



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE NICOLÁS DE HIDALGO



Facultad de
INGENIERIA CIVIL

Tesis profesional

Determinación de la Resistencia y Durabilidad de un Concreto Hidráulico Elaborado con Grava Triturada, Incluyendo Metacaolín y Nanosilice

Que para obtener el título de:
Ingeniero Civil

Presenta:
José Agustín González Herrejón

Asesor:
Maestra en Ingeniería Cindy Lara Gómez

Coasesor:
Maestro en Ingeniería Marco Antonio Mondragón Ornelas

Morelia, Michoacán Diciembre del 2014



Resumen

La preocupación por el impacto en el medio ambiente de las emisiones de CO₂ asociadas a la fabricación de Cemento Portland, junto con el elevado costo de dicho proceso, han dado lugar a la búsqueda de formas de reducir el consumo de Cemento Portland a través de la incorporación de materiales sustitutivos en el producto final; estos materiales son sólidos finamente molidos que reemplazan parte del Cemento Portland empleado en la elaboración del concreto hidráulico logrando incrementar las propiedades mecánicas y la durabilidad del mismo, por ese motivo el desarrollo de la investigación trata de concretos con una menor cantidad de Cemento Portland, incorporando adiciones de Metacaolín y Nanosilice.

Esta investigación permite estudiar el comportamiento del concreto hidráulico de alta resistencia elaborado con arena volcánica y grava triturada adicionando los materiales mencionados; para lo cual se realizó un estudio preliminar con diferentes proporcionamientos variando los porcentajes de las adiciones para así determinar el mejor de los casos, el resultado fue del 15% en adición en Metacaolín y 1% de Nanosilice en relación con la masa del Cemento Portland; una vez obtenido el mejor proporcionamiento se elaboraron cilindros (10 x 20 cm) y vigas (15 x 15 x 60 cm) para realizarles pruebas tanto destructivas como no destructivas así como especímenes testigos sin ningún tipo de adición, para pruebas posteriores a diferentes edades de 3, 7, 14, 28, 45 y 60 días en cilindros y en vigas a 14, 28 y 60 días; se determinó su resistividad eléctrica con un resistómetro de cuatro puntas (Nilsson 400), y la calidad del concreto con una prueba de velocidad de pulso ultrasónico para posteriormente evaluar su resistencia a compresión axial y su durabilidad exponiéndolo a la acción de sulfato de sodio anhidro y cloruro de sodio a una edad de 45 días en ambos casos.

Palabras clave: Metacaolín, nanosilice, compresión, durabilidad, resistencia eléctrica, velocidad de pulso ultrasónico, sulfato de sodio anhidro, cloruro de sodio.



Abstract

Concern about the impact on the environment of CO₂ emissions associated with the manufacture of Portland cement, along with the high cost of the process, have led to the search for ways to reduce consumption of Portland cement through incorporation of substitutes in the final product; these materials are solids finely ground that replace part of Portland cement used in the production of hydraulic concrete thereby increasing the mechanical properties and durability of it, which is why the development of the research is specific to a smaller amount of Portland cement, incorporating metakaolin and nanosilica additions.

This research allows us to study the behavior of the hydraulic high-strength concrete made with volcanic sand and gravel adding crushed these materials; for which a preliminary study was conducted with different proportioning rates varying additions in order to determine the best case, the result was 15% in addition to metakaolin and 1% nanosilica in relation to the mass of Portland cement; after obtaining the best proportioning cylinder (10 x 20 cm) and beams (15 x 15 x 60 cm) were developed for as-nondestructive both destructive and testing as well as specimens witnesses without any addition, for further testing at different ages 3, 7, 14, 28, 45 and 60 days in cylinders and beams 14, 28 and 60 days; its electrical resistivity was determined using a four point resistometer (Nilsson 400), and the quality of concrete with a test speed of ultrasonic pulse to subsequently evaluate their resistance to axial compression and durability by exposing it to the action of anhydrous sodium sulfate and sodium chloride at age 45 days in both cases.

Keywords: metakaolin, nanosilica, compression, durability, electrical resistance, ultrasonic pulse velocity, anhydrous sodium sulfate, sodium chloride.



Objetivos

General.

- Determinar las propiedades físico-mecánicas de un concreto de alta resistencia adicionado con Metacaolín y Nanosilice en comparación con un concreto sin ningún tipo de adición o testigo.

Particulares.

- Comprobar la trabajabilidad del concreto una vez adicionados el metacaolín y nanosilice.
- Obtener un contenido óptimo de los aditivos en relación con la resistencia del concreto



Dedicatorias

Con mucho cariño a mis padres *Agustín González Galván* y *Ofelia Herrejón Merino*, que siempre me brindaron su apoyo y creyeron en mí, gracias a ellos es que he podido alcanzar este gran logro en mi vida, gracias por darme un futuro.

A mi familia en especial a mis hermanos *Juan Manuel, Miguel Ángel, Martha y Alejandro*, de quienes siempre tuve su apoyo incondicional, su confianza y su cariño.



Agradecimientos

A la M.I. Ing. Cindy Lara Gómez, por darme el tiempo para asesorarme, la confianza que tuvo para conmigo y mi investigación, por todas sus aportaciones en beneficio del proyecto y por sus consejos.

El M.A. Ing. Wilfrido Martínez Molina por haberme brindado la oportunidad de realizar esta investigación, por despertar en mí el interés hacia este proyecto y por sus consejos que me hicieron mejorar como persona.

A la Dra. Elia Mercedes Alonso, porque siempre me brindó su apoyo, por su humildad y sencillez al tratar conmigo y porque siempre tuvo tiempo para resolver mis dudas.

Al M.I. Ing. Edwin Rojas Gutiérrez, al Dr. Hugo Luis Chávez García, y al Tec. Jesús Zauno Zamudio por asesorarme en el transcurso de la investigación.

A mis compañeros y amigos Sergio Jacobo Jacobo, Saúl Jesús Cacari Ortiz y José Jesús Campos Núñez, por su gran colaboración y ayuda ya que pude contar con ellos en todo momento.

Al Tec. Rubén Hernández Guzmán, una persona que aprecio mucho ya siempre tuve su apoyo, pero sobre todo porque me brindó su amistad.

Y en general a todos mis compañeros, compañeras y personal del Laboratorio de materiales, y a los profesores que a lo largo de toda la carrera contribuyeron en mi formación académica ya que sin ellos no lo hubiera logrado.



Índice de contenido

Resumen	I
Abstract	II
Objetivos	III
Dedicatorias	IV
Agradecimientos	V
Índice de Contenido	VI
Índice de Tablas	VIII
Índice de Figuras	X
Índice de Graficas	XI
Capítulo 1 Introducción	1
1.1 Introducción	1
Capítulo 2 Cemento Portland	3
2.1 Cemento portland	3
2.2 Historia del cemento portland	3
2.3 Producción del cemento portland.	4
2.4 Clasificación de los cementos.	7
Capítulo 3 Concreto Hidráulico	9
3.1 Agregados pétreos	9
3.2 Agua	9
3.3 Aditivos	9
3.4 Revenimiento de un concreto	10
3.5 Sangrado	11
3.6 Cohesión	11
3.7 Trabajabilidad	11
3.8 Dosificación del concreto.	11
3.9 Diseño de mezclas de concreto	12
3.10 Resistencia mecánica del concreto	12
3.11 Resistencia a compresión	12
3.12 Resistencia a flexión (Modulo de ruptura).	12
3.13 Módulo de elasticidad	13
3.14 Ataque de cloruros al concreto.	13
3.15 Ataque de sulfatos al concreto	14
Capítulo 4 Bancos de Material	15
4.1 Definición	15
4.2 Localización banco de materiales “Joyitas”	15
4.3 Localización banco de materiales “El Colegio”	17
Capítulo 5 Análisis de los Materiales	20
5.1 Tipo de cemento portland empleado	20
5.2 Metacaolín	22
5.3 Nanosílice o humo de sílice.	25
5.4 Características del aditivo empleado	26
5.5 Agregados pétreos	27
5.5.1 Arenas	27



I. Humedad superficial y de absorción	27
II. Densidad de la arena	30
III. Masa Volumétrica seca y suelta (MVSS)	32
IV. Masa volumétrica seca y varillada (MVSV)	34
V. Granulometría	35
VI. Colorimetría	38
5.5.2 Gravas	40
I. Humedad de absorción.	40
II. Densidad	41
III. Masa volumétrica seca y suelta (MVSS).	43
IV. Masa volumétrica seca y varillada (MVSV).	44
V. Granulometría en grava	45
Capítulo 6 Experimentación	47
6.1 Diseño de concreto de alta resistencia $f'_c = 25$ MPa	47
6.2 Selección del porcentaje óptimo de los aditivos a emplear	51
6.3 Propuesta de una nueva relación A/C	61
6.4 Procedimiento para la elaboración de los cilindros de 10 cm x 20 cm y vigas de 15cm x 15cm x 60cm	62
I. Revenimiento del concreto	62
II. Elaboración de cilindros de concreto	64
III. Elaboración de vigas de concreto	65
6.5 Pruebas realizadas a los especímenes	67
I. Resistividad eléctrica en especímenes de concreto	67
II. Velocidad de pulso ultrasónico (V.P.U.)	68
III. Permeabilidad rápida a la penetración de cloruros	69
IV. Ataque acelerado a la intemperización con sulfato de sodio anhidro	75
V. Resistencia a compresión simple en cilindros.	77
VI. Resistencia a la flexión	79
Capítulo 7 Resultados	81
7.1 Resultados de resistividad eléctrica, velocidad de pulso ultrasónico y resistencia a compresión simple en cilindros	81
7.2 Resultados de la prueba de ataque acelerado a la intemperización con sulfato de sodio anhidro	88
7.3 Resultados de permeabilidad rápida a la penetración de cloruros	92
7.4 Resultados de módulo de ruptura en vigas	93
Capítulo 8 Conclusiones	97
8.1 Conclusiones obtenidas de la experimentación	97
Bibliografía	99



Índice de Tablas

Tabla 1.1 Densidad aparente del cemento portland	22
Tabla 1.2 Contenido aluminosilicatos del metacaolín	24
Tabla 1.3 Características del fluidificante CRISOTAN R-5	27
Tabla 1.4 Humedad superficial y de absorción	30
Tabla 1.5 Densidad de la arena	32
Tabla 1.6 Masa volumétrica seca y suelta en arena	34
Tabla 1.7 Masa volumétrica seca y varillada en arena	35
Tabla 1.8 Granulometría en arena	38
Tabla 1.9 Especificaciones técnicas para la humedad de absorción	41
Tabla 1.10 Humedad de absorción	41
Tabla 1.11 Densidad en gravas	42
Tabla 1.12 Masa volumétrica seca y suelta en grava	43
Tabla 1.13 Masa volumétrica seca y varillada en grava	44
Tabla 1.14 Granulometría en grava	45
Tabla 1.15 Características de los materiales	47
Tabla 1.16 Requisitos aproximados de agua de mezclado	48
Tabla 1.17 Interpolación para revenimiento de proyecto	48
Tabla 1.18 Resistencias en correspondencia a relaciones A/C	49
Tabla 1.19 Interpolación para la obtención de la relación A/C de proyecto	49
Tabla 1.20 Volumen de agregado grueso por volumen de concreto	50
Tabla 1.21 Calcular la cantidad de agregado fino	50
Tabla 1.22 Proporciones en masa para los materiales	51
Tabla 1.23 Correcciones por absorción	51
Tabla 1.24 Resultados de mezclas en sustitución de 5%, 7.5% y 10% de metacaolín y 2% en nanosilice	53
Tabla 1.25 Resultados de mezclas en sustitución 10% de metacaolín y 2% en nanosilice con y sin fluidificante	55
Tabla 1.26 Correcciones de absorción para una nueva relacion A/C	57
Tabla 1.27 Resultados a cilindros con relacion A/C = 0.716 a la edad de 28 dias	57
Tabla 1.28 Resultados de la pruebas a la edad de 28 dias en sustitución	57
Tabla 1.29 Resultados de la pruebas a la edad de 28 dias en adición	58
Tabla 1.30 Resultados de la pruebas a la edad de 28 dias en testigos	59
Tabla 1.31 Correcciones de absorcion para una nueva relacion A/C	61
Tabla 1.32 Nuevo f ^c de proyecto	62
Tabla 1.33 Correcciones de agregados petreos por una nueva relacion A/C	62
Tabla 1.34 Revenimientos según el tipo de construccion	64
Tabla 1.35 Riesgo a la corrosión en función de la resistividad	68
Tabla 1.36 Clasificación del concreto de acuerdo a la velocidad de pulso	68
Tabla 1.37 Tipos de permeabilidad de acuerdo a la ASTM C 1202	75
Tabla 1.38 Resultados en muestras con adición de metacaolin y nanosilice	81
Tabla 1.39 Resultados en testigos con fluidificante	82
Tabla 1.40 Resultados en testigos sin fluidificante	83
Tabla 1.41 Resultados en prueba de ataque acelerado con sulfato de sodio	



anhidro	88
Tabla 1.42 Porcentajes de perdidas de masa por ciclo	89
Tabla 1.43 Permeabilidad rápida a la penetración de cloruros	92
Tabla 1.44 Tipos de permeabilidad de cloruros	92
Tabla 1.45 Módulo de ruptura en vigas con adición	93
Tabla 1.46 Resultados módulo de ruptura en vigas testigo	93



Índice de Figuras

Figura 1.1 Producción tradicional del cemento portland	6
Figura 1.2 Localización del banco de material “Joyitas”	15
Figura 1.3 Vista satelital del banco de material “Joyitas”	16
Figura 1.4 Localización de bancos de material en Michoacán	16
Figura 1.5 Inventario de bancos de material en Michoacán	17
Figura 1.6 Localización del banco de material “El Colegio”	17
Figura 1.7 Vista satelital del banco de material “El Colegio”	18
Figura 1.8 Localización de bancos de material en Michoacán	18
Figura 1.9 Inventario de bancos de material en Michoacán	19
Figura 1.10 Resistencia a compresión de cemento APASCO CPC 30 R	20
Figura 1.11 Densidad aparente del cemento portland	22
Figura 1.12 Metacaolín	22
Figura 1.13 Forma y tamaño de la partícula del metacaolín	24
Figura 1.14 Nanosilice	25
Figura 1.15 Forma y tamaño de la partícula del nanosilice	26
Figura 1.15 Muestra de arena saturada	28
Figura 1.16 Humedad superficial y de absorción en arenas	28
Figura 1.17 Pesando 300 gramos de arena seca superficialmente	29
Figura 1.18 Secando arena para eliminar el contenido de agua	29
Figura 1.19 Muestra de arena saturada	31
Figura 1.20 Añadiendo agua destilada a la muestra	31
Figura 1.21 Expulsando burbujas de aire de la muestra	32
Figura 1.22 Pesando muestra de arena para obtener MVSS en arena	33
Figura 1.23 Llenando recipiente para la prueba de MVSV en arena	35
Figura 1.24 Muestra de 500 gramos de arena para prueba de granulometría	36
Figura 1.25 Agitando el juego de mallas durante 10 minutos mecánicamente	36
Figura 1.26 Muestras de los materiales retenidos en las mallas	37
Figura 1.27 Pesando las muestras de los materiales retenidos en las mallas	37
Figura 1.28 Prueba de colorimetria en arena	39
Figura 1.29 Secado y pesado de la grava para la prueba de humedad de absorción	41
Figura 1.30 prueba de la densidad en gravas	42
Figura 1.31 Mezclado del cemento y el metacaolín	51
Figura 1.32 Mezclas poco trabajables en sustitucion al 10 %	51
Figura 1.33 Determinación de revenimiento	62
Figura 1.34 Elaboracion de muestras, cilindros de 10cm x 20cm	64
Figura 1.35 Elaboracion de muestras, vigas de 60cm x 15cm x 15cm	65
Figura 1.36 Equipo de prueba para permeabilidad rápida a la penetración de cloruros.	69
Figura 1.37 Especímenes en vacío durante 18 horas.	70
Figura 1.38 Especímenes sometidos a la permeabilidad de los cloruros.	73
Figura 1.39 Especímenes sometidos al ataque acelerado con sulfato de sodio anhidro	75
Figura 1.40 Resistencia a compresión simple en cilindros	77



Figura 1.41 Resistencia a flexión en vigas de concreto	78
Figura 1.42 Ciclos en la prueba de ataque acelerado con sulfato de sodio anhidro	88
Figura 1.43 Daños en cilindros en el ciclo 5 de ataque acelerado con sulfato de sodio anhidro	88
Figura 1.44 Zoom a cilindro en ciclo 5 de ataque acelerado con sulfato de sodio anhidro	89

Índice de Graficas

Grafica 1.1 Tamaño de partícula del metacaolín	23
Grafica 1.2 Distribución del tamaño de partícula del metacaolín	25
Gráfica 1.3 Granulometría en arena	38
Gráfica 1.4 Granulometría en grava	46
Grafica 1.5 Resistencia a compresión a la edad de 28 días	53
Grafica 1.6 Resistividad eléctrica a la edad de 28 días	53
Grafica 1.7 Resistencia a compresión a la edad de 28 días	55
Grafica 1.8 Resistencia a compresión a la edad de 28 días	59
Grafica 1.9 Resistividad eléctrica a la edad de 28 días	59
Gráfica 1.10 Resistividad eléctrica del concreto	83
Gráfica 1.11 Velocidad de pulso ultrasónico del concreto	84
Gráfica 1.12 Resistencia a compresión simple del concreto	85
Gráfica 1.13 Resistencia a compresion simple y porcentajes de masa perdida por ciclo	87
Gráfica 1.14 Velocidad de pulso en vigas	91
Gráfica 1.15 Resistividad eléctrica en vigas	92
Gráfica 1.16 Módulo de ruptura en vigas	93



Capítulo 1

Introducción

1.1 Introducción.

En los últimos años se han intensificado las investigaciones relacionadas con el mejoramiento de los materiales utilizados en obras de ingeniería, con el objetivo de mejorar sus propiedades y economizar su costo de fabricación y los que su utilización implique.

Anteriormente el concreto era considerado como un material eterno; sin embargo, actualmente debido a los problemas suscitados a causa del deterioro prematuro, las estructuras exigen protección y mantenimiento; además, gracias al avance de la tecnología del concreto hoy en día existen varios métodos para realizar los diferentes tipos de mantenimiento que son: predictivo, preventivo y correctivo. El avance de la ciencia ha contribuido en gran parte para desarrollar nuevos modelos, así como técnicas muy complejas para predecir la vida útil de las estructuras. (Pierre, 2001)

Mantenimiento son las acciones a la cuales debe someterse una estructura para tener buenas condiciones de servicio dentro unos costos previstos y razonables. Una buena labor de mantenimiento evita que se presenten situaciones de reparación costosas e indeseables.

Dado que las estructuras van envejeciendo es necesario hacerles una evaluación cada cierto número de años, esto implica que es necesario hacer un presupuesto a largo plazo en el que se tengan en cuenta los costos de esas evaluaciones y de las posibles acciones de mantenimiento o reparación si son el caso.

Las puzolanas están formadas por fases activas capaces de reaccionar con la cal proveniente de la hidratación del Cemento Portland. Esto lleva a que la puzolana se integre a dicho proceso de hidratación y dé como resultado más bajo contenido de portlandita e incremento en los silicatos cálcicos hidratados. Todas estas fases activas son termodinámicamente inestables y, en general, están constituidas por materiales amorfos. (Massazza, 1993)

La reacción puzolánica favorece los concretos adicionados, pues incrementa las resistencias mecánicas (compresión y flexión), reduce la permeabilidad y la porosidad capilar, aumenta resistencias frente al ataque químico y la posibilidad de prevenir la reacción árido-álcali, entre otras. (Mehta, 1989)



Últimamente se ha venido incrementado la producción de concretos con una mayor resistencia mecánica, por la necesidad de obtener estructuras mucho más resistentes, funcionales y durables, así como la utilización de una gran variedad de aditivos, por lo que los concretos utilizados deben ir mejorando conforme a las necesidades que se tengan.

La industria del cemento tiene un impacto ambiental negativo importante para la salud, en función de su localización con relación a centros poblados, se sabe que el exceso de producción de CO₂ es el principal causante del efecto invernadero, que está elevando la temperatura de la Tierra, recientes estudios señalan que la industria del cemento es la culpables del 7% de la producción de CO₂ del mundo.

Por esta causa es la urgencia de tratar de reducir la producción de Cemento Portland, utilizando adiciones que disminuyen el contenido de este en un concreto sin sacrificar sus propiedades mecánicas, elaborando concretos de alta resistencia sin la necesidad de incrementar la cantidad de Cemento Portland solo con la inclusión de puzolanas, lo que contribuiría a la disminución de producción de CO₂ es por eso la importancia de este tipo de investigaciones.

En el primer capítulo se hace una breve descripción de este trabajo incluyendo una breve reseña de la importancia de reducir la producción de Cemento Portland.

En el capítulo dos se habla del Cemento Portland su historia, producción y sus diferentes clasificaciones que existen según la Norma Americana C 150 de la ASTM, y la Clasificación según la Norma Mexicana NMX-C-414-ONNCEE-2010.

En el capítulo tres se habla de las propiedades físicas y mecánicas de un concreto hidráulico.

Los bancos de material utilizados para este proyecto se trató en capítulo cuatro, tanto su ubicación y las características del material obtenido fueron abordados.

En el capítulo cinco se presenta las propiedades físicas de cada uno de los materiales empleados en esta experimentación tales como cemento, metacaolín, nanosilice, fluidificante y agregados pétreos.

La experimentación la abordamos para el capítulo seis, esto abarcó desde el diseño de la mezcla del concreto mediante el procedimiento del ACI, proporcionamiento óptimo de los aditivos a emplear, y por ultimo las pruebas a las que fueron expuestas las muestras.

Por ultimo en el capítulo siete se exponen los resultados obtenidos para pasar al último capítulo y enunciar las conclusiones obtenidas.



Capítulo 2

Cemento Portland

2.1 Cemento portland.

El Cemento Portland contiene básicamente cuatro compuestos principales que corresponden al 90% de la masa del cemento.

Silicato tricálcico C₃S

Silicato dicálcico C₂S

Aluminato tricálcico C₃A

Ferroaluminato tetracálcico C₄AF

Cuando el Cemento Portland tiene un alto contenido de C₃S el concreto endurece muy rápido y es el principal responsable del inicio de fraguado, el C₂S hace al Cemento Portland menos reactivo con lo cual la hidratación se hace lenta; sin embargo, la resistencia se adquiere a edades prolongadas. Un alto contenido de C₃A puede ser peligroso ya que puede reaccionar con los sulfatos y propiciar un efecto negativo afectando la durabilidad del concreto; sin embargo, en cantidades moderadas contribuye a la hidratación y endurecimiento a edades tempranas.

