



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS
DE HIDALGO**



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

**“COMPARATIVA DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE
CONCRETO ELABORADO DE FORMA TRADICIONAL VS SU
PROPORCIONAMIENTO POR EL MÉTODO DEL ACI, CON
AGREGADOS DE LA REGIÓN ORIENTE DE MICHOACÁN”**

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

PRESENTA:

MIGUEL ANGEL CONTRERAS FLOTA

DIRECTOR:

DR. WILFRIDO MARTÍNEZ MOLINA

CO-DIRECTOR:

M.V. FLORENCIO MOISES GONZÁLEZ VALDEZ

MORELIA, MICHOACÁN

DICIEMBRE, 2019



RESUMEN

En el transcurso de la historia de la humanidad el hombre ha necesitado aprender a usar los recursos que ofrece la naturaleza, como son los agregados pétreos, los cuales son materiales de suma importancia en la elaboración de concreto hidráulico, puesto a que conforman la mayor parte del volumen de la mezcla de concreto. El concreto hidráulico es una mezcla de agregados pétreos, agua y cemento, los cuales al ser combinados forman una masa semejante a una roca. En la presente investigación se realizó la caracterización de los agregados procedentes de tres bancos de material de la zona oriente del estado de Michoacán en condiciones de laboratorio; posterior a ello, se realizó la dosificación en volumen (en botes de 19 L) del concreto para ocho mezclas, de dos formas distintas, cuatro con dosificación tradicional de la región y cuatro mezclas más diseñadas mediante el proporcionamiento ACI, con la nomenclatura siguiente: Nogales GVT-AV, Nogales GVR-AV, Piedras de L. GT-AT y Tzintzingareo GV-AV. Se elaboraron cilindros de 10 cm x 20 cm para someterlos a ensayos no destructivos: velocidad de pulso ultrasónico (VPU) y resistividad eléctrica (RE), y ensayos destructivos: resistencia a compresión simple; a la edad de 7, 14, 21, 28 y 45 días. Para la prueba de resistividad eléctrica la tendencia para cada una de las mezclas es ascendente, sin embargo el concreto se clasifica en el rango de porosidad interconectada excesiva, en el diseño tradicional, la mezcla que presento mejores resultados fue la de Nogales GVR-AV con un valor de 6.02 k Ω ·cm y en el diseño ACI el mejor resultado fue de 5.86 k Ω ·cm para la mezcla de Piedras de L. GT-AT. En la evaluación de VPU la mezcla más sobresaliente para ambas proporciones fue la de Piedras de L. GT-AT, presentado los siguientes valores: 4502 m/s (tradicional) y 4623 m/s (ACI), las demás mezclas también presentan buenos resultados (entre calidad alta y durable), pero ninguno se compara con el de Piedras de Lumbre ya que contienen agregados de origen volcánico. En la prueba de resistencia a compresión simple al comparar ambas dosificaciones (tradicional vs ACI), el diseño ACI supera en un 30 % promedio al diseño tradicional, debido al factor de seguridad que recomienda el ACI.318 cuando se dosifica en volumen, en el diseño tradicional, la mezcla que presenta mejores resultados es la de Nogales GVR-AV con un valor del 104 % de la resistencia de diseño a los 45 días de prueba y en el diseño ACI la que presenta mejores resultados es la de Nogales GVT-AV con un valor de 135% de la resistencia de diseño, sin embargo todas las mezclas cumplen con el 85 % promedio mínimo especificado en la norma mexicana.

(Palabras Clave: Concreto, dosificación, compresión, volumen y comparativa)



SUMMARY

In the course of history, man has learned to use the resources offered by nature, such as stone aggregates, which are very important materials in the production of hydraulic concrete, since they make up most of the volume of the mixture of concrete. Hydraulic concrete is a mixture of stone aggregates, water and cement, which when combined form a rock-like mixture. In the present investigation, the aggregates in the laboratory were characterized, coming from three banks of material from the eastern part of the state of Michoacán; Subsequently, volume dosing (in 19-liter cans) of the hydraulic concrete for eight mixtures was carried out, in two different forms, four being with traditional dosing of the region under study, and four other mixtures more designed by the method of ACI, with the following nomenclature: Nogales GVT-AV, Nogales GVR-AV, Piedras de Lumbre GT-AT and Tzintzingareo GV-AV. Cylinders with measures of 10 cm x 20 cm were prepared to be subjected to non-destructive tests: ultrasonic pulse speed (VPU) and electrical resistivity (RE), and destructive tests: simple compressive strength; They were tested at the age of 7, 14, 21, 28 and 45 days. For the test of electrical resistivity the tendency for each of the mixtures is increased, however the concrete was classified in the range of excessive interconnected porosity. In the traditional design, the mixture that presented the best results was that of Nogales GVR-AV with a value of $6.02 \text{ k}\Omega \cdot \text{cm}$, and in the design by the ACI method, the best result was $5.86 \text{ k}\Omega \cdot \text{cm}$ for the mixture of Stones of L. GT-AT. In the VPU evaluation, the most outstanding mixture for both proportions was that of Piedras de Lumbre GT-AT, obtaining the following values: $4,502 \text{ m / s}$ (traditional method) and $4,623 \text{ m / s}$ (ACI); the other mixtures also show good results (between high and durable quality), but none compare with that of Piedras de Lumbre since they contain aggregates of volcanic origin. In the simple compressive strength test both dosages were compared (traditional method vs ACI), concluding that the design by the ACI method exceeds the traditional design by 30%, due to the safety factor recommended by the ACI.318 when it is dosed in volume; In the traditional design, the mixture that presents the best results is that of Nogales GVR-AV, with a value of 104% of the design resistance at 45 days of testing, and in the ACI design the one that presents the best results is that of Nogales GVT-AV, with a value of 135% of the design resistance; However, all mixtures comply with the minimum average 85% specified in Mexican standards

(Keywords: concrete, dosage, compression, volume)



DEDICATORIAS

Primero que nada quiero agradecer a Dios por guiarme en mi camino, darme la oportunidad, el tiempo, la vida y las fuerzas necesarias para poder lograr una meta más en mi vida y ayudarme a crecer como persona.

A mi madre **Maricela Flota Sánchez** por darme la vida, su fuerza, su cariño, su amor y apoyo incondicional en todo lo que hago, por ser la mejor mamá del mundo, porque siempre ha sido una mujer súper trabajadora y admirable, porque sin ella nada de esto habría sido posible, porque le debo cada uno de mis metas conseguidas en mi vida y porque la amo con todo mi corazón.

A mi padre **Miguel Angel Contreras Parra** por ser un hombre admirable y ejemplar en la familia, por siempre luchar día con día para nunca nos falte nada, por creer siempre en mí y brindarme todo su apoyo en todo lo que hago, por ser el mejor papá del mundo y siempre estar ahí en las buenas y en las malas, porque sin su apoyo nada de esto sería posible y porque lo amo con todo mi corazón.

A mis hermanos **Luis Fernando Contreras Flota** y **Oscar Rafael Contreras Flota** por siempre estar para apoyarme en todo lo que hago, por creer en mí y por ser los mejores hermanos que Dios me pudo dar.

A mi tía **Paula Guadalupe Contreras Parra** por brindarme todo su apoyo, cariño y amor, por ser como mi segunda madre, por siempre estar cuando más la necesito y tratar de que nunca me faltara nada, además porque la admiro y amo muchísimo.

A mi tío **Juan Pablo González Valdés** por apoyarme incondicionalmente en todas las cosas que necesitaba, por ser mi padrino de graduación, por ser un gran tío, amigo y persona que siempre está conmigo en los buenos y malos momentos, y por qué lo quiero mucho.

A mi abuelita **Ma. Julia Aida Parra Reyes** por siempre darme todo su amor y cariño, por ser la mejor abuelita que Dios me pudo dar y por hacer siempre lo posible para que nunca me falte nada y porque la amo con todo mi corazón.

Y a todos y cada uno de mis primos y tíos que no terminaría de mencionarlos, que siempre me apoyaron de alguno u otra manera, los quiero mucho y siempre los llevo en el corazón.



AGRADECIMIENTOS

A mi asesor **Dr. Wilfrido Martínez Molina** por darme el tiempo de revisar mi tesis, por la confianza y apoyo, por haberme brindado la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimiento para que mi trabajo quedará lo mejor posible, porque me permitió aprender mucho más de lo estudiado en el trabajo de tesis y por ser un hombre lleno de buenos deseos.

Al **M.I. Noel Díaz González** por brindarme su apoyo durante el transcurso de la experimentación y desarrollo de mi tesis, por aportarme grandes ideas para poder mejorar mi trabajo y por ser un gran amigo al cual estimo mucho.

Al **Ing. Isaías Trujillo Calderón** por resolverme siempre todas y cada una de las dudas que tenía sobre la tesis, por ayudarme en gran parte a la elección del tema del presente trabajo y desde el inicio hasta el fin apoyarme incondicionalmente con sus grandes ideas, por ser un gran amigo y compañero al cual estimo mucho.

Al **M.V. Florencio Moisés González Valdez** por apoyarme incondicionalmente durante todos y cada uno de los 5 años de la carrera, por ayudarme a obtener un sustento económico al ser una persona a la cual le debo mi trabajo, por ser como un tío para mí, por ser una gran persona y porque de verdad lo estimo demasiado.

A la **M.I. Sandra del Carmen Arguello Hernández** por brindarme su apoyo y consejos para la mejoría de la tesis, por darme el tiempo de revisar los avances que iba teniendo en la tesis y ayudarme a corregirla en donde se requería y por ser una gran amiga.

Al maestro **José Jesús Zauno Zamudio** por brindarme todo su apoyo incondicional y conocimiento, por facilitarme las herramientas necesarias para la experimentación de la tesis, por ser un gran jefe y amigo al cual estimo y aprecio mucho.

A mi compañero **Rafael Hernández Estrada** por su apoyo incondicional desde el inicio hasta el final de la experimentación de la tesis, porque sin duda alguna sin su apoyo este trabajo no hubiera sido posible y por ser un gran amigo al cual aprecio muchísimo.

A mis amigos y compañeros que siempre me brindaron su apoyo de alguna u otra manera: **José Carmen García Perdomo, Luis Alberto González Luna, Carlos Uriel Espino González, Oswaldo Farid Fernández Sánchez, Omar Rosario Paniagua Botello, Hilda**



Patricia Espinoza Jiménez, Eduardo Barajas Ortiz, Mauro Anzar Sánchez, Carlos F. González Villanueva, Víctor Hugo Blancas Herrera, Diana Ivonne López Gómez, Daniela García Romero y a todos aquellos que siempre me brindaron su apoyo y amistad.

Al laboratorio de materiales por haberme brindado el espacio y equipo necesario para la experimentación de la tesis y por permitirme laborar en él como ayudante de técnico académico.

A la Facultad de Ingeniería Civil por haberme brindado lo necesario para poder ser un buen ingeniero y a todos los maestros por brindarme un poco de su conocimiento.



INDICE GENERAL

RESUMEN	I
SUMMARY	II
DEDICATORIAS	III
AGRADECIMIENTOS.....	IV
INDICE GENERAL	VI
INDICE DE FIGURAS	XI
INDICE DE TABLAS	XVI
CÁPITULO 1: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.2.- OBJETIVO GENERAL	2
1.2.1.- Objetivos particulares.....	3
1.3.- JUSTIFICACIÓN.....	3
CÁPITULO 2: MARCO TEÓRICO.....	4
2.1.- ANTECEDENTES.....	5
2.1.1-Agregados pétreos	5
2.1.2.- Componentes de una mezcla de concreto	6
2.1.2.1.- Cemento Portland.....	6
2.1.2.2.- Agregados Pétreos.....	7
2.1.2.3.- Agua	8
2.1.3.- Concreto hidráulico	9
2.1.4.- Conceptos generales sobre el concreto.....	10
2.1.4.1.- Durabilidad.....	10
2.1.4.2.- Relación Agua/Cemento	12
2.1.4.3.- Curado del concreto	14
2.2.- BANCOS DE MATERIAL.....	14
2.2.1.- Bancos de material en estudio.....	15
2.2.1.1.- Banco de material “Piedras de Lumbre”	17
2.2.1.2.- Banco de material “Los Nogales”	18
2.2.1.3.- Banco de material “Tzintzingareo”	20
2.2.2.- Explotación de bancos de material.....	21
2.2.3.- Exploración y muestreo de bancos de material	21



2.2.3.1.- Exploración de bancos	21
2.2.3.2.- Muestreo de bancos	22
2.2.4.- Agregados pétreos	23
2.2.4.1.- Agregado Grueso (Grava)	24
2.2.4.1.1.- Tamaño Máximo de Agregado (T.M.A)	25
2.2.4.2.- Agregado Fino (Arena)	25
2.2.4.2.1.- Módulo de Finura (M.F.).....	26
2.2.5.- Características de los agregados.....	26
2.2.5.1.- Forma y textura de las partículas.....	26
2.2.5.1.1.- Forma de la partícula.....	27
2.2.5.1.2.- Textura de las partículas.....	28
2.2.5.2.- Adherencia del agregado	29
2.3.- AGUA PARA CONCRETO	30
2.3.1.- Propiedades del agua	31
2.3.2.- Hidratación del cemento portland	31
2.4.- CEMENTO PORTLAND	33
2.4.1.- Tipos de cemento de acuerdo a su composición	33
2.4.1.1.- Cemento Portland Ordinario (CPO).....	33
2.4.1.2.- Cemento Portland Compuesto (CPC)	34
2.4.1.3.- Cemento Portland Puzolánico (CPP)	34
2.4.1.4.-Cemento Portland con Escoria Granulada de Alto Horno (CPEG)	34
2.4.1.5.- Cemento con Escoria Granulada de Alto Horno (CEG)	34
2.4.1.6.- Cemento Portland con Humo de Sílice (CPS)	35
2.4.2.- Tipos de cemento de acuerdo a su resistencia.....	35
2.4.3.- Tipo de cemento en base a sus características especiales	35
2.4.4.- Componentes de los cementos	36
2.4.5.- Fabricación del cemento portland	37
2.4.5.1.- Proceso Húmedo:	38
2.4.5.2.- Procesos Seco y Semi-seco:	39
2.4.6.- Finura del cemento	40
2.5.- CONCRETO HIDRÁULICO	41
2.5.1.- Tipos de concretos hidráulicos.....	41



2.5.1.1.- De acuerdo a las etapas del concreto.....	41
2.5.1.2.- De acuerdo a su forma de elaboración	44
2.5.1.3.- De acuerdo a su resistencia	45
2.5.1.4.- De acuerdo a sus características especiales.....	47
2.6.- DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO POR EL MÉTODO DEL ACI.....	49
2.6.1.- Paso 0: resistencia promedio a la compresión (f'_{cr})	50
2.6.2.- Paso 1: elección del revenimiento	53
2.6.3.- Paso 2: elección del tamaño máximo de agregado.....	54
2.6.4.- Paso 3: Cálculo del agua de mezclado y contenido de aire.....	54
2.6.5.- Paso 4: selección de la relación agua/cemento.....	56
2.6.6.- Paso 5: cálculo del contenido de cemento.....	56
2.6.7.- Paso 6: estimación del contenido de agregado grueso	56
2.6.8.- Paso 7: estimación del contenido de agregado fino	57
2.6.9.- Paso 8: ajustes por humedad del agregado.....	58
2.6.10.- Paso 9: ajustes en las mezclas de prueba.....	59
CÁPITULO 3: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	63
3.1.- PRUEBAS DE CALIDAD PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGREGADO FINO (ARENAS)	64
3.1.1.- Muestreo de agregados pétreos (NMX-C-030-ONNCCE-2004).....	64
3.1.2.- Cuarteo de agregados finos (NMX-C-170-ONNCCE-1997).....	68
3.1.3.- Masa volumétrica seca y suelta (NMX – C – 073 – ONNCCE – 2004).....	71
3.1.4.- Masa volumétrica seca y compactada (NMX – C – 073 – ONNCCE – 2004). 74	
3.1.5.- Humedad actual en arenas (NMX – C – 166 – ONNCCE – 2006).....	75
3.1.6.- Humedad de absorción en arenas (NMX – C – 165 – ONNCCE – 2014).....	78
3.1.7.- Densidad relativa saturada en arenas (NMX–C–165–ONNCCE–2014)	80
3.1.8.- Análisis granulométrico (NMX – C – 077 – ONNCCE – 1997)	82
3.1.9.- Impurezas orgánicas en arenas (NMX-C-088-1997-ONNCCE)	85
3.1.10.- Sedimentación en arenas	86
3.2.- PRUEBAS DE CALIDAD PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGREGADO GRUESO (GRAVAS)	88
3.2.1.- Cuarteo de agregados gruesos (NMX-C-170-ONNCCE-1997).....	88
3.2.2.- Masa volumétrica seca y suelta (NMX-073-ONNCCE-2004)	89
3.2.3.- Masa volumétrica seca y compactada (NMX-073-ONNCCE-2004).....	90



3.2.4.- Humedad actual en gravas (NMX – C – 166 – ONNCCE – 2006)	91
3.2.5.- Humedad de absorción en gravas (NMX – C – 164 – ONNCCE – 2014).....	93
3.2.6.- Densidad en gravas (NMX – C – 164 – ONNCCE – 2014)	96
3.2.7.- Análisis granulométrico (NMX – C – 077 – ONNCCE – 1997)	97
3.3.- PRUEBAS DE CALIDAD PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL CEMENTO	99
3.3.1.- Consistencia normal del cemento (NMX-C-057-ONNCCE-2015)	99
3.3.2.- Determinación de los tiempos de fraguado	101
3.3.3.- Densidad del cemento hidráulico (NMX-C-152-ONNCCE-2015).....	102
3.4.- PRUEBAS DE CALIDAD PARA EL CONCRETO EN ESTADO FRESCO Y ENDURECIDO	104
3.4.1.- Dosificación de las mezclas de concreto	104
3.4.2.- Mezclado del concreto en el laboratorio	106
3.4.3.- Revenimiento del concreto fresco (NMX-C-156-ONNCCE-2010).....	107
3.4.4.- Elaboración y curado de especímenes de concreto (NMX-C-159-ONNCCE- 2016).....	109
3.4.5.- Resistividad eléctrica del concreto endurecido (NMX-514-ONNCCE-2016)	112
3.4.6.- Velocidad de pulso ultrasónico (NMX-C-275-ONNCCE-2004).....	114
3.4.7.- Cabeceo de cilindros de concreto (NMX-C-109-ONNCCE-2013)	116
3.4.8.- Resistencia a compresión (NMX-C-083-ONNCCE-2014).....	117
CÁPITULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	122
4.1.- CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS PÉTREOS	123
4.1.1.- Humedad Actual.....	123
4.1.2.- Humedad de absorción	124
4.1.3.- Densidad.....	124
4.1.4.- Masa volumétrica seca y suelta (MVSS)	125
4.1.5.- Masa volumétrica seca y compactada (MVSC)	126
4.1.6.- Análisis granulométrico	126
4.1.7.- Colorimetría y Sedimentación.....	133
4.2.- CARACTERIZACIÓN DEL CEMENTO	134
4.2.1.- Consistencia Normal	134
4.2.2.- Tiempos de fraguado	135
4.2.3.- Densidad.....	135



4.3.- DOSIFICACIÓN DE LAS MEZCLAS	136
4.3.1.- Dosificación tradicional	136
4.3.2.- Dosificación por el método ACI	137
4.4.- CALIDAD DEL CONCRETO.....	139
4.4.1.- Resistividad eléctrica.....	139
4.4.1.1.- Mezcla Nogales GVT-AV	139
4.4.1.2.- Mezcla Nogales GVR-AV	140
4.4.1.3.- Mezcla Tzintzingareo GV-AV	142
4.4.1.4.- Mezcla Piedras de Lumbre GT-AT	143
4.4.2.- Velocidad de Pulso Ultrasónico	146
4.4.2.1.- Mezcla Nogales GVT-AV	146
4.4.2.2.- Mezcla Nogales GVR-AV	147
4.4.2.3.- Mezcla Tzintzingareo GV-AV	149
4.4.2.4.- Mezcla Piedras de L. GT-AT	150
4.4.3.- Resistencia a la compresión de cilindros de concreto	153
4.4.3.1.- Cilindros Nogales GVT-AV.....	153
4.4.3.2.- Cilindros Nogales GVR-AV	155
4.4.3.3.- Cilindros Tzintzingareo GV-AV	157
4.4.3.4.- Cilindros Piedras de Lumbre GT-AT	159
4.4.4.- Costo por m ³ de concreto entre ambas proporciones	163
4.4.4.1.- Nogales GVT-AV	163
4.4.4.2.- Nogales GVR-AV	164
4.4.4.3.- Piedras de Lumbre GT-AT.....	165
4.4.4.4.- Tzintzingareo GV-AV	166
CÁPITULO 5: CONCLUSIONES.....	167
BIBLIOGRAFÍA	172



INDICE DE FIGURAS

Figura 1.- La relación agua/cemento afecta la durabilidad del concreto. (Putzmeister, 2019)	11
Figura 2.- Efecto de la relación agua/cemento en la durabilidad y porosidad del concreto. (Putzmeister, 2019).....	12
Figura 3.- Efecto de la cantidad de agua en la resistencia del concreto. (Putzmeister, 2019)	13
Figura 4.- Banco de materiales. (Chávez Luciano et al., 2016)	15
Figura 5.- Región oriente del estado de Michoacán. (Plan de desarrollo integral de Michoacán, 2015)	16
Figura 6.- Banco de material Piedras de Lumbre ubicado en Jungapeo, Michoacán. (Google Earth Pro, 2019).....	17
Figura 7.- Arena caliza obtenida del banco Piedras de Lumbre. (Contreras, 2019).....	18
Figura 8.- Grava caliza obtenida del banco Piedras de Lumbre. (Contreras, 2019).....	18
Figura 9.- Banco de material los Nogales ubicado en Maravatío, Michoacán. (Google Earth Pro, 2019)	19
Figura 10.- Arena obtenida del banco Los Nogales. (Contreras, 2019)	19
Figura 11.- Grava volcánico-triturada del frente 1 y grava volcánica del frente 2 obtenidas del banco Los Nogales. (Contreras, 2019)	19
Figura 12.- Banco de material Tzintzingareo ubicado en Irimbo, Michoacán. (Google Earth Pro, 2019)	20
Figura 13.- Arena obtenida del banco Tzintzingareo. (Contreras, 2019)	20
Figura 14.- Grava obtenida del banco Tzintzingareo. (Contreras, 2019)	20
Figura 15.- Requerimientos de granulometría para agregado grueso. (NMX-C-111-ONNCCE, 2014)	24
Figura 16.- Límites de Granulometría para el agregado Fino. (NMX-C-111-ONNCCE, 2014).....	26
Figura 17.- Tajos a cielo abierto. (NMX-C-030-ONNCCE, 2004).....	65
Figura 18.- Pozos a cielo abierto. (NMX-C-030-ONNCCE, 2004)	65
Figura 19.- Muestreo por trincheras. (NMX-C-030-ONNCCE, 2004)	66
Figura 20.- Muestreo de material almacenado. (NMX-C-030-ONNCCE, 2004)	67
Figura 21.- Cuarteador mecánico. (NMX-C-030-ONNCCE, 2004)	69
Figura 22.- Cuarteado después de aplanar con el montículo. (Contreras, 2019).....	69
Figura 23.- Aplanado de la parte superior del montículo de arena, por medio de la pala. (Contreras, 2019).....	70
Figura 24.- Aplanado de la parte superior del montículo de arena, por medio de la pala. (Contreras, 2019).....	70
Figura 25.- Cuarteado después de aplanar con el montículo (NMX-C-170-ONNCCE, 1997).....	70
Figura 26.- Muestra de arena dividida en cuartos. (NMX-C-170-ONNCCE, 1997)	70
Figura 27.- Vaciado de la arena en el recipiente con volumen y masa conocida. (Contreras, 2019).....	73
Figura 28.- Llenado del recipiente, sobrepasando el borde. (Contreras, 2019).....	73



Figura 29.- Enrasado del recipiente con ayuda de la varilla. (Contreras, 2019)	73
Figura 30.- Masa de la arena con el recipiente. (Contreras, 2019).....	73
Figura 31.- Compactación de la arena con ayuda de la varilla punta de bala. (Contreras, 2019).....	75
Figura 32.- Obtención de la masa de la arena con el recipiente. (Contreras, 2019)	75
Figura 33.- Masa de la muestra húmeda. (Contreras, 2019).....	77
Figura 34.- Secado de la arena con la parrilla eléctrica. (Contreras, 2019).....	77
Figura 35.- Cristal sobre el material para verificar que está seco. (Contreras, 2019)	77
Figura 36.- Masa de la muestra completamente seca. (Contreras, 2019)	77
Figura 37.- Arena saturada con agua. (Contreras, 2019).....	79
Figura 38.- Arena saturada y superficialmente seca. (Contreras, 2019).....	79
Figura 39.- Peso del frasco de Chapman. (Contreras, 2019).....	81
Figura 40.- Masa de la arena saturada y superficialmente seca. (Contreras, 2019)	81
Figura 41.- Frasco con arena y agua, hasta la marca de 450 ml. (Contreras, 2019).....	81
Figura 42.- Peso del frasco junto con la arena y el agua. (Contreras, 2019)	81
Figura 43.- Masa de la muestra de arena a utilizar. (Contreras, 2019).....	83
Figura 44.- Mallas acopladas en orden decreciente. (Contreras, 2019)	83
Figura 45.- Agitado de las mallas por medio de dispositivo mecánico (Raf-tap). (Contreras, 2019).....	83
Figura 46.- Peso retenido en la malla No. 16. (Contreras, 2019)	83
Figura 47.- Frasco con la arena y la solución de sosa caustica. (Contreras, 2019)	86
Figura 48.- Comparación del color del líquido de la botella con la tabla colorimétrica. (Contreras, 2019).....	86
Figura 49.- Arena en la marca de los 414 ml y el agua en la marca de 828 ml (Contreras, 2019).....	87
Figura 50.- Después de 24 horas se observa que el material fino rebasa la marca de 444 ml. (Contreras, 2019).....	87
Figura 51.- Cuarteo manual o por paleado. (Contreras, 2019).....	88
Figura 52.- Cuarteo por el divisor de muestras. (Contreras, 2019)	88
Figura 53.- Recipiente lleno y enrasado con la mano. (Contreras, 2019)	90
Figura 54.- Masa del recipiente más el peso del material. (Contreras, 2019)	90
Figura 55.- Compactado del material con la varilla punta de bala. (Contreras, 2019).....	91
Figura 56.- Masa del recipiente más el peso del material compactado (Contreras, 2019)..	91
Figura 57.- Masa húmeda de la muestra. (Contreras, 2019).....	92
Figura 58.- Material en la parrilla para eliminar la humedad. (Contreras, 2019).....	92
Figura 59.- Cristal sobre el material para verificar su secado. (Contreras, 2019)	93
Figura 60.- Masa del material completamente seco. (Contreras, 2019)	93
Figura 61.- Muestra de grava saturada en agua durante 24 horas. (Contreras, 2019)	95
Figura 62.- Masa del material saturado y superficialmente seco. (Contreras, 2019)	95
Figura 63.- Secado del material en la parrilla eléctrica. (Contreras, 2019)	95
Figura 64.- Masa del material completamente seco. (Contreras, 2019)	95
Figura 65.- Introduciendo el material dentro del picnómetro. (Contreras, 2019)	97



Figura 66.- Agua desalojada por el picnómetro, la cual corresponde al volumen de la grava. (Contreras, 2019).....	97
Figura 67.- Masa de la muestra para la granulometría. (Contreras, 2019).....	98
Figura 68.- Obtención del peso del material retenido en las mallas. (Contreras, 2019).....	98
Figura 69.- Se enrasa la boca superior del anillo con ayuda de la espátula. (Contreras, 2019).....	100
Figura 70.- Lectura de penetración del aparato de Vicat. (Contreras, 2019)	100
Figura 71.- Determinación del fraguado inicial con la aguja más ligera del aparato de Gillmore. (Contreras, 2019).....	102
Figura 72.- Determinación del fraguado final con la aguja más pesada del aparato de Gillmore. (Contreras, 2019).....	102
Figura 73.- Muestra de cemento de aproximadamente de 64 gramos (Contreras, 2019)..	103
Figura 74.- Líquido que no reaccione con el cemento en el frasco (Contreras, 2019).....	103
Figura 75.- Recipiente con agua, para mantener la temperatura constante durante la prueba. (Contreras, 2019).....	103
Figura 76.- Se introduce el cemento en el frasco para determinar su volumen. (Contreras, 2019).....	103
Figura 77.- Dosificación del cemento en botes de 5 litros. (Contreras, 2019)	105
Figura 78.- Dosificación del agua en botes de 5 litros. (Contreras, 2019)	105
Figura 79.- Dosificación de la grava en botes de 5 litros. (Contreras, 2019).....	105
Figura 80.- Dosificación de la arena en botes de 5 litros. (Contreras, 2019)	105
Figura 81.- Dosificación de los materiales por volumen en botes de 5 litros. (Contreras, 2019).....	107
Figura 82.- Cantidades de materiales necesarios para la mezcla de concreto. (Contreras, 2019).....	107
Figura 83.- Cemento y agregado fino combinados para posteriormente adicionar el agregado grueso. (Contreras, 2019).....	107
Figura 84.- Concreto fresco con la consistencia deseada (Contreras, 2019).....	107
Figura 85.- Compactación de cada capa 25 veces con la varilla. (Contreras, 2019).....	108
Figura 86.- Obtención del revenimiento de la mezcla de concreto fresco. (Contreras, 2019).....	108
Figura 87.- Vaciado de la mezcla de concreto en los especímenes cilíndricos de 10x20cm. (Contreras, 2019).....	111
Figura 88.- Varillado de los especímenes con la varilla de 3/8". (Contreras, 2019).....	111
Figura 89.- Vibrado suave con mazo de goma para eliminar las oquedades. (Contreras, 2019).....	112
Figura 90.- Curado de los especímenes en la pila de curado para evitar la pérdida de humedad. (Contreras, 2019)	112
Figura 91.- Resistómetro Nilson puenteado. (Contreras, 2019).....	113
Figura 92.- Resistómetro conectado y preparado para la obtención de la resistividad, en ohm (Contreras, 2019).....	113
Figura 93.- Transductores y caras del espécimen en contacto, con gel para garantizar el buen funcionamiento. (Contreras, 2019).....	115



Figura 94.- Obtención de la velocidad de pulso ultrasónico a través de concreto, en m/s. (Contreras, 2019).....	115
Figura 95.- Azufre líquido en los moldes, para proceder a cabecear la cara del cilindro de concreto. (Contreras, 2019)	117
Figura 96.- Cilindro de concreto ajustado a las guías y centrado en el molde con azufre. (Contreras, 2019).....	117
Figura 97.- Platina ajustada al espécimen para proceder a aplicar carga. (Contreras, 2019)	120
Figura 98.- Velocidad de carga para cilindros de 10 cm de diámetro. (Contreras, 2019)..	120
Figura 99.- Especimen de concreto fallado después de aplicar la carga de compresión. (Contreras, 2019).....	121
Figura 100.- Carga máxima a compresión de ruptura del cilindro a cierta edad de prueba. (Contreras, 2019).....	121
Figura 101.- Gráfica de granulometría de arena "Nogales".	128
Figura 102.- Gráfica de granulometría de arena "Piedras de Lumbre".	128
Figura 103.- Gráfica de granulometría de arena de "Tzintzingareo"......	129
Figura 104.- Gráfica de granulometría grava V-T de Nogales.....	131
Figura 106.- Gráfica de granulometría grava Piedras de Lumbre.	132
Figura 105.- Gráfica de granulometría grava V-R Nogales.	132
Figura 107.- Gráfica de granulometría grava Tzintzingareo.	133
Figura 108.- Gráfica de comparación de la resistividad del concreto entre ambas dosificaciones Nogales GVT-AV.....	140
Figura 109.- Gráfica de comparación de la resistividad del concreto entre ambas dosificaciones Nogales GVR-AV.....	141
Figura 110.- Gráfica de comparación de la resistividad del concreto entre ambas dosificaciones Tzintzingareo GV-AV.	143
Figura 111.- Gráfica de comparación de la resistividad del concreto entre ambas dosificaciones Piedras de L. GT-AT.	144
Figura 112.- Gráfica de comparación de resistividad del concreto de dosificación tradicional entre los bancos de estudio.	145
Figura 113.- Gráfica de comparación de resistividad del concreto de dosificación ACI entre los bancos de estudio.	145
Figura 114.- Gráfica de comparación de la VPU del concreto entre ambas dosificaciones Nogales GVT-AV.....	147
Figura 115.- Gráfica de comparación de la VPU del concreto entre ambas dosificaciones Nogales GVR-AV.....	148
Figura 116.- Gráfica de comparación de la VPU del concreto entre ambas dosificaciones Tzintzingareo GV-AV.....	150
Figura 117.- Gráfica de comparación de la VPU del concreto entre ambas dosificaciones Piedras de Lumbre GT-AT.	151
Figura 119.- Gráfica de comparación de VPU del concreto de dosificación ACI entre los bancos de estudio.....	152



Figura 118.- Gráfica de comparación de VPU del concreto de dosificación tradicional entre los bancos de estudio.	152
Figura 120.- Gráfica de comparación de la resistencia a compresión del concreto entre ambas dosificaciones Nogales GVT-AV.	154
Figura 121.- Gráfica de comparación de la resistencia a compresión del concreto entre ambas dosificaciones Nogales GVR-AV.	156
Figura 122.- Gráfica de comparación de la resistencia a compresión del concreto entre ambas dosificaciones Tzintzingareo GV-AV.	158
Figura 123.- Gráfica de comparación de la resistencia a compresión del concreto entre ambas dosificaciones Piedras de Lumbre GT-AT.	160
Figura 124.- Gráfica de comparación de la resistencia a compresión de la dosificación tradicional y ACI, cada uno comparado con su resistencia de diseño (f'_c y f'_{cr}).	161
Figura 125.- Gráfica de comparación de la resistencia a compresión del concreto de dosificación tradicional entre los bancos de estudio.	162
Figura 126.- Gráfica de comparación de la resistencia a compresión del concreto de dosificación ACI entre los bancos de estudio.	162
Figura 127.- Comparación del costo por m^3 de concreto entre ambas proporciones de Nogales GVT-AV con respecto a su resistencia.	163
Figura 128.- Comparación del costo por m^3 de concreto entre ambas proporciones de Nogales GVR-AV con respecto a su resistencia.	164
Figura 129.- Comparación del costo por m^3 de concreto entre ambas proporciones de Piedras de L. GT-AT con respecto a su resistencia.	165
Figura 130.- Comparación del costo por m^3 de concreto entre ambas proporciones de Tzintzingareo GV-AV con respecto a su resistencia.	166



INDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Cementos de acuerdo a su clase resistente.....	7
Tabla 2.- Valores permisibles de impurezas para el agua a utilizar. (NMX-C-122-ONNCCE, 2004)	9
Tabla 3.- Influencia de la relación A/C en la resistencia del concreto. (Rojas Vega et al., 2011).....	13
Tabla 4.-Masa Mínima de la muestra. (NMX-C-030-ONNCCE, 2004).....	23
Tabla 5.- Clasificación de forma de las partículas. (Norma Británica BS 812: Parte 1: 1975); (Neville, 1999)	27
Tabla 6.- Textura superficial de los agregados. (Norma Británica BS 812: Parte 1: 1975); (Neville, 1999).....	29
Tabla 7.- Clases resistentes de los cementos Portland. (NMX-C-414-ONNCCE, 2014)	35
Tabla 8.- Características especiales de los cementos Portland. (NMX-C-414-ONNCCE, 2014).....	36
Tabla 9.- Composición de los cementos Portland. (NMX-C-414-ONNCCE, 2017)	36
Tabla 10.- Desviación estándar de la resistencia del concreto en kg/cm2. (Reglamento de Construcción del estado de Michoacán, 2003).....	51
Tabla 11.- Resistencia promedio a la compresión requerida cuando no hay datos disponibles para establecer una desviación estándar de la muestra. (American Concrete Institute 318, 2008).....	51
Tabla 12.- Resistencia promedio a la compresión requerida cuando hay datos disponibles para establecer una desviación estándar de la muestra. (NMX-C-155-ONNCCE, 2014); (American Concrete Institute 318, 2008)	52
Tabla 13.- Factor de corrección para la desviación estándar cuando estén disponibles menos de 30 ensayos. (American Concrete Institute 318, 2008).....	53
Tabla 14.- Revenimientos recomendados para diversos tipos de construcción. (American Concrete Institute 211.1, 2009)	53
Tabla 15.- Requisitos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos nominales recomendados. (American Concrete Institute 211.1, 2009).....	55
Tabla 16.- Correspondencia entre la relación agua/cemento y la resistencia a la compresión del concreto. (American Concrete Institute 211.1, 2009).....	56
Tabla 17.- Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto para diferentes módulos de finura del agregado fino (arena). (American Concrete Institute 211.1, 2009)..	57
Tabla 18.- Masa Mínima de la muestra. (NMX-C-030-ONNCCE, 2004)	68
Tabla 19.- Dimensiones de los recipientes de acuerdo al tamaño máximo del agregado. (NMX-C-073-ONNCCE, 2004)	72
Tabla 20.- Masa de la muestra de agregado. (NMX-C-166-ONNCCE, 2006)	76
Tabla 21.- Límites granulométricos para agregado fino. (NMX-C-111-ONNCCE, 2014) .	84
Tabla 22.- Tamaño mínimo de la muestra a utilizar. (NMX-C-164-ONNCCE, 2014).....	94
Tabla 23.- Tipos de absorción. (Colegio de Ingenieros Civiles de Michoacán, 1999)	96
Tabla 24.- Tolerancias para distintos revenimientos. (NMX-C-156-ONNCCE, 2010).....	109



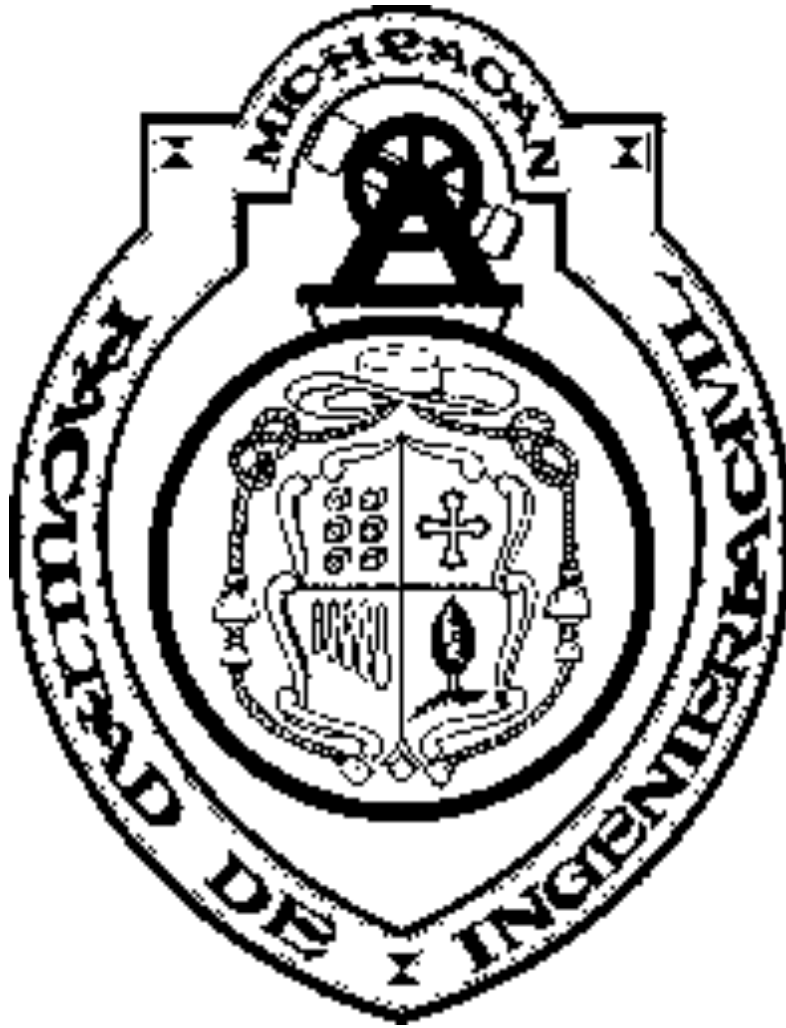
Tabla 25.- Número de capas requeridas para especímenes cilíndricos. (NMX-C-159-ONNCCE, 2016)	110
Tabla 26.- Diámetro de la varilla y número de penetraciones empleados para moldear los especímenes cilíndricos. (NMX-C-159-ONNCCE, 2016)	110
Tabla 27.- Criterios para evaluar la resistividad eléctrica o riesgo de corrosión del acero de refuerzo. (NMX-C-514-ONNCCE, 2016); (NMX-C-530-ONNCCE, 2017).....	114
Tabla 28.- Criterios para evaluar la velocidad de pulso ultrasónico (VPU). (NMX-C-275-ONNCCE, 2004)	116
Tabla 29.- Factores de corrección por esbeltez de la resistencia para especímenes cilíndricos. (NMX-C-083-ONNCCE, 2014)	118
Tabla 30.- Velocidad de aplicación de carga. (NMX-C-083-ONNCCE, 2014).....	119
Tabla 31.- Tolerancias a edades de prueba especificadas. (NMX-C-083-ONNCCE, 2014)	119
Tabla 32.- Porcentaje de humedad actual de los agregados.	123
Tabla 33.- Porcentaje de humedad de absorción de los agregados.	124
Tabla 34.- Densidad de los agregados de estudio.....	125
Tabla 35.- Masa volumétrica seca y suelta de los agregados de estudio.....	125
Tabla 36.- Masa volumétrica seca y compactada de los agregados de estudio.	126
Tabla 37.- Análisis granulométrico promedio de la arena del banco "Nogales".	127
Tabla 38.- Análisis granulométrico promedio de la arena del banco "Tzintzingareo".	127
Tabla 39.- Análisis granulométrico promedio de la arena del banco "Piedras de Lumbre".	127
Tabla 40.- Análisis granulométrico promedio de la grava V-T de "Nogales"	130
Tabla 41.- Análisis granulométrico promedio de la grava rosa de "Nogales".....	130
Tabla 42.- Análisis granulométrico promedio de la grava de "Piedras de Lumbre".	130
Tabla 43.- Análisis granulométrico promedio de la grava de "Tzintzingareo".	131
Tabla 44.- Colorimetría y sedimentación de la arena de los bancos de estudio.	134
Tabla 45.- Consistencia normal del cemento.....	135
Tabla 46.- Tiempos de fraguado inicial y final del cemento.	135
Tabla 47.- Densidad del cemento.	136
Tabla 48.- Proporcionamiento ACI Nogales GRV-AV.....	137
Tabla 49.- Proporcionamiento ACI Nogales GVT-AV.....	138
Tabla 50.- Proporcionamiento ACI Piedras de Lumbre GT-AT.	138
Tabla 51.- Proporcionamiento ACI Tzintzingareo GV-AV.	138
Tabla 52.- Resistividades en cilindros de proporción tradicional Nogales GVT-AV.	139
Tabla 53.- Resistividades en cilindros de proporción ACI Nogales GVT-AV.	140
Tabla 54.- Resistividades en cilindros de proporción tradicional Nogales GVR-AV.....	141
Tabla 55.- Resistividades en cilindros de proporción ACI Nogales GVR-AV.	141
Tabla 56.- Resistividades en cilindros de proporción tradicional Tzintzingareo GV-AV. .	142
Tabla 57.- Resistividades en cilindros de proporción ACI Tzintzingareo GV-AV.....	142
Tabla 58.- Resistividades en cilindros de proporción tradicional Piedras de L. GT-AT. ..	143
Tabla 59.- Resistividades en cilindros de proporción ACI Piedras de L. GT-AT.....	144
Tabla 60.- V.P.U. en cilindros de proporción tradicional Nogales GVT-AV.	146



Tabla 61.- V.P.U. en cilindros de proporción ACI Nogales GVT-AV.	146
Tabla 62.- V.P.U. en cilindros de proporción tradicional Nogales GVR-AV.	147
Tabla 63.- V.P.U. en cilindros de proporción ACI Nogales GVR-AV.	148
Tabla 64.- V.P.U. en cilindros de proporción tradicional Tzintzingareo GV-AV.	149
Tabla 65.- V.P.U. en cilindros de proporción ACI Tzintzingareo GV-AV.	149
Tabla 66.- V.P.U. en cilindros de proporción tradicional Piedras de Lumbre GT-AT.	150
Tabla 67.- V.P.U. en cilindros de proporción ACI Piedras de Lumbre GT-AT.	151
Tabla 68.-Resistencias a compresión de cilindros Nogales GVT-AV de proporción tradicional.	153
Tabla 69.-Resistencias a compresión de cilindros Nogales GVT-AV de proporción ACI.	154
Tabla 70.-Resistencias a compresión de cilindros Nogales GVR-AV de proporción tradicional.	155
Tabla 71.-Resistencias a compresión de cilindros Nogales GVR-AV de proporción ACI.	156
Tabla 72.- Resistencias a compresión de cilindros Tzintzingareo GV-AV de proporción tradicional.	157
Tabla 73.- Resistencias a compresión de cilindros Tzintzingareo GV-AV de proporción ACI.	158
Tabla 74.- Resistencias a compresión de cilindros Piedras de Lumbre GT-AT de proporción tradicional.	159
Tabla 75.-Resistencias a compresión de cilindros Piedras de Lumbre GT-AT de proporción ACI.	160



CAPITULO 1



INTRODUCCIÓN



1.1 INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia el hombre siempre ha buscado la forma de realizar construcciones más seguras, económicas y duraderas. Con el paso del tiempo se ha probado realizar las construcciones con diversidad de materiales como lo son: roca, madera, acero, etc. Pero en la actualidad uno de los materiales más bondadosos y versátiles que existen dentro del ámbito de la construcción, sin ninguna duda es el Concreto hidráulico, ya que posee la ventaja de adaptarse a cualquier molde (cimbra), esto se debe a que al momento de su elaboración es un material muy trabajable, otra de las características del concreto es que puede producirse en cualquier sitio y no es necesaria una alta capacitación para su preparación.

El concreto se trata como un conjunto de partículas aglutinadas con pasta de cemento (cemento, agua y agregados pétreos). De este modo, los agregados pétreos han adquirido la categoría de materiales de construcción, cuyas propiedades físicas y químicas influyen en el comportamiento que tendrá el concreto desde el proceso de fabricación hasta el término de su vida útil.

