



*Certificación ISO 9001:2008 ‡*

---

---

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

Angélica de Lourdes del Valle Moreno  
José Alberto Guzmán Torres  
Elia Mercedes Alonso Guzmán  
Wilfrido Martínez Molina  
Andrés Antonio Torres Acosta  
Jorge Terán Guillén  
Mario Alberto Montes Zea  
Ana Isabel Torres Murillo  
Miguel Martínez Madrid

**Publicación Técnica No. 448  
Sanfandila, Qro, 2015**



---

**SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES**

**INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE**

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

**Publicación Técnica No. 448  
Sanfandila, Qro, 2015**

---



Esta investigación fue realizada en la Coordinación de Ingeniería Vehicular e Integridad Estructural del Instituto Mexicano del Transporte, por la Dra. Angélica de Lourdes Del Valle Moreno, el M.I. José Alberto Guzmán Torres, la Dra. Elia Mercedes Alonso Guzmán, el M.A. Wilfrido Martínez Molina, el Dr. Andrés Antonio Torres Acosta, el Dr. Jorge Terán Guillén, el Técnico Mario Alberto Montes Zea y la Ing. Ana Isabel Torres Murillo; dirigidos por el Dr. Miguel Martínez Madrid, Coordinador de Ingeniería Vehicular e Integridad Estructural del Instituto Mexicano del Transporte,

Se agradece la colaboración del Cuerpo Académico Consolidado-147, así como al personal del laboratorio Ing. Luis Silva Ruelas; ambos pertenecientes de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

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

---

# Contenido

---

Resumen .....	V
Abstract .....	vii
Resumen ejecutivo .....	ix
1 Introducción .....	1
2 Marco Teórico .....	1
2.1 Materiales pétreos redondeados .....	1
2.1.1. La corteza terrestre .....	1
2.1.2. Agregados de canto redondeado .....	3
2.1.3. Cemento .....	3
2.2 Agua para mezcla de concreto .....	6
2.3 Concreto .....	7
2.3.1 Tipos de Concreto .....	8
2.3.2 Aditivos para Concreto .....	8
2.4 Fibra de cactus opuntia .....	9
3 Metodología .....	11
3.1 Pruebas precedentes (gravas, arena y cemento) .....	11
3.1.1 Agregados pétreos .....	11
3.1.2 Arena .....	17
3.1.3 Cemento .....	22
3.2 Diseño de mezclas, método ACI .....	24
3.2.1 Método ACI .....	24
3.3 Especímenes .....	25
3.3.1 Elaboración de Cilindros .....	25
4 Resultados .....	35
4.1 Cilindros sin cactus .....	35
4.1.1 Resistencia a la tensión .....	35
4.1.2 Resistencia a la compresión .....	39
4.2 Cilindros con cactus .....	42
4.2.1 Resistencia a la tensión .....	42
4.2.2 Resistencia a la compresión .....	44
5 Conclusiones .....	55
6 Referencias .....	57





# Resumen

---

En este proyecto se analizó el comportamiento de 35 cilindros de concreto hidráulico y 60 especímenes de concreto hidráulico adicionado con fibra de cactus opuntia. Para la elaboración del concreto, se empleó material pétreo de canto redondeado, cemento CPO 30R RS BRA y agua potable; de acuerdo con el método del American Concrete Institute. La fibra de cactus fue agregado a la mezcla en proporción al 2% del peso del cemento. Los cilindros con cactus y sin cactus fueron probados a 3, 7, 14, 28 y 40 días. Los cilindros fueron sometidos a esfuerzos de compresión y tensión, esto con el objetivo de hacer la comparación del comportamiento del concreto adicionado con la fibra y sin adicionar la fibra, probado en determinadas fechas. El uso de la fibra de cactus mostro mayor resistencia a la tensión indirecta en un 2.02%, mayor resistencia a la compresión en un 10.09% en comparación con los resultados obtenidos en cilindros de concreto sin fibra. Se realizaron ensayos de resistividad y velocidad de pulso ultrasónico, ambos indican que la calidad del concreto se ubica entre normal y alta.

**Palabras clave:** cactus opuntia, pétreos redondeados, concreto



# Abstract

---

This project analyzed the behavior of hydraulic concrete specimens 35 cylinders and 69 specimens of hydraulic concrete added with Opuntia cactus fiber. For the production of concrete the material used was rounded edge stones, Cement CPO 30R RS BRA and tap water according to the American Concrete Institute. Cactus fiber was added to the mixture in proportion to 2% by weight of cement. The cylinders made from cactus fibers and without fibers were tested at 3, 7, 14, 28 and 40 days. The cylinders were subjected to compressive and tensile strength this in order to make the comparison of the behavior of concrete added with fiber versus the no fiber added, tested at certain dates. The use of the fiber of cactus showed higher tensile strength indirect in a 2.02 %, higher compressive strength up to 10.09% in comparison with the results obtained in concrete cylinders without fiber.

Resistivity and ultrasonic pulse tests were done, both indicate that the concrete's quality is at the normal to high level.

**Keywords:** cactus opuntia, rounded edge stones, concrete



# Resumen ejecutivo

---

Actualmente, en el ámbito de la construcción, los investigadores buscan métodos novedosos y económicos para poder tener una mejor infraestructura, con una mejor resistencia y durabilidad. Esta investigación busca encontrar el efecto de un aditivo natural en una mezcla común para cualquier obra de infraestructura; para ello fueron utilizados materiales como los agregados pétreos de canto redondeado - poco considerados en la infraestructura civil- fibra de cactus opuntia -que es fácil de encontrar en el mercado naturista y cementante de tipo CPO 30R RS BRA un cemento de uso común.

El Capítulo 1 es una introducción al proyecto, plantea la necesidad del uso de otras alternativas a los materiales convencionales en la Ingeniería Civil.

El Capítulo 2 engloba los fundamentos necesarios e indispensables para la realización del proyecto como son los agregados pétreos, fibras y por supuesto el cemento.

En el Capítulo 3 se detallan los materiales usados, las pruebas realizadas a la grava, arena y cemento para la fabricación de las muestras de concreto y se presenta el diseño de las muestras bajo el método ACI. Así mismo en este capítulo se detallan las pruebas por realizarse sobre los especímenes (cilindros) con y sin fibra de cactus.

El Capítulo 4 contiene los resultados obtenidos de las pruebas destructivas de resistencia a la tensión y resistencia a la compresión a las que fueron sometidos los especímenes con fibra y sin fibra; también se muestra los resultados obtenidos de las pruebas de velocidad de pulso ultrasónico, frecuencia de resonancia y resistividad.



# 1 Introducción

---

Desde los principios de la humanidad, por instinto, el hombre ha buscado satisfacer por lo menos tres necesidades básicas: alimentos, abrigo y confort. El abrigo y el confort han sido obtenidos a través de la construcción de viviendas sólidas y seguras. Las viviendas requieren de recursos naturales, estos son finitos y están siendo utilizados y desechados a un ritmo que el mundo no puede permitirse.

La industria de la construcción consume una gran parte de los recursos naturales extraídos y el concreto es en gran parte responsable por este consumo. Por lo tanto, la inversión en alternativas que promuevan edificaciones sostenibles, es considerada actualmente como el gran reto de la ingeniería mundial.

En este sentido, el enfoque de este trabajo es abordar el uso del hormigón para el modelo de construcción sostenible; el caso en estudio es una alternativa técnica que permite la incorporación de agregados redondeados que tienen en la actualidad poco uso y la adición de cactus opuntia; además de ser considerado un aditivo para el concreto, que funciona como retardante de la corrosión del acero de refuerzo, le da beneficios como mayor resistencia a la compresión, mayor resistencia a la tensión, al módulo de ruptura, etc.; pero además, está encaminado hacia una visión ecológica del uso de materiales naturales que ayuden a disminuir la contaminación.

Los materiales como los agregados pétreos de canto redondeado son materiales que predominan en los ríos y no ha sido tomados mucho en cuenta en la infraestructura civil; tal vez por su geometría poco favorable para la correcta adherencia con los otros materiales que constituyen el concreto, pero en realidad puede haber mucho potencial para explotar en este tipo de agregados.

Se elaboraron mezclas según normas mexicanas y, de ellas, especímenes para cuantificar la resistencia mecánica de manera destructiva; bajo compresión simple, tensión indirecta o prueba brasileña, flexión o módulo de ruptura. También se realizaron pruebas no destructivas de resistividad eléctrica para de manera indirecta calcular la homogeneidad de las mezclas endurecidas. Se tienen dos mezclas caracterizadas en total: a) arena y grava de río; b) arena y grava de río con fibras.

El objetivo de esta Investigación es hacer un análisis del comportamiento mecánico ante sollicitaciones estáticas de mezclas de concreto hidráulico con agregados pétreos de cantos rodados y adicionados con fibras deshidratadas de cactus opuntia blanco.





## **2 Marco Teórico**

---

### **2.1 Materiales pétreos redondeados**

#### **2.1.1. La corteza terrestre.**

La composición química de los principales tipos de roca que constituyen la corteza es variable y procede tanto del exterior como del interior de esta. 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].

##### **2.1.1.1 Agregados pétreos para el concreto.**

La importancia del uso del tipo y de la calidad correcta del agregado (árido) no se puede ser subestimada. Los agregados fino y grueso ocupan entre 60% y el 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 (Figura 2.1) generalmente consisten en arena natural o piedra triturada, con la mayoría de sus partículas menores a 5mm. Los agregados gruesos (Figura 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 son excavadas o dragadas de la mina, del río, del lago o del lecho marino.



**Figura 2.1 Primer plano de agregado fino (arena)**



**Figura 2.2 Agregado grueso. Grava redondeada (izquierda) y piedra triturada (derecha).**

Los agregados frecuentemente son lavados y graduados 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 -clasificadas 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 optimizar su uso en ingeniería: 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 contengan 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 ser alteradas por el procesamiento; aunque las cantidades de ciertas partículas dañinas pueden reducirse. Las características del agregado es posible controlar 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 se deben aplicar 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 es recomendable, de manera especial, mantener la alta calidad y un control cuidadoso [4].

### **2.1.2. Agregados de canto redondeado.**

Un canto rodado o guijarro es un fragmento de roca suelta, susceptible de ser transportado por medios naturales como las corrientes de agua, los corrimientos de tierra, etc. Aunque no existe 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].

### **2.1.3. Cemento.**

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 es mezclado con agua. El agregado es un material duro, granular -como la grava- que, mezclado con el cemento, proporciona estructura y resistencia al concreto. El concreto es una mezcla de cemento, agregado (fino y grueso) y agua. El concreto es entregado en el sitio de la construcción, en estado flexible. El concreto puede moldeado 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, fue añadido el agregado grueso. El agregado grueso fue colocado en el fondo de un molde y le pusieron concreto fresco en la parte superior; de esto resultó una mezcla inconsistente. La mezcla permaneció así, aunque fue revuelta vigorosamente después de su colocación.

En el siglo XIX, ocurrieron importantes desarrollos en la tecnología del concreto. En 1824, el constructor inglés Joshep Aspin recibió una patente sobre cemento hidráulico. Él lo llamó cemento Pórtland; porque después de endurecerse se asemejaba a la piedra caliza natural de la isla de Pórtland, 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 fue usada ampliamente debido a que era económica y fácil de trabajar. En 1845, el primer cemento moderno Pórtland fue producido en Inglaterra; compuesto de cal, materiales de arcilla o de esquistos.

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

En la actualidad, aproximadamente 15 millones de toneladas de cemento Pórtland 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].

### **2.1.3.1. 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 muestra la Tabla 2.1.

Tabla 2.1.- Componentes de los cementos [7]

Tipo	Denominación	Componentes (% en masa)					
		Principales					Minoritarios
		Clínker 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

Además, estos cementos pueden presentar características especiales como las que muestra la Tabla 2.2.

Tabla 2.2 Especificaciones de cementos con características especiales [7]

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

Los cementos se dividen en clases de resistencias como muestra la Tabla 2.3.

**Tabla 2.3 Especificaciones físicas de clase resistente de cemento [7]**

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

Los cementos son denominados por cada uno de los seis tipos, seguido por la clase de resistencia y por la característica especial. Por ejemplo, un cemento Pórtland puzolánico de clase resistente 30R, de baja reactividad álcali-agregado y bajo calor de hidratación sería designado como CPP 30R BRA/BCH [3].

Para esta investigación, se utilizó un CPO 30R RS BRA.

## 2.2 Agua para mezcla de concreto.

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

La Tabla 2.4 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, es posible marcar ciertos límites opcionales para cloruros, sulfatos, álcalis y sólidos en el agua de mezcla o realizar ensayos adecuados para la determinación del efecto de las impurezas; ya que algunas de estas sustancias pueden tener efecto sobre la resistencia de fraguado y aún afectar la durabilidad y otras propiedades.

**Tabla 2.4 Normas de la calidad del agua para empleo en morteros y concreto [3]**

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

## 2.3 Concreto.

En general, el concreto puede definirse como la mezcla de un material aglutinante (cemento Pórtland 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 Pórtland, 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 Pórtland producido por el hombre y proviene de la calcinación de rocas calizas y arcilla. El segundo componente, los agregados, ocupa 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 Pórtland por medio de complejas reacciones químicas.

Adicionalmente, el concreto también contiene alguna cantidad de aire atrapado accidentalmente (por lo general, 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 objetivo 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.

### **2.3.1 Tipos de Concreto.**

Con base en su peso unitario, el concreto puede ser clasificado 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 su peso; es posible reducir dicho peso unitario del concreto usando ciertos agregados naturales o piropcesados que tienen una densidad de masa más baja. El término concreto ligero es utilizado para un concreto que pesa menos de  $1,800 \text{ kg/m}^3$ .

Por otra parte, el concreto pesado -que es utilizado, 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:

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

El concreto de resistencia moderada es un concreto ordinario o normal, utilizado en la mayor parte de los trabajos estructurales. El concreto de alta resistencia sirve para aplicaciones especiales [9].

### **2.3.2 Aditivos para Concreto.**

Los aditivos son aquellos ingredientes del concreto que -además del cemento Pórtland, del agua y de los agregados son adicionados a la mezcla, inmediatamente antes o durante el mezclado. Los aditivos pueden ser clasificados según sus funciones, como sigue.

- Aditivos incorporadores de aire (inclusores de aire)
- Aditivos reductores de agua
- Plastificantes (fluidificantes)
- Aditivos aceleradores (acelerantes)
- Aditivo retardadores (retardantes)
- Aditivos de control de la hidratación
- Inhibidores de corrosión



- Reductores de retracción
- Inhibidores de reacción álcali-agregado
- Aditivos colorantes
- Aditivos diversos (tales como aditivos para mejorar la manejabilidad o la adherencia, a pruebas de humedad, impermeabilizantes, para lechadas, formadores de gas, antideslave, espuma y auxiliares de bombeo).

El concreto debe ser trabajable, fácilmente acabado, fuerte, durable, estanco y resistente al desgaste. Estas calidades pueden ser obtenidas fácil y económicamente con la selección de los materiales adecuados, de preferencia con el uso de aditivos.

Las razones principales para el uso de aditivos son:

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

A pesar de estas consideraciones, se debe observar que ningún aditivo, independientemente del tipo o de la cantidad, puede ser tratado 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].

## **2.4 Fibra de cactus opuntia.**

El esfuerzo y entusiasmo llevó a unir a un grupo de personas -vinculadas por su relación familiar- para desarrollar desde su cultivo, hasta su recolección e industrialización, un insecto que produjera un colorante. Analizaron cuál era la mejor forma de lograr su reproducción, y observaron que esta era alimentándose del nopal (*Opuntia Ficus Indica*). Figura 2.3.

Aun cuando en un inicio pensaron en considerarlo como alimento para la producción de cochinilla, de la cual se obtiene el ácido carmínico que es un colorante, observaron los beneficios del nopal; por lo que se dieron a la tarea de encontrarlos para el organismo humano y una vez que conocieron algunos de ellos, tomaron la decisión de abocarse a su cultivo y desarrollo con los mejores métodos conocidos, 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.



**Figura 2.3 Cactus opuntia**

**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 usos.**

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

**Usos:**

- **Obesidad:** en su consumo diario ayuda por su alto contenido de fibra dietaría natural, a eliminar grasas contenidas en la alimentación normal; reduce el peso y las medidas corporales de la persona que lo consume.
- **Control de diabetes:** el nopal por ser hipoglucemiante natural disminuye los niveles de azúcar en la sangre, por ello se convierte 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, por lo que reduce significativamente los niveles de colesterol en la sangre.
- **Estreñimiento:** con el uso de nopal se aprovecha su contenido de fibra dietaría y mucilagos para regularizar el funcionamiento intestinal. [10]
- **Aditivo anticorrosivo en concreto reforzado.**

## 3 Metodología

---

### 3.1 Pruebas precedentes (gravas, arena y cemento).

#### 3.1.1 Agregados pétreos.

El material pétreo fue extraído del río de Huajúmbaro del municipio de Hidalgo; debido a que era necesario para la investigación utilizar un material de canto rodado, por la cercanía del río y factibilidad se optó por este lugar. Figura 3.1.



**Figura 3.1. Rio de Huajúmbaro, Municipio de Hidalgo.**

Una vez que obtenido el material, se procedió a trasladarlo al laboratorio; ya estando ahí, fue extendido para poder secarlo y efectuar las pruebas necesarias que nos dieran sus características físicas y poder realizar la disposición de forma adecuada. Figura 3.2.



**Figura 3.2. Extendido y secado del material pétreo.**

Una vez seco el material, se procedió a cribarlo; ya que el material obtenido contenía un agregado demasiado grande, y dicho material no servía para realizar las muestras.

Después de cribado el material fue encostado para que no absorbiera humedad y no afectara su disposición. Esta forma de almacenarlo es a su vez una forma de protegerlo de cualquier agente contaminante que pueda presentarse en el ambiente; como basura, hojas, etc.

### **3.1.1.1 Reducción de gravas.**

Se redujeron las muestras de agregados obtenidas en campo hasta el tamaño apropiado para la prueba requerida, mediante el uso de un cuarteador de muestras.

Para materiales y procedimiento vea el Anexo 1

### **3.1.1.2 Absorción en gravas.**

Se determinó la capacidad máxima de absorción de la grava, saturando la muestra por 24 horas; se registró los pesos de la grava seca, la superficialmente seca y la saturada.

Obtenidos los pesos, se utilizó la Ecuación 1 para el cálculo del porcentaje de absorción de la grava.

$$\% \text{ Absorción} = \frac{Ph - Ps}{Ps} \times 100 \quad [1]$$

Donde:

Ph es el peso saturado y superficialmente seco de la grava (g) y Ps es el peso seco de la grava (g).

### **Resultados de la prueba.**

La Tabla 3.1 muestra los valores registrados y el porcentaje de absorción de las pruebas por duplicado.

Tabla 3.1. Promedio de Porcentaje de absorción

% 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
<b>PROMEDIO</b>	<b>4.72 %</b>	

Para materiales y procedimiento vea el Anexo 1

### 3.1.1.3 Humedad actual en gravas.

Se obtuvo el porcentaje de humedad de la grava en estado natural tras registrar el peso de la grava al momento de ser usada y el peso de la grava seca utilizando una fuente de calor. Se empleó la Ecuación 2 para el cálculo del porcentaje de humedad.

$$\%H.actual = \frac{Ph-Ps}{Ps} \times 100 \quad [2]$$

Donde:

Ph es el peso húmedo de la grava (g) y Ps es el peso seco de la grava (g).

#### Resultados de la prueba.

La Tabla 3.2 muestra los valores registrados y el porcentaje de humedad actual de la muestra durante su procesamiento.

Tabla 3.2. Promedio de Porcentaje de humedad actual

% 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
<b>PROMEDIO</b>	<b>1.92 %</b>	

Para materiales y procedimiento vea el Anexo 1

### 3.1.1.4 Densidad en gravas.

La densidad de una muestra representativa de grava fue determinada mediante el uso de un picnómetro y por medio de la Ecuación 3.

$$Densidad = \frac{P_i}{V} \quad [3]$$

Donde:

D es la densidad en (g/cm<sup>3</sup>); P<sub>i</sub> es el peso de la grava (g) y V es el volumen de la grava (cm<sup>3</sup> o ml).

#### Resultados de la prueba.

La Tabla 3.3 muestra los valores registrados de la prueba de densidad de la grava.

Tabla 3.3. Densidad promedio

<b>DENSIDAD</b>		
	<b>MUESTRA 1</b>	<b>MUESTRA 2</b>
PESO HUMEDO (P <sub>i</sub> ) g	300	158.9
VOLUMEN DESALOJADO (ml)	124	68
DENSIDAD g/ml	2.42	2.34
<b>PROMEDIO</b>	2.38 g/ml	

Para materiales y procedimiento vea el Anexo 1

### 3.1.1.5 Determinación del peso volumétrico seco suelto en gravas (PVSS)

Para la determinación del peso volumétrico seco suelto se utilizó un recipiente de volumen y peso conocido. Con el peso de la grava obtenido se realizaron los cálculos al sustituir en la Ecuación 4.

$$PVSS = \frac{P}{V} \quad [4]$$

Donde:

PVSS es el peso volumétrico seco y suelto (g/cm<sup>3</sup>); P es el peso de la grava (g) y V es el volumen del recipiente (cm<sup>3</sup>).

### Resultados de la prueba.

La Tabla 3.4 muestra los datos obtenidos de la prueba de determinación de peso seco suelto en gravas realizado por duplicado.

**Tabla 3.4. Promedio del P.V.S.S.**

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

Para materiales y procedimiento vea el Anexo 1

#### **3.1.1.6 Determinación del peso volumétrico seco y varillado en gravas (PVSV)**

Para la determinación de PVSV se utilizó un recipiente de peso y volumen conocido, el cual fue llenado en tres capas dado golpes con una varilla después de cada capa. Con el peso obtenido del recipiente lleno de grava, se calculó el peso volumétrico en seco y el varillado de acuerdo con la Ecuación 5.

$$PVSV = \frac{P}{V} \quad [5]$$

Donde:

PVSV es el peso volumétrico seco y varillado (g/cm<sup>3</sup>); P es el peso de la grava (g) y V es el volumen del recipiente (cm<sup>3</sup>).

