



**UNIVERSIDAD MICHUACANA DE
SAN NICOLÁS DE HIDALGO**

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS PROFESIONAL

“Efecto del agregado grueso pétreo triturado en sollicitaciones mecánicas dinámicas y estáticas. Caso de concreto hidráulico simple adicionado con fibras deshidratadas de cactus opuntia blanco”

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO CIVIL**

**PRESENTA:
NOEL DÍAZ GONZÁLEZ**

**ASESOR:
Dra. ELIA MERCEDES ALONSO GUZMÁN**

**COASESOR:
Dra. ANGÉLICA de LOURDES DEL VALLE MORENO**

MORELIA, MICH. JUNIO DE 2011





DEDICATORIAS

Primero que nada quiero agradecer a Dios por haberme dado la fuerza para poder lograr una meta más en mi vida, y darme la oportunidad de crecer como persona.

A mi madre **Ma. Isabel González Santacruz** por darme la vida y ser la mejor mamá del mundo dándome mucho amor, por estar conmigo en las buenas y en las malas, porque siempre ha luchado por ver en mí un hombre de bien, por ser una mujer incansable en las labores del hogar, porque sin ella no sabría vivir y por que la amo.

A mi padre **Samuel Díaz Cortes** por ser un hombre ejemplar en mi familia, porque siempre lucha para que nunca nos falte nada, por educarme con respeto y cariño, por darme la oportunidad de estudiar y creer en mí, por enseñarme como se debe de trabajar y por ser el mejor padre que dios me ha dado.

A mis hermanos **Fredy Díaz González y Luis Roberto Díaz González** por siempre apoyarme en los momentos difíciles y por ayudarme a mejorar la vida de mis padres.

A mi novia **Cynthia Lizeth Martínez Romero** por darme apoyo y comprensión cuando lo he necesitado, por darme amor y cariño cada minuto de su vida, por ser una gran mujer y compañera, y además porque me quiere y la quiero con todo el corazón.

A mi tío **Macario Gómez González** por darme techo para vivir y darme buenos consejos, por quererme como a un hijo y por ser una persona que admiro y quiero mucho.

A mi tía **Susana Alejandre Gómez** por darme buenos consejos y tratar de que nunca me faltara nada, además le agradezco por la confianza que me ha dado a lo largo de mi vida y por ser una gran mujer.

A mi tía **Nereida Díaz Cortes**, por darme techo cuando estudie el bachillerato y además por tratar de que nunca me faltara nada, por quererme como un hijo y por preocuparse por mí cuando mis padres no estaban ahí para darme cariño.

A mi asesora **Dra. Elia Mercedes Alonso Guzmán** por revisar mi tesis y asesorarme cuando lo requería, por la confianza y el apoyo incondicional, por sus buenos consejos, por creer en mí y en mi trabajo, y por ser una gran mujer llena de buenos deseos y fantásticas ideas.



“Efecto del agregado grueso pétreo triturado en solicitaciones mecánicas dinámicas y estáticas. Caso de concreto hidráulico simple adicionado con fibras deshidratadas de cactus opuntia blanco”



A mi coasesora **Dra. Angélica de Lourdes Del Valle Moreno** por ser participe en la revisión de mi trabajo y ayudarme a corregirlo donde se requería, por aportarme grandes ideas y comentarios, y por ser una gran amiga.

Al profesor **Ing. Wilfrido Martínez Molina** por brindarme la confianza y las herramientas para lograr mi trabajo de investigación, y además por aportarme nuevos conocimientos y habilidades para mejorar como persona.

Al profesor **Ing. Hugo Luís Chávez** por el apoyo brindado en la determinación de resultados en pruebas no destructivas y por ayudarme a resolver dudas que yo no podía resolver.

A la profesora **Ing. Cindy Lara Gómez** por apoyarme en el transcurso de mi experimentación de tesis y por aportarme grandes ideas para mejorar mi trabajo.

Al maestro **Jesús Zauno Zamudio** por aportarme ideas y herramientas que facilitaron la elaboración de mis especímenes de concreto.

Al maestro **Rubén Hernández Guzmán** por sus consejos y vivencias aportadas, y además por sus buenas historias que ayudaban a que el día fuera más alegre.

A mis amigos y compañeros que siempre estuvieron pendientes de mi trabajo: **Saúl Arana Pineda, José Alberto Torres Guzmán, Marco A. Mondragón Órnelas, Marco A. Navarrete Serás, Eduardo Álvarez Sánchez, Daniel luna Ortiz, Aribar Vidales García, Juan Jesús Maciel M.**, y a todos aquellos que siempre me brindaron su amistad y apoyo.

Al Laboratorio de Materiales por darme un espacio para realizar mi experimentación y por la oportunidad de laborar en él como ayudante de técnico académico ya que gracias a esto pude mantenerme económicamente para terminar mi tesis.

A la Facultad de Ingeniería Civil por haberme formado como un buen Ingeniero, gracias a todos los maestros que aportaron un poco de su conocimiento en mi formación y gracias al personal administrativo por la ayuda brindada. Gracias...



RESUMEN

El edificio es la Fundación para el mejoramiento de la vida humana, es por esta razón que cada día se busca mejorar la calidad de los materiales y reducir el costo de la misma, esto es conseguir un elemento duradero y resistente. Hoy en día podemos encontrar una gran variedad de compuestos o aditivos que mejoran las condiciones del concreto, pero a un alto costo, que no es factible para el consumidor, es por eso que en esta investigación experimentó con un nuevo elemento, un aditivo que busca mejorar las resistencias más importantes en la construcción, también, la adición de fibra de cactus Opuntia revela las grandes ventajas que aporta al concreto a edades más tardías. El concreto se mezcló tradicionalmente con pala, así que utilizamos arena volcánica del banco joyitas, grava triturada del banco SUPRA, un cemento CPO 30R RS BRA Tipo IV, agua potable y el aditivo de fibras deshidratadas de cactus, con el fin de determinar la las cantidades de dichos materiales fue diseñada la mezcla con el método de ACI, para la resistencia $f'c = 250$ kg/cm² a 28 días y una relación $A / C = 0.54$, esta última pensando en la durabilidad. Con la mezcla de estos materiales se prepararon probetas cilíndricas de 10cmØ x 20cmh y vigas de 15 cm x 15 cm x 60 cm, se realizaron pruebas a diferentes edades para observar su comportamiento mecánico. A la edad de 28 días en los cilindros con el aditivo de cactus, se obtuvo una resistencia de 319.26 kg/cm², mientras que en los que no contienen el aditivo, la resistencia fue de 239.88 kg/cm², habiendo una diferencia de 11,43% del $f'c$ de las mezclas. En las vigas sucede algo similar, las que contenían el aditivo alcanzan un Módulo de Ruptura de 41.11 kg/cm² y las que no contaban con esta adición alcanzaron un MR de 37.33 kg/cm². Para ver estos resultados se observa que la adición de polvo de fibra de cactus en el 2% del peso del cemento es recomendable, ya que a edades tardías aumenta su resistencia satisfactoriamente, esto comparado con los resultados del concreto sin aditivos. También ofrece una mejor manejabilidad de la mezcla, se retarda el fraguado, da una mayor cohesión, evitar la segregación y lo más importante, reduce el costo de la adición de aditivos. Cabe señalar que esta investigación va a continuar, porque puede haber más ventajas que ni siquiera todavía se ponen a prueba cuantificada como la resistencia a la corrosión e impermeabilización en edades posteriores.

(Palabras clave: cemento, concreto, cactus, mezcla, aditivo, resistencia).



ABSTRACT

The building is the Foundation for the improvement of human life, is for this reason that every day seeks to improve the quality of materials and reduce the cost of the same, this is to achieve a durable and resistant element. Today we can find a wide variety of compounds or additives that improve the conditions of the concrete, but this at high cost, which is not feasible for the consumer; that is why in this research experimented with a new element, an additive that seeks to improve the most important resistance in construction, as well, the addition of fiber of cactus opuntia reveals the great advantages it brings to the concrete at later ages. The concrete was mixed traditionally with shovel, so we used volcanic sand of Joyitas Quarry Stones, crushed gravel of the SUPRA Quarry stone, a cement CPO 30R RS BRA Type IV, drinking water and dehydrated fibers of opuntia cactus additive; in order to determine the quantities of such materials was designed the mixture with the ACI method, for resistance $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$ to 28 days and a relationship $A/C = 0.54$, this last is thinking in durability. With the mixture of these materials were prepared cylindrical specimens of $10\text{cm}\varnothing \times 20\text{cmh}$ and beams of $15 \text{ cm} \times 15 \text{ cm} \times 60 \text{ cm}$, which asked tests at different ages to observe its mechanical behavior. At the age of 28 days in the cylinders with additive of cactus, obtained a resistance of 319.26 kg/cm^2 , while that does not contain the additive the resistance was from 239.88 kg/cm^2 , and there was a 11.43% difference of the $f'c$ mixtures without additive. In the beams happens something similar as that containing the additive reach a module of rupture of 41.11 kg/cm^2 and which did not have this addition reached a MR of 37.33 kg/cm^2 . To see these results can be seen that the addition of powdered fiber of cactus in 2% of the weight of the cement is advisable, as late ages increases its resistance satisfactorily; it compares the results of the concrete without additives. Also provides better workability of the mixture, it retards the setting, gives greater cohesion, avoid segregation and most importantly, it reduces the cost of the addition of additives. It should be noted that this research will continue, because there may be more advantages that even yet not are tested quantified such as corrosion resistance and waterproofing at later ages.

(Keywords: cement, concrete, cactus, mix, additive, resistance).



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIAS.....	I
RESUMEN.....	III
ABSTRACT.....	IV
ÍNDICE GENERAL.....	V
ÍNDICE DE TABLAS.....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS.....	X
CAPITULO I. INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO II. MATERIALES Y DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO HIDRÁULICO.....	3
II.1. La geósfera.....	3
II.1.1. Corteza terrestre.....	3
II.1.2. El Manto.....	4
II.1.3. El Núcleo.....	4
II.2. Suelo.....	4
II.3. Agentes generadores de suelos.....	5
II.4. Clasificación de los suelos de acuerdo a su tamaño de partícula.....	6
II.5. Agregados pétreos.....	7
II.5.1. Agregado fino.....	9
II.5.2. Agregado grueso.....	10
II.6. Cemento.....	11
II.6.1. Historia del cemento.....	12
II.6.2. Tipos de Cementos.....	13
II.7. Agua.....	16
II.8. Concreto.....	17
II.8.1. Tipos de Concreto.....	18
II.9. Aditivos.....	19
II.9.1 Cactus Opuntia (Nopal).....	21
II.9.1.1. Historia del Nopal.....	22
II.9.1.2. Uso del Nopal.....	23
II.10. Diseño de Mezclas (Método de ACI).....	27



CAPITULO III. PRUEBAS Y NORMATIVA.....	37
III.1. Pruebas realizadas a los agregados finos.....	37
III.1.1. Muestreo.....	37
III.1.2. Cuarteo.....	38
III.1.3. Humedad actual en arenas.....	40
III.1.4. Humedad superficial y humedad de absorción en arenas.....	41
III.1.5. Densidad de la arena.....	43
III.1.6. Determinación del peso volumétrico seco suelto de una arena (P.V.S.S).....	45
III.1.7. Determinación del peso volumétrico seco y varillado de una arena (P.V.S.V.).....	46
III.1.8. Granulometría o análisis granulométrico en arena.....	48
III.1.9. Prueba de colorimetría en arena.....	50
III.1.10. Sedimentación en arenas.....	51
III.1.11. Material que pasa por la malla n° 200 en arena.....	52
III.1.12. Prueba de terrones de arcilla en arena.....	54
III.1.13. Equivalente de arena.....	55
III.2. Pruebas realizadas a los agregados gruesos.....	57
III.2.1. Muestreo.....	57
III.2.2. Cuarteo.....	59
III.2.3. Humedad actual en gravas.....	60
III.2.4. Humedad de absorción en gravas.....	62
III.2.5. Densidad en gravas.....	63
III.2.6. Determinación del peso volumétrico seco suelto en gravas (P.V.S.S.).....	65
III.2.7. Determinación del peso volumétrico seco y varillado en gravas (P.V.S.V.).....	66
III.2.8. Granulometría en gravas.....	68
III.3. Pruebas realizadas al cemento.....	70
III.3.1. Muestreo del cemento hidráulico.....	70
III.3.2. Consistencia normal del cemento.....	71
III.3.3. Tiempos de fraguado de cemento hidráulico.....	73



III.3.4. Densidad aparente del cemento.....	75
III.4. Pruebas realizadas al agua.....	77
III.4.1. Determinación del sabor y olor del agua.....	77
III.4.2. Determinación del pH del agua.....	78
III.4.3. Determinación del color del agua.....	80
III.4.4. Determinación de la temperatura del agua.....	81
III.5. Pruebas realizadas al concreto.....	82
III.5.1. Muestreo de concreto fresco.....	82
III.5.2. Revenimiento.	83
III.5.3. Fabricación de cilindros.....	84
III.5.4. Fabricación de vigas.....	86
III.5.5. Curado de concreto.....	87
III.5.6. Resistividad en cilindros.....	88
III.5.7. Velocidad de pulso ultrasónico.....	89
III.5.8. Frecuencia de resonancia.....	92
III.5.9. Resistencia mediante Esclerómetro.....	95
III.5.10. Cabeceado de cilindros.....	96
III.5.11. Resistencia a la compresión simple en cilindros de concreto.....	97
III.5.12. Determinación de la resistencia a la tensión indirecta de cilindros de concreto.....	98
III.5.13. Resistencia a la flexión del concreto.....	100
CAPITULO IV. RESULTADOS.....	102
IV.1. Riesgo a la corrosión.....	102
IV.1.1. Riesgo a la corrosión en cilindros con cactus.....	102
IV.1.2 Riesgo a la corrosión en cilindros sin cactus.....	105
IV.2. Calidad del concreto.....	107
IV.2.1. Calidad del concreto en cilindros con cactus.....	107
IV.2.2. Calidad del concreto en cilindros sin cactus.....	109
IV.2.3. Calidad del concreto en vigas con cactus.....	111
IV.2.4. Calidad del concreto en vigas sin cactus.....	113
IV.3. Esclerómetro y Esfuerzo de ruptura a compresión simple, f'c.....	114



IV.3.1. Esclerómetro y Esfuerzo de ruptura a compresión simple, f'c. en cilindros con cactus.....	115
IV.3.2 Esclerómetro y Esfuerzo de ruptura a compresión simple, f'c. en cilindros sin cactus.....	122
IV.4. Esfuerzo de ruptura a la tensión indirecta en cilindros de concreto.	128
IV.4.1. Esfuerzo de ruptura a la tensión indirecta en cilindros con cactus...	128
IV.4.2. Esfuerzo de ruptura a la tensión indirecta en cilindros sin cactus...	130
IV.5. Esfuerzo de ruptura a la flexión en vigas de concreto.....	133
IV.5.1. Esfuerzo de ruptura a la flexión en vigas con cactus.....	133
IV.5.2. Esfuerzo de ruptura a la flexión en vigas sin cactus.....	135
CAPITULO V. DISCUSIÓN.....	138
CAPITULO VI. CONCLUSIONES.....	142
CAPITULO VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	143



ÍNDICE DE TABLAS

TABLA	PÁGINA	TABLA	PÁGINA	TABLA	PÁGINA
II.1	7	IV.4	104	IV.37	125
II.2	9	IV.5	104	IV.38	128
II.3	12	IV.6	105	IV.39	128
II.4	14	IV.7	105	IV.40	129
II.5	14	IV.8	106	IV.41	129
II.6	15	IV.9	106	IV.42	129
II.7	15	IV.10	106	IV.43	130
II.8	15	IV.11	108	IV.44	131
II.9	17	IV.12	108	IV.45	131
III.1	41	IV.13	109	IV.46	131
III.2	43	IV.14	109	IV.47	131
III.3	44	IV.15	110	IV.48	133
III.4	46	IV.16	110	IV.49	133
III.5	47	IV.17	111	IV.50	134
III.6	49	IV.18	111	IV.51	134
III.7	53	IV.19	112	IV.52	135
III.8	55	IV.20	112	IV.53	135
III.9	57	IV.21	112	IV.54	135
III.10	61	IV.22	113	IV.55	135
III.11	63	IV.23	113		
III.12	64	IV.24	113		
III.13	66	IV.25	113		
III.14	67	IV.26	114		
III.15	69	IV.27	115		
III.16	74	IV.28	115		
III.17	76	IV.29	116		
III.18	79	IV.30	118		
III.19	84	IV.31	119		
III.20	89	IV.32	120		
III.21	92	IV.33	122		
IV.1	102	IV.34	123		
IV.2	103	IV.35	124		
IV.3	103	IV.36	125		



ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	PÁGINA	FIGURA	PÁGINA	FIGURA	PÁGINA
II.1	3	III.9	50	III.41	97
II.2	10	III.10	51	III.42	98
II.3	11	III.11	52	III.43	100
II.4	16	III.12	53	III.44	101
II.5	21	III.13	55	IV.1	107
II.6	22	III.14	57	IV.2	111
II.7	24	III.15	58	IV.3	114
II.8	25	III.16	60	IV.4	116
II.9	27	III.17	61	IV.5	117
II.10	28	III.18	63	IV.6	117
II.11	29	III.19	64	IV.7	118
II.12	29	III.20	66	IV.8	118
II.13	30	III.21	67	IV.9	119
II.14	30	III.22	69	IV.10	120
II.15	31	III.23	70	IV.11	121
II.16	31	III.24	71	IV.12	121
II.17	32	III.25	73	IV.13	122
II.18	32	III.26	74	IV.14	123
II.19	33	III.27	76	IV.15	123
II.20	33	III.28	77	IV.16	124
II.21	34	III.29	79	IV.17	125
II.22	35	III.30	80	IV.18	126
II.23	35	III.31	82	IV.19	126
II.24	36	III.32	83	IV.20	127
III.1	38	III.33	84	IV.21	127
III.2	40	III.34	85	IV.22	130
III.3	41	III.35	86	IV.23	132
III.4	43	III.36	88	IV.24	132
III.5	45	III.37	89	IV.25	134
III.6	46	III.38	92	IV.26	136
III.7	47	III.39	94	IV.27	136
III.8	49	III.40	95		



I. INTRODUCCIÓN.

A través de los años el hombre ha buscado la forma de innovar la construcción, implementando nuevos materiales que proporcionen mayor resistencia, seguridad y economía, esto para lograr una mayor durabilidad en las obras civiles y comodidad de las mismas. A lo largo de la vida se ha construido con diversos materiales como madera, piedra, acero, y concreto con diversos aditivos químicos.

Actualmente se combinan estos materiales de construcción para lograr mejores resultados, siendo el concreto armado con ó sin aditivo, el principal componente utilizado en ámbitos de ingeniería. Cabe señalar que la mayoría de las mezclas de concreto contienen aditivos químicos, los cuales incrementan considerablemente los costos de las obras. Estos aditivos le proporcionan diferentes características a la mezcla, mejorando su comportamiento en las distintas solicitaciones deseadas.

En el mercado existen gran variedad de materiales para la construcción, donde el ingeniero civil debe elegir la mejor opción, de acuerdo a las características de la obra. De la correcta selección de los materiales depende la durabilidad y la economía del elemento que se vaya a construir. Es muy importante construir utilizando técnicas innovadoras contemporáneas, ya que éstas nos reducen los costos de ejecución y además nos proporcionan espacios agradables.

En este trabajo de tesis se busca la opción de un nuevo elemento, que mejore las características del concreto y que además sea económico, es decir, aditivo de características naturales como lo es el cactus opuntia; para esto se realizaron varios especímenes de concreto con agregado grueso triturado y agregado fino volcánico, cemento CPO 30R RS BRA, agua y el aditivo de cactus. Los agregados que cumplieron las pruebas realizadas fueron elegidos, el cemento empleado fue seleccionado debido a que por sus características especiales se busca determinar el comportamiento de este tipo de concreto a edades tardías, el agua utilizada fue potable ya que es la única que se encontraba en las instalaciones y por último el aditivo, que es parte esencial de la investigación, este fue adquirido en una tienda naturista.

En esta investigación se realizaron las pruebas necesarias a los diferentes materiales utilizados en la elaboración de los elementos de concreto, a lo largo de este



trabajo se observaron las características de los materiales y las condiciones en las cuales se pueden encontrar.

Para poder apreciar el comportamiento de los especímenes fue necesaria la elaboración de elementos testigos, con las mismas características de los anteriores, solo que sin el aditivo; esto para comparar si es o no recomendable la adición de fibra de cactus opuntia deshidratada en elaboración de concreto. Para diseñar la mezcla del concreto hidráulico se utilizó el método del ACI. Estas muestras se elaboraron bajo las mismas condiciones físicas del lugar, para no alterar los resultados que se obtuvieran.

Las pruebas se realizaron en el Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil a especímenes de 10 cm de diámetro por 20 cm de altura, y en vigas de 15 cm de base por 15 cm de peralte y 60 cm de longitud. Las edades de prueba fueron diversas para monitorear el comportamiento de ambas mezclas y así ver la diferencia entre ellas. Los resultados se muestran en tablas y de manera gráfica, para facilitar el entendimiento de los mismos. Con estos resultados se busca implementar un nuevo aditivo que reduzca considerablemente el costo del concreto y que a demás le proporcione el mayor número de beneficios al mismo. Así pues al implementar este producto de características naturales podremos construir de manera confiable y con gran calidad.



II. MATERIALES Y DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO HIDRÁULICO.

II.1. La geósfera.

La geósfera es la parte estructural de la Tierra que se extiende desde la superficie hasta el interior del planeta (unos 6,740 km). Esta capa se caracteriza por tener una estructura rocosa que sirve de soporte al resto de los otros sistemas terrestres, como la biosfera y la atmósfera, situados estos, sobre la parte más superficial [1].

La geósfera consta de las siguientes zonas:

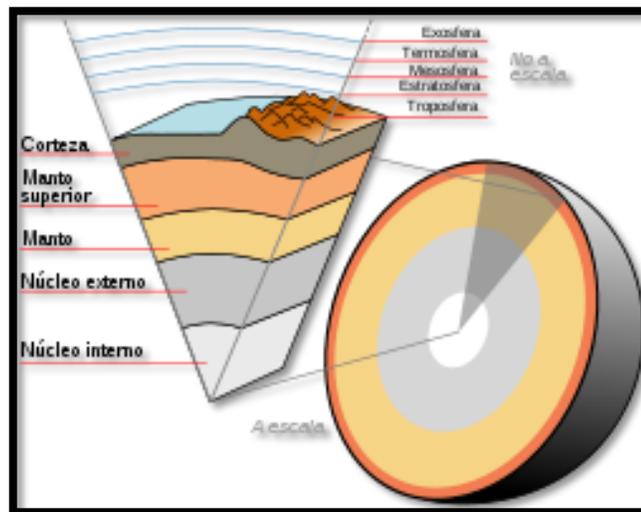


Figura. II.1. Estructura de la tierra [1].

II.1.1. Corteza terrestre.

Es la capa superior de la Geósfera; llamada también Litósfera u Oxísfera (esfera de oxígeno). Sobre esta capa vive el hombre y realiza muchas actividades como la agricultura o minería.

En esta capa la gradiente geotérmica es de 1 °C por cada 33m de descenso. Este aumento de la temperatura es constante sólo en la corteza, pues en las otras capas es diferente. La corteza terrestre está constituida de rocas, que a su vez conforman las placas tectónicas y suelos. Su espesor es de 60 km. Representa el 2% del volumen de la Geósfera. Se encuentra dividida en dos subcapas:

✚ Sial (silicio y aluminio), es la corteza continental sobre la cual vive el hombre y realiza sus actividades.

✚ Sima (silicio y magnesio), es la corteza oceánica. Sobre ella descansan los océanos [1].



II.1.2. El Manto.

Es la capa intermedia de la Geósfera, porque se ubica entre la corteza y el núcleo. Es llamada también Mesósfera y está conformada por rocas cuyo estado varía entre el semisólido y el líquido, debido a las altas temperaturas. Tiene 2850 km de espesor aproximadamente y está compuesta principalmente de magnesio, silicio y hierro. Representa el 82% del volumen de la Geósfera. Está dividida en dos subcapas:

- ✚ Astenósfera, aquí encontramos magma formando corrientes convectivas (magma en movimiento) sobre la cual flotan las placas tectónicas. Es por eso que las placas tectónicas se mueven.

- ✚ Pirósfera, considerada el fondo de los volcanes [1].

II.1.3. El Núcleo.

Es la capa más profunda de la geósfera. Es llamada también Nife, porque en su composición se encuentra el Níquel y el Hierro. Aquí se registran las más altas presiones y temperaturas de la tierra, aproximadamente 6000 °C constituye el centro de la Tierra y posee un espesor de 3470 km que representa el 16% del volumen de la Geósfera. Se divide en dos subcapas:

- ✚ Núcleo externo: se encuentra en estado líquido.

- ✚ Núcleo interno: se encuentra en estado sólido, esto es debido a las fuertes presiones que ahí se experimentan [1].

II.2. Suelo.

Es común creencia la de que el suelo es un agregado de partículas orgánicas e inorgánicas, no sujetas a ninguna organización. Pero en realidad se trata de un conjunto con organización definida y propiedades que varían “vectorialmente”. En la dirección vertical generalmente sus propiedades cambian mucho más rápidamente, que en la horizontal. El suelo tiene perfil, y éste es un hecho del que se hace abundante aplicación [2].

“Suelo” es un término del que hacen uso diferentes profesionistas. La interpretación varía de acuerdo con sus respectivos intereses. Para el Agrónomo, por ejemplo, la palabra se aplica a la parte superficial de la corteza capaz de sustentar vida vegetal, siendo esta interpretación demasiado restringida para el Ingeniero. Para un Geólogo es todo material intemperizado en el lugar en que ahora se encuentra y con contenido de materia orgánica cerca de la superficie; esta definición peca de parcial en



Ingeniería, al no tomar en cuenta los materiales transportados no intemperizados posteriormente a su transporte. El agua contenida en el suelo juega un papel tan fundamental en el comportamiento mecánico del suelo, que debe considerarse como parte integral del mismo [2].

II.3. Agentes generadores de suelos.

La corteza terrestre es atacada principalmente por aire y aguas, siendo los medios de acción de estas sustancias sumamente variados. Sin embargo, en el último análisis, todos los mecanismos de ataque pueden intercluirse en dos grupos: desintegración mecánica y descomposición química. El termino desintegración mecánica se refiere a la intemperización de las rocas por agentes físicos, tales como cambios periódicos de temperatura, acción de la congelación del agua en las juntas y grietas de las rocas, efecto de organismos, plantas, etc. Por estos fenómenos las rocas llegan a formar arenas o, cuando mucho, limos y sólo en casos especiales arcillas [2].

Por descomposición química se entiende la acción de agentes que atacan las rocas modificando su constitución mineralógica o química. El principal agente es, desde luego, el agua y los mecanismos de ataque más importantes son la oxidación, la hidratación y la carbonatación. Los efectos químicos de la vegetación juegan un papel no despreciable. Esos mecanismos generalmente producen arcilla como último producto de descomposición. Todos los efectos anteriores suelen acentuarse con los cambios de temperatura, por lo cual es frecuente encontrar formaciones arcillosas de importancia en zonas húmedas y cálidas, mientras que son típicas de zonas más gruesas. En los desiertos cálidos, la falta de agua hace que los fenómenos de descomposición no se desarrollen, por lo cual la arena predomina en esas zonas; allí los efectos de ciclos de tensiones y compresiones sobre las rocas, producidos por elevaciones y descensos periódicos y continuados de temperatura, son los mecanismos de ataque determinantes [2].

Los suelos deben, pues, su origen a tal variedad de causas que excede todo poder de descripción detallada. El resultado de ese concurso de causas, es una inmensa diversidad de tipos de suelos resultantes. También debe notarse que su formación ha ocurrido a través de las Eras Geológicas, tal como sigue ocurriendo hoy [2].

De acuerdo a lo anterior se realiza una clasificación de los suelo tomando en cuenta el tamaño de la partícula como se muestra en el siguiente subtema.



II.4. Clasificación de los suelos de acuerdo a su tamaño de partícula.

Independientemente del origen de los suelos, los tamaños de las partículas, en general, que conforman un suelo, varían en un amplio rango. Los suelos en general son llamados gravas, arenas, limo o arcilla, dependiendo del tamaño predominante de las partículas. Para describir los suelos por el tamaño de la partícula varias organizaciones desarrollaron límites de tamaños del suelo separado. Estas organizaciones son: el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA), la Asociación Americana Funcionarios de Carreras Estatales y del Transporte (AASHTO), el Cuerpo de Ingenieros del Ejercito de los Estados Unidos y la Oficina de Restauración de Estados Unidos, el Sistema Unificado de Clasificación de suelos (SUCS) en la actualidad el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos es casi universalmente aceptado, este sistema ha sido adoptado por la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM) [3].

Las gravas son fragmentos de rocas, ocasionalmente con partículas de cuarzo, feldespatos y otros minerales.

Las partículas de arena están formadas principalmente de cuarzo y feldespatos, aunque también están presentes otros granos minerales.

Los limos son fracciones microscópicas de suelos que consisten en granos muy finos de cuarzo y algunas partículas en forma de escamas (hojuelas) que son fragmentos de minerales micáceos.

Las arcillas son principalmente partículas microscópicas en forma de escamas de mica, minerales arcillosos y otros minerales, las arcillas se definen como partículas menores a 0.002 mm. En algunos casos, las partículas de tamaño entre 0.002 mm y 0.005mm también se denominan arcillas. Las partículas se clasifican como arcilla con base en su tamaño y no contienen necesariamente materiales arcillosos. Las arcillas se definen como aquellas partículas que desarrollan plasticidad cuando se mezclan con una cantidad limitada de agua. Los suelos no arcillosos pueden contener partículas de cuarzo, feldespato o mica, suficientemente pequeñas para caer dentro de la clasificación de las arcillas. A continuación se muestran los límites de tamaños máximos considerados por los organismos mencionados [3].



Tabla II.1. Tamaños de las partículas de suelo [3].

Nombre de la organización	Tamaño del grano (mm)			
	Grava	Arena	Limo	Arcilla
Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT)	>2	2 a 0.06	0.06 a 0.002	<0.002
Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA)	>2	2 a 0.05	0.05 a 0.002	<0.002
Asociación Americana de Funcionarios del Transporte y Carreteras Estatales (AASHTO)	76.2 a 2	2 a 0.075	0.075 a 0.002	<0.002
Sistema unificado de clasificación de suelos (U.S. Army Corps of Engineers; U.S. Bureau of Reclamation; American Society for Testing and Materials)	76.2 a 4.75	4.75 a 0.075	Finos (es decir, limos y arcillas) <0.075	

II.5. Agregados pétreos.

La importancia del uso del tipo y de la calidad correcta del agregado (árido) no se puede subestimar en construcción. Los agregados fino y grueso ocupan cerca del 60% al 75% del volumen del concreto e influyen fuertemente en las propiedades tanto en estado fresco como endurecido, en las proporciones de la mezcla y en la economía del concreto. Los agregados finos generalmente consisten en arena natural o piedra triturada con la mayoría de sus partículas menores a 5mm. Los agregados gruesos consisten en una o en la combinación de gravas y piedra trituradas con partículas predominantemente mayores a 5mm y generalmente entre 9.5-37.5 mm ($\frac{3}{8}$ -1½ pulg) [4].

Los agregados deben cumplir con algunas normas para que su uso en ingeniería se optimice: deben ser partículas limpias, duras, resistentes, durables y libres de productos químicos absorbidos, revestimiento de arcillas u otros materiales finos en cantidades que puedan afectar la hidratación y la adherencia de la pasta de cemento. Las partículas de agregados disgregados o capaces de romperse son indeseables. Se deben evitar agregados que contienen cantidades apreciables de esquisto u otras rocas esquistosas, de materiales blandos y porosos [5].

A continuación se presentan algunas substancias presentes en pétreos y que son perjudiciales para el concreto:

- ✚ El exceso del agregado fino. Se le conoce como material que pasa la malla # 200. Este material incrementa la demanda de agua en el concreto.



✚ Exceso de impurezas. Es la cantidad de materia orgánica que interfiere en la hidratación del concreto. Esto impide una buena adherencia entre el agregado y la pasta de cemento.

✚ Terrones y partículas desmenuzables de arcilla. Estos materiales proporcionan partículas nocivas en el cemento y también pueden incrementar la demanda de agua si se parten durante el mezclado.

✚ Partículas inestables. Estas causan expansiones destructivas al contacto con el agua [6].

Las características físicas y químicas básicas del agregado, en general, no pueden alterarse por el procesamiento, aunque las cantidades de ciertas partículas dañinas pueden reducirse. Las características del agregado que pueden controlarse incluyen granulometría, contenido de agua, limpieza, remoción de partículas anormalmente ligeras y, en algún grado, la forma de las partículas. Los factores económicos determinan por lo regular el grado en que puede ser dirigido el procesamiento para producir el mejor arreglo entre las propiedades deseables del agregado y la economía [4].

La medida en que deben aplicarse al agregado los criterios de exactitud en las especificaciones depende de cuán crítico sea el uso final al que pretenda servir el concreto. Para el concreto comercial ordinario, rara vez es necesario especificar la más alta calidad o el más rígido control. Por otro lado, si se espera que el concreto mantenga altos esfuerzos o que sirva en un medio severo, entonces se recomienda de manera especial mantener la alta calidad y un control cuidadoso [4].

La forma y tamaño de los agregados influye sobre la resistencia y calidad del concreto, su influencia viene determinada indirectamente por la cantidad de agua que es necesario añadir a la mezcla para obtener la trabajabilidad y compactación necesaria [7].

Generalmente se divide a los agregados en finos y gruesos pero se utilizan los que encontraremos en cada zona, debido a la economía que representa la utilización de los mismos. Los materiales retenidos en la malla No. 4, son los gruesos y los finos, son los que pasan la malla No. 4 pero quedan retenidos en la malla No. 200 [8].

Los agregados pétreos utilizados en el presente trabajo de tesis, provienen del banco Joyitas (arenas basálticas) y del banco SUPRA (grava triturada), de la ciudad de Morelia.



II.5.1. Agregado fino.

A la arena se le define como el conjunto de granos sueltos de estructura cristalina, que pasan por completo por la malla No. 4 y son retenidos en la malla No. 200, los cuales resultan de la desintegración y abrasión de las rocas naturales por procesos mecánicos o químicos y que, arrastrados por el aire o el agua, se acumulan en lugares determinados. Artificialmente se obtienen por trituración y molienda de las rocas duras [8].

La arena puede ser:

✚ Arena natural. Es aquella que no ha sufrido un proceso químico industrial para lograr la obtención.

✚ Arena artificial. Es el producto obtenido de la industrialización de otros materiales que le sirven de materia prima y que al someterse a cambios químicos por calcinación o por tratamientos especiales, producen en ellos una transformación completa que los hace adquirir ciertas propiedades ventajosas para su utilización [9].

El tamaño y la graduación de los agregados finos se determinan mediante cribas de alambre estándar y por especificación de la ASTM 136-84 (tabla II.2). Análisis granulométrico de agregados fino, norma que deberá cumplir con los siguientes parámetros:

Tabla II.2. Porcentaje que debe pasar cada malla.

MALLA	% EN PESO QUE PASA
3/8"	100
No. 4	95-100
No. 8	80-100
No. 16	50-85
No. 30	25-60
No. 50	10-30
No. 100	2-10

Estos parámetros se establecen para lograr proporciones adecuadas entre los tamaños de partículas, y así poder disminuir la cantidad de huecos entre ellas.

La especificación ASTM C 33-86 pide que el Módulo de Finura de la arena, deba estar dentro del rango de 2.3 a 3.1.



A continuación se muestra una imagen donde se puede observar el tamaño de las partículas que conforman el material fino empleado en este trabajo (figura II.2).



Figura II.2. Agregado fino.

II.5.2. Agregado grueso.

La grava o agregado grueso es uno de los principales componentes del concreto, por este motivo su calidad es sumamente importante para garantizar buenos resultados en la preparación de estructuras de hormigón. La grava se define como el material grueso que es retenido generalmente por la malla No. 4 (de 4.75 mm) y que resulta de la desintegración y abrasión natural de la roca o al procesar un conglomerado débilmente ligado; la grava se emplea en la fabricación de concretos hidráulicos en combinación con la arena, cemento, agua y en ocasiones aditivos. Los más comunes son: Grava, Grava triturada, Piedra Triturada y Escoria de alto horno enfriada por aire [8].

Las partículas de este agregado deben ser resistentes, densas, durables, limpias y libres de elementos indeseables tales como arcillas, limos o materia orgánica. El tamaño máximo de la grava suele identificarse con la abertura de la malla en la que alcanzan a pasar todas las partículas que la integran.

Para este trabajo de tesis se empleó material triturado de 3/4” como tamaño máximo, esto para cumplir la relación de 1/5 de la dimensión menor del molde, ya que los cilindros usados en las pruebas son de 10 x 20 cm.

En la figura II.3 se muestran las partículas de grava, las cuales cuentan con un tamaño máximo de 3/4” (1.905 cm) y un mínimo de 3/8 (0.953). Es por esto que se le conoce como agregado grueso en el concreto.

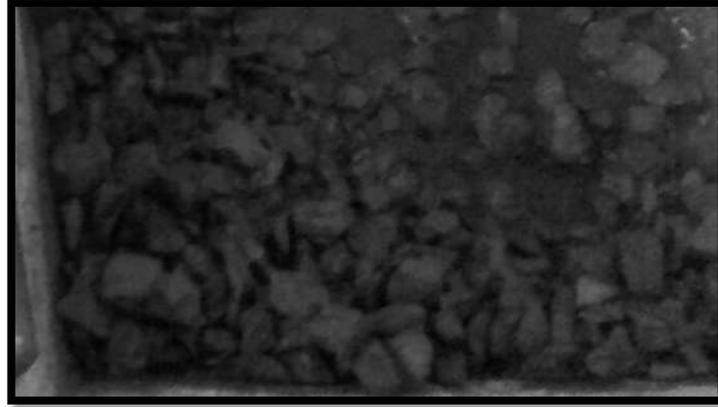


Figura II.3. Agregado grueso.

