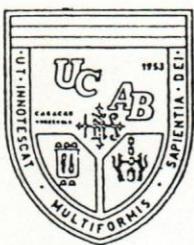


AAN 480

TESIS
IC2000
M8
U.1



UNIVERSIDAD CATOLICA ANDRES BELLO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



Influencia de la Microsílice en la protección contra la
corrosión de estructuras de concreto en contacto con
agua.

Este Jurado; una vez realizado el examen del presente trabajo ha evaluado su contenido
con el resultado: DIGUNUEVE (19)

JURADO EXAMINADOR

FIRMA:
NOMBRE: Juan Jacobo Marcano F.

FIRMA:
NOMBRE: Francisco Morera.

FIRMA:
NOMBRE: Diego Calvo.

REALIZADO POR

Nicole Muxi C.

PROFESOR GUIA

Ing. Juan Jacobo Marcano F.

FECHA

5 de Junio del 2000

DEDICATORIA

A Dios y a mis padres
por estar a mi lado y sentir su apoyo.

A mis amigos que de lejos
estuvieron pendientes y me dieron sus
palabras de aliento.

Gracias por darme confianza en mi misma.

Nicole M.

AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Jacobo Marcano, por ser amigo y tutor, compartir sus experiencias conmigo y permitirme involucrarme en un verdadero ambiente de trabajo.

A la T.S.U Sofía Barilla por la ayuda brindada en el desarrollo de la investigación, consejos y amistad que tanto valoré en esos días que pase en el departamento.

A la T.S.U Elizabeth Zabala por su amistad, conocimiento compartidos y sobre todo, la ayuda en cada uno de los ensayos.

A los muchachos; Giovanni Barreto, Héctor Correa y Humberto Zerpa; por su paciencia, colaboración y buena voluntad, “la catira” siempre los tendrá presente.

Al Ing. Hiran Ferrer por introducirme en el ambiente de trabajo y ayudarme en los primeros pasos en el desarrollo de la investigación.

Gracias a todo el departamento, me hicieron sentir como una más del equipo.

SINOPSIS

En años recientes ha aparecido en el mercado de la construcción un producto de nombre microsílíce, una puzolana de origen industrial que utilizada en proporciones adecuadas mejora las propiedades mecánicas del concreto.

Este trabajo tiene por objeto establecer la relación entre los parámetros de diseño recomendados para estructuras de concreto en contacto con agua en la norma COVENIN 1753 "Estructuras de Concreto Armado para Edificaciones, Análisis y Diseño", y los parámetros recomendados por la norma ASTM C-1202 "Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration" para adecuar los criterios de diseño de la norma COVENIN 1753 cuando se utiliza microsílíce.

El estudio se llevó a cabo utilizando tres diseños de mezclas de concreto convencional de relación agua/cemento de 0.45, 0.50 y 0.55, y tres diseños de concreto con microsílíce con relación agua/(c + k*MS) de 0.45, 0.50 y 0.55. Se introduce el concepto de factor de eficiencia, "k", que es la cantidad de kilos de cemento es capaz de sustituir un kilo de microsílíce.

Se midió la indicación eléctrica al paso del ion cloruro de todos los diseños de mezclas a los 28 días de edad y se les calificó cualitativamente utilizando los parámetros establecidos en la norma ASTM C-1202.

Se concluye que los parámetros de diseño propuestos por la norma COVENIN 1753 para concretos convencionales, a 28 días de edad, en condiciones de exposición especial no es suficiente para proveer un adecuado grado de protección contra la corrosión del acero de refuerzo y que el uso de aditivos puzolánicos, como la microsílíce, mejora dicha condición.

INDICE GENERAL

	pág
DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTOS.....	ii
SINOPSIS.....	iii
ÍNDICE GENERAL.....	iv
ÍNDICE DE TABLAS.....	vii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	viii

CAPÍTULO 1. EDELCA

1.1 QUIEN ES.....	1
1.2 RESEÑA HISTÓRICA.....	1
1.3 VALORES DE LA EMPRESA.....	4
1.4 ESTRUCTURA ORGANIZATIVA.....	5
1.5 FUNCIONES DEL DEPARTAMENTO LABORATORIO DE MATERIALES.....	6

CAPÍTULO 2.

2.1 TITULO.....	7
2.2 OBJETIVOS DEL ESTUDIO.....	7
2.2.1. Objetivo General.....	7
2.2.2. Objetivos Específicos.....	7
2.3 ANTECEDENTES.....	8
2.4 ALCANCES.....	8
2.5 LIMITACIONES.....	9

CAPÍTULO 3. MARCO TEÓRICO

3.1 LAS PUZOLANAS.....	10
------------------------	----

3.2 LA MICROSÍLICE.....	11
3.2.1 Definición.....	11
3.2.2 La Microsílice en el concreto.....	12
3.2.3 Propiedades físicas y composición química de la microsílice.....	12
3.2.3.1 Color.....	12
3.2.3.2 Densidad.....	12
3.2.3.3 Finura.....	12
3.2.3.4 Composición Química.....	13
3.2.4 Como funciona la microsílice.....	14
3.2.5 Efectos de la Microsílice sobre las Propiedades del Concreto.....	15
3.2.5.1 La Demanda de Agua.....	15
3.2.5.2 Trabajabilidad.....	15
3.2.5.3 Segregación.....	15
3.2.5.4 Exudación.....	16
3.2.5.5 Aire Incorporado.....	16
3.2.5.6 Peso Unitario del Concreto.....	16
3.2.5.7 Retracción Plástica.....	16
3.2.5.8 Tiempo de Fraguado.....	17
3.2.5.9 Calor de Hidratación.....	17
3.2.5.10 Porosidad.....	17
3.2.5.11 Permeabilidad.....	17
3.2.5.12. Resistencia a la compresión.....	18
3.2.5.13. Resistencia a la penetración del ion cloruro.....	18
3.2.6 Aplicaciones de la Microsílice.....	19
3.2.7 Recomendaciones de los Concretos con Microsílice.....	19
3.3 LA CORROSIÓN EN EL CONCRETO ARMADO.....	20
3.3.1 Proceso de corrosión.....	20
3.3.2 Criterio de Diseño de la Norma Venezolana.....	22
3.3.3 Ensayos para determinar el paso del Ion Cloruro.....	23
3.3.4 Factores relacionados con la corrosión.....	25

CAPÍTULO 4. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 MATERIALES.....	27
4.1.1 Cemento.....	27
4.1.2 Microsílice.....	27
4.1.3 Aditivos.....	27
4.1.4 Agregados.....	28
4.2 DISEÑO DE LAS MEZCLAS.....	28
4.3 METODOLOGÍA DE ENSAYO.....	30
4.4 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	31
4.5 CONCLUSIONES.....	38
4.6 RECOMENDACIONES.....	39
 BIBLIOGRAFÍA.....	 40

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°	Pág
3.1. Requisitos para Condiciones de Exposición Especial.....	22
3.2. Penetrabilidad al Ion Cloruro basado en la Carga Transmitida.....	24
4.1. Proporciones y Propiedades de los Diseños de Mezclas de Concreto.....	30
4.2. Resultados de Ensayos en Mezclas de Concreto.....	37

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N°	Pág
4.1. Porcentaje de Agua Exudada vs. Relación a/c y a/(cto.equiv.).....	32
4.2. Resistencia a la Compresión vs. Edad en Concreto Convencional.....	33
4.3. Resistencia a la Compresión vs. Edad en Concreto Convencional.....	33
4.4. Resistencia a la Compresión a 28 días de Edad vs. Relación a/c y a/(cto.equiv).....	34
4.5. Carga de Penetrabilidad del Ion Cloruro vs. Relación a/c y a/(cto.equiv).....	36

CAPITULO I

La Empresa

1. EDELCA

1.1 QUIEN ES

CVG Electrificación del Caroní, C.A. – EDELCA –, filial de la Corporación Venezolana de Guayana, es la empresa de generación hidroeléctrica más importante que posee Venezuela. Forma parte del conglomerado industrial de la CVG, ubicado en la región de Guayana, conformado por las industrias del acero, carbón, aluminio, hierro, bauxita y actividades afines.

EDELCA opera las Centrales Hidroeléctricas “Raúl Leoni” (Guri) con una capacidad instalada de 10.000 megavatios, considerada la segunda en importancia en el mundo y “23 de Enero” (Macagua), con 3.080 Megavatios instalados.

Posee una extensa red de líneas de transmisión que superan los 4.000 Km, cuyo sistema de 800 Kv es el quinto instalado en el mundo con líneas de Ultra Alta Tensión en operación.

Actualmente EDELCA aporta más del 70% a la producción nacional de electricidad a través de sus grandes centrales hidroeléctricas Macagua y Guri.

1.2 RESEÑA HISTÓRICA

La Corporación Venezolana de Fomento, creada en 1946, entre sus primeras actividades fue la de contratar en el año de 1949 a la firma consultora norteamericana Burns & Roe Inc. para la realización de un Plan de Electrificación Nacional. En esa época el suministro de energía se realizaba por generación térmica principalmente, la hidroelectricidad representaba el 20% de la oferta del sector. El informe presentado recomendaba el desarrollo del río Caroní, siendo el río de mayor potencial hidroeléctrico de Venezuela, por poseer excelentes condiciones para su aprovechamiento, sobre todo en los saltos inferiores.

En 1953 se crea la Comisión de Estudios para la Electrificación del Caroní, adscrita al Ministerio de Fomento, que inicia los primeros estudios y trabajos para la construcción de la primera central hidroeléctrica sobre el río Caroní.

Con base en los estudios de factibilidad llevados a cabo en el año 1955, quedó definido el anteproyecto de construcción de la Central Hidroeléctrica de Macagua I y en 1956 se da inicio a la construcción del mismo.

