



**Universidad Autónoma de Querétaro**

**Facultad de Ingeniería**

**ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA CARACTERIZACIÓN MECÁNICA  
DEL CONCRETO A PARTIR DE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DE  
LOS CEMENTOS PÓRTLAND DE LA CIUDAD DE QUERÉTARO**

# **TESIS**

**Que como parte de los requisitos para obtener el grado de**

**Maestro en Ingeniería (Construcción)**

**Presenta**

**Ing. Gerardo René Serrano Gutiérrez**

**Querétaro, Qro, Diciembre de 2002.**

No. Adq. H 67659

No. Título \_\_\_\_\_

Clas. 693.5

5487a

Ej. 1

\_\_\_\_\_



Universidad Autónoma de Querétaro  
Facultad de Ingeniería  
Maestría en Ingeniería (Construcción)

## ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DEL CONCRETO A PARTIR DE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DE LOS CEMENTOS PÓRTLAND DE LA CIUDAD DE QUERÉTARO

### TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener grado de  
Maestro en Ingeniería (Construcción)

#### Presenta:

Ing. Gerardo René Serrano Gutiérrez

#### Dirigido por:

Dr. Juan Bosco Hernández Zaragoza

#### SINODALES

Dr. Juan Bosco Hernández Zaragoza  
Presidente

Dr. Diego Arturo López de Ortigosa y Casares  
Secretario

Dr. Víctor Castaño Meneses  
Vocal

Dr. Alejandro Manzano Ramírez  
Suplente

Dra Teresa López Lara  
Suplente

Ing. Jorge Martínez Carrillo  
Director de la Facultad

[Firma]  
Firma

[Firma]  
Firma

[Firma]  
Firma

[Firma]  
Firma

[Firma]  
Firma

Dr. Sergio Quesada Aldana  
Director de Investigación y  
Posgrado

Centro Universitario  
Querétaro, Qro.  
Noviembre de 2002

México

## RESUMEN

El Estudio del comportamiento mecánico del concreto, se basó en la composición química del cemento Pórtland disponible comercialmente en la ciudad de Querétaro. Se realizó un estudio entre algunos proveedores en Querétaro y su área conurbada determinando las marcas disponibles con las cuales se llevó a cabo la mezcla para la resistencia especificada. Las cantidades de arena y demás componentes se conservaron constantes y el cemento se utilizó variando las diferentes marcas. Los especímenes de la prueba se ensayaron a 3, 7, 14 y 28 días. La media y la desviación estándar correspondientes se determinaron para la resistencia a compresión. La difracción de rayos X efectuada a las muestra de cemento se realizó para confirmar la composición química y resultó que básicamente era la misma

**Palabras clave:** Comportamiento mecánico, composición química, cemento Pórtland.

## SUMMARY

A study was made for this paper on the mechanical response of concrete based on the chemical makeup of Portland cement of city of Queretaro. A survey was carried out among several cement suppliers in the city of Queretaro and the surrounding area to determine the brands of cement used. The physical properties of the aggregates were obtained through quality tests. This data was used to create a normal concrete mixture design for a specific resistance. The quantities of sand, gravel and water were maintained, and the cement employed was varied using the different brands of cement from the survey. Different test samples were prepared and tested after a period 3, 7, 14 and 28 days. Standard measurements and deviations in the compression tests were determined statistically. X-ray diffraction tests on the cement were done to determine the chemical makeup of each brand of cement. The relation between the chemical properties and the resistance of the concrete was established.

**Key words:** mechanical response, chemical makeup, Portland cement

## **Dedicatoria**

### **A MIS PADRES**

Por darme la vida y transmitirme los valores que me han ayudado a desarrollarme como persona y como profesionalista.

### **A MI ESPOSA LORENA**

Por su comprensión cariño y paciencia

### **A MIS HIJOS CLAUDIA LORENA, JUDITH, GERARDO RENÉ Y RODRIGO ALEJANDRO**

Quienes mantienen latente en mi el deseo de superación.

## **Agradecimientos**

### **AL DR. JUAN BOSCO HERNÁNDEZ ZARAGOZA**

Por su apoyo y guía incondicional para desarrollar este trabajo

### **A MIS SINODALES**

Dr. Diego Arturo López de Ortigosa y Casares

Dr. Víctor Manuel Castaño Meneses

Dr. Alejandro Manzano Ramírez

Dra. Teresa López Lara

Por sus atinados comentarios al trabajo.

### **A MIS COMPAÑEROS DE TRABAJO**

Por su impulso para lograr esta meta.

### **A LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO**

Por la oportunidad que me brindó en mi formación profesional

# ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DEL CONCRETO A PARTIR DE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DE LOS CEMENTOS PÓRTLAND DE LA CIUDAD DE QUERÉTARO

## ÍNDICE

Resumen	i
Summary	ii
Dedicatoria	iii
Agradecimiento	iv
Índice	v
Índice de Cuadros	ix
Índice de Figuras	xi

<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
---------------------	----------

## CAPÍTULO I ESTADO DEL ARTE

I.1. Cerámicos	4
I.2. Cemento Pórtland	5
I.3. Concreto	6

## CAPÍTULO II ANÁLISIS DE EXPERIMENTOS

II.1. Variables	8
II.1.1. Agregados	14
II.1.2. Agua	15
II.1.3. Cemento Pórtland	16
II.1.4. Mezclado	16

## CAPÍTULO III DESARROLLO EXPERIMENTAL

III.1.	Propiedades químicas del cemento Pórtland	18
III.1.1.	Difracción de Rayos X	25
III.1.2	Resultados de la Difracción de Rayos X	27
III.2.	Propiedades físicas	32
III.2.1	Agregados	32
III.2.1.1	Arena	33
III.2.1.1.1	Contenido de humedad y absorción	33
III.2.1.1.2	Densidad	35
III.2.1.1.3	Pesos volumétricos	36
III.2.1.1.4	Granulometría	37
III.2.1.2	Grava	40
III.2.1.2.1	Contenido de humedad y absorción	40
III.2.1.2.2	Densidad	41
III.2.1.2.3	Pesos volumétricos	42
III.2.1.2.4	Granulometría	43
III.2.2	Concreto	45
III.3.	Propiedades mecánicas	46
III.3.1	Agregados (desgaste)	46
III.3.1.1	Máquina de los Ángeles	49
III.3.2	Concreto (Compresión)	50
III.3.1.2	Moldes	50
III.3.1.3	Elaboración de especímenes	50
III.3.1.4	Curado de especímenes de Concreto	52
III.3.1.5	Cabeceado de cilindros de concreto	53
III.3.1.6	Pruebas de cilindros de concreto	54
III.3.3	Diseño de mezcla	55
III.3.4	Resistencia a Compresión $f'c$	63

<b>CAPÍTULO IV ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>	
IV.1 Estadística de pruebas	79
IV.1.1. Media	79
IV.1.2 Desviación Estándar	79
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	97
<b>LITERATURA CITADA</b>	100

## INDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1.1	Clasificación de los cementos de acuerdo a su composición y resistencia	6
2.1	Casas de materiales y marcas de cemento que se ofertan dentro de la zona conurbada de la Ciudad de Querétaro	11
2.1 a	Casas de materiales y marcas de cemento que se ofertan dentro de la zona conurbada de la Ciudad de Querétaro (Continuación)	12
2.1 b	Casas de materiales y marcas de cemento que se ofertan dentro de la zona conurbada de la Ciudad de Querétaro (Continuación)	13
2.2	Marcas de cemento que se usan en zona conurbada de la Ciudad de Querétaro	13
2.3	Porcentajes de volúmenes y costos de los componentes del concreto	14
3.1	Componentes principales del Cemento Pórtland	20
3.2	Límites de composición aproximados para cemento Pórtland	24
3.3	Óxidos y compuestos de un cemento Pórtland normal	24
3.4	Resultados de contenido de humedad y absorción para la arena	34
3.5	Resultados de las pruebas para la determinación del peso volumétrico suelto de la arena	36
3.6	Resultados de las pruebas para la determinación del peso volumétrico compacto de la arena	37
3.7	Tabla de análisis granulométrico para la arena	38
3.8	Resumen de los resultados de calidad para la arena.	39
3.9	Resultados de contenido de humedad y absorción para la grava	41

3.24	Resultados de propiedades físicas y mecánicas de los especímenes de concreto elaborados con cemento Apasco, ensayados a 7 días	64
3.25	Resultados de propiedades físicas y mecánicas de los especímenes de concreto elaborados con cemento Apasco, ensayados a 14 días	65
3.26	Resultados de propiedades físicas y mecánicas de los especímenes de concreto elaborados con cemento Apasco, ensayados a 28 días	66
3.27	Resultados de propiedades físicas y mecánicas de los especímenes de concreto elaborados con cemento Cruz Azul, ensayados a 3 días	67
3.28	Resultados de propiedades físicas y mecánicas de los especímenes de concreto elaborados con cemento Cruz Azul, ensayados a 7 días.	68
3.29	Resultados de propiedades físicas y mecánicas de los especímenes de concreto elaborados con cemento Cruz Azul, ensayados a 14 días	69
3.30	Resultados de propiedades físicas y mecánicas de los especímenes de concreto elaborados con cemento Cruz Azul, ensayados a 28 días	70
3.31	Resultados de propiedades físicas y mecánicas de los especímenes de concreto elaborados con cemento Moctezuma, ensayados a 3 días	71
3.32	Resultados de propiedades físicas y mecánicas de los especímenes de concreto elaborados con cemento Moctezuma, ensayados a 7 días	72
3.33	Resultados de propiedades físicas y mecánicas de los especímenes de concreto elaborados con cemento Moctezuma, ensayados a 14 días	73

3.34	Resultados de propiedades físicas y mecánicas de los especímenes de concreto elaborados con cemento Moctezuma, ensayados a 28 días	74
3.35	Resultados de propiedades físicas y mecánicas de los especímenes de concreto elaborados con cemento Tolteca, ensayados a 3 días.	75
3.36	Resultados de propiedades físicas y mecánicas de los especímenes de concreto elaborados con cemento Tolteca, ensayados a 7 días	76
3.37	Resultados de propiedades físicas y mecánicas de los especímenes de concreto elaborados con cemento Tolteca, ensayados a 14 días	77
3.38	Resultados de propiedades físicas y mecánicas de los especímenes de concreto elaborados con cemento Tolteca, ensayados a 28 días	78
4.1	Cálculo de la desviación estándar (D.E.) y la media de las resistencia a compresión de las muestras elaboradas con cemento Apasco	81
4.2	Cálculo de la desviación estándar (D.E.) y la media de las resistencia a compresión de las muestras elaboradas con cemento Cruz Azul	80
4.3	Cálculo de la desviación estándar (D.E.) y la media de las resistencia a compresión de las muestras elaboradas con cemento Moctezuma	83
4.4	Cálculo de la desviación estándar (D.E.) y la media de las resistencia a compresión de las muestras elaboradas con cemento Tolteca	85

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>		<b>Página</b>
3.1	Difractometro de Bragg	26
3.2	Difracción de rayos X de los cementos Apasco, Cruz Azul, Moctezuma y Tolteca utilizados entre el 11 y el 13 de julio de 2002	28
3.3	Difracción de rayos X de los cementos Apasco, Cruz Azul, Moctezuma y Tolteca utilizados entre el 13 y el 15 de julio de 2002	29
3.4	Difracción de rayos X de los cementos Apasco, Cruz Azul, Moctezuma y Tolteca utilizados entre el 15 y el 17 de julio de 2002	30
3.5	Difracción de rayos X de los cementos Apasco, Cruz Azul, Moctezuma y Tolteca utilizados entre el 18 y el 19 de julio de 2002	31
3.6	Croquis de localización de los bancos de materiales	33
3.7	Gráfica de composición granulométrica de la arena, comparada con las especificaciones respectivas	38
3.8	Prueba de densidad para la grava (a) Picnómetro calibrado (b) Obtención del volumen desalojado por la grava	42
3.9	Gráfica de composición granulométrica de la grava, comparada con las especificaciones respectivas	44
3.10	Máquina de los Ángeles	48
3.11	Elaboración de cilindros de concreto en los moldes de 15 x 30 cm	51
3.12	Curado de cilindros de concreto con temperatura constante en el cuarto de curado	52
3.13	Cabeceo de cilindros de concreto con pasta de azufre	53

3.14	Pruebas de compresión a cilindros de concreto en la máquina universal	54
4.1	Gráfica comparativa de la resistencia a la compresión de los especímenes de concreto elaborados con cemento Apasco y la gráfica estándar	82
4.2	Gráfica comparativa de la resistencia a la compresión de los especímenes de concreto elaborados con cemento Cruz Azul y la gráfica estándar	84
4.3	Gráfica comparativa de la resistencia a la compresión de los especímenes de concreto elaborados con cemento Moctezuma y la gráfica estándar.	86
4.4	Gráfica comparativa de la resistencia a la compresión de los especímenes de concreto elaborados con cemento Tolteca y la gráfica estándar	88
4.5	Gráfica estándar de resistencia a compresión en cilindros de concreto.	91
4.6	Gráfica comparativa de la resistencia a la compresión de los especímenes de concreto, para las diferentes marcas de cemento	92
4.7	Gráfica de control para el concreto elaborado con cemento Apasco	93
4.8	Gráfica de control para el concreto elaborado con cemento Cruz Azul	94
4.9	Gráfica de control para el concreto elaborado con cemento Moctezuma	95
4.10	Gráfica de control para el concreto elaborado con cemento Tolteca	96

## INTRODUCCIÓN

La construcción es un indicador que refleja el crecimiento de la economía en un país, debido a que una parte muy importante del presupuesto del Gobierno, se destina a la construcción, mantenimiento y operación de obras de infraestructura.

De lo anterior no es extraño que los gobiernos establezcan políticas que favorezcan que esta industria cuente con un ambiente favorable para su desarrollo, impulsando la creación de nuevos empleos y proliferando el nacimiento de empresas constructoras y proveedoras de recursos para las primeras.

Sin lugar a dudas el material prefabricado que más se utiliza es el cemento Pórtland, pues se usa para la construcción de obras de infraestructura urbana, equipamiento educativo, presas, etc., con este material también se elaboran morteros, concretos, elementos arquitectónicos, estabilizaciones de suelo, elementos prefabricados de concreto, etc.

En los años 60's se fabricaban pocas marcas de cemento y la distribución se realizaba por regiones, con un control casi absoluto del mercado en la zona. Sin embargo en la actualidad el mercado del cemento Pórtland ha experimentado un crecimiento importante, resultado de la creación de varias empresas y consorcios dedicados a la fabricación de este producto y sus derivados.

Los constructores consideran que los cementos Pórtland son similares en su composición química este hecho presupone que los resultados esperados al utilizar cualquier marca de cemento son aproximadamente iguales, dentro de los intervalos de valores que se manejan en los diseños estructurales.

Este documento pretende establecer la relación que existe entre la composición química de los diferentes cementos que se utilizan en la ciudad de Querétaro, y su zona conurbada y la resistencia a compresión esperada de los concretos que se fabrican con estos cementos.

Se realizó un estudio de mercado, para determinar las marcas de cemento se que ofertan en la ciudad de Querétaro, y definir los cementos que, debido a su consumo, resulta interesante conocer la relación entre la composición química y las propiedades mecánicas del concreto esperadas que permitan tomar la mejor decisión respecto del uso de los diferentes tipos de cemento que se ofertan de acuerdo a sus necesidades.

Se solicitó el apoyo al (CINVESTAV) Centro de Investigaciones Avanzadas del Instituto Politécnico Nacional, campus Juriquilla, para desarrollar pruebas de Difracción de Rayos X, para determinar las cantidades de compuestos presentes en los cementos propuestos para el trabajo

Posteriormente se analizaron los resultados de la difracción de rayos identificando de manera cualitativa los componentes del cemento en el cual predominaron los silicatos tricálcico, dicálcico y yesos como la anhidrita.

Finalmente se desarrolló un estudio estadístico para tener certeza de los datos obtenidos y establecer de la caracterización mecánica del Concreto con

base en las propiedades químicas de los Cementos Pórtland de la ciudad de Querétaro.

Particularmente en el centro poblacional comprendido por la Ciudad de Querétaro y su zona conurbada se realizó un estudio de las marcas que se consumen con mayor frecuencia para seleccionar las marcas de cemento para el estudio de este trabajo.

# CAPITULO I ESTADO DEL ARTE

## I.1 CERÁMICOS

La cronología de los materiales cerámicos comienza un poco atrás de 24000 años A.C., así lo señalan los vestigios encontrados en Checoslovaquia, que consisten de figurillas humanas, de animales, tablillas y balones, hechos de una mezcla de grasa animal, huesos, cenizas de hueso y arcillas finas. Sin embargo, las primeras vasijas de utilidad pertenecen al año 9000 A.C. para almacenar granos y otros alimentos.

Se reconoce el uso de los metales y sus vastas aplicaciones en los automóviles, en la maquinaria, aviones, edificios y otros innumerables usos. Pero ésta producción no sería posible sin el uso de los materiales cerámicos refractarios que tienen la capacidad de contener a los metales a alta temperatura durante su proceso.

La palabra "cerámica" proviene de la raíz Griega "keramos" que significa "recipiente". Esta a su vez se le asocian raíces más antiguas del Sánscrito que significa "para quemarse"

La cerámica se define como aquellos materiales inorgánicos no metálicos que por naturaleza son típicamente materiales cristalinos ó no cristalinos que se forma por elementos metálicos y no metálicos.

Son sólidos cuya materia prima provienen de la tierra y que han sido sometidos a calor. Una de las primeras clasificaciones que se han hecho de los cerámicos es la siguiente:

**Cerámicos Tradicionales:** Los componentes básicos son los productos de arcillas, cementos y vidrios silicatos.

**Cerámicos de uso específico en ingeniería:** Son materiales formados de compuestos puros a casi puros, tales como: La alúmina ( $Al_2O_3$ ), el carburo de silicio (SiC), la magnesia (MgO), la circonia ( $ZrO_2$ ), Thoria ( $ThO_2$ ), Berilia (BeO), aluminato de magnesio ( $MgAl_2O_4$ ), la forsterita ( $Mg_2SiO_4$ ).

La clasificación de los cerámicos por su uso para el caso específico de este trabajo son los conocidos como Productos Estructurales de Arcilla; ladrillos, tubos de albañal, tejas para techo, azulejos para piso y lambrín. Los principales componentes son la arcilla, sílice y el feldespatos

## 1.2 CEMENTO PORTLAND

En 1999 entró en vigor la norma oficial mexicana NMX-C-414-ONNCCE-1999, para los cementos mexicanos y ASTM C-595 de Norteamérica, esta norma no es obligatoria, la clasificación se hace en el Cuadro 1.1 de los diferentes tipos de cemento.

Cuadro 1.1 Clasificación de los cementos de acuerdo a su composición y resistencia

<b>CLV</b>	<b>CLASIFICACIÓN</b>
CPO	Cemento Pórtland Ordinario
CPP	Cemento Pórtland Puzolánico
CPEG	Cemento Pórtland Con Escoria Granulada de Alto Horno
CPC	Cemento Pórtland Compuesto
CPS	Cemento Pórtland con Humo de Sílice
CEG	Cemento con Escoria Granulada de Alto Horno

El último de los elementos de la designación establece la resistencia a la compresión a los 28 días. Para el caso de los tipos de cementos es la terminación en el tipo de cemento es 30 R que significa que la resistencia mínima a los 28 días será de  $30 \text{ N/mm}^2$  ( $306 \text{ kg/cm}^2$ ).

### **I.3 CONCRETO**

El Concreto es una piedra artificial obtenida mediante una mezcla de grava, arena, agua y cemento; algunas veces se agregan otras sustancias (aditivos) para modificar algunas de sus propiedades, como son la impermeabilidad, durabilidad, fluidez, etc.

La resistencia a la compresión es la propiedad que con mayor frecuencia se utiliza para establecer la calidad de un concreto, sin embargo no deben dejarse de lado características como, la impermeabilidad, resistencia al intemperismo, durabilidad.

Los factores que modifican la resistencia del concreto son: las condiciones de curado, edad, características del cemento, cantidad de agua de mezclado, cantidad de cemento, características de los agregados, tiempo de mezclado y condiciones de prueba.

Finalmente un factor al que normalmente no se le da mucha importancia en obra es el curado, que consiste en el mantener un ambiente favorable para que se desarrollen adecuadamente las reacciones químicas, esto es la retención de humedad en el interior, o bien, suministrando humedad al concreto a la vez que protección a las temperaturas extremosas. Es muy importante el curado a edades tempranas ya que es cuando se constituye la resistencia interna del concreto que le permite adquirir resistencia e impermeabilidad.

