland

Los constructores antiguos usaban la arcilla para unir piedras para formar una estructura sólida de protección. El concreto más antiguo descubierto data de cerca de 7000 A.C. y fue encontrado en 1985 en Israel. Este consiste en un concreto de cal, preparado con caliza calcinada para producir cal rápida (cal viva, cal virgen), la cual al mezclarse con el agua y a la piedra, se endureció formando el concreto. [Portland Cement Association, 2004].

En aproximadamente 2500 A.C. se empleó un material cementante entre los bloques de piedras en la construcción de la gran pirámide de Guiza, en el Egipto antiguo. Así también, los griegos usaban materiales a base de cal como aglomerantes entre piedras y ladrillos y como material para una capa de revestimiento de calizas porosas normalmente usadas en la construcción de sus templos y palacios. [Portland Cement Association, 2004].

Probablemente los antiguos romanos fueron los primeros que utilizaron el concreto –palabra de origen latín- basados en *cemento hidráulico*, un material que se endurece con el agua. Esta propiedad y el hecho de no sufrir cambio químico por la acción del agua en su vida posterior, son las más importantes y las que contribuyeron a la difusión del empleo del concreto como material de construcción. El cemento romano cayó en desuso y no fue hasta 1824 cuando el cemento moderno, conocido como cemento Portland, fue patentado por Joseph Aspdin, un constructor de Leeds. [A.M. Neville y J.J. Brooks, 2010].

Se denominó cemento portland debido a que producía un concreto que en color semejaba a una caliza natural que se explotaba en el islote de Portland, península en el Canal de la Mancha. El nombre ha permanecido y se emplea en todo el mundo, con muchos fabricantes que le agregan su propio nombre de marca.

Se da el nombre de Portland a un cemento obtenido por la mezcla de materiales calcáreos y arcillosos u otros materiales asociados con sílice, alúmina y óxido de hierro, que son calentados a temperaturas que provocan que se formen escorias, para posteriormente moler el producto resultante. Las definiciones de las Normas Británicas (BS 12:1978) y Estadounidenses (ASTM C 150-84) coinciden en que ningún otro material aparte de yeso, agua y agentes pulverizantes pueden añadirse después del quemado. [A.M. Neville y J.J. Brooks, 2010]

EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN CONCRETO CON ADITIVO FLUIDIFICANTE, ASÍ COMO LA DISMINUCIÓN DEL CONSUMO DEL CEMENTO EN SU ELABORACIÓN.

El cemento Portland esta hecho básicamente de la combinación de un material calcáreo –como piedra caliza y yeso- y una base de sílice y alúmina, como arcilla o esquistos. El proceso de manufactura consiste esencialmente en moler las materias primas hasta lograr un polvo muy fino, mezclarlas perfectamente en proporciones establecidas y quemarlas en un gran horno rotatorio a una temperatura de aproximadamente 1400 °C; el material se incrusta y se funde parcialmente hasta convertirse en escorias (clínker). Cuando la escoria se enfría, se muele hasta convertirla en un polvo fino y se le agrega un poco de yeso. Este producto resultante es el cemento Portland comercial que se usa en todo el mundo. [A.M. Neville y J.J. Brooks, 2010]

Cuatro componentes son considerados como los mayores constituyentes del cemento: ellos son mencionados en la tabla no.1 junto con sus símbolos de abreviación.

NOMBRE DEL COMPONENTE	COMPOSICIÓN DE ÓXIDO	ABREVIACIÓN
Silicato Tricalcio	3CaO.SiO ₂	C ₃ S
Silicato Bicalcio	2CaO.SiO ₂	C ₂ S
Aluminio Tricalcio	3CaO.Al ₂ O ₃	C ₃ A
Aluminoferrato	4CaO.Al ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃	C ₄ AF

Tabla no 2.1. Principales componentes en el cemento Portland.
[A.M. Neville y J.J. Brooks, 2010].

Los silicatos, C₃S y C₂S, son los componentes más importantes y los causantes de la resistencia de la pasta hidratada de cemento. La presencia de C₃A en el cemento no es deseable, ya que contribuye poco o nada a la resistencia del mismo, excepto en las primeras etapas; y cuando la pasta de cemento endurecida es atacada por sulfatos, la formación de sulfoaluminato de calcio (estringita) puede causar resquebrajamientos. Sin embargo, el C₃A es benéfico durante la elaboración del cemento, porque favorece la combinación de cal y sílice. C₄AF está también presente en pequeñas cantidades en el cemento, y, comparado con los otros tres componentes, este no afecta el comportamiento significativamente.

2.2 Tipos de cemento Portland.

Actualmente existe una amplia gama de cementos que se comercializan en el mundo para satisfacer diferentes necesidades en su empleo para la construcción, clasificándose por sus características físicas y químicas de la siguiente manera:

- a) De acuerdo a la Norma Americana ASTM C150.

EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN CONCRETO CON ADITIVO FLUIDIFICANTE, ASÍ COMO LA DISMINUCIÓN DEL CONSUMO DEL CEMENTO EN SU ELABORACIÓN.

CEMENTO	USO
TIPO I	Cemento para uso general.
TIPO II	Se emplea donde sea necesario tomar precauciones contra el ataque moderado de sulfatos además que genera menos calor.
TIPO III	Proporciona resistencias elevadas a edades tempranas, normalmente a una semana o menos.
TIPO IV	De menor cantidad y velocidad de generación de calor provocada por la hidratación.
TIPO V	De alta resistencia a los sulfatos.

Tabla no 2.2. Clasificación del cemento por su uso.

b) De acuerdo a la Norma Mexicana NMX-C-414-ONNCEE-2004.

I. Por el tipo de cemento.

TIPO	DENOMINACIÓN
CPO	Cemento Portland Ordinario
CPP	Cemento Portland Puzolánico
CPEG	Cemento Portland con Escoria Granulada de Alto Horno
CPC	Cemento Portland Compuesto
CPS	Cemento Portland con Humo de Sílice
CEG	Cemento con Escoria Granulada de Alto Horno

Tabla no 2.3. Clasificación del cemento por su tipo.

II. Por su resistencia.

a) Resistencia Normal.

Resistencia a compresión a los 28 días. La clase resistente de un cemento de acuerdo con la resistencia normal se indica con la designación del tipo de cemento, seguida por los valores 20, 30 ó 40.

b) Resistencia Rápida.

Resistencia a compresión a los 3 días. Para especificar que un tipo de cemento debe cumplir con una resistencia rápida se le agrega la letra R después de la clase. Sólo se definen valores de resistencia rápida para las clases 30R y 40R.

EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN CONCRETO CON ADITIVO FLUIDIFICANTE, ASÍ COMO LA DISMINUCIÓN DEL CONSUMO DEL CEMENTO EN SU ELABORACIÓN.

CLASE RESISTENTE	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN N/mm ²		
	3 DÍAS	28 DÍAS	
	MÍNIMO	MÍNIMO	MÁXIMO
20	-	20	40
30	-	30	50
30R	20	30	50
40	-	40	-
40R	30	40	-

Tabla no 2.4. Clasificación del cemento por su resistencia.

III. Por características especiales.

NOMENCLATURA	DESCRIPCIÓN
RS	Resistente a los Sulfatos
BRA	Baja Reactividad Alkali-Agregado
BCH	Bajo Calor de Hidratación
B	Blanco

Tabla no 2.5. Clasificación del cemento por sus características especiales.

3. CONCRETO

3.1 Antecedentes del concreto.

La exigencia fundamental que se le hizo al concreto en la primera etapa de su creación fue su resistencia a la compresión, más tarde se une al acero para constituir el concreto reforzado o armado, apareciendo otras exigencias adicionales, como el módulo de elasticidad, la estabilidad, la tenacidad, etc. Siendo a partir de los años 70 en que comenzaron a aparecer síntomas de deterioro significativos en las estructuras de concreto armado razón por la cual también se debe de tomar en cuenta su durabilidad. [IMCYC, 2007].

3.2 Definición de concreto.

Concreto, en el más amplio sentido, es cualquier producto o masa fabricado por el uso de un medio cementante. Generalmente, este medio es el producto de la reacción entre el cemento hidráulico y el agua. Pero, estos días, una definición como tal debería cubrir una amplia gama de productos: el concreto es fabricado con diversos tipos de cemento y también contiene puzolanas, cenizas volantes, escoria de alto horno, microsilice, aditivos, agregados de concreto reciclado, polímeros, fibras, etc; y estos concretos pueden ser calentados, aplicarles vapor, sometidos a presión hidráulica, a un choque de vibración y rociados. [A.M. Neville y J.J. Brooks, 2010].

Básicamente es 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. [Portland Cement Association, 2004].

En un concreto adecuadamente confeccionado, cada y toda partícula de agregado es completamente cubierta por la pasta y todos los espacios entre las partículas de agregados se llenan totalmente con pasta. Así como 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. Las ventajas de la disminución de la cantidad de agua son:

- Aumento de la resistencia a la compresión y de la resistencia a flexión.
- Disminución de la permeabilidad.
- 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.

3.3 Agregados.

En un principio, al agregado se le considero un material inerte, no costoso, disperso en la pasta de cemento para producir un gran volumen de concreto. En realidad, el agregado no es inerte, pues sus propiedades físicas, térmicas y en ocasiones, químicas, pueden influir en el desempeño del concreto, por ejemplo, mejorando su durabilidad y estabilidad de volumen sobre los de la pasta de cemento. Desde el punto de vista económico, es ventajoso emplear una mezcla con el mayor contenido posible de agregado y el menor posible de cemento, aunque el costo debe balancearse con las propiedades deseadas del concreto en estado fresco y endurecido. [A.M. Neville y J.J. Brooks, 2010].

La importancia del uso del tipo y de la calidad correcta del agregado 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 propiedades de la mezcla y en la economía del concreto. Los agregados finos generalmente consisten en arena natural o piedra triturada (partida, machacada, pedrejón, arena de trituración) con la mayoría de sus partículas menores que 5 mm. Los agregados gruesos son gravas o piedras trituradas con partículas predominantemente mayores que 5 mm y generalmente entre 9.5 mm y 37.5 mm. La piedra triturada se produce triturando la roca de cantera, roca redondeada, guijarros o gravas grandes. [Portland Cement Association, 2004].

El concreto reciclado o el concreto de desperdicio triturado es una fuente viable de agregados y una realidad económica, especialmente donde los buenos agregados son escasos. Se pueden utilizar equipos convencionales de trituración de piedras y se han desarrollado nuevos equipos para reducir el ruido y el polvo. [Portland Cement Association, 2004].

Los agregados deben cumplir con algunas normas para que su uso en ingeniería se optimice: deben ser partículas limpias, duras, resistentes, durables y libres de productos químicos absorbidos, revestimiento de arcilla u otros materiales finos en cantidades que puedan afectar la hidratación y la adherencia de la pasta de cemento. Los agregados más frecuentemente utilizados, el caso de la arena, grava y escoria de alto horno enfriada al aire, producen concretos frescos de peso normal con masa volumétrica de 2200 a 2400 kg/m³. [Portland Cement Association, 2004].

EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN CONCRETO CON ADITIVO FLUIDIFICANTE, ASÍ COMO LA DISMINUCIÓN DEL CONSUMO DEL CEMENTO EN SU ELABORACIÓN.

Es de importancia los límites granulométricos y el tamaño máximo nominal de los agregados ya que afectan las proporciones relativas de los agregados, así como lo que se requiere de agua y cemento. Llegando a afectar la trabajabilidad, la facilidad de ser bombeado, economía, porosidad, contracción, la durabilidad del concreto, afectar considerablemente la uniformidad del concreto de una mezcla a otra. Es recomendable que exista heterogeneidad y que no se presente un exceso de cualquier tamaño en los agregados para que se obtengan resultados satisfactorios.

TAMIZ	PORCIENTO QUE PASA EN MASA
½"	100
No. 4	95 a 100
No. 8	80 a 100
No. 16	50 a 85
No. 30	25 a 60
No. 50	10 a 30
No. 100	2 a 10

Tabla no 3.1.Limites granulométricos del agregado fino. [ASTM C 33].

Número del tamaño	Tamaño nominal, tamices con abertura cuadradas	Cantidades más finas que cada tamiz de laboratorio				
		100 mm (4 pulg.)	90 mm (3 1/2 pulg.)	75 mm (3 pulg.)	63 mm (2 1/2 pulg.)	50 mm (2 pulg.)
1	90 a 37.5 mm (3 1/2 a 1 1/2 pulg)	100	90 a 100	-	25 a 60	-
2	63 a 37.5 mm (2 1/2 a 1 1/2 pulg)	-	-	100	90 a 100	35 a 70
3	50 a 25.0 mm (2 a 1 pulg)	-	-	-	100	90 a 100
357	50 a 4.75 mm (2 pulg a no. 4)	-	-	-	100	95 a 100
4	37.5 a 19 mm (1 1/2 a 3/4 pulg.)	-	-	-	-	100
467	37.5 a 4.75 mm (1 1/2 pulg. a no. 4)	-	-	-	-	100
51	25.0 a 12.5 mm (1 a 1/2 pulg.)	-	-	-	-	-
561	25.0 a 9.5 mm (1 a 3/8 pulg.)	-	-	-	-	-
57	25.0 a 4.75 mm (1 pulg. a no.4)	-	-	-	-	-
61	19.0 a 9.5 mm (3/4 a 3/8 pulg.)	-	-	-	-	-
67	19.0 a 4.75 mm (3/4 pulg. a no. 4)	-	-	-	-	-
7	12.5 a 4.75 mm (1/2 pulg. a no. 4)	-	-	-	-	-
8	9.5 a 2.36 mm (3/8 pulg. a no. 8)	-	-	-	-	-

Tabla no 3.2.Limites granulométricos del agregado grueso. [ASTM C 33].

3.4 Agua

La calidad del agua es importante porque las impurezas en esta pueden interferir con el fraguado del cemento, pueden afectar adversamente la resistencia del concreto o causar manchado en la superficie, y pueden también producir la corrosión del refuerzo. Por estas razones, la conveniencia del agua para mezclado y procesos de curado debe ser considerado. Claras distinciones tienen que ser hechas entre los efectos del agua de

EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN CONCRETO CON ADITIVO FLUIDIFICANTE, ASÍ COMO LA DISMINUCIÓN DEL CONSUMO DEL CEMENTO EN SU ELABORACIÓN.

mezclado y el ataque habitual en el concreto por aguas agresivas porque algunas del último tipo pueden ser inofensivas o incluso benéficas cuando se usan en la mezcla. [A.M. Neville y J.J. Brooks, 2010].

Prácticamente cualquier agua natural que sea potable y no presente fuerte sabor u olor se la puede usar como agua de mezcla para la preparación del concreto. Sin embargo también se pueden emplear en concreto algunas aguas que no se consideran potables. Se puede utilizar satisfactoriamente el agua para la preparación del concreto con menos de 2000 partes por millón (ppm) de sólidos disueltos. El agua que contiene más de 2000 ppm de sólidos disueltos se debe analizar para verificar su efecto sobre la resistencia y el tiempo de fraguado. [Portland Cement Association, 2004].

El agua de mar no es apropiada para la preparación de concreto reforzado con acero y no se debe usar en concreto pretensado, debido al riesgo de la corrosión de la armadura, principalmente en ambientes cálidos y húmedos. Si se usa agua de mar para la preparación de concreto sin refuerzo en aplicaciones marítimas, se deben emplear cementos de moderada resistencia a los sulfatos y baja relación agua-cemento. [Portland Cement Association, 2004].

Al evaluarse el efecto de las aguas sobre las propiedades, es importante que se analice el agua con los aditivos que serán usados en el concreto. Algunos compuestos en el agua pueden influenciar el desempeño y la eficiencia de ciertos aditivos. Tal es el caso de un aditivo incluso de aire en el que se tiene que aumentar la cantidad de aditivo al usarse con agua dura conteniendo altas concentraciones de ciertos compuestos o minerales. [Portland Cement Association, 2004].

3.5 Revenimiento.

El revenimiento es un método de ensayo que permite determinar la consistencia del concreto hidráulico en estado fresco. Obteniendo valores confiables de revenimiento en el intervalo de 2 cm a 20 cm, siendo aplicable al concreto fresco industrializado o hecho en obra con tamaño máximo nominal del agregado menor de 50mm. [NMX-C-156-ONNCCE-2010].

El revenimiento se define como una medida de la consistencia del concreto fresco en término de la disminución de altura. [NMX-C-156-ONNCCE-2010].

Revenimiento nominal (mm)	Tolerancia (mm)
menor de 50	± 15
de 50 a 100	± 25
mayor de 100	± 35

**Tabla no 3.3. Valor nominal del revenimiento y tolerancias.
[NMX-C-156-ONNCCE-2010].**

3.6 Sangrado.

El sangrado es el flujo capilar de una parte del agua de mezclado hacia la superficie del concreto.

3.7 Aditivos.

A menudo, en lugar de usar un cemento especial, es posible cambiar alguna de las propiedades del más común cemento usado para incorporar un aditivo en sustitución o agregarlo. En otros casos, estas incorporaciones es el único medio de lograr el efecto deseado. Estrictamente hablando, aditivo se refiere a una sustancia la cual es agregada a la etapa de producción del cemento. [A.M. Neville y J.J. Brooks, 2010].

Se llaman aditivos aquellos productos que se incorporan al hormigón fresco con objeto de mejorar alguna de sus características (facilitar su puesta en obra, regular su proceso de fraguado y endurecimiento, aumentar su durabilidad, etc.). Por su importancia creciente, han sido denominados *el cuarto componente del hormigón*. [Montoya et al, 2000].

Las razones principales para el uso de aditivos son: [Portland Cement Association, 2004].

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

A continuación se menciona algunos de los aditivos de mayor empleo en la construcción. [Portland Cement Association, 2004].

3.7.1 Aditivos acelerantes.

Se emplean para acelerar el desarrollo de la resistencia del concreto a edades tempranas, así como adelantar el tiempo de fraguado y endurecimiento del mismo. Una sobredosis puede producir problemas en el colado y ser nociva para el concreto, pues podría provocar un fuerte incremento en la contracción por secado, corroer al refuerzo, y ser causa de pérdidas de resistencia a edades tardías.

