

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE
HIDALGO



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**“Solicitaciones mecánicas estáticas y
dinámicas a concreto hidráulico simple
elaborado con agregados pétreos
redondeados y adicionados con fibras
deshidratadas de cactus opuntia”**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO CIVIL

PRESENTA:
JOSÉ ALBERTO GUZMÁN TORRES

ASESOR:
Dra. ELIA MERCEDES ALONSO GUZMÁN

COASESOR:
Dra. ANGÉLICA de LOURDES DEL VALLE MORENO

FEBRERO 2011



AGRADECIMIENTOS:

A DIOS Y A MI ANGEL POR PERMITIRME DAR UN PASO TAN IMPORTANTE EN MI VIDA PERSONAL Y PROFESIONAL, POR DARMME LAS LECCIONES DE VIDA QUE HE SABIDO TOMAR Y APRENDER, Y POR DARMME LAS HERRAMIENTAS NECESARIAS PARA SALIR ADELANTE.

“CON AMOR Y CARIÑO A MI FAMILIA”

CON RESPETO Y AGRADECIMIENTO A MI PAPÁ ALBERTO GUZMÁN DAMIAN QUIEN SE HA PRIVADO DE PASAR MOMENTOS CON NOSOTROS POR SACAR A NUESTRA FAMILIA ADELANTE Y NO NOS FALTE EL ALIMENTO, EJEMPLO DE FORTALEZA, HUMILDAD Y PERSEVERANCIA ADMIRABLE.

A MI MADRE CELIA TORRES MAGAÑA QUIEN SIEMPRE ME DIO SU CONFIANZA Y APOYO PARA TERMINAR CON MI CARRERA, FUERTE E INDISCUTIBLEMENTE LA MEJOR MOTIVACIÓN PARA SALIR ADELANTE, PERSONA LLENA DE CARIÑO Y SABIDURÍA.

A MIS HERMANOS ÁNGEL Y MARIO POR FORMAR PARTE DE MI VIDA Y MI FAMILIA.

A MIS AMIGOS NOEL, CUAUHTEMOC Y DANIEL POR DEMOSTRARME EL VERDADERO SIGNIFICADO DE LA AMISTAD, HONRADEZ Y HUMILDAD SIN OLVIDAR SU APOYO INCONDICIONAL Y DESINTERESADO.

A MI ESTIMADO AMIGO Y CONSEJERO DON JOSE LUIS QUIEN DESDE MI ADOLESCENCIA ME GUIO CON SUS CONSEJOS Y SU AYUDA INCONDICIONAL, PERSONA SENCILLA Y HUMILDE QUE SIEMPRE CREYÓ EN MÍ.

A MIS AMIGOS MIGUEL ANGEL, ANAHIS, CYNTHIA, MARCO ANTONIO NAVARRETE “TOCAYITO”, ALEJANDRO Y GERARDO POR SU APOYO Y AYUDA EN ESTA INVESTIGACIÓN.

A MI ASESORA Y TUTORA ELIA MERCEDES ALONSO GUZMÁN, POR BRINDARME SU APOYO INCONDICIONAL Y CONFIANZA, PERSONA TRABAJADORA ADMIRABLE, EJEMPLO DE SENCILLEZ, HONRADEZ Y HUMILDAD PERO SOBRE TODO EXCELENTE CALIDAD HUMANA.

AL ING. WILFRIDO MARTINEZ MOLINA POR BRINDARME SU CONFIANZA Y APOYO PARA TRABAJAR EN LABORATORIO, PERSONA EJEMPLAR Y SENCILLA.

YA TODAS LAS PERSONAS QUE DE UNA FORMA U OTRA INFLUYERON PARA LOGRAR MI TITULACIÓN.

“GRACIAS A DIOS POR TODO LO QUE ME HA DADO Y POR LO QUE NO TAMBIEN”



RESUMEN

En la actualidad, en el ámbito de la construcción se buscan métodos novedosos y económicos para poder tener una mejor infraestructura, una mejor resistencia y durabilidad de estas, esta tesis tiene por objetivo el demostrar que diferencia hay entre un concreto hidráulico normal contra un concreto hidráulico adicionado con fibra de cactus opuntia, dicha fibra es un producto de origen natural que es muy común encontrar en cualquier establecimiento naturista; el material pétreo utilizado en esta investigación para la realización del concreto es un material de canto redondeado, este material fue obtenido del rio de Huajumbaro, municipio de Cd. Hidalgo; el cemento que se utilizó fue un cemento CPO 30R RS BRA, y el agua de mezcla que se ocupo fue agua potable; lo que se hizo fue realizar especímenes de 10 cm de diámetro y 20 cm de altura y vigas de 15 cm de espesor por 15 cm de ancho y 60 cm de longitud, ambos con 2 tipos de mezclas diferentes para ser probadas a determinadas fechas y comparar los resultados; las pruebas que se realizaron fueron realizadas bajo la supervisión de laboratorio, dichas pruebas fueron destructivas y no destructivas; dentro de las pruebas destructivas se encuentra la prueba de compresión, tensión indirecta y modulo de ruptura, y en las no destructivas se realizaron pruebas de velocidad de pulso ultrasónico, frecuencias de resonancia y Resistividad; al final de las pruebas se determinó que los especímenes realizados con cactus tienen mayor ventaja sobre los especímenes que no lo contienen en la mayoría de las pruebas realizadas a ambas mezclas con excepción del modulo de ruptura; el cactus tenía un comportamiento inestable a edades tempranas ya que la resistencia era muy baja pero al pasar el tiempo los resultados mejoraron considerablemente, mientras que la mezcla sin cactus tuvo un comportamiento bajo en cuanto a resistencia; lo ideal será probar especímenes con ambas mezclas a edades tardías para poder tener un resultado contra otro a largo plazo.

(Palabras clave: cemento, mezcla, concreto).



ABSTRACT

Today, in the field of construction and economic seek innovative methods in order to have better infrastructure, better strength and durability of these, this thesis aims to show that the difference between a normal hydraulic concrete against a hydraulic concrete supplemented with opuntia cactus fiber, the fiber is a natural product that is very common to find in any store naturist; the stone material used in this research for the realization of concrete is a material with rounded edges, this material was obtained from Huajumbaro river, town of Ciudad Hidalgo, the cement used as CPC cement 30R RS BRA, and water Mixing it occupied was drinking water, what was done was to make specimens of 10 cm in diameter and 20 cm in height and 15 cm beams of thickness 15 cm wide and 60 cm in length, each with 2 types of mixtures different to be tested at certain times and compare results; the tests performed were conducted under the supervision of the laboratory, these tests were destructive and nondestructive, in destructive testing is the compression test, indirect tension and modulus of rupture, and the nondestructive tests were performed pulse velocity, and resistivity resonance frequencies, at the end of the tests was determined that the specimens made with cactus have greater advantage over specimens that do not contain most of the tests performed on both mixtures with the exception of modulus of rupture; the cactus was unstable behavior at early ages and that the resistance was very low but over time the results improved significantly, whereas the mixture without the cactus had a low performance in terms of resistance, the ideal would be to test specimens with both mixtures later ages to have a result against a long-term.

(Keywords: cement, mixing concrete).



ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	I
RESUMEN	II
ABSTRACT	III
ÍNDICE GENERAL	IV
ÍNDICE DE TABLAS	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO 2. MATERIALES: PÉTREOS REDONDEADOS	2
2.1 La corteza terrestre	2
2.1.1. Agregados pétreos para el concreto.....	3
2.2 Agregados de canto redondeado	5
2.3 Cemento	5
2.3.1. Cementos en México.....	7
2.4 Agua para mezcla de concreto	9
2.5 Concreto	10
2.5.1 Tipos de Concreto.....	11
2.6 Aditivos para Concreto	12
2.7 Fibra de cactus opuntia	14
CAPITULO 3. DISEÑO DE MEZCLAS, MÉTODOS ACI Y ABRAMS	15
3.1 Método ACI	15
3.1.1 Cálculo.....	18
CAPITULO 4. PROCEDIMIENTO DE PRUEBAS	34
4.1 Agregados pétreos	34
4.1.1. Cuarteo en gravas.....	36
4.1.2. Humedad de absorción en gravas.....	37
4.1.3 Humedad actual en gravas.....	39
4.1.4. Densidad en gravas.....	41
4.1.5. Determinación del peso volumétrico seco suelto en gravas (P.V.S.S.).....	43
4.1.6. Determinación del peso volumétrico seco y varillado en gravas (P.V.S.V.).....	45
4.1.7. Granulometría en gravas.....	47
4.1.8. Cuarteo en arena.....	48



4.1.9. Humedad superficial y humedad de absorción en arenas.....	49
4.1.10. Humedad actual en arenas.....	51
4.1.11. Densidad de la arena.....	53
4.1.12. Determinación del peso volumétrico seco suelto de una arena (P.V.S.S).....	55
4.1.13. Determinación del peso volumétrico seco y varillado de una arena (P.V.S.V.)..	56
4.1.14. Granulometría o análisis granulométrico en arena.....	58
4.1.15. Prueba de colorimetría en arena.....	60
4.1.16. Material que pasa por la malla n° 200 en arena.....	62
4.2 Cemento.....	63
4.2.1. Consistencia normal del cemento.....	63
4.2.2. Tiempos de fraguado de cemento hidráulico.....	65
4.2.3. Densidad aparente del cemento.....	67
4.3 Especímenes... ..	70
4.3.1 Cilindros elaboración.....	70
4.3.1.1. Determinación de la resistencia a la compresión simple de cilindros de concreto.....	74
4.3.1.2. Determinación de la resistencia a la tensión indirecta de cilindros de concreto.....	78
4.3.2. Vigas elaboración.....	81
4.3.2.1. Determinación de la resistencia a la flexión.....	83
4.4 Velocidad de pulso ultrasónico.....	85
4.5 Frecuencia de resonancia y Resistividad.....	89
CAPITULO 5. RESULTADOS.....	91
5.1. Cilindros con cactus.....	91
5.1.1. Resistencia a la compresión.....	91
5.1.2. Resistencia a la tensión.....	98
5.2. Cilindros sin cactus.....	100
5.2.1. Resistencia a la compresión.....	100
5.2.2. Resistencia a la tensión.....	102
5.3 Vigas con cactus.....	111
5.3.1. Resistencia a la flexión.....	111
5.4 Vigas sin cactus.....	112
5.4.1. Resistencia a la flexión.....	112
CAPITULO 6. DISCUSIÓN.....	115
CAPITULO 7. CONCLUSIONES.....	116
CAPITULO 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	119



ÍNDICE DE TABLAS

TABLA		PÁGINA
1	COMPONENTES DE LOS CEMENTOS.....	7
2	ESPECIFICACIONES DE LOS CEMENTOS CON CARACTERÍSTICAS ESPECIALES.....	8
3	ESPECIFICACIONES FÍSICAS DE CLASE RESISTENTE DE CEMENTO.....	8
4	NORMAS DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA EMPLEO EN MORTEROS Y CONCRETO.....	10
5	ELECCIÓN DEL T.MAX. DEL AGREGADO.....	11
6	PROMEDIO DE % ABSORCIÓN.....	39
7	PROMEDIO DE % HUMEDAD ACTUAL.....	41
8	DENSIDAD PROMEDIO.....	42
9	PROMEDIO DEL P.V.S.S	44
10	PROMEDIO DEL P.V.S.V	46
11	RESULTADOS DEL ANALISIS GRANULOMETRICO.....	48
12	% DE ABSORCIÓN.....	51
13	% DE HUMEDAD ACTUAL.....	53
14	DENSIDAD PROMEDIO.....	54
15	TABLA DE P.V.S.S.....	56
16	TABLA DE P.V.S.V.....	58
17	ANALISIS GRANULOMÉTRICO DE LA ARENA.....	60
18	MATERIAL QUE PASA POR LA MALLA 200.....	63
19	DENSIDAD DEL CEMENTO.....	70
20	CLASIFICACIÓN DEL CONCRETO SEGÚN SU VELOCIDAD ULTRASONICA.....	87



ÍNDICE DE FIGURAS

- FIGURA 2.1.- Página 3
- FIGURA 2.2.- Página 3
- FIGURA 3.1.1.- Página 17
- FIGURA 3.1.2.- Página 17
- FIGURA 3.1.3.- Página 18
- FIGURA 3.1.3.- Página 18
- FIGURA 3.1.4.- Página 20
- FIGURA 3.1.5.- Página 21
- FIGURA 3.1.6.- Página 22
- FIGURA 3.1.7.- Página 23
- FIGURA 3.1.8.- Página 24
- FIGURA 3.1.9.- Página 25
- FIGURA 3.1.10.- Página 27
- FIGURA 3.1.11.- Página 31
- FIGURA 3.1.12.- Página 33
- FIGURA 4.1.1.- Página 34
- FIGURA 4.1.2.- Página 35
- FIGURA 4.1.3.- Página 37
- FIGURA 4.1.4.- Página 39
- FIGURA 4.1.5.- Página 43
- FIGURA 4.1.6.- Página 46
- FIGURA 4.1.7.- Página 51
- FIGURA 4.1.8.- Página 57
- FIGURA 4.1.9.- Página 59
- FIGURA 4.1.10.- Página 61
- FIGURA 4.2.1.- Página 69
- FIGURA 4.3.1.- Página 72
- FIGURA 4.3.2.- Página 72
- FIGURA 4.3.3.- Página 72
- FIGURA 4.3.4.- Página 72
- FIGURA 4.3.5.- Página 73
- FIGURA 4.3.6.- Página 73
- FIGURA 4.3.7.- Página 73
- FIGURA 4.3.8.- Página 73
- FIGURA 4.3.1.1.- Página 77
- FIGURA 4.3.1.2.- Página 77
- FIGURA 4.3.1.3.- Página 77
- FIGURA 4.3.1.4.- Página 77
- FIGURA 4.3.1.2.- Página 77
- FIGURA 4.3.1.2.1.- Página 79
- FIGURA 4.3.1.2.2.- Página 79
- FIGURA 4.3.1.2.3.- Página 80
- FIGURA 4.3.1.2.4.- Página 80
- FIGURA 4.3.2.1.- Página 82
- FIGURA 4.3.2.2.- Página 82
- FIGURA 4.3.2.3.- Página 82
- FIGURA 4.3.2.4.- Página 82
- FIGURA 4.3.2.5.- Página 83
- FIGURA 4.3.2.6.- Página 83
- FIGURA 4.3.2.7.- Página 85
- FIGURA 4.3.2.8.- Página 85
- FIGURA 4.3.2.1.- Página 82
- FIGURA 4.4.1.- Página 88
- FIGURA 4.4.2.- Página 88
- FIGURA 4.5.1.- Página 89
- FIGURA 4.5.2.- Página 90
- FIGURA 4.5.3.- Página 90



1. INTRODUCCIÓN

Este trabajo de investigación se realizó para todas las personas que se encuentran en el ámbito de la construcción, y que se interesen por métodos novedosos, naturales y económicos para poder encontrar una mejor resistencia y durabilidad para cualquier tipo de obra civil que se construya.

Desde la antigüedad el hombre ha tenido la necesidad de construir cualquier tipo de obra civil para llevar una forma de vida más cómoda y ágil, esta necesidad de construir los ha llevado a tratar de encontrar aditivos para el concreto, aditivos que le den algún tipo de beneficio al concreto como puede ser mayor resistencia a la compresión, mayor resistencia a la tensión, al módulo de ruptura, etc.

En esta tesis se presenta una comparación de entre 2 mezclas, ambas con el mismo tipo de cemento, que es un cemento tipo CPO 30R RS BRA “Resistente a los Sulfatos” ambas mezclas son para un concreto de peso normal y de resistencia moderada, la diferencia es, que una mezcla sólo lleva agregado pétreo, cemento y agua, y la otra mezcla lleva de igual forma cemento, agregado pétreo y agua con la diferencia que esta mezcla lleva un aditivo, que es fibra de cactus opuntia deshidratada, este aditivo con el fin de mejorar la resistencia y durabilidad del concreto. Se presentan pruebas de compresión simple, tensión indirecta, resistividad, pulso ultrasónico y frecuencias de resonancia. Estas pruebas se realizaron en especímenes de 10 cm de diámetro por 20 cm de altura y las pruebas a la flexión en vigas de 15 cm de base por 15 cm de peralte y 60 cm de longitud. Para diseñar la mezcla del concreto hidráulico se utilizó el método del ACI (AMERICAN CONCRETE INSTITUTE) [1], para ambas mezclas y de esta manera tener las mismas condiciones para ambas, y medir el impacto que pueda tener la fibra de cactus en el concreto y su comportamiento. Se presentan tanto las pruebas realizadas al agregado pétreo como al cemento, para así determinar sus propiedades y usarlas, siguiendo el método de mezclas del ACI. Las pruebas fueron realizadas bajo condiciones controladas en el laboratorio, para que no



hubiera alteraciones y se obtuvieran valores correctos y precisos. Esta investigación busca encontrar el efecto de un aditivo natural en una mezcla común para cualquier obra de infraestructura.

2. MATERIALES: PÉTREOS REDONDEADOS

2.1 La corteza terrestre.

La composición química de los principales tipos de roca que constituyen la corteza es variable y proceden tanto del exterior como del interior de ésta. En el primer caso tenemos las rocas sedimentarias y en el segundo las ígneas y las metamórficas.

Las rocas ígneas, conocidas también por magmáticas, son el resultado de la solidificación del magma que asciende desde las profundidades del manto. Están formadas, de modo mayoritario, por silicatos y presentan una estructura cristalina. Cuando solidifican en el interior de la corteza se llaman rocas intrusivas o plutónicas, mientras que si lo hacen en el exterior se llaman extrusivas o volcánicas pues surgen como consecuencia de procesos eruptivos. Algunas de las principales rocas intrusivas son los granitos, los gabros, las dioritas y las sienitas. Entre las rocas volcánicas se cuentan los basaltos, andesita, riolita, piedra pómez y obsidiana. Las rocas metamórficas son rocas de transformación procedentes de otras ya formadas con anterioridad y que al verse sometidas a presiones o temperaturas muy elevadas modifican su estructura, dependiendo los distintos tipos, del grado en que cada uno de estos factores actúa.

Su estructura puede ser cristalina o granular. Algunas rocas de este tipo son las pizarras, los mármoles, los gneises y las anfibolitas.

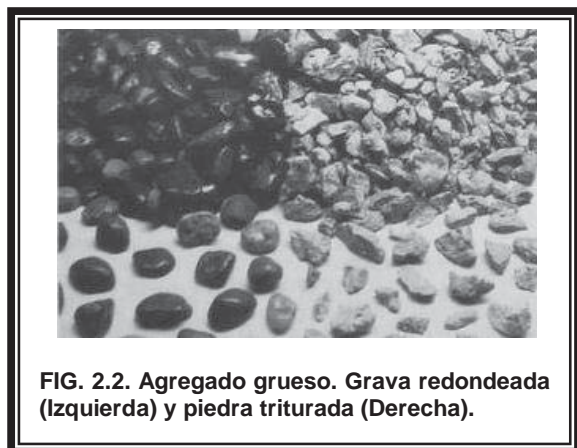
Las rocas sedimentarias surgen como consecuencia de la acumulación y consolidación de los sedimentos, producida por su propio peso o por el empuje de masas de roca. Dependiendo de su antigüedad, el grado de transformación es variable. Hay 2 tipos principales: las detríticas y las químicas. Son rocas detríticas los conglomerados, las areniscas y las arcillas. Rocas sedimentarias de origen



químico, y que muchas veces se originan con participación de diversos organismos, son las calcáreas, las silíceas, las fotostáticas y las salinas [2].

2.1.1. Agregados pétreos para el concreto.

La importancia del uso del tipo y de la calidad correcta del agregado (árido) no se puede subestimar. 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 (Fig. 2.1) generalmente consisten en arena natural o piedra triturada con la mayoría de sus partículas menores a 5mm. Los agregados gruesos (Fig. 2.2) 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). Algunos depósitos naturales de agregado, llamados de grava de mina, consisten en grava y arena que se pueden usar inmediatamente en el concreto, después de un procesamiento mínimo. La grava y arena naturales normalmente se excavan o se dragan de la mina, del río, del lago o del lecho marino.





Los agregados frecuentemente se lavan y se gradúan en la mina o en la planta. Se puede esperar alguna variación en el tipo, calidad, limpieza, granulometría, contenido de humedad y otras propiedades.

Los agregados naturales para concreto son una mezcla de roca y minerales. Mineral es una sustancia sólida natural con una estructura interna ordenada y una composición química que varía dentro de límites estrechos. Las rocas, que se clasifican según su origen en ígneas, sedimentarias o metamórficas, generalmente se componen en varios minerales. Por ejemplo, el granito contiene cuarzo, feldespato, mica y otros pocos minerales, la mayoría de las calizas consiste en calcita, dolomita y pequeñas cantidades de cuarzo, feldespato y arcilla. El intemperismo y la erosión de las rocas producen partículas de piedra, grava, arena, limo y arcilla.

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. Se deben evitar, en especial, algunos tipos de cherts, pues tienen poca resistencia al intemperismo y causan defectos superficiales tales como las erupciones [3].

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.

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].

2.2 Agregados de canto redondeado.

Un canto rodado o guijarro es un fragmento de roca suelto, susceptible de ser transportado por medios naturales como las corrientes de agua, los corrimientos de tierra, etc. Aunque no se hace distinción de forma, en general, un canto rodado adquiere una morfología más o menos redondeada, subredondeada u oblonga, sin aristas y con la superficie lisa, debido al desgaste sufrido por los procesos erosivos, generalmente causados por la corrosión, las corrientes de agua (erosión hídrica) o el viento (erosión eólica) [5].

2.3. Cemento.

La palabra concreto a menudo se utiliza para describir muchos materiales usados en la industria de la construcción. Un mal entendido muy común es que el concreto es el mismo que el cemento. El concreto es una mezcla de cemento, agregado (fino y grueso) y agua. El cemento es una mezcla de conchas, piedra caliza, arcilla, sílice, mármol, esquistos, arena, bauxita y mineral de hierro componentes que son molidos, mezclados, fundidos y triturados hasta hacerlos polvo. El cemento actúa como agente de adherencia en el concreto cuando se le mezcla con agua. El agregado es un material duro, granular, como la grava que se mezcla con el cemento para proporcionar estructura y resistencia al concreto. El



concreto se entrega en el sitio de la construcción en estado flexible. El concreto puede moldearse en casi cualquier forma, es económico, es fácil de elaborar y de usar, a prueba de fuego y hermético.

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.

En el siglo XIX, ocurrieron importantes desarrollos en la tecnología del concreto. EN 1824 Joshep Aspin, un constructor ingles 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.

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 ingles 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 Pórtland.



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 [6].

2.3.1. Cementos en México.

Los cementos mexicanos se especifican según la norma NMX-C-414-ONNCCE. De acuerdo con esta norma, hay seis tipos básicos de cementos que se muestran en la siguiente tabla:

Tipo	Denominación	Componentes (% en masa)					
		Principales					Minoritarios
		Clinker Portland + yeso	Escoria granulada de alto horno	Materiales Puzolánicos	Humo de sílice	Caliza	
CPO	Cemento Portland Ordinario	95-100	-	-	-	-	0-5
CPP	Cemento Portland Puzolánico	50-94	-	6-50	-	-	0-5
CPEG	Cemento Portland con Escoria Granulada de Alto Horno	40-94	6-60	-	-	-	0-5
CPC	Cemento Portland Compuesto	50-94	6-35	6-35	1-10	6-35	0-5
CPS	Cemento Portland con Humo de Sílice	90-99	-	-	1-10	-	0-5
CEG	Cemento con Escoria Granulada De Alto Horno	20-39	61-80	-	-	-	0-5

Tabla 1.- Componentes de los cementos [7].



Además, estos cementos pueden presentar características especiales, tales como las que se muestran en la siguiente tabla:

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

Tabla 2.- Especificaciones de los cementos con características especiales [7].

Los cementos se dividen en clases de resistencias como se muestra en la tabla siguiente:

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

Tabla 3.- Especificaciones físicas de clase resistente de cemento [7].



