



BUAP

BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

Facultad de Ingeniería

Secretaría de Investigación y Estudios de Posgrado

**EFFECTO DE CORROSIÓN EN CONCRETO
REFORZADO ELABORADO CON
DESECHO MINERO (JAL)**

TESIS

Que para obtener el grado de:

MAESTRO EN INGENIERÍA

CON OPCIÓN TERMINAL EN CONSTRUCCIÓN.

Presenta:

ARQ. VALERIA VOLPI LEÓN

Directores de tesis:

M. I. JOSÉ SALVADOR MOZO ARISTA

DR. LUIS DAIMIR LÓPEZ LEÓN

Puebla, Pue.

Enero 2017



BUAP

OFICIO SIEP No. 365/2016

ARQ. VALERIA VOLPI LEÓN
Maestría en Construcción
Presente.

El suscrito Dr. Alejandro Bautista Hernández, Secretario de Investigación y Estudios de Posgrado de acuerdo a su solicitud de aprobación de tema de Tesis, le autoriza desarrollar el tema intitulado **"EFECTO DE CORROSIÓN EN CONCRETO REFORZADO ELABORADO CON DESECHO MINERO (JAL)"**, para obtener el grado de Maestro en Ingeniería con opción terminal en Construcción. Asignándose como Asesor de tesis al M.I. José Salvador Mozo Arista y Co-Asesor al Dr. Luis Daimir López León.

Sin otro particular, reciba un cordial saludo.

ATENTAMENTE

"Pensar bien, para vivir mejor"

Puebla, Pue., a 18 de Noviembre de 2016

DR. ALEJANDRO BAUTISTA HERNÁNDEZ
Secretario de Investigación y Estudios de Posgrado



C.c.p. M.I. José Salvador Mozo Arista. Asesor de tesis.
C.c.p. Dr. Luis Daimir López León. Co-Asesor externo.
C.c.p. Archivo.

ABH/WVL/dsm.

60
AÑOS DE
AUTONOMÍA
UNIVERSITARIA

Facultad
de Ingeniería

Blvd. Valsequillo y Av. San Claudio
s/n, edif. ING 4, Col. San Manuel,
Ciudad Universitaria,
Puebla, Pue. C.P. 72570
01 (222) 229 55 00 Ext. 7610

Pachuca de Soto, Hgo., a 16 de diciembre de 2016.

M.I. Fernando Daniel Lazcano Hernández
Director de la Facultad de Ingeniería
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
PRESENTE

En atención a su oficio SIEP No. 365/2016 en el que usted me nombra co-asesor de tesis: "Efecto de Corrosión en Concreto Reforzado Elaborado con Desecho Minero (Jal)". Que presenta la pasante de la Maestría en Ingeniería en Construcción, Arq. Valeria Volpi León, Matrícula no. 214470471; me permito informar a usted que después de haber revisado la tesis correspondiente, no existe inconveniente alguno en autorizar la impresión de la misma.

Lo que hago de su conocimiento, para los efectos académicos a que haya lugar.

ATENTAMENTE



Dr. Luis Daimir López-León
Co-asesor de Tesis

c.c.p. Coordinador de la Maestría en Ingeniería en Construcción
c.c.p. Arq. Valeria Volpi León
c.c.p. Archivo

AGRADECIMIENTOS

En esta etapa de mi vida, quiero agradecer primeramente a Dios, por poner en mi camino a tantas personas especiales, maestros y amigos, que han compartido conmigo su tiempo y sus conocimientos y que han dejado huella en mi persona. Gracias a Dios que ha guiado cada paso de este proyecto y ha permitido que lo concluyera satisfactoriamente.

Agradezco también a mi mamá Martha Silvia, a mi hermano Gerzahín y a Oscar Granillo de quienes he recibido apoyo incondicional y las mejores bendiciones.

Al Dr. Luis Daimir López León, por impulsarme en este reto y guiarme durante todo el proceso, por su tiempo y todo lo que me ha enseñado.

A mi maestro, José Salvador Mozo Arista, por todo el apoyo que he recibido de su parte y por concluir conmigo este proyecto.

Le dedico este proyecto a Isaac Granillo Volpi, que sin saberlo es mi motor para vivir y crecer, no sólo como profesionista, sino también como persona.

ÍNDICE

ÍNDICE	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE GRÁFICAS	x
ÍNDICE DE TABLAS	x
INTRODUCCIÓN	xi
CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES DE LOS DESECHOS MINEROS	1
1.1 Estado del arte	1
Justificación	1
Planteamiento del problema	4
Hipótesis	4
Objetivo General	5
Objetivos específicos	5
Metodología	6
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO	8
2.1. Concreto	12
2.1.1. Agregados	13
2.1.2. Cemento	15
2.1.3. Relación agua-cemento	19
2.1.4. Diseño de la mezcla de concreto	21
2.2. Concreto reforzado	22
2.2.1. Acero de refuerzo	23
2.3. Corrosión	26
2.3.1. Corrosión en concreto	28
2.4. Corrosión acelerada	30
2.4.1. Cámara de penetración de cloruros	30
2.5. Técnicas de evaluación de la corrosión	31
2.5.1. Técnica de potenciales de media celda	32
2.5.2. Técnicas electroquímicas	38
2.5.3. Celda electroquímica	39
2.5.4. Potencial electroquímico	40
CAPÍTULO 3. DESARROLLO EXPERIMENTAL	42
3.1 Caracterización química de los jales Dos Carlos y Presa Sur	43

3.2. Caracterización de agregados pétreos	46
3.2.1. Curva granulométrica.....	46
3.2.2. Peso unitario (peso volumétrico)	47
3.2.3. Peso específico.....	48
3.2.4. Módulo de finura	53
3.2.5. Contenido de humedad y porcentaje de absorción	54
3.3.1. Diseño de mezcla	55
3.3.2. Diseño del espécimen.....	57
3.3.3. Preparación del acero de refuerzo	58
3.3.4. Armado de los especímenes.....	59
3.3.5. Procedimiento para elaboración de la mezcla	59
3.3.6. Curado de los especímenes.....	60
3.4. Construcción de la cámara de aspersión de cloruros	61
3.5 Medio Corrosivo	63
3.6. Técnica de potenciales de corrosión	64
3.7. Técnica de impedancia electroquímica.....	66
3.7.1. Diagramas de conexión para la técnica de monitoreo de la corrosión por impedancia electroquímica	66
3.7.2. Parámetros Experimentales.....	68
CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	69
4.1. Análisis de la medición de potenciales de media celda	69
4.1.1. Potenciales de media celda cara directamente expuesta.....	69
4.1.2. Potenciales de media celda cara izquierda	70
4.1.3. Potenciales de media celda cara derecha.....	71
4.2 Espectroscopía de Impedancia electroquímica.....	72
4.2.1. Impedancia electroquímica a 7 días de exposición	73
4.2.2. Impedancia electroquímica 14 días de exposición	74
4.2.3. Impedancia electroquímica 21 días de exposición	75
4.2.4. Impedancia electroquímica 28 días de exposición	76
4.2.5. Parámetros de corrosión obtenidos en la técnica de Impedancia.....	77
4.3. Prueba de resistencia a la compresión	78
CONCLUSIONES	81
Recomendaciones para la continuación de esta Línea de Investigación	82
BIBLIOGRAFÍA.....	83
ANEXOS.....	88

NMX C-083-ONNCCE-2002	889
NMX C-111-ONNCCE-2004	95
NMX C-122-ONNCCE-2004	102
NMX C-160-ONNCCE-2004	108
NMX C-162-ONNCCE-2010	115
NMX C-407-ONNCCE-2001	122
ACI 201	131

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Mina de Acosta, Real del Monte	1
Figura 1.2. Vista aérea de presa de jal, previa a construcción del Estadio Hidalgo.....	2
Figura 1.3. Presas de jal en Boulevard Nuevo Hidalgo	2
.....	11
Figura 2.1. Pasillo de adoquines elaborados con jales en ITP, Pachuca, Hidalgo	11
Figura 2.2. Tipos de agregados.....	14
Figura 2.3. Cemento	16
Figura 2.4. Relación Agua/Cemento.....	20
Figura 2.5. Nomenclatura del acero.....	25
Figura 2.6. Efecto de corrosión en varilla de acero	26
Figura 2.7. Cámara para ensayos de niebla salina y corrosión cíclica.....	31
Figura 2.8. Circuito de media celda de cobre - sulfato de cobre,	33
Figura 2.9. Electrodo de referencia cobre-sulfato de cobre (Cu/CuSO ₄)	34
Figura 2.10. Vista seccional de celda de electrodo de cobre-sulfato de cobre.....	35
Figura 2.11. Circuito de media celda de cobre-sulfato de cobre	36
Figura 2.12 Instrumentos y accesorios empleados para el monitoreo de potenciales de corrosión.	37
Figura 2.13. Monitoreo de potenciales de corrosión con electrodo de Cu/CuSO ₄	38
Figura 2.14. Representación gráfica de una celda electroquímica,.....	40
Figura 3.1. Extracción de jal escombrera presa sur	44
Figura 3.2. Microfotografías de las escombreras: a) Imagen general, malla 100, 50X, SEM, b) resultado del microanálisis general SEM-EDS.	45
Figura 3.3. Pesos unitarios.....	48
Figura 3.4. Peso específico de grava	50
Figura 3.5. Peso específico de arena	52
Figura 3.6. Peso específico de Jal.....	53
Figura 3.7. Dimensiones de los especímenes.....	58
Figura 3.8. Dimensiones y delimitación de la zona de exposición de la varilla de refuerzo Ø ½".....	58
Figura 3.9. Vista del concreto ya habilitado y sin pulido en la cara superior.	60
Figura 3.10. Curado de los especímenes por el método de inmersión.	61
Figura 3.11. Cámara de aspersión salina.	61
Figura 3.12. Simulación de la zona de aspersión.....	62
Figura 3.13. Cámara de exposición en funcionamiento.....	63
Figura 3.14. Electrodo de cobre-sulfato de cobre.....	64
Figura 3.15 Instrumento y accesorio empleado para monitoreo de potenciales de corrosión.....	65
Figura 3.16. Monitoreo de potenciales de corrosión con electrodo de Cu/CuSO ₄	66
Figura 3.17. Esquema representativo para la conexión de la celda para monitoreo	67
Figura 4.1. Ensayo de resistencia a la compresión para los distintos sistemas	80

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 2.1. Proporciones en la mezcla de concreto	12
Gráfica 2.2. Tipos de falla en la habilitación del sistema acero-concreto, (Jones, y otros)	23
Gráfica 2.3. Agentes externos que afectan el sistema acero-concreto (Jones, y otros)	30
Gráfica 3.1. Granulometría de agregado grueso	46
Gráfica 4.4. Diagramas de Nyquist para el sistema concreto-acero al carbono AISI 1018 en función de la concentración de jal a 7 días de exposición.....	74
Gráfica 4.5 Diagramas de Nyquist para el sistema concreto-acero al carbono AISI 1018 en función de la concentración de jal a 14 días de exposición.....	75
Gráfica 4.6 Diagramas de Nyquist para el sistema concreto-acero al carbono AISI 1018 en función de la concentración de jal a 21 días de exposición.....	76
Gráfica 4.7 Diagramas de Nyquist para el sistema concreto-acero al carbono AISI 1018 en función de la concentración de jal a 28 días de exposición.....	77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Composición química del cemento.....	17
Tabla 2.2. Propiedades de los aceros estructurales.....	24
Tabla 2.3. Dimensiones nominales de varilla.....	25
Tabla 2.4 Fluencia de la varilla.....	26
Tabla 2.5 Norma ASTM-C-876-91. Criterio de probabilidad de corrosión.	34
Tabla 3.1. Composición química, Escombreras Presa Sur.....	43
Tabla 3.2. Composición química promedio, Escombreras Dos Carlos	44
Tabla 3.3. Peso unitario	47
Tabla 3.4. Peso específico de la grava muestra 1.....	49
Tabla 3.5. Densidades	49
Tabla 3.6. Peso específico de la grava, muestra 2.....	50
Tabla 3.7. Peso específico de la arena (densidad)	51
Tabla 3.8. Peso específico de la arena.....	51
Tabla 3.9. Peso específico del Jal (Densidad)	52
Tabla 3.10. Peso específico del Jal	53
Tabla 3.11. Módulo de finura del agregado fino	54
Tabla 3.12. Diseño de mezcla de concreto.....	56
Tabla 3.13 Dosificación de concreto con 5% de jal	57
Tabla 3.14 Dosificación de concreto con 10% de jal	57
Tabla 3.15 Dosificación de concreto con 15% de jal	57
Tabla 3.16 Parámetros de operación de cámara de aspersión salina	63
Tabla 3.16. Composición del acero al carbono AISI 1018	67
Tabla 3.17. Parámetros experimentales utilizados en las técnicas electroquímicas.....	68
Tabla 4.1. Parámetros de corrosión obtenidos en la técnica de Impedancia	78
Tabla 4.2. Parámetros de Resistencia a la Compresión.....	79

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la preocupación por la conservación del medio ambiente ha incrementado bastante, uno de los objetivos principales se ha centrado en la mitigación de los impactos negativos que provocan los desechos industriales en el ambiente. Las estrategias planteadas incluyen la reutilización de estos desechos de una manera eficiente.

En Pachuca, Hidalgo, la minería ha generado a través de casi 500 años acumulaciones de jales (residuo minero), que sobrepasan los 100 millones de toneladas en toda la ciudad. Años atrás no existía ninguna normatividad para su manejo y deposición, fue hasta el año 2004, cuando se aprobó la (NOM-141-SEMARNAT-2003) en la cual se regularon los procedimientos y se dio mayor importancia al impacto ambiental que los desechos generaban.

Actualmente, los residuos mineros de la ciudad no tienen ningún uso específico, por el contrario, el abandono y desentendimiento de los mismos los ha convertido en parte del paisaje natural. Sin embargo, sus características físicas y químicas no son favorables para el ambiente ni para la salud de los pobladores. El tamaño de las partículas, al ser tan fino, impregna el aire y produce grandes remolinos de tierra; aunado a ello, las necesidades de infraestructura y equipamiento de una sociedad en crecimiento, requieren de mayores espacios, mismos que ahora ocupan estas presas de jal.

Debido a lo anterior, la necesidad de aprovechar este recurso tan abundante, y al mismo tiempo mitigar su impacto negativo en el ambiente, ha dado apertura a nuevas soluciones. La implementación de jal en la industria de la construcción, específicamente en el concreto armado para elementos estructurales de baja resistencia, respondería a un uso eficiente del recurso con grandes ventajas para la sociedad.

La industria de la construcción en México y en el mundo, se ha apoyado por muchas generaciones en la utilización del concreto armado como elemento fundamental de las estructuras. Los costos de construcción son relativamente bajos y sus características han asegurado larga vida a las edificaciones; no obstante, se ha dejado de lado el mantenimiento de dichas estructuras.

Uno de los fenómenos que puede dañar gravemente la vida útil de los inmuebles, así como las características funcionales del concreto, tales como adherencia y resistencia mecánica, además de inducir la formación de agrietamientos y desprendimientos de trozos de concreto, comprometiendo la integridad estructural, es el efecto de la corrosión; por ello, el análisis de los efectos de corrosión en las estructuras es de vital importancia pues genera pérdidas millonarias en todo el mundo.

En el presente estudio se busca aprovechar los residuos industriales de la minería (jales), como sustitución del elemento cementante, con diferentes porcentajes, para los sistemas concreto-acero. Se pretende su implementación para estructuras de baja resistencia, así como asegurar su funcionalidad ante el fenómeno de la corrosión comparados con sistemas de concreto armado convencionales y confirmar el beneficio de su utilización en la industria de la construcción.

CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES DE LOS DESECHOS MINEROS

1.1 Estado del arte

Justificación

Una de las actividades económicas más productivas en el país, como en el Estado de Hidalgo desde el siglo XVI hasta nuestro tiempo, ha sido la minería; sin embargo, los métodos y procesos para extraer los metales valiosos han generado, a través de varias décadas, acumulaciones de desechos mineros de jal equivalentes a más de 100 millones de toneladas, depositadas en muchas zonas de la ciudad de Pachuca y municipios aledaños.



Figura 1.1. Mina de Acosta, Real del Monte

Este tipo de desecho, por sus características físicas y químicas, no ha tenido gran utilidad, por el contrario, al ser susceptible a ser transportado por la acción del viento y el agua hacia la atmósfera, al suelo y a los mantos freáticos únicamente ha generado contaminación y ha dificultado el desarrollo de nuevas obras de infraestructura en la ciudad.



Figura 1.2. Vista aérea de presa de jal, previa a construcción del Estadio Hidalgo



Figura 1.3. Presas de jal en Boulevard Nuevo Hidalgo

Debido al crecimiento de la mancha urbana, las acumulaciones de jal existentes ya no pueden permanecer en las ubicaciones actuales, aunado a que al seguir activas las minas continúan generándose más desechos; sin embargo, la propuesta para depositar cerca de 90 mil toneladas de jal (286 Ha) en el municipio de Epazoyucan, Hidalgo, no ha

sido bien aceptada por la comunidad, argumentando que al ser depositados a menos de dos km de las viviendas, se generan un impacto negativo en el aire y en los mantos freáticos, así como en la salud de los pobladores. (Montoya, 2015).

En la actualidad existen varios estudios acerca del reciclaje de los materiales de desecho minero; en la rama de la construcción, la propuesta de reutilización de jales y desechos de construcción, por parte de las Áreas de Investigación de las Universidades locales, se ha enfocado a la generación de: adoquín, blocks, tabiques, ladrillos y tejas, de aceptable resistencia estructural, a pesar de ello, las propuestas continúan siendo evaluadas por sus realizadores, por lo que no se ha concretado su manufactura a nivel industrial.



Figura 1.4. Boletín electrónico de UAEH

La necesidad de aprovechar estos recursos para mitigar el impacto ambiental es urgente y requiere de una propuesta constructiva eficiente; su aplicación en la industria de la construcción, mediante el diseño de un sistema de concreto reforzado, dará apertura a nuevas

soluciones. Asimismo, la implementación de estos materiales en diferentes proporciones en la mezcla de concreto puede conservar sus características mecánicas y aminorar el proceso de corrosión en el acero de los sistemas diseñados; debido a lo anterior, surge el interés por proponer un sistema modificado que beneficie a la industria de la construcción y permita aprovechar los recursos materiales tan abundantes en el Estado de Hidalgo.

Planteamiento del problema

En Pachuca, Hidalgo, la minería ha propiciado grandes acumulaciones de residuos mineros depositados en diversas zonas dentro de la Ciudad; estos desechos han contaminado el ambiente por muchas generaciones y en la actualidad permanecen sin ninguna utilidad. El implementar su utilización en la construcción, mediante la generación de un sistema de concreto reforzado, aprovechará las propiedades físicas y químicas de dichos materiales beneficiando al concreto. ¿Con qué porcentaje de jal como sustituto de cemento, en la elaboración de concreto reforzado, se presenta un comportamiento mecánico y resistencia a la corrosión similar comparado con un concreto convencional?

Hipótesis

Demostrar la factibilidad de reutilizar el jal minero en un porcentaje específico como sustituto de cemento en la mezcla de concreto armado, estudiando específicamente el acero de refuerzo durante el proceso de corrosión sin afectar su comportamiento mecánico, comparado con un concreto convencional, con el fin de aminorar el impacto ambiental de los desechos mineros.

Objetivo General

Analizar los sistemas de concreto reforzado con diferentes porcentajes de jal minero como sustituto de cemento en la mezcla, expuestos a un ambiente agresivo, para determinar el diseño del sistema que conserve sus características mecánicas y de resistencia a la corrosión comparado con un concreto convencional, mediante técnicas de monitoreo de corrosión y pruebas mecánicas.

Objetivos específicos

- Identificar las características físicas y químicas del desecho minero que se pretende utilizar para determinar la influencia de sus componentes en el proceso de elaboración de concreto reforzado.
- Identificar las técnicas electroquímicas y los ensayos mecánicos realizados al concreto reforzado para analizar el proceso de corrosión en acero y su resistencia a la compresión.
- Elaborar sistemas de concreto reforzado convencional con 0%, 5%, 10% y 15%, de desecho minero como sustituto de cemento para obtener y comparar sus resistencias a la compresión.
- Realizar pruebas con técnicas electroquímicas a los diferentes sistemas de concreto reforzado, para obtener parámetros de corrosión.
- Llevar a cabo el tratamiento de datos de los parámetros obtenidos de las técnicas de caracterización, electroquímicas y mecánicas, para comparar los sistemas en estudio y determinar el sistema más resistente a la compresión y con menor afectación por el proceso de corrosión.

Metodología

- Se presentará la caracterización química de los desechos mineros a utilizar a partir de estudios realizados por autores específicos.
- Se revisará la bibliografía referente al comportamiento mecánico y los procesos de corrosión en concreto reforzado.
- Se determinarán las técnicas electroquímicas adecuadas para obtener los parámetros de corrosión requeridos.
- Se determinará la resistencia a la compresión con que se diseñarán los diferentes sistemas de concreto reforzado.
- Se diseñará la mezcla de especímenes de concreto reforzado con 0%, 5%, 10% y 15% de jal, como sustituto de cemento.
- Se elaborarán especímenes de concreto reforzado convencionales y con jal en diferentes proporciones, y se someterán a pruebas de compresión para determinar su comportamiento mecánico.
- Se elaborarán especímenes de concreto reforzado convencionales y con jal, se expondrán a un ambiente agresivo mediante la inmersión en una cámara de cloruros que simule un ambiente marino para realizar las distintas pruebas electroquímicas.
- Se monitorearán los especímenes con dos técnicas electroquímicas: curvas de polarización e impedancia electroquímica.
- Se realizará una inspección visual del estado físico de las varillas, para dar validez a los resultados obtenidos por las técnicas electroquímicas mediante técnicas de caracterización superficial.
- Se interpretarán los resultados obtenidos de las distintas pruebas realizadas.
- Se compararán los resultados obtenidos de las pruebas mecánicas y de velocidad de corrosión de los sistemas analizados.
- Se realizará el tratamiento de datos experimentales.

- Se llevará a cabo la discusión de los datos experimentales obtenidos, para determinar las proporciones más adecuadas en el diseño de la mezcla de concreto.
- Se propondrá el diseño de la mezcla de un concreto reforzado que aminore la velocidad de corrosión y mantenga las características mecánicas para las que fue diseñado.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

El Estado de Hidalgo cuenta con un legado de más de 450 años de minería, misma que ha sido partícipe en el suministro de materia prima a las industrias de: electrónica, química, metalúrgica, siderúrgica y de la construcción; además, ha sido esencial en el desarrollo tecnológico y la modernización del país. (Acosta, E. Hernández; Romero, E. Mondragón, 2009).

En los inicios de la actividad minera, gracias a la aportación de Fray Bartolomé de Medina, los métodos de extracción para los metales preciosos (Au y Ag) fueron por Amalgamación con Mercurio y Cianuración. (Servicio Geológico Mexicano, 2014)

Actualmente, el proceso de recuperación y concentración de metales de valor, se realiza mediante flotación y métodos físicos, posteriormente, se separa por gravimetría la fracción de mineral valiosa económicamente. Los materiales con baja concentración de metal se retiran en forma de lodos que contienen altas cantidades de elementos potencialmente tóxicos (EPT). Los lodos son depositados en tinas, que en México se denominan “presas de jales o escombreras”; estos materiales son difíciles de eliminar, ya que pueden permanecer durante décadas en el suelo e incorporarse en la cadena trófica (PROFEPA, 2000). Algunos elementos químicos que se encuentran en los jales de minas son los siguientes: zinc, cadmio, plomo, níquel, molibdeno, telurio y arsénico (Remon, y otros, 2005).

Como resultado de la actividad minera, grandes cantidades de desechos minerales fueron acumulados a cielo abierto en la ciudad y sus alrededores de manera arbitraria, pues las zonas de depósito sólo requerían ser predios amplios, de fácil acceso y cercanos a las minas. En Pachuca, Hidalgo, existen 286 hectáreas de terreno con jales, lo

correspondiente a 95 millones de toneladas. En el caso del predio correspondiente a Presa Sur, desde 1934 a la fecha, han sido adquiridas 176.70 hectáreas. Fue hasta el 25 de febrero de 2004, fecha en que se aprobó la norma NOM-141SEMARNAT-2003 (SEMARNAT, 2004), cuando se regularon los procedimientos y se dio mayor importancia al impacto ambiental que los desechos generaban.

Algunos investigadores, en el área de Ciencia de los materiales, Química, Ingeniería Civil y Ambiental, han realizado proyectos acerca de la caracterización y posible reutilización de los desechos mineros; debido a que las características físicas y químicas de los desechos de minería cambian en función del lugar en que se hayan extraído los metales valiosos, las investigaciones son muy específicas. Hernández Acosta E. y Cristóbal Acevedo D., de la Universidad Autónoma de Chapingo, han orientado sus investigaciones a la caracterización físico-química de los desechos mineros para analizar el grado de toxicidad de los mismos y su impacto en el medio ambiente.

Han concluido en sus investigaciones que los jales estudiados de la Ciudad de Pachuca no contienen EPT en cantidades perjudiciales para la salud, asimismo, se han dado a la tarea de proponer vegetación específica que al favorecer la acumulación de productos potencialmente tóxicos en sus tejidos, reducen la disposición de los mismos en el ambiente. (Acosta, E. Hernández; Romero, E. Mondragón, 2009).

Por su parte, Rangel Y., Prieto F., Acevedo O., Gordillo A. y González C., de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, han desarrollado su investigación hacia la creación de blocks mediante la reutilización de residuos de construcción y demolición (RCD) principalmente de vivienda y jales: "Procesos unitarios de recuperación de residuos de construcción, demolición y jales de minería: Desarrollo de agregados pétreos". En el proceso de caracterización y utilización de agregados, han determinado que en lo que respecta al jal, sus altos contenidos de silicio, aluminio y calcio, son aptos para la mezcla con

cemento, el cual contiene los mismos elementos en su composición. (NMX-C-038-ONNCCE-2004), (NMX-C-036-ONNCCE-2004) (NMX-C-037-ONNCCE-2005) Los blocks realizados alcanzan resistencias aceptables en sus agregados (Rangel, Prieto, Acevedo, Gordillo, & González, 2009).

Otra de las propuestas de reutilización de desechos mineros se ha llevado a cabo en los proyectos “Caracterización de las escombreras de Distrito minero Real del Monte - Pachuca y sus Usos Industriales alternos” de F. Patiño, J. Hernández y J. Flores, de la Universidad Autónoma de Hidalgo, en el cual desarrollaron: blocks, tejas, ladrillos, piso cerámico y vidrio ámbar para envase, con la inclusión de sílice procedente de los jales con un proceso de elaboración menos costoso al establecido en la actualidad. En los resultados de la investigación destacan la realización de productos con mayor resistencia a las convencionales, pruebas de toxicidad negativas para los productos generados, así como una alternativa de uso en la industria del cemento por su alto contenido de sílice, y en la construcción como sustituto de feldespatos mixtos. (Patiño, Hernández, & Flores, s.f.) (Consejo de Ciencia, Tecnología e Innovación de Hidalgo, 2016)

En el Instituto Tecnológico Regional de Pachuca, como propuesta de Reyes Y. y Santander P., han implementado adoquines elaborados con desechos mineros con diferentes dosificaciones, para la construcción de andadores dentro de la misma Universidad, comparados con los adoquines convencionales, su durabilidad y resistencia ha sido muy similar.



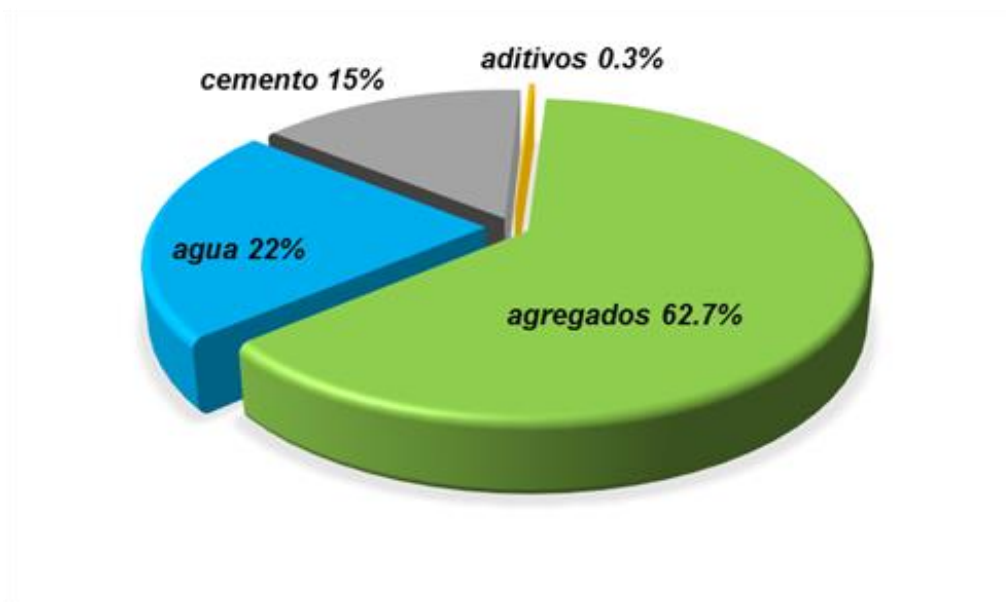
Figura 2.1. Pasillo de adoquines elaborados con jales en ITP, Pachuca, Hidalgo

En colaboración, Juárez L., Vela G., Cruz E., Chimal A., Acevedo O. y Rivera F. concretaron en su investigación: “Características de sustratos e identificación de plantas micorrizadas establecidas en presas de jales del distrito minero de Pachuca”, las características físicas y químicas de los sustratos de las presas CEUNI, Mina de Acosta y Campo de Golf. Determinaron que presentan textura franco-arenosa y franco-limosa, predominando las arenas (65%), que son deficientes en materia orgánica y nutrimentos, que poseen un pH cercano a la neutralidad, que predomina en su caracterización química el SiO_2 , e identificaron las trece especies vegetales que albergan. (Juárez, y otros, 2011)

Cabe mencionar que las investigaciones mencionadas han utilizado jales de las presas: Dos Carlos y Presa Sur, siendo esta última en la que se enfoca el presente proyecto de investigación.

2.1. Concreto

El término concreto se deriva del latín “concretus” que significa compuesto y se define como un material heterogéneo. El concreto es un material artificial, formado por la mezcla de agregados y pasta en cantidades predeterminadas. El cemento, al entrar en contacto con el agua genera una reacción química formando con los agregados fino y grueso una masa, que al endurecerse, es semejante a una roca con forma preestablecida mediante un molde. Un concreto se ha realizado con éxito cuando es funcional, resistente, durable y de alta calidad. (Zongjin, 2011)



Gráfica 2.1. Proporciones en la mezcla de concreto

Las propiedades del concreto varían en relación a la dosificación y calidad de sus componentes, así como de su proceso de elaboración y mantenimiento, también influyen las condiciones climáticas a las que se encuentra expuesto. Sus principales características son: trabajabilidad, que se refiere a la manejabilidad de la mezcla para transportarse y colocarse sin perder homogeneidad, esta dependerá de la cantidad de pasta de cemento que se agregue a la mezcla y la granulometría de los agregados; se puede verificar, mediante la prueba de revenimiento,

cuando el concreto se encuentra en estado fresco; durabilidad para resistir la intemperie, la acción de ciertos productos químicos, la abrasión y los desgastes por servicio. Un concreto durable debe mantener su forma original, calidad y características de servicio, cuando es expuesto a un ambiente como el mencionado; resistencia a la compresión, cuando el concreto se ha endurecido a lo largo de un periodo mínimo de 28 días alcanza su máxima resistencia, esta dependerá de manera importante de la relación agua/cemento y del proceso de curado, es decir, del tiempo que haya permanecido humedecido; impermeabilidad, para evitar la infiltración de agentes contaminantes que deterioren el concreto. Una mezcla más densa, con menor cantidad de agua, aumenta la impermeabilidad del concreto protegiendo al acero de refuerzo; y cohesividad, que se refiere al grado de unión de los componentes del concreto en estado fresco, influenciada por el tamaño de los agregados y la cantidad de agua utilizada. A mayor cohesividad, mayor resistencia tendrá el concreto en estado endurecido. (IMCYC, 2004), (NMX C-155-ONNCCE-2004), (Frederick, 1992)

2.1.1. Agregados

Los agregados son materiales granulares inertes que se adicionan a la mezcla de concreto, pueden ser naturales o naturales procesados, mixtos o artificiales, de acuerdo al modo de fragmentación, tamaño de partícula, origen, composición, color y zona en que hayan sido extraídos.

De acuerdo al tamaño del agregado se clasifican en gruesos, que corresponden a las rocas trituradas, grava o material cribado y finos, las arenas naturales o manufacturadas, finas o gruesas, y piedra fina triturada, para su clasificación se utiliza la malla N° 4 (4.75 mm)

Sus funciones en la mezcla de concreto son: reducir la contracción por hidratación tardía, otorgar resistencia mecánica para soportar cargas por servicio, dar mayor densidad, durabilidad al concreto

para soportar acciones de intemperismo, garantizar la adherencia con la pasta de cemento endurecida, reducir los cambios de volumen resultantes de los procesos de fraguado y endurecimiento, de humedecimiento y secado o de calentamiento de la pasta.

Debido a su porcentaje mayoritario en la mezcla de concreto (60% al 70% del volumen) es necesario considerar sus características físicas al momento de su elección. Los agregados bien graduados, lisos y redondos, mejoran la trabajabilidad de la mezcla; el tamaño de partícula, la forma, textura de la superficie y el tipo de mineral influyen en su resistencia a la compresión. Su densidad indica la porosidad del material y esta su resistencia a la abrasión, resistencia mecánica, propiedades elásticas, gravedad específica, absorción y permeabilidad.



Figura 2.2. Tipos de agregados.

En agregados gruesos, grava o piedra triturada, el tamaño máximo de partícula es el que pasa la malla de 3 ½", sin embargo, el que se utiliza comúnmente es de 19 mm; el tamaño máximo de las partículas no debe pasar un quinto de la dimensión más pequeña del miembro de

concreto, tres cuartos del espaciamiento libre entre barras de refuerzo ni un tercio del peralte de losas. La grava triturada genera resistencias más altas debido a que la trabazón mecánica se desarrolla mejor en partículas angulosas. Sin embargo, se debe evitar angulosidad excesiva pues incrementa el requerimiento de agua y disminuye la trabajabilidad. Los agregados porosos influyen de manera negativa en la resistencia a la abrasión, resistencias mecánicas, propiedades elásticas, gravedad específica, absorción y permeabilidad. Entre muchas otras características. Se concluye que el agregado ideal debe ser limpio, cúbico, anguloso, triturado 100%, con un mínimo de partículas planas y elongadas.

Los agregados finos consisten principalmente en arenas naturales o manufacturadas, con tamaño de partícula de hasta 10 mm, que pasa la malla N° 4 (4.75 mm), pero retenidas en la malla N° 200 (0.074 mm). El módulo de finura debe estar entre 2.3 y 3.2 para que la mezcla sea trabajable y resistente a la compresión. Una medida inferior propicia concretos de consistencia pegajosa, difíciles de compactar. (NMX-C-111-ONNCCE-2004), (ASTM C-033-13).

2.1.2. Cemento

El cemento "Portland" tiene sus orígenes en la cal, a partir de la cual y luego de cientos de años de estudios empíricos y científicos, se llegó a lo que hoy se conoce como cemento hidráulica calcáreo, producido por calentamiento de los óxidos de silicio, calcio, aluminio y hierro. En 1824 James Parker y Joseph Aspdin desarrollaron la patente del cemento Portland por calcinación de nódulos de caliza arcillosa. (Miranda, 2013)

El cemento es un conglomerante hidráulico con propiedades adhesivas y cohesivas que se genera a partir de la pulverización de Clinker fío con un grado de finura bien determinado, se le adicionan sulfato de calcio natural y agua para convertirse en aglutinante que endurecido mantiene la unidad con los agregados; constituye del 10 al 20 % del volumen total del concreto y es el de mayor costo unitario.



Figura 2.3. Cemento

En el proceso de producción de cemento, los componentes principales para formar la denominada “harina cruda” son: caliza de origen mineral inorgánico carbonatado (elemento principal), arcilla de origen mineral constituido por silicatos y correctores, componentes minoritarios de origen natural o artificial; arena sílica (SiO_2), diatomita (SiO_2), hematita o cascarilla de laminación (Fe_2O_3), caolín (Al_2O_3). El producto resultante, denominado polvo crudo, ingresa al horno y egresa como Clinker; el proceso se completa con la molienda conjunta del Clinker y yeso, obteniendo el cemento Portland.

El proceso de producción se compone de los siguientes pasos:

1. Trituración de caliza: (su componente principal es el óxido de calcio, pero también contiene óxido de sílice, alúmina y fierro), la arcilla aporta óxido de sílice, óxido de aluminio y álcalis; el mineral de hierro aporta óxido de fierro.
2. Pre-homogeneización: para asegurar la uniformidad química y enviar la caliza a tolvas de alimentación de los molinos de crudos

3. Molienda de crudos: Reducción de tamaño de materia prima, aproximadamente 15% del retenido en la malla N° 200; el control químico de la molienda de crudos mediante rayos X asegura la calidad del material.
4. Homogeneización: se uniformiza la calidad de los crudos mediante un sistema de aire a presión.
5. Calcinación del crudo: (clinkerización) a 1,450° C (caliza, arcilla y mineral de hierro) se genera el Clinker (verde, de forma granular y con propiedades cementantes); va de la mano con un proceso de control de las variables químicas del producto.
6. Molienda de cemento: En este proceso el Clinker es molido junto con el mineral de yeso (sulfato d calcio) añadido para regular el fraguado del cemento
7. Nuevamente se lleva a control químico mediante rayos X para verificar características físicas y químicas y se envasa. (IMCYC, 2004)

Tabla 2.1. Composición química del cemento

Compuesto químico	Porcentaje
SiO ₂	19-23
Al ₂ O ₃	3-9
FeO ₃	0.5-6
CaO	60-68
MgO	0.1-4
SO ₃	1-3.5
Na ₂ O	0.3-1.3
K ₂ O	0.2-1.5

En la cocción de los crudos los compuestos que se producen aportan características específicas, el silicato tricálcico (3CaO.SiO₂.C₃S) (Alita) aporta resistencia inicial; el Silicato dicálcico (Belita) al hidratarse y endurecer contribuye con el incremento de resistencia a edades mayores a una semana; el Aluminato tricálcico (Celita) actúa como

catalizador, libera gran cantidad de calor durante los primeros días de hidratación y endurecimiento, contribuye también a la resistencia temprana, los cementos con bajos porcentajes son resistentes a suelos y aguas que contienen sulfatos; el Ferro - aluminato tetra cálcico (Ferrita) en la cocción reduce la temperatura de fusión ayudando a la manufactura del cemento. (Muñíz, 2006).