Mientras que la simple retención de la humedad interna del concreto puede ser suficiente para bajos o moderados contenidos de cemento, mezclas ricas en cemento generan considerable calor de hidratación que puede expulsar la humedad del concreto en el periodo de tiempo inmediato al fraguado. Con este tipo de concreto se recomienda iniciar el curado tan pronto sea posible para reemplazar cualquier pérdida de humedad y ayudar a disipar el calor.

## CAPITULO II ANÁLISIS DE EXPERIMENTOS

### II.1 Variables

Los principales factores que afectan los resultados de las pruebas de resistencia a la compresión del concreto son:

a. Método de muestreo

El volumen de concreto fue preparado exclusivamente para la elaboración de los especímenes. Y por tanto la cantidad de concreto se calculó para los especímenes de cada prueba. De este modo la muestra es totalmente representativa (ASTM C172)

b. Método de elaboración del espécimen

Se utilizaron moldes de 150 milímetros de diámetro por 300 milímetros de altura. Se colocó el concreto cuidadosamente en tres capas, varillando cada una de ellas 25 veces antes de colocar mas concreto. El molde se colocó en posición vertical sobre una superficie estable horizontal (ASTM C31).

c. Curado de los especímenes

El curado es el procedimiento utilizado para promover la hidratación del cemento; consiste en un control de temperatura y el transito de humedad, a partir de la superficie, hacia adentro del concreto. La resistencia de un concreto se puede ver disminuida de un 30 a un 50%, por un inadecuado curado.

Los especímenes de concreto al terminar la descimbra se trasladaron al cuarto de curado, para mantener las condiciones de humedad y temperatura necesarias.

d. Tamaño y forma del espécimen de prueba

En el inciso b. se estableció que de acuerdo a la disponibilidad de los moldes la forma del espécimen fue cilíndrica con altura igual a dos veces la longitud del diámetro y este, al menos 4 veces el tamaño máximo de las partículas. Para este trabajo se utilizaron las dimensiones estándar; 150 milímetros de diámetro y 300 milímetros de altura.

e. Irregularidades en el espécimen de prueba

Considerando el equipo disponible en el laboratorio se logró que la variación en las dimensiones fuera mínima y se conservaron por debajo del 2.6%.

f. Contenido de humedad en el espécimen

Los especímenes mantuvieron humedad similar en toda su superficie, después de la prueba, al desintegrarse los especímenes, se observó humedad uniforme por lo cual el contenido de humedad se consideró constante en toda la masa del espécimen.

La humedad se debe considerar para pruebas combinadas de flexión y compresión, un espécimen seco no presenta variación en la prueba a compresión pero sí en la de tensión debido a que un secado parcial o superficial en pruebas a flexión colocan a las fibras exteriores en estado de tensión, aun antes de aplicar la carga, lo cual reduce el valor de la resistencia medida.

g. Método de cabeceo antes de la prueba

Se utilizó azufre aplicada alrededor de 2 horas antes de la prueba, evitando el sobrecalentamiento de la mezcla fundida para prevenir pérdida de rigidez.

h. Adecuado equipo para realizar la Prueba

La máquina universal de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro cuenta con los requerimientos mínimos para usarse en este tipo pruebas. Al momento de efectuar las pruebas de compresión la máquina universal contaba con 15 días de haber recibido calibración y mantenimiento.

i. Velocidad de aplicación de la carga

La rapidez de carga de los especímenes de prueba a compresión está prescrita por la norma ASTM C39-93A como 0.14 a 0.34 Mpa/s (84 a 210 kg/cm<sup>2</sup>/min), aunque puede aplicarse a una mayor rapidez durante la primera mitad de la carga máxima esperada siempre y cuando, durante la segunda mitad se mantenga velocidad especificada

La variación de estos factores se mantuvo estable, de los componentes del concreto la cantidad y calidad de los agregados (arena y grava) fueron los mismos para todas las pruebas, se homogeneizaron las muestras de arena y grava respectivamente utilizando el procedimiento de cuarteo, para garantizar que cada vez que se utilizara material, la muestra fuera representativa. El agua se obtuvo del sistema de agua potable de la Universidad.

El único elemento que cambió de los componentes del concreto, para la elaboración de los especímenes, fue el cemento Pórtland. Para cada grupo de prueba se utilizó una marca de cemento diferente, atendiendo al consumo de este material en la ciudad de Querétaro y su zona conurbada.

Con el propósito de conocer las marcas de cemento a considerar en la prueba se realizó una encuesta en varias casas de materiales para establecer los cementos que más se consumen, en los tres municipios; Querétaro, al Sur Corregidora (El Pueblito) y al Este El Marqués (La Cañada) los cuales contribuyen aproximadamente al 67% del consumo de cemento en el Estado de Querétaro.

A continuación se presentan los resultados obtenidos en el sondeo. (Cuadro 2.1, 2.1a y 2.1b)

Cuadro 2.1 Casas de materiales y marcas de cemento que se ofertan dentro de la zona conurbada la Ciudad de Querétaro.

<b>PROVEEDOR</b>	<b>CEMENTO</b>
Aceros y Materiales San Pedro	Tolteca
Avarsa Prefabricados	Apasco
Bodega Cruz Azul	Cruz azul
Bodega Materiales para la Construcción	Tolteca
Cecoferre	Tolteca
Central de Cemento y Materiales Don Juan	Apasco
Construcasa de Querétaro S.A. de C.V.	Tolteca
Crest	Moctezuma
Depósitos de Materiales para la Construcción de Querétaro, S.A. de C.V.	Cruz azul
Distribuidora de Materiales San Pedro S.A. de C.V.	Tolteca
División Cementos San Francisco	Tolteca
El Surtidor de Aceros y Materiales S.A. de C.V.	Moctezuma
Ferretera, Aceros y Materiales para Construcción	Moctezuma

Cuadro 2.1b Casas de materiales y marcas de cemento que se ofertan dentro de la zona conurbada de la Ciudad de Querétaro (Continuación)

PROVEEDOR	CEMENTO
Suministros y Agregados	Tolteca
Tejeda Materiales para la Construcción	Tolteca
Todo para la Construcción	Tolteca
Transformadora del Cemento S. de R.L.	Tolteca
Vibrocompresores CASTEN	Apasco

Viro Materiales para construcción S. de R.L. de C.V. Apasco

Con base en este estudio de mercado se definieron las cuatro marcas que más se consumen en la zona conurbada de la Ciudad de Querétaro, y que se presenta en la tabla por orden alfabético (Cuadro 2.2)

Cuadro 2.2 Marcas de cemento que se usan en zona conurbada de la Ciudad de Querétaro

Una pregunta adicional que se hizo a varios constructores es el tipo de cemento que utilizan en sus obras, y la mayoría coincidió en que es el cemento Pórtland normal tipo I.

En las marcas seleccionadas la descripción del producto que se oferta es CPP 30 R para los cementos Cruz Azul, Moctezuma y Tolteca, para el cemento Apasco la descripción del producto es tipo CPC 30 R,

### II.1.1. Agregados

La elección de agregados que sean estables y resistentes ha sido siempre un requisito esencial para un concreto durable en el cuadro 2.3 se puede apreciar la importancia que tiene el cemento en relación con los demás componentes del concreto.

Cuadro 2.3 Porcentajes de volúmenes y costos de los componentes del concreto.

<b>Componente</b>	<b>Volumen (%)</b>	<b>Costo (%)</b>
Cemento	22	68
Agregados	65	30
Agua	10	2
Aire	3	0

Los agregados en el concreto ocupan cerca del 75% del volumen del concreto, por lo tanto afectan la resistencia, durabilidad y comportamiento estructural del mismo.

sus propiedades, físicas, térmicas y químicas, influyen en el comportamiento del concreto.

Así pues el uso de los agregados proporcionan una gran ventaja técnica al concreto, aportando estabilidad volumétrica, y más durabilidad que si usara solo pasta de cemento.

Otro factor, no menos importante, es el económico, los constructores tienen interés en lograr las características mecánicas requeridas en el proyecto, reduciendo los costos pero logrando suficiente de confianza para lograr las especificaciones de cada proyecto en particular.

El aumento o disminución de los componentes origina necesariamente la reconsideración de los costos es pues importante definir las cantidades de material necesario para elaborar el concreto en las mejores condiciones.

En el cuadro 2.3 se representa de manera muy simple la relación porcentual de los volúmenes y costos de los componentes que se utilizan para la fabricación de un concreto.

El cuadro establece la relación para un concreto normal en el cual no se considera la incorporación de aditivos para modificar las características del concreto

### **II.1.2. Agua**

En la ciudad de Querétaro, el agua potable, resulta satisfactoria para utilizarse en el mezclado de concretos y mezclas y este es el criterio de calidad

presencia de impurezas dañinas como álcalis, ácidos, materia orgánica, aceite o cantidades excesivas de limo o arcilla.

Si existe duda en la calidad deberá enviarse a un laboratorio para que se le realicen pruebas, en caso contrario, se comparará la resistencia y durabilidad de especímenes de control con el agua en estudio y los especímenes hechos con agua que se conoce satisfactoria.

Como dato adicional la norma ASTM C94 permite el uso del agua de lavado del mezclado para la mezcla siguiente, siempre y cuando se pueda medir la cantidad con precisión.

### **II.1.3. Cemento Pórtland**

Para el manejo de esta variable, se consideraron las cuatro marcas de cemento mencionadas en el Capítulo I, se adquirió el material en su presentación comercial, bultos de 50 kilogramos, que fue abierto el día en que se efectuó la prueba, en ese preciso momento se tomó una muestra y se envió para hacer el análisis químico.

Se empleó el material requerido para la prueba (39.72 kg), el material para la prueba de difracción de rayos X (1 gr) y el resto del material se desechó, este proceso se repitió cada vez que se realizaba una nueva prueba, preparada para cada día y para cada tipo de cemento.

### **II.1.4. Mezclado.**

La dosificación de la mezcla fue proporcionada en peso, por lo cual el agua se adicionó de manera inicial y durante la carga de los agregados. Para cada muestra se realizaron los ajustes por humedad en los agregados. El valor

promedio de humedad de los agregados cambia porque el material se extrae de la parte inferior de su almacenamiento.

La temperatura del agua de mezclado no representó problema debido a que el agua se adicionó a temperatura ambiente, y no se presentó formación de grumos.

Como se sabe los tiempos de mezclado, en la actualidad, obedecen a la necesidad de producir el concreto con gran velocidad. Se ha observado que los tiempos de mezclado de menos de 60 a 75 segundos, produce concreto muy variable en su uniformidad, pero si se prolonga el tiempo de mezclado mas allá de los 120 segundos, la mejoría en la uniformidad no es notable. Derivado de estas experiencias el tiempo de mezclado promedio para las pruebas fue de 100 segundos.

## **CAPÍTULO III DESARROLLO EXPÉRIMENTAL**

En este capítulo se muestran los resultados de las pruebas realizadas a los diferentes componentes del concreto, los datos obtenidos permitieron establecer las cantidades de materiales, también se presentan los resultados de los ensayos realizados a los cementos, que permitieron establecer la relación entre las propiedades químicas del cemento y las propiedades mecánicas del concretos.

Para el caso de la arena y grava se realizaron pruebas para determinar entre otras propiedades el peso volumétrico compacto y suelto, densidad, absorción, composición granulométrica y contenido de materia orgánica. Datos que permitieron establecer las cantidades de material necesarias para la elaboración de los especímenes que habrían de utilizarse en las pruebas de compresión.

### **III.1 Propiedades Químicas del Cemento**

Las principales materias primas utilizadas en la fabricación del cemento Pórtland son la cal, sílice, alúmina y óxido de fierro. Estos compuestos interactúan en el horno, para formar una serie de productos más complejos, hasta alcanzar un estado de equilibrio químico, con la excepción de un pequeño residuo de cal no combinada, que no tiene el tiempo suficiente para reaccionar. Pero este equilibrio no se mantiene durante el enfriamiento, y la velocidad de éste afectará el grado de cristalización y la cantidad de material amorfo presente en el clinker enfriado.

Las propiedades de este material amorfo, conocido como vidrio, difieren en gran medida de las de compuestos cristalinos de una composición química nominal similar. Otra complicación surge debido a la interacción de la parte líquida del clinker con los compuestos cristalinos ya presentes.

No obstante, puede considerarse que el cemento se encuentra en un estado de equilibrio congelado, es decir, que los productos congelados reproducen el equilibrio existente durante la temperatura de formación de clinker- De hecho, se hace esta suposición para calcular la composición de compuestos de los cementos comerciales; la composición "potencial" se calcula a partir de las cantidades precisas de óxidos que están presentes en el clinker, como si se hubiera producido una cristalización completa de los productos en equilibrio.

Se suelen considerar cuatro compuestos como los componentes principales del cemento; se enumeran en el cuadro 3.1, junto con sus símbolos de abreviación. Esta notación abreviada, utilizada por los químicos del cemento, describe cada óxido con una letra, a saber.

$\text{CaO} = \text{C}$  (Óxido de calcio)

$\text{SiO}_2 = \text{S}$  (Óxido de sílice)

$\text{Al}_2\text{O}_3 = \text{A}$  (Óxido de aluminio)

$\text{Fe}_2\text{O}_3 = \text{F}$  (Óxido de hierro)

El  $\text{H}_2\text{O}$  del cemento hidratado se indica por una H.

En realidad los silicatos que se encuentran en el cemento no son compuestos puros, pues contienen pequeñas cantidades de óxido en soluciones

sólidas. Estos óxidos tienen efectos importantes en los ordenamientos atómicos, las formas cristalinas y las propiedades hidráulicas de los silicatos.

Cuadro 3.1 Componentes principales del Cemento Pórtland

Nombre	Composición de óxido	Abreviatura
Silicato tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	$\text{C}_3\text{S}$
Silicato dicálcico	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	$\text{C}_2\text{S}$
Aluminato tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{C}_3\text{A}$
Aluminoferrito tetracálcico	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_3\text{O}_3$	$\text{C}_4\text{AF}$

Los cálculos de composición potencial del cemento Pórtland se basan en el trabajo de R.H. Bogue y otros, y a menudo se denomina "composición Bogue". Existen además otros métodos para calcular la composición, debemos notar que en la composición Bogue se subestima el contenido de  $\text{C}_3\text{S}$  (y se sobrestima el  $\text{C}_2\text{S}$ ) debido a que otros óxidos reemplazan algo del  $\text{CaO}$  en el  $\text{C}_3\text{S}$ .

Las ecuaciones de Bogue para determinar el porcentaje de compuestos principales en el cemento aparecen a continuación. Los términos entre paréntesis representan el porcentaje de óxido dado en el peso total del cemento.

$$\text{C}_3\text{S} = 4.07 (\text{CaO}) - 7.60 (\text{SiO}_2) - 6.72 (\text{Al}_2\text{O}_3) - 1.43 (\text{Fe}_2\text{O}_3) - 2.85 (\text{SO}_3)$$

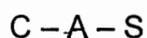
$$\text{C}_2\text{S} = 2.87 (\text{SiO}_2) - 0.754 (3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2)$$

$$\text{C}_3\text{A} = 2.65 (\text{Al}_2\text{O}_3) - 1.69 (\text{Fe}_2\text{O}_3)$$

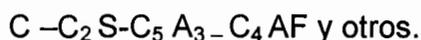
$$\text{C}_4\text{AF} = 3.04 (\text{Fe}_2\text{O}_3)$$

Además de los componentes principales citados en cuadro 3.2, existen algunos componentes menores como  $MgO$ ,  $TiO_2$ ,  $Mn_2O_3$ ,  $K_2O$  y  $Na_2O$ , que generalmente no sobrepasan de un pequeño porcentaje del peso del cemento. Dos de los componentes menores revisten interés: los óxidos de sodio y potasio,  $Na_2O$  y  $K_2O$ , conocidos como *álcalis* (aunque en el cemento existen también otros álcalis). Se ha encontrado que estos componentes reaccionan con algunos agregados y que los productos de esa reacción ocasionan una desintegración del concreto, además de afectar la rapidez con que el cemento adquiere resistencia. Debido a esto, se debe destacar que el término "componentes menores" se refiere principalmente a la cantidad, pero no necesariamente a su importancia. La cantidad de álcalis y de  $Mn_2O_3$  puede determinarse rápidamente utilizando un espectrofotómetro.

La composición de los componentes del cemento ha quedado establecida sobre todo gracias a la realización de estudios de equilibrios de fase de sistema ternarios:



Y el sistema cuaternario:



Se ha observado el curso del proceso de fundición o cristalización y se han calculado las composiciones de las fases líquidas y sólidas a cualquier temperatura. Además de los métodos de análisis químico, la composición real del clinker puede determinarse por exámenes con microscopio de preparaciones de polvo, y puede identificarse con medidas del índice de refacción. Las cantidades de los dos silicatos pueden medirse con un micrómetro de Shands, utilizando una sección muy fina (similar a la utilizada en estudios petrográficos) en luz

transmitida. Las secciones pulidas y con textura pueden usarse también con luz transmitida o reflejada. Entre otros métodos se incluyen el uso de difracción de rayos X del polvo para identificar las fases cristalinas, además del estudio de la estructura cristalina de alguna de las fases por análisis térmico diferencial; el análisis cuantitativo también se puede llevar a cabo, pero involucraría calibraciones complicadas. Otro adelanto ha sido el uso de microscopio electrónico, el cual produce un gran aumento a partir de un haz electrónico, en vez de ondas luminosas.

La estimación de la composición del cemento se ha simplificado con métodos nuevos y más rápidos para determinar la composición elemental, como la fluorescencia de rayos X y el microanálisis por sondeo electrónico. La difracción de rayos X es útil para determinar el limo libre, es decir, el CaO como una forma diferente del  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , y esto es conveniente para controlar el desempeño del horno.

El  $\text{C}_3\text{S}$ , que normalmente se presenta en las mayores proporciones, se encuentra por lo general en forma de granos incolores equidimensionales. Al enfriarse a menos de  $1\ 250^\circ\text{C}$ , se descompone lentamente, pero si el enfriamiento no es demasiado lento, el  $\text{C}_3\text{S}$  permanece inalterado y es relativamente estable a temperaturas normales.

Se sabe que el  $\text{C}_2\text{S}$  posee tres o quizá cuatro formas cristalinas:

a-  $\text{C}_2\text{S}$ , que presenta a altas temperaturas, se invierte en la forma  $\beta$  a  $1\ 450^\circ\text{C}$ . La forma  $\beta\text{-C}_2\text{S}$  experimenta inversiones ulteriores en  $\text{g-C}_2\text{S}$ , a  $670^\circ\text{C}$ , pero a las velocidades de enfriamiento de cementos comerciales, la  $\beta\text{-C}_2\text{S}$ , permanece en el clinker. La  $\beta\text{-C}_2\text{S}$  forma granos redondeados, los cuales suelen presentarse asociados por pares.

El  $C_3A$  forma cristales rectangulares, pero si se enfría como si fuera vidrio constituye una fase amorfa intersticial.

El  $C_4AF$  es realmente una solución sólida que fluctúa desde  $C_2F$  hasta  $C_6A_2F$ ; sin embargo, la reparación  $C_4AF$  es una simplificación adecuada.

Las cantidades efectivas de los diferentes tipos de compuestos varían de manera considerable de un cemento a otro y realmente es posible obtener distintos tipos de cemento agregando en forma proporcional los materiales correspondientes. Hace algún tiempo se hizo un intento en los Estados Unidos de controlar las propiedades de los cementos requeridos para diferentes finalidades, especificando los límites de los cuatro componentes principales, calculados a partir del análisis de los óxidos.

Este procedimiento eliminaría muchas pruebas físicas que actualmente deben realizarse; pero por desgracia la mezcla de compuestos calculada no es lo suficientemente precisa, no considera todas las propiedades principales del cemento, por lo cual no puede servir como sustituto de las pruebas directas de las propiedades requeridas.

Es posible obtener una idea general de la composición del cemento en la cuadro 3.3. en donde se indican los límites de la mezcla de los diferentes óxidos de los cementos Pórtland. El cuadro 3.4 proporciona las composiciones de óxidos para un cemento normal así como la mezcla de compuestos obtenida por cálculo mediante la ecuación de Bogue.

Cuadro 3.2 Límites de composición aproximados para cemento Pórtland

<i>Oxido</i>	<i>Contenido porcentaje</i>
CaO	60-67
SiO <sub>2</sub>	17-25
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3-8
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.5-6.0
MgO	0.1-4.0
Álcalis	0.2-1.3
SO <sub>3</sub>	1-3

Cuadro 3.3 Óxidos y compuestos de un cemento Pórtland normal

<b>Análisis químico %</b>	
SiO <sub>2</sub>	21.00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.6
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.2
CaO	64.5
MgO	2.0
SO <sub>3</sub>	2.9
Pérdida por ignición	1.5
Residuo insoluble	0.3
CaO libre	1.1
Na <sub>2</sub> O	0.3
K <sub>2</sub> O	0.24
Álcalis totales	0.46

Dos términos mencionados en cuadro 3.3 requieren explicación. El residuo insoluble, determinado por el tratamiento con ácido clorhídrico, es una medida de la adulteración del cemento, que proviene principalmente de las impurezas del yeso. La BS 12: 1978 limita el residuo insoluble a un 1.5% del peso del cemento. La pérdida por ignición muestra la medida de carbonatación e hidratación de la cal libre y de la magnesia libre, debido a la exposición del cemento a la atmósfera. La máxima pérdida por ignición (a 1 000° C) del cemento permitida por la BS 12: 1978 es de un tres por ciento en clima templado y de un cuatro por ciento en los trópicos. Puesto que la cal libre hidratada es inocua para una cantidad dada de cal libre, es muy conveniente tener mayor pérdida por ignición.