Los cementos se designan por uno de los 6 tipos de cementos, seguido por la clase de resistencia y por la característica especial. Por ejemplo, un cemento Portland puzolánico de clase resistente 30R, de baja reactividad álcali-agregado y bajo calor de hidratación, se designaría como CPP 30R BRA/BCH [3].

Para esta tesis se utilizó un CPO 30R RS BRA.

2.4 Agua para mezcla de concreto.

Toda agua natural que sea potable y no presente fuerte sabor u olor se le puede usar como agua de mezcla para la preparación del concreto, sin embargo también se pueden usar algunas aguas que no se consideran potables.

La tabla 4 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 ciertos límites opcionales para cloruros, sulfatos, álcalis y sólidos en el agua de mezcla o se pueden realizar ensayos adecuados para la determinación del efecto de las impurezas, ya que algunas impurezas pueden tener efecto sobre la resistencia de fraguado y aún afectar la durabilidad y otras propiedades.



PAÍS	NORMA	NOMBRE DE LA NORMA
Argentina	IRAM 1601	Agua para morteros y hormigones de cemento Pórtland
Chile	NCh 1498.0f1982	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

Tabla 4.- Normas de la calidad del agua para empleo en morteros y concreto [3]

2.5 Concreto.

En general, el concreto puede definirse como la mezcla de un material aglutinante (cemento Portland hidráulico), un material de relleno (agregados o áridos), agua y aditivos, que al endurecerse forma un todo compacto (piedra artificial) y después de cierto tiempo es capaz de soportar grandes esfuerzos de compresión.

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 cemento Portland es producido por el hombre y proviene de la calcinación de rocas calizas y arcilla. El segundo componente, los agregados, ocupan entre el 60% y el 75% del volumen de la mezcla. Son esencialmente materiales inertes, naturales o artificiales, de forma granular, que por conveniencia han sido separados en fracciones finas (arenas) y fracciones gruesas (gravas). En general, provienen de las rocas naturales, pero también existen agregados artificiales. El tercer componente, el agua, ocupa entre el 14% y el 18% del volumen de la



mezcla e hidrata al cemento Portland por medio de complejas reacciones químicas.

Adicionalmente, el concreto también contiene alguna cantidad de aire atrapado accidentalmente (usualmente entre 1% y 3% del volumen de la mezcla), y puede contener aire incluido intencionalmente (entre 1% y 7% del volumen de la mezcla) lo cual se logra con el uso de aditivos o con cementos que tengan agentes inclusores de aire. Finalmente, con alguna frecuencia 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, incrementar resistencia, o alterar otras propiedades.

2.5.1 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, que pesa aproximadamente $2,400 \text{ kg/m}^3$, 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 $1,800 \text{ kg/m}^3$.

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 $3,200 \text{ kg/m}^3$.



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

- 1.- Concreto de baja resistencia: menos de 20 MPa (204 kg/cm²) de resistencia a la compresión.
- 2.- Concreto de resistencia moderada: de 20 a 40 MPa (204 a 408 kg/cm²) de resistencia a la compresión.
- 3.- Concreto de alta resistencia: más de 40 MPa (408 kg/cm²) 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 [9].

2.6 Aditivos para Concreto.

Los aditivos son aquellos ingredientes del concreto que, además del cemento Portland, del agua y de los agregados, se adicionan a la mezcla inmediatamente antes o durante el mezclado. Los aditivos se pueden clasificar según sus funciones, como sigue.

- 1.- Aditivos incorporadores de aire (Inclusores de aire)
- 2.- Aditivos reductores de agua
- 3.- Plastificantes (Fluidificantes)
- 4.- Aditivos aceleradores (Acelerantes)
- 5.- Aditivo retardadores (Retardantes)
- 6.- Aditivos de control de la hidratación



7.- Inhibidores de corrosión

8.- Reductores de retracción

9.- Inhibidores de reacción álcali-agregado

10.- Aditivos colorantes

11.- Aditivos diversos, tales como aditivos para mejorar la trabajabilidad (maneabilidad), para mejorar la adherencia, a pruebas de humedad, impermeabilizantes, para lechadas, formadores de gas, anti-deslave, espuma y auxiliares de bombeo.

El concreto debe ser trabajable, fácilmente acabado, fuerte, durable, estanco y resistente al desgaste. Estas calidades se les puede 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:

- 1.- Reducción del costo de la construcción de concreto;
- 2.- Obtención de ciertas propiedades en el concreto de manera más efectiva que otras;
- 3.- Manutención de la calidad del concreto durante las etapas de mezclado, transporte, colado (colocación) y curado en condiciones de clima adverso;
- 4.- 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 [3].

2.7 Fibra de cactus opuntia.

El esfuerzo y entusiasmo llevó a unir a un grupo de personas, que ya las vinculaba el aspecto familiar, para desarrollar desde su cultivo, hasta su recolección e industrialización, un insecto para producir colorante. Analizando cual era la mejor forma de lograr su reproducción observamos que esta era alimentándose del Nopal (Opuntia Ficus Indica).

Aún cuando en un inicio se pensó en considerarlo como alimento para la producción de cochinilla, de la cual se obtiene ácido carmínico que es un colorante, se observaron los beneficios del Nopal, dándonos a la tarea de encontrarlos para el organismo humano y habiendo conocido algunos de ellos tomamos la



decisión de avocarnos a su cultivo y desarrollo con los mejores métodos que se conocen, como lo es tratarlo orgánicamente, que consiste en utilizar productos que no dañen la tierra ni alteren las cualidades propias del nopal, en pocas palabras no utilizar ningún tipo de agroquímico para su desarrollo.

Nopal.

Planta carnosa con espinas cuyo fruto es la tuna; contiene en su composición "fibra dietaría", gomas, pectinas, calcio, mucilagos, vitaminas (A, B1, B2, B3), beta caroteno y proteínas.





Beneficios y sus usos

Por su fibra dietaria como componente principal al ser consumido absorbe grasas, azúcares, mismas que son eliminadas junto con la fibra.

Usos:

- **Obesidad:** en su consumo diario ayuda por su alto contenido de fibra dietaria natural, a eliminar grasas contenidas en la alimentación normal, reduciendo el peso y las medidas corporales de la persona que lo utiliza.
- **Control de diabetes:** el nopal por ser hipoglucemiante natural disminuye los niveles de azúcar en la sangre convirtiéndose en un auxiliar alimenticio para prevenir y coadyuvar en el tratamiento de la diabetes.
- **Colesterol:** ayuda en la absorción de las grasas y ácidos biliares, reduciendo significativamente los niveles de colesterol en la sangre.
- **Estreñimiento:** con el uso de nopal aprovechamos su contenido de fibra dietaria y mucilagos para regularizar el funcionamiento intestinal. [10]

3. DISEÑO DE MEZCLAS, MÉTODOS ACI Y ABRAMS.

3.1 Método ACI.

Existen diversos métodos para el diseño de mezclas, como lo son el método del American Concrete Institute (ACI), el método de las Curvas de Abrams, por mencionar algunos.

Esta investigación se basó en el método del American Concrete Institute (ACI) para el diseño de mezclas, debido a que es un método amigable con las pruebas a realizarse, y su sistema de cálculo es confiable, cabe mencionar que la elección del método de diseño de mezclas a utilizar es cuestión también de gustos.



El método del ACI es un método de diseño de mezclas de concreto normal que se basa en las propiedades físicas de los materiales como lo son: la Densidad, el Peso Volumétrico Seco Suelto, el Peso Volumétrico Seco Varillado, % de Absorción, % de Humedad Actual, Módulo de finura, y Tamaño Máximo del agregado, estas propiedades las usa para obtener la cantidad necesaria del concreto por unidad de volumen para un concreto de peso normal. Este procedimiento tiene en consideración los requisitos para la facilidad de colocación, la coherencia, fuerza y durabilidad.

En este método se utiliza el método del volumen absoluto, que es generalmente aceptado y es más conveniente para el concreto de peso pesado. El método de volúmenes absolutos se utiliza debido a su general aceptación.

El cálculo de las cantidades de material se realizarán para cilindros de 10 cm de diámetro y 20 cm de altura, con una mezcla sin aire incluido. Con un revenimiento de proyecto de 10 cm y un $f'c$ de proyecto de 250 Kg/cm².

El cálculo se realizó con la ayuda del programa de Microsoft Excel, donde se programó una hoja de Cálculo, para que esta realice los respectivos cálculos.



A continuación se ilustra de manera detallada y explicada el procedimiento para realizar el cálculo de las cantidades de material necesarias para 1 m³ de mezcla, posteriormente se realiza para el volumen necesario, todo esto con la ayuda de la hoja de cálculo de Microsoft Excel que realicé.

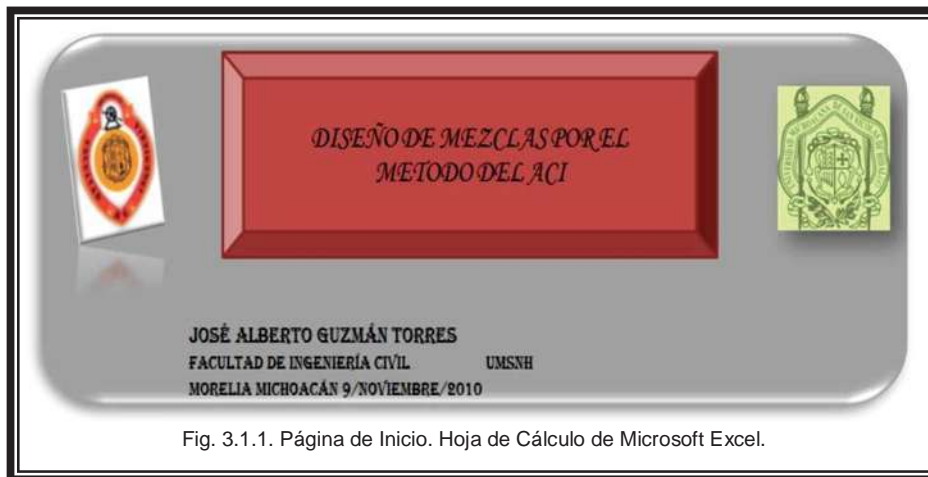


Fig. 3.1.1. Página de Inicio. Hoja de Cálculo de Microsoft Excel.

Se muestran las instrucciones que se deben seguir para realizar el
proporcionamiento

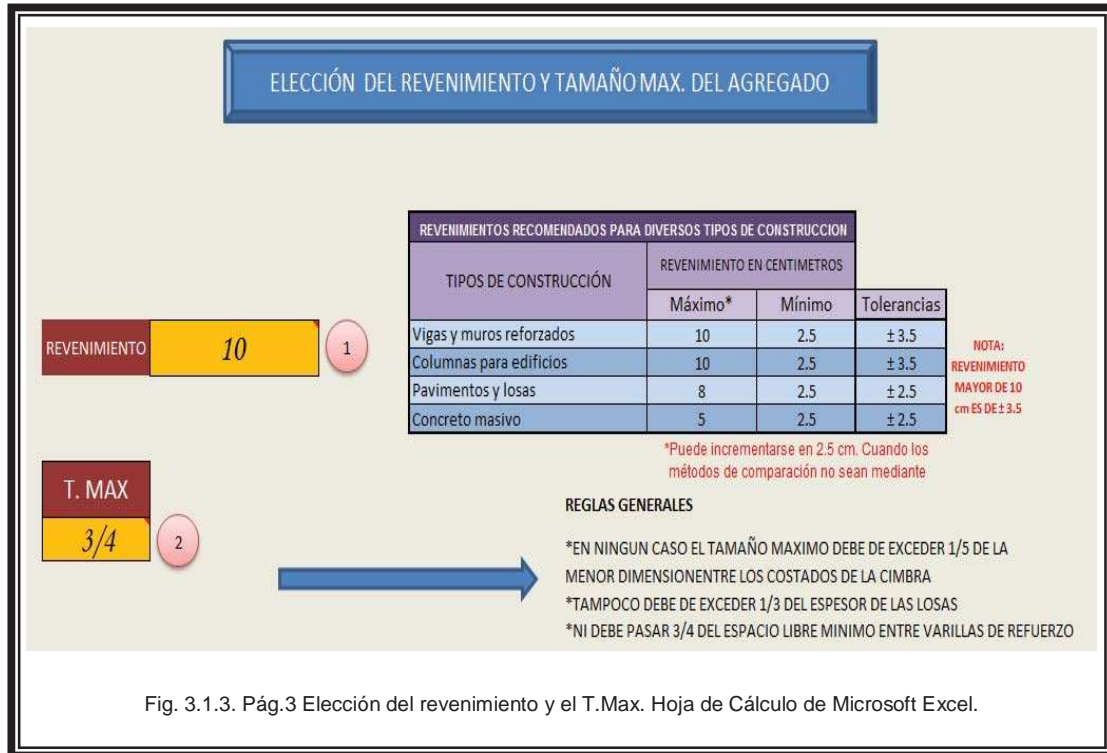


Fig. 3.1.2. Pag.2 Instrucciones. Hoja de Cálculo de Microsoft Excel.



3.1.1 Cálculo.

1.- Elección del Revenimiento y Tamaño Máximo del agregado.



Se escoge un revenimiento de 10 cm debido a que los especímenes que se realizarán son cilindros y vigas, además que ese es el revenimiento de proyecto que se eligió para la investigación. Y un tamaño máximo de $\frac{3}{4}$ ", debido a que los especímenes cilíndricos son de **10 cm de diámetro y 20 cm de altura**, y para estas dimensiones el tamaño máximo del agregado que más se adecuía es $\frac{3}{4}$ ".

A continuación se muestra como se obtuvo el T.máx. Del agregado

- En ningún caso el Tamaño Máximo debe exceder 1/5 de la menor dimensión entre los costados del molde.

Por lo tanto:

Si el molde es de 10 cm de diámetro



Una quinta parte de la distancia de los costados es: $\frac{10}{5} = 2 \text{ cm.}$

Entonces la distancia entre los costados es de 2 cm. y el tamaño más cercano a esta medida es el de $\frac{3}{4}$ " ó 1.905 cm.

Tamaño del Agregado en Plg.	Tamaño del Agregado en cm.
$\frac{3}{8}$ "	.9525
$\frac{1}{2}$ "	1.27
$\frac{3}{4}$ "	1.905
1"	2.54

TABLA 5. ELECCIÓN DEL T.MAX. DEL AGREGADO.



2.- Cálculo del Agua de mezclado y el Contenido del Aire.

Debido a que la mezcla es de concreto sin aire incluido y el Revenimiento es de 10 cm entra con este valor y donde se cruce con el valor del T.Max. Del agregado que es de 3/4", ese será el valor para la cantidad de agua para 1 m³.

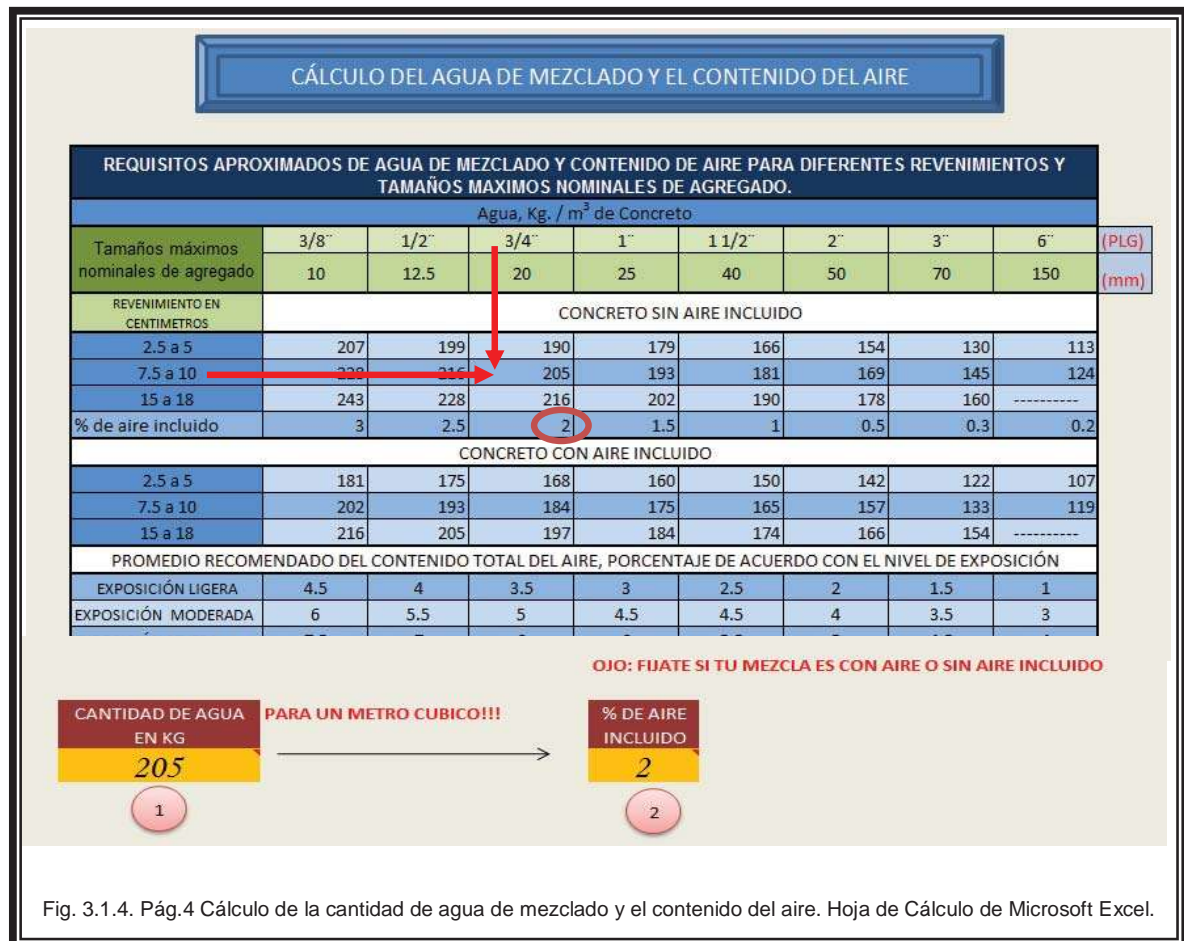


Fig. 3.1.4. Pág.4 Cálculo de la cantidad de agua de mezclado y el contenido del aire. Hoja de Cálculo de Microsoft Excel.

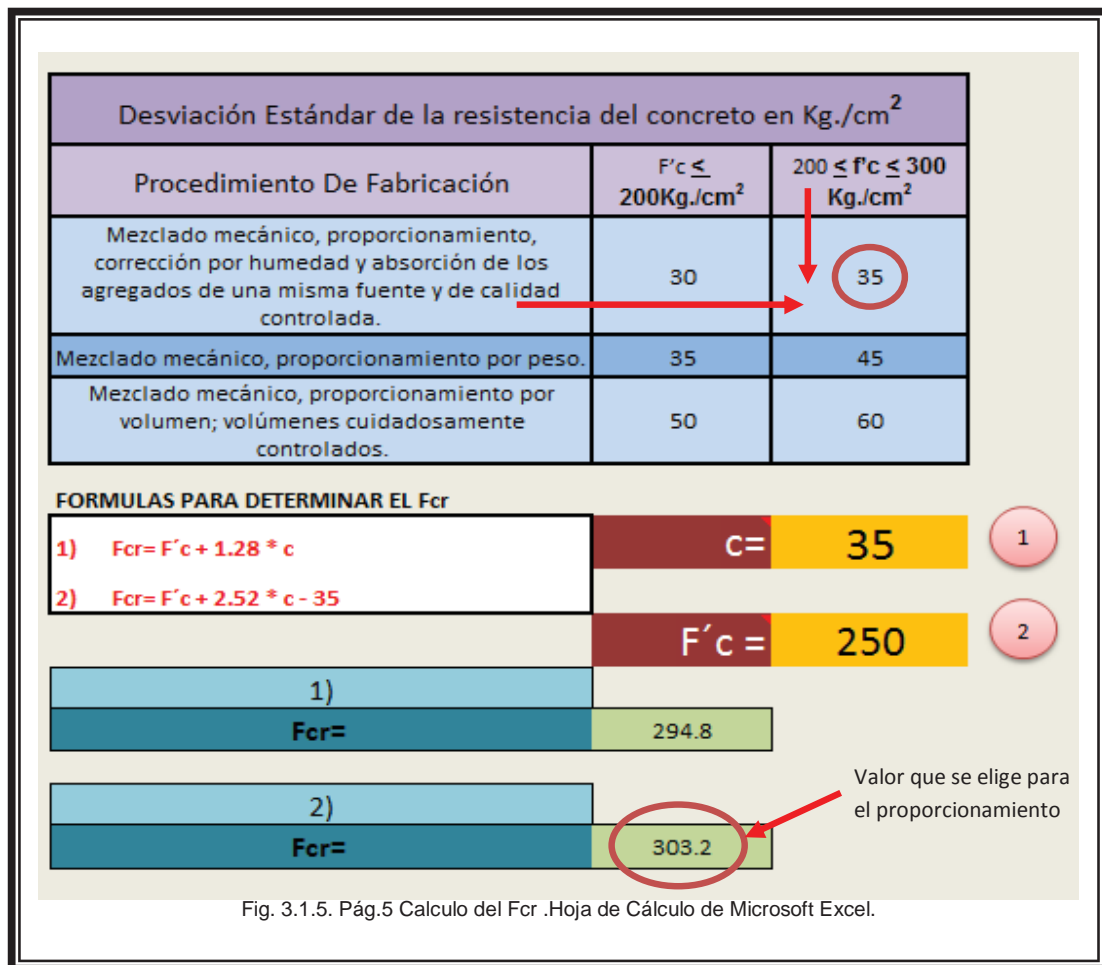
LA CANTIDAD DE AGUA NECESARIA ES DE 205 Kg. Y EL % DE AIRE INCLUIDO ES DEL 2%.

3.- Selección de la relación Agua/Cemento.

El f'c de proyecto es de 250 Kg/cm², pero el método del ACI nos marca que debemos tener un f'c de diseño llamado fcr, este fcr consiste en sumar al f'c de proyecto la desviación estándar de la resistencia del concreto, para esto debemos definir que procedimiento de fabricación se usará para poder elegir un



valor “c”, en este caso se elige un $c=35$ debido a que se usara un mezclado mecánico, proporcionamiento, corrección por humedad y absorción de los agregados de una misma fuente y de calidad controlada, además de que el $F'c$ de proyecto que es de 250 Kg/cm^2 se encuentra entre los valores de 200 y 300 Kg/cm^2 . Se tienen 2 fórmulas para determinar el fcr , por cuestiones de seguridad se usará la que nos dé un fcr mayor.