La norma ASTM-C150-07 establece cinco tipos de cemento de acuerdo a los usos y necesidades, así como 3 tipos con adición de aire diferenciados por la letra A:

1. Tipo I: Normal, para uso general donde no intervienen factores ambientales críticos; se usa en: pisos, pavimentos de concreto, estructuras, puentes, etc.
2. Tipo IA: Normal con inclusión de aire.
3. Tipo II: De moderado calor de hidratación o moderada resistencia a los sulfatos; uso para tuberías.
4. Tipo IIA: Igual al anterior pero con inclusión de aire.
5. Tipo III: Altas resistencias a edades tempranas, entre 3 y 7 días; se utiliza en la construcción de carreteras o autopistas.
6. Tipo IIIA: Igual al anterior pero con inclusión de aire.
7. Tipo IV: Bajo calor de hidratación; el desarrollo de resistencias es muy lento, se utiliza en estructuras masivas como presas.
8. Tipo V: Resistente a ataque de sulfatos, cuando el concreto está expuesto a concentraciones muy altas de sulfatos, como en suelos y aguas subterráneas; el desarrollo de resistencias es muy lento.

La norma NMX-C-414-ONNCCE-2010 Industria de la construcción - Cementos hidráulicos - Especificaciones y métodos de ensayo, establece seis tipos de cemento con cuatro características especiales y cinco clases de resistencia:

1. CPO. Ordinario
2. CPP. Pozolánico
3. CPEG. Escoria granulada
4. CPS. Humo de sílice
5. CPC. Compuesto
6. CEG. Escoria granulada

Los tipos de cementos pueden presentar más características especiales, dentro de las cuales se consideran las siguientes:

RS. Resistencia a sulfatos

BRA. Baja reactividad álcali-agregado

BCH. Bajo calor de hidratación

B. Color Blanco

Las clases resistentes son: 20, 30, 30R, 40 y 40R N/mm² (200, 300 y 400 Kg/cm²), donde la letra R indica que el cemento debe cumplir con una resistencia inicial especificada a la edad de 3 días.

2.1.3. Relación agua-cemento

La relación agua - cemento determina la porosidad de la pasta de cemento endurecido en cualquier etapa de hidratación, tiene influencia directa sobre el desarrollo del fraguado, la resistencia, durabilidad y retracción del concreto. La relación agua-cemento es mayor cuando es más grande la cantidad de agua y menor cuando aumenta la cantidad de cemento; a mayor relación aumenta la fluidez de la mezcla, su trabajabilidad y plasticidad; a menor relación mejora la durabilidad del concreto endurecido y su resistencia a la compresión debido a la disminución de espacios libres creados por el agua. Para un concreto compactado adecuadamente y fabricado con agregados limpios y sanos, su resistencia y otras propiedades deseables están gobernadas por la

cantidad de agua de mezclado que se utiliza por unidad de cemento (Guevara, y otros, 2012).

$$\text{Relación Agua/Cemento} = \frac{\text{Peso del Agua (kg)}}{\text{Peso del Cemento (Kg)}}$$

La diferencia en la relación agua - cemento dependerá del tamaño de los agregados, textura superficial, forma, resistencia, rigidez, tipo de cemento y presencia de aditivos.



Figura 2.4. Relación Agua/Cemento

El agua potable es un elemento muy importante en la mezcla de concreto, en el proceso de elaboración se requiere aproximadamente el 30% de la masa de cemento para hidratarlo, sin embargo, se debe aplicar arriba del 40% para hacer la mezcla manejable. Al hidratar las partículas de cemento, hace que estas desarrollen sus propiedades aglutinantes, el concreto fragüe y endurezca.

El agua utilizada en la mezcla debe cumplir con las características que la definen adecuada para consumo humano, debe ser

potable, libre de impurezas orgánicas e inorgánicas, incolora e inodora; de no cumplir con dichas propiedades pueden afectarse el tiempo de fraguado, la resistencia, el ataque por elementos químicos que propicien carbonatación o corrosión. (NMX C-122-ONNCCE-2004), (ASTM C94-09), (ACI 318 y ACI 201).

En el proceso de curado el agua tiene por objeto evitar un secado prematuro, principalmente en el área superficial, por la acción de los rayos del sol y del viento; el curado y la protección deben comenzar tan pronto como sea posible, después de compactar el concreto y, en todos los casos, antes de que la superficie haya tenido tiempo para secarse (IMCYC, 1999); este proceso no debe interrumpirse y debe durar mínimo 7 días. Un adecuado curado asegura que el concreto desarrolle sus propiedades mecánicas, es decir, a los 28 días el concreto habrá alcanzado su máxima resistencia a la compresión; asimismo, disminuye la profundidad de carbonatación entre 10 y 15% de acuerdo con la composición del concreto y el tipo de cemento. La ausencia de curado eficiente puede provocar un aumento en la permeabilidad de la superficie de concreto.

2.1.4. Diseño de la mezcla de concreto

El diseño de la mezcla depende del tipo de obra que se llevará a cabo, así como los requisitos por condiciones de uso y características específicas; para el proporcionamiento de la mezcla de concreto se debe considerar:

- Tipo de construcción
- Tamaño máximo del agregado grueso
- Materiales
- Revenimiento relacionado al tipo de elemento que se pretende colar
- Relación agua/cemento
- Contenido de cemento y agregados grueso y fino

- Contenido de aire
- Temperatura del concreto de acuerdo al tipo de clima, lugar y época del año.
- Humedad del ambiente
- Resistencia Mpa (kg/cm²)

En algunas ocasiones, el sitio en el que se ocupará el concreto, no presenta las condiciones aceptables, por ello se debe incluir en la mezcla aditivos que modifiquen ciertas propiedades, logrando ahorrar energía, haciéndolo más trabajable y económico; deben añadirse inmediatamente antes o durante el mezclado.

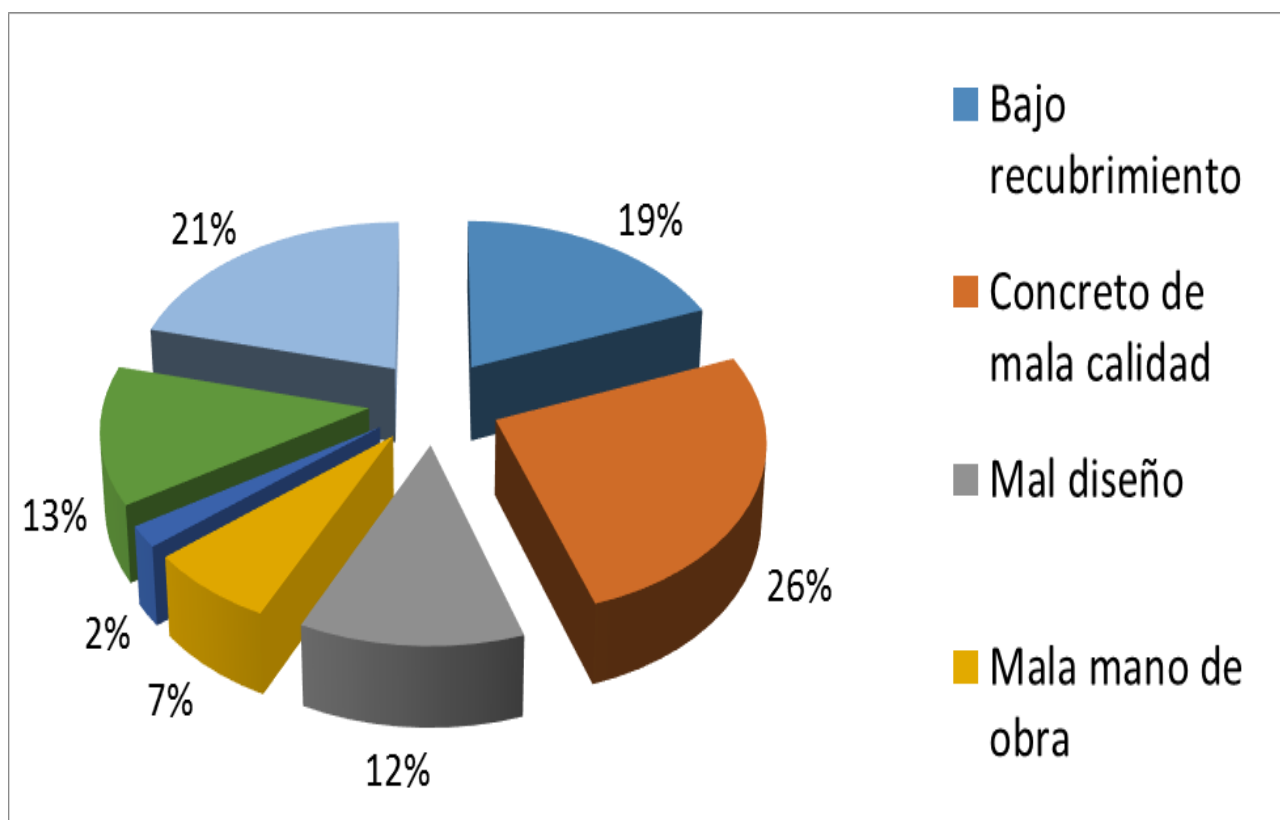
En la actualidad, ante las nuevas exigencias del mercado y la constante búsqueda por la sustentabilidad y la protección del medio ambiente, mediante la reutilización y el reciclaje de desechos se ha considerado, además de los componentes tradicionales, materiales cementantes suplementarios, fibras metálicas y sintéticas, aire ocluido y aditivos químicos de vanguardia.

2.2. Concreto reforzado

El concreto es fabricado en estado plástico, lo que obliga a utilizar moldes que lo sostengan mientras adquiere resistencia suficiente para rigidizar la estructura; asimismo, trabaja a compresión, por lo que para mejorar su resistencia a tensión y cortante, es necesario reforzarlo mediante la implementación de barras de acero colocadas en zonas donde se desarrollarán tensiones por servicio. La combinación de concreto con acero se denomina “concreto reforzado”; existen dos procedimientos principales para construir estructuras de concreto reforzado, cuando los elementos estructurales se forman en su posición definitiva *in situ* y cuando son prefabricados. (González & Robles, 2005)

En el concreto armado, el acero de refuerzo es el elemento que proporciona resistencia a la tracción; cuando la masa de concreto es

preparada correctamente, presenta un pH entre 12.5 y 13.5 aproximadamente, lo que mantiene a la armadura en un estado pasivo, garantizando una protección química que prolonga su vida útil. Por otro lado, el concreto se convierte en un impedimento físico para la penetración por difusión de oxígeno, humedad, cloruros, anhídrido carbónico y otras sustancias agresivas hasta la superficie del acero. (SCT, 2001)



Gráfica 2.2. Tipos de falla en la habilitación del sistema acero-concreto, (Jones, y otros)

2.2.1. Acero de refuerzo

El acero de refuerzo es una aleación hierro - carbono que generalmente tiene un acabado superficial en relieve llamado “corrugado”, el acero al carbón es trabajado en frío o laminado en caliente y es utilizado en forma de barras (varillas) lisas o corrugadas, de diversos diámetros, formando elementos armados que se ahogan en la masa de concreto. Estos

elementos se colocan en zonas en las que se desarrollarán acciones de servicio para absorber y resistir esfuerzos provocados por cargas y cambios volumétricos por temperatura, evitando el desarrollo de grietas; el acero tiene diversas propiedades, entre las que destacan:

Tabla 2.2. Propiedades de los aceros estructurales

Resistencia a la tensión o última resistencia	Es el esfuerzo unitario máximo que puede alcanzar en un ensayo a la tensión.
Ductilidad	Es la capacidad del material para ser sometido a deformaciones inelásticas sin ruptura.
Resistencia al Impacto	Es el índice de propensión a las fallas de rotura y se mide por la energía de impacto necesaria para fracturar un espécimen ranurado.
Dureza	Refleja la capacidad de un espécimen liso de absorber energía, como se ha caracterizado por el área bajo la curva esfuerzo–deformación.
Resistencia a la corrosión	No tiene índice específico. Sin embargo, los índices nominales relativos de resistencia a la corrosión se basan en las pendientes de las curvas de pérdida por corrosión (reducción del espesor) contra el tiempo

(González & Andrade, 1980)

De acuerdo a la norma Mexicana NMX-C-407-ONNCCE-2001, las varillas se fabrican desde el N° 3 al 12 (3/8" a 1½" de diámetro), siendo su presentación comercial más común en tramos de 12.00 m de largo.

Tabla 2.3. Dimensiones nominales de varilla

Número de varilla	Diámetro		Área mm ²	Peso Kg/m
	<i>pulgadas</i>	<i>milímetros</i>		
3	3/8	9.5	71	0.560
4	1/2	12.7	127	0.994
5	5/8	15.9	198	1.552
6	3/4	19.0	285	2.235
8	1	25.4	507	3.973
10	1 1/4	31.8	794	6.225
12	1 1/2	38.1	1140	8.938

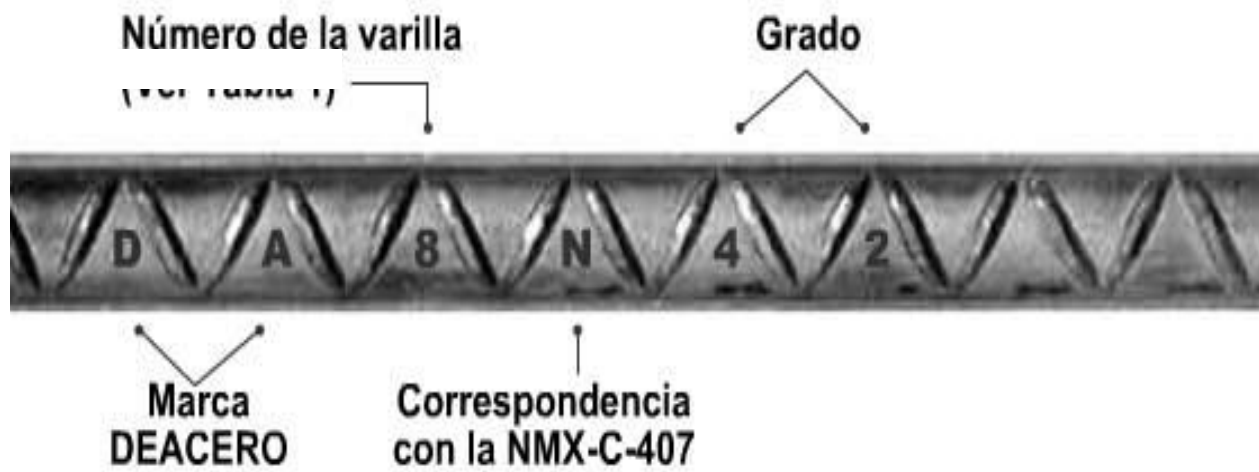


Figura 2.5. Nomenclatura del acero

El tipo de acero se caracteriza generalmente por el límite de esfuerzo de fluencia que se refiere a la tensión máxima que puede soportar el material antes de sufrir una deformación permanente; una vez que pasa este límite, la estructura se fragiliza y se compromete su resistencia. Las barras laminadas en caliente pueden tener límites desde 2,300 Kg/cm² hasta 4,200Kg/cm², el acero trabajado en frío alcanza límites de 4,000 Kg/cm² a 6,000 Kg/cm². (Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, 2008)

Tabla 2.4 Fluencia de la varilla

Grado	Límite de fluencia máxima Kg/cm²
30	3000
42	4200
52	5200

(NMX-C-407-ONNCCE 2001)

2.3. Corrosión



Figura 2.6. Efecto de corrosión en varilla de acero

La corrosión es el ataque destructivo de un metal por reacción química o electroquímica con su medio ambiente. (Uhlig & Revie, 2008), a diferencia de los metales nobles, los demás se encuentran en la naturaleza como compuestos (óxidos, hidróxidos, sulfatos, etc.), por ello, su extracción a partir de estos compuestos requiere suministro de energía a través de un proceso de reducción; esto significa que los metales en su vida de servicio siempre tenderán a regresar a estados de inferior nivel energético. (Rodríguez, 2010)

En términos de metalurgia extractiva inversa, la corrosión es la tendencia que tienen los metales a volver al estado combinado, es decir, al mismo estado en que se encontraban en la naturaleza, denominado en términos termodinámicos, el estado más estable.

El origen del fenómeno es la presencia de heterogeneidades en la superficie de los metales, que producen zonas de diferentes niveles de energía y propician la formación de la celda electroquímica. (SCT, 2001), en el proceso de corrosión el material metálico se deteriora a consecuencia de un ataque electroquímico por su entorno; siempre que la corrosión esté originada por una reacción química (oxidación), la velocidad a la que tiene lugar dependerá en alguna medida de la temperatura, la salinidad del fluido en contacto con el metal y las propiedades de los metales en cuestión. Sin embargo, la corrosión es un fenómeno mucho más amplio que afecta a todos los materiales (metales, cerámicas, polímeros, etcétera) y todos los ambientes (medios acuosos, atmósfera, alta temperatura, concreto, etcétera).

El fenómeno electroquímico es la forma más común de ataque a los metales; se verifica cuando el metal entra en contacto con un medio líquido que contiene agentes oxidantes; el proceso involucra el movimiento de cargas eléctricas, reacciones de oxidación y reducción que suceden cuando una corriente de electrones se establece al existir una diferencia de potenciales entre un punto y otro. Cuando una especie química cede y migran electrones hacia otra especie, se dice que la especie que los emite se comporta como un ánodo y se presenta la oxidación, y la que los recibe se comporta como un cátodo y en ella se presenta la reducción. Para que esto ocurra entre las especies debe existir un diferencial electroquímico, si separamos una especie y su semi-reacción se le denominará semi-par electroquímico, si juntamos ambos semi-pares se formará un par electroquímico. Cada semipar está asociado a un potencial de reducción (antiguamente se manejaba el concepto de potencial de oxidación). Aquel metal o especie química que exhiba un

potencial de reducción más positivo procederá como una reducción y viceversa, aquel que exhiba un potencial de reducción más negativo procederá como una oxidación (López, 2013).

2.3.1. Corrosión en concreto

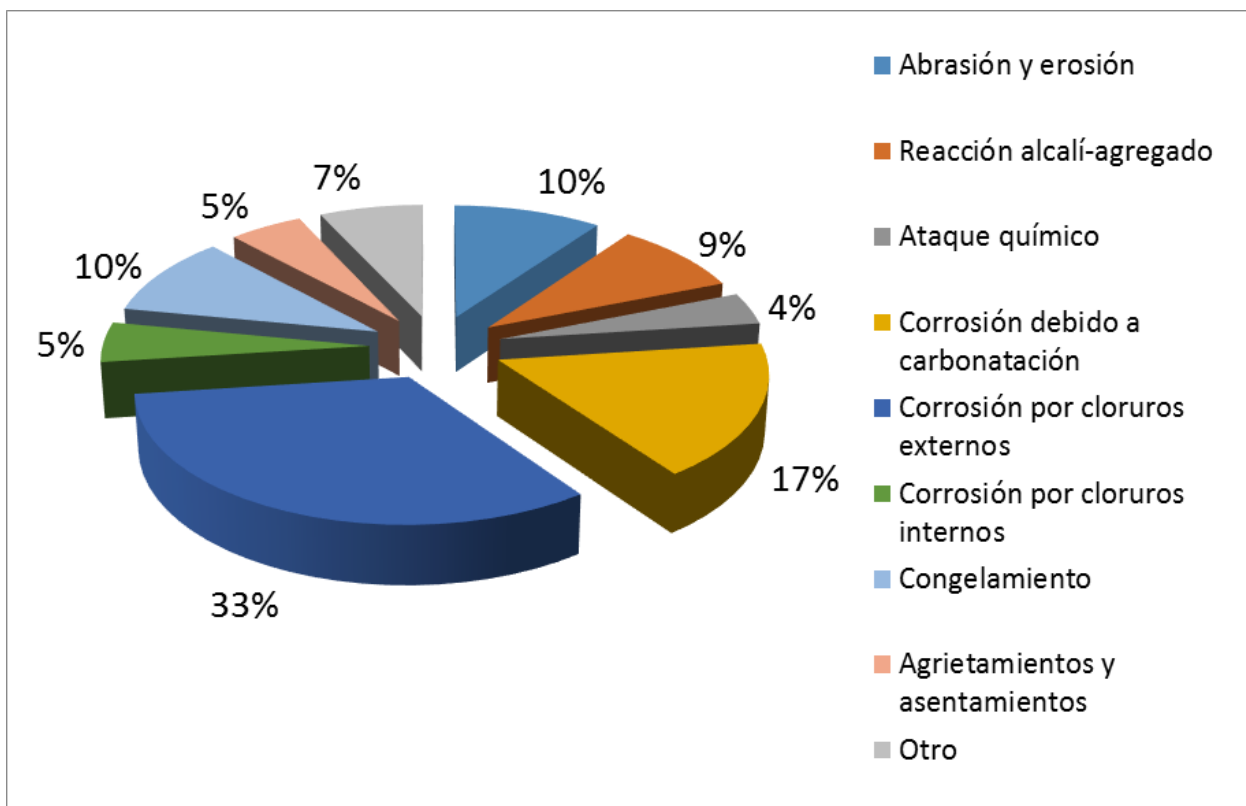
La vida útil de una estructura de concreto armado depende de la calidad de los materiales utilizados, su dosificación y el proceso constructivo; la barrera de protección que le proporciona el concreto a la varilla de acero es reforzada por el valor de pH alcalino que se alcanza después de las reacciones de hidratación del cemento, que pasivan al elemento metálico y lo protegen químicamente; no obstante, la interacción con el medio ambiente provoca que la protección se vea disminuida. Los principales agentes agresivos son los cloruros en regiones marinas y la carbonatación en zonas rurales e industriales; la combinación de los agentes agresivos tiene un efecto sinérgico, acelerando el proceso de degradación de las estructuras de concreto armado.

Cuando los agentes agresivos no están presentes desde la elaboración del concreto, éstos penetran a través de él cuando la estructura es puesta en servicio; al llegar a la superficie del metal, provocan que la corrosión se desencadene, una vez que la corrosión se ha desencadenado, ésta se manifestará bajo tres vertientes (Cyted, 1997):

- 1) Sobre el acero: con una disminución de su diámetro inicial y, por lo tanto, de su capacidad mecánica.
- 2) Sobre el concreto: debido a que al generarse acumulación de óxidos expansivos, en la interfase acero-concreto, provoca fisuras y desprendimientos.
- 3) Sobre la adherencia acero/concreto: desde el punto de vista de la corrosión del acero en el concreto (Tutti, 1982),

Tutti definió un modelo muy sencillo que representa el tiempo que tarda una estructura de concreto proporcionando servicios para los cuales ha sido diseñada; este modelo se divide en dos periodos. Periodo de iniciación: Tiempo en que tarda el agente agresivo en atravesar el recubrimiento, alcanzar el acero y provocar el rompimiento de la capa de óxido protector. Periodo de propagación: Comprende la acumulación progresiva del deterioro, hasta que alcanza un nivel inaceptable. La corrosión da como resultado la formación de óxido de 2 a 4 veces más volumen que el acero original, con la correspondiente pérdida de sus óptimas propiedades mecánicas, produciendo una reducción en la capacidad resistente del acero y consecuentemente del elemento de concreto armado. (SCT, 2001)

En la actualidad, los factores que afectan en mayor medida al acero en los sistemas de concreto reforzado, son la corrosión por contacto con cloruros en el ambiente y corrosión por carbonatación; este fenómeno es de gran importancia ya que el desconocimiento de las causas que lo generan, como la falta de mantenimiento en las construcciones, ha generado grandes pérdidas económicas a nivel mundial (Mena, 2005).



Gráfica 2.3. Agentes externos que afectan el sistema acero-concreto (Jones, y otros)

2.4. Corrosión acelerada

El proceso de corrosión puede acelerarse al exponer un sistema de concreto armado a un medio corrosivo con parámetros de temperatura, humedad y concentración, en un periodo de tiempo establecidos mediante normatividad; existen diversos métodos para inducir la corrosión, pero todos ellos tienen el propósito de proyectar las condiciones de deterioro que presentará el sistema de concreto, a lo largo de su vida útil, bajo condiciones climáticas y químicas desfavorables para valorar la efectividad de los procesos de producción.

2.4.1. Cámara de penetración de cloruros

También conocida como cámara para ensayos de niebla salina y corrosión cíclica, es un dispositivo electrónico que induce la corrosión acelerada de

sistemas de concreto armado mediante su inmersión en un ambiente corrosivo controlado; a partir de la (ASTM B117-16) se establecen las especificaciones técnicas del dispositivo y su mantenimiento, el procedimiento de prueba y las condiciones requeridas. Los volúmenes de las cámaras van desde 120 hasta 2,000 litros; se elabora una solución salina en agua (5% NaCl) que es impregnada sobre los especímenes de manera homogénea mediante aspersores, la temperatura ambiente se regula a $36 \pm 1^\circ \text{C}$, y la temperatura de la solución a 49°C ; después del periodo de tiempo que se ha determinado, los especímenes se monitorean para obtener la afectación por corrosión.



Figura 2.7. Cámara para ensayos de niebla salina y corrosión cíclica.

2.5. Técnicas de evaluación de la corrosión

Las características del concreto reflejan a simple vista que se trata de elementos homogéneos, compactos e impermeables al paso de cualquier líquido o gas; sin embargo, los daños observados en múltiples obras civiles, a lo largo del tiempo, demuestran lo contrario.

Existen métodos y procedimientos para identificar los daños por corrosión en estructuras de concreto de manera visual y mediante el estado superficial de las varillas, no obstante, estos ensayos requieren de periodos prolongados de tiempo y la destrucción del elemento a analizar (SCT, 2001).

A través de los años, han sido desarrolladas diversas técnicas electroquímicas que han mejorado los procesos disminuyendo el tiempo de experimentación, arrojando resultados eficientes para condiciones diferentes de temperatura y humedad, y evitando la destrucción de los sistemas analizados. Las técnicas más utilizadas son: medición de potenciales (E_{corr}), resistencia de polarización (R_p), voltimetría cíclica y espectroscopía de impedancia electroquímica (EIS); además, métodos de extrapolación como: curvas de Tafel, método cíclico potenciodinámico, potencioestático, galvanostático y galvánicos actuales. Los métodos electroquímicos de polarización se utilizan para contralar la corrosión general y cuantitativamente la corrosión galvánica, también se utilizan para monitorear cualitativamente la corrosión localizada (picaduras y grietas) (Raichev, 2009).

2.5.1. Técnica de potenciales de media celda

Este método de ensayo tiene el propósito de determinar la actividad de corrosión del acero de refuerzo mediante la estimación del potencial eléctrico de media celda; está limitado por circuitos eléctricos, puede usarse durante cualquier periodo de la vida útil del concreto (Norma ASTM G-85).

La superficie de concreto, que se ha secado en la medida en que es un dieléctrico, y las superficies que están recubiertas con un material dieléctrico, lo hará proporcionar un circuito eléctrico aceptable; la configuración básica del circuito eléctrico se muestra en la Figura 2.8

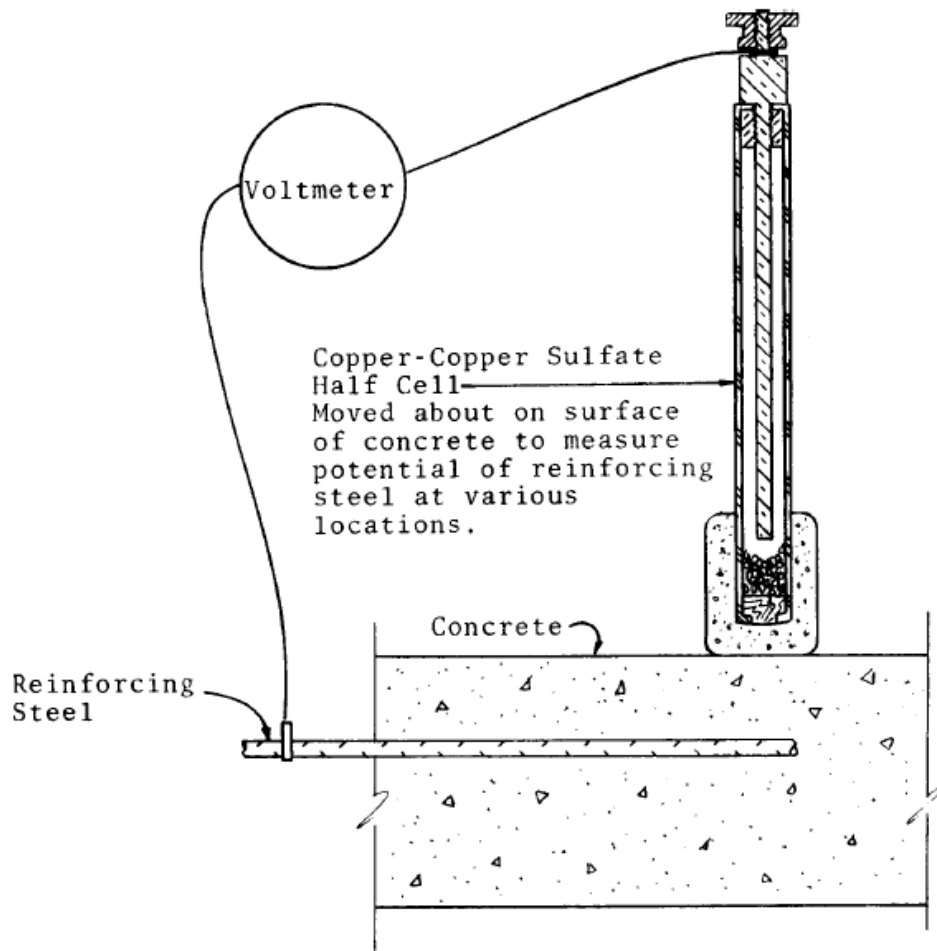


Figura 2.8. Circuito de media celda de cobre - sulfato de cobre.

Este método de ensayo tiene el propósito de determinar la actividad de la corrosión del acero de refuerzo mediante la estimación del potencial eléctrico de media celda; el método puede usarse durante cualquier periodo de la vida útil del concreto, está limitado por los circuitos eléctricos. Aunque la medida de un potencial electroquímico no aporta información cuantitativa sobre la velocidad de corrosión, en la norma ASTM C876-91 se establecen criterios que relacionan el potencial de corrosión y su condición de corrosión (Tabla 2.5).

Tabla 2.5 Norma ASTM-C-876-91. Criterio de probabilidad de corrosión.

Ecor vs ECS (mV)	Probabilidad de Corrosión
>-120	10% que se presente
-120 a 270 mV	Zona incierta
<-270 mV	90% que se presente

Para la realización del ensayo se utiliza un electrodo de referencia, en la práctica, los potenciales de un metal no se miden con respecto al de hidrógeno por la dificultad operatoria de su manejo; debido a ello, se recurre a una serie de electrodos cuyo potencial permanece fijo al estar basados en reacciones reversibles. Son numerosos los electrodos de referencia utilizados en la práctica, pero los más comunes son los de calomelanos (basado en la reacción $\text{Hg}/\text{Hg}_2\text{Cl}_2/\text{KCl}$), con respecto a los utilizados en el concreto, el más común es el de cobre/sulfato de cobre (Cu/CuSO_4) y el de plata/cloruro de plata (Ag/AgCl).



Figura 2.9. Electrodo de referencia cobre-sulfato de cobre (Cu/CuSO_4)

Este electrodo es un tubo rígido, o un recipiente, compuesto de un material dieléctrico que no es reactivo con el cobre o con el sulfato de cobre, un tapón de madera o plástico poroso, que permanece húmedo por acción capilar, y una varilla de cobre que se sumerge dentro del tubo en una solución saturada de sulfato de cobre. La solución debe estar preparada con cristales de sulfato de cobre de grado reactivo disuelto en agua destilada o des ionizada; la solución es considerada saturada cuando un exceso de cristales (no disuelto) se encuentra en la parte inferior de la solución (Figura 2.10).

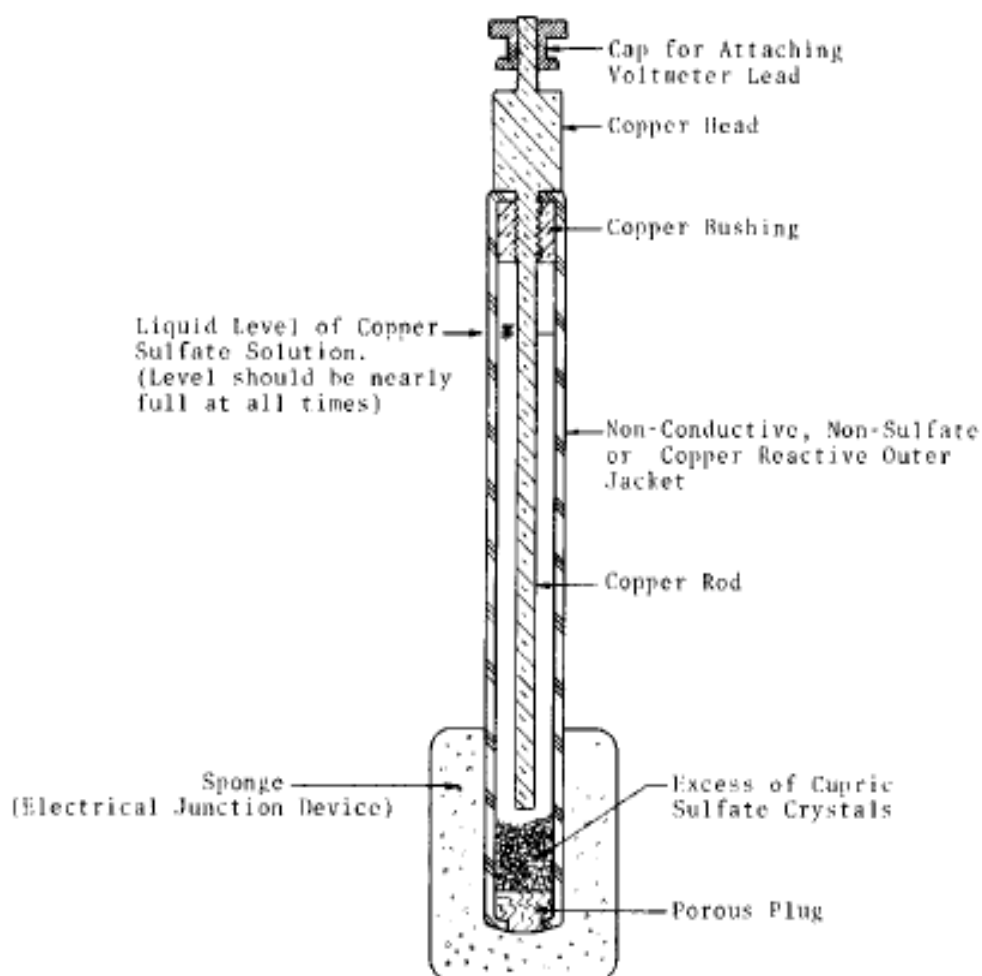


Figura 2.10. Vista seccional de celda de electrodo de cobre-sulfato de cobre

La medición de los potenciales de corrosión se realiza utilizando un multímetro de alta impedancia y el electrodo de Cu/CuSO_4 como electrodo de referencia; las varillas de acero actúan como electrodo de trabajo. (Figura 2.11)

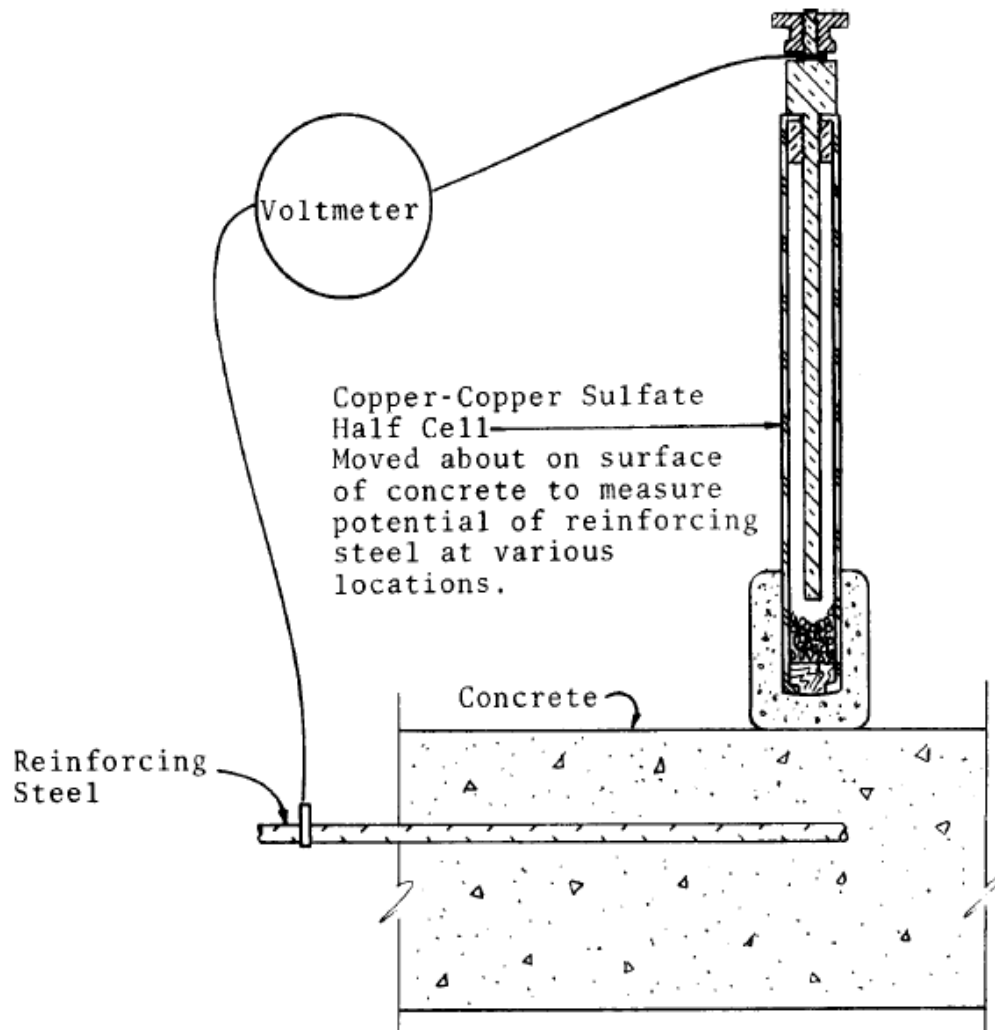


Figura 2.11. Circuito de media celda de cobre-sulfato de cobre



Figura 2.12 Instrumentos y accesorios empleados para el monitoreo de potenciales de corrosión.