2.2 Historia del cemento portland.

Los griegos y los romanos utilizaban caliza calcinada y posteriormente, aprendieron a mezclar cal con agua, arena y piedra triturada o ladrillo o tejas quebradas. Este fue el primer concreto de la historia. Un mortero de cal no endurece bajo el agua; por tanto, para construcciones sumergidas en agua, los romanos mezclaban cal con ceniza volcánica o con teja de arcilla quemada, que posteriormente se molían conjuntamente. La sílice activa y la alúmina que se encuentra en las cenizas y en las tejas se combinaban con cal para producir lo que se conoce como cemento puzolánico, proveniente del nombre del pueblo de Pozzuoli, cerca de Vesubio, donde se encontró por primera vez ceniza volcánica. Algunas de las estructuras romanas en las cuales la mampostería se unió con morteros, han sobrevivido hasta esta época, con su material cementante aun duro y firme.



En la edad media hubo una disminución general en la calidad y el uso del cemento, y solo en el siglo XVIII se observó un progreso en el conocimiento de los cementos. En 1756, John Smeaton fue comisionado para reconstruir el faro de Eddystone, en la costa de Cornish, Inglaterra, y descubrió que el mejor mortero se obtenía cuando se mezclaba puzolana con caliza que contenía una alta cantidad de material arcilloso. Al darse cuenta del importante papel de la arcilla, que hasta entonces no se consideraba conveniente, Smeaton fue el primero en conocer las propiedades químicas de la cal hidráulica, un material que se obtiene al quemar una mezcla de cal y arcilla.

A partir de esto se desarrollaron otro tipo de cementos hidráulicos, tal como el “cemento romano” que obtuvo James Parker por calcinación de nódulos de caliza arcillosa que vinieron a culminar en el “Cemento Portland” que obtuvo en 1824 Joseph Aspdin, un ladrillero, albañil y constructor de Leeds. Este cemento fue preparado calentando una mezcla de arcilla finamente triturada y caliza dura en un horno, hasta eliminar el CO₂; esta temperatura era mucho más baja que la necesaria para la formación de clínker. El prototipo del cemento moderno lo obtuvo en 1841 Isaac Johnson, quien quemó una mezcla de arcilla y caliza hasta formar el clínker, con la cual se produjo la reacción necesaria para la formación de un compuesto cementante.

El nombre del Cemento Portland, concebido originalmente debido a la semejanza de color y calidad entre el cemento endurecido y la piedra de portland –una caliza obtenida en una cantera de Dorset-, se ha conservado en todo el mundo hasta nuestros días para describir un Cemento Portland que se obtiene al mezclar minuciosamente materiales calcáreos y arcillosos u otros materiales que contienen sílice, alúmina, u óxidos de fierro, quemándolos a una temperatura de formación de clínker y por medio de la molienda el clínker resultante que posteriormente se le agrega cal. [1]

2.3 Producción del cemento portland.

El proceso de fabricación del Cemento Portland consiste en moler finamente la materia prima, mezclar minuciosamente en ciertas proporciones y calcinarla en un horno rotatorio de gran dimensión a una temperatura aproximadamente a 1450 °C, donde el material se sintetiza y se funde parcialmente, formando bolas conocidas como clínker. El clínker se enfría y se tritura hasta obtener un polvo fino, después se le adiciona un poco de yeso, y el producto resultante es el Cemento Portland comercial. [1]

La producción del Cemento Portland pasa por los siguientes procesos en general:

Extracción y molienda de la materia prima.

Homogeneización de la materia prima.



Producción del Clinker.

Molienda de Cemento Portland.

Las materias extraídas y seleccionadas se transportan de la cantera, luego se trituran, y se muelen para después dosifican para que el compuesto resultante tenga la composición deseada. El resultado es generalmente una mezcla de material calcáreo, como la caliza y el material arcilloso. El Cemento Portland se fabrica por vía seca como por vía húmeda. En el proceso de vía seca las operaciones de molienda y mezcla se efectúan con materiales secos, y por vía húmeda los materiales se mezclan con agua en forma de lechada.

Se alimenta la materia prima molida en la parte superior del horno. La materia cruda pasa a lo largo del horno en una taza controlada por la inclinación y la velocidad de rotación del horno. En el horno donde las temperaturas de 1400°C a 1550°C cambian químicamente el material crudo en clínker, pequeñas bolas grises del tamaño de una canica.

Al enfriarse el clínker se pulveriza. Durante este proceso se le adiciona una pequeña cantidad de yeso para controlar el tiempo de fraguado del Cemento Portland y mejorar las propiedades de contracción y el óptimo desarrollo de la resistencia. En el molino, el clínker se muele finamente como para a través de un tamiz de 45 micrómetros. Este polvo gris extremadamente fino es el Cemento Portland. [2]

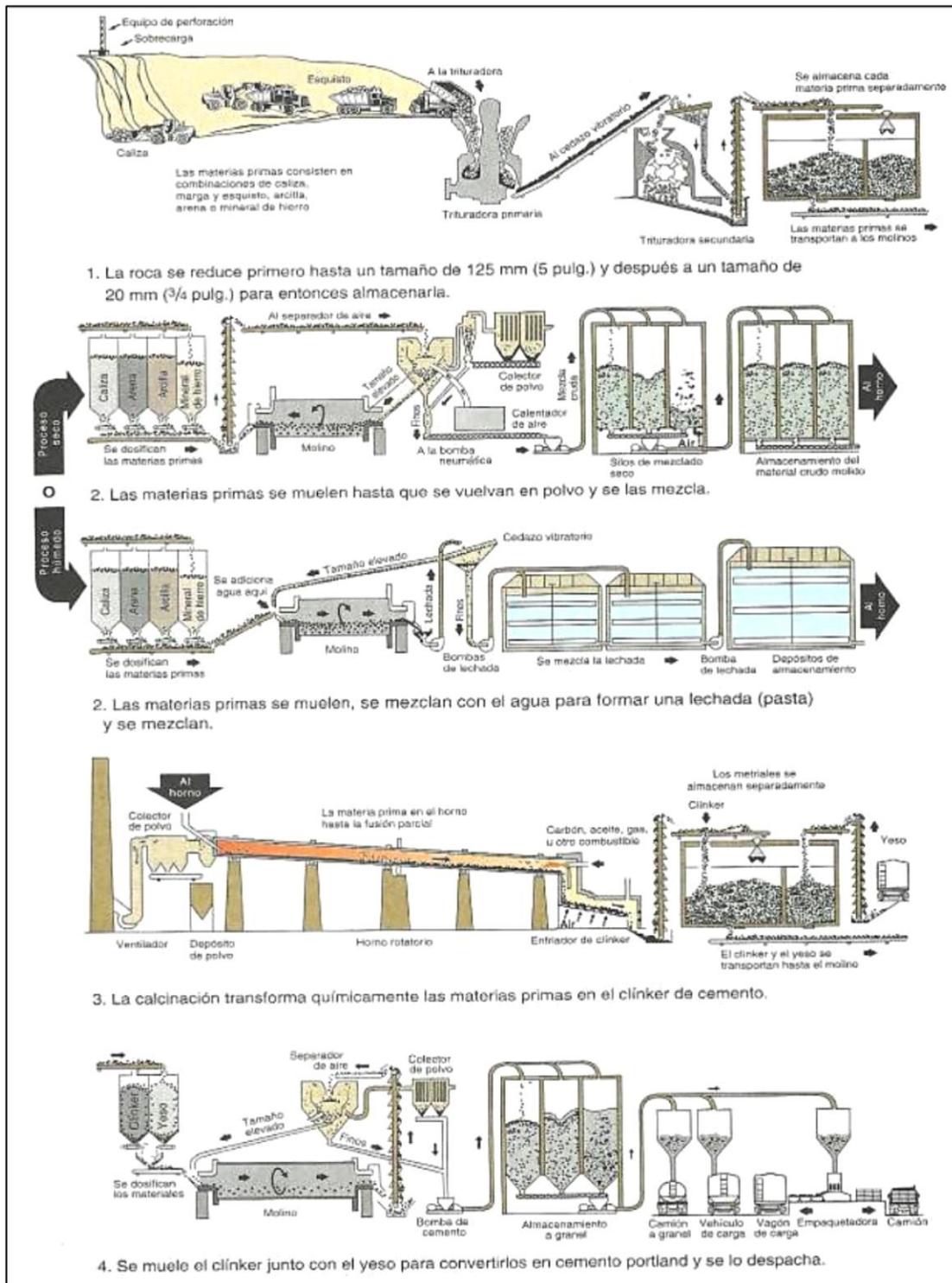


Figura 1.1 Producción tradicional del cemento portland

Kosmatka, S.H., Kerkhoff, B. Panarese, W.C. Tanesi, J., Diseño y control de obras de concreto. Portland Cement Association. Primera edición 2004.



Principales componentes del Cemento Portland.

Neville A. M. y Brooks J. J., Concrete Technology. Pearson Education Limited 2010

Nombre del componente	Composición óxida	Abreviatura
Silicato de tricalcio	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C ₃ S
Silicato de bicalcio	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C ₂ S
Aluminio de tricalcio	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C ₃ A
Aluminoferito Tetracalcico	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	C ₄ AF

Los silicatos, C₃S y C₂S, son los componentes más importantes y los causantes de la resistencia de la pasta hidratada de Cemento Portland. La presencia de C₃A en el Cemento Portland 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 Portland 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 Portland, porque favorece la combinación de cal y sílice. [1]

2.4 Clasificación de los cementos.

Clasificación según la Norma Americana C 150 de la ASTM.

CEMENTO USO

Tipo I	Cemento Portland de uso general.
Tipo II	Genera menor calor de hidratación que el tipo I y es más resistente al ataque por sulfatos. Se utiliza en grandes estructuras en las que el calor de hidratación puede provocar agrietamientos.
Tipo III	Cemento Portland de alta resistencia a temprana edad y rápido fraguado. Es usado cuando se requiere alcanzar una elevada resistencia en pocos días.
Tipo IV	Presenta un calor de hidratación más bajo que el tipo III, se utiliza en construcciones de concreto masivo.
Tipo V	Cemento Portland de alta resistencia a la acción de los sulfatos, se utiliza en estructuras que están en contacto con suelos de aguas freáticas de alto contenido de sulfatos y concretos con aguas negras domésticas concentradas.



Clasificación según la Norma Mexicana NMX-C-414-ONNCEE-2004.

- Por el tipo de Cemento Portland.

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.

- Por su resistencia.

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

Resistencia Rápida. Es la resistencia a la compresión a los 3 días. Para especificar que un tipo de Cemento Portland 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 30 R y 40 R.

- Por características especiales.

NOMENCLATURA	DESCRIPCIÓN
RS	Resistente a los sulfatos.
BRA	Baja Reactividad Álcali-Agregado.
BCH	Bajo Calor de Hidratación.
B	Blanco.



Capítulo 3

Concreto Hidráulico

3.1 Agregados pétreos

Los agregados usados en el concreto ocupan aproximadamente el 75% del volumen del concreto. En cuanto al costo son menos costosos que el Cemento Portland, por lo que es deseable usar la mayor cantidad de ellos que sea posible. Se emplean agregados finos (arena) agregado que pasa la malla No. 4 (malla con alambres separados 1/4" entre sí en ambas direcciones) y gruesos (usualmente grava o piedra triturada). Material que es retenido por la malla No 4. [3]

En un principio, al agregado se le considero un material inerte, no costoso, disperso en la pasta de Cemento Portland 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 Portland. Desde el punto de vista económico, es mejor emplear una mezcla con un mayor contenido de agregado y el menor posible de cemento Portland, aunque el costo debe balancearse con las propiedades deseadas del concreto en estado fresco y endurecido. [1]

3.2 Agua

Prácticamente cualquier agua natural que sea potable y no presente fuerte sabor u olor se 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. [2]

3.3 Aditivos

Se llaman aditivos aquellos productos que se incorporan al hormigón fresco con objeto de mejorar alguna de sus características. (Montoya et al, 2000), A menudo, en lugar de usar un Cemento Portland especial, es posible cambiar alguna de las propiedades del Cemento Portland común usado, para incorporar un aditivo en sustitución o adición. 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 Portland. [1]

Algunos de las comunes y usados se enlistan a continuación:

- 1.- Aceleradores: Utilizados para acelerar el desarrollo de la resistencia del concreto a edades tempranas, así como adelantar el tiempo de fraguado y endurecimiento del mismo.
- 2.- Retardadores: Empleados para retardar el fraguado del hormigón. Son de utilidad en tiempo caluroso cuando la distancia del transporte del hormigón fresco es grande.
- 3.- Plastificantes y Fluidificantes: Son 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. 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 Portland y finos del concreto.
- 4.- Inclusores de Aire: Incluyen en la masa del hormigón infinidad de burbujas de aire, de 20 a 200 micras de diámetro, uniformemente repartidas y siguiendo una curva granulométrica continua que se solapa con la del Cemento Portland y finos de la arena, las cuales interceptan la red capilar del hormigón endurecido, mejorando así su resistencia a las heladas y a los agentes agresivos.
- 5.- Impermeabilizantes: Estos reducen la velocidad a la cual se transmite agua a presión a través del concreto. Algunos aditivos minerales reducen la permeabilidad por medio del proceso de hidratación y de reacción puzolánica.
- 6.- Otros: endurecedores de superficie, colorantes, inhibidores de corrosión, insecticidas, expansivos, etc.

3.4 Revenimiento de un concreto.

Debido a la importancia que tiene el grado de plasticidad o la facilidad para el manejo de un concreto, Para eso se redujo la consistencia a números que determinan los hundimientos de las mezclas en condiciones o ensayos similares; este ensayo es el llamado revenimiento.

Este consiste en medir el hundimiento que sufre un tronco de cono de concreto fresco al retirarle el apoyo para hacer esta prueba se usa un molde metálico, cuyas medidas son 30 cm de altura, 10 cm en su base superior y 20 cm en su base de apoyo (llamado cono de Abrams). La prueba se lleva acabo colocando el molde sobre una superficie horizontal y se llena en tres capas de igual espesor con la revoltura cuya plasticidad se desea clasificar,



picando cada una de las capas 25 veces con una varilla de 5/8" para apisonar el material. Se enrasa el concreto a nivel de la base superior del molde, el cual se saca cuidadosamente hacia arriba. Sobre la superficie horizontal donde descansa el cono queda la revoltura, que por falta de apoyo de las paredes laterales se reventará más o menos, según su fluidez. La diferencia en centímetros entre la altura del molde y la final de la pasta seca, se denomina revenimiento y es tanto mayor cuanto más fluida es la revoltura. [4]

3.5 Sangrado.

Es la migración del agua hacia la superficie superior del concreto en estado fresco, provocada por el asentamiento de los materiales sólidos; es consecuencia combinada de la vibración durante la compactación y la gravedad, es decir, es un tipo de segregación en la que parte del agua de la mezcla tiende a subir a la superficie del concreto recién colado lo que puede ocasionar demasiada humedad en la capa superficial del concreto, el resultado puede ser un concreto poroso, débil y poco durable.

3.6 Cohesión.

Representa la propiedad del concreto que describe la facilidad o dificultad que tiene la pasta de Cemento Portland y la mezcla con los agregados, de atraerse para mantenerse como suspensión en el concreto, evitando así la disgregación de los materiales.

3.7 Trabajabilidad.

Es una propiedad del concreto, asociada al grado de facilidad o dificultad con lo que una mezcla de concreto puede ser mezclada, transportada, colocada y terminada.

3.8 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. [5]

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. [5]

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. [2]



3.9 Diseño de mezclas de concreto

El concreto es básicamente una mezcla de dos componentes: agregados y pasta. La pasta, compuesta de Cemento Portland y agua, une los agregados, normalmente arena y grava (piedra triturada, piedra volcánica) creando una masa similar a una roca. Esto ocurre por el endurecimiento de la pasta en consecuencia de la reacción química del Cemento Portland con el agua, otros materiales cementantes y adiciones minerales se pueden incluir en la pasta. [2]

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. [2]

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 requeridas para la estructura. Las características deben reflejar las necesidades de la estructura. [5]

3.10 Resistencia mecánica del concreto.

La resistencia es el primer parámetro que exigen los usuarios del concreto, ya que es el que garantiza la estabilidad de la estructura. 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.

3.11 Resistencia a compresión.

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-fuerza por centímetros cuadrados (kg-f/cm^2), mega pascales (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. [2]

3.12 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 masa normal es normalmente de 0.7 a 0.8 veces la raíz cuadrada de la resistencia a compresión en mega pascales o de 1.99 a 2.65 veces la raíz cuadrada de la resistencia a compresión en kilogramos por centímetros cuadrados. [2]



La resistencia a la tensión 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 mega pascales o de 1.3 a 2.2 veces la raíz cuadrada de la resistencia a compresión en kilogramos-fuerza por centímetro cuadrado. La resistencia a esfuerzos por cortante (cizallamiento, corte o cizalladura) es del 8% al 14% de la resistencia a compresión. [2]

3.13 Módulo de elasticidad.

El módulo de elasticidad es función principalmente de la resistencia del concreto y de su masa volumétrica. Para concretos con resistencias a la compresión mayores a 400 Kg-f/cm², las NTC (Normas Técnicas de Construcción) especifican ecuaciones diferentes, estas son:

Para concretos con agregado grueso calizo:

$$\text{En MPa} \quad E_c = 2700 \sqrt{f'_c} + 11000$$

$$\text{En kg-f/cm}^2 \quad E_c = 8500 \sqrt{f'_c} + 11000$$

Para concretos con agregado grueso basáltico:

$$\text{En MPa} \quad E_c = 2700 \sqrt{f'_c} + 5000$$

$$\text{En kg-f/cm}^2 \quad E_c = 8500 \sqrt{f'_c} + 50000$$

3.14 Ataque de cloruros al concreto.

El ambiente de pH alto en el concreto (normalmente mayor que 12.5) promueve la formación sobre el acero de una película de protección de óxido no corrosivo. Sin embargo, la presencia de iones de cloruros de los anticongelantes y del agua del mar puede destruir o penetrar en la película. Cuando se alcanza el límite de corrosión por cloruros (aproximadamente 0.15% cloruro solubles en agua por masa de Cemento Portland), una célula eléctrica se forma a lo largo del acero y entre las barras de acero y el proceso electroquímico de la corrosión empieza. Algunas regiones del acero a lo largo de las barras se vuelven en ánodos, descargando corriente en la célula eléctrica; Las áreas del acero que reciben corriente son los cátodos donde los iones de hidróxido se forman. Los iones de hierro e hidróxido forman el hidróxido de hierro, FeOH, el cual más tarde se oxida, formando polvo (óxido de hierro). La formación de polvo es un proceso expansivo el polvo se expande hasta cuatro veces su volumen original el cual induce a la formación de tensiones internas y descascaramientos o descascarillados del concreto sobre el acero de refuerzo. El área de la sección transversal del acero también se puede reducir considerablemente. La resistencia del concreto a los cloruros es buena, pero se la puede



mejorar con una baja relación agua-cemento (0.40), por lo menos siete días de curado y el uso de materiales cementantes suplementarios, tales como cenizas volantes, para reducirse la permeabilidad. El aumento del recubrimiento encima del acero también reduce la migración de cloruros. [6]

3.15 Ataque de sulfatos al concreto.

Hay dos reacciones químicas involucradas en el ataque de sulfatos al concreto.

Reacción del sulfato con hidróxido de calcio liberado durante la hidratación del Cemento Portland, formando sulfatos de calcio (yeso).

Reacción del sulfato de calcio con el aluminato de calcio hidratado, formando sulfoaluminato de calcio (etringita).

Estas reacciones pueden crear presiones suficientes para romper la pasta de Cemento Portland, resultando en desintegración del concreto (pérdida de cohesión de la pasta y de resistencia). El sulfato de calcio ataca el aluminato de calcio hidratado y forma etringita. El sulfato de sodio reacciona con el hidróxido de calcio y aluminato de calcio hidratado, formando etringita o yeso. El sulfato de magnesio ataca, de manera similar, al sulfato de sodio y forma etringita, yeso y también brucita (hidróxido de magnesio). La brucita se forma primeramente en la superficie del concreto, consume el hidróxido de calcio, baja el pH en la solución de los poros y entonces descompone el silicato de calcio hidratado.

El ataque de sulfatos y la cristalización de sales son más severos donde el concreto está expuesto a ciclos de mojado y secado, que donde el concreto está constantemente mojado.



Capítulo 4

Bancos de Material

4.1 Definición.

Lugar donde se extrae material para ser utilizado en una obra civil, en el cual es necesario conocer la clases o clase de suelos existentes en dicha zona, así como el volumen aproximado de materiales, que puedan ser excavables, removibles y utilizables. [7]

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.

4.2 Localización banco de materiales “Joyitas”

El banco de materiales denominado joyitas, se encuentra ubicado a 2160 metros de altitud, el cual pertenece al municipio de Morelia en el Estado de Michoacán de Ocampo. El municipio de Morelia se localiza en el valle de Guayangareo y está situado a los 19° 42' latitud norte y 101° 11' longitud oeste a una altitud de 1920 sobre el nivel del mar, con un área de 78 km² y una población de 729,279 habitantes, colinda al norte con Tarímbaro, Chucandiro y Huaniqueo, al este con Charo y Tzitzio, al sur con Madero, Acuitzio y al oeste con Huiramba, Lagunillas, Quiroga y Coeneo.

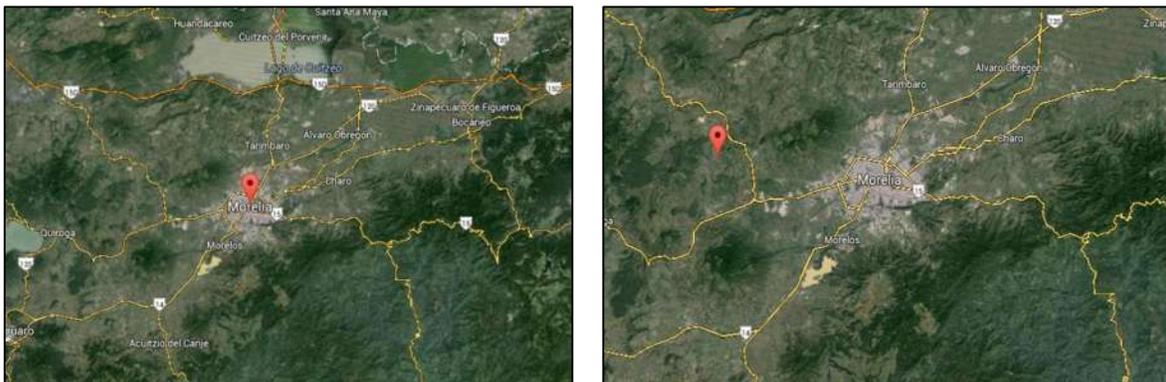


Figura 1.2 Localización del banco de material “Joyitas”

© Google Earth 2014



Del banco de material “Joyitas” se obtuvo el agregado pétreo fino o arena negra, y se encuentra en la carretera Morelia-Jiquilpan en el kilómetro 014+500 desviación D 08000, el tipo de material es tezontle, se le da un tratamiento de trituración parcial y cribado.