3.7.2 Aditivos retardantes.

Se emplean para aminorar la velocidad de fraguado del concreto. Se emplean en ocasiones para: compensar el efecto acelerante que tiene el clima cálido en el fraguado del concreto, demorar el fraguado inicial del concreto o lechada cuando se presentan condiciones de colado difíciles o poco usuales, o retrasar el fraguado para aplicar procesos de acabado especiales. Debido a que los retardantes también actúan como reductores de

agua, se les denomina frecuentemente retardantes reductores de agua, además pueden incluir un poco de aire en el concreto.

3.7.3 Aditivos superplastificantes.

Son aditivos reductores de agua de alto rango que se agregan a los concretos de revenimiento y relación agua-cemento bajos a normales para producir concretos fluidos de alto revenimiento. Los revenimientos excesivamente altos, mayores o iguales a 25 cm. pueden provocar que el concreto se segregue. En los superplastificantes, el efecto para elevar la trabajabilidad o para producir concretos fluidos es de corta duración, de 30 a 60 minutos, y va seguido por una pérdida muy rápida de trabajabilidad. Su efectividad se eleva con el aumento en la cantidad de cemento y finos del concreto.

3.7.4 Aditivos inclusores de aire.

Se utilizan para retener intencionalmente burbujas microscópicas de aire en el concreto. Mejora considerablemente la resistencia del concreto contra el descascamiento de la superficie causado por los productos químicos deshelantes. El concreto con aire incluido, contiene diminutas burbujas de aire distribuidas uniformemente en toda la pasta de cemento. La inclusión de aire en el concreto, se puede producir usando un cemento incluso de aire, o con la introducción de un aditivo incluso de aire, o combinación de ambos.

3.7.5 Aditivos reductores de agua.

Se emplean para disminuir la cantidad de agua de mezclado requerida para producir un concreto con un cierto revenimiento, reducir la relación agua-cemento, o para aumentar el revenimiento. Los reductores de agua disminuyen el contenido de agua en aproximadamente 5% a 10%. La efectividad es función de su composición química, de la temperatura del concreto, de la composición y finura del cemento, del contenido de cemento, y de la presencia de otros aditivos.

3.7.6 Aditivos impermeabilizantes.

Los aditivos impermeabilizantes reducen la velocidad a la cual se transmite agua a presión a través del concreto. Uno de los mejores métodos consiste en aumentar el contenido de cemento y el periodo de curado húmedo y reducir la relación agua-cemento a menos de 0.5. algunos aditivos minerales reducen la permeabilidad por medio del proceso de hidratación y de reacción puzolánica.

3.7.7 Otros aditivos.

Se fabrican diversos aditivos como es el caso de aditivos a prueba de humedad, colorantes, químicos para reducir la reactividad con los álcalis, etc.

3.8 Diseño de mezclas de concreto.

El proceso de determinación de las características requeridas del concreto y que se pueden especificar se llama diseño de mezcla. Las características pueden incluir; propiedades del concreto fresco, propiedades mecánicas del concreto endurecido y la inclusión, exclusión o límites de ingredientes específicos. El diseño de la mezcla lleva al desarrollo de la especificación del concreto. [Portland Cement Association, 2004].

Las características se seleccionan considerando el uso que se propone dar al concreto, las condiciones de exposición, tamaño y forma de los elementos y las propiedades físicas del concreto (tales como resistencia a la congelación y resistencia mecánica) requeridas para la estructura. Las características deben reflejar las necesidades de la estructura. [Portland Cement Association, 2004].

En la práctica, las proporciones del concreto se gobiernan por los límites de los datos disponibles sobre las propiedades de los materiales, el grado de control realizado en la producción del concreto en la planta y la cantidad de supervisión en la obra. No se debe esperar que los resultados de campo sean exactamente iguales a los de las mezclas de prueba en el laboratorio. Normalmente se hace necesario un ajuste, en la obra, de la mezcla de prueba elegida. [Portland Cement Association, 2004].

3.9 Dosificación del concreto.

La dosificación del concreto es el proceso por el cual se logran las mejores proporciones de los materiales componentes de éste. Podrán expresarse en masa o en volumen siendo más exacto para las cualidades finales de este, emplear la medición en masa seca de sus materiales constituyentes. [IMCYC, 2007].

El proporcionamiento (dosificación) de la mezcla se refiere al proceso de determinación de las cantidades de los ingredientes del concreto, usando materiales locales, para que se logren las características especificadas. [Portland Cement Association, 2004].

Múltiples métodos o procedimientos para dosificar el concreto se han creado en diferentes países a partir de los planteamientos hechos por Feret en 1892. Cada uno partiendo de la relación a/c, calidad del cemento, temperatura ambiente, tipos de agregados, medios tecnológicos de producción, etc. [IMCYC, 2007].

La dosificación de una mezcla de concreto debe tener como principios básicos el proporcionar la garantía de la resistencia mecánica de éste, en estado endurecido y una adecuada consistencia, docilidad y homogeneidad que permita su trabajabilidad en el proceso de colocación. Además de ser durable, no sufrir deformaciones y hacerla económica. [IMCYC, 2007].

3.10 Resistencia mecánica del concreto.

La resistencia del concreto es comúnmente considerada la más importante propiedad, aunque en muchos casos prácticos otras características, tal como la durabilidad, impermeabilidad y la estabilidad del volumen, pueden de hecho ser más importantes. [A.M. Neville y J.J. Brooks, 2010].

La resistencia es el parámetro primero que exigen los usuarios del concreto, ya que es el que garantiza la estabilidad de la estructura diseñada con este material. Esta se mide mediante probetas cilíndricas normalizadas. Siendo la resistencia a compresión la más utilizada para las estructuras en general, mientras que la resistencia a flexión es exigida para pavimentos de concreto. [IMCYC, 2007].

3.10.1 Módulo de elasticidad.

El módulo de elasticidad de concretos de alta resistencia se supondrá igual a:

Para concretos con agregado grueso calizo:

$$E_c = 2700 \sqrt{f'_c} + 11000; \text{ en MPa.}$$

$$E_c = 8500 \sqrt{f'_c} + 11000; \text{ en kgf/cm}^2.$$

Para concretos con agregado grueso basáltico:

$$E_c = 2700 \sqrt{f'_c} + 5000; \text{ en MPa.}$$

$$E_c = 8500 \sqrt{f'_c} + 50000; \text{ en kgf/cm}^2.$$

3.10.2 Resistencia a compresión del concreto.

La resistencia a compresión se puede definir como la medida máxima de la resistencia a carga axial de especímenes de concreto. Normalmente, se expresa en kilogramos por centímetros cuadrados (kg/cm^2), megapascuales (MPa) o en libras por pulgadas cuadradas (lb/pulg^2) a una edad de 28 días. Se pueden usar otras edades para las pruebas, pero es importante saber la relación entre la resistencia a los 28 días y la resistencia en otras edades. [Portland Cement Association, 2004].

La resistencia a compresión que el concreto logra es función de la relación agua-cemento, de cuanto la hidratación ha progresado, del curado, de las condiciones ambientales y de la edad del concreto. La resistencia a compresión es una propiedad principalmente física y frecuentemente usada en los cálculos para diseño de puentes, edificios y otras estructuras. [Portland Cement Association, 2004].

3.10.3 Resistencia a Flexión (Modulo de Ruptura).

La resistencia a compresión se puede usar como un índice de resistencia a flexión. La resistencia a flexión de concretos de peso normal es normalmente de 0.7 a 0.8 veces la raíz cuadrada de la resistencia a compresión en megapascales o de 1.99 a 2.65 veces la raíz cuadrada de la resistencia a compresión en kilogramos por centímetros cuadrados. [Portland Cement Association, 2004].

3.10.4 Resistencia a Tensión.

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. La resistencia a esfuerzos por cortante (cizallamiento, corte o cizalladura) es del 8% al 14% de la resistencia a compresión. [Portland Cement Association, 2004].

A falta de información experimental, la resistencia media a tensión de concretos de alta resistencia, se supondrá igual a:

Para concretos con agregado grueso calizo:

$$f_t = 0.53 \sqrt{f'_c} ; \text{en MPa.}$$

$$f_t = 1.67 \sqrt{f'_c} ; \text{en kgf/cm}^2.$$

Para concretos con agregado grueso basáltico:

$$f_t = 0.47 \sqrt{f'_c} ; \text{en MPa.}$$

$$f_t = 1.50 \sqrt{f'_c} ; \text{en kgf/cm}^2.$$

3.11 Concreto armado.

El concreto reforzado es un relativamente nuevo material de construcción el cual ha sido desarrollado y aplicado extensivamente solo en el siglo XX. Siempre se ha dicho que la combinación del concreto y el acero de refuerzo es óptimo no solo por su desempeño mecánico sino también desde el punto de vista de su desempeño a largo plazo. Teóricamente esta combinación debería de ser altamente durable, como el concreto cubre alrededor del acero provee de una protección química y física una barrera al acero, y puede potencialmente eliminar los problemas de corrosión en el acero los cuales ocurren

fácilmente en estructuras de acero descubierto. [Arnon Bentur, Sidney Diamond and Neale Berke, 2006].

Igual que la mayoría de los materiales pétreos, el concreto tiene una alta resistencia a la compresión y una muy baja resistencia a la tensión. El *concreto reforzado* es una combinación de concreto y acero en la que el refuerzo de acero proporciona la resistencia a tensión de que carece el concreto. El acero de refuerzo, es una aleación fierro/carbono, que generalmente tiene un acabado superficial en relieve llamado corrugado. [J.C. McCormack, 2002].

Al realizar una mezcla se le añade agua en exceso para obtener un concreto fresco con trabajabilidad, dando como consecuencia el grado de porosidad y permeabilidad del concreto endurecido. La importancia de la relación agua-cemento radica en que una pasta de cemento con poco contenido de agua estará más compacta, por lo que tendrá menos cantidad de poros interconectados (que son permeables a líquidos y gases) en donde se aloje la humedad, esto impedirá la difusión de iones que puedan iniciar el proceso de corrosión; lo contrario sucede en una pasta con mayor contenido de agua y por lo tanto mayor porosidad y mayor permeabilidad. Esto es de una importancia crítica para el proceso de corrosión del hacer de refuerzo, ya que tanto los elementos soporte (como el oxígeno) como los agentes iniciadores (ión cloruro) del ataque corrosivo, pueden difundir hacia el acero a través de la masa de concreto. La velocidad de difusión del oxígeno y de los iones cloruro en el concreto es menor cuando se reduce la relación agua-cemento y por lo tanto la porosidad. [A. del Valle et al, 2001].

De acuerdo con lo antes expuesto los agentes químicos más frecuentes que producen el deterioro del concreto son: [IMCYC, 2007].

- El aire y otros gases, en ambiente natural o contaminada.
- Aguas agresivas (puras, de mar, industriales, negras agrícolas, negras urbanas y otros líquidos.
- Productos químicos orgánicos o inorgánicos.
- Suelos y terrenos agresivos.

Los agentes químicos citados pueden actuar solos o de forma combinada lo que no permite definir una forma de actuación similar, o con resultados semejantes. [IMCYC, 2007].

La reacción del $\text{Ca}(\text{OH})_2$, o sea, la portlandita del concreto con el CO_2 del ambiente, produce la formación de carbonatos lo que genera una disminución de su pH. Al disminuir la basicidad del concreto disminuye la protección que este le ofrece a las armaduras de acero posibilitando que otros agentes puedan fácilmente atacarlos, transformando el acero

EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN CONCRETO CON ADITIVO FLUIDIFICANTE, ASÍ COMO LA DISMINUCIÓN DEL CONSUMO DEL CEMENTO EN SU ELABORACIÓN.

en óxido de hierro por la corrosión, generando un aumento de volumen de éste, que ejerce esfuerzo de tensión sustancial en el concreto a las barras oxidadas. También se manifiesta adicionalmente este proceso por la aparición de manchas, agrietamientos y fisuración del recubrimiento de concreto de refuerzo. Al propio tiempo la sección transversal del acero de refuerzo se reduce. Como consecuencia de este proceso, un agotamiento estructural puede ocurrir mediante una pérdida de la adherencia entre el acero y el concreto, debido a las grietas y fisuras, o bien como resultado de la reducción de la sección transversal del acero. Este último efecto puede tener una significación especial en estructuras de concreto pretensado, en las cuales un grado relativamente pequeño de la corrosión de los cables de acero para pretensar puede ocasionar su falla. Pero, también en las estructuras de concreto armado más comunes, los procesos degradantes escritos, conducen en todos los casos a la pérdida de su durabilidad y utilidad o a su desplome en caso extremo. [IMCYC, 2007].

El deterioro de estructuras de concreto armado, debido a la corrosión del acero de refuerzo, ocurre mayormente en ciertos tipos de estructuras expuestas solamente a una condición especial de tensión. Este fenómeno se observó por primera vez en estructuras de concreto armado situadas en la costa, expuesta a un ambiente atmosférico marino o de agua de mar y también en plantas productoras de sustancias químicas. Más recientemente, la corrosión del acero de refuerzo ha resultado ser un problema extremadamente serio con la aparición en cubiertas de puentes, estructuras de estacionamientos de vehículos y otras estructuras de carreteras en las cuales durante el invierno se utilizan sales de descongelamiento. [IMCYC, 2007].

4. BANCOS DE MATERIAL

Un banco de material es donde se extraerá material para ser utilizado en una obra civil, al cual le tomo millones de años para constituirse ya sea por origen volcánico o resultado de la transportación de diversos factores ambientales, como agua, viento, etc.

Las fuentes de abastecimiento de agregados son los depósitos fluviales, eólicos, de glaciación, volcánicos, marítimos, lacustres, canteras y almacenes de plantas de procesamiento o fabricación de agregados artificiales.

Los bancos son depósitos de materiales fragmentados que posteriormente fueron cubiertos por otros, debido a esto se dificulta su exploración.

Es de relativa importancia el costo de los materiales como arena y grava en la fabricación del concreto, por lo que es deseable que se puedan localizar depósitos de material apropiados cerca del lugar de su utilización, abatiendo los costos de transportación.

Muchos años atrás la detección de bancos de material dependió de métodos exploratorios comunes, desde la simple observación sobre el terreno, hasta el empleo de pozos a cielo abierto, posteadoras, barrenos y aún máquinas perforadoras. Por medio de estudios geofísicos se reduce tiempo, esfuerzo humano y mucha exploración.

Ha de garantizarse que los bancos elegidos son los mejores entre todos los disponibles en varios aspectos como son:

- La calidad de los materiales extraíbles, juzgada en relación estrecha con el uso que se le dará.
- Tienen que ser lo más fácilmente accesibles, pudiendo ser explotados con procedimientos eficientes y menos costosos.
- Ser los que produzcan la menor distancia de acarreo del material a la obra u/o lugar de empleo, disminuyendo costos.

4.1 Localización del banco de Chamacuero, Puruándiro, Michoacán.

El municipio de Puruándiro se localiza al norte del estado de Michoacán, en las coordenadas 20°05' de latitud norte y 101°31' de longitud oeste, a una altura de 1,890 metros sobre el nivel del mar. Limita al norte con el municipio de José Sixto Verduzco, al este con el Estado de Guanajuato, al sur con los municipios de Jiménez y Morelos, y al oeste con Angamacuero y Panindícuaro. Su distancia a la capital del Estado es de 108 km.

EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN CONCRETO CON ADITIVO FLUIDIFICANTE, ASÍ COMO LA DISMINUCIÓN DEL CONSUMO DEL CEMENTO EN SU ELABORACIÓN.

Tiene una superficie de 722.37 Km² y su relieve lo constituyen la depresión del Lerma y el sistema volcánico transversal. Predominan los valles y planicies (Valle de Puruándiro).

Del banco denominado “Chamacuero” se extrae la arena, que es de color negro.

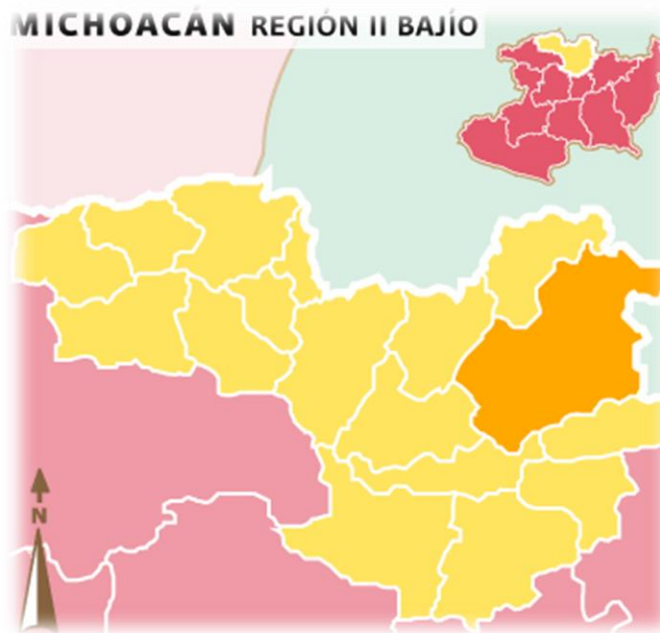


Figura no 4.1. Localización del municipio de Puruándiro, Mich.



Figura no. 4.2. Vista satelital del banco “Chamacuero”.

4.2 Localización del banco Mesón Nuevo, Tarímbaro, Michoacán.

El municipio de Tarímbaro se localiza al norte del estado de Michoacán, en las coordenadas 19°48' de latitud norte y 101°10' de longitud oeste, a una altura de 1,860 metros sobre el nivel del mar. Limita al norte con los municipios de Copándaro y Cuitzeo, al este con Alvaro Obregón, al sur con Morelia y Charo, y al oeste con Chucándiro. Su distancia a la capital del Estado es de 12 kms.

Su superficie es de 258.57 km² y su relieve está constituido por el sistema volcánico transversal y los cerros Tecolote, de Oro y de Tlacuache.

De acuerdo al centro SCT Michoacán por medio de su unidad general de servicios técnicos. El inventario de bancos de materiales 2010 ubica al banco denominado “Mesón nuevo” a orillas de la carretera Morelia-Salamanca en el kilómetro 014+250, la fecha de su estudio data de mayo de 2004, teniendo una fecha de actualización en octubre de 2009. El tipo de material presente en dicho banco es basalto dándosele un tratamiento que consiste en la trituración total y cribado.