II.6. Cemento.

Se denomina cemento a un conglomerante formado a partir de una mezcla de caliza y arcilla calcinadas y posteriormente molidas, que tiene la propiedad de endurecer al contacto con el agua. Mezclado con agregados pétreos (grava y arena) y agua, crea una mezcla uniforme, maleable y plástica que fragua y se endurece, adquiriendo consistencia pétreo, denominada hormigón (en España y el Caribe hispano) o concreto (en Sudamérica). Su uso está muy generalizado en construcción e ingeniería civil [10].

Según la norma mexicana NMX-C-414-ONNCCE-2004 “el cemento hidráulico es un material inorgánico finamente pulverizado, comúnmente conocido como cemento, que al agregarle agua, ya sea solo o mezclado con arena, grava u otros materiales similares, tiene la propiedad de fraguar y endurecer, incluso bajo el agua, una vez endurecido, conservara su resistencia y estabilidad” [11].

El cemento forma parte esencial del concreto ya que, sin este aglutinante no sería posible la reacción química agua-cemento. Representa aproximadamente alrededor del 7 al 15% del volumen del concreto, esto dependiendo de la resistencia a la que se quiera llegar.

El proceso de fabricación del cemento consiste en moler finamente materia prima, mezclarla minuciosamente en ciertas proporciones y calcinarla en un horno rotatorio de gran dimensión a una temperatura aproximadamente de 1400°C, donde el material se sintetiza y se funde parcialmente, formando bolas conocidas como clínker. El clínker se enfría y se tritura hasta obtener un polvo muy fino después se le adiciona un poco de Sulfato de Calcio hidratado (yeso), (para evitar el fraguado rápido) y el producto resultante es el cemento Pórtland que se usa en todo el mundo [12].



La mezcla y trituración de las materias primas pueden efectuarse tanto en condiciones húmedas como secas; de aquí provienen los nombres de proceso “húmedo” o “seco”. Hoy en día el método de fabricación depende de la materia prima empleada y de su contenido de humedad [12].

Los cementos Portland hidráulicos están compuestos principalmente por silicatos y aluminatos de cal, además de otras pequeñas cantidades, como es el Óxido de Calcio, Óxido de Aluminio, pequeñas cantidades de MgO, etc. [12].

Tabla II.3. Principales componentes del cemento Portland [12].

NOMBRE	COMPOSICIÓN	ABREVIATURA
Silicato Tricálcico	3CaO.SiO ₂	C3S
Silicato Dicálcico	2CaO.SiO ₂	C2S
Aluminato Tricálcico	3CaO.Al ₂ O ₃	C3A
Aluminoferrito Tetracálcico	4CaO.Al ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃	C4AF

II.6.1. Historia del cemento.

Los antiguos romanos fueron los primeros en usar una forma de concreto en el año 27 A. C. una ceniza volcánica conocida como puzolana fue mezclada con cal apagada y arena. La mezcla se endureció y también se endureció bajo el agua. Para aplicaciones en la construcción, se añadió el agregado grueso. El agregado grueso se colocó en el fondo de un molde y se puso concreto fresco en la parte superior, resultando de esto una mezcla inconsistente. La mezcla permaneció inconsistente aunque se la revolvió vigorosamente después de su colocación [13].

En el siglo XIX, ocurrieron importantes desarrollos en la tecnología del concreto. EN 1824 Joshep Aspin, un constructor inglés recibió una patente sobre cemento hidráulico. Él lo llamó cemento Portland porque después de endurecerse se asemejaba a la piedra caliza natural de la isla de Portland, cerca de la costa de Inglaterra. La mezcla era resistente a la fuerza de compresión, pero se fracturaba fácilmente bajo esfuerzos de flexión y de tensión. La mezcla no era atractiva, pero se usó ampliamente debido a que era económica y fácil de trabajar. En 1845, el primer cemento moderno Portland fue producido en Inglaterra, compuesto de cal, materiales de arcilla o de esquistos [13].



“Efecto del agregado grueso pétreo triturado en solicitaciones mecánicas dinámicas y estáticas. Caso de concreto hidráulico simple adicionado con fibras deshidratadas de cactus opuntia blanco”



En 1898, existían 91 formas diferentes para el cemento Portland. El ACI International se constituyó en 1905 para desarrollar un medio estandarizado para hacer concreto durable, utilizable y seguro. La Asociación de Cemento Portland (PCA) por sus siglas en inglés fue fundada en 1916 por Robert Lesley, un fabricante americano de cemento. En 1917 la oficina de normas de los Estados Unidos y la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM) por sus siglas en inglés, estandarizaron la fórmula para el Cemento Portland [13].

En la actualidad, aproximadamente 15 millones de toneladas de cemento Portland se usan para aplicaciones residenciales en los Estado Unidos. Estacionamientos, pisos de sótano, muros, banquetas y cimentaciones son aplicaciones comunes residenciales del concreto. Vialidades, edificios y puentes son aplicaciones comunes comerciales del concreto [13].

II.6.2. Tipos de Cementos.

Se pueden establecer dos tipos básicos de cementos:

-  De origen arcilloso: obtenidos a partir de arcilla y piedra caliza
-  De origen puzolánico: la puzolana del cemento puede ser de origen orgánico o volcánico.

Existen diferentes tipos de cemento Portland en el mercado, los cuales se encuentran clasificados de acuerdo a su uso y a la norma C150 de la ASTM (American Society for Testing and Materials), como se muestran a continuación:

Cemento Tipo I. Cemento de uso general.

Cemento Tipo II. Genera menor calor de hidratación que el tipo I y es más resistente al ataque por sulfatos. Se utiliza en grandes estructuras en las que el calor de hidratación puede provocar agrietamientos.

Cemento Tipo III. Cemento de alta resistencia a temprana edad y rápido fraguado. Es usado cuando se requiere alcanzar una elevada resistencia en pocos días.

Cemento Tipo IV. Presenta un calor de hidratación más bajo que el tipo III; se utiliza en construcciones de concreto masivo.

Cemento Tipo V. Cemento de alta resistencia a la acción de los sulfatos; se emplea en estructuras que están en contacto con suelos de aguas freáticas de alto contenido de sulfatos y en hormigones con aguas negras domésticas concentradas [6].



Pero, también existen diversos tipos de cementos, diferentes por su composición, por sus propiedades de resistencia y durabilidad, y por lo tanto por su destino y usos, conforme a la norma NMX-C-414-ONNCCE.

Tabla II.4. Tipos de cementos [11].

TIPO	DENOMINACION
CPO	Cemento Portland Ordinario
CPP	Cemento Portland Pozolánico
CPEG	Cemento Portland con Escoria Granular de alto horno
CPC	Cemento Portland Compuesto
CPS	Cemento Portland con homo de Sílice
CEG	Cemento con Escoria Granulada de alto horno

A continuación se describen algunas de las especificaciones más relevantes que se deben considerar en la adquisición de algunos productos; sin embargo existen más consideradas dentro del texto completo de la norma mexicana [11].

Tabla II.5. Componentes de los cementos [11].

Especificación y tolerancia							
Tipo	Denominación	Componentes (% en masa)					Minoritarios ¹
		Principales					
		Clinker Portland + yeso	Escoria granulada de alto horno	Materiales puzolánicos ⁽²⁾	Humo de sílice	Caliza	
CPO	Cemento Portland Ordinario	95 - 100	-	-	-	-	0-5
CPEG	Cemento Portland con Escoria Granulada de Alto Horno	40 - 94	6 - 60	-	-	-	0-5
CPC	Cemento Portland Compuesto ⁽³⁾	50 - 94	6 - 35	6 - 35	1 - 10	6 - 35	0-5
CEG	Cemento con Escoria Granulada de Alto Horno	20 - 39	61 - 80	-	-	-	0-5

Según las necesidades del proyecto, los cementos pueden requerir de una ó más características especiales.



Tabla II.6. Características de cementos [11].

NOMENCLATURA	CARACTERISTICA ESPECIAL
RS	Resistente a sulfatos
BRA	Baja reactividad álcali agregado
BCH	Bajo calor de hidratación
B	Blanco

En la siguiente tabla se muestran algunas características de este tipo de cementos.

Tabla II.7. Cementos con características especiales [11].

Nomenclatura	Característica especial	Expansión por ataque de sulfatos	Expansión por la reacción álcali-agregado	Calor de hidratación (Max.) (Kcal/kg)	Blancura (min. %)
		1 Año	14 días 56 Días	7 días 28 días	
RS	Resistente a los sulfatos	0.1			
BRA	Baja Reactividad Álcali Agregado		0.020 0.060		
BCH	Bajo Calor de Hidratación			80 70	
B	Blanco				70

A continuación se presenta una de las tablas más importantes de esta norma, ya que nos establece los parámetros de resistencia para distintos tipos de cementos.

Tabla II.8. Clase resistente del cemento [11].

Clase Resistente	Resistencia a Compresión MPa			Tiempo de Fraguado (min)	
	3 días mínimo	28 días mínimo	máximo	Inicial mínimo	Final máximo
20	-	20	40	45	600
30	-	30	50	45	600
30 R	20	30	50	45	600
40	-	40	-	45	600
40 R	30	40	-	45	600



Para esta tesis se eligió el cemento CPO 30R RS BRA, es decir, Cemento Pórtland Ordinario, de clase resistente 30R, de baja reactividad álcali-agregado (figura II.4). Este cemento fue propuesto, debido a que se desconocía la reacción que tendría con la adición de aditivo de cactus opuntia, y así mismo se quería verificar la resistencia a distintas edades. El cemento fue proporcionado por Holcim Apasco a petición del Maestro Wilfrido Martínez Molina, de la fábrica de Colima.



Figura II.4. Cemento utilizado CPO 30R RS BRA.

II.7. Agua.

El agua (del latín *aqua*) es una sustancia cuya molécula está formada por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno (H_2O). Es esencial para la supervivencia de todas las formas conocidas de vida. El término agua, generalmente, se refiere a la sustancia en su estado líquido, pero la misma puede hallarse en su forma sólida llamada hielo, y en forma gaseosa denominada vapor. El agua cubre el 71% de la superficie de la corteza terrestre [14].

De acuerdo a la norma NMX-C-122-ONNCCE-2004. El agua empleada en la fabricación y en el curado del concreto debe ser limpia y pura, que no contenga sustancias que puedan ser dañinas para el concreto, se recomienda: usar aguas con un pH no menor a 6 y que no sean saladas ni aceitosas, y que no contengan materias orgánicas. El límite máximo de la turbidez debe ser de 2000 partes por millón. El agua que se observa dura o que tiene sabor amargo, no se debe de usar ya que, puede contener elevadas concentraciones de sulfato; el agua que generalmente se utiliza es el agua potable, es decir, que sea líquida, transparente, inodora, incolora e insípida [15].



La tabla II.9 presenta las normas que tratan específicamente de la calidad del agua para el empleo en morteros y concretos. El exceso de impurezas en el agua de mezcla no sólo puede afectar el tiempo de fraguado y la resistencia del concreto, sino también puede causar eflorescencia, manchado, corrosión del esfuerzo, inestabilidad del volumen y reducción de la durabilidad. Por lo tanto, se pueden marcar límites 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, ya que algunas impurezas pueden tener efecto sobre la resistencia de fraguado y aún afectar la durabilidad y otras propiedades [5].

Tabla II.9. Normas de la calidad del agua para empleo en morteros y concreto [5]

PAÍS	NORMA	NOMBRE DE LA NORMA
Argentina	IRAM 1601	Agua para morteros y hormigones de cemento Pórtland
Chile	NCh 1498.Of1982	Hormigón – Agua de amasado – Requisitos
Colombia	NTC 3459	Concretos. Agua para la elaboración del concreto
Ecuador	1 855-1:01	Hormigón premezclado: requisitos
	1 855-2:02	Hormigón preparado en obra: requisitos
EE.UU.	ASTM C 94	Standard specification for ready mixed concrete
Perú	NSTP 339.088-1982	Hormigón (concreto). Agua para morteros y hormigones de cementos Pórtland. Requisitos
México	NMX-C-122-82	Agua para concreto
Venezuela	CONVENIN 2385:2000	Concreto y mortero. Agua de mezcla. Requisitos

En el concreto, el agua forma un papel fundamental ya que hace posible la reacción con el cemento, así al mezclarse con los agregados pétreos permite formar una pasta homogénea y manejable, con la cual se llevará a cabo la construcción de cualquier elemento de obra civil. La calidad del agua es muy importante, ya que las impurezas que contenga pueden inferir en el endurecimiento del concreto y la reacción agua-cemento, además de ocasionar el manchado de la superficie, así como llevar a la corrosión; es por ello que debe usarse la fuente de agua más limpia que sea posible para obtener buenos resultados en el concreto.

II.8. Concreto.

Según la norma NMX-C-403-ONNCCE-1999. El Concreto hidráulico. Es una mezcla de agregados, naturales, procesados o artificiales, cementante y agua, a la que además se le pueden agregar algunos aditivos; debe ser dosificada en masa o en volumen.



Es el material pétreo artificial obtenido de la mezcla en proporciones determinadas de cemento, agregados, agua y, en su caso aditivos y/o cementantes.

El Concreto hidráulico para uso estructural. Es el concreto hidráulico empleado para formar una parte integral de una estructura o edificación [16].

El concreto es el material resultante de la mezcla de cemento (u otro conglomerante) con agregados (piedra, grava, gravilla y arena) y agua. El cemento, mezclado con agua, se convierte en una pasta moldeable con propiedades adherentes, que en pocas horas fragua y se endurece tornándose en un material de consistencia sólida.

La principal característica estructural del concreto es que resiste muy bien los esfuerzos de compresión, pero no tiene buen comportamiento frente a otros tipos de esfuerzos (tracción, flexión, cortante, etc.), por este motivo es recomendable usarlo en conjunto con el acero, recibiendo el nombre de concreto armado, logrando así buenos resultados en estas solicitaciones.

Para poder modificar algunas de sus características o comportamiento, se pueden añadir aditivos y adiciones, existiendo una gran variedad de ellos: colorantes, aceleradores, retardadores de fraguado, fluidificantes, impermeabilizantes, **fibras**, entre otros. Su empleo es habitual en obras de Arquitectura e Ingeniería Civil, tales como edificios, puentes, diques, puertos, canales, túneles, etc.

El principal componente del concreto, es el cemento Portland, el cual ocupa entre el 7% y el 15% del volumen de la mezcla y tiene propiedades de adherencia y cohesión que proveen buena resistencia a la compresión. El segundo componente, son los agregados, que ocupan entre el 60% y el 75% del volumen de la mezcla; son materiales inertes, naturales o artificiales, de forma granular, que se dividen en arenas y gravas. El tercer componente, es el agua, que ocupa entre el 14% y el 18% del volumen de la mezcla e hidrata al cemento para lograr las reacciones químicas. Adicionalmente, se añaden aditivos a la mezcla con el objeto de modificar una o más propiedades del concreto tales como acelerar o retardar el fraguado, mejorar la trabajabilidad, reducir requerimientos de agua, optimizar costos e incrementar la resistencia [17].

II.8.1. Tipos de Concreto.

Con base en su peso unitario, el concreto se puede clasificar en tres grandes categorías. El concreto que contiene arena natural y grava o agregados de roca triturada,



“Efecto del agregado grueso pétreo triturado en solicitaciones mecánicas dinámicas y estáticas. Caso de concreto hidráulico simple adicionado con fibras deshidratadas de cactus opuntia blanco”



que pesa aproximadamente $2,200 \text{ kg/m}^3$, es conocido como concreto de peso normal y es el concreto más comúnmente utilizado para propósitos estructurales.

Para aplicaciones en donde se desea una relación más alta de resistencia contra peso; es posible reducir el peso unitario del concreto usando ciertos agregados naturales o piropcesados que tienen una densidad de masa más baja. El término concreto ligero se utiliza para un concreto que pesa menos de $1,000 \text{ kg/m}^3$.

Por otra parte, el concreto pesado, que se utiliza por ejemplo para escudos contra radiación, es un concreto producido con agregados de alta densidad y pesa en general más de $4,000 \text{ kg/m}^3$.

La clasificación por resistencia del concreto, que prevalece en Europa, México y en muchos otros países, es en tres categorías generales:

✚ Concreto de baja resistencia: menos de 20 MPa (204 kg/cm^2) de resistencia a la compresión.

✚ Concreto de resistencia moderada: de 20 a 40 MPa ($204 \text{ a } 408 \text{ kg/cm}^2$) de resistencia a la compresión.

✚ Concreto de alta resistencia: más de 40 MPa (408 kg/cm^2) de resistencia a la compresión.

El concreto de resistencia moderada es un concreto ordinario o normal, que se utiliza en la mayor parte de los trabajos estructurales. El concreto de alta resistencia se utiliza para aplicaciones especiales [18].

II.9. Aditivos.

No es un componente esencial de la mezcla de concreto, pero es una adición muy importante cuyo uso se extiende cada vez más. Los aditivos son capaces de impartir beneficios físicos y económicos considerables con respecto al concreto. Los usos incluyen el uso del concreto en circunstancias en las que previamente existían dificultades considerables, o hasta insuperables [6].

Los aditivos, aunque no son siempre baratos, no representan necesariamente gasto adicional pues su empleo puede dar por resultado ahorros considerables ya que por medio de estos se puede disminuir el costo de mano de obra, además, mejorar las condiciones de la mezcla y su durabilidad [6].



Los aditivos se usan en el concreto en cantidades menores al 5% del cemento en peso, estos pueden ser orgánicos e inorgánicos en cuanto a su composición. A continuación se clasifican los aditivos con base en su función en el concreto de acuerdo a la norma ASTM-C-494-92

- ✚ Reductores de agua.
- ✚ Retardantes.
- ✚ Acelerantes.
- ✚ Reductores de agua y retardantes.
- ✚ Reductores de agua y acelerantes.
- ✚ Reductores de agua de alto rango o superfluidificantes.
- ✚ Reductores de agua de alto rango y retardantes, o superfluidificantes y retardantes [6].

Estos aditivos están patentados y pueden usarse en estado líquido o sólido, aunque se acostumbra usarlos en estado líquido. La efectividad de los distintos aditivos puede variar dependiendo de las condiciones ambientales y de los componentes de los agregados, así como del porcentaje adicionado a la mezcla [6].

El concreto debe ser trabajable, bonito acabado, fuerte, durable, macizo y resistente al desgaste. Estas calidades se pueden obtener fácil y económicamente con la selección de los materiales adecuados, preferiblemente al uso de aditivos.

Las razones principales para el uso de aditivos son:

- ✚ Reducción del costo de la construcción de concreto;
- ✚ Obtención de ciertas propiedades en el concreto de manera más efectiva que otras.
- ✚ Manutención de la calidad del concreto durante las etapas de mezclado, transporte, colado (colocación) y curado en condiciones de clima adverso;
- ✚ Superación de ciertas emergencias durante las operaciones de mezclado, transporte, colocación y curado.

A pesar de estas consideraciones, se debe observar que ningún aditivo de cualquier tipo o de cualquier cantidad se le puede considerar como un sustituto de las buenas prácticas de construcción. La eficiencia de un aditivo depende de factores tales como: tipo,



marca y cantidad del material cementante; contenido de agua; forma, granulometría y proporción de los agregados; tipo de mezclado y temperatura del concreto [5].

II.9.1 Cactus Opuntia (Nopal).

El nopal pertenece al género Opuntia, del grupo cacti, que contiene cerca de 300 variedades (algunos con espinas otros sin ellas) un tipo común del cactus espinoso también conocido como higo indio (*Opuntia Ficus-indica*. OFI) [19].

La ‘Opuntia Ficus-Índica’ que se denomina así de acuerdo con su nomenclatura binomial, es la llamada nopal, tuna o chumbera. Las funciones básicas de estas plantas se realizan por los tallos con forma de segmentos elípticos aplanados y sin espinas. En sus bordes aparecen las flores en forma de corona que se transforman en frutos denominados tunos; mismos que poseen una cáscara gruesa, espinosa, y con una pulpa abundante en semillas. Esta planta es originaria de México, donde es conocida desde tiempos prehispánicos [20].

A continuación se muestra una imagen del estado natural del nopal, esto para poder apreciar como se encuentra en la naturaleza de nuestro medio ambiente.



Figura II.5. El nopal en estado natural [20].

Los nopales llegan a medir hasta 4m de altura y a tener un tronco leñoso, segregan una sustancia viscosa llamada mucílago o comúnmente “baba de nopal”, cuya función es cicatrizar las heridas de la propia planta. El contenido nutricional de esta planta comprende minerales como calcio, hierro, aluminio, magnesio, sulfatos, fosfato, potasio, sílice, sodio, carbohidratos, componentes nitrogenados, además de vitaminas A, B1, B2 y C. Las semillas de la tuna tienen un alto contenido de sustancias grasas y proteicas. Una característica importante del nopal es su alto contenido de carbohidratos (glucosa), que agrupados en grandes cadenas forman el almidón, considerado también como aditivo en la elaboración de morteros, para retener agua de amasado y favorecer el fraguado [21].



El cultivo del nopal contribuye a la alimentación, nutrición y salud de los seres humanos. Además se utiliza en la agroindustria alimentaria; complementa la alimentación animal; es fuente potencial de bioenergía; y ayuda a un mejor manejo del medio ambiente. Esta cactácea del género *Opuntia* y de la cual se conocen más de 300 especies, es originaria de Mesoamérica y hoy está difundida en todo el mundo. Al ser una planta muy noble, el nopal puede desarrollarse fácilmente; sin embargo, su crecimiento óptimo se da en las zonas áridas y semiáridas; se adapta a casi cualquier tipo de clima mientras cumpla con ciertas características básicas, tales como: buena insolación, cierta disponibilidad de agua, y que el suelo no sea salino o muy arenoso. Una hectárea puede albergar una densidad de entre 15,000 a 22,000 pencas [20].

II.9.1.1. Historia del Nopal.

El origen e historia del nopal están íntimamente relacionados con las civilizaciones más antiguas de nuestro país, pero en especial con las mesoamericanas y de manera particular, con la cultura azteca. Existen evidencias arqueológicas que permiten afirmar que las poblaciones indígenas asentadas en las zonas semiáridas de Mesoamérica, fueron las que iniciaron su cultivo de modo formal. Al acercarse la época de fructificación de los nopales, los pobladores se alimentaban de sus frutos. Sin duda, los nopales influyeron en el asentamiento de tribus errantes que concurrían en la época de fructificación a las zonas habitadas por estas plantas; y acababan por fijar ahí su residencia [20].



Figura II.6. El nopal en Mesoamérica [20].

En nuestro territorio el nopal que más se cultiva es el de tuna blanca o tuna piedra. En la región de los otomíes, para preparar una huerta de nopales, primero se acondiciona el suelo y al terminar de limpiar la tierra se hacen hoyos para meter las plantas. Éstas deben ir dentro de depresiones más grandes que se llenan de agua cuando llueve. No requieren ser



sembradas profundamente, porque de hacerlo, no producen vástagos y se pudren. Las hojas o pencas que sirven de semillas son podadas de otra planta muchos días antes y las dejan enjustrarse. Si siembran una hoja recién cortada se pudre. Las hojas se extienden al sol por tres meses para secarlas bien. Los campesinos comienzan a sembrar y colocan las plantas el día de luna llena. Otros comienzan en la luna nueva, cada quien tiene sus creencias. Los que siembran en luna llena, dicen que el nopal dará tunas rápidamente. Los que lo hacen en luna nueva, creen que no dará fruto, que sólo producirá nuevas hojas [21].

Antes de sembrar hay que observar como caen los rayos de luz a la tierra. Si caen verticalmente los plantadores colocan la planta recta en el hoyo. Se siembra de esta manera porque si no llueve inmediatamente, toda la fuerza del sol no le pegará a las hojas. Si el sol brilla intensamente sobre una nueva planta de nopal, ésta muere antes de echar raíces. El calor intenso del sol y la tierra seca, la marchitan y se muere. Al llegar las lluvias estas plantas echan raíces y entonces pueden resistir el sol sin ayuda [21].

En México las cactáceas destacan por su amplia representatividad a nivel genérico y específico, alcanzando mayor significancia en regiones áridas y semiáridas, las cuales están ampliamente representadas dentro del territorio nacional, llegando a ser junto con los agaves, las plantas más características del paisaje mexicano [21].

Así pues, el nopal ha venido formando parte de nuestra historia, y lo sigue haciendo al formar parte de nuestra alimentación. Hoy en día, los científicos relatan que el nopal es una planta llena de secretos y de beneficios que a lo largo de la vida los vamos descubriendo. Uno de estos acontecimientos más actuales es el uso del nopal como aditivo en el concreto, esto que para aumentar su resistencia, manejabilidad y disminuir su costo, aunque aún no se obtienen resultados confiables, motivo por el cual se hace esta investigación.

II.9.1.2. Uso del Nopal.

Son muchos los sectores industriales que se pueden beneficiar con la explotación de los nopales, ya que esta planta es de gran ayuda para el desarrollo de diferentes tecnologías para beneficio del hombre. A continuación se mencionan algunos de estos:

- ✚ Agroindustria de alimentos y bebidas para consumo humano (producción de diversos alimentos, bebidas alcohólicas y no alcohólicas de tuna y nopalitas).



- ✚ Agroindustria de alimentos para animales (suplementos y piensos de cladodios y de desechos de la industria procesadora de tuna, como las cáscaras y semillas).
- ✚ Industria farmacéutica (protectores gástricos de extractos de mucílagos; cápsulas y tabletas de polvo de nopal).
- ✚ Industria cosmética (cremas, shampoo, lociones de cladodios).
- ✚ Industria de suplementos alimenticios (fibra y harinas de cladodios).
- ✚ Industria productora de aditivos naturales (gomas de cladodios; colorantes de la fruta).
- ✚ Sector de la construcción (compuestos ligantes de los cladodios).
- ✚ Sector energético (producción de biogás a partir de las pencas).
- ✚ Sector productor de insumos para la agricultura (productos del nopal como mejoradores del drenaje de suelos).
- ✚ Sector turismo (artesanías con base en cladodios lignificados).
- ✚ Industria textil (uso de colorantes naturales, como el carmín de cochinilla)

[20].

El nopal es considerado un gran alimento ya que aporta gran cantidad de nutrientes a nuestro organismo, como se muestra en la siguiente figura.

Información nutricional del nopal	
Valor nutritivo en 100 g de peso neto de nopal fresco	
Concepto	Contenido
Porción comestible	78,00
Energía (Kcal)	27,00
Proteína (g)	1,70
Grasas (g)	0,30
Carbohidratos (g)	5,60
Calcio (mg)	93,00
Hierro (mg)	1,60
Tiamina (mg)	0,03
Riboflavina (mg)	0,06
Niacina (mg)	0,03
Ascórbico (mg)	8,00

Figura II.7. Propiedades del nopal [20].

La fibra del nopal se considera en una serie de productos presentes, principalmente en el mercado mexicano; todos ellos tienen como base la harina o polvo obtenido de los



cladodios del nopal. Los cladodios son actualmente una fuente importante de fibra, la cual se obtiene por secado y trituración. Las fibras que posee en mayor cantidad esta planta son concretamente la pectina, los mucílagos y gomas de efecto saciante y absorbente [20].

En México hay una larga historia del uso del mucílago de nopal en combinación con cal: aumenta sus propiedades adhesivas y mejora su repelencia al agua. Tradicionalmente, se ha empleado de modo similar al yeso en paredes de adobe y de ladrillo. A partir del jugo de nopal, se puede fabricar pintura que actúa como impermeabilizante (Figura II.8), el cual puede ser aplicado a cualquier construcción para protegerla. En caso de aplicarse a una vivienda, este impermeabilizante hecho a base de nopal, protege la construcción del frío, la humedad del ambiente, del agua y de los insectos. El mortero de cal adicionado con baba de nopal se utiliza también para restaurar y proteger edificios históricos debido a su funcionamiento mejorado contra la penetración del agua y agrietamientos [20].



Figura II.8. Pintura hecha con nopal [20].

El comportamiento del mucílago del nopal en materiales base cemento es aún desconocido. Pocas son las investigaciones que estudian ambos elementos juntos, por ejemplo la publicación técnica # 326 del IMT, trata sobre la mejora en la durabilidad de materiales base cemento, utilizando adiciones deshidratadas de cactus; y la pregunta por contestar sobre el papel de las adiciones del nopal en pastas de cemento, mortero y concreto todavía existe. Se ha sugerido que el mucílago mejora las características físicas de las pastas de cemento y morteros. Por ejemplo en pastas de cemento disminuye la permeabilidad y aumenta la resistencia a la compresión [19].

De acuerdo a la publicación técnica #328 de la SCT y del IMT, resultados preliminares sugieren que agregar nopal o aloe vera deshidratados en pequeñas



“Efecto del agregado grueso pétreo triturado en sollicitaciones mecánicas dinámicas y estáticas. Caso de concreto hidráulico simple adicionado con fibras deshidratadas de cactus opuntia blanco”



concentraciones ($\leq 2\%$ en peso, como reemplazo del cemento) puede ser conveniente para incrementar la resistencia a la corrosión en elementos de concreto reforzado. Pero el papel de cómo tales adiciones incrementan la durabilidad del concreto no está todavía bien comprendido. Una posibilidad es que el mucílago actúa como un tapón de poros, disminuyendo la penetración de cloruros y del agua funcionando como una red en el concreto, gracias a la acción química entre las pectinas y las moléculas de cloruro o de agua. La otra podría ser que el mucílago actúe como inhibidor de la corrosión del acero en concretos contaminados con cloruros. Es posible también que funcione de forma semejante como lo observado en estudios anteriores en donde el mucílago del nopal actuaba como inhibidor de la corrosión de aluminio o acero en soluciones ácidas [19].

Cabe mencionar que para esta investigación se hizo uso del 2% de cactus opuntia en estado deshidratado, esto para continuar con las investigaciones de tan importante fibra como aditivo.



II.10. Diseño de Mezclas (Método de ACI).

Este método es aplicable para concreto de peso normal, aunque también existe el método de las Curvas de Abrams, ambos métodos son aceptables ya que proporcionan una buena dosificación.

El diseño de mezclas por medio del método de ACI (American Concrete Institute), se basa en el hecho de que para un tamaño máximo del agregado grueso, el contenido de agua en kilogramos por metro cúbico determina el grado de trabajabilidad de la mezcla. Este método se basa en las características físicas de los materiales y en las pruebas realizadas a los mismos. Para su mejor entendimiento este método se divide en 9 pasos muy sencillos que se presentan en la figura II.9.

A continuación se ilustra de manera detallada el diseño del procedimiento para determinar las cantidades de material necesarias para 1 m³ de mezcla, para esto se hizo uso de Microsoft Excel (Figura II.9).

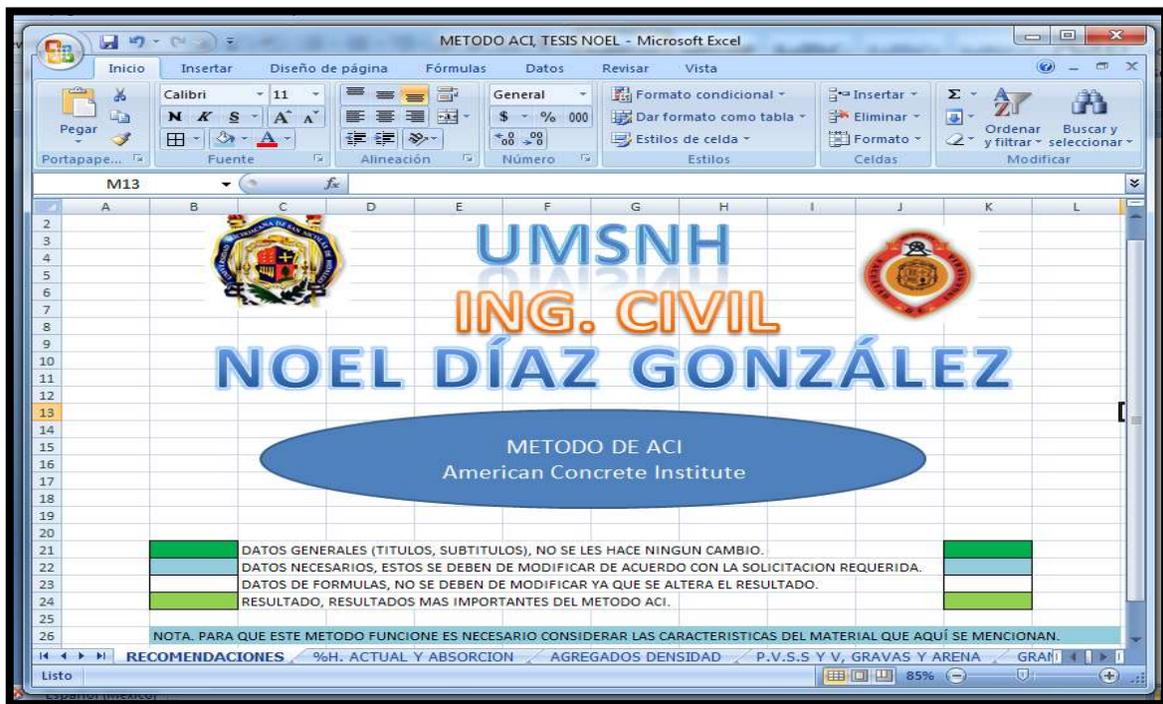


Figura II.9. Recomendaciones, cálculo de Microsoft Excel.

Paso cero.- Elección de la Desviación Estándar.

La desviación estándar es un factor que se le incrementa a la resistencia de proyecto del concreto a compresión ($f'c$), y que el método ACI lo requiere para el cálculo del esfuerzo crítico de ruptura del concreto a compresión (fcr). Este incremento depende del



tipo de mezclado que se vaya a utilizar al elaborar el concreto, esto para garantizar la resistencia del concreto, es decir, que la mayoría de los especímenes cumplan con el $f'c$ esperado.

El $f'c$ es de 250 kg/cm^2 mientras que el incremento de la desviación estándar $\sigma=35$ debido a que se usa un mezclado mecánico, proporcionamiento, corrección por humedad y absorción de los agregados de una misma fuente y de calidad controlada y el $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$ se encuentra entre los valores de 200 y 300 kg/cm^2 (Figura II.10).

El f_{cr} , se calcula mediante las siguientes formulas:

$$f_{cr} = f'c + 1.28\sigma$$

$$f_{cr} = f'c + 2.52\sigma - 3.5$$

Pero por seguridad se toma el valor mayor obtenido, esto para garantizar su resistencia debido a las condiciones de mezclado, es por eso que el valor tomado del $f_{cr} = 303.2 \text{ kg/cm}^2$.

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

Figura II.10. Desviación estándar, cálculo de Microsoft Excel.

Paso uno.- Elección del Revenimiento.

La elección del revenimiento fue de 10cm con una tolerancia de ± 2.5 , esto debido a que la experimentación está basada en la investigación a distintas edades del comportamiento del concreto con y sin aditivo, tanto en cilindros como en vigas.



REVENIMIENTOS RECOMENDADOS PARA DIVERSOS TIPOS DE CONSTRUCCIÓN		
TIPO DE CONSTRUCCIÓN	REVENIMIENTO EN CENTÍMETROS	
	Máximo*	Mínimo
Muros de cimentación y zapatas	7.5	2.5
Zapatas, cajones de cimentación y muros de Sub-estructura sencillos.	7.5	2.5
Vigas y muros reforzados.	10	2.5
Columnas para edificios.	10	2.5
Pavimentos y losas.	7.5	2.5
Concreto masivo.	7.5	2.5
*Puede incrementarse en 2.5 cm. Cuando los métodos de comparación no sean mediante vibrado.		

Figura II.11. Revenimiento, cálculo de Microsoft Excel.

Paso dos.- Tamaño Máximo del Agregado (TM).

El tamaño máximo del agregado depende del análisis granulométrico realizado a la grava (Figura II.12), pero también depende del tamaño del molde que se vaya a utilizar para realizar los especímenes, esto debido a que debe de guardar la relación con las dimensiones de la estructura. En ningún caso el tamaño máximo debe exceder de 1/5 de la menor dimensión entre los costados del molde o cimbra, caso de los cilindros de 10x20cm. Una quinta parte de la distancia de los costados es: $\frac{10}{5} = 2 \text{ cm}$ y el tamaño más cercano a esta medida es el de $\frac{3}{4}$ " ó 1.905 cm, donde el tamaño máximo permitido es de $\frac{3}{4}$ de pulgada.

MUESTRA PROMEDIO				
PESO DE LA MUESTRA:		14,870.00 kg		
MALLA	PESO RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	
	(grs)	%	%	
1 1/2 "	0.00	0.00	0.00	
1 "	0.00	0.00	0.00	
TAMAÑO MÁXIMO	3/4 "	2360.00	15.87	15.87
	1/2"	8140.00	54.74	70.61
	3/8 "	3100.00	20.85	91.46
	No. 4	1240.00	8.34	99.80
	PASA No.4	30.00	0.20	100.00
	SUMAS	14,870.00	100.0	---

Figura II.12. Tamaño máximo del agregado, cálculo de Microsoft Excel.



Paso tres.- Cálculo del Agua de Mezclado y el Contenido de Aire.

La cantidad de agua en volumen requerida para un concreto sin aire incluido, se determina haciendo coincidir el tamaño máximo del agregado con respecto al revenimiento de proyecto, dando como resultado 205 litros y un 2% de aire atrapado en el concreto, este aire es accidental, es decir, sin aditivo que lo genere, ya que queda atrapado en el concreto debido al tipo de mezclado. (Figura II.13).

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"								
→	10	12.5	20	25	40	50	70	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								

Figura II.13. Agua requerida y aire atrapado, cálculo de Microsoft Excel.

Antes de continuar con el paso siguiente es necesario conocer las características obtenidas de los materiales (Figura II.14). En esta figura se presenta el PVSS (peso volumétrico seco suelto), el PVSV (peso volumétrico seco varillado), la Du (densidad), el MF (modulo de finura) y el TM (tamaño máximo del material).

CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES					
MATERIAL	PVSS(kg/m ³)	PVSV(kg/m ³)	DU(gr/cm ³)	MF	TM
GRAVA	1381.604	1506.604	2.714	-----	3/4 "
ARENA	1205.147	1332.004	2.317	3.39	-----
CEMENTO	1490.000	-----	3.176	-----	-----

Figura II.14. Característica de los materiales, cálculo de Microsoft Excel.



Paso cuatro.- Selección de la Relación Agua/Cemento.

La relación A/C requerida se determina no sólo por los requisitos de resistencia, sino también por otros factores como la durabilidad, las propiedades del acabado, la diversidad de agregados y los distintos cementos.

Para determinar la relación A/C, es necesario interpolar el valor intermedio de la resistencia de proyecto a compresión, con respecto a los valores de la relación A/C por peso (Figura II.15).

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

Figura II.15. Relación A/C, cálculo de Microsoft Excel.

A continuación se observa de manera más clara la interpolación de la resistencia de 303.2 kg/cm² para obtener la relación A/C en peso (Figura II.16).

PASO CUATRO: SELECCIÓN DE LA RELACIÓN AGUA CEMENTO				
Se hace uso de la figura II.15 y se interpola para determinar la relación				
420	0.41	concreto sin aire icluido	f'cr =	303.20 kg/cm2
350	0.48			
280	0.57			
210	0.68			
140	0.82		A/C=	0.54 valor encontrado

Figura II.16. Interpolación, selección A/C, cálculo de Microsoft Excel.

Paso cinco.- Cálculo del Contenido de Cemento.

El cemento requerido en peso para un metro cúbico de concreto, es igual al contenido estimado de agua de mezclado, dividido entre la relación A/C; como se muestra en la siguiente formula (Figura II.17).



$$\text{Cantidad de Cemento en peso} = \frac{\text{Cantidad de agua en Kg.}}{\text{Relación Agua/Cemento}}$$

PASO CINCO: CÁLCULO DEL CONTENIDO DE CEMENTO			
Solo despejamos el cemento de la relación anterior			
A/C=	0.54		
AGUA=	205	litros	
	Cemento para 1 m ³ =		379.51 kg

Figura II.17. Contenido de cemento, cálculo de Microsoft Excel.

Paso seis.- Estimación del Agregado Grueso.

Cabe mencionar que el módulo de finura es de 3.39, éste fue determinado por medio de la granulometría del arena, este valor es muy alto ya que el agregado fino que utilicé presentaba mayor cantidad de gruesos (Figura II.18).

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	3.40
9.5 (3/8")	0.50	0.48	0.46	0.44	0.42	0.40
12.5 (1/2")	0.59	0.57	0.55	0.53	0.51	0.49
19 (3/4")	0.66	0.64	0.62	0.60	0.58	0.56
25(1")	0.71	0.69	0.67	0.65	0.63	0.61
37.5(1 1/2")	0.75	0.73	0.71	0.69	0.67	0.65
50(2")	0.78	0.76	0.74	0.72	0.70	0.68
75(3")	0.82	0.80	0.78	0.76	0.74	0.72
150(6")	0.87	0.85	0.83	0.81	0.79	0.77

Figura II.18. Volumen de agregado grueso, cálculo de Microsoft Excel.

Para determinar el volumen de agregado grueso se necesita hacer uso de la interpolación lineal, ya que el valor del módulo de finura no se encuentra dentro de los valores que la tabla registra (Figura II.19).

Posteriormente se obtiene la cantidad en peso del agregado grueso, esto producto de la multiplicación del PVSV de la grava por el valor de la interpolación (G), como se indica en la siguiente fórmula:

$$\text{Cálculo del peso de la grava} = (\text{Cantidad de grava}) * (P. V. S. V.)$$



PASO SEIS: ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE AGREGADO GRUESO						
Se hace uso de la tabla 4 para determinar el peso del agregado tomando en cuenta la humedad						
TM=	3/4 "		G=	0.561		
MF=	3.39				GP=	844.76 kg
						3.2 3.4
X1	3.2	-----	0.58	Y1		0.42 0.4
Xmf	3.39	-----	0.561			0.51 0.49
X2	3.4	-----	0.56	Y2		0.58 0.56

Figura II.19. Interpolación, estimación de grava, cálculo de Microsoft Excel.

Paso siete.- Estimación del agregado Fino.

Algunos de los materiales en peso ya se han calculado anteriormente, es por ello que interesa solamente la cantidad de arena, pero para esto es necesario manejar las cantidades en volumen; para realizar este cálculo se hace uso de la siguiente fórmula.

$$\text{Cálculo del Volumen de material} = \frac{\left[\frac{\text{Peso de material}}{\text{Densidad de material}} \right]}{1000}$$

Cabe mencionar que para el aire no aplica esta fórmula, ya que este aire se encuentra atrapado en el concreto; Una vez obtenidos estos valores se realiza una suma de volúmenes con excepción del volumen de la arena, esta suma se restara a 1m³ y así se determina el volumen de arena (Figura II.20).

PASO SIETE: ESTIMACIÓN DE CONTENIDO DE AGREGADO FINO				
CANTIDAD PARA UN METRO CÚBICO				
MATERIALES	PESO (kg)	DENSIDAD	VOL (m ³)	
CEMENTO	379.509	3.176	0.119	
AGUA	205.000	1.000	0.205	
AIRE	0.000	0.000	0.020	
ARENA	797.663	2.317	0.344	
GRAVA	844.764	2.714	0.311	
TOTAL	2226.936		1	

Figura II.20. Estimación del agregado fino, cálculo de Microsoft Excel.

Por último sólo resta determinar el peso de la arena, este peso se determina multiplicando la densidad por el volumen y por 1000, para conservar las unidades.



Paso ocho.- Ajustes por Humedad del Agregado.

Los agregados pétreos por lo general se encuentran húmedos y sus pesos secos deben de incrementarse con el porcentaje de agua, tanto absorbida como superficial, que contienen. Debido a esto se debe de realizar un ajuste de la humedad y así determinar el factor reductor o de incremento de agua (Figura II.21).

PASO OCHO: AJUSTE POR HUMEDAD DEL AGREGADO PETREO			
Se debe de checar la humedad y absorción en % antes de usarse el material			
AJUSTE POR HUMEDAD DEL AGREGADO			
MATERIAL	H. NATURAL	H.ABSORCIÓN	
GRAVA	1.21%	2.41%	
ARENA	1.88%	4.91%	
CANTIDAD DE HUMEDAD EN GRAVAS=		-1.19%	factor de corrección
CANTIDAD DE HUMEDAD EN ARENAS=		-3.03%	factor de corrección

Figura II.21. Ajuste por humedad, cálculo de Microsoft Excel.

Esta corrección consiste en restar el % de la Humedad actual menos el % de Absorción del material, así pues obtenemos el factor de corrección tanto en la grava como en la arena. Este valor será muy útil ya que es requerido para estimar la cantidad correcta de agua necesaria para el concreto.

Paso nueve.- Ajuste de las muestras de la prueba.

Una vez obtenido lo anterior, se procede a calcular la cantidad de material pétreo necesario para la mezcla, ésto se realiza sumando el peso del material al porciento de humedad contenido en este agregado, como se muestra en la siguiente expresión.

$$(Peso\ del\ material) + \left[\left(\frac{\% H. Actual}{100} \right) * (Peso\ del\ material) \right]$$

Después de haber aplicado esta fórmula sólo falta multiplicar el factor obtenido por la cantidad en peso de su respectivo material; de acuerdo al signo que se haya obtenido en la resta de humedades, se sumará o restará este resultado al valor del agua, es decir, si la absorción es mayor se suman y caso contrario si es menor con respecto a la humedad natural. En este caso los signos fueron negativos, es por esto que se cambian a positivos y así poder sumar estas cantidades al peso del agua, como se muestra en la imagen (Figura II.22).

$$(Cantidad\ de\ Agua) + (Peso\ de\ la\ grava * Factor) + (Peso\ de\ la\ arena * Factor)$$



PASO NUEVE: AJUSTE DE LAS MEZCLAS DE LA PRUEBA						
PESO DE LA GRAVA SOBRESATURADA=		855.03 kg				
PESO DE LA ARENA SOBRESATURADA=		812.70 kg				
CANTIDAD DE AGUA=		239.22 kg				
CANTIDADES DE MATERIALES CORREGIDAS PARA UN METRO CÚBICO						PARA 1 BTO
MATERIALES	PESO (kg)	DENSIDAD	VOL (m ³)	RELACIÓN EN PESO	50.00 kg	
CEMENTO	379.509	3.176	0.119	1	50	
AGUA	239.217	1	0.239	0.630	31.517	
AIRE	0	0	0.020		0	
ARENA	812.697	2.317	0.351	2.141	107.072	
GRAVA	855.025	2.714	0.315	2.253	112.649	
TOTAL	2286.449		1.044			

Figura II.22. Resultados ajustados, cálculo de Microsoft Excel.

En esta figura además se hace mención de otros aspectos relacionados con el proporcionamiento, esto para facilitar la valoración de las cantidades en distintas modalidades.

Para terminar sólo es necesario saber cuánto concreto se va utilizar para realizar los especímenes, esto se hace determinando el volumen y cantidad de moldes a colar, para esto hay que manejar un factor de desperdicio debido a que la pérdida de mezcla es inminente a pesar del cuidado con que se haga. En las imágenes siguientes se puede observar la cantidad necesaria de cada tipo de material tanto para cilindros (Figura II.23) como para vigas (Figura II.24).

CANTIDADES DE LOS MATERIALES PARA ELABORAR UN NÚMERO DE CILINDROS						
h=	0.20 m					
D=	0.10m					
VOLUMEN DE UN CILINDRO=		0.0016 m ³				
		PARA 35 CILINDROS				
1.000	m ³	0.0605 m ³				
MATERIALES	PESO (kg)	kg (+10% DE DESPERDICIO)			MATERIALES	PESO (g)
CEMENTO	379.509	22.951			CEMENTO	22951.07
AGUA	239.217	14.467			AGUA	14466.81
AIRE	0	0			AIRE	0.00
ARENA	812.697	49.148			ARENA	49148.41
GRAVA	855.025	51.708			GRAVA	51708.23
TOTAL	2286.449	138.275			TOTAL	138274.52



Figura II.23. Cantidades de material para 35 cilindros de 10 cm x 20 cm, cálculo de Microsoft Excel.



CANTIDADES DE LOS MATERIALES PARA ELABORAR UN NÚMERO DE VIGAS.					
ALTURA	0.15	m			
ANCHO	0.15	m			
LARGO	0.60	m			
VOLUMEN DE UNA VIGA=		0.0135	m ³		
		PARA	9 VIGAS		
1.000	m ³		0.13365	m ³	
MATERIALES	PESO (kg)	Kg (+10% DE DESPERDICIO)		MATERIALES	PESO (g)
CEMENTO	379.509	50.72		CEMENTO	50721.40
AGUA	238.870	31.92		AGUA	31924.99
AIRE	0	0		AIRE	0.00
ARENA	762.396	101.89		ARENA	101894.29
GRAVA	834.706	111.56		GRAVA	111558.42
TOTAL	2215.481	296.10		TOTAL	296099.10

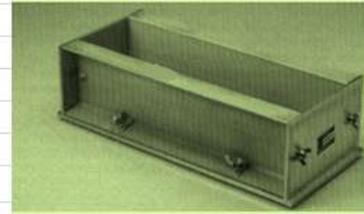


Figura II.24. Cantidades de material para 9 vigas de 15 cm x 15 cm x 60 cm, cálculo de Microsoft Excel.

Como se puede observar, aquí se determinó la cantidad real en peso de los distintos materiales para la realización del concreto hidráulico con aditivo de cactus. Este cálculo fue realizado en Microsoft Excel, ya que es una herramienta básica en cualquier cálculo de la actualidad.



III. PRUEBAS Y NORMATIVA.

III.1. Pruebas realizadas a los agregados finos.

III.1.1. Muestreo.

Objetivo. Obtener y traer una muestra representativa del material (arena) que se va a emplear en la elaboración de las mezclas de concreto para poder realizar los estudios o pruebas correspondientes de dicho material en el laboratorio.

Equipo.

-  Medio de transporte.
-  Costales.
-  Palas.
-  Bolsas de plástico.

Procedimiento.

Los muestreos del material se pueden realizar en tres lugares, como se indica a continuación:

Muestreo de agregados directamente del banco. La muestra deberá extraerse del frente de ataque, es decir, de donde se ha estado extrayendo el material, teniendo especial cuidado de evitar la contaminación. Las muestras se tomaron de todos lados, desde el lado superior hasta el inferior, procurando obtener material de todas las propiedades realmente representativo. Finalmente, las muestras extraídas se mezclaron para hacer una suma total de material, esto se logra por medio del paleado y cuarteo de mezclas.

Muestreo de agregados en camiones que suministren el material a la obra. El muestreo en camiones se realiza tomando muestras pequeñas de material de la parte superior, la cual deberá ser representativa del total de la muestra.

Muestreo de agregados almacenados en montículos. Estos materiales se presentan por lo general en forma de cono, las muestras se tomaron mediante la ayuda de una pala o cucharón grande. El orden en que dichas muestras se tomen, será siguiendo una trayectoria helicoidal, es decir, que cubra tanto el área superior como la inferior; esto para lograr una buena representación del material.

La cantidad mínima de materia al realizar el muestreo debe ser de 50 Kilogramos, esto para las tres situaciones. La finalidad del muestreo, es lograr obtener una muestra



“Efecto del agregado grueso pétreo triturado en sollicitaciones mecánicas dinámicas y estáticas. Caso de concreto hidráulico simple adicionado con fibras deshidratadas de cactus opuntia blanco”



representativa del yacimiento de los agregados pétreos (arena), con lo cual se busca determinar la calidad del material.

Para obtener la muestra fue necesario aplicar el primer procedimiento, donde no sólo se obtuvo 50 kg, sino una cantidad mucho mayor, es decir, obtuve la cantidad necesaria para realizar los especímenes.

La arena elegida es volcánica del banco de Joyitas, sobre la carretera Morelia-Zacapú (figura III.1), procedente de una roca ígnea extrusiva, de ahí sus características tanto físicas como internas. Cabe mencionar que este banco de material funciona mediante cribado del agregado, es decir, también en este banco podemos encontrar otros agregados como lo es la grava, el sello y filtro.

Para llevar la muestra al laboratorio se hizo uso de la camioneta y de la ayuda de compañeros de trabajo, ya que se realizaron dos viajes a este banco donde se obtuvieron cerca de 2 toneladas de arena en total.



Figura III.1. Banco de material Joyitas.

III.1.2. Cuarteo.

Objetivo. Obtener una muestra representativa y tamaño adecuado, para la prueba de que se trate, de la muestra obtenida en el campo.

Equipo.

-  Charolas grandes de lámina.
-  Palas de boca recta.
-  Cucharones.
-  Brochas o cepillo para pelo.
-  Balanza o báscula.



- ✚ Divisor de muestras.
- ✚ Traza de plástico flexible.

Procedimiento.

Existen tres formas de efectuar el cuarteo de material pétreo, estas dependiendo de la cantidad de material que se va a reducir en partes iguales menores.

Cuarteo por medio de palas. En una superficie limpia se coloca el material pétreo del muestreo, con una pala se traspalea el material más de tres veces para mezclar los agregados de diferentes tamaños, esto moviéndolo de un lugar a otro. A continuación se forma un montículo, este se aplana por medio de la pala para posteriormente dividir el material en cuatro partes iguales. Se seleccionan dos muestras opuestas separándolas del resto y se combinan, mientras que las otras dos opuestas se desechan, se repite el proceso, volviendo a seleccionar otras dos muestras diametralmente opuestas, hasta que quede una muestra apropiada para efectuar los ensayos que se deseen. Si se requiere disminuir aun más la cantidad de material se procede al uso del divisor de muestras.

Cuarteo por medio del divisor de muestras. Este aparato es un recipiente de lámina galvanizada, dividido en dos series de tolvas cuya descarga es alternada hacia dos lados opuestos entre sí. Bajo las tolvas se colocan dos charolas para recoger el material cuarteado, que se ha dejado caer verticalmente sobre la parte superior del aparato. El material recibido en uno de los recipientes se desecha mientras que la otra parte se vuelve a cuartear de la misma manera hasta lograr un tamaño adecuado. Si se desea disminuir aun más la cantidad de material se hace uso del trozo del plástico.

Procedimiento con el trozo de plástico. Para muestras pequeñas. Este plástico por lo general es de 40 x 40cm, aproximadamente. Este plástico se coloca sobre una mesa y sobre él, se coloca la cantidad de material a cuartear; para realizar este cuarteo es necesario levantar los dos extremos opuestos del plástico hasta unirlos, se bajan y se hace lo mismo con los dos extremos restantes; este proceso se repite varias veces. Por último se elimina la mitad del material dejándolo caer por el bordo de la mesa sobre un recipiente, y así contaremos con la mitad del material, la cual se podrá seguir disminuyendo de tamaño por medio de este método.

En la figura III.2 se observa cómo se realizó el cuarteo de la arena, esto mediante el primer método y así poder continuar con las pruebas siguientes.



Figura III.2. Cuarteo del arena por medio de palas.

III.1.3. Humedad actual en arenas.

Objetivo. Determinar el porcentaje de humedad que contiene una arena en el momento que se va a utilizar para elaborar una mezcla, para así poder realizar la corrección correspondiente por humedad.

Equipo.

- ✚ Muestra representativa de arena de un kilogramo aproximadamente.
- ✚ Balanza con aproximación al décimo de gramo.
- ✚ Parrilla eléctrica.
- ✚ Espátulas.
- ✚ Cristal.

Procedimiento.

De la muestra representativa se pesan 300 gramos aproximadamente, registrando este valor como peso inicial de la muestra o peso húmedo actual (P_h) posteriormente, esta muestra se coloca en una charola metálica sobre la parrilla eléctrica para hacer el secado del material moviéndolo con la espátula en forma constante para que el secado sea homogéneo hasta eliminar completamente la humedad del material (Figura III.3).

Para saber cuando el material ya está seco, se coloca el cristal sobre el material y en el momento que ya no se empañe esto significa que el material ya está seco. Procediendo a dejar enfriar completamente el material y pesarlo, este peso se registrará como peso final o peso seco de la muestra (P_s).

Cálculos.

$$\%H. \text{ Actual} = \frac{P_h - P_s}{P_s} * 100$$



Donde:

Ph → Peso húmedo de la grava en gramos (g).

Ps → Peso seco de la grava en gramos (g).

Tabla III.1. Porcentaje de humedad actual, cálculo de Microsoft Excel.

ARENAS		
PESO NATURAL	300.00 g	300.00 g
PESO SECO	294.40 g	294.50 g
HUMEDAD	5.60 g	5.50 g
% H.ACTUAL	1.90%	1.87%
PROMEDIO	1.88%	

En esta tabla se puede observar claramente que el contenido de humedad en promedio es de 1.88%, lo cual nos indica que el material se encuentra con muy poca presencia de agua.



Figura III.3. Determinación del % de humedad actual en arena.

III.1.4. Humedad superficial y humedad de absorción en arenas.

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

Equipo.

- ✚ Una muestra representativa de aproximadamente 2 kg.
- ✚ Una balanza con aproximación al décimo de gramo.
- ✚ Una parrilla eléctrica.
- ✚ Charolas metálicas.
- ✚ Un cono metálico.
- ✚ Un pisón.
- ✚ Una espátula.



- ✚ Una franela.
- ✚ Un cristal.

Procedimiento.

La muestra de 2 kg se pone a saturar durante 24 horas, como mínimo. Al término de este tiempo se seca superficialmente la arena por medio del molde troncocónico como se describe a continuación:

Se coloca la arena en la charola y se coloca en la parrilla eléctrica para realizar la eliminación de agua que tiene en exceso, esto es, hacer el secado de la arena en forma superficial. Para saber cuando la arena está seca superficialmente, se coloca el molde troncocónico dentro de la charola con el diámetro mayor hacia abajo, se llena el molde con la arena en tres capas distribuyendo 25 golpes dados con el pisón, dando 12 a la primera, 8 a la segunda y 5 a la tercera. Inmediatamente se retira el cono y si la arena trata de disgregarse quiere decir, que ya está seca superficialmente y si la arena mantiene la forma de cono, significa que todavía tiene agua en exceso, por lo tanto hay que seguir secando el material hasta que se obtenga el secado superficial. Conforme vaya perdiendo la humedad la muestra hay que realizar más continuamente el procedimiento con el cono para evitar que se seque el exceso. Cuando la arena está seca superficialmente hay que pesar una muestra de 300 gramos, registrando este peso como peso saturado y superficialmente seco (Ph). La muestra de 300 gramos, se coloca en una charola para secarla hasta peso constante, o sea, hasta eliminar completamente el agua. Para saber cuando el material está seco se coloca el cristal sobre el material, si no lo empaña el cristal hay que seguir secando el material para secarlo completamente.

Cálculos.

$$\% \text{ H. Absorción} = \frac{Ph - Ps}{Ps} * (100)$$

Donde:

Ph → Peso saturado y superficialmente seco (g).

Ps → Peso seco del material (g).

Cabe mencionar que este material por ser volcánico cuenta con gran cantidad de poros en sus partículas, lo cual genera que sea ligero y muy absorbente en relación con otro tipo de material de características distintas.



Tabla III.2. Porcentaje de humedad de absorción, cálculo de Microsoft Excel.

ARENAS		
PESO HUMEDO	300.00 g	300.00 g
PESO SECO	285.70 g	286.20 g
HUMEDAD	14.30 g	13.80 g
% ABS.	5.01%	4.82%
PROMEDIO	4.91%	

En esta tabla se observa un promedio del 4.91% de la humedad de absorción de la arena, esto nos indica que se encuentra ligeramente por encima del 4% máximo recomendado.

A continuación se muestra la figura III.4 en la que se observa cómo se determino la absorción de agua por la arena.



Figura III.4. Determinación del % de absorción en arena.

III.1.5. Densidad de la arena.

Objetivo. Esta prueba tiene como finalidad obtener el volumen absoluto de las partículas de arena, es decir, el volumen efectivo excluyendo los vacíos que se forman entre las partículas de arena cuando se acomodan una sobre la otra.

Equipo.

- Muestra representativa de arena.
- Probeta graduada.
- Balanza con aproximación al décimo de gramo.
- Franela.
- Charola.
- Picnómetro.



Procedimiento.

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

En la probeta se coloca un volumen de agua conocido, registrándolo como volumen inicial V_i en cm^3 . Se llena de agua el picnómetro hasta que deje de caer agua por el orificio.

Enseguida se pesa una muestra de arena superficialmente seca, anotando este valor como peso de la arena (P_i) que aproximadamente sea entre 200 y 300 gramos.

Se coloca la probeta en el orificio del picnómetro y posteriormente se coloca el arena dentro del picnómetro, procurando que no salpique agua porque esto ocasionaría un error en la prueba, agitando un poco la probeta para expulsar el aire atrapado, esta operación va a provocar un aumento del volumen de agua y se va a registrar este valor como volumen final (V_f).

Cálculos.

$$\text{Densidad del Arena (DA)} = \frac{P_i}{V_f - V_i}$$

Donde:

P_i → Peso de la arena saturada y superficialmente seca en (g).

$V_f - V_i$ → Volumen colocado dentro de la probeta (cm^3).

Tabla III.3. Promedio de densidad, cálculo de Microsoft Excel.

ARENAS		
VOLUMEN DESALOJADO	128.00 cm^3	131.00 cm^3
PESO HÚMEDO	300.00 g	300.00 g
DENSIDAD RELATIVA	2.34 g/cm^3	2.29 g/cm^3
PROMEDIO	2.317 g/cm^3	

En la tabla III.3 se determino el promedio de la densidad relativa de la arena la cual es de 2.317 g/cm^3 , esto indica que este material contiene buenas características mecánicas.

A continuación se muestra la figura III.5 mediante la cual se observa como fue el procedimiento realizado para determinar la densidad de este material, esto es muy importante ya que muestra el momento exacto en el cual se realizo la prueba.



Figura III.5. Determinación de la densidad del arena.

III.1.6. Determinación del peso volumétrico seco suelto de una arena (P.V.S.S.).

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

Equipo.

- ✚ Una muestra de arena completamente seca.
- ✚ Un recipiente de peso y volumen conocido.
- ✚ Una varilla lisa punta de bala de 5/8 de diámetro.
- ✚ Una balanza.

Procedimiento.

Se vacía arena dentro del recipiente dejándose caer a una altura medida a partir de la arista superior del recipiente de aproximadamente 5 centímetros, llenando completamente el recipiente hasta formar un cono.

Enseguida se enrasa el recipiente con la varilla y se limpia el recipiente de las partículas adheridas en las paredes exteriores procediendo a pesarlo. Al peso obtenido anteriormente se le resta el peso del recipiente para obtener el peso de la arena.

Cálculos.

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

Donde:

P.V.S.S. → Peso volumétrico seco y suelto (kg/m^3).

P → Peso de la muestra (kg).

V → Volumen del recipiente (m^3).

En la tabla III.4 se puede apreciar el valor del peso por unidad de volumen de la arena, este valor es muy importante para el diseño de mezclas mediante el método ACI.



Tabla III.4. Promedio de PVSS, cálculo de Microsoft Excel.

ARENAS		
DATOS	P.V.S.S.	
Peso Bruto	5,200.00 g	5,250.00 g
Tara	1,900.00 g	1,900.00 g
Peso Neto	3,300.00 g	3,350.00 g
Volumen	2,759.00 cm ³	2,759.00 cm ³
Peso Volumétrico	1,196.09 kg/m ³	1,214.21 kg/m ³
PROMEDIO	1,205.15 kg/m³	

El PVSS de la arena es de 1.205 g/cm³.

En la figura III.6, se observa cómo se determina el peso por unidad de volumen del arena en estado seco.



Figura III.6. Determinación de PVSS del arena.

III.1.7. Determinación del peso volumétrico seco y varillado de una arena (P.V.S.V.).

Objetivo. Determinar el peso por unidad de volumen de una arena cuando el material tiene una determinada compactación.

Equipo.

- ✚ Una muestra de arena completamente seca.
- ✚ Un recipiente de peso y volumen conocido.
- ✚ Una varilla lisa punta de bala de 5/8” de diámetro.
- ✚ Una balanza.

Procedimiento.

Se procede a llenar el recipiente con arena a volteo dejándola caer a una altura aproximadamente 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. Debe cuidarse que la varilla no penetre en la capa anterior al dar los golpes. Se enrasa el recipiente con la varilla punta de bala y se limpian todas las partículas que hayan quedado adheridas a las paredes exteriores. Después de haber realizado los pasos anteriores se pesa el recipiente con el material y se le resta el peso del recipiente para así obtener el peso neto del material.

Cálculos.

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

Donde:

P.V.S.V. → Peso volumétrico seco y varillado (kg/m³).

P → Peso de la muestra (kg).

V. → Volumen del recipiente (m³).

En la tabla III.5 se muestra el cálculo del peso compactado por unidad de volumen del arena en estado seco.

Tabla III.5. Promedio de PVSV, cálculo de Microsoft Excel.

ARENAS		
DATOS	P.V.S.V.	
Peso Bruto	5,600.00 g	5,550.00 g
Tara	1,900.00 g	1,900.00 g
Peso Neto	3,700.00 g	3,650.00 g
Volumen	2,759.00 cm ³	2,759.00 cm ³
Peso Volumétrico	1,341.07 kg/m ³	1,322.94 kg/m ³
PROMEDIO	1,332.00 kg/m³	

El PVSV del arena es de 1.33 g/cm³.

En la figura III.7 se muestra el molde utilizado para esta prueba.



Figura III.7. Determinación de PVSV del arena.



III.1.8. Granulometría o análisis granulométrico en arena.

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

Equipo.

- ✚ Un juego de mallas con abertura rectangular o circular del N° 4, 8, 16, 30, 50, 100, 200 y charola con su respectiva tapa.
- ✚ Una balanza con aproximación al décimo de gramo.
- ✚ Charolas, espátulas y parrilla eléctrica.
- ✚ Cepillos de cerdas y alambre.

Procedimiento.

Se toma una muestra representativa de arena de aproximadamente 600 gramos. Se seca la muestra hasta peso constante, a una temperatura no mayor de 110 °C.

Cuando el material esté seco y frío, se toman 500 gramos, pesados al décimo de gramo. 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. Se agita el juego de mallas durante un tiempo de 10 minutos como mínimo, el agitado puede ser a mano o mecánicamente (Raf-Tap).

En una superficie horizontal y limpia se colocan siete hojas de papel y sobre ellas se coloca el material retenido en cada una de las mallas, para lo cual se invertirá la malla con todo cuidado limpiando con cepillo de alambre las mallas 4, 8, 16 y 30 para desalojar el material que se encuentra entre los espacios de la malla, las mallas 50 y 100 se limpiarán con cepillos de cerdas (figura III.9).

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

Se calcula el módulo de finura por medio de la siguiente expresión:

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

En la tabla III.6 se muestra la forma en que se calculo y debe de calcular el análisis granulométrico, este análisis nos muestra de manera general mediante una muestra las características físicas de un banco de material, es decir, mediante este análisis se clasifica el material de acuerdo a sus tamaños de partícula.



Tabla III.6. Granulometría de arena, cálculo de Microsoft Excel.

MUESTRA PROMEDIO			
PESO DE LA MUESTRA:		378.70 g	
MALLA	PESO RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO
	(grs)	%	%
8	69.60	18.38	18.38
16	148.95	39.33	57.71
30	87.25	23.04	80.75
50	31.25	8.25	89.00
100	16.85	4.45	93.45
200	13.75	3.63	97.08
CHAROLA	11.05	2.92	100.00
SUMAS	378.70	100.00	---

MÓDULO DE FINURA 3.39

Retenido entre la malla no 8 y la 100.

Según la norma NMX-C-111 el MF maximo recomendado es 3.2, por lo que la arena se encuentra un poco fuera de lo especificado, esto debido a que los agregados tienden a ser mas gruesos, sin embargo se trabajo con esta arena ya que este banco es de los mas importantes para la elaboracion de concreto hidraulico, en esta ciudad de Morelia mich.

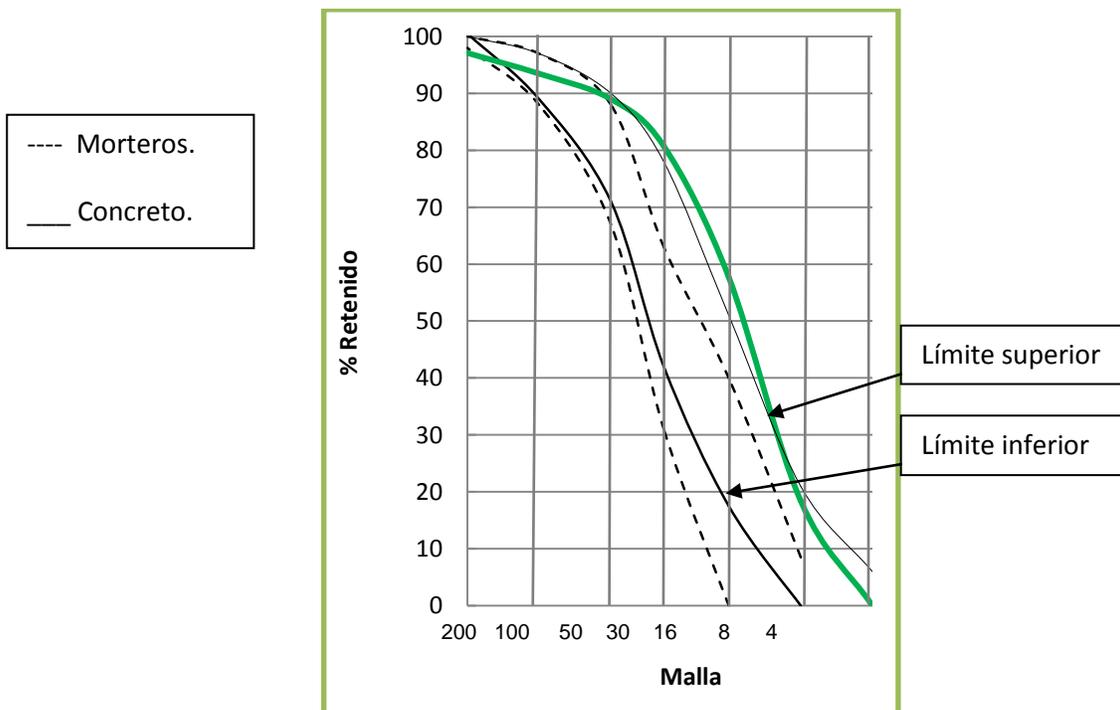


Figura III.8. Gráfica de granulometría del arena.



En la anterior gráfica (figura III.8) se marca de color azul la granulometría del material de acuerdo a la malla con respecto al %retenido, esto para comprobarlo con las recomendaciones, donde, las líneas punteadas son los límites para elaborar mortero y las líneas continuas para elaborar concreto.

Cabe mencionar que el módulo de finura está fuera de las recomendaciones que nos marcan las normas, esto debido a que el material fue obtenido de las partes inferiores del banco ya que fue complicado muestrearlo totalmente.



Figura III.9. Determinación de la granulometría del arena.

III.1.9. Prueba de colorimetría en arena.

Objetivo. Determinar el contenido de materia orgánica en una arena, en forma comparativa, utilizando una solución de color normal.

Equipo.

- ✚ Dos botellas iguales de vidrio incoloro de 250 a 350 cm³ con marcas a cada 25 cm³ (frasco de biberón).
- ✚ Charolas, parrilla de secado, espátulas, balanza, vasos de precipitado.
- ✚ Material para las soluciones y vidrio de color normal.
- ✚ Solución de sosa cáustica 30 gramos por litro de solución en agua destilada.

Procedimiento.

Se toma una muestra representativa de arena de 500 gramos aproximadamente. Se seca hasta peso constante a una temperatura no mayor a 110 °C.

Se coloca la arena seca y fría en una botella (frasco de biberón) hasta 133 cm³ adicionándole solución de sosa cáustica hasta los 206 cm³. Se tapa la botella y se agita fuertemente dos minutos como mínimo posteriormente se dejará reposar 24 horas.



Al cabo de este tiempo se comparará el color del líquido de la botella con el vidrio de color normal (figura III.10).



Figura III.10. Determinación de colorimetría del arena.

Aquí se pudo observar que la arena está libre de materia orgánica ya que se encuentra entre el número uno y dos en la escala comparativa, por tanto es apta para la construcción.

III.1.10. Sedimentación en arenas.

Objetivo. Determinar si el contenido de material fino que contiene una arena es aceptable para definir si se acepta o no para la elaboración de concreto.

Equipo.

- ✚ Un frasco graduado con tres marcas, la primera a los 414 ml, la segunda a los 444 ml y la tercera a los 828 ml.
- ✚ Una muestra de arena seca de 2 kg aproximadamente
- ✚ Un litro de agua destilada.

Procedimiento.

Se coloca arena seca dentro del frasco hasta la marca de 414 ml, enseguida se coloca el agua hasta la marca de 828 ml. Se tapa el frasco que contiene el material con el agua con la palma de la mano y se procede a agitarlo hasta que todo el material fino quede en suspensión en el agua durante dos minutos.

Se deja reposar el frasco durante 24 horas para determinar el nivel del material fino, esto es que durante el tiempo de reposo el material se va sedimentar y hay que observar si el material fino rebasa o no la marca de 444 ml.



Si el material fino rebasa esta marca se puede decir que existen excesos de materiales finos y por lo contrario si no lo rebasa se considera como aceptable este material (Figura III.11).



Figura III.11. Determinación de sedimentación del arena.

Debido a que no se rebasa la marca, esta arena se considera aceptable para la elaboración de concreto. Cabe destacar que entre mayor es la cantidad de finos menor será la adherencia entre el cemento y agregados.

III.1.11. Material que pasa por la malla n° 200 en arena.

Objetivo. Determinar la cantidad de materia fina que contiene una arena, cribándola por la malla N° 200.

Equipo.

- ✚ Malla N° 200 y 16.
- ✚ Charola de dimensiones adecuadas para contener el material con agua.
- ✚ Espátula y parrilla eléctrica.
- ✚ Una balanza con aproximación al décimo de gramo.

Procedimiento.

Se toma una muestra representativa de 600 gramos, se seca hasta peso constante a una temperatura no mayor de 110 °C. La muestra seca y fría se coloca en el recipiente y se pesa, previamente se pesará el recipiente vacío. Al material en el recipiente se le agrega agua hasta cubrir la muestra. Se agita enérgicamente la muestra con agua y se vierte inmediatamente sobre el juego de mallas (la N° 16 arriba y la N° 200 abajo). Una vez puesto el material en el juego de mallas se le sigue agregando agua y agitando hasta que el agua salga completamente clara. Se regresa el material retenido en las mallas por medio del lavado. Se seca el material hasta peso constante, se deja enfriar y se pesa.



Cálculos.

$$A = \frac{P_i - P_f}{P_i} * 100$$

Donde:

A → Porcentaje de material que pasa la malla N° 200.

Pi → Peso seco inicial (g).

Pf → Peso seco después de lavar (g).

El promedio de material que pasa la malla # 200 es relativamente bajo, es decir, no perjudica la resistencia del elemento con respecto a la norma ASTM C 117 (tabla III.7).

Tabla III.7. Porcentaje que pasa malla #200, cálculo de Microsoft Excel.

% QUE PASA LA MALLA 200		
ARENAS		
PESO INICIAL	200.00 g	200.00 g
PESO FINAL	196.50 g	197.10 g
PASA	3.50 g	2.90 g
% QUE PASA	1.78%	1.47%
PROMEDIO	1.63%	

Por lo tanto el porcentaje que pasa la malla #200 es del 1.63%.



Figura III.12. Determinación % que pasa malla 200.

Como se puede observar en la figura III.12 el lavado del material debe de hacerse con mucho cuidado ya que existe gran riesgo de que se puedan perder algunas partículas.



III.1.12. Prueba de terrones de arcilla en arena.

Objetivo. Conocer la cantidad de terrones de arcilla que contiene una arena, ya que son partículas de baja resistencia estructural, que además en contacto con el agua forman lodos que contaminan el concreto.

Equipo.

- ✚ Malla N°16 y N°30.
- ✚ Parrilla eléctrica.
- ✚ Charolas.
- ✚ Balanza.
- ✚ Espátula.
- ✚ Cepillo metálico.