Para el monitoreo de potencial de corrosión se humedecen las vigas con una esponja, posteriormente se coloca el electrodo sobre el espécimen ubicándolo en el área donde se encuentra inmersa la varilla y se conecta a la línea positiva del multímetro, la línea negativa del multímetro se prende del cable soldado a la varilla de la viga.

Las lecturas se registran diariamente en bitácora, de tal manera que al concluir el tiempo de experimentación se obtiene una relación del efecto de la corrosión en los sistemas en relación al tiempo de exposición en el medio corrosivo (Figura 2.13).

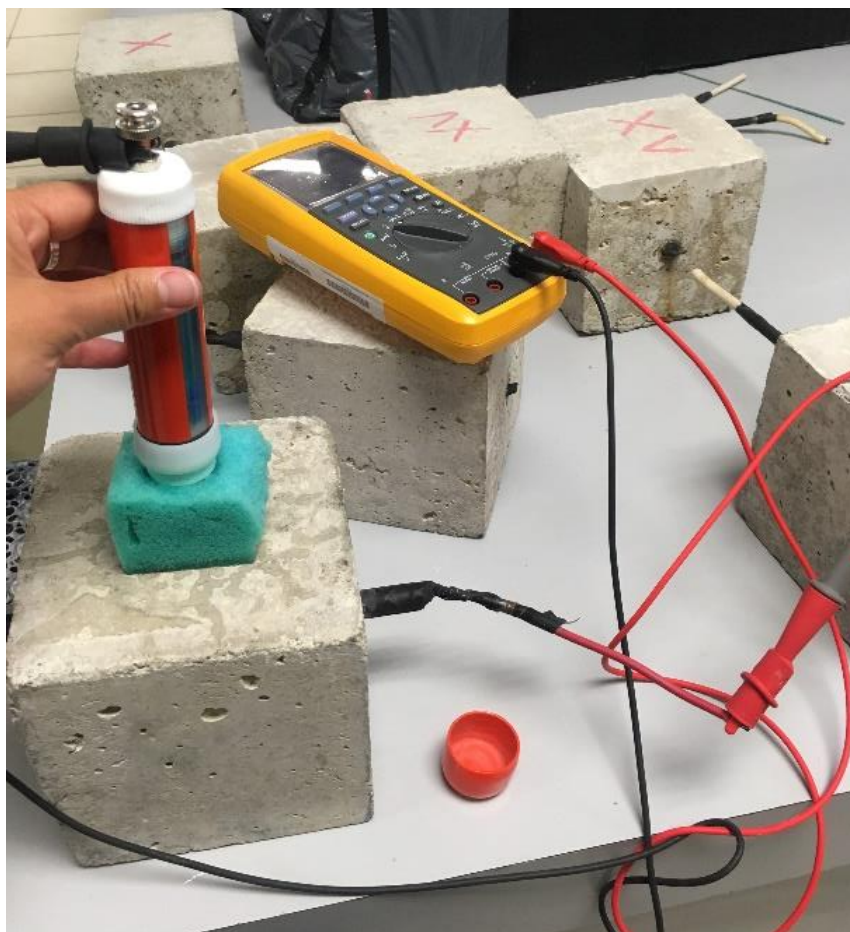


Figura 2.13. Monitoreo de potenciales de corrosión con electrodo de Cu/CuSO₄.

2.5.2. Técnicas electroquímicas

El fenómeno de corrosión que se presenta en un ambiente húmedo o en una fase acuosa se define como electroquímico y se caracteriza por la formación de una celda electroquímica. A través de los años se han desarrollado diversas técnicas electroquímicas, las cuales tienen como ventajas cortos periodos de duración experimental y sensibilidad a bajas velocidades de corrosión.

Las técnicas electroquímicas consisten en la aplicación de señales de potencial y el registro de su respuesta en corriente, o bien la aplicación de señales de corriente y el registro de la respuesta en

potencial; de las dos maneras, se polariza la interfase, y su respuesta es característica de cada sistema bajo estudio. (SCT, 2001)

En el proceso de experimentación se polarizan los especímenes para acelerar a horas, incluso minutos la medición de la corrosión. Las mediciones de las técnicas electroquímicas se utilizan tanto en el laboratorio como en el campo.

La mayoría de los métodos electroquímicos para el estudio de la corrosión se basan en la perturbación controlada de una de las dos variable eléctricas fundamentales, voltaje o corriente, y la medición de la otra variable como consecuencia de la alteración introducida al sistema, el comportamiento de la respuesta en el tiempo depende de las características de la señal de perturbación y de las características eléctricas del sistema. (Vázquez & Damborenea, 2000).

Las técnicas más utilizadas son polarización electroquímica y resistencia a la polarización, además de métodos de extrapolación como curvas de Tafel, método cíclico potencio dinámico, método potencioestático, método galvanostático, y métodos galvánicos actuales. Los métodos electroquímicos de polarización se utilizan para controlar la corrosión general y cuantitativamente la corrosión galvánica; también se utiliza para monitorear cualitativamente la corrosión localizada (picaduras y grieta).

2.5.3. Celda electroquímica

Una celda electroquímica se compone de un ánodo, un cátodo, y un separador formando una parte anódica y una parte catódica; la función del separador es aislar las dos partes al mismo tiempo que le permite a los iones migrar de la parte anódica a la parte catódica. Una salmuera de cloruro de sodio y agua sirve como separador, en donde se introduce la parte anódica y catódica, en este medio salino se lleva a cabo la oxidación del ión cloruro. Los iones de sodio son atraídos hacia el cátodo

cargado negativamente y son transportados a través del separador. Si el separador está haciendo un trabajo, todo el cloruro estará contenido en el lado del ánodo de la celda (Figura 2.14).

El agua se reduce en el cátodo y se desprende hidrógeno, el restante ion hidróxido se combina con el ion de sodio para formar una solución de hidróxido de sodio, la cual sale en la parte catódica. El separador ideal mantiene todos los iones de hidróxido en el lado del cátodo de la celda.

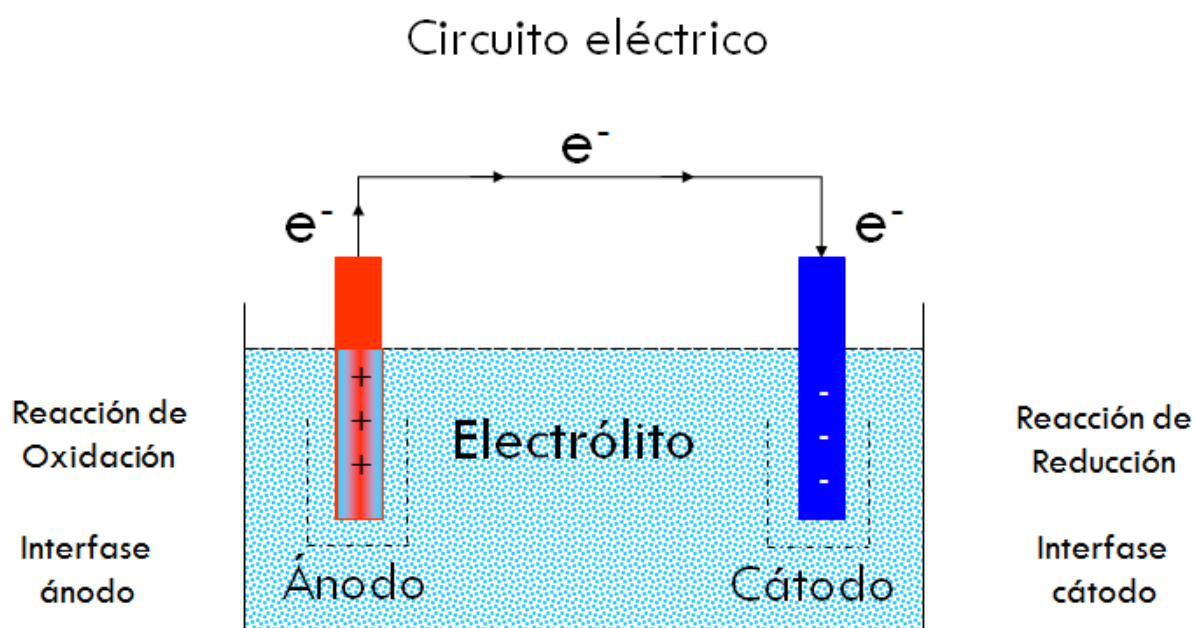


Figura 2.14. Representación gráfica de una celda electroquímica,

2.5.4. Potencial electroquímico

Se refiere a la diferencia de potencial entre dos electrodos de una celda voltaica como la fuerza motriz que impulsa los electrones a través de un circuito externo; por tanto, se suele denominar a la diferencia de potencial entre los electrodos de una celda como la fuerza electromotriz o potencial electroquímico de equilibrio.

El potencial electroquímico de un metal guarda relación con la carga eléctrica que este alcanza como resultado del equilibrio entre la tendencia de sus átomos a ionizarse, pasando a la disolución, y la de los iones metálicos formados en reducirse, pasando nuevamente a la forma metálica. Este potencial se mide en unidades de volts, y se considera negativo cuando la tendencia a oxidarse es mayor y positiva al contrario.

No todos los metales tienen la misma tendencia a oxidarse, ya que unos son más estables que otros, inclusive, algunos metales que permanecen indefinidamente en su forma elemental. Ahora bien, resulta imposible medir el potencial electroquímico de un metal en valor absoluto; por lo que se ha tomado un cero arbitrario, el cual corresponde al potencial de Hidrogeno ($2H^+/H_2$) y todos los restantes se miden con respecto a esta referencia.

CAPÍTULO 3. DESARROLLO EXPERIMENTAL

Una vez que se ha analizado la situación actual de nuestra ciudad, se propone el aprovechamiento de los jales mineros como material de reciclaje mediante su implementación en la mezcla de concreto. Debido a sus características físico-químicas, el jal actuará como sustituto del cemento en una proporción de: 5 %, 10% y 15%.

Para la realización de los ensayos se construyeron probetas de sección cuadrada de 15*15*15 cm, en las que se colocaron previamente al vaciado del concreto, dos varillas de acero tipo AISI 1018 de 1/2" de diámetro, así como una varilla de grafito de dimensiones similares; se utilizaron cilindros de 15 cm de diámetro por 30 cm de ancho.

Los especímenes se elaboraron en base a la normativa ASTM C31: "Práctica Normalizada para Preparación y Curado de Especímenes de Ensayo de Concreto en la Obra", siguiendo los procedimientos establecidos. Para la determinación de la resistencia del concreto in situ, la norma ASTM C31 formula procedimientos para las pruebas de curado en campo; las probetas se sometieron a ensayos de acuerdo a la normativa ASTM C39M-16b, "Método Normalizado para Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto"

Para la determinación de las características físicas y químicas de las zonas de acumulación de jales, fue necesario realizar un muestreo sobre los diferentes bancos, incluyendo la periferia de la presa, para cubrir las tres dimensiones (x, y, z) del jal; la toma de muestras fue de tipo canal con 30 cms de profundidad, con un peso por muestra de 5.00 kg, tomando un total de 36 muestras representativas. Aunado a ello, se realizó un barrido de 5.30 m de profundidad en una veta, tomando pruebas de cada uno de los estratos visibles.

3.1 Caracterización química de los jales Dos Carlos y Presa Sur

Para la caracterización química de los bancos, se realizó un estudio con dos métodos; el método de Difracción de Rayos X, mediante un Difractómetro PHILIPS, modelo X'PERT, para este análisis fue necesario preparar la muestra a – 200 + 270 mallas (74-53 μm); la cuantificación de los elementos contenidos en el material de estudio de cada una de las escombreras se realizó mediante Espectrofotometría de Absorción Atómica, con un equipo marca Perkin Elmer modelo 2100. La Microscopía Electrónica de barrido con microanálisis por dispersión de energía de Rayos X (SEM-EDS) se utilizó para realizar el estudio de morfología y compacidad de las partículas de las escombreras, así como el estudio del microanálisis con el objeto de determinar la naturaleza del material estudiado. Se utilizó SEM, marca Jeol, modelo JSM 6300, equipado con EDS; el análisis granulométrico se realizó por vía húmeda, este análisis se llevó a cabo con tamices estándar (serie Tyler MR) N° 80, 100, 140, 200, 270, 400; se tamizó una muestra de 100 gramos, las fracciones obtenidas se secaron al medio ambiente y posteriormente se pesaron.

Escombrera Presa Sur: Esta acumulación de jal se ubica en el Distrito Pachuca - Real del Monte, a un costado de vialidades: Antigua carretera La Paz y Blvr. Nvo Hidalgo; el estudio de caracterización química muestra como compuestos mayoritarios: sílice, alúmina y el óxido de hierro

Tabla 3.1. Composición química, Escombreras Presa Sur

Elemento	%	Elemento	%
SiO^2	70.01	P_2O_5	0.08
TiO^2	0.30	K_2O	3.98
Al^2O^3	12.82	CaO	3.34
Fe^2O^3	3.80	Na_2O	2.50
MnO	0.70	Ag	38 g Ag /Ton
MgO	1.01	Au	0.25 g Au / Ton



Figura 3.1. Extracción de jal escombrera presa sur

Escombreras Dos Carlos: Esta zona también se localiza en el Distrito minero de Pachuca; en la composición del jal se puede observar, al igual que las escombras de la presa sur, que su contenido de sílice es superior al 70 %, el contenido de aluminio disminuye casi en un 40 %

Tabla 3.2. Composición química promedio, Escombreras Dos Carlos

Elemento	%	Elemento	%
SiO ₂	70.43	P ₂ O ₅	0.12
TiO ₂	0.53	K ₂ O	0.08
Al ₂ O ₃	7.32	CaO	0.69
Fe ₂ O ₃	2.80	Na ₂ O	2.32
MnO	0.73	Ag	55 g Ag /Ton
MgO	0.54	Au	0.58 g Au / Ton

En la imagen por SEM - EDS, se observa la presencia de elementos mayoritarios de silicio, azufre, aluminio, potasio, hierro; como elementos minoritarios: plata, magnesio, manganeso; y como elementos traza: cobre, zinc y plomo.

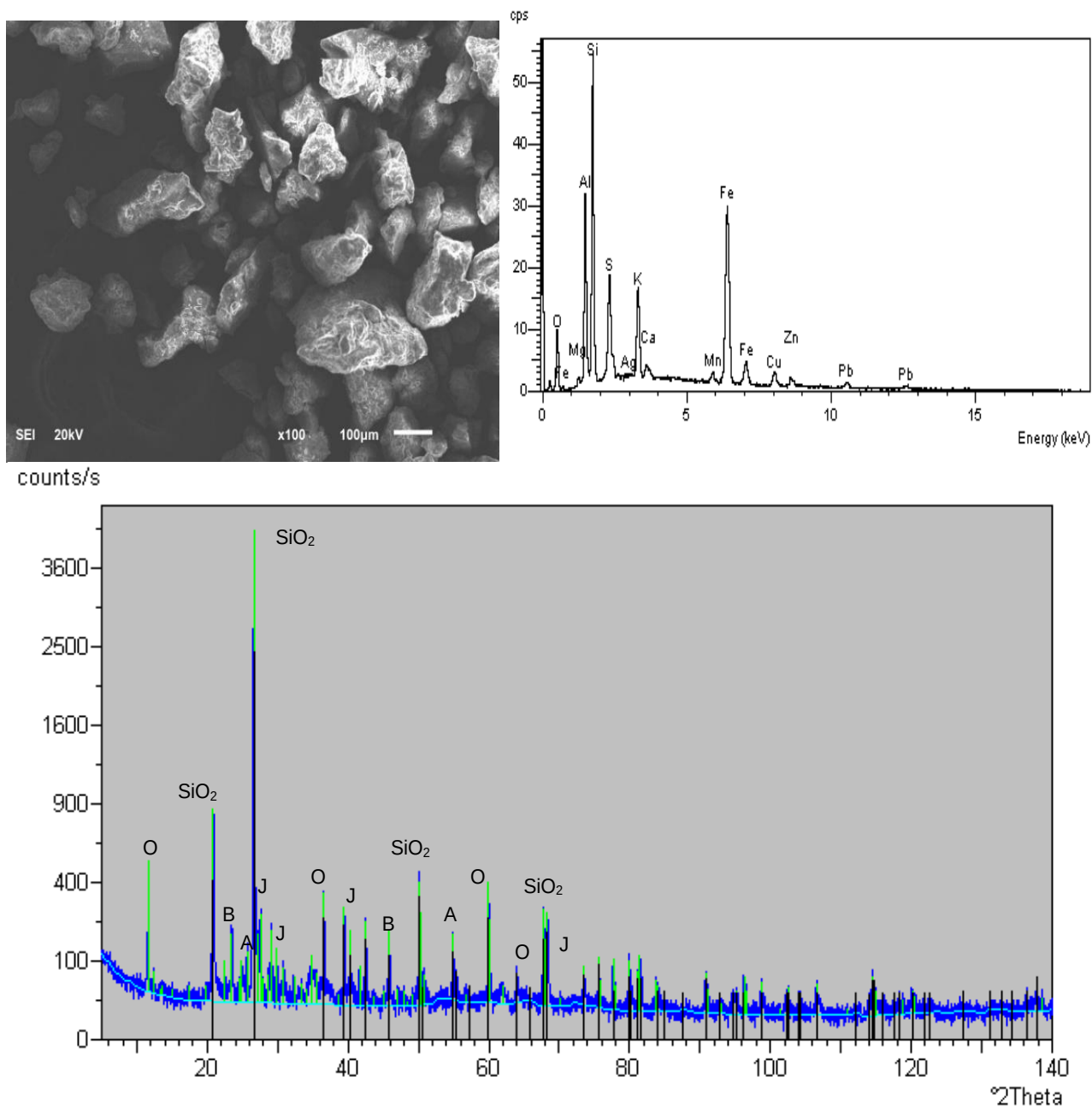


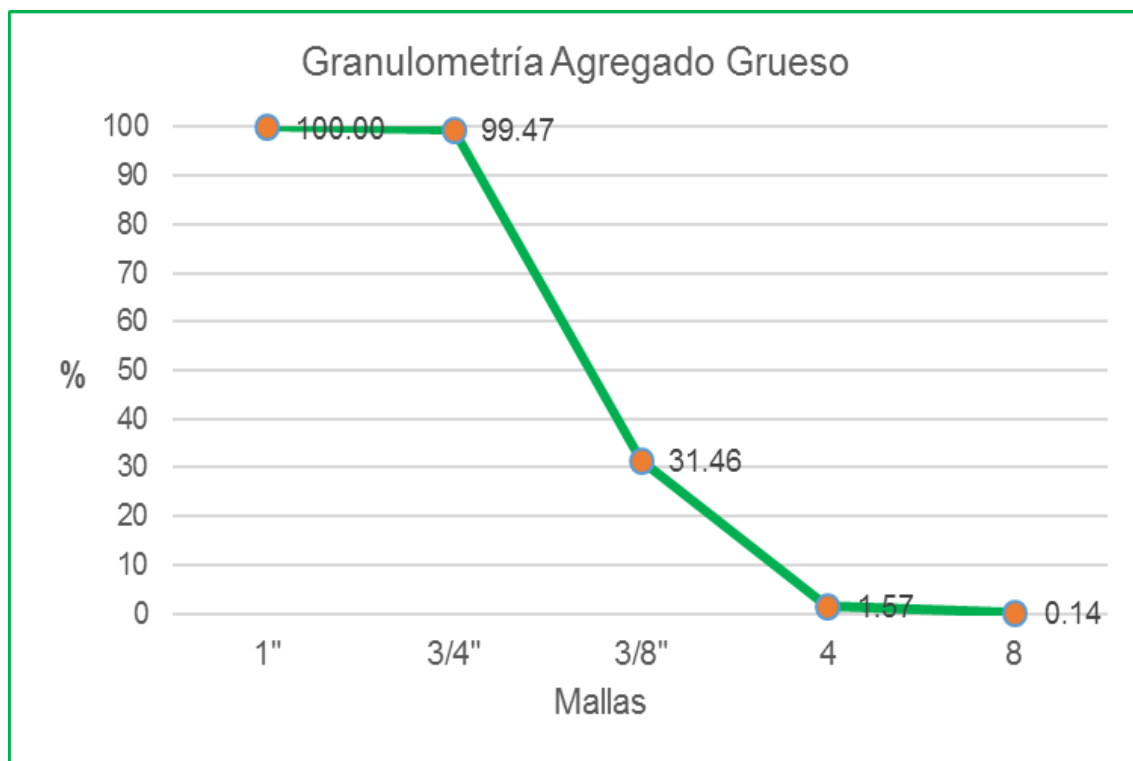
Figura 3.2. Microfotografías de las escombreras: a) Imagen general, malla 100, 50X, SEM, b) resultado del microanálisis general SEM-EDS.

3.2. Caracterización de agregados pétreos

Para su caracterización se llevaron a cabo diversas pruebas de laboratorio, en las que se determinaron los parámetros a considerar para el diseño de la mezcla.

3.2.1. Curva granulométrica

El desarrollo de esta prueba se realizó bajo la normativa de ASTM C33-07, para obtener la curva granulométrica fue necesario realizar un cuarteo del agregado grueso a utilizar en condiciones de humedad natural, posteriormente se cribó con las mallas 1", $\frac{3}{4}$ ", $\frac{3}{8}$ ", N° 4 y N° 8; una vez realizado el proceso se pesó el contenido que quedó en cada malla y se obtuvieron los porcentajes; la curva granulométrica resultó como se muestra en la gráfica 3.1



Gráfica 3.1. Granulometría de agregado grueso

La curva obtenida nos muestra que la distribución por tamaño del agregado grueso es adecuada, según la normativa, para ser utilizada en la mezcla de concreto.

3.2.2. Peso unitario (peso volumétrico)

Para la obtención del peso unitario de los agregados y del jal, se utilizó para la medición un recipiente de dimensiones conocidas, una varilla punta de bala para vibrar 25 veces por cada una de las tres capas y una balanza para obtener los pesos; se vertió el material en el recipiente, en tres capas y se enrasó, posterior a ello, se obtuvieron los siguientes valores: (NMX-C-162-ONNCCE-2010) (ASTM C29-07)

Tabla 3.3. Peso unitario

Peso volumétrico seco suelto W_m = peso del material V_r = volumen del recipiente $P.V.S.S. = \frac{W_m(S.S.S.)}{V_r}$						
Material	Peso rpte. gr	Diámetro cm	Altura cm	capacidad cm ³	Peso del material gr	P.V.S.S. gr/cm ³
arena	2637.7	16	14	2814.87	3868.6	1.37
grava	2637.7	16	14	2814.87	3751.7	1.33
jal	2637.6	16	14	2814.87	3528.7	1.25



Figura 3.3. Pesos unitarios

3.2.3. Peso específico

3.2.3.1 Peso específico del agregado grueso

Para la realización de esta prueba se utilizaron dos métodos, siguiendo la normatividad marcada por la ASTM C127-04; en el primero se cuarteó una muestra de agregado grueso, se tamizó con las mallas N° 4 y de $\frac{3}{4}$ ", el material que no rebasó los límites se saturó 24 horas, posterior a ello se

retiró el agua y se secó superficialmente, se obtuvo su peso. A continuación se sumergió el contenido en una canastilla de peso conocido en agua a 23 +/- 2° C, se registró el peso de la grava sumergida en agua y se introdujo en el horno a una temperatura de 110 +/- 5° C por 5 horas; se obtuvieron los siguientes valores:

Tabla 3.4. Peso específico de la grava muestra 1

Peso específico Grava		
masa seca gr	masa sss gr	masa aparente sum en agua gr
484.1	498.5	269.2
577.3	600	245.3

Tabla 3.5. Densidades

	Fórmulas	Muestra 1 gr	Muestra 2 gr
Densidad relativa (seca al horno)	$= \frac{W_{ms}}{W_{mm} + W_s - W_{mma}}$	2.11	1.63
Densidad relativa (SSD)	$= \frac{W_s}{W_{mm} + W_s - W_{mma}}$	2.17	1.69
Densidad relativa aparente	$= \frac{W_{ms}}{W_{mm} + W_{ms} - W_{mma}}$	2.25	1.74
Absorción (%)	$= \frac{W_s - W_{ms}}{W_{ms}} * 100$	2.97	3.93

En el segundo procedimiento se utilizó una probeta de vidrio con 500 ml de agua y 200 gramos de grava saturada superficialmente seca. Se depositó la grava en la probeta con agua y se anotó la diferencia de mililitros desalojados; se obtuvo:

Tabla 3.6. Peso específico de la grava, muestra 2

Peso específico Grava				
$= \frac{W_m(S.S.S.)}{Vol. desalojado}$	probeta ml	Peso muestra (S.S.S.) gr	Volumen desalojado ml	Peso específico
	500	200	83	2.4



Figura 3.4. Peso específico de grava

3.2.3.1 Peso específico del agregado fino

Para la obtención del peso específico de la arena se utilizó la normativa (ASTM C128-04a). El procedimiento se inició con la introducción de la muestra en el horno por 24+/- 1hr, posteriormente se sumergió por un periodo de 24+/- 4 horas y se decantó para eliminar la tierra. Se secó la muestra superficialmente mediante aire caliente y se verificó su estado de superficialmente seco mediante el método del cono y pisón.

A continuación se introdujo el material en el matraz y se llenó con agua hasta el aforo, posterior a ello, se puso a baño maría a 23 +/- 3° C por 10 minutos, para eliminar las burbujas de aire. Nuevamente se llenó hasta el aforo y se obtuvo el peso; para finalizar la prueba, se colocó el material en el horno a 110 +/- 5° C por 24 horas y se obtuvo su peso seco; los valores obtenidos fueron los siguientes:

Tabla 3.7. Peso específico de la arena (densidad)

Peso específico relativo (Densidad) Arena				
Peso seco muestra gr	Peso matraz muestra agua gr	Peso matraz agua gr	Peso matraz gr	Peso muestra secada en horno gr
Ws	Wmma	Wmm	Wmatraz	Wms
459	925.4	665.9	167.6	457.8

Tabla 3.8. Peso específico de la arena

Peso específico ARENA		muestra	
Peso específico aparente	$= \frac{Wms}{Wmm + Ws - Wmma}$	2.29	gr/cm ³
Peso específico aparente (S.S.S.)	$= \frac{Ws}{Wmm + Ws - Wmma}$	2.30	gr/cm ³
Peso específico nominal	$= \frac{Wms}{Wmm + Wms - Wmma}$	2.31	gr/cm ³
Absorción (%)	$= \frac{Ws - Wms}{Wms} * 100$	0.26	%



Figura 3.5. Peso específico de arena

3.2.3.1 Peso específico del jal

Respecto al peso específico del jal se realizó el mismo procedimiento que marca la norma ASTM C128-04a para densidad de agregados finos, los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 3.9:

Tabla 3.9. Peso específico del Jal (Densidad)

Peso específico relativo (Densidad) Jal				
Peso seco muestra gr	Peso matraz muestra agua gr	Peso matraz agua gr	Peso matraz gr	Peso muestra secada en horno gr
Ws	Wmma	Wmm	Wmatraz	Wms
486.6	945.8	661.7	163.5	481.1

Tabla 3.10. Peso específico del Jal

Peso específico JAL			muestra 2	
peso específico aparente	$= \frac{W_{ms}}{W_{mm} + W_s - W_{mma}}$	2.38	g/cm ³	
peso específico aparente (S.S.S.)	$= \frac{W_s}{W_{mm} + W_s - W_{mma}}$	2.40	g/cm ³	
peso específico nominal	$= \frac{W_{ms}}{W_{mm} + W_{ms} - W_{mma}}$	2.44	g/cm ³	
Absorción (%)	$= \frac{W_s - W_{ms}}{W_{ms}} * 100$	1.14	%	

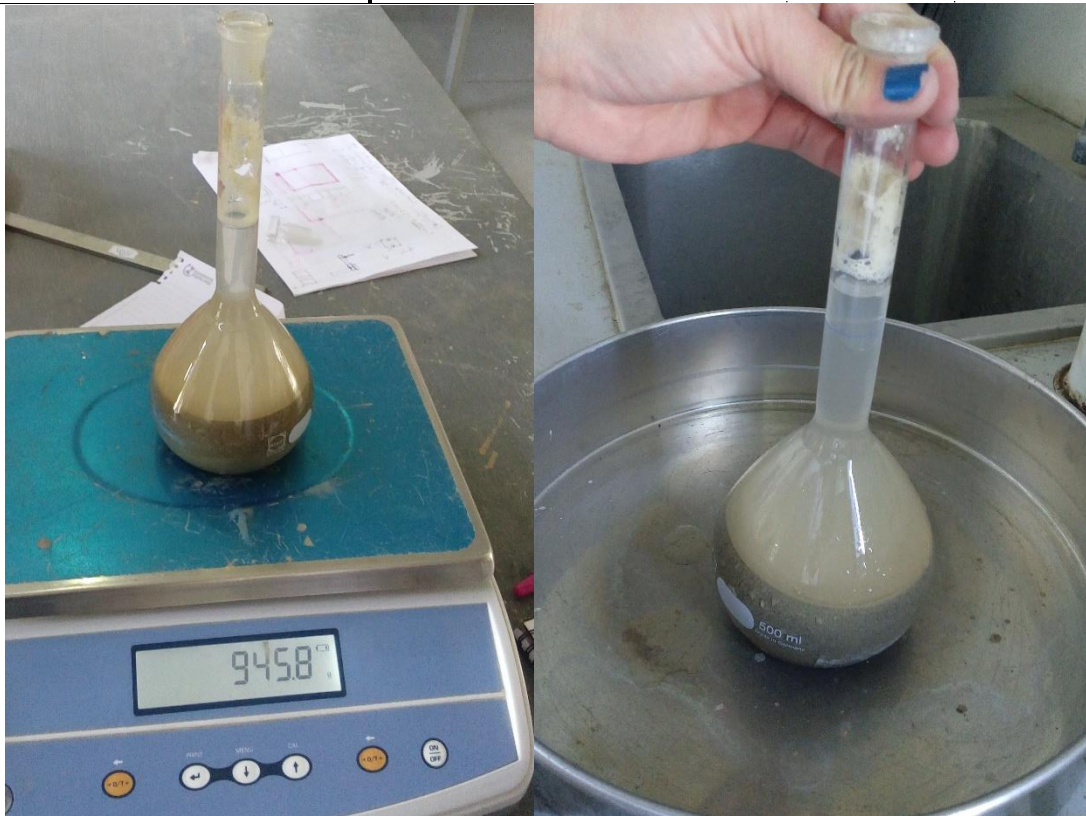


Figura 3.6. Peso específico de Jal

3.2.4. Módulo de finura

Para la prueba del módulo de finura del agregado fino se consultó la normativa ASTM C136-05, para la realización del método se tamizaron 491.30 gramos de agregado fino en condiciones de humedad natural. A

continuación se indicaron los valores de peso retenidos en cada malla como se muestra en la Tabla 3.11, el módulo de finura se obtuvo de la suma de los pesos mencionados entre 100. (Zongjin, 2011)

Tabla 3.11. Módulo de finura del agregado fino

Módulo de Finura de Arena						
Malla	Muestra=		492.1	gr	Parámetros	
	Retenido		Acumulado	Pasa		
	gramos	%	%	%		
4	14.20	2.89	2.89	97.11	95-100	acceptable
8	116.10	23.59	26.48	73.52	80-100	acceptable
16	114.10	23.19	49.66	50.34	50-85	acceptable
30	84.80	17.23	66.90	33.10	25-60	acceptable
50	71.40	14.51	81.41	18.59	10-30	acceptable
100	37.90	7.70	89.11	10.89	2-10	acceptable
Charola	52.80	10.73		0.16		
MF=			3.16			acceptable

3.2.5. Contenido de humedad y porcentaje de absorción

Para la elaboración de la prueba se consultó la normatividad ASTM C127-04, ASTM C128-04a, como 1° paso se realizó cuarteo de agregado grueso y agregado fino, se pesó una cantidad específica y se tamizó con la malla N° 4 para eliminar el material fuera del límite. Las muestras se dejaron saturadas por 24 hrs, posteriormente, se secaron superficialmente y se obtuvo su peso; se introdujo en el horno a 110 +/- 5° C por 24 horas y se obtuvo su peso seco; los resultados se muestran en la Tabla 3.12

3.3. Elaboración de especímenes de concreto

Los especímenes de concreto se elaboraron con un diseño de mezcla de media sollicitación, correspondiente a una resistencia de 150 Kg/cm²; la cual es utilizada para construir edificaciones de poca altura.

Para la obtención de la mezcla de concreto, diseñada por el método de volúmenes absolutos (ACI 211.1-91, 2002). “Práctica Estándar para Seleccionar el Proporcionamiento de Concreto de Peso Normal, Pesado y Masivo”, el diseño de mezcla de volúmenes absolutos de la ACI, se eligió para la realización de los especímenes debido a ser un método de diseño empírico – mecanicista, donde la mayoría de sus datos son parámetros conocidos, hay una mejor reproducibilidad de la mezcla.

3.3.1. Diseño de mezcla

El diseño de la mezcla se realizó bajo las siguientes consideraciones

- Cemento: Cemento Portland ordinario CPO de acuerdo con la Norma Mexicana NMX-C-414-ONNCCE-2010.
- Agregado grueso: Grava de 19 mm (3/4”) de tamaño máximo que contiene algunas partículas trituradas, con un peso específico seco en el horno de 2,410 kg/m³, con una absorción de 3.46 % y un peso volumétrico varillado y seco al horno de 1,330 kg/m³. El contenido de humedad para la muestra de laboratorio para mezclas de prueba fue de 2.23 %.
- Agregado fino: Arena con un peso específico seco en el horno de 2,300 kg/m³ con una absorción de 1.96 %, el contenido de humedad para la muestra de laboratorio para mezclas de prueba fue de 4.01 %, el módulo de finura es de 3.16. Los agregados se seleccionaron de acuerdo con la norma NMX-C-111-ONNCCE-2004 y ASTM C - 033-13.
- Revenimiento: Máximo 100 mm, mínimo 25 mm.
- Aditivo inclusor de aire: no aplica, el diseño de mezcla es sin contenido de aire.
- Volumen de aire de la mezcla: 0.02 m³.
- Gravedad específica del cemento: 3.15

Tabla 3.12. Diseño de mezcla de concreto

Datos para diseño de mezcla	
Revenimiento (mm)	100
	25
Tamaño máximo agregado (mm)	19
Cantidad de agua de mezcla (kg/m ³) de acuerdo a tamaño máximo de agregado	205
Porcentaje de aire en mezcla sin entrada de aire	2
Relación agua cemento de acuerdo a resistencia a la compresión	0.79
Peso específico del cemento (gr/cm ³)	3.15
Peso específico del material puzolánico (Jal) (gr/cm ³)	2.40
Peso unitario del agregado grueso (gr/cm ³)	1.33
Peso unitario del agregado fino (gr/cm ³)	1.37
módulo de finura arena	3.16
Volumen de agregado grueso por unidad de vol. De concreto de acuerdo a M.F. de la arena	0.58
Peso específico del agregado grueso (gr/cm ³)	2.41
Peso específico del agregado fino (gr/cm ³)	2.30
Contenido de humedad en agregado grueso %	2.23
Contenido de humedad en agregado fino %	4.01
Porcentaje de absorción de agregado grueso	3.46
Porcentaje de absorción de agregado fino	1.96

Como se mencionó anteriormente, se elaboraron especímenes rectangulares de concreto de: 15*15*15 cm y cilindros de 30*15 cm; el residuo minero se utilizó como cementante pasando por la malla N° 200 (0.074 mm) con una dosificación de: 5%, 10% y 15% (Tabla 3.13, 3.14 y 3.15), en sustitución del cemento portland ordinario.

Tabla 3.13 Dosificación de concreto con 5% de jal

Agua kg/m ³	Cemento kg/m ³	Agregado grueso kg/m ³	Agregado fino kg/m ³	Jal kg/m ³	Relación agua cemento
196.9	239.1	788.6	889.9	16.5	0.79

Tabla 3.14 Dosificación de concreto con 10% de jal

Agua kg/m ³	Cemento kg/m ³	Agregado grueso kg/m ³	Agregado fino kg/m ³	Jal kg/m ³	Relación agua cemento
196.9	219.5	788.6	889.9	32.0	0.79

Tabla 3.15 Dosificación de concreto con 15% de jal

Agua kg/m ³	Cemento kg/m ³	Agregado grueso kg/m ³	Agregado fino kg/m ³	Jal kg/m ³	Relación agua cemento
196.9	201.3	788.6	889.9	46.6	0.79

3.3.2. Diseño del espécimen

Se elaboraron especímenes de concreto reforzado como se muestra en la figura 3.7, cuyas dimensiones tienen la finalidad de garantizar el mismo espesor de recubrimiento para todo el acero de refuerzo (especímenes de 15*15 cm), y para tener facilidad de manejo al colocarlos en la cimbra, para su curado y monitoreo.

