



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN
NICOLÁS DE HIDALGO**



**FACULTAD DE INGENIERÍA
CIVIL**

**“DISEÑO DE CONCRETOS
MODIFICADOS CON ADICIONES
DE RESIDUOS DE ACERO Y
ALUMINIO. COMPORTAMIENTO
FISICO MECÁNICO”**

T E S I S

Que para obtener el título de:

INGENIERO CIVIL

Presenta:

VICTOR ALFONSO RAMIREZ CARRANZA

Director de tesis:

M.I NOEL DÍAZ GONZÁLEZ

Co directores de tesis

DR. JORGE ALBERTO BORREGO PÉREZ

M. en C. JUDITH ALEJANDRA VELÁZQUEZ PÉREZ

Morelia Michoacán

diciembre 2020

1. RESUMEN

Hoy en día, la incorporación de fibras o de escorias metálicas a los concretos hidráulicos para pavimentos rígidos ha sido todo un reto debido a que se busca economizar los costos del armado de acero, disminuir la contaminación del medio ambiente y reusar estos materiales de residuo de forma sustentable. Actualmente se estudian y usan desechos de materiales como residuos sólidos de herrería (escoria de hierro), cancelería (escoria de aluminio); estos se adicionan al concreto con el objetivo de mejorar sus características físico-mecánicas en estado sólido. En este trabajo, la elaboración de la mezcla se realizó utilizando el método ACI (American Concrete Institute). Debido a que el diseño es necesario para poder evaluar su comportamiento ante las diferentes sollicitaciones físico-mecánicas a las que son expuestos los concretos. Se elaboraron probetas de variadas dimensiones y forma con relación al tipo de prueba a realizar. Entre las probetas realizadas se encuentran cilindros de 15cmx30cm, núcleos cilíndricos extraídos de las vigas de 12.5cmx7cm, vigas de 15cmx15cmx60cm, los cuales fueron evaluados ante cargas de compresión, flexión respectivamente. Se elaboraron muestras con un 1% y 2% de adición de escoria de aluminio y otra con 1% de adición de escoria de hierro con respecto al peso del cemento, para cumplir edades de 7, 14, 28, 70 y 120 días. Las pruebas realizadas fueron directas e indirectas. Las directas o destructivas son las de compresión en cilindros y núcleos cilíndricos extraídos de las vigas, la de flexión en vigas. Las indirectas comprenden la medición de velocidad de pulso ultrasónico y la de resistividad eléctrica. La experimentación se realizó utilizando porcentajes bajos de incorporación para analizar las posibles modificaciones en las propiedades del concreto. Durante la experimentación se obtuvieron reacciones químicas en el concreto con la adición de escoria de aluminio reaccionando de manera efervescente, creando gases, provocando demasiada porosidad en el concreto elaborado. Debido a la porosidad el concreto presento bajos niveles de resistencia a la compresión y a flexión, por lo cual tiende a ser menor que la testigo teniendo un comportamiento lineal; en las pruebas no destructivas las

“DISEÑO DE CONCRETOS MODIFICADOS CON ADICIONES DE RESIDUOS DE ACERO Y ALUMINIO. COMPORTAMIENTO FISICO MECÁNICO”

muestras presentaron resultados bajos en resistividad eléctrica, pero en la velocidad de pulso presentaron buenos resultados. La escoria de hierro presento mejor resultado que la escoria de aluminio, sin superar los resultados del concreto testigo por lo que no se recomienda su uso en pavimentos de calles principales o de alto flujo vehicular.

Palabras clave: concreto, residuos, aluminio, acero, físico mecánico.

2. ABSTRACT

Today, the incorporation of fibers or metallic slags to hydraulic concretes for rigid pavements has been a challenge due to the fact that it seeks to save the costs of steel reinforcement, reduce environmental pollution and reuse these waste materials from sustainable way. Currently, waste materials such as solid waste from ironworks (iron slag), canceler (aluminum slag) are studied and used; These are added to concrete in order to improve its physical-mechanical characteristics in solid state. In this work, the preparation of the mixture was carried out using the ACI method (American Concrete Institute). Because the design is necessary to be able to evaluate its behavior before the different physical-mechanical stresses to which the concretes are exposed. Specimens of various dimensions and shapes were made in relation to the type of test to be carried out. Among the test specimens made are 15cmx30cm cylinders, cylindrical cores extracted from the 12.5cmx7cm beams, 15cmx15cmx60cm beams, which were evaluated for compression loads, bending respectively. Samples were made with 1% and 2% addition of aluminum slag and another with 1% addition of iron slag with respect to the weight of the cement, to meet ages of 7, 14, 28, 70 and 120 days. The tests carried out were direct and indirect. The direct or destructive ones are those of compression in cylinders and cylindrical cores extracted from the beams, that of bending in beams. Indirect ones include ultrasonic pulse velocity measurement and electrical resistivity measurement. The experimentation was carried out using low percentages of incorporation to analyze the possible modifications in the properties of the concrete. During the experimentation, chemical reactions were obtained in the concrete with the addition of aluminum slag reacting effervescently, creating gases, causing too much porosity in the elaborated concrete. Due to the porosity, the concrete presented low levels of resistance to compression and bending, which is why it tends to be lower than the control, having a linear behavior; In non-destructive tests, the samples showed low results in electrical resistivity, but in pulse speed they showed good results. The iron slag presented a better

“DISEÑO DE CONCRETOS MODIFICADOS CON ADICIONES DE RESIDUOS DE ACERO Y ALUMINIO. COMPORTAMIENTO FISICO MECÁNICO”

result than the aluminum slag, without exceeding the results of the witness concrete, therefore its use is not recommended on pavements of main streets or with high traffic flow.

Keywords: concrete, waste, aluminum, steel, mechanical physicist.

3. DEDICATORIAS

El siguiente trabajo está dedicado a todos mis seres queridos que me rodean y que gracias a su apoyo incondicional he logrado el objetivo de concluir una nueva etapa más en mi vida, una que, a pesar de todos mis tropiezos logre llegar a cumplir una de mis más grandes metas en la mi vida.

A mi padre, José Rosario Ramírez Chávez que hasta este día ya no me ha podido acompañar por cuestiones de la vida, de destino, por que lamentablemente le toco partir antes de darle esta satisfacción y logro de cumplir conmigo esta etapa de vida tan maravillosa más sin embargo le agradezco todo ese esfuerzo y sacrificio por verme a mi cumplir esta meta y concluir esta etapa gracias papa.

A mi madre Roselia Carranza Espinosa, por preocuparse por mí por dar todo y dejar todo por lograr conmigo llegar a la meta de ser quien yo quería ser, gracias mama por esforzarte a que yo fuera responsables de que yo haya crecido con educación y como persona profesional, siguiendo tus ejemplos, porque de ellos, aprendí a que jamás debería de darme por vencido a pesar de las adversidades y complicaciones, las palabras de mis padres siempre fueron motivadoras y alentadoras las cuales me ayudaron a desistir las complicaciones que tuve en el trascurso de mi carrera y recuerdo cuales eran sus palabras, esas palabras fueron, *“si tienes sueños lucha por ellos, jamás permitas que alguien te diga que no puedes, jamás te limites porque lo que te propongas lo vas a lograr, confía en ti, cree en ti”*.

A mis hermanos, a todos y cada uno de ellos, por acompañarme siempre en el camino de la vida y por sus buenos consejos que al final me han formado como la persona que soy, les agradezco por el apoyo que me brindaron incondicional no solo hablando de lo económico sino también por el apoyo anímicamente que a pesar de estar dispersos por cuestiones de destino nunca dejaron de animarme y de motivarme de la mejor forma que existe.

“DISEÑO DE CONCRETOS MODIFICADOS CON ADICIONES DE RESIDUOS DE ACERO Y ALUMINIO. COMPORTAMIENTO FISICO MECÁNICO”

Dedico este trabajo a mi hermana Ma. Guadalupe Ramírez Carranza que por cosas de la vida o destino a fallecido de manera prematura, pero durante su estancia en esta vida me apoyo de manera incondicional, gracias hermana de aquí hasta el cielo un beso y un afectuoso abrazo.

A todos mis amigos, mis buenos amigos que de alguna manera siempre formaron parte importante de mis experiencias en la vida con su apoyo, palabras de aliento y consejo, con respeto y cariño gracias.

Agradezco a dios y a la vida, quienes me permitieron continuar de pie con salud y sobre todo vida, gracias por darme la fortaleza y la sabiduría necesaria para poder redimirme y ser mejor cada día, gracias por la oportunidad de convertirme en la mejor versión de mí.

4. AGRADECIMIENTOS

Gracias a Dios por darme la vida, por llenarla de bendiciones, que me permiten llegar a concluir con mis metas y sueños, gracias por siempre darme esperanza y poner los medios para lograrlo, gracias por permitirme estar con los que más amo, y por rodearme de personas hermosas que me han ayudado a mi vida.

Gracias a mi padre por haberme dado la oportunidad de continuar con mi educación, sé que con tanto sacrificio, sudor y trabajo lograba darme el sustento para que yo desde un lugar de fuera y lejos de mi comunidad pudiera continuar con mis estudios, gracias por siempre apoyarme en mis decisiones y aun que hoy ya no estas sé que siempre estarás feliz de verme triunfar y siempre estarás orgulloso de mi.

Gracias a mi madre porque sé que también se esforzó demasiado en apoyarme para que yo saliera adelante y concluyera mis estudios profesionales, agradezco infinitamente todas las veces que se desveló por trabajo para que así yo pudiera continuar sin interrupciones, gracias por todos esos consejos por todas las palabras de aliento.

Agradezco a mis hermanos a todos y cada uno de ellos porque a pesar de la distancia siempre me acompañaron de cercas y siempre estuvieron conmigo en las buenas y en las malas, y por todas esas veces que sacrificaron momentos de su vida por apoyarme en todo lo que necesitaba para mis estudios, porque a pesar de todos sus problemas personales siempre estuvieron incondicional para mí, gracias por preocuparse por mi bienestar y por mi futuro.

Gracias a familiares y amigos por darme siempre una esperanza para seguir adelante y poder concluir con una etapa más de mi vida, gracias por acompañarme de cercas y por todas esas palabras de aliento que de alguna forma alimentaban mi esperanza y las ganas de continuar de pie, gracias.

Agradezco por el apoyo a todos los jóvenes de servicio social que en todos los momentos de colada de concreto estuvieron apoyándome.

“DISEÑO DE CONCRETOS MODIFICADOS CON ADICIONES DE RESIDUOS DE ACERO Y ALUMINIO. COMPORTAMIENTO FISICO MECÁNICO”

Agradezco el apoyo incondicional de mi asesor, compañero y amigo, quien durante toda la investigación me apoyo y me acompaño dándome los ánimos necesarios y los conocimientos junto con la experiencia, para concluir esta etapa de mi vida, al M. I Noel Díaz González gracias.

Agradezco al personal docente y administrativo del laboratorio de análisis de material “ing. Luis Silva Ruelas” por proporcionar y administrar todo el material necesario para la investigación.

Agradezco todo el apoyo a mis co-asesores, gracias por proporcionarme todo su conocimiento y experiencia en el área de investigación durante el transcurso de mi trabajo profesional.

5. INDICE DE CONTENIDO

Contenido

1. RESUMEN	1
2. ABSTRACT	3
3. DEDICATORIAS	5
4. AGRADECIMIENTOS	7
5. INDICE DE CONTENIDO	9
6. ÍNDICE DE TABLAS	14
7. ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	16
8. INDICE DE GRAFICAS	21
9. JUSTIFICACIÓN	22
10. OBJETIVO GENERAL	23
10.1 OBJETIVOS ESPECIFICOS	23
11. INTRODUCCION	24
12. MARCO DE REFERENCIA TEORICA	26
12.1 CEMENTO	26
<i>12.1.1 Proceso de fabricación del cemento Portland</i>	26
<i>12.1.2 Clasificación y tipos de cemento</i>	31
<i>12.1.3 Propiedades del cemento</i>	35
12.1.3.1 Propiedades Físicas	36
12.1.3.2 Propiedades Químicas	37
12.1.3.3 Propiedades Mecánicas	38

12.2 AGREGADOS PÉTREOS	39
12.2.1 Origen de los agregados utilizados	40
12.2.2 Clasificación	41
12.3 AGUA	41
12.3.1 Características del agua	42
12.3.2 El agua utilizada en la investigación	44
12.4 CONCRETO	44
12.4.1 Tipos de concreto	44
12.4.2 Uso del concreto en pavimentos rígidos	46
12.4.3 Capas de un pavimento rígido	47
12.4.4 Principales problemas de los pavimentos rígidos	48
12.4.4.1 Escalonamiento	48
12.4.4.2 Agrietamiento de esquina	49
12.4.4.3 Agrietamiento transversal y longitudinal	49
12.5 ADICIONES METÁLICAS	50
12.5.1 Fibra metálica comercial	50
12.5.2 Escoria de aluminio	51
12.5.2.1 Demanda de aluminio	51
12.5.2.2 Efectos ambientales del Aluminio	53
12.5.2 Escoria de hierro	53
12.5.2.1 Principales minas en México	54
12.5.2.2 Principales usos	55
13. EXPERIMENTACION DE LOS MATERIALES.....	56

13.1 CEMENTO	56
13.1.1 Densidad del cemento.....	56
13.1.2 Consistencia del cementante	60
13.1.3 Fraguado del cementante	64
13.2 ARENA.....	66
13.2.1 Cuarteo del agregado pétreo	66
13.2.2 Humedad superficial arenas	69
13.2.3 Humedad de absorción arenas	72
13.2.4 Densidad relativa saturada en arenas	75
13.2.5 Determinación de la masa volumétrica seca y suelta de una arena (MVSS) 77	
13.2.6 Determinación de la masa volumétrica seca y varillada de una arena (MVSV)	79
13.2.7 Granulometría en el agregado fino (arena)	81
13.3 GRAVA	87
13.3.1 Cuarteo de la grava	87
13.3.2 Humedad superficial y humedad de absorción en grava.....	90
13.3.3 Densidad de la grava	92
13.3.4 Determinación de la masa volumétrica seca y suelta de una grava (MVSS) 95	
13.3.5 Determinación de la masa volumétrica seca y varillada de una grava (MVSV)	97
13.3.6 Granulometría en el agregado grueso (grava).....	99
13.4 AGUA.....	102
13.5 FIBRA DE ALUMINIO	103

13.6	ESCORIA DE ACERO	104
13.7	PRUEBAS REALIZADAS AL CONCRETO FRESCO.	104
	13.7.1 Revenimiento	104
13.8	ELABORACIÓN Y CURADO DE ESPECÍMENES	108
	13.8.1 Cilindros	108
	13.8.2 Prismas	112
	13.8.3 Curado de los especímenes	116
13.9	PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS REALIZADAS AL CONCRETO ENDURECIDO.	117
	13.9.1 Resistividad Eléctrica	117
	13.9.2 Velocidad de Pulso Ultrasónico	121
13.10	PRUEBAS DESTRUCTIVAS REALIZADAS AL CONCRETO ENDURECIDO.	125
	13.10.1 Resistencia a compresión simple en especímenes cilíndricos	125
	13.10.2 Resistencia a Flexión en especímenes prismáticos	129
14	RESULTADOS Y DISCUSIONES	132
14.1	CEMENTO	132
14.2	ARENA.....	133
14.3	GRAVA	135
14.4	DISEÑO DE LA MEZCLA DE CONCRETO POR EL MÉTODO ACI (AMERICAN CONCRETE INSTITUTE).....	136
14.5	PRUEBAS REALIZADAS AL CONCRETO FRESCO	142
	14.5.1 Revenimiento	142

“DISEÑO DE CONCRETOS MODIFICADOS CON ADICIONES DE RESIDUOS DE ACERO Y ALUMINIO. COMPORTAMIENTO FISICO MECÁNICO”

14.6 PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS REALIZADAS AL CONCRETO ENDURECIDO	143
<i>14.6.1 Resistividad eléctrica</i>	143
<i>14.6.2 Velocidad de pulso ultrasónico (VPU)</i>	146
14.7 PRUEBAS DESTRUCTIVAS REALIZADAS AL CONCRETO ENDURECIDO	149
<i>14.7.1 Resistencia a la compresión simple</i>	149
<i>14.7.2 Resistencia a Flexión en especímenes prismáticos</i>	152
15 CONCLUSIONES	154
REFERENCIAS	157

6. ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1 Principales componentes en el cemento Portland. [A.M. Neville y J.J. Brooks, 2010].</i>	27
<i>Tabla 2 Clasificación del cemento por su uso (ASTM C150)</i>	33
<i>Tabla 3 Tipos de Cementos</i>	33
<i>Tabla 4 Clase resistente mecánica a la compresión</i>	34
<i>Tabla 5 Características especiales</i>	34
<i>Tabla 6 Componentes químicos del cemento (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004).</i>	37
<i>Tabla 7 Resultados del análisis del agua utilizada para la caracterización del cemento y la elaboración de los especímenes de concreto (NMX-C-122-ONNCCE, 2014).</i>	43
<i>Tabla 8 Características de la fibra de acero para concreto comercial.</i>	51
<i>Tabla 9 Registro del análisis de granulometría.</i>	85
<i>Tabla 10 Límites en porcentajes con los que debe de cumplir una muestra de arena para fines de control y calidad.</i>	86
<i>Tabla 11 Tipos de absorción en gravas según la norma mexicana.</i>	92
<i>Tabla 12 Captación de los datos obtenidos en mvss de gravas.</i>	97
<i>Tabla 13 Captación de los datos obtenidos en mvsc de gravas.</i>	99
<i>Tabla 14 Contenido de la granulometría de la grava.</i>	102
<i>Tabla 15 Valores nominales del revenimiento y sus tolerancias.</i>	108
<i>Tabla 16 Especificaciones de tamaños, tipos de varillado y número de capas.</i>	112
<i>Tabla 17 Tipos de diámetro de varillas y número de penetraciones por capa.</i>	112
<i>Tabla 18 Especificaciones de tamaños, tipos de varillado y número de capas.</i>	115
<i>Tabla 19 Tipos de diámetro de varillas y número de penetraciones por capa.</i>	115
<i>Tabla 20 Criterios de evaluación según la norma mexicana (NMX-C-514-ONNCCE, 2016).</i>	120
<i>Tabla 21 Criterios de evaluación según la norma internacional (CYTED-DURAR, 1998).</i>	120
<i>Tabla 22 Criterios de evaluación según la norma mexicana (NMX-C-514-ONNCCE, 2016).</i>	124
<i>Tabla 23 Criterios de evaluación según la norma mexicana (NMX-C-514-ONNCCE, 2016).</i>	124
<i>Tabla 24 Velocidad de la carga según su forma y tamaño (NMX-C-083-ONNCCE, 2014).</i>	128
<i>Tabla 25 Tolerancias según la norma, edades a las que se deben de probar.</i>	128
<i>Tabla 26 Densidad del cemento (MNX-C-152-ONNCE., (2014)).</i>	132
<i>Tabla 27 Consistencia normal del cemento (NMX-C-057-ONCCE, 2015).</i>	133
<i>Tabla 28 Tiempos reales de fraguado del cemento (NMX-C-177-ONNCCE, 1997).</i>	133
<i>Tabla 29 Resultados de la caracterización completa en la arena.</i>	134
<i>Tabla 30 Resultados de la caracterización completa de la grava.</i>	135

*“DISEÑO DE CONCRETOS MODIFICADOS CON ADICIONES DE RESIDUOS DE
ACERO Y ALUMINIO. COMPORTAMIENTO FISICO MECÁNICO”*

<i>Tabla 31 Desviación estándar, cuando se tienen datos de las variables.....</i>	<i>136</i>
<i>Tabla 32 Desviación estándar, cuando no se tienen los datos de las variables.....</i>	<i>136</i>
<i>Tabla 33 Requisitos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos nominales de agregado.</i>	<i>137</i>
<i>Tabla 34 Correspondencia entre la relación agua/cemento y la resistencia a la compresión del concreto.</i>	<i>138</i>
<i>Tabla 35 Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto.....</i>	<i>139</i>
<i>Tabla 36 Cantidades de los materiales para 1 m³ de concreto.....</i>	<i>140</i>
<i>Tabla 37 Corrección por humedad y absorción.....</i>	<i>140</i>
<i>Tabla 38 Cantidades corregidas por humedad y absorción para 1m³ de concreto.....</i>	<i>141</i>
<i>Tabla 39 Resultados de resistividad eléctrica de vigas y cilindros.....</i>	<i>144</i>
<i>Tabla 40 Criterios de evaluación según la norma mexicana (NMX-C-514-ONNCCE, 2016).....</i>	<i>144</i>
<i>Tabla 41 Criterios de evaluación según la norma internacional (CYTED-DURAR, 1998).....</i>	<i>145</i>
<i>Tabla 42 Criterios de evaluación según la norma mexicana (NMX-C-275-ONNCCE, 2004).....</i>	<i>147</i>
<i>Tabla 43 Criterios de evaluación según la norma mexicana (CYTED-DURAR, 1998).....</i>	<i>147</i>
<i>Tabla 44 Resultados a Compresión de Cilindros de Concreto.</i>	<i>149</i>
<i>Tabla 45 Resultados a compresión de cilindros de concreto más aluminio al 1.0%.....</i>	<i>150</i>
<i>Tabla 46 Resultados a compresión de cilindros de concreto más aluminio al 2.0%.....</i>	<i>150</i>
<i>Tabla 47 Resultados a compresión de cilindros de concreto más hierro (acero) al 1.0%.....</i>	<i>151</i>
<i>Tabla 48 Tolerancias según la norma (NMX-C-083-ONNCCE, 2014), edades a las que se deben de probar.</i>	<i>151</i>
<i>Tabla 49 Resultados a Flexión en vigas concreto convencional y concreto con las diferentes adiciones de escorias metálicas.</i>	<i>152</i>
<i>Tabla 50 Tolerancias establecidos por Cemex.....</i>	<i>153</i>

7. ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1 Procesos de fabricación del cemento portland.....</i>	<i>30</i>
<i>Ilustración 2 Agregados pétreos con diferentes características de color y textura</i>	<i>39</i>
<i>Ilustración 3 Capas del pavimento rígido.....</i>	<i>47</i>
<i>Ilustración 4 Falla de escalonamiento en pavimento rígido.....</i>	<i>48</i>
<i>Ilustración 5 Falla de agrietamiento de esquina en pavimentos rígidos.....</i>	<i>49</i>
<i>Ilustración 6 Falla de agrietamientos transversales y longitudinales en pavimentos rígidos.....</i>	<i>49</i>
<i>Ilustración 7 Elementos que se fabrican con aluminio.....</i>	<i>52</i>
<i>Ilustración 8 Estabilización del Keroseno (Fotografía Víctor Ramírez).....</i>	<i>57</i>
<i>Ilustración 9 Toma de la primer lectura Li (Fotografía Víctor Ramírez).</i>	<i>58</i>
<i>Ilustración 10 Se agrega el cemento al matraz de chatelier para la toma de la lectura final (Fotografía Víctor Ramírez).....</i>	<i>58</i>
<i>Ilustración 11 Se toma la lectura final Lf para proceder a definir la densidad del cemento (Fotografía de Víctor Ramírez).....</i>	<i>59</i>
<i>Ilustración 12 Determinamos el peso de muestra representativa del cemento (Fotografía Víctor Ramírez).</i>	<i>60</i>
<i>Ilustración 13 Vertido del agua al cemento (Fotografía Víctor Ramírez).....</i>	<i>61</i>
<i>Ilustración 14 Amasado del cemento con el agua hasta su homogenización (Fotografía Víctor Ramírez).</i>	<i>62</i>
<i>Ilustración 15 Formación de la esfera de cemento (Fotografía Víctor Ramírez).....</i>	<i>62</i>
<i>Ilustración 16 Se hace el llenado del cono troncocónico con la pasta de cemento (Fotografía Víctor Ramírez).</i>	<i>63</i>
<i>Ilustración 17 Colocación del cono lleno de pasta de cemento al aparato e Vicat (Fotografía Víctor Ramírez).</i>	<i>63</i>
<i>Ilustración 18 Lectura final, medición de la penetración de la aguja del aparato Vicat (Fotografía Víctor Ramírez).</i>	<i>64</i>
<i>Ilustración 19 Aparato de Gillmore.....</i>	<i>66</i>
<i>Ilustración 20 Homogenización del agregado fino "Arena" (Fotografía Víctor Ramírez).</i>	<i>67</i>
<i>Ilustración 21 Aplanado de la forma cónica del material (Fotografía Víctor Ramírez).....</i>	<i>67</i>
<i>Ilustración 22 Cuarteo del agregado fino "Arena" material (Fotografía Víctor Ramírez).....</i>	<i>68</i>
<i>Ilustración 23 División de la muestra de arena por medios del cuarteador mecánico (Fotografía Víctor Ramírez).</i>	<i>68</i>
<i>Ilustración 24 Muestra de arena saturándose según lo establecido (Fotografía Víctor Ramírez).....</i>	<i>70</i>

**“DISEÑO DE CONCRETOS MODIFICADOS CON ADICIONES DE RESIDUOS DE
ACERO Y ALUMINIO. COMPORTAMIENTO FISICO MECÁNICO”**

<i>Ilustración 25 Secado superficial de la arena (Fotografía Víctor Ramírez).</i>	70
<i>Ilustración 26 Llenado del cono tronco cónico para corroborar el secado superficial de la arena (Fotografía Víctor Ramírez).</i>	71
<i>Ilustración 27 Etapa de compactación final para corroborar la humedad superficial de la arena (Fotografía Víctor Ramírez).</i>	71
<i>Ilustración 28 Revisión final del secado superficial de la arena, si la muestra se disgrega esta seca superficial (Fotografía Víctor Ramírez).</i>	72
<i>Ilustración 29 Dimensiones del molde y forma que de adoptar la muestra al momento de retirar el molde, (NMX-C-165-ONNCCE, 2014).</i>	72
<i>Ilustración 30 Obtención del peso de la muestra representativa de arena (Fotografía Víctor Ramírez).</i>	73
<i>Ilustración 31 Secado de la muestra de arena (Fotografía Víctor Ramírez).</i>	73
<i>Ilustración 32 Comprobación de que la muestra de arena ya no contiene humedad (Fotografía Víctor Ramírez).</i>	74
<i>Ilustración 33 Determinación de la masa del Matraz de chadman (Fotografía Víctor Ramírez).</i>	75
<i>Ilustración 34 Se introduce la arena dentro del matraz de chadman (Fotografía Víctor Ramírez).</i>	76
<i>Ilustración 35 Demostración del matraz de chadman lleno hasta el aforo con la muestra de arena (Fotografía Víctor Ramírez).</i>	76
<i>Ilustración 36 Llenado del bote metálico para la determinación de la masa volumétrica seca y suelta (Fotografía Víctor Ramírez).</i>	78
<i>Ilustración 37 Extracción del exceso de material de arena “enrasado” (Fotografía Víctor Ramírez).</i>	78
<i>Ilustración 38 Llenado y varillado de la muestra de arena para la determinación de la masa volumétrica seca y compactada (Fotografía Víctor Ramírez).</i>	80
<i>Ilustración 39 Extracción del exceso de material de arena "Enrasado" (Fotografía Víctor Ramírez).</i>	81
<i>Ilustración 40 Acomodo de las mallas de mayor a menor (Fotografía Víctor Ramírez).</i>	83
<i>Ilustración 41 Tamizado de la muestra de arena (Fotografía Víctor Ramírez).</i>	83
<i>Ilustración 42 Demostración de la separación de las partículas que conforman una muestra de arena (Fotografía Víctor Ramírez).</i>	84
<i>Ilustración 43 Homogenización del agregado grueso "grava" (Fotografía Víctor Ramírez).</i>	88
<i>Ilustración 44 Aplanado del material hasta obtener un diámetro y espesor uniforme (Fotografía Víctor Ramírez).</i>	88
<i>Ilustración 45 Cuarteo del agregado grueso "Grava" material (Fotografía Víctor Ramírez).</i>	89
<i>Ilustración 46 Ilustración de como se hace el cuarteo por cuarteador mecánico.</i>	89
<i>Ilustración 47 Grava retenida en la malla 3/8" (Fotografía Víctor Ramírez).</i>	91

