

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



“VARIACIÓN EN LA RESISTENCIA DE TESTIGOS DE CONCRETO POR EL
TAMAÑO Y FORMA DE PROBETAS”

PRESENTADO POR:

PAOLA PEREZ BUENDIA

TESIS PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERIA AGRICOLA

Lima- Perú

2015

ÍNDICE GENERAL DETALLADO

RESUMEN.....	1
I. INTRODUCCIÓN	2
Objetivo general	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1 Concreto.....	4
2.1.1. Componentes del concreto	4
2.1.1.1 Cemento.....	4
2.1.1.2 Agregados.....	5
2.1.1.2.1 Caracterizaciones de los agregados.....	5
2.1.1.2.2 Agregado fino	10
2.1.1.2.3 Agregado grueso.....	10
2.1.1.3 Agua.....	11
2.1.2 Diseño de mezclas.....	12
2.1.3 Curado del concreto.....	13
2.2 Análisis estadístico.....	13
2.2.1 Media aritmética.....	16
2.2.2 Desviación estándar.....	16
2.2.3 Coeficiente de variación.....	16
2.2.4 Distribución normal (distribución de gauss).....	17
2.3 E-060- reglamento nacional de construcciones.....	19
2.3.1 Selección de las proporciones del concreto.....	19
2.3.2 Proporcionamiento en base a experiencia de.....	20
Campo y/o mezclas de prueba	
2.3.3 Calculo de la resistencia promedio requerida	21
2.3.4 Selección de las proporciones por mezclas de prueba.....	22
2.3.5 Evaluación y aceptación del concreto.....	23

2.3.6	Influencia de la forma y tamaño de la probeta sobre.....	24
	La resistencia del concreto	
III.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	29
	Materiales.....	30
3.1	Caracterización de los agregados.....	30
3.2	Elaboración del concreto.....	32
3.2.1	Diseño de mezclas.....	31
3.2.2	Prueba de revenimiento.....	34
3.2.3	Procedimiento para el llenado de probetas	36
3.2.4	Curado de probetas	38
3.2.5	Ensayo de resistencia a la compresión	39
3.3	Mezclas de prueba	40
3.4	Análisis Estadístico.....	41
3.5	Costos de probetas cúbicas y cilíndricas.....	42
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIONES	43
4.1	Caracterización del agregado.....	43
4.1.1	Agrado grueso.....	43
4.1.2	Agregado fino.....	45
4.2	Diseño de mezclas de concreto	47
4.2.1	Mezclas de prueba	47
4.3	Resistencia a la compresión.....	49
4.4	Curvas de endurecimiento.....	49
4.5	Análisis estadístico.....	54
4.5.1	Análisis de Varianza.....	57
V.	CONCLUSIONES.....	65
VI.	RECOMENDACIONES.....	66
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	68

VIII. ANEXOS.....	63
Anexo 1: Cuadros utilizadas en el diseño de mezclas	63
Anexo 2: Resultados de los ensayos de la caracterización del.....	64
Agregado	
Anexo 3: Resultados de los ensayos de resistencia a la.....	70
Compresión	
Anexo 4: Curvas de endurecimiento.....	74
Anexo 5: Análisis estadístico.....	98
Anexo 6: Curvas de distribución.....	100
Anexo 7: Procedimiento para determinar propiedades.....	108
Físicas de los agregados	
Anexo 8: Fotografías.....	117

INDICE DE CUADROS

Cuadro N° 1: Tamices estándar ASTM	6
Cuadro N° 2: Límites de Granulometría del Agregado Fino.....	10
Cuadro N° 3: Límites de Granulometría del Agregado Grueso.....	11
Cuadro N° 4: Principales fuentes de variación de resistencia en compresión.....	14
Cuadro N° 5: Ratios promedio de Resistencia de testigos con.....	15
Diferentes testigos con diferentes diámetros	
Cuadro N° 6: Valores de dispersión para el control de concreto.....	17
Cuadro N° 7: Factores de corrección.....	21
Cuadro N° 8: Resistencia a la Compresión promedio requerida (Kg/cm ²).....	22
Cuadro N° 9: Formas y tamaños de probetas.....	29
Cuadro N° 10: Parámetros para la caracterización del agregado.....	31
Cuadro N° 11: Cantidad de probetas a preparar.....	32
Cuadro N° 12: Número de probetas ensayadas por.....	40
Tiempo de endurecimiento	
Cuadro N° 13: Valores de dispersión para el control de concreto.....	41
Cuadro N° 14: Resumen de las propiedades físicas del agregado grueso.....	43
Empleado en la muestra patrón con TM de 1”	
Cuadro N° 15: Resumen de las propiedades físicas del agregado fino.....	45
Cuadro N° 16: Cantidad de materiales por probeta y tamaño.....	48
Máximo de agregado grueso	
Cuadro N° 17: Slump alcanzado para cada tanda preparada.....	49
Cuadro N° 18: Resumen de la Resistencia a la compresión promedio.....	49
A los 28 días	
Cuadro N° 19: Cuadro comparativo – Análisis estadístico.....	54