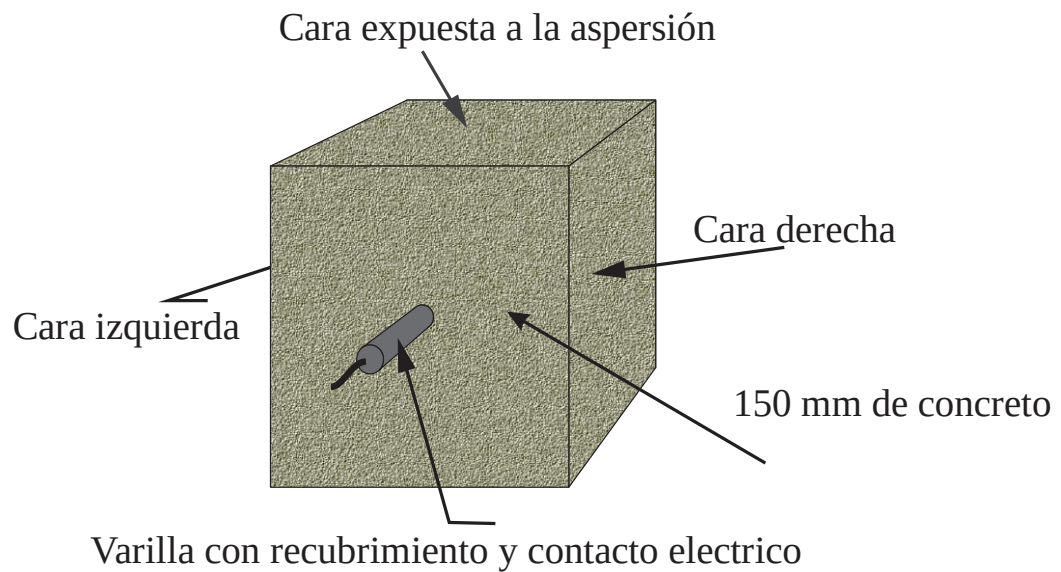


Figura 3.7. Dimensiones de los especímenes

3.3.3. Preparación del acero de refuerzo

El acero tuvo como tratamiento previo a su colocación en el concreto fresco, la limpieza de la varilla por medio de un cepillo de alambre para eliminar cualquier residuo de óxido y suciedad. Una vez limpia la varilla, se colocó tubo termo-contráctil, rellenando la interfase entre el tubo y la varilla con sellador elástico de poliuretano no corrosivo, esto con el fin de tener bien delimitada el área de exposición del acero de refuerzo embebido en las vigas de concreto como se muestra en la figura 3.8.

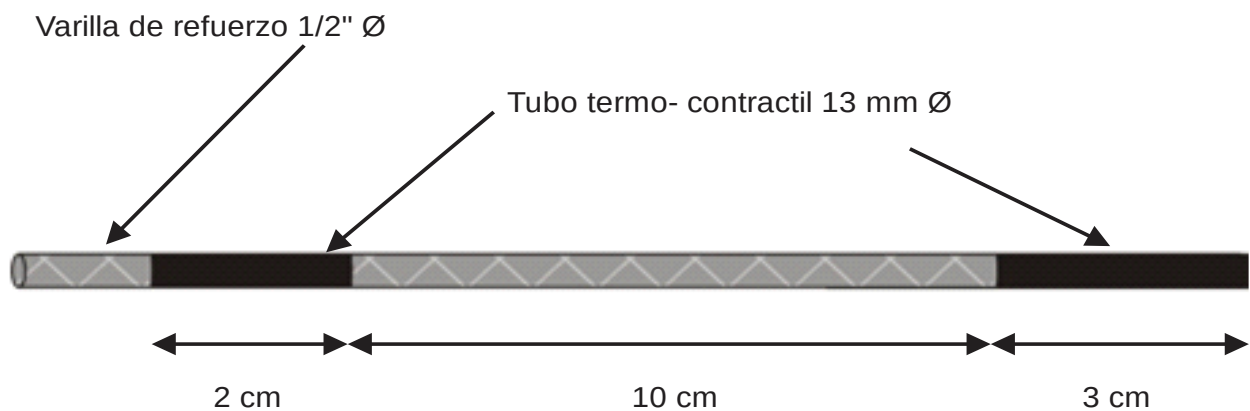


Figura 3.8. Dimensiones y delimitación de zona de exposición de varilla de refuerzo $\varnothing \frac{1}{2}$ "

3.3.4. Armado de los especímenes

Los especímenes se colaron en cimbras fabricadas de madera de 15*15 cms a manera que proporcionaran un encofrado, mismo que permitió que ninguna de las caras de los especímenes quedaran expuestas al medio ambiente, evitando alguna más débil.

3.3.5. Procedimiento para elaboración de la mezcla

1. En primer lugar se realizó la medición de los materiales, la arena y la grava por volumen, de acuerdo al diseño de mezcla.
2. Se hizo la preparación del agua indicada por el diseño de mezcla.
3. Se extendieron los agregados (la arena y la grava) sobre una plancha de piso de concreto, humedecido previamente, para que no absorbiera el contenido de agua de los agregados.
4. Se cuartearon los agregados y la pasta (cemento y jal) y se mezclaron todos de afuera hacia dentro dejándolos acomodados en forma de una pila, misma que se extendió dejando la forma de un volcán.
5. Se vació poco a poco el agua en la mezcla seca y se paleó de afuera hacia dentro, justo donde se agregó el agua, hasta lograr una mezcla homogénea.
6. Se realizó la prueba de revenimiento con una placa metálica y el cono de Abrams para asegurarse de obtener el valor de resistencia del concreto.
7. El contenido de mezcla se vació en tres capas en los moldes, a cada capa se le introdujo la varilla con punta de bala, 25 veces para evitar burbujas de aire, al finalizar se enrazó cada espécimen para darle un acabado liso.



Figura 3.9. Vista del concreto ya habilitado y sin pulido en la cara superior.

3.3.6. Curado de los especímenes

El tipo de cemento y procedimiento de curado tienen un efecto significativo en cuanto a la resistencia y durabilidad del concreto; cuando no se lleva un adecuado proceso de curado, el desempeño de la resistencia de los especímenes se ve afectado de manera importante. Es por ello que al término del proceso de vaciado del concreto en moldes, los especímenes se dejaron fraguar 24 horas, posteriormente se desmoldaron y se colocaron en una tina de curado por 28 días.

Para el curado por inmersión, se cuidó que la temperatura del agua se mantuviera constante, así como el tirante por encima de los especímenes no fuera menor a 10 cm (NMX-C-160-ONNCCE-2004).

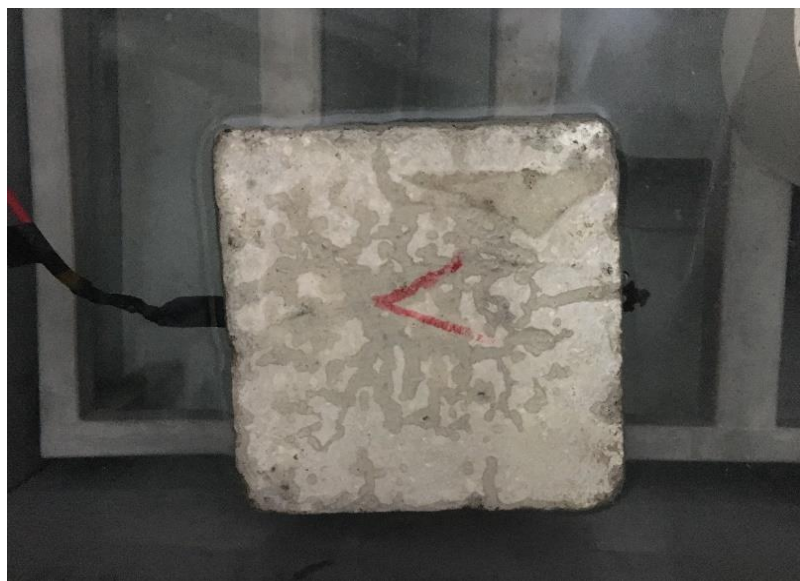


Figura 3.10. Curado de los especímenes por el método de inmersión.

3.4. Construcción de la cámara de aspersión de cloruros

La cámara de aspersión salina se diseñó con el fin de simular las condiciones para un ensayo de corrosión acelerada, haciendo una aspersión uniforme sobre los especímenes, (Figura 3.11)



Figura 3.11. Cámara de aspersión salina.

Factores que se consideraron:

- Temperatura promedio del medio de exposición: la cual fue de 35° C, para lo cual se habilitaron calentadores de agua.
- Pérdidas por evaporación: para lo cual se dotó la cámara de un contenedor para reponer pérdidas, mismo que se monitoreo para evitar su vaciado.
- Un gasto similar del líquido en los aspersores que rociaron las caras de exposición de los especímenes.
- Agua de mar sintética (ASTM B117-16).

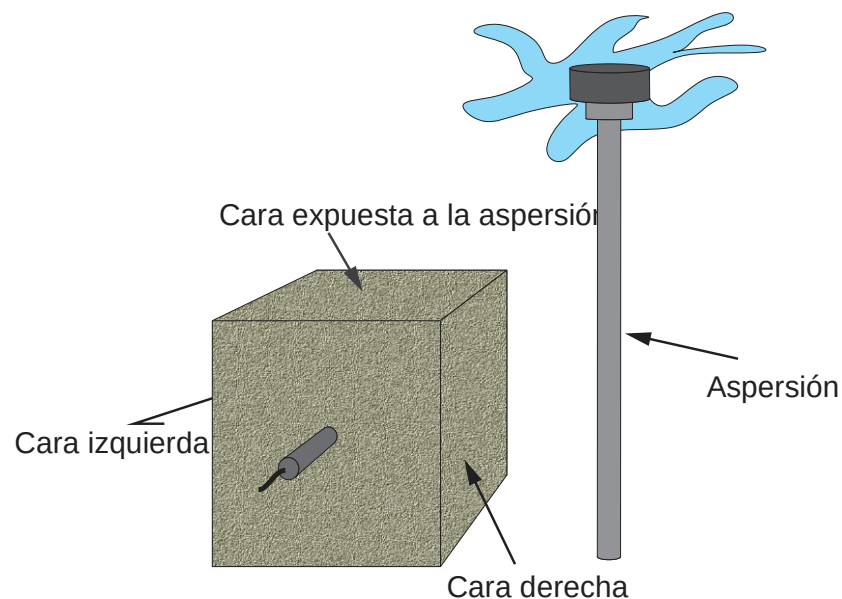


Figura 3.12. Simulación de la zona de aspersión.

Para la construcción de la cámara de aspersión de cloruros se utilizaron materiales no metálicos, donde se alojaron los especímenes en estudio, el funcionamiento de la cámara de aspersión es muy similar a una cámara de niebla salina, con los siguientes parámetros de operación: tabla 3.16 (ASTM B117-16)

Tabla 3.16 Parámetros de operación de cámara de aspersión salina

Parámetros de operación cámara de aspersión salina	
Temperatura de atomización	35+1.1-1.7 °C
Velocidad de bombeo	7 lt/min
Temperatura de los especímenes	25°C
pH de la solución	6.5 a 7.2

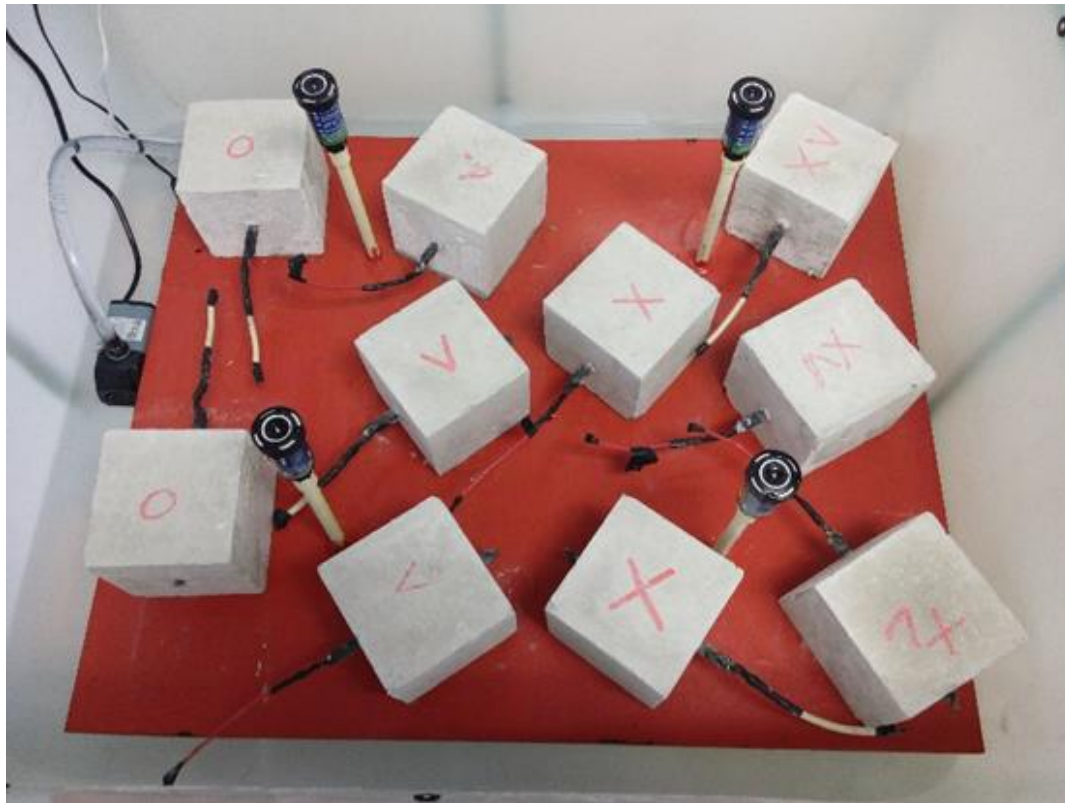


Figura 3.13. Cámara de exposición en funcionamiento.

3.5 Medio Corrosivo

Los especímenes de concreto fueron expuestos a un medio corrosivo mediante la elaboración de 5% NaCl disuelto en agua des-ionizada

utilizando una cámara de aspersión de cloruros con capacidad de 40 litros. Los especímenes se monitorearon (5, 10, 15, hasta 28 días).

3.6. Técnica de potenciales de corrosión

Para la realización de esta prueba se utilizó un electrodo de referencia de cobre-sulfato de cobre.



Figura 3.14. Electrodo de cobre-sulfato de cobre

La medición de los potenciales de corrosión se realizó utilizando multímetro de alta impedancia y un electrodo de Cu/CuSO_4 como electrodo de referencia; las varillas actuaron como electrodos de trabajo.



Figura 3.15 Instrumento y accesorio empleado para monitoreo de potenciales de corrosión

Para el monitoreo de potencial de corrosión se humectaron las vigas con una esponja, posteriormente se colocó el electrodo de Cu/CuSO_4 sobre el espécimen, ubicándolo en el área donde se encontraba inmersa la varilla y se conectó a la línea negativa del multímetro, la línea positiva del multímetro se prendió del cable soldado a la varilla de la viga.

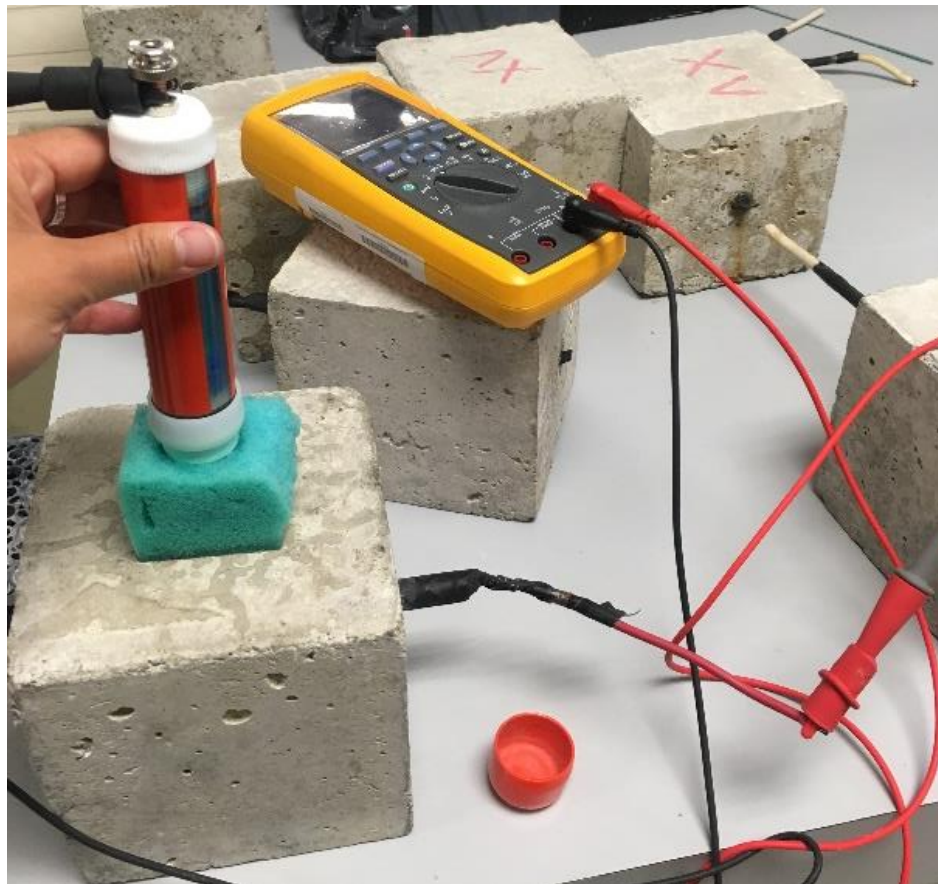


Figura 3.16. Monitoreo de potenciales de corrosión con electrodo de Cu/CuSO₄.

3.7. Técnica de impedancia electroquímica

3.7.1. Diagramas de conexión para la técnica de monitoreo de la corrosión por impedancia electroquímica

Para las técnicas electroquímicas se usó una celda típica de tres electrodos, con un electrodo de cobre-sulfato de cobre como referencia y una barra de grafito como contra electrodo, (Figura 3.17)

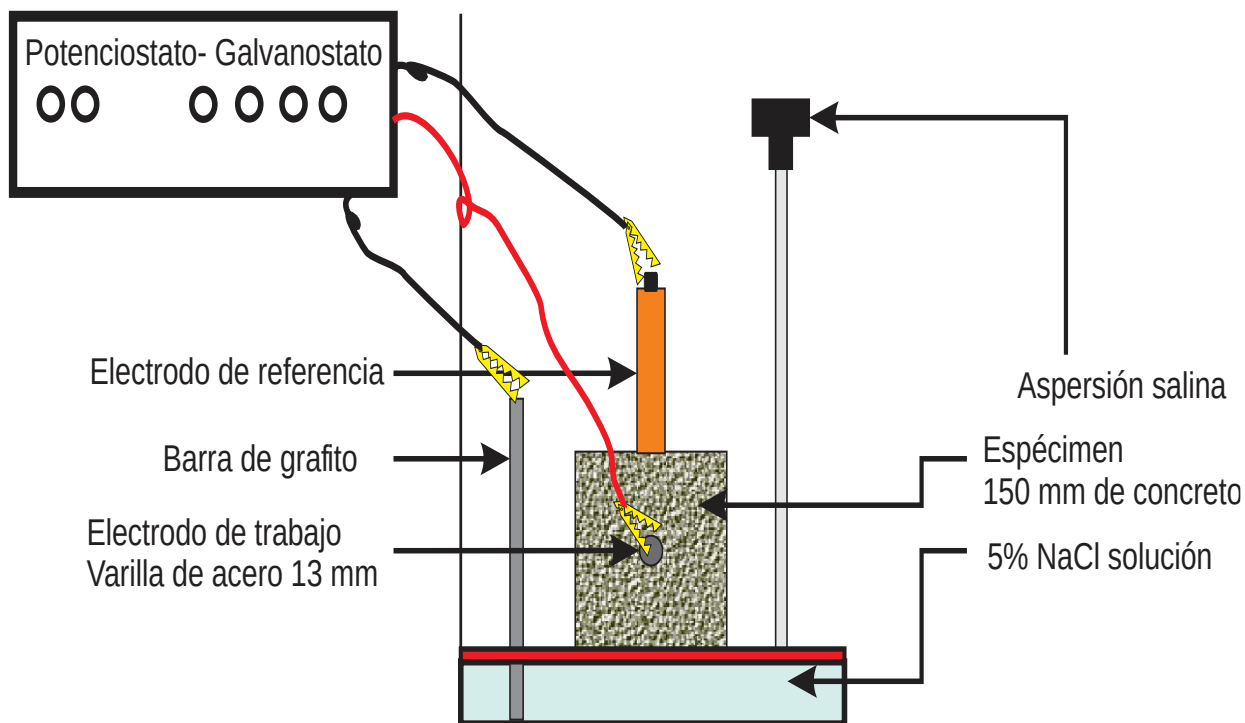


Figura 3.17. Esquema representativo para la conexión de la celda para monitoreo

Como electrodos de trabajo se utilizaron las varillas de acero al carbono AISI 1018 previamente tratadas; la composición química del acero se presenta en la Tabla 3.16

Tabla 3.16. Composición del acero al carbono AISI 1018

Especificación	Composición química (% máximo)			
	C	Mn	P	S
AISI 1018	0.15-0.20	0.60-0.90	0.030	0.035

Una vez armada la celda electroquímica se conectó a un potencióstato - galvanostato Autolab PG STAT 30 y se aplicaron las técnicas a través del software proporcionado por la misma compañía.

3.7.2. Parámetros Experimentales

Para la técnica electroquímica (impedancia) se utilizaron los parámetros experimentales, (Tabla 3.17), estos fueron los mismos utilizados en trabajos reportados: (Deus, 2013) (Duarte, 2013) (Raichev, 2009) (Reyes, 2014), además que es la mejor relación entre resultados y tiempo para tener la suficiente reproducibilidad y lograr confiabilidad en los resultados.

Tabla 3.17. Parámetros experimentales utilizados en las técnicas electroquímicas.

Espectroscopia de Impedancia Electroquímica
Tiempo de inmersión del electrodo: 10 min
Amplitud de: 10mV
Intervalo de frecuencias: de 0.01 Hz a 10,000 Hz

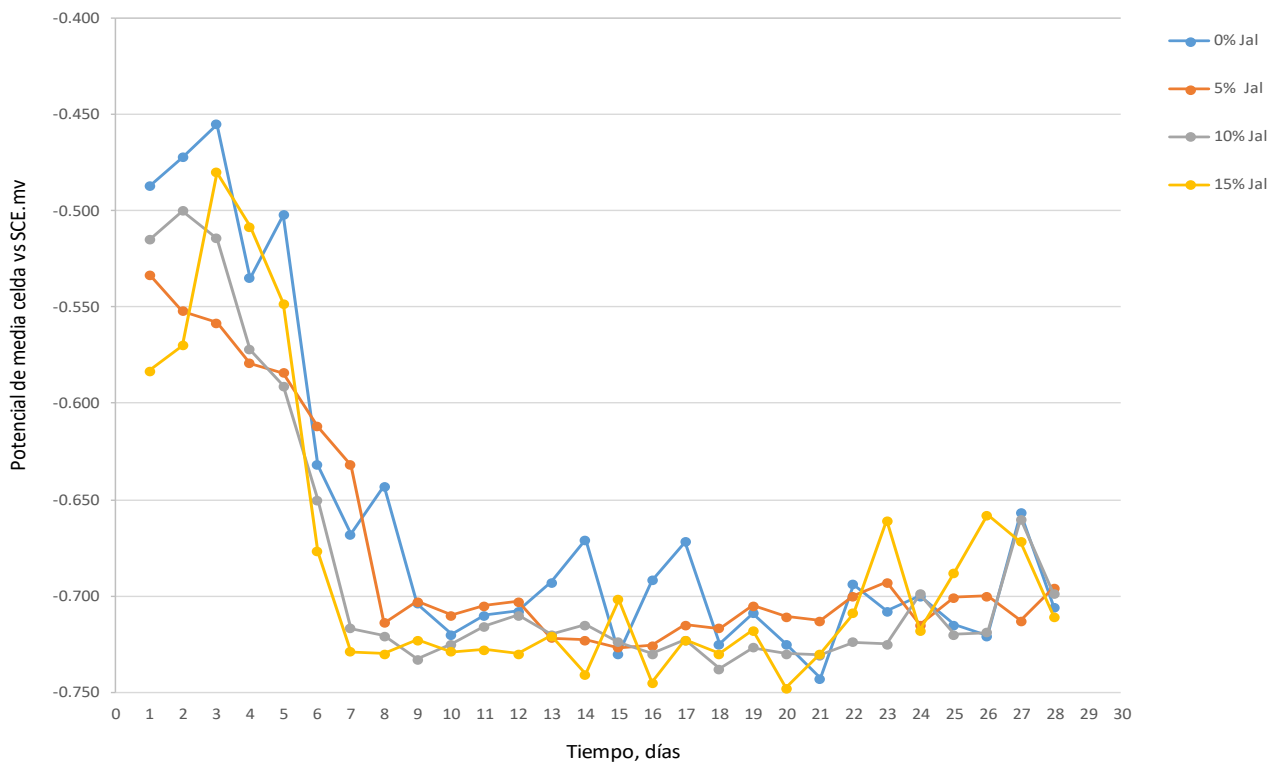
CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Análisis de la medición de potenciales de media celda

4.1.1. Potenciales de media celda cara directamente expuesta

Se utilizó el criterio de la Norma ASTM C-876, debido a que es la más utilizada en estudios de mapeos de probabilidades de corrosión en estructuras de concreto reforzado.

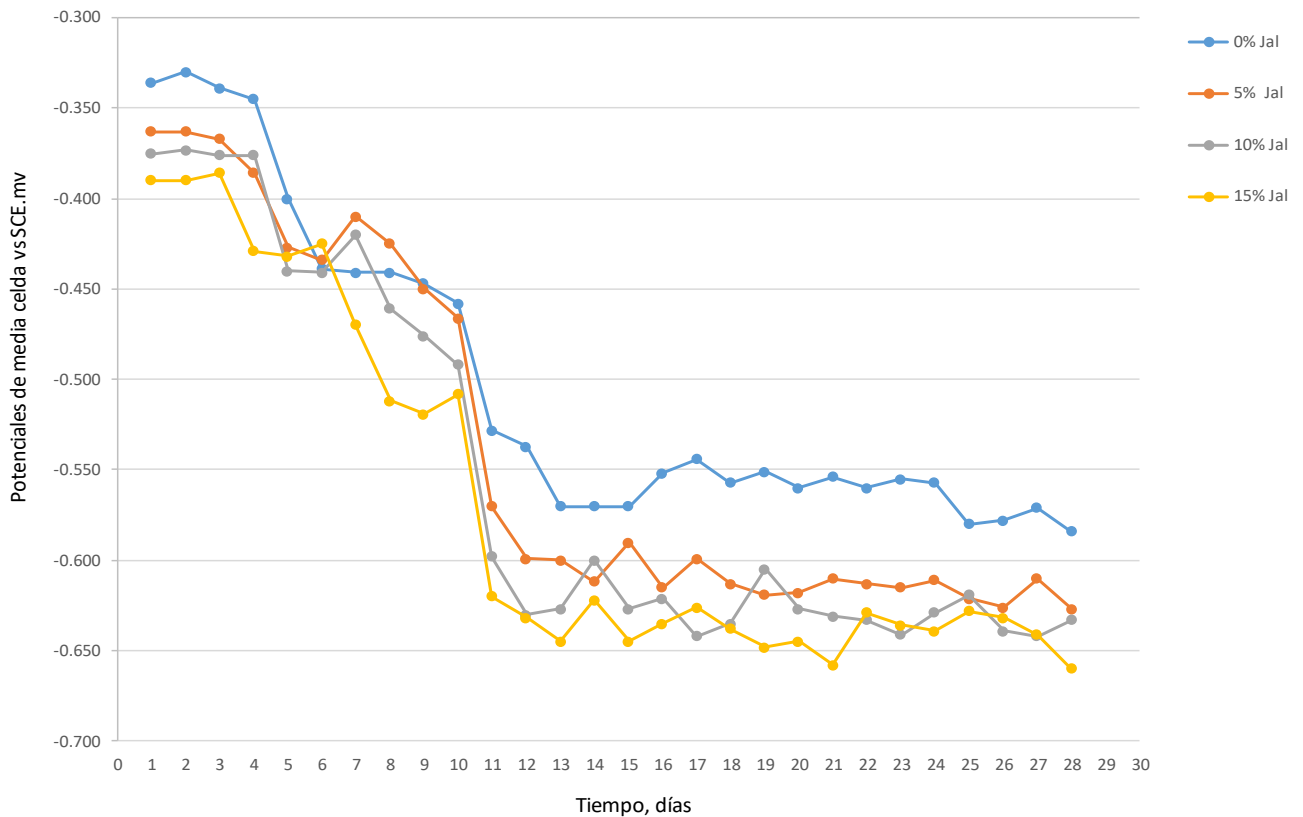
La grafica 4.1 muestra los resultados de potenciales de media celda para el sistema con la cara directamente expuesta a la aspersión salina y al evaluar las distintas dosificaciones de jal como cementante, en función del tiempo de exposición (28 días) en la cámara de aspersión salina. Los sistemas muestran un comportamiento similar en comparación al espécimen con 0% de jal, a los 10 días de exposición dentro de la cámara de aspersión los potenciales muestran un comportamiento lineal (potenciales de 700 ± 30 mv) no mostrando un cambio significativo en los potenciales. Por lo que la resistencia a la corrosión es muy similar a la de un concreto convencional en las dosificaciones estudiadas.



Grafica 4.1. Potenciales de media celda para la cara directamente expuesta del espécimen

4.1.2. Potenciales de media celda cara izquierda

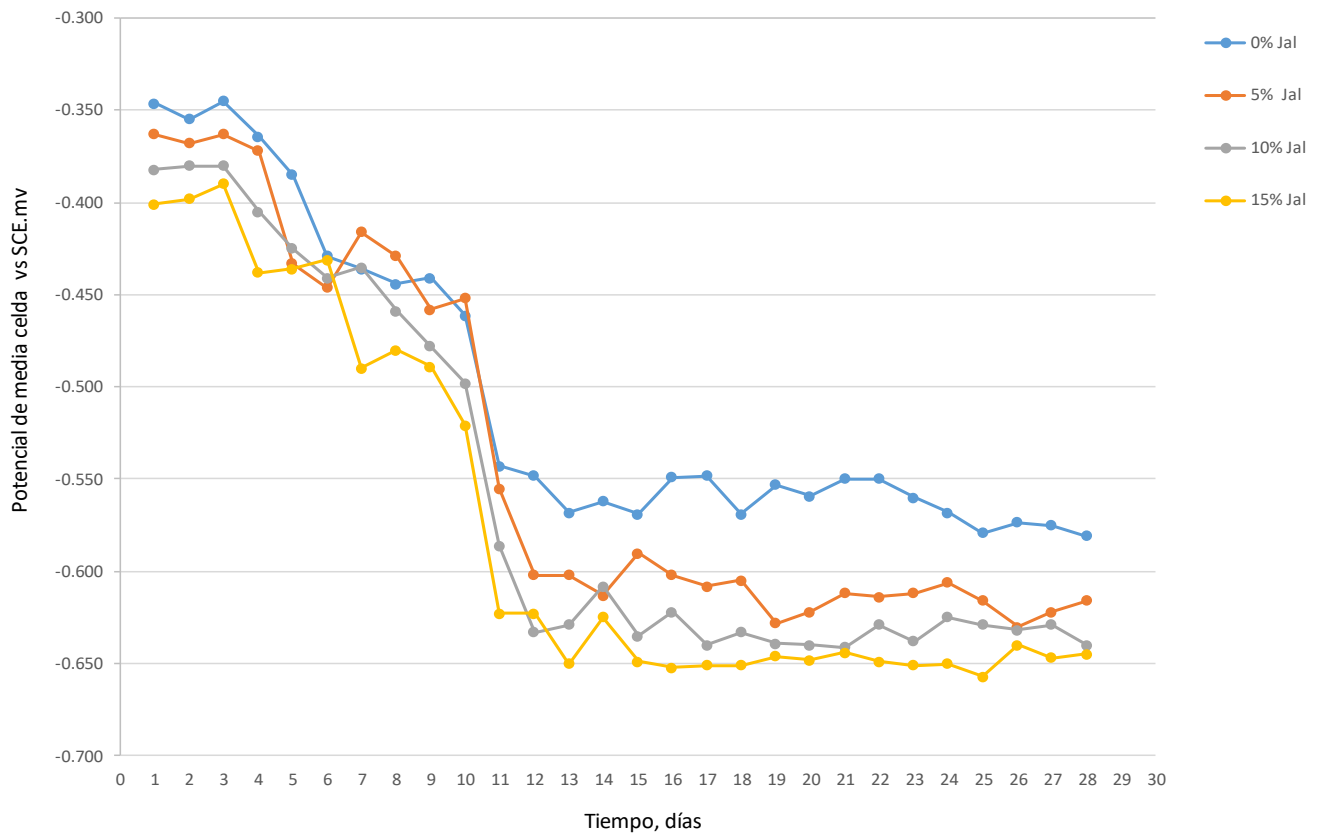
La grafica 4.2 muestra los resultados de potencial de media celda para la cara izquierda, en función del tiempo de exposición de los especímenes y de las diferentes dosificaciones de jal, este análisis muestra un comportamiento semejante a los sistemas con la cara expuesta a la aspersión. Se observa que no existe ningún sistema que destaque de forma importante en cuanto a los potenciales de corrosión que muestra durante todo el periodo de monitoreo presentando, ya que se observa un comportamiento lineal o pasivo de los potenciales después de los 10 días de monitoreo.



Grafica 4.2. Potenciales de media celda para la cara izquierda del espécimen

4.1.3. Potenciales de media celda cara derecha

Del análisis de las gráfica 4.3, se aprecia un comportamiento prácticamente similar de los sistemas con la cara expuesta y con la cara izquierda, para las distintas dosificaciones estudiadas, estos potenciales muestran un comportamiento semejante, mostrando la misma linealidad a los 10 días, ya que aumentan ligeramente los potenciales en comparación al sistema sin jal como con cementante; por lo que la resistencia a la corrosión no tiene un cambio significativo en cuanto a su magnitud comparado a la de un concreto convencional.



Grafica 4.3. Potenciales de media celda para la cara derecha del espécimen

Con el fin de determinar, con mayor precisión, el efecto que tiene la presencia del jal en la corrosión con los sistemas evaluados de concreto de refuerzo, se realizaron mediciones con la técnica de Espectroscopía de Impedancia Electroquímica.

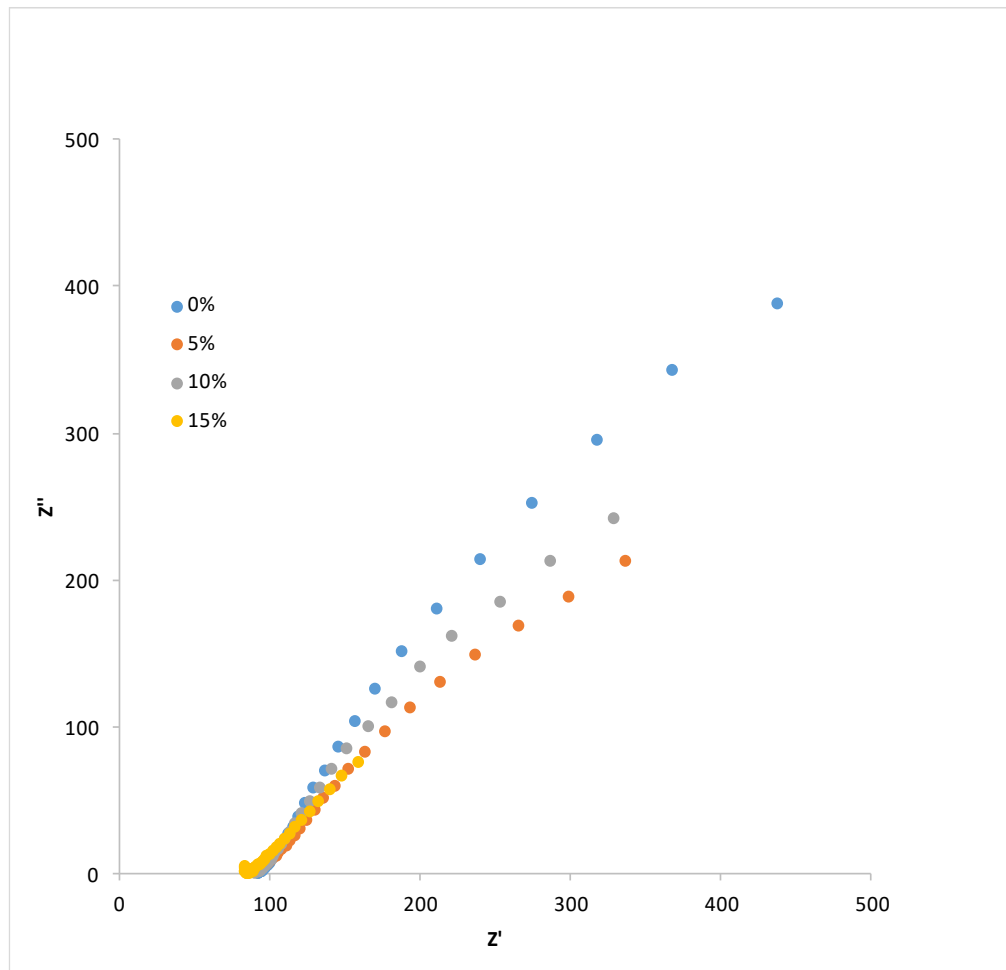
4.2 Espectroscopía de Impedancia electroquímica

Con el fin de establecer de manera más sencilla el número de etapas involucradas y el tipo de proceso de corrosión, se realizaron pruebas con la técnica de espectroscopía de impedancia electroquímica, la técnica se usa aprovechando las características de la misma de poder separar las contribuciones de diferentes fenómenos, de acuerdo al tiempo de relajación de cada una de ellas. Las mediciones se llevaron a cabo con

una amplitud de 10 mV, tomando como referencia el potencial de corrosión y en el intervalo de frecuencias de 10 mHz a 10 kHz; para ello se utilizó un Analizador de Respuestas en Frecuencia (FRA, por sus siglas en Inglés) acoplado a un Potenciostato - Galvanostato Autolab Mod. PGSTAT30.