*“DISEÑO DE CONCRETOS MODIFICADOS CON ADICIONES DE RESIDUOS DE
ACERO Y ALUMINIO. COMPORTAMIENTO FISICO MECÁNICO”*

<i>Ilustración 48 Secado superficial de la grava (Fotografía Víctor Ramírez).</i>	<i>91</i>
<i>Ilustración 49 Eliminación del agua retenida en la grava por medio de una parrilla de gas (Fotografía Víctor Ramírez).</i>	<i>91</i>
<i>Ilustración 50 Grava retenida en la malla 3/8" (Fotografía Víctor Ramírez).</i>	<i>93</i>
<i>Ilustración 51 Secado superficial y toma de los 300 gr de la muestra de grava (Fotografía Víctor Ramírez).</i>	<i>93</i>
<i>Ilustración 52 Aforo del picnómetro tipo sifón (Fotografía Víctor Ramírez).</i>	<i>94</i>
<i>Ilustración 53 Cuarteo de grava por el método de palas (Fotografía Víctor Ramírez).</i>	<i>95</i>
<i>Ilustración 54 Llenado de la cubeta metálica por la grava para determinar mvss (Fotografía Víctor Ramírez).</i>	<i>96</i>
<i>Ilustración 55 Enrazado de la cubeta metálica (Fotografía Víctor Ramírez).</i>	<i>96</i>
<i>Ilustración 56 Cuarteo de gravas por el método de palas (Fotografía Víctor Ramírez).</i>	<i>98</i>
<i>Ilustración 57 Llenado del bote metálico para la determinación de la mvsc (Fotografía Víctor Ramírez).</i>	<i>98</i>
<i>Ilustración 58 La muestra obtenida de mvss se pesa para hacer su granulometría (Fotografía Víctor Ramírez).</i>	<i>100</i>
<i>Ilustración 59 Cribado de la grava por las diferentes mallas (Fotografía Víctor Ramírez).</i>	<i>101</i>
<i>Ilustración 60 Escoria de aluminio (Fotografía Víctor Ramírez).</i>	<i>103</i>
<i>Ilustración 61 Procedimiento de criba de aluminio (Fotografía Víctor Ramírez).</i>	<i>103</i>
<i>Ilustración 62 Procedimiento de criba de la fibra de acero. (Fotografía Víctor Ramírez).</i>	<i>104</i>
<i>Ilustración 63 Los materiales de la prueba se humedecen (Fotografía Víctor Ramírez).</i>	<i>105</i>
<i>Ilustración 64 Llenado del molde troco cónico de concreto para el ensaye de revenimiento (Fotografía Víctor Ramírez).</i>	<i>106</i>
<i>Ilustración 65 Varillado del concreto en ensaye de revenimiento (Fotografía Víctor Ramírez).</i>	<i>106</i>
<i>Ilustración 66 Enrasado, acabado final para corroborar el revenimiento de la mezcla de concreto Varillado del concreto en ensaye de revenimiento (Fotografía Víctor Ramírez).</i>	<i>107</i>
<i>Ilustración 67 Medición del revenimiento de la mezcla de concreto Varillado del concreto en ensaye de revenimiento (Fotografía Víctor Ramírez).</i>	<i>108</i>
<i>Ilustración 68 Llenado y enrasado del cilindro de concreto (Fotografía Víctor Ramírez).</i>	<i>109</i>
<i>Ilustración 69 Vibración con el mazo de goma (Fotografía Víctor Ramírez).</i>	<i>110</i>
<i>Ilustración 70 Colocación de bolsa de plástico para que el concreto no pierda humedad excesiva (Fotografía Víctor Ramírez).</i>	<i>111</i>
<i>Ilustración 71 Llenado de las capas de concreto en vigas (Fotografía Víctor Ramírez).</i>	<i>113</i>

*“DISEÑO DE CONCRETOS MODIFICADOS CON ADICIONES DE RESIDUOS DE
ACERO Y ALUMINIO. COMPORTAMIENTO FISICO MECÁNICO”*

<i>Ilustración 72 Varillado de las capas de concreto en vigas (Fotografía Víctor Ramírez).</i>	<i>114</i>
<i>Ilustración 73 Nivel de llenado de la última capa de concreto en vigas (Fotografía Víctor Ramírez).</i>	<i>114</i>
<i>Ilustración 74 Enrasado, acabado final de la viga de concreto (Fotografía Víctor Ramírez).</i>	<i>115</i>
<i>Ilustración 75 Preparación de las muestras de concreto para su curado (Fotografía de Víctor Ramírez).</i>	<i>116</i>
<i>Ilustración 76 curado por inmersión de las muestras de concreto (Fotografía de Víctor Ramírez).</i>	<i>117</i>
<i>Ilustración 77 Resistómetro de marca "Nilson electrical" (Fotografía de Víctor Ramírez).</i>	<i>118</i>
<i>Ilustración 78 Resistómetro conectado (Fotografía de Víctor Ramírez).</i>	<i>119</i>
<i>Ilustración 79 Preparación de la muestra de concreto para hacer la lectura de resistividad (Fotografía de Víctor Ramírez).</i>	<i>119</i>
<i>Ilustración 80 Toma de la lectura de resistividad con el resistómetro (Fotografía de Víctor Ramírez).</i>	<i>120</i>
<i>Ilustración 81 Calibración del aparato de velocidad de pulso ultra sónico (Fotografía de Víctor Ramírez).</i>	<i>122</i>
<i>Ilustración 82 Extracción de los especímenes de la pila de curado (Fotografía de Víctor Ramírez).</i>	<i>122</i>
<i>Ilustración 83 Aplicación del agente de acoplamiento para medir la velocidad de pulso ultra sónico (Fotografía de Víctor Ramírez).</i>	<i>123</i>
<i>Ilustración 84 Toma de la lectura de la velocidad de pulso ultra sónico (Fotografía de Víctor Ramírez).</i>	<i>123</i>
<i>Ilustración 85 Extracción de los especímenes cilíndricos de la pila de curado (Fotografía de Víctor Ramírez).</i>	<i>125</i>
<i>Ilustración 86 Cabeceado del espécimen cilíndrico de concreto (Fotografía de Víctor Ramírez).</i>	<i>126</i>
<i>Ilustración 87 Colocación del azufre en el molde metálico de cabeceo (Fotografía de Víctor Ramírez).</i>	<i>126</i>
<i>Ilustración 88 Aplicación de la carga a compresión en el espécimen cilíndrico (Fotografía de Víctor Ramírez).</i>	<i>127</i>
<i>Ilustración 89 Falla del espécimen cilíndrico (Fotografía de Víctor Ramírez).</i>	<i>127</i>
<i>Ilustración 90 Extracción de las vigas de concreto de la pila de curado (Fotografía de Víctor Ramírez).</i>	<i>130</i>
<i>Ilustración 91 Marcación de las distancias de los apoyos en (Fotografía de Víctor Ramírez).</i>	<i>130</i>
<i>Ilustración 92 Marcación de los tercios medios en las vigas de concreto para determinar la flexión (Fotografía de Víctor Ramírez).</i>	<i>130</i>
<i>Ilustración 93 Colocación de los apoyos y aditamentos para la prueba de flexión (Fotografía de Víctor Ramírez).</i>	<i>131</i>

“DISEÑO DE CONCRETOS MODIFICADOS CON ADICIONES DE RESIDUOS DE ACERO Y ALUMINIO. COMPORTAMIENTO FISICO MECÁNICO”

Ilustración 94 Aplicación de la carga y falla de la viga a flexión (Fotografía de Víctor Ramírez). 131

Ilustración 95 Comprobación del revenimiento en la mezcla de concreto convencional (Fotografía de Víctor Ramírez)..... 142

Ilustración 96 Comprobación del revenimiento del concreto con adición de escoria de aluminio (Fotografía de Víctor Ramírez). 143

Ilustración 97 Comprobación del revenimiento de la mezcla de concreto con adición de escoria e acero (hierro), (Fotografía de Víctor Ramírez). 143

Ilustración 98 Reacción del concreto con la adición de escoria de aluminio. 154

8. INDICE DE GRAFICAS

<i>Gráfico 1</i> Limites granulométricos para arenas según su uso.....	86
<i>Gráfico 2</i> Curva granulométrica de la arena.....	134
<i>Gráfico 3</i> Curva granulométrica de la grava.....	135
<i>Gráfico 4</i> Resistividad eléctrica de los Cilindros a diferentes edades.	145
<i>Gráfico 5</i> Grafico de la resistividad eléctrica de los Vigas a diferentes edades.	145
<i>Gráfico 6</i> Grafica de VPU en Cilindros a diferentes edades.....	148
<i>Gráfico 7</i> Grafica de VPU en Vigas a diferentes edades.....	148
<i>Gráfico 8</i> Resistencia a compresión en Cilindras.	152
<i>Gráfico 9</i> Resistencia a la flexión en Vigas.....	153

9. JUSTIFICACIÓN

En el campo de la Ingeniería Civil el concreto es uno de los materiales más utilizados para la construcción, se produce mediante la mezcla de tres componentes esenciales: cemento, agua y agregados pétreos; el cual tiene como función resistir los esfuerzos que se puedan presentar en las diferentes edificaciones y construcciones.

La incorporación de fibras de diferentes materiales es una de las vías utilizadas para mejorar las características del concreto con lo cual se busca aumentar la resistencia y optimizar sus propiedades para mejorar la capacidad a la compresión y tensión del concreto.

El objetivo principal del proyecto de investigación fue mejorar las propiedades físico-mecánicas del concreto convencional sin acero de refuerzo, utilizando escoria de hierro y aluminio como adición para incrementar el módulo de ruptura y pueda ser usado en pavimentaciones de paso vehicular.

Actualmente, el diseño de mezclas de concreto con acero de refuerzo es muy elevado. La necesidad de obtener concretos con mejores propiedades a menor costo de producción dio paso a proponer el tema de tesis y trabajar con materiales que son considerados desechos o residuos. El uso reciclado de este tipo de materiales tiene múltiples beneficios como: una fácil obtención, costo es reducido y el retiro de este de basureros ayuda a reducir la contaminación generada por su producción y almacenamiento.

En la actualidad existen diferentes tipos de diseños de mezclas de concretos con acero de refuerzo para mejorar las capacidades de cargas a flexión que también mejoran su ductilidad convirtiéndolo en un concreto óptimo para carreteras de alto flujo vehicular como lo son las auto pistas y avenidas principales, sin embargo estos diseños junto con el empleo del concreto con acero de refuerzo son demasiado costosos por ello se propuso como tema de investigación experimentar con materiales de residuo para el

aprovechamiento de su reciclaje que puedan generar mejoras en el concreto y reduzca su costo de fabricación.

10.OBJETIVO GENERAL

Diseñar una mezcla de concreto reforzado adicionando porcentajes de residuos de escoria de hierro y aluminio para mejorar las propiedades físicas y mecánicas.

Contribuir en la disminución del impacto ambiental por los desechos sólidos, mediante el reciclaje de las escorias de aluminio y hierro.

10.1 OBJETIVOS ESPECIFICOS

Elaborar mezclas de concreto bajo las normas ACI con adición de porcentajes de escoria de aluminio (1 y 2%) y hierro (1%).

Obtener probetas con las siguientes dimensiones: cilindros de 15cmx30cm, núcleos cilíndricos extraídos de las vigas de 12.5cmx7cm, vigas de 15cmx15cmx60cm para las diferentes caracterizaciones físicas y mecánicas.

Caracterizar las muestras de concreto y las adicionadas con los diferentes porcentajes de escoria de hierro y aluminio por las diferentes pruebas directas e indirectas.

Analizar y comparar los diferentes resultados obtenidos de las pruebas físicas y mecánicas.

11.INTRODUCCION

Desde comienzos de la civilización la necesidad de resguardarse de las inclemencias del tiempo y de apropiarse del espacio dio inicio a la construcción de espacios habitables. Los egipcios fueron la primera civilización en los años 2700 y 2500 A.C que construyeron templos, y monumentos con roca labrada utilizando todo lo que estuviera a su alcance, como animales grandes (elefantes) para trasladar los bloques enormes de roca y mano de obra proveniente de pueblos esclavizados.

Más adelante, la civilización romana, los cuales fueron grandes constructores dieron origen a la ingeniería civil creando calzadas, acueductos, puertos, puentes, presas y alcantarillados, ayudando a mejorar la calidad de vida de sus comunidades. A lo largo de la historia, los seres humanos han evolucionado y con ello la metodología de la construcción y la ingeniería. (Hernán, 1974)

Desde el siglo XVI, bajo dominio español, comenzaron a construirse caminos para bestias y carretas en el territorio de lo que ahora es México. En un principio, los conquistadores mejoraron las sendas o veredas indígenas, ampliándolas y consolidándolas, puesto que habían sido trazadas para el uso exclusivo de peatones. Con la colonización de nuevos espacios y el acicate de las riquezas metálicas se construyeron otras rutas que penetraban en los vastos dominios de los indios nómadas. Tal fue el caso de la "carretera de la plata" que se extendía hacia el norte, hasta Zacatecas y sus minerales recién descubiertos en la Bufa. (Hernán, 1974)

Se ha estimado que, a fines del periodo colonial, formaban el sistema caminero del país 55 rutas carreteras y 105 de herradura. La longitud total que se le atribuye a esa red es de 27 325 km, divididos en 19·720 km, correspondientes a los caminos que sólo permitían el paso de bestias y peatones, y 7 605 km de los que admitían el trámite rodado. Tales cifras, muestran un conjunto impresionante de vías terrestres de comunicación. (Hernán, 1974)

“DISEÑO DE CONCRETOS MODIFICADOS CON ADICIONES DE RESIDUOS DE ACERO Y ALUMINIO. COMPORTAMIENTO FÍSICO MECÁNICO”

Desde entonces todo avanzó muy rápido y, para septiembre de 1926, se inauguró la primera carretera de México, la cual iba del entonces Distrito Federal a la ciudad de Puebla, con una longitud de 120 kilómetros, esta fue elaborada con pavimentación flexible. La construcción de vialidades de concreto se comenzó a realizar a mediados del siglo XX entre los años 1970 y 1982, posteriormente, se comenzó con la investigación de la incorporación de fibras en el concreto hidráulico. (Hernán, 1974)

Actualmente, la incorporación de fibras y otros materiales en concretos hidráulicos son cada día más comunes en México y se usan con la finalidad de mejorar las características físico-mecánicas del concreto. El uso de estas fibras puede disminuir considerablemente el costo del concreto hidráulico reforzado con la incorporación de fibras metálicas a diferencia de la utilización de mayas electro soldadas.

En este trabajo de investigación se incorporó residuos sólidos comunes en el país, la idea principal es mejorar las propiedades físicas y mecánicas del concreto, a par de ello ayudar en la reducción de residuos provenientes de trabajos con aluminio y herrería para reducir los impactos ambientales generados por estos materiales.

Se propuso un porcentaje de adición de escoria de hierro, así como de aluminio con respecto al peso del cemento buscando el mejoramiento del comportamiento mecánico del concreto para hacer un análisis posterior de durabilidad con la finalidad de la implementación y hacer sustentable los residuos sólidos en las obras civiles a futuro.

12. MARCO DE REFERENCIA TEORICA

12.1 CEMENTO

Los cementos portland son cementos hidráulicos compuestos principalmente de silicatos de calcio. Los cementos hidráulicos fraguan y endurecen por la reacción química con el agua, durante la reacción llamada hidratación, el cemento se combina con el agua para formar una masa similar a una piedra, llamada pasta. Cuando se adiciona la pasta (cemento y agua) o los agregados (arena y grava, piedra triturada, piedra machacada, pedrejón u otro material granular), la pasta actúa como un adhesivo y une a los agregados para formar el concreto, el material de construcción más versátil y más usado en el mundo antes llamado hormigón. (Neville A. M. y Brooks, 2010)

Probablemente los antiguos romanos fueron los primeros que utilizaron el concreta palabra de origen latín basados en cemento hidráulico, un material que se endurece con el agua; esta propiedad y el hecho de no sufrir cambio químico por la acción del agua en su vida posterior han contribuido a la difusión del empleo del concreto como material de construcción. El cemento romano cayó en desuso y no fue hasta 1824 cuando el cemento moderno, conocido como cemento Portland, fue patentado por Joseph Aspdin, un constructor de Leeds. (Neville A. M. y Brooks, 2010)

12.1.1 Proceso de fabricación del cemento Portland

El cemento Portland se produce por la pulverización del clínker, el cual consiste principalmente en silicatos de calcio hidráulicos, también contiene algunos aluminatos de calcio y ferroaluminatos de calcio y una o más formas de sulfato de calcio (yeso), se muele conjuntamente con el clínker para la fabricación del producto final. Los materiales utilizados en la fabricación del cemento Portland deben contener cantidades apropiadas de los compuestos de calcio, sílice, alúmina y hierro (Neville A. M. y Brooks, 2010).

“DISEÑO DE CONCRETOS MODIFICADOS CON ADICIONES DE RESIDUOS DE ACERO Y ALUMINIO. COMPORTAMIENTO FÍSICO MECÁNICO”

Tabla 1 Principales componentes en el cemento Portland. [A.M. Neville y J.J. Brooks, 2010].

Nombre del componente	Composición de óxido	Abreviación
Silicato Tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_3S
Silicato Bicálcico	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_2S
Aluminio Tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A
Alumino ferrato	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF

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

En el proceso húmedo, cuando se emplea marga, se la tritura finamente y se la dispersa en agua en un molino de lavado, el cual es un pozo circular con brazos revolventes radiales con rastrillos, que rompen los aglomerados de materias sólidas. La arcilla también se tritura y se mezcla con agua, generalmente en un molino de lavado semejante al anterior. En seguida se bombean las dos mezclas, de forma tal que se mezclan en proporciones determinadas y pasan a través de una serie de cribas. La lechada que resulta de este proceso fluye a estanques de almacenamiento. Si se emplea caliza, ésta debe barrenarse, triturarse generalmente en dos trituradoras, una más pequeña que la otra, y luego depositarse en un molino de bolas, con la arcilla dispersa en agua. Allí se continúa el molido de la caliza hasta lograr la finura de harina, y la lechada resultante se bombea a estanques de almacenamiento. De aquí en adelante, el proceso es el mismo, sin tomar en cuenta la naturaleza original de las materias primas.

La lechada es un líquido de consistencia cremosa, con un contenido de agua entre 35 y 50%, y solo una pequeña fracción del material, alrededor del 2%, es mayor que la abertura que pasa el tamiz de $90\mu\text{m}$ (ASTM-C170). Para su almacenamiento generalmente se

guarda la lechada en varios tanques de almacenamiento, la sedimentación de los sólidos suspendidos se impide mediante agitación mecánica o por burbujeo de aire comprimido. El contenido de cal de la lechada lo determina la proporción de materiales calcáreos y arcillosos originales. Para obtener la composición química requerida, puede efectuarse un ajuste final mezclando lechadas de diferentes tanques de almacenamiento, utilizando en la mayoría de las veces un sistema de tanques de mezclado. De manera contraria y ocasional, existe la planta más nórdica del mundo, en Noruega, la materia prima es una roca de composición tal que solo se tritura y no requiere ninguna combinación (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004).

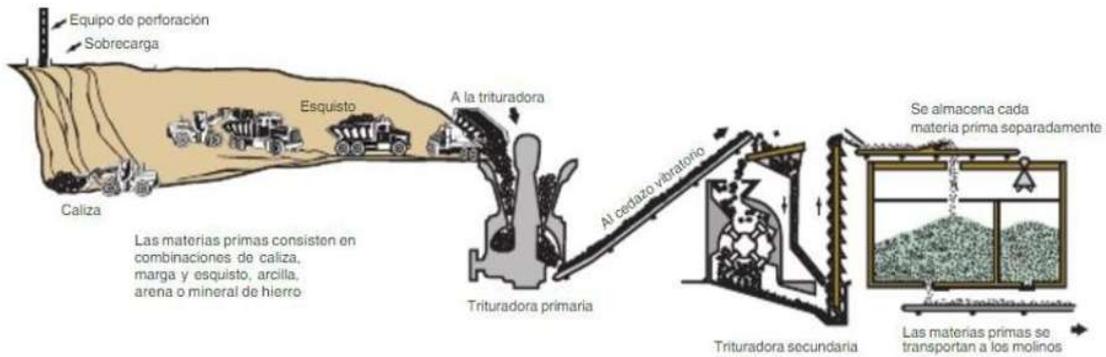
La lechada con el contenido de cal deseado pasa a un horno rotatorio, que consta de un cilindro de acero de gran tamaño, recubierto de material refractario, con diámetro interior hasta de 8m y una longitud que a veces alcanza 230m, el cual gira lentamente alrededor de su eje, levemente inclinado hacia la 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 1,450 a 1,500°C. El carbón, que no debe contener demasiada ceniza, merece especial mención, puesto que se consumen habitualmente 220kg de carbón para la fabricación de una tonelada de cemento.

Cuando la lechada desciende dentro del horno, encuentra progresivamente mayores temperaturas, eliminando el agua y liberando el contenido de 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.

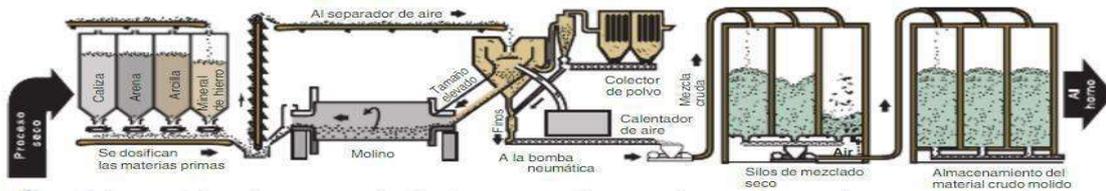
La masa que resulta de esta combinación se funde en esferas con diámetros que varían entre 3 y 25mm, conocidas como clínker, este cae dentro de enfriadores de diferentes tiempos que a menudo favorecen un intercambio de calor con el aire que luego se utiliza para la combustión del carbón pulverizado. El horno tiene que operar continuamente a

una temperatura de 1,650 °C, asegurando un régimen constante, y con ello la uniformidad del clínker, y también para reducir el deterioro del forro refractario, se trituran las esferas, para después secarlas y reducir su tamaño a un polvo fino. El polvo seco o grano molino, se bombea al silo de mezclado y se ajusta en las proporciones de los materiales que se requieren para la manufactura del cemento. Para obtener una mezcla uniforme, se mezcla el grano, generalmente bombeando por turnos aire comprimido, induciendo un movimiento ascendente del polvo y reduciendo su densidad aparente. El material aireado en todos los cuadrantes del silo se comporta como un líquido, resultando una mezcla uniforme (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004).

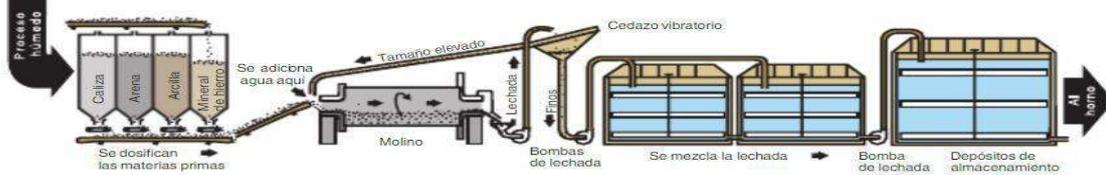
“DISEÑO DE CONCRETOS MODIFICADOS CON ADICIONES DE RESIDUOS DE ACERO Y ALUMINIO. COMPORTAMIENTO FÍSICO MECÁNICO”



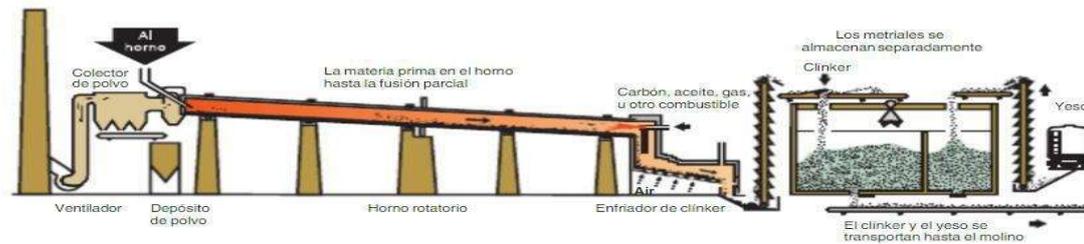
1. La roca se reduce primero hasta un tamaño de 125 mm (5 pulg.) y después a un tamaño de 20 mm (3/4 pulg.) para entonces se almacenar.



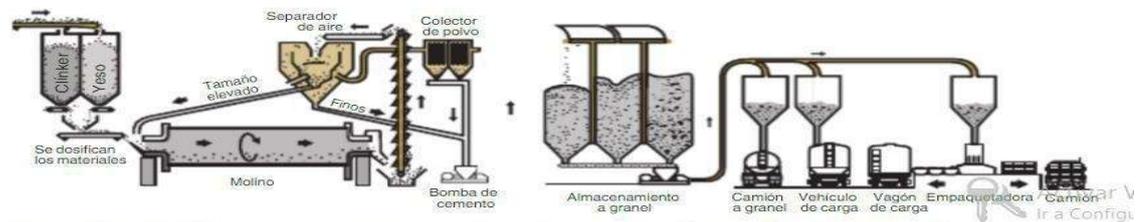
2. Las materias primas se muelen hasta que se vuelvan en polvo y se las mezcla.



2. Las materias primas se muelen, se mezclan con el agua para formar una lechada y se mezclan



3. La calcinación transforma químicamente las materias primas en el clínker de cemento.



4. Se muele el clínker junto con el yeso para convertirlos en cemento portland y se lo despacha.

Ilustración 1 Procesos de fabricación del cemento portland

Sea cual sea el proceso de producción, se requerirá una mezcla íntima y uniforme de las materias primas, ya que una parte de las reacciones dentro del horno ocurren por difusión en materiales sólidos. Ahora bien, a la salida del horno, siendo de igual manera cualquier tipo de proceso, el clínker se enfría obteniendo características particulares de un color negro, brillante y duro, para posteriormente mezclarlo con yeso para evitar un fraguado relámpago del cemento.

Posteriormente todo el material obtenido en sólido se pasa por un molino para ser triturado hasta pulverizarlo, cuando esto sucede pasa por una sección de separadores removiendo las partículas finas para el silo de almacenaje con una corriente de aire, mientras que las partículas gruesas se pasan una vez más a través del molino. El proceso de trituración del cemento sólido de circuito cerrado evita la producción de una cantidad grande de material excesivamente fino o de una cantidad pequeña de material demasiado grueso. El rendimiento de un molino de bolas se puede mejorar con la molienda previa del clínker en una trituradora de impacto horizontal.

Cuando el cemento se ha molido satisfactoriamente, teniendo como un tamaño menor de 10 micras entonces se encontrará listo para el transporte a granel. Existen otros tipos de cemento que siempre se empaquetan en sacos o tambores, los cuales son el cemento blanco, hidrofóbico, expansivo, de fraguado controlado, para pozo de petróleo y de alta alúmina. En el mundo los sacos de 25 kg se están volviendo populares (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004).

12.1.2 Clasificación y tipos de cemento

Debido a las necesidades particulares de cada construcción (la zona de construcción en lo particular) existen diversos tipos de cemento que deberán cumplir ciertas características físico-químicas, existen dos clasificaciones en la actualidad en relación a dos normas diferentes la primera es americana (ASTM C150) y la segunda es mexicana (NMX-C-414-ONNCCE, 2014)., en su última actualización.

Detallando de manera general la función de cada uno de los 5 tipos de cemento tenemos las siguientes especificaciones (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004).

Tipo I. Es un cemento para uso general, apropiado para todos los usos donde las propiedades especiales de otros cementos no sean necesarias. Sus empleos en concreto incluyen pavimentos, pisos, edificios en concreto armado, puentes, tanques, embalses, tubería, unidades de mampostería y productos de concreto prefabricado y precolado.

Tipo II. Se usa donde sean necesarias precauciones contra el ataque por sulfatos. Se puede utilizar en estructuras normales o en miembros expuestos a suelos o agua subterránea, donde la concentración de sulfatos sea más alta que la normal pero no severa. El cemento tipo II tiene propiedades de moderada resistencia a los sulfatos porque contiene no más del 8% de aluminato tricálcico (C3A).

Tipo III. Ofrece resistencia a edades tempranas, normalmente una semana o menos. Este cemento es química y físicamente similar al cemento tipo I, a excepción de que sus partículas se muelen más finamente. Es usado cuando se necesita remover las cimbras (encofrados) lo más temprano posible o cuando la estructura será puesta en servicio rápidamente. En clima frío, su empleo permite una reducción en el tiempo de curado. A pesar de que se puede usar un alto contenido de cemento tipo I para el desarrollo temprano de la resistencia, el cemento tipo III puede ofrecer esta propiedad más fácilmente y más económicamente.

Tipo IV. Se usa donde se deban minimizar la tasa y la cantidad de calor generado por la hidratación. Por lo tanto, este cemento desarrolla la resistencia en una tasa más lenta que otros tipos de cemento. Se puede usar el cemento tipo IV en estructuras de concreto masivo (hormigón masa), tales como grandes presas por gravedad, donde la subida de temperatura derivada del calor generado durante el endurecimiento deba ser minimizada. El cemento tipo IV raramente está disponible en el mercado.

Tipo V. Se utiliza en concretos expuestos a la acción severa de sulfatos principalmente donde el suelo y el agua subterránea tienen alta concentración de sulfatos. Su desarrollo de resistencia es más lento que en el cemento tipo I. La alta resistencia a los sulfatos del cemento tipo V se atribuye al bajo contenido de aluminato tricálcico, no excediendo el 5%.

Tabla 2 Clasificación del cemento por su uso (ASTM C150)

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

De acuerdo a la norma mexicana actual (NMX-C-414-ONNCCE, 2014). “Industria de la construcción Cementos hidráulicos, Especificaciones y métodos de prueba” clasifica los cementos de fabricación nacional o extranjera que se comercializan en territorio nacional de acuerdo con el tipo como se presenta en la tabla 10.