INDICE DE FIGURAS

Figura N°1: Proporciones típicas en volumen absoluto de los.....	5
Componentes del concreto	
Figura N°2: Franja granulométrica de la arena.....	6
Figura N°3. Tamaño Máximo del Agregado Grueso y.....	8
Cantidad requerida de cemento	
Figura N° 4. Tamaño Máximo del Agregado Grueso y.....	9
Cantidad Requerida de agua	
Figura N° 5: Campana de Distribución Normal.....	18
Figura N°6: Método del cuarteado.....	31
Figura N°7: Preparación de concreto en carretilla.....	34
Figura N° 8 Prueba de revenimiento.....	35
Figura N° 9: Medida del asentamiento con el Cono de Abrams.....	36
Figura N° 10: Probetas desmoldadas	38
Figura N° 11: Probetas en la cámara de curado.....	39
Figura N° 12: Curva granulométrica del Agregado Grueso	44
Figura N° 13: Curva granulométrica del Agregado Fino.....	46
Figura N° 14: Curva de endurecimiento Probeta cilíndrica 6" x 12".....	50
Figura N° 15: Curva de endurecimiento Probeta cilíndrica 3" x 6"	51
Figura N° 16: Curvas de endurecimiento Probeta cilíndrica 2" x 4".....	52
Figura N° 17: Curvas de endurecimiento Probeta cilíndrica 6" x 6".....	53
Figura N° 18: Agregado Grueso; TM 1".....	57
Figura 19: Agregado Grueso; TM 3/4"	58
Figura 20: Agregado Grueso; TM 1/2".....	59
Figura 21: Agregado Grueso; TM 3/8".....	60
Figura 22: Agregado Grueso; TM 1".....	61
Figura 23: Agregado Grueso; TM 3/4".....	62
Figura 24: Agregado Grueso; TM 1/2"	64

RESUMEN

El objetivo de la siguiente investigación fue determinar la influencia de la utilización de diferentes tamaños y formas de probetas en los valores de resistencia a la compresión ensayados en laboratorio.

A través del análisis estadístico se pudo conocer la variabilidad de la resistencia de los testigos de concreto y verificar si el resultado estuvo acorde a los valores ya establecidos, ya que este análisis permite normalizar las condiciones de aceptabilidad del concreto.

Al término de la investigación se pudo concluir que efectivamente, la forma, tamaño y la densidad, de los testigos de concreto producen un efecto en los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión del concreto.

De tal forma que los resultados obtenidos en la probeta cilíndrica de 6" x 12" para todos los casos ofrecieron mejores resultados; ya que estos, superaron la resistencia de diseño establecida; lográndose en todos los casos un excelente control de calidad.

I. INTRODUCCIÓN

Tanto en el ámbito urbano como en el rural, el uso del concreto para las construcciones cada vez es mayor. Por ello es muy importante verificar que los resultados de los controles de calidad sean los más exactos y representativos posibles, de tal forma que garantice el óptimo desempeño del producto obtenido en obra.

El concreto es caracterizado generalmente por su resistencia a la compresión, los resultados obtenidos de las pruebas se usan fundamentalmente para determinar que la mezcla de concreto suministrada cumpla con los requerimientos de la resistencia especificada, $f'c$, del diseño. Estos resultados son empleados para fines de control de calidad y aceptación del concreto, también son empelados para estimar la resistencia a la compresión en estructuras, programar operaciones de construcción, etc.

En la práctica se pueden obtener diferentes valores en resultados de las pruebas de compresión, que pueden deberse a variaciones en la propiedades del concreto como los cambios ocurridos en la relación agua/cemento, variaciones en las características de sus componentes, variaciones ocasionadas por el trasporte, colocación, temperatura y curado.

La Norma E-060 para edificaciones establece como estándares las probetas de 6" x 12" y las probetas de 4" x 8"; sin embargo en obras de tipo hidráulicas y de minería muchas veces no es factible el uso de dichas probetas, por lo que se viene utilizando probetas cilíndricas de otras dimensiones y/o probetas cúbicas.

Por ejemplo en obras hidráulicas se ha encontrado el uso de probetas cubicas de 15, 20 y 30 cm de arista para el ensayo de compresión.

En construcción de muelles, malecones, estructuras subterráneas, plantas de tratamiento de aguas se emplean probetas cúbicas de 20 cm. de arista.

En obras de minería suelen emplearse probetas cilíndricas de 2" x 4" y 3" x 6" para la extracción de núcleos de concreto y evaluar la calidad del concreto endurecido.

En la planta la Atarjea se han extraído núcleos de concreto con forma cilíndrica de 10.4" x 6.9" y 9.4" x 6.9.

El MTC indica que en el caso de pavimentos el ensayo de compresión para comprobar la resistencia del concreto deben emplearse prismas de 15cm x 15cm y 50 cm. ensayados a los 28 días.

En el laboratorio de Prueba y Ensayo de Materiales de la UNALM, a lo largo del tiempo, se han detectado diferencias entre los valores de rotura de probetas de concreto, dependiendo del tamaño o forma de las mismas.

Es por ello que en el presente trabajo se analizó la posibilidad de emplear cilindros con dimensiones más pequeñas con respecto a los estandarizados así como probetas de forma cúbica para realizar el ensayo a compresión.

Finalmente, a través del análisis estadístico se podrá conocer la variabilidad de la resistencia del concreto y determinar si los resultados están acorde a los valores establecidos, ya que con este análisis se podrán normalizar las condiciones de aceptabilidad del concreto.

OBJETIVO GENERAL

- Determinar la influencia del uso de diferentes tamaños y formas de probetas en los valores de resistencia a la compresión del concreto obtenido en laboratorio.

II REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 CONCRETO

El concreto es un material artificial utilizado en la industria de la construcción, compuesto por cemento, agregados, agua y en algunos casos por aditivos.

Inicialmente es una mezcla que presenta una consistencia plástica que con el paso de los días adquiere características de rigidez y elevada resistencia.

“El concreto debe desempeñarse satisfactoriamente tanto en estado endurecido como en estado fresco, mientras se transporta por la mezcladora y se coloca en el lugar de trabajo”.¹

2.1.1. COMPONENTES DEL CONCRETO

2.1.1.1 CEMENTO

Se denomina cemento a aquellos materiales que han pasado por un proceso de pulverización, los cuales al entrar en contacto con el agua forman una pasta cementante que va adquiriendo una rigidez gradual que culmina con el fraguado; y que con el tiempo se endurecerá y tendrá una resistencia mecánica.