El Presidente de la República señor Rómulo Betancourt, mediante decreto Presidencial creó la Corporación Venezolana de Guayana el 29 de Diciembre de 1960, bajo la figura de Instituto Autónomo adscrito a la Presidencia de La República, cuyos objetivos eran el estudiar, desarrollar y organizar el aprovechamiento del potencial hidroeléctrico del río Caroní, promover el desarrollo industrial de la región tanto dentro del sector público como del sector privado y programar el desarrollo integral de la región conforme a las normas y dentro del ámbito del Plan de la Nación.

En 1961 la Central Hidroeléctrica Macagua I inició su funcionamiento a plena capacidad y ese mismo año comenzaron los estudios de factibilidad para la construcción de la Central Hidroeléctrica de Guri.

El 23 de julio de 1963 se constituyó formalmente la empresa C.V.G. Electrificación del Caroní, C.A., (EDELCA), que desde esa fecha hasta ahora, se encarga de producir, transportar y comercializar energía eléctrica a precios competitivos, en forma confiable y en condiciones de eficiencia y rentabilidad.

A fines de ese año comenzaron los trabajos preliminares en Guri, como fueron la construcción del campamento, movimientos de tierra, etc. En 1965 se realizó el primer vaciado de concreto y el 8 de Noviembre de 1968 el Presidente de la República Doctor Raúl Leoni, inauguró la Primera Etapa de la Central Hidroeléctrica de Guri.

Ese mismo año fue firmado el contrato de interconexión, dando origen al Sistema Interconectado Nacional, que integraban las empresas Edelca, Cadafe y C.A. La Electricidad de Caracas

La etapa final de Guri se inicia con la firma del contrato de ejecución en 1978, donde EDELCA asumió directamente las directrices para guiar el proceso de construcción, y es inaugurada el 8 de Noviembre de 1986 por el Presidente de la República, Doctor Jaime Lusinchi, con el nombre de Central Hidroeléctrica "Raúl Leoni", con una capacidad instalada de 10.000 Megavatios, convirtiéndose esta Central, por algunos años, en la de mayor capacidad instalada en el mundo.

En 1985 se inicia la construcción de la Central Hidroeléctrica Macagua II con el desvío del río para la construcción de las estructuras principales que se inician en 1988.

Ese mismo año se firma el segundo contrato del Sistema Interconectado Nacional que integran las empresas Edelca, Cadafe, C.A. La Electricidad de Caracas y Enelven

En 1992 entra en operación la interconexión eléctrica Venezuela- Colombia a 230 Kv por la zona de La Goajira.

En 1997 se culminan las obras civiles de Macagua II y el 27 de Enero, el Presidente de la República Doctor Rafael Caldera, inauguró la Central Hidroeléctrica Macagua II y mediante decreto en homenaje al sistema democrático y a la continuidad administrativa, designa esta obra con la fecha representativa del inicio de la democracia en nuestro país, 23 de Enero.

En 1993 se inicia la construcción de Caruachi, ubicada a unos 59 Km. aguas abajo del Embalse de Guri y con una capacidad futura de 2.160 Megavatios.

Caruachi conjuntamente con los Proyectos Guri y Macagua ya construidos, y Tocoma por construir, conformarán el Desarrollo Hidroeléctrico del Bajo Caroní.

1.3 VALORES DE LA EMPRESA

- Ser una empresa líder en la prestación del servicio eléctrico, comprometida con la conservación del medio ambiente
- Con un mercado diversificado a escala nacional e internacional,
- Dotadas de tecnologías de vanguardia y conformada por un recurso humano competente,
- Orientada a la obtención de adecuados índices de calidad, rentabilidad y eficiencia
- Que satisfaga los requerimientos de sus clientes, empleados, accionistas, comunidades, proveedores y de desarrollo del país.

1.4 ESTRUCTURA ORGANIZATIVA

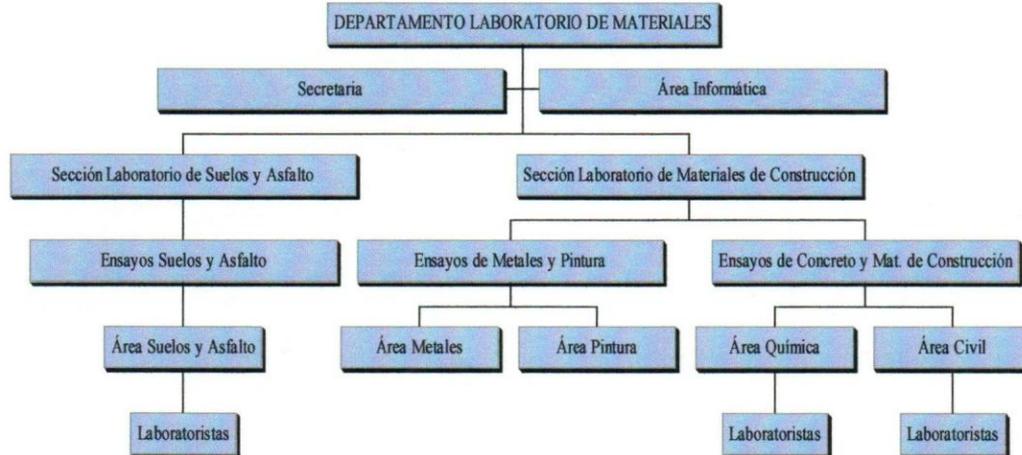
1.4.1 Organigrama Principal



1.4.2 Organigrama de la División de Ingeniería Básica



1.4.3 Organigrama del Departamento de Materiales



1.5 FUNCIONES DEL DEPARTAMENTO LABORATORIO DE MATERIALES

Supervisar, coordinar y dirigir los estudios de control de calidad e investigación de los materiales de construcción a ser utilizados en las obras civiles de los proyectos que ejecuta tanto EDELCA como las empresas filiales a la C.V.G., en las áreas de Cemento, Agregados, Química, Pintura, Metales, Suelos y Asfalto, con la finalidad de elaborar y/u organizar el cumplimiento de las especificaciones técnicas de los diferentes contratos.

El Departamento de Laboratorio de Materiales se divide en dos secciones que se mencionan a continuación:

- Laboratorio de Suelo y Asfalto, que se encarga de dirigir, supervisar y coordinar la recolección de muestras para análisis de suelos y ensayos de campo y laboratorio, a fin de llevar el control de calidad en la ejecución de las obras de tierra, igualmente coordina y dirige estudios de laboratorio para garantizar la calidad de las obras que cuenta EDELCA a las empresas filiales del grupo C.V.G. y/o homologan procedimientos constructivos.

- Laboratorio de Materiales de Construcción, cuya función es dirigir y coordinar programas de investigación de diseños de mezclas de concreto y nuevos materiales de construcción, así como desarrollar especificaciones y/o procedimientos para la ejecución de los proyectos utilizando las nuevas tecnologías del mundo de la construcción. También ejecuta ensayos especiales no destructivos y da apoyo técnico a las diferentes unidades de EDELCA en el análisis de fallas, reparación y mantenimiento de obras civiles y mecánicas. La sección está dividida en las áreas de Química, Civil y Metales y Pinturas.

CAPITULO II

2.1 TITULO

Influencia de la microsilíce en la protección contra la corrosión de estructuras de concreto en contacto con agua.

2.2 OBJETIVOS DEL ESTUDIO

2.2.1. Objetivo General

Establecer la relación entre los parámetros de diseño recomendados para estructuras de concreto en contacto con agua en la norma COVENIN 1753 "Estructuras de Concreto Armado para Edificaciones, Análisis y Diseño", y los parámetros recomendados por la norma ASTM C-1202 "Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration" para adecuar los criterios de diseño de la norma COVENIN 1753 cuando se utiliza microsilíce.

2.2.2. Objetivos Específicos

- Evaluar la resistencia al paso del ion cloruro en mezclas de concreto convencional utilizando relaciones a/c que van desde 0,45 a 0,55.
- Evaluar la resistencia al paso del ion cloruro en mezclas de concreto con microsilíce utilizando relaciones $a/(c+k*MS)$ que van desde 0,45 a 0,55.
- Establecer la relación que existe entre la indicación eléctrica de la resistencia al paso del ion cloruro y las relaciones a/c como criterio de diseño de mezclas de concreto convencional.
- Establecer la relación que existe entre la indicación eléctrica de la resistencia al paso del ion cloruro y las relaciones $a/(c+k*MS)$ como criterio de diseño de mezclas de concreto con microsilíce.

- Evaluar la influencia sobre la resistencia a la compresión del concreto cuando se sustituye cemento por microsilíce en mezclas de concreto convencional.

2.3 ANTECEDENTES

Los primeros estudios de la resistencia a la penetración del ion cloruro se realizaron en la década de los '70 en Estados Unidos por la FHWA (FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION). Estos consistieron en exponer al ambiente exterior 124 losas de concreto premezclado por un periodo de un año. Los concretos estudiados diariamente fueron preparados con diferentes relaciones a/c, aditivos, procesos de curado, tratamiento de superficie y diferentes niveles de losa, tratados con una solución de NaCl al 3% diariamente. Este programa dio como resultado una serie de recomendaciones para las relaciones a/c y mayores espesores de recubrimiento de losas de concreto armado en puentes de concreto que sirvieron como base para crear los criterios de diseño que establece la norma COVENIN 1753 que se usa actualmente.

El problema que traía esa evaluación era que el tiempo para realizarla era muy largo, por lo cual los ingenieros de diseño fueron buscando un método fácil, rápido y relativamente económico para ir midiendo la permeabilidad del ion cloruro en el concreto y poder especificar las estructuras de concreto en ambientes con cloruros. Fue así como después de varios métodos nace la norma ASTM C-1202 "Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration", que ha sustituido a otros métodos por su rapidez y eficiencia para corregir diseños y crear criterios con la incorporación de nuevos materiales en el mundo de la construcción.