Tabla 3 Tipos de Cementos

Tipo	Denominación
CPO	Cemento Portland Ordinario
CPP	Cemento Portland Puzolánico
CPEG	Cemento Portland con Escoria Granulada de Alto Horno
CPC	Cemento Portland Compuesto

“DISEÑO DE CONCRETOS MODIFICADOS CON ADICIONES DE RESIDUOS DE ACERO Y ALUMINIO. COMPORTAMIENTO FISICO MECÁNICO”

CPS	Cemento Portland con Humo de Sílice
CEG	Cemento con Escoria Granulada de Alto Horno

Si algún tipo de cemento tiene características especiales en su clase resistente a la que pertenece, una resistencia a 3 días, se añade una letra R de acuerdo con la norma (NMX-C-414-ONNCCE, 2014), la cual establece los valores mínimos y máximos.

Tabla 4 Clase resistente mecánica a la compresión

20	Cementos de resistencia normal o resistencia mecánica a la compresión a 28 días	mínima de 204 kg/cm ² , máxima de 408 kg/cm ²
30	Cementos de resistencia normal o resistencia mecánica a la compresión a 28 días	mínimo de 306 kg/cm ² , máximo de 510 kg/cm ²
30R	Cementos de resistencia inicial o temprana o resistencia mecánica a la compresión desarrollada a 3 días	a 3 días mínimo de 204 kg/cm ² , a 28 días mínimo de 306 kg/cm ² , máximo de 510 kg/cm ²
40	Cementos de resistencia normal o resistencia mecánica a la compresión a 28 días	mínimo de 408 kg/cm ² , máximo de +550 kg/cm ²
40R	Cementos de resistencia inicial o temprana o resistencia mecánica a la compresión desarrollada a 3 días	a 3 días mínimo de 306 kg/cm ² , a 28 días mínimo de 408 kg/cm ² , máximo de +510 kg/cm ²

En el caso de que algún tipo de cemento tenga características especiales señaladas su designación se completa de acuerdo con la nomenclatura indicada que corresponda para representar dos o más características especiales (NMX-C-414-ONNCCE, 2014). como se muestra en tabla 5.

Tabla 5 Características especiales

RS: Resistente a los Sulfatos
BRA: Baja Reactividad Alkali Agregado
BCH: Bajo Calor de Hidratación

B: Blanco

La norma actual (NMX-C-414-ONNCCE, 2014). hace algunas definiciones de las cuales se destacan los conceptos siguientes:

Cemento Portland compuesto: Es el cemento que resulta de la integración de clínker Portland, sulfato de calcio y una mezcla de materiales puzolánicos, escoria de alto horno y caliza. En el caso de la caliza, éste puede ser componente único.

Cenizas volantes: Las cenizas volantes se obtienen por precipitación electrostática o por captación mecánica de los polvos que acompañan a los gases de combustión de los quemadores de centrales termoeléctricas alimentadas con carbones pulverizados. Se consideran como materiales puzolánicos.

Escoria Granulada de Alto Horno: Es el subproducto no metálico constituido esencialmente por silicatos y aluminosilicatos cálcicos, que se obtienen por el enfriamiento brusco con agua o vapor y aire, del residuo que se produce simultáneamente con la fusión de minerales de fierro en el alto horno.

Humo de sílice: El humo de sílice es un material puzolánico muy fino, compuesto principalmente de sílice amorfa, que es un subproducto de la fabricación de silicio o aleaciones de ferro-silicio con arco eléctrico (también conocido como humo de sílice condensado o micro sílice).

12.1.3 Propiedades del cemento

Conocer las propiedades del cemento es importante para tener en cuenta algunos aspectos de su bondad como material cementante. Estas propiedades son de carácter químico, físico y mecánico; las cuales dependen del estado en el cual se encuentren. Estudiar el cemento a fondo ayudara a saber su comportamiento con otras materias primas y su comportamiento al mezclarse con otros elementos. A continuación, se describen las propiedades físicas, químicas y mecánicas del cemento.

12.1.3.1 Propiedades Físicas

Como todos los materiales, el cemento cuenta con propiedades físicas de las cuales las más importantes son: densidad, finura, consistencia normal, tiempos de fraguado y expansión. Estas dan una evaluación del cemento y del concreto, las cuales dependen del tipo de cemento que se utiliza.

•**Densidad:** Es la relación entre la masa de una cantidad dada y el volumen absoluto de esa masa. Su valor varía muy poco, y en un cemento Portland normal, suele estar muy cercano a 3.15 g/cm^3 . En el caso de cementos adicionados, es menor porque el contenido de Clinker por tonelada de cemento es inferior dando valores del orden de 2.9 gr/cm^3 , dependiendo del porcentaje de adiciones. La densidad no indica directamente la calidad del cemento, pero analizándola en conjunto con otras propiedades, puede determinar si el cemento tiene adiciones.

•**Finura:** El proceso de molienda de Clinker y yeso determina la finura del cemento, que es el tamaño de las partículas de cemento, está íntimamente ligada con la velocidad de hidratación, desarrollo de calor, retracción y aumento de la resistencia. Un cemento de alta finura endurece con mayor velocidad (mayor rapidez de hidratación) y tiene un desarrollo rápido de resistencia (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004).

•**Consistencia normal:** Se refiere a la movilidad relativa de la mezcla fresca de pasta o mortero de cemento. Cuando los cementos tienen adiciones, los requerimientos de agua son mayores que en los cementos normales. El contenido de agua se expresa en masa del cemento seco y suele variar entre 23 y 33% (Instituto del Concreto, 1997).

•**Tiempos de fraguado:**

Fraguado inicial: tiempo que transcurre desde que la pasta plástica que se forma cuando el cemento se mezcla con agua va perdiendo su fluidez, hasta llegar a un momento en que ya no tiene toda su viscosidad y se eleva su temperatura, lo cual indica que el cemento se encuentra parcialmente hidratado.

Fraguado final: tiempo que transcurre hasta que la pasta de cemento deja de ser deformable con cargas relativamente pequeñas, se vuelve rígida y llega a la máxima temperatura, lo cual indica que el cemento se encuentra aún más hidratado y la pasta ya está dura.

Fraguado falso: fenómeno que ocurre cuando la pasta de cemento adquiere una rigidez prematura y anormal, dentro de los primeros minutos después de mezclar el cemento y el agua; internamente ocurre que una gran cantidad de sulfatos se deshidrata y de esta manera se forma el yeso. (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004).

•**Expansión:** Se refiere a la habilidad de la pasta de cemento en mantener su volumen. La falta de sanidad o la expansión destructiva retardada se puede causar por la cantidad excesiva de cal libre o magnesia supercalcinadas. La mayoría de las especificaciones para cemento Portland limitan el contenido de magnesia (periclasa) y la expansión máxima (ASTM-C-151-00, 2014).

12.1.3.2 Propiedades Químicas

En el proceso de producción del cemento se produce una transformación de las materias primas a productos con mejores características, por medio de reacciones en estado sólido. Razón por la cual, la química del cemento frecuentemente emplea un modelo basado en abreviaturas para las fórmulas químicas de los óxidos más frecuentes. Los cuatro compuestos principales del cemento se forman a partir de óxidos, como se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6 Componentes químicos del cemento (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004).

Nombre	Composición	Abreviatura
Silicato Tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_3S
Silicato Dicálcico	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_2S
Aluminato Tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A
Aluminoferrito Tetracálcico	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF

Todos y cada uno de los componentes del cemento contribuyen de una u otra forma a la resistencia, pues es claro que todos los productos de hidratación llenan espacios, reduciendo con ellos la porosidad en el cemento.

Hidratación del cemento: la reacción mediante la cual el cemento Portland se transforma en un agente de enlace, se genera por los procesos químicos responsables de la formación de compuestos durante la hidratación, los cuales originan propiedades mecánicas útiles en aplicaciones estructurales.

Calor de hidratación: durante el proceso de hidratación, se efectúan reacciones químicas exotérmicas, es decir reacciones que liberan calor, haciendo que los concretos al fraguar y endurecer aumenten de temperatura. Este incremento es importante en estructuras de concreto, ya que cuando ha ocurrido el fraguado y se inicia el descenso de la temperatura, se origina contracción del material, que puede conducir a la formación de grietas y fisuras.

El calor de hidratación se define como la cantidad de calor en calorías por gramo de cemento deshidratado, después de una hidratación completa a una temperatura dada. Depende de la composición del cemento y es aproximadamente igual a la suma de los calores de hidratación de los compuestos individuales. El C3A y el C3S son los compuestos particularmente responsables del elevado desarrollo de calor (Instituto del Concreto, 1997).

12.1.3.3 Propiedades Mecánicas

•**Resistencia a la compresión:** Es aquella obtenida por la prueba de cubos o cilindros de mortero o concreto de acuerdo con las normas (NMX-C-061-ONNCCE, 2015), (ASTM-C-109-M, 2002) y (AASHTO-T-106, 2002) (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004).

•**Resistencia a la flexión:** Prueba mediante la cual se conoce el comportamiento del mortero (una parte de cemento y 2.75 de arena graduada) cuando es sometido a esfuerzos

de flexión en prismas de 40x40x160 mm, siguiendo el procedimiento establecido en la norma (ASTM-C-348, 1997).

12.2 AGREGADOS PÉTREOS

Los agregados son indispensables para la generación de mezclas de concreto, debido a lo económicos que son y a que no entran en reacciones químicas complejas con el agua; por lo tanto, ya es costumbre implementarlos como relleno inerte en el concreto. Sin embargo, debido al papel importante que juegan los agregados para determinar muchas propiedades importantes en el concreto, recientemente se lleva a cabo investigaciones que permitan comprobar el efecto que existe en sus propiedades mecánicas.

Las características de los agregados son significativas para el concreto, ya que intervienen en la porosidad, la graduación o distribución de tamaños, la absorción de humedad, la forma y la textura de la superficie, la resistencia a la ruptura, el módulo de elasticidad y los tipos de sustancias nocivas presentes.



Ilustración 2 Agregados pétreos con diferentes características de color y textura

Regularmente los agregados ocupan entre el 60 y el 80% en volumen en el concreto, y aunque frecuentemente es considerado como relleno inerte puede influir en la resistencia

estabilidad y durabilidad del concreto por lo tanto los agregados juegan un papel importante para determinar la trabajabilidad y los costos en las mezclas.

12.2.1 Origen de los agregados utilizados

Los agregados naturales para concreto son por lo general una mezcla de rocas y minerales. El mineral es una sustancia sólida natural con una estructura interna ordenada y una composición química que varía dentro de los límites estrechos. Las rocas se clasifican según su origen en ígneas, sedimentarias o metamórficas, generalmente se componen con varios minerales. El intemperismo y la erosión de las rocas producen partículas de piedra, grava, arena, limo y arcilla (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004).

Rocas Ígneas. Constituyen la mayor parte de la porción sólida de la tierra, de ellas se derivan los otros grupos de rocas y la mayor parte de los agregados del concreto en América. Estas se forman por el enfriamiento y solidificación del magma y tienen una estructura masiva, totalmente cristalina o vítrea o una combinación entre ellas, dependiendo de la velocidad a la que se enfriaron durante su formación. Dependiendo del porcentaje de sílice que contienen se clasifican en: ácidas, intermedias y básicas. Según el lugar de formación se clasifican en: intrusivas y extrusivas o volcánicas. Las primeras se forman a gran profundidad y las segundas en la superficie.

Rocas Sedimentarias. Las rocas ígneas o rocas metamórficas son sometidas a los agentes de la intemperie como el sol, la lluvia y el viento. Estos agentes descomponen, fragmentan, transportan y depositan las partículas de roca, muy por debajo del lecho marino donde se aglutinan entre sí por algún material cementante. Los materiales de cementación pueden ser carbonosos, silíceos o arcillosos encontrados en la naturaleza. Al mismo tiempo, el depósito y el material cementante son sometidos a presión estática del agua y se convierten en la capa compacta de roca sedimentaria. La deposición, cementación y consolidación toman lugar capa por capa debajo del lecho marino.

Rocas Metamórficas. Tanto las rocas ígneas como las rocas sedimentarias pueden ser sometidas a altas temperaturas y presiones que causan metamorfismo produciendo un cambio en la estructura y textura de las rocas.

Si bien es preciso reconocer que los agregados de una buena roca madre producen un concreto de calidad, puede ser erróneo concluir que un buen concreto no se pueda hacer de los agregados con propiedades ligeramente inferiores, a las sugeridas en reglamentos, obtenidos a partir de rocas madre no tan buenas. Estos agregados, que no son tan buenos, pueden ser utilizados para elaborar concreto satisfactorio debido al hecho de que una capa de pasta de cemento en los agregados logra mejoras respecto a las características de durabilidad y resistencia. La selección de los agregados debe hacerse con prudencia teniendo en cuenta el factor económico (Neville & Brooks, 2010).

12.2.2 Clasificación

1. **Agregado fino:** Es el material comúnmente conocido como arena que pasa por la criba con abertura de 7,75 mm (malla núm. 4) y se retiene en la criba con abertura de 0,075 mm (malla núm. 200) y cuya composición granulométrica varía entre límites especificados.

2. **Agregado grueso:** Es el material comúnmente conocido como grava que se retiene en la criba con abertura de 4,75 mm (malla núm. 4) y pasa totalmente por la criba con abertura de 75 mm (malla de 3 pulgadas) cuya composición granulométrica varía entre los límites especificados (NMX-C-111-ONNCCE, 2004) .

12.3 AGUA

El agua es el elemento fundamental para la reacción química del cemento, desempeña una función importante en estado fresco y endurecido.

Prácticamente cualquier agua natural que sea potable y no presente fuerte sabor u olor se puede usar como agua de mezcla, para la preparación del concreto. Sin embargo, también se pueden emplear en concreto algunas aguas que no se consideran potables, para poder

ser usadas se debe tener ciertas precauciones para no afectar de manera directa el comportamiento de las mezclas de concreto.

El agua de mezclado o agua de amasado que se utilice en una mezcla de concreto hidráulico debe cumplir con ciertos parámetros, indicadores de su calidad, los cuales al ser los deseados nos permitirán hacer uso de ella.

Por lo tanto, se pueden establecer ciertos límites opcionales para cloruros, sulfatos, álcalis y sólidos en el agua de mezcla o se pueden realizar ensayos adecuados para la determinación del efecto de las impurezas sobre varias propiedades, las impurezas del agua pueden interferir con el fraguado del cemento, pueden afectar a la corrosión del refuerzo. Por estas razones se debe tomar en cuenta la conveniencia del agua para mezclado y los propósitos de curado. (Neville A. M., 1995)

12.3.1 Características del agua

El agua empleada para la elaboración de las distintas mezclas (mezcla de concreto testigo y concreto con adiciones metálicas de escoria de hierro y escoria de aluminio), fue analizada por el laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo en noviembre del 2015, quienes expidieron los resultados referentes a la normativa mexicana (NMX-C-122-ONNCCE-, 2018).

Los resultados de este análisis demuestran que el agua es apropiada para utilizarse en la elaboración de los especímenes de concreto, en su etapa de curado y en los ensayos de caracterización del cemento y otros que requieran el uso de agua en su procedimiento, véase tabla de resultados.

“DISEÑO DE CONCRETOS MODIFICADOS CON ADICIONES DE RESIDUOS DE ACERO Y ALUMINIO. COMPORTAMIENTO FISICO MECÁNICO”

Tabla 7 Resultados del análisis del agua utilizada para la caracterización del cemento y la elaboración de los especímenes de concreto (NMX-C-122-ONNCCE, 2014)

Sales e impurezas	Cementos ricos en calcio Límites en p.p.m.	Cementos sulfuresistentes Límites en p.p.m.
Sólidos en suspensión		
En aguas naturales (limos y arcillas)	2000	2000
En aguas recicladas (finos de cemento y agregados)	50000	35000
Cloruros como el CL (a)		
Para concreto con acero de preesfuerzo y piezas de puente	400 (c)	600 (c)
Para otros concretos reforzados en ambiente húmedos o en contacto con metales como el aluminio, fierro galvanizado y otros similares	700 (c)	1000 (c)
Sulfato como SO ₄ = (a)	3000	3500
Magnesio como Mg ⁺⁺ (a)	100	150
Carbonatos como CO ₃	600	600
Dióxido de carbonato disuelto, como CO ₂	5	3
Álcalis totales como Na ⁺	300	450
Total de impurezas en solución	3500	4000
Grasas o Aceites	0	0
Materia orgánica (oxígeno consumido en medio ácido)	150 (b)	150 (b)
Valor del pH	No menor de 6	No menor de 6.5
<p>(a) Las aguas que exceden los límites enlistados para cloruros, sulfatos y magnesios, pueden emplearse si se demuestra que la concentración calculada de estos compuestos en el agua total de la mezcla, incluyendo el agua de absorción de los agregados u otros orígenes, no exceden dichos límites.</p> <p>(b) El agua se puede usar siempre y cuando las arenas que se empleen en el concreto acusen un contenido de materia orgánica cuya coloración sea inferior a 2 de acuerdo con el método de la NMX-C-088.</p> <p>(c) Cuando se use cloruro de calcio CaCl₂ como aditivo acelerante, la cantidad de éste debe tomarse en cuenta para no exceder el límite de cloruros de la tabla.</p>		

12.3.2 El agua utilizada en la investigación

El agua utilizada proviene de la red de agua potable del Laboratorio de Materiales “Ing. Luis Silva Ruelas” de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo,

el agua se utilizó tal y como llega al laboratorio, esto con el fin de usarla lo más apegado a la realidad.

Se sabe que en la construcción no toman en cuenta la calidad del agua, la utilizan tal y como se la suministran y no importa si está contaminada, aquí se quiso asemejar a la realidad por lo que se decidió utilizar así el agua.

12.4 CONCRETO

El concreto, es un compuesto en el cual tanto las partículas como la matriz son materiales cerámicos. En el concreto, la arena y un agregado grueso se unen en una matriz de cemento Portland. Una reacción de cementación ente el agua y los minerales del cemento, genera un gel solido resistente que fija los agregados en su sitio, proporcionando al concreto una buena resistencia a la compresión.

Hoy en día, el concreto es uno de los materiales compuestos más utilizados en el mundo, para la construcción de una diversidad de edificaciones estructurales y no estructurales, que han abierto un enorme campo en la investigación, para su innovación y múltiples usos.

12.4.1 Tipos de concreto

Así como existen una gran variedad de cementos con distintas características y composiciones químicas para diferentes tipos de usos, existen diferentes tipos de mezclas de concreto obviamente cada una de ellas posee diferentes carteristas particulares con el objetivo de cumplir con las especificaciones de cada tipo de construcción que existe en la actualidad. A continuación, se describen los diferentes tipos de mezclas de concreto.

Concreto Premezclado Estándar. - El concreto premezclado estándar es la forma más común de concreto. Se prepara para su entrega en una planta de concreto en lugar de mezclarse en el sitio de la obra, lo que garantiza la calidad del concreto.

Concreto Arquitectónico y Decorativo. - Este tipo de concreto puede desempeñar una función estructural además de un acabado estético o decorativo. Puede ofrecer superficies o texturas lisas o ásperas además de una diversidad de colores.

Concreto de Fraguado Rápido. - Diseñado para elevar el desarrollo temprano de resistencia, este concreto permite retirar las cimbras más rápido, secuenciar la construcción aceleradamente, y una rápida reparación en proyectos como carreteras o pistas de aterrizaje. Típicamente se usa en el invierno para construir a bajas temperaturas (5-10°C). Este concreto también se puede utilizar en edificios, vías de ferrocarril y aplicaciones preformadas. Además, para ahorrar tiempo, esta tecnología de concreto ofrece una durabilidad mejorada y resistencia a los ácidos.

Concreto Reforzado con Fibras. - El concreto diseñado con fibras micro o macro puede usarse ya sea para aplicaciones estructurales, donde las fibras pueden potencialmente sustituir el reforzamiento con varilla de acero, o para reducir el encogimiento – especialmente el que sucede en etapa temprana. Las macro fibras pueden incrementar significativamente la ductilidad del concreto, haciendo que sea altamente resistente a la formación y propagación de grietas.

Relleno Fluido. - El mortero o concreto líquido simplifica el proceso de colocación de tuberías y cables al rodear al tubo o cable con una cubierta compacta que la protege, previene el asentamiento y permite a las cuadrillas trabajar rápido.

Concreto Compactado con Rodillo. - Compactado y curado en sitio, el concreto compactado con rodillo es un concreto de cero revenimientos con resistencia a la abrasión para soportar agua a alta velocidad, lo que lo hace el material de elección para sistemas

de drenajes y otras estructuras sujetas a condiciones de alto flujo. Representa una solución competitiva en términos de costo y durabilidad al compararse con el asfalto.

Concreto Autocompactante. - El concreto autocompactante tiene un flujo muy alto; por lo tanto, es autonivelante, lo que elimina la necesidad de vibración. Debido a los plastificantes utilizados –mezclas químicas que le imparten un alto flujo– el concreto autocompactante exhibe muy alta compactación como resultado de su bajo contenido de aire. En consecuencia, el concreto autocompactante puede tener resistencias muy elevadas, llegando a rebasar 50 MPa.

Concreto Poroso. - Por su especial diseño de mezcla, el concreto poroso es un material sumamente permeable que permite que el agua, particularmente las aguas pluviales, se filtren por él, lo que reduce las inundaciones y la concentración calorífica por hasta 4° C, y ayuda a evitar los derrapes en los caminos mojados. Este concreto idealmente se usa en estacionamientos, andadores y orillas de alberca.

Concreto Antibacteriano. - Este concreto controla el crecimiento de las bacterias, ayudando a mantener ambientes limpios en estructuras tales como laboratorios, restaurantes y hospitales.

12.4.2 Uso del concreto en pavimentos rígidos

Un pavimento rígido es aquel cuyo elemento fundamental es una losa de concreto hidráulico en la que se distribuyen la carga de los vehículos hacia las capas inferiores por medio de toda la superficie de la losa y de las adyacentes que trabajan en conjunto con la que recibe directamente las cargas. Este tipo de pavimento no puede plegarse a las deformaciones de las capas inferiores sin que se presente la falla estructural. Aunque en teoría las losas de concreto hidráulico pueden colocarse en forma directa sobre la subrasante, es necesario construir una capa de sub-base para evitar que los finos sean bombeados hacia la superficie de rodamiento al pasar los vehículos, lo cual puede provocar fallas de esquina o de orilla de la losa.

12.4.3 Capas de un pavimento rígido

Las capas que conforman el pavimento rígido son: subrasante, sub base, y losa o superficie de rodadura como se muestra en la Figura.

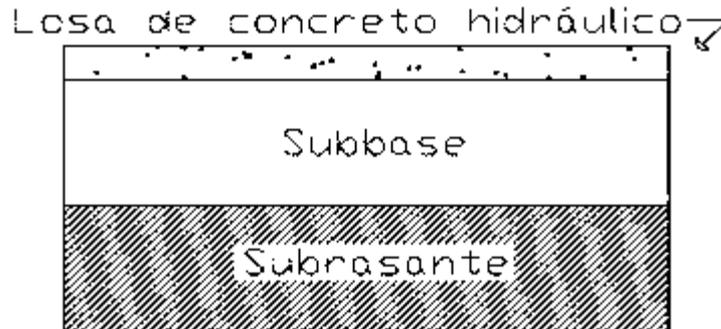


Ilustración 3 Capas del pavimento rígido

Los elementos y funciones de un pavimento rígido son:

Subrasante. - Es la capa de terreno de una carretera que soporta la estructura de pavimento y que se extiende hasta una profundidad que no afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto. Esta capa puede estar formada en corte o relleno y una vez compactada debe tener las secciones transversales y pendientes especificadas en los planos finales de diseño.

El espesor de pavimento dependerá en gran parte de la calidad de la subrasante, por lo que ésta debe cumplir con los requisitos de resistencia, incompresibilidad e inmunidad a la expansión y contracción por efectos de la humedad, por consiguiente, el diseño de un pavimento es esencialmente el ajuste de la carga de diseño por rueda a la capacidad de la subrasante.

subrasante. Se considera como la cimentación del pavimento y una de sus funciones principales es la de soportar las cargas que transmite el pavimento y darle sustentación, así como evitar que el terraplén contamine al pavimento y que sea absorbido por las terracerías.

Sub base. - Es la capa de la estructura de pavimento destinada fundamentalmente a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad las cargas aplicadas a la superficie de rodadura de pavimento, de tal manera que la capa de subrasante la pueda soportar absorbiendo las variaciones inherentes a dicho suelo que puedan afectar a la sub base. La sub base debe controlar los cambios de volumen y elasticidad que serían dañinos para el pavimento.

Se utiliza además como capa de drenaje y contralor de ascensión capilar de agua, protegiendo así a la estructura de pavimento, por lo que generalmente se usan materiales granulares. Al haber capilaridad en época de heladas, se produce un hinchamiento del agua, causado por el congelamiento, lo que produce fallas en el pavimento, si éste no dispone de una subrasante o sub base adecuada.

Losa (superficie de rodadura). - Es la capa superior de la estructura de pavimento, construida con concreto hidráulico, por lo que, debido a su rigidez y alto módulo de elasticidad, basan su capacidad portante en la losa, más que en la capacidad de la subrasante, dado que no usan capa de base.

12.4.4 Principales problemas de los pavimentos rígidos

12.4.4.1 Escalonamiento

Debido a la erosión de la base por flujo de agua en la proximidad de las juntas o grietas. También puede ocasionarlo un asentamiento diferencial en la capa subrasante.



Ilustración 4 Falla de escalonamiento en pavimento rígido.

12.4.4.2 Agrietamiento de esquina

Se origina por la erosión de la base, lo que ocasiona una falta de apoyo de la losa, así como por sobrecargas en las esquinas o una deficiente transmisión de carga entre juntas.



Ilustración 5 Falla de agrietamiento de esquina en pavimentos rígidos.

12.4.4.3 Agrietamiento transversal y longitudinal

El sentido transversal, es debido a una longitud excesiva en la losa y en la longitudinal un ancho excesivo; además de que carece de una junta longitudinal. También es debido en ambos casos a un diseño deficiente (menor espesor del requerido).



Ilustración 6 Falla de agrietamientos transversales y longitudinales en pavimentos rígidos.

Recientemente se han propuesto diferentes materiales para combatir los problemas mencionados anteriormente. Dentro de los materiales propuestos se encuentran las fibras comerciales las cuales presentan características particulares que ayudan de manera

significativa a prevenir fallas o agrietamientos que los pavimentos rígidos presentan al momento de su elaboración o colado.

12.5 ADICIONES METÁLICAS

12.5.1 Fibra metálica comercial

Las fibras de acero han demostrado mejorar el módulo de elasticidad del concreto, ayudando al concreto a tener una mejor distribución de esfuerzos internos, provocados por los esfuerzos de contracción por fraguado inicial y esfuerzos de flexión (FIBER, 2020).

Las ventajas de adicionar estas fibras al concreto, son:

- ✘ Mejor comportamiento dúctil
- ✘ Controla el agrietamiento en su fase de fraguado inicial, como los provocados por esfuerzos externos, una vez que éste ya está endurecido
- ✘ Mayor resistencia al impacto, hasta un 2000%
- ✘ Mejor desempeño cuando se somete a altas temperaturas, reduce el popeo por calor
- ✘ Mejor desempeño a flexión, la fibra toma los esfuerzos antes de que se presente la primera grieta.

Dosificación: Las dosificaciones de fibras se diseñan de acuerdo con el elemento que se va a colocar, si se trata de un piso industrial o bien en los casos de concreto lanzado, que son los más comunes.

Las dosificaciones más comunes varían de 30 kg, 25 kg y 20 kg, por metro cúbico de concreto para pisos y vialidades y en casos de fibras cortas de entre 20 a 25 mm, puede ser desde los 4 kg y hasta los 7 kg/m³. (FIBER, 2020)

Las dosificaciones de fibra para concreto lanzado dependen de la vía de colocación:

- ✘ Lanzado por vía seca desde los 15 kgms/m³
- ✘ Por vía húmeda, desde los 30 kgms/m³

Características:

Tabla 8 Características de la fibra de acero para concreto comercial.

Relación de aspecto	Relación de forma y resistencia
Longitud	35 mm
Diámetro	0.60 mm
Fibras por kilogramo	12,000
Forma	Gancho
Tipo de sección	Redonda
Resistencia a la tensión	1350 N/mm ²
Resultado de absorción de energía	1000 joules con 30 kg /m ³

Su comportamiento Cumple con las normas:– (1018, 2018) – (A820/A820M, 2016) y (ACI-506, 2016) para shotcrete (hormigón).

12.5.2 Escoria de aluminio

El aluminio es el metal más abundante en la corteza de la Tierra. Compone aproximadamente el 8% del peso de la superficie sólida de la Tierra. La mayor concentración de óxido de aluminio se encuentra en el mineral de bauxita. El aluminio puro se obtiene al extraer la alúmina de la bauxita. Por medio de un baño electrolítico, de 1,9 kg de alúmina se obtiene 1 kg de aluminio puro (energetica), 2020)

12.5.2.1 Demanda de aluminio

El aluminio se usa en la elaboración de productos semi-terminados, entre los que se encuentran las extrusiones (objetos con sección transversal definida y fija), cintas, productos multi-formas, alambre & cable, polvo, pastas y forjas. Más del 60%del aluminio consumido a nivel mundial es utilizado en la producción de extrusiones y cintas.