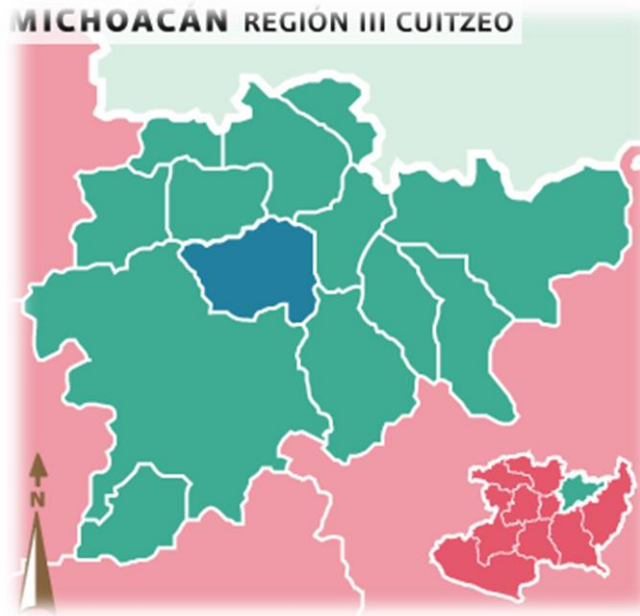


Figura no 4.3. Localización de Tarímbaro, Mich.



Figura no. 4.4. Vista satelital del banco “Mesón Nuevo”.

4.3 Localización del banco San Nicolás de Parangón, Valle de Santiago, Guanajuato

El municipio de Valle de Santiago se localiza al sur del estado de Guanajuato, en las coordenadas $20^{\circ} 23' 31$ de latitud norte y $101^{\circ} 11' 21''$ de longitud oeste, a una altura de 1,720 metros sobre el nivel del mar. Limita al oeste con los municipios de Abasolo Huanímaro; al norte con el municipio de Salamanca y Pueblo nuevo; al sureste con el de Jaral del progreso y al sur con el municipio de Yuriria y el estado de Michoacán.

Su superficie es de 815.52 km^2 y su relieve está compuesto por un grupo de volcanes, que se compone de 13 cráteres, situados en una superficie de 14 km^2 . Las elevaciones más importantes del municipio son los cerros de: El Tule, El Picacho, El Varal, Cerro Blanco, La Batea, Los Cuates y el cerro Prieto.

Del banco denominado “San Nicolás de Parangón” se extrae arena que tiene como particularidad su color claro, llegando a ser blanco.

EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN CONCRETO CON ADITIVO FLUIDIFICANTE, ASÍ COMO LA DISMINUCIÓN DEL CONSUMO DEL CEMENTO EN SU ELABORACIÓN.



Figura no 4.5. Localización de Valle de Santiago, Gto.



Figura no. 4.6. Vista satelital del banco “San Nicolás de Parangón”.

CAPÍTULO 5

5. PRUEBAS EN MATERIALES PARA ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES

5.1 Arenas.

5.1.1 Humedad superficial y de absorción

Se busca conocer 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

- I. La muestra de 2 kilogramos se pone a saturar durante 24 hrs, como mínimo.
- II. Al término de este tiempo se seca superficialmente, la arena por medio del molde truncocónico 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 cuando la arena está seca superficialmente se coloca el molde truncocónico dentro de la charola con el diámetro mayor hacia abajo, se llena el molde con 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 esta 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

EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN CONCRETO CON ADITIVO FLUIDIFICANTE, ASÍ COMO LA DISMINUCIÓN DEL CONSUMO DEL CEMENTO EN SU ELABORACIÓN.

humedad la muestra hay que realizar más continuamente el procedimiento con el cono para evitar que se seque en exceso.

- III. Cuando la arena esta seca superficialmente hay que pesar una muestra de 300 gramos, registrando este peso como peso saturado y superficialmente seco (Ph).
- IV. La muestra de 300 gramos, se coloca en una charola para secarla hasta peso constante, o sea, hasta eliminar completamente el agua.
- V. Para saber cuando el material esta seco se coloca el cristal sobre el material, si no lo empaña retiramos el material y lo dejamos enfriar un poco, procediendo a secarlo y registrar el peso como peso seco del material (Ps), si aun se empaña el cristal hay que seguir secando el material para secarlo completamente.

Cálculo

$$\% \text{ HUMEDAD DE ABSORCIÓN} = \frac{Ph - Ps}{Ps} 100$$

Para este trabajo se analizaron dos tipos de arena, de color negro y blanco, además que se propuso una mezcla de ambas arenas en una relación de 75 de arena negra y 25 de arena blanca como se muestra en las figuras 5.1 y 5.2 de las cuales se muestran los resultados en las siguientes tablas.



Figura no. 5.1. Humedad de absorción en arena.

EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN CONCRETO CON ADITIVO FLUIDIFICANTE, ASÍ COMO LA DISMINUCIÓN DEL CONSUMO DEL CEMENTO EN SU ELABORACIÓN.

DATOS	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
PESO HÚMEDO (g)	300	300	300
PESO SECO (g)	292	291.7	291.7
% H. ABSORCIÓN	2.74%	2.85%	2.85%
PROMEDIO	2.81%		

Tabla no 5.1. Humedad de absorción de arena negra.

DATOS	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
PESO HÚMEDO (g)	300	300	300
PESO SECO (g)	285.7	286	286.4
% H. ABSORCIÓN	5.01%	4.90%	4.75%
PROMEDIO	4.88%		

Tabla no 5.2. Humedad de absorción de arena blanca.

DATOS	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
PESO HÚMEDO (g)	300	300	300
PESO SECO (g)	290	290.1	290.6
% H. ABSORCIÓN	3.45%	3.41%	3.23%
PROMEDIO	3.37%		

Tabla no 5.3. Humedad de absorción en mezcla de arena negra y blanca (75-25).

5.1.2 Densidad

Consiste en determinar el peso de la unidad de volumen del material, sin considerar los vacíos que existen entre partícula y partícula. Las partículas se consideran saturadas en agua y superficialmente secas.

Equipo

- Muestra representativa de arena aproximadamente 1000 gramos.
- Charolas.
- Espátulas.
- Parrilla eléctrica.
- Molde tronco cónico.
- Pisón.
- Picnómetro formado por frasco de vidrio de un litro de capacidad con boca ancha y esmerilada.
- Vidrio
- Balanza con aproximación al decimo de gramo.

EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN CONCRETO CON ADITIVO FLUIDIFICANTE, ASÍ COMO LA DISMINUCIÓN DEL CONSUMO DEL CEMENTO EN SU ELABORACIÓN.

Procedimiento

- I. 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 troncocónico.
- II. Del material seco se toma una porción de 600 a 800 gramos, pesados al decimo de gramo, la cual se coloca en el frasco.
- III. Se añade agua destilada al material, colocada en el frasco hasta dos terceras partes de la capacidad del frasco. Se tapa con el vidrio esmerilado y se agita 5 minutos para eliminar las burbujas de aire atrapadas, también se puede eliminar rodando el frasco en una superficie horizontal, un tiempo conveniente.
- IV. Se llena totalmente el frasco con agua destilada, hasta tener el borde ligeramente rebasado, a continuación se coloca la tapa de vidrio con un movimiento destilante sobre la boca del frasco, procurando que no queden burbujas de aire atrapado entre la superficie del agua y el vidrio esmerilado.
- V. Se limpia el agua exterior del frasco y se pesa este al décimo de gramo.
- VI. Se extrae el contenido de agua del frasco, se limpia y se vuelve a pesar, pero ahora totalmente lleno de agua y el vidrio esmerilado.

Cálculos.

$$\text{Densidad de la Arena (DA)} = \frac{As}{Vf - (K - F - As)}$$

Donde:

As: Arena Húmeda.

Vf: Volumen del Frasco.

F: peso del Frasco.

K: Peso del Frasco + Agua + Arena.

EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN CONCRETO CON ADITIVO FLUIDIFICANTE, ASÍ COMO LA DISMINUCIÓN DEL CONSUMO DEL CEMENTO EN SU ELABORACIÓN.



Figura no 5.3. Densidad de la arena.

DATOS			
NO. DE MUESTRA	1	2	3
Arena Húmeda (g)	300	300	300
Vol. Frasco (g)	450	450	450
PESO FRASCO (g)	300	300	300
P. ARENA+AGUA+FRASCO (g)	923.80	914.40	910.20
DENSIDAD	2.38	2.21	2.15
PROMEDIO		2.25	

Tabla no 5.4. Densidad de arena negra.

DATOS			
NO. DE MUESTRA	1	2	3
Arena Húmeda (g)	300	300	300
Vol. Frasco (g)	450	450	450
PESO FRASCO (g)	300	300	300
P. ARENA+AGUA+FRASCO (g)	907.30	909.70	905.90
DENSIDAD	2.10	2.14	2.08
PROMEDIO		2.11	

Tabla no 5.5. Densidad de arena blanca.

DATOS			
NO. DE MUESTRA	1	2	3
Arena Húmeda (g)	300	300	300
Vol. Frasco (g)	450	450	450
PESO FRASCO (g)	300	300	300
P. ARENA+AGUA+FRASCO (g)	913.00	912.40	912.10
DENSIDAD	2.19	2.18	2.18
PROMEDIO		2.18	

Tabla no 5.6. Densidad en mezcla de arena negra y blanca (75-25).

5.1.3 Peso volumétrico seco y suelto (P.V.S.S.)

Se busca determinar el peso 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 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

- I. Se vacía arena dentro del recipiente dejándose caer a una altura medida a partir de la arista superior del recipiente de aproximadamente 5 centímetros, llenando completamente el recipiente hasta colmarlo formando un cono.
- II. Enseguida se enrasa el recipiente con la varilla empezando del centro hacia las orillas y se limpia el recipiente de las partículas adheridas en las paredes exteriores para posteriormente pesarlo.
- III. Al peso obtenido anteriormente se le resta el peso del recipiente para obtener el peso de la arena (P).

Cálculos

$$P.V.S.S. = \frac{P}{V} \left(\frac{g}{cm^3} \right)$$



Figura no 5.3. P.V.S.S. en arena.

EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN CONCRETO CON ADITIVO FLUIDIFICANTE, ASÍ COMO LA DISMINUCIÓN DEL CONSUMO DEL CEMENTO EN SU ELABORACIÓN.

DATOS			
NO. DE MUESTRA	1	2	3
TARA	1945 g	1945 g	1945 g
VOLUMEN	2783 cm ³	2783 cm ³	2783 cm ³
PESO BRUTO	5700 g	5650 g	5650 g
PESO NETO	3755 g	3705 g	3705 g
PESO VOLUMÉTRICO	1349 kg/m ³	1331 kg/m ³	1331 kg/m ³
PROMEDIO	1337	kg/m ³	

Tabla no 5.7. P.V.S.S. en arena negra.

DATOS			
NO. DE MUESTRA	1	2	3
TARA	1900 g	1900 g	1900 g
VOLUMEN	2759 cm ³	2759 cm ³	2759 cm ³
PESO BRUTO	6200 g	6150 g	6100 g
PESO NETO	4300 g	4250 g	4200 g
PESO VOLUMÉTRICO	1558 kg/m ³	1540 kg/m ³	1523 kg/m ³
PROMEDIO	1540	kg/m ³	

Tabla no 5.8. P.V.S.S. en arena blanca.

DATOS			
NO. DE MUESTRA	1	2	3
TARA	1945 g	1945 g	1945 g
VOLUMEN	2783 cm ³	2783 cm ³	2783 cm ³
PESO BRUTO	5800g	5780g	5810g
PESO NETO	3855g	3835g	3865g
PESO VOLUMÉTRICO	1385 kg/m ³	1378 kg/m ³	1389 kg/m ³
PROMEDIO	1384	kg/m ³	

Tabla no 5.9. P.V.S.S. en mezcla de arena negra y blanca (75-25).

5.1.4 Peso volumétrico seco y varillado (P.V.S.V.).

Obtener el peso 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.

EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN CONCRETO CON ADITIVO FLUIDIFICANTE, ASÍ COMO LA DISMINUCIÓN DEL CONSUMO DEL CEMENTO EN SU ELABORACIÓN.

- Un cucharón y una pala.

Procedimiento

- I. 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.
- II. Debe de cuidarse que la varilla no penetre en la capa anterior al dar los golpes.
- III. Se enrasa el recipiente con la varilla punta de bala y se limpian todas las partículas que hayan quedado adheridas a las paredes exteriores.
- IV. 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 el peso neto del material.

Cálculos

$$P.V.S.S. = \frac{P}{V} \left(\frac{g}{cm^3} \right)$$

DATOS			
NO. DE MUESTRA	1	2	3
TARA	1945 g	1945 g	1945 g
VOLUMEN	2783 cm ³	2783 cm ³	2783 cm ³
PESO BRUTO	5800 g	5780 g	5720 g
PESO NETO	3855 g	3835 g	3775 g
PESO VOLUMÉTRICO	1385 kg/m ³	1378 kg/m ³	1356 kg/m ³
PROMEDIO	1373	kg/m ³	

Tabla no 5.10. P.V.S.V. en arena negra.

DATOS			
NO. DE MUESTRA	1	2	3
TARA	1900 g	1900 g	1900 g
VOLUMEN	2759 cm ³	2759 cm ³	2759 cm ³
PESO BRUTO	6300 g	6350 g	6350 g
PESO NETO	4400 g	4450 g	4450 g
PESO VOLUMÉTRICO	1594 kg/m ³	1612 kg/m ³	1612 kg/m ³
PROMEDIO	1606	kg/m ³	

Tabla no 5.11. P.V.S.V. en arena blanca.

EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN CONCRETO CON ADITIVO FLUIDIFICANTE, ASÍ COMO LA DISMINUCIÓN DEL CONSUMO DEL CEMENTO EN SU ELABORACIÓN.

DATOS			
NO. DE MUESTRA	1	2	3
TARA	1945 g	1945 g	1945 g
VOLUMEN	2783 cm ³	2783 cm ³	2783 cm ³
PESO BRUTO	5950 g	5930 g	5980 g
PESO NETO	4005 g	3985 g	4035 g
PESO VOLUMÉTRICO	1439 kg/m ³	1432 kg/m ³	1445 kg/m ³
PROMEDIO	1440	kg/m ³	

Tabla no 5.12. P.V.S.V. en mezcla de arena negra y blanca (75-25).

5.1.5 Granulometría.

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.

Para lo cual se deberá efectuar el registro correspondiente y el cálculo para comparar los resultados y determinar si es o no aceptable la arena.

Equipo

- Un juego de mallas con abertura rectangular o circular del No. 4, 8, 16, 30, 50, 100 y charola con su respectiva tapa.
- Una balanza con capacidad de 2160 gramos y aproximación al decimo de gramo.
- Charolas, espátulas y parrilla eléctrica.
- Cepillos de cerdas y alambre.
- Hojas de papel.

Procedimiento

- I. Se toma una muestra representativa de arena de aproximadamente 600 gramos.
- II. Se seca la muestra hasta peso constante, a una temperatura no mayor de 110 °C.
- III. Cuando el material este seco y frio, se toman 500 gramos, pesados al décimo de gramo.
- IV. Se colocan las mallas en orden decreciente (4, 8, 16, 30, 50, 100 y charola), se coloca la muestra de 500 gramos en un agitador y se tapa.
- V. Se agita el juego de mallas durante un tiempo de 10 minutos como mínimo, el agitado puede ser a mano o mecánicamente.
- VI. En una superficie horizontal y limpia se colocan 7 hojas de papel y sobre ellas se coloca el material retenido en cada una de las mallas, para lo cual se invertirá la malla con todo cuidado limpiando con cepillo de alambre las mallas 4, 8, 16 y 30

EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN CONCRETO CON ADITIVO FLUIDIFICANTE, ASÍ COMO LA DISMINUCIÓN DEL CONSUMO DEL CEMENTO EN SU ELABORACIÓN.

para desalojar el material que se encuentra en los espacios de la malla, las mallas 50 y 100 se limpiaran con cepillo de cerdas.

VII. Se procede a pesar cada uno de los materiales retenidos en las mallas hasta el décimo de gramo anotando los pesos en el registro correspondiente.

Cálculos

$$\% \text{Retenido en cada malla} = \frac{\text{peso retenido}}{\text{peso total de la muestra}} 100$$

$\% \text{Acumulado en malla} = \% \text{Retenido en malla} + \% \text{Acumulado en malla anterior}$

$$M.F. = \frac{\text{Suma del porciento acumulado de la malla 8 a 100}}{100}$$



Figura no 5.6. Granulometría en arena.

MUESTRA PROMEDIO EN ARENA			
PESO DE LA MUESTRA: 492.9			
MALLA	PESO RETENIDO (g)	%RETENIDO	%ACUMULADO
8	35.1	7.12	7.12
16	106.1	21.53	28.65
30	162.2	32.91	61.55
50	109.9	22.30	83.85
100	49.4	10.02	93.87
200	17.6	3.57	97.44
Charola	12.6	2.56	100.00
Suma	492.9	100	

Tabla no 5.13. Granulometría de arena negra.

EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN CONCRETO CON ADITIVO FLUIDIFICANTE, ASÍ COMO LA DISMINUCIÓN DEL CONSUMO DEL CEMENTO EN SU ELABORACIÓN.

MUESTRA PROMEDIO EN ARENA PESO DE LA MUESTRA: 492.2			
MALLA	PESO RETENIDO (g)	%RETENIDO	%ACUMULADO
8	55.3	11.24	11.24
16	87	17.68	28.91
30	99.5	20.22	49.13
50	89	18.08	67.21
100	70.8	14.38	81.59
200	38.7	7.86	89.46
Charola	51.9	10.54	100.00
Suma	492.2	100.00	

Tabla no 5.14. Granulometría de arena blanca.