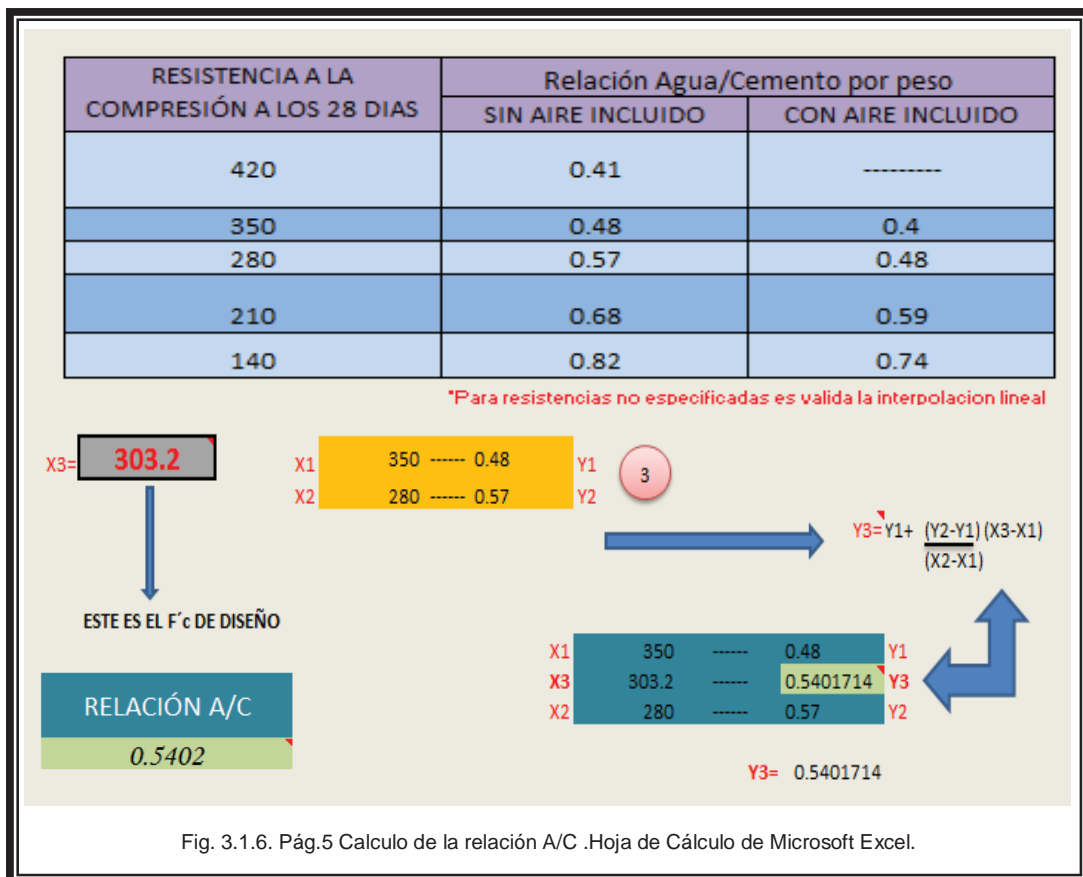


EL f_{cr} DE DISEÑO ES DE 303.2 Kg/cm^2

Una vez que se obtiene el valor de f_{cr} se procede a calcular la Relación Agua/Cemento por peso, en base a que nuestro $f_{cr}=303.2 \text{ Kg/cm}^2$, y esta resistencia no está especificada, se procede a hacer una interpolación lineal para



poder obtener el valor de la Relación A/C, que en nuestro caso es de **0.5401714** pero por practicidad lo dejaremos en **0.5402**, recordando que nuestra mezcla es SIN AIRE INCLUIDO.



LA RELACIÓN A/C ES DE 0.5402 PARA 1 m³.

4.- Cálculo del contenido de Cemento.

En este paso se calcula la cantidad de cemento en peso, necesario para 1 m³, cabe mencionar que en esta página del libro de Microsoft Excel no se



introduce ningún valor, pero se explicará qué operación es la que se efectuó para llegar al resultado:

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

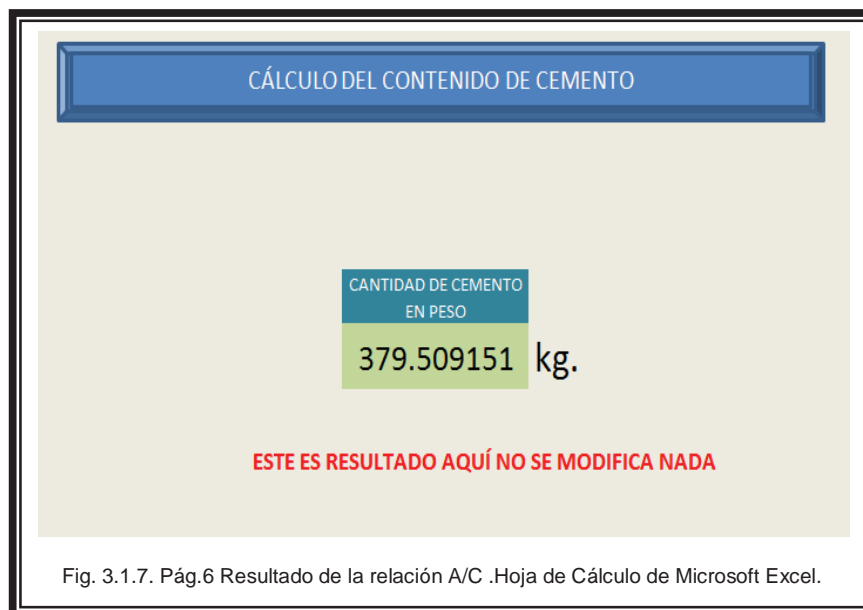
Y nuestras cantidades eran de:

Cantidad de agua= 205 Kg

Relación Agua/Cemento= .5402

Por lo tanto: $\text{Cantidad de Cemento en peso} = \frac{205}{.5402}$

$$\text{Cantidad de Cemento en peso} = 379.509151 \text{ Kg.}$$



LA CANTIDAD DE CEMENTO EN PESO ES 379.5091 Kg PARA 1 m³

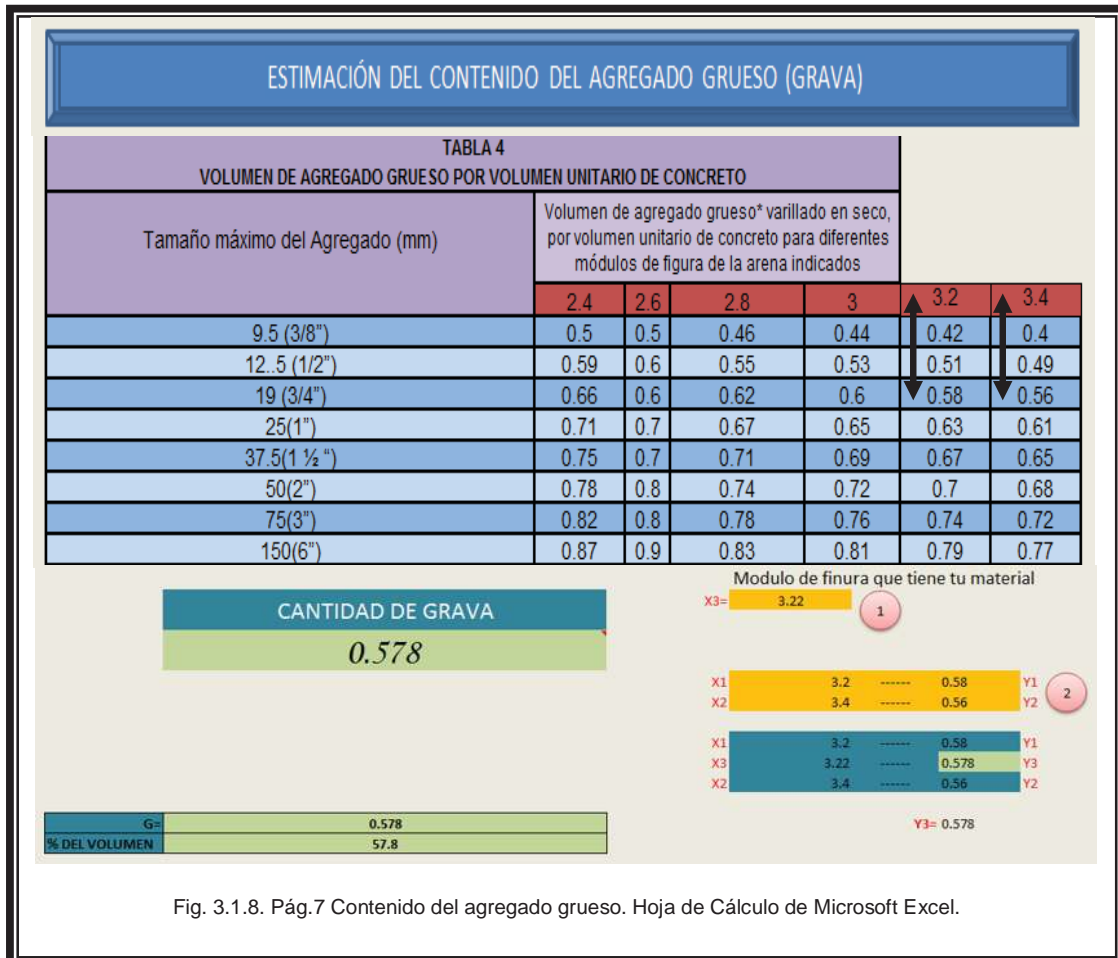
5.- Estimación del contenido del Agregado Grueso.

Una vez que se obtiene la cantidad de cemento, estimamos el contenido de Agregado grueso en base al modulo de finura que contiene el material, para



determinar este módulo de finura se realiza la granulometría al material pétreo, esta prueba se muestra en el siguiente capítulo, por el momento se usará el valor de **3.22** para el modulo de finura.

El valor de 3.22 no está en la tabla por lo tanto se hará una interpolación lineal para obtener el volumen de agregado grueso.



EL CONTENIDO DEL AGREGADO GRUESO ES DEL 57.8% PARA 1 m³.



6.- Estimación del contenido de Agregado Fino.

Para realizar el cálculo del contenido de Agregado Fino primero se deben de tener los datos siguientes del material, estos datos se obtuvieron del laboratorio en un ambiente controlado, las pruebas se describen detalladamente en el siguiente capítulo, por el momento sólo veremos cómo se hace el cálculo del agregado fino con los siguientes valores:

MATERIAL	P.V.S.S.	P.V.S.V.	DENSIDAD	% ABSORCIÓN	% HUM. ACT.	M.F.	T. MAX
GRAVA	1330	1460	2.38	4.72	1.917	-----	3/4
ARENA	1460	1540	2.25	3.22	1.17	3.22	-----
CEMENTO	1490	-----	3.11	-----	-----	-----	-----
AGUA	-----	-----	1	-----	-----	-----	-----
AIRE	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Fig. 3.1.9. Pag.8 Resultados de las pruebas a los materiales. Hoja de Microsoft Excel

Para la estimación del contenido de Agregado fino se utilizó el método del Volumen absoluto, el cual se describe a continuación:

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

$$(.578) * (1460) = \mathbf{843.88\ Kg.}$$

Peso de la grava= **843.88 Kg.**

- Cálculo del peso del cemento = $\frac{(Peso\ del\ agua)}{(Relación\ A/C)} =$

$$\frac{205}{.5402} = \mathbf{379.509\ Kg.}$$



Peso del cemento= **379.509 Kg.**

Peso del agua= **205 Kg.** “se calculó en el paso 2”.

Las densidades se obtuvieron de las pruebas realizadas a los materiales “capitulo 4”.

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

$$\left[\frac{843.88}{2.38} \right] / 1000 = \mathbf{0.3545 \text{ cm}^3}$$

Volumen de la grava= **0.3545 cm³**

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

$$\left[\frac{379.509}{3.11} \right] / 1000 = \mathbf{0.1220 \text{ cm}^3}$$

Volumen del Cemento= **0.1220 cm³**

$$\text{➤ Cálculo del Volumen del agua} = \frac{\left[\frac{\text{Peso del Agua}}{\text{Densidad del Agua}} \right]}{1000} =$$

$$\left[\frac{205}{1} \right] / 1000 = \mathbf{0.205 \text{ cm}^3}$$

Volumen del Agua= **0.205 cm³**

$$\text{➤ Calculo del Volumen del aire} = \left[\frac{\% \text{ de Aire incluido}}{100} \right] =$$

$$\left[\frac{2}{100} \right] = \mathbf{0.020 \text{ cm}^3}$$

Volumen del Aire= **0.020 cm³**



Una vez obtenidos estos valores se realiza una suma de volúmenes con excepción del volumen de la arena (Sv-a), ya que es el volumen que queremos encontrar.

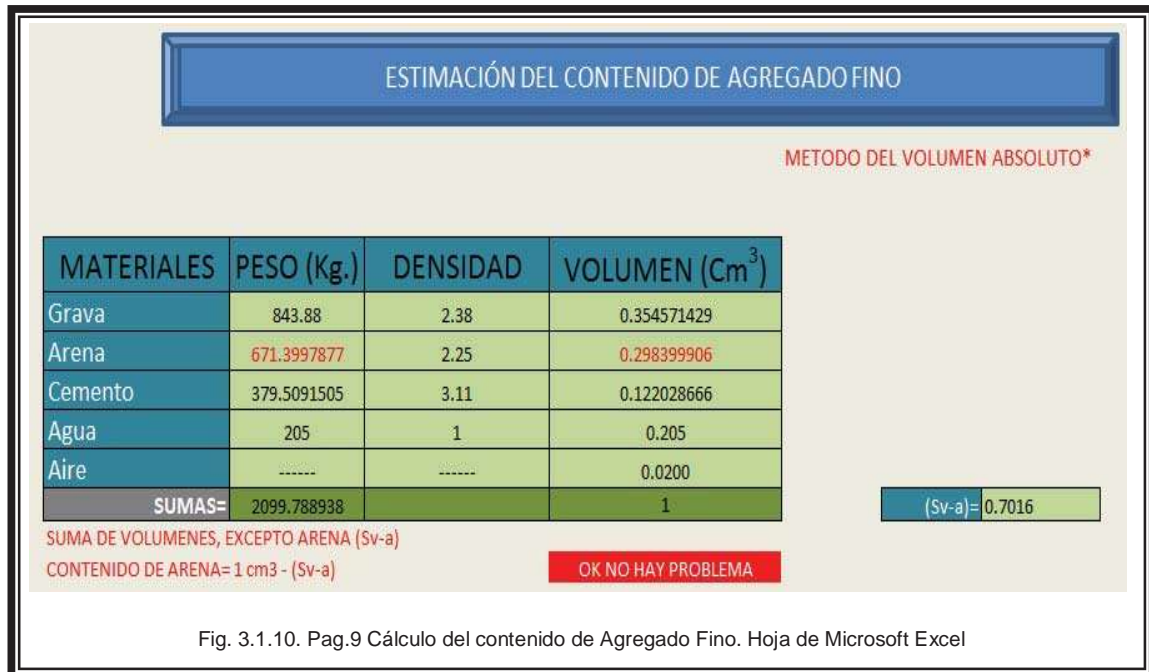


Fig. 3.1.10. Pag.9 Cálculo del contenido de Agregado Fino. Hoja de Microsoft Excel

$$(Sv-a) = (\text{Volumen de la grava} = 0.3545 \text{ cm}^3) + (\text{Volumen del Cemento} = 0.1220 \text{ cm}^3) + (\text{Volumen del Agua} = 0.205 \text{ cm}^3) + (\text{Volumen del Agua} = 0.205 \text{ cm}^3)$$

$$(Sv-a) = .7016 \text{ cm}^3$$

➤ Cálculo del Volumen de la Arena = $1 - (Sv - a)$

$$1 - (.7016) = 0.2983 \text{ cm}^3$$

Volumen de la Arena = 0.2983 cm^3

Una vez que se obtiene el volumen de la arena se calcula el peso de la arena para 1 m³.

➤ Cálculo del peso de la Arena =
(Densidad de la arena) * (Volumen de la arena)



$$(2.25) * (.2983) = \mathbf{671.399 Kg.}$$

Peso de la arena = **671.399 Kg**

7.- Ajustes ó Correcciones por Humedad del Agregado.

Una vez que ya se tiene calculada la cantidad de material necesario para 1m^3 de mezcla se realizan las correcciones por humedad del agregado, esta corrección consiste en restar el % de la Humedad actual menos el % de Absorción del material (% H.ACTUAL - % ABS.).

El % de H.ACTUAL y el % de ABS. Son datos que se obtuvieron de las pruebas realizadas al Agregado Pétreo “capítulo 4”.

- Corrección por Humedad de la Grava en peso

$$(Peso\ de\ la\ grava) + \left[\left(\frac{\% H. ACTUAL}{100} \right) * (Peso\ de\ la\ grava) \right]$$
$$(843.88) + \left[\left(\frac{1.917}{100} \right) * (843.88) \right] = \mathbf{860.057 Kg.}$$

Peso de la Grava corregida por Humedad = **860.057 Kg.**

- Corrección por Humedad de la Arena en peso

$$(Peso\ de\ la\ arena) + \left[\left(\frac{\% H. ACTUAL}{100} \right) * (Peso\ de\ la\ arena) \right]$$
$$(671.3997) + \left[\left(\frac{1.17}{100} \right) * (671.3997) \right] = \mathbf{679.2551 Kg.}$$

Peso de la Arena corregida por Humedad = **679.2551 Kg.**

- Al cemento no se le hace corrección por Humedad



- Corrección de la cantidad de Agua en base a la diferencia de los % de Humedad y de Absorción.

Si el % de ABS. Es mayor al % de HUMEDAD, en la grava se suma la diferencia del % de grava, y si el % de ABS, es mayor al % de HUMEDAD en la arena también se suma la Diferencia del % de la Arena.

Caso contrario si el % de ABS. Es menor al % de HUMEDAD en la grava se resta la diferencia del % de grava, y si el % de ABS. Es menor al % de HUMEDAD en la arena también se resta la Diferencia del % de la Arena.

Para nuestro caso el % de ABS. Es mayor que el % de HUMEDAD en gravas y arenas, por lo tanto en ambos casos se suma.

Cantidad de Agua Corregida =

$$(Cantidad\ de\ Agua) + (Diferencia\ del\ \%\ de\ Grava) + (Diferencia\ del\ \%\ de\ Arena)$$

Donde:

$$**Diferencia\ del\ \%\ de\ Grava = (Peso\ de\ la\ grava) * \left(\frac{Factor\ de\ Corrección\ de\ la\ Grava}{100}\right)**$$

$$**Diferencia\ del\ \%\ de\ Arena = (Peso\ de\ la\ Arena) * \left(\frac{Factor\ de\ Corrección\ de\ la\ Arena}{100}\right)**$$

$$Factor\ de\ Corrección\ de\ la\ Grava = (\% H. ACTUAL - \% ABSORCIÓN)$$

$$Factor\ de\ Corrección\ de\ la\ Arena = (\% H. ACTUAL - \% ABSORCIÓN)$$

Realizando operaciones:

$$Factor\ de\ Corrección\ de\ la\ Grava = (1.917 - 4.72)$$

$$= -2.803\% \text{ "solo se toma el valor absoluto del resultado"}$$

$$**Diferencia\ del\ \%\ de\ Grava = (843.88\ kg.) * \left(\frac{2.803}{100}\right) = 23.6539\ Kg.**$$

$$**Diferencia\ del\ \%\ de\ Grava = 23.6539\ Kg.**$$



$$\text{Factor de Corrección de la Arena} = (\% H. \text{ACTUAL} - \% \text{ABSORCIÓN})$$

$$\begin{aligned}\text{Factor de Corrección de la Arena} &= (1.17 - 3.22) \\ &= -2.05\% \text{ "solo se toma el valor absoluto del resultado"}\end{aligned}$$

$$\text{Diferencia del \% de Arena} = (671.399 \text{ kg.}) * \left(\frac{2.05}{100}\right) = 13.7636 \text{ Kg.}$$

$$\text{Diferencia del \% de Arena} = 13.7636 \text{ Kg.}$$

Recordando que:

Cantidad de Agua Corregida =

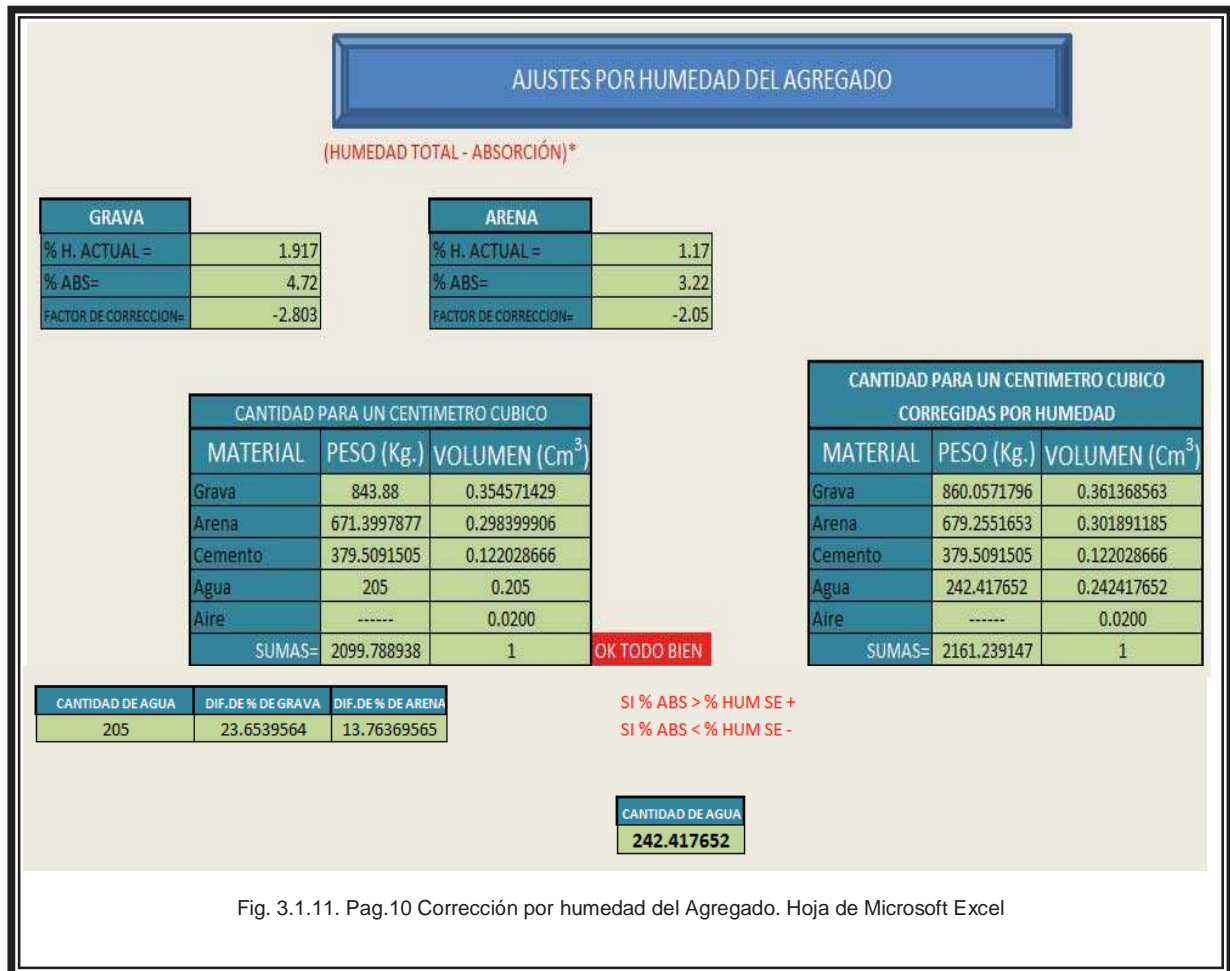
(Cantidad de Agua) + (Diferencia del \% de Grava) + (Diferencia del \% de Arena)

Cantidad de Agua Corregida =

$$(205 \text{ Kg.}) + (23.6539) + (13.7636) = 242.4176 \text{ Kg.}$$



De esta forma se obtiene la cantidad necesaria para un 1cm³ de mezcla.



8.- Cálculo de la cantidad de material necesario para los especímenes que se van a realizar.

Una vez que ya se corrigieron las cantidades de material por humedad se procede a hacerse el cálculo de la cantidad para un volumen determinado, esta cantidad se busca en peso.

Para nuestro caso se tiene un volumen de **1570.7963 cm³**, que es el volumen de un cilindro de dimensiones de 10 cm de diámetro por 20 cm de altura. Este volumen se multiplica por el No. de cilindros a colar, en este caso son 35.



$$(1570.7963) * (35) = 54977.8705 \text{ cm}^3$$

A esta cantidad se le agrega el factor de desperdicio que en este caso es el 10%.

$$(54977.8705) * (1.1) = 60475.65755 \text{ cm}^3$$

➤ **Peso total de la grava.**

Esta cantidad es el volumen que se necesita, pero lo que se ocupa es el peso entonces se multiplica este volumen por la cantidad de Peso

$$(60475.65755) * (860.05718) = 52012523.49109871 \text{ cm}^3 * \text{Kg.}$$

$$\frac{52012523.49109871}{1000000} = \mathbf{52.0125 \text{ Kg.}}$$

PESO TOTAL DE LA GRAVA ES DE 52.0125 Kg.