2.4 ALCANCES

Evaluar la resistencia al paso del ion cloruro en mezclas de concreto convencional diseñadas siguiendo los criterios de durabilidad establecidos por la norma COVENIN 1753 y evaluar la influencia del uso de la microsilíce sobre la resistencia al paso del ion

cloruro en mezclas de concretos diseñadas con relación a/c superiores a las recomendadas por la norma COVENIN 1753, utilizando el método de ensayo y los criterios de evaluación establecidos por la norma ASTM C-1202 “Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete’s Ability to Resist Chloride Ion Penetration”.

Basándose en el análisis de los resultados se evaluará la validez de los criterios de durabilidad establecidos en la norma COVENIN 1753 y la factibilidad de flexibilizar criterios cuando se utilice la microsílíce en mezclas de concreto.

Promover el uso de la norma ASTM C-1202 como instrumento para establecer los criterios de durabilidad de las estructuras de concreto a estar en contacto con agua.

2.5 LIMITACIONES

Es importante señalar que los resultados obtenidos están directamente relacionados con los materiales utilizados y que para su aplicación en otros proyectos se requerirán los ajustes correspondientes.

Por razones del tiempo previsto para la investigación, solo se reportarán valores de las propiedades del concreto endurecido a 28 días de edad.

CAPITULO III

Marco Teórico

3. MARCO TEÓRICO.

3.1 LAS PUZOLANAS

Las puzolanas son materiales silicios o aluminoso-silicoso que por sí solas poseen poco o ningún valor cementante, pero que finamente molidas y combinado con cemento, reaccionan con el hidróxido de calcio formando compuestos con propiedades cementantes. Es un término derivado del nombre de la ciudad de Puzzuoli, Italia, de donde se traía el material puzolánico de origen volcánico que se empleaba como cementante en los primeros usos de cemento hidráulico hace 2000 años.

Toda puzolana depende de algún tipo de sustancia que la activa químicamente, como son silicios o aluminio; el ópalo, arcillas minerales calcinadas, ciertas ceolitas, óxido hidratados e hidróxidos de aluminio también son sustancias puzolánicas. A continuación se mencionan algunas puzolanas clasificadas petrográficamente:

(1) Arcillas y Esquistos (deben calcinarse para activarse)

Tipos de Caolinita

Tipos de Montmorilonita

(2) Materiales de ópalo (puede o no requerir calcinación)

Tierra diatomácea

(3) Tufas volcánicas y piedra pómez (puede o no requerir calcinación)

Tipos de Riolita

Tipos de Andesita

(4) Por Productos Industriales

Fly Ash

Microsilíce

Las puzolanas proporcionan mayor trabajabilidad y calidad al concreto o protegen la expansión producida por la reacción entre ciertos agregados y los álcalis en el cemento. La mejor cualidad de las puzolanas es la de proporcionar resistencia a los sulfatos. Cuando se utilizan como adición, proporcionan mayor trabajabilidad, algunas disminuyen el calor de hidratación, exudación y permeabilidad del concreto.

Se debe tener cuidado en la selección y uso de las puzolanas, ya que las propiedades varían entre unas y otras pudiendo introducir cualidades adversas en el concreto, como excesiva retracción por secado, reducir la resistencia a la compresión y durabilidad. Antes de usar una puzolana se debe ensayar con el cemento y agregado a utilizar en el proyecto específico.

3.2 LA MICROSILICE

En los últimos años ha llamado bastante la atención al uso de la microsíllice como un aditivo en el concreto.

Además, con la reciente aparición en el mundo de la construcción de los aditivos reductores de agua de alto rango, ha abierto nuevas posibilidades para el uso de la misma como parte del material cementante para producir altos esfuerzos y/o altos niveles de durabilidad en el concreto.

3.2.1 Definición

La microsíllice, humo de sílice o sílica fume, es una puzolana artificial que se obtiene como un subproducto de la fabricación de silicio metálico y sus aleaciones, sobretodo los ferrosilíceos. Se forma a partir del cuarzo (SiO_2), por carbón en hornos de arco eléctrico. Parte del cuarzo se evapora como óxido de silicio (SiO) y se oxida a dióxido de silicio (SiO_2), al entrar en contacto con el oxígeno de una zona fría del horno. Este SiO_2 se condensa en finas partículas esféricas microscópicas como dióxido de silicio amorfo con un tamaño promedio de grano de 0.15 micras y con un tamaño de partículas

100 veces más finas que las de cemento y se recolectan de los gases que se escapan de los hornos.

3.2.2 La Microsílice en el concreto

La microsíllice era vista inicialmente como un reemplazo del material cementante; y en algunos sitios es todavía usado como tal. En general, parte del cemento puede ser reemplazado por una pequeña cantidad de microsíllice. Por ejemplo, una parte de microsíllice puede reemplazar 2 a 4 partes de cemento (en peso) sin perder esfuerzos y mantener las demandas de agua constantes.

Cuando la microsíllice se usa como adición normalmente se incrementan las demandas de agua. Y manteniendo una misma relación agua/material cementante (por peso), se hace necesario el uso de aditivos reductores de agua para obtener la trabajabilidad anterior.

3.2.3 Propiedades físicas y composición química de la microsíllice.

3.2.3.1 Color

El color del gran rango de microsíllices va desde un gris claro a uno oscuro. El SiO_2 es incoloro, el color lo determinan son los componentes no silicios que posee la microsíllice como es el carbón y el óxido de hierro. En general, a un alto contenido de carbón más oscura es la microsíllice. La pérdida de compactación también puede afectar el color.

3.2.3.2 Densidad

La gravedad específica de la microsíllice es aproximadamente 2200 kg/m^3 . Sin embargo, la densidad de algunas microsíllices puede exceder este valor, las variaciones son atribuidas a los componentes no silicios que varían entre las microsíllices.

3.2.3.3 Finura

La microsíllice consiste, principalmente, en partículas muy finas cristalinas, esféricas y pulidas con una superficie específica de aproximadamente $20.000 \text{ m}^2/\text{kg}$ medido a través

del método de absorción de nitrógeno. Son 100 veces más finas que las partículas de cemento.

La extrema finura de la microsílíce la hace el mejor ejemplo para usar en comparación con otros materiales finos.

3.2.3.4 Composición Química

La microsílíce normalmente contiene más de un 90 porciento de dióxido de silicio (SiO_2), pero el contenido varía de acuerdo a como se realizan las mezclas de silicio en la planta donde es manufacturada, por ejemplo:

<u>Tipo de Mezcla:</u>	<u>SiO_2 contenido en la microsílíce</u>
50 % de ferrosilicio	61 a 84 %
75% de ferrosilicio	84 a 91 %
Metal de silicio (98 %)	87 a 98%

A continuación se observa la composición química dependiendo de la cantidad de ferrosilicio:

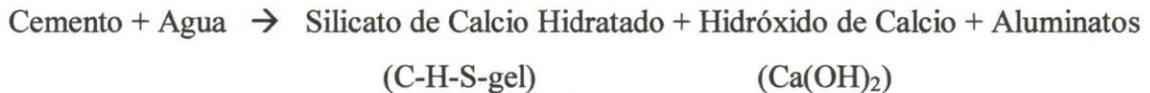
COMPONENTE	Si	FeSi-75%	FeSi-50%	FERROVEN
Dióxido de silicio (SiO_2)	94	89	83	92.12
Óxido de Hierro (Fe_2O_3)	0.03	0.6	2.5	1.35
Óxido de Aluminio (Al_2O_3)	0.06	0.4	2.5	0.79
Óxido de Calcio (CaO)	0.5	0.2	0.8	0.68
Óxido de Magnesio (MgO)	1.1	1.7	3.0	0.68
Óxido de Sodio (Na_2O)	0.04	0.2	0.3	0.004
Óxido de Potasio (K_2O)	0.05	1.2	2.0	0.003
Carbón (C)	1.0	1.4	1.8	1.31
Azufre (S)	0.2	-	-	-
MnO	-	0.06	0.2	-
PI(*)	2.5	2.7	3.6	1.69

(*)PI= Pérdida por Ignición

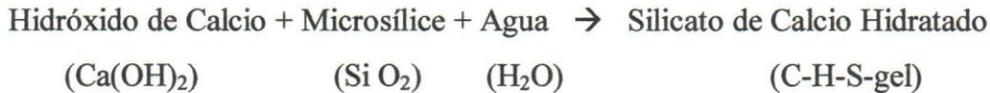
3.2.4 Como funciona la microsíllice.

La microsíllice incorporada a las mezclas de concreto reacciona químicamente con un 20 a 25 por ciento de hidróxido de calcio (Ca(OH)_2) producido en la reacción de hidratación del cemento con el agua, formando un gel de silicato de calcio hidratado (C-H-S gel), las reacciones que ocurren son las siguientes:

1. Hidratación del cemento:



2. Reacción de la Microsíllice:



Este gel disminuye notablemente la porosidad del concreto y aumenta sus resistencias mecánicas y químicas. Actúa como micro-relleno, es decir, llena los espacios microscópicos entre las partículas de cemento reduciendo apreciablemente la permeabilidad.

En ensayos efectuados en Noruega se constató que un kilogramo de microsíllice podía reemplazar de dos a cuatro kilogramos de cemento portland sin menoscabo de la resistencia a la compresión. Los primeros usos de la microsíllice se dieron en aplicaciones de este tipo, con el propósito de reducir el costo del concreto, el calor de hidratación y cambios volumétricos de concretos con factores de cemento altos. Para este fin se desarrolló un sistema de especificación basado en la definición de un factor de equivalencia, reemplazo o "factor k", el cual describe la proporción permitida de sustitución de cemento por microsíllice. El factor k define la cantidad de cemento que puede ser sustituida por microsíllice para obtener la misma resistencia.