Los elementos estructurales de concreto suelen producirse en obra y su calidad depende de la calidad de la mano de obra en los procesos de elaboración y colocación del concreto, también depende ampliamente de la forma de dosificación y la calidad de los materiales que se utilizarán en la mezcla de concreto. Por lo tanto, la disparidad en los métodos de producción del concreto es clara y resulta evidente la importancia del control de calidad de este material en la obra.

Para diseñar o dosificar una mezcla de concreto es necesario partir de ciertos datos obtenidos en el laboratorio al realizar la caracterización de los materiales, es decir, la obtención de las propiedades físicas y mecánicas de los materiales a utilizar para la mezcla de concreto y de esta forma asegurar la resistencia esperada. Pero la falta de laboratorios en el medio, así como la apatía de los constructores para revisar la calidad de los materiales a utilizar en sus concretos, son la causa de fallas en sus obras, ya que algunas veces se realiza el concreto sin un estudio previo de los materiales en el laboratorio.

Si se fabrica un concreto sin conocer las características de los materiales, se obtendrá un concreto de calidad desconocida y esto tiene ciertas desventajas, entre ellas el costo de producción, ya que utilizan más material del que en realidad se necesita, y en la mayoría de



los casos ni así se obtiene la resistencia esperada, teniéndose como consecuencia, el fallo de estructuras a causa de un mal diseño del concreto hidráulico.

Es de suma importancia conocer las características principales del concreto y de todos sus componentes, ya que es responsabilidad total de los constructores el poder brindar obras lo más seguras, económicas y eficientes posibles. Es por ello que el conocer las características de los agregados pétreos de algunos de los bancos de la región oriente de Michoacán ayudará a comprender y conocer los efectos que tienen estos materiales en la elaboración de concreto hidráulico, realizando un proporcionamiento por el método ACI, el cual garantiza un buen comportamiento del concreto, ya que éste sí considera las características de cada uno de los materiales que se usarán en la mezcla; el proporcionamiento así encontrado, se comparará contra un diseño de mezcla tradicional o empírico que se usa comúnmente en las zonas de estudio del oriente michoacano, es decir, un diseño “estándar” que se hace mediante experiencia práctica de los constructores, sin un análisis previo de laboratorio de los agregados.

Se concluirá la dosificación de forma práctica, con la cantidad de botes o barricas de material obtenidos por el método ACI, y compararlos entonces con los botes usados en la dosificación tradicional.

En este trabajo de Tesis, se realizó la caracterización de los materiales en condiciones de laboratorio y se elaboraron 30 especímenes cilíndricos de 10 cm de diámetro por 20 cm de altura, 15 con proporción tradicional 1:4:4 y 15 con proporción ACI por cada banco de material analizado, con el fin de compararlos a resistencia a compresión a edades de 7, 14, 21, 28 y 45 días, y concluir sobre la pertinencia de realizar las proporciones de manera tradicional o empírica de 1:4:4 en volumen.

1.2.- OBJETIVO GENERAL

El objetivo de esta investigación es evaluar las propiedades físico-mecánicas de un concreto dosificado de forma tradicional y compararlo contra uno dosificado por el método ACI, con el fin de saber si resulta viable o no, utilizar un concreto elaborado con una dosificación tradicional de la zona, es decir, sin considerar las características de cada uno de los materiales a utilizar en la mezcla de concreto.



1.2.1.- Objetivos particulares.

- Determinar el efecto que tienen las diferentes formas de dosificar una mezcla sobre la resistencia mecánica a la compresión del concreto.
- Determinar la cantidad óptima de materiales a utilizar procedentes de los distintos bancos de estudio, para obtener la resistencia mecánica requerida a la compresión en las mezclas de concreto.
- Realizar las recomendaciones necesarias para optimizar el uso de los materiales para elaborar Concreto hidráulico, en la zona oriente de Michoacán.

1.3.- JUSTIFICACIÓN

Los materiales para la construcción de obras civiles son relevantes para la correcta ejecución de la obra, ya que de ellos dependerá la calidad y durabilidad de la obra construida, aunque cabe mencionar que el proceso por el cual es producido y colocado dicho material es de la misma manera relevante.

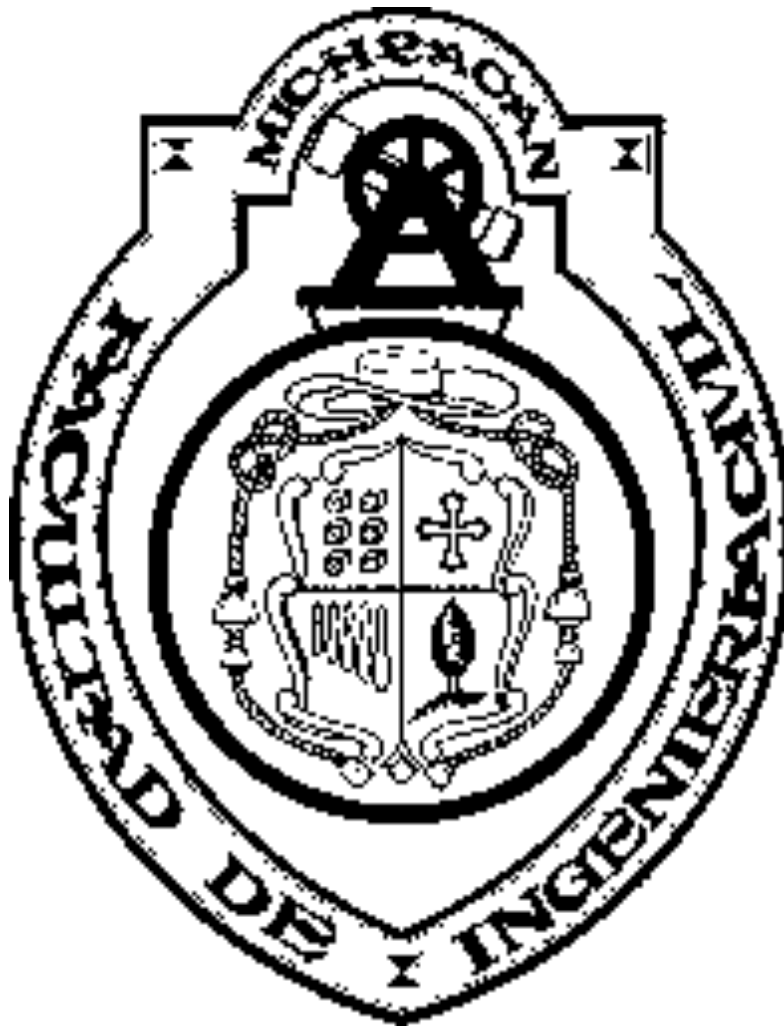
Los agregados son la parte fundamental del concreto ya que de ellos dependerá el consumo de cemento para alcanzar la resistencia requerida. En la región oriente de Michoacán se carece de agregados que tengan características físicas y mecánicas favorables para la elaboración de concreto, lo que genera que si no se tiene el control suficiente en la producción de concreto hecho en obra, no se alcancen las resistencias especificadas poniendo en riesgo la funcionalidad de la estructura.

Este estudio pretende determinar con los distintos bancos de la región cual es la proporción necesaria para alcanzar un $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$ en el concreto elaborado en obra, con la finalidad que los constructores de la región tengan una guía para saber qué cantidades de arena y grava deben usar para cada uno de los bancos.

Mencionando cual banco de materiales genera un mejor comportamiento del concreto y con el análisis de precios de los materiales se da a conocer el costo de materiales para producir concreto con cada uno de los bancos de la región, dosificado por volumen de manera empírica y por el método ACI, ofreciendo así, no solo a Obras Públicas de la región, sino a todos sus contratistas información la toma de decisiones tanto al momento de presupuestar, como de construir.



CAPITULO 2



MARCO TEÓRICO



2.1.- ANTECEDENTES

2.1.1-AGREGADOS PÉTREOS

En el transcurso de la historia de la humanidad el hombre ha necesitado aprender a usar los recursos que ofrece la naturaleza. Es así como la historia del proceso de los agregados se remonta a la actividad gestada desde el interior de la tierra a través de las eras geológicas que han llevado a cambios en la formación y transformación de las rocas que se utilizan hoy en la elaboración de concreto hidráulico.

En los últimos años, la necesidad de materiales de construcción ha llevado al hombre a estudiar las leyes naturales y comprenderlas a través de la observación cuidadosa de las rocas desde su estado natural hasta sus medios de uso.

Es reconocido que más del 60 % del volumen de cada metro cúbico de concreto fabricado está constituido por los agregados pétreos, condición que destaca la importancia que tienen estos materiales en la elaboración del concreto. Bajo esta condición, las características de los materiales que lo forman y los efectos de su uso en el concreto se han estudiado con mucho mayor detalle, de tal manera que se pueda producir un concreto de mejores características.

Se entiende por "agregado " a la mezcla de arena y roca de forma, tamaño y granulometría variable actuando como un conjunto de partículas inorgánicas que pueden ser de origen natural o artificial y al menos tres cuartas partes del volumen del concreto están ocupadas por agregado, no es de extrañar que la calidad de éste sea de suma importancia.

El agregado pétreo es un material sólido, pétreo, natural y/o artificial, de forma estable aparentemente inerte, de composición, pH y tamaño variable.

Los agregados son usados principalmente en la fabricación de mezclas de concreto, asfalto, mortero, como bases y sub-bases en la construcción de vías, drenajes o balasto para vías de ferrocarril. (López Garavito & Sepulveda, 2014)



2.1.2.- COMPONENTES DE UNA MEZCLA DE CONCRETO

2.1.2.1.- Cemento Portland

En el siglo XIX, Joseph Aspdin y James Parker patentaron en 1824 el cemento Portland, denominado así por su color gris verdoso oscuro similar a la piedra de Portland.

El cemento Portland, es un material cementante que posee propiedades adhesivas y cohesivas compuesto por silicatos de calcio, aluminatos de calcio, ferro aluminatos de calcio y de sulfato de calcio (yeso), Este cemento se produce por la pulverización del Clinker, el cual se obtiene por la calcinación en el horno del material crudo calcáreo y sílice, junto con el yeso; el cual se utiliza en la fabricación del concreto ya que tiene la capacidad de fraguar y endurecer al momento que se combina con agua, experimentando una reacción química exotérmica con ésta producto de la hidratación del cemento y, por lo tanto, se denominan cementos hidráulicos. (Neville, 1999)

La fabricación del cemento debe contener cal, sílice, alúmina y componentes de hierro en proporciones adecuadas.

Según la norma mexicana NMX-C-414-ONNCCE-2017 los cementos se clasifican de la siguiente manera:

Por su composición:

- **CPO**, Cemento Portland Ordinario
- **CPP**, Cemento Portland Puzolánico
- **CPEG**, Cemento Portland con Escoria Granulada de alto horno
- **CPC**, Cemento Portland Compuesto
- **CPS**, Cemento Portland con humo de Sílice
- **CEG**, Cemento con Escoria Granulada de alto horno

En la tabla 1, se muestra la clasificación del cemento de acuerdo a su clase resistente.



Por su clase resistente:

Tabla 1.- Cementos de acuerdo a su clase resistente. (NMX-C-414-ONNCCE, 2017)

Clase	Resistencia, MPa		
	3 días	28 días	
	Mínimo	Mínimo	Máximo
20	-	20	40
30	-	30	50
30R	20	30	50
40	-	40	-
40R	30	40	-

Por sus características especiales:

- **RS**, Resistente a los sulfatos
- **BRA**, Baja Reactividad Alkali agregado
- **BCH**, Bajo Calor de Hidratación
- **B**, Blanco

(NMX-C-414-ONNCCE-2017, Industria de la Construcción-Cementos Hidráulicos Especificaciones y Métodos de Prueba.)

2.1.2.2.- Agregados Pétreos

Los agregados son materiales granulares, los cuales se obtienen por la fragmentación, por causas naturales o medios artificiales. Se utilizan para la construcción de estructuras de concreto, mediante la combinación con un cementante y agua. (Morales Alejandro, 2015)

Según la CFE los agregados pétreos se clasifican de la siguiente manera:

Por el origen de las rocas:

- **Ígneas**, producidas por solidificación a partir de un estado de fusión. Por lo general, presentan muy buenas propiedades físicas (densidad, dureza y resistencia).
- **Metamórficas**, proceden de rocas ígneas o sedimentarias modificadas por condiciones de presión y temperatura. Entre ellas también existe gran variedad de características. El cuarzo casi siempre es de buena calidad, pero las pizarras, son de calidad dudosa.



- **Sedimentarias**, se forman por sedimentos transportados por agua, aire o gravedad. Existen duras y suaves, pesadas y ligeras, densas y porosas. En este grupo predominan las areniscas y las calizas, que cuando son duras y densas, suministras buenos agregados.

Por el método de la fragmentación:

- **Naturales**, se obtienen por procesos naturales (erosión).
- **Manufacturados o triturados**, se obtienen por procesos artificiales (mecánicos).
- **Mixtos**, se obtienen por combinación de materiales fragmentados por procesos naturales y artificiales.

Por el tamaño de las partículas:

- **Agregado fino (arena)**, es el agregado que pasa la malla 3/8” (9.5 mm) y casi totalmente pasa por la malla No. 4 (4.75 mm) y es predominantemente retenido en la malla No. 200 (0.075 mm).
- **Agregado grueso (grava)**, es el agregado predominantemente retenido en la malla No. 4 (4.75 mm).

Por su peso unitario:

- **Baja densidad**, (300 – 800 kg/m³).
- **Ligero**, (800 – 1400 kg/m³).
- **Ligero estructural**, (1400 – 1900 kg/m³).
- **Normal**, (2200 – 2500 kg/m³).
- **Pesado**, (2600 – 5500 kg/m³).

(Recuperado de: Comisión Federal de Electricidad, Manual de tecnología del concreto, México, 1994)

2.1.2.3.- Agua

El agua es un componente de vital importancia para la elaboración del concreto hidráulico, ya que gracias a ésta se produce una reacción química al ser combinada con el cemento hidráulico. Dicha agua puede ser potable, es decir que por sus características sea útil para el



consumo humano o bien, que cumpla con los requisitos de calidad especificados en la norma NMX-C-212-ONNCCE-2018.

La norma NMX-C-122-ONNCCE-2018 proporciona la tabla 2 para marcar los límites de impurezas que puede contener el agua con la que se desea trabajar.

Tabla 2.- Valores permisibles de impurezas para el agua a utilizar. (NMX-C-122-ONNCCE, 2004)

Valores característicos y límites máximos tolerables de sales e impurezas		
Impurezas	Límites en ppm	
	Cementos ricos en calcio	Cementos sulforesistentes
Sólidos en suspensión		
En aguas naturales	2000	2000
En aguas recicladas	50000	35000
Cloruros		
Para concreto con acero de preesfuerzo	400	600
Para concretos reforzados en ambiente húmedo	700	1000
Sulfato (SO_4)	3000	3500
Magnesio (Mg^{++})	100	150
Carbonatos (CO_3)	600	600
Dióxido de carbono disuelto (CO_2)	5	3
Álcalis totales (NA^+)	300	450
Total de impurezas en solución	3500	4000
Grasas o aceites	0	0
Materia orgánica	150	150
Valor del pH	No menor de 6	No menor de 5

2.1.3.- CONCRETO HIDRÁULICO

Una de las causas principales del acelerado desarrollo de la ingeniería civil es, sin duda la aparición del concreto. Dicho material vino a revolucionar la práctica constructiva.

Los egipcios utilizaban como material cementante el yeso calcinado, mientras que los griegos y romanos usaban calizas calcinadas; posteriormente aprendieron al mezclar cal con agua, arena y roca triturada, este fue el primer concreto de la historia. Los romanos mezclaban la cal con ceniza volcánica o con teja de arcilla finamente trituradas, el sílice y la alúmina que se encontraban presentes en las cenizas y en las tejas, se combinaban con cal para producir lo que se conocía como cemento Puzolánico, que proviene del nombre Puzolli, cerca del Vesubio, que fue el lugar donde se encontraron por primera vez estas cenizas volcánicas.



En la edad media hubo una disminución general en el uso en calidad del concreto y fue hasta el siglo XVIII en que se encuentra un adelanto en el uso del cemento; en 1756, Joseph Smeaton, al construir el faro Eddystone en la costa Cornwalles, en Inglaterra, observa que el mejor mortero lo tiene cuando se mezcla puzolana con caliza que contenga alta cantidad de material arcilloso. A partir de esto se desarrollaron otros tipos de cementos hidráulicos, como el “cemento romano” que obtuvo James Parker por calcinación de nódulos de caliza arcillosa. La evolución culminó con la patente del cemento Portland en 1824 por J. Aspidin un constructor de Ledds, Inglaterra. (García Lemus, 2000)

Durante mucho tiempo se ha notado que el concreto hidráulico es un material adecuado para lograr estructuras durables, ejemplo de los cuales son las que hoy en día siguen de pie después de muchos años, por lo tanto se puede decir que el concreto es uno de los materiales más importantes para la construcción debido a su durabilidad. (Morales Alejandre, 2015)

El concreto hidráulico es una mezcla de agregados pétreos, agua y cemento, los cuales al ser combinados forman una masa semejante a una roca, esto gracias a la reacción química que sucede entre el cemento y el agua, la cual produce la hidratación del cemento. La masa resultante posee una gran resistencia a los esfuerzos de compresión por aplicación de cargas.

2.1.4.- CONCEPTOS GENERALES SOBRE EL CONCRETO

2.1.4.1.- Durabilidad

Se puede decir que el concreto es un material durable y a su vez resistente, sin embargo en algunas estructuras se puede observar que el concreto se encuentra con algún grado de deterioro, como agrietamiento y erosión, que puede afectar su capacidad estructural; en otras, se pueden apreciar estructuras que solo necesitan retoques en el acabado. Esta diferencia en el desempeño de los concretos con los que fueron realizadas las estructuras, se debe a condiciones ambientales a las que está expuesto el concreto, a la idoneidad de los materiales y mezclas utilizados, así como a un diseño estructural apropiado ya que todos ellos influyen en su durabilidad.

Al tener en cuenta la durabilidad del concreto se está haciendo referencia al costo final de la obra y su vida útil.



Cuando se habla de durabilidad se refiere a la capacidad de resistir las condiciones ambientales y a la acción del tiempo a las que se expone la estructura de concreto, ya sean ataques químicos, físicos o cualquier otro proceso de deterioro.

Cabe mencionar que la durabilidad se puede ver afectada si se altera la relación agua/cemento, es decir cuando dicha relación es alta, las partículas de cemento están muy espaciadas entre sí, esto provoca que cuando se produce el fraguado, los productos de la hidratación del cemento no cubran todo este espacio y queden pequeños poros. Por lo que a mayor relación agua-cemento, mayor es la porosidad del concreto y, por lo tanto, menor es su durabilidad, como se muestra en la figura 1. (Putzmeister, 2019)



*Figura 1.- La relación agua/cemento afecta la durabilidad del concreto.
(Putzmeister, 2019)*

De lo contrario, si se tiene una baja relación agua/cemento la porosidad y permeabilidad es menor y por lo tanto la durabilidad es mayor. En la figura 2 se puede apreciar el efecto que tiene la relación a/c en las propiedades del concreto.

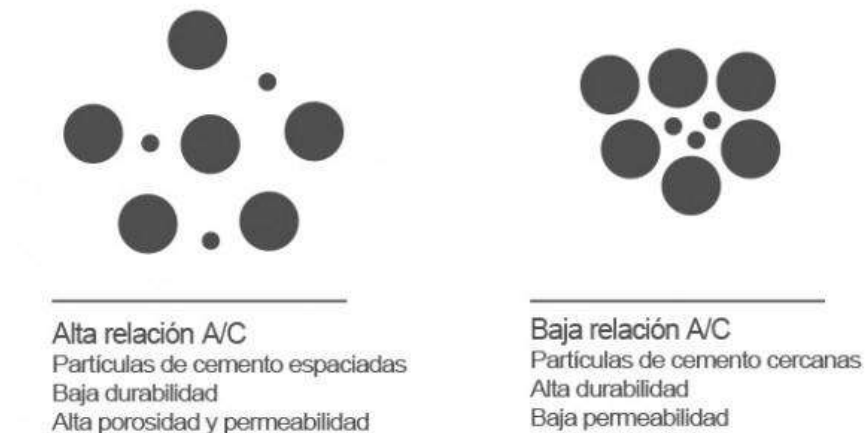


Figura 2.- Efecto de la relación agua/cemento en la durabilidad y porosidad del concreto. (Putzmeister, 2019)

2.1.4.2.- Relación Agua/Cemento

La relación agua-cemento (A/C) es uno de los parámetros más importantes de la tecnología del concreto, pues es la que influye considerablemente en la resistencia final del mismo.

La relación agua/cemento se puede definir como el contenido de agua y el contenido de cemento en masa del concreto fresco, este parámetro como ya se mencionó anteriormente es de suma importancia, ya que el agua y su relación con el cemento están altamente ligados a una gran cantidad de propiedades del material final que se obtendrá, en donde usualmente conforme más agua se adicione, aumenta la fluidez de la mezcla y, por lo tanto, su trabajabilidad y plasticidad, lo cual presenta grandes beneficios para la mano de obra; no obstante cabe destacar que, también comienza a disminuir la resistencia debido al mayor volumen de espacios creados por el agua. (Rojas Vega, Hidalgo Madrigal, Pizarro García , & Segura Guzmán, 2011)

De acuerdo con lo anterior, se puede afirmar que la resistencia del concreto depende altamente de la relación entre el agua y el cemento, esto se puede apreciar en la tabla 3, en donde claramente podemos observar que entre menor sea la relación agua cemento, mayor en la resistencia del mismo y viceversa. Ver figura 3.



Tabla 3.- Influencia de la relación A/C en la resistencia del concreto. (Rojas Vega et al., 2011)

A/C	f 'c (kg/cm ²)
0.36	420
0.40	370
0.45	340
0.50	295
0.55	275
0.60	230
0.65	220
0.70	185
0.75	165
0.80	140



Figura 3.- Efecto de la cantidad de agua en la resistencia del concreto. (Putzmeister, 2019)



2.1.4.3.- Curado del concreto

El curado del concreto es básicamente mantener la temperatura y humedad del mismo, esto se logra manteniéndolo en un ambiente apropiado, durante las primeras etapas del endurecimiento. El curado es el nombre que se da a los procedimientos utilizados para promover la hidratación del cemento.

El objetivo del curado es mantener saturado el concreto o lo más cercano posible, en el caso del concreto hecho en obra, el curado se detiene casi siempre mucho antes de que haya ocurrido la máxima hidratación posible.

Así como la relación A/C, el curado es muy importante, ya que si este proceso se hace mal, se podría perder hasta el 30% de la resistencia esperada; por eso, lo recomendable sería hacerlo por 28 días. Cabe destacar que la resistencia que se le especifica al concreto, es aproximadamente el 65% en los primeros 7 días, a los 14 días la resistencia debe haber logrado llegar al 80% de lo que se espera en 28 días, es decir el 100 %.

Un método con el cual podemos garantizar el curado del concreto es aquél de surtir el agua que puede ser absorbida por el mismo. Esto requiere que la superficie del concreto esté continuamente en contacto con el agua durante un periodo de tiempo especificado, iniciándose tan pronto como la superficie del concreto ya no sea propensa a sufrir daño. Dichas condiciones pueden realizarse por medio del rocío o inundación con ayuda de mangueras, o cubriendo el concreto con arena, tierra, aserrín o paja húmedos. (Neville, 1999)

2.2.- BANCOS DE MATERIAL

Un banco de materiales, es aquel lugar previamente estudiado y analizado, el cual se encuentra constituido por roca o material granular, grava, arena, arcilla, susceptible de ser usado en la construcción. Los materiales utilizados comúnmente en la construcción, tales como suelos, rocas, gravas, arenas, etc., normalmente son extraídos y procesado en bancos de materiales, que se encuentran en estado natural.

En otras palabras los bancos de materiales son excavaciones a cielo abierto las cuales son destinadas a extraer material para la formación de terraplenes, para rellenos de excavaciones



para estructuras, así como también para la fabricación de mezclas asfálticas y concretos hidráulicos.

Los materiales que se obtienen de los bancos de material usados para la elaboración de concreto, se conocen como agregados pétreos, los cuales como ya se mencionó anteriormente pueden ser de peso normal, ligero o pesado. Los tres tipos pueden ser utilizados para la producción de concreto estructural.

Los agregados deben cumplir con ciertas especificaciones; la forma de partículas, la granulometría y el tamaño máximo de agregado tiene una gran influencia en el proporcionamiento de la mezcla y la economía del concreto, y también, evidentemente, en su calidad. Los agregados deben ser partículas limpias, resistentes y durables, libres de contaminación de materiales finos y partículas suaves y quebradizas. (Chávez Luciano, Gomez Monterrey, & Ramos, 2016)



Figura 4.- Banco de materiales. (Chávez Luciano et al., 2016)

2.2.1.- BANCOS DE MATERIAL EN ESTUDIO

Los bancos de material que se utilizaron para su estudio en el presente trabajo, son procedentes de la región 4, es decir, de la zona oriente (Zitácuaro) del estado de Michoacán.



Dicha región cuenta con bosques con gran vegetación, cuenta aproximadamente con medio millón de hectáreas de coníferas en las especies de pino, encino y oyamel. Posee diversos climas, los cuales favorecen la gran variedad de flora, fauna y frutos de la zona. También se encuentra el santuario de la mariposa monarca, que es el orgullo de los michoacanos y una de las 13 maravillas creadas por la naturaleza.

En dicha región se encuentran los municipios de Angangeo, Aporo, Contepec, Epitacio Huerta, Hidalgo, Irimbo, Juárez, Maravatío, Jungapeo, Senguio, Tiquicheo, Tlalpujahua, Tuxpan, Tuzantla, Tzitzio y Zitácuaro; en este último se encuentra la puerta de entrada al país de la mariposa monarca, puerta de tierra caliente y ciudad de la independencia, como se muestra en la figura 5. De algunos de los municipios mencionados anteriormente se obtuvo el material necesario procedente de distintos bancos de material, para el estudio presente en este trabajo.

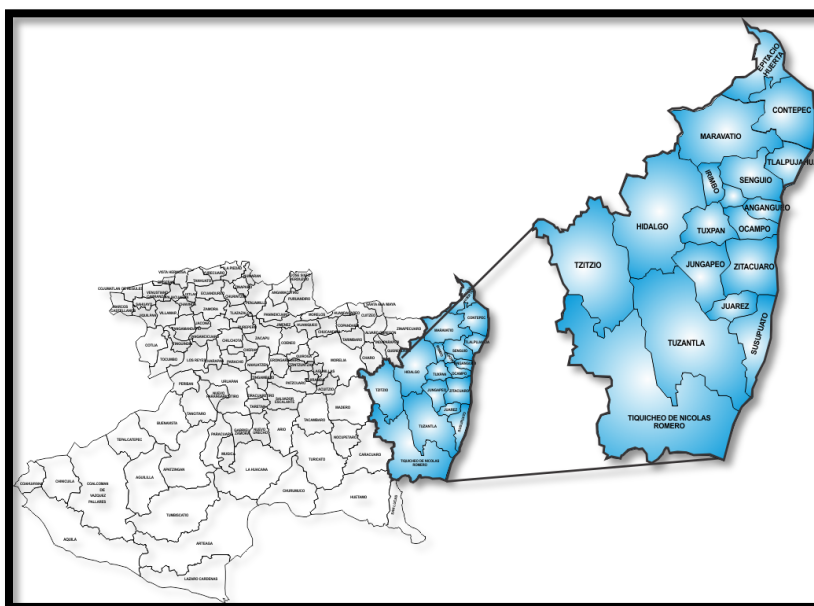


Figura 5.- Región oriente del estado de Michoacán. (Plan de desarrollo integral de Michoacán, 2015)

Los agregados como son la grava y la arena se extrajeron de los bancos de material llamados “Piedras de Lumbre”, “Los Nogales” y “Tzitzingareo” que se encuentran ubicados en los municipios de Jungapeo, Maravatío e Irimbo respectivamente, de Michoacán, México.



2.2.1.1.- Banco de material “Piedras de Lumbre”

Este banco de material se encuentra ubicado cerca de la localidad de Piedras de Lumbre, la cual está situada en el municipio de Jungapeo, Michoacán en el Km 112+000 desviación izquierda de la carretera Toluca – Morelia, como se observa en la figura 6.

Este banco de material es una mina en el cual se explora y se explota la piedra caliza, la cual es una roca sedimentaria porosa formada por carbonatos, principalmente carbonato de calcio. La roca caliza tiene una gran resistencia a la meteorización, eso ha permitido que muchas esculturas y edificios de la antigüedad tallados en dichas rocas hayan llegado hasta nuestros días. Sin embargo, la acción del agua de lluvia y ríos provoca la disolución de la caliza, creando un tipo de erosión.

En la planta Piedra de Lumbre se procesan por el sistema de calcinación e hidratación los minerales no metálicos, para la fabricación cal viva e hidratada (calidra), carbonato de calcio y cemento. Dicho banco es de propiedad particular del cual se pueden obtener materiales tales como grava, arena, cal, cal hidratada, cal viva, carbonato de calcio, cemento y mortero (Figura 7 y 8). El material obtenido del banco es de tipo triturado el cual pasa por un proceso de cribado y trituración parcial. Para la extracción de los materiales no se requiere el uso de explosivos y los usos probables que se le pueden dar a dicho material son para revestimientos, sub-base, base y para la elaboración de concreto hidráulico, y de acuerdo a la SCT económicamente es conveniente el uso de los materiales de dicho banco. (SCT, 2017)



Figura 6.- Banco de material Piedras de Lumbre ubicado en Jungapeo, Michoacán. (Google Earth Pro, 2019)



Figura 7.- Arena caliza obtenida del banco Piedras de Lumbre. (Contreras, 2019)



Figura 8.- Grava caliza obtenida del banco Piedras de Lumbre. (Contreras, 2019)

2.2.1.2.- Banco de material “Los Nogales”

Este banco de material se encuentra ubicado en el municipio de Maravatío, Michoacán en el Km 016+700 desviación derecha de la carretera Ciudad Hidalgo – Maravatío, como se observa en la figura 9.

En este banco de material se explora y se explota la roca tezontle, la cual es una roca de origen volcánico (ígneas) que puede encontrarse en lugares donde alguna vez hubo actividad de este tipo. Como todas las rocas de esta clase, es porosa y rugosa, y cuenta con algunas propiedades que la vuelven una muy buena opción para la construcción, especialmente como material decorativo. La principal característica del tezontle es que conserva el calor, por lo que desde la antigüedad se le utiliza para la construcción de toda clase de hornos para que mantenga la temperatura de manera constante y uniforme, dicha roca tiene componentes a partir del bióxido de hierro, de ahí su color rojizo. (Grupo AGRAS, 2017)

El banco de material “Los Nogales” cuenta con 2 frentes de explotación para la obtención de grava y solo uno para la obtención de la arena, en el primer frente se obtiene grava de tipo volcánico – triturada, es decir, la grava tezontle que es la volcánica que se encuentra combinada con grava negra que pasa por procesos de trituración y del segundo frente se obtiene únicamente grava volcánica (tezontle) (Figura 10 y 11). Por lo tanto para este caso se estudiarán las 2 tipos de gravas obtenidas, combinadas cada una con la única arena del banco para la elaboración del concreto hidráulico. Este banco de material es de propiedad



particular del cual parte del material obtenido deber pasar por un proceso de cribado y trituración, los usos que se recomiendan para este tipo de material son para revestimiento, base y sub-base. Para la extracción de los materiales no se requiere de usos de explosivos y según la SCT económicamente es conveniente utilizar los materiales de dicho banco. (SCT, 2017)



Figura 9.- Banco de material los Nogales ubicado en Maravatío, Michoacán. (Google Earth Pro, 2019)



Figura 11.- Arena obtenida del banco Los Nogales. (Contreras, 2019)



Figura 10.- Grava volcánico-triturada del frente 1 y grava volcánica del frente 2 obtenidas del banco Los Nogales. (Contreras, 2019)



2.2.1.3.- Banco de material “Tzintzingareo”

Este banco de material se encuentra ubicado cerca de la localidad de Tzintzingareo, la cual se encuentra en el municipio de Irimbo, Michoacán (Figura 12), dicho banco no se encuentra registrado actualmente en la lista de bancos que proporciona la SCT. De dicho banco se obtuvo grava y arena de origen volcánico como se observa en la figura 13 y 14.



Figura 14.- Banco de material Tzintzingareo ubicado en Irimbo, Michoacán. (Google Earth Pro, 2019)



Figura 13.- Arena obtenida del banco Tzintzingareo. (Contreras, 2019)



Figura 12.- Grava obtenida del banco Tzintzingareo. (Contreras, 2019)



2.2.2.- EXPLOTACIÓN DE BANCOS DE MATERIAL

La magnitud del impacto ambiental está en función del tipo de banco que se quiera explotar, ya sea que se trate de un banco virgen o de uno que ya ha sido utilizado con anterioridad, otra parte importante es de la maquinaria y/o equipo que se utilice para la extracción y triturado de los materiales.

Los impactos más significativos a la naturaleza por la explotación de los bancos de material son principalmente la modificación de los drenajes naturales, la eliminación parcial de la flora característica del lugar.

Los impactos significativos en general son irreversibles y la única forma en la cual se pueden minimizar es a través de una correcta ubicación de los proyectos, buscando reducir los impactos y afectar al mínimo los recursos con los que interactuará el proyecto, la óptima selección del trazo, una planeación y diseño adecuados, soportado en la realización de estudios hidrológicos, de vegetación, de fauna y de uso de suelo para que el proyecto sea compatible con los recursos naturales y se realice un proyecto armónico con el ambiente.

Los impactos no tan significativos para la naturaleza son el desplazamiento de la fauna local, la pérdida de la cubierta vegetal y la generación del ruido.

Con respecto a los impactos no significativos, éstos son en general, a diferencia de los significativos son temporales, de corta duración y reversibles, restableciéndose el ambiente una vez que se termina la fase de construcción.

La selección adecuada de los sitios de explotación de los bancos de materiales es la etapa más importante para minimizar impactos al ambiente por las actividades que conlleva, enfatizando que no se desarrollen bancos de materiales en zonas con ecosistemas que incluyan especies raras o en peligro de extinción. (Damian Hernández, Martínez Soto, & Aguirre Pérez, 2000)

2.2.3.- EXPLORACIÓN Y MUESTREO DE BANCOS DE MATERIAL

2.2.3.1.- Exploración de bancos

La exploración de bancos debe proporcionar información para la toma de decisiones, información importante como lo es la determinación de la naturaleza del depósito desde el punto de vista de la geología, y de la hidrología superficial; Determinación de la profundidad,



espesor, extensión y la composición de los estratos de suelo o roca susceptibles de explotación; Determinación de las propiedades de los suelos y rocas y de los usos anteriores que se hayan hecho. (Damian Hernández, Martínez Soto, & Aguirre Pérez, 2000)

Para poder estar seguros de la viabilidad que existe para poder explotar un banco de materiales, se debe realizar una investigación en la cual se incluyan las siguientes etapas:

- Reconocimiento preliminar. Opinión y estudios previos de un Geólogo.
- Exploración preliminar. Esta etapa nos sirve para diagnosticar el espesor y la composición del banco de materiales.
- Exploración definitiva. En esta etapa se incluyen pruebas de laboratorio que definan detalladamente las características del banco.

2.2.3.2.- Muestreo de bancos

Una vez que ya que realizó la exploración completa del banco de material y resulta viable la explotación del mismo, procedemos con el muestreo del banco.

Antes de efectuar el muestreo debe eliminarse el material de despalme. Cabe destacar que debe tomarse un número suficientemente grande de muestras para que sean lo más representativas posible del banco, incluyendo cualquier variación significativa del mismo.

Dependiendo de las características de la fuente de abastecimiento, el muestreo puede efectuarse mediante los procedimientos de pozo a cielo abierto, pudiendo emplearse para la recolección de muestras, barrenadoras o rompedoras neumáticas, y en casos especiales, brocas con corona de diamante para extraer corazones.

Existen diversas formas de muestrear, dependiendo de la forma en que se encuentra el material, de cómo se almacena, como se transporta y el tipo de material a muestrear. A Continuación se enlista los distintos tipos de muestreo, de acuerdo a la norma mexicana NMX-C-030-ONNCCE-2004:

- Muestreo en Formaciones no explotadas.
- Muestreo de Canteras.
- Muestreo de material almacenado.
- Muestreo en la corriente de descarga de tolvas o bandas.



- Muestreo de unidades de transporte.

Las masas mínimas recomendables de las muestras de arena y grava que deben enviarse al laboratorio para realizarle todas las pruebas correspondientes que nos proporciona la norma mexicana NMX-C-030 se muestran en la tabla 4.

Tabla 4.-Masa Mínima de la muestra. (NMX-C-030-ONNCCE, 2004)

Material	Tamaño Máximo Nominal (mm)	Pasa por la malla (Criba No.)	Masa Mínimas de la muestra de campo (kg)
Arena	Hasta 5	4.74 mm (No.4)	100
Grava	Hasta 75	75 mm (3")	150
Grava	Mayor de 75	--	200
Grava	Cualquiera	--	300

Nota: En agregados ligeros (aquellos cuya masa específica sea inferior de 2.0) estas masas deben multiplicarse por 0.65.

Una vez realizado el muestreo y el envío de la muestra con al menos la masa mínima requerida, debe hacerse un informe sobre la explotación y las observaciones primarias que incluyen como mínimo, el tipo de fuente de abastecimiento, capacidad potencial de agregados que puede suministra el banco de material, calidad del material y el croquis de localización. (NMX-C-030-ONNCCE, 2004)

2.2.4.- AGREGADOS PÉTREOS

Los agregados pétreos que se utilizan en la elaboración del concreto hidráulico, son materiales teóricamente inertes, de volumen prácticamente constante, que al ser usados en conjunto con la pasta cementante (agua más cemento) en las proporciones adecuadas, nos dan como resultado, concretos de características mecánicas muy diversas.

Los agregados constituyen alrededor del 66 al 78 % en volumen de una mezcla típica de concreto hidráulico, por lo tanto, es considerado como el “soporte” de la mezcla.



El término agregados comprende las arenas, gravas naturales y la roca triturada utilizadas para preparar concretos, también se aplica a los materiales a los materiales especiales utilizados para producir concretos ligeros y pesados. (García Lemus, 2000)

Los agregados pétreos se dividen en finos y gruesos, siendo la arena el más común de los agregados finos y la grava la más común de los agregados gruesos.

2.2.4.1.- Agregado Grueso (Grava)

Los agregados gruesos están formados fundamentalmente por gravas, gravas trituradas, concreto de cemento hidráulico triturado o una combinación de lo anterior, se puede definir como el conjunto de granos sueltos y de estructura cristalina, los cuales se consideran como el material retenido a partir del tamiz no. 4 (4.75mm) o cuyas partículas sean predominantemente mayores a 5 mm, y generalmente entre 9.5 mm y 38 mm, para su buena utilización no deben ser demasiado porosos, ni de forma muy alargada de acuerdo con los requerimientos que establece la norma NMX-C-111-ONNCCE-2004 en la figura 15.

Tamaño nominal, mm (Pulg.)	100	90 a 100	75 3"	63 2 1/2"	50 2"	37.5 1 1/2"	25 1" 11/2"	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 15	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

Figura 15.- Requerimientos de granulometría para agregado grueso. (NMX-C-111-ONNCCE, 2014)



El agregado grueso debe cumplir con las especificaciones de la figura 15. Cuando se tengan agregados gruesos fuera de dichas especificaciones, se deben procesar para que de esta forma cumplan con los límites.

2.2.4.1.1.- Tamaño Máximo de Agregado (T.M.A)

El tamaño máximo de agregado que se utiliza en el concreto es de suma importancia, ya que es necesario para un buen diseño de concreto y fundamental en la economía. Comúnmente se necesita más agua y cemento para agregados de tamaño pequeño que para mayores tamaños.

El tamaño máximo de un agregado, es el menor tamaño de malla por el cual todo el agregado debe pasar o bien dónde no se debe retener prácticamente nada del mismo. El tamaño máximo nominal de un agregado, es el menor tamaño de malla por el cual debe pasar la mayor parte del agregado o bien retener solo una parte. La malla de tamaño máximo nominal, puede retener el 10 % aproximadamente del agregado grueso. (NMX-C-155-ONNCCE, 2014)

2.2.4.2.- Agregado Fino (Arena)

Los agregados finos comúnmente consisten en arena natural o piedra triturada siendo la mayoría de sus partículas menores que 5 mm o cuyas partículas pasen por el tamiz No. 4.

La forma y textura superficial de las partículas individuales de arena o agregado ligero tienen una influencia importante en la manejabilidad del concreto tanto en estado fresco como endurecido.

Es de suma importancia controlar la cantidad de arena en una mezcla de concreto, ya que un exceso de arena requiere mayor cantidad de agua, ya que entre más arena tenga la mezcla se vuelve más cohesiva y al requerir mayor cantidad de agua se necesita mayor cantidad de cemento para conservar una determinada relación agua cemento.

El agregado fino debe cumplir con los límites granulométricos especificados en la norma NMX-C-111-ONNCCE-2004, los cuales se muestran en la figura 16.



Criba mm (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

Figura 16.- Límites de Granulometría para el agregado Fino. (NMX-C-111-ONNCCE, 2014)

En el agregado fino el retenido parcial en cualquier criba no debe ser mayor al 45 % y en el caso de que el agregado no cumpla con lo especificado en la tabla 1.6, estos pueden ser utilizados únicamente, siempre y cuando existan antecedentes de comportamiento aceptable en el concreto elaborado con ellos, o bien, que los resultados de las pruebas realizadas a estos concretos en el laboratorio sean satisfactorias. (NMX-C-111-ONNCCE, 2014)

2.2.4.2.1.- Módulo de Finura (M.F.)

El módulo de finura nos da una idea del grosor o la finura del agregado, entre mayor sea el módulo de finura, más grueso será el mismo. Este parámetro útil para estimar las proporciones de los agregados finos y gruesos en las mezclas de concreto.

El módulo de finura del agregado fino se obtiene, sumando los porcentajes acumulados en peso de los agregados retenidos en una serie especificada de mallas y dividiendo la suma entre 100. El valor de este debe estar comprendido entre 2,30 y 3,10. (NMX-C-111-ONNCCE, 2014)

2.2.5.- CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS

2.2.5.1.- Forma y textura de las partículas

La forma y la textura superficial dependen de la naturaleza de la roca de origen, de su dureza, tamaño de los granos, porosidad, así como de las acciones a que hayan estado sometidos los agregados.



2.2.5.1.1.- Forma de la partícula

Las características externas de las partículas también son datos de suma importancia, tales como son la forma y textura de las mismas. Los cuerpos tridimensionales tienen un sinnúmero de formas diferentes, por esto mismo es que resulta difícil el poder describir su forma.

La redondez es la medida del filo o esquinas que posee una partícula, esta característica está controlada por la cantidad de desgaste a la que hayan estado expuestas las partículas; en el caso de los agregados triturados la forma de la partícula no solo está controlada por la naturaleza de la roca, sino también de la trituradora a la que se somete la misma para su reducción.

Una clasificación de la forma que puede llegar a tener las partículas es la que proporciona la norma británica BS 812: Parte 1: 1975, y que se puede observar en la tabla 5.

Tabla 5.- Clasificación de forma de las partículas. (Norma Británica BS 812: Parte 1: 1975); (Neville, 1999)

Clasificación	Descripción	Ejemplos
Redondeada	Completamente desgastada por el agua o totalmente formadas por fricción.	Grava de río o de playa; arena de desierto, de playa o acarreada por el viento.
Irregular	Irregulares por naturaleza, parcialmente formadas por fricción o con bordes redondeados.	Otras gravas; pizarra de superficie o subterránea.
Escamosa	Materiales cuyo espesor es pequeño en comparación con sus otras 2 dimensiones.	Roca laminada.
Angular	Con bordes bien definidos, formados en las intersecciones de caras aproximadamente planas.	Rocas trituradas de todos tipos, taludes detríticos y escoria triturada.



Alargada	Material que suele ser angular, pero cuya longitud es bastante mayor que las otras 2 dimensiones.	---
Escamosa y Alargada	Material cuya longitud es bastante mayor que el ancho y el ancho bastante mayor que el espesor	----

Otro aspecto importante relacionado con la forma de las partículas, en especial de los agregados gruesos, es la esfericidad. Esta se puede definir como la relación que existe entre el área superficial de la partícula con respecto a su volumen. La esfericidad representa más influencia cuando el agregado grueso es sometido a procesos de trituración para reducir su tamaño.

Las partículas que presenten una alta relación área superficial/volumen requerirán de mayor cantidad de agua para lograr una mayor trabajabilidad en la mezcla de concreto. (Neville, 1999)

2.2.5.1.2.- Textura de las partículas

Otro factor importante a tener en cuenta es la textura de las partículas, ya que esta afecta su adherencia con la pasta de cemento y también influye en la cantidad de agua que se le agregara a la mezcla, especialmente en el caso del agregado fino (Arena).

La textura superficial de las partículas se puede clasificar de acuerdo al grado de opacidad, pulido o aspereza que presenten las mismas. La textura superficial depende de la dureza, tamaño de grano, características de porosidad del material original y las fuerzas que actúan sobre la cara de la partícula.

Una clasificación de la textura que pueden presentar los agregados es la que proporciona la norma británica BS 812: Parte 1: 1975, y la cual se describe en la tabla 6.



Tabla 6.- Textura superficial de los agregados. (Norma Británica BS 812: Parte 1: 1975); (Neville, 1999)

Grupo	Textura superficial	Características	Ejemplos
1	Vítrea	Fractura de concha.	Pedernal negro, escoria vítrea.
2	Lisa	Desgastada por el agua o lisa debido a fractura de roca laminada o de roca de grano fino.	Grava, horsteno pizarra, mármol.
3	Granular	Fracturas que muestran granos más o menos redondeados en forma uniforme.	Arenisca, oolita.
4	Áspera	Fractura áspera de roca de granos finos o medianos, que contengan partes cristalinas difíciles de detectar.	Basalto, caliza.
5	Cristalina	Con partes cristalinas fáciles de detectar.	Granito, gabro gneis. Ladrillo, piedra pómez, Clinker.
6	En forma de panal	Con vacíos y poros visibles.	