➤ **Peso total de la Arena.**

$$(60475.65755) * (679.255) = 41078392.76912525 \text{ cm}^3 * \text{Kg.}$$

$$\frac{41078392.76912525}{1000000} = \mathbf{41.0783 \text{ Kg.}}$$

PESO TOTAL DE LA ARENA ES DE 41.0783 Kg.

➤ **Peso total del Cemento.**

$$(60475.65755) * (379.509) = 22951056.32114295 \text{ cm}^3 * \text{Kg.}$$

$$\frac{22951056.32114295}{1000000} = \mathbf{22.9510 \text{ Kg.}}$$

PESO TOTAL DEL CEMENTO ES DE 22.9510 Kg.

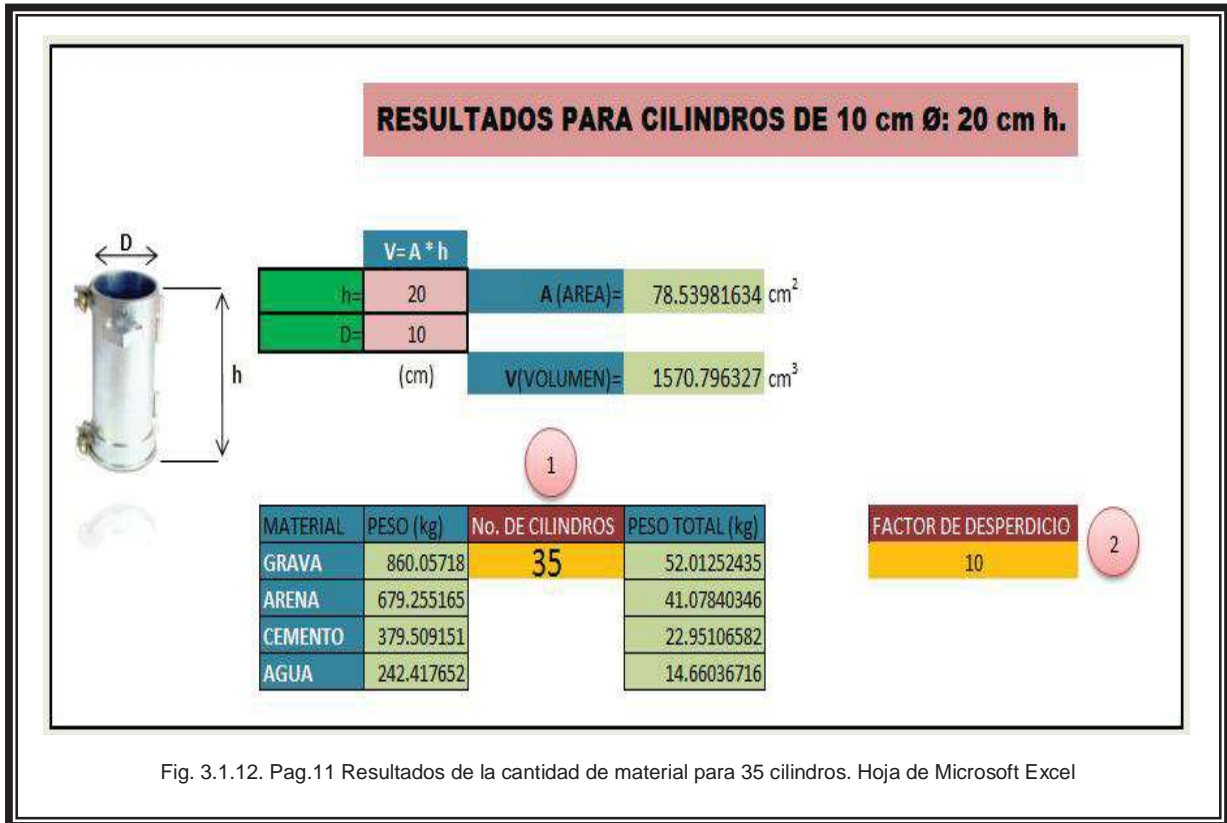
➤ **Peso total del Agua.**

$$(60475.65755) * (242.417) = 14660327.47629835 \text{ cm}^3 * \text{Kg.}$$

$$\frac{14660327.47629835}{1000000} = \mathbf{14.6603 \text{ Kg.}}$$



PESO TOTAL DEL CEMENTO ES DE **14.6603 Kg.**





4. PROCEDIMIENTOS DE PRUEBAS.

4.1 Agregados pétreos.

El material pétreo, fue extraído del río de Huajumbaro del municipio de Cd. Hidalgo; ya que era necesario para la investigación utilizar un material de canto rodado, por la cercanía del río y factibilidad se optó por este lugar. Ya que es un claro ejemplo de cómo se encuentra el material pétreo en estado natural.



Fig. 4.1.1. Rio de Huajumbaro, Municipio de Cd. Hidalgo, lugar donde se obtuvo el material.



Una vez que se obtuvo el material, se procedió a trasladarlo a laboratorio, ya estando ahí, se extendió el material para poder secarlo para realizarle las pruebas necesarias para así obtener sus características físicas y poder realizar el proporcionamiento de forma adecuada.



Fig. 4.1.2. Extendido y secado del material pétreo.

Una vez seco el material se procedió a cribarlo ya que el material obtenido venía con exceso de tamaño, y dicho material no servía para realizar las muestras. Después de cribado el material se encostaló para que no absorbiera humedad y no afectara al proporcionamiento, además de que es una forma de protegerlo de cualquier agente contaminante que pueda presentarse en el ambiente, como basura, hojas, etc.



4.1.1. Cuarteo en gravas.

OBJETIVO. Obtener una muestra representativa y del tamaño adecuado, para realizar la prueba correspondiente al material de estudio obtenido en campo.

EQUIPO:

Charolas grandes de lámina.

Cucharones.

Palas.

Balanza o báscula.

Cuarteador de muestras.

Trozo de plástico flexible de 40 por 40 centímetros.

PROCEDIMIENTO.

Existen 3 procedimientos usuales para efectuar el cuarteo de las muestras, el método utilizado fue por medio del procedimiento por cuarteo con palas.

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

2.- Se cambia el material al extremo opuesto, este cambio deberá hacerse por medio del paleado, tratando de revolver todo el material, además se procura apilar el material en forma cónica. Este procedimiento se repite tres veces.

3.- Una vez terminado el paso anterior el material apilado en forma cónica se aplanan la parte superior por medio de la cara posterior de la pala y después se divide el material trazando dos líneas perpendiculares sobre la superficie horizontal aplanada del material, eliminando las dos porciones opuestas, el



material sobrante servirá para realizar las pruebas correspondientes. Si se desea disminuir el tamaño de la muestra se repite el procedimiento anterior señalado.



4.1.2. 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".

Báscula con aproximación al décimo de gramo.



PROCEDIMIENTO.

1.- De la muestra que se trae de campo se criba a través de las mallas 3/4 y 3/8 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.

2.- 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.

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



% ABSORCIÓN		
	MUESTRA 1	MUESTRA 2
PESO SUPERFICIALMENTE SECO (Ph) g	301.4	300
PESO SECO (Ps) g	287.6	286.7
AGUA ABSORBIDA (Ph-Ps) g	13.8	13.3
% DE ABSORCIÓN $[(Ph-Ps)/(Ps)]*100$	4.80	4.64
PROMEDIO	4.72 %	

TABLA 6. PROMEDIO DE %ABSORCIÓN.

EL % DE ABSORCIÓN DE LA GRAVA ES DE 4.72



Fig. 4.1.4. Se pesa la muestra y seca.

4.1.3 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.

1.- Se pesa la muestra de grava registrando este peso como peso húmedo (Ph) en gramos.

2.- 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.

3.- 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.

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).



% HUMEDAD ACTUAL		
	MUESTRA 1	MUESTRA 2
PESO HUMEDO (Ph) g	576.6	507.2
PESO SECO (Ps) g	564.8	498.5
CONTENIDO DE AGUA (Ph-Ps) g	11.8	8.7
% DE ABSORCIÓN $[(Ph-Ps)/(Ps)]*100$	2.09	1.75
PROMEDIO	1.92 %	

TABLA 7. PROMEDIO DE % HUMEDAD ACTUAL.

EL % DE HUMEDAD ACTUAL DE LA GRAVA ES DE 1.92

4.1.4. 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.

PROCEDIMIENTO.

1.- 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 (Pi).

2.- 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 en (g/cm³).

P_i → Peso de la grava en gramos.

V → Volumen de la grava en cm³ ó ml.

RESULTADOS.

DENSIDAD		
	MUESTRA 1	MUESTRA 2
PESO HUMEDO (P_i) g	300	158.9
VOLUMEN DESALOJADO (ml)	124	68
DENSIDAD g/ml	2.42	2.34
PROMEDIO	2.38 g/ml	

TABLA 8. DENSIDAD PROMEDIO.

LA DENSIDAD DE LA GRAVA ES DE 2.38 g/ml



Fig. 4.1.5. Prueba de la densidad.

4.1.5. 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 lts.

Cucharón.

Pala y rastrillo.

Una balanza o báscula.

PROCEDIMIENTO.

1.- 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.

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

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

CÁLCULOS.

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

Donde:

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

P → Peso de la grava (g).

V → Volumen del recipiente (cm^3).

RESULTADOS:

PESO VOLUMETRICO SECO Y SUELTO		
	MUESTRA 1	MUESTRA 2
PESO DE LA TARA (g)	2930	2930
PESO TOTAL (g)	17050	17075
PESO DE LA GRAVA (Pg) g	14120	14145
VOLUMEN (V) cm^3	10600	10600
P.V.S.S. (Pg)/(V) g/cm^3	1.33	1.33
PROMEDIO	1.33 g/cm^3	

TABLA 9. PROMEDIO DEL P.V.S.S.

EL P.V.S.S. DE GRAVA ES DE 1.33 g/cm^3



4.1.6. 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 lts.

Cucharón.

Pala y rastrillo.

Una balanza o báscula.

PROCEDIMIENTO.

1.- 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.

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

3.- 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.

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



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).

RESULTADOS.

PESO VOLUMETRICO SECO Y VARILLADO		
	MUESTRA 1	MUESTRA 2
PESO DE LA TARA (g)	2930	2930
PESO TOTAL (g)	18400	18444
PESO DE LA GRAVA (Pg) g	15470	15511
VOLUMEN (V) cm^3	10600	10600
P.V.S.V. (Pg)/(V) g/cm^3	1.46	1.46
PROMEDIO	1.46 g/cm^3	

TABLA 10. PROMEDIO DEL P.V.S.V.

EL P.V.S.S. DE GRAVA ES DE $1.46 \text{ g}/\text{cm}^3$



Fig. 4.1.6. Se compacta la muestra y se pesa.



4.1.7. 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", $\frac{3}{4}$ ", $\frac{1}{2}$ ", $\frac{3}{8}$ ", y N°4.

Juego de charolas para recibir el material que se retiene en cada una de las mallas.

Recipiente de 10 litros.

PROCEDIMIENTO.

1.- Se seca previamente la muestra de grava en un horno a 110° 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).

2.- 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 tamaño máximo será el tamaño el tamaño de la malla que retenga el 5 % o más del peso de la muestra.



MALLA	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% ACUMULATIVO	% QUE PASA
1"	0	0	0	0
3/4"	910	6.14	6.14	93.86
1/2"	4400	29.69	35.83	64.17
3/8"	2940	19.84	55.67	44.33
1/4"	4530	30.57	86.23	13.77
No.4	2040	13.77	100.00	0.00
TOTAL	14820	100		

TABLA 11. RESULTADOS DEL ANALISIS GRANULOMETRICO.

EL TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO QUE SE TIENE ES DE 3/4"

4.1.8. Cuarteo en arena.

OBJETIVO. Obtener una muestra representativa y del tamaño adecuado, para realizar la prueba correspondiente al material de estudio obtenido en campo.

EQUIPO.

Charolas grandes de lámina.

Cucharones.

Palas.

Balanza o báscula.

Divisor de muestras.

Traza de plástico flexible de 40 por 40 centímetros.

PROCEDIMIENTO.

Existen 3 procedimientos usuales para efectuar el cuarteo de las muestras, el método utilizado fue por medio del procedimiento por cuarteo con palas.



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

2.- Se cambia el material al extremo opuesto, este cambio deberá hacerse por medio del paleado, tratando de revolver todo el material, además se procura apilar el material en forma cónica. Este procedimiento se repite tres veces.

3.- Una vez terminado el paso anterior el material apilado en forma cónica se aplanan la parte superior por medio de la cara posterior de la pala y después se divide el material trazando dos líneas perpendiculares sobre la superficie horizontal aplanada del material, eliminando las dos porciones opuestas, el material sobrante servirá para realizar las pruebas correspondientes. Si se desea disminuir el tamaño de la muestra se repite el procedimiento anterior señalado.

4.1.9. 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.

PROCEDIMIENTO.



1.- La muestra de 2 Kg. se pone a saturar durante 24 horas, como mínimo.

2.- 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.

3.- Cuando la arena está seca superficialmente hay que pesar una muestra de 300 gramos, registrando este peso como peso saturado y superficialmente seco (Ph).

4.- La muestra de 300 gramos, se coloca en una charola para secarla hasta peso constante, o sea, hasta eliminar completamente el agua.

5.- 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.

$$\% \text{ HUMEDAD DE ABSORCIÓN} = \frac{Ph - Ps}{Ps} * (100)$$

Donde: Ph → Peso saturado y superficialmente seco (gramos).

Ps → Peso seco del material (gramos).



Fig. 4.1.7. Se seca la muestra de forma superficial, con ayuda del cono troncocónico.

RESULTADOS.

% ABSORCIÓN		
	MUESTRA 1	MUESTRA 2
PESO SUPERFICIALMENTE SECO (Ph) g	224	302.5
PESO SECO (Ps) g	217	293.1
AGUA ABSORBIDA (Ph-Ps) g	7	9.4
% DE ABSORCIÓN $[(Ph-Ps)/(Ps)]*100$	3.23	3.21
PROMEDIO	3.22 %	

TABLA 12. % DE ABSORCIÓN.

EL % DE ABSORCIÓN DE LA ARENA ES DE 3.22

4.1.10. 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 (Ph) 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.

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 un poco el material y pesarlo este peso se registrará como peso final o peso seco de la muestra (Ps).

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).



% HUMEDAD ACTUAL		
	MUESTRA 1	MUESTRA 2
PESO HUMEDO (Ph) g	300	500
PESO SECO (Ps) g	296.6	494.1
CONTENIDO DE AGUA (Ph-Ps) g	3.4	5.9
% DE ABSORCIÓN $[(Ph-Ps)/(Ps)]*100$	1.15	1.19
PROMEDIO	1.17 %	

TABLA 13. % DE HUMEDAD ACTUAL.

EL % DE HUMEDAD ACTUAL DE LA ARENA ES DE 1.17

4.1.11. Densidad de la arena

OBJETIVO. Esta prueba tiene como finalidad obtener el volumen obstáculo 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.

PROCEDIMIENTO.

1.- 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.



2.- En la probeta se coloca un volumen de agua conocido, registrándolo como volumen inicial V_i en cm^3 .

3.- 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.

4.- Posteriormente se coloca la arena dentro de la probeta, 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 vamos a registrar este valor como volumen final.

CÁLCULOS.

$$\text{DENSIDAD DE LA ARENA (DA)} = \frac{P_i}{V_f - V_i}$$

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).

RESULTADOS.

DENSIDAD		
	MUESTRA 1	MUESTRA 2
PESO HUMEDO (P_i) g	238.6	293.3
VOLUMEN DESALOJADO (ml)	106	130
DENSIDAD g/ml	2.25	2.26
PROMEDIO	2.25 g/ml	

TABLA 14. DENSIDAD PROMEDIO.

LA DENSIDAD DE LA ARENA ES DE 2.25 g/ml



4.1.12. 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 o báscula.

PROCEDIMIENTO.

1.- Se vacía arena dentro del recipiente dejándose caer a una altura medida a partir de la arista superior del recipiente de aproximadamente 5 centímetros, llenado completamente el recipiente hasta colmarlo formando un cono.

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

3.- Al peso obtenido anteriormente se le resta el peso del recipiente para obtener el peso de la arena.

CÁLCULOS.

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

Donde:

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



Pg. → Peso de la arena (g).

V → Volumen del recipiente (cm³).

RESULTADOS.

PESO VOLUMETRICO SECO Y SUELTO		
	MUESTRA 1	MUESTRA 2
PESO DE LA TARA (g)	1900	1900
PESO TOTAL (g)	5950	5960
PESO DE LA ARENA (Pg) g	4050	4060
VOLUMEN (V) cm ³	2759	2759
P.V.S.S. (Pg)/(V) g/cm ³	1.47	1.47
PROMEDIO	1.47 g/cm³	

TABLA 15. TABLA DE P.V.S.S.

EL P.V.S.S. DE LA ARENA ES DE 1.47 g/cm³

4.1.13. 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 o báscula.

PROCEDIMIENTO.



1.- 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.

2.- 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.

3.- 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).

Pg. → Peso de la arena en gramos (g).

V. → Volumen del recipiente (cm^3).



Fig. 4.1.8. Se varilla y se pesa la muestra.



RESULTADOS.

PESO VOLUMETRICO SECO Y VARILLADO		
	MUESTRA 1	MUESTRA 2
PESO DE LA TARA (g)	1900	1900
PESO TOTAL (g)	6125	6148
PESO DE LA ARENA (Pg) g	4225	4248
VOLUMEN (V) cm ³	2759	2759
P.V.S.V. (Pg)/(V) g/cm ³	1.53	1.54
PROMEDIO	1.54 g/cm³	

TABLA 16.-TABLA DE P.V.S.V.

EL P.V.S.V. DE LA ARENA ES DE 1.54 g/cm³

4.1.14. 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.

1.- Se toma una muestra representativa de arena de aproximadamente 600 gramos.



2.- Se seca la muestra hasta peso constante, a una temperatura de no mayor de 110 °C.

3.- Cuando el material este seco y frío, se toman 500 gramos, pesados al décimo de gramo.

4.- Se colocan las mallas en orden decreciente (4, 8, 16, 30, 50, 100, 200 y charola), se coloca la muestra de 500 gramos y se tapa.

5.- Se agita el juego de mallas durante un tiempo de 10 minutos como mínimo, el agitado puede ser a mano o mecánicamente (Raf-Tap).

6.- 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.

7.- 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.



Fig. 4.1.9. Análisis granulométrico.



RESULTADOS.

MALLA	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% ACUMULATIVO	% QUE PASA
8	119.57	23.94512867	23.94512867	76.05487133
16	120.4	24.11134475	48.05647342	51.94352658
30	106.28	21.28366877	69.34014218	30.66
50	85.65	17.15229799	86.49244017	13.51
100	42.44	8.499048763	94.99148894	5.01
CHAROLA	25.01	5.008511064	100	0.00
TOTAL	499.35	100		

$$M.F. = \frac{322.8256734}{100} = 3.22$$

TABLA 17.- ANALISIS GRANULOMÉTRICO DE LA ARENA

EL MODULO DE FINURA DE LA ARENA ES DE 3.22

4.1.15. 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.



Después de 24 horas se compararán los colores.

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.



AL COMPARAR CON LA TABLA COLORIMÉTRICA DÁ UN 3 QUE ES BASTANTE ACEPTABLE.



4.1.16. 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 o báscula con aproximación al décimo de gramo.

PROCEDIMIENTO.

1.- Se toma una muestra representativa de 600 gramos, se seca hasta peso constante a una temperatura no mayor de 110 °C.

2.- La muestra seca se coloca en el recipiente y se pesa, previamente se pesará el recipiente vacío.

3.- Al material en el recipiente se le agrega agua hasta cubrir la muestra.

4.- Agítase enérgicamente la muestra con agua y viértase inmediatamente sobre el juego de mallas (la N° 16 arriba y la N° 200 abajo).

5.- Una vez puesto el material en el juego de mallas se le sigue agregando agua y agitando hasta que el agua salga completamente clara.

6.- Se regresa el material retenido en las mallas por medio del lavado.

7.- 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.

P_i → Peso seco inicial (g).

P_f → Peso seco después de lavar (g).

RESULTADOS.

MATERIAL QUE PASA POR LA MALLA No. 200		
	MUESTRA 1	MUESTRA 2
P _i (g).	312.4	305
P _f (g).	297.7	286
A [(P _i -P _f)/P _i]*100 %	4.94	6.64
PROMEDIO	5.79 %	

TABLA 18.- MATERIAL QUE PASA POR LA MALLA 200.

EL % DE MATERIAL QUE PASA LA MALLA No. 200 ES 5.79

4.2 Cemento.

4.2.1. 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.

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.

1.- 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.

2.- 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).

3.- 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).

4.- En otro ciclo de 30 segundos subsecuentes a los anteriores se deja reposar la mezcla para que la humedad se homogenice.

5.- 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 esta 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.

6.- 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.

4.2.2. 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 mezcle 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, hágase 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 aplánese primero la pasta de cemento sobre el vidrio y forme 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 DE LOS TIEMPOS 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 soporte la aguja de Gillmore final (la más pesada), sin que marque huella apreciable.

NOTA: Se realizaron 2 pruebas de tiempo de fraguado, una se realizó solo con el cemento, y la otra contenía cemento con fibra de cactus, la cantidad de la fibra de cactus era el 2% en relación con el peso del cemento.



RESULTADOS.

Cemento normal

FRAGUADO INICIAL: 3 horas y 44 min.

FRAGUADO FINAL: 8 horas y 2 min.

Cemento normal adicionado con la fibra de cactus

FRAGUADO INICIAL: 4 horas y 32 min.

FRAGUADO FINAL: 9 horas y 12 min.

4.2.3. 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.

PROCEDIMIENTO.

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

1.- 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.

2.- 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.

3.- Se toma la lectura en la parte inferior del menisco y se anota como lectura inicial del líquido Li.

4.- Se pesan alrededor de 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.

5.- Se sujeta el frasco en forma vertical, se agrega el cemento muy lentamente de manera que el cemento vaya pasando al interior sin obstruirse.

6.- 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.

7.- Se repite el paso No. 2 para lograr que se establezca nuevamente el nivel del líquido hasta lograr que sea repetidamente la misma lectura.

8.- Se toma la lectura de la parte inferior del menisco tomando como la lectura final registrándola como Lf.



CÁLCULO.

Peso alrededor de 64 gramos.

Volumen de cemento = $L_f - L_i$

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

Densidad = Densidad aparente del cemento en g/cm^3 .

P = Peso de la muestra en gramos.

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

PRECISIÓN. Las pruebas se efectuarán por duplicado para no tener errores de más de 0.01 g/ml.





RESULTADOS.

DENSIDAD		
	MUESTRA 1	MUESTRA 2
PESO DEL CEMENTO (P) g	64	64
LECTURA INICIAL (Li) cm ³	0.7	0.8
TEMPERATURA DEL LIQUIDO °C	19	19
LECTURA FINAL (Lf) cm ³	21.3	21.4
VOLUMEN DEL CEMENTO (Li-Lf) cm ³	20.6	20.6
DENSIDAD [(P)/(Li-Lf)] g/cm ³	3.11	3.11
PROMEDIO	3.11 g/cm³	

TABLA 19.- DENSIDAD DEL CEMENTO

LA DENSIDAD DEL CEMENTO ES DE 3.11 g/cm³

4.3 Especímenes.

4.3.1. Cilindros elaboración.

En esta fase de la investigación se realizaron 95 cilindros los cuales fueron 35 de concreto normal CPO 30R RS, en condiciones normales, y 60 cilindros con el mismo tipo de cemento pero adicionados con fibra de cactus opuntia.

La fibra de cactus se agregó a la mezcla en proporción al peso del cemento, esta proporción fue del 2% del peso del cemento a utilizar en la mezcla.