¹ **A. M. Neville y J. J Broo**

2.1.1.2 AGREGADOS

Los agregados son componentes del concreto que ocupan aproximadamente entre el 60% y 75% del volumen total

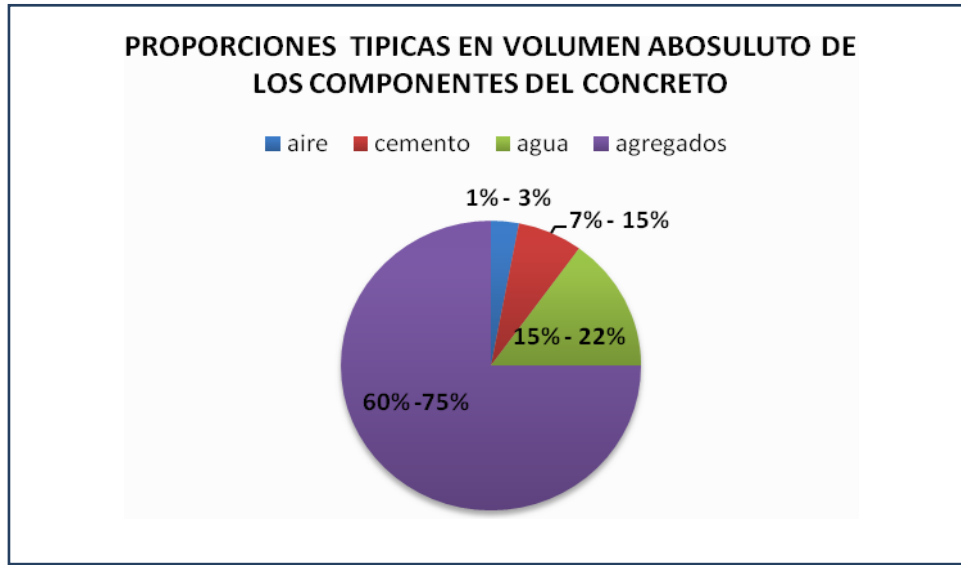


Figura N°1: Proporciones típicas en volumen absoluto de los componentes del concreto

Para que un agregado pueda ser empleado en la mezcla de concreto deberá ser evaluado en estudios de laboratorio para verificar el cumplimiento de la Norma. o se deberá contar con un registro que indique que ha sido utilizado en condiciones de obra similares.

2.1.1.2.1 CARACTERIZACIONES DE LOS AGREGADOS

a. Análisis Granulométrico

Consiste en la determinación del tamaño del agregado con el uso de tamices de aberturas de forma cuadradas determinadas.

Según Pasquel (1998) El análisis granulométrico “es la representación numérica de la distribución volumétrica de las partículas pro tamaño”

Cuadro N° 1: tamices estándar ASTM

DENOMINACION DEL TAMIZ	ABERTURA EN PULGADAS	ABERTURA EN MILIMETROS
3"	3.0000	75.0000
1 1/2"	1.5000	37.5000
3/4"	0.7500	19.0000
3/8"	0.3750	9.5000
N°4	0.1870	4.7500
N°8	0.0937	2.3600
N°16	0.0469	1.1800
N°30	0.0234	0.5900
N°50	0.0117	0.2950
N°100	0.0059	0.1475
N°200	0.0029	0.0737

Fuente: Pasquel E. (1998)

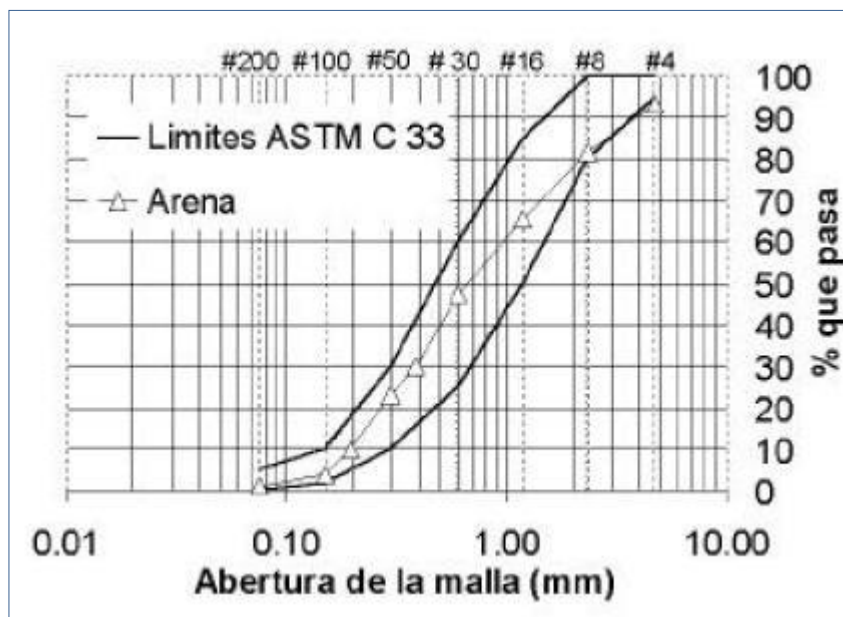


Figura N°2: Franja granulométrica de la arena

Con el análisis granulométrico se pueden obtener los siguientes datos:

- peso retenido en cada tamiz
- porcentaje retenido en cada tamiz
- porcentaje acumulado retenido que pasa cada tamiz.