Procedimiento.

Se toma una muestra representativa de arena de aproximadamente un kilogramo, se seca a una temperatura no mayor a 110°C.

Se deja enfriar la muestra y se pasa por la malla N°16, del retenido se toma una muestra de 100g y se anota como Pi.

Se colocan los 100g de arena en una charola y se le adiciona agua hasta cubrir por completo la muestra dejándola saturar durante 24 horas. Posteriormente se escurre el agua libre y se extiende la arena en la charola, esto para romper con los dedos los terrones de arcilla que aún existan.

A continuación se hace pasar el material por la malla N°30, lavándola con mucha agua, el retenido en esta malla se recoge en una charola y se coloca en el horno para secar totalmente en la parrilla.

Por último se deja enfriar completamente el material para poder pesarlo y así obtener su peso final (Pf).

Cálculo.

Para realizar este cálculo sólo se aplica la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de terrones} = \frac{P_i - P_f}{P_i} * 100$$

Donde:

P_i= Peso inicial

P_f= Peso final.



Al calcular el porcentaje promedio de terrones de arcilla del arena se procede a comparar este valor con respecto a lo establecido en la norma ASTM (tabla III.8).

Tabla III.8. Porcentaje de terrones de arcilla, cálculo de Microsoft Excel.

% DE TERRONES DE ARCILLA		
ARENAS		
PESO INICIAL	199.20 g	200.00 g
PESO FINAL	198.20 g	199.20 g
DIFERENCIA	1.00 g	0.80 g
% QUE PASA	0.50%	0.40%
PROMEDIO	0.45%	

Por lo tanto el porcentaje de terrones de arcilla es de 0.45%.

Especificaciones.

De acuerdo con las especificaciones de la ASTM C 142, se establece un porcentaje admisible de arcilla en la arena del 0.5% y un máximo permisible del 1%. En caso de que el valor sea mayor se tendrá que hacer un estudio económico para realizar lavado a la arena, ya que no es recomendable para la construcción.

A continuación se muestra la figura III.13 en la cual se observa parte del procedimiento realizado en esta prueba.



Figura III.13. Determinación de % de terrones de arcilla.

III.1.13. Equivalente de arena.

Objetivo. Determinar Las proporciones volumétricas relativas de las partículas gruesas de un suelo respecto a los finos plásticos que contiene, empleando un procedimiento que amplifica el volumen de los materiales finos plásticos.



Equipo.

-  Probeta de Lucita o acrílico graduada en décimos de pulgada.
-  Tapón de hule.
-  Tubo irrigador.
-  Un tramo de manguera.
-  Un pisón metálico de 1000 ± 5 gramos.
-  Capsulas de 85 ± 5 ml (metálicas).
-  Embudo.
-  Cronómetro.
-  Dos frascos de 3.875 litros.
-  Malla N°4.
-  Papel filtro N°12.
-  Solución de trabajo.

Procedimiento.

Se toma una muestra aproximada de 500 gramos, que pase la malla N°4, procurando que no se pierdan finos. Se llena la cápsula y se golpea para acomodar el material y se enrasa. Previamente en la probeta se verterá solución de trabajo hasta una altura de 4 ± 0.1 pulgadas y se coloca la muestra en la probeta previamente preparada usando un embudo para evitar pérdidas de material. Se deja reposar 10 ± 1 minutos procurando no mover la probeta en este lapso de tiempo.

A continuación se coloca un tapón de hule a la probeta inclinándola para que afloje el material del fondo y se agita con una carrera de 20 centímetros (8 pulgadas) hasta completar 90 ciclos en 30 segundos.

Se introduce el tubo irrigador, se pica el material y con el mismo se baja el material que quedó en las paredes de la probeta, se llena con solución de trabajo hasta la marca de 15 y se deja reposar 20 minutos, al término de este tiempo en la escala de la probeta se lee el nivel superior de la arcilla en suspensión la cual se denomina lectura de la arcilla.

Se introduce el pisón lentamente en la probeta ajustado hasta que el pisón se apoye en la arena, el nivel donde se apoya en la arena, se denomina lectura de la arena y se anota para proceder al calculo.



Cálculo.

El equivalente de arena se obtiene aplicando la expresión siguiente.

$$\text{Equivalente de arena} = \frac{\text{Lectura de arena}}{\text{Lectura de arcilla}} * 100$$

Utilizando la formula anterior se procede a calcular el % de equivalente de arena con respecto a la arcilla (tabla III.9).

Tabla III.9. Porcentaje de equivalente del arena, cálculo de Microsoft Excel.

EQUIVALENTE DE ARENA		
ARENAS		
LECTURA ARENA	10.30 mm	10.30 mm
LECTURA ARCILLA	10.50 mm	10.60 mm
% DE EQUIVALENTE	98.10%	97.17%
PROMEDIO	97.63%	

Este valor de 97.63% se considera como aceptable de acuerdo a lo establecido en la norma ASTM D 2419, ya que la cantidad de arcilla es minima.

A continuacion se muestra la figura III.14 en la cual se aprecia parte del procedimiento mencionado para esta prueba.

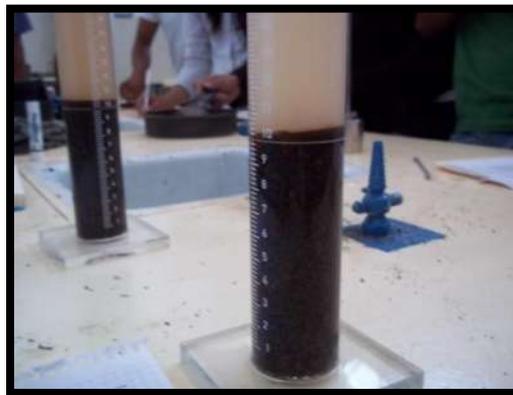


Figura III.14. Determinación de equivalente de arena.

III.2. Pruebas realizadas a los agregados gruesos.

III.2.1. Muestreo.

Objetivo. Obtener y traer una muestra representativa del material (grava) que se va a emplear en la elaboración de las mezclas de concreto para poder realizar los estudios o pruebas correspondientes de dicho material en el laboratorio.

Equipo.

- Medio de transporte.



- ✚ Costales.
- ✚ Palas.
- ✚ Bolsas de plástico.

Procedimiento.

Los muestreos del material se pueden realizar en tres lugares, como se indica a continuación:

Muestreo de agregados directamente del banco. La muestra deberá extraerse del frente de ataque, es decir, de donde se ha estado extrayendo el material, teniendo especial cuidado de evitar la contaminación. Las muestras se tomarán de todos lados finalmente, las muestras extraídas deberán mezclarse para hacer una suma total de material, esto se logra por medio del paleado y cuarteo de mezclas.

Muestreo de agregados en camiones que suministren el material a la obra. El muestreo en camiones se realiza tomando muestras pequeñas de material de la parte superior, la cual deberá ser representativa del total de la muestra.

Muestreo de agregados almacenados en montículos. Estos materiales se presenta por lo general en forma de cono, las muestras se tomaran mediante la ayuda de una pala y sobre todo el material. La cantidad mínima de materia al realizar el muestreo debe ser de 50 Kilogramos, esto para las tres situaciones. La finalidad del muestreo, es lograr obtener una muestra representativa del yacimiento de los agregados pétreos (grava), con lo cual se busca determinar la calidad del material.

En la figura III.15 se muestra el lugar de donde fue extraída la grava, mediante el uso de una pala para llenar los costales.



Figura III.15. Banco de material Supra.



III.2.2. Cuarteo.

Objetivo. Obtener una muestra representativa y tamaño adecuado, para la prueba de que se trate, de la muestra obtenida en el campo.

Equipo.

-  Charolas grandes de lámina.
-  Palas de boca recta.
-  Cucharones.
-  Balanza.
-  Divisor de muestras o cuarteador de Johnson.

Procedimiento.

Existen dos formas de efectuar el cuarteo de material pétreo, estas dependiendo de la cantidad de material que se va a reducir en partes iguales menores.

Cuarteo por medio de palas. En una superficie limpia se coloca el material pétreo del muestreo, con una pala se traspalea el material más de tres veces para mezclar los agregados de diferentes tamaños, ésto moviéndolo de un lugar a otro. A continuación se forma un montículo, éste se aplanan por medio de la pala para posteriormente dividir el material en cuatro partes iguales. Se seleccionan dos muestras opuestas del resto y se combinan, mientras que las otras dos opuestas se desechan, se repite el proceso, volviendo a seleccionar otras dos muestras diametralmente opuestas, hasta lograr una muestra apropiada para los análisis correspondientes. Si se requiere disminuir aun más la cantidad de material se procede al uso del divisor de muestras.

Cuarteo por medio del divisor de muestras. Este aparato es un recipiente de lámina galvanizada, dividido en dos series de tolvas cuya descarga es alternada hacia dos lados opuestos entre sí. Bajo las tolvas se colocan dos charolas para recoger el material cuarteado. El material recibido en uno de los recipientes se desecha mientras que la otra parte se vuelve a cuartear de la misma manera hasta lograr un tamaño adecuado.

Estos dos métodos son muy interesantes, ya que mediante una pequeña muestra de material pétreo, es posible clasificar un banco de material como bueno o malo, de acuerdo con sus características. El material usado es triturado como se observa en la figura III.16, aunque también existe volcánico y de río.



Figura III.16. Cuarteo en gravas por medio de palas.

III.2.3. Humedad actual en gravas.

Objetivo. Determinar la cantidad de agua que contiene una grava en porcentaje, en estado natural, en el momento que va a ser utilizada.

Equipo.

- ✚ Muestra representativa de 1000 gramos aproximadamente.
- ✚ Charola Metálica.
- ✚ Espátula.
- ✚ Parrilla Eléctrica.
- ✚ Vidrio.
- ✚ Balanza con aproximación al décimo de gramo.

Procedimiento.

Se pesa la muestra de grava registrando este peso como peso húmedo (Ph) en gramos. Enseguida se coloca en la charola para exponerla en la fuente de calor para eliminar el agua que contiene la grava, moviéndola constantemente con la espátula para que el secado sea uniforme.

Cuando aparentemente esté seca colocamos el cristal sobre ella para hacer la verificación del secado, si se empaña el cristal o se le forman gotas de agua quiere decir que el material todavía está húmedo y por lo tanto se debe seguir moviéndolo hasta que se seque completamente, se repite la operación con el vidrio.

Cuando está seca la grava, se retira de la fuente de calor y se deja enfriar completamente, posteriormente se pesa anotando este peso como peso seco (Ps) en gramos, como se indica en la siguiente fórmula.



Cálculos.

$$\%H. \text{ Actual} = \frac{Ph - Ps}{Ps} * 100$$

Donde:

Ph → Peso húmedo de la grava en gramos (g).

Ps → Peso seco de la grava en gramos (g).

Para determinar el porcentaje de humedad actual se hace uso de la tabla III.10, la cual muestra estos cálculos de manera sencilla y fácil de comprender.

Tabla III.10. Porcentaje de humedad actual, cálculo de Microsoft Excel.

GRAVAS		
PESO NATURAL	500.00 g	500.00 g
PESO SECO	494.50 g	493.50 g
HUMEDAD	5.50 g	6.50 g
% H.ACTUAL	1.11%	1.32%
PROMEDIO	1.21%	

De acuerdo a los cálculos tenemos un promedio del 1.21% de humedad actual, lo cual indica que esta grava contiene muy poca presencia de agua.

También se muestra la figura III.17 en la cual se aprecia de manera visual la descripción del procedimiento mencionado anteriormente.



Figura III.17. Determinación de % de humedad actual en gravas.



III.2.4. Humedad de absorción en gravas.

Objetivo. Determinar la capacidad máxima de absorción de una grava expresándola en porcentaje respecto a su peso seco.

Equipo.

-  Muestra de grava de aproximadamente un kilogramo.
-  Franela.
-  Vidrio.
-  Charolas metálicas.
-  Parrilla eléctrica.
-  Espátula.
-  Mallas 3/4 y 3/8”.
-  Balanza con aproximación al décimo de gramo.

Procedimiento.

De la muestra que se trae de campo se criba a través de las mallas 3/4” y 3/8” y del material que pasa las mallas 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.

Enseguida con una franela, se seca la muestra superficialmente de la grava y se pesan aproximadamente 300 gramos anotando este valor como (Ph) peso saturado y superficialmente seco.

Se procede a colocar este material en una charola para secarlo en la parrilla eléctrica, para saber cuándo se ha eliminado completamente la humedad se coloca el vidrio sobre el material y si no empaña o se forman gotas de agua se retira, se deja enfriar completamente y se procede a pesarlo registrando este peso como (Ps) peso seco del material.

Cálculos.

$$\%H. \text{ Absorción} = \frac{Ph - Ps}{Ps} * 100$$

Donde:

Ph → Peso saturado y superficialmente seco de la grava en gramos (g).

Ps → Peso seco de la grava en gramos (g).

Para determinar el % de absorción se utilizo la tabla III.11, ya que es más fácil comprender lo calculado.



Tabla III.11. Porcentaje de absorción, cálculo de Microsoft Excel.

GRAVAS		
PESO HÚMEDO	300.00 g	300.30 g
PESO SECO	292.80 g	293.40 g
HUMEDAD	7.20 g	6.90 g
% ABS.	2.46%	2.35%
PROMEDIO	2.41%	

Por lo tanto tenemos un 2.41% de absorción, este valor nos indica que la grava retiene muy poca agua lo cual es recomendable para la mezcla.

En la figura III.18 se puede apreciar parte del procedimiento realizado en esta prueba.



Figura III.18. Determinación de % de absorción en gravas.

III.2.5. Densidad en gravas.

Objetivo. Determinar el volumen absoluto de las partículas de grava en peso por unidad de volumen.

Equipo.

- Muestra representativa de grava.
- Probeta graduada.
- Picnómetro.
- Franela y charola.
- Una balanza.

Procedimiento.

Se toma una muestra de grava saturada y superficialmente seca de 300 gramos, para obtenerlo se deja saturando la grava retenida en la malla 3/8” y que pasa la 3/4” durante 24 horas, secándola superficialmente con una franela, este peso se registra como el peso de la muestra (P_i).



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

Cálculos.

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

Donde:

D → Densidad (g/cm³).

P_i → Peso de la grava en gramos (g).

V → Volumen de la grava (cm³ ó ml).

En la tabla III.11 se puede ver que la densidad del material es un poco alta, lo cual es muy recomendable ya que hablamos de una grava muy resistente.

Tabla III.12. Promedio de densidad, cálculo de Microsoft Excel.

GRAVAS		
VOLUMEN DESALOJADO	110.80 cm ³	110.70 cm ³
PESO HÚMEDO	301.10 g	300.10 g
DENSIDAD RELATIVA	2.72 g/cm ³	2.71 g/cm ³
PROMEDIO	2.714 g/cm ³	

El resultado de la densidad es 2.714 g/cm³.

A continuación se muestra la figura III.19 en la cual se observa cómo fue determinada la densidad de la grava en el laboratorio.



Figura III.19. Determinación de densidad en gravas.



III.2.6. Determinación del peso volumétrico seco suelto en gravas (P.V.S.S.).

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

Equipo.

- ✚ Una muestra de grava completamente seca de aproximadamente 15 kg.
- ✚ Un recipiente de peso y volumen conocido, aproximadamente 10 l.
- ✚ Cucharón.
- ✚ Pala y rastrillo.
- ✚ Una balanza.

Procedimiento.

Se vacía grava dentro del recipiente dejándole caer a una altura medida a partir de la arista superior del recipiente de aproximadamente 5 centímetros, llenando completamente el recipiente hasta colmarlo formando un cono. Enseguida se enrasa el recipiente con la varilla y se limpia el recipiente de las partículas adheridas en las paredes exteriores procediendo a pesarlo.

Al peso obtenido anteriormente se le resta el peso del recipiente para obtener el peso de la grava.

Cálculos.

$$\text{P.V.S.S.} = \frac{P}{V}$$

Donde:

P.V.S.S. → Peso volumétrico seco y suelto (kg/m^3).

P → Peso de la grava (kg).

V → Volumen del recipiente (m^3).

En la tabla III.12 se puede observar cómo se determino el peso volumétrico seco suelto, este peso es de gran importancia para el diseño de mezclas mediante el método del ACI, es por eso que se calculo con mucho cuidado, ya que cualquier error alteraría el desarrollo de esta investigación.

Además se presenta la figura III.20 con la cual se busca interpretar el procedimiento mencionado anteriormente para este cálculo.



Tabla III.13. Promedio de PVSS, cálculo de Microsoft Excel.

GRAVA		
DATOS	P.V.S.S.	
Peso Bruto	17,550.00 g	17,600.00 g
Tara	2,930.00 g	2,930.00 g
Peso Neto	14,620.00 g	14,670.00 g
Volumen	10,600.00 cm ³	10,600.00 cm ³
Peso Volumétrico	1,379.25 kg/m ³	1,383.96 Kg/m ³
PROMEDIO	1,381.60 kg/m ³	

El PVSS de la arena es de 1.38 g/cm³.



Figura III.20. Determinación PVSS en gravas.

III.2.7. Determinación del peso volumétrico seco y varillado en gravas (P.V.S.V.).

Objetivo. Obtener el peso de la grava por unidad de volumen cuando es sometida a cierto grado de compactación.

Equipo.

- ✚ Una muestra de grava completamente seca de aproximadamente 15 kg.
- ✚ Un recipiente de peso y volumen conocido, aproximadamente 10 l.
- ✚ Cucharón.
- ✚ Pala y rastrillo.
- ✚ Una balanza.

Procedimiento.

Se procede a llenar el recipiente con grava a volteo dejándola caer a una altura aproximadamente 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. Debe cuidarse que la varilla no penetre en la capa anterior al dar los golpes (figura III.21).



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

Después de haber realizado los pasos anteriores se pesa el recipiente con el material y se le resta el peso del recipiente para así obtener el peso neto del material.

Cálculos.

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

Donde:

P.V.S.V. → Peso volumétrico seco y varillado (g/cm^3).

P → Peso de la grava (g).

V → Volumen del recipiente (cm^3).

En la tabla III.13 se puede observar cómo se determino el peso volumétrico seco varillado, es decir, el peso compactado por unidad de volumen.

Tabla III.14. Promedio de PVSV, cálculo de Microsoft Excel.

GRAVA		
DATOS	P.V.S.V.	
Peso Bruto	18,900.00 g	18,900.00 g
Tara	2,930.00 g	2,930.00 g
Peso Neto	15,970.00 g	15,970.00 g
Volumen	10,600.00 cm ³	10,600.00 cm ³
Peso Volumétrico	1,506.60 kg/m ³	1,506.60 kg/m ³
PROMEDIO	1,506.60 kg/m³	

El PVSS de la arena es de 1.506 g/cm³.



Figura III.21. Determinación PVSV en gravas.



III.2.8. Granulometría en gravas.

Objetivo. Obtener la distribución de los tamaños de las partículas de la grava así, como el tamaño máximo (T.M.) de la grava, valor que se utiliza para el cálculo del proporcionamiento.

Equipo.

- ✚ Muestra de grava en estado suelto.
- ✚ Juego de mallas: 1”, ¾”, ½”, ⅜”, y N°4.
- ✚ Juego de charolas para recibir el material que se retiene en cada una de las mallas.
- ✚ Recipiente de 10 litros.

Procedimiento.

Se seca previamente la muestra de grava en un horno a $110^{\circ} \text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas, enseguida se llena el recipiente de 10 litros, previamente tarado, la grava que se utilizó para llenar el recipiente se pesa y este peso se registra como peso de la muestra a realizarse el cribado o granulometría (Pm).

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, cuando se haya terminado con la muestra de grava, se pesa el material retenido en cada malla y posteriormente se elabora una tabla, registrando los pesos retenidos en cada malla.

El tamaño máximo de la grava se obtiene observando la columna de los % retenidos y el primer tamaño de la malla que retenga el 5 % o más del peso de la muestra, se elige como tamaño máximo.

En la tabla III.14 de manera sencilla se puede observar cómo se determino el análisis granulométrico de la grava. Esta prueba es muy importante ya que nos muestra los tamaños de las partículas del agregado y así poder diseñar la mezcla para un tamaño máximo.

También se muestra la representación de los tamaños respecto al porcentaje que retiene cada malla, esto para compararlo con lo establecido en las normas (figura III.22). Además se muestra la figura III.23 en la cual se observa el procedimiento mencionado.



Tabla III.15. Granulometría de grava, cálculo de Microsoft Excel.

MUESTRA PROMEDIO			
PESO DE LA MUESTRA:		14,870.00 g	
MALLA	PESO RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO
	(grs)	%	%
1 1/2 "	0.00	0.00	0.00
1 "	0.00	0.00	0.00
TAMAÑO MÁXIMO 3/4 "	2360.00	15.87	15.87
1/2 "	8140.00	54.74	70.61
3/8 "	3100.00	20.85	91.46
No. 4	1240.00	8.34	99.80
PASA No.4	30.00	0.20	100.00
SUMAS	14,870.00	100.0	---

Aquí se destaca que el tamaño máximo fue elegido de acuerdo a los moldes o especímenes usados, mientras que la granulometría fue realizada con fines comparativos respecto a la norma, esto para observar cómo se clasificaba el material.

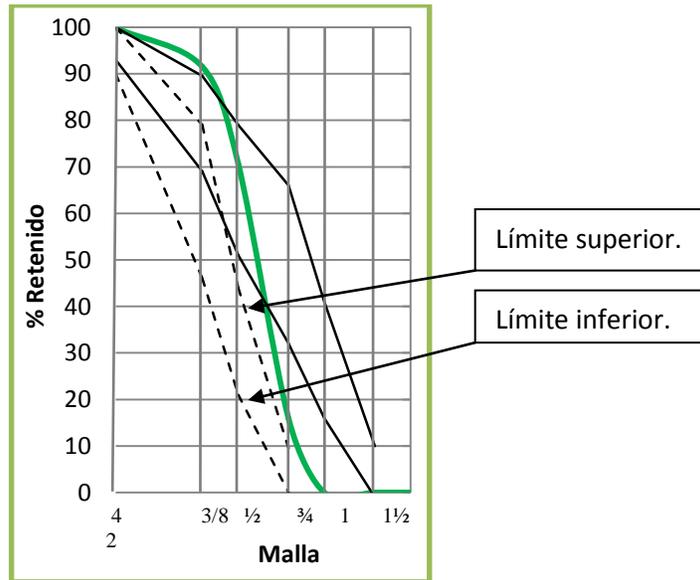


Figura III.22. Gráfica de granulometría de la grava.

De acuerdo a la norma mexicana NMX-C-111, se presenta la gráfica del material con respecto a las tolerancias marcadas por esta norma. En esta gráfica solamente se puede apreciar la distribución de los tamaños de las partículas trituradas.

Cabe mencionar que el tamaño del material muestra una tendencia elevada de gruesos, sin embargo, el material fue utilizado tal y como se muestra en el banco, esto debido a que en cualquier obra de carácter civil así se usa.



Figura III.23. Determinación de la granulometría de la gravas.

III.3. Pruebas realizadas al cemento.

III.3.1. Muestreo del cemento hidráulico.

Objetivo. Obtener una muestra representativa de cemento hidráulico, necesaria para realizar las pruebas pertinentes.

Equipo.

- ✚ Charolas.
- ✚ Cucharón.
- ✚ Bolsas.

Procedimiento.

El cemento puede muestrearse mediante los métodos siguientes:

En la descarga del transportador al almacenamiento a granel, del almacén, de los bultos o de botes, entre otros.

En este trabajo se obtuvo la muestra directamente de botes alcohólicos, los cuales almacenaban este cemento. La muestra que se obtuvo fue alrededor de 10 kg, esta muestra fue obtenida de varios botes, ésto para obtener un buen análisis, ya que por medio de esta se realizarían los estudios de las condiciones del cemento.

Hay que tener mucho cuidado con la muestra, por que de esto depende los resultados que obtengamos, se debe de cuidar de la humedad y de los contaminantes, ya sea por medio de bolsas de plástico o por medio de barricas selladas como se observa en la figura III.24.



Figura III.24. Muestreo del cemento utilizado.

III.3.2. Consistencia normal del cemento.

Objetivo. Obtener la cantidad de agua necesaria para combinarla con un determinado peso de cemento para que sirva como referencia para efectuar las pruebas de sanidad del cemento, resistencia a la tensión y determinación de los tiempos de fraguado.

Equipo.

- ✚ Muestra representativa de cemento.
- ✚ Agua destilada o limpia.
- ✚ Balanza con aproximación al décimo de gramo.
- ✚ Aparato de Vicatt.
- ✚ Cristal liso.
- ✚ Espátula.
- ✚ Cronómetro.

Consistencia normal.

Es la cantidad de agua necesaria para que la aguja de 1 cm de diámetro del aparato de Vicat, penetre dentro de la pasta de cemento elaborada con dicha agua, 10 ± 1 mm bajo la superficie libre, durante 30 segundos después de haber iniciado la prueba.

Procedimiento.

Se pesan 500 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. Se fija una cantidad de agua expresada en porcentaje. 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).



Con la espátula se lleva el material de las orillas del cráter hacia el centro hasta lograr que todo el cemento se humedezca. (Esto debe de hacerse en un máximo de 30 segundos). En otro ciclo de 30 segundos subsecuentes a los anteriores se deja reposar la mezcla para que la humedad se homogenice. Se hace el amasado de la pasta en un tiempo global de 1.5 minutos contados a partir de los anteriores.

a).- En los primeros 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.

b).- En otros 30 segundos se forma una esfera con la pasta y se pasa de una palma a otra a una distancia de aproximadamente de 15 cm, este ciclo de pasar de una mano a otra se debe de repetir 6 veces terminado lo anterior.

c).- En los últimos 30 segundos de los 1.5 min, descansamos la bola en la palma de la mano, se introducirá a presión por la boca mayor del anillo cónico del aparato de Vicatt, el cual se sostendrá con la otra mano llenando completamente el anillo con pasta (la otra boca se descansará sobre un cristal).

El exceso de pasta que permanezca en la boca grande se removerá con un movimiento simple de la palma de la mano. A continuación se colocará el anillo descansando en su base mayor, sobre una placa de vidrio y se enrasa la boca superior con una espátula, debe tenerse cuidado de comprimir la pasta.

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

En 30 segundos tiene que apuntar el indicador a la medida de 10 ± 1 , al lograr esto se encuentra la consistencia normal del cemento. Para el estudio realicé 4 muestras, dos de ellas con cactus y las otras sin el, esto para ver su diferencia.

Para el cemento sin aditivo la consistencia promedio fue del 26.7 % de agua con respecto al peso del cemento, mientras que para el cemento con aditivo fue del 28% en promedio; esto debido a que el cactus absorbe agua (figura III.25).



Figura III.25. Consistencia normal del cemento.

III.3.3. Tiempos de fraguado de cemento hidráulico.

Objetivo. Determinar el tiempo de fraguado inicial y final del cemento hidráulico mediante las agujas de Gillmore.

Equipo.

- ✚ Aparato de Gillmore.
- ✚ Balanza.
- ✚ Probetas graduadas.

Preparación de la pasta de cemento.

Siguiendo el procedimiento descrito en la preparación de mezcla para la consistencia normal se mezclaron 500 gramos del cemento con el agua necesaria para su consistencia normal.

Moldeado del espécimen.

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 de poco más o menos 7.5 cm de diámetro y 1.3 cm de espesor en la parte central, disminuyendo hacia los bordes. Para moldearla se aplano primero la pasta de cemento sobre el vidrio y se formo después moviendo la cuchara desde los bordes hacia el centro, aplanando a continuación la parte central superior, se coloca la pastilla en el cuarto húmedo y se deja ahí, salvo cuando vaya a efectuarse determinaciones del tiempo de fraguado.

Determinación del tiempo de fraguado.

Al determinar el tiempo de fraguado manténgase las agujas en posición vertical y póngase en contacto ligeramente con la superficie de la pastilla, considere que el cemento ha alcanzado su fraguado inicial cuando soporte a las agujas de Gillmore inicial (la menos



pesada), sin que marque huellas apreciables. Se considera que el cemento ha alcanzado su fraguado final cuando soporta la aguja de Gillmore final (la más pesada), sin que marque huella apreciable. Para este trabajo de tesis se realizaron 4 pruebas de tiempos de fraguado, dos de ellas sólo con el cemento, y a las otras dos al cemento se le agregó fibra de cactus (figura III.26), la cantidad de la fibra de cactus fue del 2% en relación con el peso del cemento.

Aquí es importante mencionar que en esta prueba el cactus actúa de manera diferente a como actúa en conjunto con el concreto, ya que en esta prueba reduce el tiempo del fraguado con su adición, esto debido a que absorbe el agua del cemento evitando que este fragüe correctamente. Caso contrario en el concreto, ya que retarda el fraguado de la mezcla. Debido a que se pensaba que el cactus tendría un fraguado más lento, se hizo la prueba en dos ocasiones más, dando similar resultado en los tiempos (tabla III.15).

Tabla III.16. Tiempo de fraguado, cálculo de Microsoft Excel.

Muestra	Inicio	Fraguado inicial	Fraguado final
cemento 1	09:20 min	11:30 min	13:50 min
cemento 2	09:30min	11:50 min	14:10 min
cem1 + cactus	10:10 min	11:10 min	13:15 min
cem2 + cactus	10:30 min	11:25 min	13:25 min
TIEMPO			
Muestra	Fraguado inicial	Fraguado final	
cemento 1	02:10 min	04:30 min	
cemento 2	02:20 min	04:40 min	
cem1 + cactus	01:00 min	03:05 min	
cem2 + cactus	00:55 min	02:55 min	



Figura III.26. Tiempo de fraguado del cemento.



III.3.4. Densidad aparente del cemento.

Objetivo. Determinar la densidad aparente o el peso por unidad de volumen sin tomar en cuenta los vacíos del cemento. Su totalidad práctica es para el proporcionamiento del concreto.

Material.

Una muestra representativa del cemento tal y como se recibe a menos de indicaciones especiales, como por ejemplo calcular la densidad en una muestra exenta de pérdida por calcinación, primero en este caso debe calcinarse como se describe en las normas DGN C131 Y ASTM C114.

Equipo.

-  Frasco de Le Chatelier.
-  Balanza con aproximación a los 0.1 gramos.
-  Petróleo.
-  Un recipiente con agua.
-  Un termómetro.
-  Franela.

Procedimiento.

La técnica consiste en que conocido un peso de cemento se calcula su volumen por medio de desplazamiento de líquido.

Se vierte el petróleo no mezclable con agua en el frasco de Le Chatelier hasta un nivel entre 0 y 1 ml, 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 líquido con la finalidad que se establezca un nivel del líquido. Se toma la lectura en la parte inferior del menisco y se anota como lectura inicial del líquido L_i .

Se pesan 64 gramos para cemento portland, con la finalidad que al verterlo en el frasco, el líquido alcance a sobrepasar a lecturas superiores a la esfera intermedia. Se sujeta el frasco en forma vertical, se agrega el cemento muy lentamente de manera que el cemento vaya pasando al interior sin obstruirse.

Se coloca el tapón del frasco se inclina y rueda horizontalmente de manera de lograr que salga el aire atrapado en el cemento y baje el que haya quedado en las paredes.



Se repite el paso No. 2 para lograr que se establezca nuevamente el nivel del líquido hasta lograr que sea repetidamente la misma lectura. Se toma la lectura de la parte inferior del menisco tomando como la lectura final registrándola como Lf. Este procedimiento se puede observar por medio de la figura III.27.

Cálculo.

$$\text{Densidad} = \frac{\text{Peso del cemento}}{\text{Volumen del cemento}} = \frac{64 \text{ gramos}}{L_f - L_i}$$

Densidad = Densidad aparente del cemento (g/cm^3).

P = Peso de la muestra (g).

V = Volumen del cemento sin tomar en cuenta los vacíos (ml).

PRECISIÓN. Las pruebas se efectuarán por duplicado para no tener errores de más de 0.01 g/ml como se muestra en la tabla III.16.

Tabla III.17.Promedio densidad del cemento, cálculo de Microsoft Excel.

CEMENTO		
PESO DEL CEMENTO	64.00 g	64.00 g
Li	0.70 cm^3	1.00 cm^3
Lf	20.90 cm^3	21.10 cm^3
VOLUMEN	20.20 cm^3	20.10 cm^3
DENSIDAD	3.17 g/cm^3	3.18 g/cm^3
PROMEDIO	3.176 g/cm^3	



Figura III.27. Densidad del cemento.

Como se observó en la tabla anterior, los resultados de esta prueba son muy similares es por ello que no fue necesario realizar más pruebas testigo para determinar si eran correctos estos valores; ya que para esta prueba se necesita de mucho cuidado al hacerla, siendo el resultado obtenido de gran importancia para el diseño de mezclas.



III.4. Pruebas realizadas al agua.

III.4.1. Determinación del sabor y olor del agua.

Objetivo. Poder determinar mediante el sabor y el olor del agua, algún elemento perjudicial para que esta sea potable.

Material.

- ✚ Muestra representativa del agua.
- ✚ Vaso de plástico.

Procedimiento.

Este procedimiento es muy sencillo, primeramente se obtiene una muestra del agua. Esta muestra se coloca en un vaso de plástico. Se prueba el agua poniéndola en la boca por un instante, después se desecha el agua y se clasifica de acuerdo a su sabor. Con esto podemos darnos cuenta si hay alguna sustancia inapropiada para la mezcla. Para determinar su olor, primeramente se acerca el agua a la nariz, esta se huele un momento, después de esto se desecha y se da una respuesta, ya sea que tenga o no olor (figura III.28).



Figura III.28. Sabor y olor del agua.

De acuerdo a la norma NOM-127-SSA1-1994, salud ambiental, el agua para uso y consumo humano, no debe de presentar sabor ni color.

Muchas sustancias propias del agua en contacto con la naturaleza o con las aguas residuales pueden proporcionar un sabor perceptible, como son los minerales, metales y sales del suelo, productos de reacciones biológicas, etc. Los materiales alcalinos proporcionan un sabor amargo al agua mientras que las sales metálicas pueden dar un sabor salado o amargo.

El olor en el agua es causado por la presencia de compuestos volátiles disueltos. Una buena parte de estos compuestos tiene un origen biológico, al formarse a causa de la



descomposición de biomasa. También debe de señalarse como causa de malos olores la presencia de compuestos orgánicos volátiles de olor desagradable, debido a la descomposición de la materia orgánica presente en el agua. Otra fuente son los compuestos organoclorados, generados en los procesos de cloración del agua, los cuales suelen ser una fuente secundaria de olores.

Compuestos con olores típicos son las aminas, que producen olor a pescado, las diaminas, que huelen a carne putrefacta, el azufre (S) con su típico olor a huevo podrido, los compuestos órgano sulfurados, cuyo olor es parecido al desprendido por la col podrida, etc.

Al hacer esta prueba, se pudo concluir que el agua utilizada en la elaboración de mis especímenes de concreto, no presenta sabor ni olor característico.

III.4.2. Determinación del pH del agua.

Objetivo. Determinar el potencial de hidrógeno para poder clasificar sustancias como ácidas o bases.

Material.

-  Muestra representativa del agua.
-  Vaso de plástico.
-  Medidor de pH.
-  Solución calibradora de pH.

Procedimiento.

Para realizar esta prueba, primeramente se calibra el medidor de pH, esto por medio de la solución calibradora y moviendo el tornillo del medidor; hasta llegar al valor neutro 7.0.

Posteriormente se obtiene una muestra de agua, se coloca la parte inferior del medidor de pH dentro de la muestra de agua, se deja un momento hasta que el resultado no varíe y se anota este valor. Se retira el medidor de pH y se guarda el material.

Es importante mencionar que se determinó el pH no sólo del agua, sino de otros materiales como se observa, esto para ver su comportamiento en la mezcla.

En la tabla III.17 se muestran los resultados de esta prueba, ya que de esta manera se pueden observar y comparar estos valores, debido a que presentan variaciones considerables.



Tabla III.18.Promedio del pH, cálculo de Microsoft Excel.

DETERMINACIÓN DE pH.		
Material	Valor promedio	Característica.
Agua potable	8.2	Básico
Cemento	12.7	Básico
Cactus Opuntia	6.3	Ácido
Cemento + Cactus	12.1	Básico
Concreto	12.3	Básico

El comportamiento del pH tiende a ser alcalino o básico, para llegar a estos valores fue necesario realizar varias prueba, ya que los resultados variaban un poco, quizás por la temperatura o por la calibración, entre otros factores (figura III.29).



Figura III.29. pH del concreto y cemento.

El pH mide la ionización del agua o concentraciones de iones de hidrógeno, el cual tiene una gran importancia en los diferentes usos del agua potable, siendo para ésta un rango de 6.5 a 8.5 como permisible, mientras que para uso agrícola es de 6 a 9.

La determinación del pH en el agua es una medida de la tendencia de su acidez o de su alcalinidad, un pH menor a 7.0 indica una tendencia hacia la acidez, mientras que un valor mayor a 7.0 muestra una tendencia hacia lo alcalino.

La mayoría de las aguas naturales tiene un pH entre 4 y 9, aunque muchas de ellas tienen un pH ligeramente básico debido a la presencia de carbonatos y bicarbonatos. El pH es un valor muy importante en la construcción aunque no se toma mucho en cuenta; por medio de este valor podemos determinar la tendencia corrosiva en diversos elementos de un sistema de agua potable y de diversas construcciones.



III.4.3. Determinación del color del agua.

Objetivo. Determinar mediante la observación el color del agua, para analizar si contiene turbiedad debido a sólidos en suspensión.

Material.

- ✚ Muestra representativa del agua.
- ✚ Vaso de plástico transparente.
- ✚ Muestra de agua pura.

Procedimiento.

Para la determinación del color del agua se hizo una comparación con respecto a agua pura ya que esto nos presenta a grandes rasgos que tan limpia es el agua usada. Para esto primeramente fue necesario obtener una muestra de agua potable y una muestra de agua pura. Estas muestras se colocaron dentro de un vaso transparente y se compararon visualmente, obteniéndose un resultado favorable (figura III.30).



Figura III.30. Comparación del agua usada - agua pura.