De acuerdo a todo lo mencionado anteriormente, se puede decir que la forma y textura de las partículas son de suma importancia, ya que representan una gran influencia en la resistencia del concreto, en la adherencia de las partículas a la mezcla de concreto y también tienen un efecto significativo sobre el requisito de agua para mezclas hechas con determinados agregados. (Neville, 1999)

2.2.5.2.- Adherencia del agregado

La adherencia es la propiedad de la materia por la cual se unen dos superficies cuando entran en contacto, y se mantienen juntas por fuerzas intermoleculares. La adherencia ha jugado un papel muy importante en muchos aspectos de las técnicas de construcción.

La adherencia pasta-agregado es el resultado de una combinación o entrelazamiento mecánico de los productos de hidratación del cemento con la superficie del agregado, y de reacciones químicas entre ésta superficie y la pasta de cemento.



La adhesión que existe entre el agregado y la mezcla de cemento es un factor de suma importancia para garantizar la resistencia del concreto, especialmente cuando es sometido a esfuerzos de flexión, es decir, a la resistencia a la misma.

Esta propiedad se debe en parte a que el agregado y la pasta se entrelazan debido a la aspereza de la superficie del primero. Si se considera el trabajo en conjunto que existe entre los agregados pétreos y la pasta de cemento en el concreto endurecido se puede decir que, si las resistencias individuales no son restrictivas, la resistencia última del concreto debe depender sensiblemente de la compatibilidad entre ambos componentes. Sin embargo esta es una situación cambiante con la edad, ya que la resistencia del concreto como la de adherencia progresa con la hidratación del cemento (Neville, 1999)

2.3.- AGUA PARA CONCRETO

El agua que se utiliza para la elaboración del concreto debe cumplir con dos funciones muy importantes, la primera es permitir la hidratación del cemento y la segunda pero no menos importante es hacer la mezcla manejable. De toda el agua que se emplea en la preparación de un concreto hidráulico, parte de ella cumple con la función de hidratar al cemento, el resto no presenta ninguna alteración y con el tiempo se evapora; y como esta misma ocupaba espacio dentro de la mezcla, al evaporarse deja vacíos los cuales disminuyen la resistencia y la durabilidad del concreto.

Se considera que el agua es adecuada para poder producir un concreto, si su composición química indica que es apta para el consumo humano, sin importar si la misma ha tenido un tratamiento o no; es decir, que casi cualquier agua natural que pueda beberse y que no tenga sabor u olor notable sirve para su uso en la elaboración del concreto hidráulico.

El agua de mezclado es probablemente el menos costoso de los ingredientes del concreto, sin embargo, es uno de los más importantes. La cantidad de agua utilizada nos va a determinar la resistencia última del concreto. Existe una relación directa entre la cantidad de agua y la calidad del concreto producido, es decir, al incrementar la cantidad de agua se ve afectada negativamente la calidad. Cabe resaltar que el agua utilizada debe estar libre de ácidos, grasas y aceites, etc., de acuerdo a lo establecido en la NMX-C-122-ONNCCE-2004. (Roque Zalapa, 2001)



2.3.1.- PROPIEDADES DEL AGUA

El agua es el líquido más importante que existe por varias razones, la más importante de todas es que es de vital importancia para la salud humana, como también lo es para los animales y para la naturaleza; el agua cuenta con una gran variedad de propiedades tanto físicas como químicas, algunas de ellas se enlistan a continuación:

- Acción disolvente: El agua es el líquido que más sustancias puede disolver, por esto mismo recibe el nombre de "Disolvente universal", debido a su característica polar, y su capacidad para formar puentes de hidrógeno con otras sustancias polares e iónicas.
- Conducción Eléctrica: El agua con sales es un buen conductor de electricidad porque hay presencia de iones con cargas eléctricas.
- Fuerza de Cohesión entre sus moléculas: Los puentes de hidrógeno mantienen a las moléculas fuertemente unidas, formando una estructura compacta que la convierte en un líquido casi incompresible.
- Elevada Fuerza de adhesión.
- Capilaridad.

(Fondo para la comunicación y educación ambiental S.A de C.V., 2007; Agua.org.mx)

De acuerdo a lo anterior se puede decir que el agua tiene un sinfín de propiedades, pero la propiedad más importante del agua en el ámbito de la construcción, es la capacidad que tiene para poder lograr la hidratación del cemento y de esta forma poder obtener concreto hidráulico, el cual es el material más utilizado en la construcción.

2.3.2.- HIDRATACIÓN DEL CEMENTO PORTLAND

A la reacción que ocurre entre el cemento hidráulico con el agua, la cual por dicha combinación forma un hidrato, en términos químicos se le conoce como hidratación. En el cemento la hidratación se refiere a la reacción del cemento no hidratado, dicha hidratación es la que ocasiona los cambios físicos y químicos del cemento, particularmente con el fraguado y el endurecimiento.

Para lograr una hidratación completa del cemento, éste debe ser mezclado con una cantidad óptima de agua, es decir, con una buena relación agua cemento (a/c), si de lo



contrario no se maneja una óptima cantidad de agua, se puede ver afectado el progreso de la hidratación y las propiedades del material hidratado. (García Guillen, 2011)

El progreso de hidratación se puede ver afectado por una variedad de factores, entre los cuales destacan:

- La finura del cemento.
- La relación agua/cemento utilizada.
- La temperatura del curado.
- La presencia de aditivos químicos.

La hidratación del cemento consiste de un proceso de reacciones que existen entre los minerales del Clinker, sulfato de calcio y el agua, dichas reacciones suceden de manera simultánea y las cuales se enlistan a continuación:

1. Primera etapa: Periodo de pre-inducción.

Se trata de la hidratación inicial rápida, la cual ocurre durante los primeros minutos, casi inmediatamente cuando entran en contacto las partículas del cemento con el agua. Dicha hidratación implica una gran cantidad de calor liberado producto de la reacción química entre el agua y el cemento.

2. Segunda etapa: Periodo de inducción.

Una vez que ha ocurrido el periodo donde ocurre la hidratación inicial rápida, ocurre una desaceleración de las reacciones de hidratación. En esta segunda etapa, la hidratación de los minerales del Clinker progresa muy lentamente.

3. Tercera etapa: Periodo de aceleración.

Durante esta etapa la hidratación se vuelve a acelerar y crecimiento de los productos de hidratación. El grado de hidratación del C_3S se acelera y se forma una “segunda capa” de gel CSH.

4. Cuarta etapa: Periodo de desaceleración.



En esta cuarta etapa el proceso de hidratación se vuelve a desacelerar, pero esta vez lo hace gradualmente, mientras que el material que aún no ha presentado una reacción decrece y el progreso de la hidratación comienza a ser controlado por la difusión en estado sólido.

5. Quinta etapa: Difusión limitada.

Durante la quinta y última etapa de hidratación, ya se han formado una capa de hidratos sobre la superficie del cemento, la cual se torna cada vez más gruesa, lo cual hace que sea más difícil para las moléculas de agua incorporarse a las partículas de cemento. La hidratación disminuye debido a que dichas moléculas de agua no pueden llegar a las partículas del cemento y entonces en esta etapa la pasta del cemento aparece como compacta. (García Guillen, 2011)

2.4.- CEMENTO PORTLAND

Según la norma ASTM C 219, “El cemento portland es un cemento hidráulico producido por la molienda de Clinker, el cual consiste de al menos dos tercios en masa de silicatos de calcio $3(\text{CaO}) \cdot \text{SiO}_2$ y $3(\text{CaO}) \cdot \text{SiO}_2$, el resto contiene óxido de aluminio (Al_2O_3) y óxido de hierro (Fe_2O_3); usualmente contiene uno o más de las formas de sulfato de calcio como adición en la molienda.”

En otras palabras el cemento portland es un material que se puede mezclar con agua ya sea sólo o combinado con agregados pétreos, tiene la propiedad de combinarse con el agua hasta lograr formar una masa endurecida mejor conocida como concreto. El concreto es un Clinker finamente pulverizado, este producto de la cocción a altas temperaturas de mezclas de cal, alúmina, fierro y sílice en diferentes proporciones.

2.4.1.- TIPOS DE CEMENTO DE ACUERDO A SU COMPOSICIÓN

A continuación se muestra las clasificaciones del cemento portland de acuerdo a su composición, es decir, según la norma mexicana NMX-C-414-ONNCCE-2017.

2.4.1.1.- Cemento Portland Ordinario (CPO)

El cemento portland ordinario es un cemento que no tiene incorporaciones de material, es decir, es el cemento “normal” que se obtiene mediante proceso industrial, pulverizado a un grado de finura determinado. Cuando el proyecto no especifique el tipo de cemento portland a utilizar, se usará cemento tipo CPO.



El Cemento Portland Ordinario es excelente para su uso construcciones en general, zapatas, columnas, trabes, castillos, dalas, muros, losas, pavimentos, guarniciones, banquetas, etc.

2.4.1.2.- Cemento Portland Compuesto (CPC)

El cemento Portland Compuesto es el que se obtiene de igual forma que el CPO, de la molienda de los mismos materiales, con la diferencia de que a este tipo de cemento el componente adicional al Clinker es la Caliza con el sulfato de calcio.

Presenta excelente durabilidad en prefabricados para alcantarillados y a los concretos les proporciona una mayor resistencia química y menor desprendimiento de calor. Este cemento es compatible con todos los materiales de construcción convencionales como arenas, gravas, piedras, cantera, etc.

2.4.1.3.- Cemento Portland Puzolánico (CPP)

Este cemento es el que resulta de la molienda conjunta del Clinker, puzolanas y sulfato de calcio.

Las puzolanas son materiales naturales, artificiales o una combinación de los dos, los cuales no logran endurecer por sí mismos, pero cuando son finamente molidos logran su reacción con el agua a temperatura ambiente y forman compuestos con propiedades cementantes.

Este tipo de cementos están especialmente diseñados para la construcción sobre suelos salinos y es el mejor para obras expuestas a ambientes químicamente agresivos.

2.4.1.4.-Cemento Portland con Escoria Granulada de Alto Horno (CPEG)

Es el producto que resulta de la molienda del Clinker, escoria granulada de alto horno y sulfato de calcio. La escoria granulada de alto horno es el residuo que se obtiene en el alto horno por la fusión de minerales de fierro, el cual es enfriando de forma brusca con agua y aire. La escoria granulada de alto horno está compuesta principalmente por silicatos y aluminosilicatos cálcicos.

2.4.1.5.- Cemento con Escoria Granulada de Alto Horno (CEG)

Este tipo de cemento se produce mediante la molienda del Clinker, sulfato de calcio y en su mayoría contiene escoria granulada de alto horno.



2.4.1.6.- Cemento Portland con Humo de Sílice (CPS)

Este tipo cemento es producto de la molienda del Clinker, humo de sílice y sulfato de calcio. El humo de sílice es una puzolana muy fina, la cual se constituye principalmente por sílice amorfa, obtenida producto de la fabricación de silicio.

2.4.2.- TIPOS DE CEMENTO DE ACUERDO A SU RESISTENCIA

A continuación se muestra la tabla 7, en la cual se clasifica el cemento Portland de acuerdo a su resistencia a la compresión.

Tabla 7.- Clases resistentes de los cementos Portland. (NMX-C-414-ONNCCE, 2017)

Clase resistente	Resistencia a la compresión en Mpa (kg/cm ²)		
	A 3 días	A 28 días	
	Mínimo	Mínimo	Máximo
20	--	20 (204)	40 (408)
30	--	30 (306)	50 (510)
30R	20 (204)	30 (306)	50 (510)
40	--	40 (408)	--
40R	30 (306)	40 (408)	--

Nota: 1 Mpa equivale a 10.2 kg/cm².

Para poder identificar un cemento Portland especificado en algún proyecto, la clase resistente deberá anotarse inmediatamente después del tipo de cemento de acuerdo a su composición, como se observa en el siguiente ejemplo:

- CPO 40, se trata de un Cemento Portland Ordinario con clase resistente de 40, es decir, con una resistencia mínima a los 28 días de 40 Mpa equivalente a 408 kg/cm².

2.4.3.- TIPO DE CEMENTO EN BASE A SUS CARACTERÍSTICAS ESPECIALES

A continuación se observa la tabla 8, en la cual se clasifican los cementos Portland de acuerdo a sus características especiales. Los cementos pueden tener una o más características especiales según lo que se necesite.



Tabla 8.- Características especiales de los cementos Portland. (NMX-C-414-ONNCCE, 2017)

Característica Especial	Nomenclatura
Resistente a los sulfatos	RS
Baja Reactividad álcali-agregado	BRA
Bajo Calor de Hidratación	BCH
Blanco	B

Para poder identificar un cemento Portland con alguna característica especial especificada en algún proyecto, la característica especial deberá anotarse inmediatamente después de la clase resistente y del tipo de cemento de acuerdo a su composición, si el mismo llegará a tener más de una característica especial, la nomenclatura deberá anotarse siguiendo el orden descendente de la tabla 8.

- CPO 40 RS, se trata de un cemento portland ordinario con clase resistente de 40, es decir, con una resistencia mínima a los 28 días de 40 Mpa equivalente a 408 kg/cm² y el cual es resistente a los sulfatos.
- CPEG 40 BRA/BCH, se trata de un cemento portland con escoria granulada de alto horno con clase resistente de 40, es decir, con una resistencia mínima a los 28 días de 40 Mpa equivalente a 408 kg/cm², con baja reactividad álcali-agregado y bajo calor de hidratación.

2.4.4.- COMPONENTES DE LOS CEMENTOS

La composición de los cementos queda definida por la siguiente tabla 9:

Tabla 9.- Composición de los cementos Portland. (NMX-C-414-ONNCCE, 2017)

Componentes (% en masa)	
Clinker	Principales



TIPO	Portland + yeso	Escoria granulada de alto horno	Materiales Puzolánicos	Humo de sílice	Caliza	Minoritarios
CPO	95 - 100	-	-	-	-	0 - 5
CPP	50 – 94	-	6 – 50	-	-	0 - 5
CPEG	40 – 94	6 – 60	-	-	-	0 - 5
CPC	50 – 94	6 - 35	6 – 35	1 – 10	6 - 35	0 - 5
CPS	90 – 99	-	-	1 – 10	-	0 - 5
CEG	20 – 39	61 – 80	-	-	-	0 - 5

2.4.5.- FABRICACIÓN DEL CEMENTO PORTLAND

Por la definición de cemento portland dada anteriormente, se puede observar que está compuesto principalmente de materiales calcáreos tales como caliza, y por alúmina y sílice, que se encuentran como arcilla o pizarra. También se utiliza la marga, que es una mezcla de materiales calcáreos y arcillosos. La materia prima para la fabricación del cemento portland se encuentra en casi todos los países.

Materias Primas:

- Materiales calcáreos: piedra caliza, conchas y marga.
- Materiales arcillosos: tales como arcilla, pizarra o escoria de altos hornos, en el cual la sílice es el material más importante.

El proceso de fabricación del cemento consiste en moler finamente la materia prima, mezclarla minuciosamente en ciertas proporciones y calcinarla en un horno rotatorio de gran dimensión a una temperatura de aproximadamente 1450 °C, donde el material se sintetiza y se funde parcialmente, formando bolas conocidas como Clinker. El Clinker se enfría y se tritura hasta obtener un polvo fino, después se adiciona un poco de yeso, para evitar un



fraguado rápido y el producto resultante es el cemento portland comercial que tanto se usa en todo el mundo. (Neville, 1999)

El Clinker se obtiene de la fusión incipiente de materias primas seleccionadas y combinadas en proporciones convenientes. El producto se compone de silicatos y aluminatos de calcio.

La mezcla y trituración de las materias primas pueden efectuarse tanto en condiciones húmedas como secas; de aquí provienen los nombres de proceso húmedo o seco. El método de fabricación depende también de la dureza de la materia prima utilizada y de su contenido de humedad.

2.4.5.1.- Proceso Húmedo:

Se considerará primero el proceso húmedo. Si la materia prima es margas se tritura finamente y se la dispersa en agua en un molino de lavado. El molino es un pozo circular que tiene brazos revolventes radiales con rastrillos, que rompen los aglomerados de materias primas. La arcilla también se tritura y se mezcla con agua, usualmente en un molino de lavado como el anterior. Inmediatamente se bombean las dos mezclas, de tal manera que se mezclan en proporciones previamente determinadas y pasan a través de una serie de tamices. La lechada que resulta de este proceso fluye a estanques de almacenamiento.

Si la materia prima es caliza, antes deberá barrenarse, triturarse (se usan dos trituradoras) y luego se deposita en un molino de bolas, con la arcilla disuelta en agua. Allí se continúa el molido de la caliza (hasta que el tamaño de la partícula sea como la finura de la harina) y la lechada resultante se bombea a estanques de almacenamiento. A partir de este momento el proceso es el mismo independientemente de la naturaleza original de las materias primas.

La lechada original es un líquido de consistencia pastosa, con un contenido de agua entre 35 y 50% en el cual está disuelto aproximadamente el 2% del material sólido con tamaño mayor de 90 μm . Regularmente hay varios tanques de almacenamiento, en los cuales se guarda la lechada, la sedimentación de los sólidos se impide mediante agitación mecánica o con inyección de burbujas de aire comprimido. (Neville, 1999)

Finalmente, la lechada con el contenido de calor deseado pasa a un horno rotatorio. Se trata de un cilindro de acero de gran tamaño, recubierto de material refractario, con diámetro



interior hasta de 8 m y una longitud que a veces alcanza 230 m, este cilindro gira lentamente alrededor de su eje longitudinal, levemente inclinado respecto a su horizontal. La lechada se deposita en el extremo superior del horno, mientras se añade carbón pulverizado mediante la inyección de aire en el extremo inferior, donde la temperatura alcanza de 1450 a 1500 °C. El carbón empleado no debe tener un contenido demasiado alto de ceniza, merece especial mención, puesto que se consumen habitualmente 220 kg de carbón para fabricar una tonelada de cemento. En lugar de carbón se puede emplear petróleo (se consumen 125 litros por tonelada de cemento), o gas natural, sin embargo recientemente las plantas que operaban con petróleo ahora operan con carbón.

Cuando la lechada desciende dentro del horno, encuentra progresivamente mayores temperaturas. Primero se elimina el agua y se libera el CO₂; posteriormente el material seco sufre una serie de reacciones químicas hasta que, finalmente en la parte más caliente del horno, de 20 a 30% del material se vuelve líquido y la cal, la sílice y la alúmina vuelven a combinarse. Después la masa se funde en bolas de diámetros que varían entre 3 y 25 mm, conocidas como Clinker. El Clinker cae dentro de enfriadores de diferentes tipos que a menudo favorecen un intercambio de calor con el aire que luego se utiliza para la combustión del carbón pulverizado. Un horno de grandes dimensiones en una planta de proceso húmedo puede producir 3600 toneladas de Clinker al día. (Neville, 1999)

2.4.5.2.- Procesos Seco y Semi-seco:

En estos procesos las materias primas se trituran y se adicionan en las proporciones correctas un molino de mezclado, donde se secan y se reducen su tamaño a un polvo fino. El polvo seco, llamado grano molido crudo se bombea al silo de mezclado del cemento para obtener una mezcla íntima y uniforme. Se mezcla en grano crudo, generalmente mediante aire comprimido, induciendo un movimiento ascendente al polvo y reduciendo su densidad aparente. El aire se bombea por turnos sobre cada cuadrante del silo y esto permite al material aparentemente más pesado de los cuadrantes no aireados, moverse lentamente hacia el cuadrante aireado, por lo que se comporta como un líquido y si se airean a la vez todos los cuadrantes durante un periodo completo (aproximadamente una hora) se obtiene una mezcla uniforme.



En el proceso Semi-seco el grano molido y mezclado se pasa por un tamiz y se deposita en una cuba giratoria llamada granulador, al mismo tiempo se adiciona agua igual al 12% del material en peso, así se obtienen pastillas duras de 15 mm de diámetro interior, éstas se hornean en una rejilla de precalentamiento, se meten al horno y con el intercambio de calor necesario proporcionado por el flujo de aire dan lugar a reacciones químicas para así formar el Clinker.

El Clinker frío es negro, reluciente y duro se mezcla con yeso para evitar el fraguado relámpago, la mezcla se efectúa en el molino de bolas de acero cada vez más pequeñas o molino de guijarros cuando el cemento es blanco para evitar que se continúe con residuos de acero. Una vez que el cemento se ha mezclado de manera satisfactoria, o sea 1.1×10^{12} partículas por kilogramo de cemento hidráulico, ésta en condiciones para ser envasado en sacos de papel de 50 kg de capacidad y que son los que se encuentran comercialmente en México. (Neville, 1999)

2.4.6.- FINURA DEL CEMENTO

Las partículas del cemento, debido a su pequeño tamaño, no pueden caracterizarse por medio de tamices; de este modo, se necesitan otros métodos para medir el tamaño de la partícula del mismo. El método de uso más común señala la superficie específica, considerando las partículas como esferas, aunque en realidad, bajo el microscopio las partículas se asemejan a la roca triturada. El área superficial se expresa en metros cuadrados por kilogramo de cemento.

El método de permeabilidad al aire de Blaine, según la norma mexicana NMX-C-056-ONNCCE-2013, este método depende del gasto de aire a través de un lecho preparado de cemento en la celda del aparato. El gasto es función del tamaño y número de poros, lo cual es función de la partícula, varios analizadores automáticos miden la distribución del tamaño de partícula.

La finura del cemento puede afectar la rapidez con la cual se hidrata el mismo. Al aumentar la finura del cemento aumenta la rapidez a la que se hidrata el cemento, acelerando la obtención de resistencia; observando que el agua necesaria para obtener un concreto con un cierto revenimiento disminuye. Los efectos del aumento de finura en la resistencia se manifiestan principalmente durante los primeros 7 días. (Rimarachin Sanchez, 2013)



2.5.- CONCRETO HIDRÁULICO

El concreto hidráulico es una combinación de cemento Portland, agregados pétreos, agua y en ocasiones aditivos (los cuales se utilizan para mejorar algunas de las características del mismo), que al combinarse forman una mezcla manejable, que al fraguar forma un elemento rígido y resistente. Es actualmente el material más empleado en la industria de la construcción por su durabilidad, resistencia, impermeabilidad, facilidad de producción y economía.

En otras palabras el concreto es una material fabricado por el hombre, diseñado y producido de acuerdo a las normas establecidas vigentes, para fines de aplicaciones que se requieren en un proyecto determinado, a distintas resistencias requeridas para el mismo y con las características de economía, facilidad de colocación, velocidad de fraguado y apariencia adecuada según la aplicación que se le desee dar.

2.5.1.- TIPOS DE CONCRETOS HIDRÁULICOS

2.5.1.1.- De acuerdo a las etapas del concreto

Existen diversas formas en las que se puede clasificar el concreto hidráulico, una de ellas es de acuerdo a las etapas que presenta el mismo, es decir, el concreto cuando se encuentra en estado fresco y en estado endurecido.

Concreto hidráulico en estado fresco.

Es la etapa inicial del proceso de fraguado del concreto hidráulico, durante la cual presenta una trabajabilidad que permite realizar las operaciones de transporte, colocación, acabado y compactación. El concreto hidráulico recién mezclado se encuentra en estado fluido (plástico y moldeable) en la cual no se produce el proceso de fraguado ni el endurecimiento para de esta forma ser depositado en un sitio de forma permanente. (NMX-C-403-ONNCCE, 1999)

Las propiedades requeridas del concreto fresco están gobernadas por el tipo de construcción y por las técnicas de colocación y transporte. Las propiedades del concreto en estado fresco deben ser:

- **Trabajabilidad o manejabilidad**, es aquella propiedad del concreto que determina cual es la cantidad de trabajo utilizado necesario para vencer la fricción entre los componentes del concreto, para así lograr una compactación adecuada. En otras



palabras, es la capacidad que tiene el concreto para ser colocado y compactado de la mejor manera sin que se produzca segregación alguna. (Rojas & Cuevas, 2018)

La trabajabilidad del concreto está representada por:

- ✓ **La compactación**, es la facilidad con la que es compactado para así reducir el volumen de vacíos y por lo tanto el aire atrapado.
- ✓ **La Plasticidad**, es la condición que permite deformarse continuamente sin romperse.
- ✓ **La Consistencia**, en la capacidad que presenta para fluir, es decir, la capacidad de adquirir la forma, y de poder llenar los vacíos alrededor de los elementos donde se contenga.
- ✓ **La Cohesividad**, es la habilidad que presenta para mantenerse como una masa estable y sin segregación.
- ✓ **Otros factores que afectan la trabajabilidad**, el contenido de cemento, contenido de agua y contenido de aire, textura y forma de los agregados pétreos, tamaño máximo del agregado, condiciones climáticas y el uso de aditivos.
- **Segregación**, es la separación de sus componentes una vez amasado, provocando que la mezcla de concreto fresco presente una distribución de sus partículas no uniforme. Si un concreto presenta buena resistencia a la segregación, esto quiere decir que los agregados están uniformemente distribuidos en la mezcla, tanto en dirección vertical como horizontal.

Los problemas de la segregación del concreto surgen con los trabajos de colocación y compactación, teniendo como consecuencia estructuras con defectos como exceso de porosidad, superficies mal acabadas, y por ende con una repercusión negativa en la durabilidad y resistencias mecánicas del concreto.
- **Exudación o sangrado**, es una forma de segregación, en el cual una parte del agua de la mezcla tiende a elevarse a la superficie de un concreto recién colado. Generalmente es provocado por el asentamiento de los materiales y además se presenta cuando dichos materiales no pueden retener toda la cantidad de agua de la mezcla cuando son mezclados sus componentes.



El sangrado del concreto es un fenómeno que suele sufrir naturalmente, pero se debe evitar el exceso de salida de agua, para que de esta forma no se vea afectada la relación agua/cemento. (Rojas & Cuevas, 2018)

Concreto hidráulico en estado endurecido

Es la condición en la que el concreto hidráulico es capaz de resistir las acciones para las cuales fue especificado.

El concreto hidráulico endurecido es aquel que tras el proceso de hidratación ha pasado del estado plástico (fresco) al estado rígido (endurecido). Después de que el concreto ha terminado el proceso de fraguado, este empieza a ganar resistencia y se endurece. Las propiedades del concreto endurecido son la resistencia y durabilidad, las cuales se pueden ver afectadas por la densidad del concreto, ya que el concreto con mayor densidad es más impermeable al agua. (NMX-C-403-ONNCCE, 1999)

Las propiedades más importantes que presenta el concreto en estado endurecido son:

- **Resistencia mecánica**, Es la capacidad que presenta el concreto para soportar cargas y esfuerzos, siendo su mejor comportamiento a los esfuerzos de compresión en comparación con la flexión. La resistencia del concreto depende principalmente de la relación agua/cemento del mismo.
- **Durabilidad**, es la habilidad que presente el concreto para resistir la acción del intemperismo, abrasión, ataque de agentes químicos, y cualquier otra condición que pueda causar el deterioro del concreto. La durabilidad de este no depende solo del diseño de la mezcla, sino que está en función de las condiciones ambientales y las condiciones de trabajo a las que se someta
- **Impermeabilidad**, es la capacidad que presenta el concreto para resistir el paso de los fluidos, es decir, es la capacidad de evitar el paso del agua dentro del mismo. Esto es de suma importancia no solo para evitar el paso del agua, sino también para evitar la entrada de agentes químicos que puedan degradar al concreto y de esta forma garantizar la vida útil del mismo o de la estructura donde sea utilizado.



En conclusión el concreto bien diseñado es un material naturalmente durable y resistente. Es denso, capaz de soportar cambios de temperatura, impermeable y también capaz de resistir el desgaste por intemperismo, cuando se encuentra en su estado endurecido. (Glace, 2014)

2.5.1.2.- De acuerdo a su forma de elaboración

Otra de las formas en las que se puede clasificar el concreto es de acuerdo a la forma de elaboración del mismo.

Concreto hecho en obra

Este tipo de concreto es el que se fabrica in situ, es decir, en la obra y su elaboración puede ser de forma manual o mediante un equipo ligero denominado revolvedora, dosificado generalmente sus componentes en volumen, o bien se puede dosificar con equipos mayores como lo son las plantas dosificadoras, donde el proporcionamiento de la mezcla de concreto se hace por masa. (NMX-C-403-ONNCCE, 1999)

Dosificación por volumen

El concreto hecho en obra se dosifica por volumen (en botes), ya que en obra casi nunca se cuenta con el equipo necesario para tener controlado la masa exacta necesaria de cada uno de los materiales para la elaboración de la mezcla, es por esto que en estos casos se dosifica por volumen.

Si se mezclan con pala o con revolvedora uno o varios sacos de cemento, botes de agregados pétreos, y algunas cubetas con agua, se obtiene concreto. A este material preparado en obra solamente se le puede exigir una resistencia de acuerdo a estructuras de menor importancia con resistencias a la compresión bajas. Pero si de lo contrario hablamos de estructuras complejas y con requerimientos especiales debemos de alguna manera realizar un eficiente control de la calidad a los materiales en el laboratorio, para así garantizar la resistencia y durabilidad especificada. (Asociación Argentina del Concreto Elaborado, 2008)

Concreto Premezclado

El concreto premezclado es dosificado en una planta, por lo general esta no se ubica dentro de la obra, y posteriormente se le transporta en camiones mezcladores al sitio donde se le requiere. La dosificación a diferencia del hecho en obra siempre se hace en masa. La planta



dosificadora introduce los materiales a un equipo revolvente mecánico automotor, el cual, durante el trayecto de la planta al lugar requerido realiza el mezclado. (N·CMT·2·02·005/04, Característica de los materiales-Calidad del concreto hidráulico)

Dosificación por peso

La dosificación del concreto premezclado se realiza siempre por peso en las plantas premezcladoras. El operador de la planta recibe del personal del laboratorio las dosificaciones exactas finales con las que debe trabajar, cuyos contenidos están dentro de los límites establecidos por la normativa vigente, determinando todas las características de los materiales a utilizar y garantizando de esta manera una proporción adecuada de agregado grueso y fino, lo que arrojará como resultado un concreto más homogéneo, cohesivo en estado plástico y más durable en estado endurecido. El control de calidad sobre el producto terminado se realiza de manera rigurosa mediante muestreos en la planta premezcladora o en la obra misma, determinando primero el revenimiento, la trabajabilidad, la cohesión y la elaboración continúa de cilindros de ensaye para determinar la resistencia a la compresión del concreto.

La elección entre el concreto premezclado en planta y el elaborado en obra se basa en las circunstancias particulares de la obra en cuestión, en los aspectos técnicos y en los costos beneficios asociados con cada uno de ellos.

Cabe destacar que en el concreto premezclado resulta más caro su fabricación que el hecho en obra, pero este arroja mejores resultados que el concreto hecho en obra, ya que la mezcla se dosificada por sistemas automatizados la cual es más exacta y la elaboración siempre es revisada por el personal de producción y control de calidad y la resistencia del producto es una garantía. (Asociación Argentina del Concreto Elaborado, 2008)

2.5.1.3.- De acuerdo a su resistencia

Otra de las clasificaciones del concreto hidráulico, es de acuerdo a su resistencia a la compresión (f'_c), en la actualidad existen concretos que presentan distintos tipos de resistencias, es decir, concretos que van desde la baja resistencia a la compresión hasta concretos de muy alta resistencia o también conocidos como de alto desempeño. A continuación se muestran los diferentes tipos de concretos de acuerdo a su resistencia.



Concreto de baja resistencia

El concreto de baja resistencia es aquel que presenta una resistencia a la compresión igual o inferior a 150 kg/cm^2 a los 28 días y tiene propiedades en estado fresco similares a las obtenidas en concretos convencionales. Este tipo de concretos se puede utilizar en losas aligeradas, elementos de concreto sin requisitos estructurales, etc. (IMCYC, 2011)

Los beneficios de este tipo de concretos son:

- Bajo costo de elaboración.

Concreto de resistencia moderada

Es aquel que presenta una resistencia a la compresión entre 150 y 250 kg/cm^2 a los 28 días y tiene propiedades en estado fresco similares a las obtenidas en concretos convencionales. Este tipo de concretos se puede usar en edificios de tipo habitacional de pequeña altura y en edificaciones sencillas. (IMCYC, 2011)

Los beneficios de este tipo de concretos son:

- Bajo costo de elaboración.

Concreto de resistencia normal

El concreto de resistencia normal presenta una resistencia a la compresión entre 250 y 420 kg/cm^2 a los 28 días y tiene propiedades en estado fresco similares a las obtenidas en concretos convencionales. Este tipo de concretos se utiliza en todo tipo de estructuras de concreto. (IMCYC, 2011)

Los beneficios de este tipo de concretos son:

- Funcionalidad y disponibilidad.

Concreto de muy alta resistencia o de alto desempeño

Este tipo de concreto presenta una resistencia a la compresión entre 400 y 800 kg/cm^2 a los 28 días, este tipo de concretos a diferencia de los otros presenta mejores propiedades, tales como, alta Cohesividad en estado fresco, altos revenimientos, baja permeabilidad, tiempos de fraguado similares a los concretos normales y en el caso del concreto reforzado,



mayor protección al acero de refuerzo. Estos concretos se utilizan en columnas de edificios muy altos, secciones de puentes con claros muy largos, elementos presforzados, etc. (IMCYC, 2011)

Los beneficios de este tipo de concretos son:

- Mayor área aprovechable en plantas bajas de edificios altos.
- Elementos presforzados más ligeros.
- Elementos más esbeltos.

Concreto de alta resistencia temprana

Este tipo de concreto está diseñado para lograr resistencias superiores a los 300 kg/cm² y aparte se garantiza lograr el 80% de la resistencia a la cual se diseñe a 1 o 3 días. Estos concretos se utilizan en pisos, pavimentos, elementos presforzados, elementos prefabricados, para construcción en clima frío y el más importante, para minimizar el tiempo de construcción. (IMCYC, 2011)

Los beneficios de este tipo de concretos son:

- Elevada resistencia temprana.
- Mayor avance de obra.
- Optimización del uso de cimbra.
- Disminución de costos.

2.5.1.4.- De acuerdo a sus características especiales

Una última clasificación es de acuerdo a las características especiales para las que se diseña o se necesita el concreto, es decir, por ejemplo cuando se necesita un concreto con otro tipo de características, tal como un concreto que sea resistente a la flexión, concreto que utilice una menor cantidad de agua sin que afecte sus propiedades, concreto con resistencia a edades tempranas, concreto con resistencia prolongada, etc.

Concreto reforzado

El concreto convencional, es decir, sin refuerzo, es resistente a la compresión, pero débil a la tensión, por lo cual se ve limitado a su aplicación como material estructural.



El concreto reforzado es el más popular, ya que este aprovecha de manera muy eficiente las características de buena resistencia a la compresión, durabilidad y moldeabilidad del concreto, junto con las características de alta resistencia a la tensión y ductilidad del acero, para que al combinarse ambos materiales, formar un material compuesto que reúne muchas de las ventajas de ambos materiales y así conseguir que trabajen conjuntamente para soportar cargas de compresión y flexión, este tipo de concreto es llamado “Concreto reforzado”.

Para resistir los esfuerzos de tensión, se emplea acero de refuerzo, generalmente en forma de barras, el cual es colocado en zonas donde se tiene previsto que se desarrollaran las tensiones, y de esta forma restringiendo la aparición de grietas originadas por la poca resistencia a la tensión del concreto.

Comúnmente el concreto reforzado es utilizado en:

- Columnas.
- Vigas.
- Losas.

Concreto modificado

El concreto modificado es un concreto en el cual se utiliza un material diferente del agua, los agregados pétreos y del cemento, el cual es llamado “aditivo”, que se emplea como componente del concreto y que se agrega a la mezcla, inmediatamente antes o durante el mezclado, para que así modifique algunas de las características deseadas del concreto. (NMX-C-199-ONNCCE, 2010)

Existen diversos aditivos los cuales pueden mejorar o modificar las características del concreto, algunos de ellos se enlistan a continuación:

- **Aditivo para la adhesión de concreto nuevo y viejo (tipo polímero)**, estos son elaborados a base de polímeros solubles al agua, que al combinarse con la mezcla, mejora la transmisión de esfuerzos entre un concreto nuevo y viejo, este tipo de aditivo está enfocado especialmente para ser usado en resanes y en el mejoramiento de acabados.



- **Agentes acelerantes de resistencia,** Los aditivos acelerantes tienen el propósito de lograr que el concreto desarrolle resistencia a la compresión rápidamente, por lo tanto aceleran el proceso de fraguado del cemento. El empleo de este aditivo es útil cuando se desea descimbrar rápido para acelerar el programa de construcción.
- **Reductor de agua,** este aditivo químico tiene la propiedad de disminuir la cantidad de agua de la mezcla, requerida para producir un concreto de una resistencia dada, conservando la trabajabilidad de la mezcla a través de modificaciones en el proceso de hidratación del cemento.
- **Aditivo retardante,** es un producto químico que es capaz de prolongar los tiempos de fraguado del concreto.
- **Aditivo fluidificante,** es aquel aditivo que modifica la consistencia del concreto fresco, haciéndola una mezcla fluida, aumentando el revenimiento o bien disminuye el consumo de agua en un 10% aproximadamente.

Existen muchos más tipos de aditivos para mejorar un sinfín de características del concreto hidráulico, este tipo de concretos modificados son los que tienen un mayor campo de investigación, debido a que aún existen otros tipos de materiales que aún no han sido experimentados con el concreto, los cuales se pueden usar como aditivo que tal vez puedan mejorar otras características del concreto o porque no incluso darle una nueva característica al mismo. (NMX-C-255-ONNCCE, 2013); (NMX-C-199-ONNCCE, 2010)

2.6.- DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO POR EL MÉTODO DEL ACI

El objetivo del método del ACI es cuantificar y determinar de forma eficiente la cantidad de agregados finos, gruesos, agua y cemento para cumplir con los parámetros establecidos (maneabilidad, resistencia y dureza) para de esta forma lograr las características deseadas en una mezcla de concreto.

Existen otros métodos para diseñar concretos, por ejemplo, el método de las curvas de Abrams, en el cual sólo se toman en cuenta los aspectos de forma muy general, mientras que en el Método del ACI se requiere el estudio previo de los agregados haciendo a éste último de mayor eficacia. Actualmente se usan mezclas diseñadas cuyas especificaciones existen valores límite respecto a un rango de propiedades que deben cumplirse. Por lo cual, el comité 211 del ACI creó un método que se basa en la elaboración de varias tablas en las cuales se



utilizan los datos capturados de la caracterización de los materiales para obtener óptimos valores para una mezcla de concreto por metro cúbico.

El método ACI resume el procedimiento en 9 pasos para el diseño de la mezcla de concreto:

1. Elección del revenimiento
2. Elección del tamaño máximo de agregado
3. Cálculo del agua de mezclado y el contenido de aire
4. Selección de la relación agua- cemento
5. Cálculo del contenido de cemento
6. Estimación del contenido de agregado grueso
7. Estimación del contenido de agregado fino
8. Ajuste por humedad del agregado
9. Ajustes en las mezclas de prueba

2.6.1.- PASO 0. RESISTENCIA PROMEDIO A LA COMPRESIÓN (f'_{cr})

Este es un paso extra que se hace al momento de diseñar, en especial cuando la dosificación se hará por volumen, es decir, cuando el concreto sea hecho en obra y esto se hace para dar un margen de seguridad y de esta forma garantizar que se cumpla con la resistencia especificada. Y éste factor se obtiene mediante el uso de una desviación estándar (δ), la cual es seleccionada según el Reglamento de Construcción de Michoacán (O puede ser elegido según lo que indica el propio ACI, o también el estado de la República en el que se vaya a utilizar la mezcla de diseño).

El Reglamento de Construcción del Estado de Michoacán del año 2003 proporcionaba la siguiente tabla 10, cuando no se cuenta con datos disponibles para establecer una desviación estándar de muestra. Pero actualmente dicho reglamento ya no proporciona ninguna tabla para establecer una desviación estándar cuando no se tengan datos disponibles, por lo tanto dicha tabla ya no se encuentra vigente.



Tabla 10.- Desviación estándar de la resistencia del concreto en kg/cm². (Reglamento de Construcción del estado de Michoacán, 2003)

Procedimiento de fabricación	$f'c \leq 250 \text{ kg/cm}^2$	$200 \leq f'c \leq 300 \text{ kg/cm}^2$
Mezclado mecánico, proporcionamiento, corrección por humedad y absorción de los agregados de una misma fuente y de calidad controlada.	30	35
Mezclado mecánico, proporcionamiento por peso.	35	45
Mezclado mecánico, proporcionamiento por volumen; volúmenes cuidadosamente controlados.	50	60

El American Concrete Institute (ACI), en su reglamento para concreto estructural, proporciona la siguiente tabla 11, para establecer la resistencia promedio a la compresión requerida (f'_{cr}) cuando se cuente con datos disponibles para establecer una desviación estándar de la mezcla.

Tabla 11.- Resistencia promedio a la compresión requerida cuando no hay datos disponibles para establecer una desviación estándar de la muestra. (American Concrete Institute 318, 2008)

Resistencia especificada a la compresión, MPa	Resistencia promedio requerida a la compresión, MPa
$f'c < 21$	$f'_{cr} = f'c + 7.0$
$21 \leq f'c \leq 35$	$f'_{cr} = f'c + 8.3$
$f'c > 35$	$f'_{cr} = 1.10f'c + 5.0$

En el caso contrario, es decir, que si se cuenten con datos disponibles para establecer la desviación estándar (30 ensayos consecutivos con materiales y condiciones similares a las esperadas) de la mezcla, el ACI 318 y la norma mexicana NMX-C-155-ONNCCE-2014, proporcionan la siguiente tabla 12, para obtener la resistencia promedio requerida (f'_{cr}).



Tabla 12.- Resistencia promedio a la compresión requerida cuando hay datos disponibles para establecer una desviación estándar de la muestra. (NMX-C-155-ONNCCE, 2014); (American Concrete Institute 318, 2008)

Resistencia especificada a la compresión, MPa	Resistencia promedio requerida a la compresión, Mpa
Usar el mayor valor obtenido de las dos ecuaciones siguientes:	
$f'_c \leq 35$	$f'_{cr} = f'_c + 1.34S_s$
	$f'_{cr} = f'_c + 2.33S_s - 3.5$
Usar el mayor valor obtenido de las dos ecuaciones siguientes:	
$f'_c > 35$	$f'_{cr} = f'_c + 1.34S_s$
	$f'_{cr} = 0.9 f'_c + 2.33S_s$

Nota: S_s = Desviación estándar de la muestra.

El cálculo de la desviación estándar se debe hacer con 30 o más ensayos consecutivos con materiales y condiciones similares a las esperadas, y se hace con ayuda de la siguiente formula:

$$S_s = \left[\frac{\sum (X_i - X)^2}{(n - 1)} \right]^{1/2}$$

Dónde: S_s = Desviación estándar de la muestra, MPa.

X_i = Ensayo individual de resistencia.

X = Promedio de n resultados de ensayos de resistencia.

n = Número de ensayos consecutivos de resistencia.

En el caso de que se cuente con menos de 30 ensayos para establecer la desviación estándar, el ACI 318, proporciona la siguiente tabla 13, para obtener un factor de corrección para la desviación estándar calculada con menos de 30 ensayos.



Tabla 13.- Factor de corrección para la desviación estándar cuando estén disponibles menos de 30 ensayos. (American Concrete Institute 318, 2008)

Número de ensayos	Factor de corrección para la desviación estándar
Menos de 15	Use la tabla 2.4
15	1.16
20	1.08
25	1.03
30 o más	1.00

Nota: Se debe de interpolar para números intermedios de ensayos y la desviación estándar corregida se debe usar para calcular la resistencia promedio requerida (f'_{cr}).

2.6.2.- PASO 1: ELECCIÓN DEL REVENIMIENTO

Para la elección del revenimiento, el ACI 211.1 recomienda en la siguiente tabla 14, distintos revenimientos de acuerdo al tipo de construcción que se requiera utilizar.

Tabla 14.- Revenimientos recomendados para diversos tipos de construcción. (American Concrete Institute 211.1, 2009)

Tipo de construcción	Revenimiento en centímetros	
	Máximo*	Mínimo
Muros de cimentación y zapatas.	7.5	2.5
Zapatas, cajones de cimentación y muros de Sub-estructura sencillos.	7.5	2.5
Vigas y muros reforzados.	10	2.5
Columnas para edificios.	10	2.5
Pavimentos y losas.	7.5	2.5
Concreto masivo.	7.5	2.5



Nota: *El revenimiento máximo puede incrementarse en 2.5 cm. Cuando los métodos de comparación no sean mediante vibrado;

2.6.3.- PASO 2: ELECCIÓN DEL TAMAÑO MÁXIMO DE AGREGADO

El tamaño máximo de agregado se obtiene mediante el análisis granulométrico en el agregado grueso (gravas) y según la norma mexicana NMX-C-155-ONNCCE-2014, es la dimensión de la criba de menor abertura por la que pasa el material de la muestra con un retenido máximo del 10 % en dicha criba.

En ningún caso el tamaño máximo debe exceder de:

- 1/5 de la menor dimensión entre los costados de los moldes.
- 1/3 del espesor de las losas.
- 3/4 del espacio libre mínimo entre varillas de refuerzo individuales, paquetes de varillas o torones de pretensado.

2.6.4.- PASO 3: CÁLCULO DEL AGUA DE MEZCLADO Y CONTENIDO DE AIRE

En la tabla 15 obtenida del ACI 211.1, proporciona la cantidad de agua y el y el porcentaje de aire atrapado, en función de las siguientes variables:

- **Tipo de concreto**
 - Sin aire incluido.
 - Con aire incluido, el cual depende si el nivel de exposición es ligero, moderado o severo.
- **Revenimiento.**
 - De 2.5 a 5 centímetros.
 - De 7.5 a 10 centímetros.
 - De 15 a 17.5 centímetros.
- **Tamaño máximo nominal del agregado.**
 - Para 3/8", 1/2", 3/4", 1", 1 1/2", 2", 3" y 6"

Exposición ligera: Esta clasificación es para cuando se desee la inclusión de aire por otros efectos beneficios que no sean la durabilidad, es decir, para mejorar otras características como la cohesión o la trabajabilidad, o bien, para incrementar la resistencia del concreto con



un bajo factor de cemento, puede usarse contenidos de aire inferiores a los necesarios para la durabilidad.

Exposición moderada: Implica su uso en climas donde sea más probable la congelación, pero en los que el concreto no se encontrará expuesto continuamente a la humedad o al agua, ni a agentes descongelantes u otros productos químicos agresivos.