Estos valores se representan gráficamente en un sistema de coordenadas semilogarítmicas en el cual se puede observar una distribución acumulada.

b. Tamaño Máximo del Agregado Grueso

La Norma Peruana NTP 400.037 indica que el tamaño máximo del agregado grueso es aquel que corresponde al menor tamiz por el que logra pasar la muestra de agregado grueso.

Los agregados que son graduados con el mayor tamaño máximo presentan menos espacios vacíos lo que influye en el aumento de la cantidad de la mezcla para determinado asentamiento requiriendo una menor proporción de cemento y agua.

Además de disminuir la cantidad de agua y cemento en la mezcla, del tamaño máximo del agregado grueso también depende la manejabilidad, la uniformidad, la contracción del concreto.

La Norma de Edificación E-060 indica que el agregado grueso no deberá ser mayor de los puntos que aquí se indican:

- $1/5$ de la menor dimensión entre las caras de encofrados
- $3/4$ del espacio libre mínimo entre barras o alambres individuales de refuerzo, paquetes de barras, tendones o ductos de pre esfuerzo; o
- $1/3$ del peralte de las losas

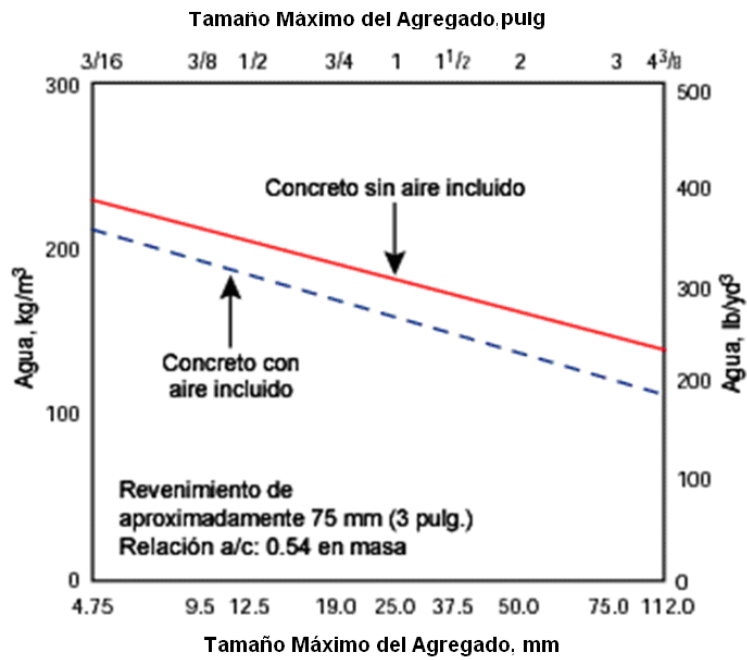


Figura N° 3. Tamaño Máximo del Agregado Grueso y Cantidad Requerida de Cemento

Para poder obtener una mezcla con una alta proporción de concreto que requiera una baja relación de agua- cemento y a la vez tenga una elevada resistencia a la compresión el tamaño máximo del agregado debe ser el menor posible. Este incremento de la resistencia al disminuir el tamaño máximo tiene su origen en que al aumentar la superficie física de las partículas, los esfuerzos de adherencia disminuyen por lo tanto la resistencia a la compresión aumenta.

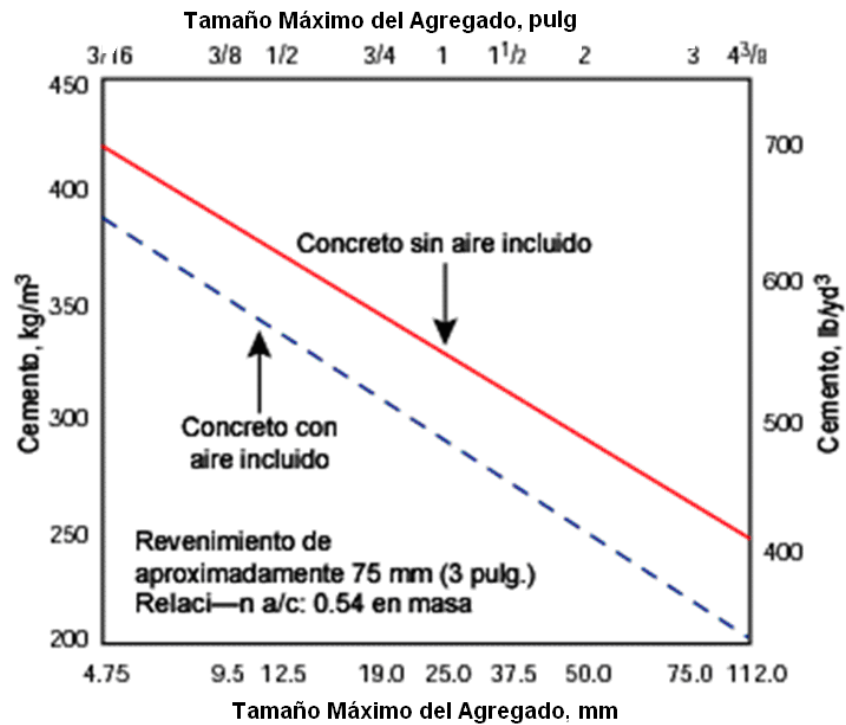


Figura N° 4. Tamaño Máximo del Agregado Grueso y Cantidad Requerida de Agua

c. Módulo de Fineza

Corresponde a la suma de los porcentajes retenidos acumulados en las mallas N° 3", N° 1 1/2", N° 3/4", N° 3/8", N° 4", N° 8", N° 16", N° 30", N° 50" y N° 100 dividido entre 100. Se determinan tanto para agregado grueso como para agregado fino, ya que sirve para caracterizar a cada uno sin depender de la mezcla de agregados en conjunto.