“DISEÑO DE CONCRETOS MODIFICADOS CON ADICIONES DE RESIDUOS DE ACERO Y ALUMINIO. COMPORTAMIENTO FISICO MECÁNICO”

		
Extrusión	Alambres y cables	Multi-formas

Ilustración 7 Elementos que se fabrican con aluminio.

Las cintas de aluminio, por su parte, abarcaron el 30% del consumo total en el 2019. Su principal uso es la producción de envases. Adicionalmente, un 24% del aluminio consumido se destinó a la producción de multi-formas. Dado que la forma final de estos productos depende del molde en el que éste se deje enfriar, su uso final es determinado por quien compra el producto. Otros usos como alambre & cable, polvo & pastas y las forjas representaron un porcentaje menor del consumo de aluminio: la suma para estos productos de menor demanda corresponde al 12% del consumo mundial de aluminio para producción de productos semi-terminados, (CRU, 2018)

Los productos semi-terminados de aluminio tienen una variedad de usos en distintas industrias, dentro de las cuales destacan la industria del transporte (producción de automóviles, aeronaves, vagones de tren y medios de transporte marítimos) y la construcción (ventanas, puertas y fachadas entre otros).

El aluminio total consumido proviene en su mayoría de fuentes primarias, aunque el porcentaje de material reciclado no deja de ser relevante. El consumo total de aluminio en 2017 fue de 87,6 millones de toneladas, de las cuales más de 24 millones de toneladas fueron de aluminio reciclado, equivalente a un 28% del consumo de aluminio mundial para ese año. De acuerdo con las estimaciones de (CRU, 2018), se proyecta que en la

siguiente década el consumo de aluminio reciclado sea aproximadamente 30% del consumo total.

12.5.2.2 Efectos ambientales del Aluminio

Los efectos del aluminio han atraído la atención, debido principalmente a los problemas de acidificación. El aluminio puede acumularse en las plantas y causar problemas de salud en animales que consumen esas plantas. Las concentraciones de aluminio son muy altas en algunos lagos acidificando el agua. En estos lagos el número de peces y anfibios está disminuyendo debido a las reacciones de los iones de aluminio con las proteínas de las agallas de los peces y los embriones de las ranas.

Elevadas concentraciones de aluminio no sólo causan efectos sobre los peces, también en otros animales que consumen estos peces contaminados

Las consecuencias son diversas, desde el debilitamiento de la cascara en los huevos, hasta el bajo peso en las crías, problemas pulmonares. Otro efecto negativo en el ambiente es que los iones de aluminio pueden reaccionar con los fosfatos, reduciendo la presencia de estos y la disponibilidad para los organismos acuáticos.

Altas concentraciones de aluminio no sólo pueden ser encontrados en lagos ácidos y aire, también en aguas subterráneas y suelos ácidos. Hay fuertes indicadores de que el aluminio puede dañar las raíces de los árboles cuando estas se encuentran localizadas en las aguas subterráneas.

12.5.2 Escoria de hierro

El hierro es el metal pesado más extenso en la superficie de la tierra. Este material reacciona fácilmente con el entorno por lo cual no se encuentra en estado puro.

La hematita es un óxido (Fe_2O_3) el cual, cuando es puro, contiene el 70% de hierro, sin embargo, varía generalmente entre 40 y el 60%. La limonita ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) es otro óxido, el cual contiene cantidades variables de agua y se deriva de la alteración de otros

“DISEÑO DE CONCRETOS MODIFICADOS CON ADICIONES DE RESIDUOS DE ACERO Y ALUMINIO. COMPORTAMIENTO FISICO MECÁNICO”

minerales ferrosos; su contenido de metal varía a partir de un depósito a otro, pero no sobrepasa generalmente el 50%.

Químicamente, la magnetita es un óxido (Fe_3O_4) y es el mineral que contiene la mayor cantidad de hierro, en su forma pura debe contener 72.4%. La siderita es un carbonato ($FeCO_3$) que en su estado puro contiene el 48.3%, de hierro, pero es raramente usada en la producción del hierro y del acero (MINERO, 2013).

Para extraer el hierro metálico de estos minerales, es necesario separar el oxígeno, que se encuentra combinado con el hierro, que forma los óxidos, así como la parte principal de las impurezas que están presentes en el mineral.

12.5.2.1 Principales minas en México

En México, las principales minas de hierro corresponden a magnetita y hematita. A continuación, se presentan las reservas de este metal por estado, en donde Oaxaca con el 49.3%, Coahuila (22.9%) y Michoacán (9.03%) reúnen el 81.2% del total nacional de reservas.

Tabla 8 Panorama actual de los yacimientos ferríferos de México (MINERO, 2013).

ESTADO	RESERVAS (MILES DE TONELADAS)				
	POSITIVAS	PROBABLES	POSIBLES	TOTAL	LEY PROMEDIO FE%
BAJA CALIFORNIA	18,077	9,449	11,660	39,186	58
SONORA	12,995	700	17,532	31,227	54
SINALOA	5	821	160	986	35
JALISCO	24,761	599	57,009	82,369	53
COLIMA	68,782	56,695	55,608	181,085	54
MICHOACÁN	116,545	57,907	45,255	219,707	55
GUERRERO	16,236	34,951	6,131	57,318	58
OAXACA	211,749	7,810	979,468	1,199,027	54
CHIAPAS	2			2	35

“DISEÑO DE CONCRETOS MODIFICADOS CON ADICIONES DE RESIDUOS DE ACERO Y ALUMINIO. COMPORTAMIENTO FISICO MECÁNICO”

CHIHUAHUA	14,245			14,245	52
COAHUILA	239,953	17,756	300,000	557,709	57
DURANGO			495,000	495,000	39
NUEVO LEON		1,000	6,600	7,600	54
TAMAULIPAS		120		120	65
ZACATECAS	1,055	4,949	2,633	8,637	54
PUEBLA		2,097	5,935	8,032	50
HIDALGO	123	51	68	242	50
VERECRUZ	8,040	8,398	8,490	24,928	38

12.5.2.2 Principales usos

Normalmente el hierro se utiliza para la fabricación de innumerables elementos como escaleras metálicas, moldes para fabricar PVC, perfiles metálicos para la construcción, varilla de acero, etc. Algunos perfiles o secciones de hierro son tratados con aleaciones, las cuales se usan en herrerías donde se fabrican todo tipo de cancelerías y cerrajerías, (puertas, ventanas, barandales, protecciones, etc.)

Todos estos elementos dependiendo del tipo se le da el uso correspondiente, puede ser para la industria y construcción. En el sector de la industria el hierro está más presente de lo que a priori podemos imaginarnos. Nos referimos sobre todo a las mesas de trabajo de hostelería, silos de acero... Normalmente en las industrias se busca emplear materiales que duren muchísimo tiempo, para ahorrar costes a largo plazo, por eso es un imprescindible en el sector industrial. Y el sector de la construcción se tienen diferentes áreas en donde se pueden usar por ejemplo las tuberías hidráulicas, el acero de refuerzo para las secciones de concreto armado y pueden ser fabricados distintos perfiles para la construcción de estructuras metálicas para emplearlas en puentes vehiculares y edificación con estructuras de acero.

13. EXPERIMENTACION DE LOS MATERIALES.

13.1 CEMENTO

El cemento utilizado para la experimentación fue un CPC 30R RS Tolteca de la marca CEMEX. Sus características se describen a continuación:

El hecho de ser un CPC 30R RS significa que es un Cemento Portland Compuesto, de clase 30, con resistencia especificada a los tres días de 20 MPa, resistencia de 30 MPa a los 28 días y resistente a sulfatos. (NMX-C-083-ONNCCE, 2014)

13.1.1 Densidad del cemento

Para efectos de este ensaye, se entiende por densidad del cemento hidráulico, la relación de la masa de cemento en gramos, entre el volumen en milímetros que desplaza este al introducirse en un líquido, con el cual no efectúe reacción química alguna (NMX-C-152-ONNCCE, 2015).

El procedimiento que a continuación se menciona está basado en el método de ensaye de la norma mexicana vigente (NMX-C-152-ONNCCE, 2015) que se tiene en el laboratorio de materiales de la universidad michoacana de san Nicolás de hidalgo.

Objetivo, conocer el método de ensayo bajo el cual se efectúa la determinación de la densidad del cemento hidráulico. Su utilidad práctica es para el proporcionamiento del concreto.

El equipo que se utilizó:

- × Muestra representativa de cemento de aproximadamente 200gr.
- × Matraz de chantelier.
- × Balanza
- × Reactivo, los cuales pueden ser;
 - × Keroseno libre de agua.
 - × Petróleo
 - × Gasolina

“DISEÑO DE CONCRETOS MODIFICADOS CON ADICIONES DE RESIDUOS DE ACERO Y ALUMINIO. COMPORTAMIENTO FISICO MECÁNICO”

- × Cualquier líquido que no reaccione con el cemento.
- × Recipiente con agua
- × Termómetro
- × Embudo.

Procedimiento.

- 1) Se vierte el líquido (reactivo) en el frasco de Chatelier hasta un nivel entre 0 y 1 ml, como quedará líquido adherido en las paredes del frasco además de burbujas de aire, se gira sobre un círculo horizontal sumergiendo la parte inferior del frasco en un baño de agua a la temperatura del $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ con la finalidad que se establezca un nivel del líquido.



Ilustración 8 Estabilización del Keroseno (Fotografía Víctor Ramírez).

Debe tenerse la precaución de que la temperatura del baño sea constante durante el ensayo. La variación de temperatura no debe ser mayor a 0.2°C al momento de tomar la lectura inicial y final.

- 2) Se toma la lectura del líquido en la parte inferior del menisco y se anota como lectura inicial del reactivo **Li.**

“DISEÑO DE CONCRETOS MODIFICADOS CON ADICIONES DE RESIDUOS DE ACERO Y ALUMINIO. COMPORTAMIENTO FÍSICO MECÁNICO”



Ilustración 9 Toma de la primer lectura Li (Fotografía Víctor Ramírez).

- 3) Se pesan 60 gramos aproximadamente de cemento hidráulico, con la finalidad que al vertirlo en el frasco el líquido alcance a sobre pasar a lecturas superiores a la esfera intermedia.
- 4) Se sujeta el frasco en forma vertical, se agrega el cemento muy lentamente de manera que el cemento vaya pasando al interior sin obstruirse.



Ilustración 10 Se agrega el cemento al matraz de chatelier para la toma de la lectura final (Fotografía Víctor Ramírez).

- 5) Se inclina el matraz y se rueda horizontalmente de manera de lograr que salga el aire atrapado en el cemento y baje el que haya quedado en las paredes.

“DISEÑO DE CONCRETOS MODIFICADOS CON ADICIONES DE RESIDUOS DE ACERO Y ALUMINIO. COMPORTAMIENTO FISICO MECÁNICO”

- 6) Se repite el paso N° 2 para lograr que se establezca nuevamente el nivel del líquido hasta lograr que sea repetidamente la misma lectura.
- 7) Se toma la lectura de la parte inferior del menisco tomando como la lectura final registrándola como **Lf**.



Ilustración 11 Se toma la lectura final Lf para proceder a definir la densidad del cemento (Fotografía de Víctor Ramírez).

Fórmula para determinar la densidad del cemento.

$$\text{Densidad} = \frac{M \text{ (g)}}{V \text{ (ml)}} = \frac{60 \text{ g aprox.}}{L_f - L_i}$$

Dónde:

Densidad = densidad del cemento en g/ml, g/cm³.

M = masa del cemento hidráulico, 60 gramos aproximadamente.

V = volumen del líquido desplazado en ml (volumen del cemento).

(MXN-C-152-0NNCE., (2014).) Industria de la construcción, determinación de la densidad del cemento, método de ensayo.

13.1.2 Consistencia del cementante

La consistencia del cemento se obtiene al determinar la cantidad de agua óptima en porcentaje con respecto al peso del cemento, los porcentajes son propuestos hasta lograr una consistencia normal esto nos ayudara a medir los tiempos de fraguado del cemento (NMX-C-057-ONNCCE, 2015).

El equipo que se utilizó:

- × Muestra representativa de cemento.
- × Agua destilada o limpia.
- × Balanza con aproximación al décimo de gramo.
- × Recipiente para realizar la mezcla del cemento con el agua.
- × Pesas con las variaciones permitidas en la tabla A.S.T.M. C187-55.
- × Probeta graduada de 100 y 200 mililitros con aproximación a 1 y 2 mililitros respectivamente.
- × Aparato de Vicat.
- × Cristal liso

Procedimiento.

- 1) Se pesan 650 g de cemento y se vierten sobre una mesa con superficie lisa e impermeable y se forma una especie de cráter con el cemento ayudados con una pequeña espátula.



Ilustración 12 Determinamos el peso de muestra representativa del cemento (Fotografía Víctor Ramírez).

- 2) Se fija una cantidad de agua expresada en porciento. Respecto al peso del cemento seco, se mide en la probeta graduada y se vierte en el centro del cráter (echando a andar un cronómetro al caer el agua sobre el cemento).

“DISEÑO DE CONCRETOS MODIFICADOS CON ADICIONES DE RESIDUOS DE ACERO Y ALUMINIO. COMPORTAMIENTO FISICO MECÁNICO”

- 3) Se vierte el cemento en una charola de material cerámico o plástico para que no absorba el agua y modifique el porcentaje agregado, se hace un pequeño cráter en el cemento y se le agrega el agua cuidadosamente sin salpicar, en el momento en el que el agua hace contacto con el cemento se toma un tiempo total de 1.5 minutos dividido en los siguientes pasos.



Ilustración 13 Vertido del agua al cemento (Fotografía Víctor Ramírez).

- 4) En 30 segundos se deja reposar la mezcla para que la humedad se homogenice. (El operador debe colocarse guantes de hule ligeramente húmedos).
- 5) Durante los próximos 30 segundos se mezcla perfectamente la masa con las manos, golpeando la mezcla, con la parte pesada de las manos hasta lograr una pasta uniforme y homogénea.

“DISEÑO DE CONCRETOS MODIFICADOS CON ADICIONES DE RESIDUOS DE ACERO Y ALUMINIO. COMPORTAMIENTO FISICO MECÁNICO”



Ilustración 14 Amasado del cemento con el agua hasta su homogenización (Fotografía Víctor Ramírez).

- 6) En los siguientes 30 segundos se forma una esfera con la pasta y se pasa de una palma a otra a una distancia de aproximada de 15 centímetros, este ciclo de pasar de una mano a otra se debe de repetir 6 veces.



Ilustración 15 Formación de la esfera de cemento (Fotografía Víctor Ramírez).

- 7) En los últimos 30 segundos de los 1.5 minutos que dura la prueba, descansamos la bola en la palma de la mano, se introducirá a presión por la boca mayor del anillo cónico del aparato de Vicat, el cual se sostendrá con la otra mano llenando completamente el anillo con pasta (la otra boca se descansará sobre un cristal) todo el exceso debe de retirarse cuidadosamente con la ayuda de un enrazador o espátula.

“DISEÑO DE CONCRETOS MODIFICADOS CON ADICIONES DE RESIDUOS DE ACERO Y ALUMINIO. COMPORTAMIENTO FISICO MECÁNICO”



Ilustración 16 Se hace el llenado del cono troncocónico con la pasta de cemento (Fotografía Víctor Ramírez).

- 8) Determinación de la consistencia. La pasta confinada en el anillo que descansa sobre una placa, debe de centrarse debajo de la barra B, cuyo extremo que forma un embolo se pondrán en contacto con la superficie de la pasta y se apretará el tornillo sujetador después se colocará el indicador móvil F en la marca cero en la parte superior de la escala o se hará una lectura inicial.



Ilustración 17 Colocación del cono lleno de pasta de cemento al aparato e Vicat (Fotografía Víctor Ramírez).

- 9) Se deja caer la aguja sobre la superficie de la pasta de cemento, se dejan pasar 30 s y se toma la lectura de penetración de la aguja, si la lectura es de $10 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$, se toma esa cantidad de agua como la necesaria para obtener la consistencia normal del cemento (si la lectura no es de $10 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$, se repite el

procedimiento antes mencionado hasta conseguir la cantidad de agua necesaria para obtener la consistencia normal del cemento).



Ilustración 18 Lectura final, medición de la penetración de la aguja del aparato Vicat (Fotografía Víctor Ramírez).

(NMX-C-057-0NCCE, 2015) Industria de la construcción, determinación de la consistencia del cemento, método de ensayo.

(ASTM-C-187-04, 2004). Norma internacional para la determinación de la consistencia del cemento.

13.1.3 Fraguado del cementante

En esta prueba se tiene como objetivo determinar el tiempo de fraguado inicial y final del cemento hidráulico mediante las agujas de Gillmore, estos tiempos son de mucha ayuda al momento de diseñar concretos.

Tiempo de fraguado inicial: Es el tiempo que transcurre, a partir del momento de contacto inicial del cemento con el agua, hasta que el mortero obtenido por el cribado del concreto presenta una resistencia a la penetración de 3.4 MPa (35 kg/cm²).

Tiempo de fraguado final: Es el tiempo que transcurre, a partir del momento que el cemento entra contacto con el agua, hasta que el mortero obtenido por el cribado del concreto presenta una resistencia a la penetración de 27.5 MPa (280 kg/cm²).

Temperatura y humedad: La temperatura del laboratorio, material y equipo deben mantenerse entre 20° y 27° C. La temperatura del agua de mezclado y la cámara de humedad no debe de variar de 23° C en más de $\pm 2^\circ$ C. La humedad relativa del laboratorio no debe ser inferior a 50° C. (ASTM-C-266, 2015).

El equipo que se utilizó:

- × Muestra representativa de cemento.
- × Aparato de Gillmore.
- × Balanzas.
- × Pesas.
- × Probetas graduadas.

Procedimiento.

- 1) La mezcla se prepara siguiendo el procedimiento descrito en la consistencia normal del cemento, se mezcló 650g del material con el porcentaje de agua requerido para obtener la consistencia normal.
- 2) Con la pasta de cemento preparada y sobre una placa de vidrio cuadrada, plana y limpia de aproximadamente 4" por lado, se hizo una pastilla con un diámetro de 7.5 centímetros aproximadamente y 1.3 centímetros de espesor en la parte central, disminuyendo hacia los bordes. Para moldearla se aplanó primero la pasta de cemento sobre el vidrio y después moviendo la cuchara desde los bordes hacia el centro, aplanado a continuación la parte central superior, se coloca la pastilla en el cuarto húmedo y se deja ahí, salvo cuando vaya efectuarse determinaciones del tiempo de fraguado.
- 3) Al determinar el tiempo de fraguado se mantuvieron las agujas en posición vertical teniendo ligero contacto con la superficie de la pastilla, considere que el cemento ha alcanzado su fraguado inicial cuando soporte a la aguja de Gillmore inicial (la menos pesada), sin que marque huellas apreciables. Se considera que el

cemento ha alcanzado su fraguado final cuando soporte la aguja de Gillmore Final (la más pesada), sin que marque huella apreciable.



Ilustración 19 Aparato de Gillmore.

(NMX-C-059-ONNCCE, 2017) Industria de la construcción, determinación del tiempo de fraguado del cemento, método de ensayo.

13.2 ARENA

13.2.1 Cuarteo del agregado pétreo

También se le conoce como reducción de la muestra obtenida en campo. Se cuentan con varios métodos y formas, pero solo se mencionará el empleado para esta investigación.

Equipo utilizado:

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

Procedimiento.

❖ Procedimiento por cuarteo con palas.

- 1) Se vacía la muestra de material en uno de los extremos de la charola grande.

- 2) Se cambia el material al extremo opuesto, este cambio deberá hacerse por medio del paleado, tratando de revolver todo el material, además se procurará apilar el material en forma cónica.

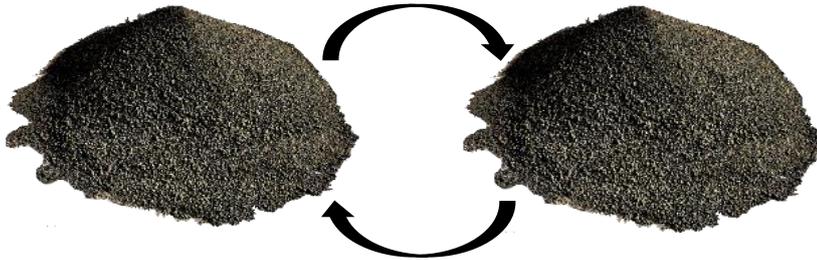


Ilustración 20 Homogenización del agregado fino "Arena" (Fotografía Víctor Ramírez).

- 3) Una vez terminado el paso anterior el material apilado en forma cónica se aplanan 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.



Ilustración 21 Aplanado de la forma cónica del material (Fotografía Víctor Ramírez).

- 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.



Ilustración 22 Cuarteo del agregado fino "Arena" material (Fotografía Víctor Ramírez).

❖ ***Procedimiento por divisor de muestras.***

- 1) Se toma la muestra y se vacía en una charola ancha.
- 2) Se llena uno de los recipientes alimentadores del divisor de muestras con el cucharón tratando de distribuir las partículas de manera uniforme a lo largo del recipiente.
- 3) Se deposita el contenido del recipiente alimentador en la parte superior del divisor de muestras procurando abarcar cada uno de los espacios del divisor.



Ilustración 23 División de la muestra de arena por medios del cuarteador mecánico (Fotografía Víctor Ramírez).

- 4) De la muestra original se obtienen dos muestras cuarteadas una de estas se desecha y si la otra tiene la masa requerida para el ensaye a realizar se utilizará o en su

defecto se realizará nuevamente el cuarteo hasta obtener el tamaño de la muestra requerido.

(NMX-C-170-ONNCCE, 1997) Industria de la construcción, reducción de la muestra, método de ensayo.

(ASTM-C-70, 2003) Norma internacional, reducción de la muestra.

13.2.2 Humedad superficial arenas

La absorción es la propiedad del agregado que más influye en la consistencia del mortero, puesto que las partículas absorben agua directamente en la mezcladora, disminuyendo la manejabilidad de la mezcla. Si dos tipos de agregados tienen absorción similar, otros factores secundarios serán de importancia en la consistencia de la mezcla como su forma, tamaño y graduación; ya que mientras mayor superficie del agregado sea necesario cubrir con pasta, se tendrá menos fluidez.

Equipo utilizado:

- ✘ Muestra representativa.
- ✘ Balanza o báscula con aproximación al décimo de gramo.
- ✘ Horno.
- ✘ Parrilla.
- ✘ Charolas metálicas.
- ✘ Cono metálico (truncocónico)
- ✘ Pisón.
- ✘ Espátula.

Procedimiento.

- 1) La muestra representativa de arena se satura con agua manteniendo un tirante mínimo de 2 cm por arriba del agregado, durante 24 horas como mínimo.



Ilustración 24 Muestra de arena saturándose según lo establecido (Fotografía Víctor Ramírez).

- 2) Al término de este tiempo se coloca la arena en la charola y se coloca en la parrilla para realizar la eliminación de agua en exceso, esto es, hacer el secado de la arena en forma superficial.



Ilustración 25 Secado superficial de la arena (Fotografía Víctor Ramírez).

- 3) Para determinar el tiempo de secado superficial de la arena, se coloca el molde troncocónico dentro de la charola con el diámetro mayor hacia abajo, se llena el molde con la arena hasta que sobrepase el borde superior, se compacta con la masa del pisón, colocándolo diez veces sin dejarlo caer.



Ilustración 26 Llenado del cono tronco cónico para corroborar el secado superficial de la arena (Fotografía Víctor Ramírez).

- 4) Se vuelve a llenar el molde, se compacta diez veces con el peso propio del pisón, nuevamente se llena el molde y se compacta con el pisón solo tres veces, se vuelve a llenar el molde y se compacta dos veces, para así completar 25 compactaciones.



Ilustración 27 Etapa de compactación final para corroborar la humedad superficial de la arena (Fotografía Víctor Ramírez).

- 5) Si al final el material rebasa el borde del molde, se enrasa con el pisón o una espátula cuidando de no ejercer presión sobre el material, y se retira el excedente.
- 6) Se levanta el molde de forma vertical; si el material conserva la forma del molde, es porque el agregado aún tiene humedad superficial.



Ilustración 28 Revisión final del secado superficial de la arena, si la muestra se disgrega esta seca superficial (Fotografía Víctor Ramírez).

- 7) El procedimiento se repite hasta que una vez retirado el molde el material se disgrega un poco perdiendo la forma del molde, es entonces cuando se considera que el material está seco superficialmente entonces es cuando el material está listo para continuar con el ensaye de densidad o humedad de absorción.

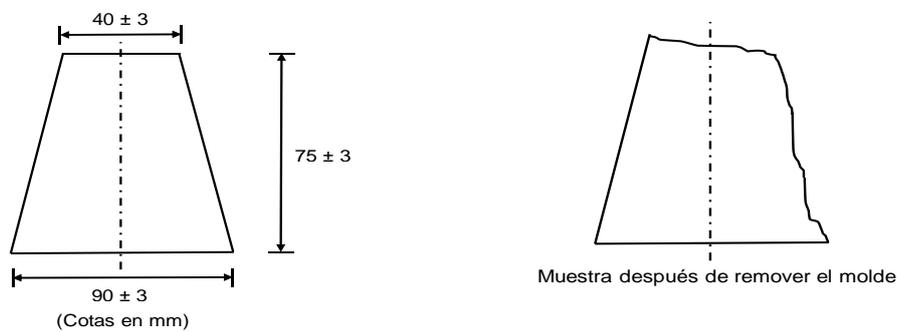


Ilustración 29 Dimensiones del molde y forma que de adoptar la muestra al momento de retirar el molde, (NMX-C-165-ONNCCE, 2014).

13.2.3 Humedad de absorción arenas

Cuando la arena está seca superficialmente se procede a calcular su porcentaje de absorción que esta posee, con el siguiente procedimiento según las normas de referencia (NMX-C-165-ONNCCE, 2014); (ASTM-C-128, 2004) .

Equipo utilizado:

- × Muestra representativa de arena que este saturada y superficialmente seca.
- × Balanza o báscula.
- × Parrilla eléctrica.
- × Charolas metálicas.
- × Espátula
- × Cristal

Procedimiento.

- 1) Se pesa una muestra de 300 gramos, registrando este peso como masa saturada y superficialmente seca (M_{ss}), procedimiento del ensayo anterior.



Ilustración 30 Obtención del peso de la muestra representativa de arena (Fotografía Víctor Ramírez).

- 2) La muestra de 300 gramos se coloca en una charola para secarla hasta eliminar completamente el agua (masa constante).



Ilustración 31 Secado de la muestra de arena (Fotografía Víctor Ramírez).

- 3) Para determinar si el material no presenta humedad, se coloca el cristal sobre el material, si no lo empaña retiramos el material y lo dejamos enfriar un poco para

“DISEÑO DE CONCRETOS MODIFICADOS CON ADICIONES DE RESIDUOS DE ACERO Y ALUMINIO. COMPORTAMIENTO FISICO MECÁNICO”

manejar el material, si todavía se empaña el cristal se debe continuar con el proceso de secado.



Ilustración 32 Comprobación de que la muestra de arena ya no contiene humedad (Fotografía Víctor Ramírez).

- 4) Finalmente se procede a pesar la muestra y se registra como masa seca del material (M_s).

cálculos.

$$\% H. Abs. = = \frac{M_{sss} - M_s}{M_s} * 10$$

Dónde:

% H. ABS. = Porcentaje de humedad de absorción

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

M_s = Masa seca del material (g).

(NMX-C-165-ONNCCE, 2014) Industrial de la construcción, determinación de la humedad de absorción, método de ensayo.

(ASTM-C-128, 2004) Norma internacional, humedad de absorción.

13.2.4 Densidad relativa saturada en arenas

El peso específico (densidad relativa) de un agregado es la relación de su peso respecto al peso de un volumen absoluto igual de agua (agua desplazada por inmersión). Se usa en ciertos cálculos para proporcionamiento de mezclas y control, por ejemplo, en la determinación del volumen absoluto ocupado por el agregado. Generalmente no se le emplea como índice de calidad del agregado, aunque ciertos agregados porosos que exhiben deterioro acelerado a la congelación-deshielo tengan pesos específicos bajos. La mayoría de los agregados naturales tienen densidades relativas entre 2.4 y 2.9.

Equipo utilizado:

- ✘ Muestra representativa de arena en condición seca superficialmente.
- ✘ Una balanza o báscula.
- ✘ Parrilla.
- ✘ Charolas.
- ✘ Espátulas.
- ✘ Matraz de chadman

Procedimiento.

- 1) Determinar la masa del Matraz de chadman lleno con agua hasta un nivel de aforo (Mpa).



Ilustración 33 Determinación de la masa del Matraz de chadman (Fotografía Víctor Ramírez).