Según la norma ASTM C 150 " Specification for Portland Cement" El cemento deberá cumplir con alguna de las siguientes especificaciones:

a. ASTM C 595 "Specification for Blended Hydraulic Cements" del cual se excluyen los tipos S y SA ya que no emplean como cementantes principales en el concreto estructural.

b. ASTM C 845 " Specification for expansive Hydraulic Cement"

### **III.1.1 Difracción de Rayos X**

La técnica de difracción de rayos X tiene dos objetivos principales:

- a. Analíticamente la identificación de compuestos desconocidos.
- b. Estructuralmente para suministrar la información sobre la constitución de los compuestos individuales

Todo cuerpo sólido esta compuesto de átomos, iones o moléculas, estrechamente ligados en una forma de masa coherente, donde los átomos individualmente, solo tienen una capacidad limitada de movimiento con relación a los demás, por lo cual ocupan posiciones fijas, si esta posiciones se repiten a

intervalos regulares en todas las direcciones del espacio, se dice que la sustancia es cristalina, en caso contrario se denomina amorfa.

Los Rayos X son ondas electromagnéticas que se difractan por los cristales, igual que le sucede a la luz a través de una rendija. El arreglo regular de átomos o iones en un sólido cristalino es espaciado y corresponde dimensionalmente a la longitud de onda de los rayos X y por lo tanto para sólidos que no son cristalinos (amorfos), la difracción de rayos X no funciona.

El principio de la Difracción de los Rayos X es el siguiente; cuando un haz de rayos X pasa a través de un sólido cristalino encuentra varios grupos de planos paralelos de átomos, el haz difractado se anula a menos que se encuentre en fase, la condición se describe por la ecuación de Bragg.

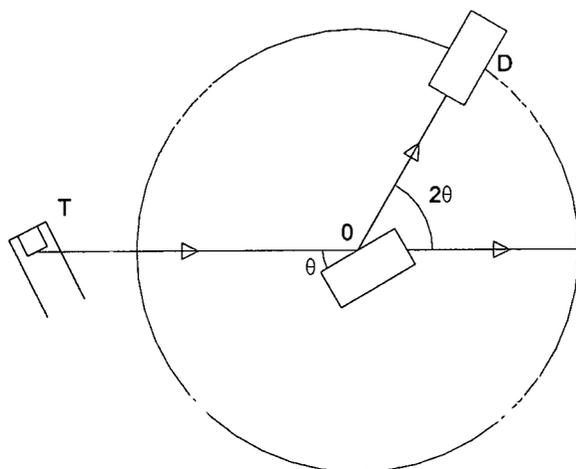


Figura 3.1 Difractómetro Rayos X de Bragg

En el difractómetro de rayos X de Bragg (Figura 3.1), la radiación del tubo T baña el cristal C, que está montado de manera que puede ser rotado; el ángulo de rotación se mide en la escala del instrumento. Rotando el cristal es posible enfocar el haz coherente dispersado de cada conjunto de planos a la cámara de detección D. La respuesta de un detector, una cámara de ionización, en varios ángulos de rotación puede registrarse para obtener un patrón de picos para varios valores de  $\theta$ , puede calcularse el espaciamiento interplanar mediante la ecuación de Bragg

$$n\lambda = 2d \sin \theta$$

Donde:

$\lambda$  = la longitud de onda de los rayos X

$d$  = la distancia entre los planos

$\theta$  = el ángulo de incidencia de los Rayos X sobre los planos.

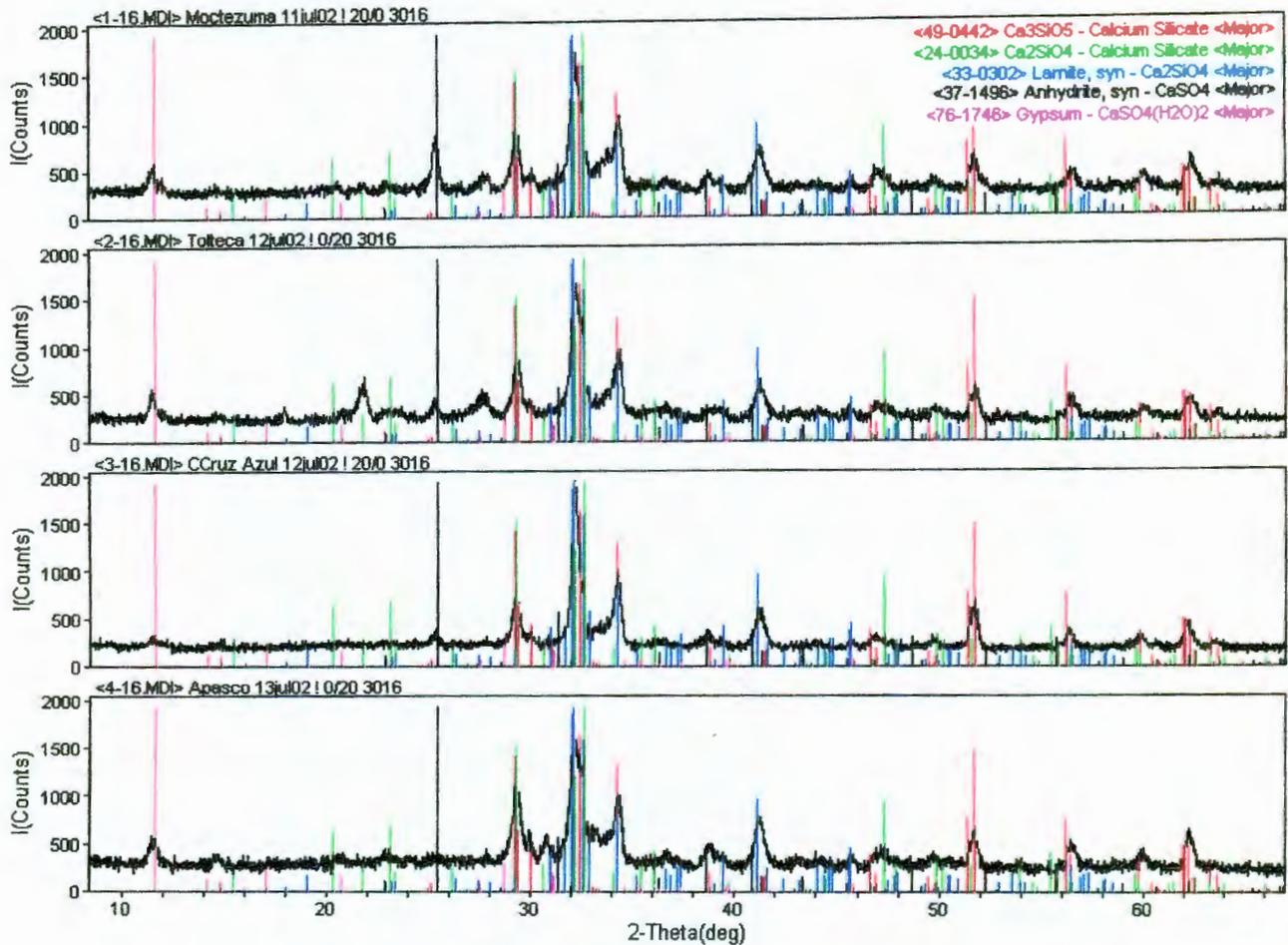
En la practica, los valores de  $\theta$  se pueden medir y la longitud de los rayos X es conocida, por lo tanto se pueden calcular los valores de "d" que están relacionados con las dimensiones y simetría de la celda donde se lleva a cabo la difracción, la incidencia del haz difractado en cada dirección se puede medir, y la estructura completa del sólido se puede determinar.

Una vez que se obtiene el difractograma, con los picos más altos y de acuerdo a la longitud de onda de los rayos X, se identifica a los compuestos cristalinos presentes en el sólido.

### III.1.2 Resultados de Difracción de Rayos X

Las figuras 3.2, 3.3, 3.4, y 3.5 muestran las pruebas realizadas a los cementos en las cuales se identifica la fecha en la cual el material fue utilizados; de donde se puede observar que los compuestos encontrados para todos los

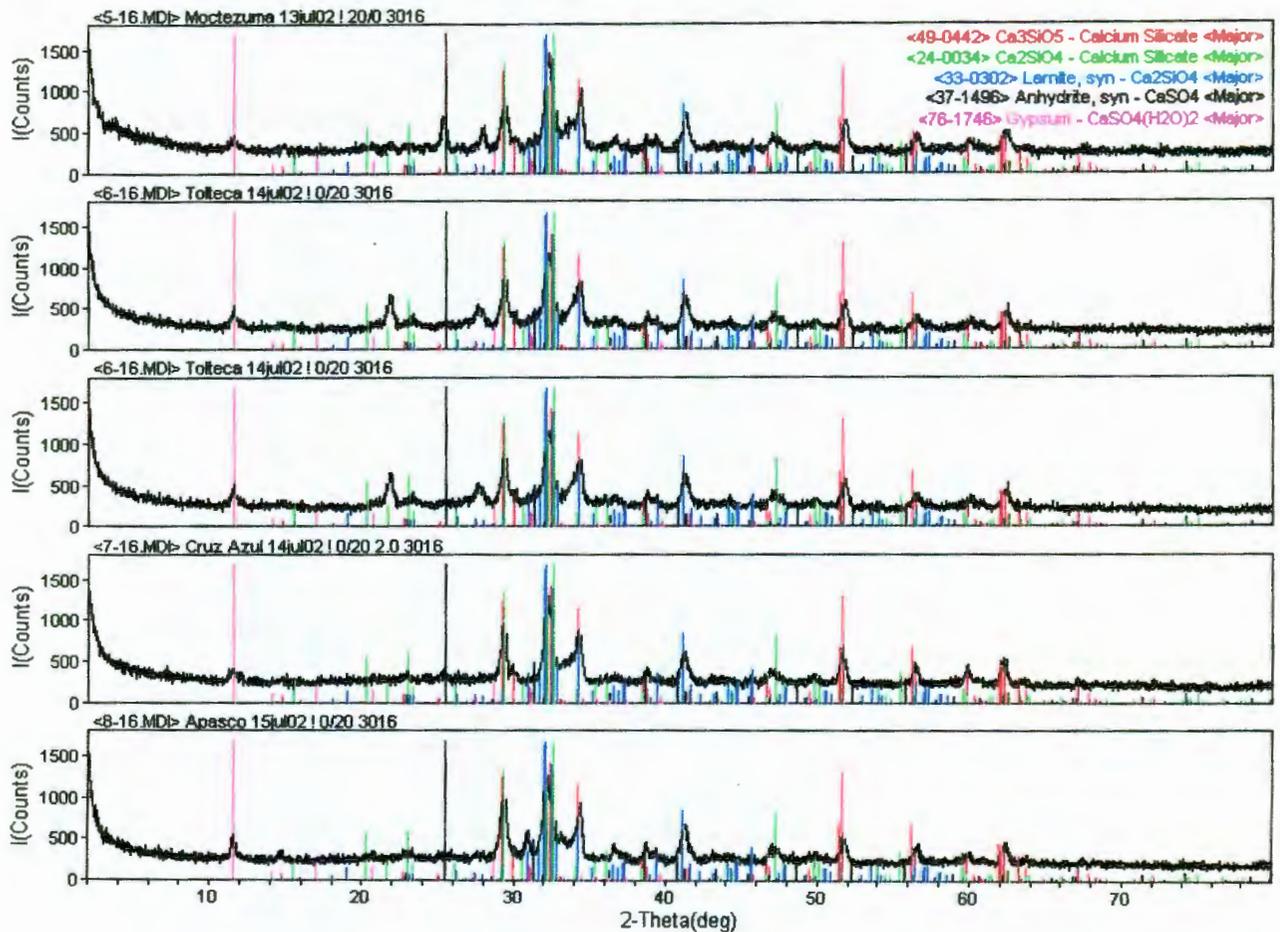
cementos coinciden y son: silicato dicalcico , anhidrita, yeso y larnita; la diferencia solo es en cantidad de manera cualitativa.



Cinvestav

&lt;c:\viva\data\drmanz=1\cementos&gt; Tuesday, Sep 24, 2002 001

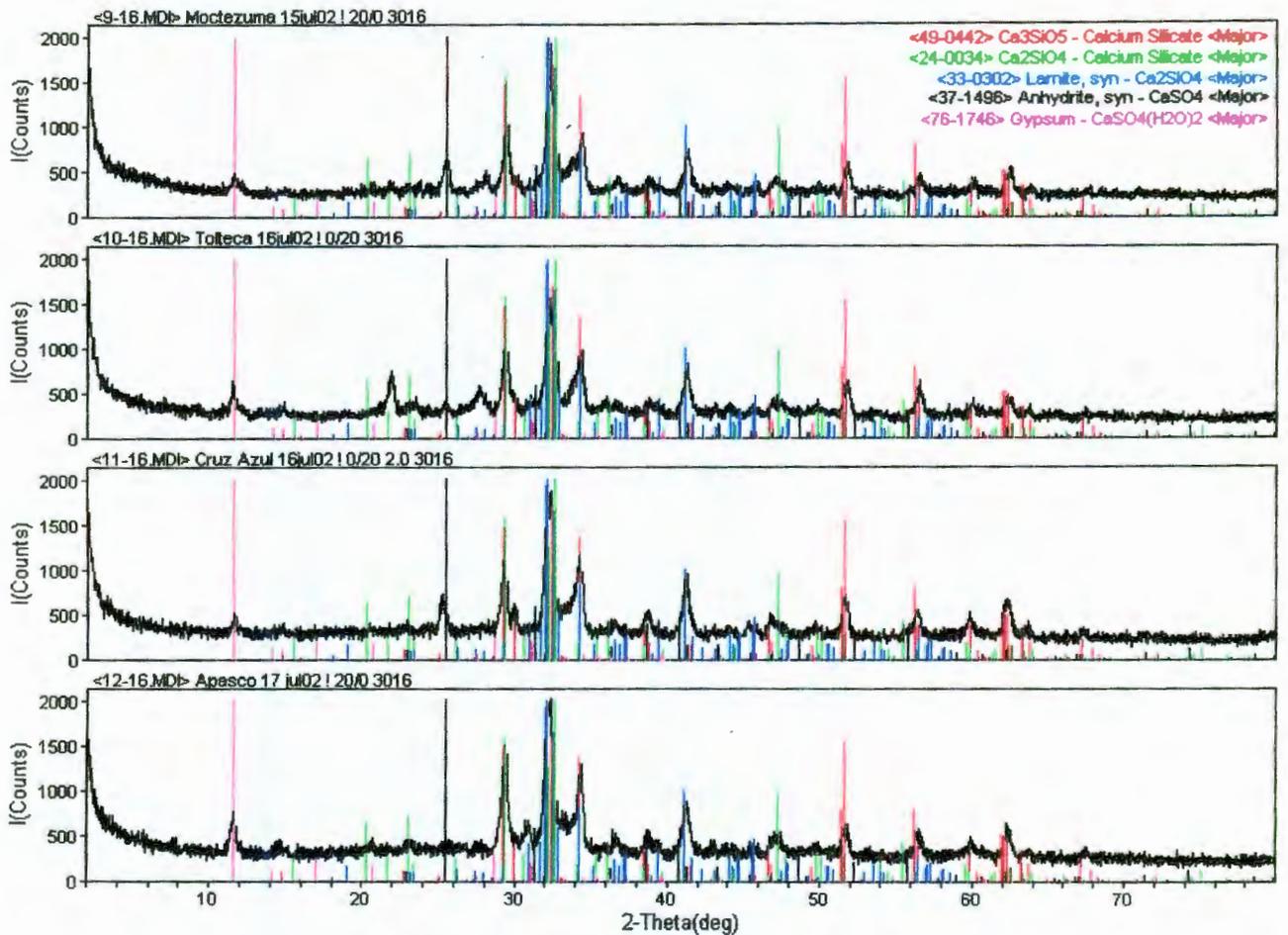
Figura 3.2 Difracción de rayos X de los cementos Apasco, Cruz Azul, Moctezuma y Tolteca utilizados entre el 11 y el 13 de julio de 2002



Cirvestav

 $\langle c:\backslash\text{ioaku}\backslash\text{data}\backslash\text{dirmanz}\backslash 1\backslash\text{cementos} \rangle$  Tuesday, Sep 24, 2002 @01:30

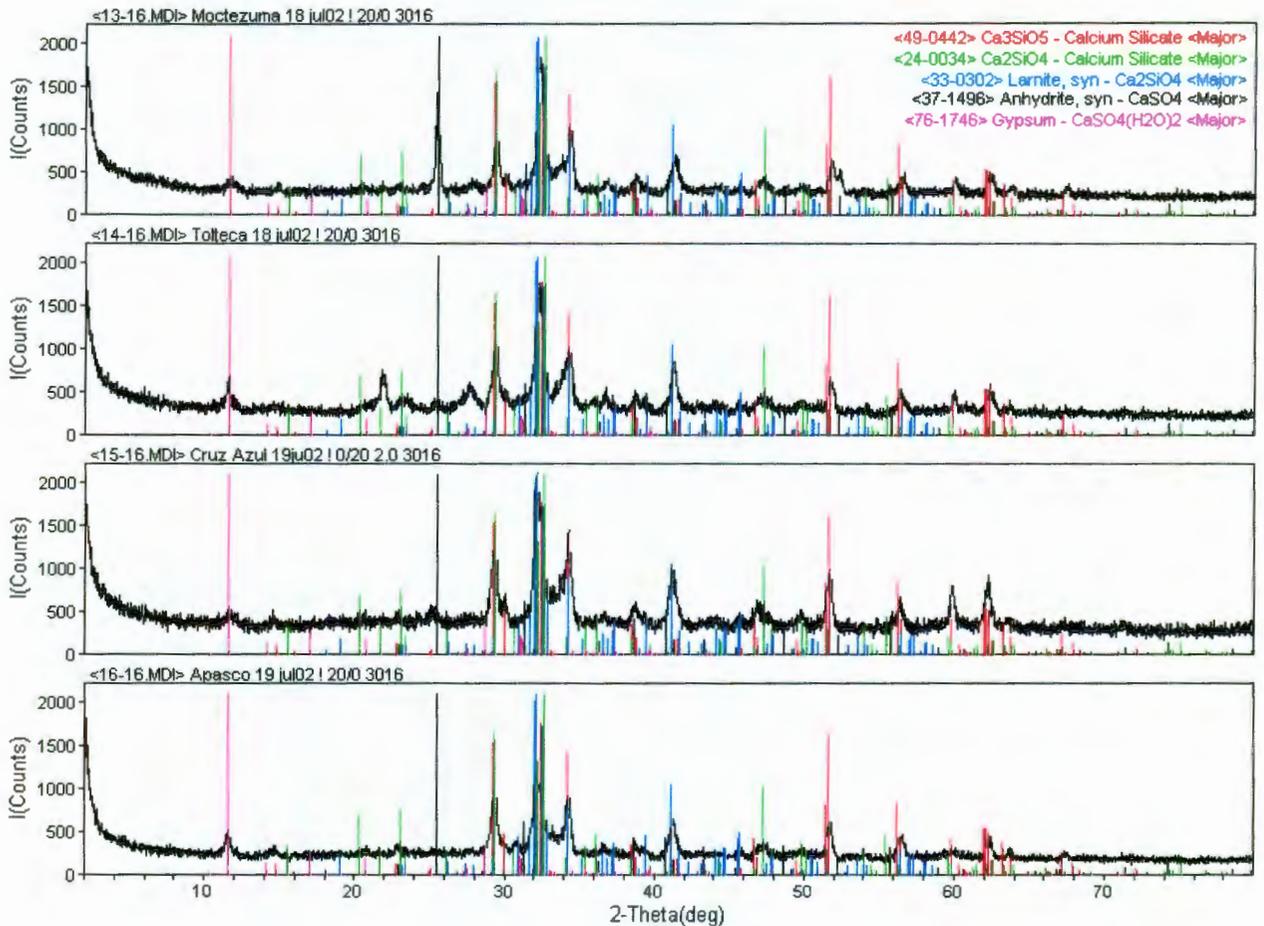
Figura 3.3 Difracción de rayos X de los cementos Apasco, Cruz Azul, Moctezuma y Tolteca utilizados entre el 13 y el 15 de julio de 2002



Cinvestav

&lt;c:\vialku\data\drmanz-1\cementos&gt; Tuesday, Sep 24, 2002 @01

Figura 3.4 Difracción de rayos X de los cementos Apasco, Cruz Azul, Moctezuma y Tolteca utilizados entre el 15 y el 17 de julio de 2002



Cinvestav

<c:\riaaku\data\drmanz-1\cementos> Tuesday, Sep 24, 2002 10:01:31

Figura 3.5 Difracción de rayos X de los cementos Apasco, Cruz Azul, Moctezuma y Toluca utilizados entre el 18 y el 19 de julio de 2002

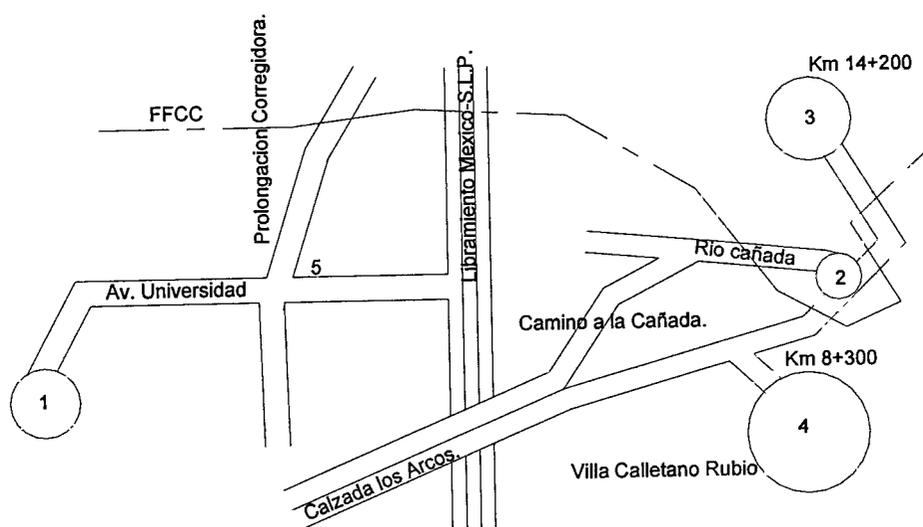
## III.2 Propiedades Físicas

Las propiedades físicas de los componentes del concreto son datos necesarios y dosificar la cantidad de componentes del concreto para las condiciones específicas definidas

### III.2.1 Agregados

Las propiedades físicas de los agregados son como se ha mencionado, importantes para determinar el diseño de mezcla y establecer las cantidades de material para elaborar el concreto, estas propiedades son el peso volumétrico, absorción, contenido de humedad, granulometría, densidad.