Aquellos agregados que presenten un bajo módulo de fineza indican que tienen mayor presencia de partículas finas en su composición, así como un área superficial muy elevada.

d. Superficie Específica

Viene a ser el área superficial del agregado referida al peso o volumen absoluto. El agregado fino tiene una superficie específica elevada, al ser más finas las partículas necesitará más pasta para recubrir el área superficial. El agregado grueso presenta una menor superficie baja.

2.1.1.2.2 AGREGADO FINO

Se denomina agregado fino a todo material que se origina por la desintegración natural o artificial de las rocas y pasa por el tamiz NTP 9.4 mm., que equivale a 3/8" y a la vez cumple con los límites dados en la norma NTP 400.037

Deberá tener una granulometría continua y uniforme. El material deberá quedar retenido en las mallas N°4 y N°100.

El módulo de fineza no deberá ser menor de 2.3 ni exceder a 3.1

Cuadro N° 2: Límites de Granulometría del Agregado Fino

Tamiz		% que pasa (en masa)
9.5 mm	3/8"	100
4.75 mm	N°4	95 a 100
2.36 mm	N°8	80 a 100
1.18 mm	N°16	50 a 85
600 μm	N°30	25 a 60
300 μm	N°50	5 a 30
150 μm	N°100	0 a 10

Fuente: Rivva E. (2000)

2.1.1.2.3 AGREGADO GRUESO

Es todo aquel material retenido en el tamiz NTP 4.75 mm o N° 4 y cumple con los límites dados por la Norma ITINTEC 400.37

Se puede producir con piedra partida, grava natural o triturada. Sus partículas en lo posible tendrán forma angular o semiangular.

La granulometría deberá ser continua y deberá permitir una trabajabilidad apropiada.

Esta granulometría no deberá tener más del 5% de agregado retenido en la malla 1½” y no más del 6% del agregado que pasa a través de la malla ¼”

Cuadro N° 3: Límites de Granulometría del Agregado Grueso

Tamiz		% que pasa (en masa)
37.5 mm	1 1/2"	100
25 mm	1"	80 a 100
12.5 mm	1/2"	25 a 60
4.75 mm	N°4	0 a 10
2.36 mm	N°8	0 a 5

Fuente: Rivva E. (2000)

Neville (1995) señala que las prescripciones contenidas en algunas normas y recomendaciones sobre los testigos de concreto advierten que el tamaño del agregado grueso es una de las variables que más puede afectar al resultado obtenido en el ensayo; recomendado así que el diámetro mínimo del testigo sea al menos tres veces el tamaño máximo del agregado grueso con el que se fabricó el concreto.

2.1.1.3 AGUA

El agua se aplica de dos maneras: como componente en la elaboración de la mezcla de concreto y como agua para el curado del concreto endurecido.

En cuanto a la calidad del agua a emplear, esta deberá ser aquella que se emplea para el consumo humano, o aquellas que han sido utilizadas con anterioridad en la elaboración de concreto y su calidad se ha determinado por medio de análisis en laboratorio.

El agua deberá estar libre de colorantes, azúcares o aceites. La presencia en pequeñas cantidades o en grandes cantidades puede retardar o acelerar el fraguado respectivamente. Los requisitos que cumple el agua para la elaboración del concreto deberán en lo posible ser las mismas para el curado, con la finalidad de evitar el uso de aguas que no sean adecuadas para este proceso.

2.1.3 DISEÑO DE MEZCLAS

La mezcla de concreto que se elabore debe ser trabajable, consistente y a la vez cohesiva; estas propiedades facilitarán la adecuada colocación en los encofrados y a la vez pueda ser una alternativa económica.

Tanto los agregados como el cemento y el agua cumplen un papel muy importante en la fabricación del concreto por lo que deben conocerse a la perfección las características de a estos elementos, ya que de ellos dependerá la resistencia y durabilidad en el tiempo.

En el medio existen diversos métodos para diseñar mezclas de concreto. Algunos presentan Cuadros y/o Figuras para determinar las cantidades de agua de amasado en base al tamaño máximo, geometría del agregado y el asentamiento; relaciones entre el agua y el cemento estimadas a partir de la resistencia en compresión obtenida experimentalmente; así como las cantidades de piedra y arena basándose en gradaciones y consideraciones teóricas y/o prácticas etc.

El método más utilizado es el propuesto por el comité ACI 211, denominado como método ACI 211, basado en el empleo de tablas

Para el diseño de mezclas utilizando cualquier método es necesario conocer los siguientes datos obtenidos en ensayos de laboratorio:

- Tipo de cemento y sus propiedades
- Granulometría, peso específico, peso unitario, porcentaje de humedad y porcentaje de absorción de los agregados.

2.1.4 CURADO DEL CONCRETO

El curado consiste en mantener los contenidos de humedad y de temperaturas satisfactorios en el concreto después de la colocación y acabado, con el fin de alcanzar las propiedades deseadas.

Tiene por objetivos:

- Prevenir la pérdida de humedad del concreto.
- Mantener una temperatura favorable en el concreto durante un período definido

2.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El empleo del análisis estadístico será necesario cuando se realicen pruebas de laboratorio o in situ, este análisis nos permite conocer si algún cambio realizado en la dosificación altera las propiedades del producto, conocer la variabilidad de la resistencia del concreto y conocer si esta variabilidad está acorde a los valores ya establecidos

Para determinar la calidad del concreto existen muchos factores además de la resistencia en compresión, pero este parámetro es de vital importancia ya que en base a él se basan las teorías de diseño existentes.