- 2) Determinar la masa (M_{ss}) de un volumen de la muestra, preparada como se indica en la prueba de humedad superficial, cuyo volumen sea entre un 33% a 50% del volumen del Matraz de chadman que se va a emplear.

“DISEÑO DE CONCRETOS MODIFICADOS CON ADICIONES DE RESIDUOS DE ACERO Y ALUMINIO. COMPORTAMIENTO FISICO MECÁNICO”

- 3) Se introduce cuidadosamente en el Matraz de chadman la muestra representativa de arena y superficialmente seca.



Ilustración 34 Se introduce la arena dentro del matraz de chadman (Fotografía Víctor Ramírez).

- 4) El picnómetro tapado, se gira, agita e invierte para eliminar todas las burbujas de aire.
- 5) Después se llena con agua hasta nivel de aforo, se seca superficialmente y se determina su masa con una aproximación de 0.1% de la masa de la muestra empleada (Mpma).



Ilustración 35 Demostración del matraz de chadman lleno hasta el aforo con la muestra de arena (Fotografía Víctor Ramírez).

- 6) Finalmente se procede a la aplicación de la fórmula para la determinación de la densidad absoluta de la arena.

cálculos.

$$Dr_{sss} = \frac{M_{sss}}{M_{pa} + M_{sss} - M_{pma}}$$

Dónde:

Dr_{sss} = Gravedad relativa aparente saturada.

M_{pa} = Masa del picnómetro lleno de agua.

M_{sss} = Masa de la muestra saturada y superficialmente seca.

M_{pma} = Masa del picnómetro, muestra y agua hasta nivel de aforo.

(NMX-C-165-ONNCCE, 2014) Industria de la construcción, determinación de la densidad relativa, método de ensayo.

13.2.5 Determinación de la masa volumétrica seca y suelta de una arena

(MVSS)

Determinación la masa por unidad de volumen, siendo el volumen el ocupado por el material en el recipiente en forma libre o natural.

Equipo utilizado:

- × 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.

- 1) Se coloca el material seco en una superficie lisa y limpia y se procede a realizar el cuarteo del mismo mediante el método de paleado, posteriormente se coloca el recipiente para su llenado.
- 2) Se vacía arena dentro del recipiente dejándose caer a una altura medida a partir de la arista superior del recipiente de aproximadamente 5 centímetros, distribuyendo uniformemente el material y llenando completamente el recipiente hasta colmarlo formando un cono.



Ilustración 36 Llenado del bote metálico para la determinación de la masa volumétrica seca y suelta (Fotografía Víctor Ramírez).

- 3) Enseguida se enrasa el recipiente con la varilla y se limpia de las partículas adheridas en las paredes exteriores procediendo a pesarlo.



Ilustración 37 Extracción del exceso de material de arena “enrasado” (Fotografía Víctor Ramírez).

- 4) La masa obtenida anteriormente se le resta el peso del recipiente para obtener la masa de la arena, y finalmente se procede hacer los cálculos correspondientes.

Cálculos.

$$M.V.S.S. = \frac{M}{V}$$

Dónde:

M.V.S.S. = Masa volumétrica seca y suelta (g/cm³).

M = Masa de la arena (g).

V = Volumen del recipiente (cm³).

(NMX-C-073-ONNCCE, 2014) Industria de la construcción, Determinación de la masa volumétrica seca y suelta.

13.2.6 Determinación de la masa volumétrica seca y varillada de una arena (MVSV)

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

Equipo que se utilizó:

- × 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.

- 1) Se coloca el material seco en una superficie lisa y limpia y se procede a realizar el cuarteo mediante el método de paleado, y se coloca el recipiente para su posterior llenado.
- 2) Se llena el recipiente con arena dejándola caer a una altura aproximada de 5 centímetros, el llenado del recipiente debe de hacerse en tres capas dando a cada capa de arena 25 golpes con la varilla punta de bala distribuyéndolos en toda la superficie del material.



Ilustración 38 Llenado y varillado de la muestra de arena para la determinación de la masa volumétrica seca y compactada (Fotografía Víctor Ramírez).

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



Ilustración 39 Extracción del exceso de material de arena "Enrasado" (Fotografía Víctor Ramírez).

- 4) Se pesa el recipiente con el material y se le resta el peso del recipiente para obtener la masa neta del material (M) y finalmente se hacen los cálculos.

Cálculos.

$$M.V.S.C. = \frac{M}{V}$$

Dónde:

M.V.S.C.= Masa volumétrica seca y varillada (g/cm³).

M = Masa de la arena (g).

V = Volumen del recipiente (cm³).

La prueba anterior se realizó de acuerdo con las especificaciones de la norma (NMX-C-073-ONNCCE, 2014) Industria de la construcción, determinación de la masa volumétrica compactada, método de ensayo.

13.2.7 Granulometría en el agregado fino (arena)

La medición de granulometría consiste en pasar por una serie de mallas o tamices una muestra representativa de arena, para conocer la distribución de los diámetros de las partículas y el módulo de finura para fines de control y calidad.

La granulometría afecta las porciones relativas del agregado, así como los requisitos de agua y cemento, la trabajabilidad, la economía y la durabilidad del mortero.

Cuando los agregados son gruesos, pueden producir mezclas rígidas; mientras que aquellos agregados que no poseen una gran deficiencia o exceso de algún tamaño y tienen una curva granulométrica suave, producirán resultados más satisfactorios en las propiedades del mortero fresco (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004).

Equipo utilizado:

- × 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
- × Parrilla eléctrica.
- × Cepillo de cerdas
- × Cepillo de alambre.
- × Hojas de papel

Procedimiento.

- 1) Se toma una muestra representativa de arena de aproximadamente 600 gramos.
- 2) Se seca la muestra hasta peso constante, a una temperatura no mayor de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- 3) Cuando el material este seco y frío, se toman 500 gramos, pesados al décimo de gramo.
- 4) Se colocan las mallas en orden decreciente (4, 8, 16, 30, 50, 100, 200 y charola), se coloca la muestra de 500 gramos y se tapa.



Ilustración 40 Acomodo de las mallas de mayor a menor (Fotografía Víctor Ramírez).

- 5) Se agita el juego de mallas durante 10 minutos como mínimo, el agitado puede ser a mano o de forma mecánica (Raf-tap).



Ilustración 41 Tamizado de la muestra de arena (Fotografía Víctor Ramírez).

- 6) Se pesa el material retenido en cada una de las mallas con aproximación al décimo de gramo, anotando los pesos en el registro correspondiente. 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.

“DISEÑO DE CONCRETOS MODIFICADOS CON ADICIONES DE RESIDUOS DE ACERO Y ALUMINIO. COMPORTAMIENTO FISICO MECÁNICO”

- 7) 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 surge algún error en la medición.

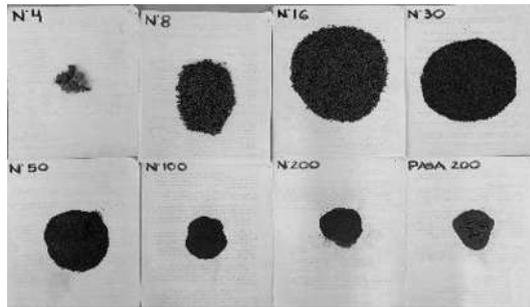


Ilustración 42 Demostración de la separación de las partículas que conforman una muestra de arena (Fotografía Víctor Ramírez).

- 8) Los registros de resultados se anotan en la tabla mostrada abajo (tabal 9) siguiendo los pasos mostrados en los cálculos.

Cálculos.

- 1) Se anotan los pesos en las respectivas mallas en la columna (2).
- 2) El retenido de la columna (3) se calcula de la siguiente manera:

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

- 3) El % acumulativo (4) se calcula a partir de los datos de la columna (3) como sigue:

$$\begin{aligned} & \% \text{ acumulativo} \\ & = \% \text{ retenido malla} + \% \text{ acumulativo malla anterior} \end{aligned}$$

- 4) El % que pasa (5) se calcula de la siguiente manera:

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

“DISEÑO DE CONCRETOS MODIFICADOS CON ADICIONES DE RESIDUOS DE ACERO Y ALUMINIO. COMPORTAMIENTO FISICO MECÁNICO”

5) Módulo de finura:

$$MF = \frac{\sum \text{de malla \#8 hasta \#100}}{100}$$

- ❖ Los resultados se deben de registrar en la siguiente manera en la tabla que se muestra posteriormente.

Tabla 9 Registro del análisis de granulometría.

No. de muestra:				
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Malla	Peso retenido	% Retenido	% Acumulativo	% Que pasa
4				
8				
16				
30				
50				
100				
200				
CHAROLA				
SUMA				

Recomendaciones y especificaciones

Para fines de calidad se recomienda que el Módulo de finura este entre 1.9 y 3.5, de acuerdo con la norma (NMX-C-111-ONNCCE, 2004).

“DISEÑO DE CONCRETOS MODIFICADOS CON ADICIONES DE RESIDUOS DE ACERO Y ALUMINIO. COMPORTAMIENTO FISICO MECÁNICO”

Tabla 10 Límites en porcentajes con los que debe de cumplir una muestra de arena para fines de control y calidad.

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

❖ El valor de porcentaje referido de dos mallas sucesivas no debe ser mayor a 45%. Límites basados en la norma mexicana (NMX-C-111-ONNCCE, 2004) para la curva granulométrica de arenas, la línea discontinua es para morteros y la línea continua es para concretos.

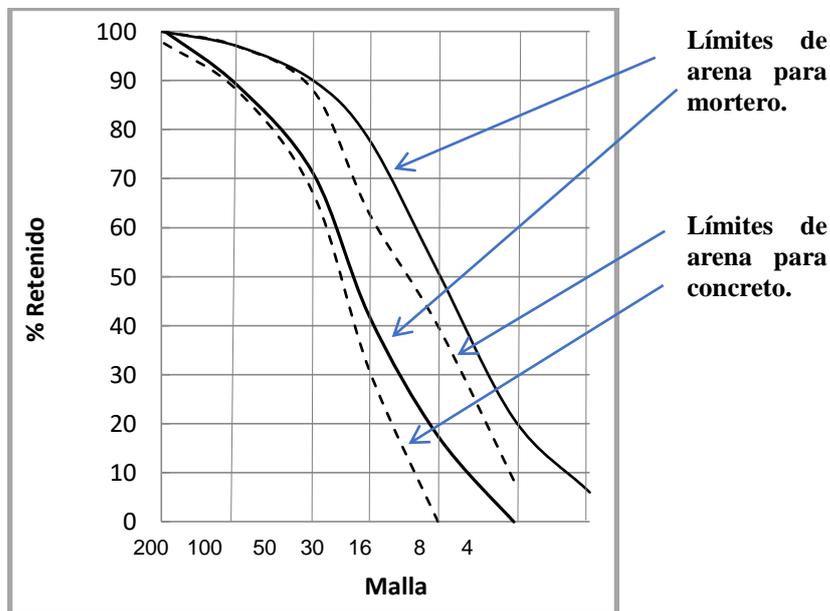


Gráfico 1 Límites granulométricos para arenas según su uso.

13.3 GRAVA

13.3.1 Cuarteo de la grava

Obtener una muestra representativa y del tamaño adecuado para realizar la prueba correspondiente al material de estudio. Para realizar el cuarteo de gravas existen dos métodos:

Equipo utilizado:

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

Procedimiento.

- ❖ *Cuarteo por paleado.*
- ❖ *Cuarteo con el divisor de muestras.*

La presente prueba está referida a la norma (NMX-C-170-ONNCCE, 1997).

❖ ***Procedimiento por cuarteo con palas.***

- 1) Se vacía la muestra de material en uno de los extremos de la charola grande.

- 2) Se cambia el material al extremo opuesto, este cambio deberá hacerse por medio del paleado, tratando de revolver todo el material, se debe procurar apilar el material en forma cónica.



Ilustración 43 Homogenización del agregado grueso "grava" (Fotografía Víctor Ramírez).

- 3) Una vez terminado el paso anterior el material apilado en forma cónica se aplanan la parte superior por medio de la cara posterior de la pala, hasta obtener un diámetro y espesor uniforme, el diámetro debe ser aproximadamente de cuatro a ocho veces el espesor del montículo.



Ilustración 44 Aplanado del material hasta obtener un diámetro y espesor uniforme (Fotografía Víctor Ramírez).

- 4) Se divide el material trazando dos líneas perpendiculares sobre la superficie horizontal plana 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.



Ilustración 45 Cuarteo del agregado grueso "Grava" material (Fotografía Víctor Ramírez).

❖ ***Procedimiento por divisor de muestras.***

1. Se toma la muestra y se vacía en una charola ancha.
2. Se llena uno de los recipientes alimentadores del divisor de muestras con el cucharón tratando de distribuir las partículas de manera uniforme a lo largo del recipiente.
3. Se deposita el contenido del recipiente alimentador en la parte superior del divisor de muestras procurando en abarcar cada uno de los espacios del divisor como se muestra en la figura.

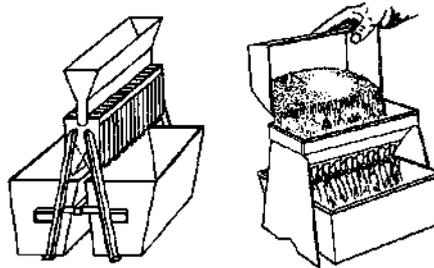


Ilustración 46 Ilustración de como se hace el cuarteo por cuarteador mecánico.

4. De la muestra original se obtienen dos muestras cuarteadas una de estas se desecha y si la otra tiene la masa requerida para el ensaye a realizar se utiliza o en su

defecto se realiza nuevamente el cuarteo hasta obtener el tamaño de la muestra requerido.

(NMX-C-170-ONNCCE, 1997) Industria de la construcción, reducción de las muestras a un tamaño óptimo para futuros ensayos de caracterización.

13.3.2 Humedad superficial y humedad de absorción en grava

Es 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 al agua adherida a la superficie de las partículas.

Equipo utilizado:

- ✘ Muestra representativa de grava que pasa por la malla 3/4” y se retiene en la malla 3/8”.
- ✘ Franela
- ✘ Charolas metálicas.
- ✘ Parrilla eléctrica.
- ✘ Espátula
- ✘ Vidrio
- ✘ Mallas 3/4y 3/8”.
- ✘ Balanza con aproximación al décimo de gramo.

Procedimiento.

- 1) De la muestra que se trae de campo se criba a través de las mallas 3/4 y 3/8, el material que pasa la malla 3/4 y es retenido en la malla 3/8 se toma una muestra de 0.5 a 1.0 kilogramos y se coloca en una charola, la muestra se satura con agua y se deja en reposo durante 24 horas.



Ilustración 47 Grava retenida en la malla 3/8" (Fotografía Víctor Ramírez).

- 2) Enseguida con una franela se seca superficialmente una muestra de grava de aproximadamente 300 gramos anotando este valor como (Mh) masa saturada y superficialmente seca.



Ilustración 48 Secado superficial de la grava (Fotografía Víctor Ramírez).

- 3) Se procede a colocar este material en una charola para secarlo en la parrilla eléctrica y saber cuándo se ha eliminado la humedad. Se coloca el vidrio sobre el material y si este no se empaña o se forman gotas de agua se retira la muestra, se deja enfriar y se procede a pesarlo registrando como masa seca (Ms).



Ilustración 49 Eliminación del agua retenida en la grava por medio de una parrilla de gas (Fotografía Víctor Ramírez).

Cálculos.

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

Dónde:

% H. ABSORCIÓN = Porcentaje de humedad de absorción.

Mh = Masa húmeda de la muestra (g).

Ms = Masa seca del material en (g).

Especificaciones.

Tabla 11 Tipos de absorción en gravas según la norma mexicana.

Tipo de absorción	% H. absorción
Baja	Menos del 2 %
Media	Entre 2 % y 4%
Alta	Más del 4 %

(NMX-C-164-ONNCCE, 2014) Industria de la construcción, determinación de la humedad de absorción.

13.3.3 Densidad de la grava

Es la determinación de la relación de la masa del agregado saturado superficialmente seco a la masa del volumen del agua desalojada, considerando la masa de las partículas saturadas de agua, superficialmente secas y la masa de las partículas de agua que se incluyen en los poros que se encuentran dentro de las mismas.

Equipo utilizado:

- ✘ Muestra representativa de grava que pasa la malla de 3/4" y se retiene en la malla 3/8".
- ✘ Probeta graduada.
- ✘ Picnómetro tipo sifón.

“DISEÑO DE CONCRETOS MODIFICADOS CON ADICIONES DE RESIDUOS DE ACERO Y ALUMINIO. COMPORTAMIENTO FISICO MECÁNICO”

- × Franela
- × Charola

Procedimiento.

- 1) De la muestra 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 0.5 a 1.0 kilogramo durante 24 horas.



Ilustración 50 Grava retenida en la malla 3/8" (Fotografía Víctor Ramírez).

- 2) Se toma una muestra de aproximadamente 300g seca superficialmente con una franela y se pesa en la balanza como masa de la muestra (M).



Ilustración 51 Secado superficial y toma de los 300 gr de la muestra de grava (Fotografía Víctor Ramírez).

- 3) Se llena el picnómetro tipo sifón hasta el nivel del orificio con agua, se coloca en una superficie plana.



Ilustración 52 Aforo del picnómetro tipo sifón (Fotografía Víctor Ramírez).

- 4) Se tapa la salida del sifón y se coloca la muestra de grava dentro, recibiendo el agua desalojada con la probeta graduada.

- 5) Cuando el picnómetro deje de desalojar agua se mide el volumen de las partículas de grava (V) en la probeta colocándola en una superficie horizontal para tomar la lectura.

Cálculos.

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

Dónde:

D = Densidad (g/cm³).

M = Masa de la grava (g).

V = Volumen de la grava (cm³).

(NMX-C-164-ONNCCE, 2014) Industria de la construcción, determinación de la densidad.

13.3.4 Determinación de la masa volumétrica seca y suelta de una grava

(MVSS)

Es la determinación de la masa por unidad de volumen, siendo el volumen el ocupado por el material en el recipiente en estado natural seco y suelto.

Equipo utilizado:

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

Procedimiento.

- 1) Se coloca el material seco en una superficie lisa y limpia y se procede a realizar el cuarteo del mismo mediante el método de paleado.



Ilustración 53 Cuarteo de grava por el método de palas (Fotografía Víctor Ramírez).

- 2) Se determina la masa y el volumen del recipiente que vamos a utilizar.
- 3) Con el cucharón se va llenado el recipiente, dejando caer la grava, a la altura de 5 cm del borde superior del molde, cuidando que el acomodo de las partículas sea por caída libre, esto es sin que el recipiente se someta a vibraciones hasta que quede completamente lleno y el material forme un cono.



Ilustración 54 Llenado de la cubeta metálica por la grava para determinar mvss (Fotografía Víctor Ramírez).

- 4) Se enrasa el material y se pesa obteniendo así la masa del recipiente más la masa del material.



Ilustración 55 Enrazado de la cubeta metálica (Fotografía Víctor Ramírez).

Cálculos.

$$M.V.S.S. = \frac{\text{Masa de la grava}}{\text{Volumen de la grava}}$$

Dónde:

M.V.S.S. = Masa volumétrica seca suelta (g/cm^3).

Masa de la grava = Masa de la grava restando el peso del recipiente (g).

Volumen de la grava = Volumen de la grava contenido en el recipiente (cm^3).

“DISEÑO DE CONCRETOS MODIFICADOS CON ADICIONES DE RESIDUOS DE ACERO Y ALUMINIO. COMPORTAMIENTO FISICO MECÁNICO”

Todos los datos son registrados en una tabla como se muestra a continuación:

Tabla 12 Captación de los datos obtenidos en mvss de gravas.

No. de muestra:					
No. de espécimen	Masa del recipiente (g)	Volumen del recipiente (cm ³)	Masa del recipiente con grava (g)	Masa de la grava (g)	M.V.S.S. (g/cm ³)
Promedio					

(NMX-C-073-ONNCCE, 2014) Industria de la construcción, determinación de masa volumétrica.

13.3.5 Determinación de la masa volumétrica seca y varillada de una grava (MVSV)

Es la determinación de la masa por unidad de volumen, siendo el volumen el ocupado por el material en el recipiente en estado natural seco y suelto.

Equipo utilizado:

- ✘ Muestra representativa de grava de aproximadamente 15 kilogramos.
- ✘ Recipiente de 10 litros de volumen.
- ✘ Balanza con aproximación al gramo.
- ✘ Cucharón.
- ✘ Pala.
- ✘ Varilla punta de bala de 5/8” de diámetro.

Procedimiento.

- 1) Se coloca el material seco en una superficie lisa y limpia y se procede a realizar el cuarteo del mismo mediante el método de paleado.



Ilustración 56 Cuarteo de gravas por el método de palas (Fotografía Víctor Ramírez).

- 2) Se determina la masa y el volumen del recipiente que vamos a utilizar.
- 3) Enseguida con el cucharón se llena el recipiente en tres capas, cada capa deberá ser aproximadamente una tercera parte del volumen del recipiente.



Ilustración 57 Llenado del bote metálico para la determinación de la mvsc (Fotografía Víctor Ramírez).

- 4) Con la varilla punta de bala se le da a cada capa 25 golpes distribuyéndolo en toda la superficie, al término se enrasa el recipiente y determina su masa.

Cálculos.

$$M.V.S.C. = \frac{\text{Masa de la grava compactada}}{\text{Volumen de la grava}}$$

Dónde:

M.V.S.S. = Masa volumétrica seca suelta (g/cm³).

Masa de la grava = Masa de la grava restando el peso del recipiente (g).

Volumen de la grava = Volumen de la grava contenido en el recipiente (cm³).

Todos los datos son registrados en una tabla como se muestra a continuación:

Tabla 13 Captación de los datos obtenidos en mvsc de gravas.

No. de muestra:					
No. de espécimen	Masa del recipiente (g)	Volumen del recipiente (cm ³)	Masa del recipiente con grava (g)	Masa de la grava (g)	M.V.S.C. (g/cm ³)
Promedio					

(NMX-C-073-ONNCCE, 2014) Industria de la construcción, determinación de la masa volumétrica compactada.

13.3.6 Granulometría en el agregado grueso (grava)

Es la obtención de la distribución de las partículas de diferentes tamaños de grava por medio de cribas así, como el tamaño máximo (T.M.) de la grava, valor que se utiliza para el cálculo del diseño de mezclas.

Equipo utilizado:

- ✘ Muestra 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) La muestra de grava debe de estar seca, enseguida se hace el procedimiento de cuarteo por pala.

- 2) Se coloca el recipiente de 10 litros con peso y volumen conocido se llena, la grava que se utilizó para llenar el recipiente se pesa y se obtiene la masa de la muestra registrándose como masa de la muestra (Mm).



Ilustración 58 La muestra obtenida de mvss se pesa para hacer su granulometría (Fotografía Víctor Ramírez).

- 3) Enseguida se pasa la grava a través de las mallas colocándolas de la mayor a la menor, agitándolas con la mano para que las partículas de menor tamaño pasen a la malla siguiente.

“DISEÑO DE CONCRETOS MODIFICADOS CON ADICIONES DE RESIDUOS DE ACERO Y ALUMINIO. COMPORTAMIENTO FISICO MECÁNICO”



Ilustración 59 Cribado de la grava por las diferentes mallas (Fotografía Víctor Ramírez).

- 4) Se pesa el material retenido en cada malla cuando se haya terminado de cribar toda la muestra de grava.
- 5) Al terminar se llena la tabla como a continuación se indica, registrando las masas retenidas en cada una de las mallas correspondientes.

Cálculos.

- 1) Se anotan los pesos en las respectivas mallas en la columna (2).
- 2) El retenido de la columna (3) se calcula de la siguiente manera:

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

- 3) El % acumulativo (4) se calcula a partir de los datos de la columna (3) como sigue:

$$\begin{aligned} & \% \text{ acumulativo de la malla} \\ & = \% \text{ retenido malla} + \% \text{ acumulativo malla anterior} \end{aligned}$$

- 4) El % que pasa (5) se calcula de la siguiente manera:

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

Todos los cálculos se hacen para cada malla y serán anotados en la siguiente tabla para posteriormente definir el tamaño máximo de la grava.

Tabla 14 Contenido de la granulometría de la grava.

No. de muestra:				
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
MALLA	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% ACUMULATIVO	% QUE PASA
2”				
1 ½”				
1”				
¾”				
½”				
3/8”				
No. 4				
Pasa No. 4				
Total				

Especificaciones.

Los valores permisibles para el % de grava que pasa por las rejillas está en función de la distribución granulométrica obtenida, para esto se recomienda revisar la (NMX-C-111-ONNCCE, 2004).

Finalmente se hace una gráfica de los porcentajes de grava que pasan por las aberturas de las mallas para observar la distribución de las partículas de la grava (NMX-C-111-ONNCCE, 2004).

13.4 AGUA

El agua utilizada en la investigación no fue sometida a ninguna prueba, se usó agua potable tomada de la llave del Laboratorio de Materiales “Ing. Luis Silva Ruelas”.

13.5 FIBRA DE ALUMINIO

La fibra de aluminio, rebaba de aluminio, escoria de aluminio, se obtuvo de pequeños negocios en los cuales su destino es desecho, lo cual incrementa de la contaminación e impacto ambiental.



Ilustración 60 Escoria de aluminio (Fotografía Víctor Ramírez).

La fibra de aluminio se obtuvo de varios establecimientos, el material obtenido se encontraba sucio y en diferentes tamaños, por lo cual se limpió y cribó. Se utilizó toda la fibra que pasó la malla número 8 y todo lo retenido se desechó.

Se propuso de manera experimental dos porcentajes de adición, la primera con una adición de 1.0% con respecto al peso del cemento y la segunda con un porcentaje de 2.0% con respecto al peso del cemento.



Ilustración 61 Procedimiento de criba de aluminio (Fotografía Víctor Ramírez).

13.6 ESCORIA DE ACERO

La fibra de hierro se obtuvo de pequeños negocios como lo son herrerías, comúnmente este tipo de material se recicla, pero, en gran parte también se destina a desechos sanitarios provocando así el incremento de la contaminación e impacto ambiental.

Uno de los objetivos particulares de este trabajo de tesis es reutilizar materiales provenientes de residuos que contaminen el medio ambiente.

Se trabajó la escoria de hierro en partículas pequeñas, esta fibra solo se limpió de los elementos grandes y visibles, se cribó toda la fibra por la malla 8 al igual que el aluminio para fines de comparación con las diferentes mezclas realizadas, el tamaño y forma son muy similares a los cribados.

De la fibra de acero (hierro) se propuso un porcentaje de adición, 1.0% con respecto al peso del cemento.



Ilustración 62 Procedimiento de criba de la fibra de acero. (Fotografía Víctor Ramírez).

13.7 PRUEBAS REALIZADAS AL CONCRETO FRESCO.

13.7.1 Revenimiento

Esta prueba sirve para medir la consistencia, plasticidad y trabajabilidad del concreto fresco en término de la disminución de altura.

Equipo utilizado:

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

Procedimiento.

- 1) Se obtiene una muestra representativa de concreto fresco.
- 2) Se humedece el molde de revenimiento y el cucharón.



Ilustración 63 Los materiales de la prueba se humedecen (Fotografía Víctor Ramírez).

- 3) Se coloca el molde en una superficie horizontal, plana, rígida, húmeda y no absorbente y se sujeta colocando los pies en las orejas que tienen especialmente para ello.
- 4) Se mezcla el concreto y se vierte usando el cucharón, se llena aproximadamente el molde con 3 capas de igual volumen, la primera capa corresponde a una altura de ~7 cm, se le dan 25 golpes con la varilla punta de bala, la mitad se hará en

“DISEÑO DE CONCRETOS MODIFICADOS CON ADICIONES DE RESIDUOS DE ACERO Y ALUMINIO. COMPORTAMIENTO FISICO MECÁNICO”

forma inclinada, (esto por la forma del molde), por la periferia del molde, los demás en forma vertical.



Ilustración 64 Llenado del molde troco cónico de concreto para el ensaye de revenimiento (Fotografía Víctor Ramírez).

- 5) La segunda capa debe de llegar a una altura de ~15 cm, dando 25 golpes, pero con el cuidado de no pasar a la primera capa, esto es porque la primera capa tendría más de 25 golpes lo que da un mayor acomodo y como resultado un mayor revenimiento.



Ilustración 65 Varillado del concreto en ensaye de revenimiento (Fotografía Víctor Ramírez).

- 6) La tercera capa se llena al extremo del molde calculando que quede sobrado, es decir, que sobrepase un nivel para que al varillar 25 veces la tercera capa el nivel sobre pase ligeramente el nivel de enrase del mismo. Si quedará por debajo del nivel se le agrega más concreto hasta llegar al nivel de enrase del molde.

- 7) Se enrasa el molde rodando la varilla sobre la superficie del molde.