Exposición severa: Cuando el uso del concreto sea en lugares donde estará expuesto a productos químicos descongelantes u otros agentes agresivos, o bien, cuando el concreto pueda resultar altamente saturado por el contacto continuo con humedad o agua.

Tabla 15.- Requisitos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos nominales recomendados. (American Concrete Institute 211.1, 2009)

	Agua, kg. / m ³ de Concreto para los tamaños máximos nominales de agregado indicados							
Tamaños máximos nominales de agregado, en (mm).	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
	9.5	12.5	19	25	38	50	75	150
Revenimiento en centímetros	Concreto sin aire incluido							
De 2.5 a 5	207	199	190	179	160	154	130	113
De 7.5 a 10	228	216	205	193	175	169	145	124
De 15 a 17.5	243	228	216	202	185	178	160	---
Cantidad aproximada de aire atrapado en concreto sin inclusión de aire, expresado como un porcentaje.	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
Promedio recomendado de contenido de aire total, según el nivel de exposición (%)	Concreto con aire incluido							
Exposición ligera	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1
Exposición moderada	6	5.5	5	4.5	4.5	4	3.5	3
Exposición severa	7.5	7	6	6	5.5	5	4.5	4



2.6.5.- PASO 4: SELECCIÓN DE LA RELACIÓN AGUA/CEMENTO

En la tabla 16 obtenida del ACI 211.1, proporciona distintos valores para la relación agua/cemento, en base a la resistencia a la compresión a los 28 días y si tiene o no aire incluido.

Tabla 16.- Correspondencia entre la relación agua/cemento y la resistencia a la compresión del concreto. (American Concrete Institute 211.1, 2009)

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

Nota: La resistencia se basa en cilindros de 15x30 cm, curados con humedad a los 28 días, a 23 + 1.7 °C, de acuerdo con la norma ASTM C31 y La relación supone un tamaño máximo de agregado de ¾ a 1”.

2.6.6.- PASO 5: CÁLCULO DEL CONTENIDO DE CEMENTO

El cemento requerido es igual al contenido correspondiente de agua de mezclado dividido entre la relación Agua/Cemento, por lo tanto, la cantidad del contenido de cemento se obtiene con la siguiente formula:

$$C = A/(A/C)$$

Dónde: C = Cantidad de cemento por m³ de concreto.

A = Cantidad de agua por m³ de concreto.

A/C = Relación agua/cemento.

2.6.7.- PASO 6: ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE AGREGADO GRUESO

En la tabla 17 obtenida del ACI 211.1, se muestra el volumen de agregado en m³, con base a la masa volumétrica seca y varillada (MVSV), para un m³ de concreto. Este volumen se



convierte a peso seco del agregado grueso requerido en un m³ de concreto, multiplicándolo por la masa volumétrica seca y varillada por m³ de agregado grueso.

El contenido de agregado grueso se obtiene con la siguiente formula:

$$G = VAG * MVSV$$

Dónde: G = Cantidad de agregado grueso (grava) por m³ de concreto.

VAG = Volumen de agregado grueso, en m³ obtenido de la tabla 17.

MVSV = Masa volumétrica seca y varillada, en kg/m³.

Tabla 17.- Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto para diferentes módulos de finura del agregado fino (arena). (American Concrete Institute 211.1, 2009)

Tamaño máximo del Agregado (mm)	Volumen de agregado grueso varillado en seco, por volumen unitario de concreto para diferentes módulos de finura de la arena.				
	2.40	2.60	2.80	3.00	3.20
9.5 (3/8")	0.50	0.48	0.46	0.44	0.42
12.5 (1/2")	0.59	0.57	0.55	0.53	0.51
19 (3/4")	0.66	0.64	0.62	0.60	0.58
25(1")	0.71	0.69	0.67	0.65	0.63
37.5(1 ½ ")	0.75	0.73	0.71	0.69	0.67
50(2")	0.78	0.76	0.74	0.72	0.70
75(3")	0.82	0.80	0.78	0.76	0.74
150(6")	0.87	0.85	0.83	0.81	0.79

2.6.8.- PASO 7: ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE AGREGADO FINO

Para calcular la cantidad requerida de agregados finos para un m³ de concreto, implica el empleo de volúmenes ocupados por los componentes. En este caso, el volumen total ocupado por los componentes ya calculados (el agua, aire, cemento y agregado grueso), se resta del volumen unitario del concreto para obtener el volumen requerido de agregado fino.

El volumen ocupado por cualquier componente en el concreto, es igual a su peso dividido entre la densidad de ese material. La cantidad de agregado fino (arena), se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Volumen de agua (VA), en m}^3 = \text{Peso del agua} / (\text{Densidad del agua} * 1000)$$



Volumen de cemento (VC), en m³ = Peso del cemento / (Densidad del cemento * 1000)

Volumen de grava (VG), en m³ = Peso de la grava / (Densidad de la grava * 1000)

Volumen de aire atrapado (VAA), en m³ = Cantidad de aire atrapado / 100

Volumen de arena (VAF), en m³ = 1 – (VA + VC + VG + VAA)

Peso requerido de arena (Ar) = VAF * Densidad de la arena * 1000

2.6.9.- PASO 8: AJUSTES POR HUMEDAD DEL AGREGADO

Antes de usarse el material para la mezcla de concreto, se debe checar el porcentaje de humedad que tiene en ese momento, es decir, la humedad actual y también se debe analizar el porcentaje de agua que puede absorber dichos materiales, para posteriormente realizar la corrección por humedad y que de esta forma el contenido de agua de la mezcla sea el adecuado.

Lo primero que se debe hacer es corregir el peso del agregado grueso (grava) y el peso del agregado fino (arena), esto se hace dependiendo de la humedad actual y de la capacidad de absorción en porcentaje que presenten los agregados, esta corrección se hace de la siguiente manera:

$$ArC = A - ((A * H.A. arena) - (A * Abs. arena))$$

Dónde: ArC = Peso de la arena corregido, por m³ de concreto.

Ar = Peso de la arena sin corrección por humedad, por m³ de concreto.

H.A. arena = Porcentaje de humedad actual de la arena.

Abs. Arena = Porcentaje de absorción de la arena.

$$GC = G - ((G * H.A. grava) - (G * Abs. grava))$$

Dónde: GC = Peso de la grava corregido, por m³ de concreto.

G = Peso de la grava sin corrección por humedad, por m³ de concreto.

H.A. grava = Porcentaje de humedad actual de la grava.

Abs. Grava = Porcentaje de absorción de la grava.



Ahora se debe obtener la cantidad de agua corregida, esto en base al peso corregido de los agregados, es decir, si el peso de los agregados corregidos aumento, la cantidad de agua corregida debe ser menor a la ya calculada y viceversa. En otras palabras el peso que ganen o pierdan los agregados en su corrección, debe ser el mismo que se le aumente o se le quite al agua, según sea el caso; por ejemplo, la grava disminuyo su peso en 20 kg debido a su ajuste, esos mismos 20 kg deben ser los que aumente el agua cuando sea corregida.

Entonces de acuerdo a lo mencionado anteriormente, el cálculo del agua corregida se hace de la siguiente manera:

$$AC = A - Ar (H.A. arena - Abs. arena) \\ - G (H.A. grava - Abs. grava)$$

Dónde: AC = Peso del agua corregido, por m³ de concreto.

A = Peso del agua sin corrección por humedad, por m³ de concreto.

Ar = Peso de la arena sin corrección por humedad, por m³ de concreto.

G = Peso de la grava sin corrección por humedad, por m³ de concreto.

H.A. arena = Porcentaje de humedad actual de la arena.

H.A. grava = Porcentaje de humedad actual de la grava.

Abs. Arena = Porcentaje de absorción de la arena.

Abs. Grava = Porcentaje de absorción de la grava.

2.6.10.- PASO 9: AJUSTES EN LAS MEZCLAS DE PRUEBA

El último paso del diseño de mezclas por el método del ACI, es el ajuste de las cantidades obtenidas para la cantidad de mezcla requerida o especificada en algún proyecto, es decir, si dichas cantidades serán utilizadas para un m³, para un bulto de cemento o si se desea utilizar para la elaboración de distintos especímenes (Cilindros, cubos, vigas, etc.). Esto se hace con el fin de que la mezcla de concreto sea la suficiente para lo que se desee utilizar, es decir, que no falte o sobre mezcla de concreto a la hora de utilizarla y de esta forma evitar el desperdicio de materiales.



Para un m³: Si se desea obtener las cantidades de material necesarias para una mezcla de concreto correspondiente a un metro cúbico, se debe hacer exactamente lo mencionado en los pasos anteriores de este método del ACI, ya que las cantidades que se van obteniendo, son exactamente para una mezcla de un m³ de concreto.

Para un bulto de cemento de 50 kg: Si se desea realizar una mezcla de concreto diseñada para un bulto de cemento, es decir, que la cantidad de cemento sea igual a un bulto, con ayuda de las cantidades obtenidas para un m³ de concreto, se debe realizar una relación en peso de los materiales con el cemento, para así obtener las cantidades de materiales exactas para un bulto de cemento de 50 kg.

Lo primero que se debe de hacer es la relación en peso de cada material respecto al peso del cemento, esto se hace de la siguiente manera:

$$\text{Relación en peso de cada material respecto con el cemento} = \frac{C}{C}; \frac{AC}{C}; \frac{ArC}{C}; \frac{GC}{C}$$

Dónde: C = Cantidad de cemento por m³ de concreto.

AC = Peso del agua corregido, por m³ de concreto.

ArC = Peso de la arena corregido, por m³ de concreto.

GC = Peso de la grava corregido, por m³ de concreto.

Ya que se tiene la relación de peso de cada material respecto con el peso del cemento, se debe multiplicar cada una de esas relaciones por 50 kg, que es la cantidad correspondiente a un bulto de cemento, y así se obtienen las cantidades de material (agua, arena y grava) necesarias para un bulto de cemento.

Para distintos especímenes: Si se desea saber la cantidad de material que se necesita para la elaboración de la mezcla de concreto para diferentes especímenes (cilindros, cubos vigas, etc.), solo bastaría con multiplicar la cantidad de materiales necesarios para un m³ de concreto, por la cantidad de material en m³ que se necesita para la elaboración de los especímenes requeridos.

Por ejemplo, si se desea elaborar 10 especímenes cilíndricos de 15 cm de diámetro por 30 cm de altura, a cada uno de ellos le corresponde un volumen de 0.0053 m³ y son necesarios



10, entonces la cantidad requerida de mezcla sería de 0.053 m^3 , para obtener los materiales necesarios para esta cantidad de m^3 , solo bastaría multiplicar dicha cantidad por las cantidades de materiales obtenidas para un m^3 de concreto.

Por botes alcoholeros de 19 litros: En el caso de que al momento de hacer la elaboración de la mezcla, no se cuente con el equipo necesario para pesar los materiales (sobre todo en concreto hecho en obra), es decir, que no se pueda tener un control del peso de los materiales necesarios, ya sea para el diseño de un bulto de cemento o para diferentes especímenes, según sea el caso, se debe convertir dichos pesos requeridos en cantidad de botes de 19 litros, la conversión se hace en base de la masa volumétrica seca y suelta de cada material.

$$\text{Arena en litros} = \frac{W_{\text{arena}}}{MVSS_{\text{arena}}} * 1000$$

$$\text{Grava en litros} = \frac{W_{\text{grava}}}{MVSS_{\text{grava}}} * 1000$$

$$\text{Cemento en litros} = \frac{W_{\text{cemento}}}{MVSS_{\text{cemento}}} * 1000$$

$$\text{Agua en litros} = W_{\text{agua}}$$

Dónde: W = Peso respectivo de cada material, en kg.

$MVSS$ = Masa volumétrica seca y suelta respectiva de cada material, en kg/m^3 .

Ya que se tiene cada material en litros, lo único que se debe hacer es dividir cada una de esas cantidades entre 19 litros, que es la cantidad correspondiente a un bote alcoholero, y así se obtienen las cantidades de botes de 19 litros necesarios para cada material (cemento, arena, grava y agua).

Por ejemplo, se desea convertir 50 kg de cemento en botes alcoholeros de 19 litros.



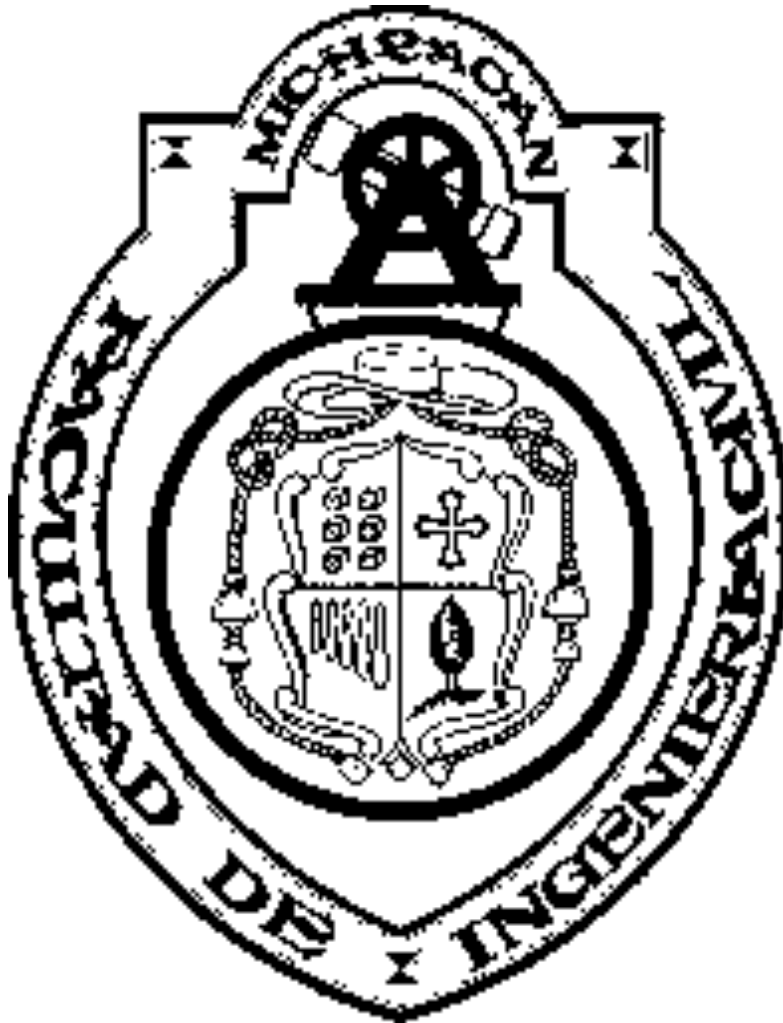
$$\text{Cemento en litros} = \frac{50 \text{ kg}}{1490 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} * 1000 = 33.56 \text{ Litros}$$

$$\text{Cantidad de botes} = \frac{33.56 \text{ litros}}{19 \text{ litros}} = 1.8 \text{ botes de cemento}$$

Por lo tanto, 50 kg de cemento (un bulto de cemento) es equivalente a 1.8 botes alcoholeros de 19 litros.



CAPITULO 3



METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN



3.1.- PRUEBAS DE CALIDAD PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGREGADO FINO (ARENAS)

3.1.1.- Muestreo de agregados pétreos (NMX-C-030-ONNCCE-2004)

Objetivo: Obtener y traer al laboratorio una muestra representativa del yacimiento de los agregados pétreos (grava y arena) que se van a emplear en la elaboración de mezclas de concreto, para poder realizar los estudios o pruebas correspondientes de dichos materiales en el laboratorio.

Equipo:

- Medio de transporte.
- Palas.
- Costales.

Procedimiento:

1. Localice la fuente de abastecimiento de acuerdo a las necesidades del proyecto.
2. Antes de la explotación de un yacimiento de agregados, se deben efectuar estudios preliminares a fin de determinar la calidad de los materiales existentes.
3. A fin de obtener muestras representativas de un determinado yacimiento, es de mucha importancia efectuar la operación de muestreo, de acuerdo con las recomendaciones, para los diferentes tipos de yacimiento que a continuación se indican:
4. Cuando el yacimiento tiene un frente de ataque, la muestra debe tomarse de este, haciéndole canales verticales en el espesor útil, los cuales deben localizarse equidistantes, dependiendo su separación de la magnitud y homogeneidad del yacimiento. Para evitar contaminación, se debe eliminar todo el material de despilme y aquel que haya escurrido sobre el frente.

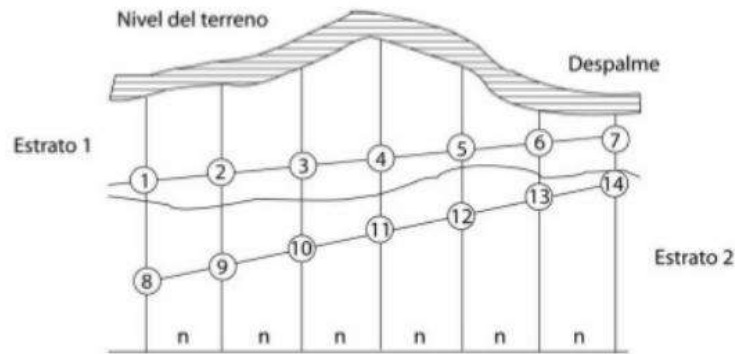


Figura 17.- Tajos a cielo abierto. (NMX-C-030-ONNCCE, 2004)

5. Si el muestreo es por medio de pozos, realice el levantamiento topográfico del yacimiento y localice los pozos de prueba y conozca el volumen de agregados que se pueden aprovechar.
6. Si el muestreo es por pozos a cielo abierto (Figura 18), se tomara por capas, para lo cual deberá excavar prismas rectangulares concéntricos, de profundidad de 400 mm x 1000 mm, dejando un escalón mínimo de 400 mm, en todo el perímetro; se pueden ademar las paredes a medida que se vaya profundizando. En la etapa final el prisma debe tener por lo menos una base de 600 mm, y deberá obtener una muestra compuesta de esta.

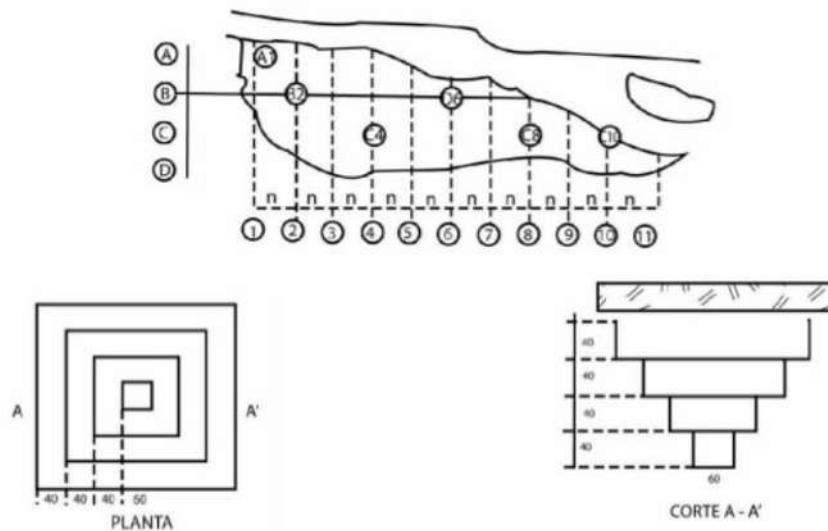


Figura 18.- Pozos a cielo abierto. (NMX-C-030-ONNCCE, 2004)



7. Si el muestreo es por medio de trincheras, remueva el material haciendo escalones de arriba hacia abajo, y en cada escalón haga zanjas de dimensiones apropiadas para la extracción de las muestras, como se muestra en la figura 19.

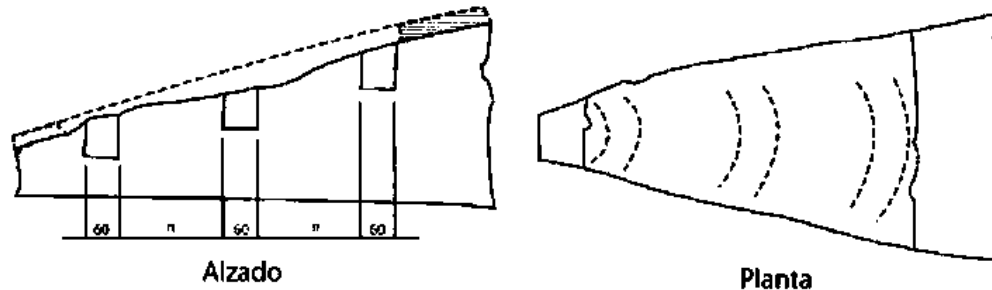


Figura 19.- Muestreo por trincheras. (NMX-C-030-ONNCCE, 2004)

8. Recuerde evitar la contaminación del material en cada uno de los casos.
9. Cuando el muestreo es de brechas o aglomerados, remueva la capa vegetal y haga pozos a cielo abierto, eliminando el material intemperizado y haciendo una observación sobre el tipo de material.
10. Cuando el muestreo es de formación de rocas no explotadas, es necesario considerar el rumbo, configuración, echado, estructura, fractura de material, uniformidad, contaminación del banco, estratos, grado de intemperización y clasificación petrográfica; después tome un número de muestras suficientes que sea representativa del banco.
11. Cuando una cantera está en explotación, el muestreo se reduce a tomar muestras representativas del material almacenado. En el caso de que se trate de canteras abandonadas, remueva el material intemperizado y tome muestras a cielo abierto.
12. Cuando el muestreo es de material almacenado, tome porciones aproximadamente iguales de diferente nivel y directriz al del almacén. Las muestras simples obtenidas se mezclan para formar una muestra compuesta, que sea representativa del material almacenado, como se observa en la figura 20.

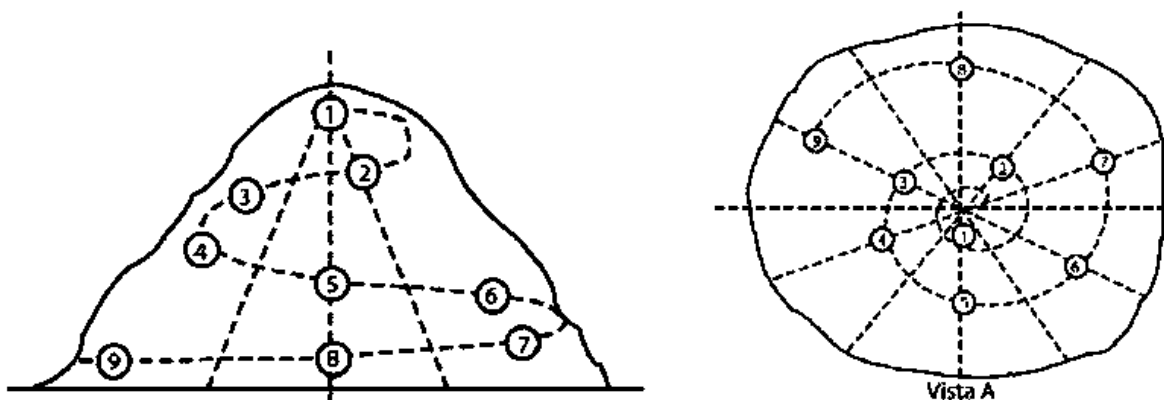


Figura 20.- Muestreo de material almacenado. (NMX-C-030-ONNCCE, 2004)

13. Cuando el muestreo es de tolvas o bandas, se toma un método aleatorio, considerando tres muestras iguales. Tome el material a medida que se vaya descargando en un recipiente, sin que este se derrame; no incluya el material de descarga inicial de un transportador o de una tolva. Cuando se tome de una banda transportadora, se colocan dos láminas transversalmente para la toma de material en tres zonas diferentes.
14. Si el muestreo es en unidades de transporte, se debe evitar el muestreo de la mezcla de agregado fino y grueso, se debe diseñar un plan de muestreo el cual defina el número necesario de muestras para representar lotes o sub-lotes de tamaños específicos.
15. Las muestras de agregados pétreos obtenidas de los yacimientos, serán enviadas al laboratorio en cantidades suficientes, para poder hacer las pruebas que se requieran para juzgar su calidad. Dichas cantidades deberán ser como mínimo las mostradas en la tabla 18.



Tabla 18.- Masa Mínima de la muestra. (NMX-C-030-ONNCCE, 2004)

Material	Tamaño Máximo Nominal (mm)	Pasa por la malla (Criba No.)	Masa Mínimas de la muestra de campo (kg)
Arena	Hasta 5	4.74 mm (No.4)	100
Grava	Hasta 75	75 mm (3")	150
Grava	Mayor de 75	--	200
Grava	Cualquiera	--	300

Nota: En agregados ligeros (aquellos cuya masa específica sea inferior de 2.0) estas masas deben multiplicarse por 0.65.

16. Al enviar las muestras al laboratorio, se deberán incluir los siguientes datos en el escrito de envió: Localización del yacimiento, cantidad aproximada de material, clasificación del material, fecha de muestreo, fecha de envió, obra de destino a utilizarse, tipos de pruebas requeridas, nombre y dirección del interesado de los resultados de las pruebas.

3.1.2.- Cuarteo de agregados finos (NMX-C-170-ONNCCE-1997)

Objetivo: Obtener una muestra representativa y del tamaño adecuado, para la prueba de que se trate, y que se conserven representativas como la muestra de campo.

Equipo:

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

Procedimiento:

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

A. Cuarteador mecánico o por el divisor de muestras.

1. Se toma la muestra, previamente puesta en una charola ancha y se vacía por la parte superior del divisor de muestras, distribuyéndola uniformemente en toda la longitud del divisor. Ver figura 21 y 22.
2. Posteriormente el material recibido en uno de los recipientes del divisor se elimina o se reintegra con el material del cual se extrajo. Se vuelve a introducir la porción de muestra que queda al divisor de muestras, cuantas veces sea necesario, hasta reducir la muestra al tamaño deseado o requerido para la prueba programada.

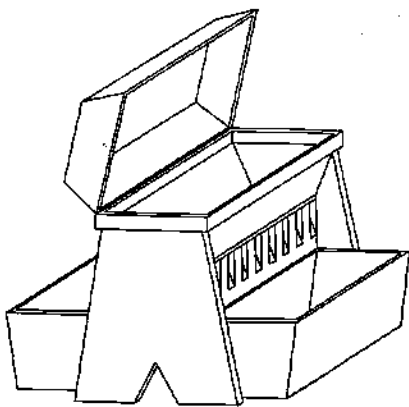


Figura 21.- Cuarteador mecánico. (NMX-C-030-ONNCCE, 2004)



Figura 22.- Cuarteado después de aplanar con el montículo. (Contreras, 2019)

B. Cuarteo manual o por palas.

1. Se coloca la muestra de campo sobre una superficie plana y limpia, donde no pueda haber pérdida ni contaminación del material.
2. Se mezcla el material, esto se hace cambiando el material de un lado a otro, el cambio deberá hacerse por medio de un paleado, tratando de revolver todo el material y además se procurará apilar el material en forma cónica. Este proceso se repite 3 veces.
3. Una vez terminado el paso anterior el material apilado en forma cónica se aplanar la parte superior por medio de la cara posterior de la pala, hasta obtener un diámetro y



espesor uniforme, el diámetro debe de ser de aproximadamente de cuatro a ocho veces el espesor del montículo. Ver figura 23 y 24.

4. Después se divide el material trazando dos líneas perpendiculares sobre la superficie horizontal aplanada del material, eliminando las dos porciones opuestas, el material sobrante nos servirá para realizar las pruebas correspondientes. Si se desea disminuir el tamaño de la muestra se repite el procedimiento anterior señalado. Ver figura 25 y 26.



*Figura 23.- Aplanado de la parte superior del montículo de arena, por medio de la pala.
(Contreras, 2019)*



*Figura 24.- Aplanado de la parte superior del montículo de arena, por medio de la pala.
(Contreras, 2019)*

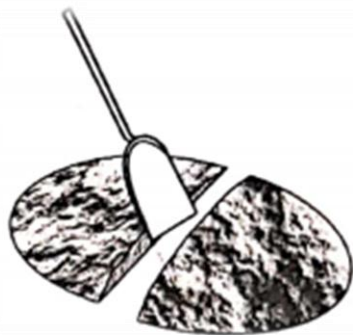


Figura 26.- Cuarteado después de aplanar con el montículo (NMX-C-170-ONNCCE, 1997)



Figura 25.- Muestra de arena dividida en cuartos. (NMX-C-170-ONNCCE, 1997)

C. Procedimiento con el trozo de plástico.

1. Se coloca el trozo de plástico sobre la superficie de una mesa, posteriormente se coloca el material en la parte central del plástico.



2. Se levantan los dos extremos opuestos del trozo de plástico y se unen, a continuación se regresa a la posición original; en seguida se levantan los otros dos extremos opuestos y se unen, posteriormente se regresa a la posición original, este proceso se debe repetir varias veces para obtener una mezcla homogénea.
3. Se elimina la mitad del material ya cuarteado y la otra mitad se puede usar para hacer los ensayos necesarios en caso de ya tener el tamaño de muestra, si no se repite el proceso hasta obtener el tamaño necesario de la muestra.

Las muestras de campo de agregado fino se encuentran superficialmente secas se deben reducir en tamaño por el método “A”. Las muestras de campo que se reduzcan por el método “B” deben encontrarse húmedas superficialmente de no ser así se deben humedecer y después deben ser remezcladas. (NMX-C-170-ONNCCE, 1997)

3.1.3.- Masa volumétrica seca y suelta (NMX – C – 073 – ONNCCE – 2004)

Objetivo: Determinar la masa por unidad de volumen de la arena, siendo el volumen el ocupado por el material en el recipiente en forma libre o natural.

Equipo:

- Muestra de arena completamente seca.
- Recipiente de masa y volumen conocido.
- Varilla lisa punta de bala de 5/8 de diámetro.
- Balanza o báscula.
- Cucharón.
- Pala.

Procedimiento:

Para la elección del recipiente que se usará para la prueba, se debe elegir de acuerdo al tamaño máximo nominal del agregado, como se observa en la siguiente tabla 19.



*Tabla 19.- Dimensiones de los recipientes de acuerdo al tamaño máximo del agregado.
(NMX-C-073-ONNCCE, 2004)*

Capacidad L (cm ³)	Espesor mínimo (mm)		Tamaño máximo nominal del agregado (mm)
	Fondo	Pared	
5 (5,000)	5.0	2.5	13
10 (10,000)	5.0	2.5	25
14 (14,000)	5.0	3.0	40
28 (28,000)	5.0	3.0	100

Nota: Los recipientes de 14 y 28 litros deben estar reforzados en el borde superior con una cinta de acero no menos de 5 mm de grueso y 38 mm de ancho.

Como la mayoría de las partículas de la arena tienen un tamaño máximo nominal menor de 5 mm, y de acuerdo a la tabla 3.2, para esta prueba se debe utilizar un recipiente con capacidad de 5 litros o incluso se puede usar un recipiente con menor capacidad, ya que el recipiente de 5 litros es para un tamaño máximo de hasta 13 mm y como el de la arena es menor de 5 mm, para esta prueba se utilizó un recipiente de 2.985 litros.

1. Se debe colocar el material seco en una superficie plana y limpia, para proceder a realizar el cuarteo del mismo, mediante el método de cuarteo por palas, y se coloca el recipiente en el centro del material ya cuarteado, para proceder con su llenado.
2. Se procede a llenar el recipiente, vaciando la arena, dejándola caer a una altura medida a partir de la parte superior del recipiente de aproximadamente 50 mm, distribuyendo uniformemente el material y llenando completamente el recipiente hasta que el material sobrepase el borde sin derramarse. Ver figura 27 y 28.
3. Después se procede a enrasar el recipiente con la varilla y se limpia el recipiente de las partículas adheridas en las paredes exteriores, procediendo a pesarlo. Ver figura 29.
4. A la masa obtenida en el paso anterior, se le resta el peso del recipiente para poder obtener la masa de la arena. Ver figura 30.



Figura 27.- Vaciado de la arena en el recipiente con volumen y masa conocida. (Contreras, 2019)



Figura 28.- Llenado del recipiente, sobrepasando el borde. (Contreras, 2019)



Figura 29.- Enrasado del recipiente con ayuda de la varilla. (Contreras, 2019)



Figura 30.- Masa de la arena con el recipiente. (Contreras, 2019)

Cálculos:

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

Donde:

MVSS = Masa volumétrica seca y suelta (g/cm³).

M = Masa de la arena (g).

V = Volumen del recipiente (cm³).



3.1.4.- Masa volumétrica seca y compactada (NMX – C – 073 – ONNCCE – 2004)

Objetivo: Determinar la masa por unidad de volumen de la arena, siendo el volumen el ocupado por el material en el recipiente, cuando es sometido a cierto grado de compactación con la varilla.

Equipo:

- Muestra de arena completamente seca.
- Recipiente de peso y volumen conocido.
- Varilla lisa punta de bala de 5/8 de diámetro.
- Balanza o báscula.
- Cucharón
- Pala.

Procedimiento:

El recipiente que se utilizara en esta prueba, es el mismo que se utilizó en la prueba de masa volumétrica seca y suelta, obtenido de la tabla 19.

1. Se debe colocar el material seco en una superficie plana y limpia, para proceder a realizar el cuarteo del mismo, mediante el método de cuarteo por palas, y se coloca el recipiente en el centro del material ya cuarteado, para proceder con su llenado.
2. Después se procede a llenar el recipiente con la arena, dejándola caer a una altura de 50 mm, a diferencia de la prueba anterior, en esta prueba el llenado del recipiente se hace en tres capas, dándole a cada capa de arena 25 golpes con la varilla, distribuyéndolos en toda su superficie. Ver figura 31.
3. Se procede a enrasar el recipiente con la varilla y se limpia el recipiente de las partículas adheridas en las paredes exteriores, procediendo a pesarlo.
4. A la masa obtenida en el paso anterior, se le resta el peso del recipiente para poder obtener la masa de la arena. Ver figura 32.



Figura 31.- Compactación de la arena con ayuda de la varilla punta de bala. (Contreras, 2019)



Figura 32.- Obtención de la masa de la arena con el recipiente. (Contreras, 2019)

Cálculos:

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

Donde:

MVSC = Masa volumétrica seca y compactada (g/cm³).

M = Masa de la arena (g).

V = Volumen del recipiente (cm³).

3.1.5.- Humedad actual en arenas (NMX – C – 166 – ONNCCE – 2006)

Objetivo: Determinar el contenido de agua de una muestra de arena, mediante el secado de la misma, siendo este método utilizado para la determinación de las cantidades que se van a utilizar en una mezcla de concreto.

Equipo:

- Muestra representativa de arena.
- Balanza o báscula.
- Parrilla eléctrica.
- Charolas metálicas.



- Espátulas.
- Cristal.

Procedimiento:

1. Se debe pesar una muestra representativa de arena, la cantidad de material a utilizar para esta prueba, se determina de acuerdo a la siguiente tabla 20. Se deben evitar las corrientes de aire en el momento de obtener la masa de la muestra húmeda (Mh). Ver figura 33.

Tabla 20.- Masa de la muestra de agregado. (NMX-C-166-ONNCCE, 2006)

Tamaño nominal (mm)	Masa de la muestra (kg)	Tamaño nominal (mm)	Masa de la muestra (kg)
150	30	40	6
102	25	25	4
90	16	20	3
75	13	13	2
64	10	10	1.5
50	8	Agregado fino	0.5

2. Después, se debe colocar la muestra de arena húmeda en una charola metálica sobre la parrilla eléctrica para proceder con el secado del material, moviéndolo con la espátula de forma constante para que el secado sea lo más homogéneo posible, esto se debe hacer hasta eliminar completamente la humedad del material. Ver figura 34.
3. Para verificar que el material está completamente seco, se coloca el cristal sobre el material y cuando el cristal ya no se empañe esto significa que el material ya está seco. Ver figura 35.
4. Una vez que el material se encuentra seco, se debe dejar enfriar a temperatura ambiente, para después proceder a pesarlo. Este peso se registrará como masa final o masa seca (Ms). Ver figura 36.



Figura 33.- Masa de la muestra húmeda. (Contreras, 2019)



Figura 34.- Secado de la arena con la parrilla eléctrica. (Contreras, 2019)



Figura 36.- Cristal sobre el material para verificar que está seco. (Contreras, 2019)



Figura 35.- Masa de la muestra completamente seca. (Contreras, 2019)

Cálculos:

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

Donde:

% H.A. = Porcentaje de humedad actual.

Mh = Masa de la muestra húmeda (g).

Ms = Masa de la muestra seca (g).



3.1.6.- Humedad de absorción en arenas (NMX – C – 165 – ONNCCE – 2014)

Objetivo: Determinar el incremento en la masa de un agregado seco, cuando es sumergido en agua durante 24h a temperatura ambiente, este aumento de masa es debido al agua que se introduce en los poros del material y no incluye el agua adherida a la superficie de las partículas, se expresa en porcentaje de la masa seca y es índice de la porosidad del material.

Equipo:

- Una muestra representativa de arena de aproximadamente 1 kg.
- Balanza o báscula con aproximación al décimo de gramo.
- Parrilla.
- Charolas metálicas.
- Cono metálico (truncocónico).
- Pisón.
- Espátula.

Procedimiento:

El molde truncocónico debe ser de lámina de metal tipo inoxidable con un espesor mínimo de 0.8 mm, sin fondo, con medidas interiores de 40 mm de diámetro superior, 90 mm de diámetro inferior, 75 mm de altura y cada dimensión con una tolerancia de ± 3 mm. Este molde sirve para saber cuándo la arena está saturada y superficialmente seca.

1. La muestra representativa de arena se pone a saturar con agua, manteniendo un tirante mínimo de 2 cm por encima del agregado, durante un tiempo de 24 horas como mínimo. Ver figura 37.
2. Al término de ese tiempo se coloca la arena saturada en la charola y esta se coloca en la parrilla para realizar la eliminación de agua que tiene en exceso, es decir, secar la arena superficialmente.
3. Para saber cuándo la arena se encuentre seca superficialmente, se coloca el molde truncocónico dentro de la charola con el diámetro mayor hacia abajo, se llena el molde con la arena hasta que sobrepase el borde superior del mismo, se procede a compactar con la masa propia del pisón, colocándolo suavemente 10 veces sin altura de caída, se vuelve a llenar el molde, se compacta 10 veces más con la masa del pisón, nuevamente se llena el molde y se compacta solo 3 veces, se llena por última vez y



se compacta 2 veces más, para así completar 25 compactaciones. Si al final de las 25 compactaciones el material rebasa el borde superior del molde, se enrasa con el mismo pisón y cuidando de no ejercer presión sobre el material.

4. Inmediatamente después se retira el molde de forma vertical y si la arena trata de disgregarse quiere decir que ya está seca superficialmente y si la arena mantiene la forma del cono significa que todavía tiene agua en exceso, por lo tanto, hay que seguir secando el material hasta obtenga el secado superficial. Ver figura 38.
5. Cuando la arena se encuentre saturada y superficialmente seca, hay que pesar una muestra de 300 gramos, registrando este peso como masa saturada y superficialmente seca (M_{sss}).
6. La muestra de 300 gramos, se coloca en una charola para secarla hasta masa constante, es decir, hasta eliminar completamente el agua.
7. Para verificar que el material está seco, se coloca el cristal sobre el material, si no lo empaña retiramos el material y lo dejamos enfriar un poco, procediendo a pesarlo y se registra como masa seca del material (M_s).



*Figura 38.- Arena saturada con agua.
(Contreras, 2019)*



*Figura 37.- Arena saturada y
superficialmente seca. (Contreras, 2019)*

Cálculos:

$$\% H. Abs. = \frac{M_{sss} - M_s}{M_s} * 100$$



Donde:

% H. Abs. = Porcentaje de húmeda de absorción.

Msss = Masa saturada y superficialmente seca de la muestra (g).

Ms = Masa seca de la muestra (g).

7.1.7.- Densidad relativa saturada en arenas (NMX-C-165-ONNCCE-2014)

Objetivo: Determinar la relación de la masa del agregado por unidad de volumen, considerando la masa de las partículas saturadas de agua y superficialmente secas.

Equipo:

- Muestra representativa de arena.
- Parrillas.
- Charolas.
- Espátulas.
- Molde troncocónico.
- Frasco de Chapman.

Procedimiento:

1. Se pone a saturar en agua, una muestra representativa de arena de aproximadamente 2 kg, durante un tiempo de 24 horas como mínimo.
2. De la muestra saturada se toma una porción de 1 kg y se escurre el agua el exceso.
3. Se procede a secar superficialmente la muestra y controlando el secado por medio del molde troncocónico y pisón, de la misma forma que en la prueba de humedad de absorción en arenas.
4. Se procede a pesar el frasco de Chapman, registrando este valor como F. Posteriormente se llena el frasco de agua hasta la marca de 200 ml. Ver figura 39.
5. Del material saturado y superficialmente seco se toma una porción de 300 gramos aproximadamente y se registra como As. Ver figura 40.
6. La muestra de arena saturada y superficialmente seca, se coloca dentro del frasco de Chapman, posteriormente se inclina un poco el frasco y se empieza a rodar sobre una superficie horizontal durante un tiempo conveniente para eliminar las burbujas de aire atrapadas.



7. Se llena el frasco hasta la marca de 450 ml con agua, se procede a pesar el frasco con el material y el agua y se registra como K. Ver figura 41 y 42.



Figura 40.- Peso del frasco de Chapman. (Contreras, 2019)



Figura 39.- Masa de la arena saturada y superficialmente seca. (Contreras, 2019)



Figura 41.- Frasco con arena y agua, hasta la marca de 450 ml. (Contreras, 2019)



Figura 42.- Peso del frasco junto con la arena y el agua. (Contreras, 2019)

Cálculos:

$$Dr_{sss} = \frac{As}{450 - (K - F - As)}$$

Donde:

Dr_{sss} = Densidad relativa aparente saturada.

As = Peso de la arena saturada y superficialmente seca (g).

F = Peso del frasco de Chapman (g).

K = Peso del frasco con la arena y el agua (g).



3.1.8.- Análisis granulométrico (NMX – C – 077 – ONNCCE – 1997)

Objetivo: Pasar por una serie de mallas o tamices una muestra representativa de arena, para conocer la distribución de los diámetros de las partículas y conocer el módulo de finura, el cual es necesario para el proporcionamiento de las mezclas de concreto.

Equipo:

- Juego de mallas con abertura rectangular o circular del N° 4, 8, 16, 30, 50, 100, 200 y charola con su respectiva tapa.
- Balanza o báscula con aproximación al décimo de gramo.
- Charolas
- Espátulas
- Horno.
- Cepillo de cerdas
- Cepillo de alambre.
- Hojas de papel

La muestra para la prueba de agregado fino se seca en el horno y debe tener una masa aproximada de las cantidades siguientes:

- Agregado en que por lo menos el 95 % pase la malla No. 8 a 100 gramos aproximadamente.
- Agregado en que por lo menos el 90 % pase la malla No. 4 y más del 5 % quede retenido en la malla No. 8 a 500 gramos aproximadamente.

Procedimiento:

1. Se seca la muestra hasta peso constante, a una temperatura de no mayor de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.
2. Cuando el material este seco y frío, se toma una muestra de 600 gramos aproximadamente, pesados al décimo de gramo. Ver figura 43.
3. Se acoplan las mallas en orden decreciente de tamaño de abertura (4, 8, 16, 30, 50, 100, 200 y charola) y se coloca la muestra en la malla superior y se tapa bien. Las mallas deben agitarse a mano o mediante algún dispositivo mecánico (Raf-tap) por un tiempo suficiente, el cual es de aproximadamente 15 minutos. Ver figura 44 y 45.



4. Se procede a pesar el material retenido en cada una de las mallas con ayuda de la báscula. Para lo cual se invertirán las mallas con todo cuidado y utilizando cepillo de alambre las mallas 4, 8, 16 y 30 para desalojar el material que se encuentra entre los espacios de la malla, mientras que las mallas 50, 100 y 200 se limpiarán con cepillo de cerdas. Ver figura 46.
5. En una superficie horizontal y limpia se colocan las hojas de papel y sobre ellas se coloca el material retenido en cada una de las mallas previamente pesado, esto para tenerlo como testigo si es que surge algún error.

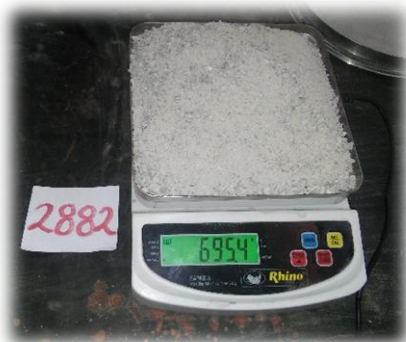


Figura 43.- Masa de la muestra de arena a utilizar. (Contreras, 2019)



Figura 44.- Mallas acopladas en orden decreciente. (Contreras, 2019)



Figura 45.- Agitado de las mallas por medio de dispositivo mecánico (Raf-tap). (Contreras, 2019)

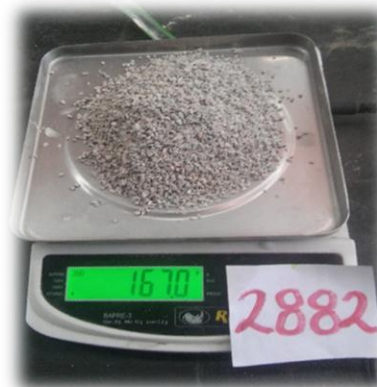


Figura 46.- Peso retenido en la malla No. 16. (Contreras, 2019)



Cálculos:

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

$$\% \text{ acumulativo de la malla} = \% \text{ retenido malla} + \% \text{ acumulativo malla anterior}$$

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

$$MF = \frac{\sum \text{de malla No. 8 hasta la malla No. 100}}{100}$$

Donde:

MF = Módulo de finura de la arena.

Para fines de calidad se recomienda que el Módulo de finura este entre 2.3 y 3.1. El retenido parcial en cualquier malla no debe ser mayor a 45%. (NMX-C-111-ONNCCE, 2014)

Los valores de % que pasa en cada malla, deben estar dentro de los límites establecidos en la siguiente tabla 21.

Tabla 21.- Límites granulométricos para agregado fino. (NMX-C-111-ONNCCE, 2014)

Malla	% Que pasa
3/8	100
4	95-100
8	80-100
16	50-85
30	25-60
50	10-30
100	2-10



3.1.9.- Impurezas orgánicas en arenas (NMX-C-088-1997-ONNCCE)

Objetivo: Determinación aproximada de la presencia de materia orgánica dañina en agregados finos que se usan para la fabricación de concreto hidráulico, en forma comparativa, utilizando una tabla colorimétrica.