### Resultados de la prueba.

La Tabla 3.5 muestra los resultados obtenidos de la prueba para la determinación del peso volumétrico en seco y varillado de gravas realizadas por duplicado.

**Tabla 3.5. Promedio del PVSV.**

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

Para materiales y procedimiento vea el Anexo 1

### 3.1.1.7 Granulometría en gravas.

Para la obtención de la distribución de tamaños de grava la muestra utilizada fue secada y cribada utilizando mallas de 1", ¾", ½", ⅜", y N°4.

Se obtuvo el tamaño máximo de la grava observando la columna de los porcentajes retenidos; y el volumen será el tamaño de la malla que retenga el 5 % o más del peso de la muestra.

**Tabla 3.6. Resultados del análisis granulométrico**

<b>MALLA</b>	<b>PESO RETENIDO (g)</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>% ACUMULATIVO</b>	<b>% QUE PASA</b>
1"	0	0	0	0
¾"	910	6.14	6.14	93.86
½"	4400	29.69	35.83	64.17
⅜"	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
<b>TOTAL</b>	<b>14820</b>	<b>100</b>		

Como muestra la Tabla 3.6, el tamaño máximo del agregado obtenido es de ¾"

Para materiales y procedimiento vea el Anexo 1



## 3.1.2 Arena

### 3.1.2.1 Cuarteo en arena

Se realizó el cuarteo de arena mediante el uso de palas para obtener una muestra representativa.

Para materiales y procedimiento véase Anexo 2.

### 3.1.2.2 Humedad superficial y Absorción en arenas.

La capacidad máxima de absorción fue determinada pesando una muestra representativa; posteriormente saturada por 24 horas y por último fue secada superficialmente por medio de un molde troncocónico. Después de cada proceso se registró el peso de la muestra para realizar los cálculos sustituyendo en la Ecuación 6.

$$\% \text{ Absorción} = \frac{Ph - Ps}{Ps} \times (100) \quad [6]$$

Donde:

Ph es el peso saturado y superficialmente seco (g) y Ps es el peso seco del material (g)

#### Resultados de pruebas.

La Tabla 3.7 muestra el porcentaje de absorción; la absorción promedio obtenida es de 3.22%.

**Tabla 3.7. Porcentaje de absorción**

% 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
<b>PROMEDIO</b>	<b>3.22 %</b>	

Para materiales y procedimiento vea el Anexo 2.

### 3.1.2.3 Humedad actual en arenas.

Se determinó el porcentaje de humedad que contiene una arena en el momento que va a ser utilizada para elaborar una mezcla; para ello, se pesó una muestra representativa y fue registrado dicho valor como peso inicial. Posteriormente, la muestra fue calentada de forma uniforme hasta estar seca y se pesó nuevamente. Los pesos registrados fueron sustituidos en la Ecuación 7.

$$\%H.actual = \frac{Ph-Ps}{Ps} \times 100 \quad [7]$$

Donde:

Ph es el peso húmedo de la grava (g) y Ps es el peso seco de la grava (g).

#### Resultados de la prueba.

La Tabla 3.8 muestra el porcentaje de humedad actual de la muestra obtenido mediante la Ecuación 7.

Tabla 3.8. Porcentaje de humedad actual

% 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
% H. ACTUAL $[(Ph-Ps)/(Ps)]*100$	1.15	1.19
PROMEDIO	1.17 %	

Para materiales y procedimiento vea el Anexo 2.

### 3.1.2.4 Densidad de la arena.

Para la determinación de la densidad de la arena, se saturó una muestra representativa por 24 horas; fue secada superficialmente en un molde troncocónico luego se registró el peso de la muestra seca superficialmente y fue colocada dentro de una probeta con un volumen de agua conocido. Se registró el aumento de volumen y se sustituyeron los valores obtenidos en la Ecuación 8.

$$Densidad\ de\ la\ arena\ (DA) = \frac{Pi}{Vf-Vi} \quad [8]$$

Donde:

Pi es el peso de la arena saturada y superficialmente seca (g) y Vf-Vi es el volumen colocado dentro de la probeta (cm<sup>3</sup>)

### Resultados de la prueba.

La Tabla 3.9 muestra la densidad de la muestra de arena obtenida mediante la Ecuación 8.

**Tabla 3.9. Densidad promedio**

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

Para materiales y procedimiento vea el Anexo 2

### 3.1.2.5 Determinación del peso volumétrico seco suelto de arena (PVSS).

El PVSS fue determinado colocando una muestra de arena en estado natural dentro de un recipiente de peso y volumen conocido; por último, se pesó el recipiente con la arena en su interior. Obtenido el peso, se calculó el peso volumétrico seco suelto de la arena, de acuerdo con la Ecuación 9.

$$PVSS = \frac{Pg}{V} \quad [9]$$

Donde:

PVSS es el peso volumétrico seco y suelto ( $\text{g/cm}^3$ ); Pg es el peso de la arena (g) y V es el volumen del recipiente ( $\text{cm}^3$ ).

### Resultados de la prueba.

La Tabla 3.10 muestra el peso volumétrico seco suelto de la arena. El volumen fue obtenido mediante el uso de la Ecuación 9.

**Tabla 3.10. PVSS Promedio**

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

Para materiales y procedimiento vea el Anexo 2

### 3.1.2.6 Determinación del peso volumétrico seco y varillado de una arena (PVSV).

Para la determinación de PVSV se utilizó un recipiente de peso y volumen conocido, se realizó el llenado con arena en tres capas dado golpes con una varilla después de cada capa. Con el peso obtenido del recipiente lleno de arena se cálculos el peso volumétrico en seco y varillado de acuerdo con la Ecuación 10.

$$PVSV = \frac{P}{V} \quad [10]$$

Donde:

PVSV es el peso volumétrico seco y varillado (g/cm<sup>3</sup>); Pg es el peso de la arena (g) y V es el volumen del recipiente (cm<sup>3</sup>).

### Resultados de la prueba.

La Tabla 3.11 muestra el peso volumétrico seco y varillado obtenido mediante el uso de la Ecuación 10.

**Tabla 3.11. PVSV Promedio**

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

Para materiales y procedimiento vea el Anexo 2.

### 3.1.2.7 Granulometría o análisis granulométrico en arena

#### Objetivo.

Para la determinación de los diámetros de las partículas y el módulo de finura, se secó una muestra representativa hasta peso constante. Seca y fría la muestra, fue cribada por un juego de mallas colocadas de forma creciente (4, 8, 16, 30, 50, 100 y 200). Se realizó el cribado durante 10 minutos -como mínimo- y posteriormente el material retenido en cada malla fue pesado.

#### Resultados de la prueba.

A continuación aparecen los resultados de la granulometría realizada a la arena utilizada para la elaboración de los especímenes.

**Tabla 3.12. Análisis granulométrico de la arena**

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
<b>TOTAL</b>	<b>499.35</b>	<b>100</b>		

Para materiales y procedimiento vea el Anexo 2

### 3.1.2.8 Prueba de colorimetría en arena.

Se determinó el contenido de materia orgánica en una muestra representativa de arena secada hasta peso constante y colocándola en un recipiente graduado con una solución de sosa caustica; fue comparada con una tabla colorimétrica

Para materiales y procedimiento vea el Anexo 2

#### Resultados de la prueba.

Al comparar con la tabla colorimétrica, se obtuvo un valor de 3, considerablemente aceptable.

### 3.1.2.9 Material que pasa por la malla n° 200 en arena.

Para determinar la cantidad de materia fina de la arena, una muestra representativa de arena fue secada hasta peso constante; se registró su peso y tras cribarla con agua a través de las mallas N° 16 y N° 200. Al terminar, se secó nuevamente hasta peso constante y se registró el peso. Obtenidos los pesos, fueron sustituidos en la Ecuación 11.

$$A = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100 \quad [11]$$

Donde:

A es el porcentaje de material que pasa la malla N° 200;  $P_i$  es el peso seco inicial (g) y  $P_f$  es el peso seco después de lavar (g).

#### Resultados de la prueba.

La Tabla 3.13 muestra el porcentaje de material que pasa la malla No. 200, este porcentaje fue calculado mediante la Ecuación 11

**Tabla 3.13. Material que pasa por la malla 200**

<b>MATERIAL QUE PASA POR LA MALLA No. 200</b>		
	<b>MUESTRA 1</b>	<b>MUESTRA 2</b>
$P_i$ (g).	312.4	305
$P_f$ (g).	297.7	286
$A \left[ \frac{(P_i - P_f)}{P_i} \right] * 100 \%$	4.94	6.64
<b>PROMEDIO</b>	5.79 %	

Para materiales y procedimiento vea el Anexo 2

### 3.1.3 Cemento.

#### 3.1.3.1 Consistencia normal del cemento.

La consistencia normal del cemento fue determinada utilizando una cantidad conocida de este y agregando un porcentaje de agua respecto al peso del cemento en seco; se revolvió la mezcla por tiempos controlados y dejando reposar para homogeneizar. Por último, se utilizó el aparato de Vicatt.

Para materiales y procedimiento vea el Anexo 3.

### 3.1.3.2 Tiempos de fraguado de cemento hidráulico.

Para la determinación del tiempo de fraguado inicial y final del cemento hidráulico, se utilizaron las agujas de Gillmore; para lo cual, se preparó la pasta de cemento de acuerdo con el apartado 3.1.3.1

#### Resultados de la prueba

##### *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.

Para materiales y procedimiento vea el Anexo 3

### 3.1.3.3 Densidad aparente del cemento.

Para la determinación densidad aparente del cemento, se utilizó una muestra representativa de dicho cemento con peso conocido. Lentamente se agregó el cemento en un frasco de Le Chatelier con petróleo y registrando previamente la lectura inicial del líquido; y después la lectura final. Registradas las lecturas, las variables fueron sustituidas en la Ecuación 12.

$$\text{Densidad} = \frac{\text{Peso del cemento, } P}{\text{Volumen del cemento, } V} = \frac{\text{Alrededor de 64 gramos}}{L_f - L_i} \quad [12]$$

Donde:

Densidad es la densidad aparente del cemento ( $\text{g/cm}^3$ ); P es el peso de la muestra (g) y V es el volumen del cemento, sin tomar en cuenta los vacíos.

**Precisión.** Se efectuaron las pruebas se por duplicado, para no tener errores mayores a 0.01 g/ml.

#### Resultados de la prueba.

La Tabla 3.14 muestra los resultados obtenidos para la densidad aparente del cemento, utilizando la Ecuación 12.

**Tabla 3.14. Densidad del cemento**

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

Para materiales y procedimiento vea el Anexo 3.

## **3.2 Diseño de mezclas, método ACI**

### **3.2.1 Método ACI.**

Esta investigación se basó en el método del American Concrete Institute (ACI) para el diseño de mezclas, debido a que es un método de diseño de mezclas de concreto normal asentado en las propiedades físicas de los materiales como: la densidad, el peso volumétrico seco suelto, el peso volumétrico seco varillado, porcentaje de absorción, porcentaje 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.

Se realizó el cálculo de las cantidades de material 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/cm<sup>2</sup>.

Este cálculo fue realizado con la ayuda del programa de Microsoft Excel, donde se programó una hoja de cálculo, para que esta realizara los respectivos cálculos, tomando en consideración las distintas variables.

1. Elección del revestimiento y tamaño máxima del agregado
2. Cálculo del agua de mezclado y contenido de aire
3. Selección de la relación agua/cemento
4. Calculo del contenido de cemento
5. Estimación del contenido de agregado grueso
6. Estimación del contenido de agregado fino
7. Ajustes o correcciones por humedad del agregado
8. Cálculo de la cantidad de material necesario para los especímenes que se van a realizar.



Para cálculos y visualización del programa de Microsoft Excel vea el Anexo 4.

### 3.3 Especímenes.

#### 3.3.1 Elaboración de Cilindros.

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.

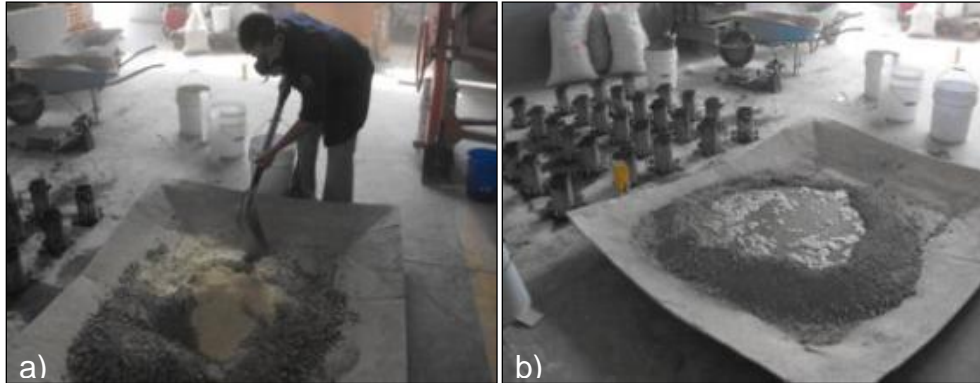
La fibra de cactus fue agregada a la mezcla en proporción al peso del cemento, esta proporción fue del 2% del peso del cemento por utilizar en la mezcla.

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

Las Figuras 3.3 a 3.7 muestran el proceso de fabricación de los especímenes y sus dimensiones.



**Figura 3.3. a) Dimensiones de los moldes; b) preparación de los moldes y herramienta.**



**Figura 3.4. a) Revoltura del material pétreo con el cactus; b) Adición de agua a la mezcla.**



**Figura 3.5. Prueba del revenimiento para verificar la calidad de la mezcla y fluidez, revenimiento de proyecto 10 cm, tolerancia  $\pm 3.5$  cm**



**Figura 3.6. Llenado en 3 capas dándose 25 golpes a cada capa con la varilla punta de bala y 15 con el martillo de goma. Descimbrado después de 24 de colado**



**Figura 3.7. Curado en una pila hasta la fecha de su respectiva prueba**

### **3.3.1.1 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.

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

#### **Objetivo.**

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

#### **Equipo.**

- Máquina universal Tinius Olsen.
- Vernier para medir el diámetro del cilindro.

#### **Procedimiento.**

1. Teniendo ya el diámetro del espécimen, fue colocado en la máquina previamente cabeceado, tras limpiar perfectamente las placas de apoyo en la máquina y centrando el eje vertical del espécimen en el centro de la placa de apoyo.
2. La platina superior fue ajustada a la cara del espécimen de manera que no le aplique carga de impacto, apenas rozando el espécimen.
3. Se niveló y se puso en ceros la máquina. Se aplicó la carga a una velocidad constante, como muestra la Figura 3.8 respecto a este punto; se pueden hacer las siguientes observaciones:

- a) Que no sea suspendida la aplicación de la carga, por ningún contratiempo y luego puesta a funcionar cuando el espécimen ya se aproxime a la carga de falla.
  - b) Podemos fijar la carga de falla conociendo el porcentaje de resistencia según su edad, que debe ser observada; esta carga es determinada multiplicando el área de la sección transversal del cilindro por la resistencia de proyecto ( $F'c$ )
4. Se continuó la carga del espécimen hasta el momento de la falla, se registró, se observó el 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.

$$E = \frac{P}{A} \quad [29]$$

Donde:

E es el esfuerzo que resiste el espécimen en  $\text{kg/cm}^2$ ; P es la carga de ruptura en kg y A es el área de la sección transversal del espécimen en  $\text{cm}^2$ .

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 deben ser apartadas de la perpendicular al eje, y no se permiten irregularidades respecto de un plano; en caso contrario deben ser cabeceados de acuerdo con lo indicado en la norma NMX-C-109-ONNCCE.

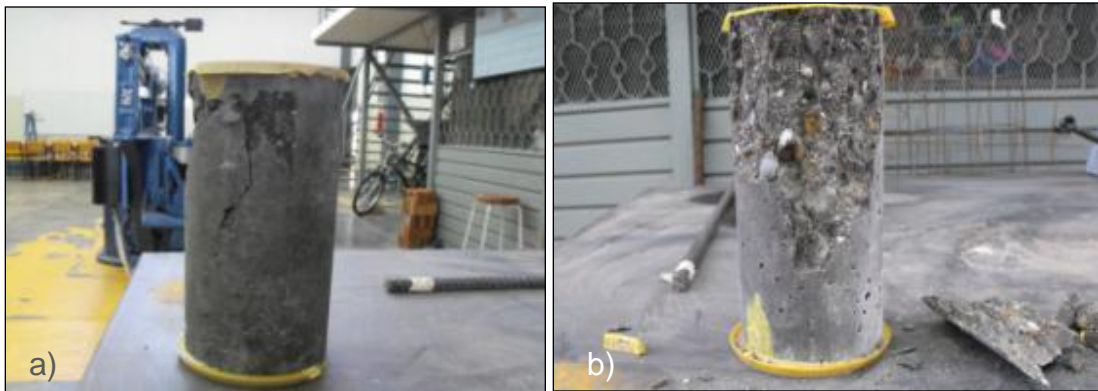
Limpia las superficies de las placas superior e inferior y las cabezas del espécimen de prueba, colocar este último sobre la placa inferior alineando su eje cuidadosamente con el centro de la placa de carga con asiento esférico; mientras la placa superior baja hacia el espécimen y asegurándose que se 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  $210 \text{ kgf/cm}^2/\text{min}$ . La carga es aplicada hasta que aparezca la falla de ruptura.

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



**Figura 3.8. Prueba realizada a la muestra controlando la velocidad de carga y registrando su resultado**



**Figura 3.9. Ruptura del cilindro**

En la Figura 3.9 a) se aprecia que la falla se da en el cilindro y no en el azufre, lo que indica que está bien cabeceado; b) muestra cómo la falla se presenta en el núcleo, porque fallan el agregado y el cemento, de forma conjunta.

### **3.3.1.2 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. Se tomaron las dimensiones del diámetro promediando las medidas; dos cerca de los extremos y una al centro siguiendo el plano de los diámetros. La longitud fue obtenida, promediando las dos medidas de las líneas que unen los extremos de cada línea que marca el diámetro en las caras de los especímenes.
2. Se colocaron las tiras a lo largo del centro de la placa de apoyo inferior. El espécimen fue colocado sobre la tira y acomodado de tal modo que las líneas marcadas en sus extremos estuvieran en posición vertical y quedaran concentradas sobre la tira. La segunda tira fue colocada longitudinalmente sobre el cilindro, concentrándola sobre las líneas marcadas. Figura 3.10.
3. La carga fue aplicada continuamente y sin impacto, a una velocidad uniforme dentro del intervalo de 7 a 14 kg/cm<sup>2</sup>/min de esfuerzo indirecto de tensión hasta la falla del espécimen. Se registró la carga máxima aplicada indicada en la máquina de ensaye en la falla, el tipo de falla y la apariencia del concreto. Figura 3.11.

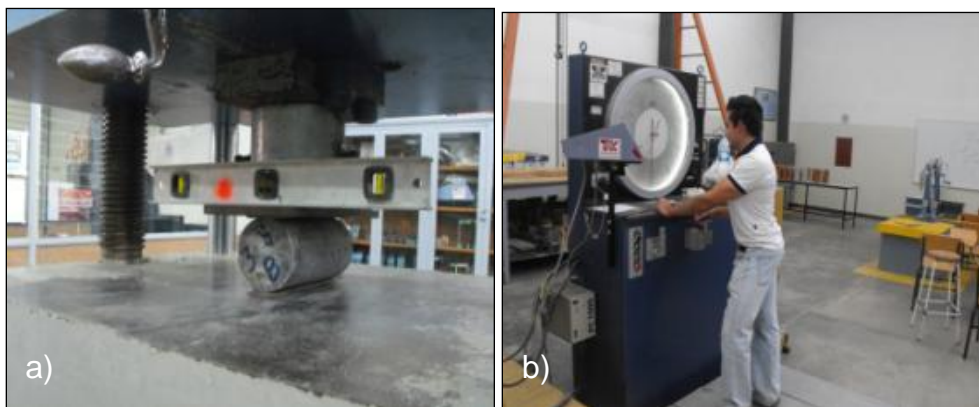
### Cálculo.

La resistencia a la tensión indirecta del espécimen fue calculada con la Ecuación 30.

$$T = \frac{2P}{D*L} \quad [30]$$

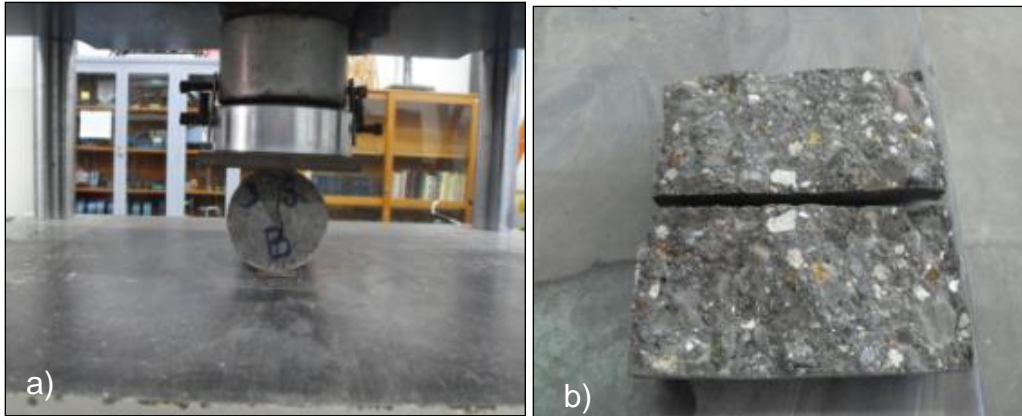
Donde:

T es la resistencia a tensión indirecta en kg/cm<sup>2</sup>; P es la carga máxima en kg; L es la longitud en cm y D es el diámetro en cm.