Figura 1.3 Vista satelital del banco de material “Joyitas”

© Google Earth 2014

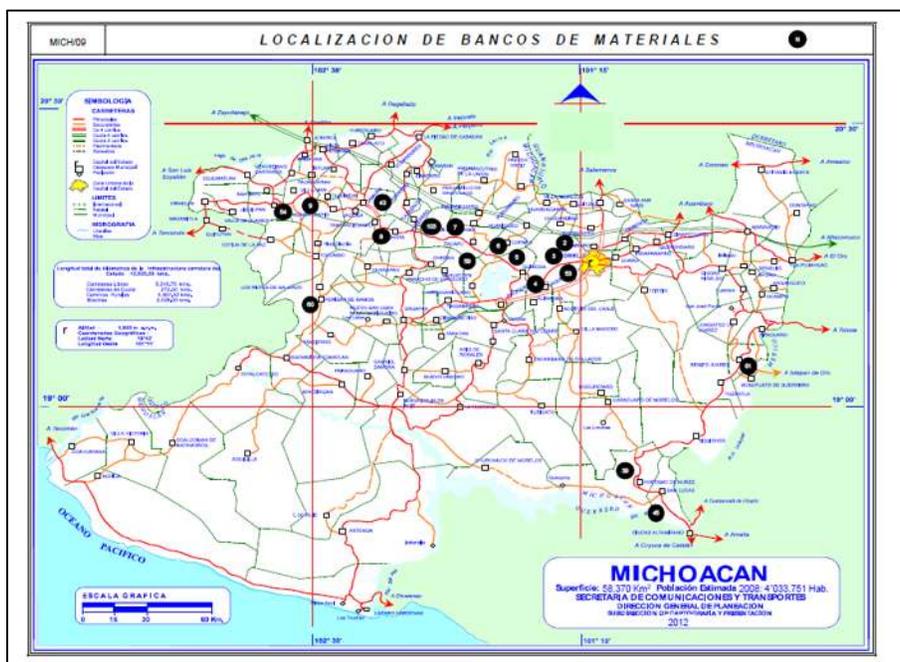


Figura 1.4 Localización de bancos de material en Michoacán

Inventario de bancos de materiales 2012, SCT Michoacán



SCT		CENTRO SCT MICHOACAN										MICH/10		
SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES		UNIDAD GENERAL DE SERVICIOS TECNICOS												
INVENTARIO DE BANCOS DE MATERIALES 2012														
CARRETERA: MORELIA - JIQUILPAN														
BDO. NUM.	NOMBRE	KILOMETRO	DEVIACION	FECHA ESTUDIO	FECHA DE ACT.	TIPO PROP.	TIPO MATERIAL	TRAYAMIENTO	VOLUMEN X 1000 m ³	ESPEZOR DESPALME (m)	USOS PROB.	USO EXPL.	RESTROC. ECOLOG.	ASPEC. ECONOM.
0002	JOYITAS	014+500	D 00000	ENE-95	JUL-09	PART.	TEZONTLE	TPC	0075	00.5	1-2-5-10	NRL	NO EXISTEN	ACER.
0003	CERRITOS	016+000	D 00500	FEB-95	ABR-12	EJID.	TEZONTLE	TPC	0030	01.0	1-2-5-10	NRL	NO EXISTEN	REC.
0004	EL TIGRE	032+000	I 00100	JUN-95	ABR-12	PART.	TEZONTLE	TPC	0085	01.0	1-2-5	NRL	NO EXISTEN	CONVE.
0005	SANTA FE	047+000	D 01000	ABR-95	ABR-12	EJID.	TEZONTLE	TPC	0045	01.0	1-2-5	NRL	NO EXISTEN	REC.
0006	COMANEA	064+500	D 00500	ABR-95	ABR-12	EJID.	TEZONTLE	TPC	0100	01.0	1-2-5	NRL	NO EXISTEN	REC.
0007	LAS CABRAS	094+000	D 02000	MAR-95	JUL-09	EJID.	TEZONTLE	TPC	0020	00.5	1-2-5	NRL	NO EXISTEN	CONVE.
0008	LOS NOGALES	122+700	I 03000	JUL-95	ABR-12	EJID.	TEZONTLE	TPC	0100	01.0	1-2-5	NRL	NO EXISTEN	CONVE.
0009	CERRO COLORADO	177+500	I 01500	AGO-95	AGO-08	EJID.	TEZONTLE	TPC	0100	01.0	1-2-5	NRL	NO EXISTEN	CONVE.
0043	LA BEATILLA	133+100	D 01600	MAY-04	ABR-12	PART.	BASALTO	TTC	0050	00.5	5-6-8-10	NRL	NO EXISTEN	CONVE.
0053	SAN LORENZO	007+100	I 03300	MAY-04	OCT-11	PART.	BASALTO	TTC	0050	00.5	5-6-8-10	NRL	NO EXISTEN	CONVE.
0054	TOTALAN	194+500	I 03500	FEB-95	MAY-07	PART.	TEZONTLE	TPC	0100	01.0	1-2-5	NRL	NO EXISTEN	CONVE.
0059	LA MOJONERA	074+000	I 05000	OCT-95	JUL-09	PART.	TEZONTLE	TPC	0100	00.5	1-2-5	NRL	NO EXISTEN	ACER.
0103	EL PUEBLITO	095+000	D 00050	JUN-01	JUL-09	EJID.	TEZONTLE	TPC	0080	02.0	2-5	NRL	NO EXISTEN	CONVE.
CARRETERA: PARICUARO – SUSUPUATO														
0061	PUEBLO VIEJO	010+500	I 03000	AGO-95	AGO-06	EJID.	TEZONTLE	TPC	0120	01.0	5	NRL	NO EXISTEN	CONVE.
CARRETERA: TEMAZCAL – CD. ALTAMIRANO														
0039	TARRITO HORDO	183+000	D 00700	JUN-95	OCT-09	FED.	GRAVA – ARENA	TPC	0030	00.0	1-2-5-7	NRL	NO EXISTEN	REC.
0045	TACUPA II	222+000	D 01000	JUN-95	OCT-09	FED.	GRAVA – ARENA	TPC	0040	00.0	1-2-5-7	NRL	NO EXISTEN	CONVE.
CARRETERA: PERIBAN – BUENA VISTA														
0060	PERIBAN	004+300	D 00500	NOV-95	AGO-05	PART.	TEZONTLE	TPC	0100	00.5	1-2-5	NRL	NO EXISTEN	REC.

Figura 1.5 Inventario de bancos de material en Michoacán
Inventario de bancos de materiales 2012, SCT Michoacán

4.3 Localización banco de materiales “El Colegio”

La localidad de El Colegio está situada en el Municipio de Tarímbaro en el Estado de Michoacán de Ocampo. El Colegio está a 1880 metros de altitud. El municipio de Tarímbaro está situado a los 19° 46' latitud norte y 101° 7' longitud oeste con una altitud de 1860 sobre el nivel del mar, con una población de 4647 habitantes, colinda al norte con Copándaro y Cuitzeo, al este con Álvaro Obregón, al sur con Morelia y Charo, y al oeste con Chucándiro. Su distancia a la capital del estado es de 12 km.



Figura 1.6 Localización del banco de material “El Colegio”

© Google Earth 2014



Figura 1.7 Vista satelital del banco de material “El Colegio”

© Google Earth 2014

Del banco de material “El Colegio” se obtuvo el agregado pétreo grueso o grava triturada, se encuentra en la carretera Jacona–Los Reyes en el kilómetro 008+000 desviación I 012 00, el tipo de material es basalto, se le da un tratamiento de trituración total.

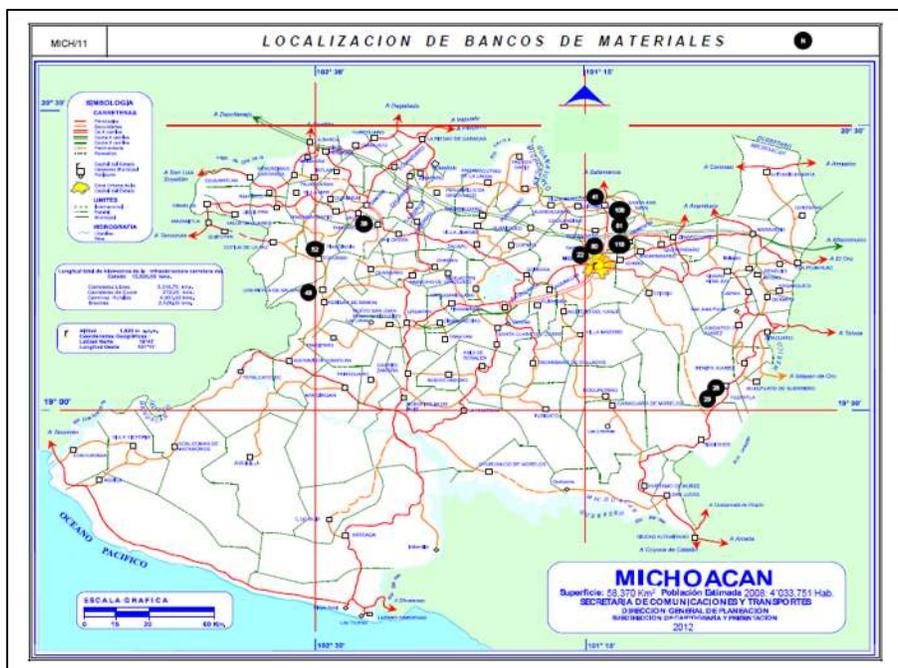


Figura 1.8 Localización de bancos de material en Michoacán

Inventario de bancos de materiales 2012, SCT Michoacán



SCT		SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES		CENTRO SCT MICHOACÁN		UNIDAD GENERAL DE SERVICIOS TÉCNICOS		MICH/12						
INVENTARIO DE BANCOS DE MATERIALES 2012														
CARRETERA: JACONA – LOS REYES														
BOC. NUM.	NOMBRE	KILOMETRO	DESVIACION	FECHA ESTUDIO	FECHA DE ACT. PROP.	TIPO	TIPO MATERIAL	TRATA-MIENTO	VOLUMEN X 1000 m ³	ESPESOR (ESPALME) (cm)	USOS PROB.	USO EXPL.	RESTRIC. ECOLÓG.	ASPEC. ECONOM.
0036	JACONA	003+000	D 00100	DIC-95	MAY-07	EJID.	TEZONTLE	TPC	0050	01.0	1-2-5	NR.	NO EXISTEN	REC.
0049	LOS LIMONES	054+420	D 09000	SEP-95	MAY-07	PART.	TEZONTLE	TPC	0050	01.0	1-2-5	NR.	NO EXISTEN	ACER.
CARRETERA: MORELIA – SALAMANCA														
0022	EL COLEGIO	009+000	I 01200	DIC-02	OCT-09	PART.	BASALTO	TT	0050	00.7	1-2-5-6-8	GR.	NO EXISTEN	CONVE.
0041	EL MELON	045+000	I 04800	JUN-95	AGO-06	PART.	TEZONTLE	TPC	0050	01.0	1-2-5	NR.	NO EXISTEN	CONVE.
0080	MESÓN NUEVO	014+250	I 00300	MAY-04	OCT-09	PART.	BASALTO	TT	0050	00.5	1-2-5-6-8	GR.	NO EXISTEN	CONVE.
0081	SAN JUAN TARARAMBO	026+900	D 01500	MAY-04	OCT-09	EJID.	CONG. CALIZO	TPC	0050	00.5	1-2-5	NR.	NO EXISTEN	CONVE.
0109	STA. ANA-MAYA	047+200	D 04500	MAY-04	MAY-04	PART.	BASALTO	TT	0050	00.7	1-2-5-6-8	GR.	NO EXISTEN	CONVE.
0118	AGREGADOS DE MEXICO	022+000	D 00100	OCT-08	OCT-09	PART.	BASALTO	TT	0050	00.5	1-2-5-6-8	GR.	NO EXISTEN	CONVE.
CARRETERA: TOCUMBO – COTIJA														
0052	TOCUMBO	003+000	D 02000	AGO-95	AGO-06	EJID.	TEZONTLE	TPC	0075	01.0	1-2-5	NR.	NO EXISTEN	CONVE.
CARRETERA: ZITACUARO – ENT. EL LIMON DE PAPTZINDAN														
0028	LAS JUNTAS	065+000	D 01500	ENE-95	OCT-09	FED.	GRAVA – ARENA	TPC	0020	00.0	1-2-5-7	NR.	NO EXISTEN	CONVE.
0029	BEJUCALILLO	074+800	D 00300	NOV-95	JUL-09	FED.	GRAVA – ARENA	TPC	0020	00.0	1-2-5-7	NR.	NO EXISTEN	REC.

Figura 1.9 Inventario de bancos de material en Michoacán
 Inventario de bancos de materiales 2012, SCT Michoacán



Capítulo 5

Análisis de los Materiales

5.1 Tipo de cemento portland empleado.

El tipo de Cemento Portland empleado es CPC 30R, que de acuerdo a su designación es un Cemento Portland Compuesto de la marca Holcim Apasco. Este cumple ampliamente con los requisitos de la calidad estipulados por la norma mexicana NMX-C-414-ONNCCE.

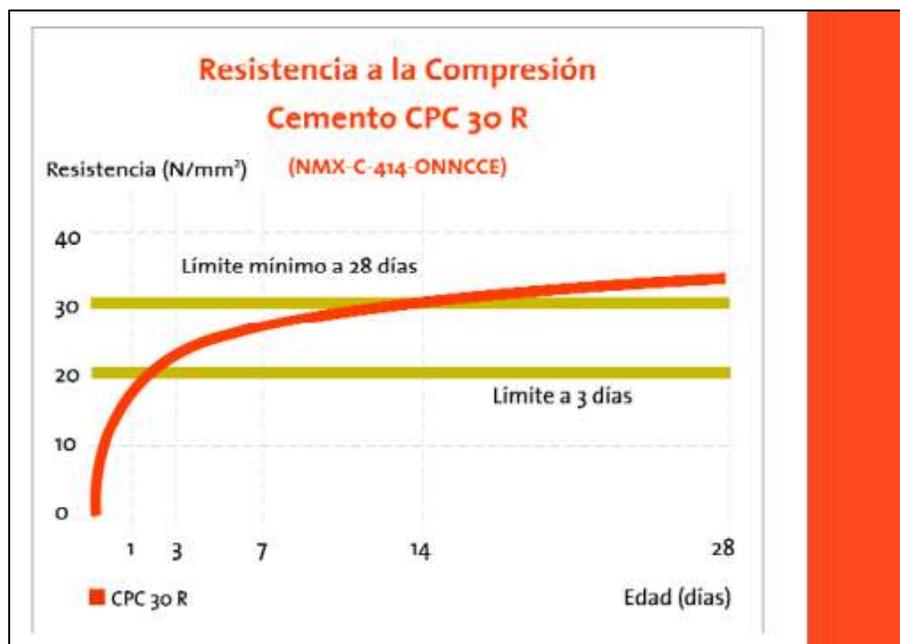


Figura 1.10 Resistencia a compresión de cemento APASCO CPC 30 R

I. Densidad aparente del cemento portland.

Objetivo.

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



Equipo.

- Muestra representativa del Cemento Portland tal y como se recibe menos de indicaciones especiales, como calcular la densidad en una muestra exenta de perdida por calcinación.
- Frasco de Le Chatelier.
- Balanza con aproximación al décimo 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.

- 1.- Se vierte el líquido (petróleo) no mezclable con agua en el frasco de Le Chatelier hasta un nivel entre 0 y 1 ml, como quedará líquido adherido en las paredes del frasco además de burbujas de aire.
- 2.- 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.
- 3.- Se toma la lectura en la parte inferior del menisco y se anota como lectura inicial del líquido Li.
- 4.- Se pesan alrededor de 64 gramos de Cemento Portland, con la finalidad que al verterlo en el frasco el líquido alcance a sobrepasar las lecturas superiores a la esfera intermedia.
- 5.- Se sujeta el frasco en forma vertical, se agrega el Cemento Portland muy lentamente Con la ayuda de un embudo de manera que el Cemento Portland vaya pasando al interior sin obstruirse.
- 6.- Se coloca el tapón del frasco se inclina y rueda horizontalmente de manera de lograr que salga el aire atrapado en el Cemento Portland y baje el que haya quedado en las paredes.
- 7.- Se repite el paso no. 2 para lograr que se establezca nuevamente el nivel del líquido hasta lograr que sea repetidamente la misma lectura.
- 8.- Se toma la lectura de la parte inferior del menisco tomando como la lectura final Lf.



Cálculo.

Volumen de cemento = Lf-Li

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



Figura 1.11 Densidad aparente del Cemento Portland

Tabla 1.1 Densidad aparente del cemento portland

Muestra	M (g)	Li (cm ³)	Lf (cm ³)	D (g/cm ³)
1	64	0,35	21,1	3,08
2	64	0,8	21,85	3,04
			Promedio	3,06

5.2 Metacaolín.

El metacaolín es un material cementante suplementario, dado que es un aluminosilicato activado térmicamente, que se produce al calcinar el caolín a temperaturas aproximadas a 550°C, produciéndose una transformación de su estructura cristalina. [8]



Figura 1.12 Metacaolín



El Metacaolín (Mk) es una puzolana artificial de uso conocido en concretos. Es un derivado de la calcinación de arcillas caoliníficas y está constituido básicamente por compuestos a base de sílica (SiO_2) y alúmina (Al_2O_3) en fase amorfa, proporcionando alta reactividad con el hidróxido de calcio o portlandita $\text{Ca}(\text{OH})_2$, resultante de la hidratación del Cemento Portland. La portlandita es un cristal frágil y soluble, y es responsable de la pérdida de resistencia mecánica y durabilidad del concreto. [9]

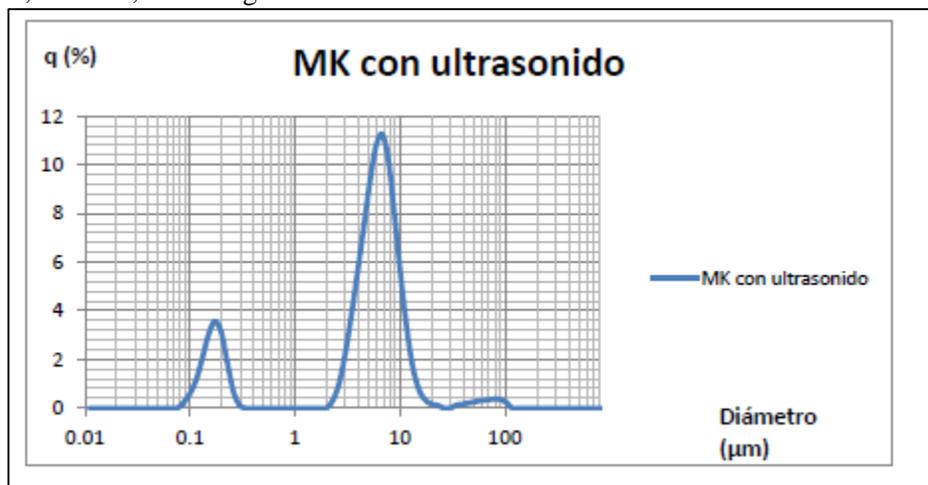
Fundamentalmente se aplica centrado en el aprovechamiento de su composición química y reactividad como puzolana artificial en la producción de morteros y concretos, contribuyendo en las resistencias mecánicas a edades tempranas y reduciendo la permeabilidad. [8]

Su color blanco le permite aplicaciones especiales y ser utilizado en la producción de cemento blanco con adiciones. La aplicación del metacaolín o MK permite el refinamiento de poros. [8]

Siendo un polvo muy fino, tiene como una de sus finalidades situarse entre los granos de Cemento Portland, llenando los vacíos dejados por estos (efecto filler). Este efecto lleva a un aumento en la compactación del hormigón con consecuente reducción de su porosidad. La otra finalidad del Metacaolín (MC), aún más importante, es la reacción con la portlandita, conocida como reacción Puzolánica. Por ser un silicato de aluminio, promueve reacciones con el hidróxido de calcio formando cristales de (Silicato de Calcio Hidratado), y otros cristales resistentes, pertenecientes al grupo de la gellenita, cuya composición es del tipo silicoaluminato de calcio hidratado $5\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. Esta función puzolánica de alto desempeño lleva a un incremento en la resistencia a compresión y en otras propiedades del hormigón. [9]

Grafica 1.1 Tamaño de partícula del metacaolín

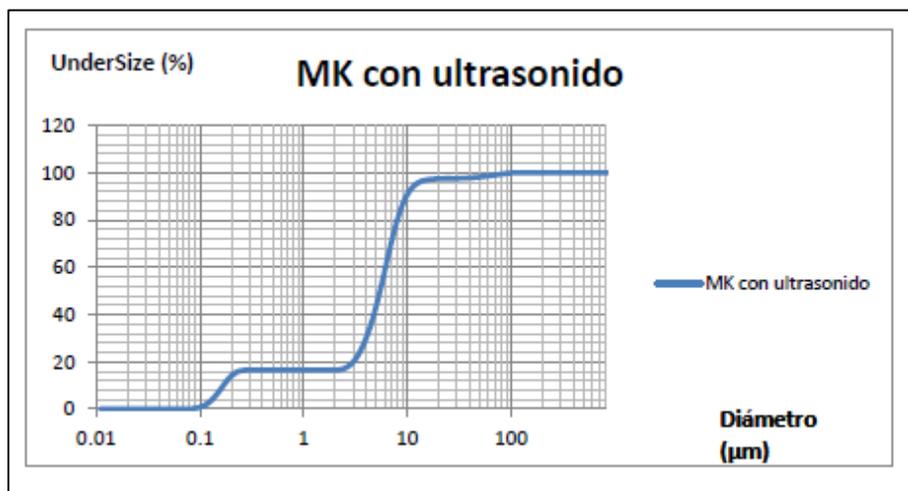
Ing. Mauricio Arreola Sánchez, Actividad puzolánica de materiales (sustitutos parciales del cemento), para mejorar la durabilidad de morteros para reparación y/o construcción de estructuras de concreto, Morelia, Mich. Agosto de 2013.





Grafica 1.2 Distribución del tamaño de partícula del metacaolín

Ing. Mauricio Arreola Sánchez, Actividad puzolánica de materiales (sustitutos parciales del cemento), para mejorar la durabilidad de morteros para reparación y/o construcción de estructuras de concreto, Morelia, Mich. Agosto de 2013.



En las gráficas anteriores se muestra que el Metacaolín tiene una pequeña porción (20%) de partículas de entre 0.1 y 0.2µm y el resto de los tamaños se concentran entre 3 y 10µm. En la prueba de fluorescencia, se obtuvo que el Metacaolín tiene un contenido de aluminosilicatos del 96.36% y un contenido de óxidos de hierro del 0.5%.

Tabla 1.2 Contenido aluminosilicatos del metacaolín

Ing. Mauricio Arreola Sánchez, Actividad puzolánica de materiales (sustitutos parciales del cemento), para mejorar la durabilidad de morteros para reparación y/o construcción de estructuras de concreto, Morelia, Mich. Agosto de 2013.