Siendo la relación entre la resistencia a la compresión y la proporción agua/cemento normalmente observada para concretos convencionales solo válida para concretos con microsílíce cuando se emplea la relación $a/(c+k*MS)$ en lugar de a/c , donde:

a = masa de agua

c = masa de cemento

MS = masa de microsílíce

k = factor de reemplazo o equivalencia de cemento. ⁽⁶⁾

3.2.5 Efectos de la Microsílíce sobre las Propiedades del Concreto

3.2.5.1 La Demanda de Agua

La demanda de agua del concreto que posee microsílíce aumenta con el incremento en la cantidad de microsílíce. Este incremento es debido a la alta superficie específica que posee la misma. Pero con la aparición de los aditivos reductores de agua o reductores de agua de alto rango, se han abierto nuevas posibilidades para el uso de la misma como parte del material cementante y producir altos esfuerzos, altos niveles de durabilidad o ambos en el concreto sin la necesidad de incrementar el contenido de agua.

3.2.5.2 Trabajabilidad

El concreto con microsílíce en estado fresco facilita la colocación y compactación, ya que la microsílíce incrementa la cohesividad de la mezcla. Sin embargo, debido a la alta superficie específica de la misma, se incrementa la demanda de agua y se deben incorporar dosis más altas de aditivo plastificante para mantener la misma trabajabilidad.

3.2.5.3 Segregación

El concreto con microsílíce en estado fresco es más cohesivo y menos propenso a la segregación que el concreto convencional debido a la finura de la microsílíce y el uso de los aditivos reductores de agua. La segregación igual puede ocurrir en cualquier tipo de concreto en donde haya un excesivo asentamiento, mal proporcionamiento de los materiales, inapropiado manejo o prolongada vibración. El uso de la microsílíce no va a

impedir la segregación en un concreto mal manejado o con mala práctica de consolidación.

3.2.5.4 Exudación

Los concretos con microsilíce muestran una significativa disminución en la cantidad de agua exudada en comparación a los concretos convencionales. Este efecto es debido a la gran superficie específica de la microsilíce que debe ser humedecida, lo cual deja muy poco agua libre dentro del concreto para ser exudada.

3.2.5.5 Aire Incorporado

Las dosis de aditivo incorporador de aire aumentan con el incremento en el contenido de microsilíce que posean las mezclas de concreto. Esto es debido a la gran superficie específica de la microsilíce y de los efectos sobre el aditivo que puede causar el contenido de carbón presente en la misma.

3.2.5.6 Peso Unitario del Concreto

El uso de microsilíce en mezclas de concreto no cambia significativamente el peso unitario del concreto. La microsilíce produce un concreto menos permeable pero no produce un concreto con una masa más alta por unidad de volumen.

3.2.5.7 Retracción Plástica

Debido a que la microsilíce reduce la exudación, el riesgo de retracción plástica es particularmente alto, especialmente en ambientes de alta tasa de evaporación de agua (velocidad de viento, baja humedad, elevadas temperaturas). Esto indica que hay que tomar precauciones en cuanto al curado. Se ha encontrado que el agrietamiento por retracción plástica tiene su momento crítico cuando el concreto esta cerca de su tiempo de fraguado inicial.

3.2.5.8 Tiempo de Fraguado

Los concretos con microsílíce normalmente incluyen aditivos químicos que afectan el tiempo de fraguado del concreto. Experiencias indican que el tiempo de fraguado no se afecta significativamente con el uso de la microsílíce.

3.2.5.9 Calor de Hidratación

La curva de calor de hidratación con respecto al tiempo, presenta dos comportamientos distintos en concreto con microsílíce, el cual dependerá si se utiliza como adición o como reemplazo a la cantidad de cemento.

Cuando la microsílíce se usa como reemplazo del contenido de cemento, existe una reducción en el calor desarrollado, sin causar una reducción en la resistencia.

Cuando se utiliza como adición, la microsílíce acelera la hidratación del cemento a edades tempranas. Sin embargo, la temperatura del concreto con microsílíce decrece a edades mayores en comparación al concreto sin microsílíce.

3.2.5.10 Porosidad

El porosímetro de mercurio muestra que la microsílíce hace de la estructura de poros en la pasta y el mortero más homogénea ya que disminuye el número de poros grandes. Este efecto se debe a la baja rata de evaporación del agua durante el fraguado de la pasta y concreto con microsílíce. Cuando el agua no se evapora tan rápido se consigue una proporción más grande de poros finos comparado con la pasta y concreto convencional.

3.2.5.11 Permeabilidad

La permeabilidad del concreto es determinada por la cantidad de líquido o flujo de vapor que pasa a través del mismo. Un concreto con una alta permeabilidad es relacionado directamente con una baja durabilidad. Los concretos con alta permeabilidad sufren daños por deterioración de la pasta de cemento, penetración de químicos agresivos y corrosión del acero de refuerzo por la intrusión del ion cloruro.

En los concretos con microsilíce, la reducción en el tamaño de los poros capilares incrementa la probabilidad de transformar los poros continuos en discontinuos, lo que disminuye la permeabilidad.

La baja permeabilidad característica de los concretos con microsilíce y el correspondiente incremento en la durabilidad, proporcionan el más importante progreso en la industria de la construcción.

3.2.5.12. Resistencia a la compresión

El desarrollo de la resistencia a la compresión de concretos con microsilíce empieza a tener efectos desde los 3 a los 28 días de edad, bajo condiciones normales de curado. El desarrollo de las resistencias en el concreto depende del modo en que haya sido utilizada la microsilíce, si se usa como sustitución al cemento se encuentran esfuerzos muy parejos con respecto al concreto convencional y un poco superiores a mayores edades. Cuando la microsilíce es usada como adición al cemento, a un día de edad ya las resistencias a la compresión son sustancialmente mayores comparados con las del concreto convencional.

La contribución de la microsilíce al esfuerzo de compresión después de los 28 días es de alrededor un 10 a 15 %. Esta situación es totalmente diferente al compararla con el fly ash, en el cual la reacción puzolánica es muy lenta y el desarrollo de esfuerzos continua por más de un año.

3.2.5.13. Resistencia a la penetración del ion cloruro

Las estructuras de concreto en un medio ambiente con cloruros son las más adecuadas para concretos con microsilíce. Una gran cantidad de ensayos ha demostrado que la resistencia al paso del ion cloruro ha sido mejorada con el uso de la misma. Byfors (1987), demostró que la adición de microsilíce reduce considerablemente la penetración al ion cloruro en comparación a mezclas de concreto convencional con una misma relación agua/material cementante.

La permeabilidad de todos los concretos y la resistencia al paso del ion cloruro, en especial los concretos con microsilíce, dependen del método y el tiempo de curado.

3.2.6 Aplicaciones de la Microsilíce

La microsilíce se ha utilizado en muchos proyectos desde que se ha comercializado, a continuación se mencionan una cantidad de usos que se ha dado a la misma gracias a sus propiedades dentro del concreto:

- Resistencia a la abrasión
- Reemplazo de cemento
- Reducción del calor de hidratación
- Resistencia a ataques químicos
- Resistencia a la corrosión
- Grout
- Altos esfuerzos a tempranas edades
- Altos esfuerzos
- Estructuras marinas
- Shotcrete
- Concreto bajo agua

3.2.7 Recomendaciones de los Concretos con Microsilíce

La microsilíce en el proceso de elaboración del concreto puede ser incorporada después de haber mezclado todos los materiales o se puede premezclar con el cemento y luego agregar en la mezclada.

Los concretos con microsilíce requieren tiempo adicional en el mezclado para asegurar una dispersión uniforme de la misma.

En los concretos con microsilíce, los procedimientos de acabados no difieren mucho con los usados en el concreto convencional. Cabe destacar que como el concreto con

microsilíce exuda menos, el tiempo en las operaciones de acabado debe ser ajustado. Además de que el concreto con microsilíce es altamente susceptible a la retracción plástica, también debe ser tomado en cuenta entre los factores de ajuste en las operaciones de acabado.

Los procedimientos de curado y protección de los concretos con microsilíce son similares a los usados en el concreto convencional. Sin embargo, por la potencial retracción plástica que posee este tipo de concreto, son más críticas las medidas de protección durante el colocado y el proceso de curado debe comenzar enseguida se finalice el proceso de acabado. Una buena práctica de curado garantiza, tanto en concretos convencionales como con microsilíce, las propiedades físicas deseadas.

3.3 LA CORROSIÓN EN EL CONCRETO ARMADO

3.3.1 Proceso de corrosión

La corrosión de metales se explica como el proceso mediante el cual el metal (acero) retorna a sus condiciones primitivas (óxidos de hierro), debido a la inestabilidad de aquel en sus formas refinadas.

La corrosión es un fenómeno electroquímico que tiene lugar debido al flujo de electricidad entre ciertas áreas de una misma superficie metálica o dos piezas metálicas diferentes (electrodos), a través de una solución capaz de conducir la corriente eléctrica (electrolito). Uno de estos electrodos llamado ánodo es aquel por donde la corriente abandona el metal y entra en la solución y es la porción metálica que sufre la corrosión. El otro electrodo llamado cátodo es por donde la corriente se introduce al metal y suele permanecer inatacado. Los procesos que ocurren en el ánodo y el cátodo son de oxidación-reducción respectivamente y tienen lugar gracias al oxígeno y al agua.

La corrosión del acero de refuerzo es principalmente de naturaleza electroquímica. Tiene lugar en presencia de oxígeno y humedad dando origen a óxidos indefinidamente

hidratados de hierro o herrumbe. Sin embargo, este proceso es inhibido en el concreto armado debido a su naturaleza alcalina a causa de la presencia de hidróxido de calcio y otros álcalis, que sitúan su pH entre 12 y 13. En esas condiciones el acero de las armaduras se encuentra recubierto por una capa de óxidos pasivantes que lo protegen. Al permanecer inalteradas estas condiciones están exentas de corrosión a lo largo de su vida útil.

La corrosión ocurre cuando disminuye o desaparece la condición de pasividad del acero en asociación con heterogeneidades externas o internas en el concreto.