El concreto es un material variable, las variaciones surgen por la falta de uniformidad de sus agregados, de su proporcionamiento y de los métodos de prueba aplicados. Esta variabilidad debe tomarse en cuenta al especificar la resistencia del concreto y la única forma racional de hacerlo es por métodos estadísticos

En la siguiente Cuadro se presentan las principales fuentes de variación en resultados de resistencia de concreto.

Cuadro N°4: Principales fuentes de variación de resistencia en compresión

DEBIDO A VARIACIONES EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO	DEBIDO A DEFICIENCIAS EN LOS METODOS DE PRUEBA
<ol style="list-style-type: none"> 1) Cambios en la relación Agua/Cemento <ol style="list-style-type: none"> a) Control deficiente de la cantidad de agua b) Variación excesiva de humedad en los agregados c) Agua adicional al pie de obra 2) Variación en los requerimientos de agua de mezcla. <ol style="list-style-type: none"> a) Gradación de los agregados, absorción y forma b) Características del Cemento y Aditivos c) Contenido de aire d) Tiempo de suministro y temperatura 3) Variaciones en las características y proporciones de los ingredientes. <ol style="list-style-type: none"> a) Agregados b) Cemento c) Puzolanas d) Aditivos 4) Variaciones ocasionadas por el transporte, colocación y compactación 5) Variaciones en la temperatura y curado 	<ol style="list-style-type: none"> 1) Procedimientos de muestreo inadecuados 2) Dispersiones debidas a las formas de preparación manipuleo y curado de cilindros de prueba 3) Mala calidad de los moldes para cilindros 4) Defectos de curado: <ol style="list-style-type: none"> a) Variaciones de temperatura b) Humedad variable c) Demoras en el transporte de los cilindros al laboratorio 5) Procedimientos de ensayos deficientes. <ol style="list-style-type: none"> a) En el refrendado (capping) de los cilindros b) En el ensayo de compresión.

Fuente: Pasquel E. (1998)

En el cuadro N° 5 se muestran algunos resultados de estudios realizados por diferentes investigadores, que obtuvieron ratios promedio de resistencia en función del diámetro del testigo

Cuadro N° 5: Ratios promedio de Resistencia de testigos con diferentes diámetros

Fuente	Año	$f_{c,50}/f_{c,75}$	$f_{c,50}/f_{c,100}$	$f_{c,75}/f_{c,100}$	$f_{c,50}/f_{c,150}$	$f_{c,100}/f_{c,150}$
Petersons*	1964		1.01			
Petersons & Hellström*	1967			0.93		1.06
Meininger	1968		1.04		1.06	1.02
Henzel & Freitag*	1969		1.06			1.04
Bhargava*	1969					1.00
Rechardt-Poijärvi*	1969		0.99	1.04		
Petersons*	1970			1.02		
Lewandowski**	1971					1.05
Sangha & Dhir**	1972		1.02	1.02		
Buo & Dahl**	1973				1.05	
De Smitter**	1974		0.90	0.95		
Delibes	1974					1.03
Jaegermann & Bentur***	1977		0.90			
Kemi & Hiraga***	1979					1.00
Lewis**	1972			0.96		0.93
Lewis	1976	1.10	1.03	0.94		
Bowman	1980			1.10	1.08	
Bungey	1979		0.99	1.01		
Keiller	1984	1.00	1.03	0.94		
Munday & Dhir	1984	0.97	0.99	1.01		
Yip & Tam	1988		0.94-0.97			
Bartlett & MacGregor	1994		0.94		0.92	0.98
Gutschow****	1995	0.94		1.06		
Cañas	1997	0.95		1.17		
Arioz et al.	2007		1.12	1.06		1.04

Fuente: Rojas H. (2012)

2.2.1 MEDIA ARITMÉTICA

La media aritmética o media de un conjunto de N números $X_1, X_2, X_3, \dots, X_N$ se representa $\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_N}{N}$

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

2.2.2 DESVIACIÓN ESTÁNDAR

Es una medida de dispersión, que nos indica cuánto pueden alejarse los valores respecto al promedio (media), por lo tanto es útil para buscar probabilidades de que un evento ocurra,

Puede definirse como la raíz cuadrada de la media aritmética del cuadrado de las desviaciones de cada valor de la variable con respecto a la media, o sea:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{X})^2}{N - 1}}$$

2.2.3 COEFICIENTE DE VARIACIÓN

La medida de la variabilidad, cualquiera que sea, presentará una menor dispersión cuanto menor sea su valor, pero se necesita de una medida relativa para poder distinguir

El grado de variabilidad o dispersión de dos o más variables. Se representa con la siguiente expresión.

$$CV = \frac{s}{X}(100\%)$$

En caso no se cuenten con valores de desviación estándar y coeficiente de variación pueden tomarse de la Cuadro que a continuación se presentan tomados tanto en laboratorio como en obra.

Cuadro N° 6: Valores de dispersión para el control de concreto

DISPERSION TOTAL					
CLASE DE OPERACIÓN	DESVIACION STANDARD PARA DIFERENTES GRADOS DE CONTROL (kg/cm ²)				
	EXCELENTE	MUY BUENO	BUENO	SUFICIENTE	DEFICIENTE
Concreto en Obra	< a 28.1	28.1 a 35.2	35.2 a 42.2	42.2 a 49.2	> a 49.2
Concreto en Laboratorio	< a 14.1	14.1 a 17.6	17.6 a 21.1	21.1 a 24.6	> a 24.6
DISPERSION ENTRE TESTIGOS					
CLASE DE OPERACIÓN	COEFICIENTE DE VARIACION PARA DIFERENTES GRADOS DE CONTROL (kg/cm ²)				
	EXCELENTE	MUY BUENO	BUENO	SUFICIENTE	DEFICIENTE
Concreto en Obra	< a 3.0	3.0 a 4.0	4.0 a 5.0	5.0 a 6.0	> a 6.0
Concreto en Laboratorio	< a 2.0	2.0 a 3.0	3.0 a 4.0	4.0 a 5.0	> a 5.0