Los cilindros con cactus y sin cactus fueron probados a 3, 7, 14, 28 y 40 días A ESFUERZOS DE COMPRESIÓN Y TENSIÓN, esto con el fin de hacer la comparación del comportamiento del concreto adicionado con la fibra y sin adicionar la fibra, probado a determinadas fechas.



A continuación se muestra el proceso de fabricación de los especímenes y sus dimensiones.





Fig. 4.3.1. Preparación de los moldes y herramientas,



Fig. 4.3.2. Revoltura del material pétreo con el cactus, la cantidad del material se calculó en el proporcionamiento.



Fig. 4.3.3. Se adiciona agua a la mezcla, la cantidad de agua fue calculada en el proporcionamiento.



Fig. 4.3.4. Se realiza la prueba del revenimiento para verificar la calidad de la mezcla y su fluidez.





4.3.1.1. Determinación de la resistencia a la compresión simple de 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 Tinius Olsen.

Regla para medir el diámetro del cilindro.

PROCEDIMIENTO.

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

2.- 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.

3.- Se nivela 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 ($F'c$)

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

CALCULO.

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 en Kg.

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

E= Esfuerzo que resiste el espécimen en Kg/cm^2 .

Recomendaciones:

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, en caso contrario deben ser cabeceados de acuerdo a lo indicado en la norma NMX-C-109-ONNCCE.



Se limpian las superficies de las placas superior e inferior y las cabezas del espécimen de prueba, se coloca este último sobre la placa inferior alineando su eje cuidadosamente con el centro de la placa de carga con asiento esférico; mientras la placa superior se baja hacia el espécimen asegurándose que se tenga un contacto suave y uniforme.

Se debe aplicar la carga con una velocidad uniforme y continua sin producir impacto, ni pérdida de carga. La velocidad de carga debe estar dentro del intervalo de $84 \text{ kgf/cm}^2/\text{min}$ a $210 \text{ kgf/cm}^2/\text{min}$. Se aplica la carga hasta que aparezca la falla de ruptura.

Se calcula la resistencia a la compresión del espécimen, dividiendo la carga máxima soportada durante la prueba entre el área promedio de la sección transversal determinada con el diámetro medio [11].



Fig. 4.3.1.1. Se probó la muestra controlando la velocidad de carga y registrando su resultado



Fig. 4.3.1.2. La placa con la que se aplica carga tiene cara esférica como lo marca la norma.



Fig. 4.3.1.3. La falla es en el cilindro y no en el azufre, lo que indica que está bien cabeceado.



Fig. 4.3.1.4. La falla se presenta en el núcleo, porque falla el agregado y el cemento de forma conjunta.

FALLA

FALLA INTERNA

En la imagen se aprecia como falló la muestra de manera superficial y en la falla interna se muestra más a detalle como fallo la muestra desde su interior.



4.3.1.2. 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 de prueba

Placa o barra de apoyo suplementario

Tiras de apoyo

PROCEDIMIENTO.

1. 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.
2. 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 de 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 este directamente debajo del centro de la placa con apoyo esférico.



3.- Aplicación de carga. 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 en Kg/cm².

P= Carga máxima en Kg.

L= Longitud en cm.

D= Diámetro en cm.



Fig. 4.3.1.2.1. Se controla la velocidad de carga y se registra la carga final.



Fig. 4.3.1.2.2. Se colocan los aditamentos necesarios y se verifica que esté nivelada la muestra.



Fig. 4.3.1.2.3. La falla aparece en el sentido de la carga, lo que indica que está bien colocada.



Fig. 4.3.1.2.4. Con esta prueba se puede observar el núcleo del espécimen y su falla interna.



4.3.2. Vigas elaboración

En esta fase de la investigación se realizaron 18 vigas las cuales fueron 9 de concreto normal CPO 30R RS, en condiciones normales, y 9 vigas con el mismo tipo de cemento pero adicionados con fibra de cactus opuntia.

La fibra de cactus se agregó a la mezcla en proporción al peso del cemento, esta proporción fue del 2% del peso del cemento a utilizar en la mezcla.

Las vigas con cactus y sin cactus fueron probadas a 3, 7, 14, 28 y 40 días, esto con el fin de hacer la comparación del comportamiento del concreto adicionado con la fibra y sin adicionar la fibra, probado a determinadas fechas.

A continuación se muestra el proceso de fabricación de los especímenes y sus dimensiones.

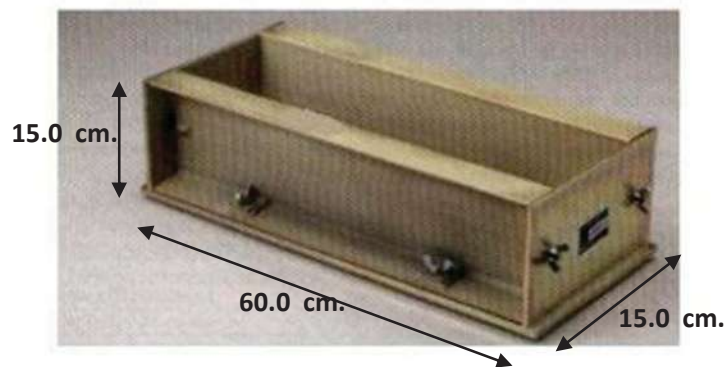




Fig. 4.3.2.1. Se revuelve el agregado pétreo con el cemento.



Fig. 4.3.2.2. Se agrega el cactus para los especímenes que contienen cactus, para los que no se les agrega cactus se omite este paso.



Fig. 4.3.2.3. Se agrega el agua y se revuelve toda la mezcla.



Fig. 4.3.2.4. Se mide el revenimiento que de proyecto es 10 cm. con una tolerancia de ± 3.5 cm para verificar la calidad de la mezcla.



Fig. 4.3.2.5. Se llenan en 2 capas, cada capa lleva 90 golpes con la varilla punta de bala y 15 con el mazo de goma.



Fig. 4.3.2.6. Transcurridas 24 horas como mínimo se descimbran las vigas para ponerse a curar.

4.3.2.1. Determinación de la resistencia a la flexión.

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

Se debe voltear el espécimen sobre un lado con respecto a la posición del moldeado, se centra en los bloques de apoyo y estos a su vez deben estar centrados respecto a la fuerza aplicada; los bloques de aplicación de carga se ponen en contacto con la superficie del espécimen en los puntos tercios entre los apoyos. Se debe tener contacto total, entre la aplicación de la carga y los bloques de apoyo con la superficie del espécimen.



La carga se debe aplicar a una velocidad uniforme, tal que el aumento de esfuerzo de las fibras extremas no exceda de 980 kPa/min (10 kgf/cm² por min), permitiéndose velocidades mayores antes del 50% de la carga estimada de ruptura.

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, el módulo de ruptura se calculará:

$$R = \frac{3(P)(a)}{b d^2}$$

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.

B= Es el ancho promedio del espécimen, en cm.

D= Es al peralte promedio del espécimen, en cm.

A= distancia entre la línea de falla y el apoyo más cercano.

Si la fractura ocurre fuera del tercio medio en más del 5% del claro, los resultados deben de descartarse. [12]

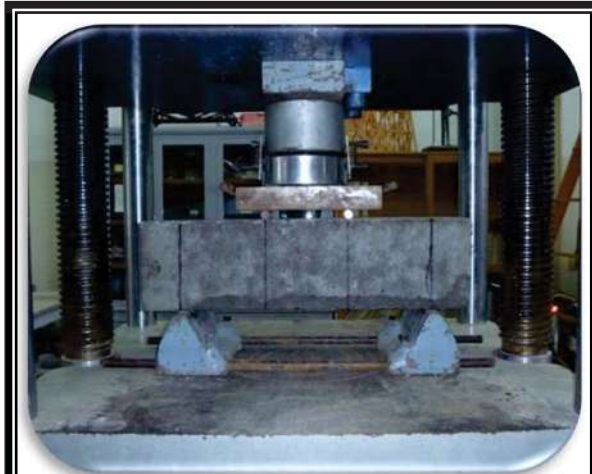


Fig. 4.3.2.7. Se aplica la carga en forma vertical, con una velocidad constante.

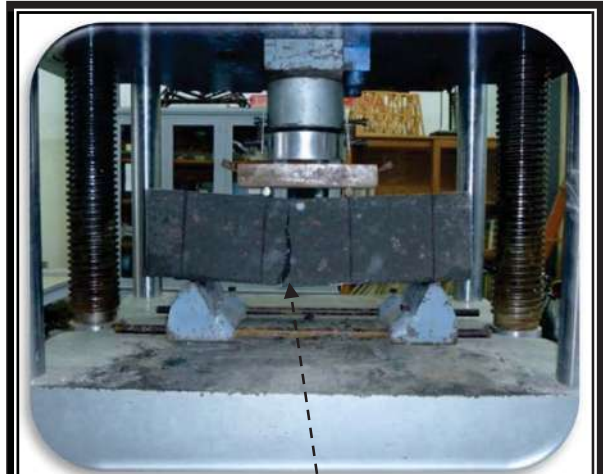


Fig. 4.3.2.8. El espécimen falla dentro del tercio medio del claro

FALLA

Para las pruebas se utilizó el Manual de Materiales. [13]

4.4 Velocidad de pulso ultrasónico.

El investigador Castellanos en 1985, en un trabajo exploratorio, estudió la correlación entre la velocidad y la resistencia utilizando concretos preparados con un agregado con propiedades físicas promedio, respecto a la variabilidad que se da en Yucatán, México. La curva de ajuste exponencial que obtuvo (concretos curados al ambiente por 28 días) tuvo un coeficiente de correlación (r) de 0.94; después de obtener esta alta correlación, surgió la pregunta sobre si este modelo tendría aplicación general para los concretos de la región preparados con cualquier agregado calizo triturado [14].

En el experimento de Castellanos las propiedades elásticas de los agregados permanecieron constantes, ya que se utilizó un único agregado, y se



hicieron variar las proporciones de los componentes del concreto, vía la aplicación del método de dosificación del ACI; el análisis estadístico mostró que gran parte de la varianza de la resistencia podía ser explicada por medio del cambio de la velocidad ultrasónica.

La respuesta a la interrogante planteada arriba fue que no se podía usar un único modelo bivariado entre la velocidad y la resistencia, aun cuando los concretos fueran preparados con el mismo tipo de agregado.

En una investigación posterior se obtuvo una curva de regresión exponencial con una r de 0.82 para concretos preparados con 6 diferentes muestras de agregados calizos triturados que se escogieron entre los más utilizados en una misma región. Aunque en términos estadísticos, un coeficiente de correlación como el que se obtuvo significa que las variables tienen una fuerte relación, en términos ingenieriles la dispersión que se produjo entre los datos experimentales es demasiado grande para poder aplicar el modelo. Se hicieron variar en forma simultánea las propiedades elásticas de los agregados, ya que se utilizaron seis agregados diferentes y las proporciones de los componentes del concreto, vía el método del ACI; de aquí se pudo concluir que la variación en los agregados introdujo una varianza en la resistencia que la velocidad por sí misma no puede explicar [15].

Por otro lado tenemos la velocidad de pulso ultrasónico como 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 [16].



Las 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 [17].

Se publicó un criterio de aceptación para el concreto hidráulico por Malhotra en 1985 sobre la base de la medición de la velocidad ultrasónica [18]. La clasificación del concreto en categorías con base a intervalos de velocidad se presenta en la Tabla 20.

Tabla 20. Clasificación del concreto según su velocidad ultrasónica [18]

Velocidad ultrasónica, v (m/s)	Clasificación del concreto
$V > 4\ 575$	Excelente
$4\ 575 > V > 3\ 660$	Bueno
$3\ 660 > V > 3\ 050$	Cuestionable
$3\ 050 > V > 2\ 135$	Pobre
$V < 2\ 135$	Muy pobre

Fuente: Malhotra V. M.

Dentro de los métodos de ultrasonido existen combinaciones y con esto grandes aplicaciones como es el caso de la amplitud relativa ultrasónica y el método de la velocidad de pulso ultrasónico, esta combinación es utilizada para determinar la resistencia del concreto hidráulico de alto rendimiento. La combinación de estos métodos se aplicó en el concreto hidráulico con diferentes contenidos de humo de sílice que van de 10%, 20% y 30% y con una relación de



agua cemento de 0.22 a 0.40, además con diferentes condiciones de curado. Debido a que la edad, la composición, el contenido de agua libre y las condiciones de curado son factores que influyen en la resistencia del concreto se determinaron mediciones de velocidad de pulso y de amplitud relativa ultrasónica obteniendo que las mediciones de velocidad de pulso ultrasónico son menos sensibles para un alto nivel de esfuerzo pero existe una buena correlación con la resistencia del concreto a la compresión de alto rendimiento con humo de sílice, en cambio las mediciones de amplitud relativa tienen una buena sensibilidad en todos los niveles de esfuerzo (independientemente de los factores que influyen en el esfuerzo). En dicho trabajo se sugiere esta combinación para estimar la resistencia del concreto con humo de sílice pero además se dice que se puede hacer una combinación con otros métodos para una mejor estimación del esfuerzo [19].

Esta prueba no destructiva nos ayuda a conocer la resistencia del espécimen a la compresión, se realiza con los accesorios del aparato, y con un gel especial para que haya mayor conductividad entre el espécimen y los conductores de pulso [20].



Fig. 4.4.1. Equipo para realizar prueba de velocidad de pulso ultrasónico.



Fig. 4.4.2. Se coloca la muestra entre los transductores y se inicia la prueba.



4.5 Frecuencia de resonancia y Resistividad.

La prueba de Frecuencia de Resonancia se realiza con el equipo llamado E-METER, esta prueba consiste en determinar las frecuencias de resonancia del espécimen, estas están dadas en Hz, esta es una prueba no destructiva y con este dato podemos obtener el modulo de elasticidad dinámico de la muestra, en base a la norma ASTM C215. [21].



Fig. 4.5.1. Equipo de medición de Frecuencia de resonancia.

La prueba de Resistividad se realiza con un aparato llamado Resistometro donde se hace pasar energía eléctrica a través del espécimen para determinar su porosidad, el dato obtenido es una lectura en (OMHS).



Fig. 4.5.2. Equipo para medir la resistividad de los especímenes.



Fig. 4.5.3. Se colocan los cilindros entre 2 placas de cobre para y un trapo húmedo para una mejor conductividad.



5. RESULTADOS.

A continuación se muestra un resumen de los resultados de las resistencias de los cilindros adicionados con cactus y de los cilindros sin adicionar cactus. Y se menciona la calidad del concreto cada mezcla según su velocidad ultrasónica.

5.1. Cilindros con cactus.

5.1.1. Resistencia a la compresión.

RESISTENCIA A LOS 3 DIAS SEGÚN LA NORMA NMX-C-083-ONNCE (31%)

CILINDROS COMPRESIÓN								
COLADA 4 "3 DIAS"								
No. DE CILINDROS	RESISTIVIDAD (OHMS)	ULTRASONIDO (m/seg)	FRECUENCIAS DE RESONANCIA (Hz)	MODULO DE ELASTICIDAD DINÁMICO (Kg/cm ²)	CARGA (kg.)	RESISTENCIA (Kg/cm ²)	% DE RESISTENCIA	RESULTADO
1	6*100	2406	2005	14930.65	4625	58.89	23.55	NO CUMPLE
2	5.8*100	2442	1883	13003.27	4075	51.88	20.75	NO CUMPLE
3	5.9*100	2656	2000	14598.78	4500	57.30	22.92	NO CUMPLE
4	5.9*100	2328	1280	6039.20	4550	57.93	23.17	NO CUMPLE
5	5.8*100	2739	1986	14391.01	4050	51.57	20.63	NO CUMPLE
PROMEDIO	5.88*100	2514.2	1830.8	12592.58	4360	55.51	22.21	NO CUMPLE



Es un concreto pobre.

RESISTENCIA A LOS 7 DIAS SEGÚN LA NORMA NMX-C-083-ONNCE (65%)

CILINDROS COMPRESIÓN								
COLADA 1 "7 DIAS"								
No. DE CILINDROS	RESISTIVIDAD (OHMS)	ULTRASONIDO (m/seg)	FRECUENCIAS DE RESONANCIA (Hz)	MODULO DE ELASTICIDAD DINÁMICO (Kg/cm ²)	CARGA (kg.)	RESISTENCIA (Kg/cm ²)	% DE RESISTENCIA	RESULTADO
1	9.7*100	2951	1356	6829.19	12900	164.25	65.70	SI CUMPLE
2	9.1*100	2875	1245	5684.48	14500	184.62	73.85	SI CUMPLE
3	9.4*100	2998	1234	5557.59	12850	163.61	65.44	SI CUMPLE
4	9.0*100	3002	1249	5750.22	13000	165.52	66.21	SI CUMPLE
5	9.6*100	3001	1368	6828.18	14500	184.62	73.85	SI CUMPLE
6	9.0*100	2946	1265	5868.58	12920	164.50	65.80	SI CUMPLE
7	9.2*100	3012	1298	6212.74	12800	162.97	65.19	SI CUMPLE
8	9.7*100	3045	1367	6957.90	13400	170.61	68.25	SI CUMPLE
9	9.0*100	3041	1322	6478.32	13500	171.89	68.75	SI CUMPLE
10	9.2*100	3598	1365	6929.82	12950	164.88	65.95	SI CUMPLE
PROMEDIO	9.29*100	3046.90	1306.90	6309.70	13332	169.75	67.90	SI CUMPLE



Es un concreto pobre.



RESISTENCIA A LOS 14 DIAS SEGÚN LA NORMA NMX-C-083-ONNCE (80%)

CILINDROS COMPRESIÓN								
COLADA 1 "14 DIAS"								
No. DE CILINDROS	RESISTIVIDAD (OHMS)	ULTRASONIDO (m/seg)	FRECUENCIAS DE RESONANCIA (Hz)	MODULO DE ELASTICIDAD DINÁMICO (Kg/cm ²)	CARGA (kg.)	RESISTENCIA (Kg/cm ²)	% DE RESISTENCIA	RESULTADO
1	1.5*1K	3194	2500	22315.57	20000	254.65	101.86	SI CUMPLE
2	1.5*1K	3252	2185	17260.87	19550	248.92	99.57	SI CUMPLE
3	1.5*1K	233	1890	13011.11	17000	216.45	86.58	SI CUMPLE
4	1.7*1K	3527	2131	16616.28	17100	217.72	87.09	SI CUMPLE
5	1.6*1K	2976	1613	9461.62	18250	232.37	92.95	SI CUMPLE
6	1.5*1K	3514	1640	9747.66	18500	235.55	94.22	SI CUMPLE
7	1.65*1K	3558	1660	10100.63	17550	223.45	89.38	SI CUMPLE
8	1.4*1K	3442	1937	13822.10	17500	222.82	89.13	SI CUMPLE
9	1.6*1K	3514	2006	14586.22	20150	256.56	102.62	SI CUMPLE
10	1.6*1K	3327	1664	10114.25	18300	233.00	93.20	SI CUMPLE
PROMEDIO	1.55*1K	3053.7	1922.6	13703.63	18390	234.15	93.66	SI CUMPLE



Es un concreto cuestionable.

RESISTENCIA A LOS 28 DIAS SEGÚN LA NORMA NMX-C-083-ONNCE (100%)

CILINDROS COMPRESIÓN								
COLADA 1 "28 DIAS"								
No. DE CILINDROS	RESISTIVIDAD (OHMS)	ULTRASONIDO (m/seg)	FRECUENCIAS DE RESONANCIA (Hz)	MODULO DE ELASTICIDAD DINÁMICO (Kg/cm ²)	CARGA (kg.)	RESISTENCIA (Kg/cm ²)	% DE RESISTENCIA	RESULTADO
1	1.6*1K	3184	2197	17791.79	19900	253.37	101.35	SI CUMPLE
2	1.5*1K	3448	2164	17086.27	19992	254.55	101.82	SI CUMPLE
3	1.5*1K	3484	1982	14406.52	19992	254.55	101.82	SI CUMPLE
4	1.4*1K	3361	2035	15270.83	19800	252.10	100.84	SI CUMPLE
5	1.4*1K	2980	1947	14114.75	22032	280.52	112.21	SI CUMPLE
6	1.35*1K	3508	1862	12851.64	22440	285.71	114.29	SI CUMPLE
7	1.35*1K	3448	2065	15859.77	21216	270.13	108.05	SI CUMPLE
8	1.3*1K	3379	2045	15493.25	21500	273.75	109.50	SI CUMPLE
9	1.45*1K	3245	1987	14589.98	19856	252.81	101.13	SI CUMPLE
10	1.35*1K	3178	2105	16254.70	21570	274.64	109.86	SI CUMPLE
PROMEDIO	1.42*1K	3321.5	2038.9	15371.95	20829.8	265.21	106.09	SI CUMPLE



Es un concreto cuestionable.



RESISTENCIA A LOS 40 DÍAS SEGÚN LA NORMA NMX-C-083-ONNCE (100%)

CILINDROS COMPRESIÓN								
COLADA 4 "40 DIAS"								
No. DE CILINDROS	RESISTIVIDAD (OHMS)	ULTRASONIDO (m/seg)	FRECUENCIAS DE RESONANCIA (Hz)	MODULO DE ELASTICIDAD DINÁMICO (Kg/cm ²)	CARGA (kg.)	RESISTENCIA (Kg/cm ²)	% DE RESISTENCIA	RESULTADO
1	1.1*1K	3384	2250	18523.88	21890	278.71	111.48	SI CUMPLE
2	1.2*1K	3748	2203	17649.23	21991	280.00	112.00	SI CUMPLE
3	1.1*1K	3648	1999	14482.33	22000	280.11	112.05	SI CUMPLE
4	1.0*1K	3561	2045	15329.17	21870	278.46	111.38	SI CUMPLE
5	1.1*1K	3245	2009	14868.75	24235	308.57	123.43	SI CUMPLE
6	1.1*1K	3678	1998	14470.11	24685	314.30	125.72	SI CUMPLE
7	1.1*1K	3659	2130	16572.43	23350	297.30	118.92	SI CUMPLE
8	1.1*1K	3500	2138	16464.59	23650	301.12	120.45	SI CUMPLE
9	1.25*1K	3450	2078	36242.04	21850	278.20	111.28	SI CUMPLE
10	1.2*1K	3356	2204	40568.63	23727	302.10	120.84	SI CUMPLE
PROMEDIO	1.12*1K	3522.9	2105.4	20517.12	22924.8	291.89	116.76	SI CUMPLE



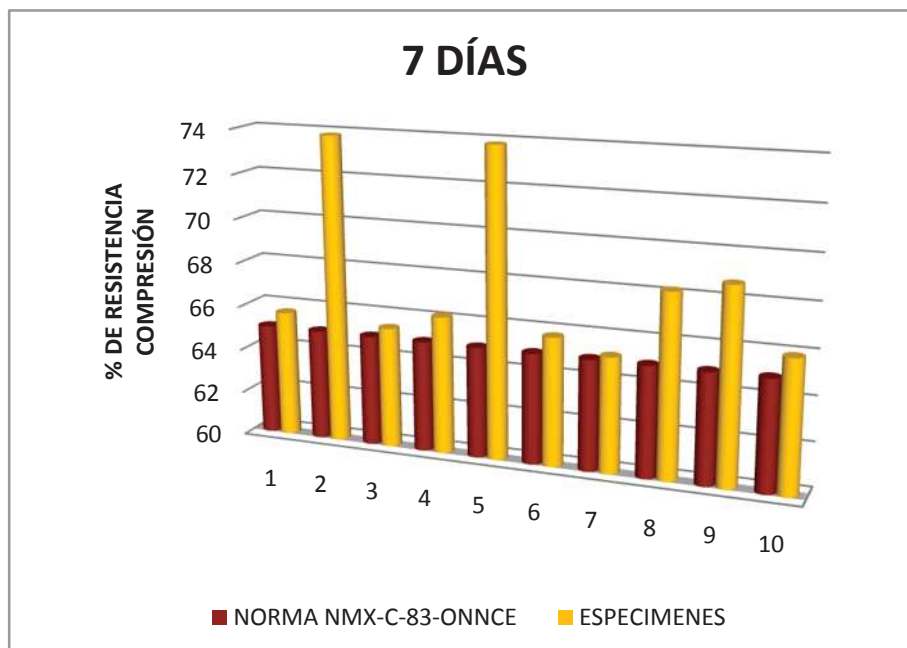
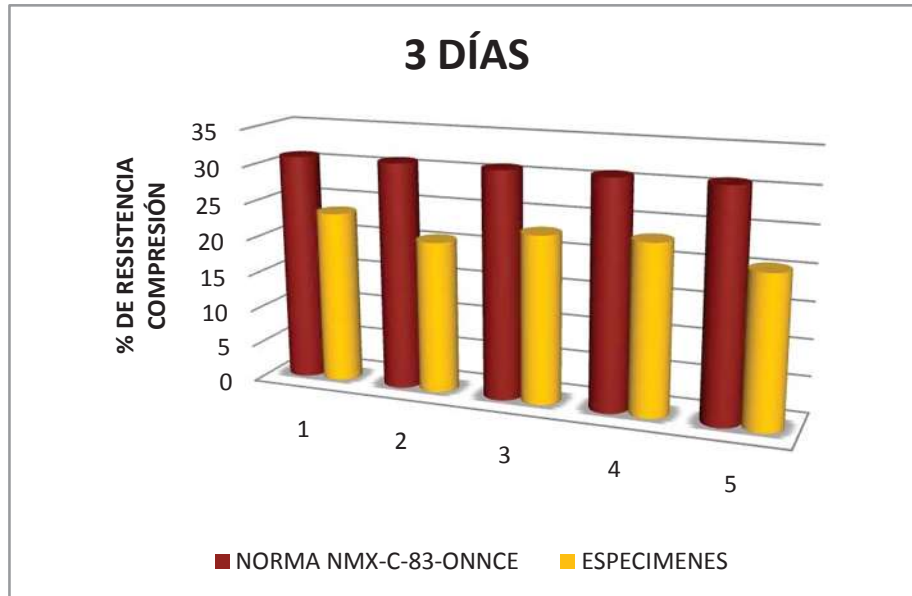
Es un concreto cuestionable.