Los iones cloruro provenientes bien sea de los constituyentes de la mezcla original de concreto (aditivos acelerantes, aguas contaminadas, agregados contaminados), o bien por difusión desde el medio externo, son agentes despasivantes muy severos y que con más frecuencia atacan al acero del concreto armado. La despasivación del acero es debida a la generación de zonas de concentración salina diferencial (diferencias de potencial), y el aumento de la conductividad del concreto como electrolito, produciendo o acelerando el proceso corrosivo a causa de la ruptura de la capa de óxido pasiva existente en ausencia de los cloruros debido a su efecto catalizador, aún en presencia de un medio con pH elevado.

Los productos de la corrosión son de naturaleza expansiva, generando un incremento de volumen con respecto al de sus componentes originales que pueden ser de hasta diez veces, según lo reportan algunos autores. Este incremento de volumen causa en el concreto de recubrimiento fuertes tensiones que el mismo no es capaz de resistir, dando origen a fisuración, agrietamiento y finalmente desprendimiento de las capas de recubrimiento.

3.3.2 Criterio de Diseño de la Norma Venezolana

En vista a los problemas que trae consigo la corrosión, la norma venezolana COVENIN MINDUR 1753 establece, a partir del tipo de agregado a utilizarse en las mezclas de concreto y las condiciones de exposición, unos requisitos para condiciones de exposición especial, a continuación en la tabla 3.1 se mencionan:

Tabla 3.1. Requisitos para Condiciones de Exposición Especial

Condiciones de Exposición	Concreto de Agregado de Peso Normal	Concreto de Agregado Liviano
	Máxima relación a/c por peso	Máxima Resistencia a la Compresión, f'c (kgf/cm ²)
Concreto destinado a ser estanco:		
a. Concreto expuesto a agua dulce	0.50	250
b. Concreto expuesto a aguas salobres o de mar.	0.45	300
Para protección contra la corrosión del concreto armado en contacto o rociado por aguas salobres o aguas de mar.	0.40	350*

* Si el recubrimiento mínimo requerido se incrementa en 1.2 cm, la relación a/c puede aumentarse a 0.45 para el concreto de agregado de peso normal o reducir f'c a 300 kgf/cm² para los concretos de agregado liviano.

3.3.3 Ensayos para determinar el paso del Ion Cloruro

Los estudios para determinar la permeabilidad al paso del ion cloruro se realizaron en la década de los años 70' en Estados Unidos por la FHWA (FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION). Estos consistieron en exponer al ambiente exterior 124 losas de concreto premezclado en un lapso de tiempo de un año. Los concretos fueron preparados con diferentes relaciones agua/cemento, aditivos, procesos de curado, tratamiento de superficie y diferentes niveles de losa, tratados con una solución de NaCl al 3% diariamente. Este estudio dio como resultados una serie de recomendaciones de relaciones de agua/cemento y espesores de recubrimiento, pero debido al largo tiempo de evaluación, surgieron otros métodos para medir la penetración del ion cloruro en el concreto. Uno de ellos fue la evaluación de muestras de losas de concreto a los 90 días, en una solución de cloruro de sodio (NaCl), después de los cuales el cloruro es medido a dos profundidades, una de 0 a 1 pulgada y la otra de 1 a 2 pulgadas. En ese momento se comparó concretos convencionales de cemento portland, concreto con acrílico y concreto con microsilíce (20% del peso del cemento) y se obtuvo, en los concreto con microsilíce, una reducción del 98,1% de la penetración del cloruro con respecto al concreto convencional.

La NCHRP (NATIONAL CORPORATIVE HIGHWAY RESEARCH PROGRAM) desarrollo una prueba que mide la absorción de agua y la penetración de cloruro, en cubos de 4", bajo las condiciones de aire seco saturado en cloruro y ciclo de aire seco. El primer período de aire seco es a 21°C en una cámara de humedad relativa del 50% durante 24 días, después del cual los cubos son sumergidos en una solución al 15% de cloruro de sodio (NaCl) durante 21 días y luego secado a 21°C en la cámara húmeda relativa. Los resultados de la ganancia de peso y la absorción de cloruros para un concreto con microsilíce (20% del peso del cemento) son comparados con un concreto con cemento Portland normal y con concreto modificado con acrílico y epoxy. En los concretos con microsilíce se obtuvo una reducción en la ganancia en peso con respecto al concreto convencional y al concreto modificado con látex del 76% y 5% respectivamente. En cambio, al comparar con los concretos con microsilíce con los

concretos modificados con acrílico y epóxy, el aumento en la ganancia de peso fue de un 3%.

Así, con todo esto el tiempo de ensayo de cada método ideado era muy largo por lo que los ingenieros de diseño fueron ideando un método más fácil, rápido y relativamente más económico.

Actualmente se trabaja con el método de la norma ASTM C-1202 "Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration" que permite medir la permeabilidad al paso del ion cloruro y poder especificar criterios de diseño para estructuras de concreto en ambientes con cloruros.

El ensayo consiste en monitorear la cantidad de corriente que pasa a través de una pastilla de 2 pulgadas de espesor y 4 pulgadas de diámetro durante 6 horas. Uno de los lados de la muestra es sumergido en una solución al 3% de cloruro de sodio y el otro lado es sumergido en una solución 0.3 Normal de hidróxido de sodio. Se mantiene constante una corriente de 60 voltios y se va midiendo la intensidad, en amperes, en intervalos de 30 minutos. Se realiza una curva de corriente vs. tiempo y el área bajo la curva representa la carga total en coulombs que pasa a través de la muestra. Los resultados son relacionados con los niveles de penetrabilidad del ion cloruro y se clasifican de acuerdo a la tabla 3.2

TABLA 3.2 Penetrabilidad al Ion Cloruro basada en la Carga Transmitida

Carga Transmitida (Coulombs)	Penetrabilidad al Ion Cloruro
> 4000	Alta
2000 – 4000	Moderada
1000 – 2000	Baja
100- 1000	Muy Baja
< 100	Insignificante

Este método se puede usar para evaluar tanto materiales como las proporciones de los mismos dentro de los diseños de mezclas de concreto.

Los resultados numéricos de este ensayo deben usarse con cuidado especialmente en control de calidad u otros, los valores representativos que se usan son los términos cualitativos mostrados en la tabla 3.2.

La edad de las muestras tiene efectos significantes sobre los resultados de las muestras, dependiendo el tipo de concreto y conducta. La mayoría de los concretos, propiamente curados, con la edad se hacen, progresivamente, más resistentes.

3.3.4 Factores relacionados con la corrosión

La permeabilidad del concreto es el principal factor que afecta el proceso de corrosión en el acero dentro del concreto. Mientras más baja es la relación agua/cemento en las mezclas de concreto, más impermeable es el mismo y menos propenso al paso del ion cloruro. Se han establecido criterios de relaciones agua/cemento de acuerdo al tipo de exposición a la que se encuentra el concreto.

Pero una baja relación agua/cemento no asegura una baja impermeabilidad del concreto o total protección contra la corrosión, se debe tener especial atención en otros factores:

- Un agregado grueso bien gradado junto con un agregado fino son requisitos indispensables en el concreto para lograr la baja permeabilidad.
- El uso de incorporadores de aire que proporcionan mayor trabajabilidad a las mezclas de concreto y transforman las burbujas de aire atrapadas en formas de grandes huecos en finas burbujas bien distribuidas que no perjudican la calidad del concreto.

- El buen manejo del concreto es fundamental para asegurar un concreto uniforme de baja permeabilidad. Esto se refiere al uso de concreto con bajo asentamiento, precauciones contra la segregación, adecuada vibración y una buena práctica de acabado.
- El adecuado curado es esencial ya que permite la mayor hidratación del cemento que a su vez reduce la permeabilidad.
- El espesor del recubrimiento de concreto al acero de refuerzo es fundamental para la protección contra la penetración de sales hasta el acero de refuerzo.
- Reducir el contenido de cloruros que se puedan encontrar en las mezclas de concreto. Por ejemplo, no usar agua de mar como agua de mezclado o para lavar los agregados y el uso de aditivos que contengan cloruros.

4. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 MATERIALES

A continuación se presenta una breve descripción de los materiales utilizados para la preparación de las mezclas de concreto:

4.1.1 Cemento

El cemento utilizado en el estudio fue el Portland Tipo II, el mismo es producido por la fábrica de cemento Vencemos Guayana ubicada en la zona industrial de Matanzas en Puerto Ordaz. Cumple las especificaciones establecidas por la norma COVENIN 28 y ASTM C-150. Las propiedades físicas y químicas del mismo se resumen en la tabla I del anexo.

4.1.2 Microsílice

La Microsílice utilizada en el estudio es producida en la planta para la fabricación de aleaciones de ferrosilicio FERROVEN. Cumple las especificaciones de la ASTM C-1240 y sus propiedades físicas y químicas se encuentran resumidas en la tabla II del anexo.

4.1.3 Aditivos

Se utilizaron dos clases de aditivos en la elaboración de las mezclas, un aditivo químico para concreto y un aditivo incorporador de aire, ambos provenientes de la Casa Comercial SIKA, C.A.

El aditivo químico para concreto es de nombre PLASTIMENT BV-40, es un retardador de tipo D, reductor de agua y de gran poder plastificante. El mismo esta hecho a base de Lignosulfanato, no contiene cloruros. Cumple con los parámetros de calidad indicados por el fabricante en su carta técnica y se encuentran indicados en la tabla II del anexo.

El aditivo incorporador de aire es de nombre SIKA AER, hecho a base de resina Vinsol neutralizada, libre de cloruros y no tóxico. Cumple con los parámetros de calidad indicados por el fabricante en su carta técnica y se encuentran indicados en la tabla III del anexo.

4.1.4 Agregados

Los agregados utilizados para la elaboración de las mezclas de concreto son del tipo manufacturado. El material para la fabricación de los mismos proviene de las voladuras realizadas en la roca de la zona correspondiente al futuro canal de descarga de Caruachi. Este material es una roca sana, clasificada como un gneis granítico.