Según la norma NMX-AA-017-1980, el agua potable se considera incolora. Existe un color natural característico del agua producto de hierro y manganeso coloidal o en solución, también del contacto de hojas y madera en diferentes estados de descomposición surge un color del agua. El color natural del agua existe principalmente por efecto de partículas coloidales cargadas negativamente. El origen de la presencia de color en el agua puede deberse a materia suspendida denominándose color “aparente”, una vez eliminado dicho color el restante se conoce como color “verdadero”



Las aguas superficiales pueden estar coloridas debido a descargas contaminantes domésticas e industriales, como es el caso de las industrias de papel y la textil; esta última causa coloración por medio de los desechos de teñidos los cuales imparten colores en una amplia variedad.

En la industria de papel, la pulpa de la madera produce grandes cantidades de agua de desechos conteniendo derivados de la lignina los cuales son altamente coloridos y resistentes al ataque biológico. Muchos de estos materiales añaden color al agua que persiste a grandes distancias.

III.4.4. Determinación de la temperatura del agua.

Objetivo. Determinar la temperatura del agua usada para la elaboración y curado del concreto.

Material.

-  Termómetro.
-  Agua potable.

Procedimiento.

Para determinar la temperatura del agua, se toma el termómetro de la parte superior, se introduce al agua y se deja un momento, esto hasta que no se registre variación del resultado. Se retiró el termómetro y se registraron las temperaturas.

La temperatura se tomó durante un periodo de casi 2 meses, esto para ver sus variaciones, en este tiempo la temperatura se mantuvo entre 12 y 17°C, obteniendo un promedio de 14°C de temperatura, es importante señalar que el agua provenía de la pila de curado del concreto.

Como se observa, la temperatura es muy baja lo cual podría perjudicar la reacción química de endurecimiento del concreto, y por lo mismo la resistencia puede ser un poco más baja debido a esto. Aquí también se le determinó la temperatura al concreto la cual en promedio se encontró alrededor de 16°C.

Cabe mencionar que el termómetro utilizado en esta práctica es nuevo, es decir, las lecturas obtenidas de él fueron muy precisas. En la figura III.31 se observa el tipo de termómetro utilizado, con graduaciones en Celsius.



Figura III.31. Termómetro empleado para medir la temperatura del agua y del concreto.

III.5. Pruebas realizadas al concreto.

III.5.1. Muestreo de concreto fresco.

Objetivo. Obtener una muestra representativa del concreto con todas las características del total del volumen de la muestra.

Equipo.

-  Charola.
-  Pala.
-  Cucharón.

Procedimiento.

La muestra se obtiene del volumen de concreto que se vaya a utilizar, siempre y cuando esta contenga las características generales de todo el concreto, para obtenerlo sólo es necesario colocarlo en algún recipiente por medio del cucharón o la pala.

El tiempo en que se debe de tomar la muestra tiene que ser el menor posible, pero nunca más de 15 min y para usarla en los siguientes 15 min. La muestra debe de estar protegida tanto del aire como de los rayos solares.

Por último se agregó la fibra de cactus a la mezcla y se volvió a revolver (figura III.32). Hecho esto se procede hacer el revenimiento del concreto y la elaboración de los especímenes con y sin cactus.

Cuando se adhiere la fibra deshidratada de cactus, se debe de tener mucho cuidado ya que esta se tiene que mezclar totalmente con el concreto. Esta fibra fue adicionada hasta el final, ya que absorbe y retiene gran cantidad de agua propia del concreto.



Figura III.32. Muestreo del concreto.

III.5.2. Revenimiento.

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

Equipo.

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

Procedimiento.

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

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

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



Se retira el molde en forma vertical en un tiempo aproximado de 5 segundos. Por último se voltea el molde en forma contraria a como estaba colocado, colocando la varilla sobre esta cara y se mide la distancia que hay entre la altura del molde con respecto a la del concreto (C/C = Concreto con cactus; S/C = Concreto sin cactus) como se observa en la figura III.33.

En la tabla III.18 se muestran los resultados que se obtuvieron al realizar el revenimiento del concreto, para determinar su fluidez.

Tabla III.19.Revenimiento del concreto, cálculo de Microsoft Excel.

ELEMENTO	COLADA	REVENIMIENTO (cm)
Cilindro	1 C/C	10.5
Cilindro	2 C/C	9.0
Cilindro	3 S/C	8.5
Cilindro	4 C/C	8.5
Viga	5 S/C	10.0
Viga	6 C/C	9.0
Viga	7 C/C	8.5

De acuerdo a la norma NMX-C-156-ONNCCE, para un concreto de revenimiento de 10 existe una tolerancia de ± 2.5 cm. Es por esto que a pesar de que los valores de revenimiento obtenidos son diferentes, estan dentro de la tolerancia marcada.



Figura III.33. Revenimiento del concreto.

III.5.3. Fabricación de cilindros.

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

Equipo.

- Varilla punta de bala.



- ✚ Charola.
- ✚ Pala.
- ✚ Cucharón.
- ✚ Moldes de cilindros de 10 x 20cm, siempre y cuando el tamaño máximo del

agregado sea no mayor a $\frac{3}{4}$ de pulgada.

Procedimiento.

Después de haber obtenido el revenimiento, se procede a engrasar los moldes para facilitar el descimbrado.

El llenado de los cilindros se debe de realizar en tres capas con ayuda del cucharón. Al llenar la primera capa se golpea 25 veces sobre todo el volumen del concreto colocado en el interior del cilindro, esto para compactar la mezcla, al cabo de esto se golpea con el mazo de goma en 15 ocasiones sobre el perímetro exterior del cilindro y así eliminar considerablemente la cantidad de aire atrapado. Posteriormente se hace lo mismo con las dos capas restantes, procurando que la tercera capa quede enraizado el espécimen (figura III.34). Después de un tiempo de 24 horas se identifica el espécimen y se lleva a la pila de curado.



Figura III.34. Fabricación de cilindros de concreto.

En esta investigación se realizaron 139 cilindros los cuales fueron 35 de concreto normal CPO 30R RS, en condiciones normales, y 104 cilindros con el mismo tipo de cemento pero adicionados con fibra de cactus opuntia en un 2% del peso del cemento utilizado. Del total de los cilindros se probaron 25 cilindros de concreto normal y 59 cilindros de concreto con fibra de cactus. Las pruebas de compresión simple, tensión indirecta, resistividad y esclerómetro; fueron realizadas hasta la edad de 40 días, mientras que se continuaran estas pruebas para los cilindros restantes a edades mayores.



Los cilindros con cactus y sin cactus fueron probados a compresión y tensión a 3, 7, 14, 28 y 40 días de edad, con el fin de monitorear el comportamiento de la resistencia a distintas edades, y la variación entre cilindros con y sin aditivo de cactus.

III.5.4. Fabricación de vigas.

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

Equipo.

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

Procedimiento.

Después de haber obtenido el revenimiento, se procede a engrasar los moldes para facilitar el descimbrado.

El llenado de los moldes se debe de realizar en dos capas con ayuda del cucharón o pala. Al llenar la primera capa se golpea 90 veces sobre todo el volumen del concreto colocado en el interior del molde, esto para compactar la mezcla, al cabo de esto se golpea con el mazo de goma en 15 ocasiones sobre el perímetro exterior del molde y así eliminar considerablemente la cantidad de aire atrapado. Posteriormente se hace lo mismo con la siguiente capa restante, procurando que quede enrazada (figura III.35).



Figura III.35. Fabricación de vigas de concreto.

En esta investigación se realizaron 27 vigas los cuales fueron 9 de concreto normal CPO 30R RS, en condiciones normales, y 18 vigas con el mismo tipo de cemento pero



adicionados con fibra de cactus opuntia en un 2% del peso del cemento utilizado. Del total de las vigas se probaron 5 vigas de concreto normal y 11 vigas de concreto con fibra de cactus.

Las vigas con cactus y sin cactus fueron probadas a flexión a 7, 14, 28 y 40 días de edad, con el fin de monitorear el comportamiento de la resistencia a distintas edades, y la variación entre vigas con y sin aditivo de cactus. Estas pruebas fueron realizadas hasta la edad de 40 días, mientras que las pruebas continúan para edades mayores, ya que las vigas restantes se usaran en la tesis de maestría.

Cabe señalar que la elaboración de vigas y cilindros no debe de exceder 15 minutos desde su muestreo ya que el cemento reacciona con el agua. Al cabo del colado de los especímenes, estos no se mueven del lugar, sino hasta la fecha de descimbrado. La temperatura apropiada para el fraguado inicial del concreto en el molde es de 17°C durante un tiempo de 24 horas.

III.5.5. Curado de concreto.

Objetivo. Describir el procedimiento para evitar la pérdida de agua en el concreto al fraguar, es decir, la pérdida de agua por la evaporación debido al clima.

Equipo.

 Cuarto húmedo o Pila de curado.

Procedimiento.

El curado inicial se hace mediante una bolsa de plástico, esto consiste en cubrir la mezcla que se encuentra dentro del molde, mediante una bolsa hasta su descimbrado.

Al descimbrar el cilindro o viga, este se marca y enumera de manera que se pueda identificar. Posteriormente se procede a colocarlo en la pila de curado, para esto el agua debe de cubrir el cilindro totalmente como se observa en la figura III.36.

La temperatura de curado para los cilindros de concreto debe de ser 23°C aproximadamente, esto para que se efectuó la reacción química de hidratación.

Por último el cilindro o viga será retirado de la pila de curado el día en que se vaya a probar a compresión, tensión indirecta o flexión.

Cabe señalar que los métodos de curado son varios, pero en esta ocasión sólo se utilizo el mencionado, ya que todos buscan evitar la evaporación súbita del agua del concreto.



Cabe destacar que la temperatura que marca la norma no fue la empleada, es decir, en la pila de curado se mantuvo una temperatura alrededor de los 14°C.



Figura III.36. Curado del concreto.

III.5.6. Resistividad en cilindros.

Objetivo. Determinar la resistividad del concreto para evaluar el riesgo de corrosión, mediante el uso del resistometro, esto como prueba no destructiva.

Se le llama resistividad eléctrica al grado de dificultad que encuentran los electrones en sus desplazamientos, esto quiere decir que si los poros del concreto no están interconectados tendrá una resistencia mayor con respecto a un concreto con poros interconectados. La resistividad eléctrica es medida en ohms.

Hay muchos factores que pueden interferir en la buena determinación de la resistividad, entre los que destacan, la temperatura, la colocación de los conectores, el cuidado con que se realiza, entre otros.

Procedimiento.

Para determinar la resistividad es necesario seleccionar el rango del resistometro mediante la perilla menor, esto se hace manteniendo el interruptor hacia arriba, después se coloca el espécimen sobre un conector y el otro conector encima del cilindro. Cabe mencionar que el cilindro no estará en contacto directo con los conectores ya que para obtener mejores lecturas es necesario colocar unas telas entre ambos. Hecho lo anterior se mueve la perilla mayor, pero ahora el interruptor se mantendrá hacia abajo, y si se determina la resistencia eléctrica que presenta el espécimen en ohms.

Para entender un poco mejor lo anterior, en la figura III.37 se puede observar este equipo, el cual fue utilizado solamente para los especímenes cilíndricos, y así determinar la calidad del concreto endurecido.



Figura III.37. Equipo usado para la Resistividad.

Cabe destacar que no hay norma que marque algún parámetro de la resistividad, sin embargo en el manual de Controls nos recomienda los valores de la tabla III.19.

Tabla III.20. Riesgo de corrosión en función de la resistividad.

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

Para determinar la resistividad basta con aplicar la siguiente formula.

$$P = Re \frac{A}{L}$$

Donde:

P → Riesgo de corrosión (k ohms/cm).

Re → Resistividad (ohms).

A → Área de la sección (cm²).

L → Longitud del espécimen (cm).

Al determinar el riesgo solamente se hace la comparación con los valores anteriores para clasificarlo de acuerdo a lo expuesto.

III.5.7. Velocidad de pulso ultrasónico.

Objetivo. Evaluar la calidad del concreto mediante ondas de sonido, esto como prueba no destructiva.

La velocidad de pulso ultrasónico es una alternativa de prueba no destructiva para evaluar la calidad del concreto, la cual se ha utilizado desde hace aproximadamente 50 años. La técnica fue desarrollada por Leslie y Cheesman en Canadá y se utilizó con gran



éxito desde la década de los sesentas para diagnosticar el estado del concreto utilizado en cortinas de presas; casi simultáneamente Jones desarrolló en Inglaterra una técnica basada en el mismo principio [22].

El equipo cuenta con dos transductores, uno que emite un pulso y el otro que lo recibe, es decir, el transductor transmisor del instrumento de velocidad de pulso ultrasónico transmite una onda en el concreto mientras que el transductor receptor la recibe a una distancia (L). Este equipo cuenta con una pantalla que indica el tiempo de tránsito a través del concreto desde que se emitió el pulso, hasta que se recibió (Δt). La velocidad del pulso de la onda de compresión (V), por lo tanto, se determina con la siguiente expresión:

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

Estas ondas de sonido se propagan en los medios sólidos a partir de excitaciones vibratorias en forma de ondas longitudinales o de compresión, ondas transversales o de cortante y ondas superficiales o Rayleigh. La velocidad de estas ondas depende de las propiedades elásticas del medio, de tal manera que, conociendo la velocidad del sonido y la masa del sólido, se pueden estimar las propiedades elásticas del medio, mismas que se pueden relacionar con los parámetros de calidad del material [23].

Para transmitir o recibir el pulso, los transductores deben estar en completo contacto con el objeto de prueba; de otro modo el aire entre el objeto de prueba y el transductor puede introducir un error en el tiempo de tránsito indicado. Este error es introducido por que sólo una insignificante cantidad de energía de onda puede ser transmitida a través del aire. Se pueden usar muchos acopladores del mercado para eliminar el aire y asegurar un buen contacto entre la muestra y los transductores. Jalea a base de petróleo da uno de los mejores acoplamientos. Tenemos también, otros acopladores como grasas, jabón, pasta de caolín-glicerol, etc. Las capas del acoplador deben de ser tan delgadas como sea posible. Aplicando una presión constante en los transductores, se podrán tomar lecturas repetidas en una ubicación hasta obtener un mínimo valor de tiempo de tránsito. Si la superficie del concreto está muy rugosa, se debe usar grasa espesa como acoplador. En algunos casos, que se tenga que suavizar la superficie rugosa o establecer una superficie lisa se puede hacer con el uso de yeso de Paris, o con una pasta de cemento de fraguado rápido o con un mortero epóxico de fraguado rápido. La nivelación de la pasta



debe realizarse antes de la prueba de velocidad de pulso. En superficies muy rugosas, también puede emplearse un receptor exponencial con un diámetro de punta de sólo 6 mm, como por ejemplo, superficies de mortero dañadas por fuego o por la acción de la intemperie. Sin embargo, hay que destacar que esta prueba es buena sólo para recibir la señal. Se requiere una superficie lisa para el transductor transmisor [22].

Cabe mencionar que para los especímenes de prueba se hizo uso de un acoplador a base de gel espeso, ya que este fue un material económico y además muy apropiado.

El investigador Jones, reportó que para una misma mezcla de concreto y un mismo nivel de resistencia a la compresión, concreto con grava redondeada tenía una menor velocidad de pulso, concreto con piedra caliza triturada mostró altas velocidades de velocidad de pulso y concreto con granito triturado dio velocidades entre las presentadas por los otros dos concretos; además reportó que el tipo de cemento no tiene un efecto significativo en la velocidad de pulso. La razón de hidratación, sin embargo, es diferente para cada cemento y esto tiene influencia en la velocidad de pulso, de acuerdo al incremento del grado de hidratación, el módulo de elasticidad incrementa al igual que la velocidad de pulso; sin embargo algunos aditivos si interfieren en la velocidad de pulso de la misma manera que estos influyen en la razón de hidratación. Por ejemplo, la adición de cloruro de calcio reducirá el tiempo de fraguado del concreto y esto incrementará la razón por la cual aumenta la velocidad de pulso [24].

Kaplan, estudió el efecto de la relación agua cemento (a/c) en la velocidad de pulso. El mostró que al incrementar la relación a/c , la resistencia a la compresión y flexión y la correspondiente velocidad de pulso disminuyen asumiendo que no hay otros cambios en la composición del concreto [25].

Cabe señalar que lo expuesto anteriormente solo son algunos motivos que nos pueden proporcionar ciertas variaciones en las lecturas, aunque hay muchos otros motivos como lo son la temperatura del concreto, el buen contacto de los traductores y su trayectoria, las condiciones de curado, el tamaño y forma de los especímenes, la presencia de acero en el concreto, entre muchos otros.

A continuación se presenta una clasificación del concreto de acuerdo a ciertas categorías, con base en la velocidad de pulso ultrasónico (tabla III.20). Este criterio de clasificación fue aceptado por Malhotra, para el concreto hidráulico en 1985 [22].



Tabla III.21. Clasificación del concreto en función de la velocidad de pulso ultrasónica.

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

Por medio de esta prueba no destructiva es posible determinar la calidad del concreto, esto mediante una clasificación de acuerdo a la velocidad del pulso.

Procedimiento.

Primeramente se calibra el equipo, después se les coloca gel a los transductores, los cuales deben de colocarse de acuerdo a la trayectoria y por último se enciende el equipo. Se toma la lectura y listo.

En la figura III.38 se observa este equipo y su modo de funcionar.



Figura III.38. Equipo de Velocidad de Pulso Ultrasónico empleado.

Esta prueba fue realizada a especímenes cilíndricos y a vigas de concreto, a distintas edades para poder comparar su comportamiento.

III.5.8. Frecuencia de resonancia.

Objetivo. Poder determinar el módulo de elasticidad dinámico mediante la frecuencia de vibración natural, esto como prueba no destructiva.

La frecuencia natural de vibración es una propiedad dinámica de un sistema elástico y se relaciona sobre todo con el Módulo de Elasticidad Dinámico, el método de resonancia ha sido usado desde hace 55 años. Sin embargo, en los últimos años, los



métodos de frecuencias de resonancia han sido usados casi exclusivamente en estudios de laboratorio.

El aparato de prueba es el requerido por la ASTM C 215-85, titulada Método de prueba para frecuencias fundamentales longitudinales de resonancia a especímenes de concreto.

Este equipo ha sido diseñado por varias organizaciones comerciales y consiste principalmente de dos secciones una genera vibraciones mecánicas y la otra detecta estas vibraciones [22].

En la generación de vibraciones la principal parte es un oscilador electrónico de audio frecuencia, el cual genera voltajes eléctricos de audiofrecuencia. Las vibraciones mecánicas son detectadas por un transductor piezoeléctrico. El transductor está contenido en una unidad separada y convierte las vibraciones mecánicas en voltaje eléctrico de corriente alterna de las mismas frecuencias. Estos voltajes son amplificados para la operación de panel medidor el cual indica la amplitud del transductor de salida. Como la frecuencia de la unidad de manejo de oscilador es variada, un máximo en la aguja del medidor indica cuando se alcanza la resonancia.

Existen también grandes factores que afectan la resonancia como lo pueden ser el tipo de agregados, proporción de la mezcla, tamaño del espécimen, las condiciones y tipo de curado, entre muchos otros. Todos estos factores de alguna manera intervienen para provocar una varianza en la obtención de resultados, sin embargo estas variaciones son despreciadas ya que este equipo muestra buenos resultados.

Procedimiento.

Encender el equipo para que este se caliente. Poner el control de voltaje de salida y ganancia de amplificador totalmente a la izquierda. Poner a 1 seg, el output – input poner en output, poner en manual el botón de manual-auto. Prender el instrumento y dejarlo por 10min para que se estabilice térmicamente.

La frecuencia de resonancia fundamental longitudinal esta en un punto nodal al centro del largo de un prisma o cilindro y el espécimen debe colocarse en el centro de apoyo de la cama de pruebas en el punto nodal. La muestra puede ser simplemente apoyada o sujetadas por la barra.

Poner grasa en los extremos del vibrador y en el pick-up en las barras de contacto. Para los extremos de los especímenes para que estén libres a la vibración en una dirección longitudinal es esencial que un mínimo de restricción sea impuesta en los extremos. Ambas barras del vibrador



y del pick-up son libres a moverse en el montaje y es necesario solamente el movimiento de los apoyos del vibrador y del pick-up a lo largo de los rieles hasta que las barras hagan contacto con el centro de los extremos del espécimen. Los apoyos deben asegurarse usando el tornillo de sujeción.

Seleccionar el rango de frecuencia de interés, para especímenes de concreto este estará generalmente en un rango de 1 khz a 10 khz dependiendo de las dimensiones del espécimen.

Ajustar el control del voltaje de salida para una lectura de alrededor de 4 volt y aumentar ligeramente la ganancia del amplificador partiendo de cero.

Comenzando del final de bajas frecuencias del rango rotar el anillo interno del control de frecuencia y al mismo tiempo ir observando el medidor de entrada. En la frecuencia fundamental de resonancia el desplazamiento de los extremos del espécimen será un máximo indicado por un pico del medidor, con esto se determina el valor de la frecuencia. Por último solo basta aplicar la siguiente formula y así determinar el módulo de elasticidad dinámico.

$$ED = 4n^2L^2p10^{-12}$$

Donde:

ED = Modulo de elasticidad dinámico.

n = Frecuencia de resonancia longitudinal en hz.

L = Longitud del espécimen en mm.

p = Densidad del espécimen en kg/m^3 .

La figura III.39 muestra la imagen de este equipo, para poder visualizar un poco mejor su función.



Figura III.39. Equipo usado para la Frecuencia de Resonancia.



III.5.9. Resistencia mediante Esclerómetro.

Objetivo. Poder determinar la resistencia a la compresión del concreto, mediante el Martillo de Schmidt (Esclerómetro), esto como prueba no destructiva.

Con base en la norma ASTM 58-C0181/G, se puede describir que el esclerómetro es un equipo muy utilizado en pruebas no destructivas de laboratorio, ya que su aproximación a la resistencia real del concreto es muy certera. Así pues, con este equipo se puede determinar la resistencia aproximada del concreto, sin que haya necesidad de llevarlo a pruebas destructivas para evaluar su resistencia real. Al determinar la resistencia del concreto se puede estimar la durabilidad y capacidad de carga de las construcciones echas de concreto (hormigón). El esclerómetro es un cilindro de unos 6cm de diámetro, con un vástago retráctil de 1.5 cm de espesor, en uno de sus extremos y una pantalla digital en su superficie lateral. Cabe destacar que hay muchos tipos y modelos de esclerómetros, mas sin embargo todos buscan determinar una resistencia aproximada del concreto endurecido con una confiabilidad de $\pm 30\%$.

Procedimiento.

Se lija o limpia la superficie a probar, esto para lograr un buen contacto al aplicar el golpe mediante el vástago del esclerómetro. Echo lo anterior se programa el Martillo de Schmidt, es decir, se insertan datos en el, como lo son: el ángulo, la temperatura, tipo de elemento, factor de ajuste (depende de la edad del concreto; menor de 7 días = 1.2, de 7 a 50 días = 1), entre otros. Después se coloca el vástago sobre la superficie y se le aplica la carga hasta su rebote, esto se hace 9 veces para determinar un promedio de las mismas, por último se registra la resistencia promedio, marcada en este equipo. Cabe señalar que a los especímenes se les agrego una precarga del 2% de su resistencia (400kg), esto para lograr rebotes confiables y resistencias aproximadas a la resistencia real. La figura III.40 se muestra la imagen de este equipo para su mejor apreciación.



Figura III.40. Esclerómetro usado en las pruebas.



III.5.10. Cabeceado de cilindros.

Objetivo. Definir el procedimiento, materiales y equipo necesario para el cabeceo de cilindros, para obtener una superficie plana y lograr de esta forma una distribución uniforme de la carga.

Equipo.

- ✚ Material de cabeceo (moldes y/o aditamentos).
- ✚ Cemento (cilindros a edades tempranas).
- ✚ Yeso de alta resistencia (cilindros a edades intermedias).
- ✚ Azufre (cilindro a edades mayores).
- ✚ Neopreno (a distintas edades).

Para el ensayo se usaron placas de acero, las cuales cuentan con pastillas de neopreno en su interior, esto para facilitar la uniformidad de esfuerzos.

Procedimiento.

Se sacan los cilindros a probar de la pila de curado. Se coloca la pastilla de neopreno en el interior de cada una de las dos placas de acero.

Se lija la parte superior del cilindro, esto si existe rugosidad excesiva en esta cara, lo cual provoque inclinación del cilindro o cargas puntuales.

Se coloca el cilindro sobre la placa de acero, quedando en la parte central el neopreno. Se coloca la otra placa sobre el cilindro, quedando una superficie plana para aplicar la carga.

Una vez terminado lo anterior se coloca en la máquina universal y se le aplica carga hasta su ruptura.

Especificaciones.

Según la norma ASTM-C-1231, la inclinación máxima del cilindro con respecto a la vertical es de 5° , además las pastillas de neopreno no se deben de usar más de 100 veces ya que estas se deforman conforme se utilizan.

La figura III.41 muestra la manera en que se deben de colocar estas placas de acero e interior de neopreno, a modo de que la carga sea distribuida sobre el área del espécimen.



Figura III.41. Placas de neopreno usadas para el cabeceado de cilindros.

III.5.11. Resistencia a la compresión simple en cilindros de concreto.

Compresión simple. Significa que se le aplicará una carga axial concéntrica al cilindro de concreto.

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

Utilidad práctica. Control de calidad del concreto es decir, verificar la resistencia real del concreto contra la resistencia de proyecto.

Equipo.

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

Procedimiento.

Teniendo ya el diámetro del espécimen se coloca en la máquina ya previamente cabeceado, limpiando perfectamente las placas de apoyo en la máquina y centrando el eje vertical del espécimen en el centro de la placa de apoyo.

Se ajusta la platina superior a la cara del espécimen de manera que no se aplique carga de impacto si no que apenas quiera rozar el espécimen.

Se nivela el rango de 75000 kg con una aproximación de 125 kg y se pone en ceros la máquina. Se aplica la carga a una velocidad constante, respecto a este punto se pueden hacer las siguientes observaciones:

- Que no se suspenda la aplicación de la carga por ningún contratiempo y luego se vuelva a poner a funcionar cuando el espécimen ya se aproxime a la carga de falla.



- La carga de falla la podemos prefijar conociendo el % de resistencia según su edad, que debe de observar, esta carga se prefija multiplicando el área de la sección transversal del cilindro por la resistencia de proyecto ($f'c$).

Se continúa la carga del espécimen hasta la falla registrándola y observando su tipo de falla y la apariencia del material.

Cálculo.

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

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

Donde:

P= Carga de ruptura (kg).

A= Área de la sección transversal del espécimen (cm^2).

E= Esfuerzo que resiste el espécimen (kg/cm^2).

La norma NMX-C-083-ONNCCE, establece los métodos de prueba para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto. Antes del ensaye, las bases de los especímenes o caras de aplicación de carga no se deben apartar de la perpendicular al eje y no se permiten irregularidades respecto de un plano, por lo contrario el espécimen tendrá que ser cabeceado [26].

Cabe señalar que la carga debe de ser aplicada con una velocidad uniforme y continua sin producir impacto, ni pérdida de carga. La velocidad de carga debe estar dentro del intervalo de $84 \text{ kgf}/\text{cm}^2/\text{min}$ a $210 \text{ kgf}/\text{cm}^2/\text{min}$. Se aplica la carga hasta que aparezca la falla de ruptura como se observa en la figura III.42.



Figura III.42. Compresión simple en cilindros.



Es destacable que a edades tempranas no fallaron los materiales, es decir, falló la adherencia entre cemento y agregados, sin embargo después de los 14 días la falla fue en conjunto, es decir, la matriz del elemento.

III.5.12. Determinación de la resistencia a la tensión indirecta de cilindros de concreto.

Objetivo. Determinar la resistencia a la tensión indirecta de cilindros de concreto.

Equipo.

-  Máquina universal Forney.
-  Placa o barra de apoyo suplementario
-  Tiras de apoyo

Procedimiento.

Tomar las dimensiones del diámetro promediando las medidas, dos cerca de los extremos y una al centro siguiendo el plano de los diámetros. La longitud se medirá promediando las 2 medidas de las líneas que unen los extremos de cada línea que marca el diámetro en las caras de los especímenes.

Se selecciona el rango de 15000 kg y se nivela, teniendo una aproximación de 25 kg al obtener los resultados de carga.

Colocar las tiras a lo largo del centro de la placa de apoyo inferior. El espécimen se coloca sobre la tira y se acomoda de tal modo que las líneas marcadas en sus extremos sean verticales y queden concentradas sobre la tira, se coloca longitudinalmente la segunda tira sobre el cilindro, concentrándola sobre las líneas marcadas. El conjunto debe colocarse de tal manera que garantice las siguientes condiciones:

- Que la prolongación del plano que contenga las 2 líneas marcadas en los extremos del espécimen pasen por el centro de la placa superior de apoyo.
- Que la placa suplementaria cuando se use y el centro del espécimen estén directamente debajo del centro de la placa con apoyo esférico.

La carga se aplica continuamente y sin impacto a una velocidad uniforme dentro del intervalo de 7 a 14 kg/cm²/min de esfuerzo indirecto de tensión hasta la falla del espécimen, debe de anotarse la carga máxima aplicada que indique la máquina de ensaye en la falla, el tipo de falla y la apariencia del concreto.



Cálculo.

La resistencia a la tensión indirecta del espécimen se calcula con:

$$T = \frac{2P}{D * L}$$

Donde:

T= Resistencia a tensión indirecta (kg/cm²).

P= Carga máxima (kg).

L= Longitud (cm).

D= Diámetro (cm).

En la figura III.43 se muestra mediante imagen, la manera en que le fue aplicada la carga a estos cilindros, y además se puede observar de manera muy clara como es la fractura del espécimen y su falla.



Figura III.43. Tensión indirecta en cilindros.

III.5.13. Resistencia a la flexión del concreto.

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

Equipo.

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

Procedimiento.

El espécimen debe voltearse sobre uno de sus lados, respecto a la posición original en la que fue colado, se marca con un crayón o marcador la posición en donde tendrán que



estar los cuatro apoyos, se elige el rango de 7500 kg y se nivela, contando con una aproximación de 12.5kg.

Se centran los apoyos inferiores y posteriormente los superiores, quedando así un tercio central en el espécimen, entre los apoyos. Si la viga presenta aristas deformes debido al molde, estas tendrán que ser eliminadas para que la carga se aplique correctamente en cada parte de contacto (figura III.44). La carga se debe aplicar a una velocidad uniforme, tal que el aumento de esfuerzo de las fibras extremas no exceda 10 kgf/cm² por min, permitiéndose velocidades mayores antes del 50% de la carga estimada de ruptura.

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

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

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

Donde:

R= Es el módulo de ruptura en kPa (kgf/cm²).

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

L= Es la distancia entre apoyos (cm).

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

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



Figura III.44. Flexión en vigas.

La norma NMX-C-091-ONNCCE, establece el método de prueba para la determinación de la resistencia a la flexión del concreto, usando una viga simple de concreto con carga en los tercios del claro [27].



IV. RESULTADOS.

A continuación se hace mención de los resultados obtenidos, al someter los especímenes a cargas destructivas, para esto se muestran tablas y gráficas que facilitan la apreciación de los valores conseguidos, tanto de vigas como de cilindros. Y así poder evaluar su comportamiento a distintas edades después de que se elaboraron.

IV.1. Riesgo a la corrosión.

Mediante el resistómetro se determina la resistividad del concreto, esto ayuda a calcular el riesgo a la corrosión del concreto. Estos valores obtenidos se comparan con los expuestos en las normas internacionales y Manual de Resistividad.

IV.1.1. Riesgo a la corrosión en cilindros con cactus.

En las tablas IV.1, IV.2, IV.3, IV.4 y IV.5 se observa el comportamiento del concreto con cactus respecto a la resistividad eléctrica, donde, se aprecia un alto riesgo a la corrosión, por ello no es recomendable su uso en climas húmedos.

Tabla IV.1. Resistencias medidas y resistividades a 3 días.

RESISTIVIDAD ELECTRICA (CILINDROS 3 DIAS CON CACTUS)					
No. DE CILINDROS	RESISTENCIA (ohms)	AREA DEL CILINDRO (m ²)	LONGITUD PROMEDIO (m)	RESISTIVIDAD (ohms-m)	RIESGO A LA CORROSIÓN (COMPARATIVO)
1	560	0.00785	0.20	21.98	ALTO RIESGO
2	540	0.00785	0.20	21.20	ALTO RIESGO
3	510	0.00785	0.20	20.02	ALTO RIESGO
4	560	0.00785	0.20	21.98	ALTO RIESGO
5	545	0.00785	0.20	21.39	ALTO RIESGO
6	520	0.00785	0.20	20.41	ALTO RIESGO
7	530	0.00785	0.20	20.80	ALTO RIESGO
8	500	0.00785	0.20	19.63	ALTO RIESGO
PROMEDIO	533.13	0.00785	0.20	20.93	ALTO RIESGO



Tabla IV.2. Resistencias medidas y resistividades a 7 días.

RESISTIVIDAD ELECTRICA (CILINDROS 7 DIAS CON CACTUS)					
No. DE CILINDROS	RESISTENCIA (ohms)	AREA DEL CILINDRO (m ²)	LONGITUD PROMEDIO (m)	RESISTIVIDAD (ohms-m)	RIESGO A LA CORROSIÓN (COMPARATIVO)
1	860	0.00785	0.20	33.76	ALTO RIESGO
2	810	0.00785	0.20	31.79	ALTO RIESGO
3	810	0.00785	0.20	31.79	ALTO RIESGO
4	840	0.00785	0.20	32.97	ALTO RIESGO
5	840	0.00785	0.20	32.97	ALTO RIESGO
6	910	0.00785	0.20	35.72	ALTO RIESGO
7	1200	0.00785	0.20	47.10	ALTO RIESGO
8	910	0.00785	0.20	35.72	ALTO RIESGO
9	1010	0.00785	0.20	39.64	ALTO RIESGO
10	940	0.00785	0.20	36.90	ALTO RIESGO
11	970	0.00785	0.20	38.07	ALTO RIESGO
12	940	0.00785	0.20	36.90	ALTO RIESGO
13	950	0.00785	0.20	37.29	ALTO RIESGO
PROMEDIO	922.31	0.00785	0.20	36.20	ALTO RIESGO

Tabla IV.3. Resistencias medidas y resistividades a 14 días.

RESISTIVIDAD ELECTRICA (CILINDROS 14 DIAS CON CACTUS)					
No. DE CILINDROS	RESISTENCIA (ohms)	AREA DEL CILINDRO (m ²)	LONGITUD PROMEDIO (m)	RESISTIVIDAD (ohms-m)	RIESGO A LA CORROSIÓN (COMPARATIVO)
1	1100	0.00785	0.20	43.18	ALTO RIESGO
2	1000	0.00785	0.20	39.25	ALTO RIESGO
3	1200	0.00785	0.20	47.10	ALTO RIESGO
4	1100	0.00785	0.20	43.18	ALTO RIESGO
5	1100	0.00785	0.20	43.18	ALTO RIESGO
6	1200	0.00785	0.20	47.10	ALTO RIESGO
7	1100	0.00785	0.20	43.18	ALTO RIESGO
8	1100	0.00785	0.20	43.18	ALTO RIESGO
9	1200	0.00785	0.20	47.10	ALTO RIESGO
10	1100	0.00785	0.20	43.18	ALTO RIESGO
11	1200	0.00785	0.20	47.10	ALTO RIESGO
12	1100	0.00785	0.20	43.18	ALTO RIESGO
13	1200	0.00785	0.20	47.10	ALTO RIESGO
PROMEDIO	1130.77	0.00785	0.20	44.38	ALTO RIESGO



Tabla IV.4. Resistencias medidas y resistividades a 28 días.

RESISTIVIDAD ELECTRICA (CILINDROS 28 DIAS CON CACTUS)					
No. DE CILINDROS	RESISTENCIA (ohms)	AREA DEL CILINDRO (m ²)	LONGITUD PROMEDIO (m)	RESISTIVIDAD (ohms-m)	RIESGO A LA CORROSIÓN (COMPARATIVO)
1	2000	0.00785	0.20	78.50	ALTO RIESGO
2	1200	0.00785	0.20	47.10	ALTO RIESGO
3	1200	0.00785	0.20	47.10	ALTO RIESGO
4	1300	0.00785	0.20	51.03	ALTO RIESGO
5	1200	0.00785	0.20	47.10	ALTO RIESGO
6	1100	0.00785	0.20	43.18	ALTO RIESGO
7	1200	0.00785	0.20	47.10	ALTO RIESGO
8	1200	0.00785	0.20	47.10	ALTO RIESGO
9	1100	0.00785	0.20	43.18	ALTO RIESGO
10	1100	0.00785	0.20	43.18	ALTO RIESGO
11	1100	0.00785	0.20	43.18	ALTO RIESGO
12	1100	0.00785	0.20	43.18	ALTO RIESGO
13	1100	0.00785	0.20	43.18	ALTO RIESGO
PROMEDIO	1223.08	0.00785	0.20	48.01	ALTO RIESGO

Tabla IV.5. Resistencias medidas y resistividades a 40 días.

RESISTIVIDAD ELECTRICA (CILINDROS 40 DIAS CON CACTUS)					
No. DE CILINDROS	RESISTENCIA (ohms)	AREA DEL CILINDRO (m ²)	LONGITUD PROMEDIO (m)	RESISTIVIDAD (ohms-m)	RIESGO A LA CORROSIÓN (COMPARATIVO)
1	1300	0.00785	0.20	51.03	ALTO RIESGO
2	1300	0.00785	0.20	51.03	ALTO RIESGO
3	1250	0.00785	0.20	49.06	ALTO RIESGO
4	1300	0.00785	0.20	51.03	ALTO RIESGO
5	1200	0.00785	0.20	47.10	ALTO RIESGO
6	1200	0.00785	0.20	47.10	ALTO RIESGO
7	1300	0.00785	0.20	51.03	ALTO RIESGO
8	1150	0.00785	0.20	45.14	ALTO RIESGO
9	1200	0.00785	0.20	47.10	ALTO RIESGO
10	1200	0.00785	0.20	47.10	ALTO RIESGO
11	1250	0.00785	0.20	49.06	ALTO RIESGO
12	1200	0.00785	0.20	47.10	ALTO RIESGO
PROMEDIO	1237.50	0.00785	0.20	48.57	ALTO RIESGO



La resistividad es inversamente proporcional al riesgo de corrosión por lo que bajas resistividades implican alto riesgo de corrosión.