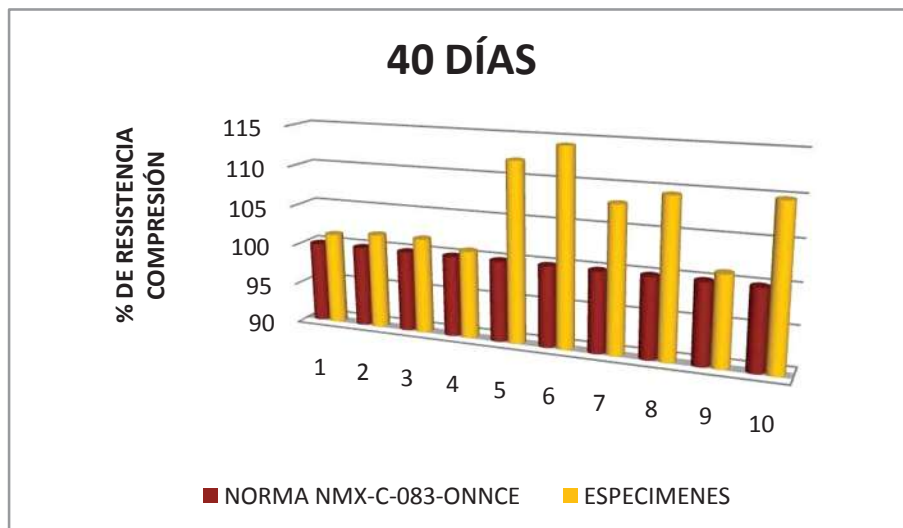
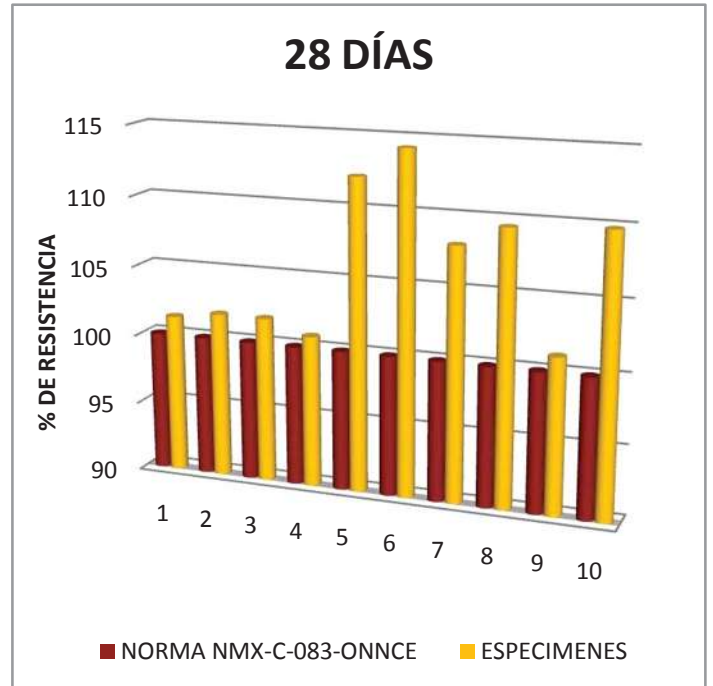
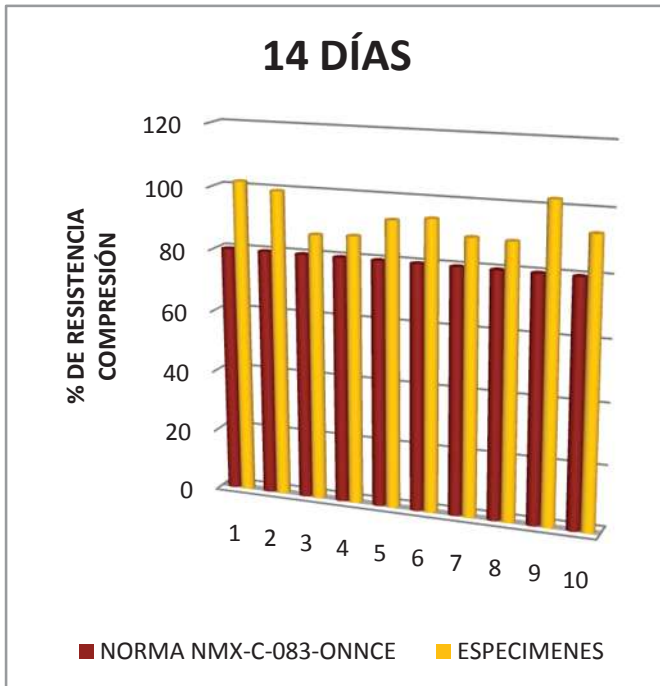
Los siguientes valores son los valores que marca la norma NMX-C-083-ONNCE para el % de resistencia la compresión a determinados días.

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



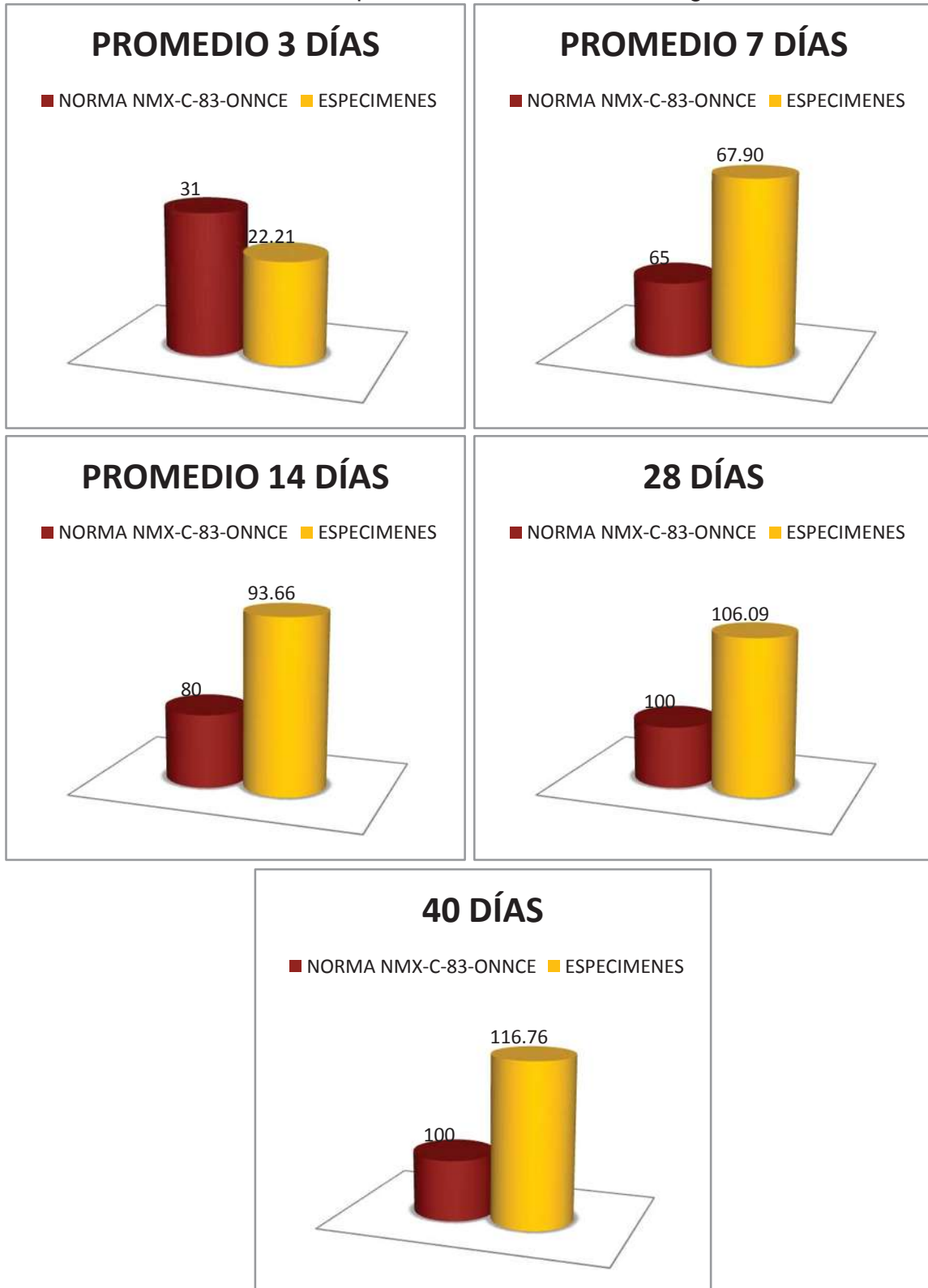
Con los datos obtenidos se realizaron gráficas para ver su comportamiento, y apreciar mejor los resultados, estas se muestran a continuación:





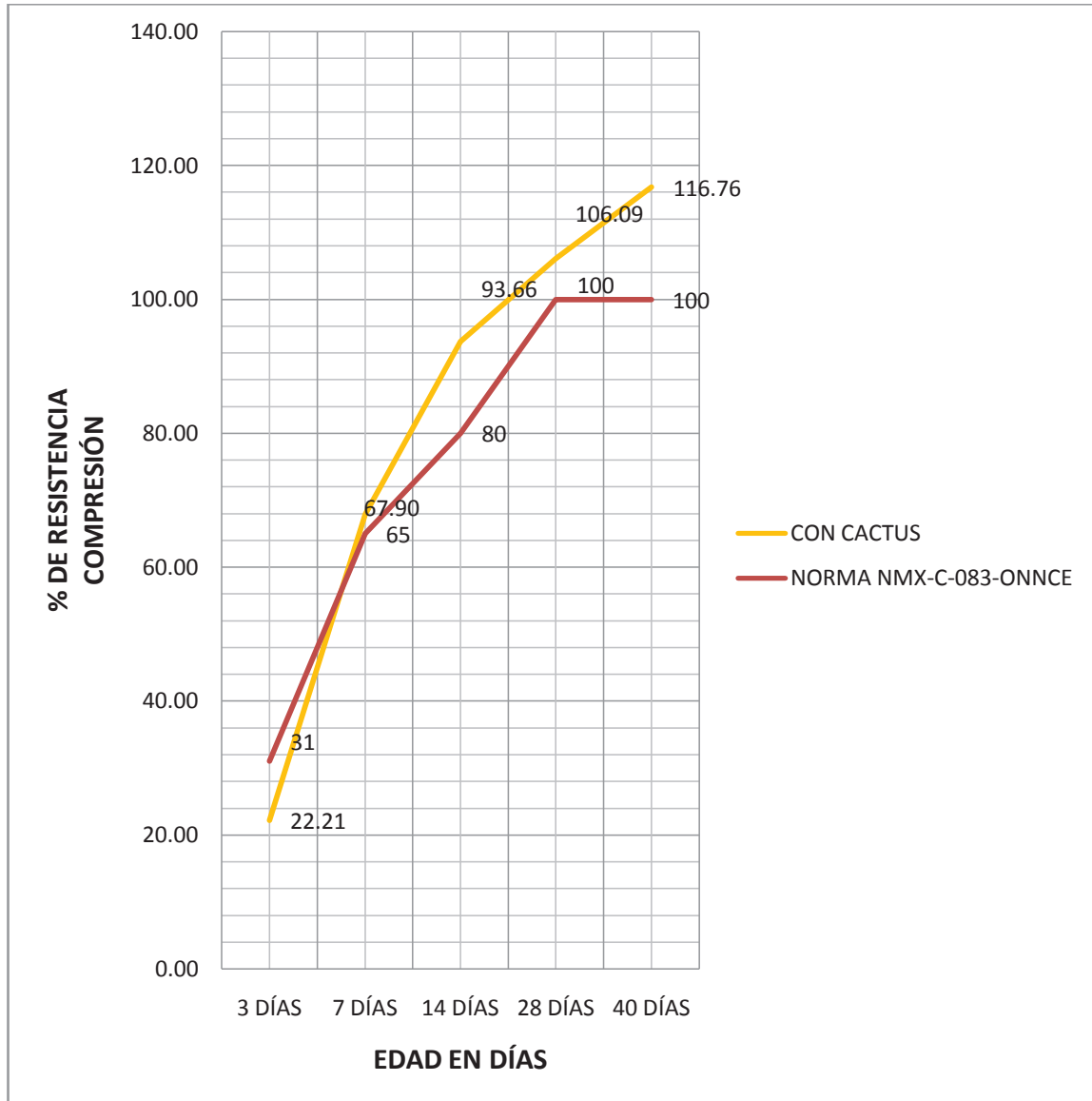


A continuación se muestra un promedio de cada una de las graficas anteriores.





A continuación se muestra una grafica donde se muestra el comportamiento de los especímenes a los que se les agrego cactus, comparado con la norma NMX-C-083-ONNCE a lo largo del estudio.





5.1.2. Resistencia a la tensión.

RESISTENCIA A LOS 3 DÍAS

CILINDROS TENSIÓN						
COLADA 4 "3 DIAS"						
No. DE CILINDROS	RESISTIVIDAD (OHMS)	ULTRASONIDO (m/seg)	FRECUENCIAS DE RESONANCIA (Hz)	MODULO DE ELASTICIDAD DINÁMICO (Kg/cm ²)	CARGA (kg.)	TENSIÓN (Kg/cm ²)
1	6.7*100	2703	1900	13407.79	1912.5	6.09
2	6.5*100	2770	1480	8032.95	1750	5.57
3	6.1*100	2773	1528	8521.25	1700	5.41
PROMEDIO	6.43*100	2748.67	1636	9987.33	1787.50	5.69



RESISTENCIA A LOS 7 DÍAS

CILINDROS TENSIÓN						
COLADA 1 "7 DIAS"						
No. DE CILINDROS	RESISTIVIDAD (OHMS)	ULTRASONIDO (m/seg)	FRECUENCIAS DE RESONANCIA (Hz)	MODULO DE ELASTICIDAD DINÁMICO (Kg/cm ²)	CARGA (kg.)	TENSIÓN (Kg/cm ²)
1	9.3*100	2879	1632	9867.25	4600	14.64
2	9.4*100	2956	1854	12702.19	4700	14.96
3	9.6*100	3022	1821	12164.51	5000	15.92
PROMEDIO	9.43*100	2952.33	1769	11577.98	4766.67	15.17



RESISTENCIA A LOS 14 DÍAS

CILINDROS TENSIÓN						
COLADA 1 "14 DIAS"						
No. DE CILINDROS	RESISTIVIDAD (OHMS)	ULTRASONIDO (m/seg)	FRECUENCIAS DE RESONANCIA (Hz)	MODULO DE ELASTICIDAD DINÁMICO (Kg/cm ²)	CARGA (kg.)	TENSIÓN (Kg/cm ²)
1	1.65*1K	3245	1906	13492.61	5475	17.43
2	1.8*1K	3456	1806	11961.55	4850	15.44
3	1.5*1K	3321	2010	14745.13	4950	15.76
PROMEDIO	1.65*1K	3340.67	1907.333333	13399.76	5091.67	16.21





RESISTENCIA A LOS 28 DÍAS

CILINDROS TENSIÓN						
COLADA 1 "28 DÍAS"						
No. DE CILINDROS	RESISTIVIDAD (OHMS)	ULTRASONIDO (m/seg)	FRECUENCIAS DE RESONANCIA (Hz)	MODULO DE ELASTICIDAD DINÁMICO (Kg/cm ²)	CARGA (kg.)	TENSIÓN (Kg/cm ²)
1	1.4*1K	3454	2125	16123.00	6600	21.01
2	1.3*1K	3539	2021	14767.01	7200	22.92
3	1.4*1K	3466	1998	14540.58	6550	20.85
PROMEDIO	1.37*1K	3486.33	2048	15143.53	6783.33	21.59



RESISTENCIA A LOS 40 DÍAS

CILINDROS TENSIÓN						
COLADA 1 "40 DÍAS"						
No. DE CILINDROS	RESISTIVIDAD (OHMS)	ULTRASONIDO (m/seg)	FRECUENCIAS DE RESONANCIA (Hz)	MODULO DE ELASTICIDAD DINÁMICO (Kg/cm ²)	CARGA (kg.)	TENSIÓN (Kg/cm ²)
1	1.0*1K	3674	2200	40186.99	7100	22.60
2	1.1*1K	3628	2103	36919.32	7750	24.67
3	1.1*1K	3677	2032	33411.94	7005	22.30
PROMEDIO	1.07*1K	3659.67	2111.67	36839.42	7285.00	23.19





5.2. Cilindros sin cactus.

5.2.1. Resistencia a la compresión.

RESISTENCIA A LOS 3 DÍAS SEGÚN LA NORMA NMX-C-083-ONNCE (31%)

CILINDROS COMPRESIÓN								
COLADA 3 "3 DIAS"								
No. DE CILINDROS	RESISTIVIDAD (OHMS)	ULTRASONIDO (m/seg)	FRECUENCIAS DE RESONANCIA (Hz)	MODULO DE ELASTICIDAD DINÁMICO (Kg/cm ²)	CARGA (kg.)	RESISTENCIA (Kg/cm ²)	% DE RESISTENCIA	RESULTADO
1	8.9*100	3231	1565	9096.59	9800	124.78	49.91	SI CUMPLE
2	9.0*100	2628	1345	6634.32	10200	129.87	51.95	SI CUMPLE
3	8.5*100	3316	1543	8689.37	9500	120.96	48.38	SI CUMPLE
4	8.4*100	3307	1548	8832.86	9450	120.32	48.13	SI CUMPLE
5	8.0*100	3231	1678	10273.46	8300	105.68	42.27	SI CUMPLE
PROMEDIO	8.56*100	3142.6	1535.8	8705.32	9450	120.32	48.13	SI CUMPLE

Es un concreto cuestionable.

RESISTENCIA A LOS 7 DÍAS SEGÚN LA NORMA NMX-C-083-ONNCE (65%)

CILINDROS COMPRESIÓN								
COLADA 3 "7 DIAS"								
No. DE CILINDROS	RESISTIVIDAD (OHMS)	ULTRASONIDO (m/seg)	FRECUENCIAS DE RESONANCIA (Hz)	MODULO DE ELASTICIDAD DINÁMICO (Kg/cm ²)	CARGA (kg.)	RESISTENCIA (Kg/cm ²)	% DE RESISTENCIA	RESULTADO
1	1.1*1K	3394	1699	10748.01	13600	173.16	69.26	SI CUMPLE
2	1.2*1K	3128	1292	6187.63	14300	182.07	72.83	SI CUMPLE
3	1.0*1K	3409	1827	12414.63	13200	168.07	67.23	SI CUMPLE
4	1.1*1K	3483	1735	11152.05	13600	173.16	69.26	SI CUMPLE
5	1.2*1K	3390	1535	8707.15	14250	181.44	72.57	SI CUMPLE
PROMEDIO	1.1*1K	3360.8	1617.6	9841.89	13790	175.58	70.23	SI CUMPLE

Es un concreto cuestionable.



RESISTENCIA A LOS 14 DÍAS SEGÚN LA NORMA NMX-C-083-ONNCE (80%)

CILINDROS COMPRESIÓN								
COLADA 3 "14 DIAS"								
No. DE CILINDROS	RESISTIVIDAD (OHMS)	ULTRASONIDO (m/seg)	FRECUENCIAS DE RESONANCIA (Hz)	MODULO DE ELASTICIDAD DINÁMICO (Kg/cm ²)	CARGA (kg.)	RESISTENCIA (Kg/cm ²)	% DE RESISTENCIA	RESULTADO
1	1.8*1K	3389	2450	21701.61	13850	176.34	70.54	NO CUMPLE
2	1.5*1K	3478	1570	8978.21	15900	202.45	80.98	SI CUMPLE
3	1.8*1K	3015	1995	14563.07	16050	204.35	81.74	SI CUMPLE
4	1.4*1K	3256	1894	13045.38	18000	229.18	91.67	SI CUMPLE
5	1.8*1K	3347	2130	16442.66	16800	213.90	85.56	SI CUMPLE
PROMEDIO	1.66*1K	3297	2007.8	14946.19	16120	205.25	82.10	SI CUMPLE

Es un concreto bueno.

RESISTENCIA A LOS 28 DÍAS SEGÚN LA NORMA NMX-C-083-ONNCE (100%)

CILINDROS COMPRESIÓN								
COLADA 3 "28 DIAS"								
No. DE CILINDROS	RESISTIVIDAD (OHMS)	ULTRASONIDO (m/seg)	FRECUENCIAS DE RESONANCIA (Hz)	MODULO DE ELASTICIDAD DINÁMICO (Kg/cm ²)	CARGA (kg.)	RESISTENCIA (Kg/cm ²)	% DE RESISTENCIA	RESULTADO
1	1.5*1K	3683	2025	14863.84	18850	240.01	96.00	NO CUMPLE
2	1.5*1K	3745	2132	16603.56	19300	245.74	98.29	NO CUMPLE
3	1.6*1K	3642	1995	14335.78	18200	231.73	92.69	NO CUMPLE
4	1.6*1K	3696	2045	35100.09	18700	238.10	95.24	NO CUMPLE
5	1.6*1K	3710	2062	35509.49	19200	244.46	97.78	NO CUMPLE
PROMEDIO	1.56*1K	3695.2	2051.8	23282.55	18850	240.01	96.00	NO CUMPLE

Es un concreto bueno.