El agregado grueso utilizado cumple con las especificaciones dadas por las normas COVENIN 277 y ASTM C-33. Las propiedades físicas del mismo se encuentran resumidas en la tabla IV del anexo.

La arena que se utilizó en el estudio es del tipo manufacturada con materia prima proveniente de la misma cantera. Cumplen con las especificaciones dadas en la norma COVENIN 277 y ASTM C-33. Sin embargo, se presentó incumplimiento de la especificación en el tamiz #100 al salirse ligeramente por el lado fino, pero se ha comprobado que esta situación no afecta las propiedades del concreto fresco ni endurecido. Las propiedades físicas de la misma se encuentran resumidas en la tabla V del anexo.

4.2 DISEÑO DE LAS MEZCLAS

Las proporciones de los diseños de mezclas de concreto convencional se obtuvieron siguiendo las recomendaciones del comité ACI 211, el cual proporciona las cantidades de arranque para evaluar las propiedades en estado fresco del concreto y poder realizar los ajustes correspondientes.

Los parámetros de diseño fijados fueron, asentamiento de $3 \pm \frac{1}{2}$ pulgadas, tamaño máximo del agregado grueso $\frac{3}{4}$ pulgadas, contenido de aire $6 \pm 1\%$ y relaciones agua/cemento de 0.45, 0.50 y 0.55.

Los diseños de mezclas con microsilíce se originan a partir de los diseños de mezclas de concreto convencional, modificados al sustituir cemento por microsilíce. Se utilizó la relación $a/(c+k*MS)$, y el factor de equivalencia se asumió igual a dos. El porcentaje de sustitución fue de aproximadamente 13% del peso de cemento presente en la mezcla de concreto convencional. En el diseño de mezcla modificado, la cantidad de microsilíce está en un rango del 7,5 al 10% con respecto al peso del cemento de la mezcla modificada, de forma tal que se mantengan las demandas de agua constantes con respecto al diseño de mezcla convencional original de referencia.

A los efectos de nomenclatura durante el desarrollo de este trabajo, llamaremos cemento equivalente al producto del factor de eficiencia por el contenido de microsilíce más el cemento de la mezcla modificada ($c+k*MS$).

La nomenclatura utilizada para las mezclas de concreto indica el tamaño máximo, la relación agua/cemento para concreto convencional y agua/cemento equivalente para mezclas de concreto con microsilíce. Por ejemplo: 19-0.45-Patrón ó 19-0.45-MS

Detalles de los diseños de mezclas se encuentran en la tabla 4.1

TABLA 4.1.-PROPORCIONES Y PROPIEDADES DE LOS DISEÑOS DE MEZCLAS DE CONCRETO

TIPO DE CONCRETO: DISEÑO	CONCRETO CONVENCIONAL			CONCRETO CON MICROSILICE		
	19-0,45-Patrón	19-0,50-Patrón	19-0,55-Patrón	19-0,45-MS	19-0,50-MS	19-0,55-MS
Cemento (kg/m ³)	367,00	330,00	285,00	319,00	287,00	269,00
Agua (lt/m ³)	165,00	165,00	158,00	165,00	165,00	170,00
a/c	0,45	0,50	0,55	0,52	0,57	0,63
Microsilice (kg/m ³)	0,00	0,00	0,00	24,00	21,50	20,00
a / (cto+ Ms*k), k=2	0,45	0,50	0,55	0,45	0,50	0,55
Agregado Grueso, tmáx 3/4" (kg/m ³)	968,00	973,00	1.009,00	970,00	987,00	969,00
Arena Manufacturada (kg/m ³)	792,00	796,00	825,00	794,00	807,00	809,00
Aditivo (lt/m ³)	Sika-aer	0,34	0,23	0,20	0,44	0,32
	BV-40	2,93	2,30	1,98	2,55	1,38
Beta	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45
Rango asentamiento (pulg)	2,5 a 3,5					
Rango aire (%)	5,0 a 6,0					

4.3 METODOLOGÍA DE ENSAYO

Definidas las dosificaciones en los diseños de mezcla de concreto, se procedió a la preparación y toma de muestras de las mismas.

Las mezclas se realizaron en un trompo con capacidad máxima de 125 litros.

La metodología utilizada para la preparación de las mezclas de concreto fue la indicada en la norma COVENIN 354-79 "Método para mezclado de concreto en el laboratorio". En el caso de las mezclas con microsilice, el tiempo de mezclado normal para concreto convencional no es suficiente para lograr una mezcla homogénea, por lo que el tiempo de remezclado fue duplicado.

El asentamiento se midió siguiendo el procedimiento establecido por la norma COVENIN 339-78 "Método para la medición del asentamiento con el cono de Abrams".

El contenido de aire se midió de acuerdo a la norma COVENIN 348-83 "Método de ensayo para determinar el contenido de aire en el concreto fresco por el método de

presión”, y por la norma COVENIN 347-79 “Método de ensayo para determinar el contenido de aire dentro del concreto fresco por el método volumétrico”.

La cantidad de agua exudada se midió de acuerdo a lo establecido por la norma COVENIN 353-79 “Método de ensayo para determinar la exudación del concreto”.

Las muestras de concreto para el ensayo de resistencia a la compresión a los 7, 28 y 91 días de edad, se tomaron siguiendo lo especificado en la norma COVENIN 338-79 “Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de probetas cilíndricas de concreto”.

Las muestras de concreto para el ensayo de resistencia al paso del ion cloruro a los 28 y 91 días de edad, se tomaron en probetas cilíndricas de 4 pulgadas de diámetro por 8 pulgadas de alto. La toma y curado de las mismas se realizó siguiendo procedimientos establecidos por la norma ASTM C-192 “Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory”. El acondicionamiento y ensayo de las muestras se realizó siguiendo lo especificado en la norma ASTM C- 1202 “Indicación Eléctrica de la Resistencia del Concreto al Paso del Ion Cloruro”.

4.4 ANALISIS DE LOS RESULTADOS

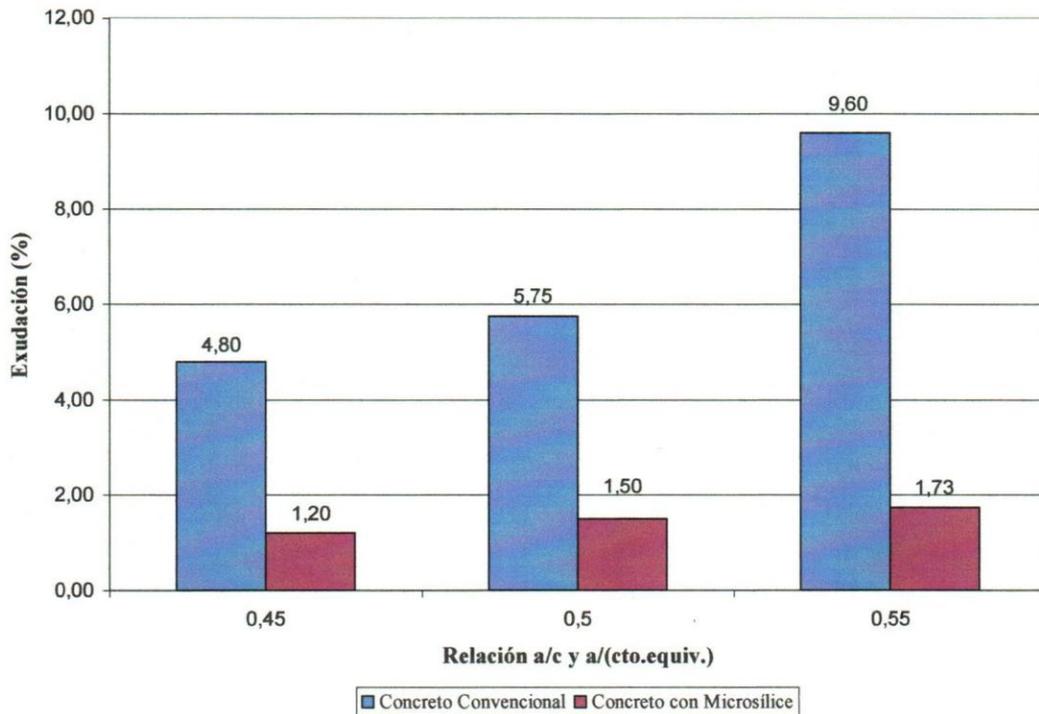
En las mezclas de concreto con microsílíce, con relación agua/(cto.equivalente) de 0.45, el porcentaje de agua exudada se redujo en un 75% con respecto al de las mezclas de concreto convencional con relación a/c de 0.45.

En las mezclas de concreto con microsílíce, con relación agua/(cto. equivalente) de 0.50, el porcentaje de agua exudada se redujo en un 74% con respecto al de las mezclas de concreto convencional con relación a/c de 0.50.

En las mezclas de concreto con microsílíce, con relación agua/(cto. equivalente) de 0.55, el porcentaje de agua exudada se redujo en un 82% con respecto al de las mezclas de concreto convencional con relación a/c de 0.55.

Detalles de los resultados obtenidos pueden verse en la tabla 4.2 y en el gráfico 4.1.

Gráfico 4.1.- Porcentaje de Agua Exudada vs. Relación a/c y a/(cto.equiv.)



Se observa que la resistencia a la compresión promedio alcanzada a 28 días de edad, en el concreto convencional, con relaciones agua/cemento de 0.45, 0.50 y 0.55 son de 450, 417 y 333 Kg/cm² respectivamente.

La resistencia a la compresión promedio alcanzada a 28 días de edad, en el concreto con microsílíce, con relaciones agua/(cemento equivalente) de 0.45, 0.50 y 0.55 son de 453, 403 y 380 Kg/cm² respectivamente.

Detalles de la resistencia a compresión obtenida con respecto a la edad, por los diferentes diseños de mezclas de concreto se observan en la tabla 4.2 y en los gráficos 4.2 y 4.3.