Las impurezas orgánicas no son más que desechos de microorganismos, fracciones pequeñísimas de hojas, etc. que si existen en altas cantidades en el agregado fino, pueden alterar en forma perjudicial las reacciones normales entre el agua y cemento.

Equipo:

- Botellas iguales de vidrio incoloro de 250 a 350 cm³ con marcas a cada 25 cm³.
- Charolas.
- Parrilla de secado.
- Espátula.
- Balanza.
- Vaso de precipitado.
- Material para las soluciones.
- Tabla colorimétrica.
- Solución de sosa cáustica 30 gramos por litro de solución de normal en agua destilada.

En el caso de que no se cuente con la tabla colorimétrica, hay que preparar la solución normalizada de coloración permanente normal o No. 3. Para hacer dicha solución, hay que disolver ácido tánico, 2 gramos en 10 cm³ de alcohol, posteriormente se añaden 90 cm³ de agua destilada, se hace en un vaso de precipitado, esta debe hacerse justo en el momento de hacer la comparación de color.

Procedimiento:

1. Se toma una muestra representativa de arena de 500 gramos aproximadamente y se seca hasta peso constante a una temperatura no mayor a 110 °C.
2. Se coloca la arena seca y fría en el frasco de biberón hasta 130 cm³ adicionándole solución de sosa cáustica hasta los 200 cm³. Ver figura 47.



3. Se tapa la botella y se agita fuertemente durante dos minutos como mínimo posteriormente se dejará reposar 24 horas.
4. Al cabo de este tiempo se comparará el color del líquido de la botella con la tabla colorimétrica. Ver figura 48.

Si el color del líquido que esta sobre el agregado es más oscuro que el color normalizado No.3 de la tabla colorimétrica, puede considerarse que el agregado bajo prueba contiene compuestos orgánicos en cantidades perjudiciales para los morteros y concretos. (NMX-C-088-ONNCCE, 1997)



Figura 48.- Frasco con la arena y la solución de sosa caustica. (Contreras, 2019)



Figura 47.- Comparación del color del líquido de la botella con la tabla colorimétrica. (Contreras, 2019)

3.1.10.- Sedimentación en arenas

Objetivo: Determinar el contenido de material fino que presenta una arena para definir si se acepta o no para la elaboración de concreto hidráulico.

Equipo:

- Un frasco graduado con tres marcas, la primera a los 414 ml, la segunda a los 444 y la tercera a los 828 ml.
- Una muestra representativa de arena seca de 1 kilogramo aproximadamente.
- Un litro de agua.



Procedimiento:

1. Se toma una muestra representativa de arena de 300 gramos.
2. Se coloca la arena seca dentro del frasco hasta la marca de 414 ml, enseguida se coloca agua hasta la marca de 828 ml. Ver gura 49.
3. Se tapa el frasco y se procede a agitarlo hasta que todo el material fino quede en suspensión en el agua durante dos minutos.
4. Se deja reposar el material durante 24 horas para así determinar si el material fino rebasa o no la marca de 444 ml. Ver figura 50.

Si el nivel del material fino rebasa la marca de 444 ml, se reporta que el material tiene exceso de finos.

Si el nivel del material fino no rebasa la marca de 444 ml, se reporta que el contenido de material fino es aceptable.

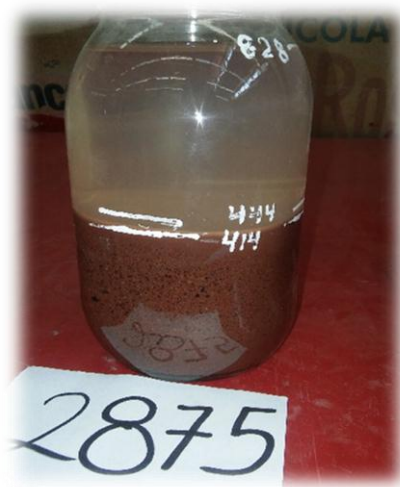


Figura 50.- Arena en la marca de los 414 ml y el agua en la marca de 828 ml (Contreras, 2019)



Figura 49.- Después de 24 horas se observa que el material fino rebasa la marca de 444 ml. (Contreras, 2019)



3.2.- PRUEBAS DE CALIDAD PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGREGADO GRUESO (GRAVAS)

3.2.1.- Cuarteo de agregados gruesos (NMX-C-170-ONNCCE-1997)

Objetivo: Obtener una muestra representativa y del tamaño adecuado para realizar las pruebas correspondientes al material de estudio.

Equipo:

- Palas.
- Charolas.
- Cuarteador de muestras.
- Cucharones.

Procedimiento:

1. Como ya se describió anteriormente en cuarteo para arenas, sabemos que hay tres procedimientos para realizar el cuarteo, pero los únicos que aplican para el agregado grueso son:
 - a) Cuarteo por paleado o manual. Ver figura 51.
 - b) Cuarteo por divisor de muestras. Ver figura 52.

Aplicando ambos métodos para este material.



Figura 51.- Cuarteo manual o por paleado.
(Contreras, 2019)



Figura 52.- Cuarteo por el divisor de muestras.
(Contreras, 2019)



3.2.2.- Masa volumétrica seca y suelta (NMX-073-ONNCCE-2004)

Objetivo: Determinar la masa por unidad de volumen, siendo el volumen el ocupado por el material en el recipiente cuando su acomodo es en estado natural seco y suelto.

Equipo:

- Muestra representativa de grava de aproximadamente 20 kilogramos.
- Recipiente con un volumen de 10 litros de masa conocida.
- Balanza con aproximación al gramo.
- Cucharón.
- Pala.

Procedimiento:

Para la elección del recipiente que se usará para la prueba, se debe elegir de acuerdo al tamaño máximo nominal del agregado, como se observa en la tabla 19.

Como la grava tiene un tamaño máximo nominal entre 3/4" (19 mm) y 1" (25.4 mm), y de acuerdo a esto, se eligió un recipiente con capacidad de 10 litros para realizar la prueba.

1. Se debe colocar el material seco en una superficie lisa y limpia, para proceder a realizar el cuarteo del mismo mediante el método de paleado y después colocar el recipiente de 10 litros en el centro de la muestra, para facilitar su llenado.
2. Enseguida con el cucharón se va llenando el recipiente, dejando caer la grava a una altura aproximada de 5 cm, cuidando que el acomodo de las partículas sea por caída libre, esto es sin que el recipiente se someta a vibraciones hasta que quede completamente lleno formando un cono el material, enseguida se procede a enrasar con la mano y proceder a pesar el recipiente con el material. Ver figura 53 y 54.



Figura 53.- Recipiente lleno y enrasado con la mano. (Contreras, 2019)



Figura 54.- Masa del recipiente más el peso del material. (Contreras, 2019)

Cálculos:

$$MVSS = \frac{\text{Masa de la grava (g)}}{\text{Volumen de la grava (cm}^3\text{)}}$$

Donde:

MVSS = Masa volumétrica seca y suelta (g/cm³).

3.2.3.- Masa volumétrica seca y compactada (NMX-073-ONNCCE-2004)

Objetivo: Obtener la masa de la grava por unidad de volumen, cuando el acomodo de sus partículas son sometidas a un cierto grado de compactación.

Equipo:

- Muestra representativa de grava de aproximadamente 20 kilogramos.
- Recipiente de 10 litros de volumen y de masa conocida.
- Balanza con aproximación al gramo.
- Cucharón.
- Pala.
- Varilla punta de bala de 5/8” de diámetro.

Procedimiento:

1. Se debe colocar el material seco en una superficie lisa y limpia, para proceder a realizar el cuarteo del mismo y después colocar el recipiente de 10 litros en el centro de la muestra, de la misma forma que la prueba de MVSS.
2. Enseguida con el cucharón se llena el recipiente en tres capas, cada capa deberá ser aproximadamente una tercera parte del volumen del recipiente.
3. En cada capa con la varilla punta de bala se le dan 25 golpes distribuyéndolos en toda su superficie, una vez lleno el recipiente, se enrasa. Posteriormente se determina la masa del recipiente con el material. Ver figura 55 y 56.



Figura 56.- Compactado del material con la varilla punta de bala. (Contreras, 2019)



Figura 55.- Masa del recipiente más el peso del material compactado (Contreras, 2019)

Cálculos:

$$MVSC = \frac{\text{Masa de la grava compactada (g)}}{\text{Volumen de la grava (cm}^3\text{)}}$$

Donde:

MVSC = Masa volumétrica seca y compactada (g/cm³).

3.2.4.- Humedad actual en gravas (NMX – C – 166 – ONNCCE – 2006)

Objetivo: Determinar la cantidad de agua que contiene una grava en porcentaje, en estado natural, es decir, en el momento que va a ser utilizada, para la determinación de las cantidades de materiales para hacer concreto hidráulico.



Equipo:

- Muestra representativa de grava.
- Balanza o báscula.
- Parrilla eléctrica.
- Charolas metálicas.
- Espátulas.
- Cristal.

Procedimiento:

1. Se debe pesar una muestra representativa de grava, la cantidad de material a utilizar para esta prueba, se determina de acuerdo a la siguiente tabla 3.4, la cual se mencionó en humedad actual en arenas, dicha muestra se pesa y se registra como masa húmeda (Mh). Ver figura 57.
2. Enseguida se coloca la charola en la parrilla para eliminar el agua que contiene la grava, se debe mover la grava constantemente con la espátula para que su secado sea uniforme, cuando aparentemente este seca, colocamos el cristal sobre ella para hacer la verificación del secado, si el cristal se empaña quiere decir que el material está húmedo y por lo tanto se debe seguir moviendo la grava hasta que este no se empañe. Ver figura 58 y 59.
3. Se retira la muestra de la fuente de calor y se deja enfriar, posteriormente se procede a pesar el material y se registra como masa seca (Ms). Ver figura 60.



Figura 57.- Masa húmeda de la muestra.
(Contreras, 2019)



Figura 58.- Material en la parrilla para eliminar la humedad. (Contreras, 2019)



Figura 59.- Cristal sobre el material para verificar su secado. (Contreras, 2019)



Figura 60.- Masa del material completamente seco. (Contreras, 2019)

Cálculos:

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

Donde:

% H.A. = Porcentaje de humedad actual.

Mh = Masa húmeda del material (g).

Ms = Masa seca del material (g).

3.2.5.- Humedad de absorción en gravas (NMX – C – 164 – ONNCCE – 2014)

Objetivo: Determinar la capacidad máxima de absorción de una grava cuando es sumergido en agua durante un tiempo de 24h determinado a temperatura ambiente. Expresándola en porcentaje respecto a su masa seca.

Equipo:

- Muestra representativa de grava.
- Franela o lienzo absorbente.
- Charolas metálicas.
- Parrilla eléctrica.
- Espátula y Vidrio.
- Balanza con aproximación al décimo de gramo.



Procedimiento:

El tamaño de la muestra a utilizar se elige de la siguiente tabla 22, el cual se elige en base al tamaño máximo nominal del agregado. Dicha muestra será utilizada para la presente prueba y para la prueba de densidad en gravas.

Tabla 22.- Tamaño mínimo de la muestra a utilizar. (NMX-C-164-ONNCCE, 2014)

Tamaño máximo nominal del agregado (mm)	Masa mínima de la muestra a utilizar en el ensayo (kg)
Hasta de 13	2
13-20	3
20-25	4
25-40	5
40-50	8
50-64	12
64-76	18

1. De la muestra mínima requerida que se trae de campo se criba a través de las mallas $3/4$ y $3/8$, del material que pasa la $3/4$ y se retiene en $3/8$ se pone a saturar en una charola una muestra de 1 a 2 kilogramos durante un tiempo de 24 horas. Ver figura 61.
2. Enseguida con una franela se seca superficialmente una muestra de grava de aproximadamente 300 gramos anotando este valor como masa saturada y superficialmente seca (Msss). Ver figura 62.
3. Se procede a colocar este material en una charola, para secarlo en la parrilla eléctrica, para saber cuándo se ha eliminado completamente la humedad, se coloca el vidrio



sobre el material y si no empaña o se forman gotas de agua se retira, se deja enfriar un poco y se procede a pesarlo registrando como masa seca (M_s). Ver figura 63 y 64.



Figura 61.- Muestra de grava saturada en agua durante 24 horas. (Contreras, 2019)



Figura 64.- Masa del material saturado y superficialmente seco. (Contreras, 2019)



Figura 62.- Secado del material en la parrilla eléctrica. (Contreras, 2019)



Figura 63.- Masa del material completamente seco. (Contreras, 2019)

Cálculos:

$$\% H. Abs. = \frac{M_{sss} - M_s}{M_s} * 100$$

Donde:

% H. Abs. = Porcentaje de absorción del material.

M_{sss} = Masa saturada y superficialmente seca del material (g).

M_s = Masa seca del material (g).



De acuerdo al reglamento de construcción del estado de Michoacán, se puede clasificar a la cantidad de absorción que presenta el material, la cual puede ser desde baja hasta alta absorción, como se observa en la siguiente tabla 23.

Tabla 23.- Tipos de absorción. (Colegio de Ingenieros Civiles de Michoacán, 1999)

Tipo de absorción	Por ciento de absorción
Baja	Menos del 2%
Media	Entre 2 y 4%
Alta	Más del 4%

3.2.6.- Densidad en gravas (NMX – C – 164 – ONNCCE – 2014)

Objetivo: Determinar la relación de la masa del agregado por unidad de volumen, considerando la masa de las partículas saturadas de agua y superficialmente secas.

Equipo:

- Muestra representativa de grava.
- Probeta graduada.
- Vaso de precipitado.
- Picnómetro tipo sifón.
- Franela
- Charola

Procedimiento:

1. De la muestra que se dejó saturando en la prueba de humedad de absorción en gravas, la cual se cribó por las mallas de 3/4" y 3/8" y se dejó saturando por 24 horas, se toma una muestra de aproximadamente 300g seca superficialmente con una franela y se pesa en la balanza como masa de la muestra (M).
2. Se procede a llenar el picnómetro hasta el nivel del orificio con agua, se coloca en una superficie plana y se procede a colocar la muestra de grava dentro de él, recibiendo el agua desalojada en una probeta graduada. Cuando se haya terminado de



colocar el material, esperamos a que escurra toda el agua del picnómetro, siendo esta el volumen de las partículas de grava (V). Ver figura 65 y 66.



Figura 65.- Introduciendo el material dentro del picnómetro. (Contreras, 2019)



Figura 66.- Agua desalojada por el picnómetro, la cual corresponde al volumen de la grava. (Contreras, 2019)

Cálculos:

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

Donde:

D = Densidad (g/cm³).

M = Masa de la grava (g).

V = Volumen de la grava (cm³).

3.2.7.- Análisis granulométrico (NMX – C – 077 – ONNCCE – 1997)

Objetivo: Obtener la distribución de las partículas de diferentes tamaños de la grava por medio de cribas, así como el tamaño máximo (T.M.) de la grava, valor que se utiliza para el cálculo del proporcionamiento de mezclas concreto.

Equipo:

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

Procedimiento:

1. Se procede a realizar el cuarteo de la muestra de grava, posteriormente se coloca el recipiente de 10 litros previamente destarado y se llena, la muestra que se utilizó para el llenado del recipiente se pesa y se obtiene la masa de la muestra. Ver figura 67.
2. Después se pasa la muestra de grava por cada una de las mallas, esto se hace agitando cada una de ellas de forma manual, para que de esta forma las partículas vayan pasando o se vayan reteniendo en las mallas según sea el caso.
3. Se pesa el material retenido en cada malla en la báscula, después de que se haya terminado de cribar toda la muestra de grava por las mallas. Ver figura 68.



Figura 67.- Masa de la muestra para la granulometría. (Contreras, 2019)



Figura 68.- Obtención del peso del material retenido en las mallas. (Contreras, 2019)

Cálculos:

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

$$\% \text{ acumulativo de la malla} = \% \text{ retenido malla} + \% \text{ acumulativo malla anterior}$$

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



Según la norma mexicana NMX-C-111-ONNCCE-2014, el tamaño máximo nominal de la grava se obtiene observando los porcentajes retenidos en cada malla y el tamaño máximo será el tamaño de malla que retenga el 10 % o más de la masa de la muestra.

3.3.- PRUEBAS DE CALIDAD PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL CEMENTO

3.3.1.- Consistencia normal del cemento (NMX-C-057-ONNCCE-2015)

Objetivo: Obtener la cantidad de agua necesaria para combinarla con un determinado peso de cemento, para obtener la cantidad de agua necesaria para que el cemento obtenga su consistencia normal.

Equipo:

- Muestra de cemento.
- Balanza (mecánica o electrónica).
- Probetas graduadas.
- Aparato de Vicat.
- Cronómetro.
- Espátulas.
- Placa de cristal liso.
- Recipiente (de cristal o porcelana).

Procedimiento:

1. Preparación de la pasta de cemento. Se pesan aproximadamente 650 gramos de cemento y se coloca sobre el recipiente de porcelana, se debe formar un cráter al centro del cemento para poder vaciar el agua dentro de él. Posteriormente se calcula el porcentaje de agua con respecto al peso del cemento y se agrega el agua dentro del cráter en un tiempo de 30 segundos, en otros 30 segundos el material de la orilla se empuja hacia dentro el cemento para que así se humedezca y en otros 30 segundos se deja reposar la mezcla para que el material se homogenice.
2. Amasado de la pasta. En 30 segundos se debe mezclar la masa con las manos, golpeando la mezcla hasta lograr una pasta uniforme y homogénea, en otros 30 segundos se forma una bola con las manos y se tirará 6 veces de una mano a otra,



manteniéndolas separadas entre sí aproximadamente 15 cm. En los últimos 30 segundos de este paso se debe descansar la bola en la palma de la mano, se introducirá a presión por la boca mayor del anillo del aparato Vicat, el cual se sostendrá con la otra mano, llenando completamente el anillo con pasta mientras la otra boca del anillo descansa sobre el cristal. El exceso de esta masa, que permanezca en la boca grande, se removerá mediante un movimiento simple con la palma de la mano. Después se colocará el anillo, descansando su base mayor sobre el cristal y se enrasará la boca superior con una pasada de la espátula cuidando de no comprimir la pasta durante dicha operación. Ver figura 69.

3. Determinación de la consistencia. La pasta confinada que descansa sobre la placa de vidrio, debe centrarse debajo de la barra, cuyo extremo que forma el émbolo se pondrá en contacto con la superficie de la pasta, y se apretará el tornillo sujetador. Después se colocará el indicador móvil en cero (todo lo anterior se debe hacer en un tiempo de 30 segundos). Posteriormente se deja caer la aguja sobre la pasta, se dejan pasar 30 segundos y se toma la lectura de penetración del aparato de Vicat. Se considerará que la pasta es de consistencia normal cuando la barra penetre hasta un punto situado 10 ± 1 mm debajo de la superficie original. Si esto no se logra deben hacerse pastas tentativas con distintos porcentajes de agua. Ver figura 70.



Figura 69.- Se enrasa la boca superior del anillo con ayuda de la espátula. (Contreras, 2019)



Figura 70.- Lectura de penetración del aparato de Vicat. (Contreras, 2019)



3.3.2.- Determinación de los tiempos de fraguado

Objetivo: Estimar el tiempo que tarda una muestra humedecida de cemento hidráulico en presentar el fraguado inicial (el momento en el que la mezcla de cemento y agua comienza a perder plasticidad y a solidificarse) y el fraguado final (el momento en el que la mezcla sufre un endurecimiento normal).

Equipo:

- Aparato de Gillmore.
- Balanzas.
- Placa de cristal.

Procedimiento:

1. Con la misma pasta de cemento que se utilizó para la prueba de consistencia normal, se hace una pastilla de poco más o menos 7.5 cm de diámetro y 1.3 cm de espesor constante en la zona central y posteriormente se coloca en el cuarto húmedo y se mantiene ahí, salvo cuando vayan a efectuarse la determinación de los tiempos de fraguado.
2. Al determinar los tiempos de fraguado, manténgase las agujas en posición vertical y póngase en contacto ligeramente con la superficie de la pastilla. Considérese que el cemento ha alcanzado su fraguado inicial cuando la pastilla soporte la aguja más ligera del aparato de Gillmore, sin que marque huella apreciable. Se considera que el cemento ha alcanzado su fraguado final cuando la pastilla soporte la aguja más pesada, sin que marque huella apreciable. Ver figura 71 y 72.



Figura 71.- Determinación del fraguado inicial con la aguja más ligera del aparato de Gillmore. (Contreras, 2019)



Figura 72.- Determinación del fraguado final con la aguja más pesada del aparato de Gillmore. (Contreras, 2019)

3.3.3.- Densidad del cemento hidráulico (NMX-C-152-ONNCCE-2015)

Objetivo: Esta prueba pretende estimar la densidad que tiene una muestra representativa de cemento. Su principal utilidad está relacionada con el proporcionamiento y control de mezclas de concreto.

Equipo:

- Muestra representativa de cemento.
- Frasco de Le Chatelier.
- Báscula o balanza.
- Queroseno exento de agua, o gasolina o petróleo o cualquier otro líquido que no reaccione con el cemento.
- Recipiente con agua.
- Termómetro.

Procedimiento:

1. Se llena el frasco con alguno de los líquidos especificados, hasta un punto entre las marcas de 0 y un mililitro. Después de verter el líquido, séquese el interior del frasco arriba del nivel del líquido. La primera lectura (L_1) se registrará después de haber sumergido el frasco en agua que este a temperatura constante y más o menos igual a la temperatura donde se realizará la prueba, con el fin de evitar variaciones mayores a 0.2°C y por ende errores en la misma. Ver figura 73 y 74.

2. Se pesan 64 gramos aproximadamente de cemento, posteriormente se sujeta el frasco en forma vertical y se agrega el cemento de forma lenta, para evitar que el cemento salpique las paredes del frasco y que no se obstruya. Ver figura 75 y 76.
3. Después se tapa el frasco, se inclina y se rueda horizontalmente para lograr que salga el aire atrapado y toda la muestra de cemento quede dentro del líquido. Posteriormente que vuelve a meter el frasco al recipiente con agua para que la temperatura del líquido y cemento sea constante durante la prueba, por último se toma la lectura final (Lf) del frasco.



Figura 74.- Muestra de cemento de aproximadamente de 64 gramos (Contreras, 2019)



Figura 73.- Líquido que no reaccione con el cemento en el frasco (Contreras, 2019)



Figura 76.- Recipiente con agua, para mantener la temperatura constante durante la prueba. (Contreras, 2019)



Figura 75.- Se introduce el cemento en el frasco para determinar su volumen. (Contreras, 2019)



3.4.- PRUEBAS DE CALIDAD PARA EL CONCRETO EN ESTADO FRESCO Y ENDURECIDO

3.4.1.- Dosificación de las mezclas de concreto

Para este caso de estudio, la dosificación de las 4 mezclas de concreto se realizó de dos maneras distintas, ambas dosificadas por volumen, es decir, por botes. Una de ellas se realizó con un proporcionamiento tradicional 1:2:2 en volumen o 2:4:4 en botes alcohólicos; y la otra forma de dosificación fue con el volumen o botes obtenidos con su proporcionamiento por el método del ACI de cada mezcla. Esto se hizo con el fin de comparar la resistencia a compresión de ambos métodos de dosificación.

Cabe destacar que la dosificación de las mezclas de concreto se realizó en botes de 5 litros, esto debido a que si se realizaba con botes de 19 litros se iba a desperdiciar aproximadamente el 75% de la mezcla, ya que solo se necesitaba una cuarta parte de dicha mezcla, es por esto que se optó por reducir 4 veces el volumen de dichos botes. Por lo tanto el diseño en lugar de hacerse con botes de 19 litros se hizo con botes de 5 litros, pero con la misma proporción, es decir 2:4:4 botes de 5 litros en el caso de la elaboración de forma tradicional. Ambas formas se dosificaron para un bulto de cemento, es decir, 2 botes de cemento y para 15 especímenes cilíndricos de 10x20cm por mezcla, esto con el fin de someterlos a pruebas a distintas edades (7, 14, 21, 28 y 45 días).

- a) Dosificación de forma tradicional.** Esta dosificación se realizó de una de las maneras más comunes que existen para elaborar una mezcla de concreto, con una proporción en volumen de 1:2:2, es decir, con 2 botes de cemento, 4 botes de arena, 4 botes de grava y 2 botes de agua esta proporción se realiza sin tomar en cuenta la caracterización de los materiales, por lo tanto se utilizó la misma proporción para las 4 mezclas, dicha proporción es para un concreto con una resistencia de diseño de 250 kg/cm². Cabe mencionar que este tipo de dosificación se empezó a utilizar con base en la experiencia con distintos tipos de mezcla dosificadas, con distintas cantidades de material para la obtención de diferentes resistencias requeridas.
- b) Dosificación por el método del ACI.** Esta dosificación se realiza de acuerdo a lo ya explicado anteriormente en el proporcionamiento ACI, tomando en cuenta la caracterización de cada uno de los materiales a utilizar en cada una de las 4 mezclas



que se realizaron, por lo tanto la dosificación en botes será distinta para cada mezcla, ya que cada una de ellas cuenta con materiales de diferentes características (absorción, MVSS, densidad, granulometría, etc.) y esto nos dará distintas cantidades de materiales a utilizar. Este diseño se realizó para una resistencia de 250 kg/cm^2 con un f'_{cr} de 333 kg/cm^2 , ya que el ACI propone en la tabla 2.2 distintos valores del mismo, cuando no se tendrá un control de los materiales, es decir, concreto hecho en obra dosificado por volumen y de esta forma garantizar que se cumpla la resistencia especificada.



Figura 78.- Dosificación del cemento en botes de 5 litros. (Contreras, 2019)



Figura 79.- Dosificación del agua en botes de 5 litros. (Contreras, 2019)



Figura 77.- Dosificación de la grava en botes de 5 litros. (Contreras, 2019)



Figura 80.- Dosificación de la arena en botes de 5 litros. (Contreras, 2019)



3.4.2.- Mezclado del concreto en el laboratorio

Después de que todos y cada uno de los materiales necesarios para el diseño de la mezcla estén caracterizados, y que ya se tenga la dosificación necesaria para la mezcla de concreto (ya sea por volumen o por masa) se procede a realizar la elaboración de la misma.

Equipo:

- Charola. Recipiente de lámina galvanizada gruesa, de fondo plano, con profundidad y capacidad suficiente para facilitar el mezclado con pala.
- Báscula o balanza.
- Pala y cucharón.
- Recipiente o bote, si es que la dosificación de la mezcla es por volumen.

Procedimiento:

El concreto puede mezclarse a mano o en revolvedora, en revolturas de volumen tal que después de colar los especímenes no quede desperdicio de la mezcla. Es de suma importancia no variar el procedimiento de mezclado entre una mezcla y otra, a menos que se desee estudiar el efecto de la variación del procedimiento de mezclado. En el presente estudio se realizó el mezclado de forma manual.

1. Se preparan los materiales necesarios para la mezcla, es decir, se procede a pesar los materiales si es que la dosificación es por peso, o en el caso que sea por volumen se preparan la cantidad de botes de materiales necesarios para la dosificación de la mezcla de concreto. Ver figura 81 y 82.
2. Se procede a mezclar el cemento y el agregado fino hasta que estén completamente combinados. Posteriormente se adiciona el agregado grueso de tal forma que quede distribuido uniformemente. Ver figura 83.
3. Después se adiciona el agua y se procede a mezclar todos los materiales hasta que el concreto tenga un aspecto homogéneo y la consistencia deseada. Ver figura 84.



Figura 82.- Dosificación de los materiales por volumen en botes de 5 litros. (Contreras, 2019)



Figura 81.- Cantidades de materiales necesarios para la mezcla de concreto. (Contreras, 2019)



Figura 83.- Cemento y agregado fino combinados para posteriormente adicionar el agregado grueso. (Contreras, 2019)



Figura 84.- Concreto fresco con la consistencia deseada (Contreras, 2019)

3.4.3.- Revenimiento del concreto fresco (NMX-C-156-ONNCCE-2010)

Objetivo: Determinar la consistencia y trabajabilidad del concreto hidráulico en estado fresco en término de la disminución de la altura.

Equipo:

- Cono de revenimiento.
- Varilla punta de bala de 5/8” de diámetro.
- Cucharón.
- Placa metálica.



- Pala y flexómetro.

Procedimiento:

1. Inmediatamente después de terminado el mezclado del concreto, se procede a humedecer el cono y se coloca sobre la placa metálica, la cual también debe estar húmeda. El operador debe sujetar firmemente el cono parándose sobre las dos orejas que tiene. Con la mezcla de concreto se llenaran 3 capas aproximadamente de igual volumen.
2. Cada capa se debe compactar 25 veces con la varilla, los cuales deber ser distribuidos por toda la sección transversal. Ver figura 85.
3. Después de terminar la compactación de la última capa, se procede a enrasar con ayuda de la varilla mediante el rodamiento de la misma. Inmediatamente después se retira el molde cuidadosamente en dirección vertical.
4. Por último se mide el revenimiento, determinándose la diferencia de la altura del cono y la del concreto sobre el centro original de la base. Ver figura 86.



Figura 85.- Compactación de cada capa 25 veces con la varilla. (Contreras, 2019)



Figura 86.- Obtención del revenimiento de la mezcla de concreto fresco. (Contreras, 2019)



La norma mexicana NMX-C-156-ONNCCE-2010 nos proporciona la siguiente tabla 24 para obtener el valor nominal del revenimiento y sus tolerancias.

Tabla 24.- Tolerancias para distintos revenimientos. (NMX-C-156-ONNCCE, 2010)

Revenimiento Nominal (mm)	Tolerancia (mm)
Menor de 50	± 15
De 50 a 100	± 25
Mayor de 100	± 35

3.4.4.- Elaboración y curado de especímenes de concreto (NMX-C-159-ONNCCE-2016)

Objetivo: Realizar la fabricación y curado de especímenes de concreto, para posteriormente ser probados a las edades requeridas a pruebas destructivas y no destructivas.

Los especímenes pueden ser hechos en el laboratorio para corroborar un proporcionamiento o en obra para el control de calidad de una mezcla. El siguiente procedimiento es para especímenes cilíndricos.

Equipo:

- Moldes cilíndricos, los cuales deben ser de lámina metálica gruesa, o de cualquier otro material rígido y no absorbente.
- Varilla punta de bala.
- Charola.
- Pala, Mazo de goma y cucharón.

Los especímenes cilíndricos pueden ser de varios tamaños, pero deben cumplir con un diámetro mínimo de 5 cm y una longitud mínima de 10 cm. El diámetro del cilindro a utilizar deberá ser, cuando menos tres veces el tamaño máximo nominal del agregado grueso del concreto. Por lo general deben prepararse 3 o más especímenes para cada edad de prueba.



Procedimiento:

1. Inmediatamente después de haber realizado la prueba de revenimiento de la mezcla de concreto se procede con el llenado de los especímenes cilíndricos, el cual se debe realizar en forma vertical y en un lugar donde no haya vibraciones.
2. Con ayuda del cucharón se llena el cilindro en capas y cada capa se debe compactar con algún método de compactación, según lo indicado en la tabla 25. Ver figura 87.

Tabla 25.- Número de capas requeridas para especímenes cilíndricos. (NMX-C-159-ONNCCE, 2016)

Diámetro del espécimen (cm)	Método de compactación	Número de capas
7.5 a 10	Varillado	2
15	Varillado	3
22.5	Varillado	4
Hasta 22.5	Vibrado	2

3. Después de que ya se conoce el método de compactación, se procede a compactar cada capa, un número de penetraciones y con una varilla punta de bala de diámetro, los cuales están especificados en la siguiente tabla 26. Cada capa debe ser compactada solo en su espesor, es decir, sin sobrepasar las otras. Ver figura 88.

Tabla 26.- Diámetro de la varilla y número de penetraciones empleados para moldear los especímenes cilíndricos. (NMX-C-159-ONNCCE, 2016)

Diámetro del cilindro (cm)	Diámetro de la varilla en (mm)	Número de penetraciones por capa
Entre 7.5 y menos de 15	10 (3/8")	25
15	16 (5/8")	25
20	16 (5/8")	50



4. Posteriormente cada capa debe ser golpeada suavemente las paredes del molde con el mazo de goma, esto con el fin de eliminar las oquedades que se dejan al momento del varillado. Después de llenado el espécimen cilíndrico, se procede a enrasar la cara superior para que de esta forma dejarla lo más horizontal y a nivel del espécimen posible. Ver figura 89.
5. Curado y protección después del acabado. Para evitar la evaporación de agua del concreto que aún no endurece, deben cubrirse los especímenes inmediatamente después del acabado, de preferencia con una placa no absorbente, o con una bolsa de plástico durable e impermeable. Los especímenes no deben quitarse de los moldes antes de 20 horas, ni después de 48 horas de haber sido colados.
6. Curado y protección después de retirar los especímenes del molde. Los especímenes deben curarse cando menos durante los primeros 7 días de edad, después de retirados del molde, para esto se deben colocar en un lugar donde la humedad y temperatura sean constantes, como puede ser el cuarto húmedo o la pila de curado. Ver figura 90.



Figura 87.- Vaciado de la mezcla de concreto en los especímenes cilíndricos de 10x20cm. (Contreras, 2019)



Figura 88.- Varillado de los especímenes con la varilla de 3/8". (Contreras, 2019)



Figura 89.- Vibrado suave con mazo de goma para eliminar las oquedades. (Contreras, 2019)



Figura 90.- Curado de los especímenes en la pila de curado para evitar la pérdida de humedad. (Contreras, 2019)

3.4.5.- Resistividad eléctrica del concreto endurecido (NMX-514-ONNCCE-2016)

Objetivo: Determinar la resistividad eléctrica o riesgo de corrosión para el acero interno del concreto hidráulico, es decir, la fuerza que opone el concreto al paso del flujo de la corriente eléctrica a distintas edades de prueba.

Equipo:

- Especímenes de concreto.
- Resistómetro.
- Esponjas o telas de microfibra.
- Placas de cobre.
- Resistómetro marca Nilson que mide resistividad en suelos y medios porosos.
- Flexómetro
- Vernier.

Procedimiento:

Los especímenes cilíndricos para el caso de esta prueba deberán estar saturados o húmedos, es decir, la prueba se realizará inmediatamente después de retirar los cilindros de cierta edad de la pila de curado. Dicha prueba se realizará por el método directo, el cual es aplicable a muestras de concreto de preferencia en laboratorio en que dichas muestras son

elaboradas bajo ciertas normas con fines de investigación e innovación para la mejora de mezclas o de muestras obtenidas en campo.

1. Verificar que el equipo se encuentre conectado el P1 con el C1 así como el P2 con el C2 (puenteado), además de que el equipo tenga suficiente batería y las perillas se deben de encontrar en las lecturas máximas. Ver figura 91.
2. Se humedecen la esponja o tela de microfibra, según sea el caso, posteriormente se colocan en la parte inferior y superior del cilindro. Después las placas de acero inoxidable se colocan por encima y por debajo del cilindro, sobre la tela o esponja húmeda, las cuales estarán conectadas al resistómetro. Por último debe colocarse un peso muerto (no metálico) para garantizar el buen contacto de corriente eléctrica y posteriormente obtener la resistividad eléctrica con ayuda del resistómetro, en Ω (ohm). Ver figura 92.



Figura 91.- Resistómetro Nilson puenteado. (Contreras, 2019)



Figura 92.- Resistómetro conectado y preparado para la obtención de la resistividad, en ohm (Contreras, 2019)

Cálculos:

$$\rho = \frac{Re * A}{L}$$

Donde:

ρ = Resistividad eléctrica, en $k\Omega \cdot cm$.

Re = Resistencia eléctrica, en $k\Omega$.

A = Área de la sección transversal, en cm^2 .



L = Longitud del espécimen, en cm.

Las normas mexicana NMX-C-514-ONNCCE-2016 y NMX-C-530-ONNCCE-2017 proporciona la tabla 27, la cual da criterios de evaluación de la resistividad eléctrica o la probabilidad de corrosión del acero de refuerzo del concreto.

Tabla 27.- Criterios para evaluar la resistividad eléctrica o riesgo de corrosión del acero de refuerzo. (NMX-C-514-ONNCCE, 2016); (NMX-C-530-ONNCCE, 2017)

Resistividad	Probabilidad de corrosión
> 100 $k\Omega \cdot cm$ - 200 $k\Omega \cdot cm$	Porosidad interconectada extremadamente baja
50 $k\Omega \cdot cm$ a 100 $k\Omega \cdot cm$	Porosidad interconectada baja
10 $k\Omega \cdot cm$ a 50 $k\Omega \cdot cm$	Porosidad interconectada de consideración
< 10 $k\Omega \cdot cm$	Porosidad interconectada excesiva

3.4.6.- Velocidad de pulso ultrasónico (NMX-C-275-ONNCCE-2004)

Objetivo: Determinar la velocidad de pulso ultrasónico o la porosidad del espécimen en cuestión por medio de ondas de pulso ultrasónicas, la cual nos da una idea de la calidad del concreto.

Equipo:

- Especímenes de concreto.
- Equipo de velocidad de pulso con sus cables y transductores.
- Líquido viscoso para garantizar la conexión (gel).
- Flexómetro.

Procedimiento:

Los especímenes cilíndricos para el caso de esta prueba deberán estar saturados o húmedos, es decir, la prueba se realizará inmediatamente después de retirar los cilindros de cierta edad de la pila de curado.



1. Se debe armar el equipo y calibrar los transductores, posteriormente se selecciona la longitud de propagación de las ondas, es decir la longitud de la muestra en estudio. Para este caso la longitud es de 20 cm, el cual es la altura de los cilindros de concreto.
2. Se selecciona la cantidad de pulsos que se le debe dar a las muestras, para este caso son 3 pulsos en 2 segundos.
3. Se coloca el gel en las caras opuestas de los especímenes y en los transductores, para de esta forma garantizar la conexión, posteriormente se colocan los transductores en las caras del espécimen, cuidando se siempre estén en contacto. Ver figura 93.
4. Por último, con ayuda del aparato se calcula la velocidad de pulso, el cual ya arroja directamente el valor de la Velocidad de Pulso Ultrasónico, en m/s. Se debe tomar la lectura que se repita por lo menos en dos ocasiones. Ver figura 94.



Figura 93.- Transductores y caras del espécimen en contacto, con gel para garantizar el buen funcionamiento. (Contreras, 2019)



Figura 94.- Obtención de la velocidad de pulso ultrasónico a través de concreto, en m/s. (Contreras, 2019)

La norma mexicana NMX-C-275-ONNCCE-2004, proporciona la tabla 28 para evaluar la velocidad de pulso ultrasónico o la calidad del concreto.



Tabla 28.- Criterios para evaluar la velocidad de pulso ultrasónico (VPU). (NMX-C-275-ONNCCE, 2004)

Velocidad de propagación (m/s)	Calidad del concreto
< 2000	Deficiente
2001 a 3000	Normal
3001 a 4000	Alta
>4000	Durable

3.4.7.- Cabeceo de cilindros de concreto (NMX-C-109-ONNCCE-2013)

Objetivo: Lograr que las caras del cilindro de concreto sean lo más lisas y horizontales posibles (paralelas entre sí), para que la carga de compresión aplicada se distribuya uniformemente en toda el área del cilindro. Esto se hace con ayuda de un material con resistencia igual o mayor al f'_c del concreto (azufre), esto se hace con el fin de que primero falle el concreto y no el material utilizado.

Equipo:

- Especímenes de concreto.
- Moldes de cabeceo de diámetro un poco mayor que los cilindros (por lo menos 5 mm), con guías para asegurar la verticalidad.
- Estopa y aceite.
- Olla para calentar el azufre.
- Parrilla de gas.
- Azufre.

Procedimiento:

1. Se sacan los cilindros de la edad de prueba correspondiente de la pila de curado y se dejan secar superficialmente.
2. Se pone a calentar el azufre dentro de la olla en la parrilla de gas hasta que pase de estado sólido a líquido. Posteriormente se le coloca aceite a los moldes de cabeceo y



a la cara del cilindro a cabecear, esto con el fin de que el azufre no se pegue al cilindro ni al molde.

3. Se vierte el azufre líquido en los moldes de cabeceo en cantidad suficiente para la cara del cilindro, inmediatamente después se toma el cilindro y se desliza por las guías hasta que la cara del cilindro quede sumergida, se ajusta con las manos hacia las guías para mantener la verticalidad y que la cara del cilindro quede nivelada. Ver figura 95 y 96.
4. Se espera a que el azufre solidifique para proceder a retirarlo del molde, se limpia y se repite la operación para la otra cara del cilindro.

Se puede usar el mismo azufre para cabeceo de especímenes cilíndricos un máximo de 10 veces para disminuir al mínimo la pérdida de resistencia y fluidez ocasionada por la contaminación con aceite o con desperdicios de distintas clases y pérdidas de azufre a través de la volatilización. (NMX-C-109-ONNCCE, 2013)



Figura 95.- Azufre líquido en los moldes, para proceder a cabecear la cara del cilindro de concreto. (Contreras, 2019)



Figura 96.- Cilindro de concreto ajustado a las guías y centrado en el molde con azufre. (Contreras, 2019)

3.4.8.- Resistencia a compresión (NMX-C-083-ONNCCE-2014)

Objetivo: Conocer el esfuerzo de ruptura máximo a compresión en una muestra representativa del concreto usado en la obra para comparar su resistencia y saber si es equivalente a la resistencia de proyecto a la que fue diseñado.

Equipo:

- Especímenes de concreto de 10x20cm.



- Flexómetro y vernier.
- Máquina universal Forney.

Procedimiento:

1. Antes de realizar el cabeceo se toman el diámetro y la altura del espécimen de prueba debe ser determinado con una aproximación a 1 mm (en el caso de la altura) y 0.5 mm (en el caso del diámetro) promedio de las medidas de 2 diámetros perpendiculares entre si y 2 alturas opuestas. Teniendo estas medidas se obtiene una relación altura-diámetro para posteriormente hacer la corrección por esbeltez de la resistencia a compresión obtenida, la norma mexicana NMX-C-083-ONNCCE-2014 proporciona la siguiente tabla 29, para realizar dicha corrección.

Tabla 29.- Factores de corrección por esbeltez de la resistencia para especímenes cilíndricos. (NMX-C-083-ONNCCE, 2014)

Relación altura-diámetro del espécimen	Factor de corrección a la resistencia
2.0	1.00
1.75	0.99
1.50	0.97
1.25	0.94
1.00	0.91

Nota: Los valores intermedios que no aparecen en la tabla deberán calcularse por interpolación, no deberán ensayarse especímenes con relación altura-diámetro menor de 1.

2. Teniendo ya las dimensiones y el espécimen cabeceado, se procede a colocar en la máquina universal limpiando perfectamente las placas de apoyo en la máquina y centrando el eje vertical del espécimen en el centro de la placa de apoyo.
3. Se ajusta la platina superior a la cara del espécimen de manera que no se aplique ninguna carga de impacto, si no que apenas quiera rozar o tocar el espécimen, posteriormente se pone en ceros la máquina y se aplica la carga en una velocidad



continua hasta la falla de la muestra. La velocidad de aplicación de carga varía de acuerdo al diámetro del espécimen, la norma mexicana NMX-C-083-ONNCCE-2014 proporciona la tabla 30, en la cual vienen las velocidades mínimas y máximas de aplicación de carga de acuerdo al diámetro del espécimen. Ver figura 97, 98 y 99.

Tabla 30.- Velocidad de aplicación de carga. (NMX-C-083-ONNCCE, 2014)

Forma del espécimen	Diámetro de los especímenes cm (pulgadas)	Área nominal (cm ²)	Carga mínima kN/s (t/min)	Carga máxima kN/s (t/min)
Cilindros	5.00 (2")	19.64	0.4 (2.4)	0.6 (3.6)
	7.50 (3")	44.18	0.9 (5.4)	1.3 (8.1)
	10.00 (4")	78.54	1.6 (9.6)	2.4 (14.4)
	15 (6")	176.72	3.5 (21.6)	5.3 (32.4)

4. Por último se registra la carga de ruptura del espécimen. Las pruebas a la compresión de los especímenes deben ser probados tan pronto como sea posible a la edad de prueba que le corresponda. La tabla 31 proporciona edades de prueba para los especímenes, cada una con tolerancias para que sigan siendo dicha edad de prueba y no otra. Ver figura 100.

Tabla 31.- Tolerancias a edades de prueba especificadas. (NMX-C-083-ONNCCE, 2014)

Edad de ensayo especificada	Tolerancia permisible
3 días	± 2.0 h
7 días	± 6.0 h
14 días	± 12.0 h
28 días	± 20.0 h
90 días	± 48.0 h



Cálculos:

$$R = \frac{W}{A}$$

Donde:

R = Esfuerzo a compresión que resiste el espécimen a cierta edad (kg/cm²).

W = Carga máxima de ruptura (kg).