Fuente: Pasquel E. (1998)

2.2.4 DISTRIBUCIÓN NORMAL (Distribución de Gauss)

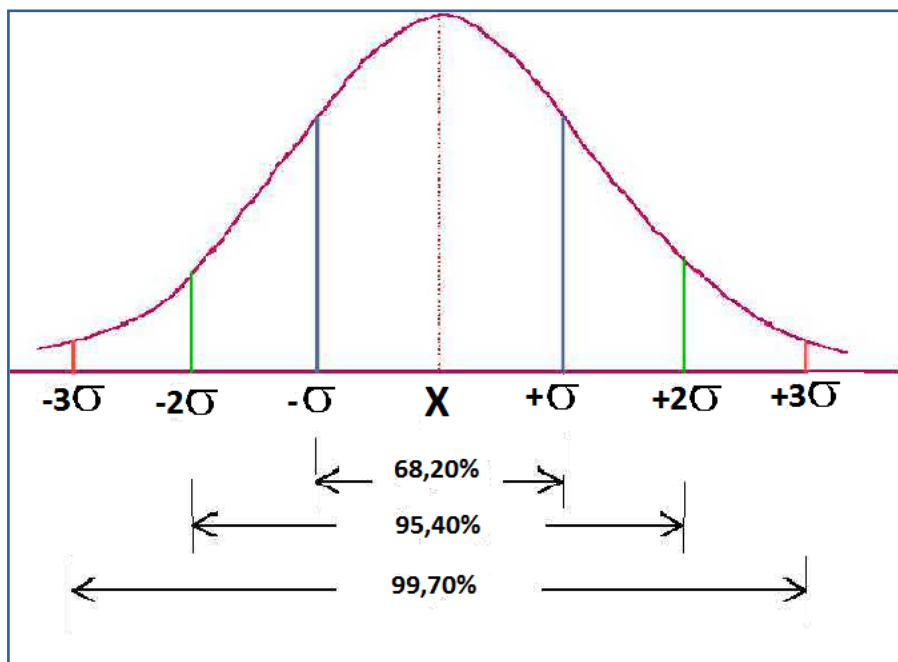
La Normal es la distribución de probabilidad más importante. Multitud de variables aleatorias continuas siguen una distribución normal o aproximadamente normal.

Una de sus características más importantes es que casi cualquier distribución de probabilidad, tanto discreta como continua, se puede aproximar por una normal bajo ciertas condiciones.

Una propiedad muy importante de la curva Normal es que su localización y forma quedan completamente determinadas por los dos primeros momentos de la distribución o sea por los valores X y s . El primero establece el centro de la curva y el segundo, la dispersión de sus valores

Puede considerarse que la resistencia de los ensayos de concreto, cae dentro de un patrón similar a la curva normal de distribución de frecuencias. Los resultados de las pruebas tienden a concentrarse alrededor de la media, pero siempre existe la posibilidad de ocurrencia de resistencias bajas o muy bajas.

Figura N° 5: Campana de Distribución Normal



Los valores comprendidos entre $(X - \delta)$ y $(X + \delta)$ representan el 68.20% de los resultados, mientras que los valores comprendidos entre $(X - 2\delta)$ y $(X + 2\delta)$ representan el 95,40% de los resultados

El valor de f'_c que se requiera con cierto grado de confiabilidad será determinado mediante el valor de resistencia promedio de las muestras obtenidas (X) menos una cantidad de veces (t) la desviación estándar

2.3 E-060- Reglamento Nacional de Construcciones

Esta norma fija los requisitos y exigencias mínimas para el análisis, diseño, materiales, construcción, control de calidad e inspección de estructuras de concreto simple o armado.

2.3.1 SELECCIÓN DE LAS PROPORCIONES DEL CONCRETO

La selección de las proporciones de los materiales integrantes del concreto deberán permitir que:

- a) Se logren la trabajabilidad y la consistencia que permitan que el concreto sea colocado en los encofrados y alrededor del acero de refuerzo bajo las condiciones de colocación a ser empeladas, sin segregación ni exudación excesivas
- b) Se logre la resistencia a las condiciones especiales de exposición a que pueda estar sometido el concreto.
- c) Se cumpla con los requisitos, especificados para la resistencia en compresión u otras propiedades.

Cuando se emplee materiales diferentes para partes distintas de una obra, cada combinación de ellos deberá ser evaluada

Las proporciones de la mezcla de concreto, incluida la relación agua-cemento, deberán ser seleccionadas sobre la base de las experiencias de obra y/o de mezcla de prueba preparadas con los materiales a ser empleados.

2.3.2 PROPORCIONAMIENTO EN BASE A EXPERIENCIA DE CAMPO Y/O MEZCLAS DE PRUEBA

a. Cálculo de la desviación estándar

Método 1:

Si se posee un registro de resultados de ensayos de obras anteriores, deberá calcularse la desviación estándar. El registro deberá:

- a) Representar materiales, procedimientos de control de calidad y condiciones similares a aquellos que se esperan en la obra que se va a iniciar.
- b) Representar a concretos preparados para alcanzar una resistencia de diseño $f'c$ que este dentro del rango de ± 70 Kg/cm² de la especificada para el trabajo a iniciar
- c) Consistir de por lo menos 30 ensayos consecutivos o de los grupos de ensayos consecutivos que totalicen por lo menos 30 ensayos. Se considera como ensayo de resistencia al promedio de los resultados de dos probetas cilíndricas preparadas de la misma muestra de concreto y ensayadas a los 28 días o a la edad elegida para la determinación de la resistencia de concreto.