Gráfico 4.2.- Resistencia a la Compresión vs Edad en Concreto Convencional

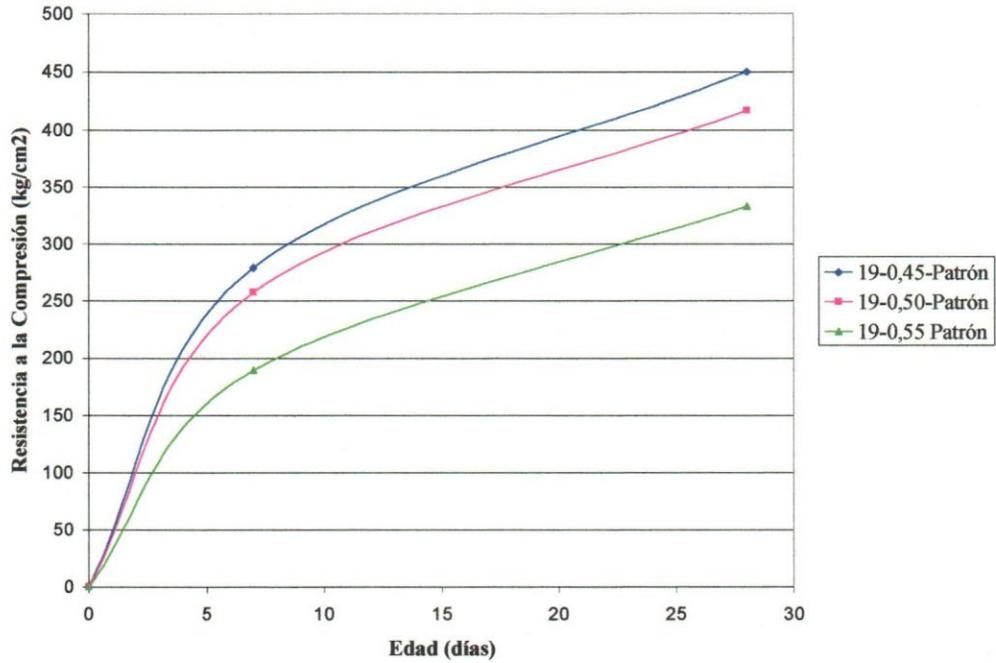
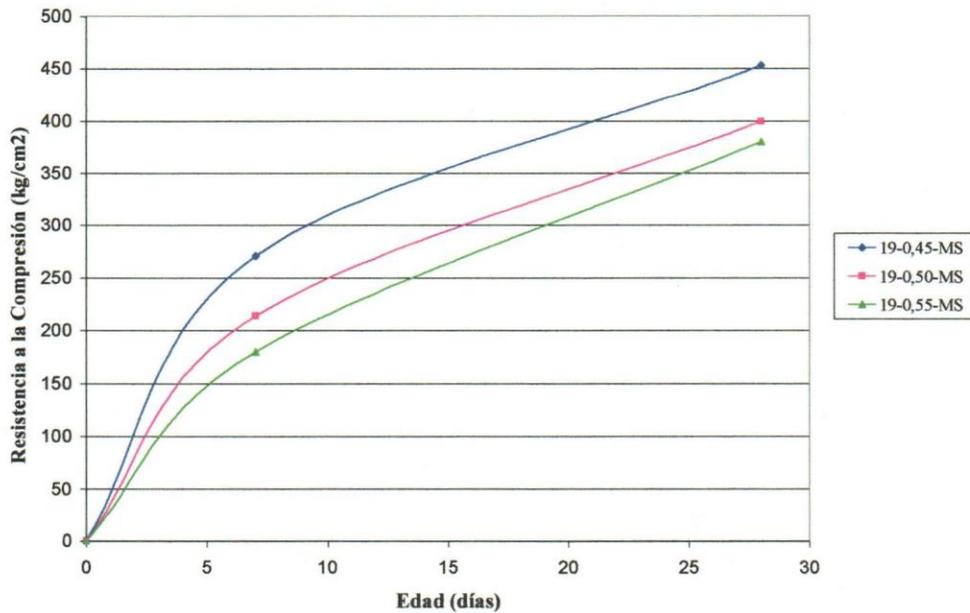


Gráfico 4.3.- Resistencia a la Compresión vs. Edad en Concreto con Microsilice

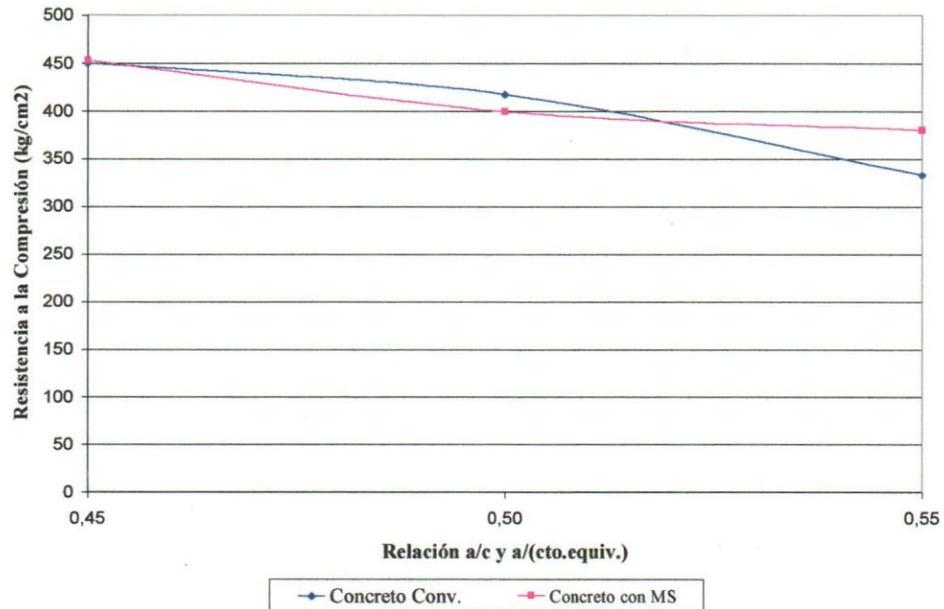


En las mezclas de concreto con microsílíce con relación agua/(cemento equivalente) de 0.45 y 0.55, la resistencia a la compresión se incremento en un 1 y 14 % con respecto a las mezclas de concreto convencional con relación agua/cemento de 0.45 y 0.55.

En las mezclas de concreto con microsílíce con relación agua/(cemento equivalente) de 0.50, la resistencia a la compresión disminuyó en un 4 % con respecto a las mezclas de concreto convencional con relación agua/cemento de 0.50.

Detalles de los resultados obtenidos se observan en la tabla 4.2 y gráfico 4.4.

Gráfico 4.4.-Resistencia a la compresión a 28 días de edad vs. realción a/c y a/(cto.equiv.)



Se observa que la penetrabilidad al ion cloruro promedio alcanzada a 28 días de edad, en el concreto convencional, con relaciones agua/cemento de 0.45, 0.50 y 0.55 son de 4989, 5851 y 7043 coulombs respectivamente.

La resistencia la penetrabilidad promedio alcanzada a 28 días de edad, en el concreto con microsilíce, con relaciones agua/(cemento equivalente) de 0.45, 0.50 y 0.55 son de 1879, 2407 y 2627 coulombs respectivamente.

En las mezclas de concreto con microsilíce, con relación agua/(cto.equivalente)= 0.45, la penetrabilidad al ion cloruro se redujo en un 62% con respecto a las mezclas de concreto convencional, lo que representa cualitativamente una disminución en la penetrabilidad al ion cloruro de “Alta” a “Baja”.

En las mezclas de concreto con microsilíce, con relación agua/(cto.equivalente)= 0.50, la penetrabilidad al ion cloruro se redujo en un 59% con respecto a las mezclas de concreto convencional, lo que representa cualitativamente una disminución en la penetrabilidad al ion cloruro de “Alta” a “Moderada”.

En las mezclas de concreto con microsilíce, con relación agua/(cto.equivalente)= 0.55, la penetrabilidad al ion cloruro se redujo en un 63 % con respecto a las mezclas de concreto convencional, lo que representa cualitativamente una disminución en la penetrabilidad al ion cloruro de “Alta” a “Moderada”.

Detalles de los resultados pueden observarse en la tabla 4.2 y en el gráfico 4.6.

Gráfico 4.5.-Carga de Penetrabilidad del Ion Cloruro vs. Relación a/c y a/(cto. equiv.)