**Figura 3.10. a) Los aditamentos son colocados y se verifica que esté nivelada la muestra, b) La velocidad de carga es controlada y registrada la carga final**





**Figura 3.11. La falla aparece en el sentido de la carga, lo que indica que está bien colocada a), se aprecia la falla interna b)**

### **3.3.1.3 Velocidad de pulso ultrasónico.**

El investigador Castellanos (1985), en un trabajo exploratorio, estudió la correlación entre la velocidad de pulso ultrasónico y la resistencia a la compresión 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) dio un coeficiente de correlación ( $r$ ) de 0.94; después de alcanzar 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 utilizó un único agregado e hizo 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 podía ser usado un único modelo variado entre la velocidad y la resistencia, aun cuando los concretos fueran preparados con el mismo tipo de agregado.

En una investigación posterior, obtuvieron una curva de regresión exponencial con una  $r$  de 0.82 para concretos preparados con seis diferentes muestras de agregados calizos triturados que fueron escogidos entre los más utilizados en una misma región. Aunque en términos estadísticos, un coeficiente de correlación como el obtenido significa que las variables tienen una fuerte relación, en términos ingenieriles; la dispersión producida entre los datos experimentales es demasiado grande para poder aplicar el modelo. Hicieron variar en forma simultánea las

propiedades elásticas de los agregados, ya que utilizaron seis agregados diferentes y las proporciones de los componentes del concreto, vía el método del ACI; de aquí pudieron 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 ha sido utilizada desde hace aproximadamente cincuenta años. La técnica fue desarrollada por Leslie y Cheesman en Canadá y utilizada con gran éxito desde la década de los sesenta, 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 Raleigh. 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, las que se pueden relacionar con los parámetros de calidad del material [17].

Un criterio de aceptación para el concreto hidráulico fue publicado por Malhotra (1985) sobre la base de la medición de la velocidad ultrasónica [18]. La clasificación del concreto en categorías con base en intervalos de velocidad aparece en la Tabla 3.16.

**Tabla 3.16. Clasificación del concreto según su velocidad de pulso ultrasónico [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

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.

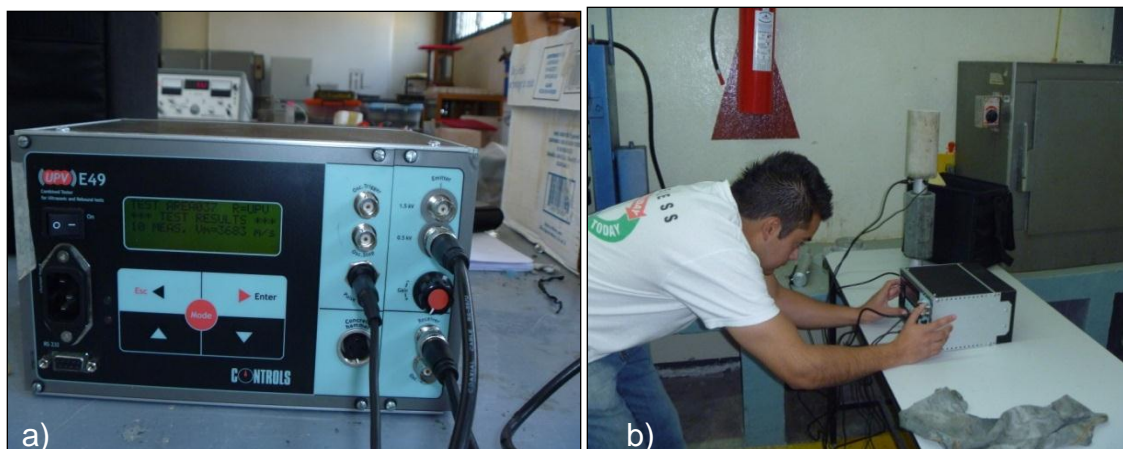
La combinación de estos métodos fue aplicada en el concreto hidráulico con diferentes contenidos de humo de sílice que van de 10%, 20% y 30%; y con una relación de agua cemento de 0.22 a 0.40, además con diferentes condiciones de curado. Debido a que la edad, la composición, el contenido de agua libre y las condiciones de curado son factores que influyen en la resistencia del concreto;



determinaron mediciones de velocidad de pulso y de amplitud relativa ultrasónica y obtuvieron que las mediciones de velocidad de pulso ultrasónico eran menos sensibles para un alto nivel de esfuerzo pero existía 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, sugieren esta combinación para estimar la resistencia del concreto con humo de sílice; pero, además, es posible hacer una combinación con otros métodos para una mejor estimación del esfuerzo [19].

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

La Figura 3.12 muestra el equipo para la medición de la velocidad de pulso ultrasónico y la colocación de la muestra entre los transductores al iniciar la prueba.



**Figura 3.12. a) Equipo para realizar prueba; b) Colocación de la muestra entre los transductores al iniciar la prueba.**

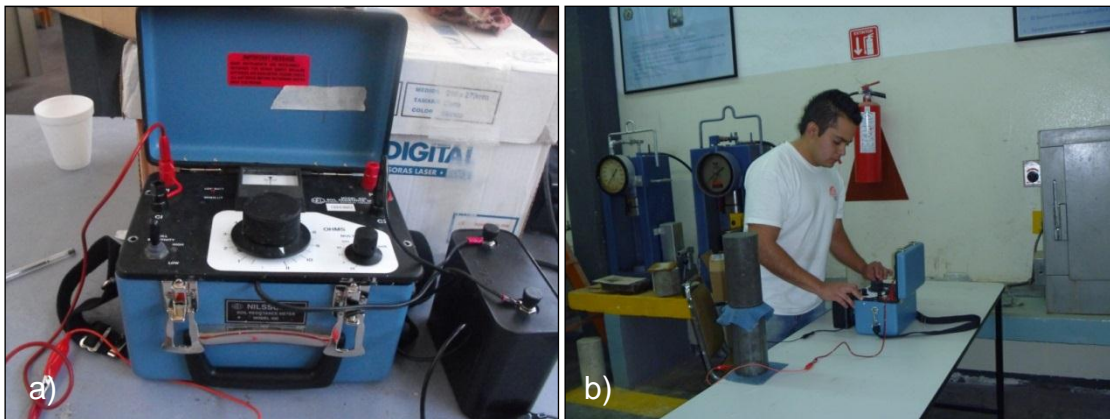
#### **3.3.1.4 Frecuencia de resonancia y Resistividad.**

Se realizó la prueba de Frecuencia de Resonancia, con el equipo llamado E-METER, mostrado en la Figura 3.13. Esta prueba consiste en determinar las frecuencias de resonancia del espécimen, las que están dadas en Hz; es una prueba no destructiva y con este dato podemos obtener el módulo de elasticidad dinámico de la muestra, con base en la norma ASTM C215. [21].



**Figura 3.13 Equipo de medición de Frecuencia de resonancia**

Se realizó la prueba de Resistividad, con un aparato llamado Resistómetro, donde se pasar energía eléctrica a través del espécimen para determinar la resistencia eléctrica, y su lectura es en Omhs. Figura 3.14.



**Figura 3.14. a) Equipo usado para medir la resistividad; b) Colocación de los cilindros entre dos placas de cobre y esponja húmeda para mejorar la conductividad.**

## 4 Resultados

A continuación se muestra un resumen de los resultados de las resistencias de los cilindros sin adición de fibras y de los cilindros adicionados con fibras de cactus opuntia.

### 4.1 Cilindros sin cactus.

#### 4.1.1 Resistencia a la tensión.

Las Tablas 4.1 a la 4.5 muestran los resultados obtenidos de la resistencia a la tensión de los especímenes ensayados a los días 3, 7, 14, 28 y 40; así mismo, muestran los resultados de la resistencia a la compresión, resistividad y frecuencia de resonancia de cada espécimen ensayado. Estos especímenes ensayados no contenían fibras de cactus.

Tabla 4.1 Resultados al día 3

COLADA 3 "3 DIAS"						
No. DE CILINDROS	RESISTIVIDAD (k $\Omega$ -cm)	ULTRASÓNICO (m/seg)	FRECUENCIAS DE RESONANCIA (Hz)	MODULO DE ELASTICIDAD DINÁMICO (kg/cm <sup>2</sup> )	CARGA (kg)	TENSIÓN(Kg/cm <sup>2</sup> )
1	3.14	3125	1650	9984.35	3600	11.46
2	3.22	3260	1567	9054.65	3450	10.98
PROMEDIO	3.18	3192.50	1608.50	9519.50	3525	11.22

Tabla 4.2 Resultados al día 7

COLADA 3 "7 DIAS"						
No. DE CILINDROS	RESISTIVIDAD (k $\Omega$ -cm)	ULTRASÓNICO (m/seg)	FRECUENCIAS DE RESONANCIA (Hz)	MODULO DE ELASTICIDAD DINÁMICO (kg/cm <sup>2</sup> )	CARGA (kg.)	TENSIÓN(kg/cm <sup>2</sup> )
1	4.24	3448	2022	14998.13	4250	13.53
2	4.04	3254	1742	10834.88	5000	15.92
PROMEDIO	4.14	3351	1882	12916.51	4625	14.72

**Tabla 4.3 Resultados al día 14**

<b>COLADA 3 "14 DIAS"</b>						
No. DE CILINDROS	RESISTIVIDAD (kΩ-cm)	ULTRASÓNICO (m/seg)	FRECUENCIAS DE RESONANCIA (Hz)	MODULO DE ELASTICIDAD DINÁMICO (kg/cm <sup>2</sup> )	CARGA (kg.)	TENSIÓN (kg/cm <sup>2</sup> )
6	7.07	3157	2528	23425.36	3850	12.25
7	5.89	3254	2330	19999.84	4225	13.45
<b>PROMEDIO</b>	<b>6.48</b>	<b>3205.50</b>	<b>2429.00</b>	<b>21712.60</b>	<b>4037.5</b>	<b>12.85</b>

**Tabla 4.4 Resultados al día 28**

<b>COLADA 3 "28 DIAS"</b>						
No. DE CILINDROS	RESISTIVIDAD (kΩ-cm)	ULTRASÓNICO (m/seg)	FRECUENCIAS DE RESONANCIA (Hz)	MODULO DE ELASTICIDAD DINÁMICO (kg/cm <sup>2</sup> )	CARGA (kg.)	TENSIÓN (kg/cm <sup>2</sup> )
1	6.09	3663	2015	33712.44	5950	18.94
2	6.09	3656	2078	36046.76	6400	20.37
<b>PROMEDIO</b>	<b>6.09</b>	<b>3659.50</b>	<b>2046.50</b>	<b>34879.60</b>	<b>6175</b>	<b>19.66</b>

**Tabla 4.5 Resultados al día 40**

<b>COLADA 3 "40 DIAS"</b>						
No. DE CILINDROS	RESISTIVIDAD (kΩ-cm)	ULTRASÓNICO (m/seg)	FRECUENCIAS DE RESONANCIA (Hz)	MODULO DE ELASTICIDAD DINÁMICO (kg/cm <sup>2</sup> )	CARGA (kg.)	TENSIÓN (kg/cm <sup>2</sup> )
1	4.71	3693	2105	16250.10	6350	20.21
2	4.71	3746	2098	16064.51	6950	22.12
<b>PROMEDIO</b>	<b>4.71</b>	<b>3719.50</b>	<b>2101.50</b>	<b>16157.30</b>	<b>6650</b>	<b>21.17</b>

A continuación las Figuras de la 4.1 a la 4.5 muestran los porcentajes de resistencia a la tensión obtenidos de los cilindros sin fibra de cactus. Se puede observar en los días 3, 7 y 40, que la resistencia a la tensión es mayor que lo establecido en la Norma. Sin embargo, los días 14 y 28 hubo una disminución de la resistencia.



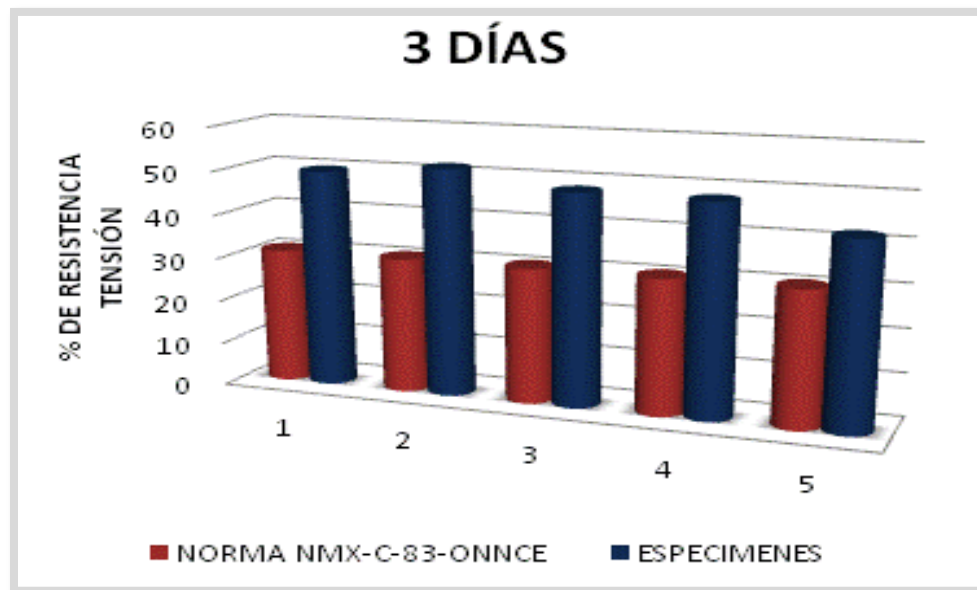


Figura 4.1. Resistencia a la tensión día 3.

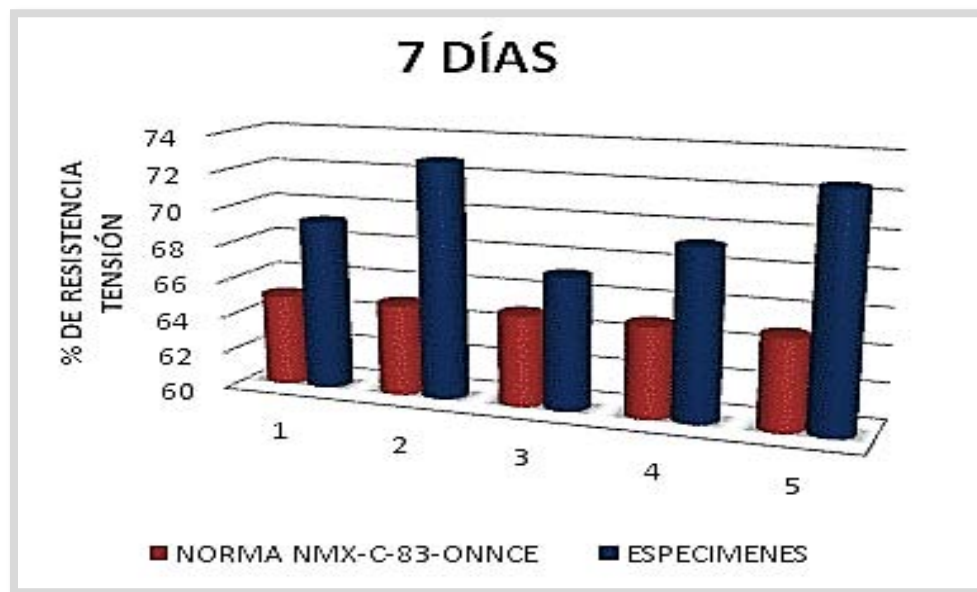


Figura 4.2. Resistencia a la tensión día 7.

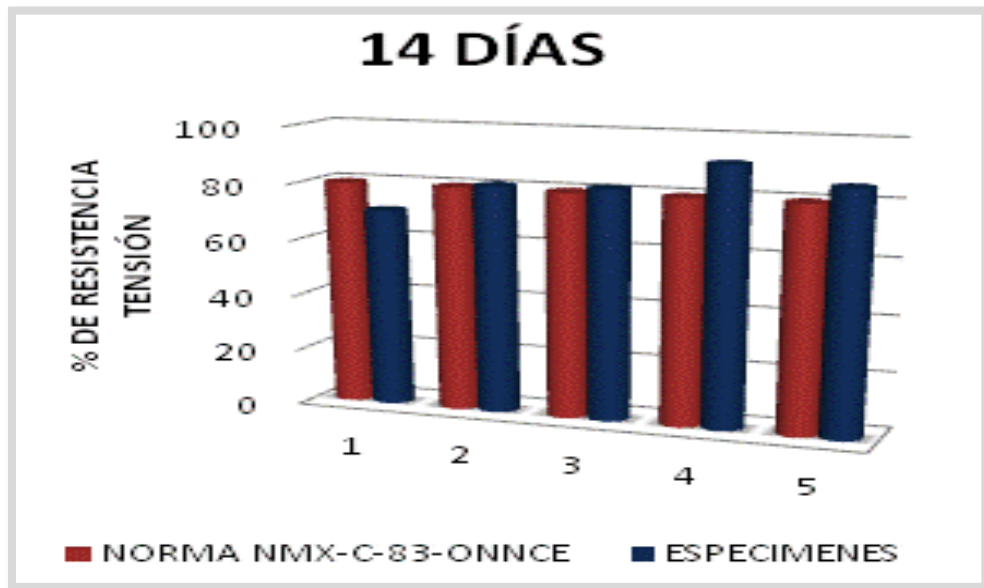


Figura 4.3. Resistencia a la tensión día 14.

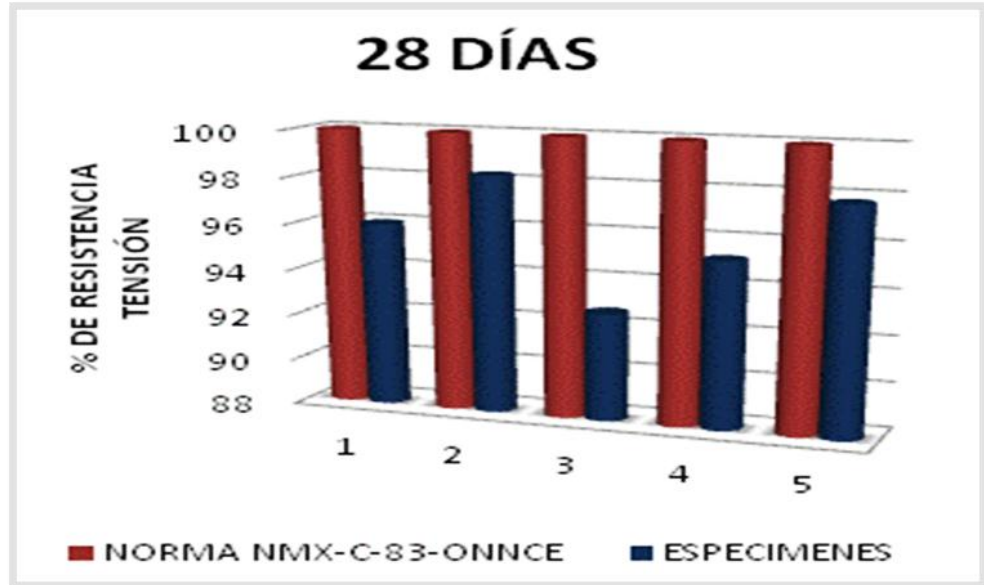


Figura 4.4. Resistencia a la tensión día 28.

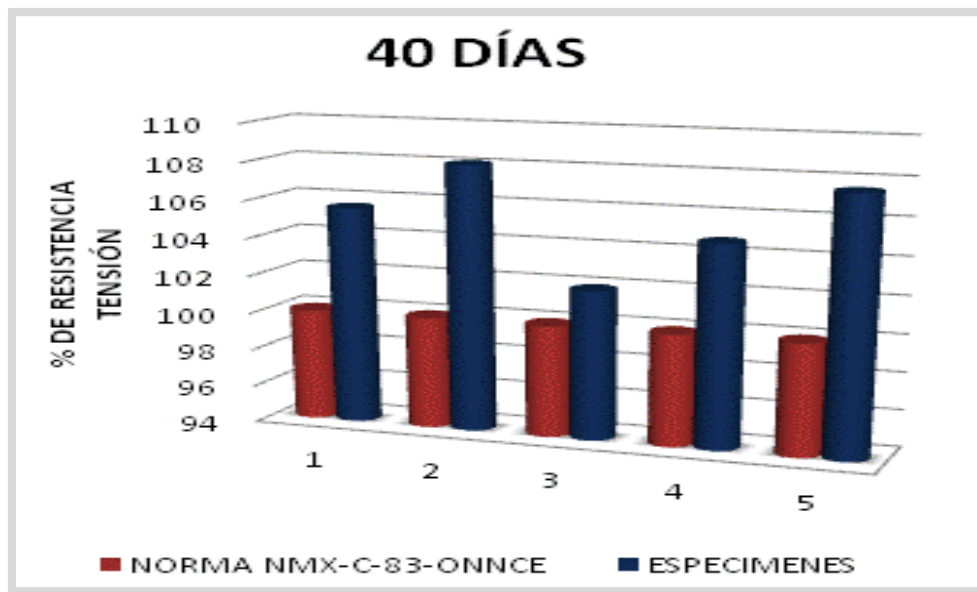


Figura 4.5. Resistencia a la tensión día 40

#### 4.1.2 Resistencia a la compresión.

Las Tablas de la 4.6 a la 4.10 muestran los resultados obtenidos en especímenes cilíndricos sin adición de fibra a los días 3, 7, 14, 28 y 40. También señalan los resultados de resistividad, pulso ultrasónico y resonancia para cada uno de los cinco días cilindros ensayados.