4.2.1. Impedancia electroquímica a 7 días de exposición

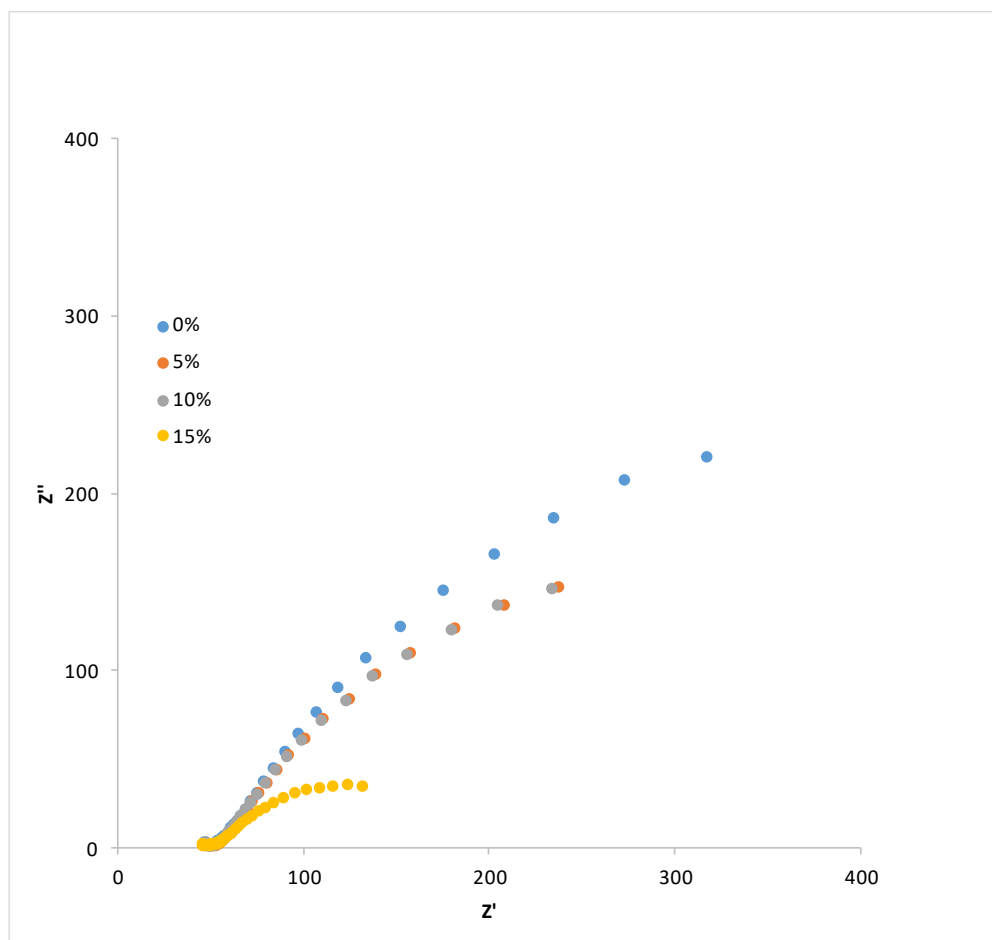
La gráfica 4.4 muestra los diagramas de Nyquist de los resultados de la técnica de espectroscopía de Impedancia Electroquímica (EIS, por sus siglas en inglés) para los sistemas en estudio a los 7 días de exposición a la aspersión salina. Los espectros muestran un comportamiento semejante para los sistemas: 0%, 5% y 10% de jal, como reemplazo de cemento, ya que la superficie del acero se modifica para el sistema de 15% de jal mostrando valores menores de impedancia real e imaginaria en comparación a los demás sistemas. También se observa que los procesos difusivos son muy importantes, mostrando semicírculos abiertos con tendencia lineal hacia bajas frecuencias; lo anterior puede ser atribuido, en primera instancia, a la transferencia de carga y posteriormente a la difusión, ya sea de los productos de corrosión hacia la solución o de las especies corrosivas hacia la superficie.



Gráfica 4.4. Diagramas de Nyquist para el sistema concreto-acero al carbono AISI 1018 en función de la concentración de jal a 7 días de exposición.

4.2.2. Impedancia electroquímica 14 días de exposición

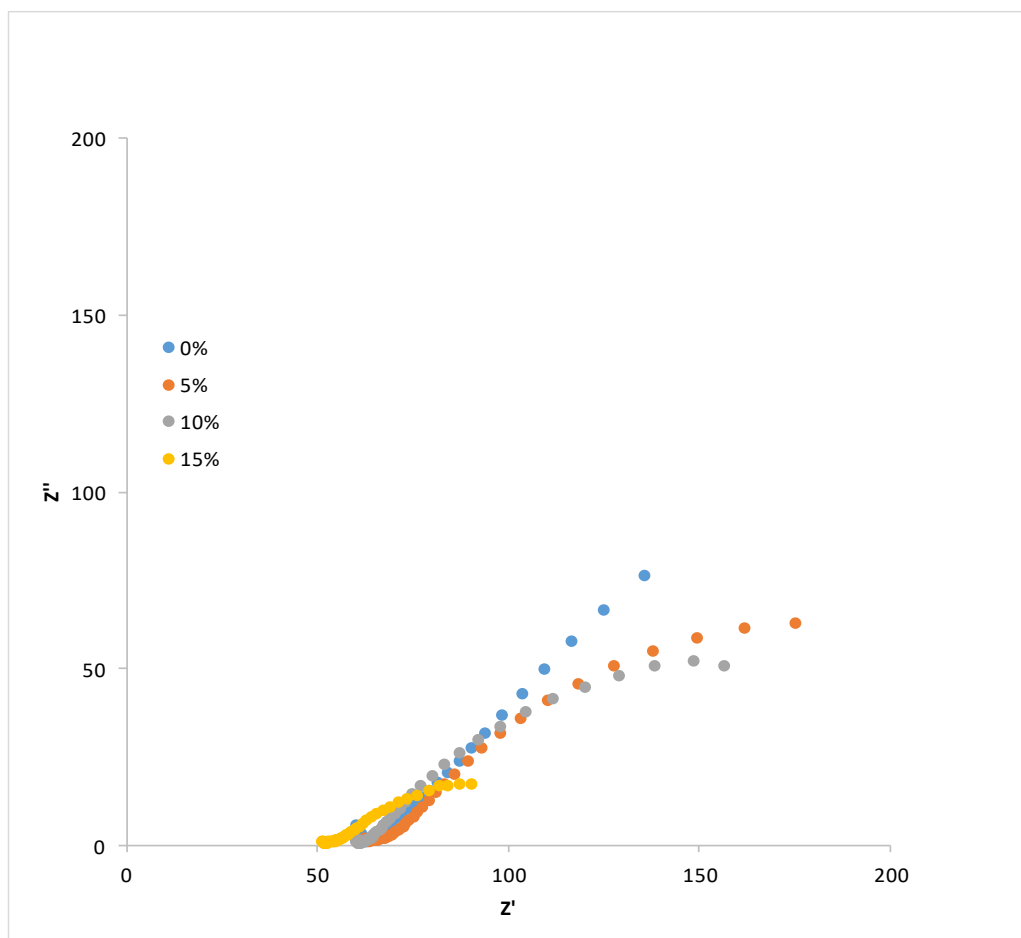
En la gráfica 4.5 se presentan diagramas de Nyquist obtenidos al estudiar el comportamiento electroquímico del sistema concreto-acero con un tiempo de exposición de 14 días y en función de la concentración de jal; los espectros muestran un semicírculo abierto y a bajas frecuencias una tendencia lineal, lo que ha sido atribuido a procesos difusivos que están ocurriendo en el sistema. En el sistema de 15% de jal el espectro es distinto en comparación a los demás sistemas estudiados mostrando menor resistencia a la corrosión.



Gráfica 4.5 Diagramas de Nyquist para el sistema concreto-acero al carbono AISI 1018 en función de la concentración de sal a 14 días de exposición.

4.2.3. Impedancia electroquímica 21 días de exposición

La gráfica 4.6 muestra diagramas de Nyquist obtenidos a un tiempo de 21 días de exposición en la cámara de aspersion; en la gráfica se observa que la componente real e imaginaria de la impedancia disminuye para el sistema de 15% de sal; por otra parte, los sistemas con: 0%, 5% y 10%, muestran valores de resistencia muy similares indicando una mayor uniformidad en el proceso de corrosión.

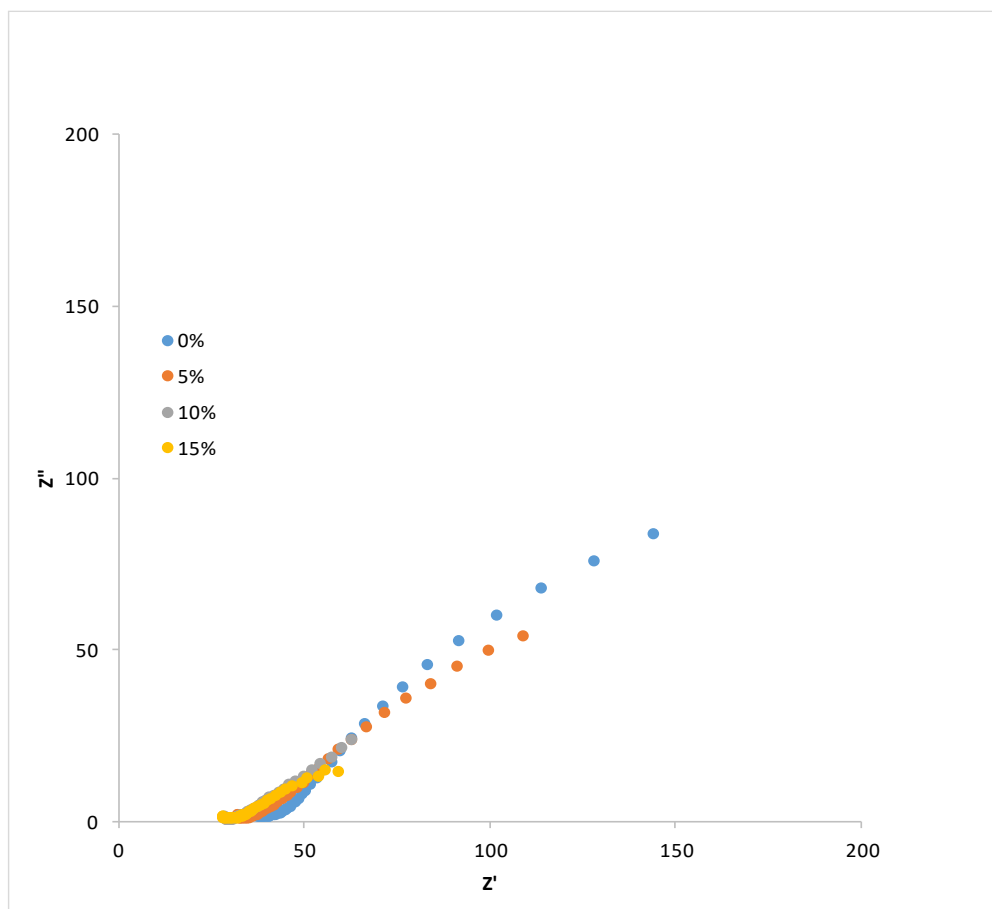


Gráfica 4.6 Diagramas de Nyquist para el sistema concreto-acero al carbono AISI 1018 en función de la concentración de sal a 21 días de exposición.

4.2.4. Impedancia electroquímica 28 días de exposición

La Gráfica 4.7 muestra los diagramas de Nyquist, como resultado de las mediciones de espectroscopia de impedancia electroquímica para los sistemas en estudio y en función del tiempo de exposición hacia medio corrosivo (28 días), en ellas se muestran semicírculos abiertos con una ligera tendencia f lineal con bajas frecuencias de una tendencia lineal hacia frecuencias más bajas. Esto se puede atribuir principalmente a la transferencia de carga y posterior a la difusión especies corrosivas en la superficie, se observa una disminución en los valores reales e imaginarios de impedancia al incrementar el porcentaje de sal como cementante al

15%, ya que para los sistemas con 5% a 10% de jal no muestran un cambio significativo en comparación al concreto convencional (0% jal).



Gráfica 4.7 Diagramas de Nyquist para el sistema concreto-acero al carbono AISI 1018 en función de la concentración de jal a 28 días de exposición.

4.2.5. Parámetros de corrosión obtenidos en la técnica de Impedancia

En la Tabla 4.1 se muestran parámetros de corrosión de los distintos sistemas a diferentes dosificaciones de jal como cementante, observándose que los valores de E_{corr} son muy similares para los sistemas estudiados, esto nos indica que las condiciones energéticas al inicio son prácticamente las mismas, por otro lado se observa que el valor de la resistencia a la polarización (R_p) disminuye al aumentar el porcentaje de jal como cementante, y en función del tiempo de exposición para cada uno de los diferentes sistemas, pero para la dosificación de

15% esta disminución es más notable, cabe mencionar que las resistencias a la polarización disminuyen conforme el tiempo aumenta para todos los sistemas en estudio por lo que la velocidad de corrosión es muy similar hasta una dosificación de 10% de jal, en comparación al sistema convencional.

Tabla 4.1. Parámetros de corrosión obtenidos en la técnica de Impedancia

Time	% de jal	E_{corr} / (mV)	R_s/Ω	R_p/Ω
7 días	0	-0.732	92	950
	5	-0.712	87	710
	10	-0.730	90	660
	15	-0.735	86	215
14 días	0	-0.702	46	692
	5	-0.725	48	412
	10	-0.724	49	398
	15	-0.728	47	153
21 días	0	-0.722	62	311
	5	-0.738	65	214
	10	-0.734	62	185
	15	-0.744	55	87
28 días	0	-0.699	38	289
	5	-0.706	34	176
	10	-0.715	30	132
	15	-0.720	29	69

4.3. Prueba de resistencia a la compresión

Las pruebas de resistencia a la compresión se realizaron con una prensa de compresión de cilindros de concreto marca Controls, modelo 50-

C43C04, en base a la normativa (NMX-C-083-ONNCCE-2002). Los ensayos se realizaron 48 horas posteriores al curado por inmersión

De acuerdo con los resultados de los ensayos realizados, se pudo observar que la adición de jal como cementante en el concreto no redujo sustancialmente la resistencia a la compresión (Tabla 4.2.), debido a que la mezcla patrón alcanzó sólo un 95% de la resistencia esperada en base a los diseños de mezcla propuestos para el estudio (150 y 250 kg/cm²) se puede establecer que la resistencia esperada para el concreto, con adición de jal como cementante, no muestra un cambio significativo en cuanto a su resistencia a los 28 días de edad, para cada uno de los sistemas con distinto porcentaje de jal como cementante.

Tabla 4.2. Parámetros de Resistencia a la Compresión.

Espécimen	Espécimen diseñado para $f'c = 150$ (kg/cm²) edad 30 días	Espécimen diseñado para $f'c = 250$ (kg/cm²) edad 30 días
0%	149.6	238.7
5%	152.7	242.2
10%	157.5	249.3
15%	160.2	252.6





Figura 4.1. Ensayo de resistencia a la compresión para los distintos sistemas

CONCLUSIONES

Se establecieron las condiciones necesarias para preparar un ambiente corrosivo en una cámara de aspersion salina muy semejante al ya establecido en la literatura, de manera que se obtuvo reproducibilidad, repetibilidad y confiabilidad en los resultados obtenidos.

Los resultados de potenciales de media celda no muestran un cambio significativo en comparación al de un concreto convencional hasta el 10% de dosificación de residuo de mina en el concreto.

El uso de la técnica de espectroscopia de impedancia electroquímica muestra que la interacción del jal como cementante no modifica el proceso de corrosión, ya que se observa que el uso de residuo minero hasta un 10%, no favorece la llegada de los agentes corrosivos a la superficie de la varilla de refuerzo en el concreto, comparado a un sistema convencional mostrando valores de R_p muy similares para los distintos sistemas.

La interacción de cloruros con el metal se ve aumentada al usar 15% en la dosificación de jal como cementante modificando considerablemente la velocidad de corrosión del sistema.

El concreto elaborado con jal como cementante, presenta un comportamiento electroquímico y mecánico muy similar a un concreto convencional, hasta una dosificación de 10%.

El estudio corrosivo del empleo de jal como cementante, en la elaboración de concreto, muestra que los parámetros de corrosión no sufren un cambio significativo, comparados con un concreto convencional.

Recomendaciones para la continuación de esta Línea de Investigación

- Realizar el estudio variando el pH de los sistemas, de manera controlada, para determinar el efecto de éstos parámetros sobre el mecanismo de corrosión.
- Realizar la caracterización de los productos de corrosión bajo las diferentes condiciones de operación de pH, temperatura y cantidad de cloruros presentes en el sistema.
- Estudiar el efecto de carbonatación del concreto.
- Realizar pruebas mecánicas de adhesión en la varilla de refuerzo.
- Estudiar el efecto electroquímico de la combinación de otro aditivo en la mezcla de concreto elaborado con jal.
- Hacer un análisis de costos al reutilizar el residuo minero.
- Estudiar la factibilidad del proyecto para alcanzar su aplicación real inicialmente en elementos de concreto no estructurales.

BIBLIOGRAFÍA

- NMX-C-036-ONNCCE-2004 . (s.f.). *Industria de la construcción – Bloques, tabiques o ladrillos, tabicones y adoquines – Resistencia a la compresión – Método de prueba*.
- Acosta, E. Hernández; Romero, E. Mondragón. (junio de 2009). Vegetación, residuos de mina y elementos potencialmente tóxicos de un jal de Pachuca, Hidalgo, México. *Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 15, 109-114.
- Cyted. (1997). *Manual de inspección, evaluación y diagnóstico de corrosión en estructuras de hormigón armado*. Brasil.
- Deus, J. (16 de diciembre de 2013). The electrochemical behavior of steel rebars in concrete: an Electrochemical Impedance Spectroscopy study of the effect of temperature. *Electrochimica Acta*. Recuperado el 28 de noviembre de 2014, de ScienceDirect, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013468613024481>
- Duarte, R. (11 de diciembre de 2013). Corrosion Behavior of Stainless Steel Rebars Embedded in Concrete: an Electrochemical Impedance Spectroscopy Study. *Electrochimica Acta*. Recuperado el 28 de noviembre de 2014, de <http://www.sciencedirect.com/science/article>
- Frederick, M. (1992). *Manual del ingeniero civil* (Tercera ed.). McGraw- Hill.
- González, O., & Robles, F. (2005). *Aspectos fundamentales del concreto reforzado* (Cuarta ed.). Distrito Federal, México: Limusa.
- Guevara, G., Hidalgo, C., Pizarro, M., Rodríguez, I., Rojas, L., & Segura, G. (Abril de 2012). Efecto de la variación agua/cemento en el concreto. *Tecnología en Marcha*, 25(2), 81-86.

<http://citnova.gob.mx/aprovechamiento-de-los-residuos-de-la-industria-minero-metalurgica-del-estado-de-hidalgo-y-su-posible-uso-como-material-industrial-alterno/>. (s.f.).

IMCYC. (1999). Curado del Concreto Fresco. *Construcción y Tecnología*.

IMCYC. (junio de 2004). Para hacer un buen concreto. *Conceptos Básicos del Concreto*, 1-8.

IMCYC. (Julio de 2004). Propiedades del concreto. *Conceptos Básicos del Concreto*, 10-15.

Jones, A., Marsh, B., Nixon, P., Seymour, D., Clarke, L., Basheer, P., & Long, A. (s.f.). Development of an holistic approach to ensure the durability of new concrete construction. *Report for the Department of Environment*, 78.

Juárez, L., Vela Correa, G., Cruz Chávez, E., Chimal Hernández, A., Acevedo Sandoval, O., & Rivera Becerril, F. (17 de septiembre de 2011). Características de sustratos e identificación de plantas micorrizadas establecidas en presas de jales del distrito minero de Pachuca. *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente*, 11(21), 97-112.

López, R. (2013). *Evaluación de recubrimientos utilizando la técnica de EIS y ensayos en cámaras de corrosión cíclica*. México, Ciudad de México, México: Universidad Nacional Autónoma de México.

Mena, M. (2005). Durabilidad de estructuras de concreto en México. *Instituto Mexicano del cemento y del concreto*.

Montoya, J. (12 de mayo de 2015). Pretenden trasladar a Epazoyucan 90 mil toneladas de Jales Mineros. *La Jornada*.

Muñiz, J. (2006). *Caracterización de Concretos de baja resistencia en vivienda de Interés Social*. Obtenido de Repositorio digital de la Facultad de Ingeniería UNAM.

NMX C-122-ONNCCE-2004. (s.f.). *Industria de la construcción – Cementos hidráulicos – Especificaciones y métodos de ensayo*.

- NMX C-155-ONNCCE-2004 . (s.f.). *Industria de la construcción – Concreto – Concreto hidráulico industrializado – Especificaciones.*
- NMX-C-037-ONNCCE-2005 . (s.f.). *Industria de la construcción – Bloques, ladrillos o tabiques y tabicones – Determinación de la absorción de agua y absorción inicial de agua.*
- NMX-C-038-ONNCCE-2004. (s.f.). *Industria de la construcción – Determinación de las dimensiones de ladrillos, tabiques, bloques y tabicones para la construcción.*
- NMX-C-111-ONNCCE-2004 . (s.f.). *Industria de la construcción – Agregados para concreto hidráulico – Especificaciones y métodos de prueba .*
- NMX-C-160-ONNCCE-2004. (s.f.). *Industria de la construcción – Concreto – Elaboración y curado en obra de especímenes de concreto.*
- NMX-C-162-ONNCCE-2010. (s.f.). *Industria de la construcción – Concreto hidráulico – Determinación de la masa unitaria, cálculo del rendimiento y contenido de aire del concreto fresco por el método gravimétrico.*
- NMX-C-407-ONNCCE-2001. (s.f.). *Industria de la construcción – Varilla corrugada de acero proveniente de lingote y palanquilla para refuerzo de concreto – Especificaciones y métodos de prueba.*
- NMX-C-414-ONNCCE-2010 . (s.f.). *Industria de la construcción – Cementos hidráulicos – Especificaciones y métodos de ensayo.*
- NOM-141SEMARNAT-2003. (13 de septiembre de 2004). Que establece el procedimiento para caracterizar los jales, así como las especificaciones y criterios para la caracterización y preparación del sitio, proyecto, construcción, operación y postoperación de presas de jales. *Diario Oficial.*
- NOM-141-SEMARNAT-2003. (s.f.). *Que establece el procedimiento para caracterizar los jales, así como las especificaciones y criterios para la caracterización y preparación del sitio, proyecto, construcción, operación y postoperación de presas de jales.*
- Patiño, F., Hernández, J., & Flores, J. (s.f.). *Caracterización de las escombreras de Distrito minero Real del Monte-Pachuca y sus usos industriales alternos.*

- PROFEPA. (2000). *Segundo grupo de criterios interinos de restauración de suelos contaminados con inorgánicos tóxicos (metales pesados) y otros*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México, D.F.
- Raichev, R. (2009). *Corrosión de metales y degradación de materiales*. Baja California.
- Rangel, Y., Prieto, F., Acevedo, O., Gordillo, A., & González, C. (2009). Procesos unitarios de recuperación de residuos de construcción, demolición y jales de la minería: Desarrollo de agregados pétreos. *Estudios Ambientales*, 197-205.
- Remon, E., Bouchardon, J., Cornier, B., Guy, B., Lecler, J., & Faure, O. (2005). Soil characteristics, heavy metal availability and vegetation recovery at a former metallurgical landfill: Implications in risk assessment and site restoration. *Environmental Pollution*, 137, 316-323.
- Reyes, E. (28 de noviembre de 2014). Resistencia a la corrosión de concretos reforzados aligerados con mezclas ternarias. *Academia.edu*. Obtenido de <http://www.academia.edu/>
- Rodríguez, J. (2010). *Estudio del efecto de la corrosión en el concreto reforzado*. Veracruz.
- SCT. (2001). *El fenómeno de la corrosión en estructuras de concreto reforzado* (Vol. 182). Sanfandila, Querétaro, México: Instituto Mexicano del Transporte.
- Servicio Geológico Mexicano. (diciembre de 2014). *Panorama minero del Estado de Hidalgo*. Obtenido de Secretaría de Economía: <http://www.sgm.gob.mx/pdfs/HIDALGO.pdf>
- Tuutti, K. (1982). *Corrosion of steel in concrete*. Stockholm: The Swedish Cement and Concrete Association.
- Uhlig, H., & Revie, R. (2008). *Corrosion and Corrosion Control*. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería. (2008). Acero de refuerzo, cuantificación, habilitado y colocación en obra. Control de calidad. *Repositorio UNAM*.

- Vázquez, A. J., & Damborenea, J. (2000). *Ciencia e Ingeniería de la Superficie de los Materiales Metálicos*. España: CSIC.
- Zongjin, L. (2011). *Advanced Concrete Technology*. New Jersey: John Wiley&Sons.

ANEXOS

NMX C-083-ONNCCE-2002

NMX C-111-ONNCCE-2004

NMX C-122-ONNCCE-2004

NMX C-160-ONNCCE-2004

NMX C-162-ONNCCE-2010

NMX C-407-ONNCCE-2001

ACI 201.2R-01

NORMA MEXICANA

NMX-C-083-ONNCCE-2014

(Esta norma cancela a la
NMX-C-083-ONNCCE-2002)
Declaratoria de vigencia publicada en el
D. O. F. el día lunes 06 de abril de 2015

**INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN - CONCRETO -
DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE
ESPECIMENES - MÉTODO DE ENSAYO**
**BUILDING INDUSTRY - CONCRETE - DETERMINATION OF
COMPRESIVE STRENGTH OF SPECIMEN - TEST METHOD**

Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C.
Ceres #7, Col. Crédito Constructor C.P. 03940, México, D.F. Tel: (01 55) 56 63 29 50 ext. 103
Correo electrónico: normas@mail.onncce.org.mx Internet: <http://www.onncce.org.mx>
©COPYRIGHT, DERECHOS RESERVADOS ONNCCE, S.C., MÉXICO MMXV


**COMITÉ TÉCNICO DE NORMALIZACIÓN DE
PRODUCTOS, SISTEMAS Y SERVICIOS PARA LA CONSTRUCCIÓN**
0. PREFACIO

En la elaboración de esta de norma, participaron las siguientes empresas e instituciones:

- ASOCIACIÓN MEXICANA DE LA INDUSTRIA DEL CONCRETO PREMEZCLADO, A. C. (AMIC)
- BASF MEXICANA, S. A. DE C. V. (BASF MEXICANA)
- CEMEX CONCRETOS, S. A. DE C. V. (CEMEX)
- CONCRETOS MOCTEZUMA
- SECRETARÍA DE LA CONTRALORÍA DEL GOBIERNO DEL ESTADO DE MÉXICO.
- DIRAC, S. A. DE C. V.
- EO LABORATORIO, S. DE R. L. DE C. V.
- HOLCIM APASCO, S. A. DE C. V.
- INSPECTEC, SUPERVISIÓN Y LABORATORIOS, S. A. DE C. V.
- INSTITUTO MEXICANO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO, A. C. (IMCYC)
- LADEMAC, S. A. DE C. V.
- LANC, S. C.
- SECCIÓN CENTRO Y SUR DE LA CIUDAD DE MÉXICO DEL AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, A. C. (ACI)
- SILES CONSULTORÍA Y CONTROL DE CALIDAD, S. A. DE C. V.
- UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE GUADALAJARA – CENTRO DE INVESTIGACIÓN PARA EL DESARROLLO INDUSTRIAL.

ÍNDICE

	Página
PREFACIO	2
1. OBJETIVO.....	3
2. CAMPO DE APLICACIÓN.....	3
3. REFERENCIAS	3
4. DEFINICIONES	3
5. EQUIPO	3
5.1. Máquina de ensayo	3
5.2. Dispositivos de lectura de carga.....	4
5.3. Verificación de carga	5
5.4. Escala graduada	5
6. PREPARACIÓN Y ACONDICIONAMIENTO DE LAS MUESTRAS	5
6.1. Dimensiones.....	5
6.2. Cabeceo	6
7. CONDICIONES AMBIENTALES	6
8. PROCEDIMIENTO	6
8.1. Colocación de especímenes en la máquina de ensayo.....	6
8.2. Velocidad de aplicación de carga	7
9. CÁLCULO Y EXPRESIÓN DE LOS RESULTADOS	8
10. PRECISIÓN.....	9
10.1. En cilindros.....	9
10.2. En cubos	9

11.	INFORME DEL ENSAYO	9
11.1.	El registro de los resultados debe incluir como mínimo los siguientes datos	9
11.2.	El informe al cliente debe contener los siguientes datos	9
12.	BIBLIOGRAFÍA	10
13.	CONCORDANCIA CON NORMAS INTERNACIONALES	10
14.	VIGENCIA	10
A.	APÉNDICE INFORMATIVO	10

1. OBJETIVO

Esta norma mexicana establece el método de ensayo para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto.

2. CAMPO DE APLICACIÓN

Esta norma mexicana es aplicable a especímenes cilíndricos moldeados, corazones de concreto y cubos, con masa unitaria mayor a 900 kg/m^3 .

3. REFERENCIAS

Para la correcta aplicación de esta norma mexicana es necesario consultar las siguientes normas mexicanas o las que la sustituyan.

NMX-C-109-ONNCCE-2013	Industria de la construcción – Concreto Hidráulico - Cabeceo de especímenes cilíndricos. (Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 31 de enero de 2014).
NMX-C-159-ONNCCE-2004	Industria de la construcción -Concreto- Elaboración y curado de especímenes en el laboratorio (Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 01 de marzo de 2004).
NMX-C-160-ONNCCE-2004	Industria de la construcción - Concreto - Elaboración y curado en obra de especímenes de concreto (Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 27 de julio de 2004).
NMX-C-169-ONNCCE-2009	Industria de la construcción - Concreto - Extracción de especímenes cilíndricos o prismáticos de concreto hidráulico endurecido. (Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 20 de noviembre de 2009).
NMX-C-251-1997-ONNCCE	Industria de la construcción-Concreto-Terminología. (Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 19 de marzo de 1998).
NMX-C-469-ONNCCE-2013	Industria de la construcción – Concreto hidráulico – Uso de casquetes no adheridos para la determinación de la resistencia a compresión de cilindros de concreto endurecido – Método de preparación. (Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 31 de enero de 2014).

4. DEFINICIONES

Para la correcta aplicación de esta norma es necesario consultar las definiciones especificadas en la norma NMX-C-251-ONNCCE (véase 3 referencias).

5. EQUIPO

5.1. Máquina de ensayo

Con la capacidad y características necesaria para la resistencia de los especímenes a ensayar.

5.1.1. Equipada con dos bloques de acero para la aplicación de la carga, con superficie de contacto que no se deforme al aplicar las cargas requeridas. Uno de los bloques debe tener asiento esférico y apoyarse en la parte superior del espécimen y el otro bloque rígido sobre el cual debe descansar el mismo.

Para facilitar el centrado, se pueden grabar círculos concéntricos que no tengan más de 1,2 mm de ancho.

Con excepción de los círculos concéntricos, la superficie de apoyo no debe diferir de un plano en más de 0,05 mm en una longitud de 150 mm.

- 5.1.3.** El apoyo inferior debe ser un bloque (platina) adicional que puede o no estar fijo a la platina.
- 5.1.3.1.** En caso de existir un bloque adicional, éste debe tener las mismas condiciones específicas de superficies y debe ser por lo menos 3 % mayor que el diámetro o diagonal del espécimen que se va a ensayar, el uso de círculos concéntricos es opcional.
- 5.1.3.2.** El centro de los círculos concéntricos en el bloque inferior de apoyo, cuando se tengan, o el centro del bloque, debe coincidir con el centro de la cabeza esférica.
- 5.1.4.** El bloque de apoyo inferior debe tener como mínimo 22,5 mm de espesor.
- 5.1.4.1.** El bloque superior de carga, con asiento esférico, debe de ser por lo menos 3 % más ancho que el diámetro (o diagonal en caso de cubos) que el espécimen a ensayar y de un ancho máximo de 100 mm mayor que el diámetro (o diagonal en caso de cubos) que el espécimen a ensayar. Los bloques de apoyo con asiento esférico pueden tener caras cuadradas, siempre y cuando se cumpla con lo antes descrito.
- 5.1.4.2.** La placa de carga superior puede ser de dimensiones mayores siempre que exista acoplamiento a la base superior del espécimen por ensayar, mediante la verificación de la planicidad de la superficie de la placa.
- 5.1.4.3.** El centro de la esfera debe coincidir con el centro de la superficie de la cara de apoyo con una tolerancia de $\pm 5\%$ del radio de la esfera y el diámetro de la esfera debe ser cuando menos 75 % del diámetro del espécimen que se va a ensayar.

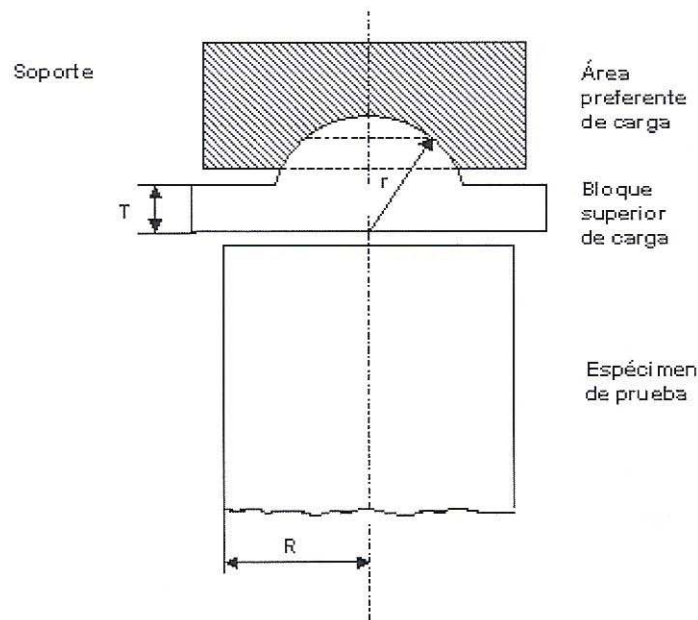


FIGURA 1.- Ejemplo de bloque de carga con asiento esférico

Esta figura es ilustrativa

NOTA 1:

- 1.- "T" no debe ser menor que la diferencia de $R-r$.
- 2.- Se deben tener los dispositivos necesarios para sostener el bloque superior del soporte.

- 5.1.4.4.** La porción móvil del bloque de carga debe girar libremente por lo menos 4° en cualquier dirección.

5.2. Dispositivos de lectura de carga

Si la carga se registra en una carátula, debe tener una graduación que inicie en forma progresiva cuando menos en el 10 % de su capacidad. La aguja indicadora debe tener la longitud suficiente para coincidir con las marcas de graduación y el ancho de su extremo no debe ser mayor que el claro libre entre dos divisiones mínimas. Debe tener una aguja de arrastre de la misma longitud que la aguja indicadora.

Las máquinas con sistema digital deben estar equipadas con un dispositivo que registre la carga máxima aplicada.

5.3. Verificación de carga

El error de exactitud tolerado en la máquina de ensayo debe ser como máximo de $\pm 3\%$ de la carga aplicada.

La máquina debe calibrarse o verificarse antes de ser puesta en operación, posteriormente cada año o cada 40 000 ensayos y si no se detectan desviaciones en 3 años puede ampliarse el periodo. Así mismo, se debe verificar después de que se cambie de sitio, de que se efectúen reparaciones o ajustes en los mecanismos de medición; o calibrarla si se tiene duda de los resultados. Las calibraciones o verificaciones de los manómetros deben de hacerse colocados en la prensa con la que se van a utilizar, si se usan en otra prensa, debe realizarse su calibración o verificación nuevamente antes de ser usados.

5.4. Escala graduada

Con capacidad para medir por lo menos una distancia de 310 mm y división mínima de 1 mm.

6. PREPARACIÓN Y ACONDICIONAMIENTO DE LAS MUESTRAS

Los especímenes moldeados deben elaborarse de acuerdo a las normas mexicanas NMX-C-159-ONNCCE o NMX-C-160-ONNCCE (véase 3 referencias) y los núcleos extraídos, de acuerdo a la norma mexicana NMX-C-169-ONNCCE (véase 3 referencias), en caso de ser proporcionados por el cliente, se debe anotar en el informe de resultados.

6.1. Dimensiones

En caso de cilindros se determinan el diámetro y la altura del espécimen de ensayo, promediando según sea el caso, 2 medidas perpendiculares entre sí a la altura media del espécimen y 2 alturas opuestas con una aproximación de 1 mm.

En caso de cubos se miden dos lados opuestos y dos alturas.

Cuando la altura promedio del espécimen es menor de 1,8 veces el diámetro (en caso de cilindros), el resultado de la resistencia debe corregirse por esbeltez de acuerdo a la tabla 1, no deben ensayarse especímenes con relación diámetro a altura menor de 1:1; en caso de cubos, la relación debe ser de 1:1 con una variación aceptable del 1 % de diferencia en las dimensiones nominales.

NOTA 2: La relación de esbeltez se mide con el cilindro ya cabeceado (en caso de cabeceo con mortero de azufre). Cuando son placas no adheridas, la altura es sólo del espécimen.

TABLA 1.- Factores de corrección por esbeltez para especímenes cilíndricos

Relación altura – diámetro del espécimen (x)	Factor de corrección a la resistencia (y)	Relación altura – diámetro del espécimen (x)	Factor de corrección a la resistencia (y)
2,00	1,000	1,40	0,958
1,80	0,992	1,39	0,957
1,79	0,992	1,38	0,956
1,78	0,991	1,37	0,954
1,77	0,991	1,36	0,953
1,76	0,990	1,35	0,952
1,75	0,990	1,34	0,951
1,74	0,989	1,33	0,950
1,73	0,988	1,32	0,948
1,72	0,988	1,31	0,947
1,71	0,987	1,30	0,946
1,70	0,986	1,29	0,945
1,69	0,985	1,28	0,944
1,68	0,984	1,27	0,942
1,67	0,981	1,26	0,941
1,66	0,983	1,25	0,940

TABLA 1.- Factores de corrección por esbeltez para especímenes cilíndricos
(Continuación)

Relación altura – diámetro del espécimen (x)	Factor de corrección a la resistencia (y)	Relación altura – diámetro del espécimen (x)	Factor de corrección a la resistencia (y)
1,65	0,982	1,24	0,939
1,64	0,981	1,23	0,938
1,63	0,980	1,22	0,936
1,62	0,980	1,21	0,935
1,61	0,979	1,20	0,934
1,60	0,978	1,19	0,933
1,59	0,977	1,18	0,932
1,58	0,976	1,17	0,930
1,57	0,976	1,16	0,929
1,56	0,975	1,15	0,928
1,55	0,974	1,14	0,927
1,54	0,973	1,13	0,926
1,53	0,972	1,12	0,924
1,52	0,972	1,11	0,923
1,51	0,971	1,10	0,922
1,50	0,970	1,09	0,921
1,49	0,969	1,08	0,920
1,48	0,968	1,07	0,918
1,47	0,966	1,06	0,917
1,46	0,965	1,05	0,916
1,45	0,964	1,04	0,915
1,44	0,963	1,03	0,914
1,43	0,962	1,02	0,912
1,42	0,960	1,01	0,911
1,41	0,959	1,00	0,910

6.2. Cabeceo

Antes del ensayo, las bases o caras de aplicación de carga de los especímenes no se deben apartar de la perpendicular al eje en más de 0,5° (aproximadamente 3 mm en 300 mm) y no deben tener irregularidades que excedan de 0,05 mm, en caso contrario la cara que no cumpla debe ser cabeceada de acuerdo a lo indicado en la norma mexicana NMX-C-109-ONNCCE (véase 3 referencias) o utilizarse casquetes de neopreno como preparación de acuerdo a lo indicado en la norma mexicana NMX-C-469-ONNCCE (véase 3 referencias).