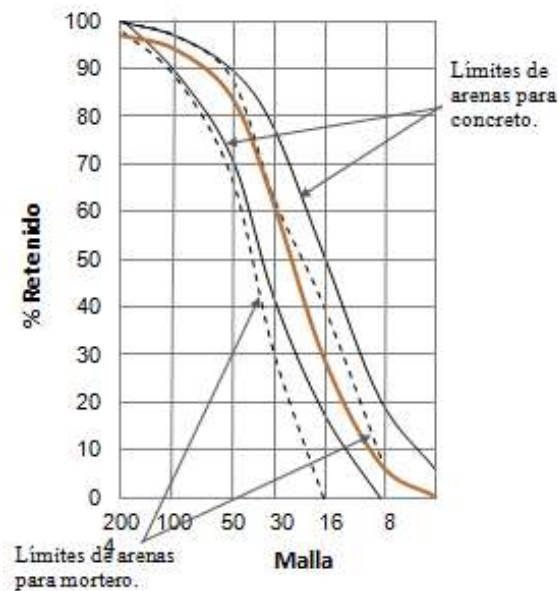


Figura no 5.7. Gráfica de granulometría en arena negra.

EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN CONCRETO CON ADITIVO FLUIDIFICANTE, ASÍ COMO LA DISMINUCIÓN DEL CONSUMO DEL CEMENTO EN SU ELABORACIÓN.

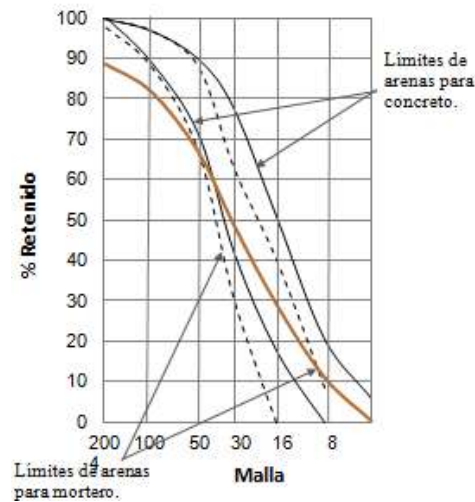


Figura no 5.8. Gráfica de granulometría en arena blanca.

El módulo de finura obtenido de la muestra promedio para arena negra es de 2.8 y para arena blanca un módulo de finura de 2.3. Así también se puede observar de las figuras no 5.7 y 5.8 que la arena negra es adecuada para la fabricación de concreto, no tanto así la arena blanca que tiene mucho contenido fino y no es muy adecuada para la fabricación de concretos.

Conocidas las características de ambas arenas se propone una relación de 75% de arena negra y 25% de arena blanca con una granulometría de la siguiente manera. Para esta mezcla de arenas su módulo de finura es de 2.6.

MUESTRA PROMEDIO EN ARENA			
PESO DE LA MUESTRA: 489.1			
MALLA	PESO RETENIDO (g)	%RETENIDO	%ACUMULADO
8	34	6.95	6.95
16	97.2	19.87	26.82
30	147.3	30.12	56.94
50	107.3	21.94	78.88
100	57.2	11.69	90.57
200	25.1	5.13	95.71
Charola	21	4.29	100.00
Suma	489.1	100.00	

Tabla no 5.15. Granulometría en mezcla de arena negra y blanca (75-25).

EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN CONCRETO CON ADITIVO FLUIDIFICANTE, ASÍ COMO LA DISMINUCIÓN DEL CONSUMO DEL CEMENTO EN SU ELABORACIÓN.

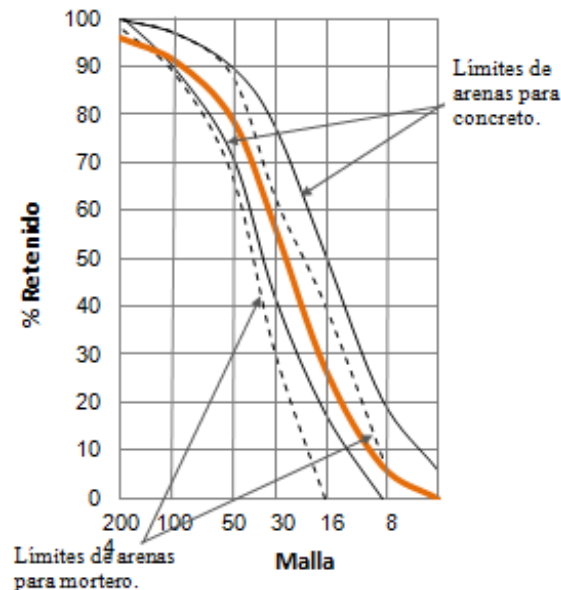


Figura no 5.9. Gráfica de granulometría en mezcla de arena negra y blanca (75-25).

5.1.6 Colorimetría.

Consiste en 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 cm³ con marcas a cada 25 cm³ (frasco de biberón).
- Charolas, parrillas de secado, espátulas, balanza, vasos de precipitado.
- Material para las soluciones y vidrio de color normal.
- Solución de sosa cáustica 30 gramos por litro de solución normal en agua destilada.

Procedimiento

- I. Se toma una muestra representativa de arena de 500 gramos aproximadamente.
- II. Se seca hasta peso constante a una temperatura no mayor a 110°C.
- III. Se coloca la arena seca y fría en una botella (frasco de biberón) hasta 133 cm³ adicionándole solución de sosa cáustica hasta los 206 cm³.
- IV. Se tapa la botella y se agita fuertemente dos minutos como mínimo posteriormente se dejará reposar 24 hrs.
- V. Al cabo de este tiempo se comparará el color del líquido de la botella con el vidrio de color normal.



Figura no 5.10. Colorimetría en arena.

Para los dos tipos de arena en estudio (negra y blanca) el resultado obtenido fue cercano a uno con respecto al vidrio de color normal, lo que significa ausencia de materia orgánica en la arena.

5.2 Grava.

5.2.1 Humedad de absorción.

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 $\frac{3}{4}$ y $\frac{3}{8}$ ".
- Balanza con aproximación al decimo de gramo.

Procedimiento.

- I. De la muestra que se trae de campo se criba a través de las mallas $\frac{3}{4}$ y $\frac{3}{8}$ siendo el material que retiene la malla de $\frac{3}{8}$ y que pasa la de $\frac{3}{4}$ el que se pone a saturar en una charola una muestra de 0.5 a 1 kilogramo durante 24 hrs.
- II. Pasadas las 24 horas con una franela se seca superficialmente la muestra de grava aproximadamente 300 gramos, anotando este valor como (Ph) peso saturado y superficialmente seco.

EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN CONCRETO CON ADITIVO FLUIDIFICANTE, ASÍ COMO LA DISMINUCIÓN DEL CONSUMO DEL CEMENTO EN SU ELABORACIÓN.

- III. Se procede a colocar este material en una charola para secarlo en la aprrilla eléctrica, para saber cuándo se ha eliminado completamente la humedad se coloca un vidrio sobre el material si no se empaña o se forman gotas de agua se retira, se deja enfriar un poco y se procede a pesarlo registrando este peso como (Ps) peso seco del material.

Cálculos

$$\% H. DE ABSORCIÓN = \frac{Ph - Ps}{Ps} 100$$



Figura no 5.11. Humedad de absorción en grava.

ESPECIFICACIONES	
TIPO DE ABSORCIÓN	% H. DE ABSORCIÓN
BAJA	MENOS DEL 2%
MEDIA	ENTRE EL 2% Y EL 4%
ALTA	MÁS DEL 4%

Tabla no 5.16. Especificaciones para absorción en grava.

DATOS	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
PESO HÚMEDO (g)	300	300.1	300
PESO SECO (g)	292.8	292.3	293.4
% H. ABSORCIÓN	2.46%	2.67%	2.25%
PROMEDIO	2.46%		

Tabla no 5.17. Absorción en grava.

EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN CONCRETO CON ADITIVO FLUIDIFICANTE, ASÍ COMO LA DISMINUCIÓN DEL CONSUMO DEL CEMENTO EN SU ELABORACIÓN.

En base a las especificaciones y al resultado de la muestra de grava la absorción que tiene está es media.

5.2.2 Densidad.

Consiste en determinar el volumen absoluto de las partículas de grava en peso por unidad de volumen.

Equipo

- Balanza con aproximación al decimo de gramo.
- Canastilla metálica.
- Recipiente con agua
- Horno.

Procedimiento

Se secan las muestras en el horno a una temperatura de 110 °C +/- 10 °C durante 24 horas.

Se dejan enfriar y se pesan, (Ps) peso seco.

Se ponen a saturar en agua durante 24 horas y después se limpian superficialmente con una franela y se pesan, para obtener el peso el peso superficial seco (Pss).

Se colocan en la canastilla adaptada en la bascula y se sumergen en agua, obteniéndose el peso sumergido o en el agua (Pa).

Cálculo.

$$DENSIDAD = \frac{Ps}{Pss - Pa}$$



Figura no 5.12. Densidad en grava.

EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN CONCRETO CON ADITIVO FLUIDIFICANTE, ASÍ COMO LA DISMINUCIÓN DEL CONSUMO DEL CEMENTO EN SU ELABORACIÓN.

DATOS			
PESO SECO (g)	138.6	138.8	139.4
PESO SUPERF. SECO (g)	144.5	144.5	144.7
PESO B. EN AGUA (g)	117.2	117.3	117.8
PESO TARA (g)	27.1	27.1	27.1
PESO N. EN AGUA (g)	90.1	90.2	90.7
DENSIDAD	2.55	2.56	2.58
PROMEDIO		2.56	

Tabla no 5.18. Densidad en grava.

5.2.3 Peso volumétrico seco y suelto (P.V.S.S.).

Determinar el peso 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.

- I. Se seca la muestra hasta peso constante, esto se puede realizar extendiendo el material con el rastrillo al sol para lograr el secado.
- II. Cuando el material este completamente seco, se hace la prueba en el material.
- III. Primeramente se determina el peso y el volumen del recipiente que se va a utilizar. Enseguida con el cucharón se va llenando el recipiente dejando caer la grava a una altura de 5 centímetros a partir de la arista superior del recipiente, cuidando que 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 en la parte superior forme un cono el material.
- IV. Se procede a enrasarlo con la varilla punta de bala o con la mano, que es mas practico, ya que esta enrasado se pesa, obteniendo así el peso del recipiente más el peso del material.

EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN CONCRETO CON ADITIVO FLUIDIFICANTE, ASÍ COMO LA DISMINUCIÓN DEL CONSUMO DEL CEMENTO EN SU ELABORACIÓN.

Cálculo.

$$P.V.S.S. = \frac{PESO DE LA GRAVA}{VOLUMEN DE LA GRAVA}$$

DATOS			
PESO BRUTO (g)	18650	18900	19150
TARA (g)	2930	2930	2930
PESO NETO (g)	15720	15970	16220
VOLUMEN (cm ³)	10600	10600	10600
PESO VOLUMÉTRICO (kg/m ³)	1483.02	1506.60	1530.19
PROMEDIO (kg/m ³)	1506.60		

Tabla no 5.19. P.V.S.S. en grava.

5.2.4 Peso volumétrico seco y varillado (P.V.S.V.).

Determinar el peso 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.

- I. Se tiende la grava bajo los rayos del sol para secarla, se obtiene el peso y el volumen del recipiente que se va a utilizar.
- II. Enseguida con el cucharón se llena el recipiente en tres capas, cada capa deberá ser aproximadamente de una tercera parte del volumen del recipiente.
- III. Con la varilla punta de bala se le da a cada capa 25 golpes distribuyéndolos en toda la superficie, al termino se enrasa el recipiente y se pesa, registrando cada uno de estos datos.

Cálculo.

$$P.V.S.V. = \frac{PESO DE LA GRAVA}{VOLUMEN DE LA GRAVA}$$

5.2.5 Granulometría.

Obtener la distribución de los tamaños de las partículas de la grava, así como el tamaño máximo (T.M.) de la grava.

Equipo.

- Muestra aproximadamente de 15 kilogramos en estado suelto.
- Juego de mallas: 2". 1 ½", 1". ¾", ½", 3/8", ¼" y no. 4.
- Charolas.
- Balanza con aproximación al gramo.
- Recipiente de 10 litros.

Procedimiento.

- I. Se seca previamente la muestra de grava, enseguida se llena el recipiente de 10 litros, previamente se toman las medidas del recipiente como son peso y volumen, la grava que se utilizó para llenar el recipiente se pesa, y este peso se registra como peso de la muestra a realizarse el cribado o granulometría (Pm).
- II. Enseguida se pasa la grava a través de las mallas colocándolas de forma ascendente, agitándolas ya sea de forma manual o con ayuda de alguna máquina para que las partículas de menor tamaño pasen a la malla siguiente, cuando se haya terminado con la muestra de grava, al realizarse este procedimiento se elabora una tabla de resultados.

EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN CONCRETO CON ADITIVO FLUIDIFICANTE, ASÍ COMO LA DISMINUCIÓN DEL CONSUMO DEL CEMENTO EN SU ELABORACIÓN.

MUESTRA PROMEDIO EN GRAVA PESO DE LA MUESTRA: 15717 g			
MALLA	PESO RETENIDO (g)	%RETENIDO	%ACUMULADO
2"	0	0.00	0.00
1 1/2"	0	0.00	0.00
1"	0	0.00	0.00
3/4"	2524	16.06	16.06
1/2"	5914	37.63	53.69
3/8"	5819	37.02	90.71
1/4"	1021	6.50	97.21
No. 4	79	0.50	97.71
PASA No. 4	360	2.29	100.00
SUMA	15717	100.00	

Tabla no 5.20. Granulometría en grava.

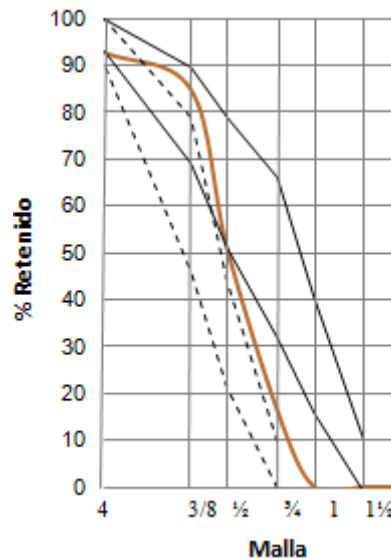


Figura no 5.14. Gráfica de granulometría de grava.

El tamaño máximo de la grava será el tamaño de la malla que retenga el 5% o más del peso de la muestra, en este caso se puede apreciar que se tiene un T.M. de 3/4". De la figura no 5.14. Se puede observar que a la grava en estudio le hace falta material grueso para que sea apropiada para la fabricación de concreto.

5.3 Tipo de cemento empleado.

El tipo de cemento empleado para esta investigación es de la clase CPC 40, que de acuerdo a su designación es un Cemento Portland Compuesto de la marca Moctezuma. Comprado a granel en la Planta Cerritos ubicada en San Luis Potosí, sobre la supercarretera San Luis Potosí-Rio Verde km 78.



Figura no. 5.15. Ubicación de la Planta Cerritos, San Luis Potosí.

La Planta Cerritos trabaja bajo estándares internacionalmente conocidos: ISO 9001 e ISO 14001.



Figura no. 5.16. Planta Cerritos, San Luis Potosí.

La producción de productos en dicha planta es la siguiente:

EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN CONCRETO CON ADITIVO FLUIDIFICANTE, ASÍ COMO LA DISMINUCIÓN DEL CONSUMO DEL CEMENTO EN SU ELABORACIÓN.

PRODUCCIÓN CERRITOS				
PRODUCTO	TIPO	RESISTENCIA	CARACTERÍSTICA ESPECIAL	PRESENTACIÓN
Cemento	CPC	30	R	Envasado 50 kg Big Bag 2 ton. Granel
Cemento	CPC	40	-	Big Bag 2 ton. Granel
Mortero	Mortero	-	-	Envasado 50 kg

Tabla no 5.21. Producción de la Planta Cerritos, San Luis Potosí.

5.3.1 Tiempos de fraguado para el cemento hidráulico por el método de Vicat.

Determinar los tiempos de fraguado del cemento por el método de la aguja de Vicat.

Equipo.

- Aparato de Vicat.
- Balanzas con capacidad de 1000 gramos y con aproximación al gramo.
- Pesas.
- Cristal liso.

Procedimiento.

I. Temperatura y humedad.

La temperatura del laboratorio, material y equipo deben mantenerse entre 20° y 27°. La del agua de mezclado y la cámara de humedad no varia de 23° en más de +/- 2°C. La humedad relativa del laboratorio no será inferior a 50.

II. Preparación de la mezcla.

Preparación de la pasta de cemento siguiendo el procedimiento de la consistencia normal del cemento, como se muestra en la figura no 5.15. Consistencia normal del cemento.



Figura no 5.15. Consistencia normal del cemento.

III. Moldeado del espécimen.

Con la pasta de cemento preparada y sobre una placa de vidrio cuadrada, plana y limpia de aproximadamente 4” por lado, se hace una pastilla de poco más o menos 7.5 cm. de diámetro y 1.3 cm. de espesor en la parte central, disminuyendo hacia los bordes. Para moldearla se aplana primero la pasta de cemento sobre el vidrio y se forma después moviendo la cuchara desde los bordes hacia el centro, se aplana 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.

IV. Determinación de los tiempos de fraguado.

Al determinar el tiempo de fraguado se mantiene las agujas en posición vertical y se pone en contacto ligeramente con la superficie de la pastilla, se considera 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.

V. 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.



Figura no 5.16. Tiempos de fraguado del cemento hidráulico.

5.3.2 Densidad aparente del cemento.

Consiste en determinar la densidad aparente o peso por unidad de volumen sin tomar en cuenta los vacíos del cemento.

Equipo.

- 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.
- Frasco de Le Chatelier.
- Balanza con aproximación al decimo de gramo.
- Queroseno exento de agua, o naftalina cuya densidad no sea menor de 62 API o petróleo.
- Un recipiente con agua.
- Un termómetro.

Procedimiento.

- I. Se vierte el líquido (petróleo) no mezclable con agua 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.
- II. Se gira sobre un círculo horizontal sumergiendo la parte inferior del frasco en un baño de agua a la temperatura del líquido con la finalidad que se establezca un nivel del líquido.
- III. Se toma la lectura en la parte inferior del menisco y se anota como lectura inicial del líquido Li.
- IV. Se pesan alrededor de 64 gramos de cemento portland, con la finalidad que al vertirlo en el frasco el líquido alcance a sobrepasar las lecturas superiores a la esfera intermedia.
- V. Se sujeta el frasco en forma vertical, se agrega el cemento muy lentamente de manera que el cemento vaya pasando al interior sin obstruirse.
- VI. 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.
- VII. Se repite el paso no. 2 para lograr que se establezca nuevamente el nivel del líquido hasta lograr que sea repetidamente la misma lectura.
- VIII. Se toma la lectura de la parte inferior del menisco tomando como la lectura final Lf.

EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN CONCRETO CON ADITIVO FLUIDIFICANTE, ASÍ COMO LA DISMINUCIÓN DEL CONSUMO DEL CEMENTO EN SU ELABORACIÓN.

Cálculo.

Volumen de cemento = Lf-Li

$$DENSIDAD = \frac{PESO\ DEL\ CEMENTO}{VOLUMEN\ DEL\ CEMENTO}$$



Figura no 5.17. Densidad del cemento.

DATOS			
PESO CEMENTO (g)	64	64	64
LECTURA INICIAL (cm3)	0.2	0.1	0.2
LECTURA FINAL (cm3)	20.9	20.8	20.8
VOLUMEN DE CEMENTO	20.7	20.7	20.6
DENSIDAD	3.09	3.09	3.11
PROMEDIO	3.10		

Tabla no 5.22. Densidad del cemento.

5.4 Características del aditivo empleado.

El aditivo empleado en la elaboración del concreto es fabricado por Christianson S.A. de C.V. CRISOTAN R-5 en concretos: superplastificante y reductor de agua.

De acuerdo a su ficha técnica imparte los siguientes beneficios a los productores de concreto:

- Permite reducir la relación agua-cemento.
- Una más rápida y fácil colocación del concreto.
- Con la reducción de agua, se obtienen altas resistencias a la compresión a edades tempranas y en la resistencia final a la compresión.
- Permite disminuir el contenido de cemento, manteniendo la resistencia a la compresión.

EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN CONCRETO CON ADITIVO FLUIDIFICANTE, ASÍ COMO LA DISMINUCIÓN DEL CONSUMO DEL CEMENTO EN SU ELABORACIÓN.

- Permite un tiempo menor para desmoldar el concreto pretensado.
- Minimiza la energía necesaria para el curado al vapor.
- Mejora el acabado en concretos premoldeados.

Permite reducir los costos de producción del concreto reduciendo la cantidad necesaria de cemento para obtener una fuerza en específico, no afecta al calor de hidratación del concreto, no contribuye a la corrosión, ni al crecimiento de microorganismos.

Tipo	CRISOTAN R-5	CRISOTAN R-5 Líquido
Apariencia	Polvo fino	Líquido ámbar oscuro
% Ingrediente activo	90%	40%
Densidad g/ml	-	1.2
Solubilidad en solución al 10%	Clara	Clara

Tabla no 5.23. Propiedades del aditivo.

El CRISOTAN R-5 mejora la fluidez, el concreto, asimismo permanece con cohesión y retiene su relación a/c sin sangrado, sin segregación, y sin pérdida en la resistencia. Su dosificación se basa en el contenido de cemento de la mezcla de concreto. En la mayoría de los casos, se puede obtener una reducción de agua con un 0.5 % de CRISOTAN R-5, o 1.66% para el CRISOTAN R-5 líquido.

El CRISOTAN R.5 es un agente dispersante que promueve la separación o defloculación de las partículas de cemento, venciendo las fuerzas cohesivas que las atraen unas a otras, causando que la mezcla de concreto fluya más fácilmente que una mezcla convencional. Este efecto se llama plastificación.

5.5 Diseño de concreto de alta resistencia $f'c=250 \text{ kgf/cm}^2$.

El diseño para la mezcla de concreto hidráulico se hizo por el método de la ACI (American Concrete Institute), que tiene en consideración las siguientes tablas para proponer un revenimiento de acuerdo al tipo de estructura, en dado caso que no se tenga un revenimiento de proyecto.

EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN CONCRETO CON ADITIVO FLUIDIFICANTE, ASÍ COMO LA DISMINUCIÓN DEL CONSUMO DEL CEMENTO EN SU ELABORACIÓN.

Tipos de construcción	Revenimiento, cm.	
	Máximo*	Mínimo
Muros de cimentación y zapatas, cajones de cimentación y muros de sub-estructura sencillos	7.5	2.5
Vigas y muros reforzados	10	2.5
Columnas para edificios	10	2.5
Pavimentos y losas	7.5	2.5
Concreto masivo	7.5	2.5

Tabla no 5.24. Revenimientos recomendados para diversos tipos de construcción.

Lo que procede es obtener la cantidad de agua que va estar en función del revenimiento deseado y el tamaño máximo de la grava, pudiendo interpolar los valores si no se muestra el revenimiento deseado. Arrojando un valor del agua en kilogramos por cada metro cúbico que se obtiene mediante el empleo de la siguiente tabla:

Revenimiento (cm)	Agua, kg/m ³ concreto para TMG, mm							
	9.5	12.5	19	25	38	50	75	150
Concreto sin aire incluido								
De 2.5 a 5.0	207	199	190	179	166	154	130	113
De 7.5 a 10	228	216	205	193	181	169	145	124
De 15 a 17.5	243	228	216	202	190	178	160	--
Cantidad aprox. Aire atrapado	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.3	0.2
Concreto con aire incluido								
De 2.5 a 5.0	181	175	168	160	150	142	122	107
De 7.5 a 10	202	193	184	175	165	157	133	119
De 15 a 17.5	216	205	197	174	174	166	154	--
Promedio recomendado de aire por incluir por exposición								
Exposición ligera	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0
Exposición moderada	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0
Exposición severa	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0

Tabla no 5.25. Determinación de agua de mezclado y contenido de aire para diferentes revenimientos.

Se debe de tomar en cuenta que las mezclas de concreto diseñados son normalmente sin aire incluido, y tomar en cuenta la cantidad aproximada de aire atrapado.

La relación agua cemento se debe tomar en base a la resistencia a compresión que se desea obtener y también considerando una mezcla sin aire incluido. La cantidad de cemento

EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN CONCRETO CON ADITIVO FLUIDIFICANTE, ASÍ COMO LA DISMINUCIÓN DEL CONSUMO DEL CEMENTO EN SU ELABORACIÓN.

a emplear la obtendremos de conocer la relación agua-cemento que es el cociente del agua entre el cemento.

Resistencia a la compresión a los 28 días kg/cm ²	Relación por peso agua/cemento	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
420	0.41	--
350	0.48	0.40
280	0.57	0.48
210	0.68	0.59
140	0.82	0.74

Tabla no 5.26. Determinación de la relación agua-cemento.

Se puede tener las siguientes restricciones en cuanto a la relación a/c para concretos expuestos a condiciones severas o ambientes hostiles.

Tipo de estructura	Estructura continua o frecuentemente mojada y expuesta a congelación y deshielo	Estructura expuesta al agua de mar o a sulfatos
Secciones esbeltas y secciones con menos de 3 cm	0.45	0.40
Todas las demás estructuras	0.50	0.45

Tabla no 5.27. Relaciones especiales de a/c.

El agregado grueso (grava) depende tanto del tamaño máximo de la partícula como del modulo de finura de la arena a emplearse, esto dará la cantidad por metros cúbicos de grava y su peso se calculará multiplicando este valor por el peso volumétrico varillado de la grava.

EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN CONCRETO CON ADITIVO FLUIDIFICANTE, ASÍ COMO LA DISMINUCIÓN DEL CONSUMO DEL CEMENTO EN SU ELABORACIÓN.

Tamaño máximo de agregado, mm	Volumen de agregado grueso varillado en seco, por volumen unitario de concreto para distintos módulos de finura de la arena			
	2.40	2.60	2.80	3.00
9.5 (3/8")	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5 (1/2")	0.59	0.57	0.55	0.53
19 (3/4")	0.66	0.64	0.62	0.60
25 (1")	0.71	0.69	0.67	0.65
37.5 (1 1/2")	0.75	0.73	0.71	0.69
50 (2")	0.78	0.76	0.74	0.72
75 (3")	0.82	0.80	0.78	0.76
150 (6")	0.87	0.85	0.83	0.81

Tabla no 5.28. Determinación del volumen de agregado grueso.

De esta manera se tiene conocimiento de cuanta agua, cemento y grava se van a utilizar. Siendo el material restante que completa un metro cúbico de concreto la arena y el aire que pueda quedar incluido.

La arena se calcula por medio de la resta a un metro cúbico menos los valores resultantes del volumen del agua, cemento, grava y aire, el volumen de cada material se podrá obtener de conocer su cantidad en peso y dividirlo entre su densidad. La cantidad de arena en metros cúbicos que se obtiene se a de multiplicar por su densidad para obtener su cantidad en peso.

El diseño se realizó para cuatro mezclas teniendo en las cuatro la misma relación de agua-cemento de 0.62 y con los siguientes datos obtenidos de las pruebas realizadas tanto a los agregados como al cemento.

Peso específico del cemento		3.1
Módulo de finura de la arena negra		2.80%
M. F. de la m. de arena negra y blanca (75-25%)		2.60%
Peso específico de la arena negra		2.25
P. esp. mezcla de arena negra y blanca (75-25%)		2.18
Absorción de la arena		2.81
A. mezcla de arena negra y blanca (75-25%)		3.37
Peso específico de la grava		2.57
Tamaño máximo de la grava		19mm (3/4")
Peso volumétrico de la grava		1540
Absorción de la grava		2.46

Tabla no 5.29. Características físicas de los materiales a emplearse en la elaboración del concreto.

EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN CONCRETO CON ADITIVO FLUIDIFICANTE, ASÍ COMO LA DISMINUCIÓN DEL CONSUMO DEL CEMENTO EN SU ELABORACIÓN.

5.5.1 Proporcionamientos utilizados en la realización del concreto.

Los siguientes son los proporcionamientos obtenidos para la realización del concreto para que cumpla la mezcla con un revenimiento de 14 cm, una relación agua-cemento igual a 0.62 y una resistencia a compresión de 250 kgf/cm². En el empleo del aditivo superplastificante se hizo la corrección en el proporcionamiento en cuanto a la cantidad de agua a emplear, por tal motivo se tienen dos proporcionamientos con una cantidad de agua determinada por el método del ACI y otros considerando el mínimo de agua con el cual se puede hacer una mezcla de concreto.

Como se podrá apreciar en los siguientes proporcionamientos para el agua que se disminuyó al adicionar el aditivo fue de un total de 24 litros, para quedar en 190 litros; en el caso del cemento se redujeron 39 kilos para quedar en 306 kilos esto para un metro cúbico de concreto y conservando la relación a/c=0.62.

Proporción Base (kg)		Corrección por humedad y absorción				Proporción Real (kg)
		Humedad		Absorción		
		%	kg	%	kg	
Ce	345					345
Ar	637	0.55	3.50	2.81	-17.90	622.60
Gr	955	0.7	6.69	2.46	-23.49	938.19
Ag	214		-10.19		41.39	245.20
Total	2151					2151.00

Tabla no 5.30. Proporcionamiento para una mezcla de concreto con arena negra.

Proporción Base (kg)		Corrección por humedad y absorción				Proporción Real (kg)
		Humedad		Absorción		
		%	kg	%	kg	
Ce	306					306
Ar	720	0.6	4.32	2.81	-20.23	704.09
Gr	955	0.93	8.88	2.46	-23.49	940.39
Ag	190		-13.20		43.73	220.52
Total	2171					2171.00

Tabla no 5.31. Proporcionamiento para una mezcla de concreto con arena negra y adicionando el aditivo.

EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN CONCRETO CON ADITIVO FLUIDIFICANTE, ASÍ COMO LA DISMINUCIÓN DEL CONSUMO DEL CEMENTO EN SU ELABORACIÓN.

Proporción Base (kg)		Corrección por humedad y absorción				Proporción Real (kg)
		Humedad		Absorción		
		%	kg	%	kg	
Ce	345					345
Ar	591	0.6	3.55	3.37	-19.92	574.63
Gr	986	0.88	8.68	2.46	-24.26	970.42
Ag	214		-12.22		44.17	245.95
Total	2136					2136.00

Tabla no 5.32. Proporcionamiento para una mezcla de concreto con mezcla de arena negra y blanca (75-25%).

Proporción Base (kg)		Corrección por humedad y absorción				Proporción Real (kg)
		Humedad		Absorción		
		%	kg	%	kg	
Ce	306					306
Ar	671	0.53	3.56	3.37	-22.61	651.94
Gr	986	0.9	8.87	2.46	-24.26	970.62
Ag	190		-12.43		46.87	224.44
Total	2153					2153.00

Tabla no 5.33. Proporcionamiento para una mezcla de concreto con mezcla de arena negra y blanca (75-25%) y adicionando aditivo.



Figura no 5.18. Revenimiento de 14 cm de las mezclas de concreto.



Figura no 5.19. Sangrado excesivo en las mezclas con aditivo.

Para obtener resultados satisfactorios se debe tener un control estricto al momento de la fabricación del concreto, y ya que en este estudio se tuvieron condiciones cercanas a las óptimas por realizarse en laboratorio, por tal motivo se hizo el diseño para un concreto con $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$ de resistencia a compresión. Los resultados pueden variar en campo, por tal razón se hace necesario considerar un aumento en la resistencia $f'c$ de proyecto para tener la certeza de que el concreto obtenido será de la resistencia deseada.

5.5.2 Corrección de la resistencia $f'c$ de diseño.

Para tener la certeza de que el concreto que se fabrique tendrá la resistencia deseada. Al $f'c$ de diseño se le agregará un factor de seguridad o desviación estándar, obteniendo así un nuevo $f'c$, denominado f_{cr} . Se depende del f_{cr} para garantizar que los resultados obtenidos no sean menores a la resistencia de diseño.

Con ayuda de las siguientes ecuaciones se obtiene la desviación estándar y el valor del f_{cr} , que será el que resulte de mayor en cualquiera de las ecuaciones siguientes:

$$f_{cr} = f'c + 1.28(\sigma_c)$$

$$f_{cr} = f'c + 2.52(\sigma_c) - 35$$

De las ecuaciones anteriores se conoce el $f'c$ que es de acuerdo a proyecto o al tipo de estructura que se vaya a realizar, interviene además en las ecuaciones la desviación estándar (σ_c), ambas son resultado de la resistencia a compresión del concreto.

En caso de que se tenga un registro de por lo menos 15 ensayos, el valor (σ_c), se puede tomar de la siguiente tabla:

EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN CONCRETO CON ADITIVO FLUIDIFICANTE, ASÍ COMO LA DISMINUCIÓN DEL CONSUMO DEL CEMENTO EN SU ELABORACIÓN.

Número de Ensayes	Factor de Modificación para la desviación estándar de la muestra
15	1.16
20	1.08
25	1.03
30 ó más	1.00

Tabla no 5.34. Valor de (σ_c), conociendo valores de ensayos anteriores.

En el caso de no contar con pruebas realizadas anterior a la realización del diseño de concreto, se procede de la siguiente manera de acuerdo a lo que indica la siguiente tabla:

Procedimiento de fabricación	$f'c \leq 200 \text{ kg/cm}^2$	$200 \leq f'c \leq 300$
Mezclado mecánico, proporcionamiento, corrección por humedad y absorción de una misma fuente y de calidad controlada.	30	35
Mezclado mecánico, proporcionamiento por peso.	35	45
Mezclado mecánico, proporcionamiento por volumen; volúmenes cuidadosamente controlados.	50	60

Tabla no 5.35. Valor de (σ_c), sin tener registros previos.

Es de suponerse que al ser realizado el concreto en laboratorio se tendrá un mezclado mecánico, se contará con un proporcionamiento, se hará la corrección por humedad y absorción y se tendrá una calidad controlada. Por tal motivo para el cálculo del f_{cr} se toma el primer valor de la segunda columna de la tabla no 5.35, que es igual a 35 de esta manera la ecuación queda como sigue:

$$f_{cr} = f'c + 1.28(\sigma_c) \quad (\text{ec. 1})$$

$$f_{cr} = 250 + 1.28(35)$$

$$f_{cr} = 294.8 \text{ kg/cm}^2$$

EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN CONCRETO CON ADITIVO FLUIDIFICANTE, ASÍ COMO LA DISMINUCIÓN DEL CONSUMO DEL CEMENTO EN SU ELABORACIÓN.

$$f_{cr} = f'c + 2.52(\sigma_c) - 35 \quad (\text{ec. 2})$$

$$f_{cr} = 250 + 2.52(35) - 35$$

$$\mathbf{f_{cr} = 303.2 \text{ kg/cm}^2}$$

El valor mayor es el de la segunda ecuación por tal motivo el valor que se deberá de utilizar para diseño en campo será de un $f_{cr} = 303.2 \text{ kg/cm}^2$.

6. EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS.

6.1 Permeabilidad rápida de cloruros.

La prueba de permeabilidad rápida a la penetración de cloruros ha sido usada frecuentemente en la evaluación de la durabilidad en las estructuras de concreto, ya que se puede establecer, en un tiempo relativamente corto, la determinación de la permeabilidad del material, dentro de un nivel de calidad que permite comparar concretos en cuanto a esta característica. [B. Martínez-Sánchez, J.J. Flores-Martínez, R. Uribe-Afif, O. Medina-Hernández, 2003].

A partir de 1983 la prueba fue adoptada por la American Association of State and Highway Transportation Officials (AASHTO T 277) y por la American Society for Testing and Materials, (ASTM C 1202), este método, “Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete’s Ability to Resist Chloride Ion Penetration” determina la resistividad que presenta el concreto al paso del ion cloruro en tan solo 6 horas, al inducir un voltaje que polariza dos soluciones en positivo y negativo obligando a los iones de cloruro a penetrar en el concreto. [B. Martínez-Sánchez, J.J. Flores-Martínez, R. Uribe-Afif, O. Medina-Hernández, 2003].

La edad de prueba es un factor importante en los resultados de la prueba, a pesar que las normas para pruebas de permeabilidad no indican una edad de manera estricta, es recomendable que se hagan a edades tardías de 90 días o más, debido a que en este período la reacción del $\text{Ca}(\text{OH})_2$ con los cementantes, ha alcanzado un desarrollo óptimo, sobretodo cuando se contemplan adiciones minerales. Cuando son probados concretos a edades menores a los 28 días, se pueden producir incrementos súbitos en el amperaje y, con ellos, en la temperatura de las soluciones, modificando la velocidad de hidratación de los C-H-S y la naturaleza de la estructura porosa. [B. Martínez-Sánchez, J.J. Flores-Martínez, R. Uribe-Afif, O. Medina-Hernández, 2003].