Tabla 4.6 Resultados al día 3

COLADA 3 "3 DIAS"								
No. DE CILINDROS	RESISTIVIDAD (k $\Omega$ -cm)	ULTRASÓNICO (m/seg)	FRECUENCIAS DE RESONANCIA (Hz)	MODULO DE ELASTICIDAD DINÁMICO (kg/cm <sup>2</sup> )	CARGA (kg.)	RESISTENCIA (kg/cm <sup>2</sup> )	% DE RESISTENCIA	RESULTADO
1	3.50	3231	1565	9096.59	9800	124.78	49.91	SI CUMPLE
2	3.53	2628	1345	6634.32	10200	129.87	51.95	SI CUMPLE
3	3.34	3316	1543	8689.37	9500	120.96	48.38	SI CUMPLE
4	3.30	3307	1548	8832.86	9450	120.32	48.13	SI CUMPLE
5	3.14	3231	1678	10273.46	8300	105.68	42.27	SI CUMPLE
PROMEDIO	3.36	3142.6	1535.8	8705.32	9450	120.32	48.13	SI CUMPLE

**Tabla 4.7 Resultados al día 7**

COLADA 3 "7 DIAS"								
No. DE CILINDROS	RESISTIVIDAD (k Ω-cm)	ULTRASÓNICO (m/seg)	FRECUENCIAS DE RESONANCIA (Hz)	MODULO DE ELASTICIDAD DINÁMICO (kg/cm <sup>2</sup> )	CARGA (kg.)	RESISTENCIA (kg/cm <sup>2</sup> )	% DE RESISTENCIA	RESULTADO
1	4.32	3394	1699	10748.01	13600	173.16	69.26	SI CUMPLE
2	4.71	3128	1292	6187.63	14300	182.07	72.83	SI CUMPLE
3	3.93	3409	1827	12414.63	13200	168.07	67.23	SI CUMPLE
4	4.32	3483	1735	11152.05	13600	173.16	69.26	SI CUMPLE
5	4.71	3390	1535	8707.15	14250	181.44	72.57	SI CUMPLE
PROMEDIO	4.40	3360.8	1617.6	9841.89	13790	175.58	70.23	SI CUMPLE

**Tabla 4.8 Resultados al día 14**

COLADA 3 "14 DIAS"								
No. DE CILINDROS	RESISTIVIDAD (k Ω-cm)	ULTRASÓNICO (m/seg)	FRECUENCIAS DE RESONANCIA (Hz)	MODULO DE ELASTICIDAD DINÁMICO (kg/cm <sup>2</sup> )	CARGA (kg.)	RESISTENCIA (kg/cm <sup>2</sup> )	% DE RESISTENCIA	RESULTADO
1	7.07	3389	2450	21701.61	13850	176.34	70.54	NO CUMPLE
2	5.89	3478	1570	8978.21	15900	202.45	80.98	SI CUMPLE
3	7.07	3015	1995	14563.07	16050	204.35	81.74	SI CUMPLE
4	5.50	3256	1894	13045.38	18000	229.18	91.67	SI CUMPLE
5	7.07	3347	2130	16442.66	16800	213.90	85.56	SI CUMPLE
PROMEDIO	6.52	3297	2007.8	14946.19	16120	205.25	82.10	SI CUMPLE

**Tabla 4.9 Resultados al día 28**

COLADA 3 "28 DIAS"								
No. DE CILINDROS	RESISTIVIDAD (k Ω-cm)	ULTRASÓNICO (m/seg)	FRECUENCIAS DE RESONANCIA (Hz)	MODULO DE ELASTICIDAD DINÁMICO (kg/cm <sup>2</sup> )	CARGA (kg.)	RESISTENCIA (kg/cm <sup>2</sup> )	% DE RESISTENCIA	RESULTADO
1	5.89	3683	2025	14863.84	18850	240.01	96.00	NO CUMPLE
2	5.89	3745	2132	16603.56	19300	245.74	98.29	NO CUMPLE
3	6.28	3642	1995	14335.78	18200	231.73	92.69	NO CUMPLE
4	6.28	3696	2045	35100.09	18700	238.10	95.24	NO CUMPLE
5	6.28	3710	2062	35509.49	19200	244.46	97.78	NO CUMPLE
PROMEDIO	6.13	3695.2	2051.8	23282.55	18850	240.01	96.00	NO CUMPLE



Tabla 4.10 Resultados al día 40

COLADA 3 "40 DÍAS"								
No. DE CILINDROS	RESISTIVIDAD (k $\Omega$ -cm)	ULTRASÓNICO (m/seg)	FRECUENCIAS DE RESONANCIA (Hz)	MODULO DE ELASTICIDAD DINÁMICO (kg/cm <sup>2</sup> )	CARGA (kg.)	RESISTENCIA(kg/cm <sup>2</sup> )	% DE RESISTENCIA	RESULTADO
1	4.71	3780	2125	36540.31	20735	264.01	105.60	SI CUMPLE
2	4.71	3700	2242	41283.72	21230	270.31	108.12	SI CUMPLE
3	5.11	3697	2005	33545.62	20020	254.90	101.96	SI CUMPLE
4	5.11	3732	2175	41398.32	20570	261.91	104.76	SI CUMPLE
5	5.11	3743	2156	17264.24	21120	268.91	107.56	SI CUMPLE
PROMEDIO	4.95	3730.4	2140.6	34006.44	20735	264.01	105.60	SI CUMPLE

La Figura 4.6 muestra la tendencia del comportamiento de los especímenes comparado con la norma NMX-C-083-ONNCE a lo largo del estudio.

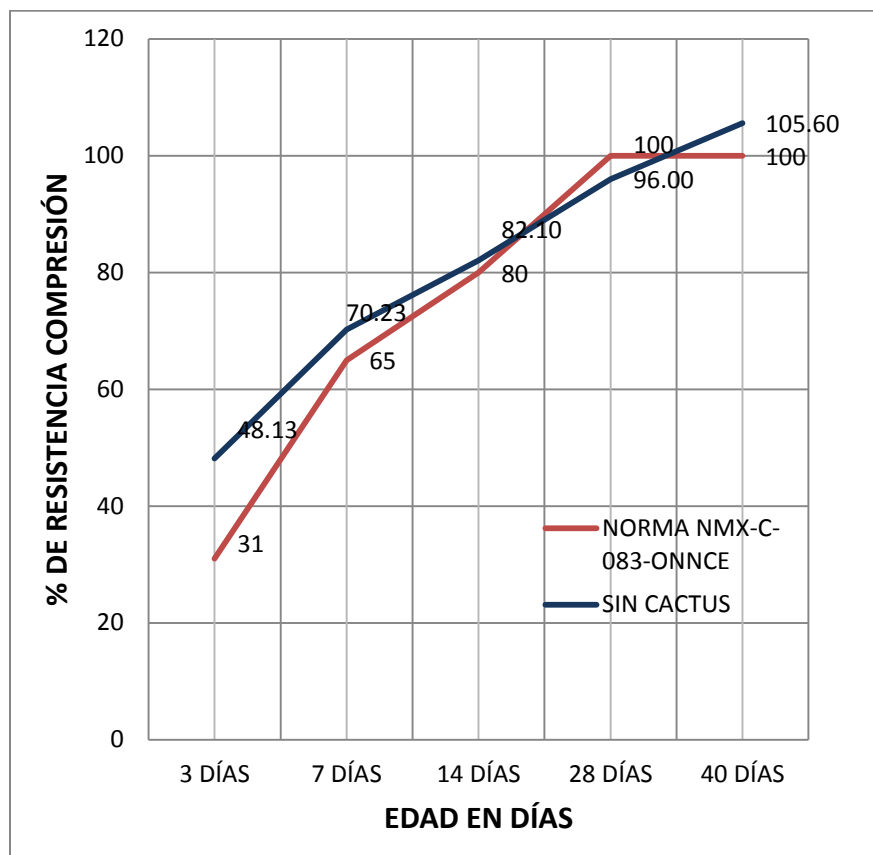


Figura 4.6. Resistencia a la compresión sin cactus

## 4.2 Cilindros con cactus.

### 4.2.1 Resistencia a la tensión.

Las Tablas de la 4.11 a la 4.15 muestran los resultados de las pruebas de resistencia a la tensión realizadas a los especímenes cilíndricos adicionados con fibras de cactus opuntia, a los días 3, 7, 14, 28 y 40. Además, se incluyen los resultados de resistividad, resonancia y velocidad de pulso ultrasónico.

**Tabla 4.11. Resultados al día 3**

COLADA 4 "3 DIAS"						
No. DE CILINDROS	RESISTIVIDAD (k $\Omega$ -cm)	ULTRASÓNICO (m/seg)	FRECUENCIAS DE RESONANCIA (Hz)	MODULO DE ELASTICIDAD DINÁMICO (kg/cm <sup>2</sup> )	CARGA (kg.)	TENSIÓN (kg/cm <sup>2</sup> )
1	2.63	2703	1900	13407.79	1912.5	6.09
2	2.55	2770	1480	8032.95	1750	5.57
3	2.40	2773	1528	8521.25	1700	5.41
<b>PROMEDIO</b>	<b>2.53</b>	<b>2748.67</b>	<b>1636</b>	<b>9987.33</b>	<b>1787.50</b>	<b>5.69</b>

**Tabla 4.12. Resultados al día 7**

COLADA 1 "7 DIAS"						
No. DE CILINDROS	RESISTIVIDAD (k $\Omega$ -cm)	ULTRASÓNICO (m/seg)	FRECUENCIAS DE RESONANCIA (Hz)	MODULO DE ELASTICIDAD DINÁMICO (kg/cm <sup>2</sup> )	CARGA (kg.)	TENSIÓN (kg/cm <sup>2</sup> )
1	3.65	2879	1632	9867.25	4600	14.64
2	3.69	2956	1854	12702.19	4700	14.96
3	3.77	3022	1821	12164.51	5000	15.92
<b>PROMEDIO</b>	<b>3.70</b>	<b>2952.33</b>	<b>1769</b>	<b>11577.98</b>	<b>4766.67</b>	<b>15.17</b>

Tabla 4.13. Resultados al día 14

COLADA 1 "14 DIAS"						
No. DE CILINDROS	RESISTIVIDAD (k $\Omega$ -cm)	ULTRASÓNICO (m/seg)	FRECUENCIAS DE RESONANCIA (Hz)	MODULO DE ELASTICIDAD DINÁMICO (kg/cm <sup>2</sup> )	CARGA (kg.)	TENSIÓN (kg/cm <sup>2</sup> )
1	6.48	3245	1906	13492.61	5475	17.43
2	7.07	3456	1806	11961.55	4850	15.44
3	5.89	3321	2010	14745.13	4950	15.76
PROMEDIO	6.48	3340.67	1907.33	13399.76	5091.67	16.21

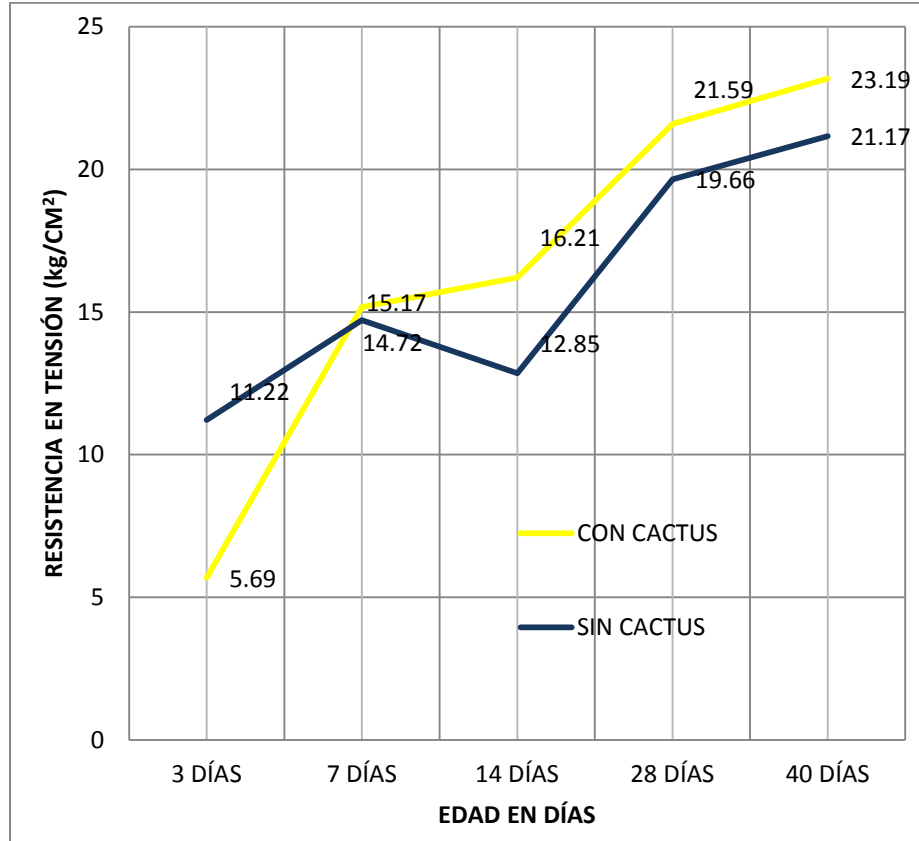
Tabla 4.14. Resultados al día 28

COLADA 1 "28 DIAS"						
No. DE CILINDROS	RESISTIVIDAD (k $\Omega$ -cm)	ULTRASÓNICO (m/seg)	FRECUENCIAS DE RESONANCIA (Hz)	MODULO DE ELASTICIDAD DINÁMICO (kg/cm <sup>2</sup> )	CARGA (kg.)	TENSIÓN (kg/cm <sup>2</sup> )
1	5.50	3454	2125	16123.00	6600	21.01
2	5.11	3539	2021	14767.01	7200	22.92
3	5.50	3466	1998	14540.58	6550	20.85
PROMEDIO	5.37	3486.33	2048	15143.53	6783.33	21.59

Tabla 4.15. Resultados al día 40

COLADA 1 "40 DIAS"						
No. DE CILINDROS	RESISTIVIDAD (k $\Omega$ -cm)	ULTRASÓNICO (m/seg)	FRECUENCIAS DE RESONANCIA (Hz)	MODULO DE ELASTICIDAD DINÁMICO (kg/cm <sup>2</sup> )	CARGA (kg.)	TENSIÓN (kg/cm <sup>2</sup> )
1	3.93	3674	2200	40186.99	7100	22.60
2	4.32	3628	2103	36919.32	7750	24.67
3	4.32	3677	2032	33411.94	7005	22.30
PROMEDIO	4.19	3659.67	2111.67	36839.42	7285.00	23.19

En la Figura 4.7 aparece la diferencia de resistencia que hay entre los cilindros que contenían cactus y los que no incluían, ambos sometidos al esfuerzo de tensión.



**Figura 4.7. Resistencia a la tensión**

Los especímenes con cactus tienen una mayor resistencia a la tensión, esta diferencia fue del 2.02% al final de esta investigación.

## 4.2.2 Resistencia a la compresión.

En las Tablas de la 4.16 a la 4.20 se observan los resultados obtenidos de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos adicionados con cactus a los días 3, 7, 14, 28 y 40. Así mismo muestran los resultados obtenidos de velocidad de pulso, resistividad y resonancia.

Tabla 4.16. Resultados al día 3

COLADA 4 "3 DIAS"								
No. DE CILINDROS	RESISTIVIDAD (K Ω-cm)	ULTRASÓNICO (m/seg)	FRECUENCIAS DE RESONANCIA (Hz)	MODULO DE ELASTICIDAD DINÁMICO (Kg/cm <sup>2</sup> )	CARGA (kg.)	RESISTENCIA (Kg/cm <sup>2</sup> )	% DE RESISTENCIA	RESULTADO
1	2.36	2406	2005	14930.65	4625	58.89	23.55	NO CUMPLE
2	2.28	2442	1883	13003.27	4075	51.88	20.75	NO CUMPLE
3	2.32	2656	2000	14598.78	4500	57.30	22.92	NO CUMPLE
4	2.32	2328	1280	6039.20	4550	57.93	23.17	NO CUMPLE
5	2.28	2739	1986	14391.01	4050	51.57	20.63	NO CUMPLE
PROMEDIO	2.31	2514.2	1830.8	12592.58	4360	55.51	22.21	NO CUMPLE

Tabla 4.17. Resultados al día 7

CILINDROS COMPRESIÓN								
COLADA 1 "7 DIAS"								
No. DE CILINDROS	RESISTIVIDAD (K Ω-cm)	ULTRASÓNICO (m/seg)	FRECUENCIAS DE RESONANCIA (Hz)	MODULO DE ELASTICIDAD DINÁMICO (Kg/cm <sup>2</sup> )	CARGA (kg.)	RESISTENCIA (Kg/cm <sup>2</sup> )	% DE RESISTENCIA	RESULTADO
1	3.81	2951	1356	6829.19	12900	164.25	65.70	SI CUMPLE
2	3.57	2875	1245	5684.48	14500	184.62	73.85	SI CUMPLE
3	3.69	2998	1234	5557.59	12850	163.61	65.44	SI CUMPLE
4	3.53	3002	1249	5750.22	13000	165.52	66.21	SI CUMPLE
5	3.77	3001	1368	6828.18	14500	184.62	73.85	SI CUMPLE
6	3.53	2946	1265	5868.58	12920	164.50	65.80	SI CUMPLE
7	3.61	3012	1298	6212.74	12800	162.97	65.19	SI CUMPLE
8	3.81	3045	1367	6957.90	13400	170.61	68.25	SI CUMPLE
9	3.53	3041	1322	6478.32	13500	171.89	68.75	SI CUMPLE
10	3.61	3598	1365	6929.82	12950	164.88	65.95	SI CUMPLE
PROMEDIO	3.65	3046.90	1306.90	6309.70	13332	169.75	67.90	SI CUMPLE

Tabla 4.18. Resultados al día 14

COLADA 1 "14 DIAS"								
No. DE CILINDROS	RESISTIVIDAD (K Ω-cm)	ULTRASÓNICO (m/seg)	FRECUENCIAS DE RESONANCIA (Hz)	MODULO DE ELASTICIDAD DINÁMICO (Kg/cm <sup>2</sup> )	CARGA (kg.)	RESISTENCIA (Kg/cm <sup>2</sup> )	% DE RESISTENCIA	RESULTADO
1	5.89	3194	2500	22315.57	20000	254.65	101.86	SI CUMPLE
2	5.89	3252	2185	17260.87	19550	248.92	99.57	SI CUMPLE
3	5.89	2333	1890	13011.11	17000	216.45	86.58	SI CUMPLE
4	6.68	3527	2131	16616.28	17100	217.72	87.09	SI CUMPLE
5	6.28	2976	1613	9461.62	18250	232.37	92.95	SI CUMPLE
6	5.89	3514	1640	9747.66	18500	235.55	94.22	SI CUMPLE
7	6.48	3558	1660	10100.63	17550	223.45	89.38	SI CUMPLE
8	5.50	3442	1937	13822.10	17500	222.82	89.13	SI CUMPLE
9	6.28	3514	2006	14586.22	20150	256.56	102.62	SI CUMPLE
10	6.28	3327	1664	10114.25	18300	233.00	93.20	SI CUMPLE
PROMEDIO	6.11	3053.7	1922.6	13703.63	18390	234.15	93.66	SI CUMPLE



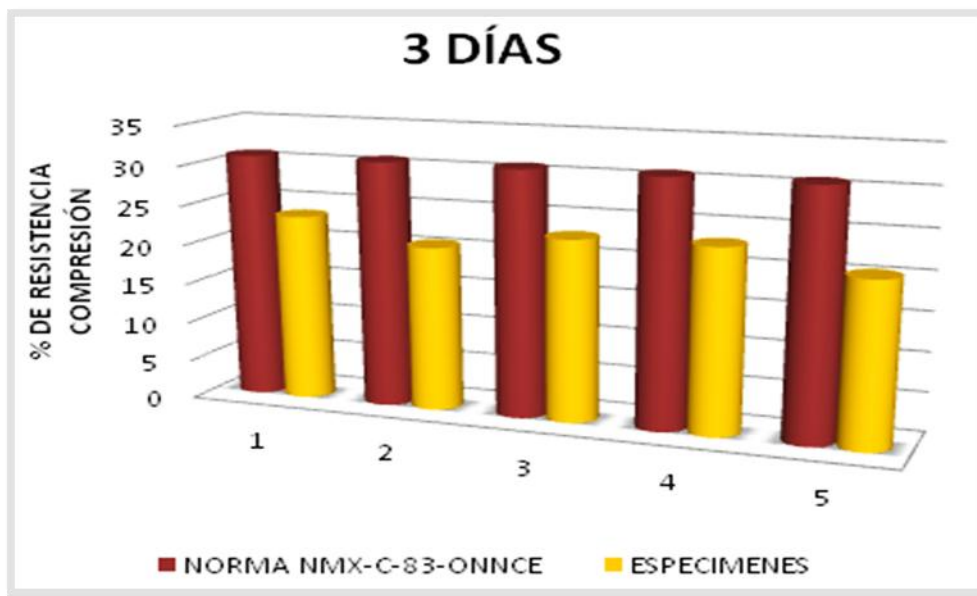
**Tabla 4.19. Resultados al día 28**

COLADA 1 "28 DIAS"								
No. DE CILINDROS	RESISTIVIDAD (K Ω-cm)	ULTRASÓNICO (m/seg)	FRECUENCIAS DE RESONANCIA (Hz)	MODULO DE ELASTICIDAD DINÁMICO (Kg/cm <sup>2</sup> )	CARGA (kg.)	RESISTENCIA (Kg/cm <sup>2</sup> )	% DE RESISTENCIA	RESULTADO
1	6.28	3184	2197	17791.79	19900	253.37	101.35	SI CUMPLE
2	5.89	3448	2164	17086.27	19992	254.55	101.82	SI CUMPLE
3	5.89	3484	1982	14406.52	19992	254.55	101.82	SI CUMPLE
4	5.50	3361	2035	15270.83	19800	252.10	100.84	SI CUMPLE
5	5.50	2980	1947	14114.75	22032	280.52	112.21	SI CUMPLE
6	5.30	3508	1862	12851.64	22440	285.71	114.29	SI CUMPLE
7	5.30	3448	2065	15859.77	21216	270.13	108.05	SI CUMPLE
8	5.11	3379	2045	15493.25	21500	273.75	109.50	SI CUMPLE
9	5.69	3245	1987	14589.98	19856	252.81	101.13	SI CUMPLE
10	5.30	3178	2105	16254.70	21570	274.64	109.86	SI CUMPLE
PROMEDIO	5.58	3321.5	2038.9	15371.95	20829.8	265.21	106.09	SI CUMPLE