IV.1.2 Riesgo a la corrosión en cilindros sin cactus.

En las tablas IV.6, IV.7, IV.8, IV.9 y IV.10 se observa el comportamiento del concreto sin cactus respecto a la resistividad eléctrica, donde, se aprecia un alto riesgo a la corrosión, al igual que en los especímenes que contienen el aditivo de fibra deshidratada de cactus opuntia.

Tabla IV.6. Resistencias medidas y resistividades a 3 días.

RESISTIVIDAD ELECTRICA (CILINDROS 3 DIAS SIN CACTUS)					
No. DE CILINDROS	RESISTENCIA (ohms)	AREA DEL CILINDRO (m ²)	LONGITUD PROMEDIO (m)	RESISTIVIDAD (ohms-m)	RIESGO A LA CORROSIÓN (COMPARATIVO)
1	800	0.00785	0.20	31.40	ALTO RIESGO
2	790	0.00785	0.20	31.01	ALTO RIESGO
3	830	0.00785	0.20	32.58	ALTO RIESGO
4	820	0.00785	0.20	32.19	ALTO RIESGO
5	740	0.00785	0.20	29.05	ALTO RIESGO
PROMEDIO	796.00	0.00785	0.20	31.24	ALTO RIESGO

Tabla IV.7. Resistencias medidas y resistividades a 7 días.

RESISTIVIDAD ELECTRICA (CILINDROS 7 DIAS SIN CACTUS)					
No. DE CILINDROS	RESISTENCIA (ohms)	AREA DEL CILINDRO (m ²)	LONGITUD PROMEDIO (m)	RESISTIVIDAD (ohms-m)	RIESGO A LA CORROSIÓN (COMPARATIVO)
1	1100	0.00785	0.20	43.18	ALTO RIESGO
2	1200	0.00785	0.20	47.10	ALTO RIESGO
3	1100	0.00785	0.20	43.18	ALTO RIESGO
4	1100	0.00785	0.20	43.18	ALTO RIESGO
5	1200	0.00785	0.20	47.10	ALTO RIESGO
6	1100	0.00785	0.20	43.18	ALTO RIESGO
PROMEDIO	1133.33	0.00785	0.20	44.48	ALTO RIESGO



Tabla IV.8. Resistencias medidas y resistividades a 14 días.

RESISTIVIDAD ELECTRICA (CILINDROS 14 DIAS SIN CACTUS)					
No. DE CILINDROS	RESISTENCIA (ohms)	AREA DEL CILINDRO (m ²)	LONGITUD PROMEDIO (m)	RESISTIVIDAD (ohms-m)	RIESGO A LA CORROSIÓN (COMPARATIVO)
1	1500	0.00785	0.20	58.88	ALTO RIESGO
2	1400	0.00785	0.20	54.95	ALTO RIESGO
3	1400	0.00785	0.20	54.95	ALTO RIESGO
4	1500	0.00785	0.20	58.88	ALTO RIESGO
5	1300	0.00785	0.20	51.03	ALTO RIESGO
6	1500	0.00785	0.20	58.88	ALTO RIESGO
PROMEDIO	1433.33	0.00785	0.20	56.26	ALTO RIESGO

Tabla IV.9. Resistencias medidas y resistividades a 28 días.

RESISTIVIDAD ELECTRICA (CILINDROS 28 DIAS SIN CACTUS)					
No. DE CILINDROS	RESISTENCIA (ohms)	AREA DEL CILINDRO (m ²)	LONGITUD PROMEDIO (m)	RESISTIVIDAD (ohms-m)	RIESGO A LA CORROSIÓN (COMPARATIVO)
1	1600	0.00785	0.20	62.80	ALTO RIESGO
2	1800	0.00785	0.20	70.65	ALTO RIESGO
3	1500	0.00785	0.20	58.88	ALTO RIESGO
4	1800	0.00785	0.20	70.65	ALTO RIESGO
5	2000	0.00785	0.20	78.50	ALTO RIESGO
6	1800	0.00785	0.20	70.65	ALTO RIESGO
7	1900	0.00785	0.20	74.58	ALTO RIESGO
PROMEDIO	1771.43	0.00785	0.20	69.53	ALTO RIESGO

Tabla IV.10. Resistencias medidas y resistividades a 40 días.

RESISTIVIDAD ELECTRICA (CILINDROS 40 DIAS SIN CACTUS)					
No. DE CILINDROS	RESISTENCIA (ohms)	AREA DEL CILINDRO (m ²)	LONGITUD PROMEDIO (m)	RESISTIVIDAD (ohms-m)	RIESGO A LA CORROSIÓN (COMPARATIVO)
1	1600	0.00785	0.20	62.80	ALTO RIESGO
2	1400	0.00785	0.20	54.95	ALTO RIESGO
3	1500	0.00785	0.20	58.88	ALTO RIESGO
4	1500	0.00785	0.20	58.88	ALTO RIESGO
PROMEDIO	1500.00	0.00785	0.20	58.88	ALTO RIESGO

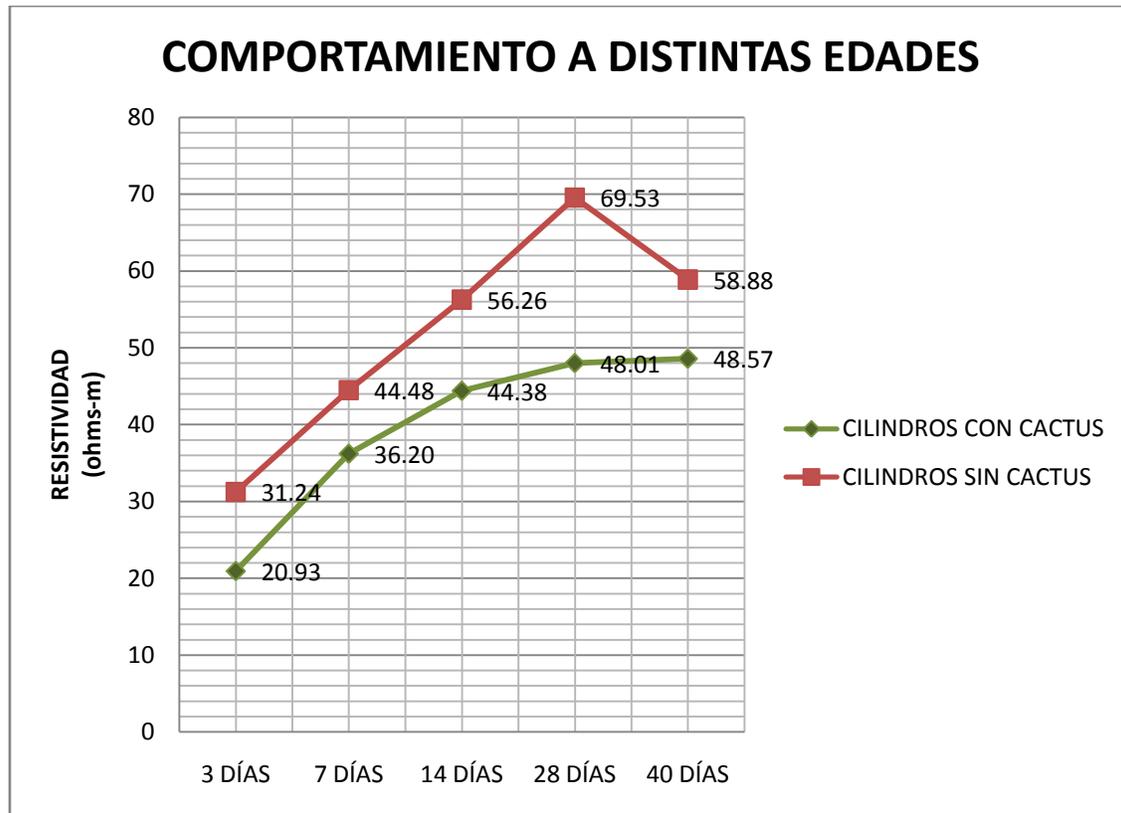


Figura IV.1. Grafica de resistividad a distintas edades del concreto.

En la figura IV.1 se observa que al comparar estos resultado mediante el método grafico se aprecian valores ligeramente mayores para los cilindros sin cactus con respecto a los cilindros con cactus, sin embargo, ambos se encuentran en alto riesgo de corrosión.

IV.2. Calidad del concreto.

Mediante ondas de sonido se determina la calidad del concreto, es decir mediante el tiempo en que tarda en cruzar una onda sonora sobre un elemento de espesor conocido.

IV.2.1. Calidad del concreto en cilindros con cactus.

En las tablas IV.11, IV.12 y VI.13 se observa la clasificación del concreto con la fibra deshidrata de cactus opuntia, a distintas edades de acuerdo a la velocidad del pulso ultrasónico, dando como resultado un concreto BUENO de acuerdo a su porosidad.



Tabla IV.11. Velocidad ultrasónica a 14 días.

VELOCIDAD DE PULSO ULTRASÓNICA (CILINDROS 14 DIAS CON CACTUS)				
No. DE CILINDROS	TIEMPO (μs)	LONGITUD (m)	VELOCIDAD ULTRASÓNICA (m/seg)	CLASIFICACIÓN DEL CONCRETO (COMPARATIVO)
1	47.50	0.20	4210.53	BUENO
2	48.20	0.20	4149.38	BUENO
3	44.90	0.20	4454.34	BUENO
4	48.30	0.20	4140.79	BUENO
5	47.90	0.20	4175.37	BUENO
6	49.00	0.20	4081.63	BUENO
7	51.20	0.20	3906.25	BUENO
8	49.80	0.20	4016.06	BUENO
9	50.20	0.20	3984.06	BUENO
10	47.80	0.20	4184.10	BUENO
11	45.40	0.20	4405.29	BUENO
12	48.90	0.20	4089.98	BUENO
13	50.30	0.20	3976.14	BUENO
PROMEDIO	48.42	0.20	4136.46	BUENO

Tabla IV.12. Velocidad ultrasónica a 28 días.

VELOCIDAD DE PULSO ULTRASÓNICA (CILINDROS 28 DIAS CON CACTUS)				
No. DE CILINDROS	TIEMPO (μs)	LONGITUD (m)	VELOCIDAD ULTRASÓNICA (m/seg)	CLASIFICACIÓN DEL CONCRETO (COMPARATIVO)
1	51.40	0.20	3891.05	BUENO
2	53.10	0.20	3766.48	BUENO
3	52.80	0.20	3787.88	BUENO
4	51.40	0.20	3891.05	BUENO
5	70.10	0.20	2853.07	BUENO
6	52.40	0.20	3816.79	BUENO
7	52.40	0.20	3816.79	BUENO
8	51.80	0.20	3861.00	BUENO
9	53.00	0.20	3773.58	BUENO
10	52.10	0.20	3838.77	BUENO
11	53.60	0.20	3731.34	BUENO
12	52.70	0.20	3795.07	BUENO
13	53.80	0.20	3717.47	BUENO
PROMEDIO	53.89	0.20	3733.87	BUENO



Tabla IV.13. Velocidad ultrasónica a 40 días.

VELOCIDAD DE PULSO ULTRASÓNICA (CILINDROS 40 DIAS CON CACTUS)				
No. DE CILINDROS	TIEMPO (μ s)	LONGITUD (m)	VELOCIDAD ULTRASÓNICA (m/seg)	CLASIFICACIÓN DEL CONCRETO (COMPARATIVO)
1	50.60	0.20	3952.57	BUENO
2	50.10	0.20	3992.02	BUENO
3	50.40	0.20	3968.25	BUENO
4	50.00	0.20	4000.00	BUENO
5	50.30	0.20	3976.14	BUENO
6	50.20	0.20	3984.06	BUENO
7	50.20	0.20	3984.06	BUENO
8	50.30	0.20	3976.14	BUENO
9	50.40	0.20	3968.25	BUENO
10	50.70	0.20	3944.77	BUENO
11	50.50	0.20	3960.40	BUENO
12	50.30	0.20	3976.14	BUENO
PROMEDIO	50.33	0.20	3973.57	BUENO

Al observar los datos se puede ver que la calidad del concreto es buena, sin embargo hay un poco de discordancia entre los resultados de distintas edades.

IV.2.2. Calidad del concreto en cilindros sin cactus.

En las tablas IV.14, IV.15 y IV.16 se observa la clasificación del concreto sin el aditivo de fibra deshidrata de cactus opuntia, a distintas edades de acuerdo a la velocidad del pulso ultrasónico, resultado un concreto BUENO al igual que el concreto con cactus.

Tabla IV.14. Velocidad ultrasónica a 14 días.

VELOCIDAD DE PULSO ULTRASÓNICA (CILINDROS 14 DIAS SIN CACTUS)				
No. DE CILINDROS	TIEMPO (μ s)	LONGITUD (m)	VELOCIDAD ULTRASÓNICA (m/seg)	CLASIFICACIÓN DEL CONCRETO (COMPARATIVO)
1	46.10	0.20	4338.39	BUENO
2	47.20	0.20	4237.29	BUENO
3	48.90	0.20	4089.98	BUENO
4	48.90	0.20	4089.98	BUENO
5	50.40	0.20	3968.25	BUENO
6	49.20	0.20	4065.04	BUENO
PROMEDIO	48.45	0.20	4131.49	BUENO



Tabla IV.15. Velocidad ultrasónica a 28 días.

VELOCIDAD DE PULSO ULTRASÓNICA (CILINDROS 28 DIAS SIN CACTUS)				
No. DE CILINDROS	TIEMPO (μ s)	LONGITUD (m)	VELOCIDAD ULTRASÓNICA (m/seg)	CLASIFICACIÓN DEL CONCRETO (COMPARATIVO)
1	49.70	0.20	4024.14	BUENO
2	49.80	0.20	4016.06	BUENO
3	49.60	0.20	4032.26	BUENO
4	49.20	0.20	4065.04	BUENO
5	49.20	0.20	4065.04	BUENO
6	49.70	0.20	4024.14	BUENO
7	49.20	0.20	4065.04	BUENO
PROMEDIO	49.49	0.20	4041.68	BUENO

Tabla IV.16. Velocidad ultrasónica a 40 días.

VELOCIDAD DE PULSO ULTRASÓNICA (CILINDROS 40 DIAS SIN CACTUS)				
No. DE CILINDROS	TIEMPO (μ s)	LONGITUD (m)	VELOCIDAD ULTRASÓNICA (m/seg)	CLASIFICACIÓN DEL CONCRETO (COMPARATIVO)
1	49.00	0.20	4081.63	BUENO
2	49.10	0.20	4073.32	BUENO
3	49.20	0.20	4065.04	BUENO
4	50.10	0.20	3992.02	BUENO
PROMEDIO	49.35	0.20	4053.00	BUENO

En estos resultados se observa que la calidad del concreto es buena y además su dispersión es muy pequeña, lo cual nos habla de un buen resultado.

En la figura IV.2 al hacer la comparación de estos resultados, se observa que hay mejores características en el concreto sin cactus, esto con respecto a la calidad.

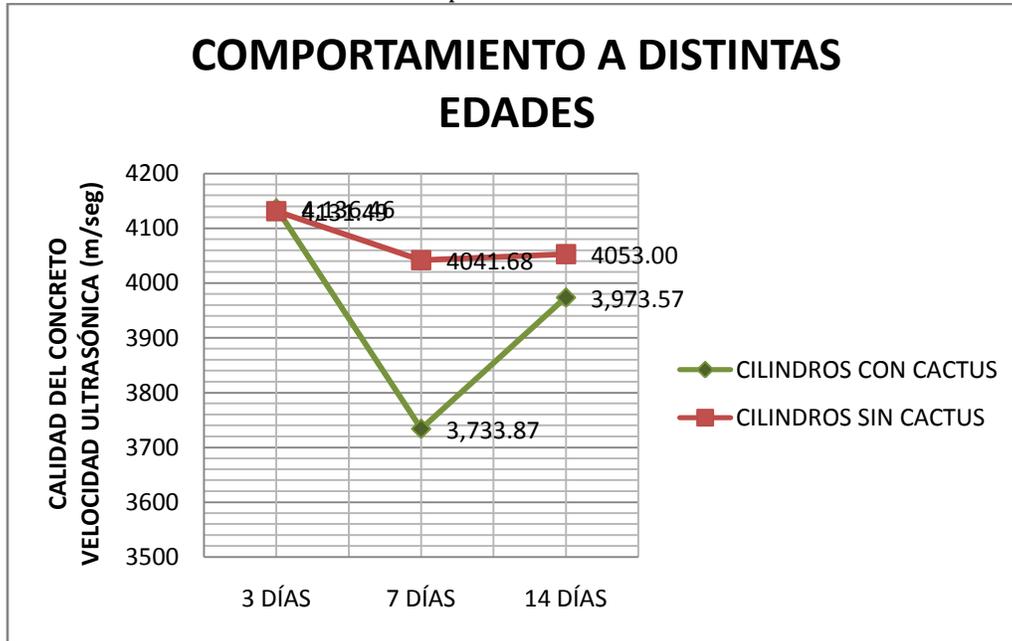


Figura IV.2. Grafica de calidad del concreto en cilindros.

IV.2.3. Calidad del concreto en vigas con cactus.

En las tablas IV.17, IV.18, IV.19, IV.20 y IV.21 se observa la clasificación del concreto con cactus en vigas a diferentes edades.

Tabla IV.17. Velocidad ultrasónica a 7 días.

VELOCIDAD DE PULSO ULTRASÓNICA (VIGAS 7 DIAS CON CACTUS)				
No. DE CILINDROS	TIEMPO (μs)	LONGITUD (m)	VELOCIDAD ULTRASÓNICA (m/seg)	CLASIFICACIÓN DEL CONCRETO (COMPARATIVO)
1	38.70	0.15	3875.97	BUENO
2	38.90	0.15	3856.04	BUENO
3	39.30	0.15	3816.79	BUENO
PROMEDIO	38.97	0.15	3849.60	BUENO

Tabla IV.18. Velocidad ultrasónica a 14 días.

VELOCIDAD DE PULSO ULTRASÓNICA (VIGAS 14 DIAS CON CACTUS)				
No. DE CILINDROS	TIEMPO (μs)	LONGITUD (m)	VELOCIDAD ULTRASÓNICA (m/seg)	CLASIFICACIÓN DEL CONCRETO (COMPARATIVO)
1	41.40	0.15	3623.19	CUESTIONABLE
2	41.90	0.15	3579.95	CUESTIONABLE
3	41.70	0.15	3597.12	CUESTIONABLE
PROMEDIO	41.67	0.15	3600.09	CUESTIONABLE



Tabla IV.19. Velocidad ultrasónica a 21 días.

VELOCIDAD DE PULSO ULTRASÓNICA (VIGAS 21 DIAS CON CACTUS)				
No. DE CILINDROS	TIEMPO (μ s)	LONGITUD (m)	VELOCIDAD ULTRASÓNICA (m/seg)	CLASIFICACIÓN DEL CONCRETO (COMPARATIVO)
1	40.10	0.15	3740.65	BUENO
2	40.30	0.15	3722.08	BUENO
3	40.40	0.15	3712.87	BUENO
PROMEDIO	40.27	0.15	3725.20	BUENO

Tabla IV.20. Velocidad ultrasónica a 28 días.

VELOCIDAD DE PULSO ULTRASÓNICA (VIGAS 28 DIAS CON CACTUS)				
No. DE CILINDROS	TIEMPO (μ s)	LONGITUD (m)	VELOCIDAD ULTRASÓNICA (m/seg)	CLASIFICACIÓN DEL CONCRETO (COMPARATIVO)
1	40.50	0.15	3703.70	BUENO
2	40.40	0.15	3712.87	BUENO
3	40.50	0.15	3703.70	BUENO
PROMEDIO	40.47	0.15	3706.76	BUENO

Tabla IV.21. Velocidad ultrasónica a 40 días.

VELOCIDAD DE PULSO ULTRASÓNICA (VIGAS 40 DIAS CON CACTUS)				
No. DE CILINDROS	TIEMPO (μ s)	LONGITUD (m)	VELOCIDAD ULTRASÓNICA (m/seg)	CLASIFICACIÓN DEL CONCRETO (COMPARATIVO)
1	38.70	0.15	3875.97	BUENO
2	38.80	0.15	3865.98	BUENO
PROMEDIO	38.75	0.15	3870.97	BUENO

Al analizar los resultados se observa como la mayoría de estos cumple con una buena calidad, sin embargo a los 14 días se presenta una ligera diferencia que nos clasifica el concreto como cuestionable.



IV.2.4. Calidad del concreto en vigas sin cactus.

En las tablas IV.17, IV.18, IV.19, IV.20 y IV.21 se observa la clasificación del concreto sin cactus en vigas a diferentes edades, estas, tienen una ligera mejoría comparadas con las vigas con cactus.

Tabla IV.22. Velocidad ultrasónica a 7 días.

VELOCIDAD DE PULSO ULTRASÓNICA (VIGAS 7 DIAS SIN CACTUS)				
No. DE CILINDROS	TIEMPO (μ s)	LONGITUD (m)	VELOCIDAD ULTRASÓNICA (m/seg)	CLASIFICACIÓN DEL CONCRETO (COMPARATIVO)
1	39.20	0.15	3826.53	BUENO
PROMEDIO	39.20	0.15	3826.53	BUENO

Tabla IV.23. Velocidad ultrasónica a 14 días.

VELOCIDAD DE PULSO ULTRASÓNICA (VIGAS 14 DIAS SIN CACTUS)				
No. DE CILINDROS	TIEMPO (μ s)	LONGITUD (m)	VELOCIDAD ULTRASÓNICA (m/seg)	CLASIFICACIÓN DEL CONCRETO (COMPARATIVO)
1	40.10	0.15	3740.65	BUENO
PROMEDIO	40.10	0.15	3740.65	BUENO

Tabla IV.24. Velocidad ultrasónica a 21 días.

VELOCIDAD DE PULSO ULTRASÓNICA (VIGAS 21 DIAS SIN CACTUS)				
No. DE CILINDROS	TIEMPO (μ s)	LONGITUD (m)	VELOCIDAD ULTRASÓNICA (m/seg)	CLASIFICACIÓN DEL CONCRETO (COMPARATIVO)
1	39.50	0.15	3797.47	BUENO
2	40.40	0.15	3712.87	BUENO
PROMEDIO	39.95	0.15	3755.17	BUENO

Tabla IV.25. Velocidad ultrasónica a 28 días.

VELOCIDAD DE PULSO ULTRASÓNICA (VIGAS 28 DIAS SIN CACTUS)				
No. DE CILINDROS	TIEMPO (μ s)	LONGITUD (m)	VELOCIDAD ULTRASÓNICA (m/seg)	CLASIFICACIÓN DEL CONCRETO (COMPARATIVO)
1	39.40	0.15	3807.11	BUENO
2	39.50	0.15	3797.47	BUENO
PROMEDIO	39.45	0.15	3802.29	BUENO



Tabla IV.26. Velocidad ultrasónica a 40 días.

VELOCIDAD DE PULSO ULTRASÓNICA (VIGAS 40 DIAS SIN CACTUS)				
No. DE CILINDROS	TIEMPO (μs)	LONGITUD (m)	VELOCIDAD ULTRASÓNICA (m/seg)	CLASIFICACIÓN DEL CONCRETO (COMPARATIVO)
1	38.20	0.15	3926.70	BUENO
PROMEDIO	38.20	0.15	3926.70	BUENO

Claramente se observa cómo se clasifica el concreto como bueno, manteniendo una discordancia muy pequeña entre sus valores.

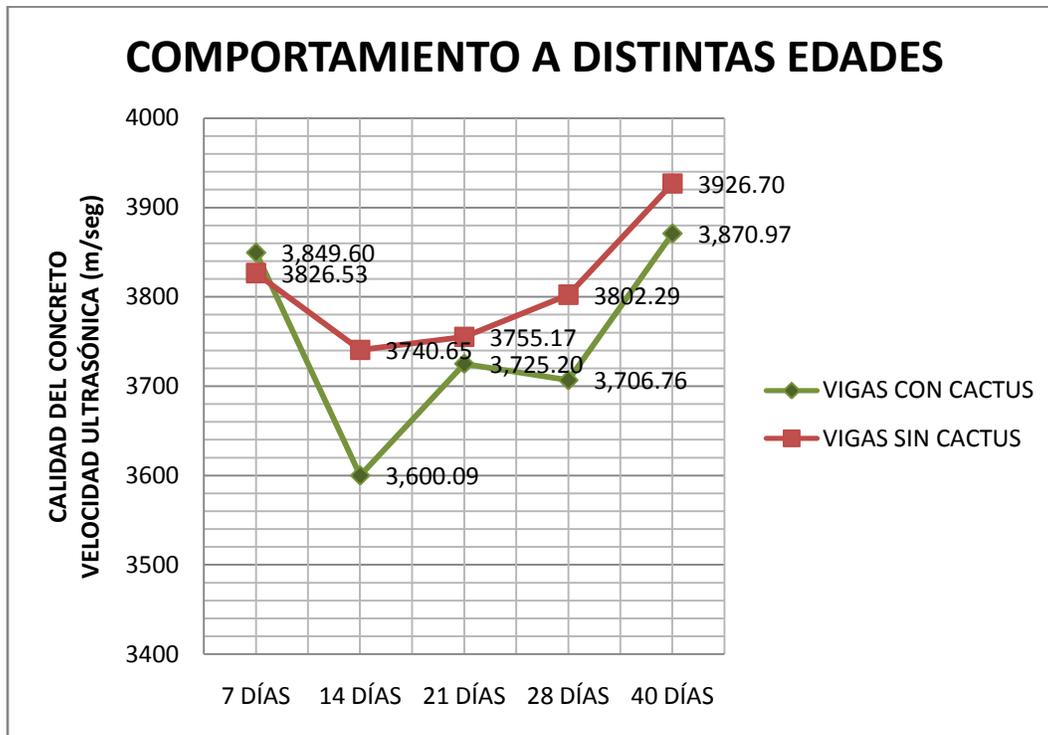


Figura IV.3. Grafica de calidad del concreto en vigas.

En la figura IV.3 se observa que las vigas sin cactus mantienen una ligera ventaja en comparación a las vigas con cactus.

IV.3. Esclerómetro y Esfuerzo de ruptura a compresión simple, f'c.

Para poder observar el comportamiento del concreto se hace una comparativa con la norma NMX-C-083-ONNCE, esto expresado en % de resistencia a la compresión a distintos días. Por medio de esta norma podemos evaluar el comportamiento del concreto al pasar los días de su elaboración, es muy importante poder llevar un control del día en que



se colaron los elementos de concreto, esto para poder determinar las edades de prueba deseadas, entre las edades de prueba más sobresalientes se encuentran las pruebas a 3, 7, 14 y 28 días; al probar un elemento de concreto podremos determinar su resistencia y ésta a su vez se puede comparar con la especificada (Tabla IV.27).

Tabla IV.27. Norma NMX-083-ONNCCE para concreto.

NORMA NMX-C-083-ONNCCE	EDAD EN DÍAS	% DE RESISTENCIA																											
		9	20	31	41	50	58	65	68	71	74	75	77	78	80	82	83	85	87	88	91	92	93	94	95	97	98	100	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	21	22	23	24	25	26	27	28	

IV.3.1. Esclerómetro y Esfuerzo de ruptura a compresión simple, $f'c$, en cilindros con cactus.

Según la norma NMX-C-083-ONNCCE, a 3 días el porcentaje de la resistencia debe de ser superior al 31% (Tabla IV.28).

Tabla IV.28. Resistencia del concreto a la compresión a 3 días.

ESCLERÓMETRO Y PRUEBA A COMPRESIÓN SIMPLE EN CILINDROS (3 DÍAS CON CACTUS)						
No. DE CILINDROS	ÁREA DEL CILINDRO (cm ²)	ESCLERÓMETRO No. DE REBOTES (PROM)	RESISTENCIA APROXIMADA (kg/cm ²)	CARGA DESTRUCTIVA (kg)	RESISTENCIA MÁXIMA (kg/cm ²)	% DE RESISTENCIA
1	78.54	-----	-----	3750	47.75	19.10
2	78.54	-----	-----	3900	49.66	19.86
3	78.54	-----	-----	3550	45.20	18.08
4	78.54	-----	-----	3850	49.02	19.61
5	78.54	-----	-----	3637.5	46.31	18.53
PROMEDIO	78.54	-----	-----	3737.50	47.59	19.03
						NO CUMPLE

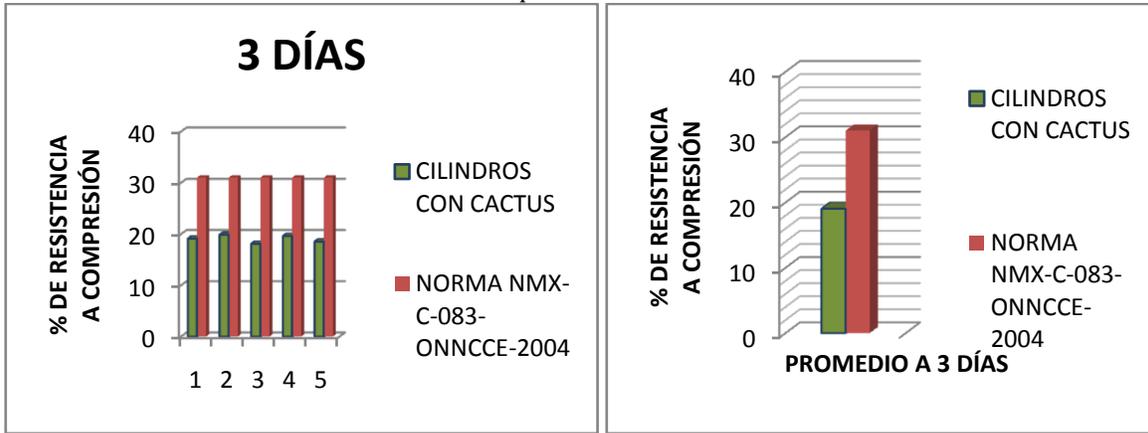


Figura IV.4. Porcentaje de resistencia a 3 días en cilindros de concreto con cactus.

En la figura IV.4 se puede observar que el concreto con fibra de cactus opuntia no cumple con lo especificado en la norma para esta edad.

Según la norma NMX-C-083-ONNCE, a 7 días el porcentaje de la resistencia debe de ser superior al 65% (Tabla IV.29).

Tabla IV.29. Resistencia del concreto a la compresión a 7 días.

ESCLERÓMETRO Y PRUEBA A COMPRESIÓN SIMPLE EN CILINDROS (7 DÍAS CON CACTUS)						
No. DE CILINDROS	ÁREA DEL CILINDRO (cm ²)	ESCLERÓMETRO No. DE REBOTES (PROM)	RESISTENCIA APROXIMADA (kg/cm ²)	CARGA DESTRUCTIVA (kg)	RESISTENCIA MÁXIMA (kg/cm ²)	% DE RESISTENCIA
1	78.54	21	115	8600	109.50	43.80
2	78.54	20	100	7550	96.13	38.45
3	78.54	20	100	6025	76.71	30.69
4	78.54	21	115	7900	100.59	40.23
5	78.54	21	115	7275	92.63	37.05
6	78.54	-----	-----	6850	87.22	34.89
7	78.54	-----	-----	6625	84.35	33.74
8	78.54	-----	-----	8075	102.81	41.13
9	78.54	-----	-----	6725	85.63	34.25
10	78.54	-----	-----	8000	101.86	40.74
PROMEDIO	78.54	20.6	109	7362.5	93.74	37.50
						NO CUMPLE

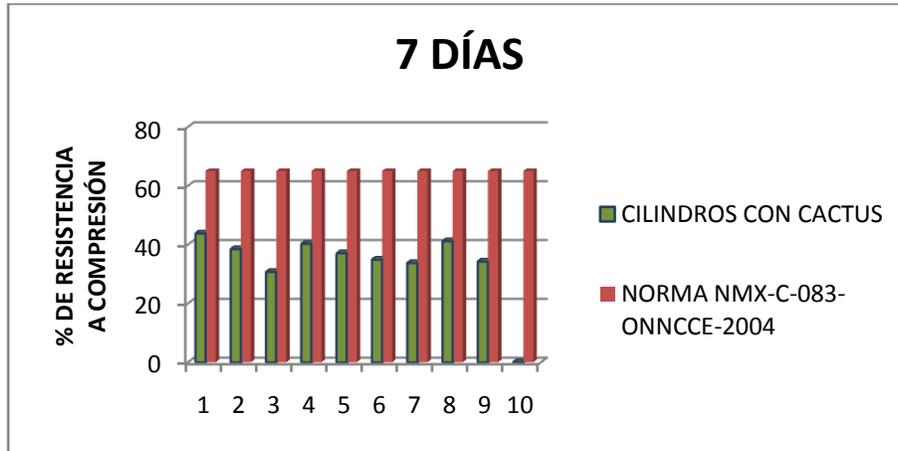


Figura IV.5. Porcentaje de resistencia a 7 días en cilindros con cactus.

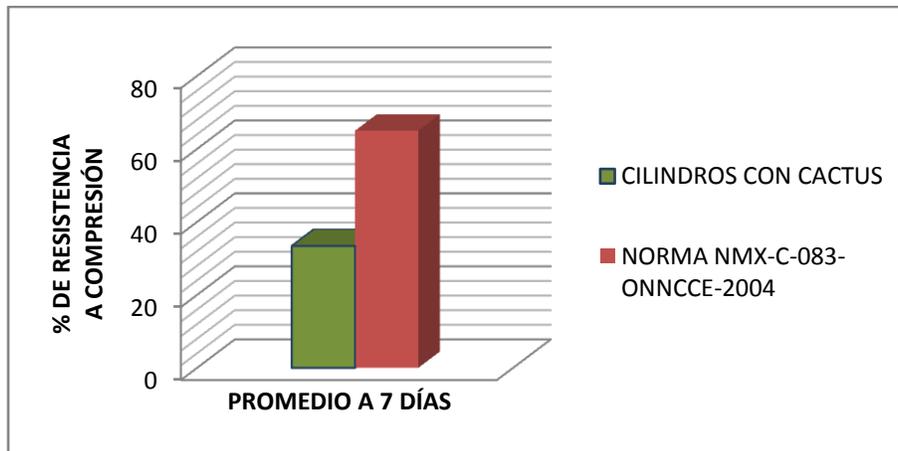


Figura IV.6. Porcentaje promedio a 7 días en cilindros con cactus.

En las figuras IV.6 y IV.7 podemos observar que aún no cumple con la norma, con lo cual se puede comprobar que la fibra deshidratada de cactus opuntia interviene retardando en el fraguado del concreto.

Según la norma NMX-C-083-ONNCE, a 14 días el porcentaje de la resistencia debe de ser superior al 80% (Tabla IV.30).



Tabla IV.30. Resistencia del concreto a la compresión a 14 días.

ESCLERÓMETRO Y PRUEBA A COMPRESIÓN SIMPLE EN CILINDROS (14 DÍAS CON CACTUS)						
No. DE CILINDROS	ÁREA DEL CILINDRO (cm ²)	ESCLERÓMETRO No. DE REBOTES (PROM)	RESISTENCIA APROXIMADA (kg/cm ²)	CARGA DESTRUCTIVA (kg)	RESISTENCIA MÁXIMA (kg/cm ²)	% DE RESISTENCIA
1	78.54	28	212	18700	238.10	95.24
2	78.54	24	155	16800	213.90	85.56
3	78.54	27	198	18500	235.55	94.22
4	78.54	27	198	16700	212.63	85.05
5	78.54	28	212	18400	234.28	93.71
6	78.54	-----	-----	18800	239.37	95.75
7	78.54	-----	-----	18900	240.64	96.26
8	78.54	-----	-----	16300	207.54	83.02
9	78.54	-----	-----	18500	235.55	94.22
10	78.54	-----	-----	16000	203.72	81.49
PROMEDIO	78.54	26.8	195	17760	226.13	90.45

SI CUMPLE

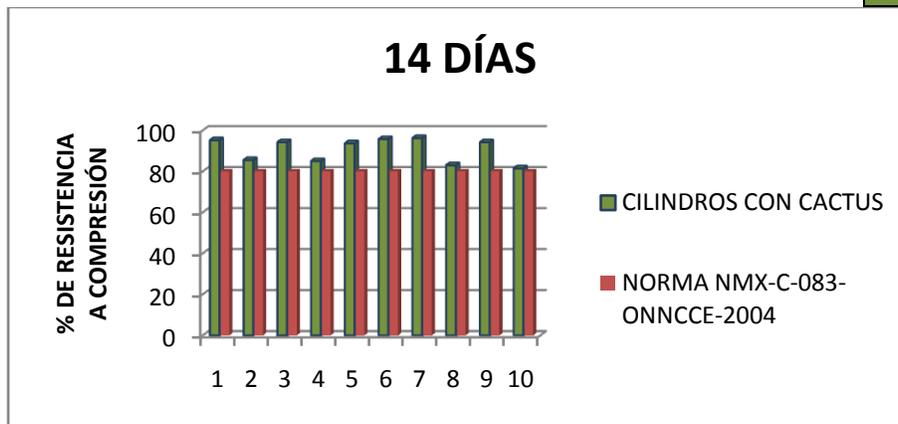


Figura IV.7. Porcentaje de resistencia a 14 días en cilindros con cactus.