La figura 3.6 nos permite conocer la ubicación de los bancos de material (Banco de arena de mina "Saldarriaga" y trituradora " La Cañada") de los cuales se extrajeron la arena y la grava utilizadas como agregados en las pruebas del presente trabajo



- 1.- Universidad Autónoma de Querétaro.
- 2.- Saldarriaga.
- 3.- Banco de materiales " Saldarriaga".
- 4.- Planta de trituración de piedra "La Cañada" Km 8.3
- 5.- Hospital

Figura 3.6 Croquis de localización de los bancos de materiales.

### III.2.1.1 Arena

La arena que se utilizó en las pruebas es arena de mina que se extrajo del Banco de Saldarriaga ubicado en el municipio del Marqués (Figura 3.6). El material presenta una tonalidad predominantemente de color claro y con pocos grumos, con un bajo contenido de piedra pómez y basalto vesicular altamente oxidado (tezontle)

#### III.2.1.1.1 Contenido de humedad y absorción

El contenido de humedad se determinó calculando la cantidad de agua que presentó el material en el momento de su uso, este dato se obtuvo en varios momentos, al realizar cada una de las pruebas de calidad al material y en el momento de realizar la prueba. La absorción es la capacidad que tiene el material

de retener humedad y por tanto no cambia con el tiempo, a menos que se afecte la estructura del material. Para el calculo se emplearon las siguientes formulas:

$$\%w = \frac{Pw - Ps}{Ps} X100$$

$$ABSORCION = \frac{Psss - Ps}{Ps} X100$$

Donde:

Pw= Peso del material en condiciones de campo.

Ps = Peso constante del material en condición seca

Psss= Peso del material en condición de saturado y superficialmente seco

%w = Porcentaje de humedad

Los resultados representan las condiciones que tenía el material en el momento de llegar al laboratorio, y que permitieron desarrollar las demás determinaciones (Cuadro 3.4).

Cuadro 3.4 Resultados de contenido de humedad y absorción para la arena

Material	% Absorción	%w
Arena	7.7	10.3

Estos datos nos permiten establecer que la arena se encuentra parcialmente saturada por lo cual se deberá hacer ajuste en la cantidad de agua en el diseño de la mezcla.

### III.2.1.1.2 Densidad

La densidad de la arena o peso específico relativo se realizó utilizando el principio de Arquímedes y se realizó como se describe:

Se colocaron 200 gr. de arena en condición de saturado y superficialmente seco (S.S.S:) y en un recipiente para su secado, el método empleado fue fuego directo, hasta obtener el peso constante o peso seco.

Simultáneamente se colocaron 200 gr. de arena en un matraz aforado de 500 centímetros cúbicos. Luego se extrajo el aire del matraz con una bomba de vacío, después se aforo hasta el nivel y se pesó el matraz con el material y el agua. Se obtuvieron los siguientes resultados.

$$\text{PESO ESPECIFICO RELATIVO} = \frac{P_s}{P_s + (P_M + P_a) - (P_M + P_m + P_a)}$$

Donde:

PM = Peso de matraz.

Pm = Peso de la muestra en condición saturada y superficialmente seca

Pa = Peso del agua

(Pm+Pa)= Peso del matraz con agua hasta el nivel de aforo a T °c.

Ps = Peso seco del material

El valor de densidad que se obtuvo para la arena fue de 2.34, la cual es aproximadamente cercana a la densidad esperada para materiales de la región.

### III.2.1.1.3 Pesos Volumétricos

Para determinar los pesos volumétricos suelto y compacto, se realizaron tres pruebas el resultado atendiendo a la norma para la arena que permite como tolerancia una diferencia máxima de  $10 \text{ kg/m}^3$  entre cualquiera de los resultados y obteniendo el promedio, fue el valor utilizado en los cálculos del diseño de mezcla, en los cuadros 3.5 y 3.6.

Cuadro 3.5 Resultados de las pruebas para la determinación del peso volumétrico suelto de la arena.

Peso del recipiente + material (kg)	Peso del recipiente (kg)	Peso neto del material (kg)	Volumen de recipiente (lt)	P.V.S.H. ( $\text{kg/m}^3$ )	% w	P.V.S.S.
						( $\text{kg/m}^3$ )
5.030	1.843	3.187	2.876	1108.136	4.93	1056.072
5.080	1.843	3.237	2.876	1125.522	4.93	1072.640
5.080	1.843	3.237	2.876	1125.522	4.93	1072.640
			Prom=	<b>1119.726</b>	Prom=	<b>1067.118</b>

Cuadro 3.6 Resultados de las pruebas para la determinación del peso volumétrico compacto de la arena.

Peso del recipiente + material (kg)	Peso del recipiente (kg)	Peso neto del material (kg)	Volumen de recipiente (lt)	P.V.C.H. (kg/m <sup>3</sup> )	% w	P.V.C.S. (kg/m <sup>3</sup> )
5.560	1.843	3.717	2.876	1292.420	4.93	1231.697
5.580	1.843	3.737	2.876	1299.374	4.93	1238.325
5.575	1.843	3.732	2.876	1297.636	4.93	1236.668
			Prom=	<b>1296.477</b>	Prom=	<b>1235.563</b>

Donde:

P.V.S.H.= Peso Volumétrico Suelto Húmedo

P.V.S.S.= Peso Volumétrico Suelto Seco

P.V.C.H.= Peso Volumétrico Compacto Húmedo

P.V.C.S.= Peso Volumétrico Compacto Seco.

%w= Porcentaje de humedad

#### III.2.1.1.4 Granulometría

El análisis granulométrico nos permite conocer la distribución de tamaños y como se acomodarán los agregados, tiene una relación directa con la porosidad del concreto. Además aporta información importante como el módulo de finura, y el contenido de finos (arcilla y limo) en el material.

Otro de los elementos que aportan para el diseño de la mezcla es la granulometría, la cual nos permitirá conocer el grado de acomodo de las partículas

(Cuadro 3.7) así como la gráfica de granulometría en la cual se comparan los resultados con las especificaciones (Figura 3.7), y podemos observar que la gráfica de composición granulométrica se encuentra dentro de los límites sin embargo muy próxima de exceder el limite superior

Cuadro 3.7 Tabla de análisis granulométrico para la arena.

Mallas	%RA
No.8	9
No.16	28
No.30	68
No.50	90
No.100	98
No.200	100

Donde: %RA es el porcentaje de pesos retenidos acumulados

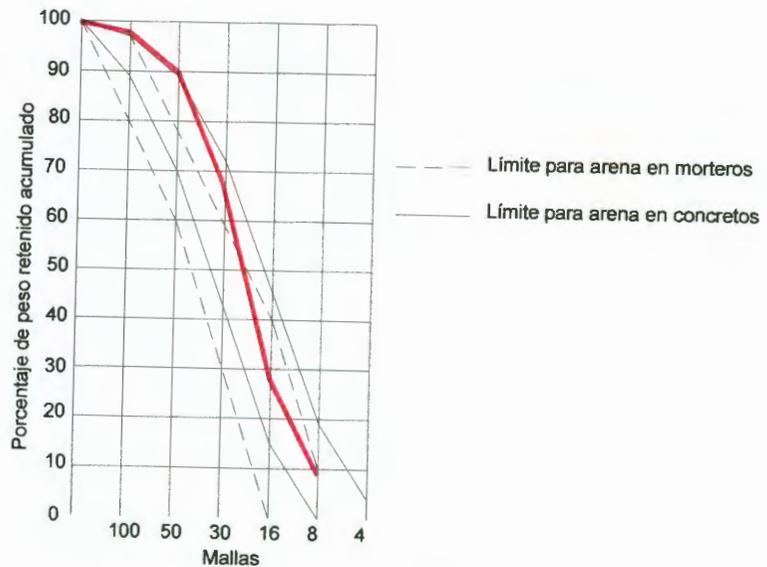


Figura 3.7 Gráfica de composición granulométrica de la arena, comparada con las especificaciones respectivas

El modulo de finura se define como la suma de los porcentajes acumulados retenidos en los tamices de la serie normada (ASTM No. 100, 50, 30, 16, 8, 4). Se puede considerar el módulo de finura como promedio ponderado de tamaño de tamiz en el cual es retenido el material, siendo los tamices contados a partir del más fino

$$\text{Modulo de finura} = \frac{\% \text{ de retenidos acumulados}}{100}$$

Derivado del estudio granulométrico el módulo de finura que se obtuvo para la arena después de concluir el análisis granulométrico es 2.93

Algunas determinaciones adicionales fueron el contenido de materia orgánica, a través de colorimetría y el equivalente de arena, los cuales se muestran en el resumen en la siguiente tabla.

Cuadro 3.8 Resumen de los resultados de calidad para la arena.

Propiedad	Valor
Peso Vol. suelto kg/m <sup>3</sup>	1067.118
Peso Vol. compacto kg/m <sup>3</sup>	1235.563
Densidad aparente	2.34
Absorción	7.7
Materia orgánica -No. de color	3
Equivalente de arena	87
% de grava en la muestra.	2.5
% de arena de la muestra.	97.5
Módulo de finura	2.93

Los parámetros encontrados en este material permiten establecer que el material se ajusta en lo general a las especificaciones y puede considerarse como aceptable para la elaboración de concreto hidráulicos.

### III.2.1.1 Grava

La grava es de origen basalto que proviene de una roca ígnea extrusiva de color gris y textura afanítica, es un producto triturado de forma sensiblemente lajeada, proviene de la planta de trituración de "la cañada" ubicada en el municipio de El marqués (figura 3.6)

#### III.2.1.2.1 Contenido de humedad y absorción

El contenido de humedad se desarrolló calculando la cantidad de agua que presente en el material en el momento de su uso, este dato se determinó en varios momentos, al realizar cada una de las pruebas de calidad al material y en el momento de realizar la prueba. La absorción es la capacidad que tiene el material de retener humedad y por tanto no cambia con el tiempo, a menos que se afecte la estructura del material. Para el cálculo al igual que para la arena se emplearon las siguientes formulas:

$$\%w = \frac{Pw - Ps}{Ps} \times 100$$

$$ABSORCION = \frac{P_{sss} - Ps}{Ps} \times 100$$

Donde:

Pw= Peso del material en condiciones de campo.

Ps = Peso constante del material en condición seca

Psss= Peso del material en condición de saturado y superficialmente seco

%w = Porcentaje de humedad

Los resultados representan las condiciones que tenía el material en el momento de llegar al laboratorio, y que permitieron desarrollar las demás determinaciones (Cuadro 3.9)

Cuadro 3.9      Resultados de contenido de humedad y absorción para la grava

Material	% Absorción	%w
Grava	5.7	2.6

### III.2.1.2.2 Densidad

Se tomaron 1000 gramos de grava con la siguiente característica granulométrica, que se retuviera en la malla 3/8" y pasara la malla 3/4". Se colocó la grava en un vaso de aluminio con agua y se saturó por inmersión durante 24 horas a temperatura ambiente. Una vez saturado se lavó el material, se llevó el material a condición de saturado y superficialmente seco, de este material se tomaron 500 gramos y se colocaron en un picnómetro calibrado, para luego conocer el volumen de líquido desalojado.

$$\text{PESO ESP. RELATIVO} = \frac{P_s}{V}$$

Donde:

$P_s$  = Peso seco del material (gramos)

$V$  = Volúmen desalojado (Centímetros cúbicos).

El valor obtenido de la densidad para la grava fue 2.47

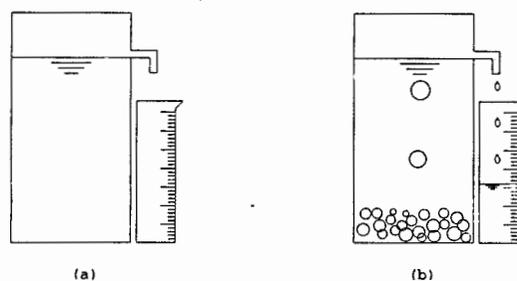


Figura 3.8 Prueba de densidad para la grava (a) Picnómetro calibrado (b) Obtención del volumen desalojado por la grava

### III.2.1.2.3 Pesos Volumétricos

A continuación se presentan los resultados de los ensayos para determinar los pesos volumétrico suelto y compacto (Cuadro 3.10, 3.11) para la grava.

Cuadro 3.10 Resultados de las pruebas para determinar el peso volumétrico compacto de la grava.

Peso del recipiente + material (kg)	Peso del recipiente (kg)	Peso neto del material (kg)	Volumen de recipiente (lt)	P.V.S.H. (kg/m <sup>3</sup> )	% w	P.V.S.S. (kg/m <sup>3</sup> )
17.900	3.836	14.064	9.707	1448.851	15.2	1257.683
18.000	3.836	14.164	9.707	1459.153	15.2	1266.626
18.400	3.836	14.564	9.707	1500.361	15.2	1302.396
			Prom=	<b>1469.455</b>	Prom=	<b>1275.569</b>

Cuadro 3.11 Resultados de las pruebas para determinar el peso volumétrico compacto de la grava

Peso del recipiente + material (kg)	Peso del recipiente (kg)	Peso neto del material (kg)	Volumen de recipiente (lt)	P.V.C.H. (kg/m <sup>3</sup> )	% w	P.V.C.S. (kg/m <sup>3</sup> )
19.200	3.836	15.364	9.707	1582.775	15.2	1373.937
19.500	3.836	15.664	9.707	1613.681	15.2	1400.765
19.700	3.836	15.864	9.707	1634.285	15.2	1418.650
			Prom=	<b>1610.247</b>	Prom=	<b>1397.784</b>

Donde:

P.V.S.H.= Peso Volumétrico Suelto Húmedo

P.V.S.S.= Peso Volumétrico Suelto Seco

P.V.C.H.= Peso Volumétrico Compacto Húmedo

P.V.C.S.= Peso Volumétrico Compacto Seco.

%w= Porcentaje de humedad

#### III.2.1.2.4 Granulometría

Las características de superficie, forma y tamaño de las partículas y la combinación de tamaños (granulometría) son las que influyen principalmente en la resistencia del concreto. Las características de superficie afectan a la resistencia del concreto, afectando la adherencia entre la pasta de cemento y las partículas de los agregados. La presencia o ausencia de polvo o arcilla adheridos, son características que tienen más efecto sobre la resistencia a flexión que a compresión en los esfuerzos de flexión

El análisis granulométrico nos permite conocer la distribución de tamaños y como se acomodarán los agregados, tiene una relación directa con la porosidad del concreto. Además, aporta información importante como el módulo de finura, y el contenido de finos (arcilla y limo) en el material. La granulometría se detalla en los siguientes cuadros

Cuadro 3.12 Tabla de análisis granulométrico para la grava.

Mallas	%R Ac.
3"	
2"	
1 1/2"	
1"	0
3/4"	8
1/2"	38
3/8"	65
No.4	92
Charola	---

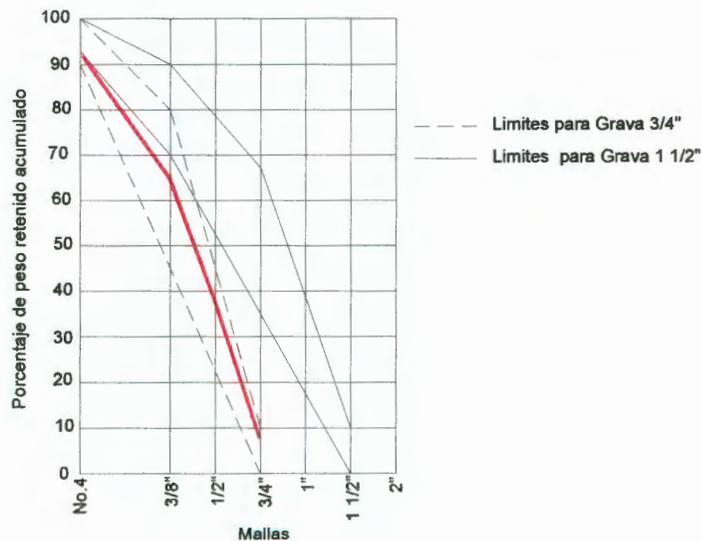


Figura 3.9 Gráfica de composición granulométrica de la grava, comparada con las especificaciones respectivas

Algunas determinaciones adicionales fueron el % de desgaste que se presenta en el punto III.3.1; sin embargo, se anota en el resumen del cuadro 3.13.

Cuadro 3.13 Resumen de los resultados de las pruebas realizadas a la grava

Propiedad	Valor
Peso vol. suelto $\text{kg/m}^3$	1275.569
Peso vol. Compacto $\text{kg/m}^3$	1397.784
Densidad aparente	2.47
Absorción	5.7
% de grava en la muestra	92
% de arena de la muestra	8
% de desgaste.	12.3
% Material que pasa No.200	8

Los parámetros encontrados en este material permiten establecer que el material se ajusta en lo general a las especificaciones y puede considerarse como aceptable para la elaboración de concreto hidráulico.

### III.2.2 Concreto

Para determinar las cantidades de material necesarias para la elaboración del concreto de prueba se propusieron condiciones que regularmente se utilizan en la región y que las dependencias gubernamentales acotan como resistencia de proyecto para el concreto estructural, en edificación.

$$f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Revenimiento} = 6-8 \text{ cm} \pm 1.5 \text{ cm}$$

$$\text{Agregado máximo} = \frac{3}{4}''$$

### III.3 Propiedades Mecánicas

Dentro de las propiedades mecánicas se analiza el desgaste en la grava, la metodología para llevar a cabo la prueba a compresión, el diseño de mezcla y los resultados obtenidos de la prueba.

#### III.3.1 Agregados (Desgaste)

La prueba consiste en someter el material con granulometría conocida a un proceso de abrasión en la máquina de los Ángeles; se introdujo la muestra junto con la carga abrasiva (esferas metálicas) y por un proceso rotatorio de la máquina se produjo el efecto de abrasión e impacto.