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

Conociendo y registrando su edad se determina su porcentaje de resistencia respecto a la resistencia de proyecto, y de esta forma saber si el cilindro va presentando buenos resultados a ciertas edades y se obtiene de la siguiente manera:

$$\% \text{ Resistencia} = \frac{R}{\text{Resistencia de proyecto}} * 100$$



Figura 98.- Platina ajustada al espécimen para proceder a aplicar carga. (Contreras, 2019)

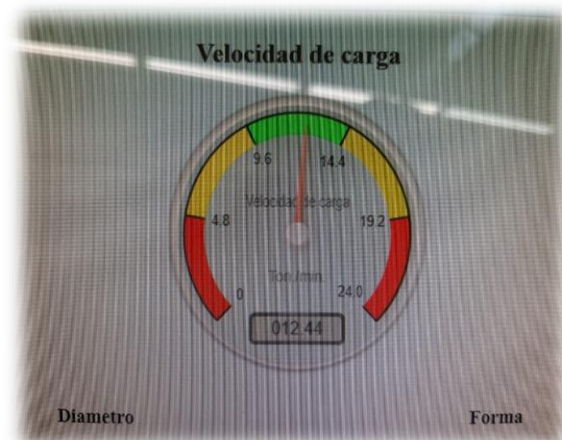


Figura 97.- Velocidad de carga para cilindros de 10 cm de diámetro. (Contreras, 2019)



Figura 100.- Espécimen de concreto fallado después de aplicar la carga de compresión.
(Contreras, 2019)

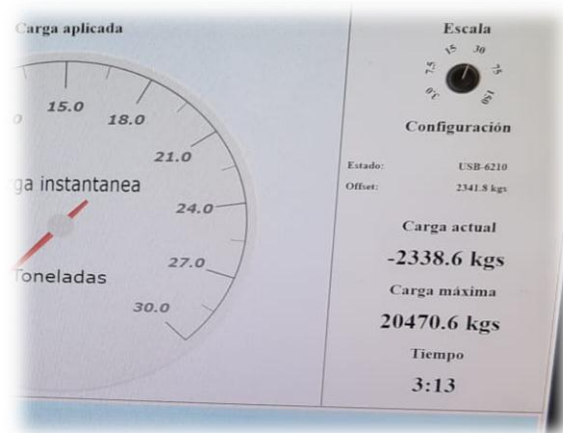
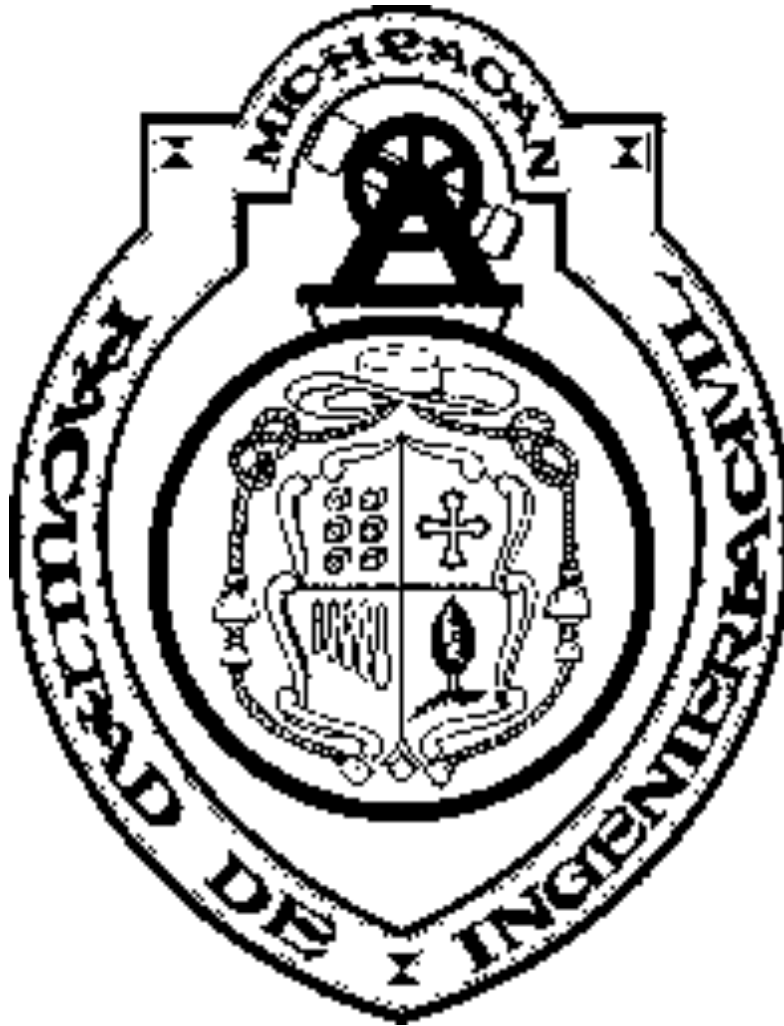


Figura 99.- Carga máxima a compresión de ruptura del cilindro a cierta edad de prueba.
(Contreras, 2019)



CAPITULO 4



RESULTADOS Y DISCUSIONES



A continuación se muestran los resultados obtenidos en la metodología, tales como, la caracterización de los materiales (arena, grava y cemento), pruebas destructivas y no destructivas a los especímenes de concreto, los cuales se muestran en tablas y gráficas para facilitar la apreciación de los resultados obtenidos y así poder evaluar el comportamiento del concreto a distintas edades de prueba.

4.1.- CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS PÉTREOS

4.1.1.- Humedad Actual

En la tabla 32 se puede observar los contenidos de humedad actual promedio de los distintos materiales analizados.

Tabla 32.- Porcentaje de humedad actual de los agregados.

BANCO	HUMEDAD ACTUAL	GRAVA		ARENA	
TZINTZINGAREO	Masa húmeda (Mh)	300	300	300	300
	Masa seca Final (Ms)	299.7	299.6	299.8	299.6
	Humedad (g)	0.3	0.4	0.2	0.4
	% Humedad Actual	0.10	0.13	0.07	0.13
	Promedio	0.12		0.10	
PIEDRAS DE LUMBRE	Masa húmeda (Mh)	300.6	300	300.4	300.2
	Masa seca Final (Ms)	298.8	298.2	298.4	297.6
	Humedad (g)	1.8	1.8	2	2.6
	% Humedad Actual	0.60	0.60	0.67	0.87
	Promedio	0.60		0.77	
NOGALES "GVR"	Masa húmeda (Mh)	300	300	300.4	300.2
	Masa seca Final (Ms)	299.8	299.8	299.8	299.6
	Humedad (g)	0.2	0.2	0.6	0.6
	% Humedad Actual	0.07	0.07	0.20	0.20
	Promedio	0.07		0.20	
NOGALES "GVT"	Masa húmeda (Mh)	300	300	300.4	300.2
	Masa seca Final (Ms)	299.55	299.25	299.8	299.6
	Humedad (g)	0.45	0.75	0.6	0.6
	% Humedad Actual	0.15	0.25	0.20	0.20
	Promedio	0.20		0.20	

De acuerdo a la tabla 32, se puede observar que el contenido de humedad en promedio de cada uno de los materiales de estudio, es bajo, lo cual indica que el material presenta muy poca cantidad de agua. Este dato es útil al momento de realizar el proporcionamiento ACI.



4.1.2.- Humedad de absorción

En la tabla 33 se muestran las humedades de absorción, es decir, la máxima capacidad de absorción que presentan los agregados de estudio, expresado en porcentaje.

Tabla 33.- Porcentaje de humedad de absorción de los agregados.

BANCO	HUMEDAD DE ABSORCIÓN	GRAVA			ARENA		
TZINTZINGAREO	Masa húmeda (Mh)	300	300	300	300	300	300
	Masa seca Final (Ms)	281.2	276.6	278	282.2	281.6	281.9
	Humedad (g)	18.8	23.4	22	17.8	18.4	18.1
	% Absorción	6.69	8.46	7.91	6.31	6.53	6.42
	Promedio	7.69			6.42		
PIEDRAS DE LUMBRE	Masa húmeda (Mh)	301.2	301.6	300.2	300.4	300	299.8
	Masa seca Final (Ms)	298.6	299	290	288	288.6	287.6
	Humedad (g)	2.6	2.6	10.2	12.4	11.4	12.2
	% Absorción	0.87	0.87	3.52	4.31	3.95	4.24
	Promedio	1.75			4.17		
NOGALES "GVR"	Masa húmeda (Mh)	300.2	300.2	300.2	300.8	300	300.4
	Masa seca Final (Ms)	269	271.4	270	274.6	273	272.8
	Humedad (g)	31.2	28.8	30.2	26.2	27	27.6
	% Absorción	11.60	10.61	11.19	9.54	9.89	10.12
	Promedio	11.13			9.85		
NOGALES "GVT"	Masa húmeda (Mh)	300	300.2	300.3	300.8	300	300.4
	Masa seca Final (Ms)	276	276	276	274.6	273	272.8
	Humedad (g)	24	24.2	24.3	26.2	27	27.6
	% Absorción	8.70	8.77	8.80	9.54	9.89	10.12
	Promedio	8.76			9.85		

Se puede observar que la mayoría de los agregados presentan una capacidad de absorción alta, ya que se encuentran por encima del 4% máximo recomendado, esto se debe a que los agregados son de origen volcánico, el cual cuenta con una gran cantidad de poros en sus partículas, lo cual genera que sea muy absorbente en comparación con tipo de material, como lo es el del banco “Piedras de Lumbre” el cual es un material triturado.

4.1.3.- Densidad

En la tabla 34 se muestran los resultados de la densidad de los agregados, el de la grava se realizó por el método del picnómetro (g/cm^3) y el de la arena se obtuvo por el método del frasco de Chapman, es decir, densidad relativa (adimensional).



Tabla 34.- Densidad de los agregados de estudio.

BANCO	DENSIDAD	PICNÓMETRO			F. CHAPMAN		
		GRAVA (g/ cm ³)			ARENA		
TZINTZINGAREO	Densidad	1.77	1.82	1.80	2.27	2.25	2.26
	Promedio	1.80			2.26		
PIEDRAS DE LUMBRE	Densidad	2.65	2.62	2.73	2.42	2.46	2.44
	Promedio	2.67			2.44		
NOGALES "GVR"	Densidad	1.94	1.94	1.94	2.27	2.26	2.32
	Promedio	1.94			2.28		
NOGALES "GVT"	Densidad	1.88	2.00	1.94	2.27	2.26	2.32
	Promedio	1.94			2.28		

4.1.4.- Masa volumétrica seca y suelta (MVSS)

En la tabla 35 se muestran los resultados de la masa volumétrica seca y suelta (MVSS) de los agregados de estudio, es decir, el peso por unidad de volumen con sus partículas acomodadas de forma natural.

Tabla 35.- Masa volumétrica seca y suelta de los agregados de estudio.

BANCO	MVSS	GRAVA		ARENA	
TZINTZINGAREO	Peso Bruto (g)	12900	12600	4790	4750
	Peso Neto (g)	9970	9670	2945	2905
	Volumen (cm ³)	10600	10600	2785	2785
	Masa Volumétrica (kg/m ³)	940.57	912.26	1057.5	1043.09
	Promedio	926.42		1050.27	
PIEDRAS DE LUMBRE	Peso Bruto (g)	18500	18400	6600	6700
	Peso Neto (g)	15570	15470	4655	4755
	Volumen (cm ³)	10600	10600	2785	2785
	Masa Volumétrica (kg/m ³)	1468.9	1459.4	1671.5	1707.36
	Promedio	1464.15		1689.41	
NOGALES "GVR"	Peso Bruto (g)	13000	13100	5450	5490
	Peso Neto (g)	10070	10170	3605	3645
	Volumen (cm ³)	10600	10600	2785	2785
	Masa Volumétrica (kg/m ³)	950	959.43	1294.4	1308.8
	Promedio	954.72		1301.62	
NOGALES "GVT"	Peso Bruto (g)	12200	12400	5450	5490
	Peso Neto (g)	9270	9470	3605	3645
	Volumen (cm ³)	10600	10600	2785	2785
	Masa Volumétrica (kg/m ³)	874.53	893.4	1294.4	1308.8
	Promedio	883.96		1301.62	



Los resultados de la MVSS nos dan una idea del peso del material por m³, estos valores son de suma importancia para el diseño de mezclas por el método ACI.

4.1.5.- Masa volumétrica seca y compactada (MVSC)

En la tabla 36 se muestran los resultados de la masa volumétrica seca y compactada (MVSC) de los agregados de estudio, es decir, el peso por unidad de volumen con sus partículas acomodadas con una cierta compactación.

Tabla 36.- Masa volumétrica seca y compactada de los agregados de estudio.

BANCO	MVSC	GRAVA		ARENA	
TZINTZINGAREO	Peso Bruto (g)	13500	13500	5030	5120
	Peso Neto (g)	10570	10570	3185	3275
	Volumen (cm ³)	10600	10600	2785	2785
	Masa Volumétrica (kg/m ³)	997.17	997.17	1143.6	1175.94
	Promedio	997.17		1159.78	
PIEDRAS DE LUMBRE	Peso Bruto (g)	19800	19500	7000	7000
	Peso Neto (g)	16870	16570	5055	5055
	Volumen (cm ³)	10600	10600	2785	2785
	Masa Volumétrica (kg/m ³)	1591.5	1563.2	1815.1	1815.08
	Promedio	1577.36		1815.08	
NOGALES "GVR"	Peso Bruto (g)	13500	13400	6500	6500
	Peso Neto (g)	10570	10470	4655	4655
	Volumen (cm ³)	10600	10600	2785	2785
	Masa Volumétrica (kg/m ³)	997.17	987.74	1671.5	1671.45
	Promedio	992.45		1671.45	
NOGALES "GVT"	Peso Bruto (g)	13300	13300	6500	6500
	Peso Neto (g)	10370	10370	4655	4655
	Volumen (cm ³)	10600	10600	2785	2785
	Masa Volumétrica (kg/m ³)	978.3	978.3	1671.5	1671.45
	Promedio	978.30		1671.45	

4.1.6.- Análisis granulométrico

A continuación se muestran los resultados obtenidos del análisis granulométrico de los agregados pétreos, esta prueba de calidad es de suma importancia para obtener el tamaño máximo de agregado, en el caso de las gravas y para obtener el módulo de finura, en el de las arenas, dichos datos son de necesarios a la hora de realizar el diseño de mezclas por el método ACI.



Tabla 37.- Análisis granulométrico promedio de la arena del banco "Nogales".

GRANULOMETRÍA ARENA "NOGALES"					
Malla	Peso retenido (g)	% Retenido parcial	% Retenido Acumulado	% Que pasa	Normativa
8	85.4	21.58	21.58	78.42	80 a 100
16	105.1	26.55	48.13	51.87	50 a 85
30	74.1	18.72	66.85	33.15	25 a 60
50	69.8	17.64	84.49	15.51	10 a 30
100	27.2	6.87	91.36	8.64	2 a 10
200	18	4.55	95.91	4.09	-
Charola	16.2	4.09	100.00	0.00	-
Suma	395.8	100.00	MF =	3.13	

Tabla 38.- Análisis granulométrico promedio de la arena del banco "Tzintzingareo".

GRANULOMETRÍA ARENA "TZINTZINGAREO"					
Malla	Peso retenido (g)	% Retenido parcial	% Retenido Acumulado	% Que pasa	Normativa
8	67.6	11.29	11.29	88.71	80 a 100
16	117.2	19.57	30.85	69.15	50 a 85
30	121.3	20.25	51.10	48.90	25 a 60
50	101.3	16.91	68.01	31.99	10 a 30
100	66.3	11.07	79.08	20.92	2 a 10
200	70.9	11.84	90.92	9.08	-
Charola	54.4	9.08	100.00	0.00	-
Suma	599	100	MF =	2.40	

Tabla 39.- Análisis granulométrico promedio de la arena del banco "Piedras de Lumbre".

GRANULOMETRÍA ARENA "PIEDRAS DE LUMBRE"					
Malla	Peso retenido (g)	% Retenido parcial	% Retenido Acumulado	% Que pasa	NORMATIVA
8	198.4	28.70	28.70	71.30	80 a 100
16	165	23.86	52.56	47.44	50 a 85
30	119.5	17.28	69.84	30.16	25 a 60
50	81.2	11.74	81.59	18.41	10 a 30
100	31.8	4.60	86.19	13.81	2 a 10
200	46.5	6.73	92.91	7.09	-
Charola	49	7.09	100.00	0.00	-
Suma	691.4	100.00	MF =	3.19	



Según la norma NMX-C-111-ONNCCE-2014, el módulo de finura (MF) debe estar comprendido entre los valores de 2.30 y 3.10, por lo que la arena de Nogales y Piedras de Lumbre se encuentran un poco fuera de lo especificado, esto debido a que la arena tiene partículas más gruesas en comparación con las arena de Tzintzingareo, la cual tiene contiene partículas más finas. Este valor es muy importante para el diseño de mezclas de concreto.

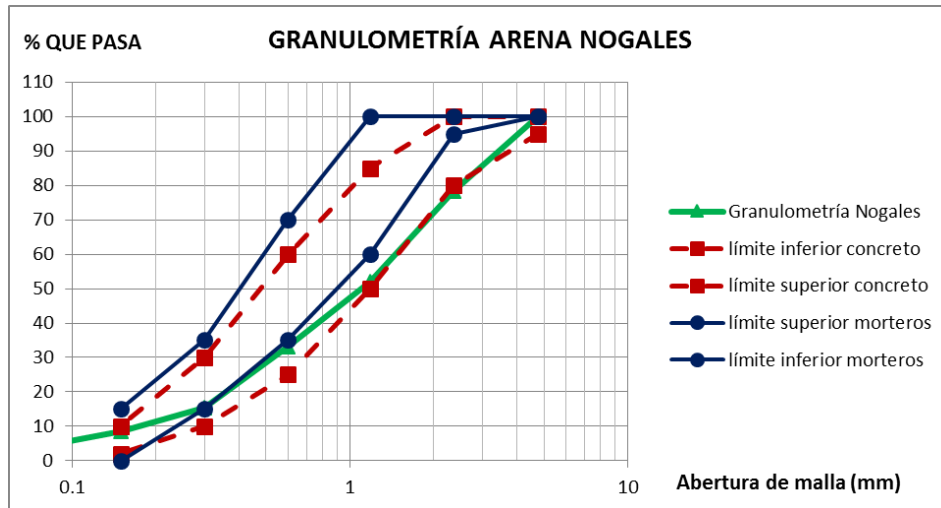


Figura 101.- Gráfica de granulometría de arena "Nogales".

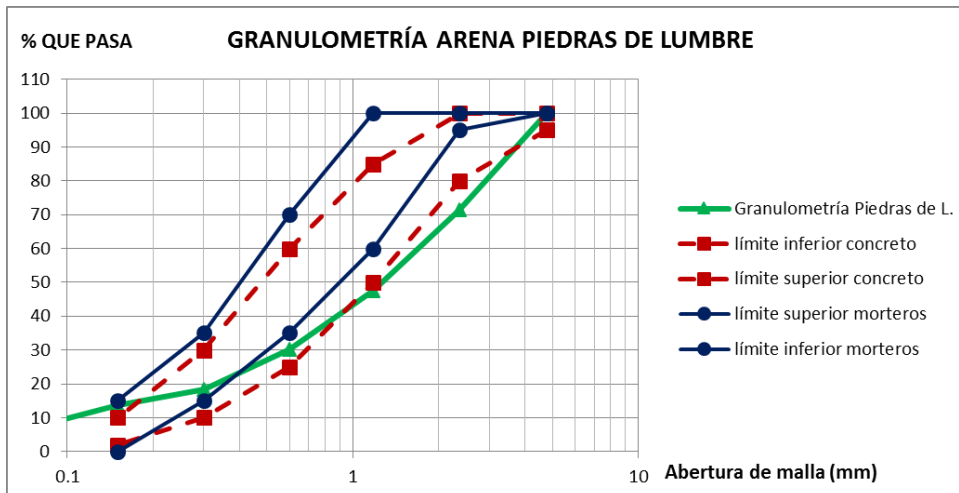


Figura 102.- Gráfica de granulometría de arena "Piedras de Lumbre".

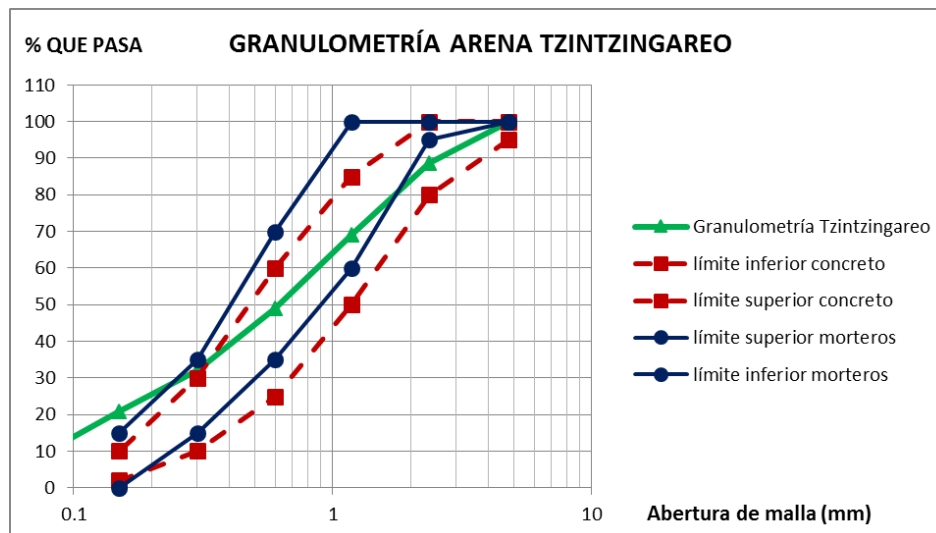


Figura 103.- Gráfica de granulometría de arena de "Tzintzingareo".

En las gráficas anteriores (Figura 101, 102 y 103) se marca de color verde la granulometría de los agregados finos de los distintos bancos de estudio con respecto a las aberturas de las mallas y al porcentaje que pasa, esto con el fin de comprobarlo con las recomendaciones de la norma NMX-C-111-ONNCCE-2014, donde las líneas de color rojo son los límites para elaborar concreto y las de color azul para elaborar mortero. La granulometría de Nogales se encuentra en su totalidad dentro de los límites de concreto, la de Tzintzingareo presenta una tendencia elevada de finos y la de piedras de lumbré una tendencia elevada de gruesos, sin embargo, ambas en casi su totalidad se encuentran dentro de dichos límites de concreto.

El material fue utilizado tal y como se encuentra en los bancos de estudio para la elaboración de concreto hidráulico, esto debido a que en cualquier obra de carácter civil así se utiliza.



Tabla 40.- Análisis granulométrico promedio de la grava V-T de "Nogales".

	GRANULOMETRÍA GRAVA VOLCÁNICO-TRITURADA "NOGALES"			
	Malla	Peso retenido (g)	% Retenido parcial	% Retenido Acumulado
Tamaño Máximo	1 1/2"	0	0.00	0.00
	1"	640	6.62	6.62
	3/4"	3555	36.78	43.40
	1/2"	3930	40.66	84.07
	3/8"	1135	11.74	95.81
	No. 4	325	3.36	99.17
	Pasa No.4	80	0.83	100.00
	Suma	9665	100	

Tabla 41.- Análisis granulométrico promedio de la grava rosa de "Nogales".

	GRANULOMETRÍA GRAVA VOLCÁNICA ROSA "NOGALES"			
	Malla	Peso retenido (g)	% Retenido parcial	% Retenido Acumulado
Tamaño Máximo	1 1/2"	0	0.00	0.00
	1"	1085	10.69	10.69
	3/4"	3605	35.51	46.20
	1/2"	2935	28.91	75.10
	3/8"	1240	12.21	87.32
	No. 4	1100	10.83	98.15
	Pasa No.4	187.5	1.85	100.00
	Suma	10152.5	100	

Tabla 42.- Análisis granulométrico promedio de la grava de "Piedras de Lumbre".

	GRANULOMETRÍA GRAVA "PIEDRAS DE LUMBRE"			
	Malla	Peso retenido (g)	% Retenido parcial	% Retenido Acumulado
Tamaño Máximo	1 1/2"	0	0.00	0.00
	1"	107.1	0.69	0.69
	3/4"	6055	38.93	39.62
	1/2"	7630	49.06	88.68
	3/8"	1495	9.61	98.29
	No. 4	173.2	1.11	99.40
	Pasa No.4	93	0.60	100.00
	Suma	15553.3	100	



Tabla 43.- Análisis granulométrico promedio de la grava de "Tzintzingareo".

GRANULOMETRÍA GRAVA "TZINTZINGAREO"				
	Malla	Peso retenido (g)	% Retenido parcial	% Retenido Acumulado
Tamaño Máximo	1 1/2"	0	0.00	0.00
	1"	735	7.64	7.64
	3/4"	3280	34.10	41.75
	1/2"	3647.5	37.93	79.67
	3/8"	1045	10.87	90.54
	No. 4	547.5	5.69	96.23
	Pasa No.4	362.5	3.77	100.00
	Suma	9617.5	100	

El tamaño máximo de la grava se determina observando la columna de los porcentajes retenidos parciales y la primera malla de mayor abertura que retenga el 10% o más del peso de la muestra, se elige como tamaño máximo.

Como se observa en las tablas 40, 41, 42 y 43, las gravas de Tzintzingareo, Piedras de lumbré y la grava volcánico-triturada de Nogales presentan un tamaño máximo de 3/4", y la grava rosa de Nogales presenta un tamaño máximo de 1". Dichos valores son de suma importancia para el diseño de mezclas por el método ACI y para la elección del tamaño de los especímenes cilíndricos a realizar, ya que el diámetro del cilindro debe ser cuando menos 3 veces el tamaño máximo del agregado.

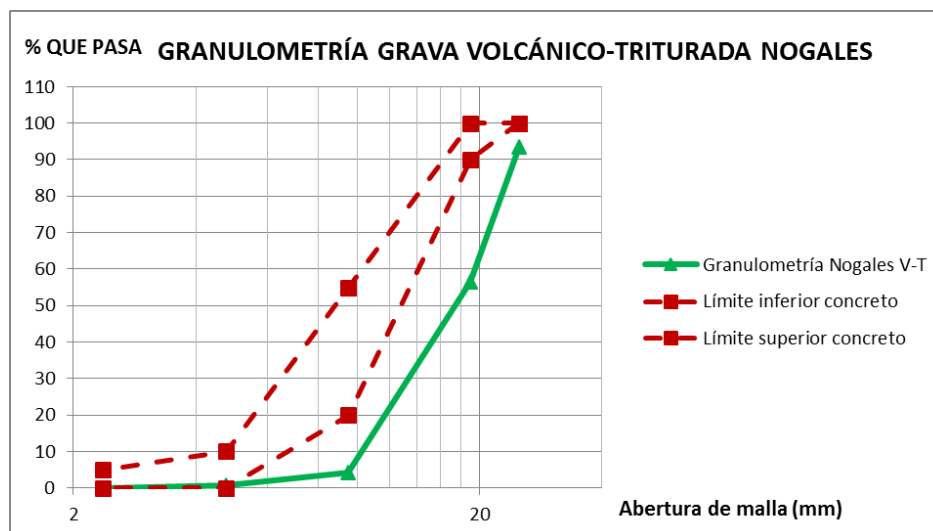


Figura 104.- Gráfica de granulometría grava V-T de Nogales.

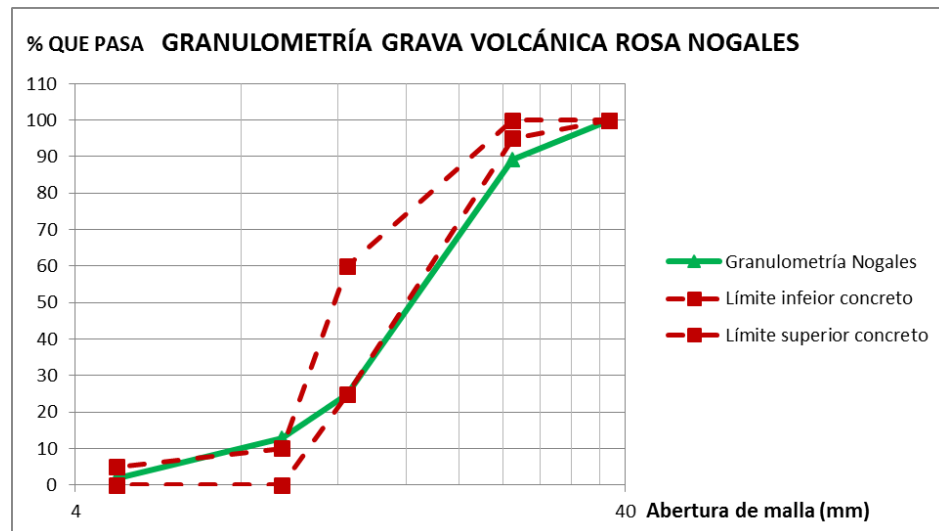


Figura 106.- Gráfica de granulometría grava V-R Nogales.

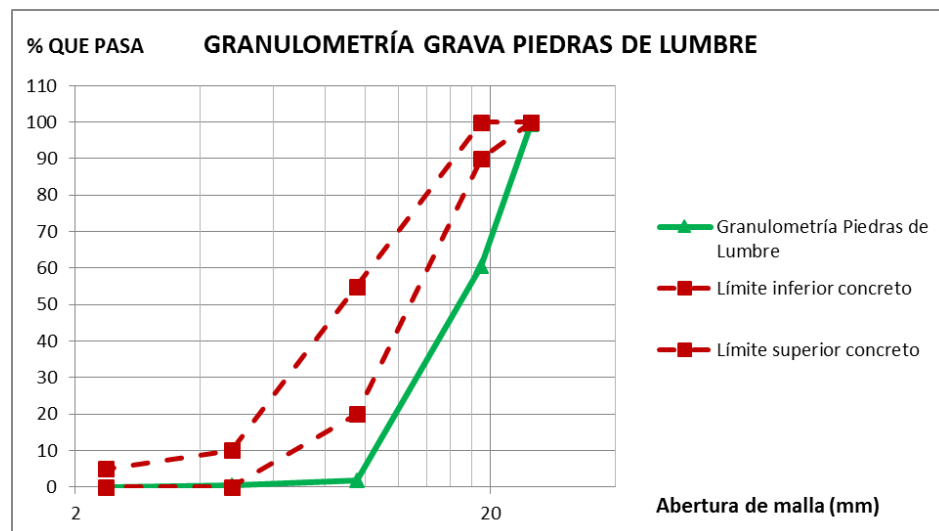


Figura 105.- Gráfica de granulometría grava Piedras de Lumbre.

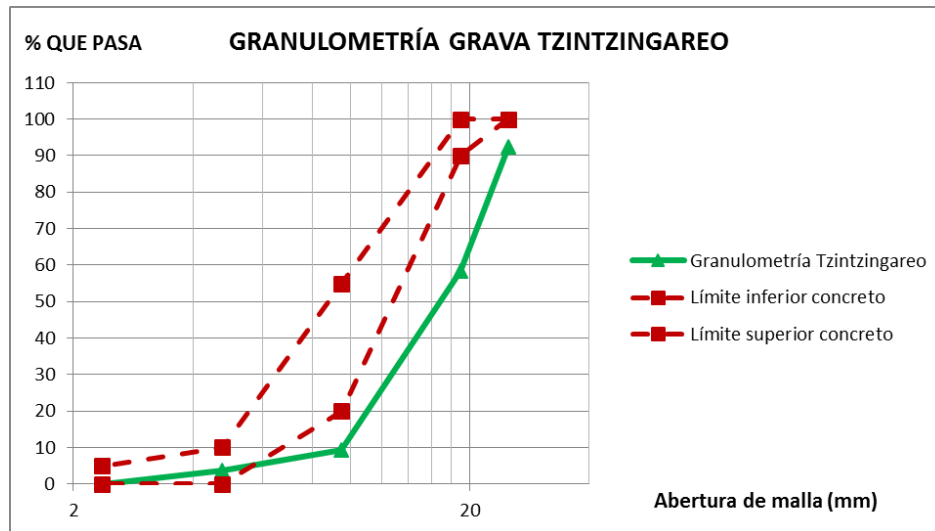


Figura 107.- Gráfica de granulometría grava Tzintzingareo.

En las gráficas anteriores (Figura 104, 105, 106 y 107) se marca de color verde la granulometría de cada una de las gravas de los distintos bancos de estudio con respecto a las aberturas de las mallas y al porcentaje que pasa, esto con el fin de comprobarlo con las recomendaciones de la norma NMX-C-111-ONNCCE-2014, donde las líneas de color rojo son los límites para elaborar concreto. La única grava que cumple con lo especificado en la norma, es la grava volcánica rosa de Nogales, ya que se encuentra dentro de los límites, las otras gravas de estudio no cumplen ya que gran parte de su granulometría se encuentra fuera de dichos límites, por lo tanto estos materiales se deben procesar hasta que satisfagan lo recomendado por la norma, pero para este caso de estudio se usaron tal y como se encuentran en los bancos, ya que así se utilizan.

4.1.7.- Colorimetría y Sedimentación

En la tabla 44 se muestran los resultados de las pruebas de colorimetría y sedimentación del agregado fino de cada uno de los bancos de estudio. Estos valores son importantes para darnos una idea de la cantidad de materia orgánica y de finos que contiene la arena.



Tabla 44.- Colorimetría y sedimentación de la arena de los bancos de estudio.

BANCO	PRUEBA	ARENA
TZINTZINGAREO	COLORIMETRÍA	Color < 3, por lo que la arena no contiene materia orgánica, es decir, es aceptable.
	SEDIMENTACIÓN	Nivel del material < 444 ml, por lo que presenta una cantidad aceptable de finos.
NOGALES	COLORIMETRÍA	Color < 3, por lo que la arena no contiene materia orgánica, es decir, es aceptable.
	SEDIMENTACIÓN	Nivel del material < 444 ml, por lo que presenta una cantidad aceptable de finos.
PIEDRAS DE LUMBRE	COLORIMETRÍA	Color < 3, por lo que la arena no contiene materia orgánica, es decir, es aceptable.
	SEDIMENTACIÓN	Nivel del material > 444 ml, por lo que presenta exceso de finos.

En la prueba de colorimetría las 3 arenas son aceptables ya que presentan un color inferior al color normal (3) de la tabla colorimétrica, es decir, ningún arena contiene materia orgánica. Para la prueba de sedimentación, la arena de Tzintzingareo y nogales presentan cantidad de finos aceptable ya que el nivel del material es inferior a 444ml, la arena de Piedras de Lumbre contiene exceso de finos ya que el nivel del material es superior a 444ml, se recomienda realizar un lavado de este material para eliminar una cantidad de finos y el resultado sea aceptable, pero para el presente trabajo se utilizó tal y como se encuentra en el banco de material.

4.2.- CARACTERIZACIÓN DEL CEMENTO

El cemento utilizado para este caso de estudio fue Cemento Portland Compuesto (CPC) marca “Fortaleza” de clase resistente 30R.

4.2.1.- Consistencia Normal

En la tabla 45 se muestran los valores utilizados para lograr la consistencia normal del cemento, es decir, saber cuánta es la cantidad optima de agua necesaria para una cierta cantidad de cemento a utilizar.



Tabla 45.- Consistencia normal del cemento.

CONSISTENCIA NORMAL	
Cantidad de cemento (g)	650
% De agua respecto a la masa del cemento	31
Cantidad de agua (g)	201.5
Penetración aguja de Vicat (mm)	9

De acuerdo a la norma NMX-C-057-ONNCCE-2015, la profundidad que debe de penetrar la aguja del aparato de Vicat es de $10\text{ mm} \pm 1\text{ mm}$, por lo que el resultado obtenido concuerda con lo especificado en dicha norma. De esto se deduce que la muestra de cemento en estudio alcanza su consistencia normal con el 31% de agua respecto a su masa con las condiciones ambientales presentes en el laboratorio.

4.2.2.- Tiempos de fraguado

En la tabla 46 se muestran los resultados de los tiempos de fraguado del cemento.

Tabla 46.- Tiempos de fraguado inicial y final del cemento.

TIEMPOS DE FRAGUADO		NORMATIVA	
Hora de inicio de prueba	09:50	ASTM C66-03	NMX-C-414
Hora de fraguado inicial	14:11	Rangos de tiempo (minutos)	
Tiempo transcurrido para fraguado inicial (min)	261	100 - 341	Mínimo 45
Hora de fraguado final	15:56		
Tiempo transcurrido para fraguado final (Max)	366	239 - 564	Máximo 600

De acuerdo a las normas antes mencionadas, se puede observar que los tiempos de fraguado obtenidos en la prueba entran dentro de los parámetros tanto de la norma ASTM C66-03, como de la norma NMX-C-414-ONNCCE-2017. Estos valores se obtuvieron en el cuarto húmedo del laboratorio el cual cumplía con los parámetros establecidos en la norma (humedad mayor al 50% y una temperatura de $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$).

4.2.3.- Densidad

En la tabla 47 se observan los valores utilizados para lograr obtener la densidad del cemento utilizado.



Tabla 47.- Densidad del cemento.

DENSIDAD DEL CEMENTO	
Masa del cemento (g)	60
Lectura inicial del líquido (ml)	0.3
Lectura final del líquido (ml)	19.7
Volumen del líquido desplazado (cm ³)	19.4
Densidad (g/cm ³)	3.09

De acuerdo a la tabla 47, el cemento en estudio presenta una densidad adecuada, ya que se encuentra dentro del valor recomendado, el cual es 3.10. El valor de la densidad es importante a la hora de realizar el diseño de mezclas por el método ACI.

4.3.- DOSIFICACIÓN DE LAS MEZCLAS

La dosificación de las mezclas se realizó de dos formas distintas, las cuales ya se explicaron con anterioridad, una con dosificación tradicional de la región y la otra con el diseño ACI, ambas dosificadas por volumen para una resistencia de 250 kg/cm². Dichas dosificaciones se hicieron para 15 cilindros de 10x20cm por mezcla, es decir 60 cilindros por método tradicional y 60 por el método ACI.

Se elaboraron 8 mezclas de concreto, 4 con los agregados del banco Nogales, ya que cuenta con dos frentes para la obtención de la grava, cada grava se utilizó con la arena de dicho banco (2 Nogales GVR-AV y 2 Nogales GVT-AV); y las ultimas 4 mezclas se realizaron 2 con los agregados de los bancos de Tzintzingareo (Tzintzingareo GV-AV) y 2 Piedras de Lumbre (Piedras de L. GT-AT).

4.3.1.- Dosificación tradicional

Como ya se mencionó anteriormente la dosificación tradicional de las mezclas se realizó con una proporción de 1:4:4, es decir, 1 bulto o 1.8 botes de cemento, 4 botes de arena y 4 de grava, se agregó agua (2 botes aproximadamente) hasta obtener el revenimiento de 15 cm, dicha dosificación en la región se utiliza para un resistencia de 250 kg/cm², esta dosificación se hizo para 4 mezclas con el fin de compararla con el respectivo proporcionamiento ACI de cada mezcla, cabe estacar que se utilizaron botes de 5 litros para evitar el desperdicio de material. Ya que como ya se mencionó se elaboraron 15 cilindros por mezcla de 10x20cm y con botes normales (19 litros) se hubiera desperdiciado mucho material.



4.3.2.- Dosificación por el método ACI

Con los valores obtenidos en la caracterización de cada uno de los materiales necesarios para 4 mezclas, se realizó el proporcionamiento ACI siguiendo los pasos explicados con anterioridad en el marco teórico para un diseño de 250 kg/cm^2 y para el mismo revenimiento que la dosificación tradicional (15 cm), este tipo de diseño de mezcla garantiza la resistencia deseada de proyecto, ya que se basa en las características físicas de los materiales y en las pruebas realizadas a los mismo.

Para este método no se tuvo un control en el peso exacto de los materiales necesarios para la mezcla, ya que se dosifico por volumen y no por masa, es decir, dicho pesos de material necesarios para la mezcla se pasaron a cantidad de botes (5 litros) necesarios para la misma y para que la dosificación sea de la misma forma que la del método tradicional y poder compararlo, con el único cambio de que el ACI dice que cuando se dosifica sin tener control sobre el peso de los materiales se debe contemplar un factor de seguridad (f'_{cr}) para de esta forma garantizar que cumpla con la resistencia especificada, por lo tanto la resistencia que se utilizó para este método fue de $f'_{cr} = 333 \text{ kg/cm}^2$.

Tabla 48.- Proporcionamiento ACI Nogales GRV-AV.

PARA 15 CILINDROS DE 10x20cm		
MATERIALES	PESO PARA m^3 (kg)	(kg +15% DE DESPERDICIO)
CEMENTO	430.401	11.66
AGUA	351.841	9.53
AIRE	0.000	0.00
ARENA	617.376	16.73
GRAVA	562.003	15.23
TOTAL	1961.62	50.15
Botes de cemento	Botes de Arena	Botes de Grava
1.8	2.9	3.5



Tabla 49.- Proporcionamiento ACI Nogales GVT-AV.

PARA 15 CILINDROS DE 10x20cm		
MATERIALES	PESO PARA m ³ (kg)	(kg +15% DE DESPERDICIO)
CEMENTO	430.40	11.66
AGUA	337.58	9.15
AIRE	0	0.00
ARENA	678.22	18.38
GRAVA	524.94	14.22
TOTAL	1971.15	53.41
Botes de cemento	Botes de Arena	Botes de Grava
1.8	3.2	3.6

Tabla 50.- Proporcionamiento ACI Piedras de Lumbre GT-AT.

PARA 15 CILINDROS DE 10x20cm		
MATERIALES	PESO PARA m ³ (kg)	(kg +15% DE DESPERDICIO)
CEMENTO	430.40	11.66
AGUA	250.62	6.79
AIRE	0.00	0.00
ARENA	664.00	17.99
GRAVA	905.70	24.54
TOTAL	2250.72	60.98
Botes de cemento	Botes de Arena	Botes de Grava
1.8	2.4	3.8

Tabla 51.- Proporcionamiento ACI Tzintzingareo GV-AV.

PARA 15 CILINDROS DE 10x20cm		
MATERIALES	PESO PARA m ³ (kg)	(kg +15% DE DESPERDICIO)
CEMENTO	430.3181	11.66
AGUA	298.5654	8.09
AIRE	0.0000	0.00
ARENA	552.4752	14.97
GRAVA	609.6788	16.52
TOTAL	1891.0375	51.24
Bulto cemento	Botes de Arena	Botes de Grava
1	3.2	4



De acuerdo a las tablas 48, 49, 50 y 51, la dosificación de la mezcla de Nogales GVR-AV será de 1:2.9:3.5, la de Nogales GVT-AV de 1:3.2:3.6, la de Piedras de Lumbre GT-AT de 1:2.4:3.8 y la de Tzintzingareo GV-AV de 1:3.2:4. Dichas dosificaciones se compararon con la dosificación tradicional de 1:4:4 de cada mezcla.

4.4.- CALIDAD DEL CONCRETO

La calidad del concreto se obtuvo mediante pruebas no destructivas, tales como resistividad eléctrica y velocidad de pulso ultrasónico y pruebas destructivas, tal como resistencia a la compresión de los especímenes cilíndricos.

4.4.1.- Resistividad eléctrica

Mediante el resistómetro se determina la resistividad del concreto, esto sirve para calcular o tener una idea del riesgo de corrosión que tendrá el acero dentro del concreto.

4.4.1.1.- Mezcla Nogales GVT-AV

En las tablas 52 y 53 se observa el comportamiento del concreto de dosificación tradicional y dosificación ACI de la mezcla de Nogales GVT-AV respecto a la resistividad eléctrica promedio de los cilindros de cada edad de prueba.

Tabla 52.- Resistividades en cilindros de proporción tradicional Nogales GVT-AV.

RESISTIVIDAD ELÉCTRICA PROMEDIO (PROPORCIÓN TRADICIONAL 1:4:4)					
Días	Resistencia eléctrica (k Ω)	Área del cilindro (cm ²)	Longitud (cm)	Resistividad eléctrica (k Ω ·cm)	Riesgo de corrosión
7	0.57	78.80	19.80	2.28	ALTO RIESGO
14	0.99	78.80	19.93	3.91	ALTO RIESGO
21	0.95	78.02	19.88	3.74	ALTO RIESGO
28	1.13	78.54	19.85	4.46	ALTO RIESGO
45	1.50	78.28	19.93	5.89	ALTO RIESGO



Tabla 53.- Resistividades en cilindros de proporción ACI Nogales GVT-AV.

RESISTIVIDAD ELÉCTRICA PROMEDIO (PROPORCIÓN ACI 1:3.2:3.6)					
Días	Resistencia eléctrica (kΩ)	Área del cilindro (cm ²)	Longitud (cm)	Resistividad eléctrica (kΩ·cm)	Riesgo de corrosión
7	0.59	78.70	19.87	2.34	ALTO RIESGO
14	0.67	78.28	19.97	2.63	ALTO RIESGO
21	0.84	78.28	19.98	3.30	ALTO RIESGO
28	1.01	78.28	19.95	3.98	ALTO RIESGO
45	1.27	78.28	19.98	4.96	ALTO RIESGO

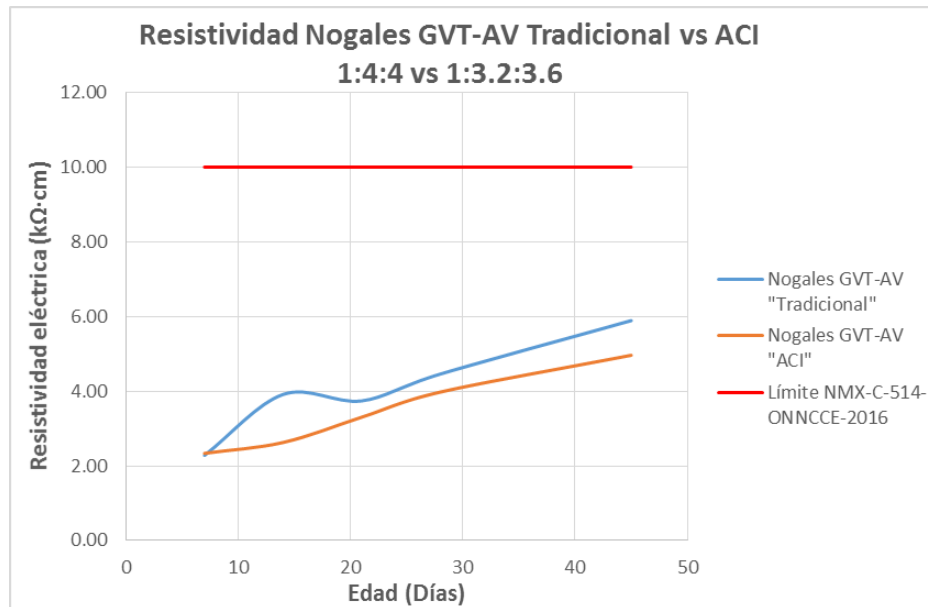


Figura 108.- Gráfica de comparación de la resistividad del concreto entre ambas dosificaciones Nogales GVT-AV.

En la figura 108 se observa que en ambas dosificaciones se obtuvo un avance de los 7 a los 45 días en la resistividad, aunque la de dosificación tradicional se aprecian valores ligeramente mayores con respecto a la proporción ACI, sin embargo, ambos presentan altas probabilidades de corrosión, por lo que no se recomienda su uso en climas húmedos.

4.4.1.2.- Mezcla Nogales GVR-AV

En las tablas 54 y 55 se observa el comportamiento del concreto de dosificación tradicional y dosificación ACI de la mezcla de Nogales GVR-AV respecto a la resistividad eléctrica promedio de los cilindros de cada edad de prueba.



Tabla 54.- Resistividades en cilindros de proporción tradicional Nogales GVR-AV.