**Tabla 4.20. Resultados al día 40**

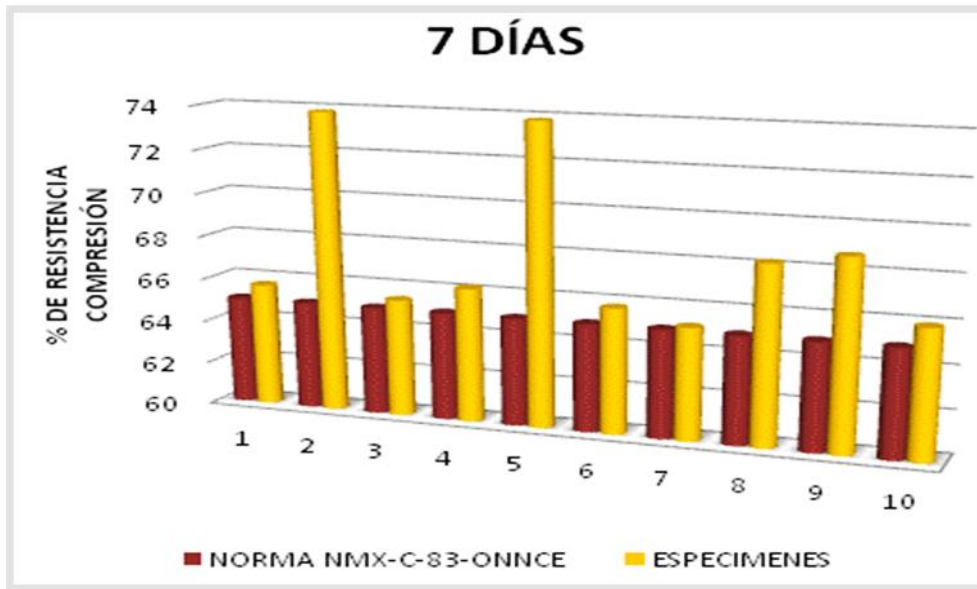
COLADA 4 "40 DIAS"								
No. DE CILINDROS	RESISTIVIDAD (OHMS)	ULTRASONIDO (m/seg)	FRECUENCIAS DE RESONANCIA (Hz)	MODULO DE ELASTICIDAD DINÁMICO (Kg/cm <sup>2</sup> )	CARGA (kg.)	RESISTENCIA (Kg/cm <sup>2</sup> )	% DE RESISTENCIA	RESULTADO
1	4.32	3384	2250	18523.88	21890	278.71	111.48	SI CUMPLE
2	4.71	3748	2203	17649.23	21991	280.00	112.00	SI CUMPLE
3	4.32	3648	1999	14482.33	22000	280.11	112.05	SI CUMPLE
4	3.93	3561	2045	15329.17	21870	278.46	111.38	SI CUMPLE
5	4.32	3245	2009	14868.75	24235	308.57	123.43	SI CUMPLE
6	4.32	3678	1998	14470.11	24685	314.30	125.72	SI CUMPLE
7	4.32	3659	2130	16572.43	23350	297.30	118.92	SI CUMPLE
8	4.32	3500	2138	16464.59	23650	301.12	120.45	SI CUMPLE
9	4.91	3450	2078	36242.04	21850	278.20	111.28	SI CUMPLE
10	4.71	3356	2204	40568.63	23727	302.10	120.84	SI CUMPLE
PROMEDIO	4.42	3522.9	2105.4	20517.12	22924.8	291.89	116.76	SI CUMPLE

Con los datos obtenidos se realizaron las gráficas para ver su comportamiento. La Figura 4.8 muestra que el porcentaje de resistencia a la compresión en el día 3 de los especímenes se encuentra por debajo de lo establecido en la Norma.



**Figura 4.8. Porcentaje de Resistencia a la compresión al día 3.**

Como es posible observar en las Figuras de la 4.9 a 4.12, los especímenes de los días 7, 14, 28 y 40 muestran un porcentaje mayor a lo establecido en la Norma; entre los días 28 y 40 alcanzaron los porcentajes más elevados.



**Figura 4.9. Porcentaje de resistencia a la compresión al día 7.**

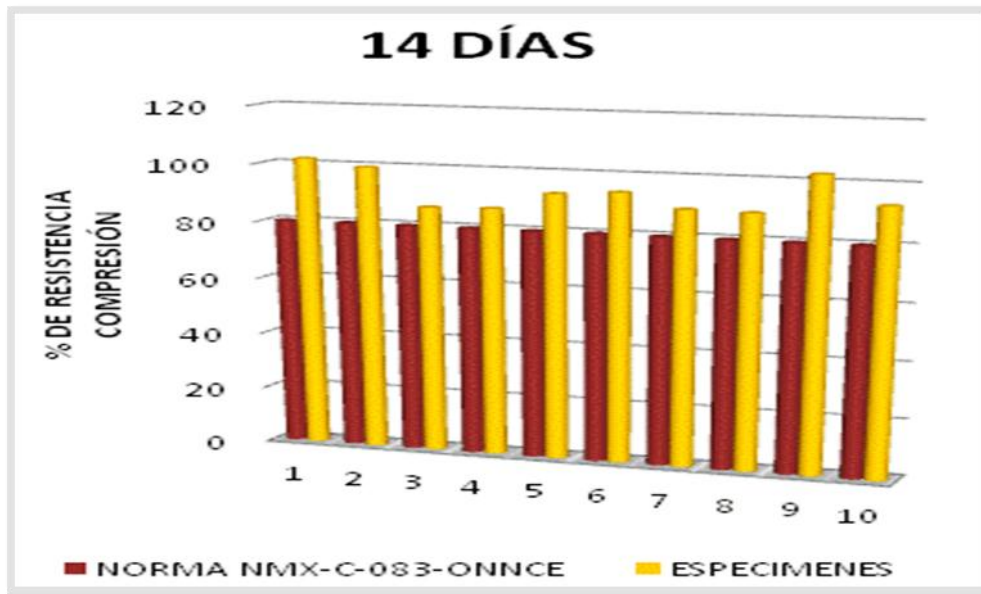


Figura 4.10. Porcentaje de resistencia a la compresión al día 14.

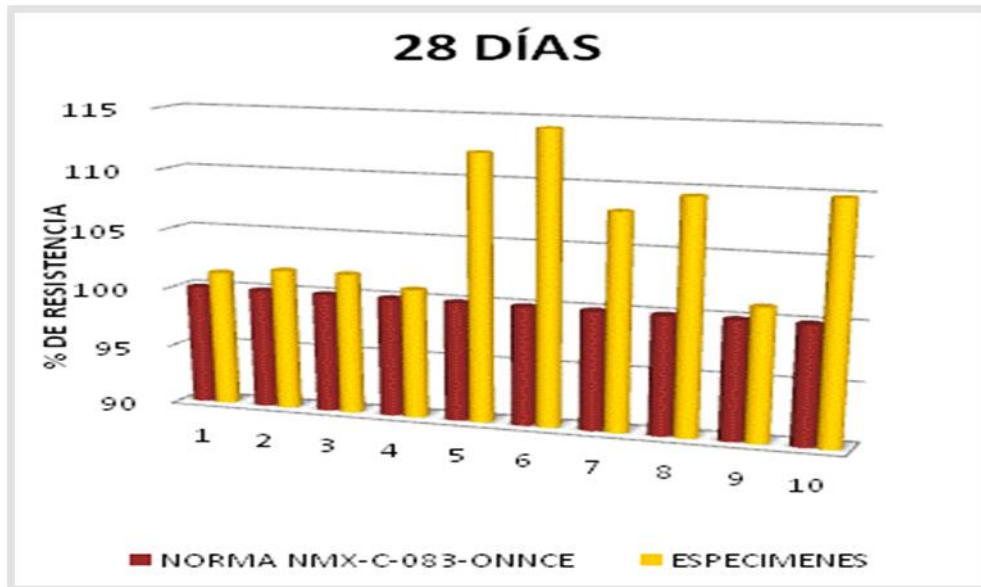


Figura 4.11. Porcentaje de resistencia a la compresión al día 28.



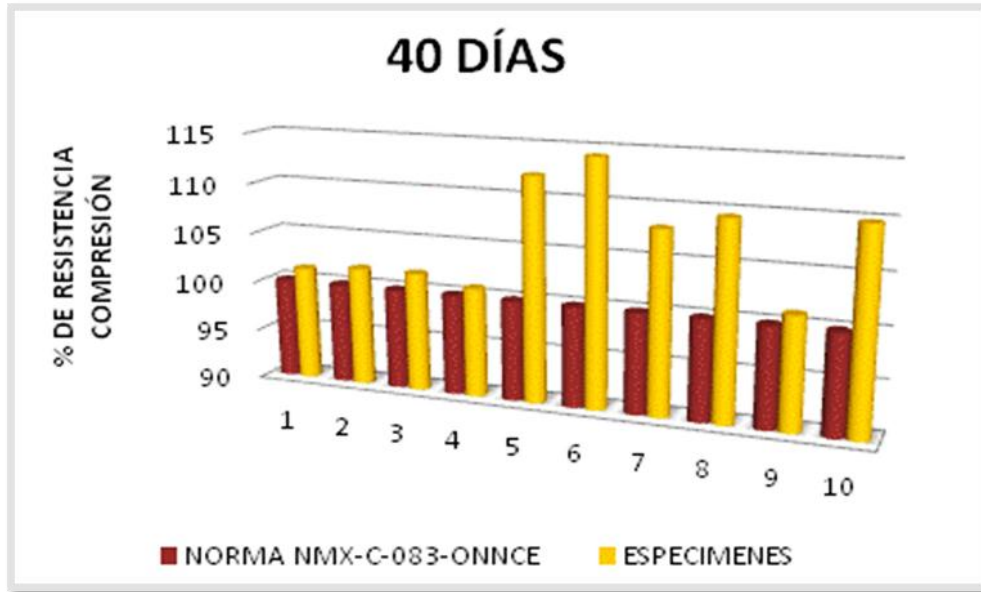


Figura 4.12. Porcentaje de resistencia a la compresión al día 40.

La Figura 4.13 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.

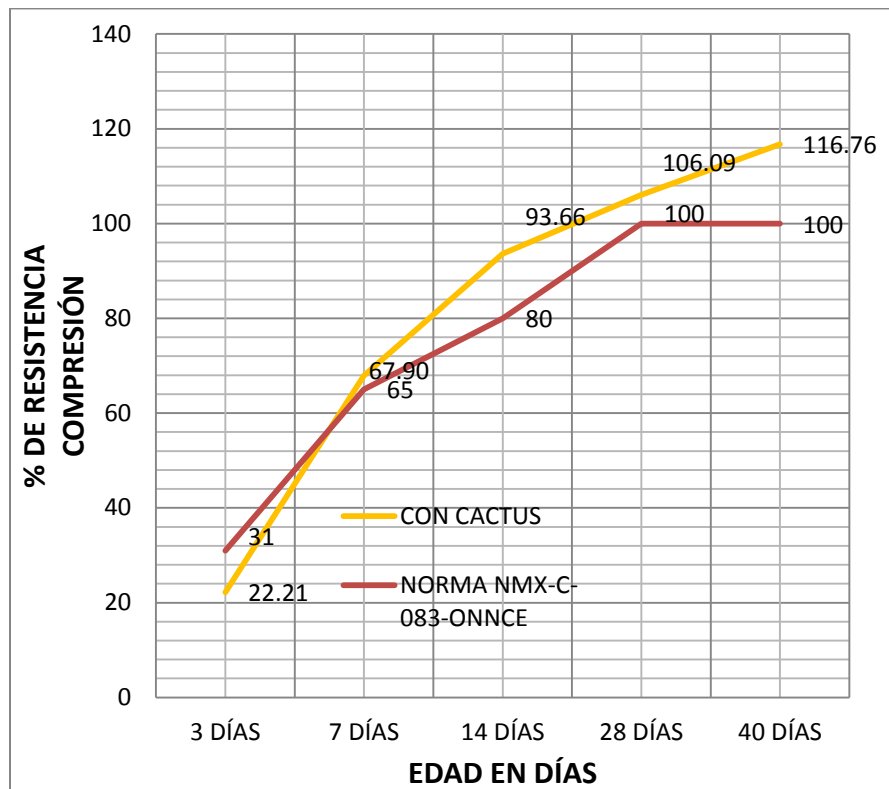
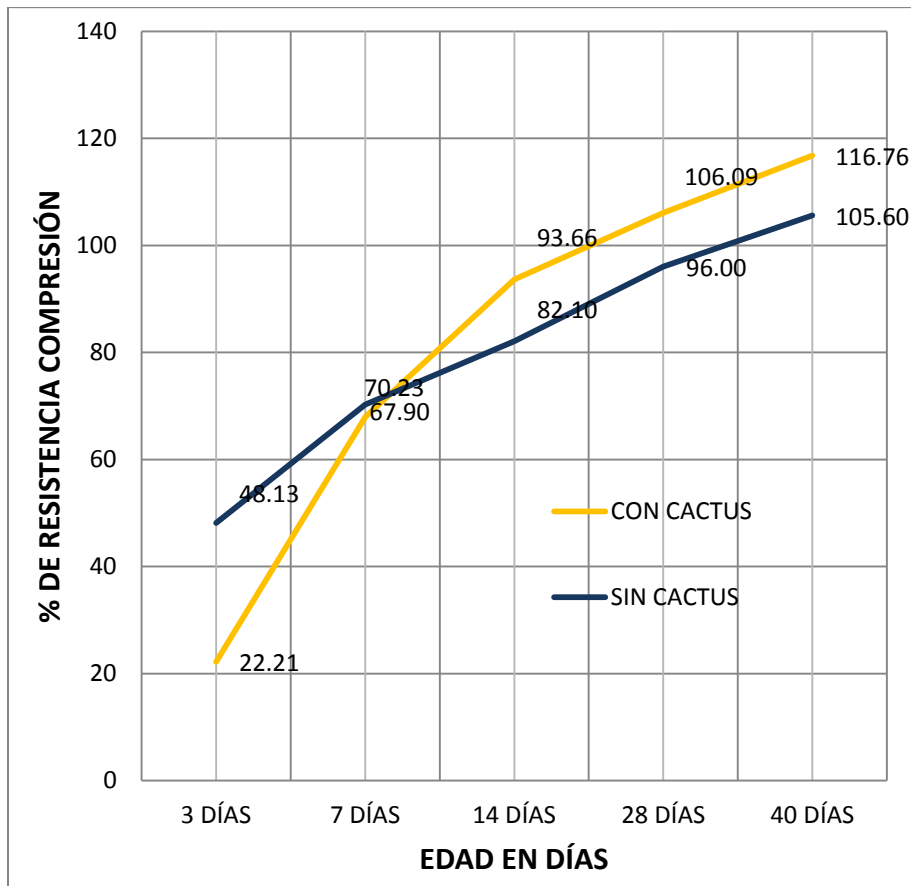


Figura 4.13. Resistencia a la compresión con cactus

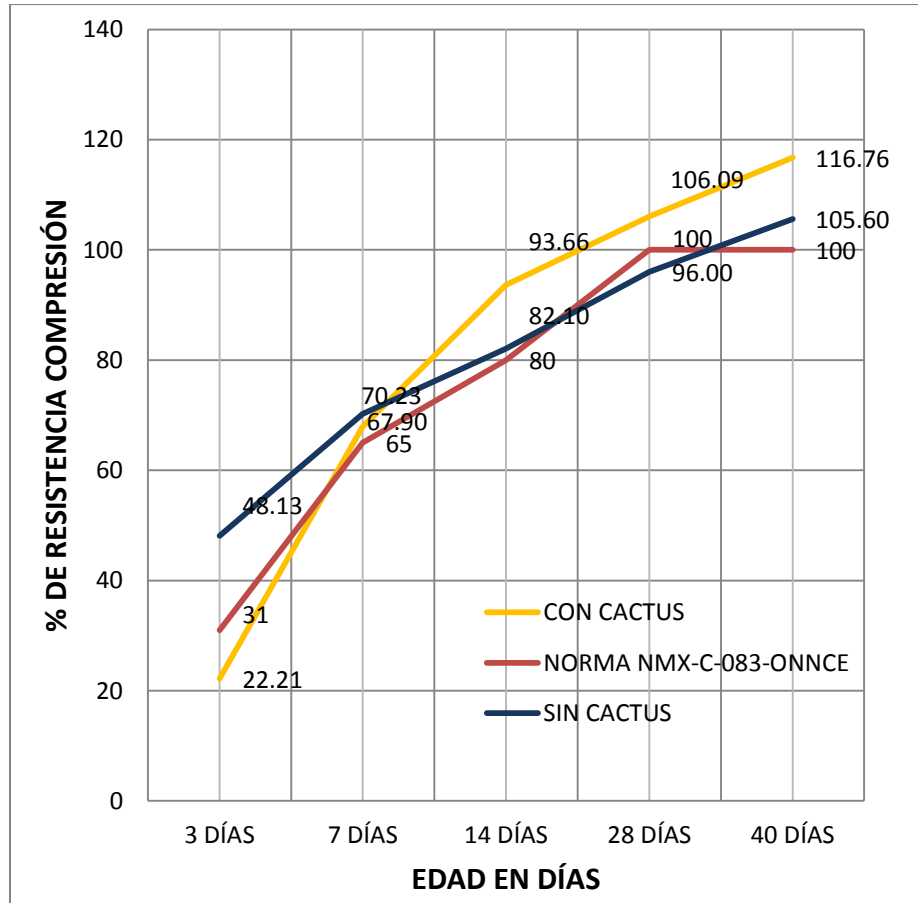
La Figura 4.14 muestra la diferencia de resultados que hay entre los cilindros con cactus y los cilindros sin cactus a la compresión.



**Figura 4.14. Comparación de la resistencia a la compresión de cilindros con y sin cactus.**

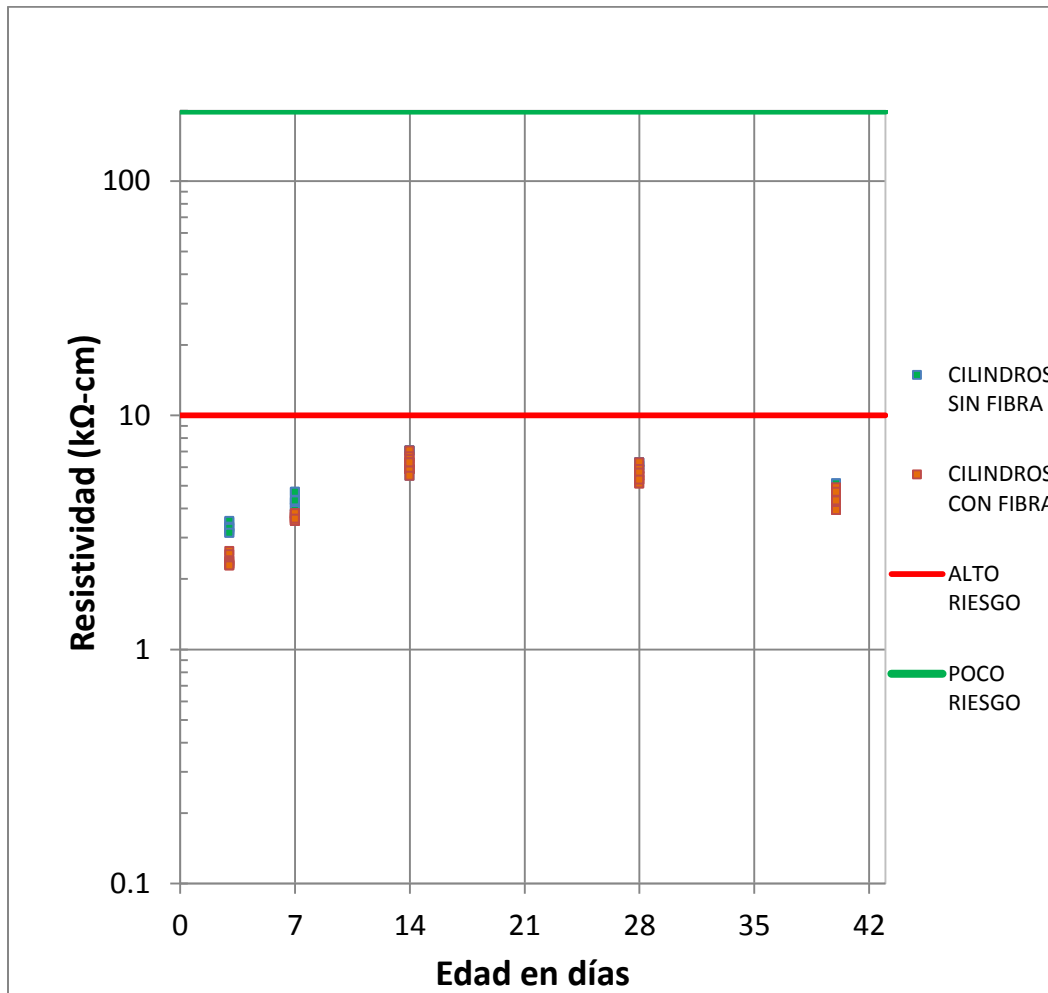
Como se puede observar los especímenes con cactus tienen mayor resistencia a la compresión que los cilindros sin cactus, a partir de los 7 días.

Si se comparan los especímenes, con la norma NMX-C-083-ONNCE; en la Figura 4.15 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.



**Figura 4.15. Comparación de la resistencia a la compresión de cilindros con y sin cactus respecto a la norma NMX-C-083-ONNCE**

La Figura 4.16 muestra la comparación de la resistividad registrada en los cilindros adicionados con y sin adición de fibra de cactus opuntia. Se puede observar que no es apreciable una variación significativa de la resistividad en especímenes adicionados con fibra de cactus; lo que es posible observar es que en ambos casos la resistividad se encuentra dentro de la zona con el criterio de alta riesgo de corrosión.



**Figura 4.16. Comparación de la resistividad de los cilindros con y sin adición de fibra de cactus**

En la Figura 4.17 se puede observar la comparación de los resultados obtenidos de velocidad de pulso ultrasónico de los cilindros adicionados con fibra y sin adición, se puede observar que presentan un comportamiento similar al obtener una calidad de normal a alta en ambos casos.