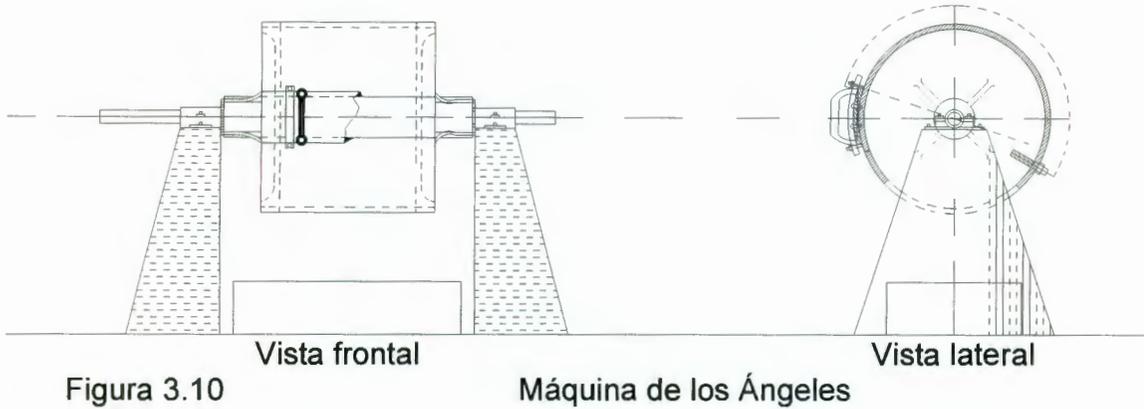
Se seleccionó en cuadro el tipo de muestra y los demás requisitos de la prueba, en función de la granulometría (Cuadro 3.14) que corresponda al material de acuerdo a la muestra original. En cada caso se seleccionará el tipo de muestra que se apegue más a la composición granulométrica del material a ensayar. Se determinará también el número de esferas para formar la carga abrasiva, tomando en cuenta el tipo de la muestra de prueba seleccionado.

Se obtuvo un muestra representativa cuarteando el material para las cantidades que se expresan en el cuadro 3.14. Las cuales representaron a la granulometría tipo "B" requerida para materiales con tamaño máximo de  $\frac{3}{4}$ " y retenido en la malla No.4. El material retenido en la malla de  $\frac{3}{4}$ " y que pasa la malla de  $\frac{3}{8}$ ", se deshecha.

Se colocó en el cilindro de la máquina de Los Ángeles (Figura 3.10) la muestra con peso predeterminado y con la carga abrasiva correspondiente.

Cuadro 3.14 Tabla para seleccionar el tipo de muestra y la carga abrasiva necesaria

Tipo de muestra	Pasa malla No.	Retiene malla No.	Peso de muestra (gramos)	No. Esferas.	Peso total (gramos)
A	1 1/2"	1"	1250 (+- 25)	12	5000(+25)
	1"	3/4"	1250 (+- 25)		
	3/4"	1/2"	1250 (+- 25)		
	1/2"	3/8"	1250 (+- 25)		
		Total=	5000 (+- 10)		
B	3/4"	1/2"	2500 (+- 10)	11	4584(+25)
	1/2"	3/8"	2500 (+- 10)		
		Total=	5000 (+-10)		
C	9.5 mm	6.3 mm	2500 (+- 10)	8	3330(+20)
	6.3 mm	4.75 mm	2500 (+- 10)		
		Total=	5000 (+- 10)		
D	4.75 mm	2.36 mm	5000 (+- 10)	6	2500(+15)
		Total=	5000 (+- 10)		
E	75 mm	63 mm	2500 (+- 50)	12	5000(+25)
	63 mm	50 mm	2500 (+- 50)		
	50 mm	37.5 mm	5000 (+- 50)		
		Total=	10000(+100)		
F	50 mm	37.5 mm	5000 (+- 50)	12	5000(+25)
	37.5 mm	25 mm	5000 (+- 50)		
		Total=	10000(+ 75)		
G	37.5 mm	25.0 mm	5000 (+- 25)	12	5000(+25)
	25.0 mm	19.0 mm	5000 (+- 25)		
		Total=	10000(+50)		



Se colocó el material adecuado (tabla 3.15) en la máquina de los ángeles operando a una velocidad uniforme (de 30 a 33 revoluciones por minuto) hasta completar 500 revoluciones.

Se extrajo el material de la máquina y se cribó por la malla No.12, protegiéndola con malla No.4, al terminar se lavó enérgicamente y se decantó en la malla No.12. Después de este procedimiento se secó el material a fuego lento sobre una parrilla hasta peso constante.

Cuadro 3.15 Material seleccionado para la prueba de desgaste de los Ángeles en la grava

TIPO DE MATERIAL	PESO DE PRUEBA
Pasa malla 3/4" y se retiene en malla 1/2"	2500 gr.
Pasa malla 1/2" y se retiene en malla 3/8"	2500 gr.
T O T A L	5000 gr.

La especificación establece que el desgaste en máquina de los Ángeles para concreto hidráulico debe ser menor al 50%, el cálculo del desgaste se desarrolló apoyado en las siguientes fórmulas

$$\%w = \frac{P_w - P_s}{P_s} \times 100$$

$$P.I.C. = \frac{P.I.}{1 + \frac{\%w}{100}}$$

$$D = \frac{P.I.C. - P_f}{P.I.C.} \times 100$$

Donde:

$\%w$  = Porcentaje de humedad.

$P_w$  = Peso de la muestra húmeda (gr)

$P_s$  = Peso de la muestra seca (gr)

P.I.C. = Peso inicial corregido (gr)

P.I. = Peso inicial (gr)

$P_f$  = Peso final de la muestra de prueba (gr)

D = Desgaste del agregado (%)

El valor obtenido de desgaste fue 12.3 % el cual cumple con la especificación propuesta

### III.3.1.1 Máquina de los Ángeles

La máquina de abrasión de Los Ángeles (Figura 3.10) se compone de un cilindro hueco de acero, cerrado en sus extremos, con un diámetro interior de 711 mm. y longitud interior de 508 mm. Provisto de una abertura para la introducción del material, la cual puede cerrarse herméticamente por medio de una cubierta dispuesta de manera que conserve el contorno de la superficie interior; el cilindro

lleva en su parte interior y a todo lo largo una placa de acero removible de 89 mm de ancho; dicho cilindro esta montado en una base rígida, mediante ejes fijos unidos al centro de la cubierta del mismo, de manera que pueda girar en una posición horizontal, con una velocidad de 30 a 33 revoluciones por minuto.

### **III.3.1 Concreto (Resistencia a la compresión)**

La norma C 31 de ASTM cubre los requisitos para los moldes y para la elaboración y curado de especímenes. Se consideraron las siguientes recomendaciones:

#### **III.3.1.2 Moldes**

Los moldes pueden ser hechos de acero, hierro fundido, plástico, cartón recubierto u otro material que no sea absorbente y que no reaccione con el cemento. Deben ser impermeables al agua y lo suficientemente fuertes y rígidos para evitar que se rompan, se abollen o se deformen durante su uso. Deben cumplir con las tolerancias especificadas de absorción, elongación y dimensionales (ASTM 470).

#### **III.3.1.3 Elaboración de especímenes**

Para hacer especímenes cilíndricos de 15 x 30 cm. de acuerdo con ASTM C 31 (en campo) y ASTM C 192 (en laboratorio) se consideraron las siguientes recomendaciones.

- a. El moldeo se hizo de acuerdo a la norma en los primeros 15 minutos después de que la muestra se integró, de la siguiente manera:
- b. Se llenaron los cilindros en tres capas con un cucharón, figura 3.11
- c. Se varilló cada capa 25 veces, golpeando ligeramente los lados, en esta operación se cerraron los huecos dejados por la varilla, terminando el enrase con una llana metálica.



Figura 3.11 Elaboración de cilindros de concreto en los moldes de 15 x 30 cm

### III.3.1.4 Curado de especímenes de Concreto

Los cilindros se extrajeron de los moldes después de 24 horas y se colocaron en el cuarto de curado donde permanecieron con temperatura controlada de  $23^{\circ} \pm 2^{\circ} \text{C}$  hasta el momento de las pruebas, figura 3.12.



Figura 3.12 Curado de cilindros de concreto con temperatura constante en el cuarto de curado

### III.3.1.5 Cabeceado de cilindros de concreto

El cabeceado de los especímenes cilíndricos de concreto para las pruebas de resistencia a compresión (ASTM C 617). se llevo a cabo con mortero de azufre de resistencia de  $f'_c=350 \text{ kg/cm}^2$ . El cabeceo se hizo con tolerancia de 0.05 mm, perpendicular al eje del cilindro (ASTM C 31), figura 3.13



Figura 3.13 Cabeceo de cilindros de concreto con pasta de azufre

### III.3.1.6 Pruebas de cilindros de concreto

Las pruebas de compresión de los cilindros se realizaron sobre una máquina universal de pruebas calibrada, con una velocidad de carga uniforme de 1.4 a 1.35 kg/cm<sup>2</sup> por segundo, la cual cumple con los requisitos de la ASTM E 4. La superficie de las placas fueron planas tal como lo maraca la especificación, figura 3.14.



Figura 3.14 Pruebas de compresión a cilindros de concreto en la máquina universal. Marca "Forney" Modelo LT-1150 con capacidad de 150 toneladas

**III.3.3 Diseño de mezcla**

Con base en los datos obtenidos de las pruebas efectuadas a los agregados y los datos propuestos para el concreto, se utilizó el método de volúmenes para proporcionar el concreto, el procedimiento se muestra en el cuadro 3.16.

Para un revenimiento de 6-8 centímetros y un tamaño de agregado de 25 milímetros la cantidad de agua de mezclado es 195 litros por metro cúbico de concreto (Cuadro 3.16) sin embargo para el tipo de agregado triturado de la región se consideró; 205 litros por metro cúbico de concreto.

Cuadro 3.16 Requisitos aproximados de agua de mezclado para diferentes revenimientos y tamaños máximos del agregado

Revenimiento (cm)	Agua kg/m <sup>3</sup> de concreto para los tamaños máximos de agregado, indicados en mm							
	10	12.5	20	25	40	50	70	150
Concreto sin aire incluido								
De 3 a 5	205	200	185	180	160	155	145	125
De 8 a 10	225	215	200	195	175	170	160	140
De 15 a 18	240	230	210	205	185	180	170	----
Cantidad aprox. de aire atrapado en concreto sin inclusión de aire en porcentaje	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
Concreto con aire incluido								
De 3 a 5	180	175	165	160	145	140	135	120
De 8 a 10	200	190	180	175	160	155	150	135
De 15 a 18	215	205	190	185	170	165	160	----

Estas cantidades de agua de mezclado se emplean para calcular factores de cemento en mezclas de prueba. Son cantidades máximas de agregado gruesos

angulares, razonablemente bien formados y con granulometría dentro de los límites de especificaciones aceptadas.

El siguiente punto es establecer la relación agua – cemento, con la resistencia propuesta  $f_c = 250 \text{ kg/cm}^2$  se obtiene una relación de 0.62 (cuadro 3.17)

Cuadro 3.17 Relación existente entre la relación agua/cemento y la resistencia a la compresión del concreto.

Resistencia a la compresión a los 28 días $\text{kg/cm}^2$	Concreto sin aire incluido.	Concreto con aire incluido
450	0.38	-----
400	0.43	-----
350	0.48	0.40
300	0.55	0.46
250	0.62	0.53
200	0.70	0.61
150	0.80	0.71

Los valores son resistencias promedio estimadas para concreto que no contiene más del porcentaje de aire que se indica en el cuadro 3.17. Para una relación agua cemento constante se reduce la resistencia del concreto conforme se incrementa el contenido de aire.

La resistencia esta basada en cilindros de 15x30 centímetros, de curado húmedo a los 20 días a  $23 \pm 1.7^\circ\text{C}$  de acuerdo con la sección 9 (b) de la norma ASTM C31 que indica como hacer y curar especímenes para pruebas de compresión y flexión del concreto en el campo. Las resistencias de los cubos serán mayores de un 20% aproximadamente.

La relación presupone un tamaño máximo de agregado de 20 a 30 mm; para un banco dado, la resistencia producida por una relación agua/cemento dada se incrementará conforme se reduce el tamaño máximo.

Con la relación agua/cemento y la cantidad de agua se calculó la cantidad de cemento necesaria por metro cúbico de concreto.

$$C=205/0.62=331 \text{ kg/m}^3.$$

El siguiente cálculo es determinar el volumen del agregado grueso con el modulo de finura (2.93) y el tamaño máximo del agregado  $\frac{3}{4}$ " (Cuadro 3.18).

Cuadro 3.18 Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto.

Tamaño máximo del agregado (mm)	Volumen del agregado grueso varillado en seco por volumen unitario de concreto para distintos módulos de finura de la arena			
	Mód. finura	2.40	2.60	2.80
10	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5	0.59	0.57	0.55	0.53
20	0.66	0.64	0.62	0.60
25	0.71	0.69	0.67	0.65
40	0.76	0.74	0.72	0.70
50	0.78	0.76	0.74	0.72
70	0.81	0.79	0.77	0.75
150	0.87	0.85	0.83	0.81

Los volúmenes están basados en agregados en condiciones de varillado en seco, como se describe en la norma ASTM C29 para peso unitario de agregado. Estos volúmenes se han seleccionado a partir de relaciones empíricas para producir concreto con un grado de trabajabilidad adecuado a la construcción reforzada común. Para concretos menos trabajables como los requeridos en la construcción de pavimentos de concreto, puede incrementarse en un 10% aproximadamente. Para concretos más trabajables, como los que se requieren en

ocasiones cuando el colado se lleva a cabo por medio de bombas, puede reducirse hasta en un 10%.

Con estos datos el volumen de la grava es 0.603 de m<sup>3</sup> por metro cúbico de concreto.

$$Pg = Vg \times PVCSg$$

Donde:

Pg= Peso de la grava en kilogramos por metro cúbico de concreto.

Vg = Volumen de la grava

PVCSg = Peso volumétrico compacto seco de la grava

$$Pg = (0.603) (1397.784) = 842.86 \text{ kilogramos por metro cúbico de concreto.}$$

Como se conoce los volúmenes del cemento, grava y agua, el resto es volumen de arena, por lo tanto se calculó el volumen de arena con la formula siguiente:

$$Va = 1000 - \left( \frac{Pc}{Dc} + \frac{PA}{DA} + \frac{Pg}{Dg} \right)$$

Donde:

Va = Volumen de arena por m<sup>3</sup> de concreto

Pc = Peso del cemento por m<sup>3</sup> de concreto

PA = Peso del agua por m<sup>3</sup> de concreto

Pg = Peso de la grava por m<sup>3</sup> de concreto

Dc = Densidad del cemento

DA = Densidad del agua

Dg = Densidad de la grava

Sustituyendo los valores tenemos;

$$V_a = 1000 - \left( \frac{331}{3.15} + \frac{205}{1} + \frac{885.74}{2.47} \right) = 348.69$$

Para conocer el peso de la arena se utilizó la siguiente fórmula:

$$P_a = V_a \times D_a$$

Donde:

PA= Peso de la arena por m<sup>3</sup> de concreto.

Va= Volumen de la arena

Da= Densidad de la arena.

$$P_a = 348.68 (2.34) = 815.92 \text{ kg/m}^3.$$

Por lo tanto se tiene completo el diseño de la mezcla que servirá para la elaboración de los especímenes, solo cambiará la marca de cemento que se utilizará. Las cantidades necesarias para elaborar un metro cúbico de concreto así como las proporciones en peso tomado como base el cemento se presentan en el cuadro 3.19.

Cuadro 3.19 Cantidades de material por metro cúbico de concreto y proporciones en peso.

Material	Cantidades por m <sup>3</sup> en Kg.	Proporciones en peso
Cemento (C)	331	1
Agua (A)	205	0.62
Arena (a)	815.92	2.47
Grava (g)	842.86	2.55

La cantidades de laboratorio se preparan para cada muestra de 20 cilindros, considerando desperdicio del 10% el volumen de cada cilindro de concreto es de 6 litros

Las cantidades calculadas en kilogramos por m<sup>3</sup> de concreto se reducirán a cantidades de laboratorio para la elaboración de especímenes, utilizando moldes cilíndricos con capacidad de 6 litros cada uno.

$$20 \times 6 \text{ lt. ( molde )} = 120 \text{ litros}$$

$$\begin{array}{rcl} 120 \text{ lt} & \text{---} & X \\ 1000 \text{ lt} & \text{---} & 331 \text{ kg por m}^3 \text{ de concreto} \end{array}$$

$$X = 39.72 \text{ Kg. de cemento para 120 litros de concreto.}$$

Para establecer el comportamiento del concreto elaborado con cada tipo de cemento se elaborarán 20 cilindros por prueba y las edades de pruebas son a 3, 7, 14 y 28 días de edad, por lo tanto el número de especímenes necesarios para desarrollar el total de las pruebas se presentan en el cuadro 3.20

Con la cantidad de cemento necesaria para cada prueba, se estableció el número total de especímenes (Cuadro 3.20) 20 cilindros por cada edad de prueba y por cada marca de cemento.

Cuadro 3.20 Numero de cilindros necesario para desarrollar las pruebas por marca de cemento.

CEMENTO	Pruebas				No. Cil.
	3 días	7 días	14 días	28 días	
APASCO	20	20	20	20	80
CRUZ AZUL	20	20	20	20	80
MOCTEZUMA	20	20	20	20	80
TOLTECA	20	20	20	20	80
	80	80	80	80	320

A continuación en el cuadro 3.21 se presentan las cantidades de material necesarias para cada prueba (20 cilindros), por marca de cemento (80 cilindros) y el total de las pruebas (320 cilindros), expresado en volumen y en peso. Y un resumen de las cantidades necesarias para el total de pruebas programadas (Cuadro 3.22)

Cuadro 3.21 Cantidades de material en pesos y volumen para establecer las cantidades totales para la prueba

MATERIAL	Prop	20 Cil	80 Cil	240 Cil
Cemento (kg)	1	39.72	158.88	635.52
Agua (kg)	0.62	24.63	98.51	394.02
Arena (kg)	2.75	109.23	436.92	1747.68
Grava (kg)	3.09	122.73	490.94	1963.76

MATERIAL	Prop	20 Cil	80 Cil	240 Cil
Cemento (m <sup>3</sup> )	1	0.0262	0.105	0.419
Agua (m <sup>3</sup> )	0.62	0.0246	0.099	0.394
Arena (m <sup>3</sup> )	2.75	0.0727	0.291	1.164
Grava (m <sup>3</sup> )	3.09	0.0792	0.317	1.268

Cuadro 3.22 Cantidades de material en pesos para establecer las cantidades totales para la prueba por marcas de cemento

MARCA	CEMENTO kg	AGUA m3	ARENA m3	GRAVA m3
APASCO	158.88	0.099	0.291	0.317
CRUZ AZUL	158.88	0.099	0.291	0.317
MOCTEZUMA	158.88	0.099	0.291	0.317
TOLTECA	158.88	0.099	0.291	0.317
<b>TOTAL</b>	<b>635.52</b>	<b>0.396</b>	<b>1.164</b>	<b>1.268</b>

Los resultados de las pruebas a compresión se presentan por marca de cemento, edad de prueba, se indican las dimensiones y peso de los cilindros así como el resultado de la resistencia a compresión, ver cuadros 3.23 al 3.38

Cuadro 3.23 Resultados de propiedades físicas y mecánicas de los especímenes de concreto elaborados con cemento Apasco, ensayados a 3 días.

CEMENTO: APASCO  
 EDAD: 3 DÍAS

ELABOR: 13 de Julio de 2002  
 PRUEBA: 16 de Julio de 2002

No.	DIAMETRO (cm)	ALTURA (cm)	PESO (kg)	AREA (cm <sup>2</sup> )	VOLUMEN (cm <sup>3</sup> )	P. VOLUM. (kg/m <sup>3</sup> )	CARGA (kg)	RESIST. (kg/cm <sup>2</sup> )
61	14.9	30.5	12.692	174.3667	5318.1829	2386.5294	29000	166.32
62	15.0	30.5	12.582	176.715	5389.8075	2334.4062	28000	158.45
63	15.0	30.4	12.600	176.715	5372.136	2345.4358	29500	166.94
64	15.0	30.0	11.355	176.715	5301.45	2141.8668	28000	158.45
65	14.0	30.2	11.525	153.9384	4648.9397	2479.0599	28625	185.95
66	15.1	30.5	12.630	179.0791	5461.9111	2312.3774	28000	156.36
67	15.0	30.5	12.680	176.715	5389.8075	2352.5887	29500	166.94
68	15.0	30.0	12.435	176.715	5301.45	2345.5847	28250	159.86
69	15.0	30.0	11.702	176.715	5301.45	2207.3206	28750	162.69
70	15.2	30.4	12.835	181.4588	5516.348	2326.7205	28250	155.68
71	14.8	30.0	11.330	172.034	5161.0205	2195.3023	29000	168.57
72	15.0	30.0	11.880	176.715	5301.45	2240.8964	29250	165.52
73	15.0	30.5	11.385	176.715	5389.8075	2112.3203	29625	167.64
74	15.1	30.2	12.815	179.0791	5408.1874	2369.5554	28625	159.85
75	15.2	30.3	12.745	181.4588	5498.2021	2318.0305	29000	159.82
76	15.1	30.5	12.798	179.0791	5461.9111	2343.1359	29250	163.34
77	15.2	30.6	12.716	181.4588	5552.6398	2290.0819	28250	155.68
78	15.1	30.4	11.941	179.0791	5444.0032	2193.4226	29750	166.13
79	15.1	30.6	12.805	179.0791	5479.8191	2336.756	28125	157.05
80	15.0	30.4	11.910	176.715	5372.136	2216.9953	29750	168.35

Cuadro 3.24 Resultados de propiedades físicas y mecánicas de los especímenes de concreto elaborados con cemento Apasco, ensayados a 7 días.