Debido a que el diseño de la RCPT indica el movimiento de todos los iones en la estructura y no solamente los de cloro, cuando se usan adicionantes minerales o aditivos como reductores de agua, superplastificantes o inhibidores de corrosión en exceso, pueden presentarse resultados erróneos, ya que existe una modificación de la composición química de la estructura porosa. [B. Martínez-Sánchez, J.J. Flores-Martínez, R. Uribe-Afif, O. Medina-Hernández, 2003].

EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN CONCRETO CON ADITIVO FLUIDIFICANTE, ASÍ COMO LA DISMINUCIÓN DEL CONSUMO DEL CEMENTO EN SU ELABORACIÓN.

Objetivo.

Consiste en determinar la calidad del concreto al estar expuesto al ataque de iones cloruro, caso que se puede presentar en estructuras que se encuentran ubicadas en zonas costeras.

Equipo.

- Equipo de prueba: “Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration”, consiste en celdas de cloruro, tarjeta de resistencias, fuente que suministre el voltaje al sistema y multimetro encargado de tomar las mediciones.
- Cortadora de disco de diamante.
- Cilindros de concreto de 10 cm. de diámetro y 20 cm. de altura.
- Parrilla eléctrica.
- Solución de: hidróxido de sodio (NaOH) y cloruro de sodio (NaCl).
- Desecador y bomba.



Figura no 6.1. Equipo empleado en la prueba permeabilidad rápida de cloruros (a la izquierda: celdas de cloruro y fuente de voltaje, derecha: dispositivo encargado de tomar las mediciones). [ASTM C-1202-97].

Procedimiento.

a) Preparación del agua.

Se hierva la cantidad de agua necesaria para la prueba, durante 15 minutos con el objetivo que esté libre de aire. Se procede a dejarla enfriar y colocarla a un lado del desecador.

b) Preparación de los especímenes.

Se extrae un espécimen de la pila de curado y se cortan los extremos de éste, se marca con ayuda de un flexómetro una distancia de 5 cm desde la orilla del espécimen, para obtener especímenes con dimensiones de 10 cm de diámetro y 5 cm de espesor.

EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN CONCRETO CON ADITIVO FLUIDIFICANTE, ASÍ COMO LA DISMINUCIÓN DEL CONSUMO DEL CEMENTO EN SU ELABORACIÓN.

Los especímenes se proceden a poner dentro del desecador, pudiendo poner un máximo de 6 especímenes dentro del desecador.

Se limpia el sello o empaque del desecador y se procede a humedecerlo completamente con vaselina. Se le coloca la tapa al desecador, en seguida se conecta una manguera con un extremo conectado a una bomba de vacío y el otro a una de las válvulas del desecador.

Se pone a funcionar la bomba de vacío y se abre la válvula del desecador, manteniendo el vacío durante 3 horas, se cierra la válvula y se apaga la bomba de vacío.

Conectando una segunda manguera a la válvula opuesta del desecador y colocando el otro extremo de la manguera dentro del recipiente que contiene el agua libre de aire. Se procede a abrir la válvula, lo que generará que el agua fluya hacia el desecador (por el vacío generado dentro del desecador) hasta cubrir totalmente las muestras, dejando un tirante de agua por encima de ellas. Esto se hace sin permitir que entre aire al desecador.

Se revisa que estén cerradas ambas válvulas antes de prender la bomba, con el motivo de que no absorba agua la bomba de vacío. Se abre la válvula de la manguera que está conectada a la bomba para generar vacío por una hora.

Se desconecta la bomba y se quitan las mangueras, para inmediatamente después abrir una de las válvulas lentamente para que entre aire al desecador. Dejando los especímenes dentro del desecador durante 18 horas.



Figura no 6.2. Especímenes en el desecador.
[ASTM C-1202-97].

c) Preparación de las soluciones para realizar la prueba.

Se requiere de dos soluciones que se colocan en las celdas, las cuales son: hidróxido de sodio al cero punto tres normal ($\text{NaOH } 0.3\text{N}$) y cloruro de sodio al tres por ciento ($\text{NaCl } 3\%$) ambas con un 100% de pureza.

EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN CONCRETO CON ADITIVO FLUIDIFICANTE, ASÍ COMO LA DISMINUCIÓN DEL CONSUMO DEL CEMENTO EN SU ELABORACIÓN.

Material.

- Agua destilada.
- Báscula.
- Dos recipientes de mínimo 1 litro hasta 3 litros de capacidad.
- Reactivos de Hidróxido de sodio (NaOH) y Cloruro de sodio (NaCl)

El cálculo que se sigue para realizar el NaOH 0.3N es el siguiente:

$$N = \frac{\left[\frac{g \text{ sol}}{\frac{PM}{n}} \right]}{l \text{ sol}}$$

Donde:

N = Solución Normal, para este caso es de 0.3.

g sol = Gramos de Soluta.

PM = Peso Atómico de cada elemento presente, para el NaOH es de 40 g/mol.

n = Numero de hidróxidos presentes, para este caso es de 1.

l sol = Litros de Soluta resultante, se realizó el cálculo para tres litros.

Dado que se desconoce la cantidad de gramos de soluto a emplear para los tres litros que se pretenden realizar se hace de la siguiente manera:

$$g \text{ sol.} = [(N)(l \text{ sol})] / \left(\frac{PM}{n} \right)$$

$$g \text{ sol.} = [(0.3)(3)] / \left(\frac{40}{1} \right)$$

$$g \text{ sol.} = 36 \text{ grs.}$$

El resultado de gramos de soluto es para una solución de pureza de 100%, pero se hizo uso de un reactivo de la marca HYCEL, teniendo forma de lenteja y teniendo una pureza del 97%. Por lo tanto es necesario hacer la siguiente corrección:

$$36 \text{ g NaOH} \rightarrow 97\%$$

$$X \text{ g NaOH} \rightarrow 100\%$$

Resultando de este modo la siguiente ecuación:

EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN CONCRETO CON ADITIVO FLUIDIFICANTE, ASÍ COMO LA DISMINUCIÓN DEL CONSUMO DEL CEMENTO EN SU ELABORACIÓN.

$$X = \frac{36 \text{ g} \times 100 \%}{97\%}$$

$$X = 37.11 \text{ g}$$

Las cantidades de reactivo que se necesitan para hacer tres litros de soluto de NaOH 0.3N son las siguientes:

$$\text{NaOH con 97\% de pureza} = 37.11 \text{ g}$$

$$\text{Agua destilada} = 2962.89 \text{ g}$$

En cambio para obtener la cantidad de gramos de soluto para preparar el NaCl 3% es más fácil ya que tan solo es un porcentaje con respecto al total de los litros de soluto resultantes y se calcula de la siguiente manera:

$$g \text{ sol} = l \text{ sol resultante} * \text{Porcentaje de la solución}$$

$$g \text{ sol} = 3000 \text{ g} * 0.3$$

$$g \text{ sol} = 90 \text{ g}$$

El resultado de gramos de soluto es para una solución de pureza de 100%, pero se hizo uso de un reactivo de la marca HYCEL, estando en forma de polvo y teniendo una pureza del 97%. Por lo tanto es necesario hacer la siguiente corrección:

$$90 \text{ g NaOH} \rightarrow 97\%$$

$$X \text{ g NaOH} \rightarrow 100\%$$

Resultando de este modo la siguiente ecuación:

$$X = \frac{90 \text{ g} \times 100 \%}{97\%}$$

$$X = 92.7 \text{ g}$$

Las cantidades de reactivo que se necesitan para hacer tres litros de soluto de NaCl 3% son las siguientes:

$$\text{NaCl con 97\% de pureza} = 92.7 \text{ g}$$

$$\text{Agua destilada} = 2907.3 \text{ g}$$

EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN CONCRETO CON ADITIVO FLUIDIFICANTE, ASÍ COMO LA DISMINUCIÓN DEL CONSUMO DEL CEMENTO EN SU ELABORACIÓN.

d) Colocación de los especímenes en las celdas.

Transcurridas las 18 horas se extraen las muestras del desecador para colocarlas en las celdas de cloruros, colocando los empaques en los bordos del espécimen recubiertos con vaselina, para que no haya desprendimiento de las sustancias al momento de probarlas. Las celdas se sujetan con tornillos que están en las cuatro orillas para confinar el espécimen.

En cada extremo las celdas tienen un orificio para colocar en cada uno la solución que marca.



Figura no 6.3. Preparación de especímenes para prueba de cloruros. [ASTM C-1202-97].

Con ayuda de un embudo, para no derramar liquido, se llenan completamente las celdas. Se conectan las terminales (positivo y negativo) a la fuente de carga, además, de conectar un cable que servirá como medidor de temperatura, en donde esta contenido el Hidróxido de Sodio (NaOH). Se conecta la fuente de carga y se pone a trabajar, posteriormente se inicia el programa en la computadora para tomar las medidas de cada espécimen. El proceso requiere de 6 horas para llevarse a cabo y será hasta transcurrido ese tiempo cuando se apague el programa y se desconecte la fuente de carga.

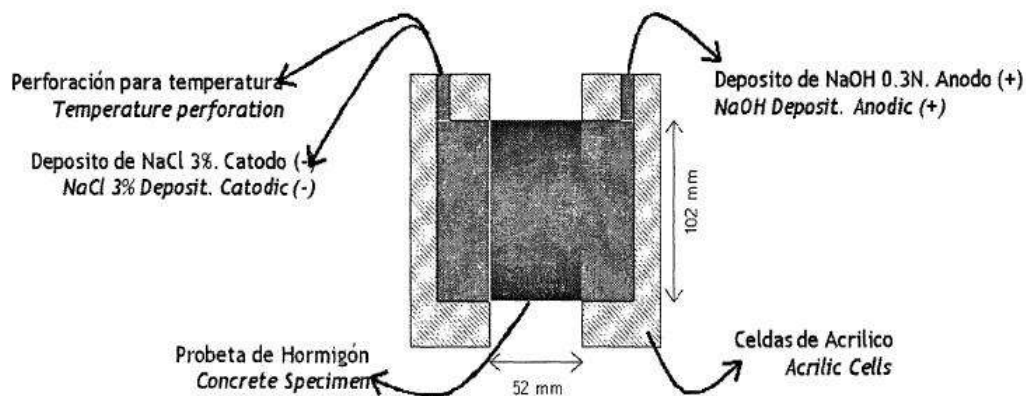


Figura no 6.4. Diagrama para el armado de las celdas de prueba.

EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN CONCRETO CON ADITIVO FLUIDIFICANTE, ASÍ COMO LA DISMINUCIÓN DEL CONSUMO DEL CEMENTO EN SU ELABORACIÓN.

6.1.1 Resultados de la Prueba permeabilidad rápida de cloruros.

El experimento se realizó con cuatro diferentes diseños de mezcla, con ciertas variables y teniendo semejanzas en sus componentes.

VARIABLES	SEMEJANZAS
Edad de prueba: 28, 45 y 90 días	Relación a/c=0.62
Agregados arena/grava	Cemento Moctezuma CPC 40R
Uso de aditivo	Grava

Tabla no 6.1. Variables, semejanzas del experimento.

Culombios Coulombs	Tipo de Permeabilidad Permeability Type	Típico de Typical of
> 4000	Alta High	Relaciones a/c altas High w/c ratios
4000-2000	Moderada Moderate	Relaciones a/c de 0.4 a 0.5 w/c ratios from 0.4 to 0.5
2000-1000	Baja Low	Relaciones a/c menores a 0.4 w/c ratios less to 0.4
1000-100	Muy Baja Very Low	Concretos con látex Latex Concretes
<100	Despreciable Negligible	Concretos con Polimeros Polymeric Concretes

Tabla no 6.2. Tipos de permeabilidad de acuerdo a la ASTM C 1202.

Los siguientes fueron los resultados obtenidos para cada una de las mezclas realizadas en primer lugar se hizo una mezcla de arena negra con grava como testigo para la segunda mezcla de arena negra y grava más aditivo, la tercera es de una combinación de arena blanca y negra (25-75% respectivamente de cada una) y grava que sirvió de testigo de la cuarta mezcla de arena blanca y negra más aditivo. Las cuatro mezclas usando la misma relación agua cemento igual a 0.62 y el cemento Moctezuma CPC 40R.

EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN CONCRETO CON ADITIVO FLUIDIFICANTE, ASÍ COMO LA DISMINUCIÓN DEL CONSUMO DEL CEMENTO EN SU ELABORACIÓN.

Datos de la Mezcla	Edad de Prueba	Coulombs	Probabilidad de Permeabilidad
Arena Negra	28	2722	Moderada
	45	4976	Alta
	90	6934	Alta
A. Negra Adit.	28	8249	Alta
	45	4074	Alta
	90	6433	Alta
A. (25-75%)	28	6529	Alta
	45	2749	Moderada
	90	5485	Alta
A. (25-75%) Adit.	28	6466	Alta
	45	2293	Moderada
	90	5169	Alta

Tabla no 6.3. Resultados de la Prueba Permeabilidad Rápida de Cloruros.

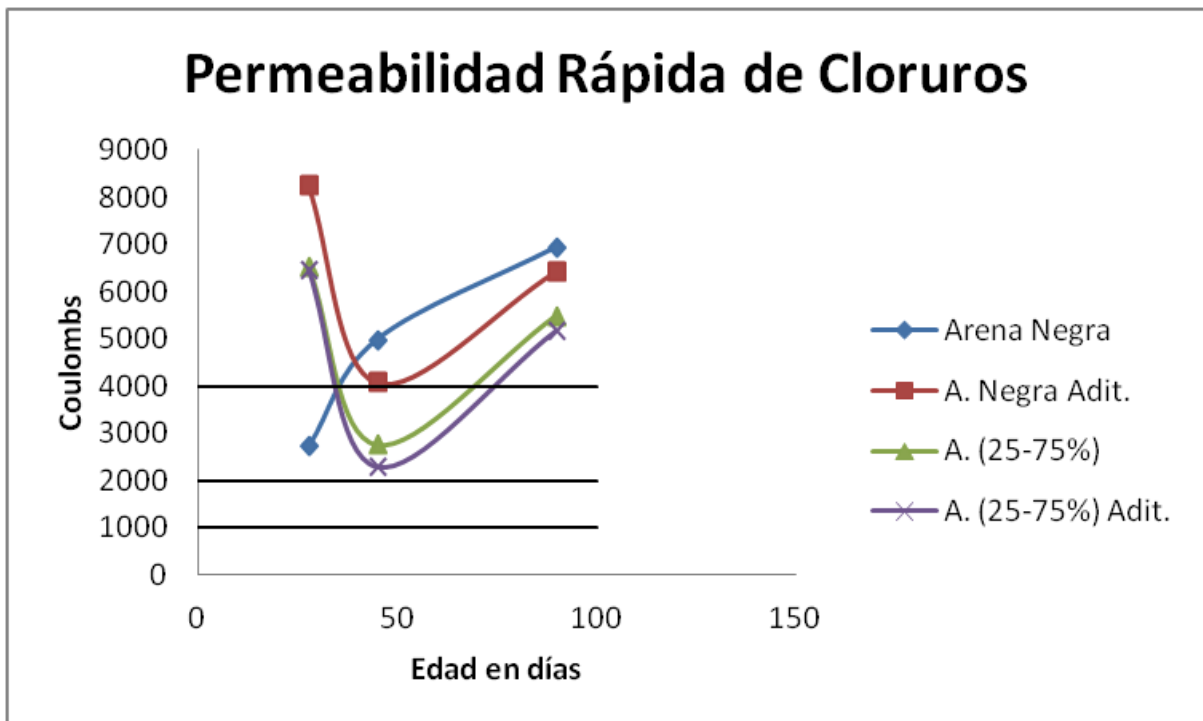


Figura no 6.5. Grafica de resultados de la Prueba de Permeabilidad Rápida de Cloruros.

6.2 Pruebas en cilindros de concreto 10x20 cm.

6.2.1 Resultados de la resistencia a compresión.

Se determina la resistencia que presento cada uno de los concretos realizados con los diferentes tipos de mezcla al ser sometidos a una carga de compresión simple, con la finalidad de conocer la calidad del concreto y verificar la resistencia real del concreto con la resistencia de proyecto.

Los cilindros tienen un área constante resultado de su diámetro de 10 cm, siendo el área igual a 78.54 cm². El cálculo de la resistencia a compresión se hace por medio de la siguiente ecuación:

$$\sigma = \frac{Carga}{Área}$$

Donde:

$\sigma =$

Carga= Carga en que se presenta la falla en el espécimen en kg.

Área = Área del espécimen que está en contacto con la carga en cm².

EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN CONCRETO CON ADITIVO FLUIDIFICANTE, ASÍ COMO LA DISMINUCIÓN DEL CONSUMO DEL CEMENTO EN SU ELABORACIÓN.

Datos de la Mezcla	Edad de Prueba	Resistencia a compresión (kg)	Resistencia a compresión (kg/cm ²)	Porcentaje de Resistencia
Arena Negra	3	12480	158.9002952	64%
	7	14280	181.818607	73%
	14	17270	219.8884694	88%
	28	22250	283.2957987	113%
	45	23250	296.0281942	118%
	90	24460	311.4343926	125%
A. Negra Adit.	3	13080	166.5397325	67%
	7	14560	185.3836777	74%
	14	19140	243.6980489	97%
	28	19660	250.3188945	100%
	45	21300	271.200023	108%
	90	23650	301.1211523	120%
A. (25-75%)	3	11930	151.8974777	61%
	7	14570	185.5110017	74%
	14	17700	225.3633994	90%
	28	22080	281.1312915	112%
	45	22500	286.4788976	115%
	90	23300	296.6648139	119%
A. (25-75%) Adit.	3	12790	162.8473378	65%
	7	14690	187.0388891	75%
	14	16580	211.1031165	84%
	28	19560	249.045655	100%
	45	20990	267.2529804	107%
	90	22980	292.5904474	117%

Tabla no 6.4. Resultados de resistencia a compresión.