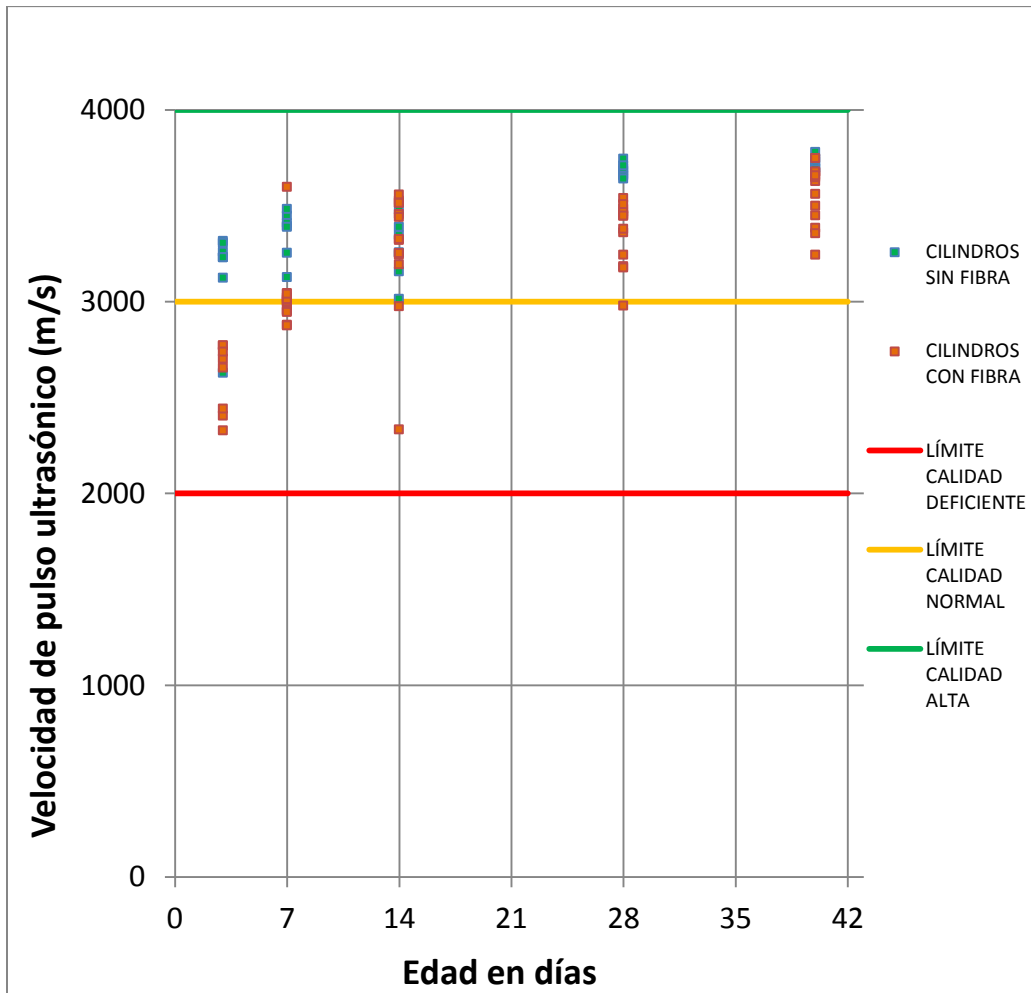


Figura 4.17. Comparación de la velocidad de pulso ultrasónico de los cilindros con y sin adición de fibra de cactus



## 5 Conclusiones

---

A lo largo de la investigación, se pudo observar diferentes variables en cuanto al comportamiento de las mezclas, el concreto y sus resultados.

Al momento para realizar las mezclas de los diferentes especímenes, fue posible constatar que la fibra de cactus le da mayor volumen a la mezcla; ya que esta se expande y hace que el material rinda un poco más de lo calculado; sin embargo, al mismo tiempo que lo expande también absorbe un poco de agua y hace que la mezcla no tenga una buena maleabilidad. La poca maleabilidad complica la manipulación de la mezcla; además, al principio los especímenes tardan más en tener adherencia entre sus agregados y el cementante, debido a la reacción que provoca el cactus.

Esto hace suponer 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 hizo que disminuyera 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.

En cuanto a la resistencia al esfuerzo de compresión, se pudo constatar que la mezcla que contenía la fibra de cactus tuvo un comportamiento un poco inestable a edades tempranas al no cumplir con la norma NMX-C-083-ONNCE; pero la desviación estándar era aceptable y conforme fueron avanzando los días las muestras se fueron estabilizando poco a poco.

La mejora de los resultados fue logrado a los 28 días, con una resistencia a la compresión por encima de la norma NMX-C-083-ONNCE, en un 6.09%. Por el contrario, los especímenes realizados sin el aditivo de fibra de cactus, al inicio presentaban una resistencia a la compresión por encima de lo establecido en la norma; sin embargo, para el día 28 la resistencia quedó un 4% por debajo de la esta. Es decir, los especímenes cilíndricos elaborados y adicionados con cactus presentaron un 10.09 % mayor de resistencia a la compresión que los especímenes cilíndricos sin cactus.

En cuanto a la resistencia a la tensión indirecta de los cilindros, se observó que a los 28 días de edad de las muestras, se registraron una resistencia de 2.02% superior a las muestras sin fibras de cactus; aunque estos resultados sólo son

comparativos, ya que no existe una normativa que indique cuales son los valores aceptables de esta prueba.

Los resultados de las pruebas de resistividad indican que tanto el concreto sin fibra como el concreto con fibra tienen una alta probabilidad de corrosión, pero esto se debe a la alta relación agua cemento (0.54). Por lo que se sugiere la realización de un estudio que emplee relaciones a/c bajas para poder dilucidar la influencia del uso de cactus opuntia.

Los resultados de los estudios de velocidad de pulso ultrasónico indican que los concretos empleados fueron homogéneos y de una calidad normal.

El uso de cactus opuntia mostró mejorar la calidad de los especímenes en la mayoría de las pruebas, lo que da interés para poder seguir haciendo una investigación a edades tardías para poder realizar un estudio completo.



## 6 Referencias

---

- [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](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-191-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.

# Anexo 1

---

## 1. Pruebas realizadas a elementos pétreos

### 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 cm.

#### Procedimiento.

Existen tres procedimientos usuales para efectuar el cuarteo de las muestras. El método utilizado fue por medio del procedimiento por cuarteo con palas y fue realizado por duplicado.

1. La muestra de material fue vaciada en uno de los extremos de la charola grande.
2. Se cambió el material al extremo opuesto, este cambio deberá hacerse por medio del paleado, tratando de revolver todo el material y procurando apilar el material en forma cónica. Este procedimiento fue repetido tres veces.
3. Una vez terminado el paso anterior, se aplanó la parte superior por medio de la cara posterior de la pala. Posteriormente el material fue dividido, trazando dos líneas perpendiculares sobre la superficie horizontal aplanada del material y eliminando las dos porciones opuestas (Figura 1.1). El material sobrante servirá para realizar las pruebas correspondientes. Si se

desea disminuir el tamaño de la muestra es necesario repetir el procedimiento anteriormente señalado.



**Figura 1.1. Procedimiento por cuarteo con pala**

## **1.2. Absorción en gravas.**

### **Objetivo.**

Determinar la capacidad máxima de absorción de una grava y expresar en el 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. La muestra fue cribada a través de las mallas 3/4 y 3/8. El material que pasa las mallas 3/4 y es retenido en 3/8 y puesto a saturar en una charola una muestra de 0.5 a 1.0 kg durante 24 horas.
2. Se secó la muestra de grava superficialmente y se pesó aproximadamente 300 g de la muestra, este valor es anotado como (Ph) peso saturado y superficialmente seco. Figura 1.2.

3. Este material es colocado en una charola para secarlo completamente en la parrilla eléctrica. Una vez seco y frio, se procedió a pesarlo y registrarlo este peso como (Ps) peso seco del material.



**Figura 1.2. Pesado y secado de la muestra**

### Cálculos.

$$\% \text{Absorción} = \frac{Ph - Ps}{Ps} \times 100 \quad [1]$$

Donde

Ph es el peso saturado y superficialmente seco de la grava (g) y Ps es el peso seco de la grava (g).

### Resultados.

La Tabla 1 muestra los valores registrados y el porcentaje de absorción de las pruebas por duplicado.

**Tabla 1.1 Promedio de porcentaje de absorción**

% 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
<b>PROMEDIO</b>	<b>4.72 %</b>	

### **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 g aproximadamente.
- Charola Metálica.
- Espátula.
- Parrilla Eléctrica.
- Vidrio.
- Balanza con aproximación al décimo de gramo.

#### **Procedimiento.**

1. Se pesó la muestra de grava y registró este peso como peso húmedo (Ph)
2. Enseguida se colocó en la charola para exponerla en la fuente de calor para eliminar el agua que contenía la grava moviéndola constantemente con la espátula para que el secado fuera uniforme. Fue colocad un el cristal sobre la charola para hacer la verificación del secado; si aún mostraba signos de humedad, se continuaba moviendo la muestra hasta secar completamente.
3. Una vez seca la grava se retiró de la fuente de calor y se dejó enfriar completamente, posteriormente se registró el peso en seco (Ps). La prueba fue realizada por duplicado.

#### **Cálculos.**

$$\%H.actual = \frac{Ph - Ps}{Ps} \times 100 \quad [2]$$

Donde:

Ph es el peso húmedo de la grava (g) y Ps es el peso seco de la grava (g).

La Tabla 1.2 muestra los valores registrados y el porcentaje de humedad actual de la muestra durante su procesamiento.

Tabla 1.2. Promedio de porcentaje de humedad actual

% 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
<b>PROMEDIO</b>	1.92 %	

#### 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 tomó una muestra de grava saturada y superficialmente seca de 300g. Para obtenerlo se dejó 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 fue registrado como el peso de la muestra (Pi).
2. Se llenó el picnómetro hasta el nivel del orificio con agua y se colocó en una superficie plana.
3. Se procedió a colocar la muestra de grava poco a poco dentro del picnómetro y recibiendo el agua desalojada en una probeta graduada.
4. Al terminar de introducir la muestra en el picnómetro, se registra el volumen de agua en la probeta. Figura 1.3. La prueba fue realizada por duplicado.



**Figura 1.3. Prueba de densidad**

**Cálculos.**

$$Densidad = \frac{P_i}{V} \quad [3]$$

Donde:

D es la Densidad en (g/cm<sup>3</sup>); P<sub>i</sub> es el peso de la grava (g) y V es el volumen de la grava (cm<sup>3</sup> o ml).

**Resultado de la prueba.**

La Tabla 1.3 muestra los valores registrados de la prueba de densidad de la grava.

**Tabla 1.3. Densidad promedio**

<b>DENSIDAD</b>		
	<b>MUESTRA 1</b>	<b>MUESTRA 2</b>
PESO HUMEDO (P <sub>i</sub> ) g	300	158.9
VOLUMEN DESALOJADO (ml)	124	68
DENSIDAD g/ml	2.42	2.34
<b>PROMEDIO</b>	2.38 g/ml	

### **1.5. Determinación del peso volumétrico seco suelto en gravas (PVSS)**

**Objetivo.**

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



**Equipo.**

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

**Procedimiento.**

1. Se vertió la grava dentro del recipiente dejándola caer a una altura medida a partir de la arista superior del recipiente de aproximadamente 5 cm, llenando completamente el recipiente hasta colmarlo formando un cono.
2. Enseguida, se enrasó el recipiente con la varilla y se limpió el recipiente de las partículas adheridas en las paredes exteriores procediendo a pesarlo.
3. Al peso obtenido anteriormente se le restó el peso del recipiente para obtener el peso de la grava.

**Cálculos.**

$$PVSS = \frac{P}{V} \quad [4]$$

Donde:

PVSS es el peso volumétrico seco y suelto ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ); P es el peso de la grava (g) y V es el volumen del recipiente ( $\text{cm}^3$ ).

**Resultados de la prueba.**

La Tabla 1.4 muestra los datos obtenidos de la prueba de determinación de peso seco suelto en gravas realizado por duplicado.

**Tabla 1.4. Promedio del PVSS**

<b>PESO VOLUMETRICO SECO Y SUELTO</b>		
	<b>MUESTRA 1</b>	<b>MUESTRA 2</b>
PESO DE LA TARA (g)	2930	2930
PESO TOTAL (g)	17050	17075
PESO DE LA GRAVA (Pg) g	14120	14145
VOLUMEN (V) $\text{cm}^3$	10600	10600
P.V.S.S. (Pg)/(V) $\text{g}/\text{cm}^3$	1.33	1.33
<b>PROMEDIO</b>	<b>1.33 <math>\text{g}/\text{cm}^3</math></b>	

## **1.6. Determinación del peso volumétrico seco y varillado en gravas (PVSV)**

### **Objetivo.**

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

### **Equipo.**

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

### **Procedimiento.**

1. Se procedió a llenar el recipiente con grava a volteo dejándola caer a una altura aproximadamente de 5 cm. Se realizó el llenado del recipiente en tres capas, a cada capa de arena se le dio 25 golpes con la varilla punta de bala, distribuidos en toda la superficie del material.
2. El recipiente se enrasó con la varilla punta de bala y se limpiaron todas las partículas que quedaron adheridas a las paredes exteriores.
3. Después de haber realizado los pasos anteriores, se pesó el recipiente con el material y se le restó el peso del recipiente, para obtener el peso neto del material. Figura 1.4.



**Figura 1.4. Compactación y secado de la muestra.**

### **Cálculos.**

$$PVSV = \frac{P}{V} \quad [5]$$

Donde PVSV es el peso volumétrico seco y varillado ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ); P es el peso de la grava (g) y V es el volumen del recipiente ( $\text{cm}^3$ ).

### Resultados de la prueba.

La Tabla 1.5 muestra los resultados obtenidos de la prueba para la determinación del peso volumétrico en seco y varillado de gravas realizadas por duplicado.

**Tabla 1.5. Promedio del PVSV**

<b>PESO VOLUMETRICO SECO Y VARILLADO</b>		
	<b>MUESTRA 1</b>	<b>MUESTRA 2</b>
PESO DE LA TARA (g)	2930	2930
PESO TOTAL (g)	18400	18444
PESO DE LA GRAVA (Pg) g	15470	15511
VOLUMEN (V) $\text{cm}^3$	10600	10600
P.V.S.V. (Pg)/(V) $\text{g}/\text{cm}^3$	1.46	1.46
<b>PROMEDIO</b>	<b>1.46 <math>\text{g}/\text{cm}^3</math></b>	

## 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 es utilizado 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 L.

### Procedimiento.

1. Seca la muestra de grava en un horno a  $110^\circ \text{C}$  durante 24 horas, se llenó el recipiente de 10 L previamente tarado. La grava utilizada para llenar el recipiente fue pesada y lo obtenido, registrado como peso de la muestra por realizarle el cribado o granulometría (PM).
2. Posteriormente, se pasó 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 pasaran a la malla siguiente. Una vez terminado, se pesó el

material retenido en cada malla y posteriormente se elaboró una tabla, registrando los pesos retenidos en cada malla.

Se obtiene el tamaño máximo de la grava observando la columna de los porcentajes retenidos, el tamaño máximo será el tamaño el tamaño de la malla que retenga el 5% o más del peso de la muestra.

**Tabla 1.6. Resultados del análisis granulométrico**

<b>MALLA</b>	<b>PESO RETENIDO (g)</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>% ACUMULATIVO</b>	<b>% QUE PASA</b>
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
<b>TOTAL</b>	<b>14820</b>	<b>100</b>		

Como muestra la Tabla 1.6, el tamaño máximo del agregado que se tiene es de  $\frac{3}{4}$ "

## Anexo 2

---

### 2. Pruebas realizadas a la arena

#### 2.1. 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 cm.

##### Procedimiento.

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

1. Se vació la muestra de material en uno de los extremos de la charola grande.
2. Se cambió el material al extremo opuesto; esto por medio del paleado, tratando de revolver todo el material; además, se procuró apilar el material en forma cónica. Se repitió este procedimiento tres veces.
3. Una vez terminado el paso anterior el material apilado en forma cónica fue aplanada la parte superior.
4. Se dividió el material trazando dos líneas perpendiculares sobre la superficie horizontal aplanada del material, eliminando las dos porciones opuestas. El material sobrante fue utilizado para realizar las pruebas correspondientes. Esta prueba fue hecha por duplicado.

## **2.2. Humedad superficial y 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 fue saturada durante 24 horas
2. Al término de este tiempo, se secó superficialmente la arena por medio del molde troncocónico, como se describe a continuación:

Primeramente se colocó la arena en la charola y después en la parrilla eléctrica, para realizar la eliminación de agua y obtener con ello el secado de la arena en forma superficial, como se observa en la Figura 2.1.

El molde troncocónico es colocado dentro de la charola con el diámetro mayor hacia abajo y llenado con la arena, en tres capas. Se distribuyen 25 golpes con el pisón: 12 en la primera capa, 8 en la segunda y 5 en la tercera; inmediatamente se retira el cono. Si la arena se encuentra superficialmente seca, esta tratará de disgregarse; de lo contrario, aun contiene agua en exceso. Conforme la muestra vaya perdiendo la humedad, hay que realizar más continuamente el procedimiento con el cono para evitar que se seque el exceso.

3. seca superficialmente la arena, se pesa una muestra de 300 g y se registra este peso como peso saturado y superficialmente seco (Ph).
4. La muestra de 300g, fue colocada en una charola, para secarla hasta peso constante. Esta prueba fue realizada por duplicado



**Figura 2.1. Secado de la muestra de forma superficial, con ayuda del cono troncocónico**

### Cálculos.

$$\%Absorción = \frac{Ph-Ps}{Ps} \times 100 \quad [6]$$

Donde:

Ph es el peso saturado y superficialmente seco (g) y Ps es el peso seco del material (g)

### Resultados de pruebas.

La Tabla 2.1 muestra el porcentaje de absorción, la absorción promedio obtenida es de 3.22%.

**Tabla 2.1 Porcentaje de absorción**

<b>% ABSORCIÓN</b>		
	<b>MUESTRA 1</b>	<b>MUESTRA 2</b>
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
<b>PROMEDIO</b>	<b>3.22 %</b>	

## **2.3. Humedad actual en arenas.**

### **Objetivo.**

Determinar el porcentaje de humedad que contiene una arena en el momento que será utilizada para elaborar una mezcla, y así poder realizar la corrección correspondiente por humedad.

### **Equipo.**

- Muestra representativa de arena de 1 kg aproximadamente.
- Balanza con aproximación al décimo de gramo.
- Parrilla eléctrica.
- Espátulas.
- Cristal.

### **Procedimiento.**

1. De la muestra representativa, se pesaron 300 g aproximadamente, registrando este valor como peso inicial de la muestra o peso húmedo actual (Ph). Posteriormente esta muestra fue colocada en una charola metálica sobre la parrilla eléctrica, para hacer el secado del material moviendo en forma constante hasta eliminar completamente la humedad del material.
2. Se dejó enfriar un poco el material y se pesó; este peso fue registrado como peso final o peso seco de la muestra (Ps). Esta prueba fue realizada por duplicado.

### **Cálculos.**

$$\%H.actual = \frac{Ph - Ps}{Ps} \times 100 \quad [7]$$

Donde:

Ph es el peso húmedo de la grava (g) y Ps es el peso seco de la grava (g).

### **Resultados de la prueba.**

La Tabla 2.2 muestra el porcentaje de humedad actual de la muestra obtenido mediante la Ecuación 7.



Tabla 2.2. Porcentaje de humedad actual

% 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
% H. ACTUAL $[(Ph-Ps)/(Ps)]*100$	1.15	1.19
PROMEDIO	1.17 %	

## 2.4. 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 formados entre las partículas de arena cuando se acomodan una sobre la otra.

### Equipo.

- Muestra representativa de arena aproximadamente de 200 a 300 g.
- Probeta graduada.
- Balanza con aproximación al décimo de gramo.
- Franela.
- Charola.

### Procedimiento.

1. Se saturó 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 troncocónico.
2. En la probeta, se colocó un volumen de agua conocido, registrándolo como volumen inicial ( $V_i$ ,  $\text{cm}^3$ ).
3. Enseguida, se pesó una muestra de arena superficialmente seca anotando este valor como peso de la arena ( $P_i$ ).
4. Se colocó la arena dentro de la probeta graduada, procurando no alterar el contenido de agua de la probeta. Se agitó ligeramente para expulsar el aire atrapado.
5. Se registra el aumento del volumen de agua como volumen final. Cabe mencionar que esta prueba fue realizado por duplicado.

### Cálculos.

$$\text{Densidad de la arena (DA)} = \frac{P_i}{V_f - V_i} \quad [8]$$

Donde:

Pi es el peso de la arena saturada y superficialmente seca (g) y Vf-Vi es el volumen colocado dentro de la probeta (cm<sup>3</sup>)

### **Resultados de la prueba.**

La Tabla 2.3 muestra la densidad de la muestra de arena obtenida mediante la Ecuación 8.

**Tabla 2.3. Densidad promedio**

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

## **2.5. Determinación del peso volumétrico seco suelto de arena (PVSS).**

### **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. La arena fue vertida dentro del recipiente dejándose caer a una altura medida a partir de la arista superior del recipiente de aproximadamente 5 cm, y hasta llenarlo a tope.
2. Enseguida, se enrasó el recipiente con la varilla, se limpió el recipiente de las partículas adheridas en las paredes exteriores y se pesó.
3. Al peso obtenido se le restó el peso del recipiente para obtener el peso de la arena. Esta prueba fue realizada por duplicado.

**Cálculos.**

$$PVSS = \frac{Pg}{V} \quad [9]$$

Donde:

PVSS es el peso volumétrico seco y suelto ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ); Pg es el peso de la arena (g) y V es el volumen del recipiente ( $\text{cm}^3$ ).

**Resultados de la prueba.**

La Tabla 2.4 se muestra el peso volumétrico seco suelto de la arena. El volumen fue obtenido mediante el uso de la Ecuación 9.