MK			
Componente	%	Componente	%
SiO ₂	51.09	SO ₃	0.036
Al ₂ O ₃	45.27	ZrO ₂	0
TiO ₂	1.749	Cl	0
Fe ₂ O ₃	0.487	Cr ₂ O ₃	0.033
MgO	0	SrO	0
MnO	0	ZnO	0
CaO	0.032	PXC/PPI	0.913
Na ₂ O	0.219	BaO	0
K ₂ O	0.172	P ₂ O ₅	0
Suma = 100.001			

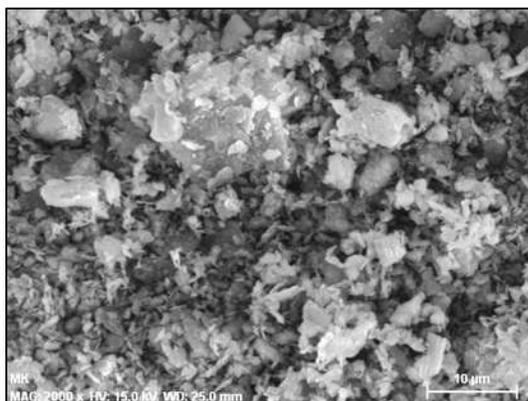


Figura 1.13 Forma y tamaño de la partícula del metacaolín

Ing. Mauricio Arreola Sánchez, Actividad puzolánica de materiales (sustitutos parciales del cemento), para mejorar la durabilidad de morteros para reparación y/o construcción de estructuras de concreto, Morelia, Mich. Agosto de 2013.

5.3 Nanosilíce o humo de sílice.

Es un material puzolánico de alta reactividad y es un subproducto de la producción de metal silíceo o ferro- silíceo. Con partículas alrededor de 100 veces más pequeñas que un grano promedio de Cemento Portland, Se recolecta de la chimenea de gases de los hornos de arco eléctrico. El humo de sílice está disponible como un polvo densificado o en forma de material acuoso. La norma para el humo de sílice es la ASTM C124. Generalmente se utiliza entre 5 y el 12 % en masa de los materiales cementantes para las estructuras de concreto que necesitan alta resistencia o una permeabilidad significativamente reducida al agua. [10]



Figura 1.14 Nanosilíce

El nanosilíce es un nano aditivo, a base de sílice con partículas esféricas de alta pureza de tamaño nanométrico, con una distribución de tamaños idónea. Por su elevado poder de fluidificación y su capacidad de favorecer la evolución de resistencias, lo hace ideal para su empleo en cementos y hormigones. El nanosilíce tiene gran poder plastificante y reductor de agua, permeabilidad nula o casi nula por lo que aumenta la durabilidad del concreto, evita la segregación y la excesiva exudación y no produce retrasos de fraguado. Las



reacciones químicas en el concreto convierten las nanopartículas de sílice en nanopartículas de cemento. [11]

El uso del nanosílice compensa la menor cantidad de cemento que debe emplearse y mejora la trabajabilidad del cemento con baja consistencia. Además, se obtiene un excelente acabado superficial sin presencia de fisuras. Además, se consigue reducir en un 12 % el empleo de materiales con lo que se obtiene un beneficio económico considerable. [11]

El concreto con humo de sílice es utilizado típicamente con bajos contenidos de agua con aditivos reductores de agua de alto rango y estas mezclas tienden a ser cohesivas y más viscosas que el concreto corriente. Las mezclas de concreto pueden ser dosificadas para producir la resistencia requerida y la velocidad de ganancia de resistencia requerida y la velocidad de ganancia de resistencia que sea requerida para la aplicación. Con las adiciones que nos sean humo de sílice, la velocidad de ganancia de resistencia puede ser más baja inicialmente, pero la ganancia de resistencia es continuada por un periodo de tiempo más largo comparado con las mezclas que sólo poseen Cemento Portland, lo que frecuentemente da como resultado resistencias últimas más elevadas. [10]

El Nanosílice es básicamente dióxido de silicio (normalmente más del 85%) en una forma no cristalina (amorfa). Por ser un material transportado por el aire, tal como la ceniza volante, presenta una forma esférica. Se trata de un material extremadamente fino, con partículas con menos de 1 μm de diámetro.

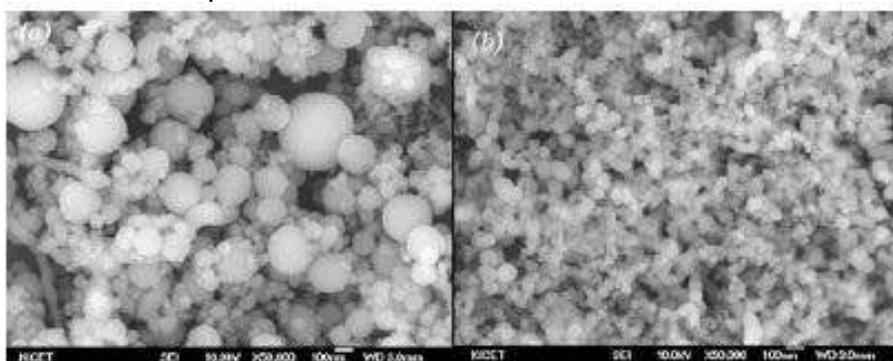


Figura 1.15 Forma y tamaño de la partícula del nanosilíce

5.4 Características del aditivo empleado.

El aditivo empleado es el CRISOTAN R-5 fabricado por Christianson S.A. de C.V. En concretos: superplastificante y reductor de agua.

De acuerdo a su ficha técnica nos brinda los siguientes beneficios:

- 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 Portland, manteniendo la resistencia a la compresión.
- Permite un tiempo menor para desmoldar el concreto pretensado.
- Minimiza la energía necesaria para el curado al vapor.
- Mejora el acabado en concretos pre moldeados.

Tabla 1.3 Características del fluidificante CRISOTAN R-5

Tipo	CRISOTAN R-5 Polvo	CRISOTAN R-5 liquido
Apariencia	Polvo Fino	Liquido Ámbar Oscuro
% Ingrediente Activo	90%	40%
Densidad g/ml	-	1.2
Solubilidad en Solución al 10%	Clara	Clara

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 Portland 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 Portland, 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 Agregados pétreos

5.5.1 Arenas.

I. Humedad superficial y de absorción

Objetivo

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

Equipo

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



- Una espátula.

Procedimiento

1.- La muestra de 2 kilogramos se pone a saturar durante 24 horas, como mínimo.



Figura 1.16 Muestra de arena saturada

2.- Al término de este tiempo se seca superficialmente, la arena por medio del molde troncocónico como se describe a continuación.

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



Figura 1.17 Humedad superficial y de absorción en arenas

3.- Cuando la arena esta seca superficialmente hay que pesar una muestra de 300 gramos, registrando esta masa como masa saturada y superficialmente seco (Mh).



Figura 1.18 Pesando 300 gramos de arena seca superficialmente

4.- La muestra de 300 gramos, se coloca en una charola para secarla hasta una masa constante, o sea, hasta eliminar completamente el agua.



Figura 1.19 Secando arena para eliminar el contenido de agua

5.- Para saber cuándo el material está seco se coloca el cristal sobre el material, si no lo empaña retiramos el material y lo dejamos enfriar un poco, procediendo a secarlo y



registrar la masa como masa en seco del material (M_s), si aún se empaña el cristal hay que seguir secando el material para secarlo completamente.

Cálculo:

$$\% \text{ HUMEDAD DE ABSORCIÓN} = \frac{M_h - M_s}{M_s} 100$$

Tabla 1.4 Humedad superficial y de absorción

Muestra	1	2	3
Masa húmeda (g)	300	300	300
Masa seca (g)	292.9	293.2	289.2
% Absorción	2.42	2.32	3.73
Promedio	2.83 %		

II. Densidad de la arena

Objetivo

Determinar la masa por 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 décimo de gramo.

Procedimiento

1.-Se pone a saturar la arena en una charola durante 24 horas, al término de este tiempo se seca superficialmente utilizando el procedimiento descrito en la prueba de humedad de absorción con el molde troncocónico.



Figura 1.20 Muestra de arena saturada

2.-Del material seco se toma una porción de 600 a 800 gramos, pesados al décimo de gramo, la cual se coloca en el frasco.

3.-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.



Figura 1.21 Añadiendo agua destilada a la muestra

4.-Se llena totalmente el frasco con agua destilada, hasta tener el borde ligeramente rebasado, a continuación se coloca la tapa de vidrio sobre la boca del frasco, procurando que no queden burbujas de aire atrapado entre la superficie del agua y el vidrio esmerilado.



Figura 1.22 Expulsando burbujas de aire de la muestra

5.-Se limpia el agua exterior del frasco y se pesa este al décimo de gramo.

6.-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

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

Dónde:

As: Arena Húmeda.

Vf: Volumen del Frasco.

F: Masa del Frasco.

K: Masa del Frasco + Agua + Arena.

Tabla 1.5 Densidad de la arena

Muestra	1	2	3
Arena húmeda (g)	300	300	300
Volumen Frasco (g)	450	450	450
Masa arena + agua + frasco (g)	925	925.2	927.6
Densidad	2.4	2.4	2.45
Promedio	2.42		

III. Masa volumétrica seca y suelta (MVSS)

Objetivo

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



Equipo

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

Procedimiento

1.-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.

2.-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.



Figura 1.23 Pesando muestra de arena para obtener MVSS en arena

3.-A la masa obtenida anteriormente se le resta la masa del recipiente para obtener la masa de la arena (P).

Cálculos

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



Tabla 1.6 Masa volumétrica seca y suelta en arena

Muestra	1	2	3
Masa en bruto(g)	5600	5700	5700
Tara(g)	1945	1945	1945
Masa neta (g)	3655	3755	3755
Volumen(cm ³)	2783	2783	2783
Masa volumétrica(g/cm ³)	1313.33	1349.26	1349.26
Promedio	1337.29		

IV. Masa volumétrica seca y varillada (MVSV)

Objetivo

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

Equipo

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

Procedimiento

1.-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.

2.-Debe de cuidarse que la varilla no penetre en la capa anterior al dar los golpes.

3.-Se enrasa el recipiente con la varilla punta de bala y se limpian todas las partículas que hayan quedado adheridas a las paredes exteriores.



Figura 1.24 Llenando recipiente para la prueba de MVSV en arena

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

Cálculos

$$MVSV = \frac{M}{V} \left(\frac{g}{cm^3} \right)$$

Tabla 1.7 Masa volumétrica seca y varillada en arena

MUESTRA	1	2	3
Masa en bruto(g)	5994	5954	5938
Tara(g)	1945	1945	1945
Masa neta(g)	4049	4009	3993
Volumen(cm ³)	2783	2783	2783
Masa volumétrica(g/cm ³)	1454.90	1440.53	1434.78
Promedio	1443.41		

V. Granulometría

Objetivo

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

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, 200 y charola con su respectiva tapa.



- Una balanza con capacidad de 2160 gramos y aproximación al décimo de gramo.
- Charolas, espátulas y parrilla eléctrica.
- Cepillos de cerdas y alambre.
- Hojas de papel.

Procedimiento

- 1.-Se toma una muestra representativa de arena de aproximadamente 600 gramos.
- 2.-Se seca la muestra hasta una masa constante, a una temperatura no mayor de 110 °C.
- 3.-Cuando el material este seco y frio, se toman 500 gramos, pesados al décimo de gramo.



Figura 1.25 Muestra de 500 gramos de arena para prueba de granulometría

- 4.-Se colocan las mallas en orden decreciente (4, 8, 16, 30, 50, 100, 200 y charola), se coloca la muestra de 500 gramos en un agitador y se tapa.
- 5.-Se agita el juego de mallas durante un tiempo de 10 minutos como mínimo, el agitado puede ser a mano o mecánicamente.



Figura 1.26 Agitando el juego de mallas durante 10 minutos mecánicamente



6.-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 para desalojar el material que se encuentra en los espacios de la malla, las mallas 50, 100 y 200 se limpiarán con cepillo de cerdas.



Figura 1.27 Muestras de los materiales retenidos en las mallas

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



Figura 1.28 Pesando las muestras de los materiales retenidos en las mallas

Cálculos

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

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



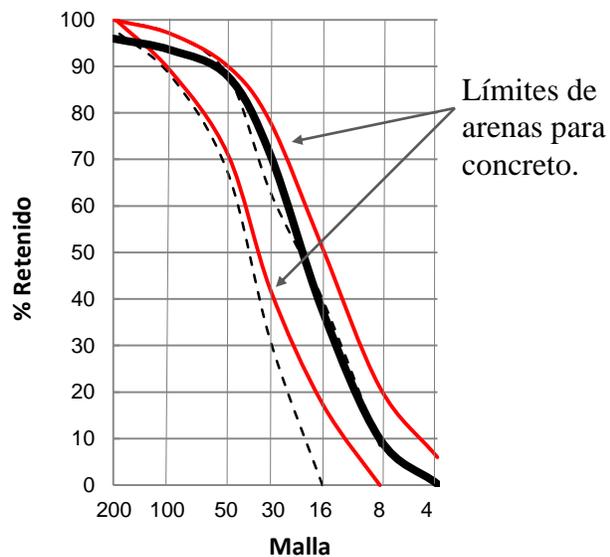
$$M.F. = \frac{\text{Suma del porcentaje acumulado de la malla 8 a 100}}{100}$$

Tabla 1.8 Granulometría en arena

Muestra promedio			
Masa de la muestra: 499.1 g			
Malla	Masa retenida parcial (g)	% retenido parcial	% retenido acumulado
4	1.27	0.25	0.25
8	48.13	9.64	9.90
16	137.90	27.63	37.53
30	166.90	33.44	70.97
50	84.23	16.88	87.84
100	28.23	5.66	93.50
200	12.30	2.46	95.97
Charola	20.13	4.03	100.00
Sumas	499.1	100	

$$M.F. = \frac{299.74}{100} = 2.99 \approx 3.00$$

Gráfica 1.3 Granulometría en arena





VI. Colorimetría.

Objetivo

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

- 1.- Se toma una muestra representativa de arena de 500 gramos aproximadamente.
- 2.- Se seca hasta una masa constante a una temperatura no mayor a 110°C.
- 3.- 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.
- 4.- Se tapa la botella y se agita fuertemente dos minutos como mínimo posteriormente se dejará reposar 24 hrs.
- 5.- Al cabo de este tiempo se comparará el color del líquido de la botella con el vidrio de color normal.



Figura 1.29 Prueba de colorimetria en arena



El resultado obtenido fue cercano a uno con respecto al vidrio de color normal, lo que significa ausencia de materia orgánica en la arena.

5.5.2 Gravas

I. Humedad de absorción.

Objetivo.

Determinar la capacidad máxima de absorción de una grava expresándola en porcentaje respecto a su masa en 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 décimo de gramo.

Procedimiento.

1.- 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.

2.-Pasadas las 24 horas con una franela, se seca superficialmente la muestra de grava aproximadamente 300 gramos, anotando este valor como (Mh) masa saturada y superficialmente seca.

3.- Se procede a colocar este material en una charola para secarlo en la parrilla eléctrica, para saber cuándo se 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 esta masa como (Ms) masa seca del material.

Cálculos

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



Figura 1.30 Secado y pesado de la grava para la prueba de humedad de absorción

Tabla 1.9 Especificaciones técnicas para la humedad de absorción

Especificaciones	
Tipo de Absorción	% de Absorción
Baja	Menos de 2%
Media	Entre el 2% y 4%
Alta	Más de 4%

Tabla 1.10 Humedad de absorción

Muestra	1	2	3
Masa húmeda	300.9	300.2	300.3
Masa seca	296.3	296.8	297.6
Agua absorbida	4.6	3.4	2.7
% Absorción	1.55	1.15	0.91
Promedio	1.20		

En base a las especificaciones y a la tabla mostrada anteriormente, el resultado de la muestra de grava la ubica en el rango de baja.

II. Densidad.

Objetivo

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

Equipo

- Muestra representativa de grava.
- Probeta Graduada.
- Pignómetro.
- Franela.



- Charola

Procedimiento

1.- Se toma una muestra de grava saturada y superficialmente seca de 300 grs., para obtenerlo se deja saturando la grava retenida en la malla 3/8 y que pasa la 3/4 durante 24 horas, secándola superficialmente con una franela, esta masa se registra como la masa de la muestra (M).

2.- Se llena el Pignómetro hasta el nivel del orificio con agua, se coloca en una superficie plana y se procede a colocar la muestra de grava dentro, recibiendo el agua desalojada con una probeta graduada. Cuando se haya terminado de colocar la grava dentro del Pignómetro esperamos a que escurra el agua desalojada y tendremos en la probeta el volumen del agua que corresponde al volumen (V) de las partículas de grava.

Cálculo.

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



Figura 1.31 prueba de la densidad en gravas

Tabla 1.11 Densidad en gravas

Muestra	1	2	3
Volumen desalojado (ml)	112	110	116
Masa húmeda (g)	300.7	300.5	300.7
Densidad relativa	2.68	2.73	2.59
Promedio	2.67		



III. Masa volumétrica seca y suelta (MVSS).

Objetivo

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

Equipo

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

Procedimiento.

- 1.- Se seca la muestra hasta una masa constante, esto se puede realizar extendiendo el material con el rastrillo al sol para lograr el secado.
- 2.- Cuando el material este completamente seco, se hace la prueba en el material.
- 3.- Primeramente se determina la masa 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.
- 4.-Se procede a enrasarlo con la varilla punta de bala o con la mano, que es más práctico, ya que esta enrasado se pesa, obteniendo así la masa del recipiente más la masa del material.

Cálculo.

$$M.V.S.S. = \frac{MASA DE LA GRAVA}{VOLUMEN DE LA GRAVA}$$

Tabla 1.12 Masa volumétrica seca y suelta en grava

Muestra	1	2	3
Masa en bruto(g)	17750	17760	18250
Tara(g)	2930	2930	2930
Masa neta (g)	14820	14830	15320
Volumen(cm ³)	10600	10600	10600
Masa volumétrica (g/cm ³)	1.398	1.399	1.445
Promedio	1.414		



IV. Masa volumétrica seca y varillada (MVSV).

Objetivo

Determinar la masa de la grava por unidad de volumen cuando es sometida a cierto grado de compactación.

Equipo.

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

Procedimiento.

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

Cálculo.

$$M.V.S.V. = \frac{MASA DE LA GRAVA}{VOLUMEN DE LA GRAVA}$$

Tabla 1.13 Masa volumétrica seca y varillada en grava

Muestra	1	2	3
Masa en bruto(g)	18875	18860	18880
Tara(g)	2930	2930	2930
Masa neta (g)	15945	15930	15950
Volumen(cm ³)	10600	10600	10600
Masa volumétrica (g/cm ³)	1.504	1.503	1.505
Promedio	1.504		



V. Granulometría en grava.

Objetivo.

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 1/2", 1". 3/4", 1/2", 3/8", 1/4" y no. 4.
- Charolas.
- Balanza con aproximación al gramo.
- Recipiente de 10 litros.

Procedimiento.

1.- Se seca previamente la muestra de grava, enseguida se llena el recipiente de 10 litros, previamente se toman las medidas del recipiente como son masa y volumen, la grava que se utilizó para llenar el recipiente se pesa, y esta masa se registra como masa de la muestra a realizarse el cribado o granulometría (Mm).

2.- 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.

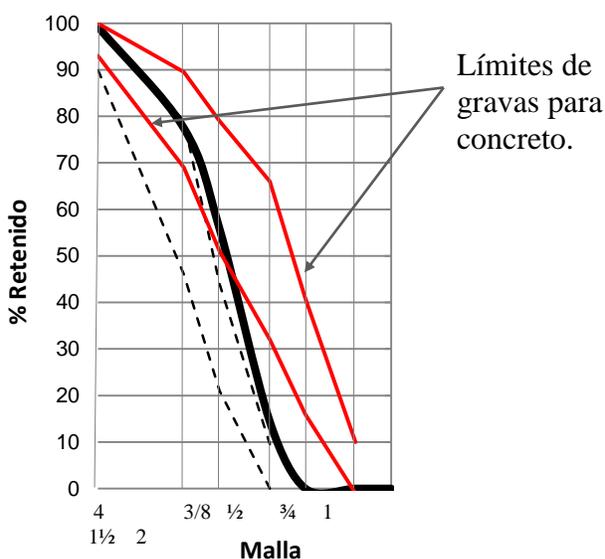
Tabla 1.14 Granulometría en grava

Muestra promedio			
Masa de la muestra: 14931.33 g			
Malla	Masa retenida Parcial (g)	% retenido Parcial	% retenido Acumulado
2	0	0	0
1 1/2	0	0	0
1	0	0	0
3/4	2155.67	14.44	14.44
1/2	6176.33	41.36	55.80
3/8	3229.00	21.63	77.43
1/4	2943.33	19.71	97.14
No. 4	318.00	2.13	99.27
Pasa No.4	109.00	0.73	100.00
Sumas	14931.33	100.00	100.00



El tamaño máximo de la grava será el tamaño de la malla que retenga el 5% o más de la masa de la muestra, en este caso se puede apreciar que se tiene un T.M. de $\frac{3}{4}$ ". De la figura no. Se puede observar que a la grava en estudio le hace falta material grueso para que sea apropiada para la fabricación de concreto pero en nuestro caso no se podía compensar el material porque la tesis era en conjunto con otros compañeros, al hacer esto se descompensaría el material para los otros compañeros.

Gráfica 1.4 Granulometría en grava





Capítulo 6

Experimentación

6.1 Diseño de concreto de alta resistencia $f'c = 25$ MPa.

DATOS DE PROYECTO:

$f'c = 25$ MPa

Desviación Estándar = 0 MPa

$f'cr = 25$ MPa

Revenimiento = 14 cm

CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES:

Tabla 1.15 Características de los materiales

	CEMENTO	ARENA	GRAVA
Tipo de Material	Apasco CPC-30R	Volcánica	Triturada
Densidad	3.06	2.42	2.67
M.V.S.S. (Kg/m ³)		1337.00	1414.00
M.V.S.V. (Kg/m ³)		1443.00	1503.00
Tamaño Máximo			3/4"
Módulo de Finura		3.00	
% Absorción		2.83	1.20

Cálculo:

Paso 1: Para nuestra experimentación contamos con un revenimiento de proyecto, teniendo como dato inicial un revenimiento de 14 cm.

Paso 2: Mediante el análisis granulométrico se obtuvo un tamaño máximo de 3/4" ya que en este se retuvo más del 5% de la muestra examinada.

Paso 3: En este paso se calculó la cantidad de agua necesaria para nuestro concreto mediante la tabla 1.16, teniendo como datos el tamaño máximo del agregado de 19mm, el revenimiento de 14 cm y siendo nuestro concreto sin aire incluido. Debido a que en la tabla proporcionada por el ACI (American Concrete Institute) no muestra el agua requerida para



un concreto con revenimiento de 14 cm, nos fue necesario interpolar los datos proporcionados para de esta manera obtener la cantidad optima de agua.