*Ilustración 66 Enrasado, acabado final para corroborar el revenimiento de la mezcla de concreto
Varillado del concreto en ensaye de revenimiento (Fotografía Víctor Ramírez).*

- 8) Inmediatamente se levanta el molde con cuidado en dirección vertical. La operación para levantar completamente el molde de 30 cm de altura debe hacerse en $5s \pm 2s$, alzándolo verticalmente sin movimiento lateral o torsional.
- 9) La operación desde el comienzo del llenado hasta que se levanta el molde debe hacerse sin interrupción y en un tiempo no mayor de 2.5 min, debido a la fluidez del concreto este tenderá a derrumbarse de la forma del cono hasta incluso quedar extendido sobre la superficie horizontal.
- 10) Se medirá con un flexómetro ese derrumbe, colocando el molde usado en la prueba cerca de la mezcla, colocando la varilla sobre el molde, se medirá del nivel de enrase del molde y la altura promedio del cono que forme la mezcla al soltarla.



Ilustración 67 Medición del revenimiento de la mezcla de concreto Varillado del concreto en ensaye de revenimiento (Fotografía Víctor Ramírez).

- 11) Si al retirar la punta del cono de concreto claramente se va hacia un lado o se corta completamente se desecha la prueba y se repita con otra muestra.

Tabla 15 Valores nominales del revenimiento y sus tolerancias.

Menor de 50	± 15
De 50 a 100	± 25
Mayor de 100	± 35

(NMX-C-156-ONNCCE, 2010) Industria de la construcción, determinación de la fluidez del concreto fresco.

13.8 ELABORACIÓN Y CURADO DE ESPECÍMENES

13.8.1 Cilindros

La elaboración de este tipo de elementos es para obtener las muestras representativas del concreto colado en las diferentes partes de una estructura, ejemplo zapatas, contra trabes, trabes, losas, etc. Se debe identificar de acuerdo con los planos del proyecto.

Dichos cilindros deberán ser probados a la edad requerida aplicando pruebas destructivas y determinando la resistencia de ruptura a esfuerzo de compresión principalmente, aunque también suelen someterse a prueba de tensión, flexión, modulo elasticidad, etc.

Equipo utilizado:

- × Concreto fresco.
- × Varilla punta de bala.
- × Charola.
- × Pala.
- × Cucharón.
- × Mazo de goma
- × Moldes cilíndricos de 15cm de diámetro y 30cm de largo.
- × Desmoldante no reactivo (por ejemplo: aceite mineral emulsificado).

Procedimiento.

- 1) Se toma una mezcla representativa de concreto

- 2) El llenado del cilindro metálico para que no se adhiera el concreto y no expanda respectivamente, se coloca en forma vertical y en un lugar donde no haya vibraciones. Con el cucharón se llena el cilindro en capas de 10 centímetros y compactadas con varilla punta de bala con 25 golpes por capa.
 - a. Llenar cada capa un poco más del nivel fijado para que cuando la varilla penetre 25 golpes quede al nivel de capa y al final sobre pasar su volumen para poder enrasar.



Ilustración 68 Llenado y enrasado del cilindro de concreto (Fotografía Víctor Ramírez).

- b. Cada capa debe de ser compacta solo en su espesor sin sobre pasar a las capas inferiores. Después de compactar cada capa se debe golpear ligeramente con el mazo de goma las paredes del molde para eliminar las oquedades que generan las burbujas de aire y que deja la varilla.



Ilustración 69 Vibración con el mazo de goma (Fotografía Víctor Ramírez).

- 3) Se coloca la etiqueta de identificación a cada cilindro anotando en el registro los datos siguientes.
 - a. Localización de la muestra de cilindro.
 - b. Proporcionamiento.
 - c. F'c del proyecto.
 - d. Tipo de mezclado.
- 4) La elaboración del cilindro debe de hacerse en un tiempo no mayor a 15 minutos desde su muestreo.
- 5) La elaboración del cilindro debe de hacerse cerca del lugar de almacenamiento o transportarse de ahí inmediatamente después de colarlos, teniendo cuidado de no inclinarlos o vibrarlos con el objeto de que no pierdan sus propiedades de acomodo y resistencia.

- 6) Se les coloca una bolsa de plástico resistente para que no pierda la humedad bruscamente se deja ahí a una temperatura de 17 - 27 ° C durante 24 horas, que es aproximadamente su primer fraguado, para después proceder al curado.



Ilustración 70 Colocación de bolsa de plástico para que el concreto no pierda humedad excesiva (Fotografía Víctor Ramírez).

Especificaciones.

Varillas para la compactación.

Según el tipo de ensayo se especifican dos tamaños de varillas; cada una debe consistir en una barra lisa cilíndrica de acero, con un extremo semiesférico de diámetro igual al de la barra.

Enrazador.

Regla metálica con bisel de 200 mm (20 cm) de longitud mínima.

Condiciones ambientales.

Este método de ensayo se realiza de acuerdo con las condiciones ambientales del lugar en el que se elaboran los especímenes; se debe registrar la temperatura y cuando se requiera registrar la humedad.

En el laboratorio la temperatura se debe mantener uniforme, de preferencia 20°C y 25°C durante la fabricación del concreto y la elaboración de los especímenes de ensayo respectivamente.

Vibrado.

El vibrado se debe de aplicar durante el tiempo y veces necesario para lograr una compactación completa. Debe evitarse un sobre vibración que puede casar segregación.

Tabla 16 Especificaciones de tamaños, tipos de varillado y numero de capas.

Tipo y tamaño de espécimen en mm	Modo de compactación	Número de capas de igual espesor
hasta 200	varillado	2
Arriba de 200	varillado	3 o mas

Tabla 17 Tipos de diámetro de varillas y numero de penetraciones por capa.

Área de la superficie del espécimen, cm²	Vigas y cubos diámetro de varilla, mm (pulg)	Número de penetraciones por capa
100 o menos	10 ± 2 (3/8")	25
165 a 310	10 ± 2 (3/8")	una por cada 7 cm ² de superficie
320 o mas	16 ± 2 (5/8")	una por cada 14 cm ² de superficie

(NMX-C-159-ONNCCE, 2016) Industria de la construcción, elaboración y curado de especímenes de concreto, método de ensayo.

13.8.2 Prismas

Al igual que los cilindros las vigas se elaboran de forma similar y esta se hace de acuerdo con las especificaciones que marca la normativa mexicana vigente (NMX-C-159-ONNCCE, 2016).

Equipo utilizado:

- × Concreto fresco.
- × Varilla punta de bala.
- × Charola.
- × Pala.
- × Cucharón.
- × Mazo de goma

“DISEÑO DE CONCRETOS MODIFICADOS CON ADICIONES DE RESIDUOS DE ACERO Y ALUMINIO. COMPORTAMIENTO FISICO MECÁNICO”

- ✗ Moldes prismáticos de medidas 15cm de espesor 15cm de ancho y 50cm de longitud.
- ✗ Desmoldante no reactivo (por ejemplo: aceite mineral emulsificado).

Procedimiento.

- 1) El llenado se hace de acuerdo con las especificaciones de la norma mexicana (NMX-C-159-ONNCCE, 2016).
- 2) Se calcula el área transversal de la viga según sus dimensiones y en base al valor obtenido se determina el número de capas.
- 3) Una vez definido el número de capas se procede a hacer el llenado con un cucharón a la altura de 5cm de la superficie de la viga, se puede hacer también el llenado mediante la ayuda de una pala distribuyendo el concreto en toda la superficie, una vez cubierto la capa se procede hacer el varilla o compactación de la capa.



Ilustración 71 Llenado de las capas de concreto en vigas (Fotografía Víctor Ramírez).

- 4) El número de penetraciones para la compactación de la capa de concreto en la viga se determina en base a tablas proporcionadas en la norma mexicana (NMX-C-159-ONNCCE, 2016), una vez definido el número se hacen las penetraciones en toda la área transversal cuidando no golpear la superficie plana inferior del molde.



Ilustración 72 Varillado de las capas de concreto en vigas (Fotografía Víctor Ramírez).

- 5) El procedimiento anterior se repite para el total de capas, al hacer el llenado de la última capa, se hace excediendo su volumen total para que al compactar se logre cubrir toda la superficie.



Ilustración 73 Nivel de llenado de la última capa de concreto en vigas (Fotografía Víctor Ramírez).

- 6) Ya que se tiene toda la superficie completamente cubierta de concreto se procede hacer el enrazado con una varilla punta de bala o bien con un enrazador o regla metálica. Procurar que esta tenga una longitud mayor al ancho de la viga.



Ilustración 74 Enrasado, acabado final de la viga de concreto (Fotografía Víctor Ramírez).

Especificaciones.

Las especificaciones de tipos de varilla y espesor, así como las condiciones ambientales en las que se deben de hacer los colados, son las mismas que la prueba anterior.

Vibrado.

El vibrado se debe de aplicar durante el tiempo y veces necesario para lograr una compactación completa. Debe evitarse un sobre vibración que puede casar segregación.

Tabla 18 Especificaciones de tamaños, tipos de varillado y numero de capas.

tipo y tamaño de espécimen en mm	modo de compactación	Numero de capas de Aproximadamente igual espesor
hasta 200	varillado	2
Arriba de 200	varillado	3 o mas

Tabla 19 Tipos de diámetro de varillas y numero de penetraciones por capa.

Área de la superficie del espécimen, cm ²	vigas y cubos Diámetro de varilla, mm (pulg)	Numero de penetraciones por capa
100 o menos	10 ± 2 (3/8")	25
165 a 310	10 ± 2 (3/8")	una por cada 7 cm ² de superficie
320 o mas	16 ± 2 (5/8")	una por cada 14 cm ² de superficie

(NMX-C-159-ONNCCE, 2016) Industria de la construcción, elaboración y curado de especímenes prismáticos, método de ensayo.

13.8.3 Curado de los especímenes

Por medio de este proceso se evita la rápida evaporación del agua de la mezcla de concreto y la pérdida por humedad, ayudando a prevenir pérdidas en el desempeño físico y mecánico del concreto.

Equipo utilizado:

- × Espécimen de concreto.
- × Cuarto húmedo.

Procedimiento.

- 1) Existen diferentes maneras de hacer el curado de elementos de concreto, tales como, cuarto o cámara húmeda, gabinete húmedo, tanque de almacenamiento, (NMX-C-148-ONNCCE, 2010). Para este trabajo se utilizó el curado por inmersión.
- 2) Los especímenes deben de ser descimbrados entre 20 h y 48 h después de su elaboración según la norma (NMX-C-159-ONNCCE, 2016).



Ilustración 75 Preparación de las muestras de concreto para su curado (Fotografía de Víctor Ramírez).

- 3) Los especímenes de prueba elaborados para comprobar la resistencia como base para la aceptación, deben retirarse de los moldes, de preferencia a las 24 h.

- 4) Después se almacenan de inmediato en una condición húmeda por medio de la inmersión a temperatura de $(23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C})$ hasta el momento de la prueba. En el laboratorio la temperatura se debe mantener uniforme, de preferencia, $(20^{\circ}\text{C}$ y $25^{\circ}\text{C})$, durante la fabricación del concreto y la elaboración de los especímenes de ensayo.



Ilustración 76 curado por inmersión de las muestras de concreto (Fotografía de Víctor Ramírez).

(NMX-C-159-ONNCCE, 2016) industria de la construcción, elaboración y curado de especímenes de concreto, método de ensayo.

13.9 PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS REALIZADAS AL CONCRETO ENDURECIDO.

13.9.1 Resistividad Eléctrica

Resistencia eléctrica (R_e): es la relación entre la diferencia de potencial en los electrodos y la intensidad de corriente que circula por el interior del espécimen; su unidad de medida es el ohm.

Uno de los métodos cualitativos e indirectos para valorar el estado de deterioro por corrosión de una estructura es el de resistividad eléctrica. Este método es económico, rápido de interpretar y no requiere un trabajo exhaustivo previo. Sus resultados aportan datos para valorar el nivel de corrosión y evaluar el riesgo de daño.

Equipo utilizado:

- × Agua para la humectación de las esponjas y la saturación del concreto.
- × Esponjas o tela de microfibra, facilita el contacto eléctrico entre los electrodos metálicos y el concreto.
- × Fuente de corriente alterna con un rango de frecuencia de 50 HZ a 1000Hz.
- × Resistómetro mide la resistencia eléctrica en suelos y medios porosos.
- × Contactos de tipo terminal con caimán (dependiendo del caso).
- × Dos placas de cobre o acero inoxidable.
- × Vernier para determinar longitudes con precisión de 0.1 mm.
- × Flexómetro para determinar longitudes con precisión de .1 cm
- × Especímenes representativos de mortero o concreto.

Procedimiento.

- 1) Se preparan las muestras de concreto a analizar, están deben de estar completamente saturadas y libres de carbonatación, puesto que si no cumplen con estos requisitos se tienen lecturas incorrectas.
- 2) El resistómetro debe de tener la suficiente batería para que al momento de hacer las lecturas no sufra de descarga.



Ilustración 77 Resistómetro de marca "Nilson electrical" (Fotografía de Víctor Ramírez).

- 3) Conectar los cables, estos vienen en diferentes colores para identificar el negativo y positivo.



Ilustración 78 Resistómetro conectado (Fotografía de Víctor Ramírez).

- 4) Una vez conectados se procede a humedecer un par de almohadillas, estas son para que exista una mejor conductividad eléctrica a lo largo del espécimen.
- 5) Se colocan las almohadillas en los extremos de los especímenes y sobre ellas las placas de cobre, estas ya deben de estar conectadas al resistómetro por medio de un par de caimanes que contienen los cables.



Ilustración 79 Preparación de la muestra de concreto para hacer la lectura de resistividad (Fotografía de Víctor Ramírez).

- 6) Se procede hacer la lectura de la resistividad que existe en el elemento de concreto, se respeta la unidad de medida que es ohm.



Ilustración 80 Toma de la lectura de resistividad con el resistómetro (Fotografía de Víctor Ramírez).

A continuación, se muestran los criterios de evaluación según la norma mexicana (NMX-C-514-ONNCCE, 2016) haciendo comparación con los criterios de evaluación de la norma internacional (CYTED-DURAR, 1998).

Tabla 20 Criterios de evaluación según la norma mexicana (NMX-C-514-ONNCCE, 2016).

Resistividad Eléctrica (ρ)	Probabilidad de corrosión
>100-200 K Ω -cm	Las velocidades de corrosión del acero son muy bajas
50-100 K Ω -cm	Las velocidades de corrosión del acero son bajas
10-50 K Ω -cm	Las velocidades de corrosión del acero moderadas o altas en concretos carbonatados o con cloruros
<10 K Ω -cm	Las velocidades de corrosión del acero muy altas en concretos carbonatados o con cloruros

Tabla 21 Criterios de evaluación según la norma internacional (CYTED-DURAR, 1998).

Resistividad Eléctrica (ρ)	Probabilidad de corrosión
$\rho < 10$ K Ω -cm	alto riesgo de corrosión,
10 K Ω -cm $< \rho < 200$ K Ω -cm	riesgo moderado
$\rho > 200$ K Ω -cm	poco riesgo

(NMX-C-514-ONNCCE, 2016) Industria de la construcción, determinación de la resistencia eléctrica de los especímenes de concreto, método de ensayo.

(CYTED-DURAR, 1998) Durabilidad de la armadura, manual de inspección, evolución y diagnóstico de corrosión en estructuras de hormigón armado.

13.9.2 Velocidad de Pulso Ultrasónico

Este tipo de ensayo no destructivo se lleva a cabo en las muestras de mortero o concreto, es aplicable para la verificación de la homogeneidad (uniformidad y calidad relativa), para detectar las fallas internas (presencia de vacíos) introducidas durante la fabricación, la profundidad de las fisuras e imperfecciones; de igual forma, sirve para monitorear las variaciones en las propiedades del mortero a lo largo del tiempo, derivado de la agresividad del medio. Homogeneidad: Es la cualidad del concreto por la cual sus componentes se distribuyen de manera regular en toda su masa, proporcionando uniformidad de características, estructura, composición y propiedades físicas y mecánicas.

Equipo utilizado:

- ✘ Equipo comercial de ultrasonido, modelo V-Meter MK IVTM marca NDT - JAMES INSTRUMENTS (Non Destructive Test Equipment) incluye dos transductores, un emisor y un receptor.
- ✘ Agente de acoplamiento (gel comercial para cabello).
- ✘ Especímenes de concreto o mortero.
- ✘ Vernier para determinar longitudes con precisión de 0.1 mm.
- ✘ Flexómetro para determinar longitudes con precisión de .1 cm
- ✘ Contenedor para mantener las muestras saturadas

Procedimiento.

- 1) Conectar los transductores al aparato de pulso ultrasónico, mediante los cables coaxiales aptos para el equipo comercial.

- 2) Calibrar el equipo de velocidad de pulso ultrasónico usando gel entre los transductores.



Ilustración 81 Calibración del aparato de velocidad de pulso ultra sónico (Fotografía de Víctor Ramírez).

- 3) Extraer del recipiente de curado los especímenes saturados hasta masa constante, verificar que la superficie donde se hará el ensayo (cara de prueba e inferior y superior del espécimen) esta plana, lisa, exenta de suciedad y no carbonatada. Aquellas superficies que no sean suficientemente lisas se deben regularizar a través de procesos mecánicos o con una capa de pasta de cemento, yeso o resina epóxica con espesor mínimo, a fin de posibilitar un buen acoplamiento con los transductores o sondas, pero sin que puedan interferir en la medida.



Ilustración 82 Extracción de los especímenes de la pila de curado (Fotografía de Víctor Ramírez).

- 4) Enumerar y medir el espesor o longitud promedio de prueba en el espécimen.

“DISEÑO DE CONCRETOS MODIFICADOS CON ADICIONES DE RESIDUOS DE ACERO Y ALUMINIO. COMPORTAMIENTO FISICO MECÁNICO”

- 5) Seleccionar en el aparato la longitud promedio de prueba de la muestra y la cantidad de pulsos por segundo que se le debe dar (normalmente 3 pulsos en 2 segundos, para concreto).
- 6) Aplicar un adecuado agente de acoplamiento (gel para cabello), en la cara de los transductores que estará en contacto con el espécimen y en ambas caras del espécimen a ensayar.



Ilustración 83 Aplicación del agente de acoplamiento para medir la velocidad de pulso ultra sónico (Fotografía de Víctor Ramírez).

- 7) Aplicar el modo de prueba (transmisión directa), esto se logra al poner en contacto ambos transductores en las caras opuestas del espécimen a ensayar.



Ilustración 84 Toma de la lectura de la velocidad de pulso ultra sónico (Fotografía de Víctor Ramírez).

- 8) El valor de Velocidad de Pulso Ultrasónico. En el caso de que haya mucha oscilación en el aparato se tomara la lectura que se repita al menos 2 veces, este

“DISEÑO DE CONCRETOS MODIFICADOS CON ADICIONES DE RESIDUOS DE ACERO Y ALUMINIO. COMPORTAMIENTO FISICO MECÁNICO”

procedimiento aplica para cualquier espécimen que se tenga de concreto, por ejemplo, cilindros, prismas, cubos, etc.

A continuación, se presentan los diferentes criterios de evaluación entre las normas vigentes, internacional (CYTED-DURAR, 1998), norma mexicana (NMX-C-275-ONNCCE, 2004).

Tabla 22 Criterios de evaluación según la norma mexicana (NMX-C-514-ONNCCE, 2016). (NMX-C-275-ONNCCE-2004).

Velocidad de Propagación	Vacíos o agrietamientos en el concreto
>2350 m/s	Pocos vacíos o agrietamiento bajo o nulo
2350-1780 m/s	Algunos vacíos o agrietamiento medio
<1700 m/s	Muchos vacíos o agrietamiento alto

Tabla 23 Criterios de evaluación según la norma mexicana (NMX-C-514-ONNCCE, 2016).

(CYTED-DURAR, 1998)	
Velocidad de Propagación	Calidad del Concreto
>4000 m/s	Durable
4000-3001 m/s	Alta
3000-2001 m/s	Normal
< 2000 m/s	Deficiente

(CYTED-DURAR, 1998) Durabilidad de la armadura, manual de inspección, evolución y diagnóstico de corrosión en estructuras de hormigón armado.

(NMX-C-275-ONNCCE, 2004) Industria de la construcción, determinación de la velocidad de pulso ultra sónico, método de ensayo.

13.10 PRUEBAS DESTRUCTIVAS REALIZADAS AL CONCRETO ENDURECIDO.

13.10.1 Resistencia a compresión simple en especímenes cilíndricos

Esta prueba se realiza con el fin de llevar un control de calidad de la resistencia del concreto que se está colocando en una obra determinada y con el fin de cumplir con las especificaciones de supervisión correspondientes. Para pruebas de compresión se utilizan dos tipos de especímenes: cubos y cilindros.

Equipo utilizado:

- × Prensa hidráulica Forney
- × Almohadillas de neopreno y/o azufre
- × Especímenes de concreto en este caso cilindros de 15cm de diámetro y 30cm de longitud.
- × Moldes de cabeceo con guías para asegurar la verticalidad.
- × Aceite.
- × Estopa.
- × Azufre
- × Parrilla de gas.

Procedimiento.

- 1) La muestra de ensayo (cilindro de concreto) con dimensiones de 15cm x 30cm, se retira de la pila de curado.



Ilustración 85 Extracción de los especímenes cilíndricos de la pila de curado (Fotografía de Víctor Ramírez).

“DISEÑO DE CONCRETOS MODIFICADOS CON ADICIONES DE RESIDUOS DE ACERO Y ALUMINIO. COMPORTAMIENTO FISICO MECÁNICO”

- 2) La muestra se deja reposar por unos minutos, hasta que el cilindro presente secado superficial.
- 3) El cilindro de concreto se cabecea con azufre, mortero de azufre o pueden usarse almohadillas de neopreno, este proceso es basado en la norma mexicana vigente (NMX-C-109-ONNCCE, 2004).



Ilustración 86 Cabeceo del espécimen cilíndrico de concreto (Fotografía de Víctor Ramírez).

- 4) En este caso particular se cabeceó con azufre, este se prepara colocándolo en una jarra metálica y se coloca en una parrilla de gas hasta que se funde, y llegue a un estado líquido.
- 5) Se coloca el azufre fundido en un molde metálico, una vez vertido el azufre se sienta el cilindro por encima de él y se sujeta hasta que el azufre se enfría y llega a un estado sólido, este proceso se hace para ambos extremos del cilindro.



Ilustración 87 Colocación del azufre en el molde metálico de cabeceo (Fotografía de Víctor Ramírez).

“DISEÑO DE CONCRETOS MODIFICADOS CON ADICIONES DE RESIDUOS DE ACERO Y ALUMINIO. COMPORTAMIENTO FISICO MECÁNICO”

- 6) Se coloca el cilindro ya cabeceado al centro de la platina de la prensa hidráulica para proceder aplicarle la carga.



Ilustración 88 Aplicación de la carga a compresión en el espécimen cilíndrico (Fotografía de Víctor Ramírez).

- 7) Se ajusta ambas platinas de la prensa hidráulica hasta que lleguen a tocar ligeramente los extremos del cilindro de concreto.
- 8) Por último, los valores de la prensa se ajustan a cero y se comienza aplicar compresión para medir la carga máxima y calcular el esfuerzo máximo, los valores obtenidos se comparan con las especificaciones de proyecto y se determina si cumple o no.



Ilustración 89 Falla del espécimen cilíndrico (Fotografía de Víctor Ramírez).

“DISEÑO DE CONCRETOS MODIFICADOS CON ADICIONES DE RESIDUOS DE ACERO Y ALUMINIO. COMPORTAMIENTO FISICO MECÁNICO”

Velocidad de aplicación de carga.

Se debe de aplicar con una velocidad continua sin producir impacto, ni perdida de la carga. La velocidad de la carga debe de estar dentro de los intervalos, que establece la normativa mexicana correspondiente (NMX-C-083-0NNCCE, 2014).

Tabla 24 Velocidad de la carga según su forma y tamaño (NMX-C-083-0NNCCE, 2014)

Velocidad de aplicación de carga	Forma del espécimen	Diámetro o lado nominal de los especímenes en (cm)	Área nominal en (cm ²)	Carga mínima (T/min)	Carga máxima (T/min)
0.25 MPa/s ± 0.05 Mpa/s (2.55 Kg/cm ² /s ± 0.51Kg/cm ² /s)	Cilindros	5 de diámetro	19.64	2.4	3.6
		7.5 de diámetro	44.18	5.4	8.1
		10 de diámetro	78.54	9.6	14.4
		15 de diámetro	176.72	21.6	32.4
	Cubos	5 de diámetro	25	3.1	4.6
		7.5 de diámetro	56.25	6.9	10.3
		10 de diámetro	100	12.2	18.4
	15 de diámetro	225	27.5	41.3	

Tabla 25 Tolerancias según la norma, edades alas que se deben de probar.

Edad de ensayo especificada	Tolerancia permisible	% de Resistencia de concreto
24 hrs	± 0.5 h	9 %
3 días	± 2 h.	31 %
7 días	± 6 h.	65%
14 días	± 12 h	75 %
28 días	± 20 h.	100%

Cálculo:

$$f_c = F/A \quad A = \frac{\pi D^2}{4}$$

Donde:

f^c = resistencia a la compresión con unidades kg/cm²

W= Carga máxima registrada.

A= Área transversal del espécimen.

D= Diámetro del cilindro

(NMX-C-083-0NNCCE, 2014) Industria de la construcción, determinación de la resistencia a la compresión simple, método de ensayo.

13.10.2 Resistencia a Flexión en especímenes prismáticos

La resistencia flexional, también conocida como módulo de ruptura, es una propiedad que se manifiesta como esfuerzos ocurridos justo antes de ceder en una prueba de flexión.

Con mayor frecuencia se emplea la prueba flexión transversal, en la cual un espécimen de sección rectangular se arquea hasta que se fractura o cede al someterlo a una prueba de tres puntos.

Es el esfuerzo más alto ocurrido dentro del material en el momento de fallo. Se representa mediante el símbolo sigma Σ (NTC, 2017).

Equipo utilizado:

- × Prensa hidráulica Forney
- × Accesorios para la flexión
- × Metro
- × Marcador indeleble

Procedimiento.

- 1) Se retira la muestra de concreto de la pila de curado.

“DISEÑO DE CONCRETOS MODIFICADOS CON ADICIONES DE RESIDUOS DE ACERO Y ALUMINIO. COMPORTAMIENTO FISICO MECÁNICO”



Ilustración 90 Extracción de las vigas de concreto de la pila de curado (Fotografía de Víctor Ramírez).

- 2) Se marcan los apoyos a una distancia de 1” (2.5cm) con la ayuda de una regla y el marcador indeleble.



Ilustración 91 Marcación de las distancias de los apoyos en (Fotografía de Víctor Ramírez).

- 3) Se marcan los 3 tercios de la viga los cuales deben quedar a una distancia de 15cm.



Ilustración 92 Marcación de los tercios medios en las vigas de concreto para determinar la flexión (Fotografía de Víctor Ramírez).

- 4) Se determinan las dimensiones reales del espécimen prismático, ancho, espesor y su longitud.

“DISEÑO DE CONCRETOS MODIFICADOS CON ADICIONES DE RESIDUOS DE ACERO Y ALUMINIO. COMPORTAMIENTO FISICO MECÁNICO”

- 5) Se colocan los aditamentos de flexión en la prensa de tal manera que quede al centro, se coloca la viga de concreto procurando que los apoyos queden exactamente en las marcas, se colocan dos apoyos al tercio medio sujetos a una placa metálica.



Ilustración 93 Colocación de los apoyos y aditamentos para la prueba de flexión (Fotografía de Víctor Ramírez).

- 6) Finalmente se anivela la prensa hidráulica Forney procurando que la platina quede justamente tocando la placa metálica del tercio medio para aplicar la carga hasta su falla.



Ilustración 94 Aplicación de la carga y falla de la viga a flexión (Fotografía de Víctor Ramírez).

NOTA: Para los cálculos de la flexión o módulo de ruptura se deben considerar ciertos criterios como: verificar si la falla se presentó al tercio medio o fuera del tercio medio ya que existe un cálculo particular para cada caso.

Cálculos:

- A. Cuando la falla ocurre al centro del tercio medio de la viga de concreto.

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

B. Cuando la falla se presente fuera del tercio medio de la viga de concreto.

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

Donde:

R=Modulo de ruptura en Kg/cm²

P=Carga de ruptura en Kg

L=Distancia entre apoyos en cm

b= ancho promedio en cm

d= peralte promedio en cm

a=Distancia entre la línea de falla y el apoyo más cercano en cm

(Mandujano, 2011) Manual de análisis de materiales de la universidad michoacana de san nicolás de hidalgo.

14 RESULTADOS Y DISCUSIONES

14.1 CEMENTO

Densidad del cemento (MNX-C-152-0NNCE., (2014).) Esta prueba se realizó empleando el matraz de Le Chatelier, y de acuerdo a parámetros normales este valor se encuentra entre 3.15 g/cm³ y 2.90 g/cm³, el resultado obtenido se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 26 Densidad del cemento (MNX-C-152-0NNCE., (2014).)