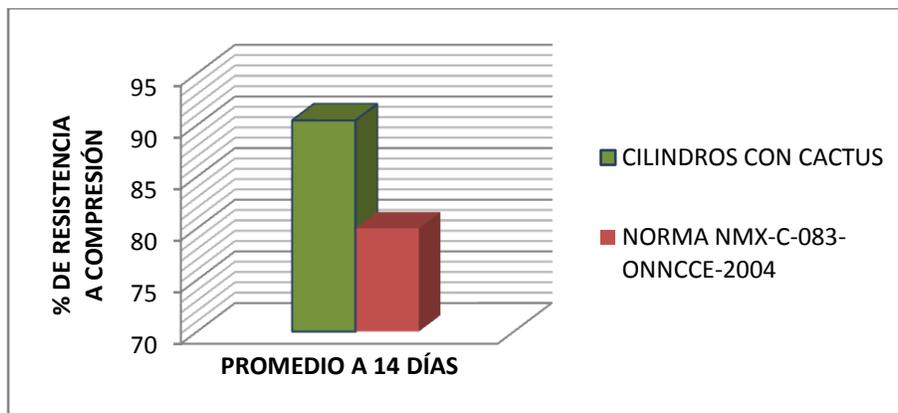


Figura IV.8. Porcentaje promedio en cilindros con cactus.



En las figuras IV.7 y IV.8 se observa que a los 14 días de edad el concreto cumple satisfactoriamente con lo señalado en la norma NMX-C-083-ONNCCE.

Según la norma NMX-C-083-ONNCE, a 28 días el porcentaje de la resistencia debe de ser superior al 100%, es decir, que los especímenes cumplan con la resistencia de proyecto (Tabla IV.31).

Tabla IV.31. Resistencia del concreto a la compresión a 28 días.

ESCLERÓMETRO Y PRUEBA A COMPRESIÓN SIMPLE EN CILINDROS (28 DÍAS CON CACTUS)						
No. DE CILINDROS	ÁREA DEL CILINDRO (cm ²)	ESCLERÓMETRO No. DE REBOTES (PROM)	RESISTENCIA APROXIMADA (kg/cm ²)	CARGA DESTRUCTIVA (kg)	RESISTENCIA MÁXIMA (kg/cm ²)	% DE RESISTENCIA
1	78.54	30	242	20800	264.83	105.93
2	78.54	33	293	22000	280.11	112.04
3	78.54	29	225	20400	259.74	103.90
4	78.54	32	278	22950	292.21	116.88
5	78.54	30	242	20200	257.19	102.88
6	78.54	-----	-----	23000	292.84	117.14
7	78.54	-----	-----	20400	259.74	103.90
8	78.54	-----	-----	20800	264.83	105.93
9	78.54	-----	-----	19800	252.10	100.84
10	78.54	-----	-----	20500	261.01	104.41
PROMEDIO	78.54	30.8	256	21085	268.46	107.38
						SI CUMPLE

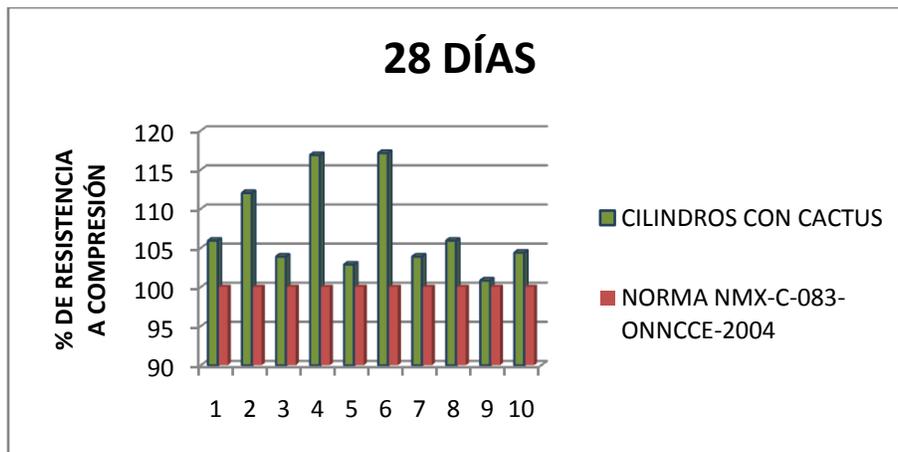


Figura IV.9. Porcentaje de resistencia a 28 días en cilindros con cactus.

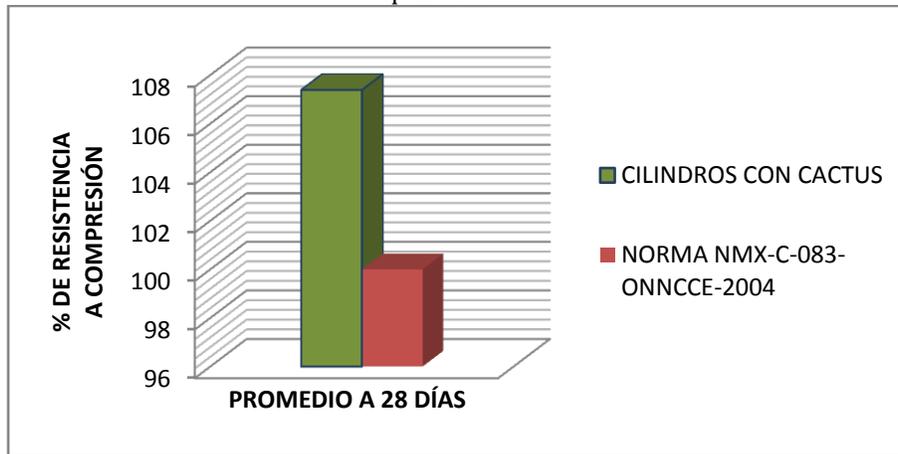


Figura IV.10. Porcentaje promedio en cilindros con cactus.

En las figuras IV.9 y IV.10 se observa el gran incremento que presentan estos especímenes con respecto a lo especificado a los 28 días.

La norma solamente especifica hasta la edad de 28 días. Sin embargo, también se hace mención de resultados a la edad de 40 días (Tabla IV.32).

Tabla IV.32. Resistencia del concreto a la compresión a 40 días.

ESCLERÓMETRO Y PRUEBA A COMPRESIÓN SIMPLE EN CILINDROS (40 DÍAS CON CACTUS)						
No. DE CILINDROS	ÁREA DEL CILINDRO (cm ²)	ESCLERÓMETRO No. DE REBOTES (PROM)	RESISTENCIA APROXIMADA (kg/cm ²)	CARGA DESTRUCTIVA (kg)	RESISTENCIA MÁXIMA (kg/cm ²)	% DE RESISTENCIA
1	78.54	33	293	26000	331.04	132.42
2	78.54	32	278	25000	318.31	127.32
3	78.54	32	278	24200	308.12	123.25
4	78.54	34	307	24600	313.22	125.29
5	78.54	-----	-----	26600	338.68	135.47
6	78.54	-----	-----	25600	325.95	130.38
7	78.54	-----	-----	23600	300.48	120.19
8	78.54	-----	-----	25000	318.31	127.32
PROMEDIO	78.54	32.75	289	25075	319.26	127.71
						SI CUMPLE

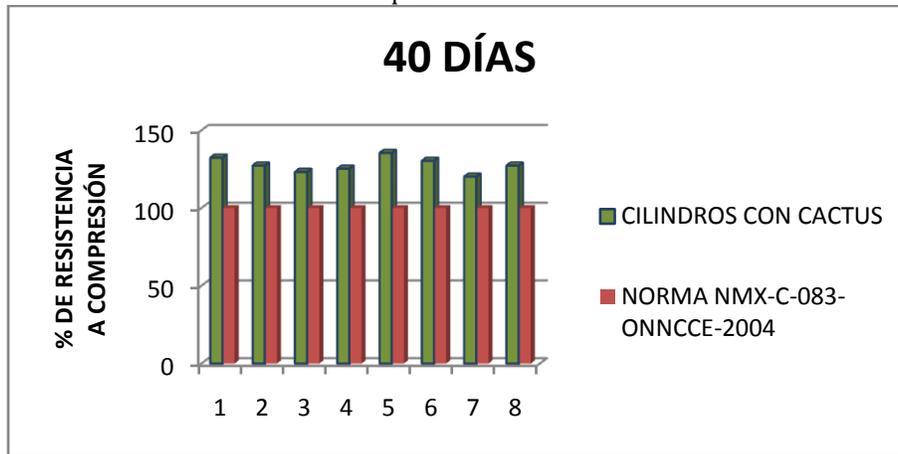


Figura IV.11. Porcentaje de resistencia a 40 días en cilindros con cactus.

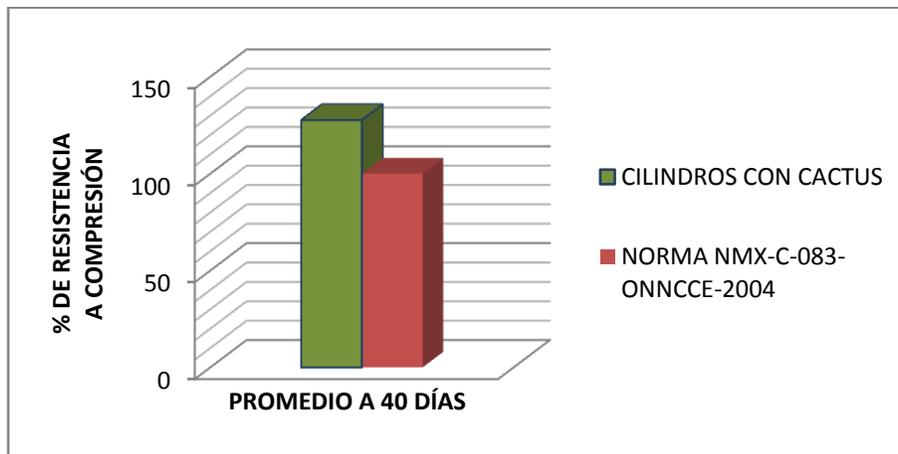


Figura IV.12. Porcentaje promedio en cilindros con cactus.

En las figuras IV.11 y IV.12 se observa el comportamiento del concreto a la resistencia a compresión a los 40 días, donde se puede dar cuenta que sigue aumentando su resistencia conforme pasan los días.

En la figura IV.13 se puede observar de manera resumida, cómo es el comportamiento del concreto con aditivo de fibra deshidratada de cactus con respecto a la norma. Se observa como a edades tempranas el concreto con cactus no presenta buenos resultados, pero al aumentar su edad comienza a incrementar su resistencia de manera sorprendente, lo cual es muy importante para la construcción.

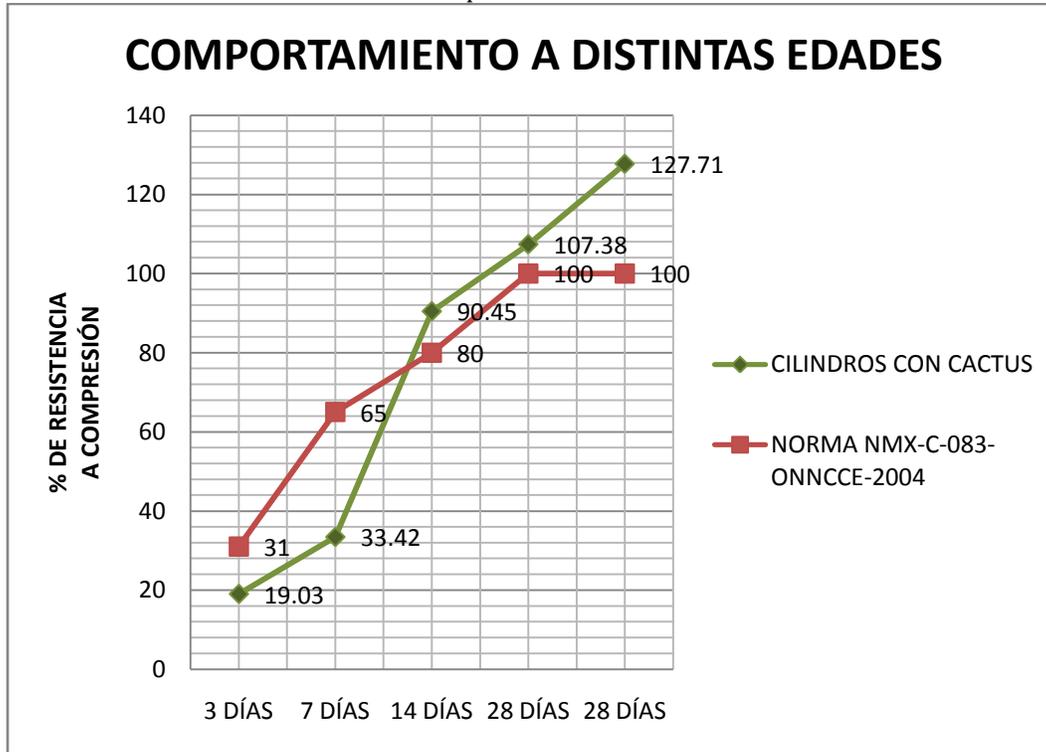


Figura IV.13. Grafica del comportamiento de la resistencia del concreto.

IV.3.2 Esclerómetro y Esfuerzo de ruptura a compresión simple, f'_c en cilindros sin cactus.

Según la norma NMX-C-083-ONNCE, a 3 días el porcentaje de la resistencia debe de ser superior al 31% (Tabla IV.33).

Tabla IV.33. Resistencia del concreto a la compresión a 3 días.

ESCLERÓMETRO Y PRUEBA A COMPRESIÓN SIMPLE EN CILINDROS (3 DÍAS SIN CACTUS)						
No. DE CILINDROS	ÁREA DEL CILINDRO (cm ²)	ESCLERÓMETRO No. DE REBOTES (PROM)	RESISTENCIA APROXIMADA (kg/cm ²)	CARGA DESTRUCTIVA (kg)	RESISTENCIA MÁXIMA (kg/cm ²)	% DE RESISTENCIA
1	78.54	-----	-----	6725	85.63	34.25
2	78.54	-----	-----	6500	82.76	33.10
3	78.54	-----	-----	6025	76.71	30.69
PROMEDIO	78.54	-----	-----	6416.67	81.70	32.68
						SI CUMPLE

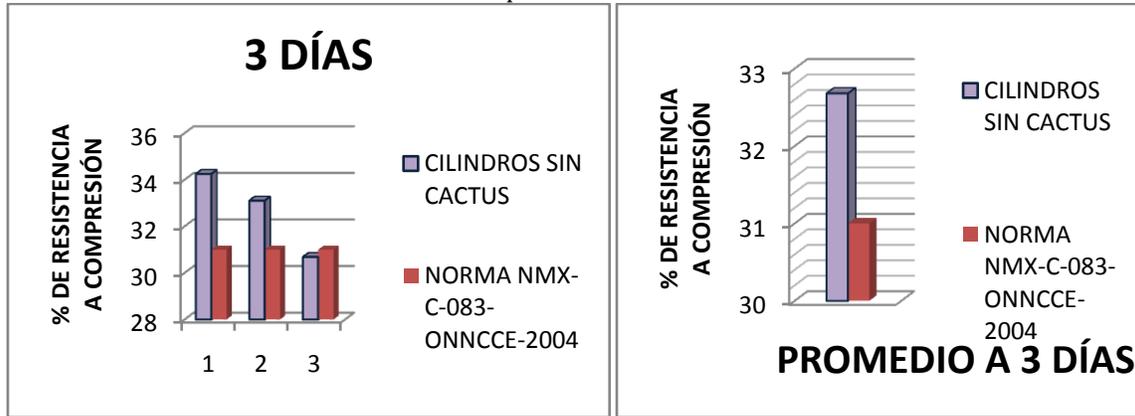


Figura IV.14. Porcentaje de resistencia a 3 días en cilindros sin cactus.

En la figura IV.14 se observa que a esta primera edad, el concreto sin cactus cumple bastante bien con respecto a lo especificado.

Según la norma NMX-C-083-ONNCE, a 7 días el porcentaje de la resistencia debe de ser superior al 65% (Tabla IV.34).

Tabla IV.34. Resistencia del concreto a la compresión a 7 días.

ESCLERÓMETRO Y PRUEBA A COMPRESIÓN SIMPLE EN CILINDROS (7 DÍAS SIN CACTUS)						
No. DE CILINDROS	ÁREA DEL CILINDRO (cm ²)	ESCLERÓMETRO No. DE REBOTES (PROM)	RESISTENCIA APROXIMADA (kg/cm ²)	CARGA DESTRUCTIVA (kg)	RESISTENCIA MÁXIMA (kg/cm ²)	% DE RESISTENCIA
1	78.54	23	140	11750	149.61	59.84
2	78.54	25	168	11800	150.24	60.10
3	78.54	-----	-----	11850	150.88	60.35
4	78.54	-----	-----	12400	157.88	63.15
PROMEDIO	78.54	24	154	11950	152.15	60.86
NO CUMPLE						

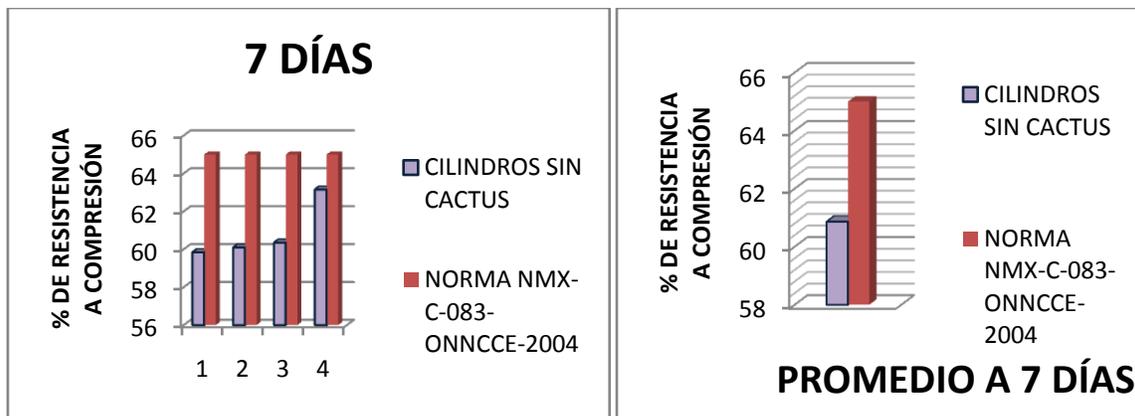


Figura IV.15. Porcentaje de resistencia a 7 días en cilindros sin cactus.



En la figura IV.15 se tiene que a los 7 días hubo un comportamiento extraño, ya que no cumplió con lo especificado en la norma NMX-C-083-ONNCE, como era de esperarse.

Según la norma NMX-C-083-ONNCE, a 14 días el porcentaje de la resistencia debe de ser superior al 80% (Tabla IV.35).

Tabla IV.35. Resistencia del concreto a la compresión a 14 días.

ESCLERÓMETRO Y PRUEBA A COMPRESIÓN SIMPLE EN CILINDROS (14 DÍAS SIN CACTUS)						
No. DE CILINDROS	ÁREA DEL CILINDRO (cm ²)	ESCLERÓMETRO No. DE REBOTES (PROM)	RESISTENCIA APROXIMADA (kg/cm ²)	CARGA DESTRUCTIVA (kg)	RESISTENCIA MÁXIMA (kg/cm ²)	% DE RESISTENCIA
1	78.54	26	180	15000	190.99	76.39
2	78.54	28	212	18600	236.82	94.73
3	78.54	-----	-----	16175	205.95	82.38
4	78.54	-----	-----	17400	221.54	88.62
PROMEDIO	78.54	27	196	16793.75	213.82	85.53
						SI CUMPLE

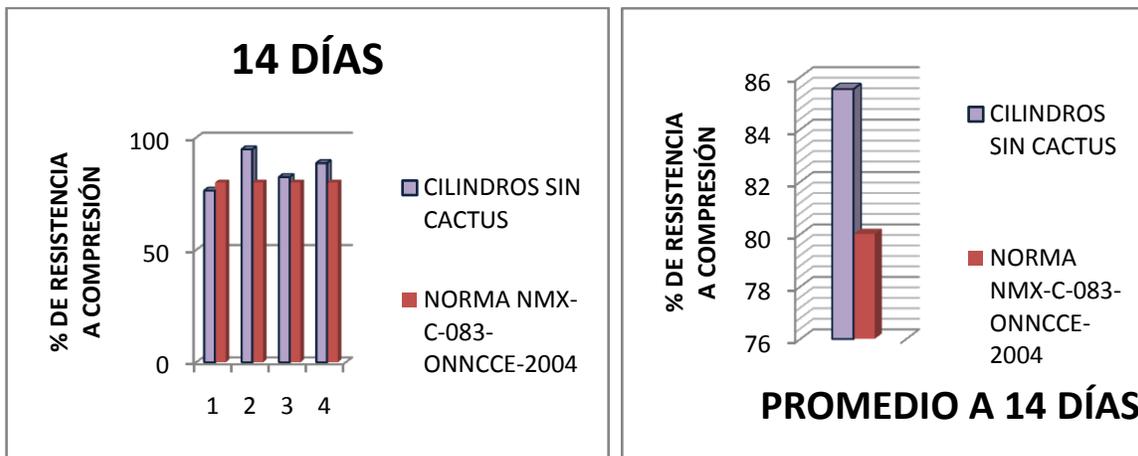


Figura IV.16. Porcentaje de resistencia a 14 días en cilindros sin cactus.

En la figura IV.16 se vuelve a observar como es que el espécimen de concreto sin cactus cumple con lo especificado.

Según la norma NMX-C-083-ONNCE, a 28 días el porcentaje de la resistencia debe de ser superior al 100% (Tabla IV.36).



Tabla IV.36. Resistencia del concreto a la compresión a 28 días.

ESCLERÓMETRO Y PRUEBA A COMPRESIÓN SIMPLE EN CILINDROS (28 DÍAS SIN CACTUS)						
No. DE CILINDROS	ÁREA DEL CILINDRO (cm ²)	ESCLERÓMETRO No. DE REBOTES (PROM)	RESISTENCIA APROXIMADA (kg/cm ²)	CARGA DESTRUCTIVA (kg)	RESISTENCIA MÁXIMA (kg/cm ²)	% DE RESISTENCIA
1	78.54	29	225	19000	241.91	96.77
2	78.54	30	242	18200	231.73	92.69
3	78.54	31	260	19800	252.10	100.84
4	78.54	-----	-----	18400	234.28	93.71
5	78.54	-----	-----	18800	239.37	95.75
PROMEDIO	78.54	30	242.33	18840	239.88	95.95
NO CUMPLE						

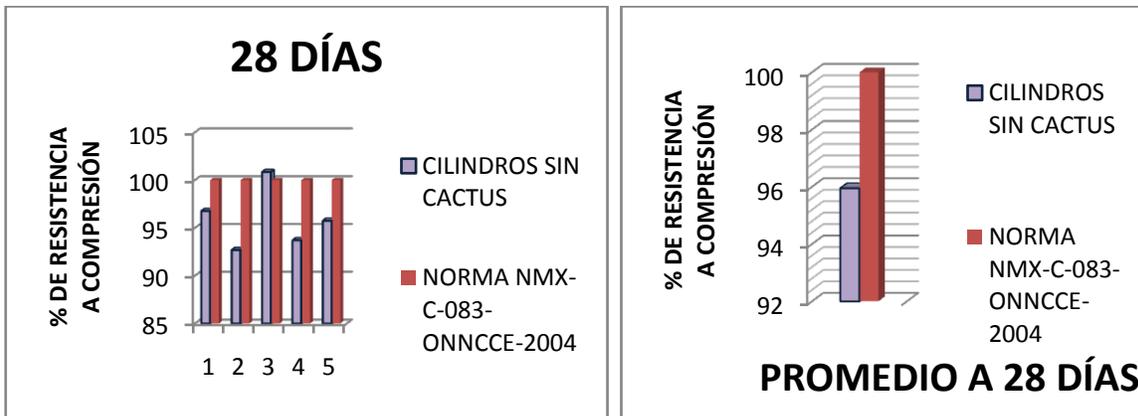


Figura IV.17. Porcentaje de resistencia a 28 días en cilindros sin cactus.

En la figura IV.17 se observa que el concreto sin cactus no cumple con las especificaciones de la norma a los 28 días.

La norma solamente especifica hasta la edad de 28 días. Sin embargo, también se hace mención de resultados a la edad de 40 días (Tabla IV.37).

Tabla IV.37. Resistencia del concreto a la compresión a 40 días.

ESCLERÓMETRO Y PRUEBA A COMPRESIÓN SIMPLE EN CILINDROS (40 DÍAS SIN CACTUS)						
No. DE CILINDROS	ÁREA DEL CILINDRO (cm ²)	ESCLERÓMETRO No. DE REBOTES (PROM)	RESISTENCIA APROXIMADA (kg/cm ²)	CARGA DESTRUCTIVA (kg)	RESISTENCIA MÁXIMA (kg/cm ²)	% DE RESISTENCIA
1	78.54	-----	-----	20600	262.29	104.91
2	78.54	-----	-----	21200	269.93	107.97
3	78.54	-----	-----	20700	263.56	105.42
PROMEDIO	78.54	-----	-----	20833.33	265.26	106.10
SI CUMPLE						

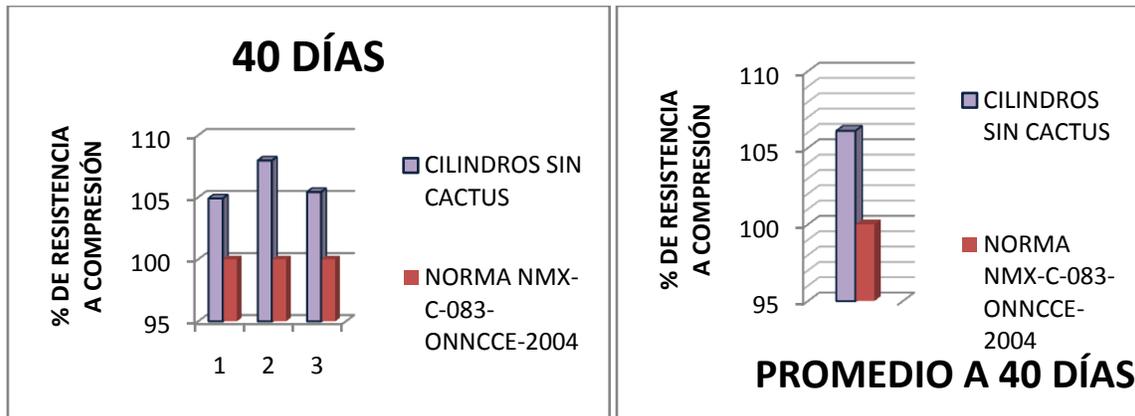


Figura IV.18. Porcentaje de resistencia a 40 días en cilindros sin cactus.

Como se observa en la figura IV.18 a los 40 días el comportamiento de estos especímenes es satisfactorio.

En la figura IV.19 se puede observar como es el comportamiento del concreto sin aditivo, con respecto a la norma.

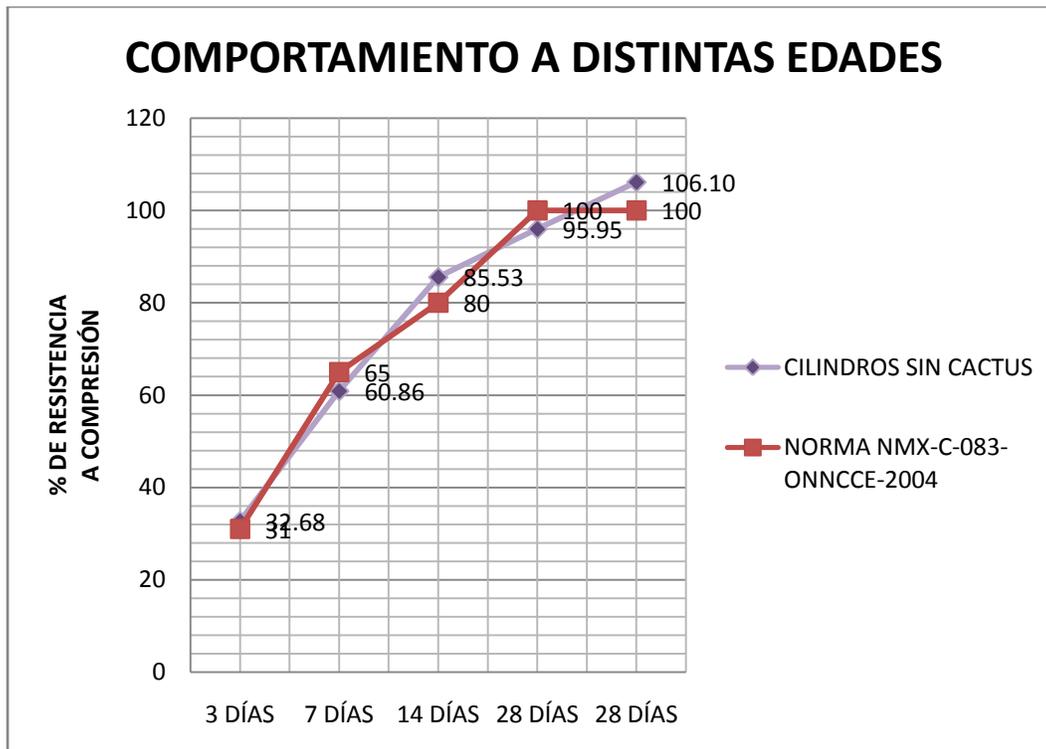


Figura IV.19. Grafica del comportamiento de la resistencia del concreto.



En la figura IV.20 se hace una comparativa entre los cilindros con, y sin aditivo.

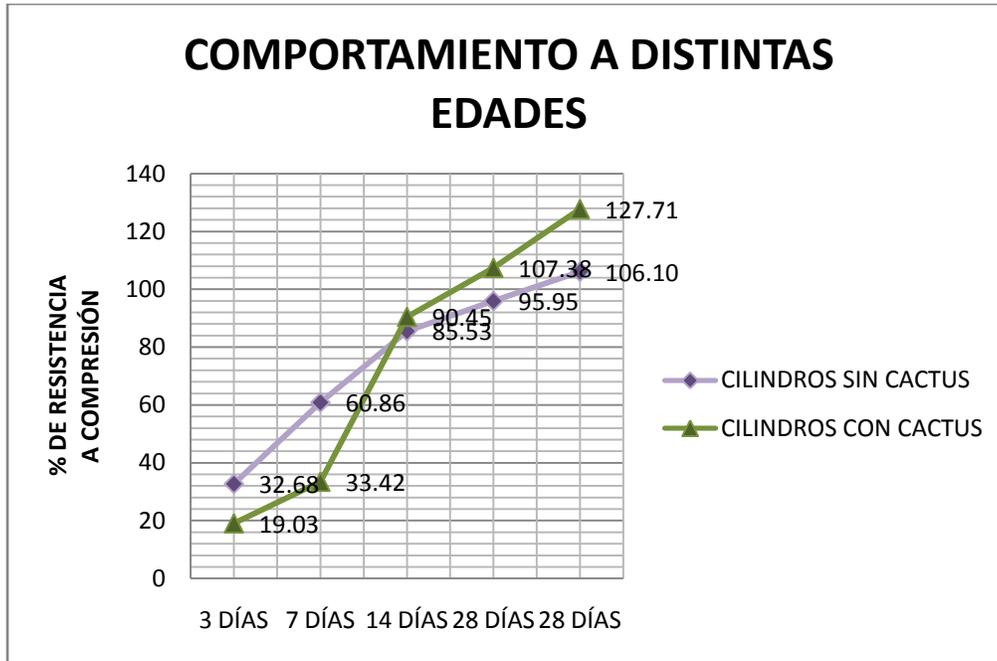


Figura IV.20. Grafica de comparación de resistencia entre cilindros con cactus y sin cactus.

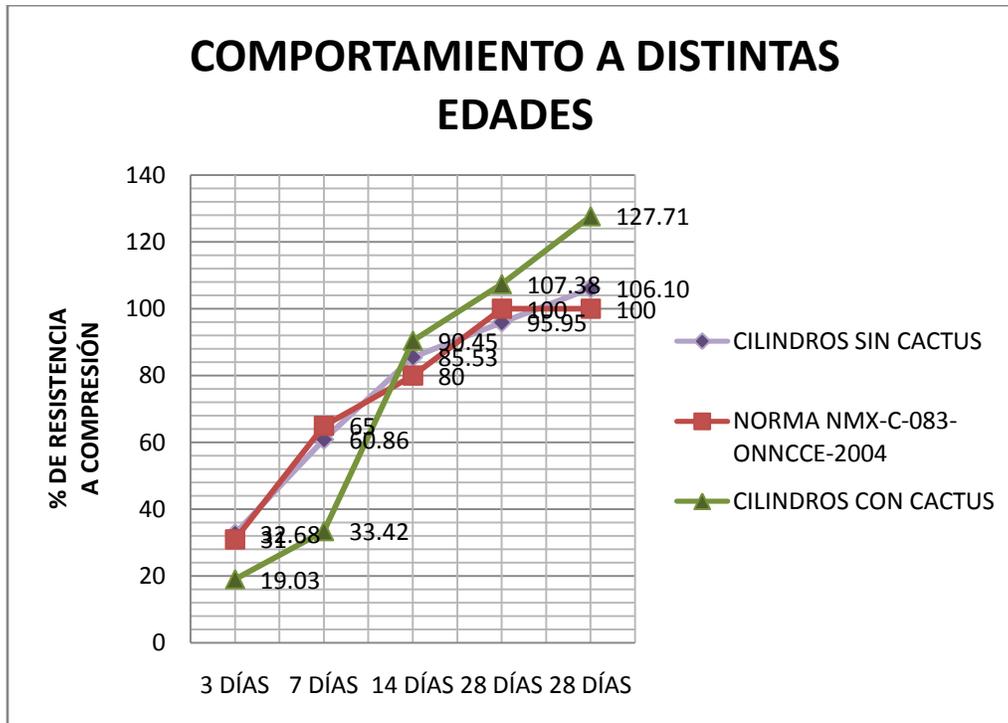


Figura IV.21. Grafica de promedios de resistencia entre concretos con cactus y sin cactus respecto a la Norma NMX-C-083-ONNCCE-2004.



En la figura IV.21 se puede ver claramente cómo se comportan los concretos con cactus y sin cactus con respecto a la Norma NMX-C-083-ONNCCE-2004. Se observa que el concreto sin fibra deshidratada tiende a cumplir lo especificado en la norma mientras que el concreto con aditivo de fibra deshidratada de cactus a edades tempranas no cumple con lo especificado sino hasta después de los 14 días de su elaboración, incrementándose esta resistencia al pasar el tiempo. Cabe señalar que a los 28 días de prueba, el incremento del concreto con fibra deshidratada de cactus es superior al concreto sin aditivo, en un 11.43% con lo cual se verifica que la fibra de cactus opuntia es recomendable en la construcción de elementos de concreto ya que incrementa la resistencia satisfactoriamente.

IV.4. Esfuerzo de ruptura a la tensión indirecta en cilindros de concreto.

Esta resistencia nos ayuda a determinar cómo falla el concreto, es decir, si falla en conjunto (falla de matriz) o, si en dado caso falla el agregado o el cemento.

IV.4.1. Esfuerzo de ruptura a la tensión indirecta en cilindros con cactus.

En las tablas IV.38, IV.39, IV.40, IV.41 y IV.42 se presentan los datos y resistencias determinadas por la prueba de tensión indirecta, esta prueba se realizó a 3, 7, 14, 28 y 40 días. Esto para ver cómo se comporta el concreto con aditivo al someterlo a carga longitudinal.

Tabla IV.38. Resistencia del concreto a la tensión a 3 días.

PRUEBA A TENSIÓN INDIRECTA EN CILINDROS (3 DÍAS CON CACTUS)					
No. DE CILINDROS	DIAMETRO PROMEDIO (cm)	LONGITUD PROMEDIO (cm)	π (PI)	CARGA DESTRUCTIVA (kg)	RESISTENCIA MÁXIMA (kg/cm ²)
1	10	20	3.1416	1750	5.57
2	10	20	3.1416	1650	5.25
3	10	20	3.1416	1787.5	5.69
PROMEDIO	10	20	3.14	1729.17	5.50

Tabla IV.39. Resistencia del concreto a la tensión a 7 días.

PRUEBA A TENSIÓN INDIRECTA EN CILINDROS (7 DÍAS CON CACTUS)					
No. DE CILINDROS	DIAMETRO PROMEDIO (cm)	LONGITUD PROMEDIO (cm)	π (PI)	CARGA DESTRUCTIVA (kg)	RESISTENCIA MÁXIMA (kg/cm ²)
1	10	20	3.1416	3650	11.62
2	10	20	3.1416	4200	13.37
3	10	20	3.1416	4750	15.12
PROMEDIO	10	20	3.1416	4200	13.37



Tabla IV.40. Resistencia del concreto a la tensión a 14 días.

PRUEBA A TENSIÓN INDIRECTA EN CILINDROS (14 DÍAS CON CACTUS)					
No. DE CILINDROS	DIAMETRO PROMEDIO (cm)	LONGITUD PROMEDIO (cm)	π (PI)	CARGA DESTRUCTIVA (kg)	RESISTENCIA MÁXIMA (kg/cm ²)
1	10	20	3.1416	6000	19.10
2	10	20	3.1416	5350	17.03
3	10	20	3.1416	5850	18.62
PROMEDIO	10	20	3.1416	5733.33	18.25

Tabla IV.41. Resistencia del concreto a la tensión a 28 días.

PRUEBA A TENSIÓN INDIRECTA EN CILINDROS (28 DÍAS CON CACTUS)					
No. DE CILINDROS	DIAMETRO PROMEDIO (cm)	LONGITUD PROMEDIO (cm)	π (PI)	CARGA DESTRUCTIVA (kg)	RESISTENCIA MÁXIMA (kg/cm ²)
1	10	20	3.1416	8800	28.01
2	10	20	3.1416	9000	28.65
3	10	20	3.1416	7600	24.19
PROMEDIO	10	20	3.1416	8466.67	26.95

Tabla IV.42. Resistencia del concreto a la tensión a 40 días.

PRUEBA A TENSIÓN INDIRECTA EN CILINDROS (40 DÍAS CON CACTUS)					
No. DE CILINDROS	DIAMETRO PROMEDIO (cm)	LONGITUD PROMEDIO (cm)	π (PI)	CARGA DESTRUCTIVA (kg)	RESISTENCIA MÁXIMA (kg/cm ²)
1	10	20	3.1416	8800	28.01
2	10	20	3.1416	9600	30.56
3	10	20	3.1416	8800	28.01
4	10	20	3.1416	8200	26.10
PROMEDIO	10	20	3.1416	8850	28.17



En la figura IV.22 se observa el incremento de la resistencia a distintos días de prueba.