7. CONDICIONES AMBIENTALES

Las que prevalezcan dentro del laboratorio.

8. PROCEDIMIENTO

8.1. Colocación de especímenes en la máquina de ensayo

Limpiar las superficies de las placas superior e inferior y las cabezas del espécimen de ensayo, se coloca este último sobre la placa inferior alineando su eje con el centro de la placa de carga con asiento esférico; mientras la placa superior hace un contacto suave y uniforme. Los cubos se colocan en la prensa sobre las caras que estuvieron en contacto con las paredes del molde.

8.2. Velocidad de aplicación de carga

Se debe aplicar la carga con una velocidad continua sin producir impacto, ni pérdida de carga. La velocidad de carga debe estar dentro de los intervalos indicados en la tabla 2, para otras dimensiones de diámetro o lado se calcula la velocidad de carga de acuerdo a lo especificado. Se permite una velocidad controlada mayor durante la aplicación

de la primera mitad de la carga máxima esperada siempre y cuando durante la segunda mitad se mantenga la velocidad especificada.

TABLA 2.- velocidad de aplicación de carga

Velocidad de aplicación de carga	Forma del espécimen	Diámetro o lado nominal de los especímenes cm (pulgadas)	Área nominal (cm ²)	Carga mínima kN/s (t/min)	Carga máxima kN/s (t/min)
0,25 MPa/s $\pm$ 0,05 MPa/s (2,55 kg/cm ² /s $\pm$ 0,51 kg/cm ² /s)	cilindros	5,00 (2") de diámetro	19,64	0,4 (2,4)	0,6 (3,6)
		7,50 (3") de diámetro	44,18	0,9 (5,4)	1,3 (8,1)
		10,00 (4") de diámetro	78,54	1,6 (9,6)	2,4 (14,4)
		15,00 (6") de diámetro	176,72	3,5 (21,6)	5,3 (32,4)
	cubos	5,00 (2") de lado	25,00	0,5 (3,1)	0,8 (4,6)
		7,50 (3") de lado	56,25	1,1 (6,9)	1,7 (10,3)
		10,00 (4") de lado	100,00	2,0 (12,2)	3,0 (18,4)
		15,00 (6") de lado	225,00	4,5 (27,5)	6,8 (41,3)

8.2.2. Aplicar la carga hasta que el indicador señale que es la carga máxima alcanzada.

En 1 de cada 10 especímenes se continúa la carga hasta mostrar de forma definida el tipo de falla (ruptura), registrándola (véase figura 2).

Si las condiciones de ensayo provocan un estallido en el concreto, y no es posible registrar la falla, sólo se registra esta situación (como en el caso de concretos de resistencia especificada superior a 400 kg/cm²) donde al ensayar los especímenes, no se aprecie la falla o se destruyen antes de apreciarla).

8.2.3. Los especímenes para la aceptación o rechazo de concreto deben ensayarse a la edad especificada con las siguientes tolerancias (véase tabla 3):

TABLA 3.- Tolerancias

Edad de ensayo especificada	Tolerancia permisible
24 h	$\pm$ 0,5 h
3 días	$\pm$ 2 h
7 días	$\pm$ 6 h
14 días	$\pm$ 12 h
28 días	$\pm$ 20 h
90 días	$\pm$ 48 h

Para aquellos especímenes en los cuales no se tenga una edad de ensayo dentro de la tabla anterior, se debe ensayar con las tolerancias que se fijan en común acuerdo por los interesados.

NORMA MEXICANA
NMX-C-111-ONNCCE-2014
Esta norma cancela a la
NMX-C-111-ONNCCE-2004

Declaratoria de vigencia publicada en el
D. O. F. el día 07 de noviembre de 2014

**"INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN - AGREGADOS PARA
CONCRETO HIDRÁULICO - ESPECIFICACIONES
Y MÉTODOS DE ENSAYO"**

**"BUILDING INDUSTRY - AGGREGATES FOR HYDRAULIC
CONCRETE - SPECIFICATIONS AND TEST METHODS"**

Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S. C.
Ceres #7, Col. Crédito Constructor C. P. 03940, México, D. F. Tel: (01 55) 56 63 29 50 ext. 103
Correo electrónico: normas@mail.onncce.org.mx Internet: <http://www.onncce.org.mx>
©COPYRIGHT, DERECHOS RESERVADOS ONNCCE, S. C., MÉXICO MMXIV



COMITÉ TÉCNICO DE NORMALIZACIÓN DE PRODUCTOS, SISTEMAS Y SERVICIOS PARA LA CONSTRUCCIÓN

0. PREFACIO

En la elaboración de esta norma, participaron las siguientes empresas e instituciones:

- ASOCIACIÓN MEXICANA DE LA INDUSTRIA DEL CONCRETO PREMEZCLADO, A. C. (AMIC)
- ASOCIACIÓN NACIONAL DE LABORATORIOS INDEPENDIENTES AL SERVICIO DE LA CONSTRUCCIÓN, A. C. (ANALISEC)
- CEMEX CONCRETOS, S. A. DE C. V. (CEMEX)
- CENTRO DE INVESTIGACIÓN PARA EL DESARROLLO INDUSTRIAL DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE GUADALAJARA.
- CONCRETOS KARYMA, S. A. DE C. V.
- FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNAM (FI-UNAM)
- INSPECTEC, SUPERVISIÓN Y LABORATORIOS, S. A. DE C. V.
- INSTITUTO DE INGENIERÍA DE LA UNAM (II-UNAM)
- INSTITUTO MEXICANO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO, A. C. (IMCYC)
- INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE (IMT)
- JAGUAR Y ASOCIADOS, S. A. DE C. V.
- LADEMAC, S. A. DE C. V.
- LANC, S. C.
- PEP INGENIERÍA DE SUELOS, S. A. DE C. V.
- RESISTENCIAS SAN MARINO, S. A. DE C. V.
- SECCIÓN CENTRO Y SUR DE LA CIUDAD DE MÉXICO DEL AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, A. C. (ACI)
- SECRETARÍA DE LA CONTRALORÍA DEL GOBIERNO DEL ESTADO DE MÉXICO.

ÍNDICE

	PÁGINA
PREFACIO	2
1. OBJETIVO	3
2. CAMPO DE APLICACIÓN	3
3. REFERENCIAS	3
4. DEFINICIONES	4
4.1. Agregados	4
4.2. Coeficiente volumétrico	4
4.3. Contracción lineal	4
4.4. Intemperismo	4
4.5. Estados de consistencia de un suelo	5
4.6. Límites de consistencia	5
4.7. Límites de plasticidad	5
4.8. Módulo de finura	5
4.9. Reactividad de potencial	5
4.10. Sustancias nocivas	5
5. CLASIFICACIÓN	5
5.1. Por tamaño de partícula	5
5.2. Por masa unitaria	6

6.	ESPECIFICACIONES	6
6.1.	Granulometría para los agregados fino y grueso.....	6
6.2.	Coeficiente volumétrico (de forma).....	7
6.3.	Sustancias nocivas.....	7
6.4.	Reactividad potencial (reacción álcali-agregado).....	13
6.5.	Sanidad (intemperismo acelerado).....	17
6.6.	Abrasión (desgaste)	17
7.	MUESTREO	17
8.	MÉTODOS DE ENSAYO	17
8.1.	Granulometría.....	17
8.2.	Coeficiente volumétrico (de forma).....	17
8.3.	Sustancias nocivas.....	17
8.4.	Materiales finos que pasan por la criba 0,075 mm (malla No. 200).....	18
8.5.	Reactividad potencial (reacción álcali - agregado)	18
8.6.	Sanidad (intemperismo acelerado).....	18
8.7.	Abrasión (desgaste)	18
9.	BIBLIOGRAFÍA.....	19
10.	CONCORDANCIA CON NORMAS INTERNACIONALES.....	19
11.	VIGENCIA	19

1. OBJETIVO

Esta norma mexicana establece las especificaciones y métodos de ensayo que deben cumplir los agregados naturales, procesados y mixtos de uso común para la producción de concretos de masa normal.

2. CAMPO DE APLICACIÓN

Esta norma mexicana aplica a los agregados para concretos de masa unitaria normal (usualmente de 1 900 kg/m³ a 2 400 kg/m³), y de concretos de resistencias alta y normal, elaborados con agregados naturales, procesados y mixtos.

3. REFERENCIAS

Para la correcta aplicación de esta norma mexicana es necesario consultar las siguientes normas mexicanas o las que las sustituyan.

NMX-C-030-ONNCCE-2004	Industria de la construcción - Agregados - Muestreo. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 17 de febrero de 2004.
NMX-C-071-ONNCCE-2004	Industria de la construcción - Agregados - Determinación de terrones de arcilla y partículas deleznales. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 17 de febrero de 2004.
NMX-C-072-1997-ONNCCE	Industria de la construcción - Agregados -Determinación de partículas ligeras. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 19 de marzo de 1998.
NMX-C-075-ONNCCE-2006	Industria de la construcción - Agregados - Determinación de la sanidad por medio del sulfato de sodio o el sulfato de magnesio. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 22 de junio de 2006.
NMX-C-076-ONNCCE-2002	Industria de la construcción - Agregados - Efecto de las impurezas orgánicas en los agregados finos sobre la resistencia de los morteros - Método de prueba. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 13 de febrero de 2003.
NMX-C-077-1997-ONNCCE	Industria de la construcción - Agregados para concreto - Análisis granulométrico - Método de prueba. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 19 de marzo de 1997.
NMX-C-084-ONNCCE-2006	Industria de la construcción - Agregados para concreto - Partículas más finas que la criba 0,075 mm (No. 200) por medio de lavado - Método de prueba. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 22 junio 2006.
NMX-C-088-1997-ONNCCE	Industria de la construcción - Agregados - Determinación de impurezas orgánicas en el agregado fino. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 26 de febrero de 1998.
NMX-C-170-1997-ONNCCE	Industria de la construcción - Agregados - Reducción de las muestras de agregados obtenidas en el campo al tamaño requerido para las pruebas. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 10 marzo de 1998.

NMX-C-180-ONNCCE-2010	Industria de la Construcción – Cemento hidráulico- Determinación de la reactividad potencial de los agregados con los álcalis de cementantes hidráulicos por medio de barras de mortero. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 7 de abril de 2011.
NMX-C-196-ONNCCE-2010	Industria de la construcción - Agregados - Resistencia a la degradación por abrasión e impacto del agregado grueso usando la máquina de los ángeles - Método de prueba. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 25 de octubre de 2010.
NMX-C-251-1997-ONNCCE	Industria de la construcción - Concreto – Terminología. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 19 de marzo de 1998.
NMX-C-265-ONNCCE-2010	Industria de la construcción - Agregados para concreto hidráulico - Examen petrográfico - Método de ensayo. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 30 de noviembre de 2010.
NMX-C-271-ONNCCE-1999	Industria de la construcción - Agregados para concreto - Determinación de la reactividad potencial (método químico). Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 24 de noviembre de 1999.
NMX-C-272-ONNCCE-1999	Industria de la construcción - Agregados - Reactividad potencial de rocas de carbonatos en agregados para concreto con los álcalis (método del cilindro de roca). Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 24 de noviembre de 1999.
NMX-C-298-ONNCCE-2010	Industria de la construcción - Aditivos para concreto hidráulico - Determinación de la efectividad de las adiciones cementantes hidráulicas y aditivos químicos para prevenir o mitigar la expansión del concreto debido a la reacción álcali-sílice. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 16 de febrero de 2011.
NMX-C-416-ONNCCE-2003	Industria de la construcción – Muestreo de estructuras térreas y métodos de prueba. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 10 de octubre de 2003.
NMX-C-436-ONNCCE-2004	Industria de la construcción - Agregados para concreto - Coeficiente volumétrico (de forma) en agregado grueso - Método de prueba. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 1 de marzo de 2004.

4. DEFINICIONES

Para los efectos de esta norma mexicana se establecen las siguientes definiciones, adicionales a las establecidas en la terminología de la norma NMX-C-251-ONNCCE (véase 3. Referencias).

4.1. Agregados

Son materiales de naturaleza pétreo que pueden proceder de minas, de bancos de extracción, de la trituration de elementos de concreto o también resultantes de un proceso industrial que al ser mezclados con cementantes, permiten según el caso la elaboración de concretos y morteros.

4.2. Coeficiente volumétrico

Es la relación que existe entre la suma de los volúmenes de las partículas representativas del agregado grueso que componen una muestra con la suma de los volúmenes de las esferas que circunscriben a cada partícula de dicha muestra.

4.3. Contracción lineal

Determina el porcentaje de variación en la longitud de una muestra de suelo al disminuir su contenido de agua desde el límite líquido hasta el límite de contracción, respecto de su longitud inicial.

4.4. Intemperismo

Es el efecto de la acción del medio ambiente sobre los agregados en su estado natural.

4.5. Estados de consistencia de un suelo

Son las diferentes condiciones que presenta un suelo de acuerdo a su contenido de agua, las cuales pueden ser: líquido, semilíquido, plástico, semisólido y sólido.

4.6. Límites de consistencia

Son las fronteras que delimitan los estados de consistencia de un suelo cuando se somete a un proceso de secado, establecidos convencionalmente como: límite de plasticidad, límite de cohesión, límite de adhesión y límite de contracción.

4.7. Límites de plasticidad

4.7.1. Límite líquido

El contenido de agua, en porcentaje, de un suelo en la frontera definida convencionalmente entre el estado semilíquido y el estado plástico.

4.7.2. Límite plástico

El contenido de agua, en porcentaje, de un suelo en la frontera definida convencionalmente entre el estado plástico y el estado semisólido.

4.7.3. Índice plástico

Es el intervalo de contenido de agua en el cual un suelo se comporta plásticamente. Numéricamente, es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico.

4.8. Módulo de finura

Es la sumatoria de los porcentajes retenidos acumulados en las cribas 4,75 mm (malla No. 4), 2,36 mm (malla No. 8), 1,18 mm (malla No. 16), 0,600 mm (malla No. 30), 0,300 mm (malla No. 50) y la 0,150 mm (malla No. 100), divididos entre 100, aplicable a la arena.

4.9. Reactividad potencial

Es la medida de la susceptibilidad para que ocurran reacciones químicas cuyos efectos son cambios volumétricos adversos a la integridad del concreto, que tienen lugar con cierta clase de agregados cuando éstos entran en contacto con la pasta de cemento; las reacciones ocurren entre la sílice o el carbonato de ciertas rocas o minerales que forman parte de los agregados y los álcalis (óxido de sodio y de potasio), que normalmente provienen del cemento. Estas reacciones se conocen como reacción álcali-sílice y álcali-carbonato.

4.10. Sustancias nocivas

Se consideran sustancias nocivas en los agregados: terrones de arcilla, finos con propiedades plásticas, partículas deleznales, carbón y lignito, materia orgánica, material fino que pasa la criba 0,075 mm (malla No 200), agregados potencialmente reactivos con los álcalis del cemento, materiales intemperizados, y materiales con limitada resistencia al impacto y a la abrasión.

5. CLASIFICACIÓN

5.1. Por tamaño de partícula

5.1.1. Agregado fino

Es el material comúnmente conocido como arena que pasa por la criba con abertura de 4,75 mm (malla No. 4) y se retiene en la criba con abertura de 0,075 mm (malla No. 200) y cuya composición granulométrica varía entre límites especificados.

5.1.2. Agregado grueso

Es el material comúnmente conocido como grava que se retiene en la criba con abertura de 4,75 mm (malla No. 4) y pasa totalmente por la criba con abertura de 75 mm (malla de 3 pulgadas) y cuya composición granulométrica varía entre límites especificados.

5.2. Por masa unitaria

La masa unitaria también es conocida como masa volumétrica.

5.2.1. Ligeros

Aquellos que producen concretos con masa unitaria menores que $1\,900\text{ kg/m}^3$, sin la presencia de elementos que generen aire o gas.

5.2.2. Normal

Aquellos que producen concretos con una masa unitaria de $1\,900\text{ kg/m}^3$ a $2\,400\text{ kg/m}^3$

5.2.3. Pesados

Aquellos que producen concretos con una masa unitaria mayor que $2\,400\text{ kg/m}^3$

6. ESPECIFICACIONES

6.1. Granulometría para los agregados fino y grueso

Los agregados objeto de esta norma mexicana de acuerdo con su tipo deben cumplir con la granulometría que se especifica a continuación según corresponda.

6.1.1. Agregado fino

Debe cumplir con los límites granulométricos que se indican a continuación:

a) Estar dentro de los límites establecidos en la tabla 1 de esta norma mexicana, excepto en los casos que se indican en los párrafos c y d de este inciso.

b) El módulo de finura debe estar comprendido entre los siguientes parámetros 2,30 y 3,10. El módulo de finura puede ser determinado con ensayos previos, de no existir éstos, se puede determinar con el promedio del valor obtenido de los primeros 10 ensayos consecutivos o el promedio de los ensayos que haya cuando no se complete este número.

c) El retenido parcial de la masa total en cualquier criba no debe ser mayor que 45%. Pueden aumentarse los porcentajes del retenido acumulado de la masa ensayada en las cribas 0,300 mm (malla No. 50) y 0,150 mm (malla No. 100) a 95% y 100%, respectivamente, siempre y cuando el contenido de cemento del concreto en que se vaya a utilizar el agregado sea mayor que 240 kg/m^3 para concreto con aire incluido, o mayor que 300 kg/m^3 para concreto sin aire incluido o bien, añadiendo un adicionante (cementante) que supla la deficiencia de material que pase por estas cribas.

d) En el caso que los agregados que se pretendan emplear no cumplan con las tolerancias indicadas en los incisos a, b, y c, estos, pueden usarse siempre y cuando existan antecedentes de comportamiento aceptable en el concreto elaborado con ellos, o bien, que los resultados de los ensayos realizados a estos concretos sean satisfactorias; los agregados se pueden usar siempre que se haga un ajuste apropiado en el proporcionamiento del concreto, para compensar las deficiencias en la granulometría.

TABLA 1.- Límites de granulometría para agregado fino

Criba mm (malla No.)	Material acumulado en masa, en porcentaje; % que pasa
9,5 (3/8")	100
4,75 (No. 4)	95 - 100
2,36 (No. 8)	80 - 100
1,18 (No. 16)	50 - 85
0,600 (No. 30)	25 - 60
0,300 (No. 50)	10 - 30
0,150 (No. 100)	2 - 10

Esta determinación se debe realizar de acuerdo con lo establecido en 8.1.1.

6.1.2. Agregado grueso

Debe cumplir con los límites granulométricos que establece la tabla 2.

Cuando se tengan agregados gruesos fuera de los límites indicados en la tabla 2, se deben procesar para que satisfagan dichos límites.

En el caso de aceptar que los agregados no cumplan con estos límites debe de ajustarse el proporcionamiento del concreto para compensar las deficiencias granulométricas, por lo tanto, debe demostrarse que el concreto elaborado tiene un comportamiento adecuado.

Esta determinación se debe realizar de acuerdo con lo establecido en 8.1.2.

6.2. Coeficiente volumétrico (de forma)

Los agregados gruesos deben tener un coeficiente volumétrico mayor o igual que 0,20.

En caso de utilizar agregados con coeficiente volumétrico menor que 0,20, debe realizarse un estudio que muestre el impacto de su uso, y hacer los ajustes correspondientes en las mezclas de concreto, para satisfacer los requisitos de cohesión, trabajabilidad, módulo de elasticidad y contracción requeridos por el cliente.

Esta determinación se debe realizar de acuerdo con lo establecido en el inciso 8.2.

6.3. Sustancias nocivas

Los límites establecidos para las sustancias nocivas son los que se indican del inciso 6.3.1. al 6.3.4.

6.3.1. Sustancias nocivas en el agregado fino

6.3.1.1. La cantidad de terrones de arcilla, partículas deleznales y carbón o lignito en la arena, no deben exceder los límites que establece la tabla 3 de esta norma.

Esta determinación se debe realizar de acuerdo con lo establecido en el inciso 8.3.1.

TABLA 2.- Límites granulométricos del agregado grueso, en masa, en porcentaje que pasa

Tamaño nominal, mm (Pulg)	100 4"	90 3 1/2"	75 3"	63 2 1/2"	50 2"	37.5 1 1/2"	25 1"	19 3/4"	12,5 1/2 "	9,5 3/8 "	No 4 4,75	No 8 2,36	No 16 1,18
90,0 a 37,5 (3 1/2" a 1 1/2")	100	90 a 100	----	25 a 60	----	0 a 15	----	0 a 5	----	----	----	----	----
63,0 a 37,5 (2 1/2" a 1 1/2")	----	----	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	----	0 a 5	----	----	----	----	----
50,0 a 25,0 (2" a 1")	----	----	----	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	----	0 a 5	----	----	----	----
50,0 a 4,75 (2" a No. 4)	----	----	----	100	95 a 100	----	35 a 70	----	10 a 30	----	0 a 5	----	----
37,5 a 19,0 (1 1/2" a 3/4")	----	----	----	----	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	----	0 a 5	----	----	----
37,5 a 4,75 (1 1/2" a No. 4)	----	----	----	----	100	95 a 100	----	35 a 70	----	10 a 30	0 a 5	----	----
25,0 a 12,5 (1" a 1/2")	----	----	----	----	----	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	----	----	----
25,0 a 9,5 (1" a 3/8")	----	----	----	----	----	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	----	----
25,0 a 4,75 (1" a No. 4)	----	----	----	----	----	100	95 a 100	----	25 a 60	----	0 a 10	0 a 5	----
19,0 a 9,5 (3/4" a 3/8")	----	----	----	----	----	----	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	----	----
19,0 a 4,75 (3/4" a No. 4)	----	----	----	----	----	----	100	90 a 100	----	20 a 55	0 a 10	0 a 5	----
12,5 a 4,75 (1/2" a No. 4)	----	----	----	----	----	----	----	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	----
9,5 a 2,36 (3/8" a No. 8)	----	----	----	----	----	----	----	----	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5

TABLA 3.- Límites máximos de terrones de arcilla, partículas deleznales, carbón y lignito en el agregado fino

Concepto	Material máximo permisible en la masa total de la muestra, en %
Terrones de arcilla y partículas deleznales	3,0
Carbón y lignito:	
En concreto aparente	0,5
En otros concretos	1,0

6.3.1.2. Impurezas orgánicas (materia orgánica)

La arena debe estar libre de cantidades perjudiciales de impurezas orgánicas. Los agregados después de efectuar el ensayo de impurezas orgánicas, que den un color más oscuro que la coloración No. 3, deben rechazarse, excepto, si se demuestra que la coloración es debida a la presencia de pequeñas cantidades de carbón, lignito o partículas semejantes, o bien, si se demuestra que el efecto de las impurezas orgánicas en morteros ensayados a la edad de 7 días, dan resistencias calculadas no menores que el 95%, conforme al método que establece la norma NMX-C-076-ONNCCE (véase 3. Referencias).

Esta determinación se debe realizar de acuerdo con lo establecido en el inciso 8.3.3.

6.3.1.3. Materiales finos que pasan por la criba 0,075 mm (malla No. 200)

El material fino de los agregados que pasa por la criba 0,075 mm (malla No. 200) debe cumplir con las condiciones establecidas en la tabla 4. La determinación se realiza de acuerdo con el método de ensayo indicado en la norma NMX-C-084-ONNCCE (véase 3. Referencias).

**NORMA MEXICANA
NMX-C-122-ONNCCE-2004**

Esta norma cancela y sustituye a la
NMX-C-122-1982
Declaratoria de vigencia publicada en el
D.O.F. el día 1 de marzo de 2004.

**"INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN - AGUA PARA CONCRETO -
ESPECIFICACIONES"**

**"BUILDING INDUSTRY - WATER FOR CONCRETE -
SPECIFICATIONS"**

Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C.
Constitución # 50, Col. Escandón C.P. 11800, México, D.F. Tel. 52 73 19 91 Fax. 52 73 34 31

Correo electrónico: normas@mail.onncce.org.mx Internet: <http://www.onncce.org.mx>

©PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL SIN AUTORIZACIÓN POR ESCRITO DEL ONNCCE



**COMITÉ TÉCNICO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN DE
MATERIALES COMPONENTES Y SISTEMAS ESTRUCTURALES CTN- 1**

PREFACIO

En la elaboración de esta norma mexicana, participaron las siguientes Empresas e Instituciones

- ASOCIACIÓN MEXICANA DE LA INDUSTRIA DEL CONCRETO PREMEZCLADO A.C. (AMICPAC)
- ASOCIACIÓN NACIONAL DE LABORATORIOS INDEPENDIENTES AL SERVICIO DE LA CONSTRUCCIÓN, A.C. (ANALISEC)
- CEMEX CONCRETOS, S.A. DE C.V.
- CONCRETO DE MORELOS S.A. DE C.V. (COMOSA)
- CONCRETOS APASCO S.A. DE C.V.
- CONCRETOS CRUZ AZUL, S.A. DE C.V.
- CONCRETOS KARYMA, S.A. DE C.V.
- ESTUDIOS, DISEÑOS Y LABORATORIO, S.A. DE C.V. (EDYL)
- ETA CONSULTORES, S.A. DE C.V.
- GRUPO CORPORATIVO INTERESTATAL, S.A. DE C.V. (TRIBASA)
- INGENIEROS CIVILES ASOCIADOS, S.A. DE C.V. (ICA)
- INSPECTEC, SUPERVISIÓN Y LABORATORIOS, S.A. DE C.V.
- INSTITUTO MEXICANO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO, A.C. (IMCYC)
- KAPRA, S.A. DE C.V.
- LABORATORIO DE ALTO NIVEL EN CALIDAD S.C. (LANC)
- LABORATORIO DE CONSULTORÍA Y SUPERVISIÓN S.A. DE C.V.
- LABORATORIO DE CONTROL, S.A. DE C.V.
- LADEMAC, S.A. DE C.V.
- LATINOAMERICANA DE CONCRETOS, S.A. DE C.V. (LACOSA)
- POLARCRETO, S.A. DE C.V.
- RESISTENCIAS SAN MARINO, S.A. DE C.V.
- SECCIÓN CENTRO Y SUR CIUDAD DE MÉXICO DEL AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, A.C. (ACI)

ÍNDICE

	Página
PREFACIO	2
0. INTRODUCCIÓN	3
1. OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN	3
2. REFERENCIAS	3
3. DEFINICIONES	3
3.1. Aguas ácidas naturales	3
3.2. Aguas fuertemente salinas	4
3.2.1. Aguas alcalinas	4
3.2.2. Aguas cloruradas	4
3.2.3. Aguas de mar	4
3.2.4. Aguas magnesianas	4
3.2.5. Aguas sulfatadas (Selenitosas)	4
3.3. Aguas industriales	4

3.4.	Aguas negras	4
3.5.	Aguas puras	4
3.6.	Aguas recicladas	4
3.7.	Cementos Pórtland ricos en calcio	5
3.8.	Cementos sulfuresistentes	5
4.	CLASIFICACIÓN POR ACCIÓN AGRESIVA DE LAS AGUAS	5
4.1.	Aguas puras	5
4.2.	Aguas ácidas naturales	5
4.3.	Aguas fuertemente salinas	5
4.3.1.	Aguas alcalinas	5
4.3.2.	Aguas sulfatadas (Selenitosas)	5
4.3.3.	Aguas cloruradas	5
4.3.4.	Aguas magnesianas	5
4.3.5.	Agua de mar	6
4.4.	Aguas recicladas	6
4.5.	Aguas industriales	6
4.6.	Aguas negras	6
5.	ESPECIFICACIONES	7
6.	MUESTREO	7
7.	MÉTODOS DE PRUEBA	7
8.	REPORTE DE RESULTADOS	7
9.	BIBLIOGRAFÍA	7
10.	CONCORDANCIA CON NORMAS INTERNACIONALES	8
A.	APÉNDICE INFORMATIVO	8
A.1.	Vigencia	8

0. INTRODUCCIÓN

La necesidad de conocer los parámetros ideales que deben cumplir las aguas naturales o contaminadas, diferentes de las potables para emplearse en la elaboración y curado de concreto hidráulico propició la elaboración de esta norma mexicana (NMX) de agua para concreto.

1. OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta norma mexicana establece los requisitos para las aguas naturales o contaminadas, diferentes de las potables que se pretendan emplear en la elaboración o curado del concreto hidráulico.

Así mismo se da a conocer la acción agresiva de diferentes tipos de agua.

2. REFERENCIAS

Esta norma se complementa con las siguientes normas mexicanas vigentes:

NMX-C-088-ONNCCE	Industria de la construcción - Agregados - Determinación de impurezas orgánicas en el agregado fino.
NMX-C-277	Agua para concreto - Muestreo.
NMX-C-283	Industria de la construcción - Agua para concreto - Análisis.
NMX-C-414-ONNCCE	Industria de la construcción - Cementos hidráulicos - especificaciones y métodos de prueba.

3. DEFINICIONES

Para la correcta aplicación de esta norma mexicana se establecen las siguientes definiciones:

3.1. Aguas ácidas naturales

Son aquellas que contienen una cantidad notable de gas carbónico libre, agresivo, ácido nítrico o ácidos húmicos y cuyo pH es inferior a 6. Éstas, en general son de lluvia que disuelven en dióxido de carbono (CO₂) u óxidos nítricos del aire que provienen de turberas o pantanos que por descomposición de la materia vegetal son ricas en ácidos húmicos.

3.2. Aguas fuertemente salinas

Son aquellas que tienen alta concentración de una o varias sales; tienen su origen en el alto poder disolvente de las aguas ácidas y de las puras, al atravesar diferentes suelos.

3.2.1. Aguas alcalinas

Son aquellas que han disuelto sales alcalinas de ácidos débiles y que tienen sales de potasio, litio u otros metales monovalentes del tipo alcalino. Estas aguas provienen generalmente de los depósitos graníticos o porfíricos en los que las aguas puras y las ácidas descomponen los feldespatos alcalinos como la Albita y la Ortoclasa que tienen silicatos dobles de aluminio y de un metal alcalino.

3.2.2. Aguas cloruradas

Son las que contienen en mayor proporción cloruros de elementos alcalinos y alcalinotérreos, se originan por la acción disolvente de las aguas puras o las ácidas que atraviesan yacimientos de sal gema o antiguos lechos marinos.

3.2.3. Aguas de mar

Estas tienen una gran cantidad de sales disueltas (aproximadamente 35 000 p.p.m. o más), en la cual predominan el cloruro de sodio, el cloruro de magnesio, el sulfato de magnesio y el sulfato de calcio.

3.2.4. Aguas magnesianas

Son aquellas que contienen cantidades apreciables de sales solubles, de magnesio, tales como cloruros, sulfatos y principalmente bicarbonatos.

Estas aguas provienen de terrenos dolomíticos que por acción del gas carbónico disuelto en el agua los hacen solubles por la transformación de los carbonatos en bicarbonatos; éstos últimos cuando reaccionan con el sulfato de calcio forman el sulfato de magnesio.

3.2.5. Aguas sulfatadas (Selenitosas)

Son las que contienen una gran cantidad de sulfatos alcalinos de litio, sodio, potasio, calcio o magnesio. Algunas de ellas tienen su origen en el ataque de formaciones dolomíticas o con yeso por las aguas puras o las ácidas.

3.3. Aguas industriales

Estas aguas provienen de los desechos de las industrias y dependiendo de su origen pueden ser ácidas, básicas. Las más perjudiciales para el concreto son aquellas que contienen sulfatos, sulfuros, sales amóniacales, azúcares, ácido sulfúrico, clorhídrico, fluorhídrico, nítrico, ácido láctico, acético, fórmico u otros ácidos orgánicos y álcalis cáusticos.

3.4. Aguas negras

Proviene de los desagües de las poblaciones. Su composición es muy compleja y varía en función de la distancia de su punto de origen.

3.5. Aguas puras

Son aquellas cuyo grado hidrotimétrico es inferior a 6 y cuyo pH es aproximadamente 7. En general son aguas que o no tienen sustancias disueltas o las tienen en cantidad mínima y en lo particular aquellas en las que el ion calcio se encuentra en cantidades ínfimas. Estas aguas generalmente provienen de la lluvia, del deshielo de glaciares, nieve o granizo o de manantiales y pozos, de terrenos montañosos cuyas rocas son resistentes al poder disolvente del agua, tales como las porfíricas, basálticas, graníticas, etc.

3.6. Aguas recicladas

Se consideran como tales las que se usan para el lavado interior de las revolvedoras de concreto y que después de un proceso incompleto de sedimentación se emplean en la fabricación de concreto hidráulico. Éstas por lo general tienen en suspensión alto porcentaje de finos del cemento, de los agregados, de sales solubles del cemento y de aditivos cuando se emplean éstos.

3.7. Cementos Pórtland ricos en calcio

Se consideran como tales los cementos Pórtland Ordinarios con contenido de cal libre en el límite tolerable y ricos en silicato tricálcico.

3.8. Cementos sulforesistentes

Se consideran como tales a los cementos Pórtland referidos en la NMX-C-414-ONNCCE (véase Capítulo 2.) con la característica RS (resistente a los sulfatos).

4. CLASIFICACIÓN POR ACCIÓN AGRESIVA DE LAS AGUAS

La agresividad de las aguas para la elaboración y curado del concreto, está en función de la ausencia de algunos compuestos en ellas o de la presencia de sustancias químicas perjudiciales disueltas o en suspensión en concentraciones que sobrepasan determinados límites.

A continuación se describe la forma en que actúan.

4.1. Aguas puras

Son agresivas por su acción disolvente e hidrolizante sobre los compuestos cálcicos del concreto.

4.2. Aguas ácidas naturales

Su acción se debe a la presencia de gas carbónico libre (CO_2) y/o ácidos húmicos que disuelven rápidamente los compuestos del cemento, de los agregados calizos y del concreto.

4.3. Aguas fuertemente salinas

Cuando estas aguas contienen fuerte concentración de ciertas sales, éstas propician que otras muy agresivas se vuelvan más solubles antes de la saturación. Como aguas de mezclado, su acción sobre la cal, es que interrumpe las reacciones de fraguado del cemento y cuando se emplean para curado, puede ejercer acción disolvente sobre los componentes cálcicos del concreto.

4.3.1. Aguas alcalinas

Estas producen la hidrólisis alcalina de ciertos compuestos del cemento por los cationes alcalinos y pueden ser nocivas para los cementos Pórtland mencionados en la NMX-C-414-ONNCCE (véase Capítulo 2.), los cuales sufren un ataque corrosivo con aguas de esta naturaleza ya que los cationes alcalinos tienen una acción sobre los aluminatos cálcicos hidratados y sobre los iones de calcio.

4.3.2. Aguas sulfatadas (Selenitosas)

Estas aguas pueden considerarse las más agresivas, en lo particular para los cementos ricos en cal total y aluminato tricálcico y en lo general para aquellos concretos o morteros fabricados con cementos de reacción básica tales como los Pórtland. En general estas aguas propician la formación de una sal doble fuertemente hidratada, conocida como Sal de Candlot, que es un sulfo aluminato tricálcico bajo una forma pulverulenta y expansiva.

4.3.3. Aguas cloruradas

Estas aguas en general deben considerarse agresivas puesto que la solubilidad de la cal y el yeso en ellas es mayor que en las aguas puras, y en particular este efecto se incrementa en las aguas fuertemente cloruradas, que con la presencia de los cloruros alcalinos favorecen la solubilidad de varias sales agresivas. Por otra parte en determinadas concentraciones puede ejercer una acción disolvente sobre los componentes del cemento y del concreto, y su agresividad es aún mayor en el caso del concreto armado.

4.3.4. Aguas magnesianas

Las aguas magnesianas que contienen sulfato de magnesio, son las más agresivas por la gran solubilidad de éste y su tendencia a fijar la cal formando hidróxido de magnesio y yeso insoluble.

Cuando se encuentra disuelto en el agua de mezclado en fuertes dosis, su acción sobre la cal es la que interrumpe el fraguado y esta acción es mayor en el caso de los cementos Pórtland con alto contenido de aluminato tricálcico.

4.3.5. Agua de mar

La acción de las aguas de mar es muy compleja, se parece a la de las aguas selenitosas naturales y aunque su contenido de sulfatos es superior al de éstas últimas, su proceso de ataque es lento y menos agresivo debido a la acumulación superficial de calcita, formada por la reacción de la cal del cemento con el bicarbonato de calcio que contiene el agua de mar.

Por otra parte el sulfato cálcico no está en el estado de saturación debido a la presencia de otros sulfatos, tales como el de magnesio, que forma un depósito de magnesio insoluble en los poros del concreto. También contribuye a disminuir la agresividad, la acción inhibidora no despreciable, de los cloruros sobre el ataque de los sulfatos. Sin embargo, el empleo del agua de mar en los concretos simples produce eflorescencias. En el concreto reforzado y/o presforzado aumenta el peligro de la corrosión del acero por lo que no debe usarse para estos fines.

4.4. Aguas recicladas

Estas aguas pueden ser agresivas si contienen sulfatos, cloruros y álcalis en concentraciones considerables (véase 3.2.1., 3.2.2. y 3.2.5.). Por otra parte si tiene gran cantidad de sólidos en suspensión, y éstos si no se toman en consideración, el concreto puede acusar los defectos propios del exceso de finos.

4.5. Aguas industriales

Las aguas residuales de las instalaciones industriales, generalmente son perjudiciales para el concreto ya que contienen iones sulfatos (SO_4), ácidos orgánicos e inorgánicos que atacan a todos los tipos de cemento, de éstos los más resistentes son los que prácticamente no contienen cal libre o no tienen posibilidad de liberarla, tales como: los aluminosos, los puzolánicos y los de escoria de alto horno con bajo contenido de clinker.

4.6. Aguas negras

Dada la complejidad de la composición de las aguas negras no es recomendable el uso de ellas en el concreto, ya que sus efectos son imprevisibles, sólo podrían ser utilizadas aquellas que previamente han sido tratadas adecuadamente y que contengan sustancias perjudiciales dentro de los límites que se especifican en la tabla 1 y en general en esta norma.