CEMENTO: APASCO  
 EDAD: 7 DÍAS

ELABOR: 17 de Julio de 2002  
 PRUEBA: 24 de Julio de 2002

No.	DIAMETRO (cm)	ALTURA (cm)	PESO (kg)	AREA (cm <sup>2</sup> )	VOLUMEN (cm <sup>3</sup> )	P. VOLUM. (kg/m <sup>3</sup> )	CARGA (kg)	RESIST. (kg/cm <sup>2</sup> )
221	15.1	30.3	11.875	179.0791	5426.0953	2188.4982	33250	185.67
222	15.0	30.0	11.340	176.715	5301.45	2139.0374	33000	186.74
223	15.1	30.4	12.000	179.0791	5444.0032	2204.2603	32625	182.18
224	15.0	30.1	11.460	176.715	5319.1215	2154.4911	32250	182.50
225	15.2	30.5	11.060	181.4588	5534.4939	1998.376	33000	181.86
226	15.3	30.3	12.080	183.8543	5570.7849	2168.4557	32625	177.45
227	15.2	30.3	11.975	181.4588	5498.2021	2177.9847	35750	197.01
228	15.1	30.5	12.075	179.0791	5461.9111	2210.7646	31000	173.11
229	15.1	30.4	12.130	179.0791	5444.0032	2228.1397	33625	187.77
230	15.0	30.0	11.460	176.715	5301.45	2161.6727	33625	190.28
231	15.1	30.1	12.850	179.0791	5390.2795	2383.9209	34000	189.86
232	15.0	30.0	11.450	176.715	5301.45	2159.7865	35750	202.30
233	15.0	30.1	11.500	176.715	5319.1215	2162.0112	32125	181.79
234	15.0	30.1	11.550	176.715	5319.1215	2171.4112	32250	182.50
235	15.0	30.0	11.450	176.715	5301.45	2159.7865	33125	187.45
236	15.1	30.5	12.010	179.0791	5461.9111	2198.864	34000	189.86
237	15.0	30.3	11.980	176.715	5354.4645	2237.3853	33500	189.57
238	15.3	30.3	12.445	183.8543	5570.7849	2233.9761	35250	191.73
239	15.1	30.4	12.060	179.0791	5444.0032	2215.2816	32500	181.48
240	15.3	30.3	12.200	183.8543	5570.7849	2189.9966	31125	169.29

Cuadro 3.25 Resultados de propiedades físicas y mecánicas de los especímenes de concreto elaborados con cemento Apasco, ensayados a 14 días.

CEMENTO: APASCO  
 EDAD: 14 DÍAS

ELABOR: 15 de Julio de 2002  
 PRUEBA: 20 de Julio de 2002

No.	DIAMETRO (cm)	ALTURA (cm)	PESO (kg)	AREA (cm <sup>2</sup> )	VOLUMEN (cm <sup>3</sup> )	P. VOLUM. (kg/m <sup>3</sup> )	CARGA (kg)	RESIST. (kg/cm <sup>2</sup> )
141	15.0	30.0	11.080	176.715	5301.45	2089.9942	35375	200.18
142	15.1	30.2	11.845	179.0791	5408.1874	2190.1978	36125	201.73
143	15.0	30.4	11.660	176.715	5372.136	2170.4588	37125	210.08
144	15.0	30.4	11.800	176.715	5372.136	2196.5192	37125	210.08
145	15.1	30.8	11.785	179.0791	5515.6349	2136.6534	37875	211.50
146	15.0	30.2	11.700	176.715	5336.793	2192.3279	37125	210.08
147	15.2	30.4	11.955	181.4588	5516.348	2167.1947	37375	205.97
148	15.0	30.0	11.380	176.715	5301.45	2146.5825	36625	207.25
149	15.0	30.0	11.425	176.715	5301.45	2155.0708	36000	203.72
150	15.2	30.3	11.720	181.4588	5498.2021	2131.6059	36875	203.21
151	15.1	30.3	11.790	179.0791	5426.0953	2172.8332	36875	205.91
152	15.0	30.2	11.365	176.715	5336.793	2129.5561	35500	200.89
153	15.0	30.5	11.860	176.715	5389.8075	2200.4496	36375	205.84
154	15.2	30.0	11.300	181.4588	5443.7645	2075.7694	35875	197.70
155	15.1	30.4	11.885	179.0791	5444.0032	2183.1361	38000	212.20
156	15.1	30.5	12.020	179.0791	5461.9111	2200.6949	36250	202.42
157	15.1	30.4	11.800	179.0791	5444.0032	2167.5226	36000	201.03
158	15.1	30.3	11.790	179.0791	5426.0953	2172.8332	35375	197.54
159	15.2	30.5	11.945	181.4588	5534.4939	2158.2823	37250	205.28
160	15.0	30.0	11.480	176.715	5301.45	2165.4453	35625	201.60

Cuadro 3.26 Resultados de propiedades físicas y mecánicas de los especímenes de concreto elaborados con cemento Apasco, ensayados a 28 días.

CEMENTO: APASCO  
 EDAD: 28 DIAS

ELABOR: 19 de Julio de 2002  
 PRUEBA: 16 de Agosto de 2002

No.	DIAMETRO (cm)	ALTURA (cm)	PESO (kg)	AREA (cm <sup>2</sup> )	VOLUMEN (cm <sup>3</sup> )	P. VOLUM. (kg/m <sup>3</sup> )	CARGA (kg)	RESIST. (kg/cm <sup>2</sup> )
301	15.0	30.1	11.220	176.715	5319.1215	2109.3709	43125	244.04
302	15.1	30.2	11.350	179.0791	5408.1874	2098.6699	42500	237.33
303	15.0	30.2	11.260	176.715	5336.793	2109.8813	41500	234.84
304	15.2	30.0	11.270	181.4588	5443.7645	2070.2586	41750	230.08
305	15.2	30.4	11.460	181.4588	5516.348	2077.4614	41125	226.64
306	15.1	30.0	11.960	179.0791	5372.3716	2226.2049	42750	238.72
307	15.3	30.1	11.370	183.8543	5534.014	2054.5665	43750	237.96
308	15.0	30.3	11.990	176.715	5354.4645	2239.2529	43125	244.04
309	15.2	30.2	11.810	181.4588	5480.0562	2155.0874	40875	225.26
310	15.3	30.1	12.023	183.8543	5534.014	2172.5641	40250	218.92
311	15.1	30.4	11.700	179.0791	5444.0032	2149.1538	39875	222.67
312	15.0	30.1	12.025	176.715	5319.1215	2260.7117	40000	226.35
313	15.2	30.2	11.860	181.4588	5480.0562	2164.2114	40875	225.26
314	15.0	30.1	11.830	176.715	5319.1215	2224.0515	39250	222.11
315	15.1	30.4	11.500	179.0791	5444.0032	2112.4161	42000	234.53
316	15.2	30.2	11.275	181.4588	5480.0562	2057.4606	39250	216.30
317	15.1	30.2	11.700	179.0791	5408.1874	2163.3866	40250	224.76
318	15.3	30.1	11.170	183.8543	5534.014	2018.4264	39125	212.80
319	15.2	30.0	11.830	181.4588	5443.7645	2173.1285	40750	224.57
320	15.1	30.1	11.620	179.0791	5390.2795	2155.7324	41500	231.74

Cuadro 3.27 Resultados de propiedades físicas y mecánicas de los especímenes de concreto elaborados con cemento Cruz Azul, ensayados a 3 días.

CEMENTO: CRUZ AZUL  
 EDAD: 3 DÍAS

ELABOR: 14 de Julio de 2002  
 PRUEBA: 17 de Julio de 2002

No.	DIAMETRO (cm)	ALTURA (cm)	PESO (kg)	AREA (cm <sup>2</sup> )	VOLUMEN (cm <sup>3</sup> )	P. VOLUM. (kg/m <sup>3</sup> )	CARGA (kg)	RESIST. (kg/cm <sup>2</sup> )
121	15.2	30.6	12.333	181.4588	5552.6398	2221.1057	19500	107.46
122	15.0	30.5	12.253	176.715	5389.8075	2273.3651	19500	110.35
123	15.0	30.0	11.593	176.715	5301.45	2186.7602	20125	113.88
124	15.0	30.2	11.712	176.715	5336.793	2194.5764	18750	106.10
125	15.0	30.2	11.570	176.715	5336.793	2167.9687	19500	110.35
126	15.0	30.5	11.152	176.715	5389.8075	2069.0906	19500	110.35
127	15.0	30.0	11.660	176.715	5301.45	2199.3983	20500	116.01
128	15.2	30.6	12.357	181.4588	5552.6398	2225.428	21625	119.17
129	15.0	30.4	11.804	176.715	5372.136	2197.2638	21000	118.84
130	15.0	30.1	11.692	176.715	5319.1215	2198.1073	20750	117.42
131	15.0	30.2	11.697	176.715	5336.793	2191.7657	19000	107.52
132	15.1	30.3	11.912	179.0791	5426.0953	2195.3171	20250	113.08
133	15.0	30.6	12.238	176.715	5407.479	2263.1618	20000	113.18
134	15.0	30.1	11.843	176.715	5319.1215	2226.4955	20625	116.71
135	15.2	30.6	12.452	181.4588	5552.6398	2242.537	21125	116.42
136	15.1	30.6	12.346	179.0791	5479.8191	2252.9941	20500	114.47
137	15.2	30.6	12.281	181.4588	5552.6398	2211.7408	21750	119.86
138	15.2	30.4	12.316	181.4588	5516.348	2232.6365	20500	112.97
139	15.0	30.2	12.010	176.715	5336.793	2250.4152	19000	107.52
140	15.3	30.4	12.495	183.8543	5589.1703	2235.5733	20000	108.78

Cuadro 3.28 Resultados de propiedades físicas y mecánicas de los especímenes de concreto elaborados con cemento Cruz Azul, ensayados a 7 días.

CEMENTO: CRUZ AZUL  
 EDAD: 7 DÍAS

ELABOR: 16 de Julio de 2002  
 PRUEBA: 23 de Julio de 2002

No.	DIAMETRO (cm)	ALTURA (cm)	PESO (kg)	AREA (cm <sup>2</sup> )	VOLUMEN (cm <sup>3</sup> )	P. VOLUM. (kg/m <sup>3</sup> )	CARGA (kg)	RESIST. (kg/cm <sup>2</sup> )
201	15.1	30.1	11.655	179.0791	5390.2795	2162.2255	31500	175.90
202	15.2	30.3	11.755	181.4588	5498.2021	2137.9716	30000	165.33
203	15.1	30.3	11.835	179.0791	5426.0953	2181.1264	30875	172.41
204	15.0	30.1	11.300	176.715	5319.1215	2124.411	31250	176.84
205	15.1	30.5	11.735	179.0791	5461.9111	2148.5154	30750	171.71
206	15.0	30.0	11.235	176.715	5301.45	2119.2315	30375	171.89
207	15.1	30.3	11.870	179.0791	5426.0953	2187.5767	31125	173.81
208	15.1	30.4	11.825	179.0791	5444.0032	2172.1148	31000	173.11
209	15.0	30.2	11.310	176.715	5336.793	2119.2503	29750	168.35
210	15.0	30.0	11.210	176.715	5301.45	2114.5158	28500	161.28
211	15.1	30.4	11.820	179.0791	5444.0032	2171.1964	31125	173.81
212	15.0	30.3	12.060	176.715	5354.4645	2252.3261	30750	174.01
213	15.2	30.3	12.235	181.4588	5498.2021	2225.2729	31000	170.84
214	15.0	30.1	11.345	176.715	5319.1215	2132.871	28750	162.69
215	15.0	30.0	11.170	176.715	5301.45	2106.9707	28125	159.15
216	15.0	30.3	11.695	176.715	5354.4645	2184.1587	31250	176.84
217	15.2	30.3	11.920	181.4588	5498.2021	2167.9814	31125	171.53
218	15.0	30.0	11.150	176.715	5301.45	2103.1982	30125	170.47
219	15.1	30.4	11.675	179.0791	5444.0032	2144.5615	30125	168.22
220	15.1	30.3	11.650	179.0791	5426.0953	2147.0319	30750	171.71

Cuadro 3.29 Resultados de propiedades físicas y mecánicas de los especímenes de concreto elaborados con cemento Cruz Azul, ensayados a 14 días.

CEMENTO: CRUZ AZUL  
 EDAD: 14 DÍAS

ELABOR: 19 de Julio de 2002  
 PRUEBA: 2 de Agosto de 2002

No.	DIAMETRO (cm)	ALTURA (cm)	PESO (kg)	AREA (cm <sup>2</sup> )	VOLUMEN (cm <sup>3</sup> )	P. VOLUM. (kg/m <sup>3</sup> )	CARGA (kg)	RESIST. (kg/cm <sup>2</sup> )
281	15.3	30.3	12.260	183.8543	5570.7849	2200.7671	39125	212.80
282	15.0	30.0	11.395	176.715	5301.45	2149.412	37000	209.38
283	15.1	30.5	11.995	179.0791	5461.9111	2196.1177	39625	221.27
284	15.2	30.5	12.045	181.4588	5534.4939	2176.3508	39500	217.68
285	15.2	30.5	11.975	181.4588	5534.4939	2163.7028	38875	214.24
286	15.0	30.2	11.360	176.715	5336.793	2128.6192	40125	227.06
287	15.2	30.5	12.000	181.4588	5534.4939	2168.2199	41250	227.32
288	15.1	30.2	11.375	179.0791	5408.1874	2103.2925	40375	225.46
289	15.0	30.0	11.500	176.715	5301.45	2169.2179	42500	240.50
290	15.0	30.6	11.970	176.715	5407.479	2213.6008	39500	223.52
291	15.0	30.3	11.415	176.715	5354.4645	2131.8658	40125	227.06
292	15.0	30.0	11.470	176.715	5301.45	2163.559	40625	229.89
293	15.1	30.3	11.915	179.0791	5426.0953	2195.87	42500	237.33
294	15.1	30.3	11.875	179.0791	5426.0953	2188.4982	41250	230.35
295	15.2	30.6	12.080	181.4588	5552.6398	2175.5418	39000	214.92
296	15.1	30.0	11.355	179.0791	5372.3716	2113.5917	41500	231.74
297	15.2	30.5	11.860	181.4588	5534.4939	2142.924	43000	236.97
298	15.2	30.4	12.025	181.4588	5516.348	2179.8842	40250	221.81
299	15.1	30.6	11.950	179.0791	5479.8191	2180.7289	39125	218.48
300	15.2	30.5	11.890	181.4588	5534.4939	2148.3446	41625	229.39

Cuadro 3.30 Resultados de propiedades físicas y mecánicas de los especímenes de concreto elaborados con cemento Cruz Azul, ensayados a 28 días.

CEMENTO: CRUZ AZUL  
 EDAD: 28 DIAS

ELABOR: 12 de Julio de 2002  
 PRUEBA: 9 de Agosto de 2002

No.	DIAMETRO (cm)	ALTURA (cm)	PESO (kg)	AREA (cm <sup>2</sup> )	VOLUMEN (cm <sup>3</sup> )	P. VOLUM. (kg/m <sup>3</sup> )	CARGA (kg)	RESIST. (kg/cm <sup>2</sup> )
41	15.2	30.6	12.200	181.4588	5552.6398	2197.1532	46250	254.88
42	15.4	30.5	12.388	186.2655	5681.0967	2180.5649	45625	244.95
43	15.0	30.5	11.870	176.715	5389.8075	2202.305	45625	258.18
44	15.3	30.5	12.058	183.8543	5607.5557	2150.313	46500	252.92
45	15.2	30.5	12.015	181.4588	5534.4939	2170.9302	46000	253.50
46	15.0	30.0	11.395	176.715	5301.45	2149.412	44375	251.11
47	15.0	30.1	11.480	176.715	5319.1215	2158.2511	42500	240.50
48	15.1	30.7	11.910	179.0791	5497.727	2166.3499	45000	251.29
49	15.2	30.5	11.890	181.4588	5534.4939	2050.7747	46750	257.63
50	15.0	30.1	11.350	176.715	5319.1215	2177.9912	40625	229.89
51	15.1	30.1	11.585	179.0791	5390.2795	2203.5963	43500	242.91
52	15.2	30.0	11.878	181.4588	5443.7645	2200.683	47625	262.46
53	15.0	30.3	11.980	176.715	5354.4645	2238.3191	47750	270.21
54	15.0	30.3	11.985	176.715	5354.4645	2243.9219	43750	247.57
55	15.3	30.3	12.015	183.8543	5570.7849	2069.7263	44500	242.04
56	15.1	30.1	11.530	179.0791	5390.2795	2121.4113	43500	242.91
57	15.0	30.0	11.435	176.715	5301.45	2270.1336	44625	252.53
58	15.2	30.4	12.035	181.4588	5516.348	2146.3475	46750	257.63
59	15.2	30.2	11.840	181.4588	5480.0562	2161.4742	48325	266.31
60	15.2	30.3	11.845	181.4588	5498.2021	2154.3406	45000	247.99

Cuadro 3.31 Resultados de propiedades físicas y mecánicas de los especímenes de concreto elaborados con cemento Moctezuma, ensayados a 3 días.

CEMENTO: MOCTEZUMA  
 EDAD: 3 DÍAS

ELABOR: 13 de Julio de 2002  
 PRUEBA: 16 de Julio de 2002

No.	DIAMETRO (cm)	ALTURA (cm)	PESO (kg)	AREA (cm <sup>2</sup> )	VOLUMEN (cm <sup>3</sup> )	P. VOLUM. (kg/m <sup>3</sup> )	CARGA (kg)	RESIST. (kg/cm <sup>2</sup> )
81	15.1	30.0	12.055	179.0791	5372.3716	2243.888	20500	114.47
82	15.1	30.5	12.070	179.0791	5461.9111	2209.8492	20250	113.08
83	15.1	30.1	11.730	179.0791	5390.2795	2176.1395	20250	113.08
84	15.0	30.1	11.585	176.715	5319.1215	2177.9912	20500	116.01
85	15.4	30.5	12.420	186.2655	5681.0967	2186.1976	22000	118.11
86	15.1	30.6	12.280	179.0791	5479.8191	2240.9499	20000	111.68
87	15.1	30.5	12.245	179.0791	5461.9111	2241.8893	21750	121.45
88	15.0	30.1	11.550	176.715	5319.1215	2171.4112	21500	121.66
89	15.0	30.1	11.580	176.715	5319.1215	2177.0512	21500	121.66
90	15.1	30.0	11.665	179.0791	5372.3716	2171.2943	22500	125.64
91	15.0	30.2	11.620	176.715	5336.793	2177.3376	21000	118.84
92	15.0	30.5	12.090	176.715	5389.8075	2243.1228	22500	127.32
93	15.0	30.1	11.775	176.715	5319.1215	2213.7114	21250	120.25
94	15.2	30.5	12.115	181.4588	5534.4939	2188.9987	23000	126.75
95	15.0	30.0	11.485	176.715	5301.45	2166.3884	21500	121.66
96	15.0	30.5	12.020	176.715	5389.8075	2230.1353	22250	125.91
97	15.0	30.1	11.680	176.715	5319.1215	2195.8513	19500	110.35
98	15.2	30.5	12.268	181.4588	5534.4939	2216.6435	21000	115.73
99	15.1	30.4	12.070	179.0791	5444.0032	2217.1184	22500	125.64
100	15.1	30.0	11.655	179.0791	5372.3716	2169.4329	21500	120.06

Cuadro 3.32 Resultados de propiedades físicas y mecánicas de los especímenes de concreto elaborados con cemento Moctezuma, ensayados a 7 días.