CEMENTO		
	Muestra 1	Muestrav2
PESO DEL CEMENTO	60.00 grs	60.00 grs
Li	0.30 cm ³	0.30 cm ³
Lf	20.10 cm ³	20.10 cm ³
VOLUMEN	19.80 cm ³	19.80 cm ³

DENSIDAD	3.03 grs/cm3	3.03 grs/cm3
PROMEDIO	3.030 grs/cm3	

Consistencia del material cementante Esta prueba se realizó empleando el aparato Vicat, de acuerdo con la norma (NMX-C-057-0NCCE, 2015).

Tabla 27 Consistencia normal del cemento (NMX-C-057-0NCCE, 2015).

Consistencia Normal	
Masa de cemento (g)	600
Mililitros de agua (ml)	135
Penetración (mm)	10.139
Consistencia normal (%)	0.45

Fraguado del material cementante. Los tiempos de fraguado del cemento son parámetros indicativos de la calidad del cemento y se determinaron con base en la norma (ASTM-C-266-04, 2004), el resultado se comparó con la norma (NMX-C-177-ONNCCE, 1997), obtenido un resultado dentro de los parámetros que hacen referencia las normas.

Tabla 28 Tiempos reales de fraguado del cemento (NMX-C-177-ONNCCE, 1997).

Tiempos de fraguado	
Fraguado inicial	Fraguado final
02:10 min	04:30 min

14.2 ARENA

La arena utilizada en la caracterización para su uso en la mezcla de concreto proviene de un banco de material de la ciudad de Morelia Michoacán, el banco de material se llama joyitas y es volcánica.

Todas las pruebas fueron realizadas con un procedimiento basado en las normativas vigentes mexicanas, algunas de las pruebas se compararon con normas internacionales

“DISEÑO DE CONCRETOS MODIFICADOS CON ADICIONES DE RESIDUOS DE ACERO Y ALUMINIO. COMPORTAMIENTO FISICO MECÁNICO”

ASTM. Ha continuación, se muestran los resultados obtenidos de la caracterización realizada a la arena.

Tabla 29 Resultados de la caracterización completa en la arena.

Prueba	Tolerancias	Normas	Arena
Humedad Actual	-----	((NMX-C-166-ONNCCE), 2006)	0%
Humedad de Absorción		(NMX-C-165-ONNCCE, 2014)	4.04%
M.V.S.S.	-----	(NMX-C-073-ONNCCE, 2014)	1,390.91 Kg/m ³
M.V.S.V.	-----	(NMX-C-073-ONNCCE, 2014)	1,525.45 Kg/m ³
Densidad (g/cm ³)	(2.15 Aceptable)	(NMX-C-165-ONNCCE, 2014)	2.50 grs/cm ³
Granulometría	Dentro de los limites	(NMX-C-111-ONNCCE, 2004)	Cumple
Módulo de Finura	(<2.3-3.2>)		2.70

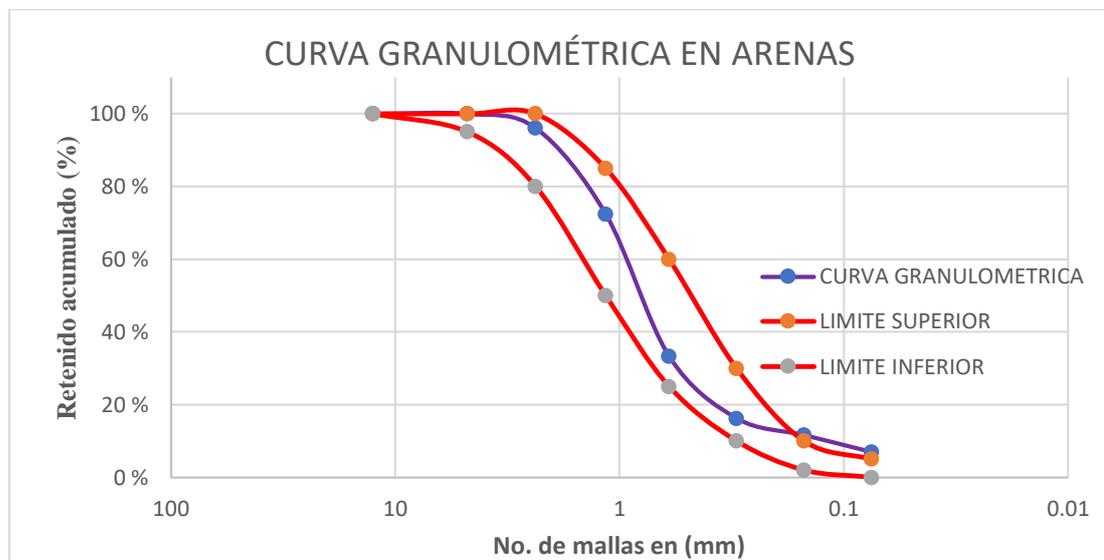


Grafico 2 Curva granulométrica de la arena.

Los resultados de la arena que se utilizó se encuentran dentro de los parámetros recomendados, por lo cual se puede definir que es un agregado fino apto para ser utilizado en las mezclas de concreto.

14.3 GRAVA

La grava caracterizada y utilizada en la mezcla de concreto proviene de un banco de material de la ciudad de Morelia Michoacán, el banco de materiales se llama la roca y es triturada.

Todas las pruebas fueron realizadas con procedimientos basados en las normativas vigentes mexicanas, algunos resultados se compararon con las normas internacionales ASTM, a continuación, se muestran los resultados obtenidos de cada ensayo realizadas a la grava.

Tabla 30 Resultados de la caracterización completa de la grava

Prueba	Normas	Grava
Humedad Actual	((NMX-C-166-ONNCCE), 2006)	0.00%
Humedad de absorción	(NMX-C-164-ONNCCE, 2014)	1.72%
Masa volumétrica seca suelta	(NMX-C-073-ONNCCE, 2014)	1492.45 Kg/m ³
Masa volumétrica seca varillada	(NMX-C-073-ONNCCE, 2014)	1610.37 Kg/m ³
Densidad	(NMX-C-164-ONNCCE, 2014)	2.75 gr/cm ³
Granulometria	(NMX-C-111-ONNCCE, 2004)	Cumple

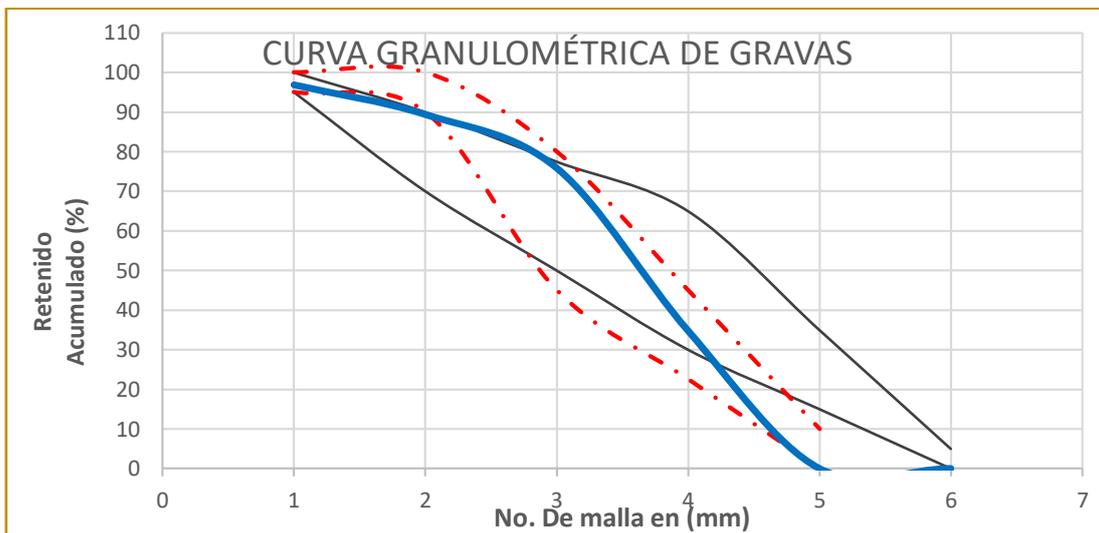


Grafico 3 Curva granulométrica de la grava.

Los resultados obtenidos de la caracterización a la grava se encuentran dentro de la mayoría de los parámetros. Sin embargo, se observa en la curva granulométrica que la dispersión no es estable, no obstante, ningún % retenido de la grava se sale de ambos límites, se puede decir que la mayor cantidad de la muestra está dentro de los límites de concreto, por lo tanto, se define que es un agregado grueso apto para ser utilizado en las mezclas de concreto.

14.4 DISEÑO DE LA MEZCLA DE CONCRETO POR EL MÉTODO ACI (AMERICAN CONCRETE INSTITUTE)

Se requiere dosificar los materiales para producir 1 m³ de concreto sin aire incluido con resistencia a la compresión de 30 MPa (300 kg/cm²) a los 28 días de edad. Este será utilizado en vigas (15x15x60cm y cilindros (10x20cm), método de diseño (ACI).

- 1) De acuerdo con los datos obtenidos mediante la caracterización de los agregados pétreos y cemento, se procede a calcular la desviación estándar basado en las tablas que se muestra a continuación.

Tabla 31 Desviación estándar, cuando se tienen datos de las variables.

cuando se tienes datos y se conoce la desviación estándar	
El fcr se calcula:	$f'c + 1.28\sigma$;
	$f'c + 2.52\sigma - 35$

Donde σ , es la desviación estándar, se obtiene de una de las tablas del método ACI

Tabla 32 Desviación estándar, cuando no se tienen los datos de las variables.

cuando no se cuenta con datos existen ciertos parámetros para calcular el fcr	
resistencia especificada a la compresión	resistencia promedio a la compresión requerida
$f'c < 214$	$fcr = f'c + 71.36$
$214 < f'c < 357$	$fcr = f'c + 81.86$
$f'c > 357$	$fcr = 1.10f'c + 50.97$

“DISEÑO DE CONCRETOS MODIFICADOS CON ADICIONES DE RESIDUOS DE ACERO Y ALUMINIO. COMPORTAMIENTO FISICO MECÁNICO”

Para este trabajo de investigación se determinó dejar $f'c = Fcr$ por lo cual $f'c = 300 \text{ Kg/cm}^2$.

- 2) Se define el revenimiento del concreto como parte de los datos de proyecto, por lo tanto, se elige diseñar un concreto con un revenimiento medio de 10cm.
- 3) Se determina el T.M.A (Tamaño máximo del agregado), este dato se obtuvo mediante un análisis granulométrico, T. M. A=3/4.
- 4) Se determina la cantidad de agua para un m^3 de concreto y el aire atrapado con la ayuda de una de las tablas que el ACI, los datos que se requieren son; TMA y revenimiento, se colorean en la tabla los resultados.

cantidad de agua= 205 litros porcentaje de aire atrapado= 2%

Tabla 33 Requisitos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos nominales de agregado.

TABLA 17								
REQUISITOS APROXIMADOS DE AGUA DE MEZCLADO Y CONTENIDO DE AIRE PARA DIFERENTES REVENIMIENTOS Y TAMAÑOS MAXIMOS NOMINALES DE AGREGADO.								
Agua, kg. / m^3 de Concreto								
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 (%) □								
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

“DISEÑO DE CONCRETOS MODIFICADOS CON ADICIONES DE RESIDUOS DE ACERO Y ALUMINIO. COMPORTAMIENTO FISICO MECÁNICO”

- 5) Se calcula la relación la relación agua/cemento con los datos que proporciona el (ACI), como la resistencia de proyecto no se encuentra dentro de la tabla se toman los valores de una resistencia mayor y de una menor para poder hacer una interpolación y encontrar la relación agua/cemento.

Tabla 34 Correspondencia entre la relación agua/cemento y la resistencia a la compresión del concreto.

CORRESPONDENCIA ENTRE LA RELACIÓN AGUA/CEMENTO Y LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO		
Resistencia a la compresión a los 28 días, kg./cm ²	Relación Agua/Cemento por peso	
	Concreto Sin aire incluido	Concreto Con aire incluido
420	0.41	--
350	0.48	0.4
280	0.57	0.48
210	0.68	0.59
140	0.82	0.74

$$350. \longleftrightarrow 0.48$$

$$300 \longleftrightarrow X$$

$$280. \longleftrightarrow 0.57$$

$$\frac{350-300}{350-280} = \frac{0.48-X}{0.48-0.57}$$

$$(0.48 - 0.57) \frac{350-300}{350-280} = 0.48 - X$$

$$\underline{\underline{X = 0.064 + 0.48 = 0.54}}$$

por lo tanto, la relación Agua Cemento A/C=0.54

- 6) Se calcula el contenido de cemento para un m³ de concreto.

$$A=205 \text{ litros}$$

$$A/C=0.54; \quad C=A/0.54; \quad C=205/0.54; \quad \mathbf{C=379.64 \text{ Kg}}$$

- 7) Se calcula el volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto con el apoyo de la tabla que se muestra.

“DISEÑO DE CONCRETOS MODIFICADOS CON ADICIONES DE RESIDUOS DE ACERO Y ALUMINIO. COMPORTAMIENTO FISICO MECÁNICO”

De acuerdo con el análisis granulométrico del agregado fino “arena” el módulo de finura MF=2.70, con este dato y con el tamaño máximo del agregado grueso “TMA” se parte a realizar los cálculos siguientes.

Tabla 35 Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto.

Tamaño máximo del Agregado (mm)	Volumen de agregado grueso varillado en seco, por volumen unitario de concreto para diferentes módulos de figura 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

Como no se cuenta con un dato preciso en la tabla con respecto el módulo de finura que se obtuvo de la granulometría en arenas se procede hacer una interpolación tomando un valor menor, así como un mayor.

$$\begin{array}{l}
 2.80 \longleftrightarrow 0.62 \\
 2.70 \longleftrightarrow X \\
 2.60 \longleftrightarrow 0.64
 \end{array}
 \qquad
 \begin{array}{l}
 \frac{2.80-2.70}{2.80-2.60} = \frac{0.62-X}{0.62-0.64} \\
 (0.62 - .064) \frac{2.80-2.70}{2.80-2.60} = 0.62 - X
 \end{array}$$

$$\mathbf{X = 0.010 + 0.62 = \underline{0.63}}$$

- 8) Se calcula el contenido total de la grava en unidades de peso para un m³ de concreto.

$$VG = 0.63$$

$$VG * MVSC = G \text{ (Kg)}$$

$$MVSC = 1610.38$$

$$0.63 * 1610.38 = \underline{\underline{1013.86 \text{ Kg}}}$$

- 9) Se calcula la cantidad necesaria de agregado fino “arena” para un m³ de concreto.

“DISEÑO DE CONCRETOS MODIFICADOS CON ADICIONES DE RESIDUOS DE ACERO Y ALUMINIO. COMPORTAMIENTO FISICO MECÁNICO”

$$\text{Vol. (cm}^3\text{)} = \frac{\text{peso (Kg)}}{\text{Densidad}} / 1,000$$

$$\text{Peso (Kg)} = (1,000) (\text{Vol.}) (\text{densidad})$$

Si en la suma de los volúmenes tiene que dar un total de 1m³ de concreto, por tanto, Como ya se tienen los volúmenes de los demás materiales se hace la suma y el valor faltante deberá de ser de la arena, así como se calcula de la siguiente manera.

$$\text{Vol. De la Arena} = 1 - 0.124 - 0.205 - 0.020 - 0.383 = \underline{\underline{0.268}}$$

$$\text{Peso de la Arena} = (1,000) * (0.268) * (2.506) = \underline{\underline{671.61}}$$

Tabla 36 Cantidades de los materiales para 1 m³ de concreto.

CANTIDAD PARA UN METRO CÚBICO			
MATERIALES	PESO (kg)	DENSIDAD	VOL (m³)
CEMENTO	376.640	3.030	0.124
AGUA	205.000	1.000	0.205
AIRE	0.000	0.000	0.020
ARENA	<u>671.61</u>	2.506	<u>0.268</u>
GRAVA	1013.860	2.645	0.383
TOTAL	2265.532		1

- 10) Por último, se hacen las correcciones por humedad de absorción de los agregados pétreos y corrección de la cantidad de agua.

Tabla 37 Corrección por humedad y absorción.

MATERIAL	% Absorción	% H. Actual
GRAVA	1.33%	0.00
ARENA	3.51%	0.00

$$\text{Peso de la grava corregida} = 1013.86 + (-0.013 * 1013.86) = \underline{\underline{1000.68 \text{ Kg}}}$$

$$\text{Peso de la arena corregida} = 671.61 + (-0.0351 * 671.61) = \underline{\underline{648.04 \text{ Kg}}}$$

$$\text{Cantidad del agua corregida} = 205 + (0.013 * 205) + (0.0351 * 205) = \underline{\underline{214.86 \text{ lts}}}$$

Resumen.

Tabla 38 Cantidades corregidas por humedad y absorción para 1m³ de concreto.

CANTIDAD PARA UN METRO CÚBICO			
MATERIALES	PESO (kg)	DENSIDAD	VOL (m³)
CEMENTO	376.64	3.03	0.124
AGUA	<u>214.86</u>	1	0.205
AIRE	0	0	0.02
ARENA	<u>648.04</u>	2.506	0.268
GRAVA	<u>1000.68</u>	2.645	0.383
TOTAL	2265.532		1

Con estas cantidades de materiales se calculó cada uno de los porcentajes de adición, estos se propusieron de manera experimental y fueron con respecto al peso del cemento.

La escoria de aluminio se propuso en dos porcentajes, 1.0% y 2.0% con respecto al peso del cemento y de escoria de hierro del 1.0%.

Para el porcentaje de 1.0% de aluminio = 3.766 Kg/m³

Para el porcentaje de 2.0% de aluminio = 7.532 Kg/m³

Para el porcentaje de 1.0% de acero (hierro) = 3.766 Kg/m³

Finalmente partiendo con los datos corregidos por humedad y absorción de los agregados pétreos y una vez calculada el agua requerida para 1m³, así como los pesos de las adiciones para el concreto se pueden proponer diferentes tipos de diseño, vigas, cilindros, cubos etc.

(ACI) American concrete institute, metodología para el cálculo de las cantidades necesarias de los materiales para 1m³ de concreto, proporcionamiento.

14.5 PRUEBAS REALIZADAS AL CONCRETO FRESCO

14.5.1 Revenimiento

Las mezclas de concreto convencional, así como con adiciones de residuos metálicos se diseñaron con un revenimiento de proyecto de 10cm.

El revenimiento fue la única prueba que se le hizo al concreto en estado fresco, y esta se hizo con la finalidad de corroborar la consistencia y fluidez para fines del control del agua utilizada en la mezcla de concreto, la mezcla de concreto con adición de escoria de aluminio con ambos porcentajes cumplen con el revenimiento de proyecto, así como también la mezcla de concreto con adición de escoria de acero y finalmente la mezcla de concreto convencional cumple con el revenimiento de proyecto.

Mezcla convencional del concreto. Con un resultado de **12cm** aproximadamente, la tolerancia es $10\pm 2\text{cm}$, se encuentra entre los rangos permitidos por la norma (NMX-C-156-ONNCCE, 2010).



Ilustración 95 Comprobación del revenimiento en la mezcla de concreto convencional (Fotografía de Víctor Ramírez).

Mezcla 2 y 3, Concreto convencional mas adición de escoria de aluminio en dos diferentes porcentajes, en ambas mezclas el revenimiento fu de **11cm** por lo que se encuentra dentro de las tolerancias según la norma (NMX-C-156-ONNCCE, 2010).



Ilustración 96 Comprobación del revenimiento del concreto con adición de escoria de aluminio (Fotografía de Víctor Ramírez).

Mezcla 4, Concreto convencional con adición de escoria de acero (hierro) en un solo porcentaje, el revenimiento obtenido en esta mezcla fu de **9.5cm**, por lo tanto, cumple con las tolerancias que la norma menciona (NMX-C-156-ONNCCE, 2010).



Ilustración 97 Comprobación del revenimiento de la mezcla de concreto con adición de escoria e acero (hierro), (Fotografía de Víctor Ramírez).

14.6 PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS REALIZADAS AL CONCRETO ENDURECIDO

14.6.1 Resistividad eléctrica

Los resultados de la resistividad en los cilindros y vigas de concreto convencional como con adiciones de residuos metálicos se muestran en la tabla 43, se muestran las referencias a las probabilidades de corrosión basados en la norma mexicana (NMX-C-514-ONNCCE, 2016) y la norma internacional (CYTED-DURAR, 1998).

“DISEÑO DE CONCRETOS MODIFICADOS CON ADICIONES DE RESIDUOS DE ACERO Y ALUMINIO. COMPORTAMIENTO FISICO MECÁNICO”

Tabla 39 Resultados de resistividad eléctrica de vigas y cilindros

Mezclas	Cilindros	Probabilidad de corrosión.	Vigas	Probabilidad de corrosión.
Concreto convencional	18.85 (KΩ-cm)	moderadas en concretos carbonatados o con cloruros	8.48 (KΩ-cm)	muy altas en concretos carbonatados o con cloruros
Concreto convencional más la adición de escoria de aluminio al 1.0%	11.13 (KΩ-cm)	moderadas en concretos carbonatados o con cloruros	6.23 (KΩ-cm)	muy altas en concretos carbonatados o con cloruros
Concreto convencional más la adición de escoria de aluminio al 2.0%	10.55 (KΩ-cm)	moderadas en concretos carbonatados o con cloruros	20.62 (KΩ-cm)	moderadas en concretos carbonatados o con cloruros
Concreto convencional más la adición de escoria de acero (hierro) al 1.0%	17.08 (KΩ-cm)	moderadas en concretos carbonatados o con cloruros	5.02 (KΩ-cm)	muy altas en concretos carbonatados o con cloruros

Tabla 40 Criterios de evaluación según la norma mexicana (NMX-C-514-ONNCCE, 2016).

Resistividad Eléctrica (ρ)	Probabilidad de corrosión
>100-200 KΩ-cm	Las velocidades de corrosión del acero son muy bajas
50-100 KΩ-cm	Las velocidades de corrosión del acero son bajas
10-50 KΩ-cm	Las velocidades de corrosión del acero moderadas en concretos carbonatados o con cloruros
<10 KΩ-cm	Las velocidades de corrosión del acero muy altas en concretos carbonatados o con cloruros

“DISEÑO DE CONCRETOS MODIFICADOS CON ADICIONES DE RESIDUOS DE ACERO Y ALUMINIO. COMPORTAMIENTO FISICO MECÁNICO”

Tabla 41 Criterios de evaluación según la norma internacional (CYTED-DURAR, 1998).

Resistividad Eléctrica (ρ)	Probabilidad de corrosión
$\rho < 10 \text{ K}\Omega\text{-cm}$	alto riesgo de corrosión,
$10 \text{ K}\Omega\text{-cm} < \rho < 200 \text{ K}\Omega\text{-cm}$	riesgo moderado
$\rho > 200 \text{ K}\Omega\text{-cm}$	poco riesgo

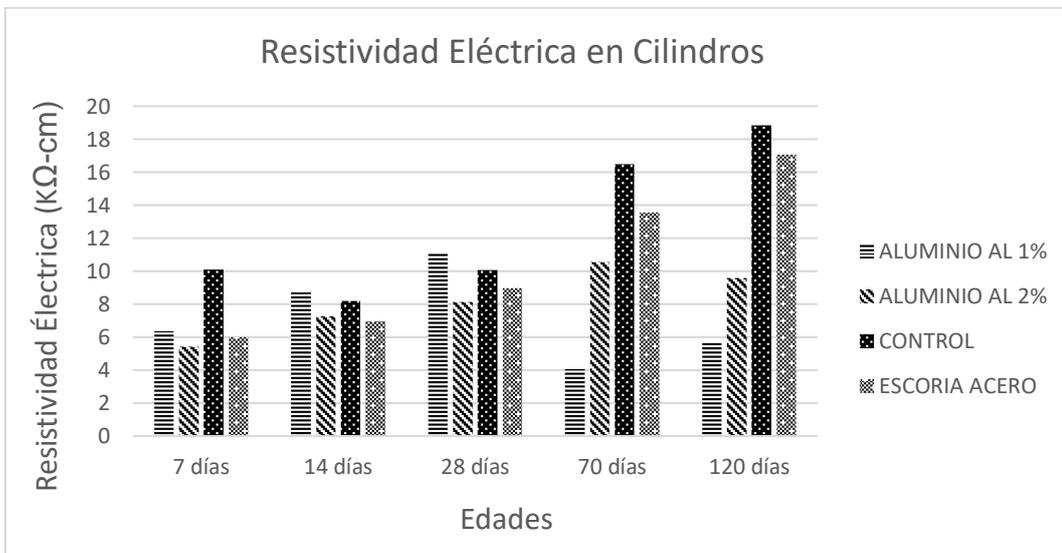


Gráfico 4 Resistividad eléctrica de los Cilindros a diferentes edades.

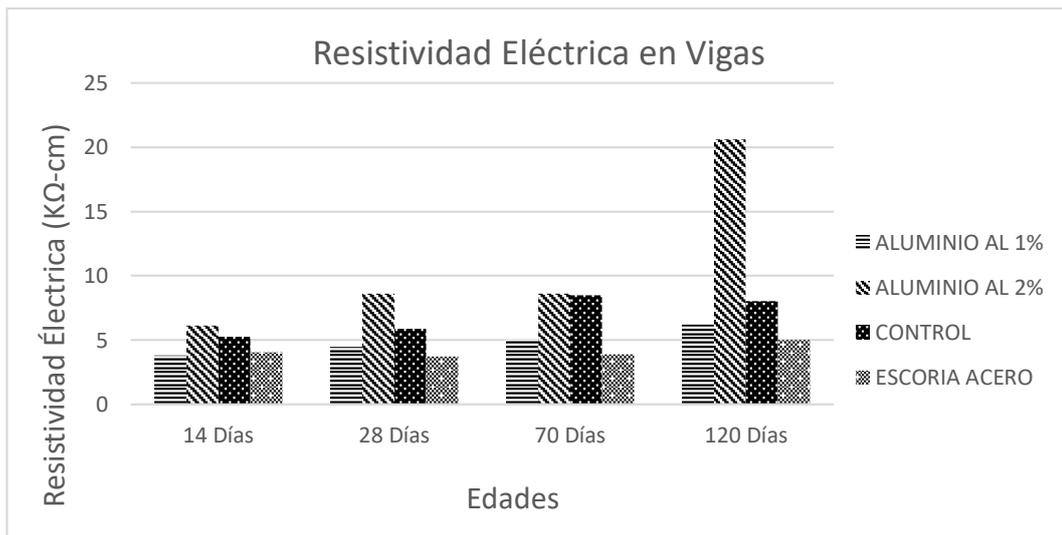


Gráfico 5 Gráfico de la resistividad eléctrica de los Vigas a diferentes edades.

“DISEÑO DE CONCRETOS MODIFICADOS CON ADICIONES DE RESIDUOS DE ACERO Y ALUMINIO. COMPORTAMIENTO FISICO MECÁNICO”

En cilindros las mezclas de concreto con adición de escoria de aluminio con los diferentes porcentajes, tuvo un comportamiento muy inestable cambiando su resistencia eléctrica de menor a mayor a edades tempranas y de mayor a menor en edades tardías, la mezcla con mejor comportamiento fue la mezcla de concreto con adición de escoria de hierro (acero), mostrando un incremento uniforme en la resistividad eléctrica, aunque sus lecturas fueron menores al control (testigo).

En las vigas analizadas, las mezclas de concreto con adición de escoria de aluminio (1%) y hierro (acero) (1%), tuvieron un comportamiento inestable en las lecturas de resistividad eléctrica en sus diferentes edades. Se tuvo mejor comportamiento en la mezcla de concreto con adición del 2% de escoria de aluminio con lecturas mayores en los diferentes días en comparación con las demás mezclas de concreto.

14.6.2 Velocidad de pulso ultrasónico (VPU)

Los resultados de la velocidad de pulso ultra sónico en los cilindros y vigas de concreto tanto convencional como con adiciones de residuos metálicos se muestran en la tabla 47, donde también se hacen las referencias con la norma mexicana (NMX-C-514-ONNCCE, 2016).