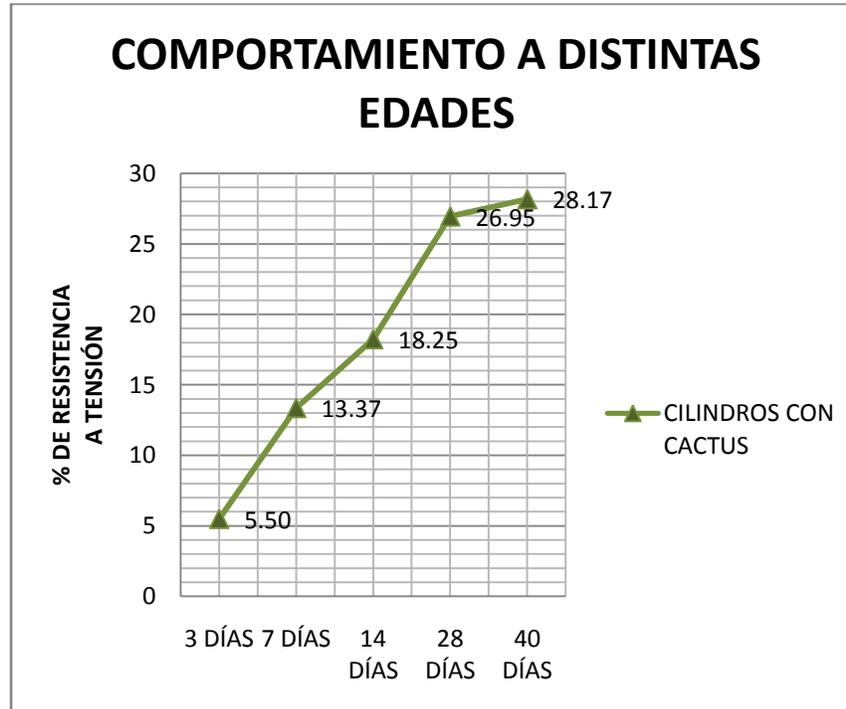


Figura IV.22. Resistencia a la tensión a distintas edades en concreto con cactus.

IV.4.2. Esfuerzo de ruptura a la tensión indirecta en cilindros sin cactus.

En las tablas IV.43, IV.44, IV.45, IV.46 y IV.47 se presentan los datos y resistencias determinadas por la prueba de tensión indirecta, esta prueba se realizó a 3, 7, 14, 28 y 40 días. Esto para ver cómo se comporta el concreto sin aditivo al someterlo a carga longitudinal.

Tabla IV.43. Resistencia del concreto a la tensión a 3 días.

PRUEBA A TENSIÓN INDIRECTA EN CILINDROS (3 DÍAS SIN CACTUS)					
No. DE CILINDROS	DIAMETRO PROMEDIO (cm)	LONGITUD PROMEDIO (cm)	π (PI)	CARGA DESTRUCTIVA (kg)	RESISTENCIA MÁXIMA (kg/cm^2)
1	10	20	3.1416	3812.5	12.14
2	10	20	3.1416	3500	11.14
PROMEDIO	10	20	3.1416	3656.25	11.64



Tabla IV.44. Resistencia del concreto a la tensión a 7 días.

PRUEBA A TENSIÓN INDIRECTA EN CILINDROS (7 DÍAS SIN CACTUS)					
No. DE CILINDROS	DIAMETRO PROMEDIO (cm)	LONGITUD PROMEDIO (cm)	π (PI)	CARGA DESTRUCTIVA (kg)	RESISTENCIA MÁXIMA (kg/cm ²)
1	10	20	3.1416	4550	14.48
2	10	20	3.1416	4500	14.32
PROMEDIO	10	20	3.1416	4525	14.40

Tabla IV.45. Resistencia del concreto a la tensión a 14 días.

PRUEBA A TENSIÓN INDIRECTA EN CILINDROS (14 DÍAS SIN CACTUS)					
No. DE CILINDROS	DIAMETRO PROMEDIO (cm)	LONGITUD PROMEDIO (cm)	π (PI)	CARGA DESTRUCTIVA (kg)	RESISTENCIA MÁXIMA (kg/cm ²)
1	10	20	3.1416	6125	19.50
2	10	20	3.1416	7325	23.32
PROMEDIO	10	20	3.1416	6725	21.41

Tabla IV.46. Resistencia del concreto a la tensión a 28 días.

PRUEBA A TENSIÓN INDIRECTA EN CILINDROS (28 DÍAS SIN CACTUS)					
No. DE CILINDROS	DIAMETRO PROMEDIO (cm)	LONGITUD PROMEDIO (cm)	π (PI)	CARGA DESTRUCTIVA (kg)	RESISTENCIA MÁXIMA (kg/cm ²)
1	10	20	3.1416	8600	27.37
2	10	20	3.1416	8700	27.69
PROMEDIO	10	20	3.1416	8650	27.53

Tabla IV.47. Resistencia del concreto a la tensión a 40 días.

PRUEBA A TENSIÓN INDIRECTA EN CILINDROS (40 DÍAS SIN CACTUS)					
No. DE CILINDROS	DIAMETRO PROMEDIO (cm)	LONGITUD PROMEDIO (cm)	π (PI)	CARGA DESTRUCTIVA (kg)	RESISTENCIA MÁXIMA (kg/cm ²)
1	10	20	3.1416	8600	27.37
PROMEDIO	10	20	3.1416	8600	27.37

En la figura IV.23 se muestra el comportamiento del concreto sin aditivo, a distintas edades de prueba.

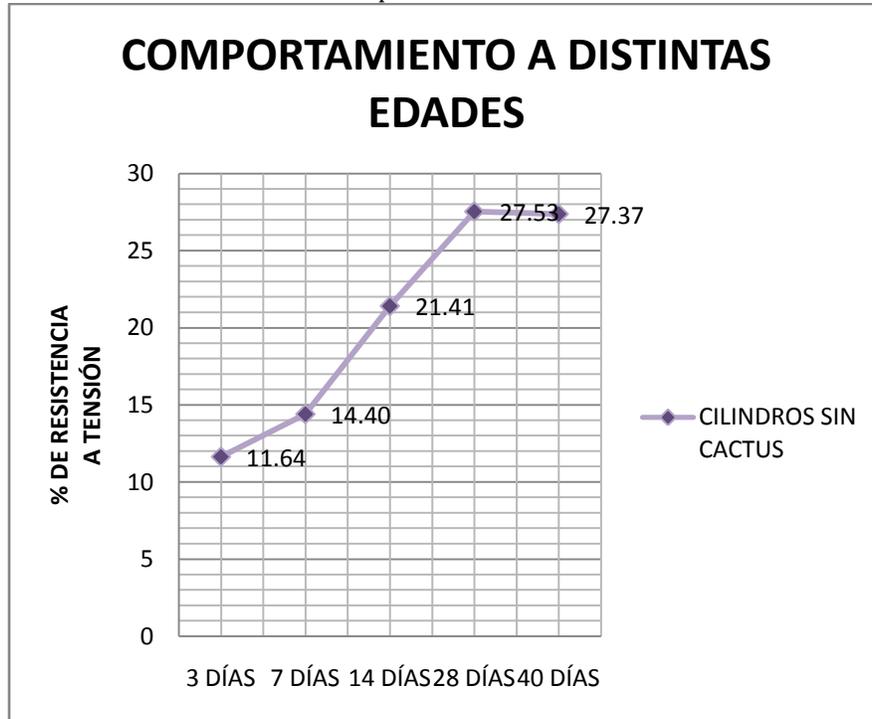


Figura IV.23. Resistencia a la tensión a distintas edades en concreto sin cactus.

En la figura IV.24 se presenta una gráfica que resume las dos anteriores, esto y con motivo de ver y comparar los resultados obtenidos de ambas mezclas, a distintas edades.

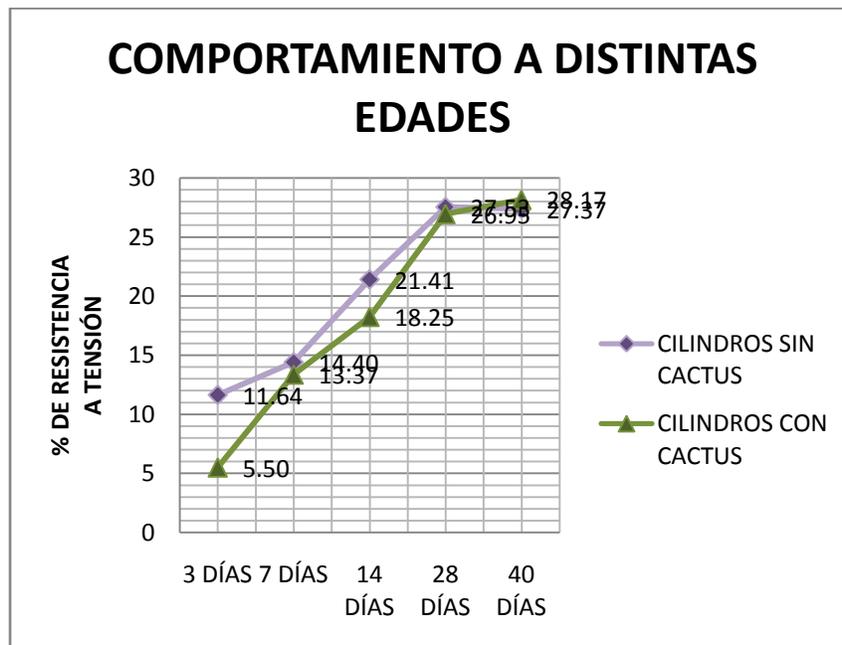


Figura IV.24. Grafica de comparación de resistencia entre cilindros con cactus y sin cactus.



Al comparar estos valores se observa que a 28 y 40 días son muy similares sus resistencias. Sin embargo a la edad de 40 días es mayor la resistencia en cilindros con cactus en un 0.8%.

IV.5. Esfuerzo de ruptura a la flexión en vigas de concreto.

Aquí se determina la capacidad del concreto de deformarse, es decir, la resistencia a la tensión o modulo de ruptura (MR); esta característica es muy importante ya que sabemos que el concreto resiste mucho a la compresión, pero sin embargo es necesario también saber cuánto resiste a la flexión, esto dependiendo del agregado que se use.

IV.5.1. Esfuerzo de ruptura a la flexión en vigas con cactus.

Las tablas IV.48, IV.49, IV.50 y IV.51 muestran los resultados obtenidos al analizar la resistencia (MR) del concreto a la flexión. Para esto se utilizaron vigas de 15cm x 15cm x 60cm, las cuales se probaron a 7, 14, 28 y 40 días. Estas vigas contienen aditivo de fibra de cactus opuntia.

Tabla IV.48. Resistencia del concreto a flexión a 7 días.

PRUEBA A FLEXIÓN EN VIGAS (7 DÍAS CON CACTUS)						
No. DE VIGAS	DISTANCIA ENTRE APOYOS (cm)	ANCHO PROMEDIO (cm)	PERALTE PROMEDIO (cm)	LONGITUD PROMEDIO (cm)	CARGA DESTRUCTIVA (kg)	MÓDULO DE RUPTURA (kg/cm ²)
1	45	15	15	60	1750	23.33
2	45	15	15	60	1762.5	23.50
3	45	15	15	60	2012.5	26.83
PROMEDIO	45.00	15.00	15.00	60.00	1841.67	24.56

Tabla IV.49. Resistencia del concreto a flexión a 14 días.

PRUEBA A FLEXIÓN EN VIGAS (14 DÍAS CON CACTUS)						
No. DE VIGAS	DISTANCIA ENTRE APOYOS (cm)	ANCHO PROMEDIO (cm)	PERALTE PROMEDIO (cm)	LONGITUD PROMEDIO (cm)	CARGA DESTRUCTIVA (kg)	MÓDULO DE RUPTURA (kg/cm ²)
1	45	15	15	60	2600	34.67
2	45	15	15	60	2550	34.00
3	45	15	15	60	2745	36.60
PROMEDIO	45.00	15.00	15.00	60.00	2631.67	35.09



Tabla IV.50. Resistencia del concreto a flexión a 28 días.

PRUEBA A FLEXIÓN EN VIGAS (28 DÍAS CON CACTUS)						
No. DE VIGAS	DISTANCIA ENTRE APOYOS (cm)	ANCHO PROMEDIO (cm)	PERALTE PROMEDIO (cm)	LONGITUD PROMEDIO (cm)	CARGA DESTRUCTIVA (kg)	MÓDULO DE RUPTURA (kg/cm ²)
1	45	15	15	60	3350	44.67
2	45	15	15	60	2900	38.67
3	45	15	15	60	3000	40.00
PROMEDIO	45.00	15.00	15.00	60.00	3083.33	41.11

Tabla IV.51. Resistencia del concreto a flexión a 40 días.

PRUEBA A FLEXIÓN EN VIGAS (40 DÍAS CON CACTUS)						
No. DE VIGAS	DISTANCIA ENTRE APOYOS (cm)	ANCHO PROMEDIO (cm)	PERALTE PROMEDIO (cm)	LONGITUD PROMEDIO (cm)	CARGA DESTRUCTIVA (kg)	MÓDULO DE RUPTURA (kg/cm ²)
1	45	15	15	60	3500	46.67
2	45	15	15	60	3400	45.33
PROMEDIO	45.00	15.00	15.00	60.00	3450.00	46.00

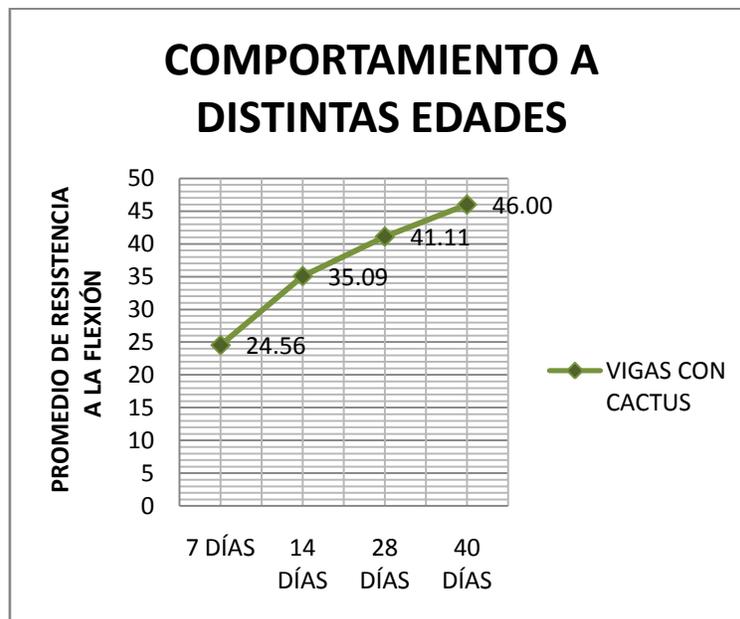


Figura IV.25. Resistencia a la flexión a distintas edades en concreto con cactus.

En la figura IV.25 se observa el comportamiento a distintas edades del concreto sometido a flexión.



IV.5.2. Esfuerzo de ruptura a la flexión en vigas sin cactus.

En las tablas IV.52, IV.53, IV.54 y IV.55 se muestran los resultados obtenidos al analizar la resistencia (MR) del concreto a la flexión. Para esto se utilizaron vigas de 15cm x 15cm x 60cm, las cuales se probaron a 7, 14, 28 y 40 días. Estas vigas no contienen aditivo.

Tabla IV.52. Resistencia del concreto a flexión a 7 días.

PRUEBA A FLEXIÓN EN VIGAS (7 DÍAS SIN CACTUS)						
No. DE VIGAS	DISTANCIA ENTRE APOYOS (cm)	ANCHO PROMEDIO (cm)	PERALTE PROMEDIO (cm)	LONGITUD PROMEDIO (cm)	CARGA DESTRUCTIVA (kg)	MÓDULO DE RUPTURA (kg/cm ²)
1	45	15	15	60	840	11.20
PROMEDIO	45.00	15.00	15.00	60.00	840.00	11.20

Tabla IV.53. Resistencia del concreto a flexión a 14 días.

PRUEBA A FLEXIÓN EN VIGAS (14 DÍAS SIN CACTUS)						
No. DE VIGAS	DISTANCIA ENTRE APOYOS (cm)	ANCHO PROMEDIO (cm)	PERALTE PROMEDIO (cm)	LONGITUD PROMEDIO (cm)	CARGA DESTRUCTIVA (kg)	MÓDULO DE RUPTURA (kg/cm ²)
1	45	15	15	60	2800	37.33
PROMEDIO	45.00	15.00	15.00	60.00	2800.00	37.33

Tabla IV.54. Resistencia del concreto a flexión a 28 días.

PRUEBA A FLEXIÓN EN VIGAS (28 DÍAS SIN CACTUS)						
No. DE VIGAS	DISTANCIA ENTRE APOYOS (cm)	ANCHO PROMEDIO (cm)	PERALTE PROMEDIO (cm)	LONGITUD PROMEDIO (cm)	CARGA DESTRUCTIVA (kg)	MÓDULO DE RUPTURA (kg/cm ²)
1	45	15	15	60	2880	38.40
2	45	15	15	60	2850	38.00
PROMEDIO	45.00	15.00	15.00	60.00	2865.00	38.20

Tabla IV.55. Resistencia del concreto a flexión a 40 días.

PRUEBA A FLEXIÓN EN VIGAS (40 DÍAS SIN CACTUS)						
No. DE VIGAS	DISTANCIA ENTRE APOYOS (cm)	ANCHO PROMEDIO (cm)	PERALTE PROMEDIO (cm)	LONGITUD PROMEDIO (cm)	CARGA DESTRUCTIVA (kg)	MÓDULO DE RUPTURA (kg/cm ²)
1	45	15	15	60	3200	42.67
PROMEDIO	45.00	15.00	15.00	60.00	3200.00	42.67

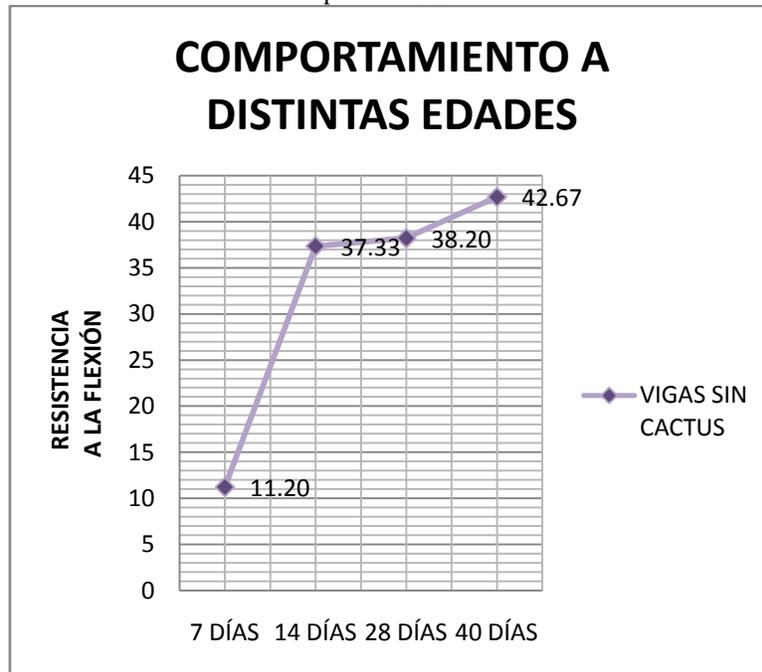


Figura IV.26. Resistencia a la flexión a distintas edades en concreto sin cactus.

En la figura IV.26 podemos ver un incremento de resistencia a los 14 días, mientras que a las demás edades el comportamiento es constante.

A continuación se presenta una comparativa entre ambas mezclas.

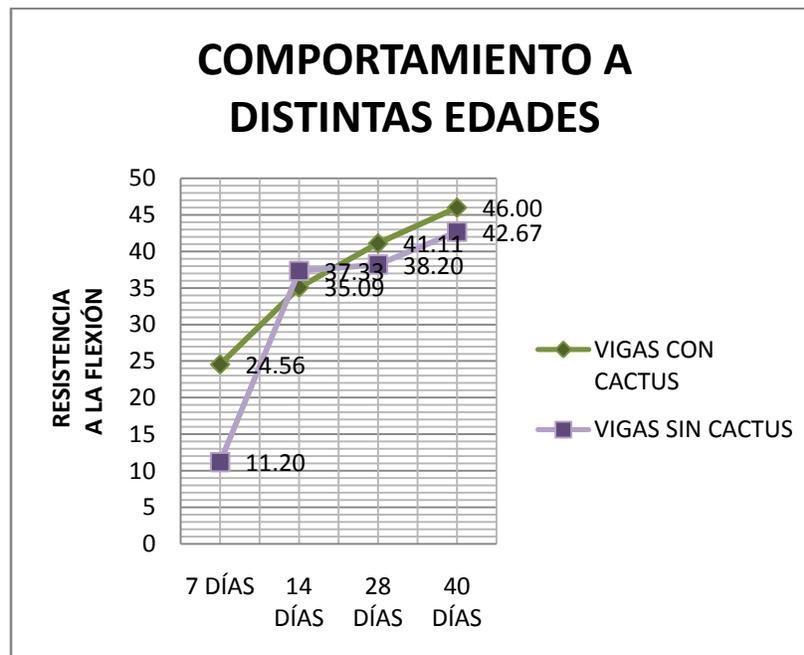


Figura IV.27. Grafica de comparación de resistencia a la flexión entre vigas con cactus y sin cactus.



“Efecto del agregado grueso pétreo triturado en sollicitaciones mecánicas dinámicas y estáticas. Caso de concreto hidráulico simple adicionado con fibras deshidratadas de cactus opuntia blanco”



En la figura IV.27 se observa cómo es que las vigas de concreto que contienen cactus tienden a resistir más que las vigas que no cuentan con este aditivo. Cabe mencionar que a lo largo de esta investigación, el comportamiento de la mayoría de los especímenes con cactus tendió a ser mayor que los especímenes que no contenían este aditivo natural, pero no a edades tempranas. Es por ello que se recalca la importancia de usar este aditivo que le da grandes beneficios al concreto.



V. DISCUSIÓN.

En esta tesis se utilizaron diversos materiales, se eligió primeramente la arena del banco de joyitas, ya que este banco es de los de mayor demanda en la ciudad de Morelia y además reúne buenas características para la construcción debido a que contiene mínimas cantidades de arcillas perjudiciales.

La grava utilizada fue triturada del banco Supra, esta grava se eligió de acuerdo a que guarda buenas condiciones mecánicas. Ambos agregados guardan una íntima relación con el constructor ya que estos son los más empleados en las obras civiles y además son los que mejor se comportan a las diferentes sollicitaciones deseadas.

El agua utilizada se obtuvo del sistema público, es decir, agua potable de la llave; esta agua es la que comúnmente se utiliza en cualquier construcción de obra civil. El cementante utilizado es Cemento Portland Ordinario 30R Resistente a los sulfatos y Baja Reactividad Alcali Agregado (CPO 30R RS BRA), este cemento fue propuesto debido a que además de las resistencias tempranas del concreto, también es de mucho interés conocer cómo se comporta a edades tardías, esto comparando la mezcla con y sin aditivo.

El aditivo usado en la mezcla es conocido como fibra de cactus opuntia deshidratada, esta fibra conserva un color paja y textura suave, que al estar en contacto con el agua se torna pastosa, amarillenta y no presenta olor característico; este aditivo se encuentra fácilmente en tiendas naturistas, ya que su uso principal es servir como alimentación para la población. Se puede encontrar en pequeñas porciones o en su defecto en bolsas de 5kg bien selladas, es recomendable adquirirlo por mayoreo ya que genera un gran ahorro en la economía de los pobladores.

Con este trabajo se busca encontrar una solución al alto costo de los aditivos; es decir, elegir una opción más para el concreto, sustituyendo los aditivos tradicionales por aditivos naturales, que cumplan con las necesidades buscadas y que disminuya el costo de los elementos de concreto.

Analizando las pruebas de fraguado, se aprecia una gran discrepancia entre los resultados de fraguado del cemento con, y sin aditivo de fibra deshidratada de cactus opuntia, ya que en promedio el fraguado inicial del cemento sin aditivo es de 2 horas 15 minutos y el del fraguado final es de 4 horas 35 minutos, mientras que el promedio del fraguado inicial del cemento con aditivo es de 57 minutos, y el del fraguado final es de 2



horas. Esto es muy curioso ya que al hacer el concreto se aprecia lo contrario; es decir la mezcla que contiene fibra deshidratada de cactus opuntia tarda más tiempo en fraguar, lo cual me lleva a plantear la teoría de que estas fibras retienen la humedad, y al hacerlo contribuyen a que las reacciones química sea más prolongadas y aunque parezca que no hay fraguado lo que sucede en realidad es que la hidratación del concreto continua en el interior, lo que permite el desarrollo de resistencias mayores a edades medias.

Al observar los resultados de revenimiento en las mezclas, se aprecia que no hay diferencia de la mezcla con aditivo con respecto de la mezcla sin aditivo, ya que los valores varían entre 8.5 cm y 10.5 del revenimiento para ambas mezclas.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la figura IV.14 se observa que el comportamiento a la compresión en cilindros de 10 cm x 20 cm con aditivo a edades tempranas es bajo, ya que no cumple con lo recomendado en la norma NMX-C-083-ONNCE, sino hasta después de los 14 días de edad, cuando su resistencia comenzó a aumentar rápidamente, logrando sobrepasar a los cilindros que no contenían aditivo; a los 28 días estos cilindros se incrementaron alrededor del 10% más que los anteriores. Este incremento fue bastante significativo, ya que, de esta manera pude comprobar que el uso de fibra de cactus incrementa la resistencia del concreto a edades tardías.

Estos resultados de cilindros con cactus a la edad de 3 días se obtuvo un promedio de 19.03% de resistencia mientras que las normas establecen un 31% como mínimo, a la edad de 7 días se obtuvo un promedio de 33.42% de resistencia mientras que las normas establecen un 65% como mínimo, a la edad de 14 días se obtuvo un promedio 90.45% de resistencia mientras que las normas establecen un 80% como mínimo, a la edad de 28 días se obtuvo un promedio de 107.38% de resistencia mientras que las normas establecen un 100% como mínimo de resistencia y por último a la edad de 40 días se obtuvo un promedio de 127.71% mientras que las normas ya no establecen ningún porcentaje como mínimo, sin embargo se aprecia una gran mejoría, esto es debido a que el cemento utilizado (CPO 30R RS BRA) contiene ciertas características que le proporcionan mayor resistencia a edades tardías..

De acuerdo a los resultados obtenidos en la figura IV.20 se observa que el comportamiento a la compresión en cilindros de 10 cm x 20 cm sin aditivo se mantuvo inestable, es decir, la resistencia a lo largo de los días incrementaba, pero no siempre



cumplía con lo especificado en la norma NMX-C-083-ONNCE. Estas variaciones pueden deberse a muchos factores, entre los que destacan la elaboración de las muestras, las condiciones del lugar y por supuesto la temperatura de curado, esta temperatura se mantuvo en promedio a 14°C, mientras que la norma NMX-C-159-ONNCE-2004 recomienda temperaturas de 23 °C. La baja temperatura del curado pudo ser un gran motivo que provocara la lenta reacción química y así mismo la baja resistencia a compresión de todos los elementos.

Estos resultados de cilindros sin cactus a la edad de 3 días se obtuvo un promedio de 32.68% de resistencia mientras que las normas establecen un 31% como mínimo, a la edad de 7 días se obtuvo un promedio de 60.86% de resistencia mientras que las normas establecen un 65% como mínimo, a la edad de 14 días se obtuvo un promedio 85.53% de resistencia mientras que las normas establecen un 80% como mínimo, a la edad de 28 días se obtuvo un promedio de 95.95% de resistencia mientras que las normas establecen un 100% como mínimo de resistencia y por último, a la edad de 40 días se obtuvo un promedio de 106.10% mientras que las normas ya no establecen ningún porcentaje como mínimo a esa edad.

Mientras que para la prueba de tensión indirecta en los cilindros, se mantuvo una constancia de incremento de resistencia al paso de los días, donde a edades tempranas se observa mediante la figura IV.25, una resistencia elevada en el concreto sin aditivo a comparación con respecto a los cilindros con aditivo, fue sino hasta después de los 28 días cuando los cilindros que contenían cactus se acercaron mucho a los valores de a la resistencia de los que no tenían, siendo estos valores casi similares , pero sin embargo no alcanzaron a sobrepasar estos resultados, sino hasta los 40 días con una ligera ventaja.

Para los cilindros con aditivo de cactus opuntia a 3 días se obtuvo un promedio de 5.50 kg/cm², a 7 días se obtuvo un promedio de 13.37 kg/cm², a 14 días se obtuvo un promedio de 18.25 kg/cm², a 28 días se obtuvo un promedio de 26.95 kg/cm² y a 40 días se obtuvo un promedio de 28.17 kg/cm²; mientras que para los cilindros sin aditivo de cactus opuntia a 3 días se obtuvo un promedio de 11.64 kg/cm², a 7 días se obtuvo un promedio de 14.40 kg/cm², a 14 días se obtuvo un promedio de 21.41 kg/cm², a 28 días se obtuvo un promedio de 27.53kg/cm² y a 40 días un promedio de 27.37 kg/cm².



Al analizar los especímenes sometidos a tensión indirecta fue posible determinar el tipo de fractura que se presentaba, es decir, a edades no mayores a 14 días se presentó falla de la lechada de cemento, mientras que a edades posteriores la falla fue en el agregado y la lechada, esto para ambas mezclas, con y sin aditivo; en otras palabras falló todo el elemento en conjunto.

Para las pruebas en vigas de 15 cm x 15 cm x 60 cm, en la figura IV.28 se observa que para las vigas sin aditivo, el módulo de ruptura a edades tempranas fue mayor que las vigas que contenían el cactus; pero sin embargo al ir aumentando la edad de ambos tipos de especímenes fue sucediendo lo que había pasado con respecto a los resultados de compresión simple en los cilindros, es decir, las vigas que contenían el aditivo de cactus incrementaron su resistencia al paso de los días. A la edad de 14 días aún era mayor el MR de las vigas sin aditivo, pero después de los 28 días de prueba se presentó lo contrario, ahora las vigas con cactus incrementaron su valor significativamente. Con esto nuevamente se observa la ventaja de usar esta fibra como aditivo en un 2% del peso del cemento.

Para las vigas con aditivo de cactus opuntia a 7 días se obtuvo un MR promedio de 24.56 kg/cm², a 14 un MR promedio de 35.09 kg/cm², a 28 días un MR promedio de 41.11 kg/cm² y a 40 días un MR promedio de 46.00 kg/cm²; mientras que para las vigas sin aditivo de cactus opuntia a 7 días se obtuvo un MR promedio de 11.20 kg/cm², a 14 días un MR promedio de 37.33 kg/cm², a 28 días un MR promedio de 38.20 kg/cm² y a 40 días un MR promedio de 42.67 kg/cm².

Uno de los datos más importantes en el diseño de concretos es conocer su resistencia a los 28 días, es por ello que se hace gran énfasis a esta edad. Así se puede determinar los resultados de las muestras en este tiempo, con los cuales se debería de llegar a la resistencia del 100% del concreto; sin olvidar que el concreto a edades mayores sigue incrementando su dureza.

Además de estos resultados, también se obtuvieron valores producto de pruebas no destructivas como el pulso ultrasónico, la resistividad, frecuencia de resonancia y esclerómetro, estos valores fueron determinados con fines comparativos y además para obtener probabilidades de corrosión, porosidad, desgaste y resistencia, entre otros factores. Estas pruebas más que nada me determinaron la calidad del elemento construido con el concreto.



VI. CONCLUSIÓN.

La adición de cactus al concreto beneficia el comportamiento mecánico de los elementos colados, también mejora las características físicas de la mezcla, ya que reduce la segregación, mejora la manejabilidad, aumenta la cohesión entre la pasta y agregados, retarda el fraguado y además, hay probabilidades de que puede evitar la corrosión y servir como aislante del agua; estos dos últimos aspectos aun siguen en investigación.

Además el cactus produce un gran ahorro económico al usarlo como aditivo, ya que para 1 m³ de concreto solo se necesita la cantidad de 7.59kg de fibra deshidratada, lo cual equivale a un mínimo gasto de \$379.5 pesos, esto comparándolo con los elevados precios de los aditivos convencionales. En resumen el concreto con cactus presenta muchas características favorables para la elaboración de mezclas, esto comparado con un concreto normal. Cabe señalar que el aditivo de cactus al ser comprado a mayoreo reduce considerablemente su costo.

Aún y cuando las especificaciones se sigan cuidadosamente y el proceso se realice por personal experimentado, los resultados pueden variar. Estas variaciones pueden ser por errores accidentales al elaborar el concreto o porque no hubo uniformidad en el material ensayado, variación en la cuantificación, forma de cabeceo, tiempo de secado de los especímenes después de extraídos de la pila, la temperatura del agua de curado, la forma de curado, el tiempo y forma de llenado de los especímenes, la extracción del aire atrapado, velocidad de la carga, etc. Es por eso que el uso del laboratorio juega un papel muy importante en las obras civiles, ya que nos permite analizar, controlar y encontrar los materiales más adecuado, para producir estructuras económicas y de buena calidad.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

- [1] <http://es.wikipedia.org/wiki/Geosfera> (visitada: enero 2011)
- [2] Juárez Badillo, E. y Rico Rodríguez, A., 2006, Mecánica de Suelos Tomo 1, Fundamentos de la Mecánica de Suelos, Editorial Noriega Limusa, México, Tercera Edición, 13ª Reimpresión ISBN 968-0069-9, 34-35.
- [3] Braja M. Das., “Fundamentos de Ingeniería geotécnica”, Editorial THOMSON LEARNING.
- [4] ACI, C. 2. (2001). Guía para el uso de agregados . IMCYC.
- [5] H.Kosmatka, S. (2004). Diseño y Control de Mezclas de Concreto. Portland Cement Association.
- [6] Neville, A. (1999), Tecnología del concreto. 1ra Ed., IMCYC, México, 92-97, 167-183.
- [7] “MANUAL DE NORMAS OFICIALES MEXICANAS”
De Cementos Mexicanos (CEMEX), 1987, pp 7.
- [8] “MANUAL DE LA CONSTRUCCIÓN CON CONCRETO” TOMO I
De Joseph J. Waddel y Joseph A. Dobrowolski, Tercera Edición.
Mc Graw-Hill/Interamericana Editores S.A. de C. V. 1997
- [9] “MANUAL PARA SUPERVISAR OBRAS DE CONCRETO”
Del ACI (American Concrete Institute). 311.92
Editorial IMCYC, 1992, pp 27,47.
- [10] <http://es.wikipedia.org/wiki/Cemento> (visitada: febrero 2011)
- [11] NMX-C-414-2006-ONNCCE. Industria de la construcción - cementos hidráulicos - especificaciones y métodos de prueba.
- [12] *Marco Antonio Mondragón Órnelas*, 2010, “Correlación de la resistencia a compresión entre cilindros de concreto, de 15 x 30 cm y 10 x 20 cm, variando el T.M. del agregado (1”, ¾” y ½”) y conservando constante el M.F., utilizando cemento CPC 30”, Tesis de licenciatura, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México.
- [13] Fahl, T. P. (2006). CONCRETO: Herramientas, materiales y prácticas de construcción. IMCYC.
- [14] <http://es.wikipedia.org/wiki/Agua> (visitada: febrero de 2011)



[15] NMX-C-122-2004-ONNCCE. Industria de la construcción – agua para concreto – especificaciones.

[16] NMX-C-403-ONNCCE-1999. Industria de la construcción – concreto-hidráulico para uso estructural.

[17] *José Alberto Guzmán Torres, (2011), “Sollicitaciones mecánicas estáticas y dinámicas a concreto hidráulico simple elaborado con agregados pétreos redondeados y adicionados con fibras deshidratadas de cactus opuntia” Tesis de licenciatura, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México.*

[18] Monteiro, P. K. (1998). Concreto Estructura, propiedades y materiales. IMCYC.

[19] Torres, Andres y Martinez, Wilfrido, et al. (2010), Adiciones en base a cactus como inhibidor de corrosion para acero de refuerzo en concreto, publicacion tecnica #328, Secretaria de Comunicaciones y Transportes, Instituto Mexicano del Transporte, Mexico, pp. 11-14.

[20] Torres, Andres y Celis, Cesar, et al. (2010), Mejora de la durabilidad de materiales base cemento, utilizando adiciones deshidratadas de dos cactáceas, publicacion técnica #326, Secretaria de Comunicaciones y Transportes, Instituto Mexicano del Transporte, Mexico, pp. 1-10.

[21] *Maria Cristina Moralez Garibay, (2009), “Desempeño mecánico de morteros de cal adicionados con fibras deshidratadas en polvo de cactus opuntia” Tesis de licenciatura, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México.*

[22] Malhotra V. M. and Carino N. J., 2004, “Handbook on nondestructive testing of concrete”, CRC Press, Boca Raton, U.S.A.

[23] Rose J. L. 1999, “Ultrasonic waves in solid media”. Cambridge University Press, United Kingdom.

[24] Jones R., 1954, Testing of concrete by an ultrasonic pulse technique, RILEM Int. Symp on Nondestructive testing of Materials and Structures, Paris, Vol. 1, Paper No. A-17, January, RILEM Bull., 19 (part 2), Nov., p. 137.

[25] Kaplan, M. F., 1959, The effects of age and water to cement ratio upon the relation between ultrasonic pulse velocity and compressive strength of concrete, Mag. Concr. Res., Vol. 11 No. 32, p. 85.



“Efecto del agregado grueso pétreo triturado en sollicitaciones mecánicas dinámicas y estáticas. Caso de concreto hidráulico simple adicionado con fibras deshidratadas de cactus opuntia blanco”



[26] NMX-C-083-2002-ONNCCE. (2002). Determinación de la resistencia a la compresión de cilindros de concreto. "Método de prueba".

[27] NMX-C-091-ONNCCE-2004. (2004). Determinación de la resistencia a la flexión del concreto usando una viga simple con carga en los tercios del claro.