RESISTIVIDAD ELÉCTRICA PROMEDIO (PROPORCIÓN TRADICIONAL 1:4:4)					
Días	Resistencia eléctrica (k Ω)	Área del cilindro (cm ²)	Longitud (cm)	Resistividad eléctrica (k Ω ·cm)	Riesgo de corrosión
7	0.62	78.02	19.87	2.42	ALTO RIESGO
14	0.79	78.80	19.93	3.14	ALTO RIESGO
21	0.83	78.02	19.88	3.26	ALTO RIESGO
28	0.96	78.80	19.83	3.83	ALTO RIESGO
45	1.53	78.28	19.95	6.02	ALTO RIESGO

Tabla 55.- Resistividades en cilindros de proporción ACI Nogales GVR-AV.

RESISTIVIDAD ELÉCTRICA PROMEDIO (PROPORCIÓN ACI 1:2.9:3.5)					
Días	Resistencia eléctrica (k Ω)	Área del cilindro (cm ²)	Longitud (cm)	Resistividad eléctrica (k Ω ·cm)	Riesgo de corrosión
7	0.54	78.80	19.97	2.14	ALTO RIESGO
14	0.68	78.80	19.97	2.70	ALTO RIESGO
21	0.78	78.80	19.97	3.08	ALTO RIESGO
28	0.91	78.28	19.98	3.56	ALTO RIESGO
45	1.02	78.54	20.00	3.99	ALTO RIESGO

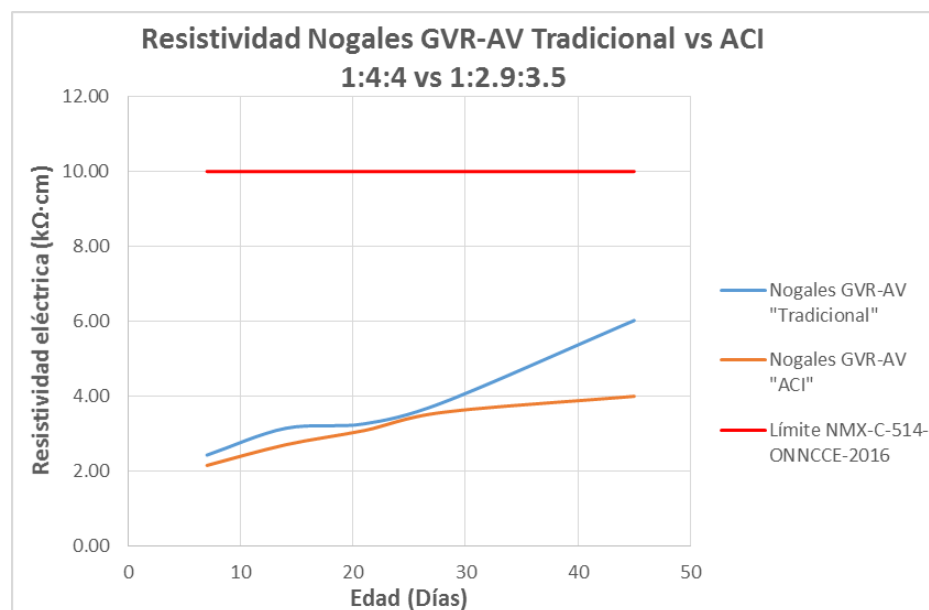


Figura 109.- Gráfica de comparación de la resistividad del concreto entre ambas dosificaciones Nogales GVR-AV.



En la figura 109 se observa que en ambas dosificaciones se obtuvo un avance de los 7 a los 45 días en la resistividad, aunque la de dosificación tradicional se aprecian valores ligeramente mayores con respecto a la proporción ACI, ambas presentan altas probabilidades de corrosión debido a que están muy por debajo del límite mínimo de la norma, por lo que no se recomienda su uso en climas húmedos.

4.4.1.3.- Mezcla Tzintzingareo GV-AV

En las tablas 56 y 57 se observa el comportamiento del concreto de dosificación tradicional y dosificación ACI de la mezcla de Tzintzingareo GV-AV respecto a la resistividad eléctrica promedio de los cilindros de cada edad de prueba.

Tabla 56.-Resistividades en cilindros de proporción tradicional Tzintzingareo GV-AV.

RESISTIVIDAD ELÉCTRICA PROMEDIO (PROPORCIÓN TRADICIONAL 1:4:4)					
Días	Resistencia eléctrica (k Ω)	Área del cilindro (cm ²)	Longitud (cm)	Resistividad eléctrica (k Ω ·cm)	Riesgo de corrosión
7	0.72	78.80	20.00	2.85	ALTO RIESGO
14	0.70	78.54	19.97	2.74	ALTO RIESGO
21	0.91	79.06	20.00	3.58	ALTO RIESGO
28	0.88	78.80	19.98	3.48	ALTO RIESGO
45	1.27	78.54	19.93	4.99	ALTO RIESGO

Tabla 57.-Resistividades en cilindros de proporción ACI Tzintzingareo GV-AV.

RESISTIVIDAD ELÉCTRICA PROMEDIO (PROPORCIÓN ACI 1:3.2:4)					
Días	Resistencia eléctrica (k Ω)	Área del cilindro (cm ²)	Longitud (cm)	Resistividad eléctrica (k Ω ·cm)	Riesgo de corrosión
7	0.61	79.33	19.93	2.43	ALTO RIESGO
14	0.82	78.28	19.98	3.21	ALTO RIESGO
21	0.92	78.54	19.95	3.61	ALTO RIESGO
28	0.98	78.80	19.98	3.88	ALTO RIESGO
45	1.10	78.02	19.98	4.29	ALTO RIESGO

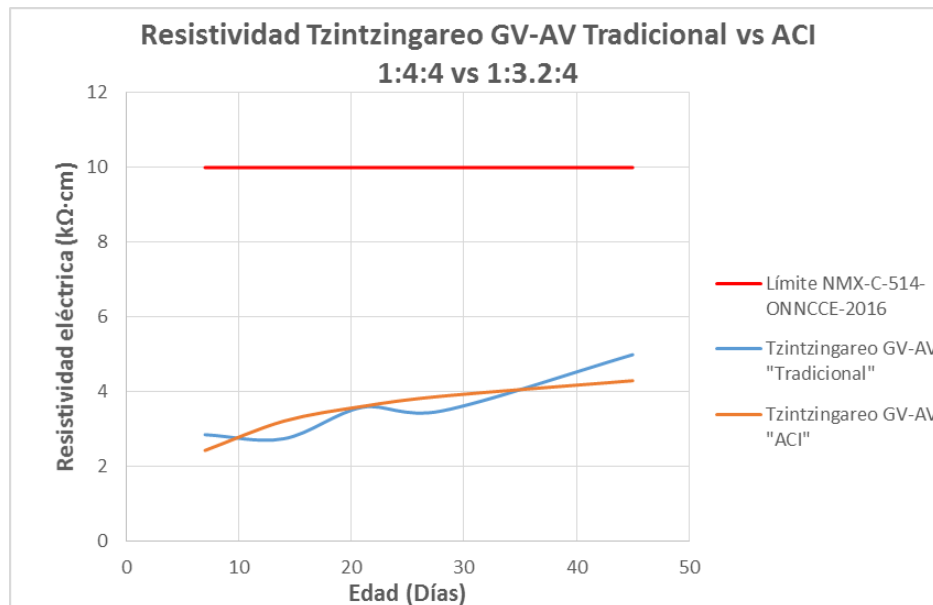


Figura 110.- Gráfica de comparación de la resistividad del concreto entre ambas dosificaciones Tzintzingareo GV-AV.

En la figura 110 se observa que en ambas dosificaciones se obtuvo un avance de los 7 a los 45 días en la resistividad, ambas presentan altas probabilidades de corrosión debido a que están muy por debajo del límite mínimo de la norma, por lo que no se recomienda su uso en climas húmedos.

4.4.1.4.- Mezcla Piedras de Lumbre GT-AT

En las tablas 58 y 59 se observa el comportamiento del concreto de dosificación tradicional y dosificación ACI de la mezcla de Tzintzingareo GV-AV respecto a la resistividad eléctrica promedio de los cilindros de cada edad de prueba.

Tabla 58.- Resistividades en cilindros de proporción tradicional Piedras de L. GT-AT.

RESISTIVIDAD ELÉCTRICA PROMEDIO (PROPORCIÓN TRADICIONAL 1:4:4)					
Días	Resistencia eléctrica (kΩ)	Área del cilindro (cm ²)	Longitud (cm)	Resistividad eléctrica (kΩ·cm)	Riesgo de corrosión
7	0.71	78.28	20.03	2.77	ALTO RIESGO
14	0.88	78.54	20.00	3.44	ALTO RIESGO
21	0.91	79.06	20.05	3.58	ALTO RIESGO
28	0.94	78.54	19.98	3.68	ALTO RIESGO
45	1.09	78.54	19.85	4.29	ALTO RIESGO



Tabla 59.- Resistividades en cilindros de proporción ACI Piedras de L. GT-AT.

RESISTIVIDAD ELÉCTRICA PROMEDIO (PROPORCIÓN ACI 1:2.4:3.8)					
Días	Resistencia eléctrica (k Ω)	Área del cilindro (cm ²)	Longitud (cm)	Resistividad eléctrica (k Ω ·cm)	Riesgo de corrosión
7	0.72	78.59	20.00	2.83	ALTO RIESGO
14	0.89	78.54	20.00	3.50	ALTO RIESGO
21	1.04	78.80	20.02	4.09	ALTO RIESGO
28	1.33	78.28	20.00	5.22	ALTO RIESGO
45	1.50	78.15	19.98	5.87	ALTO RIESGO

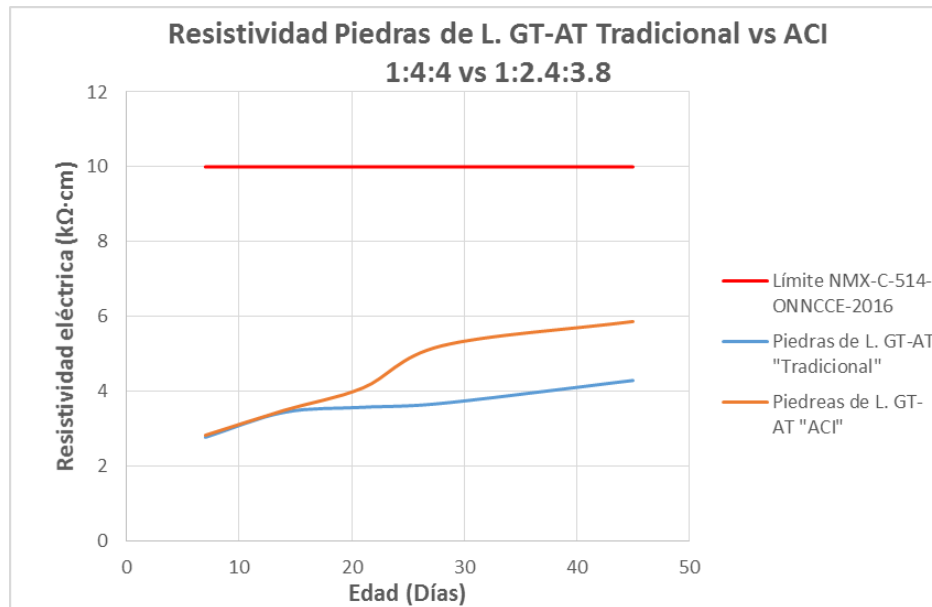


Figura 111.- Gráfica de comparación de la resistividad del concreto entre ambas dosificaciones Piedras de L. GT-AT.

En la figura 111 se observa que en ambas dosificaciones se obtuvo un avance de los 7 a los 45 días en la resistividad, aunque en la de dosificación ACI se aprecian valores ligeramente mayores con respecto a la proporción tradicional, ambas presentan altas probabilidades de corrosión debido a que están muy por debajo del límite mínimo de la norma, por lo que no se recomienda su uso en climas húmedos.

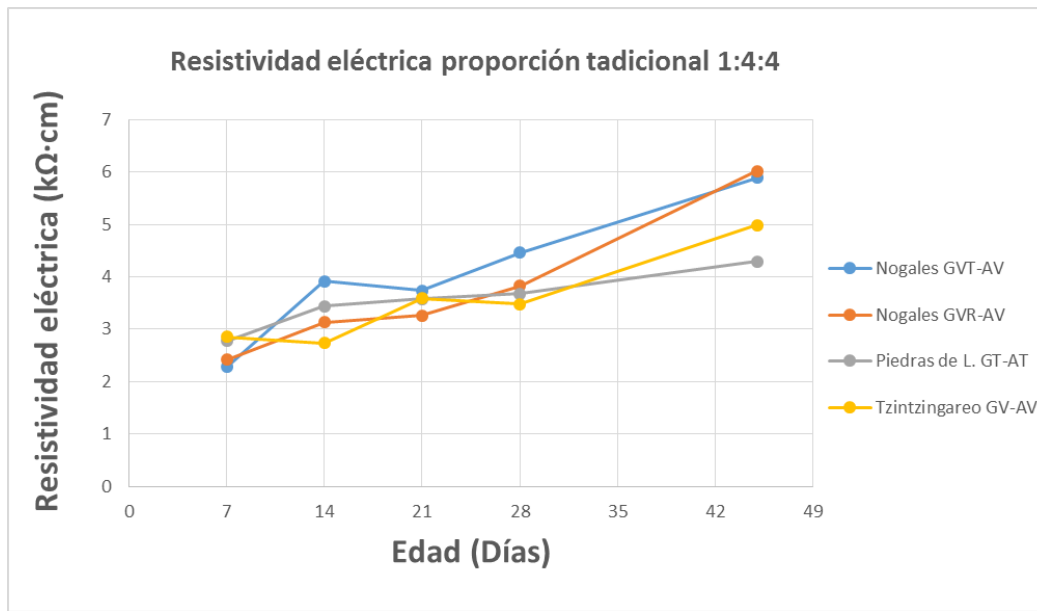


Figura 112.- Gráfica de comparación de resistividad del concreto de dosificación tradicional entre los bancos de estudio.

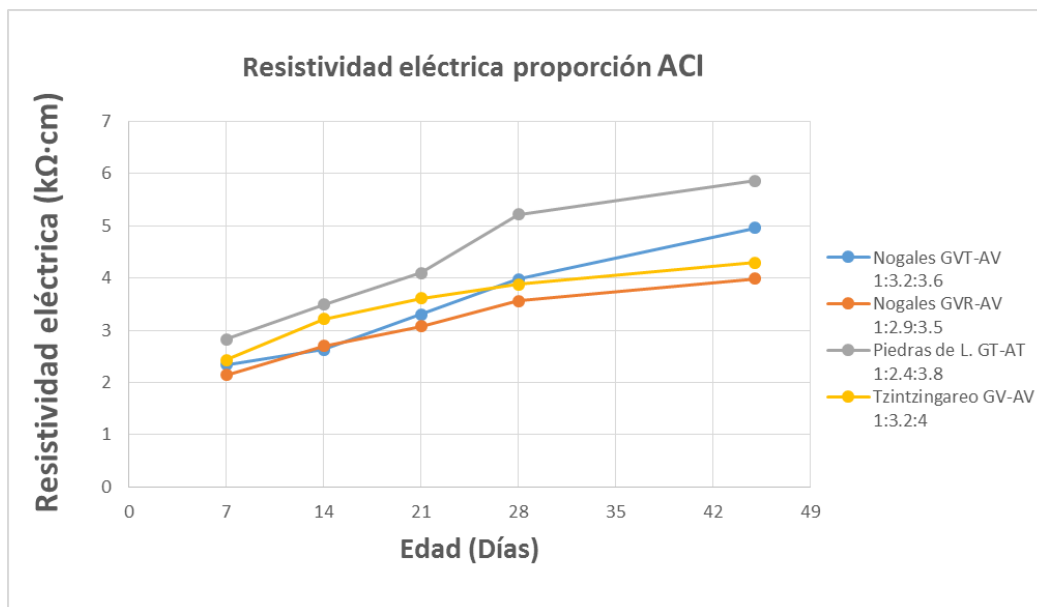


Figura 113.- Gráfica de comparación de resistividad del concreto de dosificación ACI entre los bancos de estudio.

De acuerdo a las figuras 112 y 113, los bancos que presentan mejores resultados en resistividad eléctrica, son el banco de Nogales GVR-AV y el banco de Piedras de lumbre, sin embargo ninguno cumple con lo mínimo especificado en la norma NMX-C-514-ONNCCE-2016.



4.4.2.- Velocidad de Pulso Ultrasónico

Mediante los valores obtenidos en la velocidad de pulso ultrasónico del concreto, se puede tener una idea de la calidad que presenta el concreto sin necesidad de destruir el espécimen.

4.4.2.1.- Mezcla Nogales GVT-AV

En las tablas 60 y 61 se observa el comportamiento del concreto de dosificación tradicional y dosificación ACI de la mezcla de Nogales GVT-AV respecto a la velocidad de pulso ultrasónico promedio de los cilindros de cada edad de prueba.

Tabla 60.- V.P.U. en cilindros de proporción tradicional Nogales GVT-AV.

V.P.U. PROMEDIO (PROPORCIÓN TRADICIONAL 1:4:4)		
Días	V.P.U. (m/s)	Calidad del concreto
7	3714.00	ALTA
14	3851.00	ALTA
21	3979.00	ALTA
28	4074.00	DURABLE
45	4115.67	DURABLE

Tabla 61.- V.P.U. en cilindros de proporción ACI Nogales GVT-AV.

V.P.U. PROMEDIO (PROPORCIÓN ACI 1:3.2:3.6)		
Días	V.P.U. (m/s)	Calidad del concreto
7	3798.00	ALTA
14	4087.33	DURABLE
21	4047.33	DURABLE
28	3820.67	DURABLE
45	3954.33	DURABLE

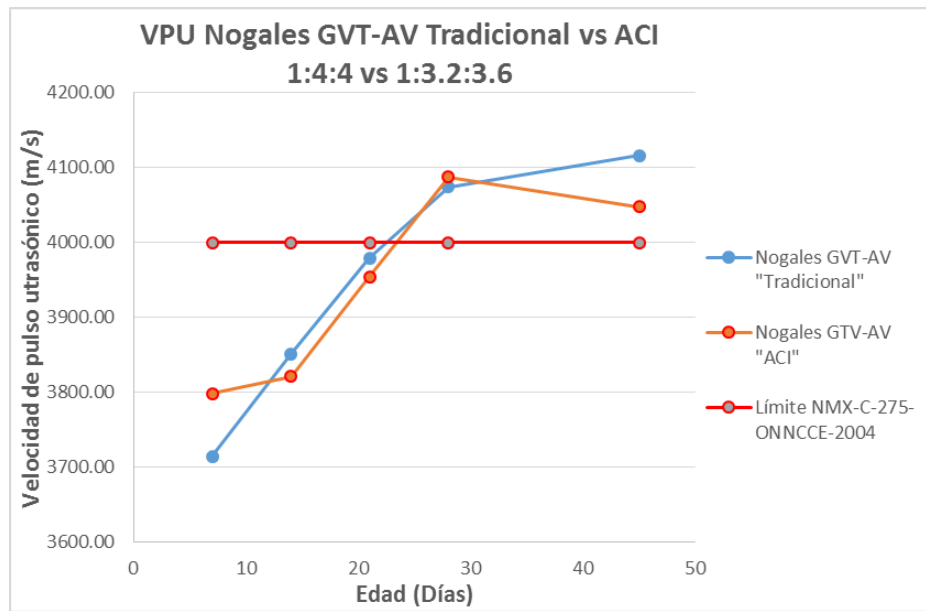


Figura 114.- Gráfica de comparación de la VPU del concreto entre ambas dosificaciones Nogales GVT-AV.

En la figura 114 se observa que en ambas dosificaciones se presentó un avance de los resultados de 7 hasta 45 días, pasando de una calidad de concreto alta a una calidad durable a los 28 días de edad.

4.4.2.2.- Mezcla Nogales GVR-AV

En las tablas 61 y 62 se observa el comportamiento del concreto de dosificación tradicional y dosificación ACI de la mezcla de Nogales GVR-AV respecto a la velocidad de pulso ultrasónico promedio de los cilindros de cada edad de prueba.

Tabla 62.- V.P.U. en cilindros de proporción tradicional Nogales GVR-AV.

V.P.U. PROMEDIO (PROPORCIÓN TRADICIONAL 1:4:4)		
Días	V.P.U. (m/s)	Calidad del concreto
7	3644.00	ALTA
14	3724.33	ALTA
21	3884.67	ALTA
28	3896.67	ALTA
45	3934.00	ALTA



Tabla 63.- V.P.U. en cilindros de proporción ACI Nogales GVR-AV.

V.P.U. PROMEDIO (PROPORCIÓN ACI 1:2.9:3.5)		
Días	V.P.U. (m/s)	Calidad del concreto
7	3678.67	ALTA
14	3769.67	ALTA
21	3748.00	ALTA
28	3850.67	ALTA
45	3975.00	ALTA

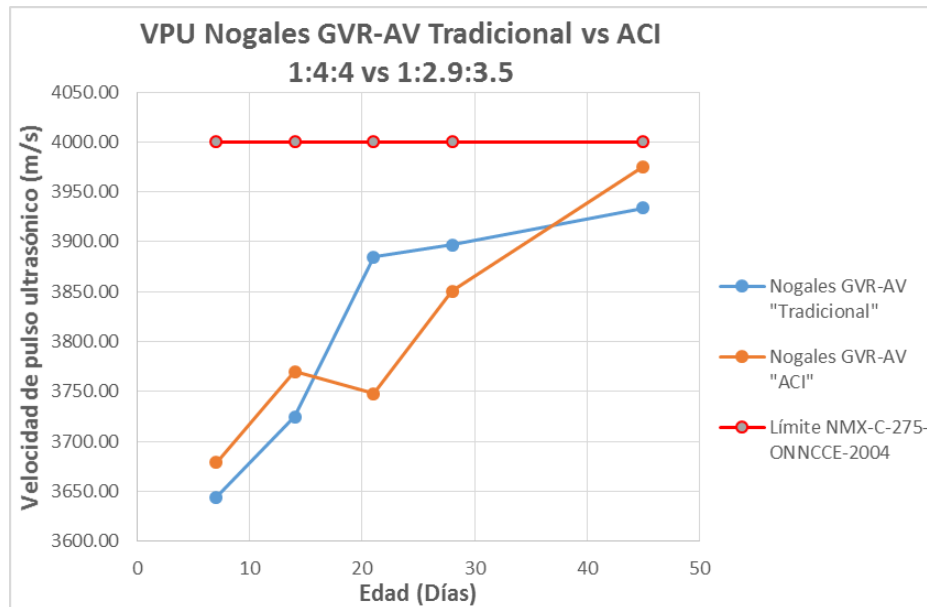


Figura 115.- Gráfica de comparación de la VPU del concreto entre ambas dosificaciones Nogales GVR-AV.

En la figura 115 se observa que en ambas dosificaciones se presentó un avance de los resultados de los 7 hasta los 45 días, alcanzando una calidad del alta de concreto, quedando muy cerca del valor máximo “concreto durable” que especifica la norma y que se muestra con línea roja en la gráfica.



4.4.2.3.- Mezcla Tzintzingareo GV-AV

En las tablas 64 y 65 se observa el comportamiento del concreto de dosificación tradicional y dosificación ACI de la mezcla de Tzintzingareo GV-AV respecto a la velocidad de pulso ultrasónico promedio de los cilindros de cada edad de prueba.

Tabla 64.- V.P.U. en cilindros de proporción tradicional Tzintzingareo GV-AV.

V.P.U. PROMEDIO (PROPORCIÓN TRADICIONAL 1:4:4)		
Días	V.P.U. (m/s)	Calidad del concreto
7	3715.33	ALTA
14	3891.00	ALTA
21	3876.00	ALTA
28	3793.00	ALTA
45	3735.33	ALTA

Tabla 65.- V.P.U. en cilindros de proporción ACI Tzintzingareo GV-AV.

V.P.U. PROMEDIO (PROPORCIÓN ACI 1:3.2:4)		
Días	V.P.U. (m/s)	Calidad del concreto
7	3906.33	ALTA
14	3917.00	ALTA
21	3891.33	ALTA
28	4013.00	DURABLE
45	4228.67	DURABLE

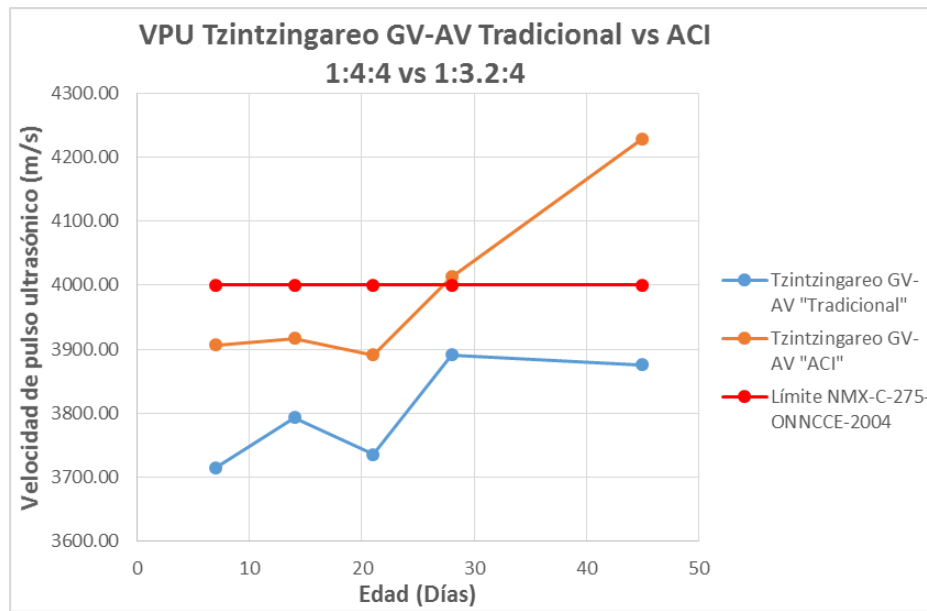


Figura 116.- Gráfica de comparación de la VPU del concreto entre ambas dosificaciones Tzintzingareo GV-AV.

En la figura 116 se observa que en ambas dosificaciones se presentó un avance de los resultados de los 7 hasta los 45 días, con la diferencia de que con el diseño ACI se obtiene una calidad durable, ya que sobrepasa el límite y en la dosificación tradicional se obtiene una calidad alta, quedando por debajo del límite de la gráfica.

4.4.2.4- Mezcla Piedras de L. GT-AT

En las tablas 66 y 67 se observa el comportamiento del concreto de dosificación tradicional y dosificación ACI de la mezcla de Piedras de Lumbre GT-AT respecto a la velocidad de pulso ultrasónico promedio de los cilindros de cada edad de prueba.

Tabla 66.- V.P.U. en cilindros de proporción tradicional Piedras de Lumbre GT-AT.

V.P.U. PROMEDIO (PROPORCIÓN TRADICIONAL 1:4:4)		
Días	V.P.U. (m/s)	Calidad del concreto
7	4336.33	DURABLE
14	4208.00	DURABLE
21	4377.33	DURABLE
28	4435.33	DURABLE
45	4501.67	DURABLE



Tabla 67.- V.P.U. en cilindros de proporción ACI Piedras de Lumbre GT-AT.

V.P.U. PROMEDIO (PROPORCIÓN ACI 1:2.4:3.8)		
Días	V.P.U. (m/s)	Calidad del concreto
7	4474.33	DURABLE
14	4680.33	DURABLE
21	4594.67	DURABLE
28	4583.67	DURABLE
45	4622.50	DURABLE

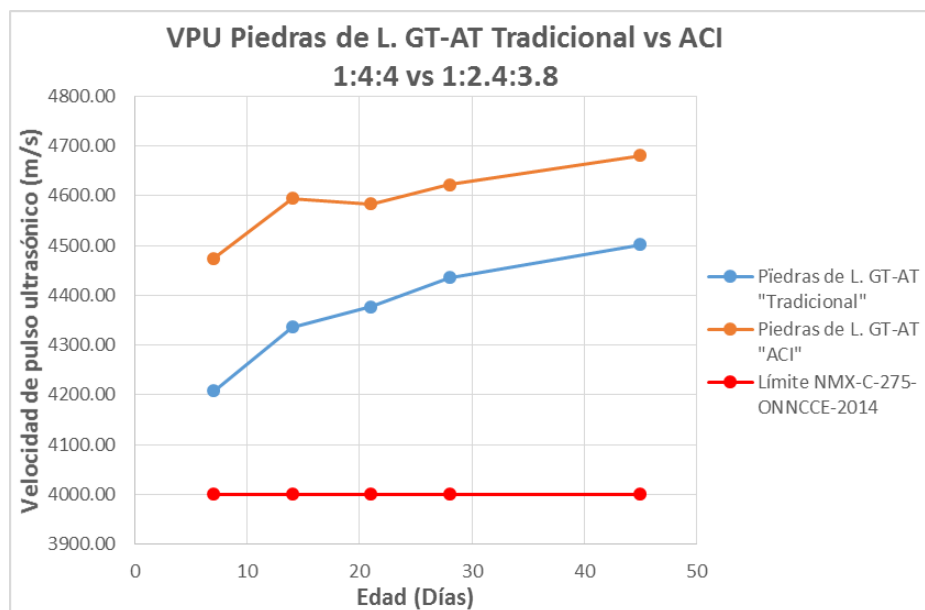


Figura 117.- Gráfica de comparación de la VPU del concreto entre ambas dosificaciones Piedras de Lumbre GT-AT.

En la figura 117 se observa que en ambas dosificaciones se presentó un avance de los resultados de los 7 hasta los 45 días en la velocidad de pulso, esta mezcla presento valores de un concreto de calidad durable desde los primero días de prueba, esto debido a que la velocidad de pulso ultrasónico se basa en que tan denso es un material, por lo tanto, presenta resultados mayores en materiales triturados como el de este banco de estudio en comparación con las otras 3 mezclas, las cuales contienen agregados volcánicos.

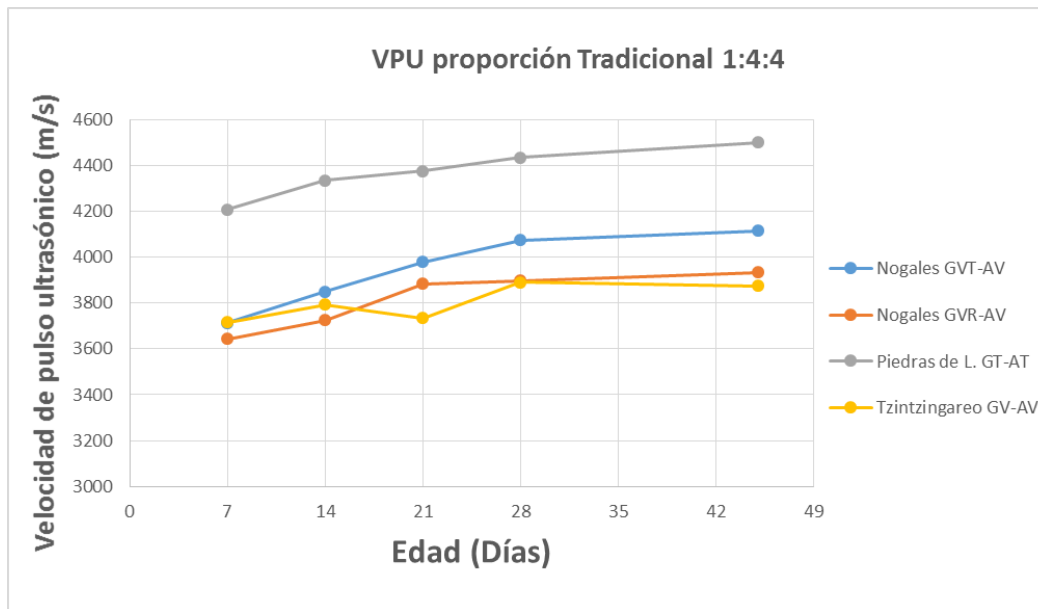


Figura 119.- Gráfica de comparación de VPU del concreto de dosificación tradicional entre los bancos de estudio.

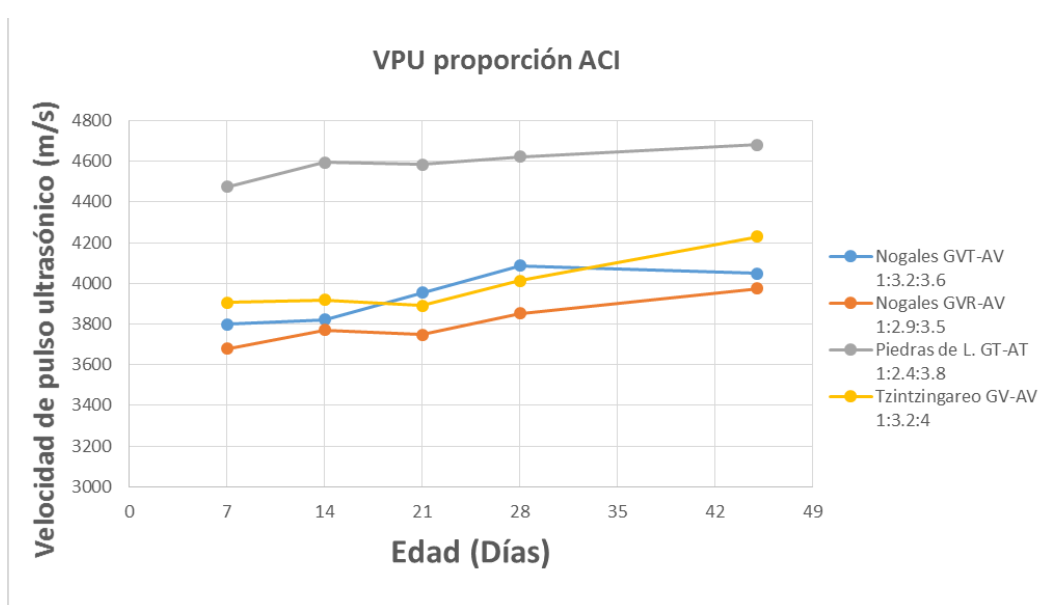


Figura 118.- Gráfica de comparación de VPU del concreto de dosificación ACI entre los bancos de estudio.

De acuerdo a la figura 118 y 119, el banco que presenta mejores resultados para VPU es el de Piedras de Lumbre, debido a que este contiene agregados triturados, presentando una calidad de concreto durable en ambas dosificaciones desde los 7 días de prueba, los demás bancos también presentan buenos resultados (entre calidad alta y durable), pero ninguno se compara con el de Piedras de Lumbre ya que contienen agregados de origen volcánico.



4.4.3- Resistencia a la compresión de cilindros de concreto

Para poder observar y evaluar el comportamiento del concreto a la resistencia a compresión se realizó una comparativa entre las resistencias en porcentaje obtenidas de los 2 tipos de dosificación desde los 7 hasta los 45 días de prueba de cada una de las mezclas realizadas.

4.4.3.1.- Cilindros Nogales GVT-AV

En las tablas 68 y 69 se observa el comportamiento del concreto de dosificación tradicional y dosificación ACI de los cilindros de Nogales GVT-AV respecto a la resistencia a compresión de los cilindros de cada edad de prueba.

Tabla 68.-Resistencias a compresión de cilindros Nogales GVT-AV de proporción tradicional.

CILINDROS NOGALES GVT-AV CON PROPORCIÓN TRADICIONAL 1:4:4								
Días	Muestra	Diámetro (cm)	Carga (kg)	Área (cm ²)	Resistencia (kg/ cm ²)	F'c Proyecto (kg/ cm ²)	% De resistencia	PROMEDIO
7	1	10	13586	78.54	173	250	69	66
	2	10	13093	78.54	167	250	67	
	3	10.05	12138	79.33	153	250	61	
14	1	10	17922	78.54	228	250	91	87
	2	10.05	16805	79.33	212	250	85	
	3	10	16868	78.54	215	250	86	
21	1	9.9	17829	76.98	232	250	93	88
	2	10	16457	78.54	210	250	84	
	3	10	17330	78.54	221	250	88	
28	1	10	16910	78.54	215	250	86	93
	2	10	19390	78.54	247	250	99	
	3	10	18639	78.54	237	250	95	
45	1	10	18049	78.54	230	250	92	97
	2	9.95	20414	77.76	263	250	105	
	3	10	18188	78.54	232	250	93	



Tabla 69.-Resistencias a compresión de cilindros Nogales GVT-AV de proporción ACI.

CILINDROS NOGALES GVT-AV CON PROPORCIÓN ACI 1:3.2:3.6								
Días	Muestra	Diámetro (cm)	Carga (kg)	Área (cm ²)	Resistencia (kg/ cm ²)	F'c Proyecto (kg/ cm ²)	% De resistencia	PROMEDIO
7	1	10.06	19975	79.49	251	250	101	103
	2	9.97	20471	78.07	262	250	105	
	3	10	20632	78.54	263	250	105	
14	1	10	22307	78.54	284	250		127
	2	9.95	25031	77.76	322	250	129	
	3	10	24457	78.54	311	250	125	
21	1	10	25615	78.54	326	250	130	130
	2	9.95	25577	77.76	329	250	132	
	3	10	25263	78.54	322	250	129	
28	1	10	24255	78.54	309	250		137
	2	9.95	26856	77.76	345	250	138	
	3	10	26868	78.54	342	250	137	
45	1	10	25515	78.54	325	250	130	135
	2	10	26707	78.54	340	250	136	
	3	9.95	26806	77.76	345	250	138	

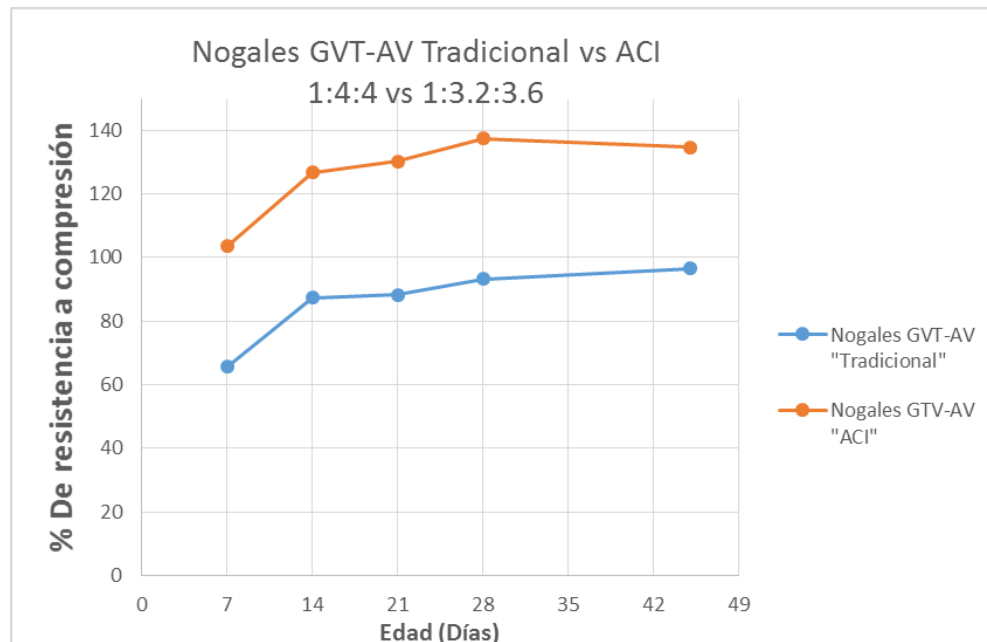


Figura 120.- Gráfica de comparación de la resistencia a compresión del concreto entre ambas dosificaciones Nogales GVT-AV.



En la figura 120 se observa que el diseño por el método ACI presenta mejores resultados debido a que como ya se mencionó anteriormente, se diseñó con un factor de seguridad que recomienda el ACI cuando se dosifica por volumen, para de esta forma garantizar que cumpla con la resistencia de 250 kg/cm², la dosificación tradicional para este banco cumple con la resistencia de diseño. Se puede observar que ambas dosificaciones presentan una tendencia similar, si se comparan los resultados cada uno contra su 100%, es decir el de ACI con 333 kg/cm² y el tradicional con 250 kg/cm², ambas presentarían resultados similares.

4.4.3.2.- Cilindros Nogales GVR-AV

En las tablas 70 y 71 se observa el comportamiento del concreto de dosificación tradicional y dosificación ACI de los cilindros de Nogales GVR-AV respecto a la resistencia a compresión de los cilindros de cada edad de prueba.

Tabla 70.-Resistencias a compresión de cilindros Nogales GVR-AV de proporción tradicional.

CILINDROS NOGALES GVR-AV CON PROPORCIÓN TRADICIONAL 1:4:4								
Días	Muestra	Diámetro (cm)	Carga (kg)	Área (cm ²)	Resistencia (kg/ cm ²)	F'c Proyecto (kg/ cm ²)	% De resistencia	PROMEDIO
7	1	10	13550	78.54	173	250	69	72
	2	9.9	13491	76.98	175	250	70	
	3	10	15308	78.54	195	250	78	
14	1	10.05	17233	79.33	217	250	87	89
	2	10	17797	78.54	227	250	91	
	3	10	17714	78.54	226	250	90	
21	1	9.95	17935	77.76	231	250	92	92
	2	10	17168	78.54	219	250	87	
	3	9.95	18569	77.76	239	250	96	
28	1	10	21110	78.54	269	250	108	103
	2	10	20205	78.54	257	250	103	
	3	10.05	19729	79.33	249	250	99	
45	1	10	20409	78.54	260	250	104	104
	2	10	19901	78.54	253	250	101	
	3	9.95	20866	77.76	268	250	107	



Tabla 71.-Resistencias a compresión de cilindros Nogales GVR-AV de proporción ACI.

CILINDROS NOGALES GVR-AV CON PROPORCIÓN ACI 1:2.9:3.5								
Días	Muestra	Diámetro (cm)	Carga (kg)	Área (cm ²)	Resistencia (kg/ cm ²)	F'c Proyecto (kg/ cm ²)	% De resistencia	PROMEDIO
7	1	10	18490	78.54	235	250	94	96
	2	10.05	18841	79.33	238	250	95	
	3	10	19171	78.54	244	250	98	
14	1	10	21402	78.54	272	250	109	110
	2	10	21942	78.54	279	250	112	
	3	10.05	21702	79.33	274	250	109	
21	1	10	23712	78.54	302	250	121	120
	2	10.05	22957	79.33	289	250	116	
	3	10	24312	78.54	310	250	124	
28	1	10	24115	78.54	307	250	123	126
	2	10	25120	78.54	320	250	128	
	3	9.95	24970	77.76	321	250	128	
45	1	10	25905	78.54	330	250	132	134
	2	10	26220	78.54	334	250	134	
	3	10	26655	78.54	339	250	136	

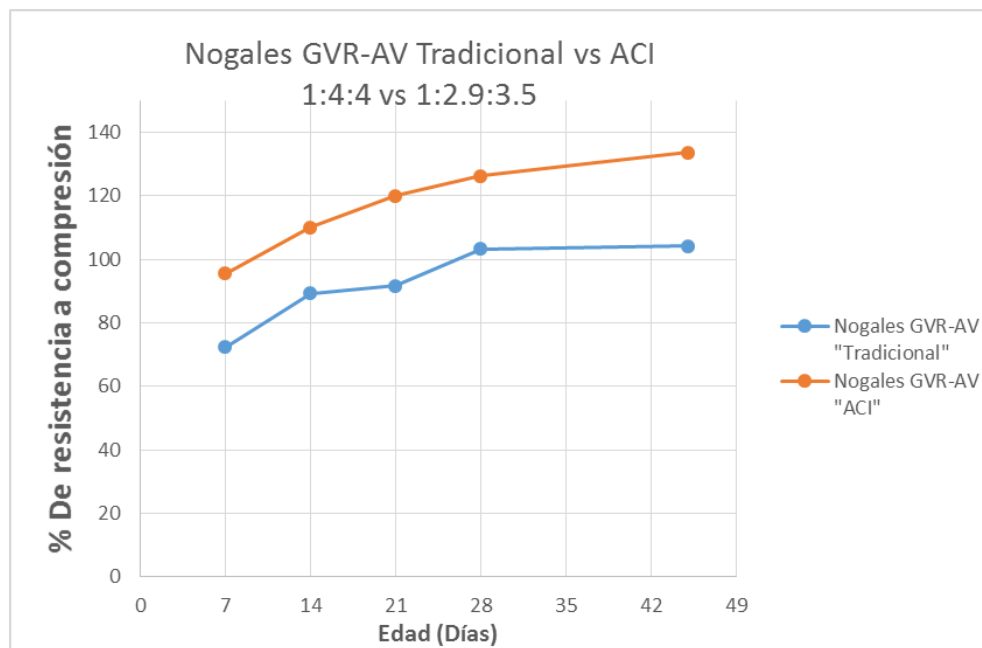


Figura 121.- Gráfica de comparación de la resistencia a compresión del concreto entre ambas dosificaciones Nogales GVR-AV.



En la figura 121 se observa que el diseño por el método ACI presenta mejores resultados debido al factor de seguridad que recomienda el ACI cuando se dosifica por volumen, la dosificación tradicional para este banco cumple con la resistencia de diseño. Se puede observar que ambas dosificaciones presentan una tendencia similar, si se comparan los resultados cada uno contra su 100%, es decir el de ACI con 333 kg/cm² y el tradicional con 250 kg/cm², ambas presentarían resultados similares.

4.4.3.3.- Cilindros Tzintzingareo GV-AV

En las tablas 72 y 73 se observa el comportamiento del concreto de dosificación tradicional y dosificación ACI de los cilindros de Tzintzingareo GV-AV respecto a la resistencia a compresión de los cilindros de cada edad de prueba.

Tabla 72.- Resistencias a compresión de cilindros Tzintzingareo GV-AV de proporción tradicional.

CILINDROS TZINTZINGAREO GV-AV CON PROPORCIÓN TRADICIONAL 1:4:4								
Días	Muestra	Diámetro (cm)	Carga (kg)	Área (cm ²)	Resistencia (kg/ cm ²)	F'c Proyecto (kg/ cm ²)	% De resistencia	PROMEDIO
7	1	10.05	11928	79.33	150	250	60	63
	2	10	12310	78.54	157	250	63	
	3	10	12716	78.54	162	250	65	
14	1	10	15758	78.54	201	250	80	79
	2	10	15396	78.54	196	250	78	
	3	10	15500	78.54	197	250	79	
21	1	10	17685	78.54	225	250	90	88
	2	10.05	17275	79.33	218	250	87	
	3	10.05	17183	79.33	217	250	87	
28	1	10.05	16282	79.33	205	250	82	89
	2	10	16749	78.54	213	250	85	
	3	10	19365	78.54	247	250	99	
45	1	10	15180	78.54	193	250	77	91
	2	10	19405	78.54	247	250	99	
	3	10	18923	78.54	241	250	96	



Tabla 73.- Resistencias a compresión de cilindros Tzitzingareo GV-AV de proporción ACI.