Resistencia a compresión

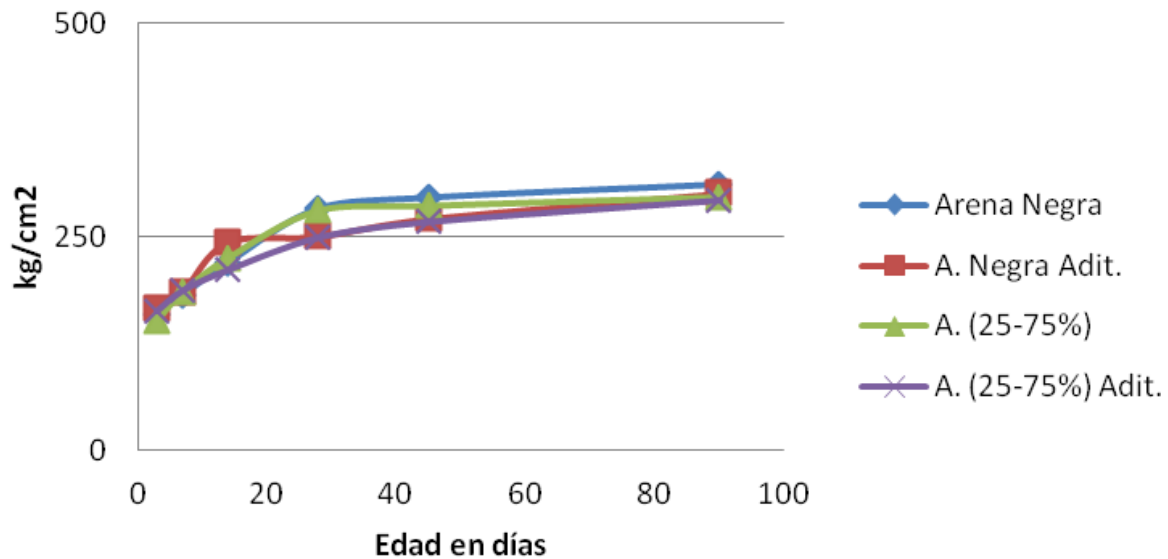


Imagen no 6.6. Gráfica comparativa de resultados de resistencia a compresión.



Imagen no 6.7. Especímenes probados a compresión.

6.2.2 Resultados de la resistencia a tensión indirecta.

Para probar los especímenes a tensión indirecta, se hace con el apoyo de dos tiras las cuales pueden ser de triplay o cuero, de un espesor de 3 mm. (1/8”), un ancho de 25 mm. (1”) y una longitud igual al espécimen.

EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN CONCRETO CON ADITIVO FLUIDIFICANTE, ASÍ COMO LA DISMINUCIÓN DEL CONSUMO DEL CEMENTO EN SU ELABORACIÓN.

Se toma el promedio de los diámetros del espécimen, además de medir la longitud. Se coloca una de las tiras de apoyo sobre la superficie y sobre esta el espécimen, la segunda tira se coloca por encima del espécimen.

La resistencia a tensión indirecta del espécimen se calcula con:

$$T = \frac{2P}{DL\pi}$$

Donde:

T= resistencia a tensión indirecta en kg/cm².

P= carga aplicada máxima en kg.

L= longitud en cm.

D= diámetro en cm.

Datos de la Mezcla	Edad de Prueba	Resistencia a tensión (kg)	Resistencia a tensión indirecta (kg/cm ²)
Arena Negra	7	5860	18.65295933
	14	7150	22.75915686
	28	8830	28.10676295
	45	9210	29.31634052
	90	9290	29.57098843
A. Negra Adit.	7	6890	21.93155116
	14	7540	24.00056542
	28	8080	25.7194388
	45	9110	28.99803063
	90	9960	31.70366466
A. (25-75%)	7	4750	15.11971959
	14	6690	21.29493139
	28	8510	27.08817131
	45	8790	27.979439
	90	9670	30.78056599
A. (25-75%) Adit.	7	5840	18.58929735
	14	6020	19.16225515
	28	8080	25.7194388
	45	9090	28.93436865
	90	9680	30.81239698

Tabla no 6.5. Resultados de resistencia a tensión indirecta.

Resistencia a Tensión Indirecta

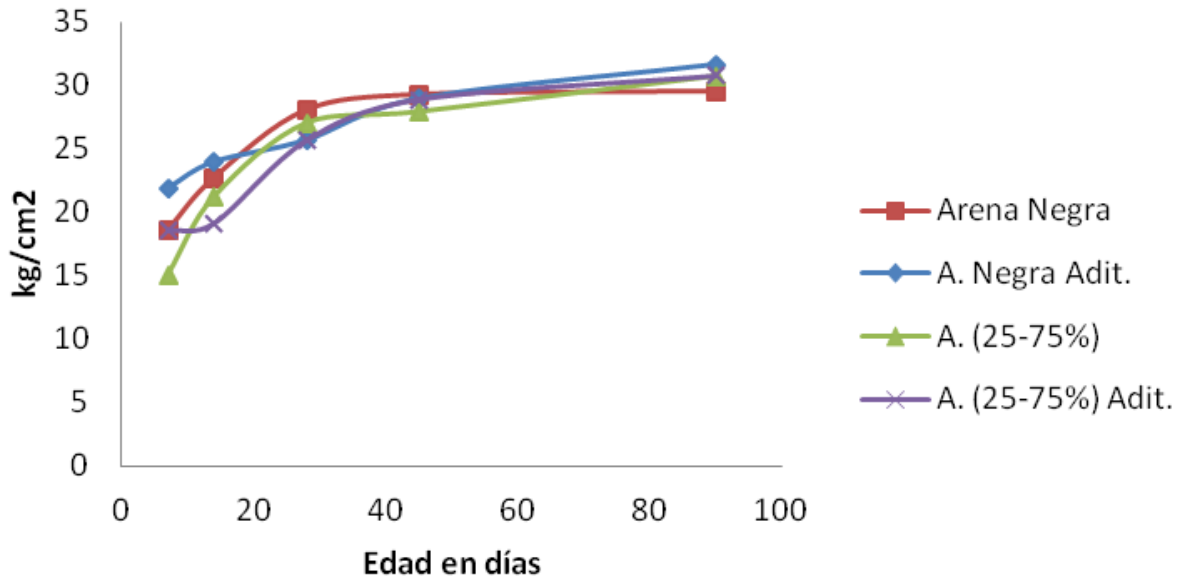


Imagen no 6.8. Gráfica de resistencia a tensión indirecta.

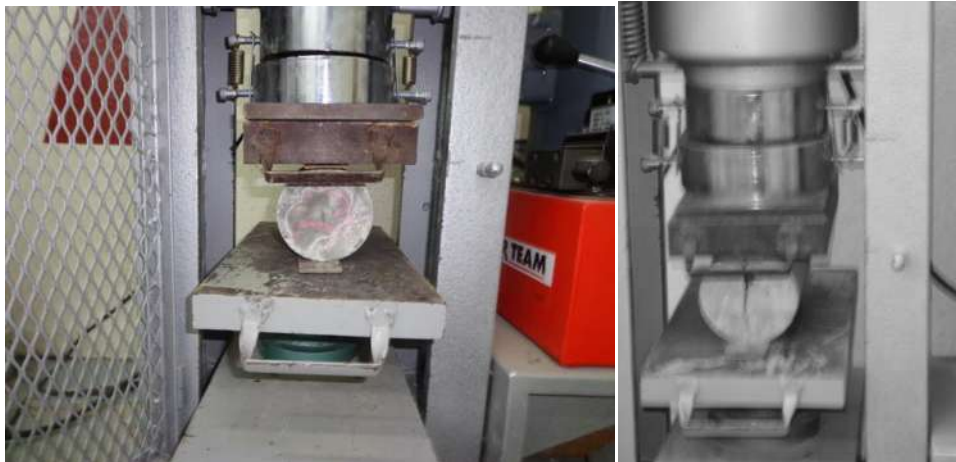


Imagen no 6.9. Especímenes probados a tensión indirecta.

6.2.3 Resistividad eléctrica de cilindros de concreto.

El objetivo de esta prueba es determinar la resistividad eléctrica de cilindros de concreto con una resistencia a la compresión de $f'_c = 250 \text{ kg/cm}^2$. La resistividad es un parámetro que sirve para conocer la resistencia que opone en este caso el concreto a conducir una corriente eléctrica.

EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN CONCRETO CON ADITIVO FLUIDIFICANTE, ASÍ COMO LA DISMINUCIÓN DEL CONSUMO DEL CEMENTO EN SU ELABORACIÓN.

Equipo utilizado.

- Cilindros de concreto $f'c=250 \text{ kg/cm}^2$ con 20 cm. de altura y 10 cm. de diámetro.
- Resistómetro de 4 puntas (Nillson 400).
- Dos placas circulares de cobre de 10 cm. de diámetro.
- Dos esponjas.
- Agua.

Procedimiento.

- I. Saturar 24 hrs. en agua los especímenes.
- II. Hacer un puente en dos de las cuatro puntas del resistómetro para obtener finalmente dos puntas. (Consultar el manual del aparato).
- III. Conectar a cada punta del resistómetro una placa de cobre.
- IV. Colocar una de las placas sobre la mesa de trabajo, encima de ella una de las esponjas saturada de agua, encima de la esponja se coloca el espécimen, encima del espécimen la otra esponja saturada de agua y al final la segunda placa de cobre. Se puede hacer uso de un contrapeso arriba de la segunda placa de cobre.
- V. Realizar la medición de resistividad del espécimen utilizando la caratula del resistómetro.

Cálculo.

$$\rho = R \frac{A}{L}$$

[MANUAL DURAR, 2000].

Donde:

P= Resistividad eléctrica (Ω -cm.).

L= Longitud (cm.).

A= Área (cm^2).

R= Resistencia eléctrica (Ω).

EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN CONCRETO CON ADITIVO FLUIDIFICANTE, ASÍ COMO LA DISMINUCIÓN DEL CONSUMO DEL CEMENTO EN SU ELABORACIÓN.

Mezcla de Arena Negra			
Número de espécimen	Edad en días	Resistencia eléctrica (Ω)	Resistividad (Ω -cm)
1	3	730	2866.71
2	7	1110	4358.97
3	14	1140	4476.78
4	28	1430	5615.61
5	45	1570	6165.39
6	90	1530	6008.31

Tabla no 6.6. Resistividad en mezcla de arena negra.

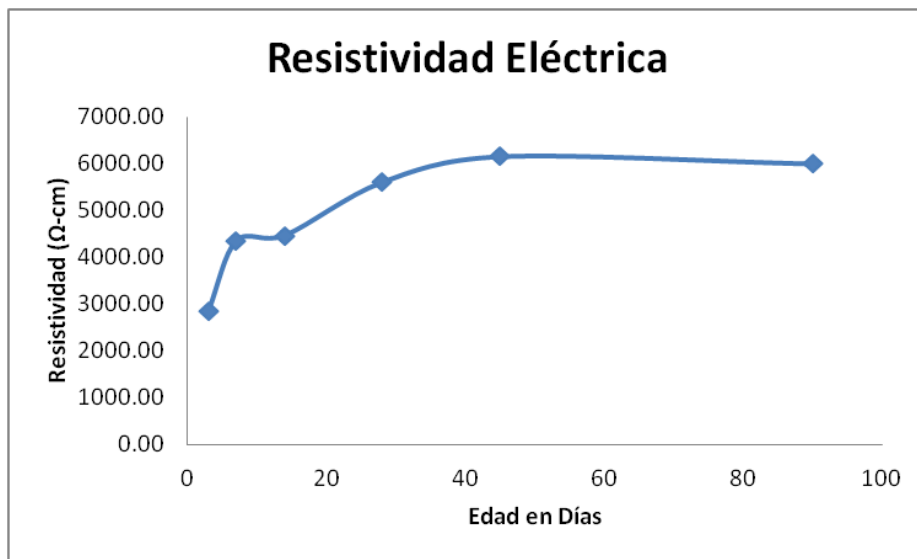


Figura no 6.10. Resistividad eléctrica en mezcla de arena negra.

Mezcla de Arena Negra y Aditivo			
Número de espécimen	Edad en días	Resistencia eléctrica (Ω)	Resistividad (Ω -cm)
1	3	1060	4162.62
2	7	1180	4633.86
3	14	1430	5615.61
4	28	1660	6518.82
5	45	2050	8050.35
6	90	1980	7775.46

Tabla no 6.7. Resistividad en mezcla de arena negra con aditivo.

EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN CONCRETO CON ADITIVO FLUIDIFICANTE, ASÍ COMO LA DISMINUCIÓN DEL CONSUMO DEL CEMENTO EN SU ELABORACIÓN.

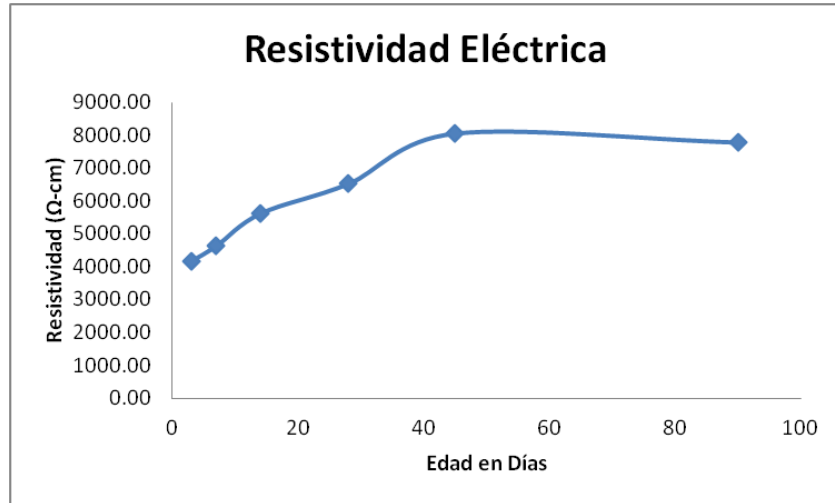


Figura no 6.11. Resistividad eléctrica en mezcla de arena negra con aditivo.

Mezcla de Arena Rel. 75-25%			
Número de espécimen	Edad en días	Resistencia eléctrica (Ω)	Resistividad (Ω -cm)
1	3	710	2788.17
2	7	1130	4437.51
3	14	1290	5065.83
4	28	1380	5419.26
5	45	1660	6518.82
6	90	1820	7147.14

Tabla no 6.8. Resistividad en mezcla de arena relación 75-25%.

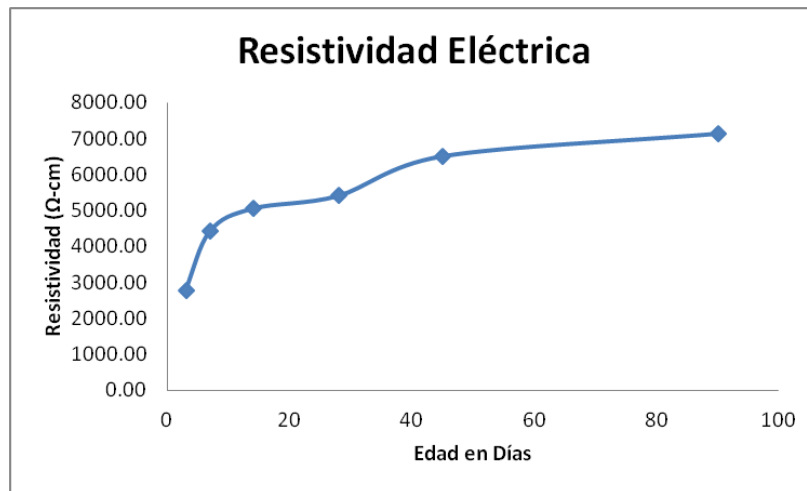


Figura no 6.12. Resistividad eléctrica en mezcla de arena relación 75-25%.

EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN CONCRETO CON ADITIVO FLUIDIFICANTE, ASÍ COMO LA DISMINUCIÓN DEL CONSUMO DEL CEMENTO EN SU ELABORACIÓN.

Mezcla de Arena Rel. 75-25% y Adit.			
Número de espécimen	Edad en días	Resistencia eléctrica (Ω)	Resistividad (Ω -cm)
1	3	1130	4437.51
2	7	1410	5537.07
3	14	1760	6911.52
4	28	1870	7343.49
5	45	2230	8757.21
6	90	2065	8109.26

Tabla no 6.9. Resistividad en mezcla de arena relación 75-25% y aditivo.

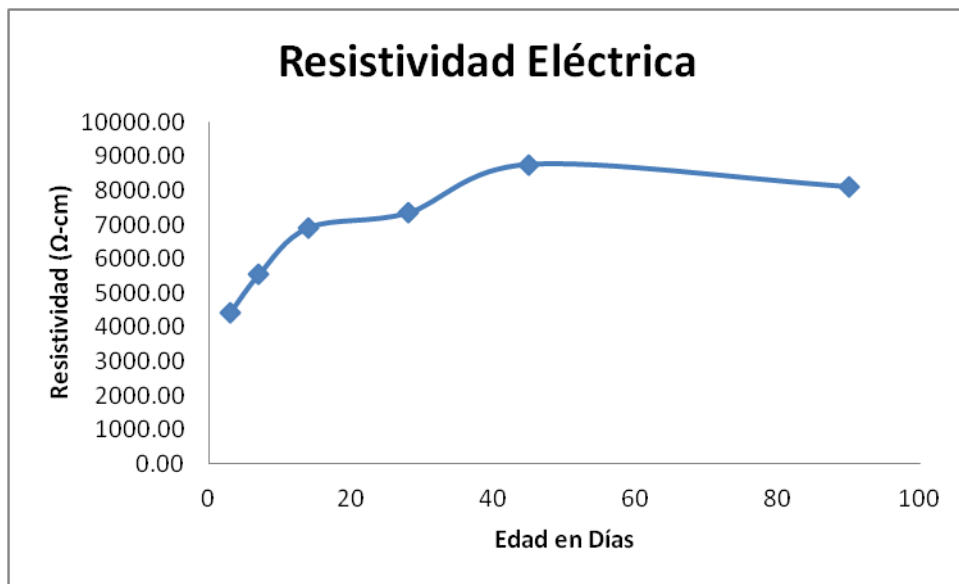


Figura no 6.13. Resistividad eléctrica en mezcla de arena relación 75-25% y aditivo.