Tabla 1.16 Requisitos aproximados de agua de mezclado

Requisitos Aproximados de Agua de Mezclado y Contenido de Aire para Diferentes Revenimientos y Tamaños Máximos Nominales de Agregado								
Revenimiento (cms)	Agua, kg/m ³ para el Concreto de Agregado de Tamaño Nominal Máximo (mm)							
	9.5	12.5	19.0	25.0	38.0	50.0	75.0	150.0
Concreto sin aire incluido								
2.5 a 5.0	207	199	190	179	166	154	130	113
7.5 a 10	228	215	205	193	181	169	145	124
15.0 a 17.5	243	227	216	202	190	178	160	-
Cantidad aproximada de aire en concreto sin aire incluido, por ciento	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.3	0.2
Concreto con aire incluido								
2.5 a 5.0	181	175	168	160	150	142	122	107
7.5 a 10.0	202	193	184	175	165	157	133	119
15.0 a 17.5	216	205	197	174	174	166	154	-
Promedio recomendado de contenido de aire total, por ciento								
Exposición ligera	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0

Con la interpolación de valores usando intervalos de revenimientos, se determinó una cantidad de agua de 212.3 kg/m³ para revenimientos de 12.5 cm a 15 cm, tal como se muestra a continuación:

Tabla 1.17 Interpolación para revenimiento de proyecto

Interpolación	
7.5-10	205
10-12.5	208.7
12.5-15	212.3
15-17.5	216

Paso 4. La resistencia de proyecto fue de 250 kg-f/cm² por lo que mediante la tabla 1.18 se calculó la relación agua-cemento, Mediante interpolación se obtuvo la relación correcta.



Tabla 1.18 Resistencias en correspondencia a relaciones A/C

Correspondencia entre la Relación Agua/Cemento o Agua/Materiales Cementantes y la Resistencia a la Compresión del Concreto		
Resistencia a la compresión a los 28 días kg/cm ²	Relación agua/cemento por peso	
	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 1.19 Interpolación para la obtención de la relación A/C de proyecto

Interpolación	
210	0.680
250 Kg-f/cm²	0.617
280	0.570

Paso 5. Una vez con la cantidad de agua y la relación agua-cemento necesarios, se procedió a calcular la cantidad de Cemento Portland necesario.

$$W \text{ Cemento} = \frac{\text{cantidad de agua en peso}}{\text{relación agua cemento}}$$

$$W \text{ Cemento} = \frac{212.3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{0.617} = 344.06 \text{ kg}$$

Paso 6. Mediante la tabla 1.20 se obtuvo la cantidad de agregado grueso, teniendo como datos iniciales el módulo de finura de la arena de 3.0 y el tamaño máximo del agregado de 3/4" (19mm).



Tabla 1.20 Volumen de agregado grueso por volumen de concreto

Tamaño máximo nominal del agregado, mm	Volumen de Agregado Grueso por Volumen Unitario de Concreto			
	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
19.0 (3/4")	0.66	0.64	0.62	0.60
25.0 (1")	0.71	0.69	0.67	0.65
37.5 (1 1/2")	0.75	0.73	0.71	0.69
50.0 (2")	0.78	0.76	0.74	0.72
75.0 (3")	0.82	0.80	0.78	0.76
150.0 (6")	0.87	0.85	0.83	0.81

$$W \text{ Grava} = (0.60) \times (M.V.S.V)$$

$$W \text{ Grava} = 0.60 \times 1503 \text{ kg/m}^3 = 901.8 \text{ Kg}$$

Paso 7. Mediante la diferencia de volumen se procedió a calcular la cantidad de agregado fino.

Tabla 1.21 calcular la cantidad de agregado fino

Materiales	Masa (Kg)	Densidades	Volumen (m ³)
Cemento	344.00 Kg/cm ³	3.06	0.112
Agua	212.30 Kg/cm ³	1	0.212
Aire	---	---	0.020
Arena	---	---	---
Grava	901.80 Kg/m ³	2.67	0.338
		Suma=	0.6825

$$V \text{ arena} = 1 \text{ m}^3 - 0.6825 \text{ m}^3 = 0.3175 \text{ m}^3 = 317.5 \text{ l}$$

Calcular ahora la cantidad en masa necesaria:

$$W \text{ arena} = (\text{volumen de arena}) \times (\text{densidad de arena})$$

$$W \text{ arena} = (317.5 \text{ lt}) \times (2.42 \text{ kg/l}) = 768.35 \text{ kg}$$



Tabla 1.22 Proporciones en masa para los materiales

Proporciones en masa				
Materiales	Volumen (l/m³)	Densidad	Masa (Kg)	Rel. en Masa
Cemento	112.42	3.06	344.00	1
Agua	212.30	1.00	212.30	0.62
Arena	317.53	2.42	768.42	2.23
Grava	337.75	2.67	901.80	2.62
Aire	20.00	---	---	---
Total	1000		2226.52	

Paso 8. Ajuste por absorción de agregados pétreos. Tanto en arena como en la grava. Enseguida se muestra una tabla en donde se calcula la cantidad en masa en la que se tuvieron que disminuir los agregados para aumentarlo a la cantidad de agua.

Tabla 1.23 Correcciones por absorción

Cantidades			
Materiales	W	Absorción	W Corregido
Cemento	344.00	0.00	344.00
Agua	212.30	32.568	244.87
Arena	768.42	21.746	746.67
Grava	901.80	10.822	890.98
Total	2226.52	65.14	2226.52

6.2 Selección del porcentaje óptimo de los aditivos a emplear.

Con este proporcionamiento obtenido por medio del método ACI, se inició la experimentación con especímenes cilíndricos de 10 x 20 cm, adicionando y sustituyendo metacaolín en proporciones de 5%, 7.5%, 10%, 12.5% y 15% respectivamente para los dos casos y adicionándole 2% de nanosilice, para probarlos posteriormente a la edad de 28 días, porque para esa edad el desarrollo de la resistencia está avanzado en gran proporción con el objeto de obtener así el mejor proporcionamiento para trabajar con éste en toda experimentación.



Figura 1.32 Mezclado del cemento y el metacaolín

Primero se colaron los testigos, posteriormente las de sustitución al 5%, 7.5% y 10%, dando como resultado poca trabajabilidad de la mezcla y a su vez baja adherencia entre los agregados pétreos y el Cemento Portland, Como se puede observar en las siguientes imágenes:



Figura 1.33 Mezclas poco trabajables en sustitucion al 10 %

Por lo que se decicio no continuar colando, y se opto por agregar fluidificante CRISOTAN R-5, porque este ya se había utilizado en otras experimentaciones en el laboratorio empleando como adición el metacaolín las pruebas se realizaron a la edad de 28 días.

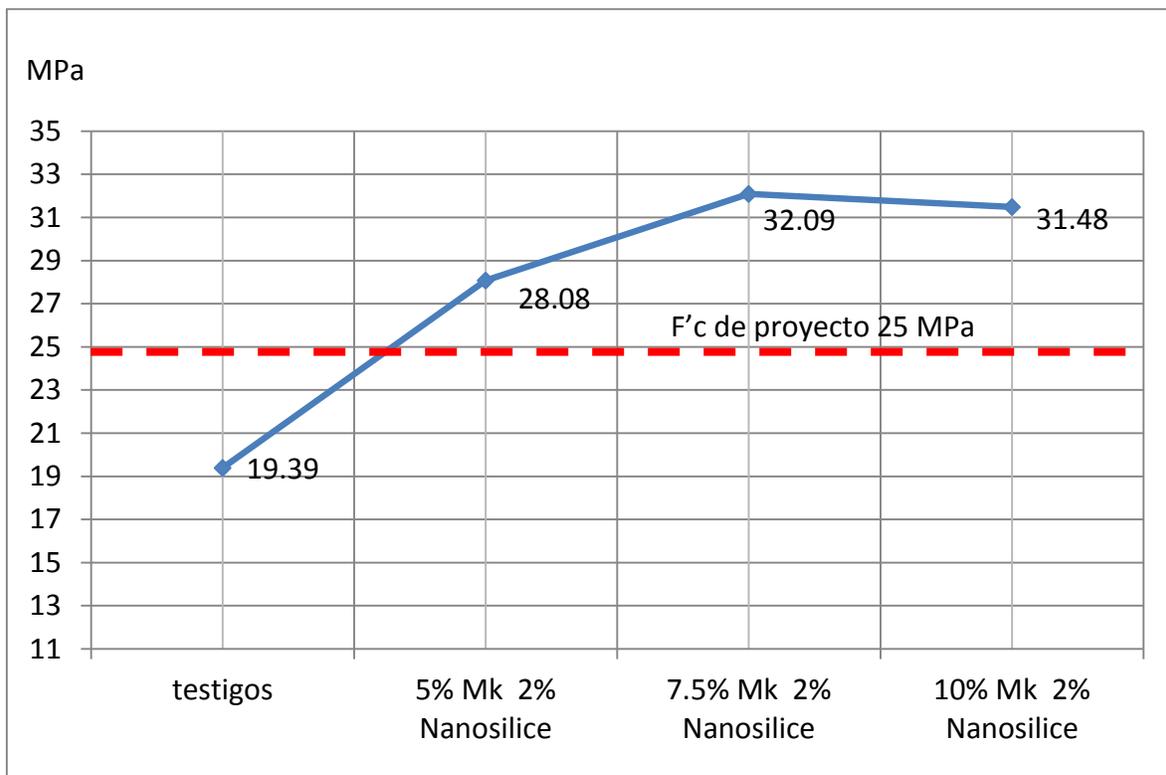


Tabla 1.24 Resultados de mezclas en sustitución de 5%, 7.5% y 10% de metacaolín y 2% en nanosilice

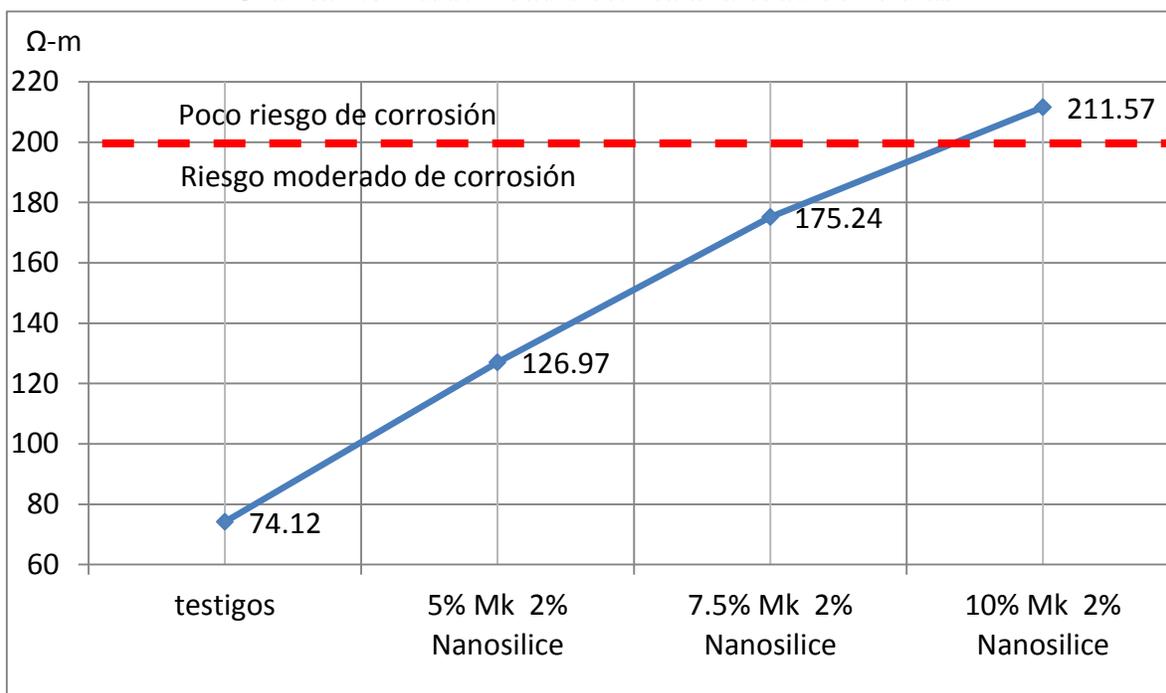
Muestra	Resistividad Eléctrica Ω-m	Resistencia a Compresión Kg-f/cm²	Resistencia a Compresión MPa
Testigos 28 días			
1	76.58	169.98	16.67
2	80.5	202.32	19.84
3	72.65	201.68	19.78
4	66.76	216.96	21.28
	74.12	197.73	19.39
Sustitución 5% Mk 2% Nanosilice 28 días			
1	127.63	293.86	28.82
2	125.66	247.01	24.22
3	127.63	318.05	31.19
	126.97	286.31	28.08
Sustitución 7.5% Mk 2% Nanosilice 28 días			
1	168.86	329.00	32.26
2	178.68	314.23	30.82
3	168.86	354.60	34.77
4	184.57	310.92	30.49
	175.24	327.19	32.09
Sustitución 10% Mk 2% Nanosilice 28 días			
1	204.2	296.66	29.09
2	219.91	319.33	31.32
3	208.13	330.28	32.39
4	214.02	337.92	33.14
	211.57	321.05	31.48



Grafica 1.5 Resistencia a compresión a la edad de 28 días



Grafica 1.6 Resistividad eléctrica a la edad de 28 días





Como se puede apreciar en la gráfica su resistencia a compresión a 28 días las tres combinaciones de sustitución dieron resultados con elevadas resistencias, y en comparación con los testigos es mucha la diferencia obtenida, pero por su poca trabajabilidad se optó como ya se mencionó anteriormente, por utilizar fluidificante; se utilizó el 10% en sustitución porque hasta ese momento se consideró como el más crítico o desfavorable.

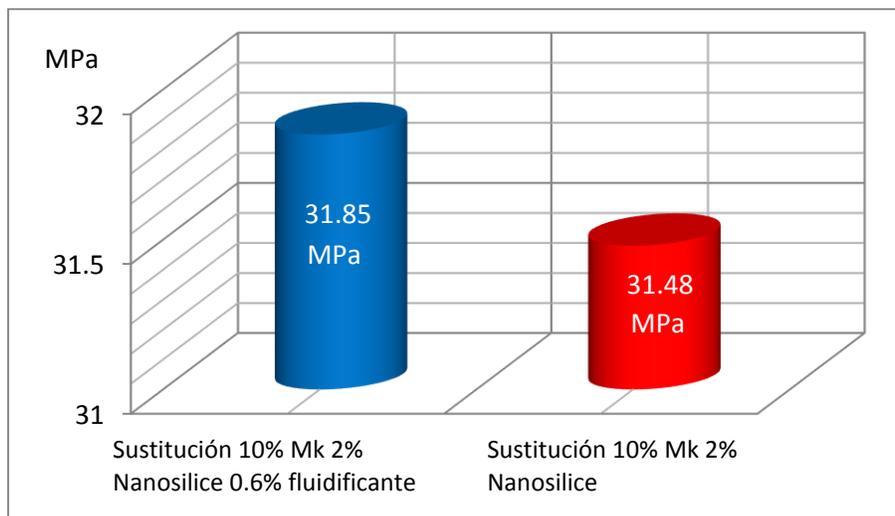
Se elaboraron 2 tipos de mezcla con y sin fluidificante para poder comparar entre ambas, y a su vez comprobar que no tuviera efectos secundarios en la resistencia a compresión los resultados fueron los siguientes:

Tabla 1.25 Resultados de mezclas en sustitución 10% de metacaolín y 2% en nanosilice con y sin fluidificante

Muestra	Resistividad Eléctrica $\Omega\text{-m}$	Resistencia a Compresión Kg-f/cm^2	Resistencia a Compresión MPa
Sustitución 10% Mk 2% Nanosilice 28 días			
1	204.2	296.66	29.09
2	219.91	319.33	31.32
3	208.13	330.28	32.39
4	214.02	337.92	33.14
	211.57	321.05	31.48
Sustitución 5% Mk 2% Nanosilice 0.6% Fluidificante 28 días			
1	-	345.17	33.85
2	223.84	284.95	27.94
3	239.55	362.62	35.56
4	200.28	306.34	30.04
	165.92	324.77	31.85



Grafica 1.7 Resistencia a compresión a la edad de 28 días



Antes de conocer los resultados en cuanto a si afectaba o no el fluidificante a la resistencia del concreto, se probó aumentando la cantidad de agua para mejorar su trabajabilidad, se comenzó con la relación inicial, y se agregaba cierta cantidad de agua hasta que mejorara su trabajabilidad. En total se adicionaron 250 ml, dando como resultado una relación Agua/Cemento = 0.716, y Agua/Cementante = 0.614. Cabe señalar que se utilizaron un caso crítico y uno favorable, que serían en adición 15% de MK y 1.5% de nanosilice, y en sustitución 5% MK y 0.5% nanosilice.

Cabe mencionar que se utiliza el termino “cementante” a la combinación de Cemento Portland, Metacaolin y nanosilice.

	Cemento	Mk	Nanosilice	Total
Cementante 4	Kg	Kg	Kg	Kg
Cilindros	2.594	0.389	0.0389	3.022
	Inicial	Agregada	Total	Corregida
Agua 4	1	1	1	1
Cilindros	1.846	0.25	2.096	1.856



Tabla 1.26 Correcciones de absorción para una nueva relación A/C

Cantidades 4 Cilindros + 20 % desperdicio en Kg			
Materiales	Masa	Absorción	Masa Corregida
Cementante	3.022	0.00	3.022
Agua	2.096	0.240	1.856
Arena	5.630	0.159	5.789
Grava	6.718	0.081	6.799
Total	17.47	0.48	17.47

$$\text{Relación} \frac{\text{agua}}{\text{cementante}} = \frac{1.856}{3.022} = \mathbf{0.614}$$

$$\text{Relación} \frac{\text{agua}}{\text{cemento}} = \frac{1.856}{2.594} = \mathbf{0.716}$$

Tabla 1.27 Resultados a cilindros con relación A/C = 0.716 a la edad de 28 días

Muestra	Resistividad Eléctrica Ω-m	Resistencia a Compresión Kg-/cm2	Resistencia a Compresión MPa
Adición 15% Mk 1.5% Nanosilice Crítico 28 días			
1	227.77	302.78	29.69
2	225.8	290.43	28.48
3	231.69	326.84	32.05
4	225.8	300.99	29.52
	227.77	305.26	29.94

Con esta nueva relación *Agua/Cemento* = 0.716, se procedió a realizar los diferentes proporcionamientos ya antes mencionados, para obtener así el proporcionamiento idóneo. Las pruebas que se les realizaron fueron destructivas como no destructivas a la edad de 28 días.

Los resultados a los 28 días de edad de los especímenes, se presentan a continuación

Tabla 1.28 Resultados de la pruebas a la edad de 28 días en sustitución

Muestra	Resistividad Eléctrica Ω-m	Resistencia a Compresión Kg-f/cm ²	Resistencia a Compresión MPa
---------	----------------------------	---	------------------------------



Sustitución 5% Mk y 1.5% Nanosilice 28 días			
1	117.81	203.59	19.97
2	115.85	186.02	18.24
3	119.77	204.35	20.04
4	113.88	174.31	17.09
	116.83	192.07	18.84
Sustitución 7.5% Mk y 1.5% Nanosilice 28 días			
1	127.63	150.5	14.76
2	135.48	178.13	17.47
3	129.59	188.31	18.47
4	131.55	203.08	19.92
	131.06	180	17.65
Sustitución 10% Mk y 1.5% Nanosilice 28 días			
1	157.08	171.89	16.86
2	159.04	199.64	19.58
3	153.15	186.27	18.27
4	153.15	202.83	19.89
	155.61	190.16	18.65
Sustitución 12.5% Mk y 1.5% Nanosilice 28 días			
1	182.61	240.77	23.61
2	172.79	227.91	22.35
3	174.75	219.51	21.53
4	184.57	237.46	23.29
	178.68	231.41	22.69
Sustitución 15% Mk y 1.5% Nanosilice 28 días			
1	202.24	257.32	25.23
2	206.17	229.06	22.46
3	204.2	226.76	22.24
4	215.99	216.2	21.20
	207.15	232.33	22.78

Tabla 1.29 Resultados de la pruebas a la edad de 28 días en adición

Muestra	Resistividad Eléctrica Ω-m	Resistencia Compresión Kg-f/cm²	Resistencia a Compresión MPa
Adición 5% Mk y 1.5% Nanosilice 28 días			
1	117.81	132.42	12.99
2	111.92	164.37	16.12
3	113.88	161.19	15.81



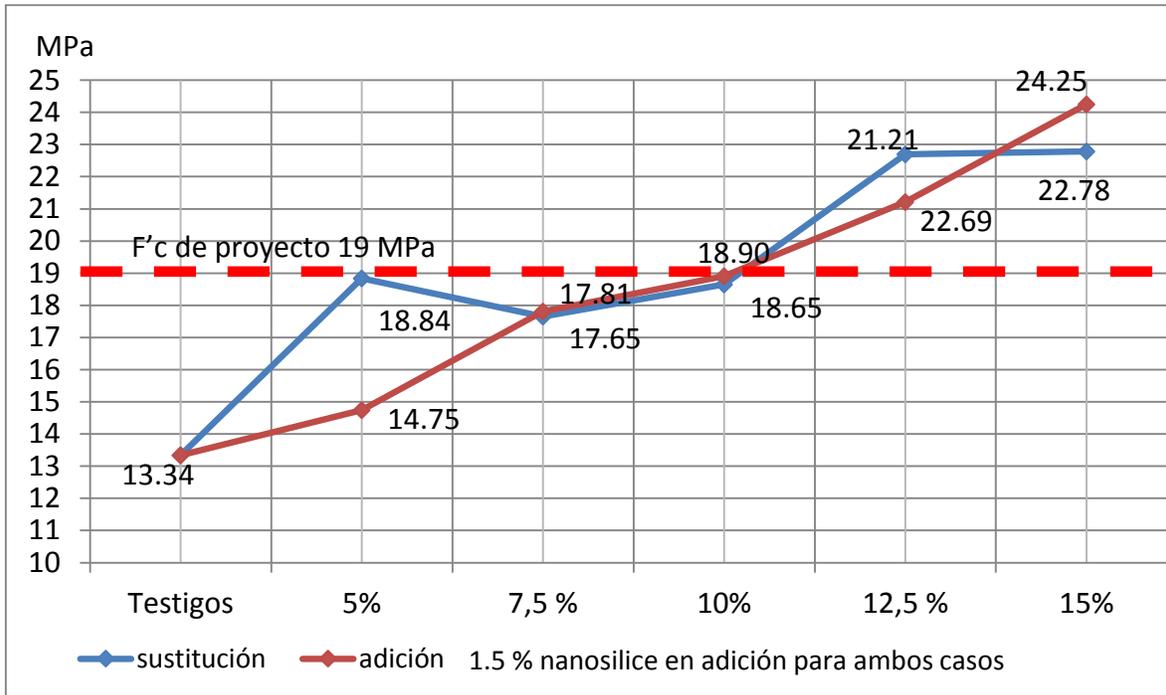
4	119.77	143.49	14.07
	115.85	150.37	14.75
Adición 7.5% Mk y 1.5% Nanosilice 28 días			
1	153.15	195.57	19.18
2	141.37	181.31	17.78
3	149.23	180.16	17.67
4	143.34	169.21	16.59
	146.77	181.56	17.81
Adición 10% Mk y 1.5% Nanosilice 28 días			
1	157.08	164.37	16.12
2	164.93	199.64	19.58
3	157.08	204.1	20.02
4	166.9	202.95	19.90
	161.5	192.77	18.90
Adición 12.5% Mk y 1.5% Nanosilice 28 días			
1	214.02	217.09	21.29
2	210.09	226.25	22.19
3	225.8	210.98	20.69
4	212.06	210.85	20.68
	215.49	216.29	21.21
Adición 15% Mk y 1.5% Nanosilice 28 días			
1	308.27	259.23	25.42
2	290.6	269.16	26.40
3	314.16	257.45	25.25
4	310.23	203.08	19.92
	305.82	247.23	24.25