RESISTENCIA A LOS 40 DÍAS SEGÚN LA NORMA NMX-C-083-ONNCE (100%)

CILINDROS COMPRESIÓN								
COLADA 3 "40 DIAS"								
No. DE CILINDROS	RESISTIVIDAD (OHMS)	ULTRASONIDO (m/seg)	FRECUENCIAS DE RESONANCIA (Hz)	MODULO DE ELASTICIDAD DINÁMICO (Kg/cm ²)	CARGA (kg.)	RESISTENCIA (Kg/cm ²)	% DE RESISTENCIA	RESULTADO
1	1.2*1K	3780	2125	36540.31	20735	264.01	105.60	SI CUMPLE
2	1.2*1K	3700	2242	41283.72	21230	270.31	108.12	SI CUMPLE
3	1.3*1K	3697	2005	33545.62	20020	254.90	101.96	SI CUMPLE
4	1.3*1K	3732	2175	41398.32	20570	261.91	104.76	SI CUMPLE
5	1.3*1K	3743	2156	17264.24	21120	268.91	107.56	SI CUMPLE
PROMEDIO	1.56*1K	3730.4	2140.6	34006.44	20735	264.01	105.60	SI CUMPLE

Es un concreto bueno.

5.2.2. Resistencia a la tensión.

RESISTENCIA A LOS 3 DÍAS

CILINDROS TENSIÓN						
COLADA 3 "3 DIAS"						
No. DE CILINDROS	RESISTIVIDAD (OHMS)	ULTRASONIDO (m/seg)	FRECUENCIAS DE RESONANCIA (Hz)	MODULO DE ELASTICIDAD DINÁMICO (Kg/cm ²)	CARGA (kg.)	TENSIÓN (Kg/cm ²)
1	8.0*100	3125	1650	9984.35	3600	11.46
2	8.2*100	3260	1567	9054.65	3450	10.98
PROMEDIO	8.1*100	3192.50	1608.50	9519.50	3525	11.22

RESISTENCIA A LOS 7 DÍAS

CILINDROS TENSIÓN						
COLADA 3 "7 DIAS"						
No. DE CILINDROS	RESISTIVIDAD (OHMS)	ULTRASONIDO (m/seg)	FRECUENCIAS DE RESONANCIA (Hz)	MODULO DE ELASTICIDAD DINÁMICO (Kg/cm ²)	CARGA (kg.)	TENSIÓN (Kg/cm ²)
1	10.8*100	3448	2022	14998.13	4250	13.53
2	10.3*100	3254	1742	10834.88	5000	15.92
PROMEDIO	10.55*100	3351	1882	12916.51	4625	14.72



RESISTENCIA A LOS 14 DÍAS

CILINDROS TENSIÓN						
COLADA 3 "14 DIAS"						
No. DE CILINDROS	RESISTIVIDAD (OHMS)	ULTRASONIDO (m/seg)	FRECUENCIAS DE RESONANCIA (Hz)	MODULO DE ELASTICIDAD DINÁMICO (Kg/cm ²)	CARGA (kg.)	TENSIÓN (Kg/cm ²)
6	1.8*1K	3157	2528	23425.36	3850	12.25
7	1.5*1K	3254	2330	19999.84	4225	13.45
PROMEDIO	1.7*1K	3205.50	2429.00	21712.60	4037.5	12.85

RESISTENCIA A LOS 28 DÍAS

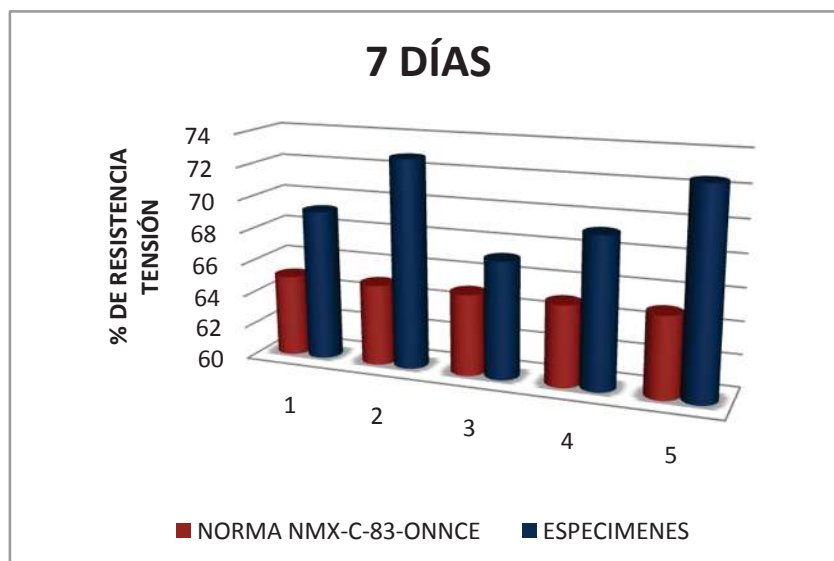
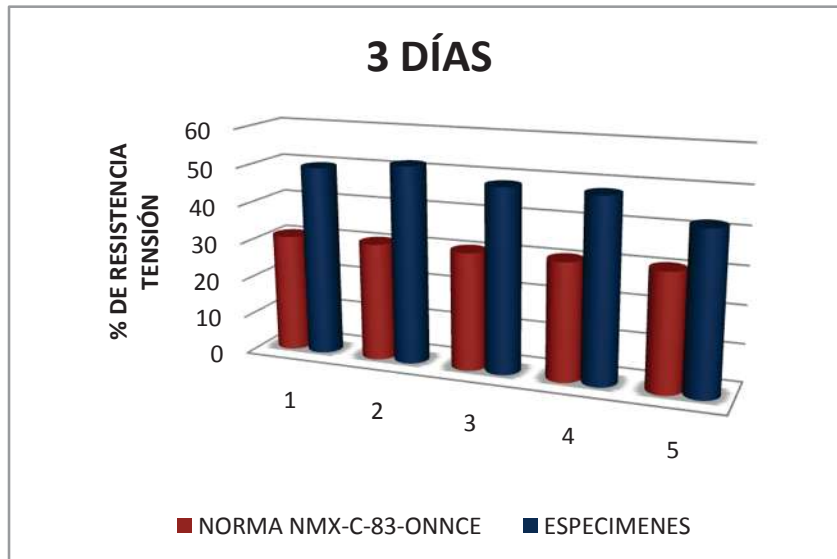
CILINDROS TENSIÓN						
COLADA 3 "28 DIAS"						
No. DE CILINDROS	RESISTIVIDAD (OHMS)	ULTRASONIDO (m/seg)	FRECUENCIAS DE RESONANCIA (Hz)	MODULO DE ELASTICIDAD DINÁMICO (Kg/cm ²)	CARGA (kg.)	TENSIÓN (Kg/cm ²)
1	1.55*1K	3663	2015	33712.44	5950	18.94
2	1.55*1K	3656	2078	36046.76	6400	20.37
PROMEDIO	1.55*1K	3659.50	2046.50	34879.60	6175	19.66

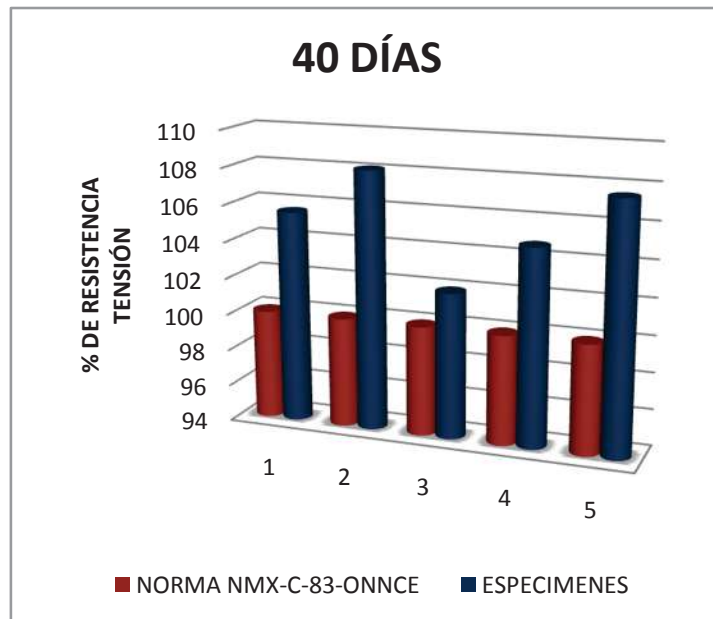
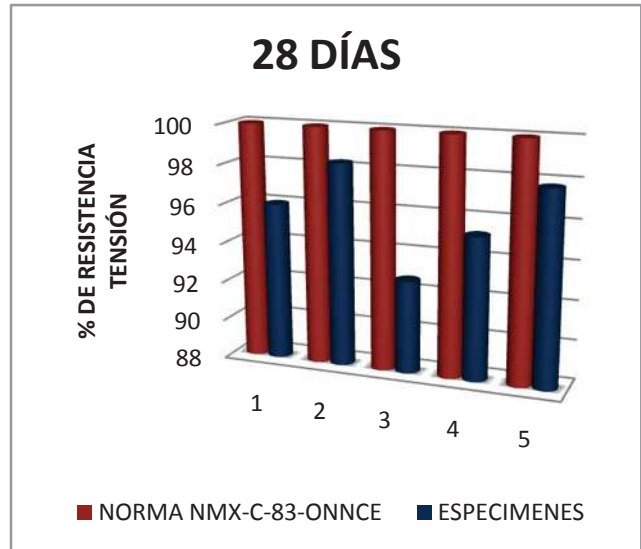
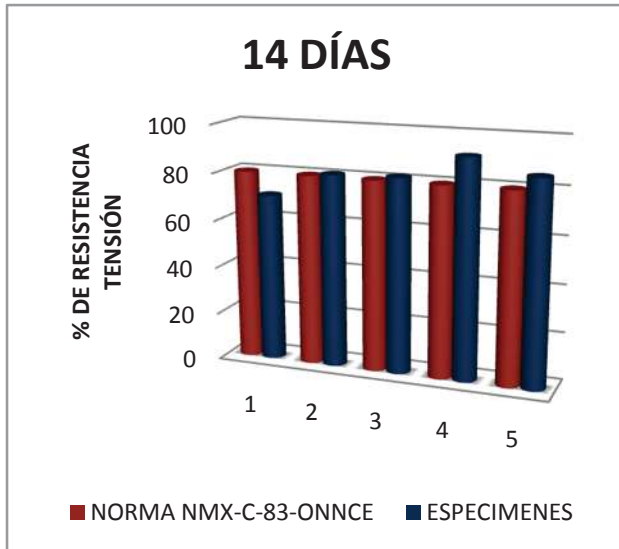
RESISTENCIA A LOS 40 DÍAS

CILINDROS TENSIÓN						
COLADA 3 "40 DIAS"						
No. DE CILINDROS	RESISTIVIDAD (OHMS)	ULTRASONIDO (m/seg)	FRECUENCIAS DE RESONANCIA (Hz)	MODULO DE ELASTICIDAD DINÁMICO (Kg/cm ²)	CARGA (kg.)	TENSIÓN (Kg/cm ²)
1	1.2*1K	3693	2105	16250.10	6350	20.21
2	1.2*1K	3746	2098	16064.51	6950	22.12
PROMEDIO	1.55*1K	3719.50	2101.50	16157.30	6650	21.17



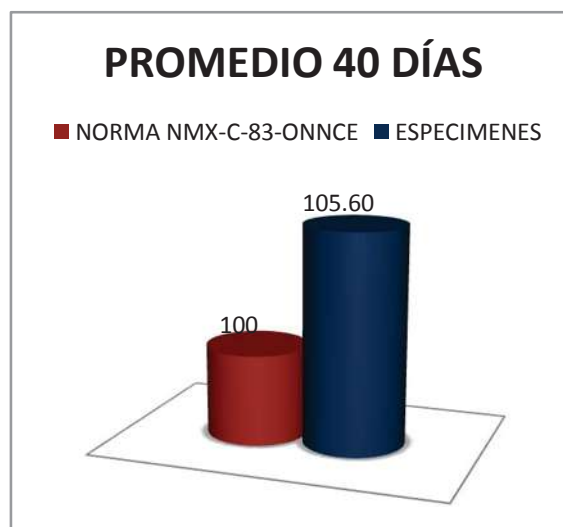
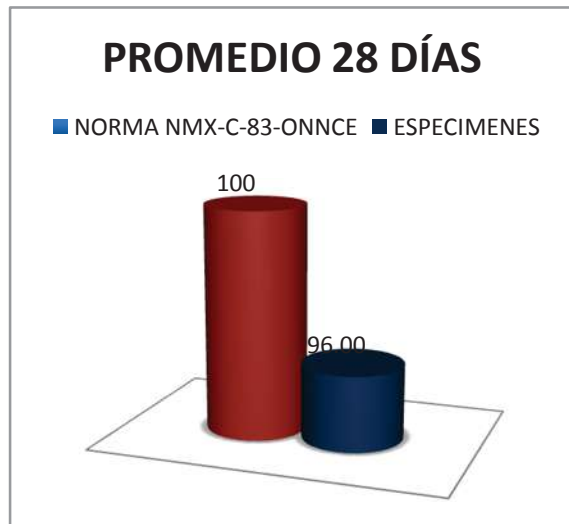
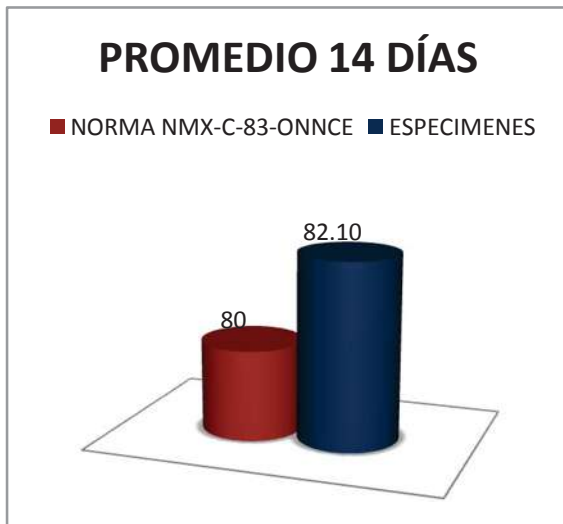
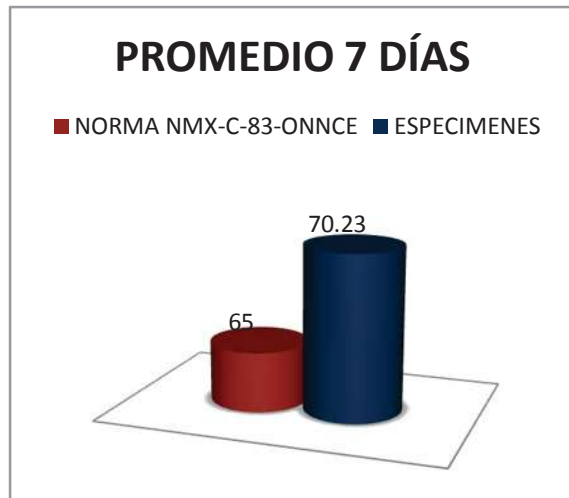
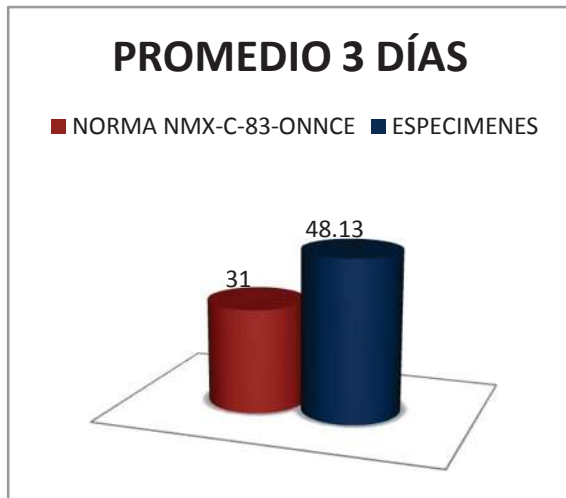
A continuación se muestran las graficas de los resultados obtenidos.





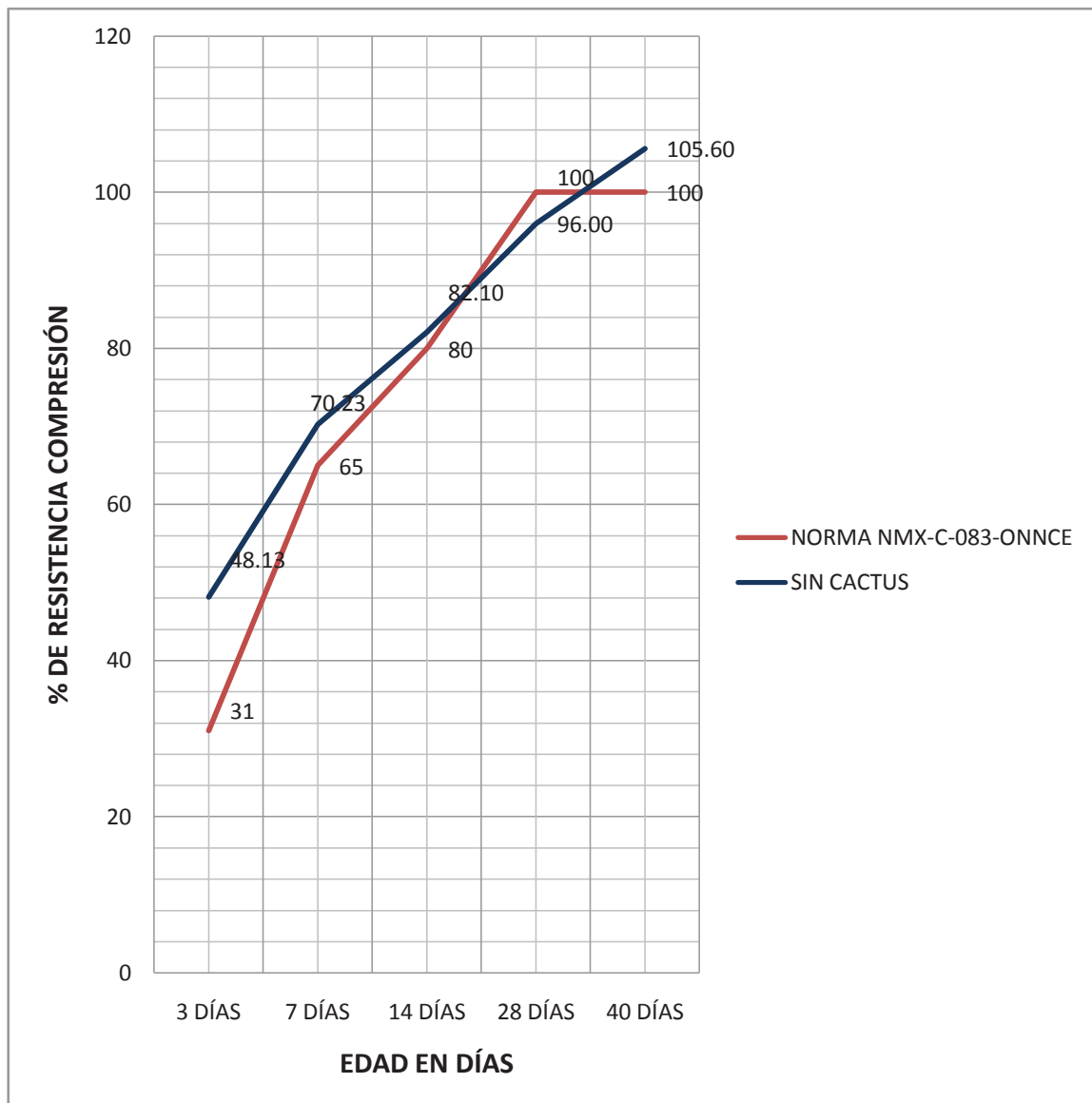


A continuación se muestra un promedio de cada una de las graficas anteriores.



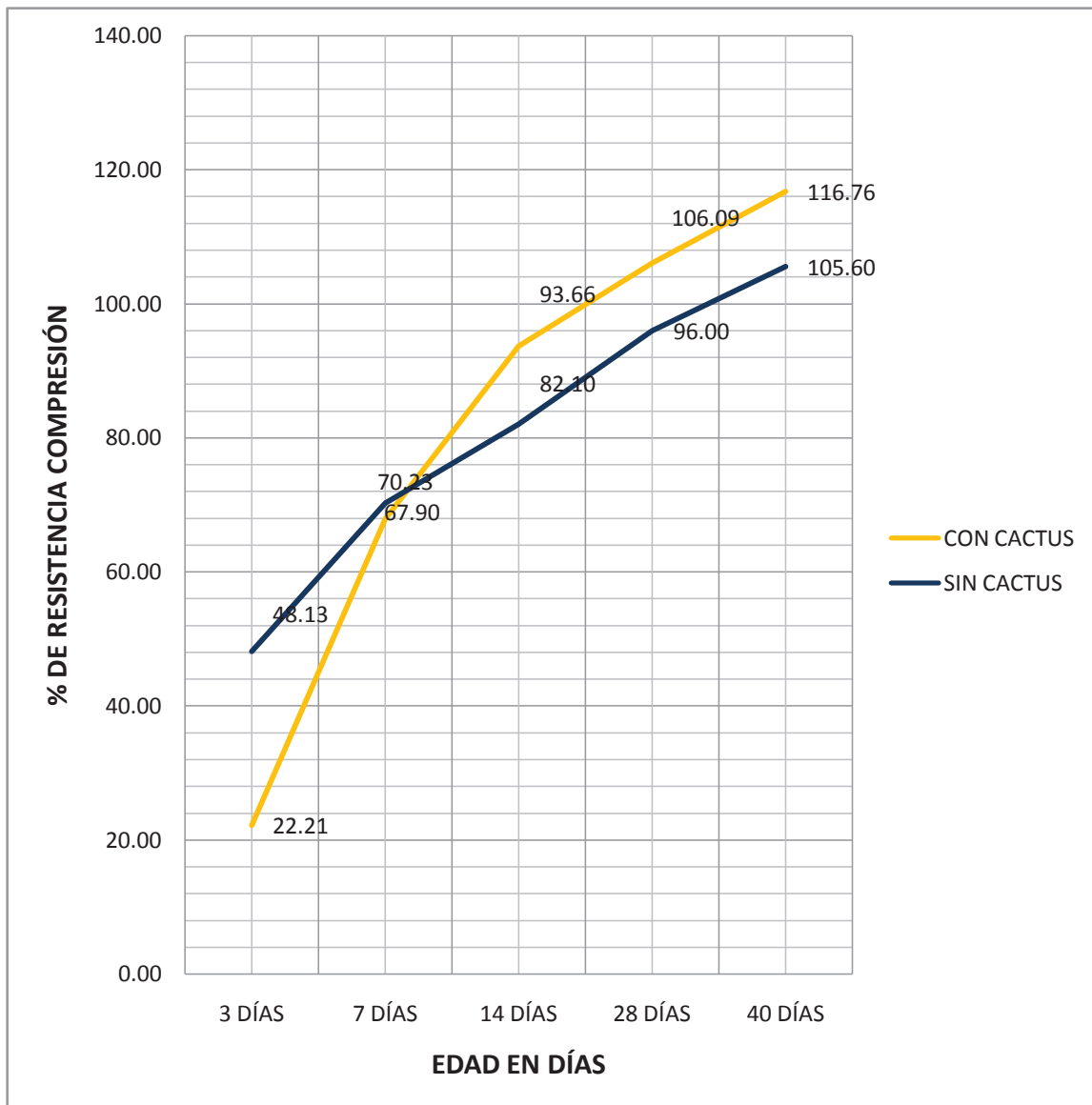


A continuación se muestra una grafica donde se muestra el comportamiento de los especímenes comparado con la norma NMX-C-083-ONNCE a lo largo del estudio.