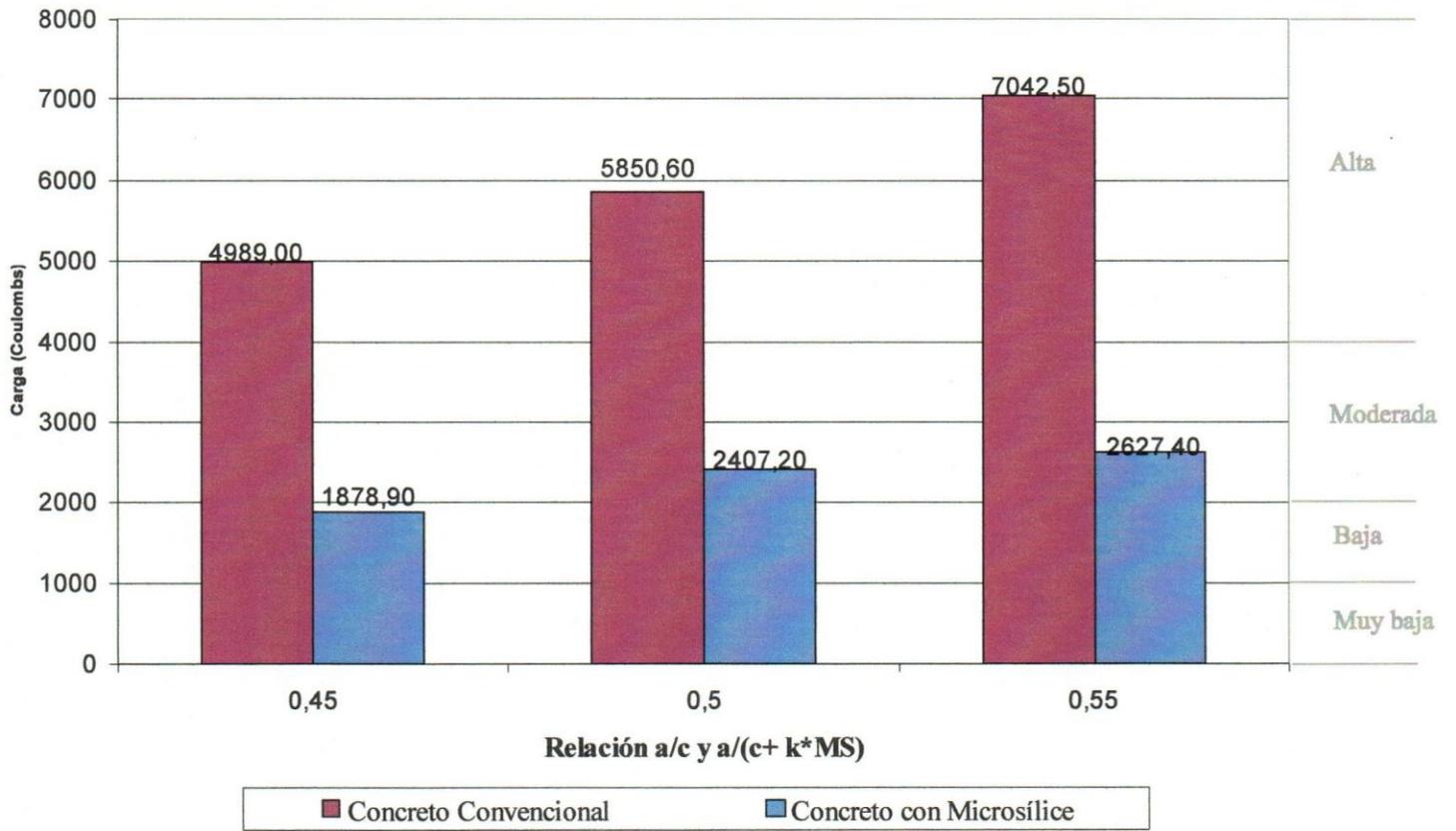


TABLA 4.2 RESULTADOS DE ENSAYOS EN MEZCLAS DE CONCRETO

CONCRETO CONVENCIONAL										
DISEÑO		19-0,45-Patrón			19-0,50-Patrón			19-0,55-Patrón		
MEZCLA		M-159	M-165	M-166	M-149	M-150	M-154	M-173	M-174	M-178
RESULTADOS DE ENSAYOS EN ESTADO FRESCO										
Asentamiento (pulg)		3,00	3,00	2,75	3,00	2,75	2,75	3,25	3,50	2,50
Aire (%)	Medido	6,80	6,80	5,50	6,00	5,00	5,50	6,20	5,80	5,40
	Calculado	8,10	7,90	5,80	5,00	5,50	5,00	6,70	6,10	5,30
Peso Unitario (Kg)		2240,0	2245,0	2300,0	2288,0	2305,0	2288,0	2260,0	2274,0	2307,0
Exudación	%	4,10	5,20	5,10	6,32	5,83	5,10	10,40	9,60	8,80
	Promedio	4,80			5,75			9,60		
RESULTADOS DE ENSAYOS EN ESTADO ENDURECIDO										
Resistencia a la Compresión (Kg/cm ²)	7 Días	264,0	259,5	314,0	259,5	260,0	252,5	185,5	193,0	-
	Promedio	279,2			257,3			189,3		
	14 Días	-	-	-	-	-	-	-	-	289,8
	28 Días	435,0	467,3	447,0	414,5	422,5	415,0	326,5	327,5	345,0
	Promedio	449,8			417,3			333,0		
Resistencia al paso del ion cloruro (coulombs)	Carga (Q), 28 días	5249,7	4203,9	5513,4	5808,6	5922,9	5820,3	7523,1	7335,0	6269,4
	Penetrabilidad	ALTA	ALTA	ALTA	ALTA	ALTA	ALTA	ALTA	ALTA	ALTA
	Promedio	4989			5850,6			7042,5		

CONCRETO CON MICROSÍLICE										
DISEÑO		19-0,45-MS			19-0,50-MS			19-0,55-MS		
MEZCLA		M-181	M-182	M-183	M-187	M-189	M-190	M-193	M-196	M-198
RESULTADOS DE ENSAYOS EN ESTADO FRESCO										
Asentamiento (pulg)		3,25	3,00	2,25	3,25	2,50	2,75	2,75	3,00	2,50
Aire (%)	Medido	5,50	5,60	4,50	5,80	4,60	5,30	5,40	6,00	5,70
	Calculado	6,30	6,20	4,50	6,30	4,90	5,60	5,20	6,50	6,00
Peso Unitario (Kg)		2266,0	2267,0	2308,0	2261,0	2294,0	2276,0	2276,0	2244,0	2256,0
Exudación	%	1,20	1,30	1,10	1,20	-	1,80	1,70	1,70	1,80
	Promedio	1,20			1,50			1,73		
RESULTADOS DE ENSAYOS EN ESTADO ENDURECIDO										
Resistencia a la Compresión (Kg/cm ²)	7 Días	254,0	246,0	311,8	212,0	216,0	212,5	183,0	176,0	179,5
	Promedio	270,6			213,5			179,5		
	28 Días	434,0	438,5	486,0	390,5	408,0	409,0	379,5	377,0	383,5
	Promedio	452,8			402,5			380,0		
Resistencia al paso del ion cloruro (coulombs)	Carga (Q), 28 días	1847,7	1983,6	1805,4	2503,8	2563,2	2154,6	2753,1	2953,8	2175,3
	Penetrabilidad	BAJA	BAJA	BAJA	MOD.	MOD.	MOD.	MOD.	MOD.	MOD.
	Promedio	1878,9			2407,2			2627,4		

4.5 CONCLUSIONES

Por lo antes expuesto en el análisis de los resultados se concluye que:

- El uso de la microsílíce en mezclas de concreto disminuye el porcentaje de agua exudada en comparación a las mezclas de concreto convencional, lo cual redundará en una mayor protección de las estructuras en condiciones de exposición especial al disminuir la cantidad de capilares producto del agua exudada.
- El uso de mezclas de concreto con microsílíce modificadas a partir de una mezcla de concreto convencional, no afecta significativamente la resistencia a la compresión a los 28 días de edad.
- El uso de relaciones agua/cemento de 0.45 y 0.50 en mezclas de concreto, no garantiza un grado de protección adecuada al acero de refuerzo ya que el mismo no es lo suficientemente estanco para garantizarlo, debido a que en las mezclas de concreto convencional se obtuvieron penetrabilidades al ion cloruro altas para esas condiciones de diseño. El uso de la microsílíce en mezclas de concreto modificadas a partir de las mezclas de concreto convencional mostraron una mejora en el grado de protección al acero de refuerzo al obtenerse penetrabilidades al ion cloruro de moderada hacia baja, y en la medida que la edad del concreto con microsílíce aumente el mecanismo de reacción de la microsílíce mejorará la condición protectora.
- La mezcla de concreto con microsílíce con relación agua/(cemento equivalente) mayor a 0.50, desarrolla una mayor capacidad protectora contra la corrosión que una mezcla de concreto convencional con relación agua/cemento de 0.45, obteniéndose una penetrabilidad al ion cloruro moderada, siendo esta mejor que la alta penetrabilidad obtenida para la mezcla de concreto convencional con relación agua/cemento de 0.45.

4.6 RECOMENDACIONES

- Se recomienda el uso de la norma ASTM C-1202 "Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration", como instrumento para establecer los criterios de diseño de mezcla de concreto convencionales destinadas a proteger estructuras de concreto en condiciones de exposición especial.
- Se recomienda el uso de la microsílíce como material de construcción en mezclas de concreto para mejorar el grado de protección contra la corrosión.
- Se recomienda complementar la investigación realizada referente a la influencia de la microsílíce en la protección contra la corrosión de estructuras de concreto en contacto con agua, con los resultados de ensayos obtenidos a la penetrabilidad al ion cloruro a los 91 días de edad en mezclas de concreto convencional y con microsílíce, para evaluar si los parámetros de diseño cumplen con los criterios establecidos por la norma ASTM C-1202.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) www.edelca.com
- (2) COVENIN MINDUR 1753-87. Norma Venezolana. "Estructuras de Concreto Armado para Edificaciones Análisis y Diseño". Caracas. 1987
- (3) ASTM C-1202-97. "Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration". ASTM, Philadelphia, USA-1997
- (4) ACI 234R-96 "Guide for the Use of Silica Fume in Concrete". American Concrete Institute, Detroit, 1996.
- (5) Eileen González "La microsílíce dirigida hacia la prevención de la corrosión", Seminario del Concreto 93, Venezuela, Caracas, 1994
- (6) Federico López- Flores y Robert A. Prisby, "Microsílíce y la Industria de la Construcción Venezolana", Seminario del Concreto 93, Venezuela, Caracas, 1994
- (7) José Luis Beauperthuy U. "La corrosión en el concreto armado", Seminario del Concreto 93, Venezuela, Caracas, 1994
- (8) ACI 201.2R-77 "GUIDE TO DURABLE CONCRETE. Chapter 4 -Corrosion of Steel and Other Materials Embedded in Concrete". American Concrete Institute, Detroit, 1977.
- (9) U.S. Department of the Interior. Bureau of Reclamation. "CONCRETE MANUAL. A Water Resources Technical Publication". Denver-USA. 1988