Tabla 1.30 Resultados de la pruebas a la edad de 28 días en testigos

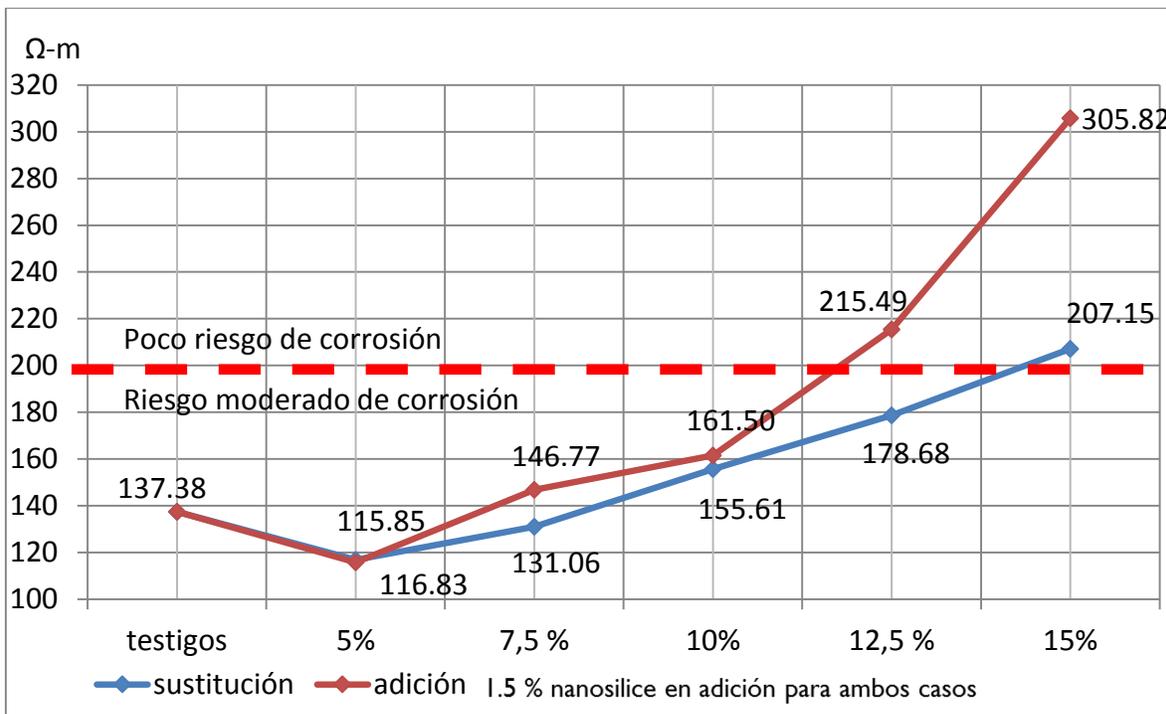
Muestra	Resistividad eléctrica Ω -m	Resistencia a Compresión Kg-f/cm ²	Resistencia a Compresión MPa
Testigos			
1	137.09	126.30	12.39
2	136.90	150.80	14.79
3	138.35	122.00	11.96
4	137.17	145.00	14.22
	137.38	136.03	13.33



Grafica 1.8 Resistencia a compresión a la edad de 28 días



Grafica 1.9 Resistividad eléctrica a la edad de 28 días





Con los datos obtenidos a través de la experimentación con las muestras se pudo obtener el mejor y óptimo proporcionamiento, que para el caso fue del 15 % en adición. Con este proporcionamiento se trabajó en adelante.

6.3 Propuesta de una nueva relación A/C.

Una vez terminado el proceso de selección del proporcionamiento adecuado, y con los resultados de las muestras adicionadas con fluidificante observando que este no influye en la resistencia mecánica del concreto caso contrario al agregarle agua ya que este si disminuye sus propiedades mecánicas. Y gracias a que el fluidificante mejoro mucho la trabajabilidad y fluidez del concreto, se opto por reducir la cantidad de agua sin modificar el contenido de Cemento Portland y Metacaolin pero si reducir al 1 % el Nanosilice, lo que nos modificaria la relacion Agua/Cementante. Es importante mencionar que el fluidificante se adiciona directamente al agua para lograr que se disuelva perfectamente, la cantidad de fluidificante fue la utilizada al principio de 0.6 % del total de cementante.

La mezcla se elaboró para 4 cilindros de 10 cm x 20 cm, se comenzo con una relacion de 0.419, se le incorporo el agua a la mezcla y se empezo a trabajar con esta, si su trabajabilidad no era buena se le adicionaba mas agua previamente medida hasta que a nuestro criterio tuviera una buena trabajabilidad y fluidez, cabe destacar que como se menciono anteriormente esto dependio de nuestro criterio y no se baso en ninguna norma o regla, asi es que estos datos o resultados indudablemente variarian según el criterio de la persona que estuviera trabajando con la mezcla, con la nueva cantidad de agua y cementante se obtuvo la nueva relación. Al final se le agrego un total de 280 ml.

	Cemento Kg	Mk Kg	Nanosilice Kg	Total Kg
Cementante 4 cilindros	2.594	0.389	0.025	3.008
	Inicial	Agregada	Total	Corregida
Agua 4 cilindros	1	1	1	1
	1.500	0.280	1.780	1.540

Tabla 1.31 Correcciones de absorción para una nueva relacion A/C

Cantidades + 20 % desperdicio			
Materiales	Masa	Absorción	Masa Corregida
Cementante	3.008	0.00	3.008
Agua	1.780	0.240	1.540
Arena	5.630	0.159	5.789
Grava	6.718	0.081	5.799
Total	14.14	0.48	14.14



$$\text{Relación} \frac{\text{agua}}{\text{cementante}} = \frac{1.540}{3.008} = \mathbf{0.512}$$

$$\text{Relación} \frac{\text{agua}}{\text{cemento}} = \frac{1.540}{2.594} = \mathbf{0.594}$$

Tabla 1.32 Nuevo f'c de proyecto

Rel. A/C	f'c MPa
0.48	34
0.512	32
0.57	28

Tabla 1.33 Correcciones d agregados petreos por una nueva relacion A/C

Cantidades			
Materiales	Masa	Aumento	Masa Corregida
Cemento	125.16	--	125.16
Agua	196.09	--	196.09
Arena	304.60	24.98	329.57
Grava	324.20	24.98	349.18
Total	950.05	49.95	1000.00

De acuerdo a la tabla anterior nos falta un volumen de 49.95 kg, por lo que se decidió que el volumen faltante lo repusiéramos con los agregados pétreos con un 50 % cada uno respecto al volumen total del proporcionamiento.

6.4 Procedimiento para la elaboración de los cilindros de 10 cm x 20 cm y vigas de 15cm x 15cm x 60cm.

I. Revenimiento del concreto.

Objetivo.

Describir el procedimiento para la obtención del revenimiento del concreto, esto para conocer la fluidez de la mezcla.



Equipo.

- Cono de revenimiento.
- Charola.
- Cucharón.
- Varilla punta de bala de 5/8" de diámetro.
- Pala.
- Cinta métrica.

Procedimiento.

1.- Se obtiene una muestra representativa en una charola. Se humedece el molde de revenimiento y el cucharón.

2.- Se coloca el molde sobre una superficie lisa y sólida (placa metálica) y se sujeta colocando los dos pies en las orejas que tiene el molde.

3.- Se mezcla un poco el concreto y se vierte usando el cucharón, se llena una tercera parte del molde y se le dan 25 golpes con la varilla punta de bala, estos golpes se dan en toda el área interior del molde cuidando no golpear la superficie sólida. Se llena la segunda tercera parte del molde, dando la misma cantidad de golpes y tratando de llegar hasta la capa anterior. Se llena la última capa, llenando con esta el molde hasta que quede sobrado, es decir, que sobre pase el nivel, esto para que al golpear 25 veces con la varilla se acomoden las partículas y no nos falte mezcla para llenar el molde. Se enraza el molde con ayuda de la varilla.

4.- Se retira el molde en forma vertical en un tiempo aproximado de 5 segundos. Por último se voltea el molde en forma contraria a como estaba colocado, colocando la varilla sobre esta cara y se mide la distancia que hay entre la altura del molde con respecto a la del concreto.

El método de proporcionamiento de concreto del ACI (American Concrete Institute) nos proporciona la tabla 1.34 que sirve como base para saber que revenimiento utilizar de acuerdo al elemento que se pretende construir.



Figura 1.34 Determinación de revenimiento

Tabla 1.34 Revenimientos según el tipo de construcción

Tipos de construcción	Revenimiento	
	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

II. Elaboración de cilindros de concreto.

Objetivo.

Conocer el procedimiento en la fabricación de cilindros para la prueba de compresión simple.

Equipo.

- Varilla punta de bala.
- Charola.
- Pala.
- Cucharón.
- Moldes de cilindros de 10 x 20cm, siempre y cuando el tamaño máximo del agregado sea no mayor a $\frac{3}{4}$ de pulgada.



Procedimiento.

1.- Una vez que ya se tiene la mezcla de concreto con la que se van a elaborar los cilindros, es necesario aceitar el interior de los moldes que se van a utilizar para evitar que el concreto se adhiera al metal.

2.- El cilindro se llena en dos capas de igual altura (10cm) y cada capa se apisona con una varilla lisa de 5/8 de diámetro con uno de sus extremos redondeados, la cual se introduce 25 veces por capa tratando de abarcar la totalidad de la superficie del concreto, teniendo en cuenta de que la varilla solo atraviese la capa que se está compactando, sin pasar a la capa siguiente. Una vez que ya se realizó la compactación con la varilla punta de bala, se dan 15 golpes con la varilla o con un martillo de caucho a las paredes de este, hasta que la superficie del concreto cambie de mate a brillante, con el objeto de eliminar considerablemente las burbujas de aire que se queda atrapado en el concreto.

3.- Al final de la compactación se completa el llenado del molde con más mezcla y se alisa la superficie con la ayuda de la varilla punta de bala.

Los cilindros recién colados deben quedar en reposo, en un sitio cubierto y protegidos de cualquier golpe o vibración, después de 24 horas se desmoldan cuidadosamente y se procede a marcarlos y someterlos a curado en una pila con agua cuidando que queden totalmente sumergidos.



Figura 1.35 Elaboracion de muestras, cilindros de 10cm x 20cm

III. Elaboración de vigas de concreto

Objetivo.

Conocer el procedimiento en la fabricación de vigas para la prueba de flexión en el concreto.



Equipo.

- Varilla punta de bala.
- Charola.
- Pala.
- Cucharón.
- Moldes para vigas de 15 cm x 15 cm x 60 cm.

Procedimiento.

1.- Una vez que se tiene la muestra de concreto lista y después de haber obtenido el revenimiento, se procede a engrasar los moldes que se van a utilizar, esto para facilitar el descimbrado.

2.- El llenado de los moldes se debe de realizar en dos capas de igual tamaño (7.5 cm de altura aproximadamente) con ayuda del cucharón o pala. Al llenar la primera capa se dan 90 golpes con la varilla punta de bala (5/8 de diámetro) sobre todo el volumen del concreto colocado en el interior del molde, esto para compactar la mezcla, al cabo de esto se golpea con el mazo de goma en 15 ocasiones sobre el perímetro exterior del molde y así eliminar considerablemente la cantidad de aire atrapado. Posteriormente se hace lo mismo con la siguiente capa restante, procurando poner un poco de mezcla en exceso, esto para poder engrasar los moldes y darles un acabado liso.



Figura 1.36 Elaboracion de muestras, vigas de 60cm x 15cm x 15cm



6.5 Pruebas realizadas a los especímenes

I. Resistividad eléctrica en especímenes de concreto.

Todos los materiales presentan cierta oposición al flujo de electrones o corriente eléctrica, pero unas obstruyen la circulación más que otras, la resistencia eléctrica es la oposición que presenta un conductor al paso de la corriente o flujo de electrones.

Existen varios factores que influyen a la resistencia.

A) la longitud del conductor, a mayor longitud mayor resistencia.

B) la sección o área transversal, al duplicarse la superficie de la sección transversal se reduce la resistencia.

La resistencia que corresponde a cada material recibe el nombre de resistencia específica o resistividad (ρ), la conductividad (σ), se emplea para especificar la capacidad de un material para conducir la corriente y se define como la inversa de la resistividad.

El ohm (Ω) se define como la resistencia opuesta a una corriente continua de electrones por una columna de mercurio a 0° de 1mm de sección transversal y 106.3 cm de largo $\Omega = V/A$.
[12]

Cálculo.

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

Dónde:

ρ = resistividad eléctrica (K Ω -cm.).

L= Longitud (cm.).

A= Área (cm²).

R= Resistencia eléctrica (K Ω).



Tabla 1.35 Riesgo a la corrosión en función de la resistividad

Riesgo de corrosión	
$P > 200 \text{ K ohm-cm}$	Poco riesgo
$200 > P > 10 \text{ K ohm-cm}$	Riesgo moderado
$P < 10 \text{ K ohm-cm}$	Alto riesgo

II. Velocidad de pulso ultrasónico (V.P.U.).

La medición de la velocidad del pulso ultrasónico como una alternativa de prueba no destructiva para evaluar la calidad del concreto se ha utilizado desde hace aproximadamente 50 años. La técnica fue desarrollada por Leslie y Cheesman en Canadá (Malhotra y Carino 1991) y se utilizó con gran éxito desde la década de los sesentas para diagnosticar el estado del concreto utilizado en cortinas de presas; casi simultáneamente Jones desarrolló en Inglaterra una técnica basada en el mismo principio. [13]

Las ondas de sonido se propagan en los medios sólidos a partir de excitaciones vibratorias en forma de: ondas longitudinales o de compresión, ondas transversales o de cortante y ondas superficiales o Rayleigh (Rose 1999). La velocidad de estas ondas depende de las propiedades elásticas del medio, de tal manera que, conociendo la velocidad del sonido y la masa del sólido, se pueden estimar las propiedades elásticas del medio, mismas que se pueden relacionar con los parámetros de calidad del material. [13]

De los estudios realizados en Canadá, Malhotra 1985 publicó un criterio de aceptación del concreto sobre la base de la medición de la velocidad ultrasónica. La clasificación del concreto en categorías con base a intervalos de velocidad se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 1.36 Clasificación del concreto de acuerdo a la velocidad de pulso

Velocidad ultrasónica, v (m/s/)	Clasificación del concreto
$V > 4575$	Excelente
$4575 > V > 3660$	Bueno
$3660 > V > 3050$	Cuestionable
$3050 > V > 2135$	Pobre
$V < 2135$	Muy Pobre

Prueba de V.P.U.

El transductor transmisor del instrumento de velocidad de pulso transmite una onda en el concreto y el transductor receptor, a una distancia L , recibe el pulso que pasa por el concreto en otro punto. La pantalla del instrumento de velocidad de pulso indica el tiempo



de tránsito, Δt , que toma el pulso de la onda de compresión en viajar a través del concreto. La velocidad del pulso de la onda de compresión V , por lo tanto, es:

$$V = \frac{L}{\Delta t}$$

Para transmitir o recibir el pulso, los transductores deben estar en completo contacto con el objeto de prueba; de otro modo el aire entre el objeto de prueba y el transductor puede introducir un error en el tiempo de tránsito indicado. Este error es introducido por que sólo una insignificante cantidad de energía de onda puede ser transmitida a través del aire. Se pueden usar muchos acopladores del mercado para eliminar el aire y asegurar un buen contacto entre la muestra y los transductores. Jalea a base de petróleo nos da uno de los mejores acoplamientos. Las capas del acoplador deben de ser tan delgadas como sea posible. Aplicando una presión constante en los transductores, se podrán tomar lecturas repetidas en una ubicación hasta obtener un mínimo valor de tiempo de tránsito. Si la superficie del concreto está muy rugosa, se debe usar grasa espesa como acoplador. En algunos casos, que se tenga que suavizar la superficie rugosa o establecer una superficie lisa se puede hacer con el uso de yeso de París, o con una pasta de Cemento Portland de fraguado rápido o con un mortero epóxido de fraguado rápido. En superficies muy rugosas, también puede emplearse un receptor exponencial con un diámetro de punta de sólo 6mm, como por ejemplo, superficies de mortero dañadas por fuego o por la acción de la intemperie. Sin embargo, hay que destacar que esta prueba es buena sólo para recibir la señal. Se requiere una superficie lisa para el transductor transmisor. [14]

III. Permeabilidad rápida a la penetración 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. [15]

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. [15]



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, a alcanzado un desarrollo óptimo, sobre todo 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. [15]

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 minerales adicionales 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. [15]

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 multímetro 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 1.37 Equipo de prueba para permeabilidad rápida a la penetración de cloruros.

Procedimiento.

Preparación de los especímenes.

- 1.- Se hierve 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.
- 2.- 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.
- 3.- Los especímenes se proceden a poner dentro del desecador, pudiendo poner un máximo de 6 especímenes dentro del desecador.
- 4.- 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.
- 5.- 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.
- 6.- 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.
- 7.- 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.



8.- 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 1.38 Especímenes en vacío durante 18 horas.

Preparación de las soluciones para realizar la prueba.

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

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:

$$N = \frac{\left[\frac{\text{Gramos de S.}}{\frac{PM}{n}} \right]}{\text{Lts. Sol.}}$$

Dónde:

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

Gramos de S. = Gramos de Soluta.

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

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

Lts. 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:

$$\text{Grs. Sol.} = [(\text{N})(\text{Lts. Sol.})] / \left(\frac{\text{PM}}{\text{n}}\right)$$

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

$$\text{Grs. Sol.} = 36 \text{ grs.}$$

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:

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

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

Resultando de este modo la siguiente ecuación:

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

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

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

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

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

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:

$$\text{Grs. Sol} = \text{Lts. Sol. resultante} * \text{Porcentaje de la solución}$$

$$\text{Grs. Sol} = 3000 \text{g} * 0.3$$

$$\text{Grs. Sol} = 90 \text{ grs}$$

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, 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:

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

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

Colocación de los especímenes en las celdas.

- 1.- 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.
- 2.- En cada extremo las celdas tienen un orificio para colocar en cada uno la solución que marca.
- 3.- Con ayuda de un embudo, para no derramar líquido, 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 está contenido el Hidróxido de Sodio (NaOH).
- 4.- 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.
- 5.- 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 1.39 Especímenes sometidos a la permeabilidad de los cloruros.

Tabla 1.37 Tipos de permeabilidad de acuerdo a la ASTM C 1202

Coulombs	Tipo de permeabilidad	Típico de:
> 4000	Alta	Relaciones A/C altas
4000 - 2000	Moderada	Relaciones A/C 0.4 a 0.5
2000 - 1000	Baja	Relaciones A/C < 0.4
1000 - 100	Muy Baja	Concretos con látex
< 100	Despreciable	Concretos con polímeros

IV. Ataque acelerado a la intemperización con sulfato de sodio anhidro

Los sulfatos son compuestos químicos que están presentes en una gran variedad de concentraciones en el suelo, aguas subterráneas, aguas superficiales y aguas de mar, Las formaciones de sulfato más comunes son sulfatos de sodio, potasio, magnesio y calcio.

El concreto expuesto a soluciones de sulfatos puede ser atacado y sufrir deterioro en un grado que depende básicamente de tres aspectos:

- 1.- Los constituyentes del concreto
- 2.- La calidad del concreto en el lugar
- 3.- El tipo y la concentración del sulfato

Cuando hablamos del ataque de los sulfatos al concreto es necesario conocer las características del concreto resistente a los sulfatos, de modo que podamos dar los pasos apropiados para minimizar el deterioro del concreto que se expone a estos compuestos químicos. [16]

El ataque se presenta, cuando a través del agua, concentraciones relativamente altas de sulfatos entran en contacto con los compuestos hidratados de la pasta de Cemento Portland. Este contacto hace que se produzca una reacción química que genera expansión en la pasta y crea una presión capaz de romperla y finalmente desintegrar el concreto.



Los mecanismos que intervienen en el ataque del concreto por sulfatos son dos:

- 1.- Reacción del sulfato con hidróxido de calcio liberado durante la hidratación del Cemento Portland formando sulfatos de calcio (yeso).
- 2.- Reacción de sulfato de calcio con el aluminato de calcio hidratado formando sulfato aluminato de calcio (etringita).

Ambas reacciones dan como resultado un aumento de volumen en el sólido, pero la segunda genera expansiones, rupturas y ablandamiento del concreto pues los sulfatos reaccionan con el aluminato de calcio hidratado.

Las consecuencias del ataque de sulfatos no solo producen degradación por expansión y figuración, también, una reducción en la resistencia mecánica debido a la pérdida de cohesión en la pasta de Cemento Portland, lo anterior también conlleva a una pérdida de adherencia entre la pasta y las partículas de los agregados. [16]

Prueba de ataque acelerado con sulfato de sodio anhidro a cilindros

Elaboración de sulfato de sodio anhidro

La solución de Sulfato de Sodio (Na_2SO_4) fue elaborada basándose en la norma ASTM D1411-09 (Standard Methods for Water-Soluble Chlorides Present as Admixtures in Graded Aggregate Road Mixes). Para su elaboración se utilizaron 350gr. de Sulfato de Sodio para disolver en 1 lt de agua destilada que debió estar a una temperatura de 77 a 86 ° F (25 a 30 ° C). De esta manera se aseguró no sólo la saturación, sino también la presencia de exceso de cristales para que la solución esté lista para su uso en las pruebas. Se agitó la mezcla durante la adición del sulfato de sodio y en intervalos frecuentes hasta su uso. Para reducir la evaporación y evitar la contaminación, se mantuvo la solución cubierta todo el tiempo cuando el acceso no era necesario. Se dejó que la solución se enfriara a 70 6 2 ° F (16 a 21°C). Se movió una vez más y permitió que la solución permaneciera en reposo durante al menos 48 h antes de su uso. Para asegurar la dilución del Sulfato de Sodio, se usaron agitadores eléctricos y se agregó gradualmente el sulfato al agua en un lapso de 45 minutos. [17]

Después de realizada la solución de sulfato y pasadas las 48 horas mínimas de reposo, se realizó el ataque a cilindros que consta de cinco ciclos de ataque. La metodología utilizada fue la siguiente:

- 1.- Saturar los cilindros durante 17 horas en la solución de sulfato.
- 2.- Sacar los cilindros y secarlos superficialmente para pesarlos y obtener su masa saturado.
- 3.- Colocar los cilindros en el horno a una temperatura de 110 ± 5 °C durante 24 horas.