**Tabla 2.4. PVSS Promedio**

<b>PESO VOLUMETRICO SECO Y SUELTO</b>		
	<b>MUESTRA 1</b>	<b>MUESTRA 2</b>
PESO DE LA TARA (g)	1900	1900
PESO TOTAL (g)	5950	5960
PESO DE LA ARENA (Pg) g	4050	4060
VOLUMEN (V) $\text{cm}^3$	2759	2759
P.V.S.S. (Pg)/(V) $\text{g}/\text{cm}^3$	1.47	1.47
<b>PROMEDIO</b>	<b>1.47 <math>\text{g}/\text{cm}^3</math></b>	

## **2.6. Determinación del peso volumétrico seco y varillado de una arena (PVSV).**

**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 procedió a llenar el recipiente con arena a volteo dejándola caer a una altura aproximadamente de 5 centímetros. El llenado del recipiente fue hecho en tres capas, dando a cada una 25 golpes con la varilla punta de bala distribuyéndolos en toda la superficie del material y cuidando no penetrar la capa anterior. Figura 2.2.

2. Se enrasó el recipiente con la varilla punta de bala y se limpiaron todas las partículas que hayan quedado adheridas a las paredes exteriores.
3. Después de haber realizado los pasos anteriores, se pesó el recipiente con el material y se le restó el peso del recipiente, para así obtener el peso neto del material. Esta prueba fue realizada por duplicado.

**Cálculos.**

$$PVSV = \frac{P}{V} \quad [10]$$

Donde:

PVSV es el peso volumétrico seco y varillado ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );  $P_g$  es el peso de la arena (g) y  $V$  es el volumen del recipiente ( $\text{cm}^3$ ).



**Figura 2.2. Varillado y pesado de la muestra**

**Resultados de la prueba.**

La Tabla 2.5 muestra el peso volumétrico seco y varillado obtenido mediante el uso de la Ecuación 10.

**Tabla 2.5 PVSV Promedio**

<b>PESO VOLUMETRICO SECO Y VARILLADO</b>		
	<b>MUESTRA 1</b>	<b>MUESTRA 2</b>
PESO DE LA TARA (g)	1900	1900
PESO TOTAL (g)	6125	6148
PESO DE LA ARENA ( $P_g$ ) g	4225	4248
VOLUMEN ( $V$ ) $\text{cm}^3$	2759	2759
P.V.S.V. ( $P_g$ )/( $V$ ) $\text{g}/\text{cm}^3$	1.53	1.54
<b>PROMEDIO</b>	1.54 $\text{g}/\text{cm}^3$	

## 2.7. 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 tomó una muestra representativa de arena, de aproximadamente 600 g.
2. Se secó la muestra hasta peso constante, a una temperatura no mayor de 110 °C.
3. Una vez seco y frío, se tomaron 500 g, pesados al décimo de gramo.
4. Se colocaron las mallas en orden decreciente (4, 8, 16, 30, 50, 100, 200 y charola), se vertió la muestra de 500 g.
5. Se agitó 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 colocaron siete hojas de papel y sobre ellas, el material retenido en cada una de las mallas. para desalojar el material que se encuentra entre los espacios de las mallas 4, 8, 16 y 30, se utiliza un cepillo de alambre. Para las mallas 50 y 100 se utilizó un cepillo de cerdas. Figura 2.3
7. Se pesó cada uno de los materiales retenidos en las mallas hasta el décimo de gramo, y se anotó los pesos en el registro correspondiente.



Figura 2.3. Análisis granulométrico

## Resultados de la prueba.

A continuación en la Tabla 2.6 aparecen los resultados de la granulometría realizada a la arena utilizada para la elaboración de los especímenes.

**Tabla 2.7. Análisis granulométrico de la arena**

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		

## 2.8. 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 cm<sup>3</sup> con marcas a cada 25 cm<sup>3</sup> (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 g por litro de solución en agua destilada.

### Procedimiento.

1. Se tomó una muestra representativa de arena de 500 g aproximadamente.
2. Se secó hasta peso constante a una temperatura no mayor a 110 °C.
3. La arena seca y fría fue colocada en una botella (frasco de biberón) hasta 133 cm<sup>3</sup> y se le adicionó una solución de sosa cáustica hasta los 206 cm<sup>3</sup>.
4. Se tapó y agito fuertemente la botella, durante dos minutos como mínimo; posteriormente se dejó reposar 24 horas.
5. Al cabo de este tiempo, se comparó el color del líquido de la botella, con el vidrio de color normal. Figura 2.4.



**Figura 2.4. Comparación con la tabla colorimétrica\***

\*Después de 24 horas se compararán los colores

### **Resultados de la prueba.**

Al comparar con la tabla colorimétrica, se obtuvo un valor de 3, lo que resulta considerablemente aceptable.

## **2.9. Material que pasa por la malla n° 200 en arena.**

### **Objetivo.**

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

### **Equipo.**

- Malla N° 200 y 16.
- Recipiente 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 tomó una muestra representativa de 600 g, se secó hasta obtener un peso constante, a una temperatura no mayor de 110 °C.
2. La muestra seca fue colocada en el recipiente, y se pesada; previamente se pesará el recipiente vacío.
3. Al material en el recipiente se le agrego agua, hasta cubrir la muestra.
4. La muestra con agua se agito enérgicamente y de inmediato fue vertida 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. El material retenido en las mallas es regresado por medio del lavado.
7. Se secó el material, hasta peso constante y se dejó enfriar antes de pesarlo. Este procedimiento fue realizado por duplicado

**Cálculos.**

$$A = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100 \quad [11]$$

Donde:

A es el porcentaje de material que pasa la malla N° 200; P<sub>i</sub> es el peso seco inicial (g) y P<sub>f</sub> es el peso seco después de lavar (g).

**Resultados de la prueba.**

La Tabla 2.7 muestra el porcentaje de material que pasa la malla No. 200, este porcentaje fue calculado mediante la Ecuación 11

**Tabla 2.8. Material que pasa por la malla 200**

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



## Anexo 3

---

### 3. Pruebas realizadas al Cemento

#### 3.1. 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 Vicatt, penetre dentro de la pasta de cemento elaborada con dicha agua,  $10 \pm 1$  mm bajo la superficie libre, durante 30 segundos después de haber iniciado la prueba.

##### Procedimiento.

1. Se pesaron 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 fijó una cantidad de agua expresada en por ciento, respecto al peso del cemento seco; se midió en la probeta graduada y se vertió en el centro del cráter (echando a andar un cronómetro al caer el agua sobre el cemento).
3. Con la espátula, se llevó el material de las orillas del cráter hacia el centro, hasta lograr que todo el cemento se humedeciera. (Esto debe hacerse en un máximo de 30 segundos).
4. En otro ciclo de 30 segundos subsecuentes a los anteriores, se dejó reposar la mezcla para que la humedad se homogenizara.
5. La pasta fue amasada en un tiempo global de 1.5 minutos, contados a partir de los anteriores.

- a) En los primeros 30 segundos, se mezcló perfectamente la masa con las manos golpeándola con la parte pesada de las manos, hasta lograr una pasta uniforme y homogénea.
- b) En otros 30 segundos, se formó una esfera con la pasta y se pasó 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 seis veces terminado.
- c) En los últimos 30 segundos de los 1.5 minutos, se dejó reposar la bola en la palma de la mano; se introdujo a presión por la boca mayor del anillo cónico del aparato de Vicatt, el cual se sostuvo con la otra mano, hasta llenar completamente el anillo con pasta (la otra boca se descansará sobre un cristal).

Una vez eliminado el exceso de masa, se colocó el anillo descansando en su base mayor, sobre una placa de vidrio y se enrasó la boca superior con una espátula; teniendo cuidado de comprimir la pasta.

6. Determinación de la consistencia. La pasta confinada en el anillo que descansa sobre una placa, se centró debajo de la barra, cuyo extremo que forma un émbolo se pondrá en contacto con la superficie de la pasta y se aprieta el tornillo sujetador. Hecho esto se colocó el indicador móvil en la marca cero en la parte superior de la escala y se realizó una lectura inicial.

### **3.2. 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, se mezcló 500 g del cemento con el agua necesaria para su consistencia normal.

**Moldeado del espécimen.** Con la pasta de cemento preparada y sobre una placa de vidrio cuadrada, plana y limpia de aproximadamente 4" por lado; se formó 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, primeramente se aplano la pasta de cemento sobre el vidrio y se le dio forma moviendo la cuchara desde

los bordes hacia el centro; aplanando la parte central superior, se colocó la pastilla en el cuarto húmedo y ahí se dejó; salvo cuando vaya a efectuarse determinaciones del tiempo de fraguado.

**Determinación de los tiempos de fraguado.** Al determinar el tiempo de fraguado, se mantuvieron las agujas en posición vertical y se pusieron ligeramente en contacto con la superficie de la pastilla. Se consideró que el cemento alcanzó su fraguado inicial cuando soportó a las agujas de Gillmore inicial (la menos pesada), sin que marque huellas apreciables. Se consideró que el cemento alcanzó su fraguado final, cuando soportó la aguja de Gillmore final (la más pesada), sin que marque huella apreciable.

**Nota:** Se realizaron dos pruebas de tiempo de fraguado: una solo con el cemento, y la otra que contenía cemento con fibra de cactus; la cantidad de la fibra de cactus era el 2% en relación con el peso del cemento.

### **Resultados de la prueba**

#### *Cemento normal*

- Fraguado inicial: 3 h 44 min.
- Fraguado final: 8 h 2 min.

#### *Cemento normal adicionado con la fibra de cactus*

- Fraguado inicial: 4 h 32 min.
- Fraguado final: 9 h 12 min.

## **3.3. 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; en este caso, primeramente debe calcinarse como describen las normas DGN C131 Y ASTM C114.

## **Equipo.**

- Frasco de Le Chatelier.
- Balanza con aproximación a los 0.1 g.
- 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. Figura 3.1.

1. Se vertió el petróleo no mezclable con agua, en el frasco de Le Chatelier hasta un nivel entre 0 y 1 ml; y quedando líquido adherido en las paredes del frasco, además de burbujas de aire.
2. Se giró sobre un círculo horizontal sumergiendo la parte inferior del frasco en un baño de agua a la temperatura del líquido, con la finalidad de que se establezca un nivel del fluido.
3. Se tomó la lectura en la parte inferior del menisco y se anotó como lectura inicial del líquido  $L_i$ .
4. Se pesaron alrededor de 64 g para cemento Pórtland, con la finalidad de que al verterlo en el frasco, el líquido alcance a sobrepasar a lecturas superiores a la esfera intermedia.
5. Se sujetó el frasco en forma vertical, muy lentamente se agregó el cemento de manera que el cemento fuera pasando, al interior sin obstruirse.
6. Se colocó el tapón del frasco, se inclinó y se hizo rodar horizontalmente de manera que saliera el aire atrapado en el cemento y bajara el que había quedado en las paredes.
7. Se repitió el paso No. 2 para lograr que se estableciera nuevamente el nivel del líquido, hasta lograr que repetidamente fuera la misma lectura.
8. Se registró la lectura de la parte inferior del menisco, tomándola como la lectura final y registrándola como  $L_f$ .



**Figura 3.1 Densidad del Cemento**

### Cálculo.

Peso alrededor de 64 g. Volumen de cemento =  $L_f - L_i$

$$\text{Densidad} = \frac{\text{Peso del cemento, } P}{\text{Volumen del cemento, } V} = \frac{\text{Alrededor de } 64 \text{ g}}{L_f - L_i} \quad [12]$$

Donde:

Densidad es la densidad aparente del cemento ( $\text{g/cm}^3$ ); P es el peso de la muestra (g) y V es el volumen del cemento, sin tomar en cuenta los vacíos.

**Precisión.** Las pruebas fueron realizadas por duplicado, para no tener errores mayores a 0.01 g/ml.

### Resultados de la prueba.

La Tabla 3.1 muestra los resultados obtenidos para la densidad aparente del cemento, utilizando la Ecuación 12.

**Tabla 3.1. Densidad del cemento**

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

## Anexo 4

---

### 4. Método ACI

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

Esta investigación fue basada en el método del American Concrete Institute (ACI) para el diseño de mezclas; debido a que es un método amigable con las pruebas por realizar, 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 basado en las propiedades físicas de los materiales, como lo son: la densidad, el peso volumétrico seco suelto, el peso volumétrico seco varillado, porcentaje de absorción, porcentaje de humedad actual, módulo de finura, y tamaño máximo del agregado; estas propiedades son usadas 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.

Este método utiliza el procedimiento del volumen absoluto, que es generalmente aceptado y es más conveniente para el concreto de peso pesado. El método de volúmenes absolutos es utilizado por su general aceptación.

Se empleó el cálculo de las cantidades de material, 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/cm<sup>2</sup>.

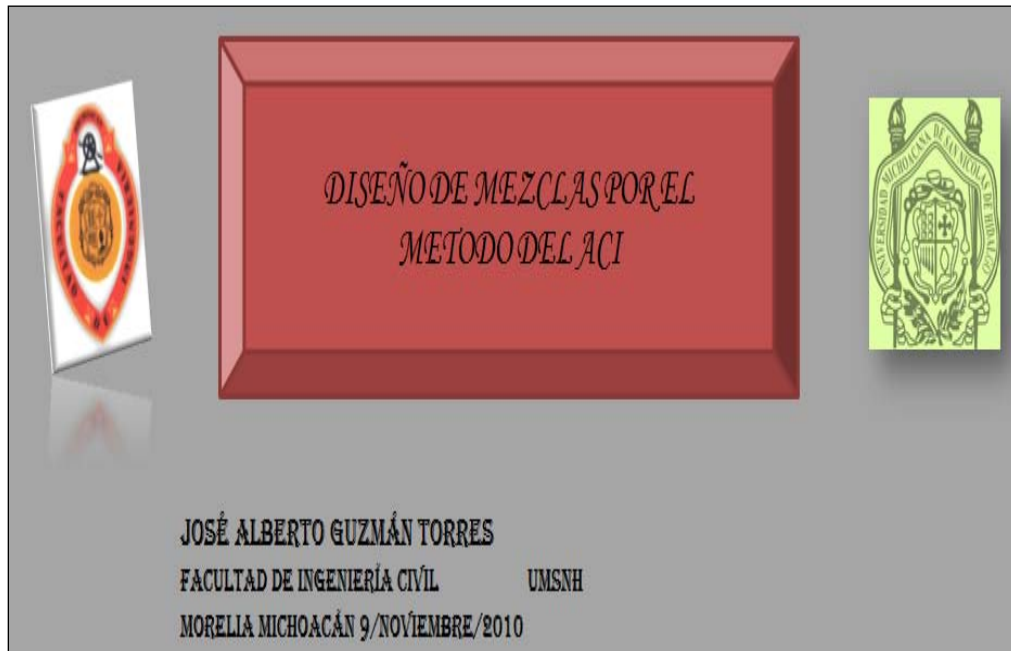
Se realizó el cálculo de las cantidades de material, con la ayuda del programa de Microsoft Excel, donde fue programada una hoja de cálculo, para que esta realizara los respectivos cálculos, tomando en consideración las distintas variables.

1. Elección del revestimiento y tamaño máxima del agregado
2. Cálculo del agua de mezclado y contenido de aire
3. Selección de la relación agua/cemento
4. Calculo del contenido de cemento
5. Estimación del contenido de agregado grueso
6. Estimación del contenido de agregado fino
7. Ajustes o correcciones por humedad del agregado

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

A continuación se ilustra de manera detallada y explicada el procedimiento para realizar el cálculo de las cantidades de material necesarias para 1 m<sup>3</sup> de mezcla; posteriormente se realiza para el volumen necesario; todo esto con la ayuda de una hoja de cálculo de Microsoft Excel que se diseñó.

La Figura 4.1 muestra la pantalla de inicio de la base de datos de Excel.




**Figura 4.1. Página de Inicio**

La Figura 4.2 muestra las instrucciones que se deben seguir para realizar el proporcionamiento

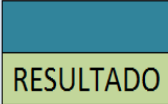


# INSTRUCCIONES:

\*LAS CELDAS DEL SIGUIENTE COLOR ES DONDE PONES VALORES Y SON LAS UNICAS QUE MODIFICAS, LAS TABLAS Y LO DEMAS NO SE LES HACE NADA, NI SE LE MODIFICA NADA



\*LAS CELDAS DEL SIGUIENTE COLOR SON LAS CELDAS DE LOS RESULTADOS!!, ESAS POR NINGUN MOTIVO SE MODIFICAN O SE CAMBIAN, YA QUE TIENEN FORMULAS.



\*LOS SIGUIENTES CIRCULOS SON LOS PASOS, ESTOS TE INDICAN QUE MODIFICAS PRIMERO Y QUE MODIFICAS DESPUES, ESTOS VAN EN ORDEN DEL 1 EN ADELANTE.






Figura 4.2. Instrucciones

4.1. Cálculo.

4.1.1. Elección del revenimiento y tamaño máximo del agregado.

## ELECCIÓN DEL REVENIMIENTO Y TAMAÑO MAX. DEL AGREGADO

TIPOS DE CONSTRUCCIÓN	REVENIMIENTO EN CENTIMETROS		
	Máximo*	Mínimo	Tolerancias
Vigas y muros reforzados	10	2.5	± 3.5
Columnas para edificios	10	2.5	± 3.5
Pavimentos y losas	8	2.5	± 2.5
Concreto masivo	5	2.5	± 2.5

NOTA: REVENIMIENTO MAYOR DE 10 cm ES DE ± 3.5

\*Puede incrementarse en 2.5 cm. Cuando los métodos de comparación no sean mediante

REVENIMIENTO

10

1

T. MAX

3/4

2

REGLAS GENERALES

- \*EN NINGUN CASO EL TAMAÑO MAXIMO DEBE DE EXCEDER 1/5 DE LA MENOR DIMENSION ENTRE LOS COSTADOS DE LA CIMBRA
- \*TAMPOCO DEBE DE EXCEDER 1/3 DEL ESPESOR DE LAS LOSAS
- \*NI DEBE PASAR 3/4 DEL ESPACIO LIBRE MINIMO ENTRE VARILLAS DE REFUERZO

Figura 4.3. Elección del revenimiento y el tamaño máximo.

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 elegido 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 adecúa es  $\frac{3}{4}$ ". Figura 4.3.

A continuación aparece como se obtuvo el tamaño máximo del agregado, tomando a consideración que en ningún caso debe exceder  $\frac{1}{5}$  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 como se observa en la Tabla 4.1.

**Tabla 4.1 Elección del tamaño máximo del agregado.**

<b>Tamaño del agregado en Plg</b>	<b>Tamaño del agregado en cm</b>
3/8"	0.9525
1/2"	1.2700
<b>3/4"</b>	<b>1.9050</b>
1"	2.5400

#### **4.1.2. 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, donde se cruce con el valor del tamaño máximo del agregado que es de  $\frac{3}{4}$ ", ese será el valor para la cantidad de agua para  $1 \text{ m}^3$ . Figura 4.4.

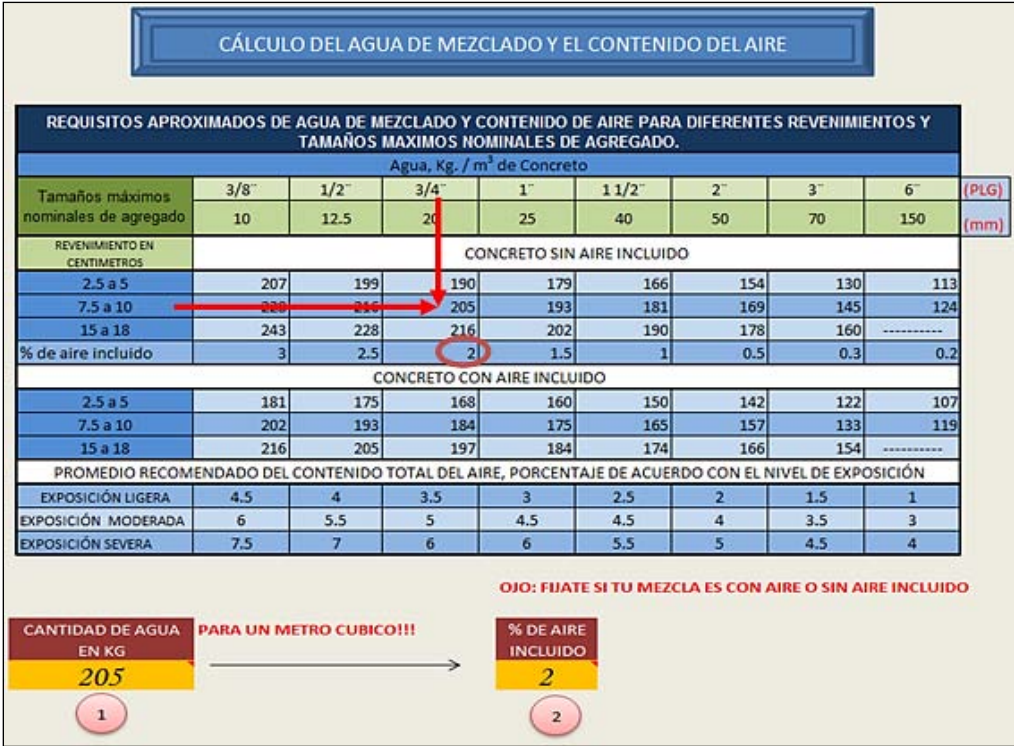


Figura 4.4. Cálculo de la cantidad de agua de mezclado y el contenido del aire.

**4.1.3. Selección de la relación agua/cemento.**

El  $f'c$  de proyecto es de  $250 \text{ kg/cm}^2$ , pero el método del ACI 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 qué procedimiento de fabricación se usará para poder elegir un valor "c".

En este caso, se elige un  $c=35$  debido a que será usado un mezclado mecánico, proporcionamiento, corrección por humedad y absorción de los agregados de una misma fuente y calidad controlada. El  $F'c$  de proyecto, que es de  $250 \text{ kg/cm}^2$  se encuentra entre los valores de 200 y  $300 \text{ kg/cm}^2$ . Figura 4.5.