Mezcla	Área (cm ²)	Longitud (cm)	Resistividad Promedio (Ω -cm)
Arena Negra	78.54	20	4915.30
Arena Negra y Aditivo	78.54	20	6126.12
Arena en relación 75-25%	78.54	20	5229.46
Arena en relación 75-25% y adit.	78.54	20	6849.34

Tabla no 6.10. Promedio de la resistividad eléctrica de los cilindros de concreto.

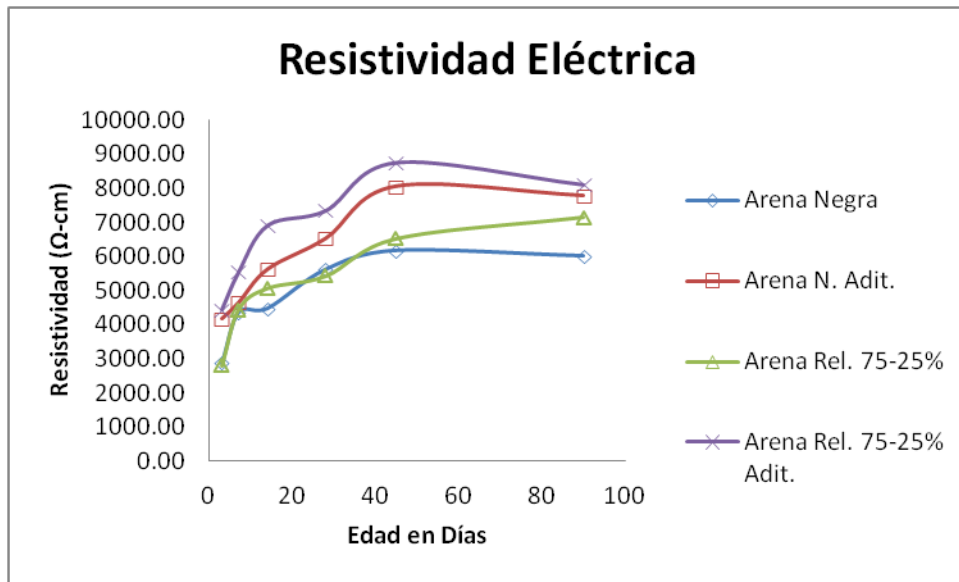


Figura no 6.14. Grafica comparativa de resistividad.



Figura no 6.15. Medición de la resistividad eléctrica en los cilindros de concreto.

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 de las armaduras puede ser considerado despreciable. Sin embargo, la práctica ha demostrado que se puede utilizar como criterio general:

Resistividad (Ω -cm)	Grado de riesgo
$P > 200000 \Omega$ -cm	Poco Riesgo
$200000 > P > 10000 \Omega$ -cm	Riesgo Moderado
$P < 10000 \Omega$ -cm	Alto Riesgo

Tabla no 6.11. Tipos de Resistividad [MANUAL DURAR, 2000].

6.3 Pruebas en vigas de concreto 60x15x15 cm.

Las vigas se prueban para determinar la resistencia a flexión del concreto.

Procedimiento

El espécimen se debe voltear sobre uno de los lados, para que no este en contacto la cara de colado con la superficie y permanezca libre, se marca con un crayón o marcador la posición en donde tendrán que estar los cuatro apoyos, se centran los apoyos inferiores y los apoyos superiores deben de quedar 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.

Se determinaran las dimensiones del espécimen como es el ancho y peralte promedio del espécimen en la sección de falla, haciéndose mediciones del orden de 0.25 cm.

Si la fractura ocurre fuera del tercio medio en más del 5% del claro, los resultados deben de descartarse.



Figura no 6.16. Prueba de flexión en vigas de concreto.

De acuerdo a la norma mexicana NMX-C-303-ONNCCE-2010, la manera de calcular el Módulo de Ruptura es la siguiente:

$$R = \frac{3PL}{2bd^2}$$

Donde:

R: Módulo de ruptura, en MPa (Kg/cm²).

EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN CONCRETO CON ADITIVO FLUIDIFICANTE, ASÍ COMO LA DISMINUCIÓN DEL CONSUMO DEL CEMENTO EN SU ELABORACIÓN.

P: es la carga máxima aplicada, en N (Kg).

L: es la distancia entre apoyos, en cm

b: es el ancho promedio del espécimen, en cm

d: es el peralte promedio del espécimen, en cm

Datos de la Mezcla	Edad de Prueba	Claro (L) (cm)	Ancho (b) (cm)	Peralte (d) (cm)	Carga Máxima de Falla (kg)	Módulo de ruptura (kg/cm ²)	Promedio MR (kg/cm ²)
Arena Negra	28	45	15	15	2860	57.20	57.67
	28	45	15	15	2890	57.80	
	28	45	15	15	2900	58.00	
	150	45	15	15	3560	71.20	70.27
	150	45	15	15	3480	69.60	
	150	45	15	15	3500	70.00	
A. Negra Adit.	28	45	15	15	2600	52.00	50.73
	28	45	15	15	2520	50.40	
	28	45	15	15	2490	49.80	
	150	45	15	15	3640	72.80	64.67
	150	45	15	15	3380	67.60	
	150	45	15	15	2680	53.60	
A. (25-75%)	28	45	15	15	3000	60.00	59.13
	28	45	15	15	2970	59.40	
	28	45	15	15	2900	58.00	
	150	45	15	15	3400	68.00	71.27
	150	45	15	15	3410	68.20	
	150	45	15	15	3880	77.60	
A. (25-75%) Adit.	28	45	15	15	2450	49.00	49.53
	28	45	15	15	2400	48.00	
	28	45	15	15	2580	51.60	
	150	45	15	15	3010	60.20	64.73
	150	45	15	15	3480	69.60	
	150	45	15	15	3220	64.40	

**Tabla no 6.12. Valores del Modulo de Ruptura del concreto (MR).
[NMX-C-303-ONNCCE-2010].**

EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN CONCRETO CON ADITIVO FLUIDIFICANTE, ASÍ COMO LA DISMINUCIÓN DEL CONSUMO DEL CEMENTO EN SU ELABORACIÓN.

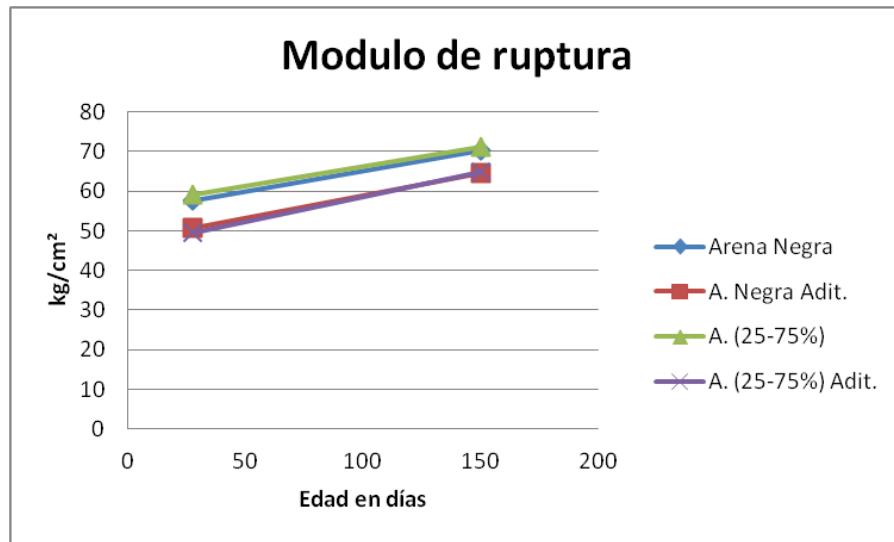


Figura no 6.17. Grafica comparativa de Modulo de ruptura.

[NMX-C-303-ONNCCE-2010].

De acuerdo a lo establecido en el Capítulo 3.10.3. la resistencia a flexión del concreto deberá ser:

Para la mezcla de concreto de arena negra, teniendo un $f'c=283.3$ resistencia promedio a los 28 días de la prueba a compresión.

$$R = 1.99\sqrt{f'c} = 1.99\sqrt{283.3} = 33.49 \frac{kg}{cm^2}$$

ó

$$R = 2.65\sqrt{f'c} = 2.65\sqrt{283.3} = 44.60 \frac{kg}{cm^2}$$

Para la mezcla de concreto de arena negra con aditivo, teniendo un $f'c=250.32$ resistencia promedio a los 28 días de la prueba a compresión.

$$R = 1.99\sqrt{f'c} = 1.99\sqrt{250.32} = 31.48 \frac{kg}{cm^2}$$

ó

$$R = 2.65\sqrt{f'c} = 2.65\sqrt{250.32} = 41.93 \frac{kg}{cm^2}$$

Para la mezcla de concreto de relación arena blanca-negra (25-75%) en peso, teniendo un $f'c=281.13$ resistencia promedio a los 28 días de la prueba a compresión.

$$R = 1.99\sqrt{f'c} = 1.99\sqrt{281.13} = 33.37 \frac{kg}{cm^2}$$

ó

EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN CONCRETO CON ADITIVO FLUIDIFICANTE, ASÍ COMO LA DISMINUCIÓN DEL CONSUMO DEL CEMENTO EN SU ELABORACIÓN.

$$R = 2.65\sqrt{f'c} = 2.65\sqrt{281.13} = 44.43 \frac{kg}{cm^2}$$

Para la mezcla de concreto de relación arena blanca-negra (25-75%) en peso, teniendo un $f'c=249.05$ resistencia promedio a los 28 días de la prueba a compresión.

$$R = 1.99\sqrt{f'c} = 1.99\sqrt{249.05} = 31.40 \frac{kg}{cm^2}$$

ó

$$R = 2.65\sqrt{f'c} = 2.65\sqrt{249.05} = 41.82 \frac{kg}{cm^2}$$

El valor del modulo de ruptura para las cuatro mezclas supera fácilmente los parámetros anteriores aumentando la resistencia a flexión conforme aumenta su tiempo de curado.

7. CONCLUSIONES.

Se puede concluir de este trabajo primeramente que la arena de color negro procedente del banco “Chamacuero” es adecuada para la elaboración de concreto estando dentro de los parámetros que marcan las normas mexicanas en lo que refiere a los agregados, teniendo buenas características físicas. Cabe mencionar que la arena de color claro o blanco procedente del banco “San Nicolás de Parangón” no cumple satisfactoriamente con todos los índices de calidad para la fabricación de un concreto, siendo el de mayor consideración la granulometría, teniendo un exceso de partículas finas. Por este motivo se hizo necesaria la adición de ambas arenas para estar cerca de los parámetros necesarios para emplear dicha arena en la fabricación de concreto.

Se llegó a conocer que una mezcla de arena negra-blanca en un 75-25% respectivamente de cada una de las arenas, en peso, es adecuada para emplearla en la realización del concreto. Dicho sea de paso con esta modificación en el diseño de una mezcla de concreto, se logra una mayor trabajabilidad con respecto al empleo de la arena negra sola.

Ahora bien, el hecho de agregar un aditivo, como es el caso del superplastificante reductor de agua en cada mezcla de concreto, permite poder disminuir la cantidad de agua necesaria para obtener un revenimiento deseado en la mezcla, así mismo se reduce la cantidad de cemento empleado para obtener una resistencia en concreto dada la relación que existe a/c . El aditivo se encarga de hacer fluida la mezcla y por lo tanto se obtiene un revenimiento mayor cuando es empleado.

Es necesario indicar que una mezcla de concreto se diseña por unidad, siendo en este caso un metro cúbico de concreto, y al tener disminución en el agua y en el cemento ya no se tiene la unidad; es por eso que para completar el metro cúbico de concreto se agregará más arena y grava a la mezcla. Este incremento de los agregados gruesos da como resultado una menor trabajabilidad en la mezcla y también un sangrado excesivo después de la colocación y el vibrado del concreto, esto para relaciones altas a/c .

Se hace evidente mediante las pruebas de permeabilidad rápida de cloruros, que en cada una de las mezclas realizadas con relación $a/c = 0.62$, en peso, existe en ellas el riesgo latente de que los concretos realizados presenten una alta permeabilidad. Esto quiere decir que en los concretos con acero de refuerzo puede iniciarse la corrosión del acero al estar la estructura de concreto en zonas de climas con agentes químicos agresivos, como es el caso

EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN CONCRETO CON ADITIVO FLUIDIFICANTE, ASÍ COMO LA DISMINUCIÓN DEL CONSUMO DEL CEMENTO EN SU ELABORACIÓN.

de las zonas costeras, donde no sería recomendable emplear este tipo de mezclas de concreto con la relación $a/c = 0.62$, siendo entonces adecuado bajar esa relación lo más posible, pero teniéndose que emplear algún aditivo para aumentar la trabajabilidad de la mezcla.

Con lo que respecta al parámetro más importante en cuestión de este estudio, la resistencia a compresión, se puede concluir que los resultados obtenidos de las mezclas de concreto de arena negra como la adición de esta con arena blanca superaron satisfactoriamente la resistencia deseada a los 28 días. En tanto que para las mezclas a las que se les adicionó el aditivo apenas alcanzaron la resistencia deseada a compresión a los 28 días, teniendo una disminución en la resistencia con respecto a las mezclas convencionales (sin aditivo).

En cuanto a la resistencia a tensión indirecta se puede concluir que no hay un cambio significativo en el hecho de emplear aditivo en las mezclas para mejorar la resistencia ya que son ligeramente mayores en su resistencia a tensión indirecta que los concretos convencionales, y dado que no se cuenta con alguna norma de comparación será a criterio del encargado el aceptar o desechar dichos resultados.

Por último se analizó la resistencia a flexión o módulo de ruptura, que servirá como parámetro en el diseño de pavimentos. De acuerdo a las normas la forma de conocer el módulo de ruptura es mediante la resistencia a compresión del concreto, siendo del 10% a 20% de dicha resistencia, en nuestro caso el valor para cada uno de los concretos se encuentra dentro de los parámetros pudiendo ser empleado en pavimentos.

CAPÍTULO 8

8. BIBLIOGRAFÍA.

- [1.] Vitervo A. O'Reilly Díaz, Métodos para Dosificar Concretos de Elevado Desempeño. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C., 2007. ISBN 968-464-.
- [2.] Neville A. M. y Brooks J. J., Concrete Technology, Second Edition. Pearson Education Limited 2010. ISBN 978-0-273-73219-8.
- [3.] Kosmatka. S.H., Kerkhoff, B. Panarese, W.C. Tanesi, J., Diseño y control de obras de concreto. Portland Cement Association. Primera edición 2004. ISBN 0-89312-233-5.
- [4.] Bentur A., Diamond S. and Berke N. S., Steel Corrosion in Concrete. First Edition. Taylor and Francis 1997. ISBN 0-419-22530-7.
- [5.] Centro S. C. T. Guanajuato, Unidad General de Servicios Tecnicos. Inventario de Bancos de Materiales 2012.
- [6.] Centro S. C. T. Michoacás, Unidad General de Servicios Tecnicos. Inventario de Bancos de Materiales 2010.
- [7.] MacCormack Jack C. Diseño de concreto reforzado. Alfaomega. Cuarta edición, 2002. ISBN 970-15-0633-2.
- [8.] Angélica del Valle Moreno, Tezozómoc Pérez López, Miguel Martínez Madrid. El fenómeno de la corrosión en estructuras de concreto reforzado. Publicación técnica No. 182. Sanfandila, Queretaro, 2001. ISBN 0188-7297.
- [9.] Navarro Sánchez Luis Manuel, Martínez Molina Wilfrido, Espinoza Mandujano José Antonio. Análisis de Materiales, Resistencia de Materiales. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Segunda edición, Agosto de 2007. ISBN 978-970-703-551-5.
- [10.] ASTM Committe. ASTM C 1202. Standard test method for electrical indication of concrete's ability to resist chloride ion penetration. West Conshohocken. 1997.
- [11.] Santamaría Díaz N. Karina, Yamín Lacouture L. Eduardo y Arcila López C. Alberto. Resistencia a los cloruros en el concreto adicionado con escoria de alto horno. Revista de Ingeniería. Junio 2006. ISBN 0121-4993.

EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN CONCRETO CON ADITIVO FLUIDIFICANTE, ASÍ COMO LA DISMINUCIÓN DEL CONSUMO DEL CEMENTO EN SU ELABORACIÓN.

- [12.] Martínez Sánchez B., Flores Martínez J. J., Uribe Afif R. y Medina Hernández O. La prueba de permeabilidad rápida a cloruros como índice de la durabilidad de la estructuras de hormigón. Centro de Tecnología, Cemento y Concreto. CEMEX. Abril 2003.
- [13.] ACI Committee 211. Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete. ACI 211.1-91. 2002.
- [14.] Rojas Gutiérrez Edwin. Avances en el Diseño y Caracterización de Recubrimientos Geopoliméricos para Disminuir la Corrosión en Estructuras de Concreto Reforzado, de Alta Resistencia. Tesis de licenciatura, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Agosto de 2010.
- [15.] Instituto Mexicano del Cemento del Concreto A.C. Criterio General del Diseño de Mezclas por el Método del ACI (American Concrete Institute). Asociación Nacional de Facultades y Escuelas de Ingeniería. Mayo 2012.
- [16.] <http://www.imcyc.com/revistacyt/abril2012/artingenieria.html>. Consultado abril de 2013.
- [17.] NMX-C-156-ONNCCE-2010. Industria de la construcción-concreto hidráulico-determinación del revenimiento en el concreto fresco.
- [18.] NMX-C-414-ONNCCE-2004. Industria de la construcción-cementos hidráulicos-especificaciones y métodos de prueba.
- [19.] <http://www.cmoctezuma.com.mx/cementos/>. Consultado abril de 2013.
- [20.] MANUAL DURAR, Manual de inspección, evaluación y diagnóstico de corrosión en estructuras de hormigón armado. ISBN 980-296-541-3. Tercera edición. Agosto de 2000.
- [21.] http://www.ficem.org/estadisticas/informe_estadistico_2011.pdf Consultado abril de 2013.