4.- Sacar los cilindros del horno y dejarlos enfriar.

5.- Pesarlos para obtener su masa en seco.



Figura 1.40 Especímenes sometidos al sulfato de sodio anhidro

V. Resistencia a compresión simple en cilindros.

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), mega pascales (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. [2]

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. [2]

Objetivo.

Descripción del procedimiento para determinar la resistencia que presenta el concreto al ser sujeto a una carga de compresión simple.

Equipo.

- Máquina universal Forney.
- Regla para medir el diámetro del cilindro.



Procedimiento.

- 1.- Teniendo ya el diámetro del espécimen se coloca en la máquina ya previamente cabeceado, limpiando perfectamente las placas de apoyo en la máquina y centrando el eje vertical del espécimen en el centro de la placa de apoyo.
- 2.- Se ajusta la platina superior a la cara del espécimen de manera que no se aplique carga de impacto si no que apenas quiera rozar el espécimen.
- 3.- Se nivela el rango de 75000 kg con una aproximación de 125 kg y se pone en ceros la máquina. Se aplica la carga a una velocidad constante, respecto a este punto se pueden hacer las siguientes observaciones:
 - Que no se suspenda la aplicación de la carga por ningún contratiempo y luego se vuelva a poner a funcionar cuando el espécimen ya se aproxime a la carga de falla.
 - La carga de falla la podemos prefijar conociendo el % de resistencia según su edad, que debe de observar, esta carga se prefija multiplicando el área de la sección transversal del cilindro por la resistencia de proyecto ($f'c$).
- 4.- Se continúa la carga del espécimen hasta la falla registrándola y observando su tipo de falla y la apariencia del material.

Cálculo.

Para calcular el esfuerzo real que resiste el concreto, se divide la carga resistente entre el área de la sección transversal.

$$E = \frac{P}{A}$$

Dónde:

P= Carga de ruptura (kg).

A= Área de la sección transversal del espécimen (cm²).

E= Esfuerzo que resiste el espécimen (kg/cm²).



Figura 1.41 Resistencia a compresión simple en cilindros

VI. Resistencia a la flexión.

Objetivo.

Conocer el procedimiento de ensaye para determinar la resistencia a flexión del concreto en vigas moldeadas en el laboratorio.

Equipo.

- Máquina de prueba Forney.
- Accesorios para la flexión (placa y tubos metálicos).
- Flexómetro.

Procedimiento.

- 1.- El espécimen debe voltearse sobre uno de sus lados, respecto a la posición original en la que fue colado, se marca con un crayón o marcador la posición en donde tendrán que estar los cuatro apoyos, se elige el rango de 7500 kg y se nivela, contando con una aproximación de 12.5kg.
- 2.- Se centran los apoyos inferiores y posteriormente los superiores, quedando así un tercio central en el espécimen, entre los apoyos. Si la viga presenta aristas deformes debido al molde, estas tendrán que ser eliminadas para que la carga se aplique correctamente en cada parte de contacto. La carga se debe aplicar a una velocidad uniforme, tal que el aumento de esfuerzo de las fibras extremas no exceda 10 kg-f/cm² por min, permitiéndose velocidades mayores antes del 50% de la carga estimada de ruptura.



3.- Si la fractura de las vigas se presenta en el tercio medio del claro por lo que el módulo de ruptura se calcula de la siguiente manera:

$$R = \frac{(P)(L)}{B D^2}$$

Si la fractura ocurre fuera del tercio medio en no más del 5% del claro, los resultados deberán descartarse.

Donde:

R= Es el módulo de ruptura en k-Pa (kgf/cm²).

P= Es la carga máxima aplicada en N (kgf).

L= Es la distancia entre apoyos (cm).

B= Es el ancho promedio del espécimen (cm).

D= Es al peralte promedio del espécimen (cm).



Figura 1.42 Resistencia a flexión en vigas de concreto



Capítulo 7

Resultados

7.1 Resultados de resistividad eléctrica, velocidad de pulso ultrasónico y resistencia a compresión simple en cilindros.

Como ya se mencionó anteriormente a los especímenes se le hicieron las pruebas a las edades de 3, 7, 14, 28, 45 y 60 días. Para tener una comparativa se elaboraron 2 tipos de testigos para cada edad, Uno con fluidificante y otro sin fluidificante. A continuación se muestran los resultados de las pruebas de resistividad eléctrica, velocidad de pulso ultrasónico y resistencia a la compresión.

Tabla 1.38 Resultados en muestras con adición de metacaolin y nanosilice

Adición 15% Mk 1% Nanosilice 0.6% fluidificante				
Muestra	Velocidad de Pulso m/s	Resistividad eléctrica Ω -m	Resistencia a compresión Kg-f/cm ²	Resistencia a Compresión MPa
3 Días				
1	-	53.01	244.21	23.95
2	-	58.91	207.79	20.38
3	-	58.91	243.06	23.84
4	-	62.83	246.37	24.16
5	-	56.94	226	22.16
Promedio	-	58.12	233.49	22.9
7 Días				
1	4106	180.64	312.83	30.68
2	3592	184.57	267.76	26.26
3	4156	176.72	328.24	32.19
4	4196	176.72	346.07	33.94
5	4163	178.68	368.47	36.14
Promedio	4042.6	179.46	324.68	31.84
14 Días				
1	3127	274.89	373.57	36.64



2	3178	247.4	363.76	35.67
3	3164	282.74	371.79	36.46
4	3059	261.15	261.65	25.66
5	2468	251.33	348.1	34.14
Promedio	2999.2	263.5	343.77	33.71
28 Días				
1	4074	416.26	423.86	41.57
2	4214	369.14	426.28	41.8
3	4210	363.25	407.18	39.93
4	4163	369.14	418.26	41.02
5	4248	361.28	438.38	42.99
Promedio	4181.8	375.81	422.79	41.46
45 Días				
1	4353	435.9	421.06	41.29
2	4347	433.93	452.51	44.38
3	4369	431.97	472.75	46.36
4	4319	435.9	438.88	43.04
5	4317	437.86	447.67	43.9
Promedio	4341	435.11	440.03	43.15
60 Días				
1	4683	549.78	469.7	46.06
2	4260	510.51	468.93	45.99
3	4088	530.15	367.97	36.09
4	3849	490.88	477.08	46.79
5	4073	510.51	342.88	33.63
Promedio	4190.6	518.36	445.92	43.73

Tabla 1.39 Resultados en testigos con fluidificante

Testigos con 0.6% fluidificante				
Muestra	Velocidad de Pulso m/s	Resistividad eléctrica Ω -m	Resistencia a compresión Kg-f/cm ²	Resistencia a Compresión MPa
3 Días				
1	4026	-	146.42	14.36
2	4023	-	166.92	16.37
3	4021	-	77.92	7.64



Promedio	4023.3	-	130.42	12.79
7 Días				
1	4230	49.09	194.04	19.03
2	4172	47.12	224.73	22.04
3	4162	45.16	169.34	16.61
Promedio	4188	47.12	196.04	19.23
14 Días				
1	3904	66.76	222.94	21.86
2	4014	62.83	215.81	21.16
3	4056	62.83	242.68	23.8
Promedio	3991.3	64.14	227.15	22.28
28 Días				
1	4136	80.5	248.92	24.41
2	4063	86.39	262.54	25.75
3	4030	82.47	267.76	26.26
Promedio	4076.3	83.12	259.74	25.47
45 Días				
1	4744	109.96	330.66	32.43
2	4233	104.07	270.18	26.5
3	4350	104.07	340.21	33.36
Promedio	4442.3	106.03	313.68	30.76
60 Días				
1	4050	113.88	323.4	31.72
2	3980	111.92	299.34	29.36
3	4100	115.85	283.8	27.83
Promedio	4043.3	113.88	302.18	29.63

Tabla 1.40 Resultados en testigos sin fluidificante

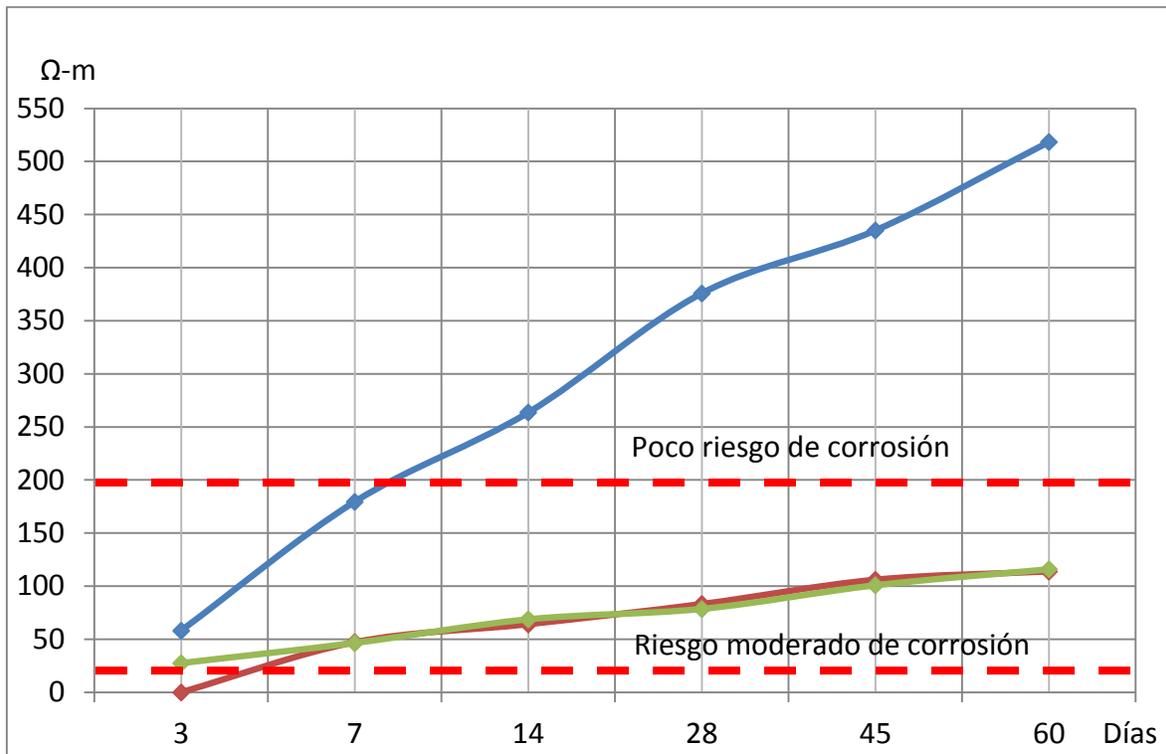
Testigos sin fluidificante				
Muestra	Velocidad de Pulso m/s	Resistividad eléctrica Ω -m	Resistencia a compresión Kg-f/cm ²	Resistencia a Compresión MPa
3 Días				
1	3585	27.49	131.91	12.94
2	3908	29.45	141.07	13.83
3	2725	25.53	152.53	14.96



Promedio	2116.4	27.49	141.84	13.91
7 Días				
1	5583	53.01	188.44	18.48
2	4039	41.23	180.04	17.66
3	4222	45.16	193.53	18.98
Promedio	4614.7	46.47	187.34	18.37
14 Días				
1	4132	70.69	241.15	23.65
2	4132	68.72	220.27	21.6
3	3942	66.76	230.07	22.56
Promedio	4068.7	68.72	230.5	22.6
28 Días				
1	4205	74.61	241.79	23.71
2	4086	76.58	220.27	21.6
3	4291	84.43	230.07	22.56
Promedio	4194	78.54	230.71	22.63
45 Días				
1	3185	102.1	319.2	31.3
2	3237	113.88	253.5	24.86
3	2792	86.39	334.35	32.79
Promedio	3071.3	100.79	302.35	29.65
60 Días				
1	2107	137.45	292.84	28.72
2	2078	104.07	297.56	29.18
3	2105	106.03	317.04	31.09
Promedio	2096.7	115.85	302.48	29.66



Gráfica 1.10 Resistividad eléctrica del concreto

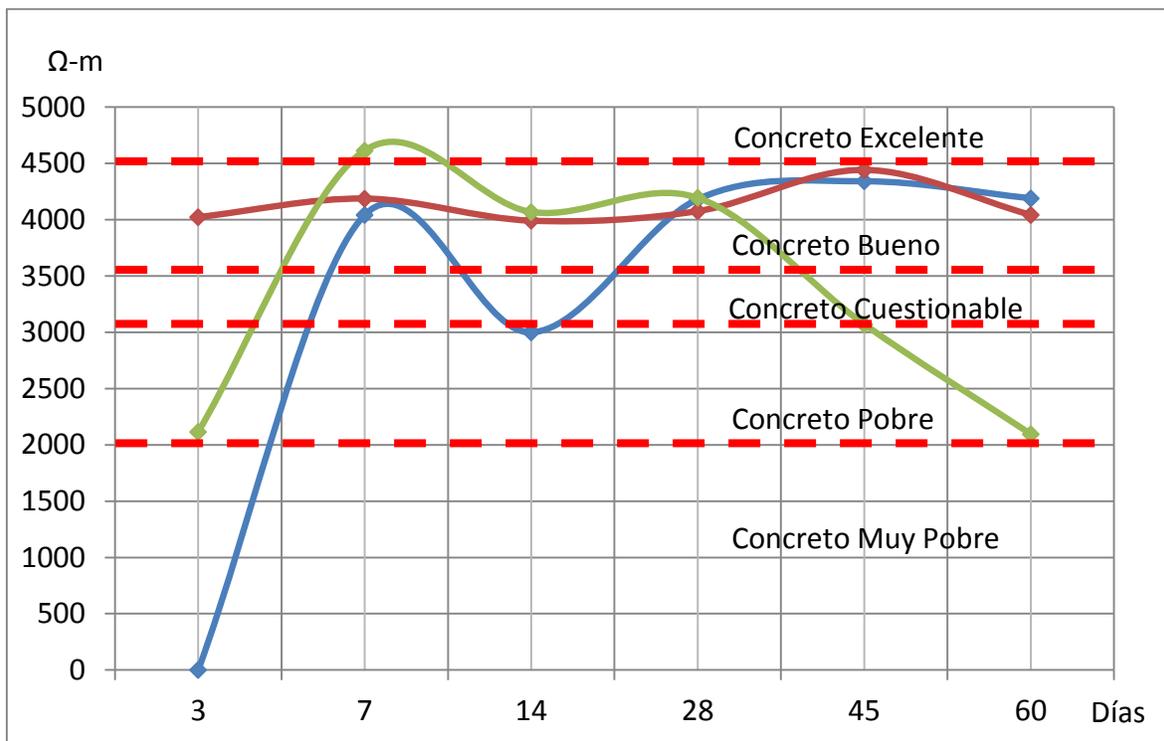


- Adición 15 % Metacaolín y 1 % de Nanosilice
- Testigos sin Fluidificante
- Testigos con 0.6 % de Fluidificante

Resistencia Eléctrica en cilindros $\Omega\cdot m$			
Edad	Adición 15% Metacaolín 1% Nanosilice	Testigos con 0.6 % de Fluidificante	Testigos sin Fluidificante
3	58.12	-	27.49
7	179.46	47.12	46.47
14	263.50	64.14	68.72
28	375.81	83.12	78.54
45	435.11	106.03	100.79
60	518.36	113.88	115.85



Gráfica 1.11 Velocidad de pulso ultrasónico del concreto

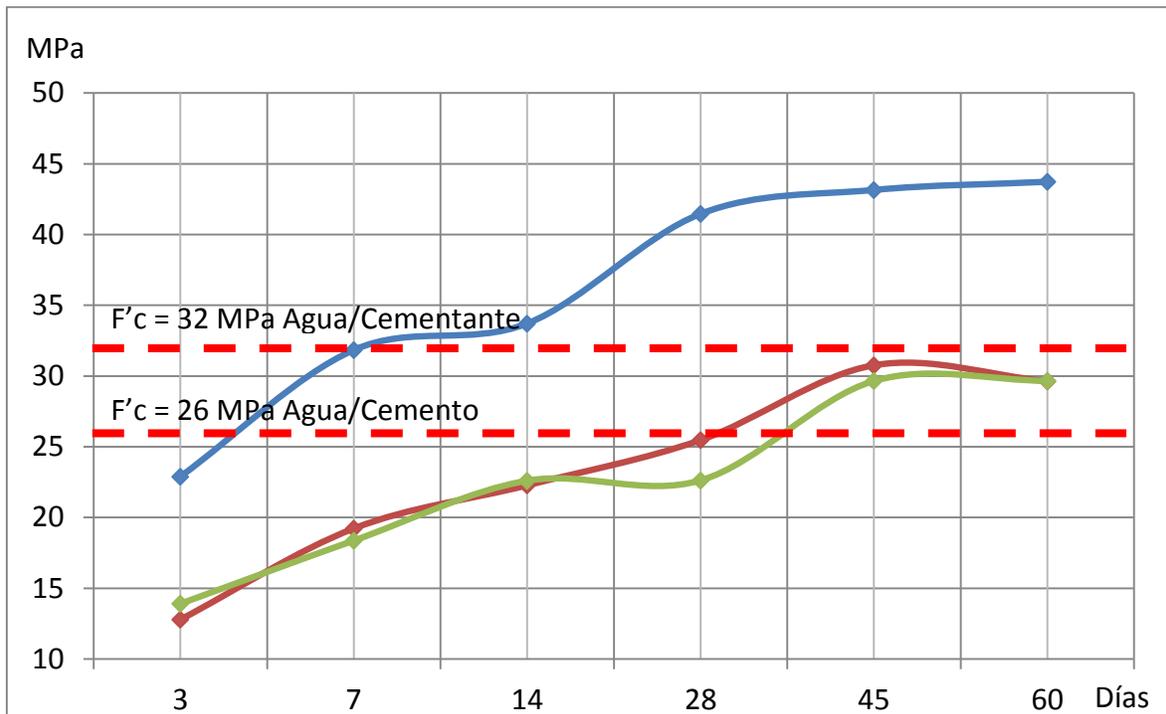


- Adición 15 % Metacaolín y 1 % de Nanosilice
- Testigos sin Fluidificante
- Testigos con 0.6 % de Fluidificante

Velocidad de Pulso Ultrasónico en cilindros m/s			
Edad	Adición 15% Metacaolín 1% Nanosilice	Testigos con 0.6 % de Fluidificante	Testigos sin Fluidificante
3	-	4023.3	2116.4
7	4042.6	4188.0	4614.7
14	2999.2	3991.3	4068.7
28	4181.8	4076.3	4194.0
45	4341.0	4442.3	3071.3
60	4190.6	4043.3	2096.7



Gráfica 1.12 Resistencia a compresión simple del concreto



- Adición 15 % Metacaolín y 1 % de Nanosilice
- Testigos sin Fluidificante
- Testigos con 0.6 % de Fluidificante

Resistencia a Compresión en cilindros MPa

Edad	Adición 15% Metacaolín 1% Nanosilice	Testigos con 0.6 % de Fluidificante	Testigos sin Fluidificante
3	22.90	12.79	13.91
7	31.84	19.22	18.37
14	33.71	22.28	22.60
28	41.46	25.47	22.63
45	43.15	30.76	29.65
60	43.73	29.63	29.66



7.2 Resultados de la prueba de ataque acelerado a la intemperización con sulfato de sodio anhidro.

La prueba se realizó a los 60 días de edad, cabe mencionar que solo se obtuvieron masas y se aplicó carga a compresión simple en cada ciclo para de esta manera comparar el grado de pérdida de masa en los cilindros ciclo tras ciclo. cuando no se pudo registrar datos se usó el símbolo S/D (Sin Dato).