Se tienen dos fórmulas para determinar el  $fcr$ ; por cuestiones de seguridad, se usará la que dé un  $fcr$  mayor.

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

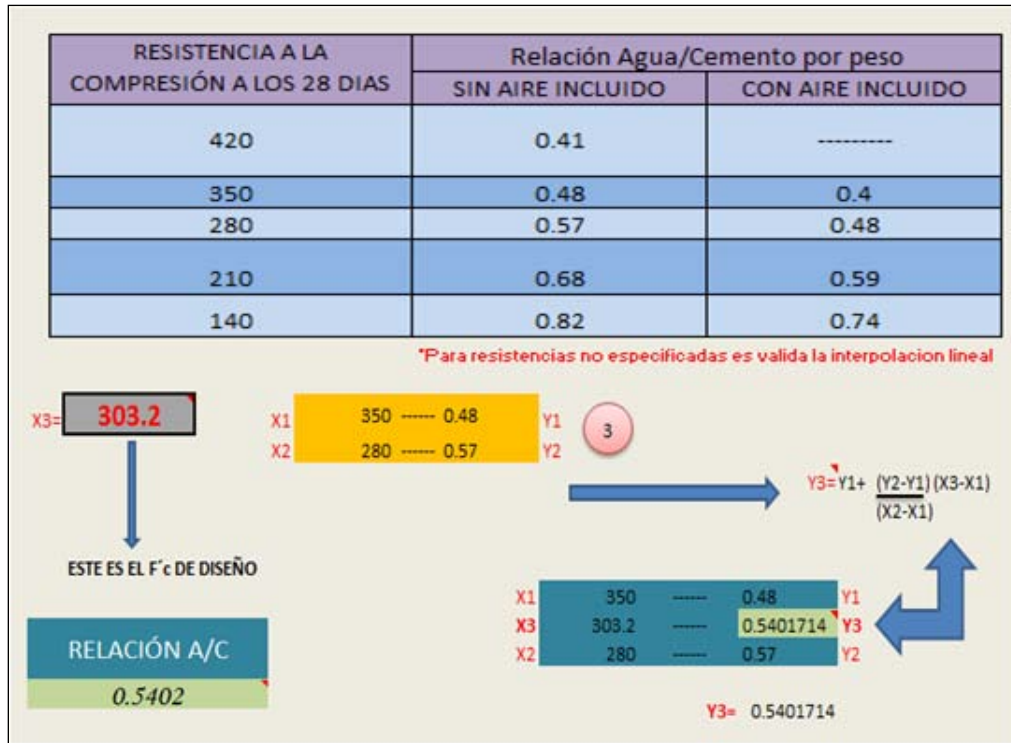
FORMULAS PARA DETERMINAR EL Fcr		
1) $F_{cr} = F'c + 1.28 * c$	$c =$	35
2) $F_{cr} = F'c + 2.52 * c - 35$	$F'c =$	250
1)	$F_{cr} =$	294.8
2)	$F_{cr} =$	303.2

Valor que se elige para el proporcionamiento

Figura 4.5. Página 5, cálculo del Fcr.

El fcr de diseño es de 303.2 kg/cm<sup>2</sup>

Una vez obtenido el valor de fcr, se procede a calcular la Relación agua/cemento por peso. Con base en que nuestro fcr=303.2 Kg/cm<sup>2</sup>, y esta resistencia no ha sido 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 la mezcla es sin aire incluido. Figura 4.6.



**Figura 4.6. Página 5, cálculo de la relación a/c.**

La relación a/c es de 0.5402.

#### 4.1.4. Cálculo del contenido de cemento.

En este paso se calcula la cantidad de cemento en peso necesario para 1 m<sup>3</sup> como muestra la Ecuación 13. Cabe mencionar que en esta página del libro de Microsoft Excel no se introduce ningún valor (Figura 4.7), pero será explicada qué operación es la que se efectuó para llegar al resultado:

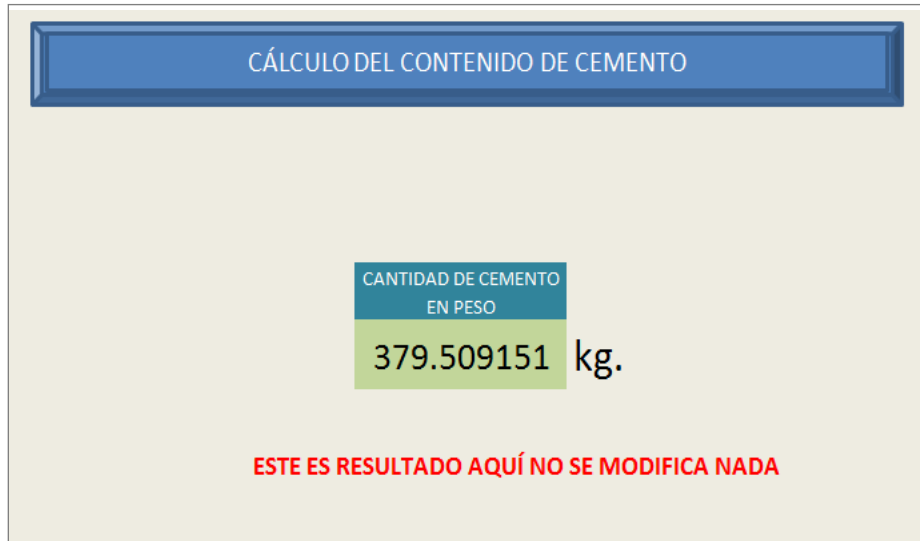
$$\text{Cantidad de Cemento en peso} = \frac{\text{Cantidad de agua en kg.}}{\text{Relación Agua/Cemento}} \quad [13]$$

Los valores son:

- cantidad de agua= 205 kg
- relación agua/cemento= .5402

Por lo tanto, de acuerdo con la Ecuación 13:

$$\text{Cantidad de Cemento en peso} = \frac{205}{.5402} = \mathbf{379.509151 \text{ kg}}$$



**Figura 4.7. Resultado de la relación a/c.**

La cantidad de cemento en peso es 379.5091 kg para 1 m<sup>3</sup> mostrado en la Figura 4.7

#### **4.1.5. Estimación del contenido del Agregado Grueso.**

Una vez obtenida la cantidad de cemento, estimamos el contenido de agregado grueso con base en el módulo de finura que contiene el material. Para determinar este módulo de finura, se realiza la granulometría al material pétreo. Esta prueba aparece en el siguiente capítulo, por el momento se usará el valor de 3.22 para el módulo de finura.

El valor obtenido no está en tabla, por lo que se hará una interpolación lineal para obtener el volumen de agregado grueso. Figura 4.8.



**Figura 4.8. Contenido del agregado grueso.**

El contenido del agregado grueso es del 57.8% para 1 m<sup>3</sup>.

#### 4.1.6. Estimación del contenido de agregado fino.

Para realizar el cálculo del contenido de agregado fino, primeramente se deben obtener los siguientes datos de la materia; los que se obtuvieron del laboratorio en un ambiente controlado. Las pruebas fueron descritas detalladamente en las secciones anteriores de este capítulo.

En la Figura 4.9 se muestran los valores obtenidos a partir de los datos ingresados a partir de las pruebas realizadas. A continuación se muestra cómo se hicieron los cálculos 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	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

**Figura 4.9. Resultados de las pruebas a los materiales.**

Para la estimación del contenido de agregado fino se utilizó el método del volumen absoluto, el cual es descrito a continuación:

$$\text{Cálculo del peso de la grava} = (\text{Cantidad de grava}) \times (\text{PVSV}) \quad [14]$$

Sustituyendo los valores en la Ecuación 14:

$$\text{Peso de la grava} = (.578) \times (1460) = \mathbf{843.88 \text{ kg.}}$$

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

$$\text{Cálculo del peso del cemento} = \frac{(\text{Peso del agua})}{(\text{Relación a/C})} \quad [15]$$

Sustituyendo valores en la Ecuación 15:

$$\text{Peso del cemento} = \frac{205}{.5402} = \mathbf{379.509 \text{ kg.}}$$

Las densidades fueron obtenidas de las pruebas realizadas a los materiales en las secciones 3.1.1.3 y 3.1.3.3

$$\text{Cálculo del volumen de la grava} = \frac{\left[ \frac{\text{Peso de la grava}}{\text{Densidad de la grava}} \right]}{1000} \quad [16]$$

Sustituyendo valores en la ecuación 16:

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



$$\text{Cálculo del volumen del cemento} = \frac{\left[ \frac{\text{Peso del cemento}}{\text{densidad del cemento}} \right]}{1000} \quad [17]$$

Sustituyendo valores en la Ecuación 17:

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

$$\text{Cálculo del volumen del agua} = \frac{\left[ \frac{\text{Peso del Agua}}{\text{densidad del Agua}} \right]}{1000} \quad [18]$$

Sustituyendo en la Ecuación 18 :

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

$$\text{Calculo del volumen del aire} = \left[ \frac{\text{porcentaje de aire incluido}}{100} \right] \quad [19]$$

Sustituyendo en la Ecuación 19:

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

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 por encontrar. Figura 4.10.

ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE AGREGADO FINO			
METODO DEL VOLUMEN ABSOLUTO*			
MATERIALES	PESO (Kg.)	DENSIDAD	VOLUMEN (Cm <sup>3</sup> )
Grava	843.88	2.38	0.354571429
Arena	671.3997877	2.25	0.298399906
Cemento	379.5091505	3.11	0.122028666
Agua	205	1	0.205
Aire	-----	-----	0.0200
<b>SUMAS=</b>	<b>2099.788938</b>		<b>1</b>

SUMA DE VOLUMENES, EXCEPTO ARENA (Sv-a)  
 CONTENIDO DE ARENA= 1 cm<sup>3</sup> - (Sv-a)

(Sv-a)= 0.7016

OK NO HAY PROBLEMA

**Figura 4.10. Cálculo del contenido de agregado fino**

$$(Sv-a) = (\text{volumen de la grava} = \mathbf{0.3545 \text{ cm}^3}) + (\text{volumen del cemento} = \mathbf{0.1220 \text{ cm}^3}) + (\text{volumen del agua} = \mathbf{0.205 \text{ cm}^3}) + (\text{volumen del agua} = \mathbf{0.205 \text{ cm}^3})$$

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

$$\text{Cálculo del volumen de la arena} = 1 - (Sv - a) \quad [20]$$

Sustituyendo (Sv-a) en la Ecuación 20:

$$\text{Volumen de la arena} = 1 - (.7016) = \mathbf{0.2983 \text{ cm}^3}$$

Una vez obtenido el volumen de la arena, se calcula su peso para 1 m<sup>3</sup>.

$$\text{Cálculo del peso de la arena} = (\text{densidad arena}) \times (\text{volumen arena}) \quad [21]$$

Sustituyendo en la Ecuación 21:

$$\text{Peso de la arena} = (2.25) \times (.2983) = \mathbf{671.399 \text{ kg.}}$$

#### 4.1.7. Ajustes o correcciones por humedad del agregado.

Una vez que ya se tiene calculada la cantidad de material necesario para 1m<sup>3</sup> de mezcla, se realizan las correcciones por humedad del agregado, esta corrección consiste en restar el porcentaje de la humedad actual menos el porcentaje de absorción del material (%Hactual - %Abs.). Figura 3.22.

El porcentaje de humedad actual y el porcentaje de absorción material son datos obtenidos de las pruebas realizadas al agregado pétreo y arena en las secciones 3.1.1.2, 3.1.1.3, 3.1.2.1 y 3.1.2.2 de este capítulo.

- Corrección por humedad de la grava en peso

$$(\text{Peso de la grava}) + \left[ \left( \frac{\%Hactual}{100} \right) \times (\text{Peso de la grava}) \right] \quad [22]$$

Sustituyendo en la Ecuación 22:

$$(843.88) + \left[ \left( \frac{1.917}{100} \right) \times (843.88) \right] = 860.057 \text{ kg.}$$

Peso de la grava corregida por humedad = **860.057 kg.**

- Corrección por humedad de la arena en peso

$$(\text{Peso de la arena}) + \left[ \left( \frac{\%Hactual}{100} \right) \times (\text{Peso de la arena}) \right] \quad [23]$$

Sustituyendo en la Ecuación 23:

$$(671.3997) + \left[ \left( \frac{1.17}{100} \right) \times (671.3997) \right] = 679.2551 \text{ kg.}$$

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 porcentajes de humedad y de absorción.

Si el porcentaje de absorción es mayor al de humedad, en la grava se suma la diferencia del porcentaje de grava; y si el porcentaje de absorción, es mayor al porcentaje de humedad en la arena, también se suma la diferencia del porcentaje de la arena.

Caso contrario si el porcentaje de absorción es menor al porcentaje de humedad en la grava, se resta la diferencia del porcentaje de grava; y si el porcentaje de absorción es menor al porcentaje de humedad en la arena, también se resta la diferencia del porcentaje de la arena.

Para nuestro caso, el porcentaje de absorción es mayor que el porcentaje de humedad en gravas y arenas; por lo tanto en ambos casos se suman.

$$C.A.C = (\text{cant. de agua}) + \left( \begin{matrix} \text{Dif. porcentaje} \\ \text{de grava} \end{matrix} \right) + \left( \begin{matrix} \text{Dif. porcentaje} \\ \text{de arena} \end{matrix} \right) \quad [24]$$

Donde:

C.A.C es la cantidad de agua corregida.

$$\text{Dif. de porcentaje de grava} = (\text{Peso grava}) \times \left( \frac{\text{Factor de corrección grava}}{100} \right) \quad [25]$$

$$\text{Dif. de porcentaje de arena} = (\text{Peso arena}) \times \left( \frac{\text{Factor de corrección arena}}{100} \right) \quad [26]$$

$$\text{Factor de corrección grava} = (\% \text{Hactual} - \% \text{Absorción}) \quad [27]$$

$$\text{Factor de corrección arena} = (\% \text{Hactual} - \% \text{Absorción}) \quad [28]$$

Operaciones:

$$\begin{aligned} \text{Factor de corrección grava} &= (1.917 - 4.72) \\ &= -2.803 \text{ (se considera como valor absoluto)} \end{aligned}$$

$$\text{Dif. porcentaje de grava} = (843.88 \text{ kg.}) \times \left( \frac{2.803}{100} \right) = 23.6539 \text{ kg.}$$

$$\text{Dif. porcentaje de arena} = 23.6539 \text{ kg.}$$

Sustituyendo en la ecuación 28:

Factor de corrección de arena = (1.17 – 3.22)

$$= -2.05 \text{ (se considera como valor absoluto)}$$

$$\text{Dif. porcentaje de arena} = (671.399 \text{ kg.}) \times \left(\frac{2.05}{100}\right) = 13.7636 \text{ kg.}$$

Diferencia porcentaje de arena = 13.7636 kg.

Sustituyendo en la Ecuación 24:

$$\text{C.A.C} = (205 \text{ kg.}) + (23.6539) + (13.7636) = 242.4176 \text{ kg.}$$

De esta forma se obtiene la cantidad necesaria para un 1cm<sup>3</sup> de mezcla, la cual aparece en la Figura 4.11.

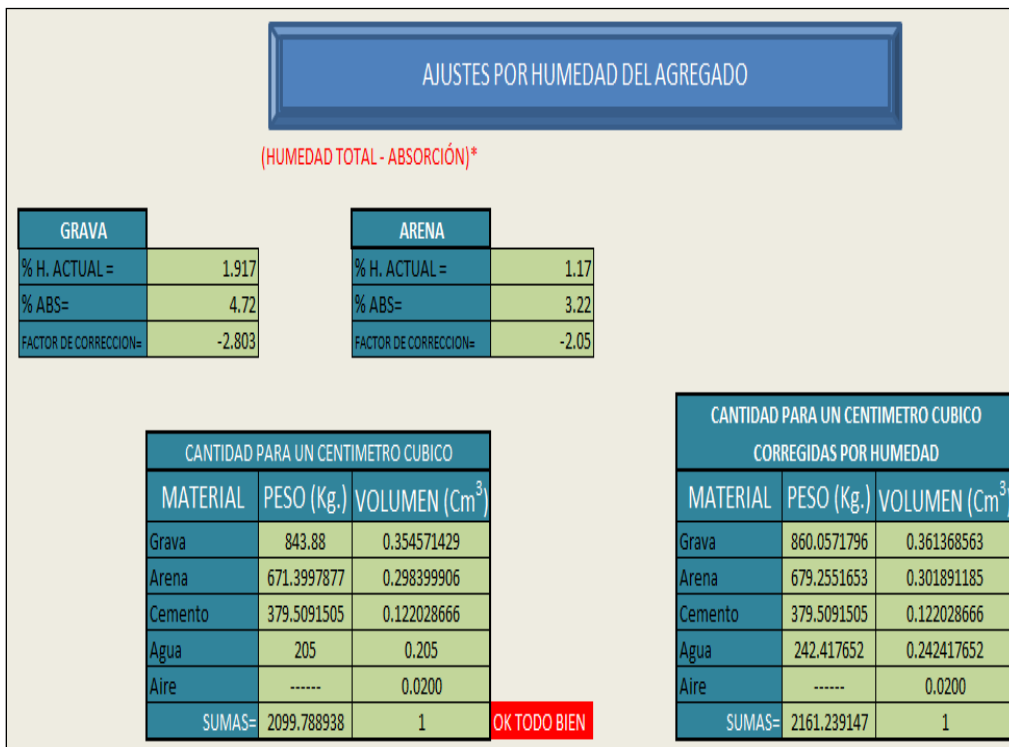


Figura 4.11 Corrección por humedad del agregado.

#### 4.1.8. Cálculo de la cantidad de material necesario para los especímenes que se van a realizar.

Una vez que ya fueron corregidas 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  $1570.7963 \text{ cm}^3$ , que es la capacidad de un cilindro de dimensiones de 10 cm de diámetro por 20 cm de altura. Este volumen se multiplica por el número de cilindros por elaborar; para la investigación en particular, se realizaron 35 especímenes.

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

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

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

- **Peso total de la grava.**

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

$$(60475.65755) \times (860.05718) = 52012523.49109871 \text{ kg}\cdot\text{cm}^3$$

$$\frac{52012523.49109871}{1000000} = 52.0125 \text{ kg.}$$

Peso total de la grava es de **52.0125 kg.**

- **Peso total de la arena.**

$$(60475.65755) \times (679.255) = 41078392.76912525 \text{ kg}\cdot\text{cm}^3$$

$$\frac{41078392.76912525}{1000000} = 41.0783 \text{ kg.}$$

Peso total de la arena es de **41.0783 kg.**

- **Peso total del cemento.**

$$(60475.65755) \times (379.509) = 22951056.32114295 \text{ kg}\cdot\text{cm}^3$$

$$\frac{22951056.32114295}{1000000} = 22.9510 \text{ kg.}$$

Peso total del cemento es de **22.9510 kg.**

- **Peso total del agua.**

$$(60475.65755) \times (242.417) = 14660327.47629835 \text{ kg}\cdot\text{cm}^3$$

$$\frac{14660327.47629835}{1000000} = 14.6603 \text{ kg.}$$

Peso total del agua es de **14.6603 kg.**

La Figura 4.12 muestra la cantidad de material necesaria para la obtención de 35 cilindros de 10 cm de diámetro y 20 cm de altura.

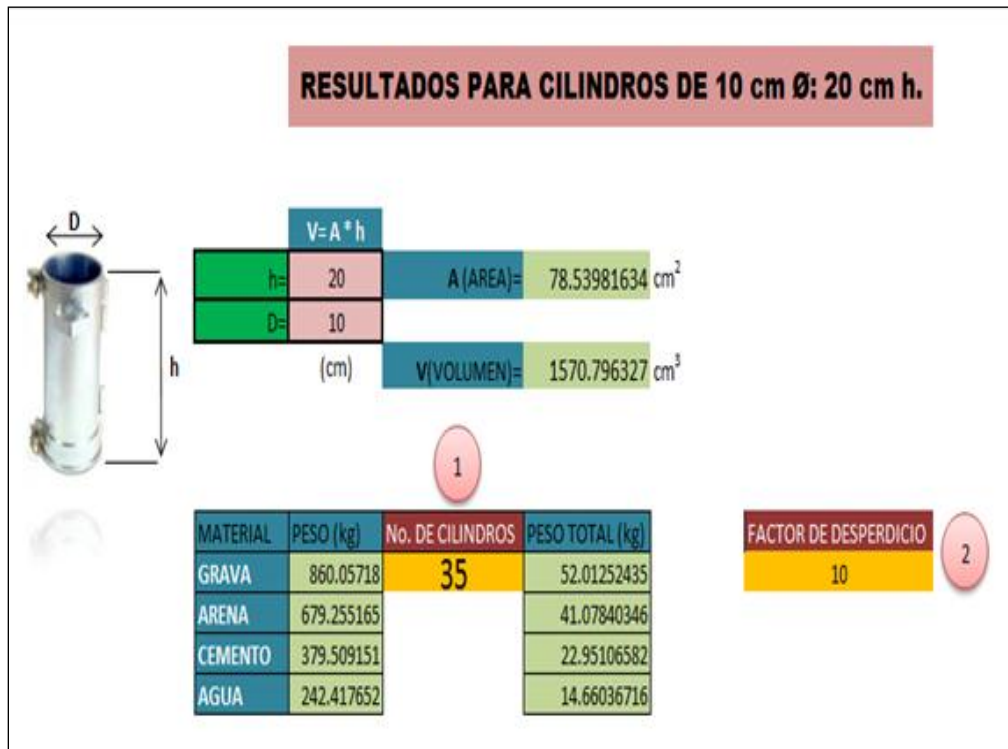


Figura 4.12. Resultados de la cantidad de material para 35 cilindros.



Carretera Querétaro-Galindo km 12+000  
CP 76700, Sanfandila  
Pedro Escobedo, Querétaro, México  
Tel +52 (442) 216 9777 ext. 2610  
Fax +52 (442) 216 9671

[publicaciones@imt.mx](mailto:publicaciones@imt.mx)

<http://www.imt.mx/>