TABLA 1.- Valores característicos y límites máximos tolerables de sales e impurezas

Sales e Impurezas	Cementos ricos en calcio Límites en p.p.m	Cementos sulfioresistentes Límites en p.p.m
Sólidos en suspensión		
En aguas naturales (limos y arcillas)	2 000	2 000
En aguas recicladas(finos de cemento y agregados)	50 000	35 000
Cloruros como CL (a)		
Para concreto con acero de preesfuerzo y piezas de puente	400 (c)	600 (c)
Para otros concretos reforzados en ambiente húmedos o en contacto con metales como el aluminio, fierro galvanizado y otros similares	700 (c)	1 000 (c)
Sulfato como SO_4 = (a)	3 000	3 500
Magnesio como Mg^{++} (a)	100	150
Carbonatos como CO_3	600	600
Dióxido decarbonato disuelto, como CO_2	5	3
Álcalis totales como Na^+	300	450
Total de impurezas en solución	3 500	4 000
Grasas o Aceites	0	0
Materia orgánica (oxígeno consumido en medio ácido)	150 (b)	150 (b)
Valor del pH	No menor de 6	No menor de 6.5

NOTA 1: Las aguas que exceden los límites enlistados para cloruros, sulfatos y magnesios, pueden emplearse si se demuestra que la concentración calculada de estos compuestos en el agua total de la mezcla, incluyendo el agua de absorción de los agregados u otros orígenes, no exceden dichos límites.

NOTA 2: El agua se puede usar siempre y cuando las arenas que se empleen en el concreto acusen un contenido de materia orgánica cuya coloración sea inferior a 2 de acuerdo con el método de la NMX-C-088 (véase Capítulo 2.)

NOTA 3: Cuando se use cloruro de calcio (CaCl_2) como aditivo acelerante, la cantidad de éste debe tomarse en cuenta para no exceder el límite de cloruros de la tabla

5. ESPECIFICACIONES

Las aguas a que se refiere esta norma, que se pretendan usar para la elaboración y curado del concreto hidráulico, excluyendo de ellas las aguas de mar, deben cumplir los requisitos que aparecen en la tabla 1.

El agua de mar cuando sea imprescindible su empleo, se debe usar únicamente para la fabricación y curado de concretos sin acero de refuerzo.

El agua cuyo análisis muestre que excede alguno o algunos de los límites de la tabla 1, se puede utilizar si se demuestra que en concretos de características semejantes elaborados con esta agua han acusado un comportamiento satisfactorio a través del tiempo en condiciones similares de exposición.

Nota 4: Cuando se sospeche que con la integración de los componentes de los ingredientes del concreto (cemento, agregados, aditivos) el agua puede producir resultados adversos, se deben hacer los estudios y pruebas que se estime necesarios con la debida anticipación.

6. MUESTREO

La toma de muestras para verificar si el agua en cuestión, cumple con los requisitos de esta norma mexicana, se hace de acuerdo con la NMX-C-277 (véase Capítulo 2.).

7. MÉTODOS DE PRUEBA

La determinación de las impurezas de las aguas a que se refiere esta norma se debe hacer de acuerdo con los métodos que se describen en la NMX-C-283, (véase Capítulo 2.) o por cualquier otro método de prueba con el que se obtengan resultados con el mismo grado de confiabilidad.

8. REPORTE DE RESULTADOS

Los resultados de las pruebas realizadas se reportan de acuerdo a lo indicado en cada método de prueba, señalando claramente el origen de la muestra.

9. BIBLIOGRAFÍA

ASTM-C-94-2000 Standard Specification for ready - mixed concrete.

NMX-C-251-1997-ONNCCE Industria de la Construcción - Concreto - Terminología

Au Pied Du Mur
Robert L' Hermite - 1967

Biczoc. Concrete Corrosion 1967

Bureau of Reclamation. Concrete Manual 1979
U.S. Department of the interior.

Concrete technology
D.F. Orchard
Contractor'S Record Ltd.
Limited of London 1977

NORMA MEXICANA

NMX-C-160-ONNCCE-2004

Esta norma cancela y sustituye a la
NMX-C-160-1987

Declaratoria de vigencia publicada en el
D.O.F. el día 27 de julio de 2004.

**"INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN - CONCRETO - ELABORACIÓN
Y CURADO EN OBRA DE ESPECÍMENES DE CONCRETO"**

**"BUILDING INDUSTRY - CONCRETE - MAKING AN CURING
CONCRETE SPECIMENS IN THE FIELD"**

Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C.
Ceres #7, Col. Crédito Constructor C.P. 03940, México, D.F. Tel. 56632950 ext. 110 Fax. 56632950 ext.104
Correo electrónico: normas@mail.onncce.org.mx Internet: <http://www.onncce.org.mx>
©COPYRIGHT, DERECHOS RESERVADOS ONNCCE, S.C., MÉXICO MMVIII



**COMITÉ TÉCNICO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN DE
MATERIALES COMPONENTES Y SISTEMAS ESTRUCTURALES CTN- 1**

0. PREFACIO

Se contó con el valioso apoyo de las siguientes Empresas e Instituciones:

- ASOCIACIÓN MEXICANA DE LA INDUSTRIA DEL CONCRETO PREMEZCLADO A.C. (AMICPAC)
- ASOCIACIÓN NACIONAL DE LABORATORIOS INDEPENDIENTES AL SERVICIO DE LA CONSTRUCCIÓN, A.C. (ANALISEC)
- CEMEX CONCRETOS, S.A.DE C.V.
- CONCRETO DE MORELOS S.A. DE C.V. (COMOSA)
- CONCRETOS APASCO S.A. DE C.V.
- CONCRETOS CRUZ AZUL, S.A. DE C.V.
- CONCRETOS KARYMA, S.A. DE C.V.
- ESTUDIOS, DISEÑOS Y LABORATORIO, S.A. DE C.V. (EDYL)
- ETA CONSULTORES, S.A. DE C.V.
- GRUPO CORPORATIVO INTERESTATAL, S.A. DE C.V. (TRIBASA)
- INGENIEROS CIVILES ASOCIADOS, S.A. DE C.V. (ICA)
- INSPECTEC, SUPERVISIÓN Y LABORATORIOS, S.A. DE C.V.
- INSTITUTO MEXICANO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO, A.C. (IMCYC)
- KAPRA, S.A. DE C.V.
- LABORATORIO DE ALTO NIVEL EN CALIDAD S.C. (LANC)
- LABORATORIO DE CONSULTORÍA Y SUPERVISIÓN S.A. DE C.V.
- LABORATORIO DE CONTROL, S.A. DE C.V.
- LADEMAC, S.A. DE C.V.
- LATINOAMERICANA DE CONCRETOS, S. A. DE C.V. (LACOSA)
- POLARCRETO, S.A. DE C.V.
- RESISTENCIAS SAN MARINO, S.A. DE C.V.
- SECCIÓN CENTRO Y SUR CIUDAD DE MÉXICO DEL AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, A.C. (ACI)

ÍNDICE

	Página
0. PREFACIO	2
1. OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN.....	3
2. REFERENCIAS	3
3. DEFINICIONES	3
3.1. Curado.....	4
3.2. Tamaño máximo nominal del agregado.....	4
4. EQUIPO, APARATOS E INSTRUMENTOS	4
4.1. Moldes.....	4
4.2. Moldes cilíndricos	4
4.3. Moldes para vigas	4
4.4. Varilla para la compactación.....	4
4.5. Vibradores	4
4.6. Herramienta auxiliar.....	5
4.6.1. Equipo para revenimiento.....	5
4.6.2. Recipiente para mezclado de la muestra.....	5

4.6.3.	Equipo para determinar el contenido de aire.....	5
4.6.4.	Mazo de goma.....	5
5.	PREPARACIÓN Y ACONDICIONAMIENTO DE LA MUESTRA.....	5
5.1.	Prueba de resistencia a la compresión.....	5
5.2.	Pruebas de resistencia a la flexión.....	5
6.	CONDICIONES AMBIENTALES.....	5
6.1.	Lugar para el moldeo.....	5
6.2.	Curado inicial.....	6
7.	ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES.....	6
7.1.	Moldeo.....	6
7.1.1.	Vaciado del concreto.....	6
7.2.	Compactación.....	6
7.2.1.	Método de compactación.....	6
7.3.	Acabado.....	8
7.3.1.	Cilindros.....	8
7.4.	Curado y protección inicial después del acabado.....	8
8.	CURADO DE ESPECIMENES.....	8
8.1.	Curado de especímenes cilíndricos.....	8
8.2.	Curado de vigas.....	8
8.2.1.	Curado de vigas para determinar cuando puede ponerse en servicio una estructura.....	8
9.	TRASLADO AL LABORATORIO.....	9
10.	PRECISIÓN.....	9
11.	INFORME DE LA PRUEBA.....	9
12.	BIBLIOGRAFÍA.....	9
13.	CONCORDANCIA CON NORMAS INTERNACIONALES.....	9
A.	APÉNDICE INFORMATIVO.....	10
A.1.	Control interno.....	10
A.2.	Moldes.....	10
A.3.	Concreto con bajo contenido de agua.....	10
A.4.	Temperatura de sacos.....	10
A.5.	Muestreo de concreto.....	10
A.6.	Pruebas de revenimiento.....	10
B	VIGENCIA.....	10

1. OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta norma mexicana establece los procedimientos para elaborar y curar en obra, especímenes cilíndricos y prismáticos de concreto.

2. REFERENCIAS

Esta norma se complementa con las siguientes normas mexicanas vigentes:

NMX-C-109-ONNCCE	Industria de la Construcción - Concreto - Cabeceo de especímenes cilíndricos.
NMX-C-148-ONNCCE	Industria de la construcción - Cementos hidráulicos - Gabinetes y cuartos húmedos y tanques de almacenamiento para el curado de especímenes de mortero y concreto de cementantes hidráulicos.
NMX-C-156-ONNCCE	Industria de la construcción - Concreto - Determinación del revenimiento en el concreto fresco.
NMX-C-157	Industria de la construcción - Concreto - Determinación del contenido de aire del concreto fresco por el método de presión
NMX-C-159-ONNCCE	Industria de la construcción -Concreto- Elaboración y curado en el laboratorio de especímenes en el laboratorio.
NMX-C-161-ONNCCE	Industria de la construcción - Concreto fresco - Muestreo.
NMX-C-162-ONNCCE	Industria de la construcción - Concreto - Determinación de la masa unitaria, cálculo del rendimiento y contenido de aire del concreto fresco por el método gravimétrico.
NMX-C-281	Industria de la construcción - Concreto - Moldes para elaborar especímenes cilíndricos de concreto verticalmente para pruebas.

3. DEFINICIONES

Para los efectos de esta norma se establecen las siguientes definiciones:

3.1. Curado

Es el proceso mediante el cual, en un ambiente especificado de humedad y temperatura, se favorece la hidratación del cemento o de los materiales cementantes en la mezcla.

3.2. Tamaño máximo nominal del agregado

Es aquel en cuya criba se retiene como máximo el 10 %.

4. EQUIPO, APARATOS E INSTRUMENTOS

4.1. Moldes

Los moldes y los accesorios para elaborar los especímenes de concreto deben ser de acero, fierro fundido, u otro material no absorbente y no reactivo con el concreto de cemento Pórtland u otros cementantes hidráulicos, deben conservar su forma y dimensiones bajo condiciones severas de uso, y ser impermeables, lo cual puede juzgarse por su habilidad para retener totalmente el agua que se vierta en ellos. En caso contrario debe usarse un material sellador adecuado, tal como una grasa pesada, arcilla moldeable o parafina microcristalina para prevenir filtraciones a través de las juntas (véase Apéndice A.2). Debe contarse con dispositivos para sujetar firmemente las placas de base a los moldes, éstos deben revestirse interiormente, antes de usarse, con un aceite mineral o un material adecuado no reactivo con los ingredientes del concreto.

4.2. Moldes cilíndricos

El plano definido por el borde del cilindro debe ser perpendicular a su eje. Las dimensiones del molde no deben variar de los valores especificados, en más de 1 % en su diámetro, ni en 1% del valor nominal en su altura, ningún diámetro nominal debe diferir de cualquier otro en más del 2 %. Deben estar provistos de una base metálica maquinada, en el caso de moldes metálicos, o en el caso de otros materiales, la base debe ser del mismo material que el de las paredes del molde o metálicas, con planos lisos y con elementos para sujetarla firmemente al molde, con su plano perpendicular al eje del molde, además debe de cumplir con lo especificado en la NMX-C-281 (véase Capítulo 2.).

4.3. Moldes para vigas

Los moldes para vigas deben ser horizontales de forma rectangular y de las dimensiones requeridas para producir los especímenes estipulados en el inciso 5.2. La superficie interior de los moldes debe ser lisa y estar libre de protuberancias. Los lados, la parte inferior y los extremos deben formar ángulos rectos entre sí y deben ser planos y libres de alabeos. La variación máxima de la sección transversal nominal no debe exceder de 3 mm para moldes de 150 mm o más de peralte o ancho. Los moldes no deben tener una longitud menor en 1,5 mm de la longitud requerida (véase 5.2). Deben satisfacer los requisitos de permeabilidad expresados en A.2.

4.4. Varilla para la compactación

La varilla debe ser lisa, de sección circular, de acero, recta, de 16 mm $\pm$ 1,5 mm de diámetro y 600 mm $\pm$ 30 mm de longitud, cuando menos con uno de los extremos semiesféricos, del mismo diámetro.

4.5. Vibradores

Los vibradores de inmersión pueden ser de flecha flexible o rígida, de preferencia accionados por un motor eléctrico. La frecuencia de vibración debe ser 7 000 o más vibraciones por minuto, dentro del concreto. El diámetro externo o la dimensión lateral del cabezal no deben ser menores de 20 mm ni mayor de 40 mm. La longitud combinada de la flecha y el cabezal debe exceder la profundidad máxima de la sección que se vibre en por lo menos 100 mm. Los vibradores externos pueden ser de dos tipos; de masa o de plancha. Su frecuencia de vibración no debe ser menor de 3 600 vibraciones por minuto.

Debe contarse con dispositivos adecuados para fijar firmemente los moldes al aparato vibrador y se debe emplear un tacómetro para verificar la frecuencia de vibración.

Los impulsos vibratorios frecuentemente se imparten por medio de vibraciones electromagnéticas y por masas excéntricas, accionadas directa o indirectamente con motores eléctricos.

4.6. Herramienta auxiliar

Se debe contar con herramientas auxiliares, tales como palas, recipientes, llanas, enrasadores, cucharones, reglas, guantes de hule, mazo con cabeza de hule y charolas de lámina.

4.6.1. Equipo para revenimiento

El equipo para medir el revenimiento debe cumplir con los requisitos de la norma NMX-C-156-ONNCCE (véase Capítulo 2.).

4.6.2. Recipiente para mezclado de la muestra

Esta puede ser una charola de lámina gruesa de metal o una carretilla limpia, no absorbente, de capacidad suficiente para permitir un mezclado fácil de la muestra total con una cuchara o pala.

4.6.3. Equipo para determinar el contenido de aire

El equipo para medir el contenido de aire cuando así se requiera debe cumplir con lo especificado en la NMX-C-157-ONNCCE o por la NMX-C-162-ONNCCE (véase Capítulo 2.).

4.6.4. Mazo de goma

Es un martillo con cabeza de hule, que pese $600\text{ g} \pm 20\text{ g}$.

5. PREPARACIÓN Y ACONDICIONAMIENTO DE LAS MUESTRAS

5.1. Prueba de resistencia a la compresión

Los especímenes para determinar la resistencia a la compresión deben ser cilindros de concreto, colados en posición vertical, con longitud igual a dos veces el diámetro. Cuando el tamaño máximo nominal del agregado es mayor de 50 mm, el diámetro del cilindro debe ser por lo menos 3 veces el tamaño máximo nominal del agregado; cuando esto último no sea posible, es necesario cribar el concreto y eliminar el material mayor a 50 mm. A menos que se requiera por las especificaciones de proyecto, no deben hacerse en el campo, cilindros menores de 150 mm x 300 mm (véase A.3.).

5.2. Pruebas de resistencia a la flexión

Los especímenes para determinar la resistencia a la flexión deben ser vigas rectangulares de concreto, coladas con el eje longitudinal en posición horizontal. La longitud debe ser por lo menos 50 mm mayor que tres veces el peralte en la posición de ensaye. No exceder de 1,5 la relación del ancho peralte. La viga estándar debe ser de 150 mm x 150 mm de sección transversal y debe usarse para concreto con tamaño máximo del agregado hasta 50 mm.

Cuando el tamaño máximo del agregado grueso exceda de 50 mm, la menor dimensión de la sección transversal de la viga debe ser por lo menos tres veces el tamaño máximo nominal del agregado grueso.

A menos que se requiera, por las especificaciones del proyecto, no deben hacerse vigas en el campo con un ancho o peralte menor de 150 mm.

Los especímenes deben moldearse inmediatamente después de obtenida y remezclada la muestra en un lapso de tiempo no mayor a 15 min.

6. CONDICIONES AMBIENTALES

6.1. Lugar para el moldeo

Los especímenes deben ser elaborados, sobre una superficie horizontal rígida, nivelada, libre de vibraciones y otras perturbaciones, en el lugar donde se almacenen cubiertos durante las primeras 24 h y deben evitarse golpes, inclinaciones del espécimen o alteraciones de su superficie.

6.2. Curado inicial

Durante las primeras 24 h después del moldeado, todos los especímenes de prueba deben almacenarse bajo condiciones que mantengan la temperatura adyacente a los especímenes en el intervalo 289 K a 300 K (16 °C a 27 °C) y prevenir pérdidas de humedad de los especímenes. La temperatura de almacenamiento puede regularse por medio de ventilación, o por evaporación del agua de la arena o sacos de yute (véase A.4), o usando dispositivos de calentamiento tales como estufas, focos o cables de calefacción controlados termostáticamente.

Un registro de la temperatura de los especímenes puede establecerse por medio de termómetros de máxima y mínima. Los especímenes pueden almacenarse en cajas cerradas, en pozos con arena húmeda, en construcciones temporales o en lugares de edificación, bajo sacos de yute húmedos en climas favorables, o en sacos de plástico cerrados, o usar otros métodos adecuados siempre y cuando cumplan los requerimientos anteriores que limiten la temperatura del espécimen y la pérdida de la humedad.

7. ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES

7.1. Moldeo

7.1.1. Vaciado del concreto

Debe vaciarse con un cucharón en los moldes, cada porción de concreto contenido en la charola de mezclado debe ser representativa de la revoltura; es necesario remezclar el concreto en la charola con una pala o cuchara para prevenir la segregación durante el moldeo de los especímenes; debe moverse el cucharón alrededor del borde superior del molde a medida que el concreto vaya descargándose con el fin de asegurar una distribución uniforme del mismo y minimizar la segregación del agregado grueso dentro del molde. Posteriormente debe distribuirse el concreto usando la varilla de compactación antes de iniciar la misma. Durante el colado de la capa final el operario debe añadir una cantidad de concreto tal que sobrepase el cupo del molde y lo llene totalmente después de la compactación. El número de capas para llenar el molde y compactarlas debe efectuarse según lo indicado en la tabla 1.

7.2. Compactación

7.2.1. Método de compactación

La elaboración de especímenes adecuados, requiere de métodos de compactación apropiados. Los métodos de compactación son varillado y vibrado interno o externo. La selección del método de compactación debe basarse en el revenimiento, a menos que el método se establezca en las especificaciones bajo las cuales se cumple el contrato. Debe varillarse el concreto que tenga un revenimiento mayor de 80 mm. Los revenimientos de 30 mm a 80 mm pueden varillarse o vibrar. Deben vibrarse los concretos con revenimientos menores de 30 mm.

TABLA 1.- Número de capas requeridas por los especímenes

Tipo y altura del espécimen (mm)	Forma de compactación	Número de capas	Espesor aproximado de la capa (mm)
Cilindros			
300	Varillado	3 iguales	100
Más de 300	Varillado	Las que se requieran	100 o fracción
De 300 a 450	Vibrado	2 iguales	La mitad de la profundidad del espécimen
Más de 450	Vibrado	3 ó más	150 ó lo más cercano posible
Vigas			
De 150 a 200	Varillado	2 iguales	La mitad de la profundidad del espécimen
Más de 200	Varillado	3 ó más	100 ó fracción
De 150 a 200	Vibrado	1	Profundidad del espécimen
Más de 200	Vibrado	2 ó más	200 ó lo más cercano posible

7.2.1.1. Varillado

Se coloca el concreto dentro del molde en el número de capas que se especifique, de aproximadamente igual volumen cada una. Se varilla cada capa con el extremo redondeado, efectuando el número de penetraciones especificado en la tabla 2. En el caso de vigas, el número de compactaciones con la varilla por capa requerida es uno por cada 1 000 mm² de superficie del espécimen. Se varilla la capa inferior en todo su espesor, se distribuyen las penetraciones uniformemente en toda la sección transversal del molde, permitiendo que la varilla penetre aproximadamente 10 mm dentro de la capa inmediata inferior, cuando el espesor de esa capa sea menor de 100 mm, y aproximadamente de 20 mm, cuando el espesor de la capa sea de 100 mm o más. Si la varilla produce oquedades se golpean ligeramente las paredes del molde para eliminarlas. En el caso de las vigas, después de que cada capa se ha varillado, debe introducirse y sacarse repetidamente una cuchara de albañil u otra herramienta adecuada en la zona de contacto del concreto y el molde en su perímetro.

TABLA 2.- Número de penetraciones de la varilla para el moldeado de especímenes cilíndricos

Diámetro del cilindro (mm)	Número de penetraciones por capa
150	25
200	50
250	75

7.2.1.2. Vibrado

Se mantiene una duración especificada de vibrado para cada clase de concreto, de vibrador y de molde de espécimen empleado, la duración requerida para la vibración depende de la trabajabilidad del concreto y de la efectividad del vibrador. Se efectúa la vibración solo el tiempo necesario para lograr una compactación apropiada del concreto; generalmente la vibración es suficiente cuando el agregado grueso comienza a desaparecer de la superficie y esta empieza a tener un aspecto relativamente liso. El exceso de vibración puede producir segregación. Al llenar los moldes se vibran empleando el número de capas especificadas en la tabla 1, con volúmenes aproximadamente iguales. Se coloca dentro del molde todo el concreto de una capa antes de iniciar la vibración de la misma. Se coloca la última capa en tal forma que se evite rebosar el molde en más de 5 mm, se enrasa la superficie ya sea durante la vibración, cuando esta se aplique exteriormente, o después cuando se aplique interiormente. Cuando se enrasa después de la vibración, se agrega solamente la cantidad de concreto necesario con el cucharón, para rebosar el molde en 3 mm aproximadamente, distribuyéndolo y enrasándolo en la superficie.

7.2.1.3. Vibración interna

El diámetro de la flecha del vibrador interno debe ser, como máximo, la tercera parte del ancho del molde, en el caso de vigas o prismas. Para cilindros, la relación del diámetro del cilindro al del vibrador debe ser de 4 ó mayor. Al compactar el espécimen el vibrador no debe tocar el fondo o los lados del molde. Se extrae cuidadosamente el vibrador en tal forma que no produzca oquedades en el espécimen. Después de vibrar cada capa se golpean ligeramente los lados del molde para asegurar la eliminación de burbujas de aire atrapadas en el espécimen.

7.2.1.4. Cilindros

Debe introducirse el vibrador siempre en forma vertical, tres veces en diferentes puntos de cada capa. Se deja que el vibrador penetre a través de la capa que se está vibrando y dentro de la capa inferior aproximadamente 20 mm.

7.2.1.4.1. Vigas

Debe introducirse el vibrador siempre en forma vertical en distancias que no excedan de 150 mm a lo largo de la línea central de la dimensión longitudinal del espécimen. Para especímenes cuyo ancho sea mayor que 150 mm se hacen inserciones en forma alternada a lo largo de dos líneas de referencia.

Para ambos casos, se deja que la flecha del vibrador penetre 20 mm aproximadamente en la capa interior.

7.2.1.4.2. Vibración externa

Cuando se use el vibrador externo, debe tenerse cuidado para asegurar que el molde este firmemente fijado o asegurado contra el elemento vibratorio. El molde debe ser lo suficientemente rígido para asegurar la transmisión de vibración al concreto y no perder su forma durante el vibrado.

7.3. Acabado

Después de la compactación con cualquiera de los métodos anteriores, a menos que el enrasado se haya efectuado durante la vibración descrita en 7.2.1.2, se enrasa la superficie del concreto y se termina de acuerdo con el método empleado. Si no se especifica el tipo de acabado se termina la superficie con un enrasador de metal, se efectúa el acabado con el mínimo de pasadas necesarias para producir una superficie plana y uniforme, que este a nivel con las orillas del molde y que no tenga depresiones o promontorios de más de 3 mm.

7.3.1. Cilindros

Después del compactado se termina la superficie superior enrasándola con un enrasador de metal, si se desea puede cabecearse la superficie del cilindro recién elaborado con una capa de pasta de cemento, de consistencia rígida, que se endurezca y se cure con el espécimen, como se describe en la NMX-C-109-ONNCCE (Véase Capítulo 2.).

7.4. Curado y protección inicial después del acabado

Para evitar la evaporación del agua de los especímenes de concreto sin fraguar deben cubrirse inmediatamente después de terminados, de preferencia con una placa no absorbente y no reactiva o con una tela de plástico resistente, durable e impermeable. Puede emplearse yute húmedo, pero debe cuidarse de mantenerlo con humedad evitando el contacto con el concreto hasta que los especímenes sean extraídos de los moldes. El colocar una tela de plástico sobre el yute ayuda a mantenerlo húmedo.

8. CURADO DE ESPECIMENES

8.1. Curado de especímenes cilíndricos

Los especímenes de prueba elaborados para comprobar las proporciones de la mezcla para propósitos de resistencia, o como base para la aceptación, deben retirarse de los moldes, de preferencia a las 24 h después del moldeo, permitiéndole un margen de entre 20 h y 48 h y almacenarse de inmediato en una condición húmeda a la temperatura de $296\text{ K} \pm 2\text{ K}$ ($23\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$) hasta el momento de la prueba (véase A.4).

El tratamiento de curado húmedo de los especímenes debe cumplir con lo especificado en la norma mexicana NMX-C-148-ONNCCE (véase Capítulo 2.).

Curado de especímenes para determinar el tiempo de retiro de la cimbra o cuando puede ponerse en servicio una estructura.

Los especímenes elaborados para determinar cuando puede retirarse la cimbra o cuando puede ponerse en servicio una estructura, deben almacenarse en o sobre la estructura o lo más cerca que sea posible y recibir la misma protección que los elementos de la estructura que representen. Los especímenes deben probarse en la condición húmeda que resulte del tratamiento de curado especificado. Para cumplir estas condiciones los especímenes hechos con el propósito de determinar cuando puede ponerse en servicio una estructura deben quitarse de los moldes en el momento de retiro de la cimbra. Deben seguirse las disposiciones de 8.2. donde sean aplicables para quitar los especímenes de los moldes.

8.2. Curado de vigas

Los especímenes de prueba elaborados para comprobar las proporciones de la mezcla para resistencia a la flexión, como base de aceptación o para control de calidad, deben retirarse del molde entre 24 h y 48 h después del moldeo, y deben curarse de acuerdo con las disposiciones del 8.1. Excepto que deben almacenarse durante un periodo mínimo de 20 h inmediatamente antes de la prueba, en agua saturada de cal a $296\text{ K} \pm 2\text{ K}$ ($23\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$).

Debe prevenirse el secado de la superficie del espécimen al final del periodo, entre el momento del retiro del espécimen de su curado, hasta el inicio de la prueba. Zonas secas de la superficie de los especímenes para flexión inducen esfuerzos de tensión en las fibras extremas que marcadamente reducen resistencia a la flexión de los especímenes.

NORMA MEXICANA

NMX-C-162-ONNCCE-2014

Esta norma cancela a la
NMX-C-162-ONNCCE-2010

Declaratoria de vigencia publicada en el D. O. F.
el día 07 de noviembre de 2014

**INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN - CONCRETO HIDRÁULICO
- DETERMINACIÓN DE LA MASA UNITARIA, CÁLCULO DEL
RENDIMIENTO Y CONTENIDO DE AIRE DEL CONCRETO
FRESCO POR EL MÉTODO GRAVIMÉTRICO**

**BUILDING INDUSTRY - HYDRAULIC CONCRETE -
DETERMINATION OF THE UNIT WEIGHT, CALCULATION OF
THE YIELD AND AIR CONTENT OF THE FRESH CONCRETE -
GRAVIMETRIC METHOD**

Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S. C.
Ceres #7, Col. Crédito Constructor C. P. 03940, México, D. F. Tel: (01 55) 56 63 29 50 ext. 103
Correo electrónico: normas@mail.onncce.org.mx Internet: <http://www.onncce.org.mx>
©COPYRIGHT, DERECHOS RESERVADOS ONNCCE, S. C., MÉXICO MMXIV



**COMITÉ TÉCNICO DE NORMALIZACIÓN DE
PRODUCTOS, SISTEMAS Y SERVICIOS PARA LA CONSTRUCCIÓN**

PREFACIO

En la elaboración de esta norma participaron las siguientes empresas e instituciones:

- ASOCIACIÓN MEXICANA DE LA INDUSTRIA DEL CONCRETO PREMEZCLADO, A. C. (AMIC)
- ASOCIACIÓN NACIONAL DE LABORATORIOS INDEPENDIENTES AL SERVICIO DE LA CONSTRUCCIÓN, A. C. (ANALISEC)
- CEMEX CONCRETOS, S. A. DE C. V. (CEMEX)
- CONCRETOS KARYMA, S. A. DE C. V.
- CENTRO DE INVESTIGACIÓN PARA EL DESARROLLO INDUSTRIAL (CIDI) DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE GUADALAJARA (UAG).
- FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNAM
- INSPECTEC SUPERVISIÓN Y LABORATORIOS, S. A. DE C. V.
- INSTITUTO DE INGENIERÍA DE LA UNAM
- INSTITUTO MEXICANO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO, A. C. (IMCYC)
- JOSÉ LUIS RODRÍGUEZ ROQUE (INDEPENDIENTE).
- LADEMAC, S. A. DE C. V.
- PEP. INGENIERÍA DE SUELOS, S. A. DE C. V.
- SECCIÓN CENTRO Y SUR DE LA CIUDAD DE MÉXICO DEL AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, A. C. (ACI)
- SECRETARÍA DE OBRAS Y SERVICIOS COORDINACIÓN TÉCNICA (GDF-SOS).

ÍNDICE

PAGINA

	PREFACIO.....	2
1.	OBJETIVO	3
2.	CAMPO DE APLICACIÓN	3
3.	REFERENCIA.....	3
4.	DEFINICIONES.....	3
4.1.	Contenido de aire.....	3
4.2.	Masa unitaria.....	3
4.3.	Rendimiento.....	3
5.	EQUIPO	4
5.1.	Balanza o báscula.....	4
5.2.	Vibrador de inmersión	4
5.3.	Mazo o martillo.....	4
5.4.	Placa enrasadora	4
5.5.	Placa de verificación	4
5.6.	Recipiente o unidad de medición	4
5.7.	Termómetro.....	4
5.8.	Varilla para la compactación	4
6.	MATERIALES AUXILIARES	5
7.	PREPARACIÓN Y ACONDICIONAMIENTO DE LA MUESTRA.....	5
8.	CONDICIONES AMBIENTALES.....	5

9.	MÉTODO DE ENSAYO	5
9.1.	Varillado	5
9.2.	Vibración interna	5
9.3.	Enrase.....	6
9.4.	Determinación de la masa	6
10.	CÁLCULO Y EXPRESIÓN DE LOS RESULTADOS.....	7
10.1.	Factor del recipiente.....	7
10.2.	Masa unitaria.....	7
10.3.	Rendimiento	7
10.4.	Rendimiento relativo	8
10.5.	Contenido de cemento	8
10.6.	Contenido de aire.....	8
11.	PRECISIÓN	9
12.	INFORME DEL ENSAYO.....	9
13.	BIBLIOGRAFÍA	9
14.	CONCORDANCIA CON NORMAS INTERNACIONALES	10
15.	VIGENCIA.....	10

1. OBJETIVO

Esta norma mexicana establece el procedimiento para la determinación de la masa unitaria, cálculo del rendimiento y contenido de aire por el método gravimétrico

2. CAMPO DE APLICACIÓN

Esta norma mexicana es aplicable al concreto fresco industrializado o hecho en obra.

NOTA 1: No es aplicable a los concretos secos o de bajo revenimiento, tales como los que se usan en la fabricación de elementos precolados.

3. REFERENCIA

Para la correcta aplicación de esta norma mexicana es necesario consultar la siguiente norma mexicana o la que la sustituya.

NMX-C-161- ONNCCE-2013 Industria de la construcción-Concreto fresco-Muestreo. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 23 de julio de 2014.

4. DEFINICIONES

Para los efectos de esta norma mexicana se establecen las siguientes definiciones:

4.1. Contenido de aire

El volumen de vacíos en la pasta de concreto o mortero excluyendo el espacio de los poros en las partículas del agregado, usualmente expresado como un porcentaje del volumen total de la mezcla de concreto o mortero.

4.2. Masa unitaria

Cantidad de materia contenida en un metro cúbico de concreto fresco (kg/m^3).

4.3. Rendimiento

El volumen de concreto fresco producido por una cantidad de ingredientes, obtenido del cociente del valor de la masa total de los mismos entre el valor de la masa unitaria del concreto fresco.

5. EQUIPO

5.1. Balanza o báscula

Con división mínima de 50 g para ejecución del ensayo y del 0,3 % de la carga de verificación para obtener el factor del recipiente, desde la masa del recipiente vacío hasta la masa del mismo lleno de agua.

5.2. Vibrador de inmersión

Con una frecuencia de vibración de 7 000 o más vibraciones por min.

El diámetro externo o la dimensión lateral del cabezal no debe ser menor de 20 mm ni mayor de 40 mm. La longitud combinada de la flecha y el cabezal debe exceder la profundidad máxima de la sección que se vibra en por lo menos 100 mm.

5.3. Mazo o martillo

Con cabeza de neopreno y mango de madera, con una masa de 600 g $\pm$ 200 g para recipientes de 14 L o menores y de 1 000 g $\pm$ 200 g para recipientes con capacidad mayor de 14 L.

5.4. Placa enrasadora

Una placa de acero o vidrio recta y plana de al menos 6 mm de espesor o una placa de acrílico de al menos 12 mm de espesor; con un ancho y largo de al menos 50 mm mayor que el diámetro del recipiente. Los extremos de la placa deben ser rectos y lisos, con una tolerancia de $\pm$ 2 mm.

5.5. Placa de verificación

De vidrio con un espesor de al menos de 6 mm y un largo 50 mm mayor que el diámetro del recipiente que va a ser verificado.

5.6. Recipiente o unidad de medición

Se debe emplear un recipiente cilíndrico de metal no atacable por la pasta de cemento, estanco que conserve sus dimensiones bajo condiciones de uso. De preferencia provisto de elementos de sujeción.

El borde superior del recipiente debe ser plano, lo cual se verifica al no poder insertar una laminilla de 0,5 mm entre el borde y la placa de verificación. Su capacidad debe estar de acuerdo con la tabla 1.

TABLA 1.- Capacidad mínima del recipiente recomendadas

Tamaño máximo nominal del agregado grueso mm (Pulgadas)		Capacidad del recipiente (L)
25	(1)	5
38	(1 ½)	10
50	(2)	14
75	(3)	28

NOTA 2: La capacidad del recipiente puede tener una tolerancia de $\pm$ 5 % respecto a su capacidad nominal.

5.7. Termómetro

Con una división mínima de 1,0 K (1,0 °C), con un intervalo mínimo de 273 K a 323 K (0 °C a 50 °C), debe ser de inmersión parcial de al menos 75 mm.

5.8. Varilla para la compactación

La varilla debe ser lisa, de sección circular, de acero, recta, de 16 mm $\pm$ 1,5 mm de diámetro y 600 mm $\pm$ 30 mm de longitud, cuando menos con uno de los extremos semiesféricos, del mismo diámetro.

6. MATERIALES AUXILIARES

- Recipiente no absorbente.
- Franela o estopa.
- Escoba o cepillo.
- Cucharón.
- Grasa.
- Agua potable o destilada.
- Laminilla de un espesor de 0,5 mm.
- Pipeta o pizeta.

7. PREPARACIÓN Y ACONDICIONAMIENTO DE LA MUESTRA

La muestra se obtiene de acuerdo a lo indicado en la norma mexicana NMX-C-161-ONNCCE (véase 3. Referencia). Una vez obtenida la muestra se coloca en el recipiente y se compacta. En los recipientes de capacidad menor de 10 L el método de compactación debe ser varillado para evitar pérdida excesiva de aire incluido. En recipientes de 10 L de capacidad o mayores, el método de compactación puede ser por varillado o por vibración interna.

La selección del método de compactación debe basarse en el revenimiento, a menos que se establezca otro procedimiento en las especificaciones particulares de la obra.

Debe varillarse el concreto que tenga un revenimiento mayor de 80 mm. Los revenimientos de 80 mm a 30 mm pueden varillarse o vibrarse. Deben vibrarse los concretos con revenimientos menores de 30 mm

8. CONDICIONES AMBIENTALES

Este método de ensayo se realiza de acuerdo a las condiciones ambientales del lugar.

9. MÉTODO DE ENSAYO

9.1. Varillado

Colocar el concreto en tres capas de aproximadamente igual volumen. Compactar cada capa con el extremo redondeado de la varilla con 25 penetraciones en recipientes de 14 L o menores; y con 50 penetraciones en recipientes de 28 L. En la primer capa la varilla debe penetrar todo su espesor, pero sin golpear con fuerza el fondo del recipiente. Distribuir las penetraciones uniformemente en todo el espesor de la capa. Para las dos capas superiores, la varilla debe penetrar aproximadamente 20 mm en la capa inmediata inferior. Después de varillar cada capa para eliminar el aire contenido y las oquedades que produce la varilla, golpear las paredes alrededor del molde con el mazo o martillo el mínimo de veces necesarias para que el agregado grueso comience a desaparecer de la superficie y esta tenga un aspecto relativamente liso; Un exceso de golpes puede producir segregación.

9.1.1. Para recipientes de 14 L o menos

Si a consecuencia de la compactación en la última capa, el concreto se asienta a un nivel inferior del borde superior del molde, a la décima o vigésima penetración, se agrega concreto en exceso para mantener su nivel por encima del borde del molde todo el tiempo.

9.1.2. Para recipientes de más de 14 L

Si a consecuencia de la compactación en la última capa, el concreto se asienta a un nivel inferior del borde superior del molde, a la vigésima (veinte) o tetragésima (cuarenta) penetración, se agrega concreto en exceso para mantener su nivel por encima del borde del molde todo el tiempo.

Terminada la compactación el recipiente no debe contener exceso o falta de concreto. El contenido óptimo es aquel en que el concreto sobresale unos 3 mm aproximadamente sobre el borde superior del recipiente. Se puede agregar una pequeña porción de concreto para completar la cantidad óptima. Si el recipiente contiene una cantidad considerable de concreto, este excedente se retira inmediatamente después de terminar la compactación y antes de que se enrase.