CEMENTO: MOCTEZUMA  
 EDAD: 7 DÍAS

ELABOR: 15 de Julio de 2002  
 PRUEBA: 22 de Julio de 2002

No.	DIAMETRO (cm)	ALTURA (cm)	PESO (kg)	AREA (cm <sup>2</sup> )	VOLUMEN (cm <sup>3</sup> )	P. VOLUM. (kg/m <sup>3</sup> )	CARGA (kg)	RESIST. (kg/cm <sup>2</sup> )
161	15.1	30.0	11.615	179.0791	5372.3716	2161.9874	20125	112.38
162	15.2	30.4	11.970	181.4588	5516.348	2169.9139	21125	116.42
163	15.0	30.3	11.690	176.715	5354.4645	2183.2249	23000	130.15
164	15.2	30.4	11.930	181.4588	5516.348	2162.6627	22000	121.24
165	15.2	30.4	11.895	181.4588	5516.348	2156.3179	20125	110.91
166	15.0	30.1	11.265	176.715	5319.1215	2117.8309	21125	119.54
167	15.0	30.0	11.195	176.715	5301.45	2111.6864	20500	116.01
168	15.2	30.4	11.855	181.4588	5516.348	2149.0667	22000	121.24
169	15.0	30.0	11.480	176.715	5301.45	2165.4453	21500	121.66
170	15.0	30.4	11.850	176.715	5372.136	2205.8265	22625	128.03
171	15.2	30.5	12.165	181.4588	5534.4939	2198.033	22500	124.00
172	15.0	30.0	11.590	176.715	5301.45	2186.1943	22000	124.49
173	15.0	30.0	11.380	176.715	5301.45	2146.5825	21000	118.84
174	15.0	30.1	11.435	176.715	5319.1215	2149.7911	21000	118.84
175	15.1	30.5	11.990	179.0791	5461.9111	2195.2023	21750	121.45
176	15.0	30.0	11.560	176.715	5301.45	2180.5355	21750	123.08
177	15.1	30.8	12.140	179.0791	5515.6349	2201.0159	20250	113.08
178	15.3	30.3	12.480	183.8543	5570.7849	2240.2588	21500	116.94
179	15.0	30.0	11.350	176.715	5301.45	2140.9237	23750	134.40
180	15.0	30.1	11.420	176.715	5319.1215	2146.9711	21750	123.08

Cuadro 3.33 Resultados de propiedades físicas y mecánicas de los especímenes de concreto elaborados con cemento Moctezuma, ensayados a 14 días.

CEMENTO: MOCTEZUMA  
 EDAD: 14 DÍAS

ELABOR: 18 de Julio de 2002  
 PRUEBA: 1 de Agosto de 2002

No.	DIAMETRO (cm)	ALTURA (cm)	PESO (kg)	AREA (cm <sup>2</sup> )	VOLUMEN (cm <sup>3</sup> )	P. VOLUM. (kg/m <sup>3</sup> )	CARGA (kg)	RESIST. (kg/cm <sup>2</sup> )
241	15.2	30.4	11.840	181.4588	5516.348	2146.3475	32500	179.10
242	15.1	30.4	11.740	179.0791	5444.0032	2156.5013	31250	174.50
243	15.2	30.4	11.820	181.4588	5516.348	2142.722	31500	173.59
244	15.2	30.3	12.050	181.4588	5498.2021	2191.6255	33000	181.86
245	15.0	30.0	11.210	176.715	5301.45	2114.5158	31875	180.38
246	15.3	30.4	11.695	183.8543	5589.1703	2092.4394	31125	169.29
247	15.2	30.4	11.890	181.4588	5516.348	2155.4115	34000	187.37
248	15.0	30.0	11.245	176.715	5301.45	2121.1178	31875	180.38
249	15.0	30.2	11.230	176.715	5336.793	2104.26	31750	179.67
250	15.1	30.0	11.480	179.0791	5372.3716	2136.8589	32125	179.39
251	15.1	30.4	11.660	179.0791	5444.0032	2141.8062	32750	182.88
252	15.0	30.0	11.665	176.715	5301.45	2200.3414	32500	183.91
253	15.0	30.0	11.200	176.715	5301.45	2112.6296	29125	164.81
254	15.0	30.4	11.300	176.715	5372.136	2103.4464	30625	173.30
255	15.1	30.5	11.900	179.0791	5461.9111	2178.7246	33625	187.77
256	15.1	30.0	11.465	179.0791	5372.3716	2134.0668	31500	175.90
257	15.2	30.4	11.745	181.4588	5516.348	2129.126	33625	185.30
258	15.0	30.6	11.795	176.715	5407.479	2181.2382	30000	169.76
259	15.0	30.7	11.845	176.715	5425.1505	2183.3496	32750	185.33
260	15.0	30.3	11.960	176.715	5354.4645	2233.6501	32000	181.08

Cuadro 3.34 Resultados de propiedades físicas y mecánicas de los especímenes de concreto elaborados con cemento Moctezuma, ensayados a 28 días.

CEMENTO: MOCTEZUMA  
 EDAD: 28 DIAS

ELABOR: 11 de Julio de 2002  
 PRUEBA: 8 de Agosto de 2002

No.	DIAMETRO (cm)	ALTURA (cm)	PESO (kg)	AREA (cm <sup>2</sup> )	VOLUMEN (cm <sup>3</sup> )	P. VOLUM. (kg/m <sup>3</sup> )	CARGA (kg)	RESIST. (kg/cm <sup>2</sup> )
1	15.1	30.8	11.805	179.0791	5515.6349	2140.2795	36375	203.12
2	15.1	30.7	11.825	179.0791	5497.727	2150.8889	35125	196.14
3	15.1	30.3	11.370	179.0791	5426.0953	2095.4295	36750	205.22
4	15.0	30.0	11.283	176.715	5301.45	2128.2857	36000	203.72
5	15.0	30.1	11.479	176.715	5319.1215	2158.0631	39000	220.69
6	15.0	30.0	11.340	176.715	5301.45	2139.0374	40125	227.06
7	15.0	30.1	11.283	176.715	5319.1215	2121.2149	37250	210.79
8	15.1	30.5	11.770	179.0791	5461.9111	2154.9234	38500	214.99
9	15.0	30.2	11.440	176.715	5336.793	2250.2278	36250	205.13
10	15.2	30.7	12.009	181.4588	5570.7857	2146.1964	40000	220.44
11	15.2	30.6	11.956	181.4588	5552.6398	2141.8641	40125	221.12
12	15.1	30.1	11.893	179.0791	5390.2795	2190.981	41000	228.95
13	15.2	30.5	11.810	181.4588	5534.4939	2029.0925	36125	199.08
14	15.1	30.0	11.230	179.0791	5372.3716	2109.3105	38000	212.20
15	15.0	30.4	11.332	176.715	5372.136	2202.4759	39125	221.40
16	15.2	30.7	11.832	181.4588	5570.7857	2000.6155	37500	206.66
17	15.0	30.2	11.145	176.715	5336.793	2133.3037	38000	215.04
18	15.2	30.1	11.385	181.4588	5461.9104	2153.0928	38250	210.79
19	15.1	30.6	11.760	179.0791	5479.8191	2053.3525	40625	226.86
20	15.0	30.1	11.252	176.715	5319.1215	2115.3869	37000	209.38

Cuadro 3.35 Resultados de propiedades físicas y mecánicas de los especímenes de concreto elaborados con cemento Tolteca, ensayados a 3 días.

CEMENTO: TOLTECA  
 EDAD: 3 DÍAS

ELABOR: 14 de Julio de 2002  
 PRUEBA: 17 de Julio de 2002

No.	DIAMETRO (cm)	ALTURA (cm)	PESO (kg)	AREA (cm <sup>2</sup> )	VOLUMEN (cm <sup>3</sup> )	P. VOLUM. (kg/m <sup>3</sup> )	CARGA (kg)	RESIST. (kg/cm <sup>2</sup> )
101	15.3	30.4	11.918	183.8543	5589.1703	2132.338	17000	92.46
102	15.1	30.3	11.872	179.0791	5426.0953	2187.9453	17750	99.12
103	15.2	30.2	11.677	181.4588	5480.0562	2130.8175	19000	104.71
104	15.0	30.0	11.321	176.715	5301.45	2135.4535	17750	100.44
105	15.0	30.0	11.372	176.715	5301.45	2145.0735	17500	99.03
106	15.0	30.3	11.827	176.715	5354.4645	2208.811	16750	94.79
107	15.0	30.2	11.465	176.715	5336.793	2148.2939	16500	93.37
108	15.0	30.0	11.297	176.715	5301.45	2130.9264	17500	99.03
109	15.2	30.2	11.808	181.4588	5480.0562	2154.7224	16750	92.31
110	15.1	30.0	11.890	179.0791	5372.3716	2213.1753	18000	100.51
111	15.1	30.2	11.915	179.0791	5408.1874	2203.1411	17750	99.12
112	15.2	30.4	11.946	181.4588	5516.348	2165.5632	18000	99.20
113	15.2	30.3	11.875	181.4588	5498.2021	2159.7969	18250	100.57
114	15.0	30.3	11.895	176.715	5354.4645	2221.5107	17250	97.61
115	15.0	30.0	11.355	176.715	5301.45	2141.8668	17000	96.20
116	15.0	30.0	11.614	176.715	5301.45	2190.7214	16750	94.79
117	15.0	30.3	11.877	176.715	5354.4645	2218.149	17000	96.20
118	15.1	30.2	11.863	179.0791	5408.1874	2193.526	18000	100.51
119	15.3	30.2	12.100	183.8543	5552.3994	2179.238	17500	95.18
120	15.1	30.4	12.037	179.0791	5444.0032	2211.0567	16500	92.14

Cuadro 3.36 Resultados de propiedades físicas y mecánicas de los especímenes de concreto elaborados con cemento Tolteca, ensayados a 7 días.

CEMENTO: TOLTECA  
 EDAD: 7 DÍAS

ELABOR: 16 de Julio de 2002  
 PRUEBA: 23 de Julio de 2002

No.	DIAMETRO (cm)	ALTURA (cm)	PESO (kg)	AREA (cm <sup>2</sup> )	VOLUMEN (cm <sup>3</sup> )	P. VOLUM. (kg/m <sup>3</sup> )	CARGA (kg)	RESIST. (kg/cm <sup>2</sup> )
181	15.1	30.0	11.865	179.0791	5372.3716	2208.5218	30000	167.52
182	15.0	30.5	11.790	176.715	5389.8075	2187.4622	29625	167.64
183	15.0	30.2	11.940	176.715	5336.793	2237.2987	28750	162.69
184	15.0	30.2	11.335	176.715	5336.793	2123.9347	29250	165.52
185	15.0	30.0	11.380	176.715	5301.45	2146.5825	28125	159.15
186	15.0	30.3	11.810	176.715	5354.4645	2205.6361	30000	169.76
187	15.1	30.4	11.810	179.0791	5444.0032	2169.3595	29750	166.13
188	15.2	30.5	12.010	181.4588	5534.4939	2170.0268	29875	164.64
189	15.0	30.1	11.500	176.715	5319.1215	2162.0112	29000	164.11
190	15.2	30.4	11.955	181.4588	5516.348	2167.1947	27875	153.62
191	15.0	30.1	11.375	176.715	5319.1215	2138.511	29125	164.81
192	15.0	30.1	11.350	176.715	5319.1215	2133.811	29125	164.81
193	15.0	30.1	11.365	176.715	5319.1215	2136.631	28125	159.15
194	15.1	30.0	11.480	179.0791	5372.3716	2136.8589	29625	165.43
195	15.0	30.3	11.755	176.715	5354.4645	2195.3643	29125	164.81
196	15.0	30.5	11.910	176.715	5389.8075	2209.7264	30375	171.89
197	15.1	30.0	11.565	179.0791	5372.3716	2152.6806	28625	159.85
198	15.0	30.6	11.940	176.715	5407.479	2208.053	28750	162.69
199	15.0	30.6	11.780	176.715	5407.479	2178.4643	30125	170.47
200	15.0	30.2	11.730	176.715	5336.793	2197.9492	30000	169.76

Cuadro 3.37 Resultados de propiedades físicas y mecánicas de los especímenes de concreto elaborados con cemento Tolteca, ensayados a 14 días.

CEMENTO: TOLTECA  
 EDAD: 14 DÍAS

ELABOR: 18 de Julio de 2002  
 PRUEBA: 1 de Agosto de 2002

No.	DIAMETRO (cm)	ALTURA (cm)	PESO (kg)	AREA (cm <sup>2</sup> )	VOLUMEN (cm <sup>3</sup> )	P. VOLUM. (kg/m <sup>3</sup> )	CARGA (kg)	RESIST. (kg/cm <sup>2</sup> )
261	15.1	30.4	11.700	179.0791	5444.0032	2149.1538	32875	183.58
262	15.2	30.5	11.800	181.4588	5534.4939	2132.0829	34000	187.37
263	15.0	30.3	11.270	176.715	5354.4645	2104.7856	33125	187.45
264	15.2	30.6	11.850	181.4588	5552.6398	2134.1201	33750	185.99
265	15.0	30.0	11.070	176.715	5301.45	2088.108	33250	188.16
266	15.0	30.0	11.200	176.715	5301.45	2112.6296	35000	198.06
267	15.0	30.1	11.355	176.715	5319.1215	2134.751	33750	190.99
268	15.0	30.0	11.700	176.715	5301.45	2206.9434	33375	188.86
269	15.0	30.1	11.475	176.715	5319.1215	2157.3111	35000	198.06
270	15.1	30.5	11.970	179.0791	5461.9111	2191.5406	34125	190.56
271	15.2	30.3	11.815	181.4588	5498.2021	2148.8843	32750	180.48
272	15.0	30.2	11.480	176.715	5336.793	2151.1046	31125	176.13
273	15.3	30.5	11.700	183.8543	5607.5557	2086.4706	30750	167.25
274	15.2	30.4	11.110	181.4588	5516.348	2014.0136	33250	183.24
275	15.2	30.4	11.750	181.4588	5516.348	2130.0324	31250	172.22
276	15.0	30.0	11.160	176.715	5301.45	2105.0845	34250	193.81
277	15.0	30.0	11.165	176.715	5301.45	2106.0276	33250	188.16
278	15.1	30.5	11.730	179.0791	5461.9111	2147.5999	35500	198.24
279	15.0	30.5	11.670	176.715	5389.8075	2165.1979	34000	192.40
280	15.0	30.4	11.630	176.715	5372.136	2164.8745	34375	194.52

Cuadro 3.38 Resultados de propiedades físicas y mecánicas de los especímenes de concreto elaborados con cemento Tolteca, ensayados a 28 días.

CEMENTO: TOLTECA  
 EDAD: 28 DIAS

ELABOR: 12 de Julio de 2002  
 PRUEBA: 9 de Agosto de 2002

No.	DIAMETRO (cm)	ALTURA (cm)	PESO (kg)	AREA (cm <sup>2</sup> )	VOLUMEN (cm <sup>3</sup> )	P. VOLUM. (kg/m <sup>3</sup> )	CARGA (kg)	RESIST. (kg/cm <sup>2</sup> )
21	15.2	30.2	11.915	181.4588	5480.0562	2174.2478	38000	209.41
22	15.0	30.6	11.750	176.715	5407.479	2172.9164	39625	224.23
23	15.0	30.2	11.815	176.715	5336.793	2213.8764	36500	206.55
24	15.0	30.4	11.285	176.715	5372.136	2100.6542	38625	218.57
25	15.0	30.1	11.320	176.715	5319.1215	2128.171	35250	199.47
26	15.1	30.4	11.630	179.0791	5444.0032	2136.2956	37625	210.10
27	15.1	30.3	11.360	179.0791	5426.0953	2093.5865	37250	208.01
28	15.2	30.3	11.345	181.4588	5498.2021	2063.4018	36500	201.15
29	15.1	30.6	11.945	179.0791	5479.8191	2198.9777	36500	203.82
30	15.2	30.6	12.050	181.4588	5552.6398	2154.8309	39125	215.61
31	15.1	30.5	11.965	179.0791	5461.9111	2153.0925	36250	202.42
32	15.2	30.5	11.760	181.4588	5534.4939	2061.6158	37375	205.97
33	15.1	30.2	11.410	179.0791	5408.1874	2076.4813	38125	212.89
34	15.1	30.2	11.230	179.0791	5408.1874	2085.7265	39250	219.18
35	15.1	30.0	11.280	179.0791	5372.3716	2110.7996	38000	212.20
36	15.0	30.1	11.340	176.715	5319.1215	2124.035	39250	222.11
37	15.0	30.3	11.298	176.715	5354.4645	2209.3713	39250	222.11
38	15.0	30.6	11.830	176.715	5407.479	2085.9998	39125	221.40
39	15.0	30.0	11.280	176.715	5301.45	2127.7198	39000	220.69
40	15.0	30.0	11.280	176.715	5301.45	2127.7198	39120	221.37

## **CAPITULO IV ANÁLISIS DE RESULTADOS**

### **IV.1 Estadística de pruebas**

En varios estudios ha quedado de manifiesto que los resultados de pruebas en materiales forman un patrón definido que se agrupa entorno a un valor central formando un patrón simétrico, y, por consiguiente, es conveniente el uso de estadísticas basadas en la curva de distribución normal. Aunque pueden ocurrir ligeras variaciones con respecto a la curva simétrica, especialmente cuando el número de las pruebas es pequeño, no resultará significativo el error que se cometa al suponer una distribución normal. El supuesto de una distribución normal permite el uso de las relaciones establecidas entre el promedio y la desviación estándar para fijar tolerancias reales en especificaciones de tamaños seleccionados de la muestra. Tales tolerancias se pueden establecer mediante análisis estadístico combinado con criterio de ingeniería.

#### **IV.1 Media**

Determina el valor medio de los resultados de la resistencia a la compresión del concreto y se calcula sumando los datos obtenidos y dividiendo la suma entre el número total de determinaciones.

## IV.2 Desviación estándar

La desviación estándar  $s$  se define como la raíz cuadrada del promedio de las desviaciones de los resultados respecto a su valor medio, elevadas al cuadrado, y se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\sigma = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{X})^2 + (x_2 - \bar{X})^2 + \dots + (x_n - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

Donde  $x_1, x_2, \dots, x_n$  son los valores individuales de las pruebas de resistencia. Nótese que aquí se usa  $(n-1)$  en lugar del valor teórico  $n$ , aplicable a este último a un número ilimitado de pruebas. La razón es que  $(n-1)$  aumenta el valor de  $\sigma$  y tiende a compensar la menor confiabilidad de un pequeño número de pruebas.

A continuación se muestran los resultados estadísticos, Cuadro 4.1 al 4.4, en los cuales se establece el número de cilindro, la edad en la que realizó la prueba y la resistencia a la compresión obtenida.

Cuadro 4.1 Cálculo de la desviación estándar ( $\sigma$ ) y la media ( $X$ ) de las resistencia a compresión de las muestras elaboradas con cemento Apasco

3 días de edad		7 días de edad		14 días de edad		28 días de edad	
Cilindro	f'c	Cilindro	f'c	Cilindro	f'c	Cilindro	f'c
61	166.32	221	185.67	141	200.18	301	244.04
62	158.45	222	186.74	142	201.73	302	237.33
63	166.94	223	182.18	143	210.08	303	234.84
64	158.45	224	182.50	144	210.08	304	230.08
65	185.95	225	181.86	145	211.50	305	226.64
66	156.36	226	177.45	146	210.08	306	238.72
67	166.94	227	197.01	147	205.97	307	237.96
68	159.86	228	173.11	148	207.25	308	244.04
69	162.69	229	187.77	149	203.72	309	225.26
70	155.68	230	190.28	150	203.21	310	218.92
71	168.57	231	189.86	151	205.91	311	222.67
72	165.52	232	202.30	152	200.89	312	226.35
73	167.64	233	181.79	153	205.84	313	225.26
74	159.85	234	182.50	154	197.70	314	222.11
75	159.82	235	187.45	155	212.20	315	234.53
76	163.34	236	189.86	156	202.42	316	216.30
77	155.68	237	189.57	157	201.03	317	224.76
78	166.13	238	191.73	158	197.54	318	212.80
79	157.05	239	181.48	159	205.28	319	224.57
80	168.35	240	169.29	160	201.60	320	231.74

	3 días de edad	7 días de edad	14 días de edad	28 días de edad
$\sigma$	6.96	7.59	5.41	8.77
$X$	163.48	185.52	204.71	228.95

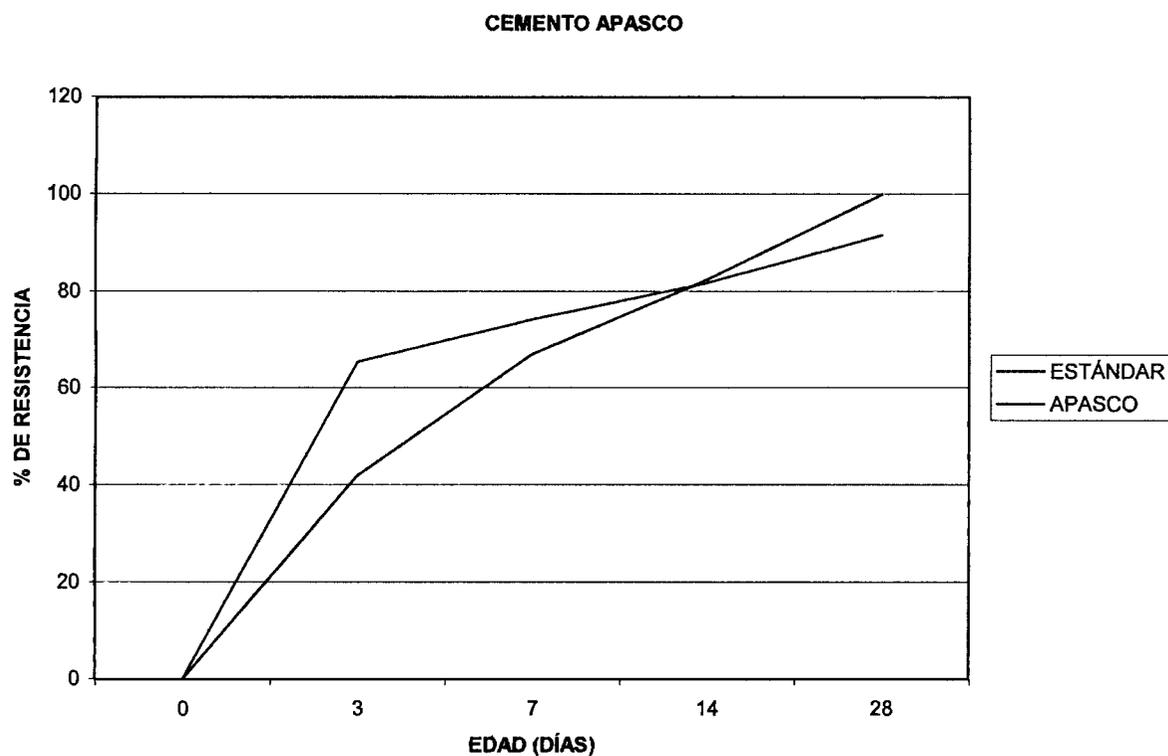


Figura 4.1 Gráfica comparativa de la resistencia a la compresión de los especímenes de concreto elaborados con cemento Apasco y la gráfica estándar.