Tabla 1.41 Resultados en prueba de ataque acelerado con sulfato de sodio anhidro

Prueba de ataque acelerado con sulfato de sodio					
Ciclo	Muestra	Masa húmeda g	Masa seca g	Resistencia a compresión Kg-f/cm ²	Resistencia a Compresión MPa
0	1	S/D	S/D	469.70	46.06
	2	S/D	S/D	468.93	45.99
	3	S/D	S/D	367.97	36.09
	4	S/D	S/D	477.08	46.79
	5	S/D	S/D	342.88	33.63
Promedio		S/D	S/D	425.31	41.71
1	1	3546	3428	307.10	30.12
	2	3546	3398	314.11	30.80
	3	3501	3385	321.75	31.55
	4	3525	3302	283.68	27.82
	5	S/D	S/D	S/D	S/D
Promedio		3529.5	3378.3	306.66	30.07
2	1	3432	3236	277.18	27.18
	2	3489	3286	275.15	26.98
	3	3479	3411	324.68	31.84
	4	3513	3402	317.29	31.12
	5	3470	3202	306.47	30.05
Promedio		3476.6	3307.4	300.15	29.44
3	1	3291	3225	285.08	27.96
	2	3317	3265	259.74	25.47
	3	3418	3250	295.77	29.01
	4	3429	3334	258.09	25.31
	5	3470	3391	238.22	23.36
Promedio		3385	3293	267.38	26.22
4	1	3340	3283	292.46	28.68
	2	3292	3218	311.05	30.50
	3	2277	3210	258.72	25.37



	4	3329	3278	291.06	28.54
	5	3310	3253	242.93	23.82
	Promedio	3109.6	3248.4	279.25	27.39
5	1	3344	3298	238.60	23.40
	2	3352	3248	269.54	26.43
	3	3403	3331	243.57	23.89
	4	3317	3264	278.71	27.33
	5	3246	3183	286.48	28.09
	Promedio	3332.4	3264.8	263.38	25.83

Tabla 1.42 Porcentajes de pérdidas de masa por ciclo

Ciclo	Masa húmeda %	Masa seca %
1	100	100
2	98.50	97.90
3	98.48	97.86
4	98.44	97.85
5	98.30	97.82



Gráfica 1.13 Resistencia a compresion simple y porcentajes de masa perdida por ciclo

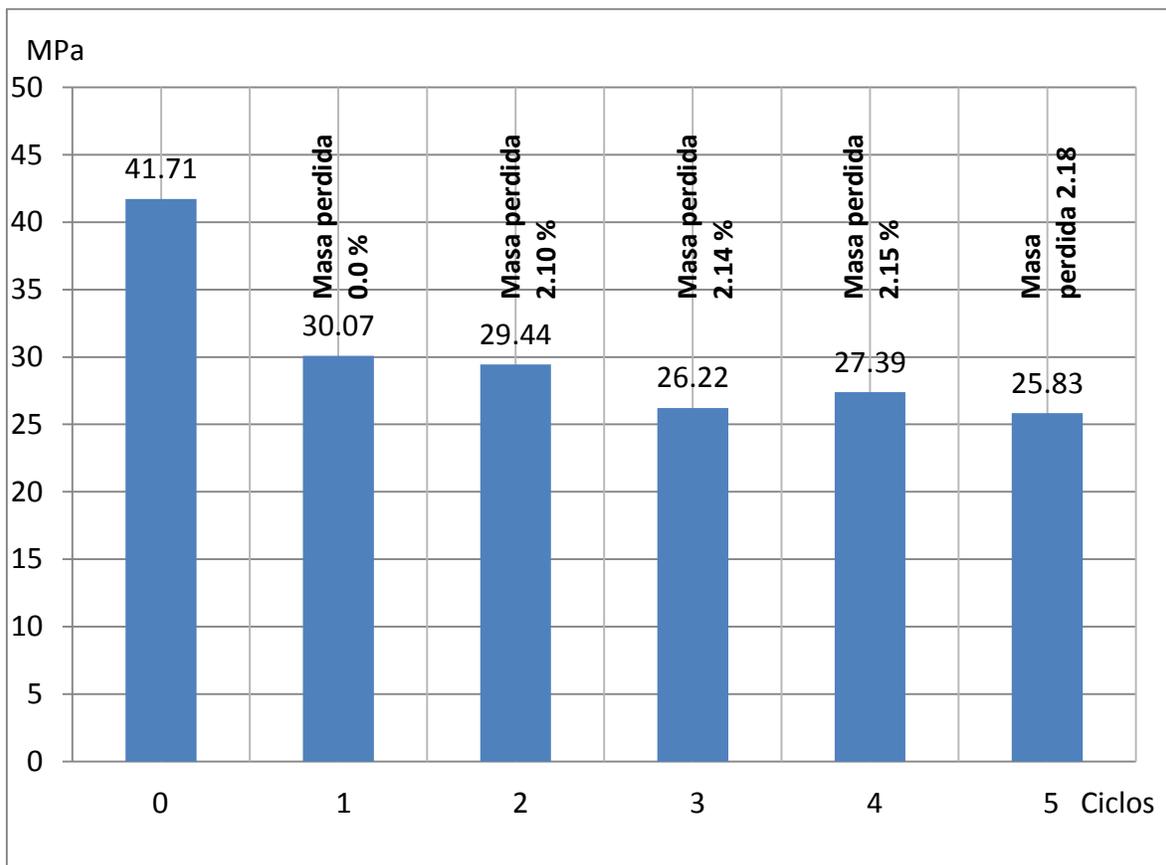




Figura 1.43 Ciclos en la prueba de ataque acelerado con sulfato de sodio anhidro

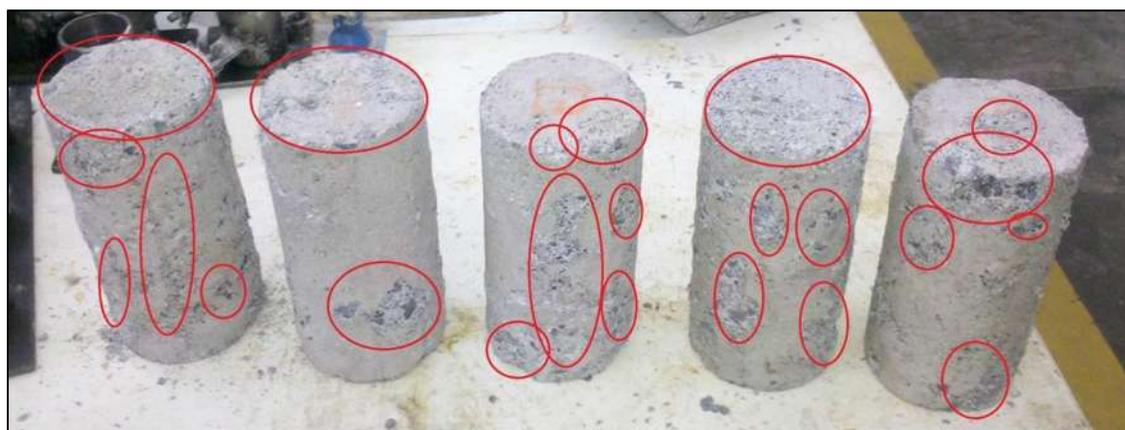


Figura 1.44 Daños en cilindros en el ciclo 5 de ataque acelerado con Sulfato de Sodio anhidro

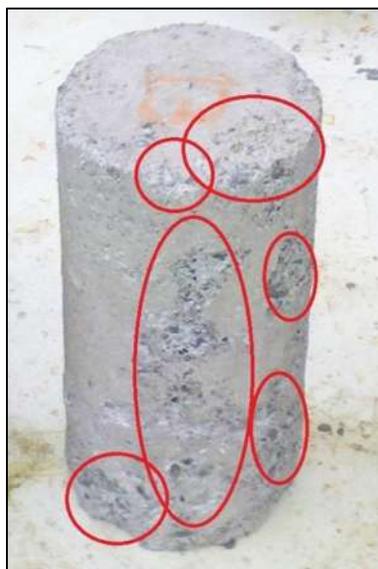


Figura 1.45 Zoom a cilindro en ciclo 5 de ataque acelerado con Sulfato de Sodio anhidro

7.3 Resultados de permeabilidad rápida a la penetración de cloruros

Tabla 1.43 Permeabilidad rápida a la penetración de cloruros

permeabilidad rápida a la penetración de cloruros				
Espécimen	Muestra	Coulombs	°C	Clase de permeabilidad
1	1	427	24	Vel. Baja
	2	451	25	Vel. Baja
	3	473	25	Vel. Baja
2	1	336	25	Vel. Baja
	2	358	26	Vel. Baja
	3	394	27	Vel. Baja

Tabla 1.44 Tipos de permeabilidad de cloruros

Coulombs	Tipo de permeabilidad	Típico de:
> 4000	Alta	Relaciones A/C altas
4000 - 2000	Moderada	Relaciones A/C 0.4 a 0.5
2000 - 1000	Baja	Relaciones A/C < 0.4
1000 - 100	Muy Baja	Concretos con látex
< 100	Despreciable	Concretos con polímeros



7.4 Resultados de módulo de ruptura en vigas

Las vigas de concreto se probaron a las edades de 7, 14 y 60 días.

Tabla 1.45 Módulo de ruptura en vigas con adición

adición 15% Mk 1% Nanosilice 0.6% fluidificante				
Muestra	Velocidad de Pulso m/s	Resistividad eléctrica Ω-m	Modulo De ruptura Kg-f/cm²	Modulo De ruptura MPa
14 Días				
1	-	262.5	28	2.75
2	-	260	18.4	1.8
3	-	257.5	30.53	2.99
Promedio	-	260	25.64	2.51
28 Días				
1	5489	750	30.13	2.95
2	4151	725	53.87	5.28
3	4217	600	39.73	3.9
Promedio	4619	691.67	41.24	4.04
60 Días				
1	4304	775	32.93	3.23
2	4219	800	43.07	4.22
3	4301	750	30.67	3.01
Promedio	4274.67	775	35.56	3.49

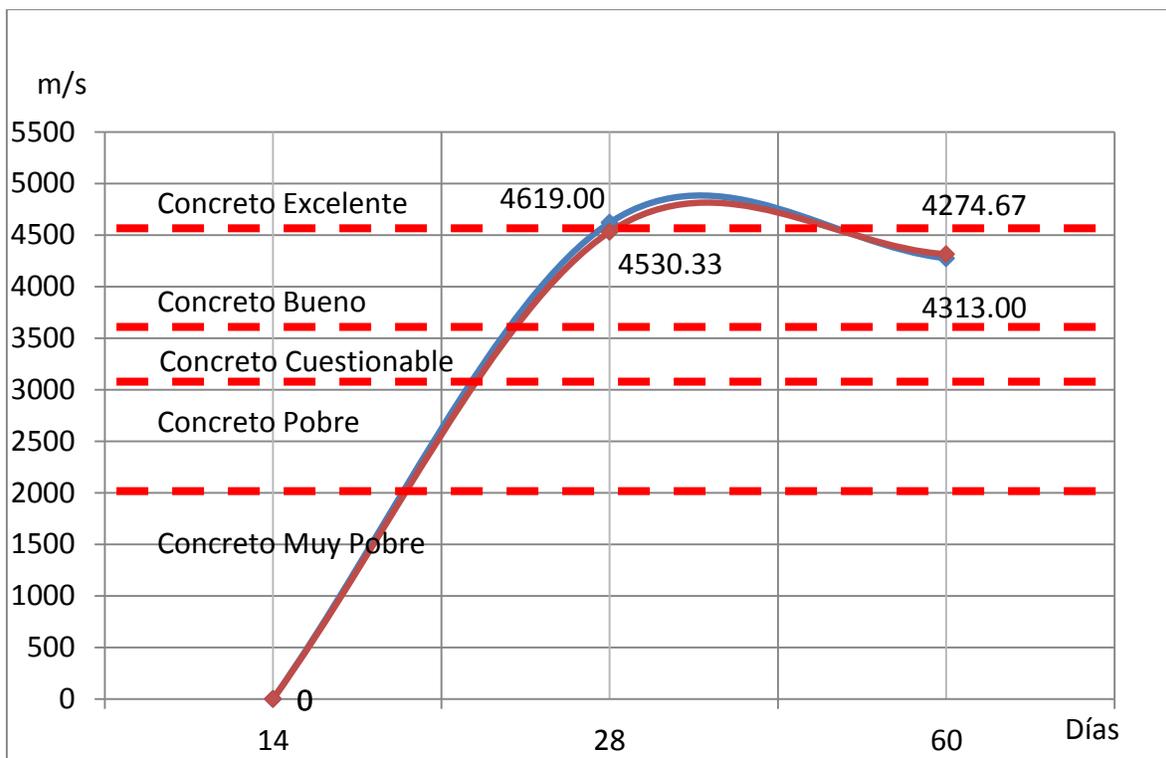
Tabla 1.46 Resultados módulo de ruptura en vigas testigo

Testigos				
Muestra	Velocidad de Pulso m/s	Resistividad eléctrica Ω-m	Modulo De ruptura Kg-f/cm²	Modulo De ruptura MPa
14 Días				
1	-	67.5	31.2	3.06
2	-	65	23.07	2.26
3	-	60	28.13	2.76
Promedio	-	64.17	27.47	2.69
28 Días				
1	5196	117.5	18.4	1.8
2	4182	107.5	23.2	2.28



3	4213	115	36.8	3.61
Promedio	4530.33	113.33	26.13	2.56
60 Días				
1	4373	172.5	20.53	2.01
2	4273	162.5	29.47	2.89
3	4293	155	22.13	2.17
Promedio	4313	163.33	24.04	2.36

Gráfica 1.14 Velocidad de pulso en vigas

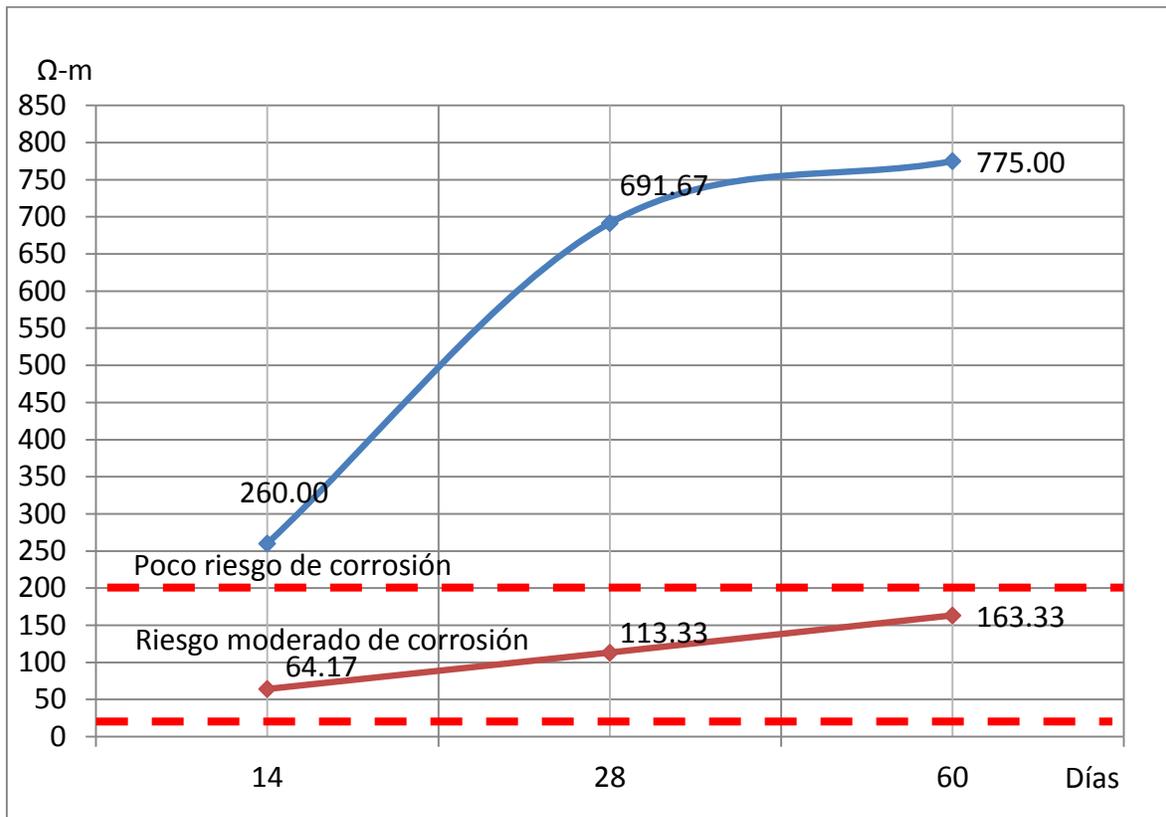


Adición 15 % Metacaolín y 1 % de Nanosilice
 Testigos

Velocidad de Pulso Ultrasónico (m/s)		
Edad	Adición 15% Metacaolín 1% Nanosilice	Testigos
14	-	-
28	4619.00	4530.33
60	4274.67	4313.00



Gráfica 1.15 Resistividad eléctrica en vigas

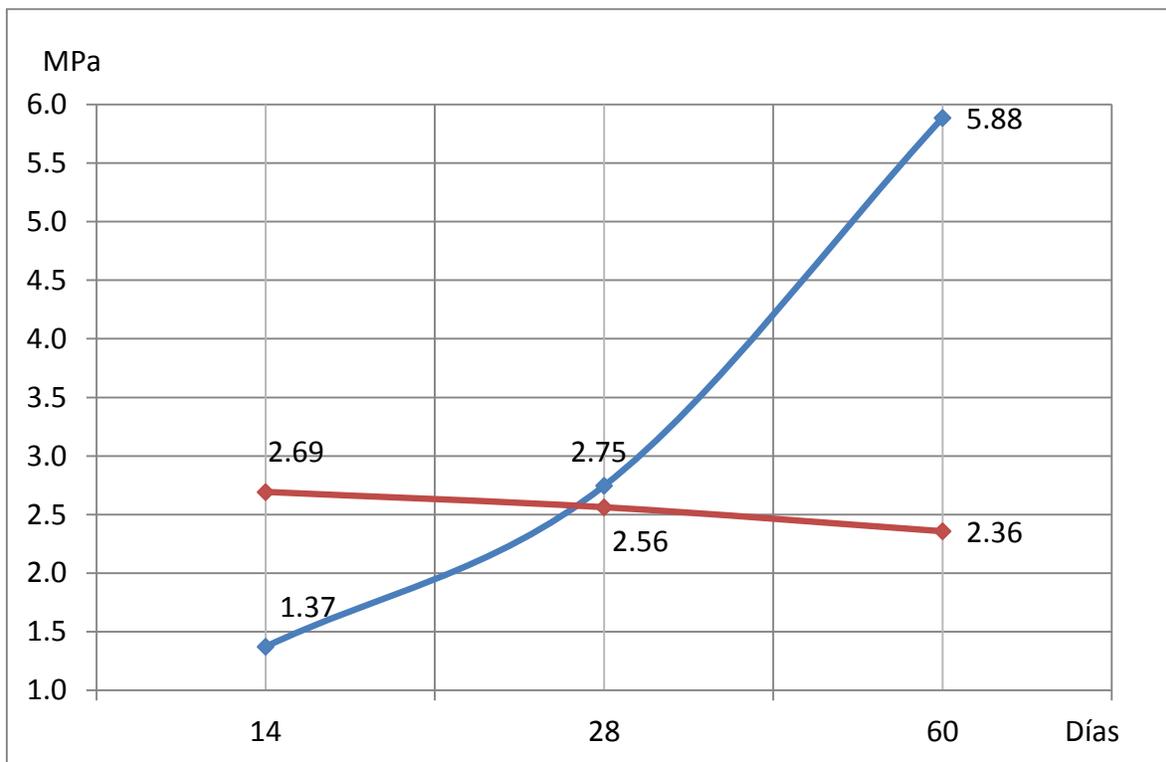


Adición 15 % Metacaolín y 1 % de Nanosilice
 Testigos

Resistividad Eléctrica ($\Omega\text{-m}$)		
Edad	Adición 15% Metacaolín 1% Nanosilice	Testigos
14	260.00	64.17
28	691.67	113.33
60	775.00	163.33



Gráfica 1.16 Módulo de ruptura en vigas



Adición 15 % Metacaolín y 1 % de Nanosilice
 Testigos

Modulo de Ruptura (MPa)		
edad	Adición 15% Metacaolín 1% Nanosilice	Testigos
14	1.37	2.69
28	2.75	2.56
60	5.88	2.36



Capítulo 8

Conclusiones

8.1 Conclusiones obtenidas de la experimentación

Una de las primeras conclusiones obtenidas a través de esta experimentación, fue que a pesar de la poca trabajabilidad y cohesión ofrecida por este tipo de mezclas adicionadas con puzolanas como son el metacaolín y nanosilice, estas mezclas pueden ser utilizadas siempre y cuando se empleen fluidificantes, ya que estas presentan muy buenas propiedades físicas, mecánicas y químicas. Se tendría invertir un poco más pero a la larga nos generaría un beneficio en cuanto a sus bajos o nulos gastos de manutención en comparación con un concreto normal, un inconveniente que podría presentarse en obra es un exceso de agua en la mezcla, adicionada por parte de los encargados de realizarla con el fin de mejorar la trabajabilidad de la mezcla, lo que implicaría una mejor supervisión al momento de la elaboración, aun con este inconveniente el concreto resultante presentara muy buenos resultados.

En cuanto a las propiedades físico-mecánicas obtenidas mediante la experimentación, los resultados son muy alentadores ya que en comparación con un concreto hidráulico testigo sin ninguna adición, su resistencia a compresión a la edad de 28 días nos arrojó un aumento de un 60% aproximadamente, lo que es muy bueno, pero no solo mejoro su resistencia a compresión sino que también mejoro su resistividad eléctrica, lo que nos generara un concreto hidráulico con poca porosidad y un riesgo bajo de posible corrosión a futuro, esto nos brindaría la oportunidad de emplear este concreto hidráulico en ambientes donde estará expuesto a sustancias nocivas como podrían ser sulfatos y cloruros, que para un concreto hidráulico normal generaría un alto riesgo de corrosión.

En cuanto a la permeabilidad obtenida en base a las pruebas nos indicó que es un concreto con una baja permeabilidad, lo que nos indica que es un concreto con una alta capacidad a resistir la penetración de agua u otras sustancias. Generalmente las mismas propiedades que convierten al concreto hidráulico menos permeable también lo vuelven más hermético, el concreto hidráulico empleado en estructuras que estén expuestas a mal tiempo climatológico o a otras condiciones de exposición severa debe ser virtualmente impermeable y hermético.



En cuanto a su resistencia a flexión o módulo de ruptura nos arroja buenos resultados, ya que se maneja normalmente que un concreto hidráulico ideal para uso en elementos sujetos a flexión debe estar entre 3MPa y 5MPa, esto para las condiciones de carga más comúnmente soportadas como podrían ser; pavimentos para vivienda, estacionamientos, pisos industriales, calles, plataformas, puertos, carreteras, pistas y aeropuertos.

Por lo ya mencionado anteriormente y respaldado por los resultados obtenidos en el trabajo de experimentación, se recomienda utilizar este concreto hidráulico elaborado con grava triturada, incluyendo metacaolín y nanosilice, por los grandes beneficios mencionados reflejándose en estructuras civiles de una muy buena calidad, con la recomendación de un mayor énfasis y cuidado a el proceso de elaboración del concreto hidráulico.



Bibliografía

- [1] Neville A. M. y Brooks J. J., Concrete Technology, Segunda Edición. Pearson Education Limited 2010. ISBN 978-0-273-73219-8.
- [2] 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.
- [3] MacCormack Jack C. Diseño de concreto reforzado. Alfaomega. Cuarta edición, 2002. ISBN 970-15-0633-2
- [4] ARQHYS Arquitectura, revenimiento del concreto.
<http://www.arqhys.com/contenidos/revenimiento-del-cemento.html>
- [5] 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.
- [6] Notas de Concretos, Resistencia a los Cloruros y Corrosión de la Armadura.
<http://notasdeconcretos.blogspot.mx/2011/04/resistencia-los-cloruros-y-corrosion-de.html>
- [7] Universidad de oriente. http://www.univo.edu.sv:8081/tesis/007860/007860_Anex.pdf
- [8] teoriadeconstruccion.net, Metacaolín: definición y ensayos.
<http://teoriadeconstruccion.net/blog/metacaolin-definicion-y-ensayos>
- [9] Ing. Acuña, Lorena; Ing. Figueredo, Mercedes, Elaboración de hormigones de alta resistencia Utilizando metacaolín de producción paraguaya Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Asunción, Campus Universitario San Lorenzo – Paraguay
- [10] Información Técnica preparada por la National Ready Mixed Concrete Association, 900 Spring St., Silver Spring, MD 20910. www.nrmca.org
- [11] Carbon inspired, Workshop internacional: Aplicacion de nanomateriales en la industria. <http://carboninspired2.com/wp-content/uploads/Presentaciones-Workshop-CarbonInspired-Parte-31.pdf>
- [12] Héctor Pérez Montiel, Física General, Segunda edición 2000
- [13] Malhotra V. M., 1985, Nondestructive methods for testing concrete, Department of Energy, Mines and Resources, Ottawa, Canada
- [14] Whitehurst, E. A., 1966, Evaluation of Concrete Properties from Sonic Test, ACI Monograph 2, American Concrete Institute, Detroit, MI.



[15] 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 [2] [16] estructuras de hormigón. Centro de Tecnología, Cemento y Concreto. CEMEX. Abril 2003

[17] 360° en concreto, Tecnología del concreto. <http://360gradosblog.com/index.php/lo-que-debes-saber-sobre-el-ataque-de-sulfato-en-el-concreto>

[18] ASTM D1411-09 (Standard Methods for Water-Soluble Chlorides Present as Admixtures in Graded Aggregate Road Mixes

[19] 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.