9.2. Vibración interna

Llenar el recipiente y vibrar el concreto en dos capas de igual volumen aproximadamente. Insertar el vástago del vibrador en tres puntos diferentes de cada capa evitando tocar los lados del recipiente. Durante la compactación de la capa inferior, no se debe apoyar o tocar con el vibrador el fondo. En la compactación de la capa superior, el vibrador debe penetrar en la capa anterior 20 mm aproximadamente. Se debe tener cuidado de extraer lentamente el vástago, de tal manera de no dejar burbujas de aire en la muestra. El tiempo requerido de vibración depende de la trabajabilidad del concreto y de la eficiencia del vibrador. En general el vibrado es suficiente tan pronto como la superficie del concreto se vuelve relativamente lisa y el agregado grueso tiende a desaparecer.

Se debe tener cuidado de no sobrevibrar ya que esto causa segregación y pérdida de una apreciable cantidad de aire incluido y mantener uniforme el vibrado para cada tipo particular de concreto, vibrador y recipiente usados.

Terminada la compactación, el recipiente no debe contener exceso o falta de concreto. El contenido óptimo es aquel en que el concreto sobresale unos 3 mm aproximadamente sobre el borde superior del recipiente. Se debe agregar una pequeña porción de concreto para completar la cantidad óptima. Si el recipiente contiene una cantidad considerable de concreto, este excedente se retira inmediatamente después de terminar la compactación y antes de que se enrase.

9.3. Enrase

Al terminar la compactación, colocar la placa enrasadora sobre la superficie del concreto cubriendo dos tercios de ella y haciendo presión se avanza con movimientos de sierra hasta que la placa quede fuera del recipiente. Colocar nuevamente la placa sobre la superficie del concreto cubriendo los dos tercios enrasados y presionando la placa se avanza con movimientos de sierra hasta que se deslice completamente fuera del recipiente. Se debe tomar el excedente de la lechada que queda en el borde del recipiente para llenar las posibles oquedades que tenga la superficie, finalmente se da el mínimo de pasadas inclinando el canto de la placa hasta dejar un terminado uniforme evitando el sangrado del concreto, hasta obtener el brillo acuoso y un terminado liso en la superficie del concreto (véase figura 1).

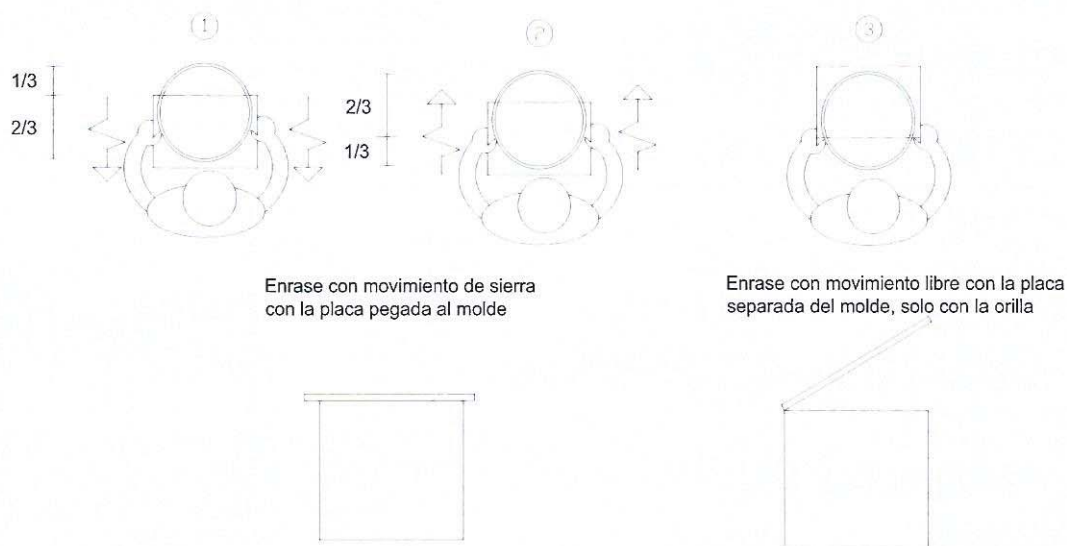


FIGURA 1.- Enrase

La presente figura es solo ilustrativa

9.4. Determinación de la masa

Después de enrasar, limpiar todo el exceso de concreto adherido en el exterior del recipiente y determinar la masa del concreto cuidando que la báscula se encuentre nivelada y fuera de corrientes de aire.

10. CÁLCULO Y EXPRESIÓN DE LOS RESULTADOS

10.1. Factor del recipiente

El cálculo de este factor se debe realizar por lo menos una vez al año, para ello es necesario medir la temperatura del agua contenida en el recipiente para obtener la masa en kg/m^3 .

Colocar en el borde superior grasa gruesa, para evitar fugas de agua, se pesa el recipiente vacío con una precisión de 0,3 %, llenar el recipiente con agua potable a temperatura ambiente y cubrir con la placa de verificación, eliminar las burbujas y el exceso de agua con una pipeta o pizeta. Pesar determinando la masa de la muestra requerida para llenar el recipiente con una precisión de 0,3 %.

Medir la temperatura del agua y determinar la masa volumétrica de la misma según su temperatura, de acuerdo a la tabla 2.

TABLA 2.- Temperatura y masa volumétrica del agua

Temperatura		Masa volumétrica
K	(° C)	(kg/m^3)
288	15	999,10
291	18	998,58
294	21	997,95
296	23	997,50
297	24	997,30
300	27	996,52
302	29	995,97

Calcular el factor del recipiente dividiendo la masa volumétrica del agua, entre la masa de la muestra requerida para llenarlo.

$$F = \frac{M_v}{M_m} \quad (1)$$

Donde:

F es el factor del recipiente, en $1/\text{m}^3$.

Mv es la masa volumétrica del agua, en kg/m^3 .

Mm es la masa de la muestra requerida para llenarlo en kg.

10.2. Masa unitaria

Calcular la masa neta del concreto en kg, restando la masa del recipiente de la masa bruta. Calcular la masa unitaria "Mu", multiplicando la masa neta del concreto por el factor del recipiente, utilizando la siguiente fórmula:

$$Mu = (Mb - Mr) \times F \quad (2)$$

Donde:

Mu es la masa unitaria (masa por metro cúbico de concreto), en kg/m^3 .

Mb es la masa bruta (masa del concreto + masa del recipiente), en kg.

Mr es la masa del recipiente, en kg.

F es el factor del recipiente, en $1/\text{m}^3$.

10.3. Rendimiento

Calcular el rendimiento "R" (volumen real de concreto obtenido por mezcla), dividiendo la masa total de todos los materiales incluidos en una mezcla "M₁", entre la masa unitaria "Mu" determinada en el punto 10.2. La masa total de todos los materiales incluidos en una mezcla es la suma de las masas del cemento, del agregado fino, del agregado grueso en las condiciones que se usan, del agua de mezclado agregada a la mezcla y de cualquier otro material, sólido o líquido que se adicione, calcular utilizando la siguiente fórmula:

$$R = \frac{M_1}{M_u} \quad (3)$$

Donde:

R es el volumen real de concreto obtenido por mezcla, en m³.
M₁ es la masa total de todos los materiales incluidos en una mezcla, en kg.
M_u es la masa unitaria, en kg/m³.

10.4. Rendimiento relativo

Es la relación entre el volumen real de concreto obtenido y el volumen de diseño teórico de una mezcla, calcular como sigue:

$$R_r = \frac{R}{V_t} \quad (4)$$

Donde:

R_r es el rendimiento relativo.
R es el volumen real de concreto obtenido por mezcla (rendimiento), en m³.
V_t es el volumen de concreto teórico que produce una mezcla en m³.

Un valor de rendimiento relativo mayor de 1,0 indica un exceso de concreto producido, mientras que un valor menor que 1,0 indica que la mezcla de diseño resultó "escasa".

10.5. Contenido de cemento

Calcular el contenido real de cemento como sigue:

$$C_c = \frac{M_c}{R} \quad (5)$$

Donde:

C_c es el contenido real de cemento, en kg/m³.
M_c es la masa del cemento por mezcla, en kg.
R es el volumen real del concreto obtenido por mezcla (rendimiento), en m³.

10.6. Contenido de aire

Calcular el contenido de aire como sigue:

$$A = \frac{M_t}{M_t} \frac{M_u}{M_t} \times 100 \quad (6)$$

o bien:

$$A = \frac{R}{R} \frac{V_a}{R} \times 100 \quad (7)$$

Donde:

A es el contenido de aire del concreto, en %.
M_t es la masa teórica del concreto considerándolo libre de aire, en kg/m³.
M_u es la masa unitaria del concreto obtenido por mezcla, en kg/m³.
R es el volumen real del concreto obtenido por mezcla (rendimiento), en m³.
V_a es el volumen total absoluto de los ingredientes que componen la mezcla, en m³.

NORMA MEXICANA

NMX-C-407-ONNCCE-2001

Esta norma cancela y sustituye a la
NMX-B-006-1988

Declaratoria de vigencia publicada en el
D.O.F. el día 26 de julio de 2001.

**"INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN - VARILLA CORRUGADA DE ACERO
PROVENIENTE DE LINGOTE Y PALANQUILLA PARA REFUERZO DE CONCRETO -
ESPECIFICACIONES Y MÉTODOS DE PRUEBA"**

**"BUILDING INDUSTRY - DEFORMED STILL BARS FROM BILLET AND INGOT FOR
REINFORCEMENT CONCRETE - SPECIFICATIONS AND TESTING METHODS"**

Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C.
Ceres #7, Col. Crédito Constructor C.P. 03940, México, D.F. Tel. 56 63 29 50 Fax. 56 63 29 50 ext. 104
Correo electrónico: normas@mail.onncce.org.mx Internet: <http://www.onncce.org.mx>
©COPYRIGHT, DERECHOS RESERVADOS ONNCCE, S.C., MÉXICO MMVII



**COMITÉ TÉCNICO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN DE
MATERIALES COMPONENTES Y SISTEMAS ESTRUCTURALES CTN- 1**

0. PREFACIO

En la elaboración de esta norma, participaron las siguientes Empresas e Instituciones:

- ACEROS SAN LUIS, S.A. DE C.V.
- ATLAX, S.A. DE C.V.
- CÁMARA DE LA INDUSTRIA DE LA TRANSFORMACIÓN DE NUEVO LEÓN (CAINTRA)
- CÁMARA MEXICANA DE LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN (CMIC)
- CÁMARA NACIONAL DE LA INDUSTRIA DEL HIERRO Y DEL ACERO (CANACERO)
- CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES (CENAPRED)
- CORRUGADOS Y ALAMBRONES DE MÉXICO, S.A. DE C.V.
- DEACERO, S.A. DE C.V.
- GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL (GDF)
- HYLSA, S.A. DE C.V.
- INSTITUTO DE INGENIERÍA DE LA UNAM
- INSTITUTO DEL FONDO NACIONAL DE LA VIVIENDA PARA LOS TRABAJADORES (INFONAVIT)
- METALÚRGICA VERACRUZANA, S.A. DE C.V.
- MEXICANA DE LAMINACIÓN, S.A. DE C.V.
- PROCURADURÍA FEDERAL DEL CONSUMIDOR (PROFECO)
- SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES (SCT)
- SECRETARÍA DE DESARROLLO SOCIAL (SEDESOL)
- SIDERÚRGICA LÁZARO CÁRDENAS LAS TRUCHAS, S.A. DE C.V.
- SIDERÚRGICA TULTITLÁN, S.A. DE C.V.
- TALLERES Y ACEROS, S.A. DE C.V.

Las siguientes empresas y organizaciones fueron consultadas para la elaboración de esta norma:

- CAPSA, S.C.
- COMPAÑÍA SIDERÚRGICA DE GUADALAJARA, S.A. DE C.V.
- COLINAS DE BUEN, S.A. DE C.V.
- COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA (CNA)
- INSPECTEC, S.A. DE C.V.
- INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN MATERIALES DE LA UNAM
- INSTITUTO MEXICANO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO, A.C. (IMCYC)
- SIDERÚRGICA DE YUCATÁN, S.A. DE C.V.

ÍNDICE

		Página
0.	PREFACIO	2
1.	OBJETIVO	3
2.	CAMPO DE APLICACIÓN	3
3.	REFERENCIAS	3
4.	DEFINICIONES	4
4.1.	Colada	4
4.2.	Costilla (cuerda).....	4

4.3.	Lote.....	4
4.4.	Masa.....	4
4.5.	Muestra.....	4
4.6.	Número de designación de la varilla.....	4
4.7.	Varilla.....	4
5.	CLASIFICACIÓN.....	4
6.	ESPECIFICACIONES.....	4
6.1.	Composición química.....	4
6.2.	Dimensiones.....	5
6.3.	Requisitos de las corrugaciones.....	5
6.4.	Masa Unitaria.....	6
6.5.	Requisitos mecánicos.....	6
6.6.	Acabado.....	7
6.7.	Inspección.....	8
7.	MUESTREO.....	8
7.1.	En planta.....	8
7.2.	Por lote.....	8
8.	MÉTODOS DE PRUEBA.....	8
8.1.	Composición química.....	8
8.2.	Dimensiones.....	9
8.3.	Masa unitaria.....	11
8.4.	Pruebas mecánicas.....	11
9.	ACEPTACIÓN Y REPETICIÓN DE PRUEBAS.....	13
10.	MARCADO, ETIQUETADO, ENVASE Y EMBALAJE.....	13
10.1.	Marcado de las varillas.....	13
10.2.	Embalaje.....	13
10.3.	Identificación documental del producto.....	13
A.	APÉNDICE NORMATIVO.....	13
A.1.	Datos para el pedido.....	13
11.	BIBLIOGRAFÍA.....	14
12.	CONCORDANCIA CON NORMAS INTERNACIONALES.....	14
B.	APÉNDICE INFORMATIVO.....	14
B.1.	Vigencia.....	14
B.2.	Soldadura.....	14
B.3.	Aclaración.....	14

1. OBJETIVO

Esta norma mexicana establece las especificaciones y los métodos de prueba que deben cumplir las varillas corrugadas de acero para refuerzo de concreto hidráulico.

2. CAMPO DE APLICACIÓN

Esta norma mexicana es aplicable a la varilla corrugada de acero de fabricación nacional o de importación para refuerzo de concreto hidráulico, para los grados: Grado 30, Grado 42 y Grado 52 la cual puede suministrarse en tramos rectos, doblada o en rollo. Esta norma no es aplicable al acero de presfuerzo.

3. REFERENCIAS

Para la correcta aplicación de esta norma es necesario consultar las siguientes normas mexicanas vigentes:

NOM-050-SCFI	Información comercial - Disposiciones generales para productos
NMX-B-001	Métodos de análisis químico para determinar la composición de aceros y fundiciones
NMX-B-113	Acero - Método de prueba - Doblado de productos terminados
NMX-B-172	Métodos de prueba mecánicos para productos de acero
NMX-B-309	Nomenclatura para términos usados en los métodos de prueba mecánicos
NMX-B-434	Método de prueba para determinar el peso unitario y el área transversal de las varillas lisas y corrugadas para refuerzo de concreto
NMX-H-121	Procedimiento de soldadura estructural - Acero de refuerzo
NMX-Z-012/2	Muestreo para la inspección por atributos - Parte 2: Métodos de muestreo, tablas y gráficas

4. DEFINICIONES

Las definiciones referidas en la norma mexicana NMX-B-309 (véase Capítulo 3) son aplicables para los efectos de esta norma mexicana, además de las siguientes:

4.1. Colada

Acero producido en un solo ciclo en el proceso de fusión.

4.2. Costilla (cuerda)

Separación entre extremos de corrugaciones.

4.3. Lote

Cantidad definida de varilla fabricada bajo condiciones uniformes en grado y diámetro.

4.4. Masa

Cantidad de materia, expresada en gramos (g), kilogramos (kg) o toneladas (t).

4.5. Muestra

Parte representativa del material o lote tomada en cantidad suficiente para verificar sus características.

4.6. Número de designación de la varilla

Corresponde al número de octavos de pulgada equivalente al diámetro nominal de la varilla.

4.7. Varilla

Barra de acero especialmente fabricada para usarse como refuerzo de concreto y cuya superficie esta provista de salientes llamadas corrugaciones.

5. CLASIFICACIÓN

Las varillas objeto de esta norma, se clasifican, por su esfuerzo de fluencia nominal, en tres grados: Grado 30, Grado 42, Grado 52, conforme a lo indicado en la Tabla 4.

6. ESPECIFICACIONES

6.1. Composición química

La composición química del acero empleado en la fabricación de la varilla debe cumplir con lo indicado en 6.1.1. y 6.1.2.

Estas especificaciones se deben verificar de acuerdo al método de prueba indicado en 8.1.

6.1.1. Análisis de colada

El contenido de fósforo en el acero no debe exceder a 0,050 %, en masa.

6.1.2. Análisis de producto

El contenido de fósforo en la varilla no debe exceder a 0,062 %, en masa.

6.1.3. Otros elementos químicos

Cuando se especifique en la orden de compra, el fabricante debe proporcionar por colada el contenido de carbono, manganeso, fósforo, azufre y carbono equivalente.

6.2. Dimensiones

En la Tabla 1 se establece la masa, el diámetro, el área de la sección transversal, y el perímetro correspondiente a cada uno de los números de designación de la varilla.

Las dimensiones indicadas en la Tabla 1 deben verificarse de acuerdo con los métodos de prueba que se indican en 8.2.

Tabla 1.- Número de designación, masa y dimensiones nominales

Número de designación	Masa nominal en kg/m	Dimensiones nominales		
		Diámetro en mm	Área de la sección transversal en mm ²	Perímetro en mm
2,5	0,388	7,9	49	24,8
3	0,560	9,5	71	29,8
4	0,994	12,7	127	39,9
5	1,552	15,9	198	50,0
6	2,235	19,0	285	60,0
7	3,042	22,2	388	69,7
8	3,973	25,4	507	79,8
9	5,033	28,6	642	89,8
10	6,225	31,8	794	99,9
11	7,503	34,9	957	109,8
12	8,938	38,1	1140	119,7
14	12,147	44,5	1552	139,6
16	15,89	50,8	2026	159,6
18	20,076	57,2	2565	179,5

Nota 1: El diámetro nominal de una varilla es equivalente al diámetro de una barra redonda lisa que tenga la misma masa que la varilla.

6.3. Requisitos de las corrugaciones

Las corrugaciones de las varillas deben cumplir con lo indicado en 6.3.1. y 6.3.2.

Estas especificaciones se deben verificar de acuerdo al método de prueba indicado en 8.2.

6.3.1. Distribución

Las corrugaciones deben estar colocadas de manera que formen un ángulo no menor de 45° con respecto al eje de la varilla, y en direcciones encontradas en lados opuestos respecto al eje de la varilla.

Las corrugaciones deben estar distribuidas uniformemente en ambas caras de la varilla.

6.3.2. Espaciamiento, altura y costilla

El espaciamiento, la altura y la costilla deben cumplir con los requisitos especificados en la Tabla 2, para cada uno de los números de designación de las varillas.

Tabla 2.- Requisitos de corrugaciones

Número de designación	Espaciamiento máximo promedio en mm	Altura mínima promedio en mm	Costilla (cuerda) máxima en mm
2,5	5,6	0,3	3,0
3	6,7	0,4	3,6
4	8,9	0,5	4,9
5	11,1	0,7	6,1
6	13,3	1,0	7,3
7	15,5	1,1	8,5
8	17,8	1,3	9,7
9	20,0	1,4	10,9
10	22,3	1,6	12,2
11	24,4	1,7	13,4
12	26,7	1,9	14,6
14	31,2	2,2	17,5
16	35,7	2,4	20,0
18	40,0	2,6	22,5

La longitud total de las corrugaciones debe ser tal que la separación entre los extremos de las mismas, sobre lados opuestos de la varilla, no sea mayor de 12,5 % de su perímetro nominal. Cuando los extremos de las corrugaciones terminen en una costilla longitudinal, el ancho de la costilla debe considerarse como tal separación. La suma total entre los extremos de las corrugaciones no debe exceder de 25 % del perímetro nominal.

Cuando existan más de dos costillas longitudinales, el ancho total de todas no debe exceder del 25 % del perímetro nominal de la varilla. Este perímetro debe ser el que se indica en la Tabla 1.

6.4. Masa unitaria

La masa de las varillas debe satisfacer los valores establecidos en la Tabla 1. Las tolerancias en masa no deben exceder los límites indicados en la Tabla 3.

Esta especificación debe verificarse de acuerdo con el método de prueba indicado en 8.3.

Tabla 3.- Tolerancias en masa

Número de designación	Por ciento de variación en el lote	Por ciento en varillas individuales
Todos	± 3,5	± 6

Nota 2: Para la aplicación de estos valores se deben comparar con las masas nominales especificadas en la Tabla 1.

6.5. Requisitos mecánicos

Los requisitos mecánicos de las varillas deben cumplir con lo indicado en 6.5.1. y 6.5.2.

Estas especificaciones se deben verificar de acuerdo al método de prueba indicado en 8.4.

6.5.1. Tensión

La varilla debe cumplir con los requisitos especificados en la Tabla 4, conforme a cada grado.

Tabla 4.- Requisitos de tensión

Número de designación	Resistencia a la tensión mínima en MPa (kgf/mm ²)			Esfuerzo de fluencia mínimo, en MPa (kgf/mm ²)			Alargamiento en 200 mm mínimo en porciento		
	Grado 30 (a)	Grado 42	Grado 52 (b)	Grado 30 (a)	Grado 42	Grado 52 (b)	Grado 30 (a)	Grado 42	Grado 52 (b)
Todos	490 (50)	618 (63)	706 (72)	294 (30)	412 (42)	510 (52)	---	---	---
2,5	---	---	---	---	---	---	---	9	---
3	---	---	---	---	---	---	11	9	---
4,5 y 6	---	---	---	---	---	---	12	9	---
7	---	---	---	---	---	---	---	8	---
8	---	---	---	---	---	---	---	8	---
9	---	---	---	---	---	---	---	7	---
10	---	---	---	---	---	---	---	7	---
11 y 12	---	---	---	---	---	---	---	7	6
14,16 y 18	---	---	---	---	---	---	---	7	6

Nota 3: a) Las varillas Grado 30 se suministran sólo en los números de designación 3 al 6.
b) Las varillas Grado 52 se suministran sólo en los números de designación 11 al 18.

Además de los requisitos de tensión especificados, la relación entre la resistencia a la tensión y el esfuerzo de fluencia determinados, no debe ser menor de 1,25.

6.5.2. Doblado

Las probetas de varilla con números de designación del 2,5 al 12 deben doblarse alrededor de un mandril a 180° y las del número 14 al 18 en un mandril a 90°, sin agrietarse en la parte exterior de la zona doblada. Los diámetros de mandril para la prueba de doblado se especifican en la Tabla 5.

Tabla 5.- Requisito de doblado

Número de designación	Diámetro del mandril para prueba de doblado		
	Grado 30	Grado 42	Grado 52
2,5	---	3,5 d	---
3, 4, 5	3,5 d	3,5 d	---
6	5 d	5 d	5 d
7 y 8	---	5 d	5 d
9 y 10	---	7 d	7 d
11	---	---	7 d
12	---	8 d	8 d
14, 16 y 18	---	9 d	9 d

Nota 4: d es el diámetro nominal de la probeta

6.6. Acabado

No deben ser causa de rechazo la presencia en la superficie de: escamas, irregularidades u óxido, siempre y cuando desaparezcan mediante la limpieza manual con un cepillo de alambre y la probeta así cepillada, cumpla con los requisitos dimensionales y mecánicos especificados en la Tabla 1, Tabla 2, Tabla 4 y Tabla 5.

Imperfecciones superficiales diferentes de las especificadas en el párrafo anterior deben considerarse perjudiciales, cuando las contiene la probeta y ésta no cumple con los requisitos de tensión o doblado contenidos en la Tabla 4 y Tabla 5.

Esta especificación se verifica de manera visual.

6.7. Inspección

El representante del comprador, debe tener libre acceso, a cualquier hora mientras el material objeto del contrato se esté fabricando, a todas las secciones de la planta relacionadas con el mismo. El fabricante debe proporcionar al representante todas las facilidades razonables para que éste se cerciore de que el material se está fabricando conforme a esta norma.

Todas las pruebas (excepto análisis de producto) e inspección deben realizarse en la planta del fabricante, antes del embarque del material y deben llevarse a cabo de tal forma que no interfieran en la operación normal de la planta.

Esta inspección no formará parte de la evaluación de la conformidad con la presente norma.

7. MUESTREO

7.1. En planta

7.1.1. Análisis químico

La muestra para análisis de la composición química puede tomarse del producto terminado que represente cada colada de acero, de la materia prima utilizada en el molino laminador que produce la varilla, o de la colada del acero tomada de preferencia durante el vaciado del mismo.

Debe tomarse como mínimo una muestra por cada colada o fracción.

7.1.2. Dimensiones, corrugaciones y masa

Para la determinación de los requisitos dimensionales, de corrugación y masa, las mediciones deben efectuarse como mínimo sobre una muestra por cada diámetro de varilla proveniente de una misma colada o lote o por cada 50 t (toneladas) o fracción de una misma colada.

7.1.3. Requisitos mecánicos

Deben efectuarse como mínimo dos pruebas de tensión y una de doblado por cada diámetro de varilla proveniente de una colada o lote o por cada 50 t (toneladas) o fracción.

7.2. Por lote

Para fines contractuales el fabricante nacional o fabricante extranjero o importador; debe utilizar el muestreo indicado en la Tabla 6.

TABLA 6.- Muestreo

Tamaño de lote en toneladas		Tamaño de la muestra		
Más de	Hasta	Análisis químico	Resistencia a la tensión	Doblado
---	50	1	2	1
50	75	1	3	2
75	100	1		
100	125	1	4	3
125	150	1		
150	∞	1 + 1 c/50 adicionales	1 c/50	1 c/50

8. MÉTODOS DE PRUEBA

8.1. Composición química

Los métodos de prueba que deben emplearse para determinar la composición química se indican en la norma NMX-B-001 (véase Capítulo 3).

8.2. Dimensiones

8.2.1. Equipo, aparatos y/o instrumentos

- Escala o Flexómetro con división de escala mínima de un milímetro
- Vernier con división de escala mínima de 0,1 mm
- Báscula con división de escala mínima de un gramo
- Transportador o goniómetro con división de escala mínima de un grado

8.2.2. Preparación de las muestras

La prueba se debe realizar con una probeta de 0,50 m de longitud como mínimo y debe cumplir con lo especificado en 6.6.

8.2.3. Condiciones ambientales

Este método de prueba se realiza de acuerdo a las condiciones ambientales del laboratorio donde se realiza la prueba.

8.2.4. Procedimiento

Deben realizarse las siguientes determinaciones:

- Diámetro a partir del área.
- Área de la sección transversal, a partir de la masa unitaria y peso volumétrico del acero.
- Perímetro calculado a partir del área.
- Espaciamiento máximo promedio entre corrugaciones según lo indicado en 8.2.4.1.
- Altura mínima promedio de corrugación según lo indicado en 8.2.4.2.
- Separación máxima entre extremos de corrugaciones según lo indicado en 8.2.4.3.
- Ángulo de las corrugaciones

8.2.4.1. Espaciamiento entre corrugaciones

El espaciamiento medio de las corrugaciones debe determinarse dividiendo la distancia centro a centro entre dos corrugaciones, medida sobre el eje longitudinal de la varilla, entre el número de espacios comprendidos en dicha longitud. El número de espacios debe ser igual o mayor que 5, véase Figura 1.

La medición del espaciamiento debe efectuarse sobre una zona de las varillas que no incluya marcas, símbolos, letras o números.

En el caso de varillas con corrugaciones en dos direcciones en la misma cara, la longitud medida debe dividirse entre el doble del número de espacios, véase Figura 2.

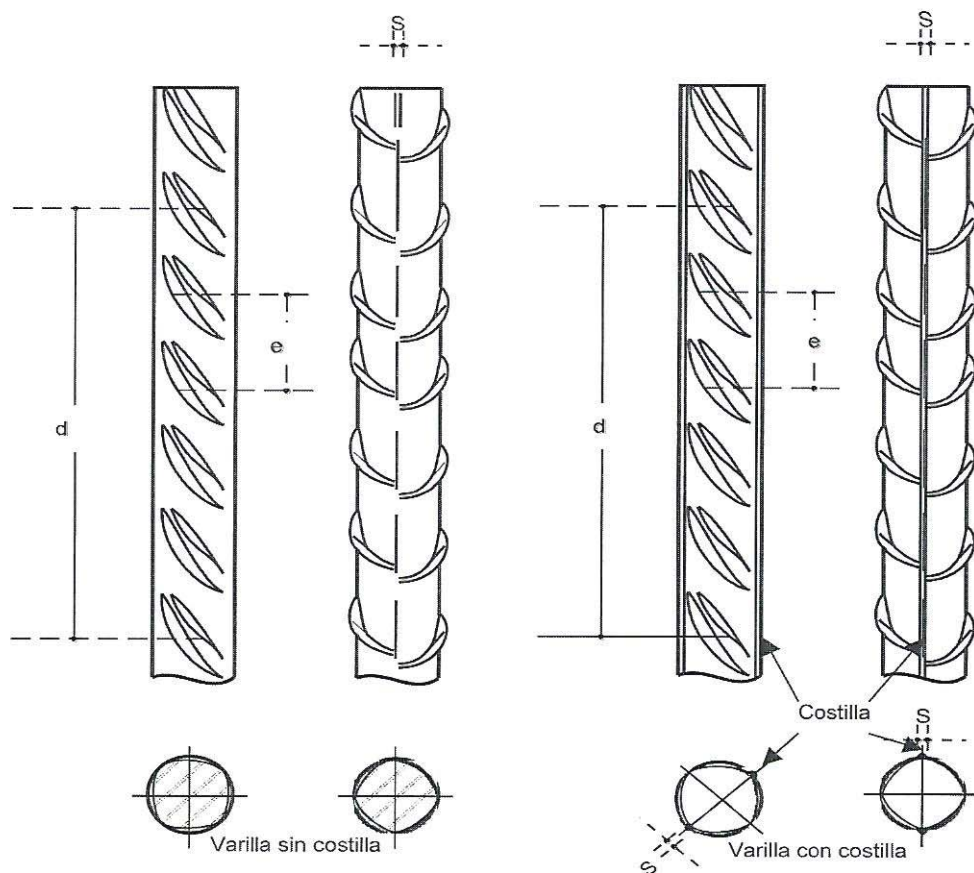


FIGURA 1.- Varilla (medición de espaciamiento y separación entre extremos de corrugaciones)

La presente figura es solo ilustrativa

Ejemplo de la Figura 1: $e = \frac{d}{s}$

Donde:

- "e" es el espaciamiento
- "s" es la separación entre extremos de corrugaciones
- "d" es la distancia centro a centro entre corrugaciones

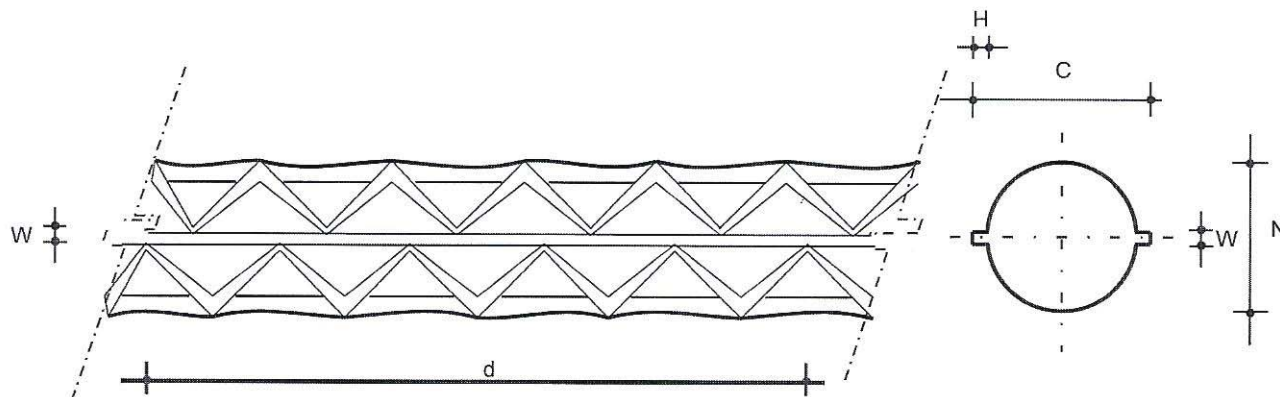


FIGURA 2.- Varilla, espaciamiento en varillas con corrugaciones en dos direcciones

La presente figura es solo ilustrativa

American Concrete Association (ACI) Absolute Volume Method of Concrete Mix Design

The Canadian Portland Cement Association (CPCA) published in its 6th edition of “*Design and Control of Concrete Mixtures*” design methodologies for proportioning normal concrete mixtures with proportioning tables adapted from an ACI publication (“*Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight and Mass Concrete*” ACI 211.1-91, ACI Committee 211 Report, American Concrete Institute, Detroit, 1991). Concrete mixtures can be proportioned by masses or volumes; this method uses Tables 3 and 4 below which allow the designer to account for the volumes of the different mix components required to produce 1 m³ of concrete mix.

There are two basic types of information required to perform a mix design:

- a) Properties of the mix components, and
- b) Mix Design Specifications (desired mix properties)

Mix Component Properties Required:

CEMENT	Type Specific Gravity
COARSE AGGREGATE	Nominal Maximum Particle Size SSD Bulk Specific Gravity % Absorption Capacity Dry-Rodded Density
FINE AGGREGATE	SSD Bulk Specific Gravity % Absorption Capacity Fineness Modulus

Desired Mix Properties:

Desired w/c ratio (depends on strength, durability and finish requirements)
Slump range
Air Entrainment Level based on environmental exposure levels

STEPS:

1. Essentially, the mass of water required to make 1 m³ of mix is selected from Table 4 a or b (depending on air entrainment requirements) using the desired range of slump and the Nominal Maximum size of the coarse aggregate. The volume of water required is found by dividing this mass by the density of water.
2. Next the volume of air in 1 m³ of mix is selected from Table 4c using the air entrainment requirements and Nominal Maximum size of the coarse aggregate.
3. Then the mass of cement required is determined from the w/c ratio for the mix. The volume of cement in 1 m³ of mix is then calculated by dividing this mass by the density of cement.

4. Determine the volume of dry-rodded coarse aggregate required from Table 3 using the Maximum Nominal Aggregate size and the fineness modulus of the fine aggregate.
5. The SSD mass of coarse aggregate is calculated by multiplying the volume from step 4 by the dry-rodded density of the coarse aggregate. The SSD volume of coarse aggregate is found by dividing this SSD mass by the SSD Density of the coarse aggregate.
6. At this point the volumes of water, air, cement and coarse aggregate required in 1 m³ of mix are known. When these are added together and subtracted from 1 m³, the volume of SSD fine aggregate required is found. This volume is then multiplied by the SSD density of the fine aggregate to obtain the SSD mass of fine aggregate in 1 m³ of mix.
7. By totalling the masses of components in 1 m³ of mix, the fresh density of the mix can be estimated. This is then used along with the batch mass required to proportion the SSD batch masses.
8. The masses that must be weighed out of the stock material can then be determined by measuring the moisture content of the stock aggregates to be used and applying the appropriate moisture corrections.

TABLE 3 – Volume of Dry-Rodded Coarse Aggregate in 1 m³ of Concrete
(expanded by interpolation of Table 8-3, *Design and Control of Concrete Mixtures*, 6th Ed, CPCA)

Maximum Size (mm)	FINENESS MODULUS						
	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0
10	0.50	0.49	0.48	0.47	0.46	0.45	0.44
20	0.66	0.65	0.64	0.63	0.62	0.61	0.60
30	0.71	0.70	0.69	0.68	0.67	0.66	0.65
40	0.75	0.74	0.73	0.72	0.71	0.70	0.69
50	0.77	0.76	0.75	0.74	0.73	0.72	0.71
60	0.79	0.78	0.77	0.76	0.75	0.74	0.73
70	0.80	0.79	0.78	0.77	0.76	0.75	0.74
80	0.82	0.81	0.80	0.79	0.78	0.77	0.76

TABLE 4a – Water for Non-Air-Entrained Concrete
(expanded by interpolation of Table 8-4, *Design and Control of Concrete Mixtures*, 6th Ed, CPCA)

Slump Range (mm)	MASS OF WATER FOR 1 m ³ OF CONCRETE							
	Nominal Maximum Aggregate Particle Sizes (mm)							
	10	20	30	40	50	60	70	80
30 - 50	207	190	178	166	157	148	139	130
60 - 70	218	198	186	174	165	156	147	138
80 - 100	228	205	193	181	172	163	154	145
100 - 120	233	209	196	184	176	167	159	150
130 - 150	238	212	200	187	179	171	163	155
160 - 170	243	216	203	190	183	175	168	160

TABLE 4b – Water for Air-Entrained Concrete
(expanded by interpolation of Table 8-4, Design and Control of Concrete Mixtures, 6th Ed, CPCA)

Slump Range (mm)	MASS OF WATER FOR 1 m ³ OF CONCRETE							
	Nominal Maximum Aggregate Particle Sizes (mm)							
	10	20	30	40	50	60	70	80
30 - 50	181	168	159	150	143	136	129	122
60 - 70	192	176	167	158	150	143	135	128
80 - 100	202	184	175	165	157	149	141	133
100 - 120	207	188	178	168	161	154	147	140
130 - 150	211	193	182	171	165	159	153	147
160 - 170	216	197	186	174	169	164	159	154

TABLE 4c – Air for the Four Concrete Type Classes
(expanded by interpolation of Table 8-4, Design and Control of Concrete Mixtures, 6th Ed, CPCA)

Concrete Type		PERCENT AIR ENTRAPPED/ENTRAINED							
		Nominal Maximum Aggregate Particle Sizes (mm)							
		10	20	30	40	50	60	70	80
Non-Air Entrained Concrete		3.00%	2.00%	1.50%	1.00%	0.83%	0.65%	0.48%	0.30%
Air-Entrained Concrete	Mild Exposure	4.50%	3.50%	3.00%	2.50%	2.25%	2.00%	1.75%	1.50%
	Moderate Exposure	6.00%	5.00%	4.75%	4.50%	4.25%	4.00%	3.75%	3.50%
	Extreme Exposure	7.50%	6.00%	5.75%	5.50%	5.25%	5.00%	4.75%	4.50%