Mezclas	Cilindros	Calidad del Concreto	Vigas	Calidad del Concreto
Concreto convencional	4487.50 (m/s)	Pocos vacíos o agrietamiento bajo	4727.50 (m/s)	Pocos vacíos o agrietamiento bajo (Durable)
Concreto convencional más la adición de escoria de aluminio al 1.0%	4334.50 (m/s)	Pocos vacíos o agrietamiento bajo (Durable)	4566.00 (m/s)	Pocos vacíos o agrietamiento bajo (Durable)
Concreto convencional más la adición de escoria de aluminio al 2.0%	4531.50 (m/s)	Pocos vacíos o agrietamiento bajo (Durable)	4172.50 (m/s)	Pocos vacíos o agrietamiento bajo (Durable)
Concreto convencional más la	4391.50 (m/s)		4452.00 (m/s)	

“DISEÑO DE CONCRETOS MODIFICADOS CON ADICIONES DE RESIDUOS DE ACERO Y ALUMINIO. COMPORTAMIENTO FISICO MECÁNICO”

adición de escoria de acero (hierro) al 1.0%		Pocos vacíos o agrietamiento bajo (Durable)		Pocos vacíos o agrietamiento bajo (Durable)
--	--	---	--	---

Tabla 42 Criterios de evaluación según la norma mexicana (NMX-C-275-ONNCCE, 2004)

(NMX-C-275-ONNCCE-2004).	
Velocidad de Propagación	Vacíos o agrietamientos en el concreto
>2350 m/s	Pocos vacíos o agrietamiento bajo o nulo
2350-1780 m/s	Algunos vacíos o agrietamiento medio
<1700 m/s	Muchos vacíos o agrietamiento alto

Tabla 43 Criterios de evaluación según la norma mexicana (CYTED-DURAR, 1998)

(CYTED-DURAR, 1998)	
Velocidad de Propagación	Calidad del Concreto
>4000 m/s	Durable
4000-3001 m/s	Alta
3000-2001 m/s	Normal
< 2000 m/s	Deficiente

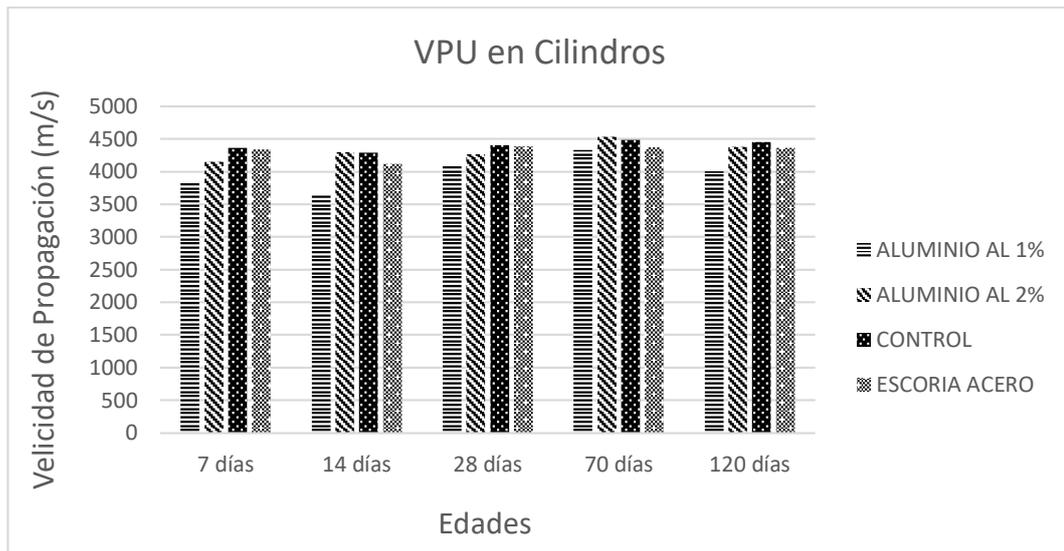


Gráfico 6 Grafica de VPU en Cilindros a diferentes edades.

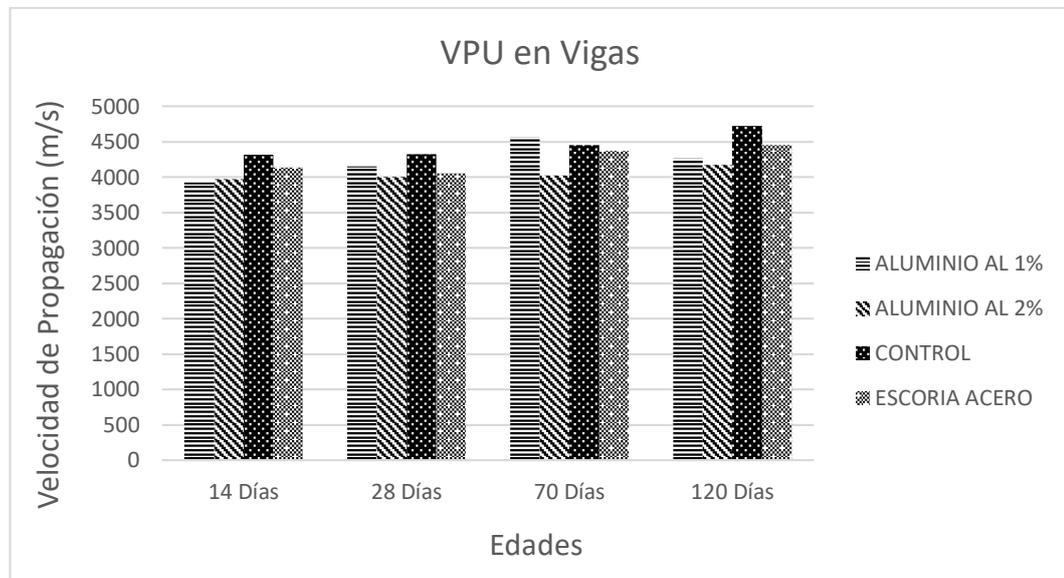


Gráfico 7 Grafica de VPU en Vigas a diferentes edades.

En cilindros el comportamiento de la mezcla de concreto con escoria de aluminio con un porcentaje de adición del 1% mostró resultados inestables con respecto a las demás mezclas, la mezcla con adición de hierro al 1% mantuvo lecturas cercanas al control

(testigo) al igual que la mezcla de concreto con un porcentaje de adición de 2% de escoria de aluminio.

En vigas al igual que en cilindros el comportamiento de la mezcla de concreto con escoria de aluminio con un porcentaje de adición del 1% mostró resultados inestables así mismo la mezcla de concreto con adición de 2% de escoria de aluminio, la mezcla de concreto con adición de 1% de hierro (acero) tuvo mejor comportamiento en diferentes edades, sin embargo, siempre fueron menores que el control (testigo).

14.7 PRUEBAS DESTRUCTIVAS REALIZADAS AL CONCRETO ENDURECIDO

14.7.1 Resistencia a la compresión simple

A continuación, se muestran los resultados de los esfuerzos a compresión de los cilindros elaborados con una mezcla de concreto convencional, según las tolerancias de la norma (NMX-C-083-0NNCCE, 2014) notamos que a 28 días la mezcla control (testigo) no cumple con el 100% de resistencia; a edades tardías se obtuvo un incremento satisfactorio (4.09%) superando el porcentaje de esfuerzo de diseño.

Tabla 44 Resultados a Compresión de Cilindros de Concreto.

Resultados a compresión de los cilindros de la mezcla de concreto convencional		
Edades	Esfuerzo en Kg/cm²	% según las tolerancias de la norma
7 Días	230.75 (Kg/cm ²)	76.92%
14 Días	263.22 (Kg/cm ²)	87.74%
28 Días	283.08 (Kg/cm ²)	94.36%
70 Días	295.22 (Kg/cm ²)	98.41%
120 Días	312.28 (Kg/cm ²)	104.09%

“DISEÑO DE CONCRETOS MODIFICADOS CON ADICIONES DE RESIDUOS DE ACERO Y ALUMINIO. COMPORTAMIENTO FISICO MECÁNICO”

A continuación, se muestran los resultados de los esfuerzos a compresión de los cilindros elaborados con una mezcla de concreto con adiciones de escoria de aluminio con porcentajes del 1.0% y 2.0%.

Tabla 45 Resultados a compresión de cilindros de concreto más aluminio al 1.0%

Resultados a compresión de los cilindros de la mezcla de concreto con adición de escoria de aluminio 1.0%		
Edades	Esfuerzo en Kg/cm²	% según las tolerancias de la norma
7 Días	91.98 (Kg/cm ²)	30.66%
14 Días	118.66 (Kg/cm ²)	39.55%
28 Días	127.35 (Kg/cm ²)	42.45%
70 Días	135.98 (Kg/cm ²)	45.33%
120 Días	154.09 (Kg/cm ²)	51.36%

Tabla 46 Resultados a compresión de cilindros de concreto más aluminio al 2.0%

Resultados a compresión de los cilindros de la mezcla de concreto con adición de escoria de aluminio 2.0%		
Edades	Esfuerzo en Kg/cm²	% según las tolerancias de la norma
7 Días	181.30 (Kg/cm ²)	60.43%
14 Días	203.46 (Kg/cm ²)	67.82%
28 Días	226.60 (Kg/cm ²)	75.53%
70 Días	242.20 (Kg/cm ²)	74.86%
120 Días	154.09 (Kg/cm ²)	80.73%

De acuerdo con los resultados mostrados en las tablas, se observa que la adición no modifica las propiedades de la mezcla, no se presenta mejora visible en comparación con la muestra testigo a distintas edades; no obstante, se observó que a mayor porcentaje de adición la mezcla de concreto tiende a un mejor comportamiento. Basado en los resultados obtenidos en esta investigación, no se recomienda su uso ya que la adición de estos materiales de residuo provoca disminución significativa en la resistencia a

“DISEÑO DE CONCRETOS MODIFICADOS CON ADICIONES DE RESIDUOS DE ACERO Y ALUMINIO. COMPORTAMIENTO FISICO MECÁNICO”

compresión, teniendo como resultado efectos de efervescencia en estado fresco, debido a la efervescencia mucho aire atrapado al interior provocando demasiadas oquedades en estado sólido y expansión inexplicable en el concreto con la adición de escoria de aluminio.

A continuación, se muestran los resultados de los esfuerzos a compresión de los cilindros elaborados con una mezcla de concreto con una adición de escoria de hierro (acero) con el porcentaje del 1.0%.

Tabla 47 Resultados a compresión de cilindros de concreto más hierro (acero) al 1.0%

Resultados a compresión de los cilindros de la mezcla de concreto con adición de escoria de aluminio 2.0%		
Edades	Esfuerzo en Kg/cm²	% según las tolerancias de la norma
7 Días	203.41 (Kg/cm ²)	67.80%
14 Días	237.81 (Kg/cm ²)	79.27%
28 Días	253.72 (Kg/cm ²)	84.57%
70 Días	288.77 (Kg/cm ²)	96.26%
120 Días	311.80 (Kg/cm ²)	103.93%

De acuerdo con los resultados que se obtuvieron a compresión de la mezcla de concreto más la adición de escoria de hierro no se recomienda su uso ya que retarda el incremento de su esfuerzo máximo, con respecto a la tolerancia que marca la norma a los 28 días, se tiene una deficiencia de esfuerzo a compresión del 15.43%, sin embargo, a edades tardías se tienen el incremento favorable a 120 días, el incremento obtenido fue por encima del esfuerzo de proyecto del 3.93%.

Tabla 48 Tolerancias según la norma (NMX-C-083-0NNCCE, 2014), edades alas que se deben de probar.

Edad de ensayo especificada	Tolerancia permisible	% de Resistencia de concreto
24 hrs	± 0.5 h	9 %
3 días	± 2 h.	31 %
7 días	± 6 h.	65%

14 días 28 días	± 12 h ± 20 h.	75 % 100%
--------------------	-------------------	--------------

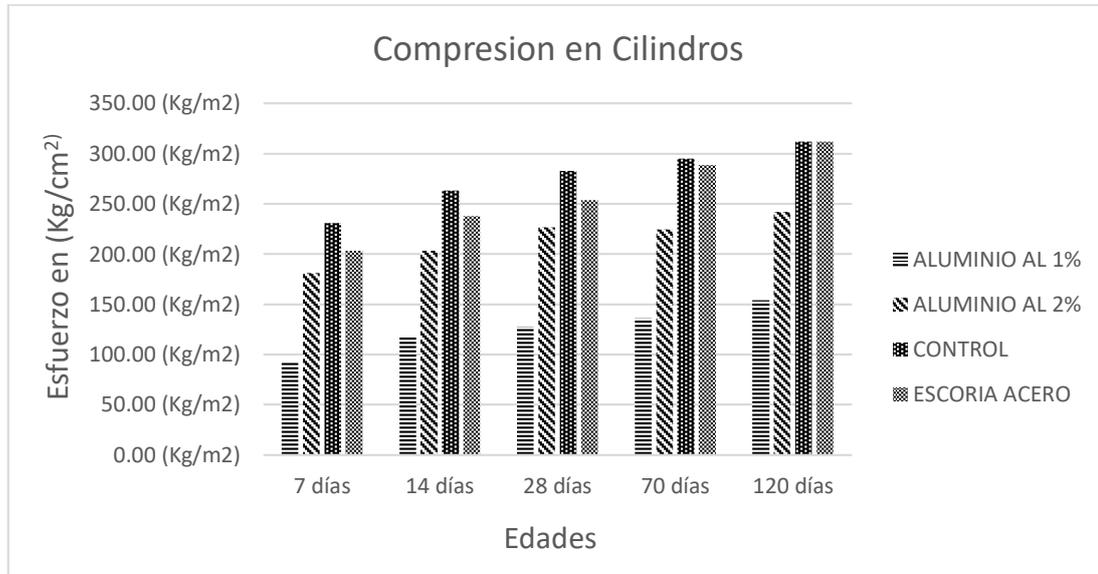


Gráfico 8 Resistencia a compresión en Cilindros.

14.7.2 Resistencia a Flexión en especímenes prismáticos

A continuación, se muestran los resultados de los esfuerzos a flexión de las vigas elaborados con diferentes adiciones, la primera mezcla fue de concreto convencional, la segunda y tercera con una adición de escoria de aluminio con el porcentaje del 1.0% y 2.0% respectivamente, y finalmente la 4 con una adición de escoria de hierro (Acero) con el porcentaje de 1.0%.

Tabla 49 Resultados a Flexión en vigas concreto convencional y concreto con las diferentes adiciones de escorias metálicas.

FLEXIÓN EN VIGAS MR				
Edades	CONTROL	ALUMINIO AL 1%	ALUMINIO AL 2%	ESCORIA ACERO 1%
14 Días	36.53 (Kg/cm2)	29.33 (Kg/cm2)	15.84 (Kg/cm2)	27.80 (Kg/cm2)
28 Días	37.93 (Kg/cm2)	32.33 (Kg/cm2)	15.51 (Kg/cm2)	36.73 (Kg/cm2)
70 Días	46.73 (Kg/cm2)	32.60 (Kg/cm2)	14.77 (Kg/cm2)	35.67 (Kg/cm2)
120 Días	54.56 (Kg/cm2)	34.87 (Kg/cm2)	17.03 (Kg/cm2)	39.27 (Kg/cm2)

“DISEÑO DE CONCRETOS MODIFICADOS CON ADICIONES DE RESIDUOS DE ACERO Y ALUMINIO. COMPORTAMIENTO FISICO MECÁNICO”

Tabla 50 Tolerancias establecidos por Cemex.

PARAMETROS ESTABLECIDOS POR CEMEX		
VIALIDADES URBANAS SECUNDARIAS	VIALIDADES PRINCIPALES	CARRETERAS Y AUTOPISTAS
4.12 MP	4.41 MP	4.70 MP
42.01 Kg/cm ²	44.96 Kg/cm ²	47.92 Kg/cm ²

De acuerdo con los resultados mostrados a flexión en elementos prismáticos (Vigas), comparándolos con las tolerancias de Cemex para los diferentes tipos de vialidades, notamos que con respecto al comportamiento del control (Testigo), se obtienen valores menores en los módulos de ruptura (MR). Por tal motivo, se define que las adiciones de aluminio y de hierro no proporcionan resultados satisfactorios, sin embargo, los análisis no destructivos de los elementos mostraron comportamientos prometedores al adicionar los residuos. Para uso en la elaboración y construcción de pavimentos rígidos las mezclas estudiadas en esta investigación no son aptas para su uso.

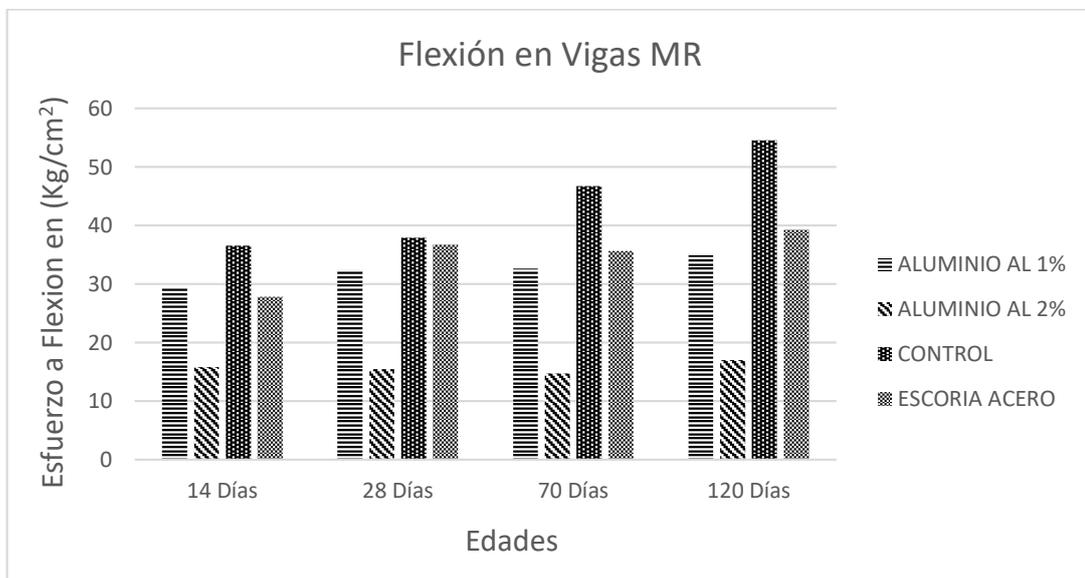


Gráfico 9 Resistencia a la flexión en Vigas.

15 CONCLUSIONES

Las mezclas de concreto analizadas presentaron resultados muy interesantes, en particular la escoria de aluminio en sus diferentes porcentajes provoco cambios bruscos e inesperados al momento de hacer la mezcla de concreto, observándose efectos de efervescencia lo cual creo una porosidad interna altamente elevada por el aire atrapado dentro de la matriz del concreto, además de una expansión que genero aumento en el volumen de la probeta, de acuerdo al tiempo de fraguado de la mezcla, lo cual pudo deberse a la reacción química entre el aluminio y el cemento. Esta reacción no presento incremento de la temperatura en el concreto en estado fluido, sin embargo, en el tiempo de curado se observó que los elementos fabricados presentaron ascensión de aire debido a la porosidad que presentaron dichas probetas. Lo cual a la edad de prueba provoco que las probetas fueran cortadas para mantener la relación de esbeltez debido a que estas aumentaron su tamaño. Mientras que la mezcla de concreto con adición de escoria de hierro se fabricó de manera normal, presentando un adecuado mezclado y a diferencia de la mezcla de concreto con adición de aluminio, esta no provocó reacciones químicas de efervescencia.



Ilustración 98 Reacción del concreto con la adición de escoria de aluminio.

De acuerdo a la prueba de resistividad eléctrica en cilindros las mezclas de concreto con adición de escoria de aluminio en ambos porcentajes a edades tardías presentan un alto riesgo de corrosión en concretos carbonatados o con cloruros, mientras que en la mezcla de concreto con adición de escoria de acero se presenta un comportamiento homogéneo

alcanzando a edades tardías un resultado con un moderado riesgo de corrosión en concretos carbonatados o con cloruros, al igual la mezcla control obtuvo un resultado a edades tardías un riesgo moderado de corrosión en concretos carbonatados o con cloruros.

La resistividad eléctrica en vigas las mezclas de concreto con adiciones de aluminio tuvieron resultados homogéneos, aunque resaltando la adición de aluminio al 2% obteniendo un resultado a la edad tardía un riesgo de corrosión moderado en concretos carbonatados o con cloruros con un valor incluso mayor que la testigo. La mezcla de concreto con adición de acero tiene como resulta un alto riesgo de corrosión en concretos carbonatados o con cloruros con un valor menor a la testigo y por último la mezcla de concreto convencional a la edad tardía tiene un resultado alto riesgo de corrosión en concretos carbonatados o con cloruros.

De acuerdo con la prueba de VPU “Velocidad de Pulso Ultra sónico” en cilindros, todas las mezclas de concreto a la edad tardía obtuvieron resultados satisfactorios demostrando que el concreto presenta Pocos vacíos o agrietamiento según los parámetros de la norma (NMX-C-275-ONNCCE, 2004), con un comportamiento homogéneo.

Los resultados con respecto a la prueba de compresión simple para las mezclas de concreto con adición de aluminio en ambos porcentajes son muy deficientes, de acuerdo con la norma (NMX-C-083-ONNCCE, 2014) a los 28 días no alcanzan su resistencia de diseño, así mismo tampoco para la edad tardía, mientras que la mezcla de concreto con adición de escoria de acero a edades tempranas no alcanza su resistencia de proyecto pero, a la edad tardía la sobre pasa casi alcanzando los resultados obtenidos de la mezcla de concreto convencional lo cual esta adición no resulta ser contra productiva.

De acuerdo con los valores de los resultados en la prueba de flexión en elementos prismáticos (Vigas), para el cálculo de MR “Modulo de Ruptura”, en comparación con las tolerancias de Cemex para los diferentes tipos de vialidades, notamos que con respecto al comportamiento del control (Testigo), las mezclas de concreto con adición de escoria

de aluminio no presentan una buena aportación a los esfuerzos de flexión, sin en cambio, la mezcla de concreto con adición de escoria de acero tampoco hace un aportación a los esfuerzos de flexión, esto nos indica que las adiciones de aluminio como de acero no pueden ser utilizadas para la fabricación de vialidades con respecto a las tolerancias de Cemex.

Para investigaciones futuras de las adiciones de las escorias de aluminio, acero al concreto, se pueden proponer diferentes porcentajes de adición ya sean mayores o menores para analizar su comportamiento físico mecánico y químico, pueden ser a las mismas edades para su comparación o bien se pueden proponer diferentes edades tardías más prolongadas para ver si conservan sus mismas propiedades que al inicio o disminuyen, ver si puede hacer una mayor aportación para tener un mejor comportamiento físico mecánico con respecto a la mezcla de concreto convencional.

Para la continuación de la misma y futuras investigaciones, quedan pendientes pruebas que nos puedan ayudar a definir su mineralización al momento de combinar la escoria de aluminio con la mezcla de concreto, con el fin de definir qué es lo que provoca las reacciones químicas al momento de ser mezclada con el concreto. Así mismo quedan pendientes también pruebas en el área de corrosión del acero embebido en el concreto, para definir si las escorias de aluminio y acero, retardan la velocidad de corrosión del acero embebido y así mismo su pérdida de masa por la oxidación que presentan a una cierta edad.

Finalmente podemos definir que ambas escorias no resultan ser benéficas como adición al concreto, sin en cambio, específicamente la escoria de acero no afecta tanto la matriz del concreto, por lo que se puede buscar su adición en concretos con ciertas características específicas que no exijan un comportamiento tan estable y homogéneo, sin embargo, la escoria de aluminio mientras no se defina su reacción química con el concreto no es recomendable usarla como adición.

REFERENCIAS

- AASHTO-T-106. (2002). *Standar Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in, or [50 mm] Cube Specimens)*. EE.UU.
- ASTM C150. (s.f.). *Especificación Normalizada para Cemento Portland*.
- ASTM-C-109-M. (2002). *Standar Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in, or [50 mm] Cube Specimens)*. EE.UU.
- ASTM-C-128. (2004). *Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate*. E.E.U.
- ASTM-C-151-00. (2014). *Método estandar de ensayo para expansión en autoclave del cemento portland*. EE.UU.: ASTM.
- ASTM-C170. (s.f.). *Standard Test Method for Compressive Strength of Dimension Stone*.
- ASTM-C-187-04. (2004). *Standard Test Method for Normal Consistency of Hydraulic Cement*.
- ASTM-C-266. (2015). *Standard Test Method for Time of Setting of Hydraulic-Cement Paste by Gillmore Needles*.
- ASTM-C-348. (1997). *Standard Test Method for Flexural Strength of Hydraulic - Cement Mortars*. EE.UU.
- ASTM-C-70. (2003). *Standard Test Method for Surface Moisture in Fine Aggregate*.
- C150, A. (s.f.). *Historical Standard: Especificación Normalizada para Cemento Portland*.
- CRU. (2018). Demanda del aluminio a nivel mundial. *Unidad de Planeacion Minero Energetica*, 2-5.

“DISEÑO DE CONCRETOS MODIFICADOS CON ADICIONES DE RESIDUOS DE ACERO Y ALUMINIO. COMPORTAMIENTO FÍSICO MECÁNICO”

- CYTED-DURAR. (1998). *Durabilidad de la Armadura, Manual de Inspección, Evaluación y Diagnóstico de Corrosión en Estructuras de Hormigón Armado*. Red Temática XV.
- Hernán, S. O. (1974). *Los ferrocarriles de México: una visión social y económica*. CDMX: Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 1974.
- Instituto del Concreto. (1997). *Manual Tecnología y Propiedades*. Colombia: Asociación Colombiana de productores de concreto.
- Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C., & Tanesi, J. (2004). *Diseño y control de mezclas de concreto*. Chicago, EE.UU: Portland Cement Association, PCA.
- MINERO, D. G. (2013). *perfil de mercado del hierro acero*. ciudad de mexico.
- MX-C-152-0NNCE. ((2014).). *INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN- CEMENTANTES HIDRÁULICOS- DETERMINACION DE LA DENCIDAD DEL CEMENTO HIDRAULICO*. CDMX: ONNCCE.
- Neville A. M. y Brooks, J. (2010). *Concrete Technology. Pearson Education Limited "Second Edition"*.
- Neville, A. M. (1995). *IMCYC, Editor*.
- Neville, A., & Brooks, J. (2010). *Concrete Technology*. England: ISBN 978-0-273-73219-8.
- NMX-C-030-ONNCCE. (2004). *Industria de la construcción - Agregados - Muestreo*. CDMX: ONNCCE.
- NMX-C-057-0NCCE. (2015). *Industria de la Construcción-Cementantes Hidráulicos- Determinación de la Consistencia Normal*. México: Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la construcción y Edificación, S.C.

“DISEÑO DE CONCRETOS MODIFICADOS CON ADICIONES DE RESIDUOS DE ACERO Y ALUMINIO. COMPORTAMIENTO FISICO MECÁNICO”

- NMX-C-057-ONNCCE. (2015). *Industria de la construcción - Cementantes hidráulicos - Determinación de la consistencia normal.*
- NMX-C-059-ONNCCE. (2017). *Industria de la construcción- Cementantes Hidráulicos- Determinación del tiempo de fraguado de Cementantes Hidráulicos (Método de Vicat).*
- NMX-C-061-ONNCCE. (2015). *Industria de la Construcción-Cemento Hidráulico- Determinación de la resistencia a la compresión de cementantes Hidráulicos.* México: Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y la Edificación, S.C.
- NMX-C-073-ONNCCE. (2014). *Industria de la Construcción. Agregados. Masa Volumétrica. Método de prueba.* México: Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C.
- NMX-C-083-ONNCCE. (2014). *Industria de la Construcción - Concreto - Determinación de la Resistencia de Cilindros de Concreto - Método de Prueba.* Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y la Edificación, S.C.
- NMX-C-111-ONNCCE. (2004). *Industria de la Construcción - Agregados Para Concreto Hidráulico - Especificaciones y Métodos de Prueba.* México: Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C.
- NMX-C-122-ONNCCE. (2014). *Industria de la Construcción -Agua para Concreto- Especificaciones.* México: Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación.
- NMX-C-122-ONNCCE-. (2018). *Industria de la construcción-agua para concreto- Especificaciones.*

“DISEÑO DE CONCRETOS MODIFICADOS CON ADICIONES DE RESIDUOS DE ACERO Y ALUMINIO. COMPORTAMIENTO FISICO MECÁNICO”

- NMX-C-152-ONNCCE. (2015). *Metodo de prueba estandar para la determinación de la densidad de cemento hidraulico.*
- NMX-C-156-ONNCCE. (2010). *Industria de la Construcción - Concreto Hidráulico - Determinación del Revenimiento en el Concreto Fresco.*
- NMX-C-159-ONNCCE. (2016). *Industria de la Construcción - Concreto - Elaboración y Curado de Especímenes de Ensayo.*
- NMX-C-164-ONNCCE. (2014). *Industria de la Construcción - Agregados - Determinación de la Densidad Relativa y Absorción de Agua del Agregado Grueso.*
- NMX-C-165-ONNCCE. (2014). *Industria de la Construcción - Agregados - Determinación de la Masa Específica y Absorción de Agua del Agregado Fino - Método de Prueba.* México: Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C.
- NMX-C-165-ONNCCE-2004. (s.f.). *Industria de la Construcción- Agregados.*
- NMX-C-170-ONNCCE. (1997). *Industria de la Construcción - Agregados - Reducción de las Muestras de Agregados Obtenidas en el Campo, al Tamaño Requerido para las Pruebas.* México: Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C.
- NMX-C-414-ONNCCE. (2014). *Industria de la construcción-cementos hidráulicos- Especificaciones y métodos de prueba.* México: Organismo Nacional de Normalización y certificación de la construcción y edificación, S.C.

*“DISEÑO DE CONCRETOS MODIFICADOS CON ADICIONES DE RESIDUOS DE
ACERO Y ALUMINIO. COMPORTAMIENTO FISICO MECÁNICO”*

*“DISEÑO DE CONCRETOS MODIFICADOS CON ADICIONES DE RESIDUOS DE
ACERO Y ALUMINIO. COMPORTAMIENTO FISICO MECÁNICO”*