Cuadro 4.2 Cálculo de la desviación estándar ( $\sigma$ ) y la media ( $\bar{X}$ ) de las resistencia a compresión de las muestras elaboradas con cemento Cruz Azul

3 días de edad		7 días de edad		14 días de edad		28 días de edad	
Cilindro	f <sub>c</sub>	Cilindro	f <sub>c</sub>	Cilindro	f <sub>c</sub>	Cilindro	f <sub>c</sub>
121	107.46	201	175.90	281	212.80	41	254.88
122	110.35	202	165.33	282	209.38	42	244.95
123	113.88	203	172.41	283	221.27	43	258.18
124	106.10	204	176.84	284	217.68	44	252.92
125	110.35	205	171.71	285	214.24	45	253.50
126	110.35	206	171.89	286	227.06	46	251.11
127	116.01	207	173.81	287	227.32	47	240.50
128	119.17	208	173.11	288	225.46	48	251.29
129	118.84	209	168.35	289	240.50	49	257.63
130	117.42	210	161.28	290	223.52	50	229.89
131	107.52	211	173.81	291	227.06	51	242.91
132	113.08	212	174.01	292	229.89	52	262.46
133	113.18	213	170.84	293	237.33	53	270.21
134	116.71	214	162.69	294	230.35	54	247.57
135	116.42	215	159.15	295	214.92	55	242.04
136	114.47	216	176.84	296	231.74	56	242.91
137	119.86	217	171.53	297	236.97	57	252.53
138	112.97	218	170.47	298	221.81	58	257.63
139	107.52	219	168.22	299	218.48	59	266.31
140	108.78	220	171.71	300	229.39	60	247.99

	3 días de edad	7 días de edad	14 días de edad	28 días de edad
$\Sigma$	4.31	4.98	8.58	9.52
$\bar{X}$	113.02	170.49	224.86	251.37

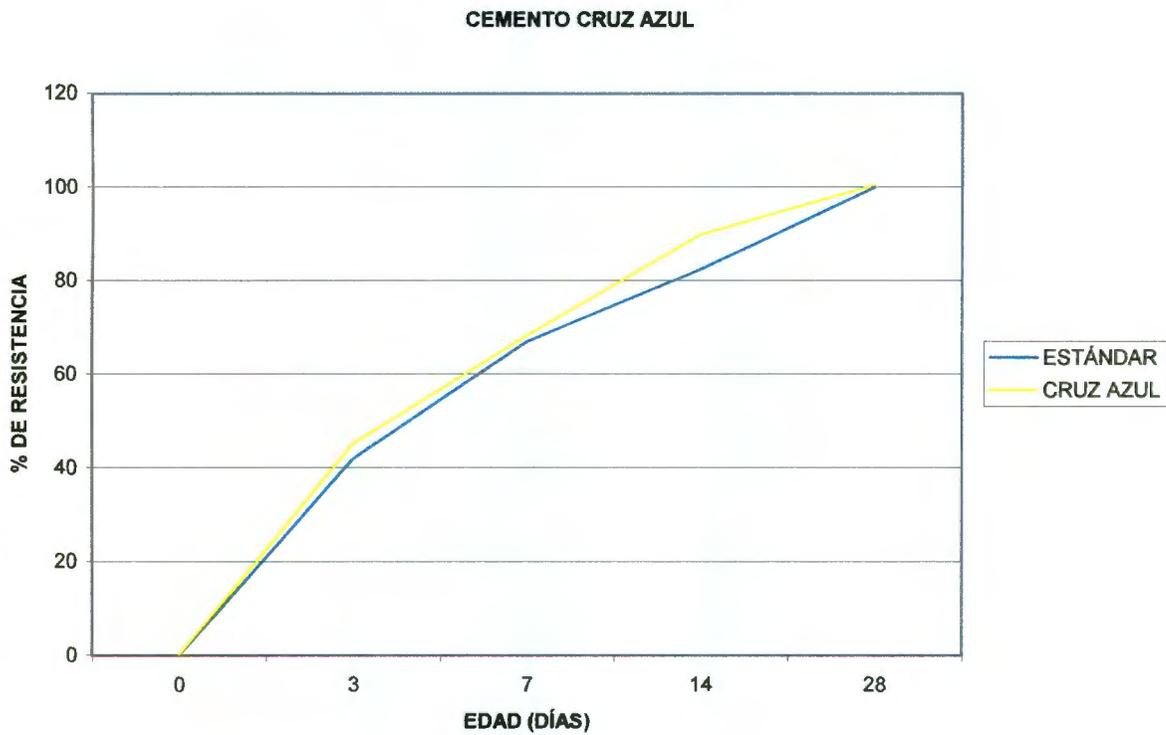


Figura 4.2 Gráfica comparativa de la resistencia a la compresión de los especímenes de concreto elaborados con cemento Cruz Azul y la gráfica estándar.

Cuadro 4.3 Cálculo de la desviación estándar ( $\sigma$ ) y la media ( $\bar{X}$ ) de las resistencia a compresión de las muestras elaboradas con cemento Moctezuma

3 días de edad		7 días de edad		14 días de edad		28 días de edad	
Cilindro	f'c	Cilindro	f'c	Cilindro	f'c	Cilindro	f'c
81	114.47	161	112.38	241	179.10	1	203.12
82	113.08	162	116.42	242	174.50	2	196.14
83	113.08	163	130.15	243	173.59	3	205.22
84	116.01	164	121.24	244	181.86	4	203.72
85	118.11	165	110.91	245	180.38	5	220.69
86	111.68	166	119.54	246	169.29	6	227.06
87	121.45	167	116.01	247	187.37	7	210.79
88	121.66	168	121.24	248	180.38	8	214.99
89	121.66	169	121.66	249	179.67	9	205.13
90	125.64	170	128.03	250	179.39	10	220.44
91	118.84	171	124.00	251	182.88	11	221.12
92	127.32	172	124.49	252	183.91	12	228.95
93	120.25	173	118.84	253	164.81	13	199.08
94	126.75	174	118.84	254	173.30	14	212.20
95	121.66	175	121.45	255	187.77	15	221.40
96	125.91	176	123.08	256	175.90	16	206.66
97	110.35	177	113.08	257	185.30	17	215.04
98	115.73	178	116.94	258	169.76	18	210.79
99	125.64	179	134.40	259	185.33	19	226.86
100	120.06	180	123.08	260	181.08	20	209.38

	3 días de edad	7 días de edad	14 días de edad	28 días de edad
$\sigma$	5.28	5.87	6.30	9.60
$\bar{X}$	119.47	120.79	178.78	212.94

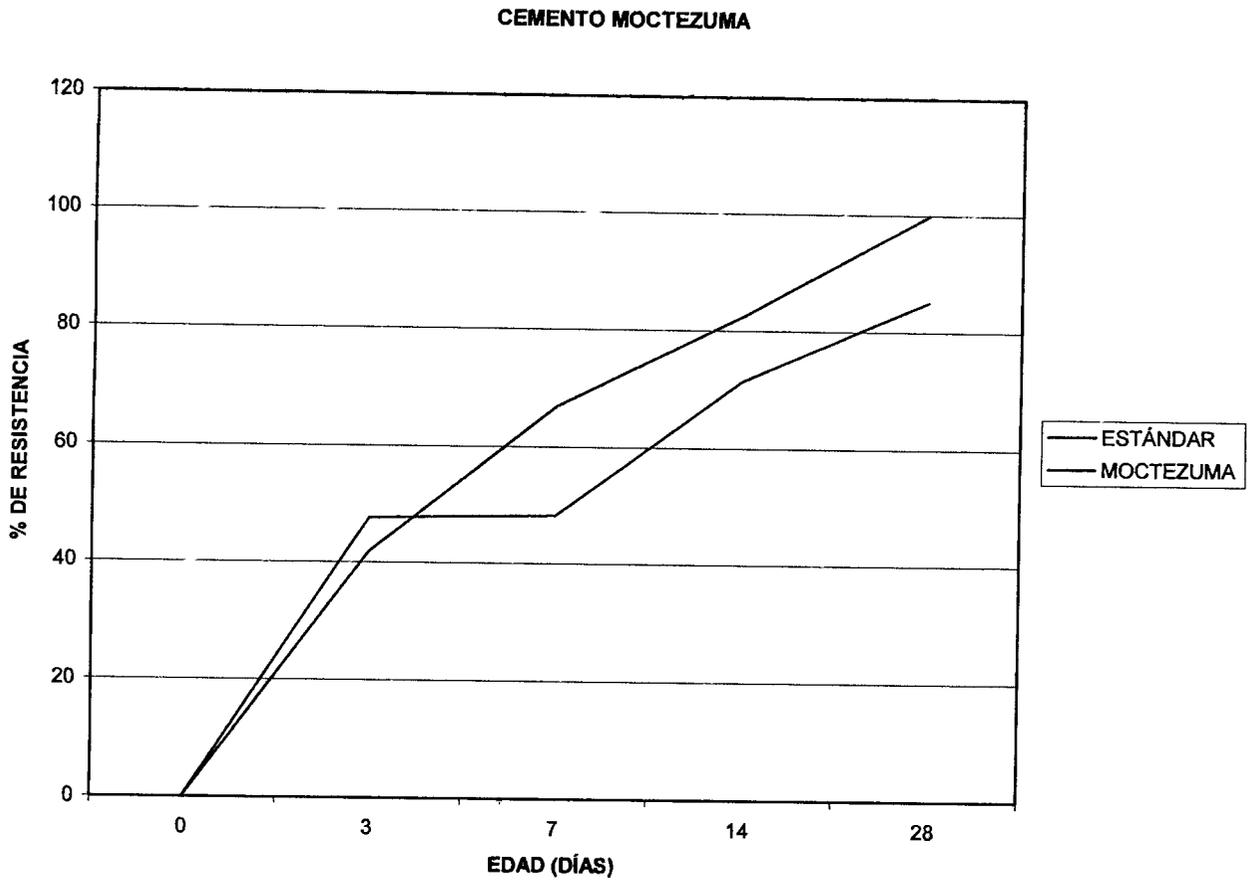


Figura 4.3 Gráfica comparativa de la resistencia a la compresión de los especímenes de concreto elaborados con cemento Moctezuma y la gráfica estándar.

Cuadro 4.4 Cálculo de la desviación estándar ( $\sigma$ ) y la media ( $\bar{X}$ ) de las resistencia a compresión de las muestras elaboradas con cemento Tolteca

3 días de edad		7 días de edad		14 días de edad		28 días de edad	
Cilindro	f <sub>c</sub>	Cilindro	f <sub>c</sub>	Cilindro	f <sub>c</sub>	Cilindro	f <sub>c</sub>
101	92.46	181	167.52	261	183.58	21	209.41
102	99.12	182	167.64	262	187.37	22	224.23
103	104.71	183	162.69	263	187.45	23	206.55
104	100.44	184	165.52	264	185.99	24	218.57
105	99.03	185	159.15	265	188.16	25	199.47
106	94.79	186	169.76	266	198.06	26	210.10
107	93.37	187	166.13	267	190.99	27	208.01
108	99.03	188	164.64	268	188.86	28	201.15
109	92.31	189	164.11	269	198.06	29	203.82
110	100.51	190	153.62	270	190.56	30	215.61
111	99.12	191	164.81	271	180.48	31	202.42
112	99.20	192	164.81	272	176.13	32	205.97
113	100.57	193	159.15	273	167.25	33	212.89
114	97.61	194	165.43	274	183.24	34	219.18
115	96.20	195	164.81	275	172.22	35	212.20
116	94.79	196	171.89	276	193.81	36	222.11
117	96.20	197	159.85	277	188.16	37	222.11
118	100.51	198	162.69	278	198.24	38	221.40
119	95.18	199	170.47	279	192.40	39	220.69
120	92.14	200	169.76	280	194.52	40	221.37

	3 días de edad	7 días de edad	14 días de edad	28 días de edad
$\Sigma$	3.42	4.43	8.37	8.03
$\bar{X}$	97.37	165.72	187.28	212.86

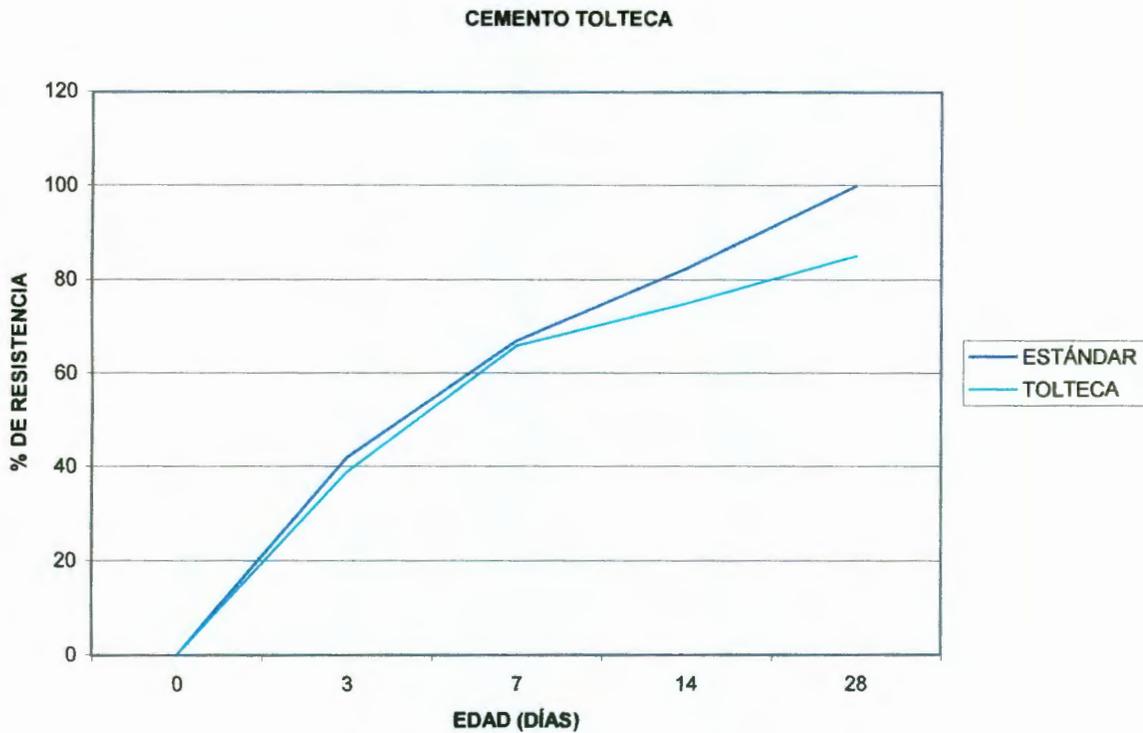


Figura 4.4 Gráfica comparativa de la resistencia a la compresión de los especímenes de concreto elaborados con cemento Tolteca y la gráfica estándar.

En el cuadro 4.5 se muestran los valores típicos de desviación estándar de pruebas de resistencia del concreto para varios estándares de control y tipos de prueba según la norma ACI 214.

Cuadro 4.5 Valores típicos de desviación estándar de pruebas de resistencia del concreto para varios estándares de control y tipos de prueba según la norma ACI 214

Clase de operación	Estándares para el control del concreto				
	EXCELENTE	MUY BUENO	BUENO	REGULAR	POBRE
(Variación total, desviación estandar, kg/cm <sup>2</sup> )					
A. Pruebas de Construcción General	Por debajo de 28.1	28.1 a 35.2	35.4 a 42.2	42.2 a 49.2	por encima de 49.2
(Variación total, desviación estandar, kg/cm <sup>2</sup> )					
B. Mezclas de prueba en laboratorio	Por debajo de 14.1	28.1 a 35.2	17.6 a 21.1	21.1 a 24.6	Por encima de 24.6
Variación dentro de la prueba, (especímenes compañeros) coeficiente de variación (en porcentaje)					
A. Pruebas de control de obras	Por debajo de 3.0	3.0 a 4.0	4.0 a 5.0	5.0 a 6.0	por encima de 6.0
B. Mezclas de prueba en el laboratorio	Por debajo de 2.0	2.0 a 3.0	3.0 a 4.0	4.0 a 5.0	por encima de 5.0

En cuadro 4.5 referente a los parámetros variación total en la desviación estándar para mezclas en prueba para laboratorio, los ensayos se encuentran en clasificación de excelentes a muy buenos.

Los valores de resistencia a la compresión que se esperan en un concreto normal así como los porcentajes de resistencia para concreto normales y de resistencia rápida se muestran en el cuadro 4.5

## LITERATURA CITADA

Askeland Donald R., 1998, Ciencia e Ingeniería de los materiales, México, Thomson

CFE, Instituto de Ingeniería de la UNAM, 1994, Manual de Tecnología del Concreto, Sección 1, México, Editorial Limusa.

CFE, Instituto de Ingeniería de la UNAM, 1994, Manual de Tecnología del Concreto, Sección 2, México, Edit. Limusa.

CFE, Instituto de Ingeniería de la UNAM, 1994, Manual de Tecnología del Concreto, Sección 3, México, Edit. Limusa.

CFE, Instituto de Ingeniería de la UNAM, 1994, Manual de Tecnología del Concreto, Sección 4, México, Edit. Limusa.

Gómez García Carlos, 2002, "Materiales Cerámicos para uso de la Industria Electrónica", Predoctoral, UAQ, México.

IMCYC, 1990, Práctica para dosificar concreto normal, concreto pesado y concreto masivo, México, Edit. Limusa.

IMCYC, 2001, Normas ASTM, Editorial IMCYC ,México.

IMCYC, 2001, Manual para supervisar Obras de Concreto, ACI311-99, México, Editorial Limusa.

IMCYC, Agosto 2000, Revista Construcción y Tecnología "Tecnología del Concreto un elemento esencial del diseño estructural", México.

IMCYC, Noviembre 2001, Revista Construcción y Tecnología "Elástica o inelásticamente", México.

IMCYC, Septiembre 2001, Revista Construcción y Tecnología "Reparaciones sólidas a bajo costo", México.

Neville, A. M., IMCYC, 1994, Tecnología del Concreto, México, Editorial Limusa.

Mehta Humar y Monteiro Paulo, 1998, Concreto, Estructura, propiedades y materiales, México, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A.C.

Mindess Sydney y Young J. Franas, 1997, Concrete, EEUU, Pretince Hall.

Rodríguez Silva Claudia, Escarcega Morales Ma. Guadalupe, 1997, "Síntesis y caracterización de un Compuesto Híbrido APA-CaCO<sub>3</sub>-HAP", Tesis Ingeniero Químico, Mexico, UNAM.

Waddell Joseph, Dobrowolski Joseph A., 1998, Manual del Constructor con Concreto, México, Edit. Mc Graw Hill