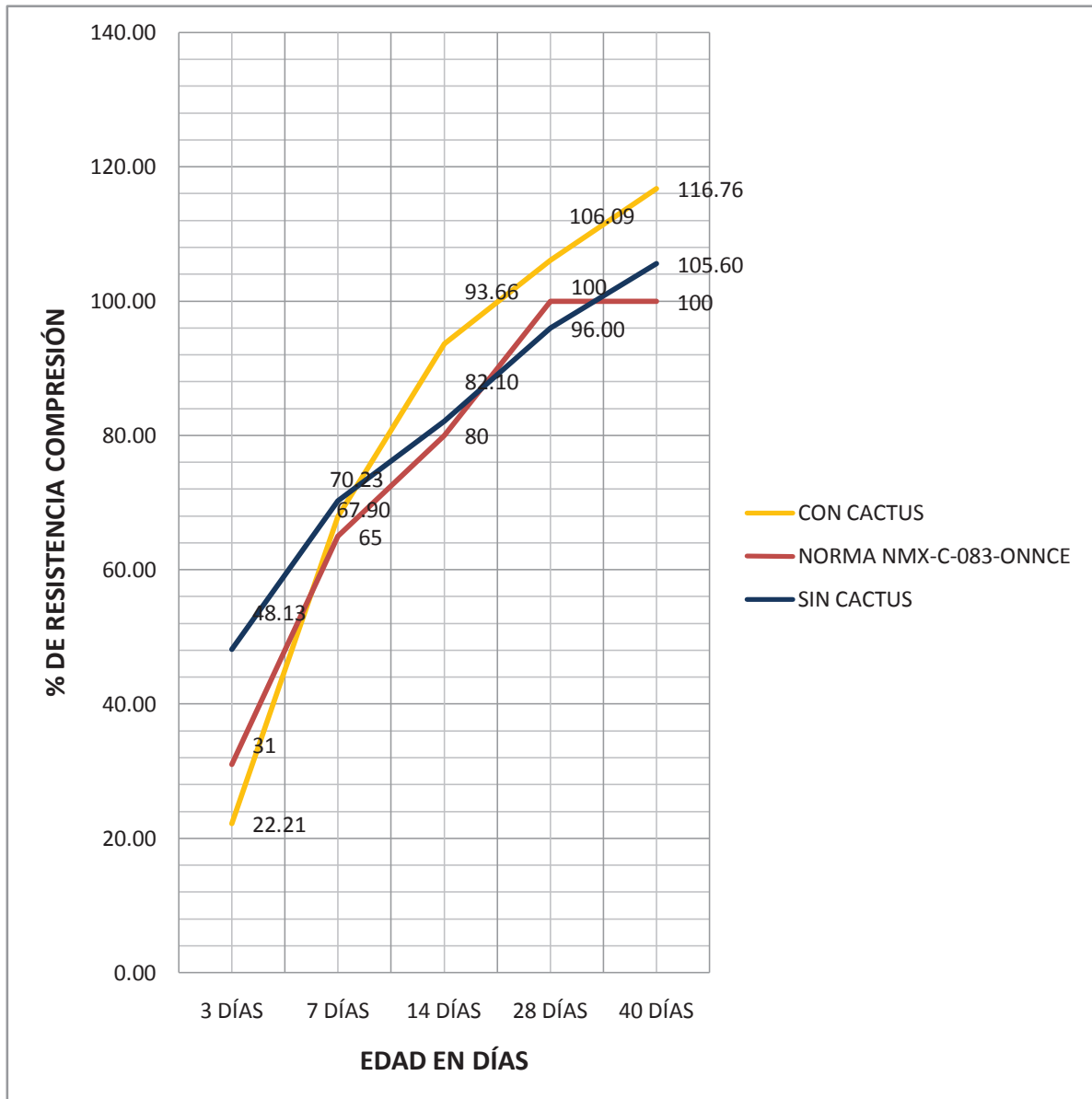


A continuación se muestra la diferencia de resultados que hay entre los cilindros con cactus y los cilindros sin cactus a la compresión.





Como se puede observar los especímenes con cactus tienen mayor resistencia a la compresión que los cilindros sin cactus, ambos son comparados con la norma NMX-C-083-ONNCCE .

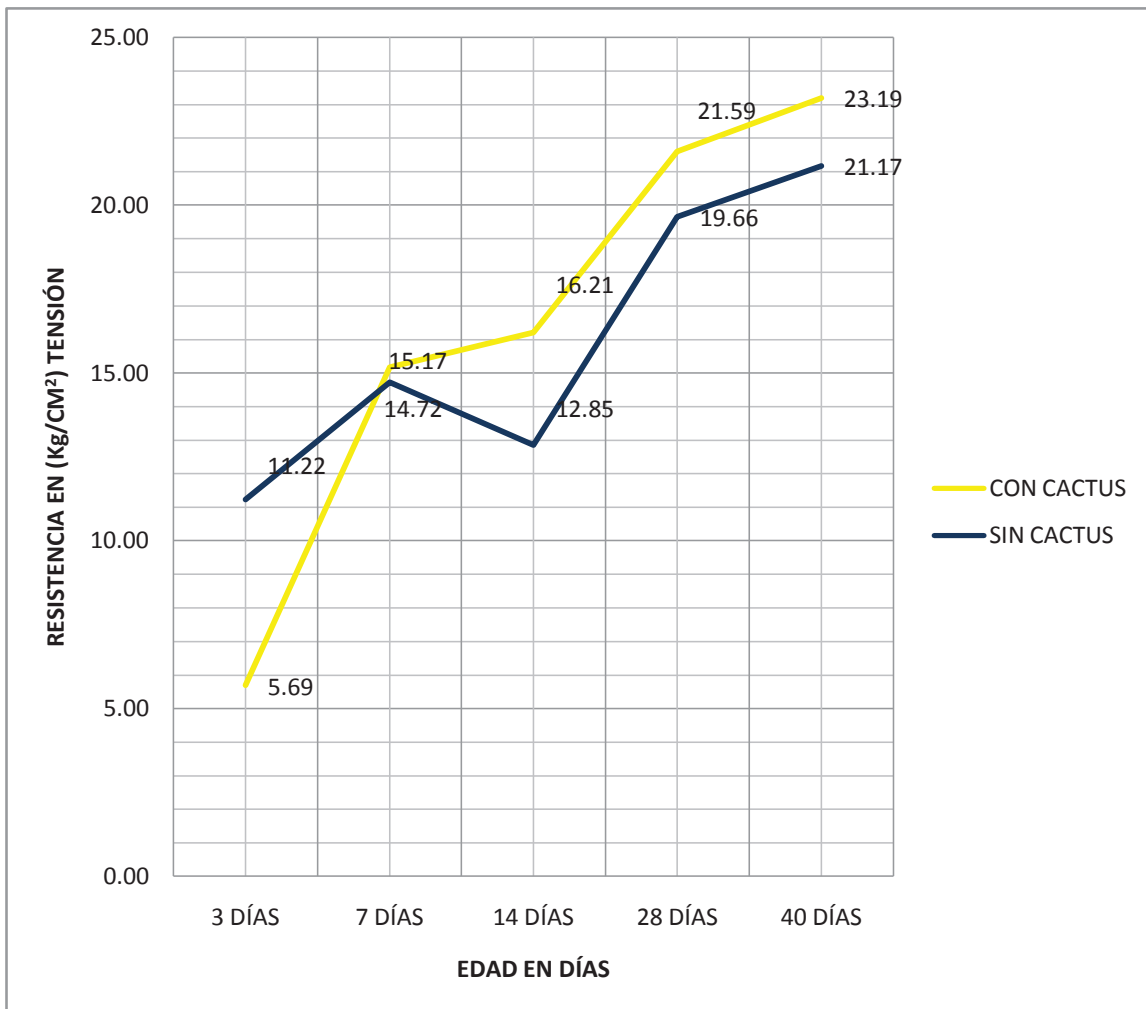


Comparando los especímenes con la norma NMX-C-083-ONNCE se puede observar que los especímenes con cactus están por encima de la norma



con un 6.09% a los 28 días, mientras que los especímenes sin cactus apenas cumplen con la norma hasta los 40 días.

Aquí se muestra la diferencia de resistencia que hay entre los cilindros que contenían cactus y los que no contenían cactus, ambos sometidos al esfuerzo de tensión.



Se observa que los especímenes con cactus tienen una mayor resistencia a la tensión, esta diferencia es del 2.02% al final de esta investigación.



5.3 Vigas con cactus.

5.3.1. Resistencia a la flexión.

Las vigas se probaron en base a la NORMA NMX-C-091-ONNCE

RESISTENCIA A LOS 7 DIAS

VIGAS "MR"							
COLADA 7 "7 DIAS"							
No. DE VIGAS	ULTRASONIDO (m/seg)	FRECUENCIAS DE RESONANCIA (Hz)	CARGA (kg.)	CLARO (cm)	ANCHO PROMEDIO (cm)	PERALTE PROMEDIO (cm)	MODULO DE RUPTURA (Kg/cm ²)
1	2789	1275	275	45.00	15.00	15.00	3.42
2	2869	1250	295	45.00	15.00	15.00	3.67
3	2782	1243	300	45.00	15.00	15.00	3.73
PROMEDIO	2813.33	1256	290	45	15	15	3.61



Es un concreto pobre.

RESISTENCIA A LOS 14 DIAS

VIGAS "MR"							
COLADA 7 "14 DIAS"							
No. DE VIGAS	ULTRASONIDO (m/seg)	FRECUENCIAS DE RESONANCIA (Hz)	CARGA (kg.)	CLARO (cm)	ANCHO PROMEDIO (cm)	PERALTE PROMEDIO (cm)	MODULO DE RUPTURA (Kg/cm ²)
1	2956	1345	800	45.00	15.00	15.00	9.6
2	2898	1365	800	45.00	15.00	15.00	9.96
3	2965	1386	825	45.00	15.00	15.00	10.27
PROMEDIO	2939.67	1365.33	808.33	45	15	15	9.94



Es un concreto pobre.



RESISTENCIA A LOS 28 DIAS

VIGAS "MR"							
COLADA 7 "28 DIAS"							
No. DE VIGAS	ULTRASONIDO (m/seg)	FRECUENCIAS DE RESONANCIA (Hz)	CARGA (kg.)	CLARO (cm)	ANCHO PROMEDIO (cm)	PERALTE PROMEDIO (cm)	MODULO DE RUPTURA (Kg/cm2)
1	2992	1398	980	45.00	15.00	15.00	12.20
2	3004	1404	960	45.00	15.00	15.00	11.52
3	2998	1412	975	45.00	15.00	15.00	12.13
PROMEDIO	2998	1404.67	971.67	45	15	15	11.95



Es un concreto pobre.

5.4 Vigas sin cactus

5.4.1. Resistencia a la flexión.

RESISTENCIA A LOS 7 DIAS SEGÚN

VIGAS "MR"							
COLADA 6 "7 DIAS"							
No. DE VIGAS	ULTRASONIDO (m/seg)	FRECUENCIAS DE RESONANCIA (Hz)	CARGA (kg.)	CLARO (cm)	ANCHO PROMEDIO (cm)	PERALTE PROMEDIO (cm)	MODULO DE RUPTURA (Kg/cm2)
1	3128	1107	2300	45.00	15.00	15.00	30.67
2	3305	1103	2325	45.00	15.00	15.00	31.00
PROMEDIO	3216.50	1105.00	2312.50	45.00	15.00	15.00	30.83

Es un concreto cuestionable.



RESISTENCIA A LOS 14 DIAS

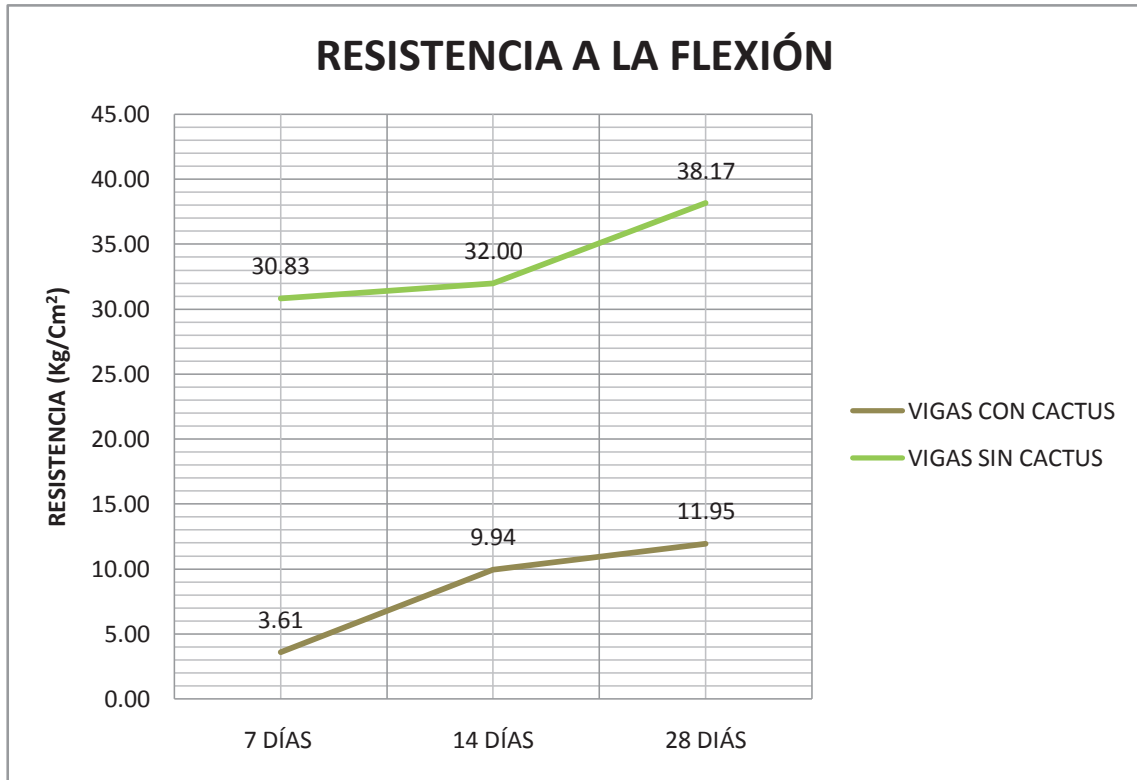
VIGAS "MR"							
COLADA 6 "14 DIAS"							
No. DE VIGAS	ULTRASONIDO (m/seg)	FRECUENCIAS DE RESONANCIA (Hz)	CARGA (kg.)	CLARO (cm)	ANCHO PROMEDIO (cm)	PERALTE PROMEDIO (cm)	MODULO DE RUPTURA (Kg/cm ²)
1	3432	1204	2400	45.00	15.00	15.00	32.00
2	3498	1267	2400	45.00	15.00	15.00	32.00
PROMEDIO	3465.00	1235.50	2400.00	45.00	15.00	15.00	32.00

Es un concreto cuestionable.

RESISTENCIA A LOS 28 DIAS

VIGAS "MR"							
COLADA 6 "28 DIAS"							
No. DE VIGAS	ULTRASONIDO (m/seg)	FRECUENCIAS DE RESONANCIA (Hz)	CARGA (kg.)	CLARO (cm)	ANCHO PROMEDIO (cm)	PERALTE PROMEDIO (cm)	MODULO DE RUPTURA (Kg/cm ²)
1	3643	1298	2875	45.00	15.00	15.00	38.33
2	3705	1305	2850	45.00	15.00	15.00	38.00
PROMEDIO	3674.00	1301.50	2862.50	45.00	15.00	15.00	38.17

Es un concreto bueno.





6. DISCUSIÓN

Los materiales como los agregados pétreos utilizados en esta tesis fueron de canto redondeado, material de río, este material es el que predomina en los ríos y no se le ha tomado mucho en cuenta en la infraestructura civil, tal vez por su forma de conseguirlo o de procesarlo, pero en realidad puede haber mucho potencial para explotar en este tipo de agregados, desde su facilidad de adquisición hasta sus resultados que nos dan en las obras, esto nos da una pauta para reflexionar que podamos hacer muchas combinaciones en cualquier mezcla desde los agregados hasta el cementante, el agua utilizada en esta tesis es agua potable, agua que fue colectada del sistema público, es agua que generalmente se usa en todas las obras, esto con el fin de asemejarnos más a lo que ocurre en construcción de campo de cualquier tipo de obra civil, ya que no es igual un ambiente controlado como en el laboratorio a realizar obra en campo, donde son diferentes factores que pueden hacer disminuir la calidad de la obra, y es ahí donde se hace ver mal a la investigación, porque no dan los resultados como el constructor esperaba, pero no es porque la investigación sea mala ó no sirva, si no que no es la misma metodología en la que se llevó la investigación comparada ya en la obra en campo.

Por eso se utilizó agua potable, que es agua que se usa en cualquier tipo de obra civil. El cementante utilizado es de tipo CPO 30R RS BRA, (Cemento Portland Ordinario 30R Resistente a los sulfatos y Baja Reactividad Alkali Agregado) el “30R” quiere decir su resistencia en Mpa “Megapascales” es un cemento que es común encontrar en el mercado. Y en cuanto a la fibra de cactus opuntia es un producto que podemos encontrar con facilidad en el mercado naturista, ya que es un producto de origen natural.



7. CONCLUSIONES

A lo largo de la investigación se pudieron observar diferentes variables en cuanto al comportamiento de las mezclas, el concreto y sus resultados, en cuanto a la resistencia al esfuerzo de compresión se pudo constatar que la mezcla que contenía el aditivo de fibra de cactus tuvo un comportamiento un poco inestable a edades tempranas ya que a estas edades los resultados no cumplían con la norma NMX-C-083-ONNCE, pero la desviación estándar que tenían los resultados era aceptable y conforme fueron avanzando los días las muestras se fueron estabilizando poco a poco, al principio estos especímenes no cumplían con la norma NMX-C-083-ONNCE pero conforme se avanzaba en las pruebas, los resultados empezaron a mejorar al punto que a los 28 días los resultados ya cumplían por encima del 6.09% la norma NMX-C-083-ONNCE, comparado con los resultados que dieron los especímenes que se realizaron sin el aditivo de fibra de cactus, que al principio parecía dar resultados prometedores ya que los resultados cumplían por encima de la norma pero conforme pasó el tiempo estos resultados empezaron a disminuir de forma considerable ya que al término de los 28 días los especímenes no cumplieron con la norma NMX-C-083-ONNCE ya que quedaron un 4% por debajo de esta. Esto quiere decir que los especímenes cilíndricos elaborados y adicionados con cactus presentaron un 10.09 % mayor de resistencia a la compresión que los especímenes cilíndricos sin cactus. Es un valor que se considera realmente superior lo que nos habla de una mejor resistencia a la compresión cuando adicionamos fibra de cactus.

En cuanto a la resistencia al esfuerzo de tensión indirecta en especímenes cilíndricos, parecía que al principio de la investigación los resultados serían contrarios que los del esfuerzo de compresión, pero esto era debido que la fibra de cactus al principio es un poco inestable pero al avanzar el tiempo se estabiliza, por lo que en tensión a los 28 días de edad los especímenes adicionados con cactus están por encima de un 2.02 % de resistencia a la tensión de los especímenes que no contienen cactus, aunque estos resultados sólo son comparativos ya que no



existe una normativa que nos indique cuales son los valores aceptables de esta prueba.

La prueba a la resistencia a la flexión en vigas nos demuestra caso contrario a las pruebas anteriores que los especímenes que contenían la fibra de cactus estuvieron muy por debajo de la resistencia que los especímenes sin cactus, esta diferencia de resistencia es muy grande y considerable, ya que a los 28 días las vigas sin cactus están por encima de las vigas con cactus por un 26.22%, diferencia muy notoria, además de que las vigas que contenían cactus todas presentaban la falla fuera del tercio claro, y muy importante también que el comportamiento en las pruebas fue diferente ya que al parecer el cactus les proporcionaba un poco de ductilidad ya que las muestras fallaban poco a poco caso contrario de las vigas que no contenían cactus, estas tenían un comportamiento normal en el concreto ya que su falla era frágil.

Al momento para realizar las mezclas de los diferentes especímenes se pudo constatar que la fibra de cactus le da mayor volumen a la mezcla ya que está se expande haciendo que el material rinda un poco más de lo calculado pero al mismo tiempo que lo expande también absorbe un poco de agua y hace que la mezcla no tenga una buena maleabilidad, y esto complique su revoltura cuando esta se elabora a mano, además de que al momento de varillar hay que ejercer un poco mas de fuerza debido a que la mezcla se pone más densa, sin omitir que al principio los especímenes tardan más en tener adherencia entre sus agregados y el cementante debido a la reacción que provoca el cactus.

Esto nos habla de que la calidad del cemento utilizado que fue un cemento CPO 30R RS BRA pudo no ser la adecuada ya que no cumplió con lo que marca la norma NMX-C-083-ONNCE o caso contrario que los agregados pétreos, no tengan una buena interacción con este tipo de cemento pero para saber qué fue lo que nos disminuyó la resistencia se sugiere realizar una investigación con el mismo tipo de cemento pero un diferente tipo de agregado pétreo, de igual manera adicionando cactus, y sin adicionar la fibra para así poder comprobar cuál es el



motivo de esta disminución de resistencia y con qué tipo de agregados pétreos tiene mejor interacción y comportamiento el cactus.

Las pruebas realizadas como el pulso ultrasónico, la resistividad y frecuencia de resonancia en realidad no nos determinan un comportamiento exacto de los especímenes debido a que los instrumentos utilizados son algo nuevos y no hay una normativa que nos indique cuales son los rangos en los que se debe de estar para así poder determinar con claridad su comportamiento dinámico y estático, propondría continuar con esta investigación profundizando en otras áreas que no den el matiz de la presente tesis.

Al final el cactus mostró mejorar la calidad de los especímenes en la mayoría de las pruebas lo que nos da interés para poder seguir haciendo una investigación a edades tardías para poder realizar un estudio completo.



8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete (ACI 211.1-91) Reported by ACI Committee 211.
- [2] Nueva Enciclopedia Autodidáctica Estudiantil (2000), Editorial LetrArte, S.A. ISBN 968 7999 01-02 pp 357-359.
- [3] H.Kosmatka, S. (2004). Diseño y Control de Mezclas de Concreto. Portland Cement Association.
- [4] ACI, C. 2. (2001). Guía para el uso de agregados . IMCYC.
- [5] http://es.wikipedia.org/wiki/Canto_rodado Consultada en diciembre 28, 2010.
- [6] Fahl, T. P. (2006). CONCRETO: Herramientas, materiales y prácticas de construcción. IMCYC.
- [7] NMX-C-414-2006-ONNCCE. Industria de la construcción - cementos hidráulicos - especificaciones y métodos de prueba.
- [8] Guzmán, D. S. (2006). Concreto y Morteros: Manejo y colocación en obra. Instituto del Concreto.
- [9] Monteiro, P. K. (1998). Concreto Estructura, propiedades y materiales. IMCYC.
- [10] <http://www.gnb99.com/>. Consultada en Enero 6, 2011.
- [11] NMX-C-083-2002-ONNCCE. (2002). Determinación de la resistencia a la compresión de cilindros de concreto. "Método de prueba".
- [12] 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.
- [13] Navarro Sánchez L.M., Molina Martínez W.(2007) Análisis de materiales Segunda Edición UMSNH.



- [14] Castellanos G., “Aplicaciones del método de velocidad de pulso ultrasónico correlacionado con la resistencia a la compresión para la evaluación de la calidad del concreto hidráulico”. Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Yucatán, 1985, Yucatán, México.
- [15] Solís R. y Baeza J. 2003, “Influencia de las propiedades físicas de los agregados en la técnica de pulso ultrasónico para predecir la resistencia a la compresión del concreto”, Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería, Universidad del Zulia, Venezuela, Volumen 26, Nº. 1, pp 44-55.
- [16] Malhotra V. M. y Carino N. J., “Handbook on nondestructive testing of concrete”, CRC Press, Boca Raton, 2004, U.S.A.
- [17] Rose J. L. 1999, “Ultrasonic waves in solid media”. Cambridge University Press, United Kingdom.
- [18] Malhotra V. M. 1985, “Nondestructive methods for testing concrete”, Department of Energy, Mines and Resources, Ottawa, Canada.
- [19] Hamid R., Yusof K.M., Zain M.F.M., (2009) “A combined ultrasound method applied to high performance concrete with silica fume”, Construction and Building Materials, Elsevier Science, Number 24, September, pp. 94-98.
- [20] NORMA ASTM C597 Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete.
- [21] NORMA ASTM C215 Standard Test Method for Fundamental Transverse, Longitudinal, and Torsional Resonant Frequencies of Concrete Specimens.