CILINDROS NOGALES GVR-AV CON PROPORCIÓN ACI 1:3.2:4								
Días	Muestra	Diámetro (cm)	Carga (kg)	Área (cm ²)	Resistencia (kg/ cm ²)	F'c Proyecto (kg/ cm ²)	% De resistencia	PROMEDIO
7	1	10	16203	78.54	206	250	83	84
	2	10.05	17168	79.33	216	250	87	
	3	10.1	16399	80.12	205	250	82	
14	1	9.95	19880	77.76	256	250	102	102
	2	10	19876	78.54	253	250	101	
	3	10	19912	78.54	254	250	101	
21	1	10	21473	78.54	273	250	109	106
	2	10	21437	78.54	273	250	109	
	3	10	19534	78.54	249	250	99	
28	1	10	22565	78.54	287	250	115	116
	2	10	22765	78.54	290	250	116	
	3	10.05	23100	79.33	291	250	116	
45	1	10	25056	78.54	319	250	128	132
	2	9.95	26065	77.76	335	250	134	
	3	9.95	26105	77.76	336	250	134	

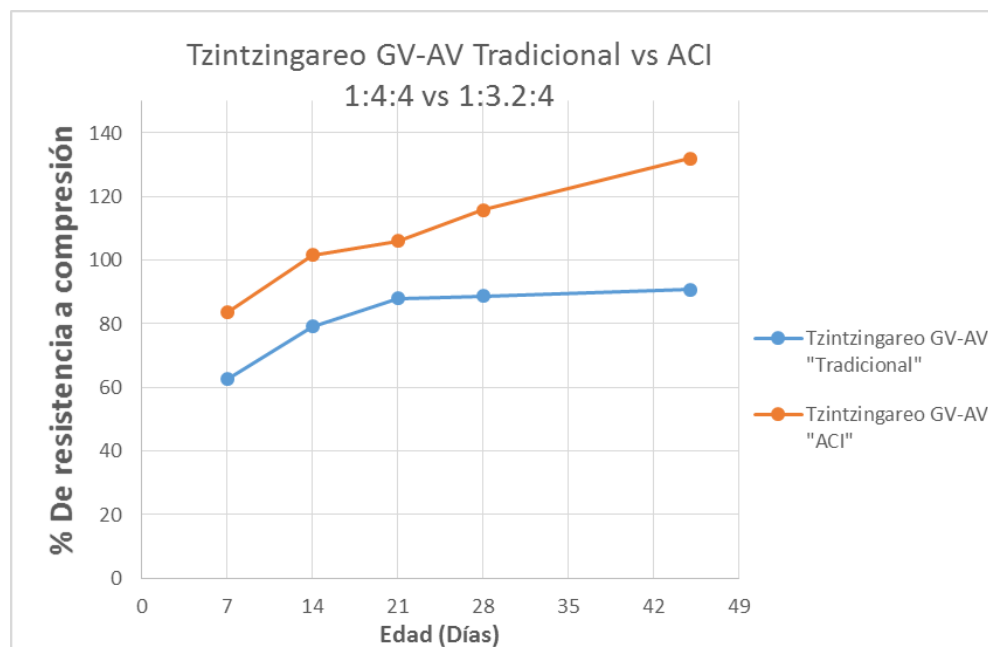


Figura 122.-Gráfica de comparación de la resistencia a compresión del concreto entre ambas dosificaciones Tzintzingareo GV-AV.



En la figura 122 se observa que el diseño por el método ACI presenta mejores resultados debido al factor de seguridad que recomienda el ACI cuando se dosifica por volumen, la dosificación tradicional para este banco no cumple con el 100% de la resistencia de diseño. Se puede observar que ambas dosificaciones presentan una tendencia similar, es decir que si se compara el ACI con su f'_{cr} tampoco cumpliría con el 100% de resistencia. Si se comparan los resultados cada uno contra su 100%, es decir el de ACI con 333 kg/cm^2 y el tradicional con 250 kg/cm^2 , ambas presentarían resultados similares.

4.4.3.4.- Cilindros Piedras de Lumbre GT-AT

En las tablas 74 y 75 se observa el comportamiento del concreto de dosificación tradicional y dosificación ACI de los cilindros de Piedras de Lumbre GT-AT respecto a la resistencia a compresión de los cilindros de cada edad de prueba.

Tabla 74.- Resistencias a compresión de cilindros Piedras de Lumbre GT-AT de proporción tradicional.

CILINDROS PIEDRAS DE LUMBRE GT-AT CON PROPORCIÓN TRADICIONAL 1:4:4								
Días	Muestra	Diámetro (cm)	Carga (kg)	Área (cm ²)	Resistencia (kg/ cm ²)	F'c Proyecto (kg/ cm ²)	% De resistencia	PROMEDIO
7	1	10	13158	78.54	168	250	67	71
	2	10	13946	78.54	178	250	71	
	3	10	14544	78.54	185	250	74	
14	1	9.95	14406	77.76	185	250	74	76
	2	9.95	14864	77.76	191	250	76	
	3	9.95	15260	77.76	196	250	79	
21	1	10.1	16493	80.12	206	250	82	84
	2	10.05	15957	79.33	201	250	80	
	3	10.05	17567	79.33	221	250	89	
28	1	10	17929	78.54	228	250	91	87
	2	10	16533	78.54	211	250	84	
	3	10	16631	78.54	212	250	85	
45	1	10	19337	78.54	246	250	98	97
	2	10	18928	78.54	240	250	96	
	3	10	17251	78.54	240	250	96	



Tabla 75.-Resistencias a compresión de cilindros Piedras de Lumbre GT-AT de proporción ACI.

CILINDROS PIEDRAS DE LUMBRE GT-AT CON PROPORCIÓN ACI 1:2.4:3.8								
Días	Muestra	Diámetro (cm)	Carga (kg)	Área (cm ²)	Resistencia (kg/ cm ²)	F'c Proyecto (kg/ cm ²)	% De resistencia	PROMEDIO
7	1	9.94	19017	77.60	245	250	98	93
	2	10.03	18046	79.01	228	250	91	
	3	9.98	17725	78.23	227	250	91	
14	1	10	20653	78.54	263	250	105	105
	2	10	20335	78.54	259	250	104	
	3	10	20640	78.54	263	250	105	
21	1	10	21024	78.54	268	250	107	110
	2	10	22164	78.54	282	250	113	
	3	10.05	21870	79.33	276	250	110	
28	1	10	21836	78.54	278	250	111	113
	2	9.95	21865	77.76	281	250	112	
	3	10	22377	78.54	285	250	114	
45	1	10	24275	78.54	309	250	124	123
	2	9.95	24247	77.76	312	250	125	
	3	10	23955	78.54	305	250	122	

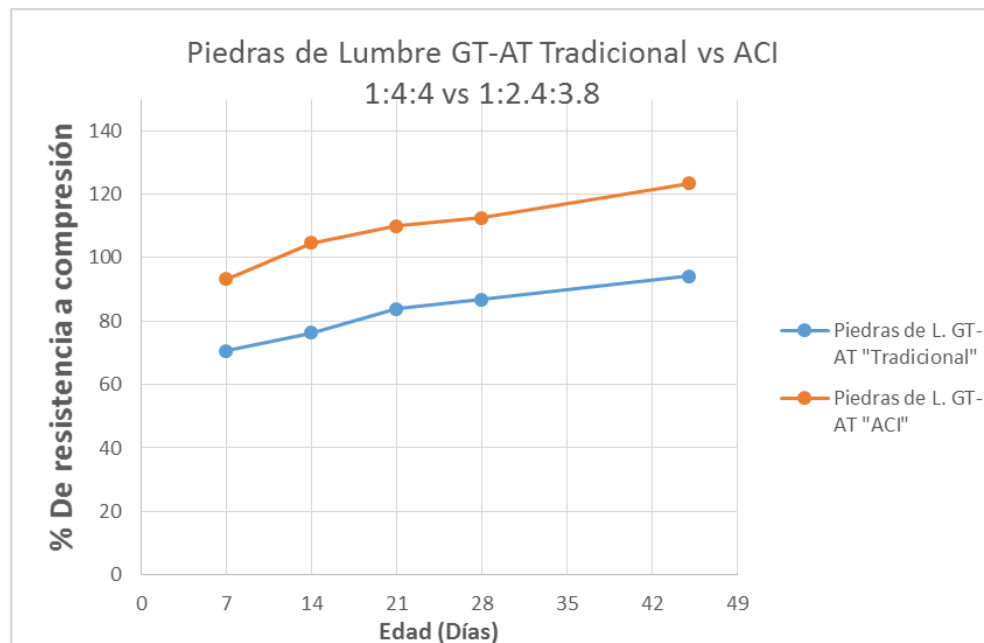


Figura 123.- Gráfica de comparación de la resistencia a compresión del concreto entre ambas dosificaciones Piedras de Lumbre GT-AT.



En la figura 123 se observa lo mismo que los cilindros anteriores, que el diseño por el método ACI presenta mejores resultados debido al factor de seguridad que recomienda el ACI cuando se dosifica por volumen, la dosificación tradicional para este banco no cumple con el 100% de la resistencia de diseño. Se puede observar que ambas dosificaciones presentan una tendencia similar, es decir que si se compara el ACI con su f'_{cr} tampoco cumpliría con el 100% de resistencia. Si se comparan los resultados cada uno contra su 100% real de diseño, ambas presentarían resultados similares.

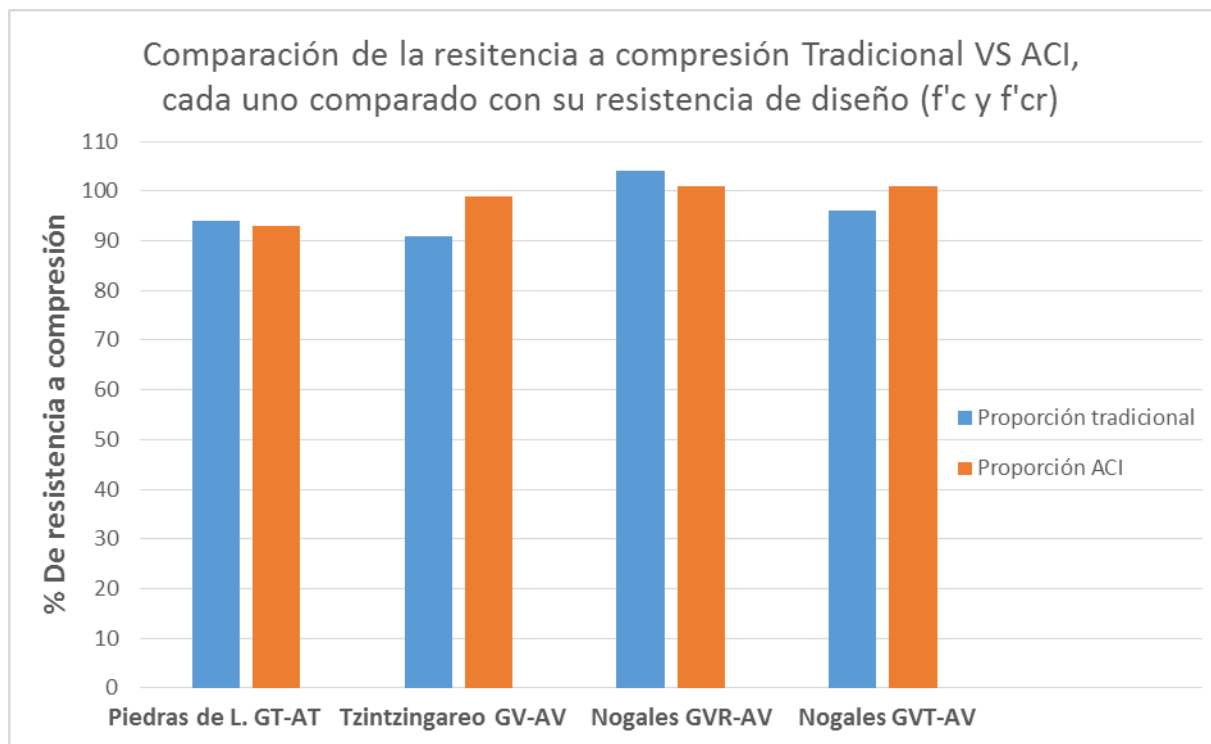


Figura 124.- Gráfica de comparación de la resistencia a compresión de la dosificación tradicional y ACI, cada uno comparado con su resistencia de diseño (f'_{c} y f'_{cr}).

En la figura 120 se observa claramente que si hacemos la comparación de los cilindros de cada banco de la proporción tradicional y ACI cada uno con su resistencia de diseño a la edad de 45 días, presentan resultados muy similares. Entonces se puede decir que la dosificación tradicional para el caso de los bancos de estudio apenas cumple con la resistencia de diseño ya que presentan más del 90% de la resistencia de diseño, al igual que la dosificación ACI y además cabe destacar que con el tipo de dosificación tradicional se obtendría más volumen en mezcla que con la del ACI, por ese motivo resultaría más viable ese tipo de dosificación con los materiales de estudio.

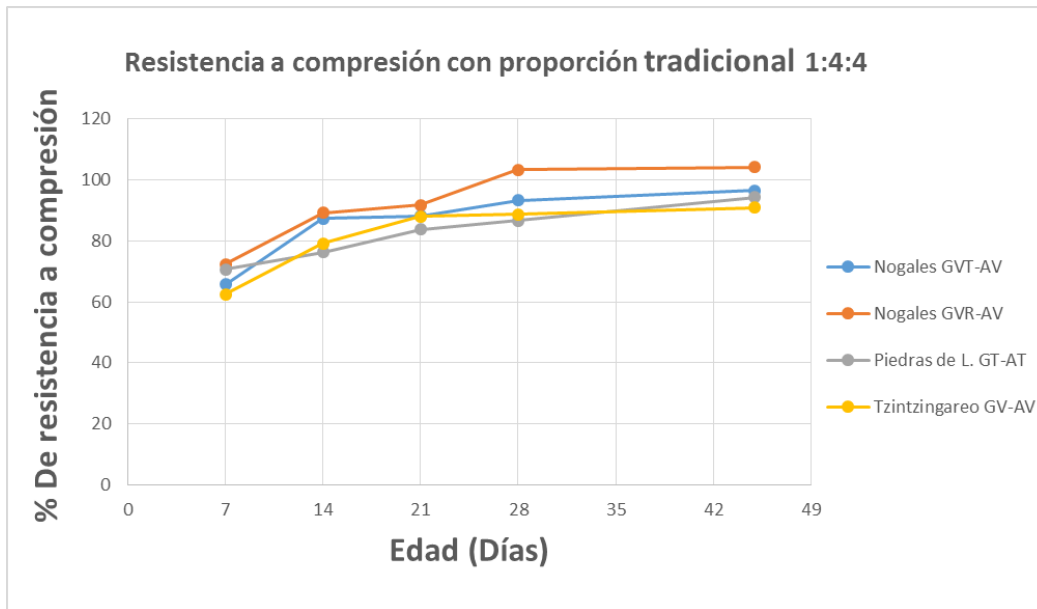


Figura 125.- Gráfica de comparación de la resistencia a compresión del concreto de dosificación tradicional entre los bancos de estudio.

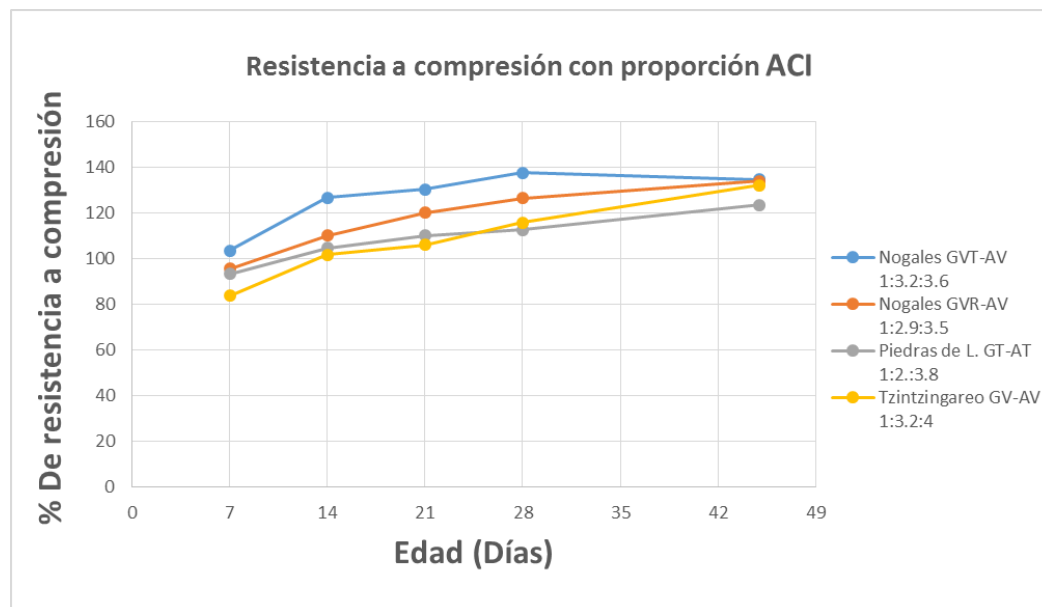


Figura 126.- Gráfica de comparación de la resistencia a compresión del concreto de dosificación ACI entre los bancos de estudio.

De acuerdo a la figura 125 y 126, el banco que presenta mejores resultados a compresión es el banco de Nogales, independientemente de la grava que se utilice de dicho banco, siendo Nogales GVR-AV el único que cumple con el 100% de la resistencia de diseño en la proporción tradicional y Nogales GVT-AV el de mejores resultados en la proporción ACI.



4.4.4.- Costo por m³ de concreto entre ambas proporciones

4.4.4.1.- Nogales GVT-AV

En la tabla 76 y 77 se muestra el costo por m³ de concreto de la proporción tradicional y ACI de Nogales GVT-AV, considerando únicamente el precio de los materiales.

Tabla 76.- Costo por m³ de concreto para Nogales GVT-AV con proporción tradicional.

COSTO POR M3 DE CONCRETO PROPORCIÓN TRADICIONAL 1:4:4 NOGALES GVT-AV					
MATERIAL	Cantidad (kg)	Unidad	Cantidad	P.U.	IMPORTE (MXN)
CEMENTO	395.38	Bultos	7.91	150	1186.15
ARENA	778.92	m3	0.60	193	115.41
GRAVA	535.67	m3	0.56	171	96.18
TOTAL =					\$1,397.75

Tabla 77.- Costo por m³ de concreto para Nogales GVT-AV con proporción ACI.

COSTO POR M3 DE CONCRETO PROPORCIÓN ACI 1:3.2:3.6 NOGALES GVT-AV					
MATERIAL	Cantidad (kg)	Unidad	Cantidad	P.U.	IMPORTE (MXN)
CEMENTO	430.40	Bultos	8.61	150	1291.20
ARENA	678.23	m3	0.52	193	100.49
GRAVA	524.94	m3	0.55	171	94.26
TOTAL =					\$1,485.96

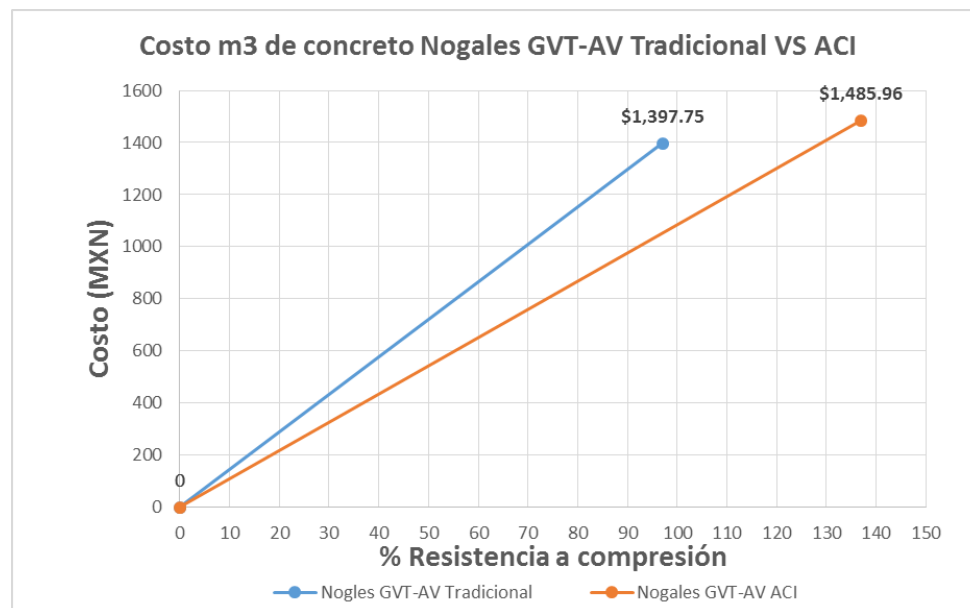


Figura 127.- Comparación del costo por m³ de concreto entre ambas proporciones de Nogales GVT-AV con respecto a su resistencia.



4.4.4.2.- Nogales GVR-AV

En la tabla 78 y 79 se muestra el costo por m³ de concreto de la proporción tradicional y ACI de Nogales GVR-AV, considerando únicamente el precio de los materiales.

Tabla 78.- Costo por m³ de concreto para Nogales GVR-AV con proporción tradicional.

COSTO POR M3 DE CONCRETO PROPORCIÓN TRADICIONAL 1:4:4 NOGALES GVR-AV					
MATERIAL	Cantidad (kg)	Unidad	Cantidad	P.U.	IMPORTE (MXN)
CEMENTO	395.38	Bultos	7.91	150	1186.15
ARENA	782.48	m3	0.60	193	115.94
GRAVA	590.25	m3	0.67	171	114.47
TOTAL =					\$1,416.56

Tabla 79.- Costo por m³ de concreto para Nogales GVR-AV con proporción ACI.

COSTO POR M3 DE CONCRETO PROPORCIÓN ACI 1:2.9:3.5 NOGALES GVR-AV					
MATERIAL	Cantidad (kg)	Unidad	Cantidad	P.U.	IMPORTE (MXN)
CEMENTO	430.4	Bultos	8.6	150	1291.2
ARENA	617.4	m3	0.5	193	91.5
GRAVA	562.1	m3	0.6	171	109.0
TOTAL =					\$1,491.69

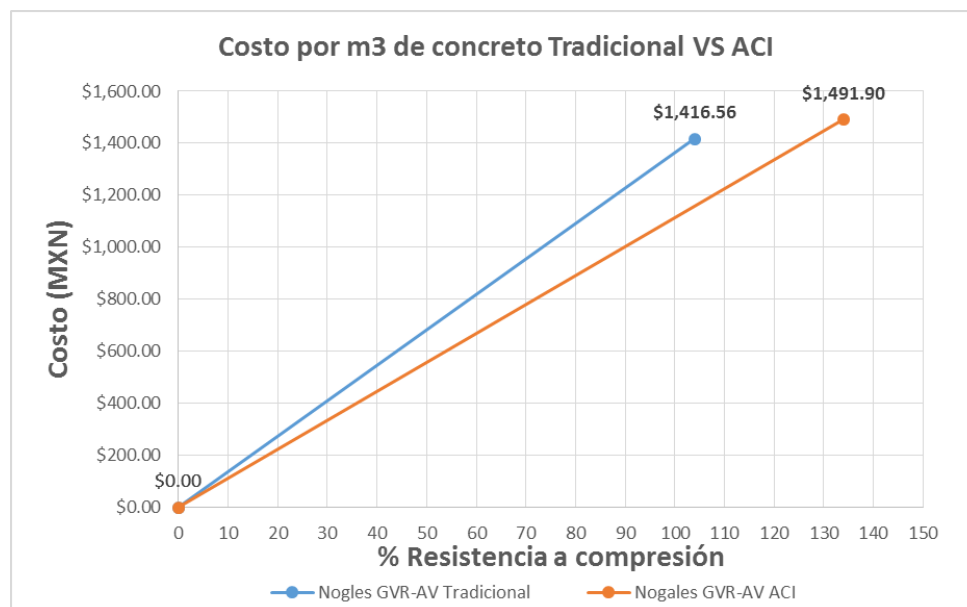


Figura 128.- Comparación del costo por m³ de concreto entre ambas proporciones de Nogales GVR-AV con respecto a su resistencia.



4.4.4.3.- Piedras de Lumbre GT-AT

En la tabla 80 y 81 se muestra el costo por m³ de concreto de la proporción tradicional y ACI de Piedras de Lumbre GT-AT, considerando únicamente el precio de los materiales.

Tabla 80.- Costo por m³ de concreto para Piedras de L. GT-AT de proporción tradicional.

COSTO POR M3 DE CONCRETO PROPORCIÓN TRADICIONAL 1:4:4 Piedras de L. GT-AT					
Material	Cantidad (kg)	Unidad	Cantidad	P.U.	Importe (MXN)
CEMENTO	354.79	Bultos	7.10	150	1064.4
ARENA	912.05	m3	0.54	143	77.1
GRAVA	785.80	m3	0.54	129	69.0
TOTAL =					\$1,210.52

Tabla 81.- Costo por m³ de concreto para Piedras de L. GT-AT de proporción ACI.

COSTO POR M3 DE CONCRETO PROPORCIÓN ACI 1:2.4:3.8 Piedras de L. GT-AT					
MATERIAL	Cantidad (kg)	Unidad	Cantidad	P.U.	IMPORTE (MXN)
CEMENTO	430.40	Bultos	8.61	150	1291.2
ARENA	663.94	m3	0.39	143	56.2
GRAVA	905.67	m3	0.62	129	79.8
TOTAL =					\$1,427.22

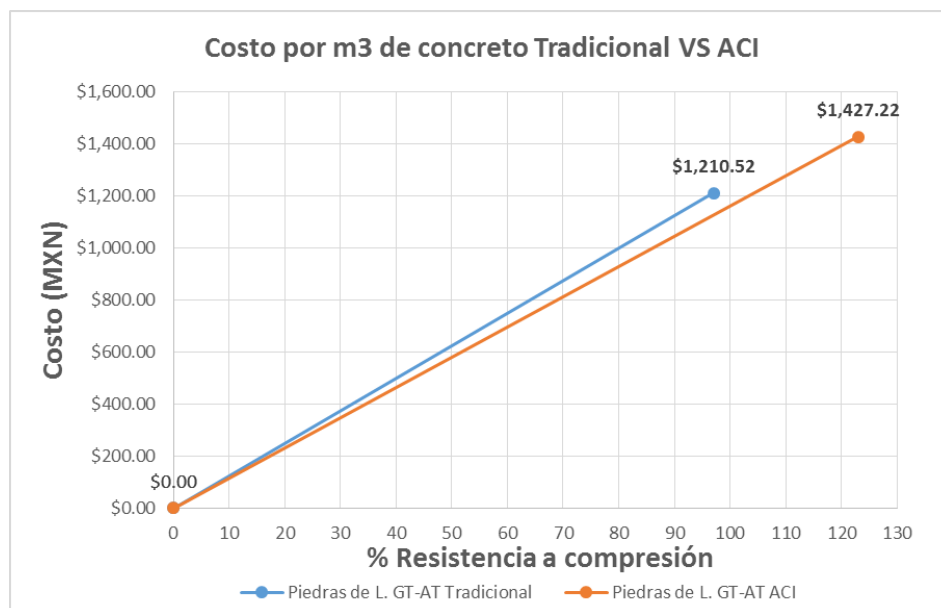


Figura 129.- Comparación del costo por m³ de concreto entre ambas proporciones de Piedras de L. GT-AT con respecto a su resistencia.



4.4.4.4.- Tzintzingareo GV-AV

En la tabla 82 y 83 se muestra el costo por m³ de concreto de la proporción tradicional y ACI de Tzintzingareo GV-AV, considerando únicamente el precio de los materiales.

Tabla 82.- Costo por m³ de concreto para Tzintzingareo GV-AV de proporción tradicional.

COSTO POR M3 DE CONCRETO PROPORCIÓN TRADICIONAL 1:4:4 Tzintzingareo GV-AV					
MATERIAL	Cantidad (kg)	Unidad	Cantidad	P.U.	IMPORTE (MXN)
CEMENTO	395.4	Bultos	7.91	150	1186.2
ARENA	634.4	m3	0.60	143	86.3
GRAVA	560.1	m3	0.60	129	77.7
TOTAL =					\$1,350.17

Tabla 83.- Costo por m³ de concreto para Tzintzingareo GV-AV de proporción ACI.

COSTO POR M3 DE CONCRETO 1:3.2:4					
MATERIAL	Cantidad (kg)	Unidad	Cantidad	P.U.	IMPORTE (MXN)
CEMENTO	430.40	Bultos	8.61	150	1291.20
ARENA	552.48	m3	0.53	143	75.22
GRAVA	609.68	m3	0.66	129	84.90
TOTAL =					\$1,451.32

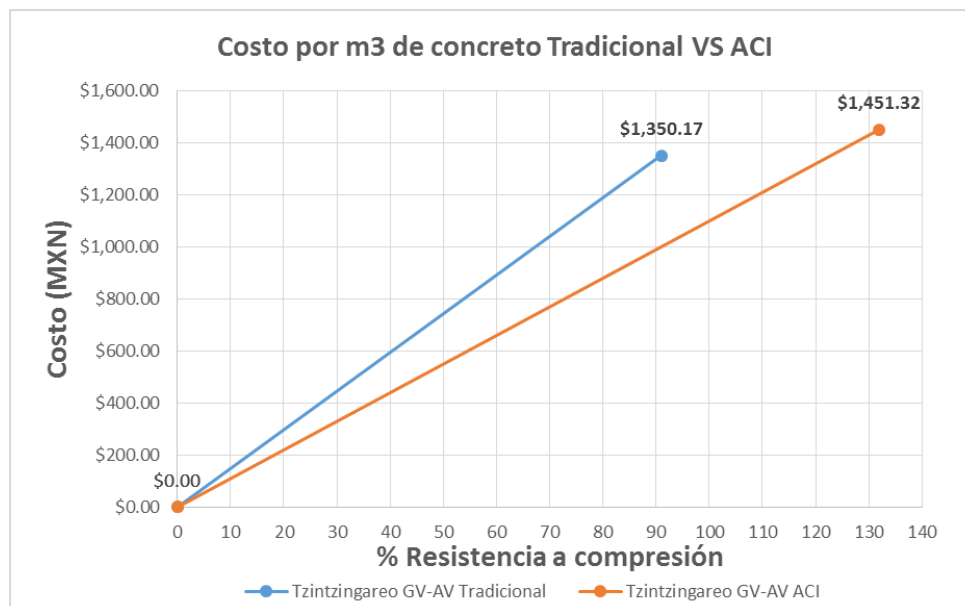


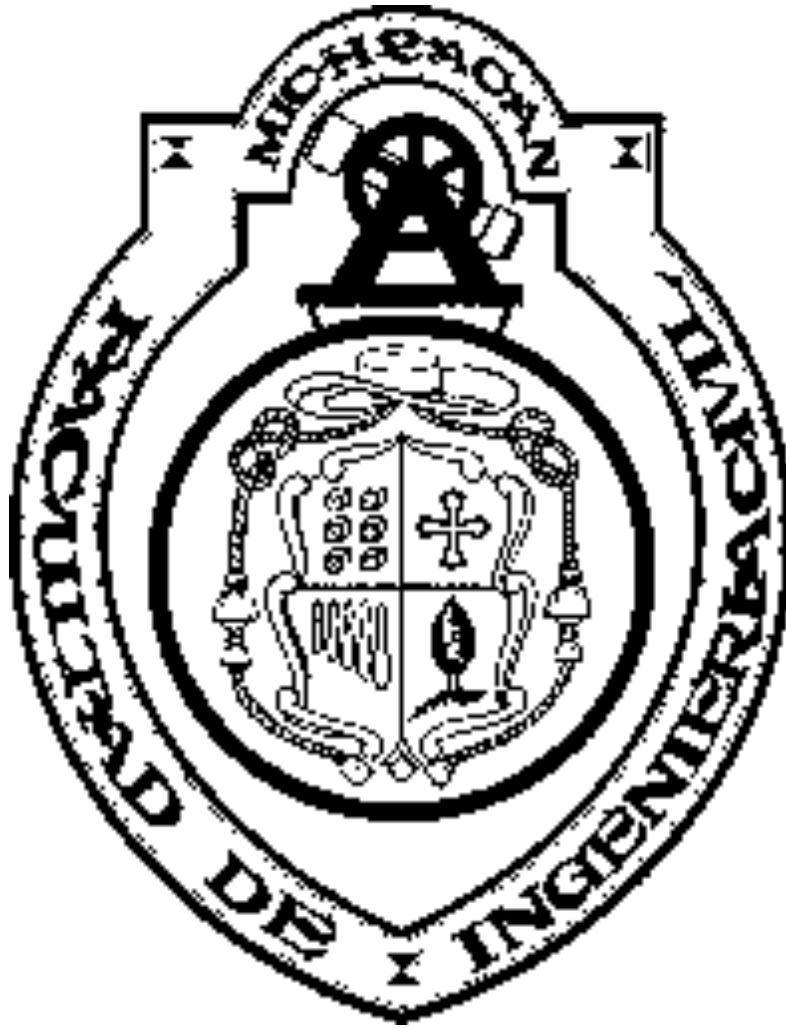
Figura 130.- Comparación del costo por m³ de concreto entre ambas proporciones de Tzintzingareo GV-AV con respecto a su resistencia.



De acuerdo a las tablas 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82 y 83 se puede observar que las mezclas con proporción tradicional en su mayoría no cumplen con el 100 % de la resistencia a la que se diseñó, mientras que las de proporción ACI todas sobrepasan el 100 % debido al factor de seguridad. La diferencia del costo por m^3 de concreto entre la proporción tradicional y la ACI son aproximadamente de \$100.00 pesos, ese precio es lo que cuesta el factor de seguridad, por esa cantidad extra a cada m^3 de concreto podemos garantizar que cumpla si o si con la resistencia de diseño, incluso se podría abaratar más el precio si en lugar de considerar el F'_{cr} que recomienda el ACI se utilizará uno menor y de esta forma por menor costo adicional podemos tener la certeza de que cumpla con lo especificado por un precio un poco por encima al de la proporción tradicional.



CAPITULO 5



CONCLUSIONES



1. De los resultados obtenidos en los agregados pétreos podemos concluir que el agregado fino de cada uno de los bancos de estudio cumplen con las especificaciones de calidad para su utilización en concreto de las normas oficiales mexicanas. De los agregados gruesos de estudio, la única que cumple con lo especificado para su uso en concreto es la grava rosa volcánica del banco de Nogales, las otras gravas no cumplen con las especificaciones de calidad de las normas mexicanas, pero eso no es motivo para que no se utilicen ya que debido a la experiencia que se tiene en la región sobre el manejo de dichos agregados, arrojan buenos resultados en las construcciones. Es importante mencionar que el hecho de que un material no cumpla con determinadas características que van de acuerdo a las especificaciones, no implica su rechazo inmediato, porque todavía se podrían ajustar las características de los agregados para conseguir los resultados que más se adapten a nuestras necesidades, es decir, el uso de aditivos, la recomendación de eliminar algunos tamaños de agregado para adaptar la granulometría, etc.
2. Un factor importante a considerar es la técnica de dosificación del concreto, ya que si no se realiza correctamente podría presentar resultados desfavorables, por lo tanto es necesario hacer mención de la importancia que tiene el laboratorio en todo tipo de obra a realizar, ya que si no se tiene un control de los materiales (características físicas y mecánicas de cada uno), se puede presentar en los casos extremos, la necesidad de una demolición debido a un mal funcionamiento. La dosificación tradicional puede presentar buenos resultados con materiales de buenas características, pero si se usa la misma dosificación sin caracterizar los materiales y resulte que sean de mala calidad, puede resultar en un concreto de mal funcionamiento, por lo tanto siempre es importante realizar la caracterización de cada uno de los materiales a utilizar para así garantizar el buen comportamiento del concreto.
3. Para la prueba de Resistividad eléctrica para ambas dosificaciones del concreto con cada uno de los bancos de estudio, a pesar de que al paso de los días presentan mejores resultados, el concreto mantiene una porosidad interconectada excesiva, es decir, que el acero de refuerzo en el concreto tiene altas probabilidades de corrosión ya que se encuentran muy por debajo del valor mínimo recomendado por la norma, por lo que



no se recomienda su uso en lugares con climas húmedo o con alto índice de peligrosidad de corrosión.

4. Para la prueba de velocidad de pulso ultrasónico, los cilindros con los materiales de los bancos de Tzitzingareo y Nogales se encuentran entre una calidad alta y durable en ambas dosificaciones, presentando resultados ligeramente mejores los de proporción ACI, y los cilindros con material de Piedras de Lumbre presentan una calidad durable desde los 7 hasta los 45 días de prueba, presentando valores mayores en comparación a los cilindros de los otros bancos, esto debido a que los materiales de este banco son triturados, lo cual da como resultado cilindros más densos, ya que este tipo de material no es poroso como los agregados de los otros bancos que son de origen volcánico.
5. De acuerdo a los resultados obtenidos en la resistencia a compresión de los cilindros Nogales GVT-AV, la proporción tradicional 1:4:4 cumple con lo especificado en la norma NMX-C-083-ONNCCE desde los 7 hasta los 45 días de prueba, alcanzando un 97% de la resistencia de diseño, la proporción ACI 1:3.2:3.6 también cumple con lo especificado, alcanzando un 135% de la resistencia, debido al factor de seguridad que se debe de contemplar si se dosifica por volumen, esto garantiza que el concreto cumpla con la resistencia a la que se diseñe.
6. De acuerdo a los resultados obtenidos en la resistencia a compresión de los cilindros Nogales GVR-AV, la proporción tradicional 1:4:4 cumple con lo especificado en la norma NMX-C-083-ONNCCE desde los 7 hasta los 45 días de prueba, alcanzando un 104% de la resistencia de diseño, la proporción ACI 1:2.9:3.5 también cumple con lo especificado, alcanzando un 134% de la resistencia, debido al factor de seguridad que se debe de contemplar si se dosifica por volumen.
7. De acuerdo a los resultados obtenidos en la resistencia a compresión de los cilindros Tzitzingareo GV-AV, la proporción tradicional 1:4:4 cumple con lo especificado en la norma NMX-C-083-ONNCCE ya que alcanzo un 91% de la resistencia de diseño, la proporción ACI 1:3.2:4 cumple con lo especificado, alcanzando un 132% de la resistencia, debido al factor de seguridad que se debe de contemplar si se dosifica por volumen, garantizando que cumpla, ya que como se observa la proporción tradicional no cumplió.



8. De acuerdo a los resultados obtenidos en la resistencia a compresión de los cilindros Piedras de Lumbre GT-AT, la proporción tradicional 1:4:4 cumple con lo especificado en la norma NMX-C-083-ONNCCE ya que alcanzo un 97% de la resistencia de diseño, la proporción ACI 1:2.4:3.8 también cumple con lo especificado, alcanzando un 123% de la resistencia, debido al factor de seguridad.
9. De acuerdo a lo anterior se puede concluir que resulta viable utilizar la proporción tradicional 1:4:4 para los bancos de estudio, ya que cumplen o están muy cerca de la resistencia de diseño, y también que con esta proporción se obtendría más volumen de mezcla lo que implica el uso de menos cantidad de cemento por m^3 de concreto, el cual es el material más caro de la mezcla. Pero es importante recalcar que no siempre se obtendrán buenos resultados con este tipo de proporción, ya que si se diseña con agregados de malas características y no se conocen sus características o no se considera un factor de seguridad por cualquier tipo de errores que ocurran en la dosificación en obra, puede dar como resultado un concreto de mala calidad.
10. La dosificación por el método ACI presenta mejores resistencias con respecto a la dosificación tradicional debido al factor de seguridad, el cual solo representa un costo extra promedio de \$100 pesos por m^3 de concreto y además porque en este tipo de dosificación si se considera las características de los materiales a utilizar, lo cual garantiza que aunque ocurran errores en la elaboración del concreto, se tendrá la certeza de que cumpla si o si con la resistencia proyectada.
11. De acuerdo a todo lo anterior, se puede concluir que el mejor banco de materiales para la elaboración de concreto hidráulico, es el banco de Nogales, ya que en la proporción tradicional fue la única que alcanzo el 100 % de resistencia y fue la que presento mejores resultados en la proporción ACI, sin embargo todas los demás bancos de estudio cumplen con el 85 % promedio mínimo especificado en la norma mexicana NMX-083-ONNCCE-2014.



BIBLIOGRAFÍA

- Ambiental, F. p. (2007). *Rotoplas más y mejor agua*. Obtenido de Agua.org.mx: <https://agua.org.mx/propiedades-derl-agua/>
- American Concrete Institute 211.1. (2009). *Diseño de mezclas de concreto*.
- American Concrete Institute 318. (2008). *Requisitos del reglamento para concreto estructural*.
- Asociación Argentina del Concreto Elaborado. (2008). <http://www.imcyc.com/ct2008/oct08/tecnologia.htm>
- Chávez Luciano, J., Gomez Monterrey, J. L., & Ramos, A. (2016). *Tipos de Bancos de Material*. Oaxaca. https://prezi.com/nsv_kuflgkji/tipos-de-bancos-de-materiales/
- Colegio de Ingenieros Civiles de Michoacán. (1999). *Reglamento de construcción del estado de Michoacán*.
- Damian Hernández, S., Martínez Soto, A., & Aguirre Pérez, J. M. (2000). *Efectos por la explotación de bancos de materiales*. Queretaro.
- Electricidad, C. F. (1994). *Manual de tecnología del concreto*. México: Limusa.
- García Guillen, G. (2011). *Estudio del proceso de hidratación de pastas de cemento portland reemplazadas con escoria granulada de alto horno*. Nuevo León.
- García Lemus, G. (2000). *Concreto reforzado con fibras de polipropileno*.
- Glance, A. (2014). *Prezi*. <https://prezi.com/xwrykdmbzfin/concreto-endurecido/>
- Grupo AGRAS. (2017). *Grupo AGRAS, arenas y gravas silicas*.
- IMCYC. (2011). *Clasificación de los concretos por su resistencia*.
- López Garavito , L., & Sepulveda, D. (2014). *Caracterización física de diferentes muestras de agregados pétreos para el concreto*. Bogotá.
- Morales Alejandre, V. (2015). *Estudio de concretos de alta durabilidad*. Ciudad de México.
- Morales Alejandre, V. (2015). *Estudio de concretos de alta durabilidad*.
- Neville, A. M. (1999). *Tecnología del concreto*. M. en A. Soledad Moliné Venanzi .



- NMX-C-030-ONNCCE. (2004). *Industria de la construcción-Agregados-Muestreo.*
- NMX-C-073-ONNCCE. (2004). *Industria de la construcción-Agregados-Masa volumétrica.*
- NMX-C-083-ONNCCE. (2014). *Industria de la construcción-concreto- Determinación de la Resistencia a la Compresión de Especímenes.*
- NMX-C-088-ONNCCE. (1997). *Industria de la construcción-Agregados-Determinación de las impurezas orgánicas en el agregado fino.*
- NMX-C-109-ONNCCE. (2013). *Industria de la construcción-concreto hidráulico-cabeceo de especímenes cilíndricos.*
- NMX-C-111-ONNCCE. (2014). *Industria de la construcción-Agregados para concreto hidráulico Especificaciones y métodos de prueba.*
- NMX-C-122-ONNCCE. (2004). *Industria de la construcción-Agua para concreto.*
- NMX-C-155-ONNCCE. (2014). *Industria de la construcción-Concreto hidráulico-Dosificación por masa.*
- NMX-C-156-ONNCCE. (2010). *Industria de la construcción-Concreto hidráulico-Determinación del revenimiento.*
- NMX-C-159-ONNCCE. (2016). *Industria de la construcción-Concreto-Elaboración y curado de especímenes de concreto en laboratorio.*
- NMX-C-160-ONNCCE. (2004). *Industria de la construcción-Concreto-Elaboración y curado en obra de especímenes cilíndricos.*
- NMX-C-164-ONNCCE. (2014). *Industria de la construcción-Agregados-Determinación de la densidad relativa y absorción del agregado grueso.*
- NMX-C-166-ONNCCE. (2006). *Industria de la construcción-Agregados-Contenido de agua por secado.*
- NMX-C-170-ONNCCE. (1997). *Industria de la construcción-Agregados-Reducción de las muestra de agregados obtenida en el campo al tamaño requerido para las pruebas.*
- NMX-C-199-ONNCCE. (2010). *Industria de la construcción-Aditivos para concreto hidráulico.*
- NMX-C-255-ONNCCE. (2013). *Industria de la construcción-Aditivos químicos para concreto.*
- NMX-C-275-ONNCCE. (2004). *Industria de la construcción -concreto- Determinación de la velocidad de pulso a través del concreto.*
- NMX-C-414-ONNCCE. (2014). *Industria de la construcción-Cementos hidráulicos especificaciones y métodos de prueba.*



- NMX-C-514-ONNCCE. (2016). *Industria de la construcción-Resistividad electrica del concreto hidráulico.*
- NMX-C-530-ONNCCE. (2017). *Industria de la Construcción-Durabilidad-Norma General de Durabilidad de Estructuras de Concreto Reforzado.*
- Plan de desarrollo integral de Michoacán. (2015).
- Putzmeister. (2019). *Putzmeister.* Obtenido de La relación agua-cemento: un frágil equilibrio: <http://bestsupportunderground.com/relacion-agua-cemento/>
- Reglamento de Construcción del estado de Michoacán. (2003).
- Rimarachin Sanchez, L. H. (2013). *CORROSION DEL MORTERO DE CEMENTO CON ARMADURA, POR ATAQUE DEL CLORURO DE SODIO* . Lima.
- Rojas Vega, L. D., Hidalgo Madrigal, C., Pizarro García , M., & Segura Guzmán, G. (2011). *Efecto de la variación Agua/Cemento en el concreto* (Vol. 25).
- Rojas, J., & Cuevas, S. (2018). *El concreto fresco y en fase de fraguado.* Obtenido de Ingeniería y Construcción: <https://civilgeeks.com/2018/06/15/el-concreto-fresco-y-en-fase-de-fraguado/>
- Roque Zalapa, R. (2001). *Estudio del banco de agregados pétreos de comanja, Michoacán para evaluar su potencial economico en la elaboración de concreto hidráulico.*
- SCT. (2017). *Inventario de bancos de material.*