Método 2:

Si solo se posee un registro de resultado de 15 a 29 ensayos consecutivos, se calculará la desviación estándar “s” correspondiente a dichos ensayos y se multiplicará por el factor de corrección indicado en la **Cuadro 7** para obtener el nuevo valor de “s”

El registro de ensayos a que se hace referencia en este método deberá cumplir con los requisitos a) y b) del método 1 y representar un registro de ensayos consecutivos que comprenda un periodo de no menos de 45 días calendarios.

Cuadro N° 7: Factores de corrección

MUESTRAS	FACTOR DE CORRECCION
Menor de 15	Usar Cuadro 8
15	1.16
20	1.08
25	1.03
30	1.00

Fuente: Norma E-060- Reglamento Nacional de Construcciones

2.3.3 CÁLCULO DE LA RESISTENCIA PROMEDIO REQUERIDA

La resistencia en compresión promedio requerida (f'_{cr}), empleada como base en la selección de las proporciones del concreto. Se calculara de acuerdo a los siguientes criterios:

- a) Si la desviación estándar se ha calculado de acuerdo a lo indicado en el Método 1 o en el Método 2, la resistencia promedio requerida será el mayor de los valores determinados por las formulas siguientes, usando la desviación estándar “s”.

1. $f'_{cr} = f'_c + 1,34s$

2. $f'_{cr} = f'_c + 2,33s - 35$

Donde:

s = Desviación estándar en Kg/cm²

- b) si se desconoce el valor de la desviación estándar se utilizara la Cuadro 8 para la determinación de la resistencia promedio requerida.

Cuadro N° 8: Resistencia a la Compresión promedio requerida (Kg/cm²)

$f'c$	$f'cr$
menos de 210	$f'c + 70$
210 a 350	$f'c + 84$
Sobre 350	$f'c + 98$

Fuente: Norma E-060- Reglamento Nacional de Construcciones

2.3.4 SELECCIÓN DE LAS PROPORCIONES POR MEZCLAS DE PRUEBA

Si no tuvieran los requisitos o estos no cumplen con lo indicado en la sección anterior, se podrá proporcionar la mezcla mediante la elaboración de mezclas de prueba. En estas se tendrá en consideración las siguientes limitaciones.

- a) Los materiales utilizados y las combinaciones de los mismos serán aquellos a utilizarse en obra.
- b) Las mezclas de prueba deberán prepararse empleando no menos de tres diferentes relaciones agua- cemento o contenidos de cemento, a fin de obtener un rango de resistencias dentro del cual se encuentre la resistencia promedio deseada.
- c) Las diferencias entre el asentamiento de mezclas de prueba deberá estar dentro del rango de más o menos 20 mm de máximo permitido.
- d) Para cada mezcla de prueba deberán prepararse y curarse por lo menos 3 probetas para cada edad de ensayo. Se seguirá lo indicado en la Norma ASTM C192.
- e) En base a los resultados de los ensayos de las probetas, deberán construirse curvas que muestren la interrelación entre la relación agua- cemento o el contenido de cemento y la resistencia en compresión. La relación agua- cemento máxima o el contenido de cemento mínimo seleccionado deberá ser aquel que en la curva muestre que se ha de tener la resistencia promedio requerida.

2.3.5 EVALUACIÓN Y ACEPTACIÓN DEL CONCRETO

Clase de Concreto

Para la selección del número de muestras de ensayo, se considerara como clase de concreto a:

- a) Las diferentes calidades de concreto requeridas por resistencia en compresión
- b) Para una misma resistencia en compresión, las diferentes calidades de concreto obtenidas por variaciones en el tamaño máximo del agregado grueso, modificaciones en la granulometría del agregado o utilización de cualquier tipo de aditivo.
- c) El concreto producido por cada uno de los equipos de mezclado utilizados en la obra.

Frecuencia de los Ensayos

Las muestras para ensayos de resistencia en compresión de cada clase de concreto colocado cada día deberán ser tomadas:

- a) No menos de una muestra de ensayo por día
- b) No menos de una muestra de ensayo por cada 50 metros cúbicos de concreto colocado
- c) No menos de una muestra de ensayo por cada 300 metros cuadrados de área superficial para pavimentos o losas.
- d) No menos de una muestra de ensayo por cada cinco camiones cuando se trate de concreto premezclado.

Si el volumen total de concreto de una clase dada es tal que la cantidad de ensayos de resistencia en compresión ha de ser menor de cinco, el inspector ordenará ensayos de por lo menos cinco tandas tomadas al azar, o de cada tanda si va a haber menos de cinco.

En elementos que no resistan fuerzas de sismo, si el volumen total de concreto de una clase es dada es menor de 40 metros cúbicos, el inspector podrá disponer la supresión de los ensayos de resistencia de compresión si, a su juicio, está garantizada la calidad del concreto.

Ensayo de las Probetas curadas en Laboratorio

Las probetas curadas en el laboratorio seguirán las recomendaciones de la Norma ASTM C192 y serán ensayadas de acuerdo a la Norma ITINTEC 339.034.

Se consideraran satisfactorios los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión a los 28 días de una clase de concreto si se cumplen las dos condiciones siguientes:

- a) El promedio de todas las series de tres ensayos consecutivos es igual o mayor que la resistencia de diseño.
- b) Ningún ensayo individual de resistencia está por debajo de la resistencia de diseño por más de 35 Kg/cm².

Si no se cumplieran los requisitos de la sección anterior, el inspector dispondrá las medidas que permitan incrementar en promedio de los siguientes resultados.

2.3.6 INFLUENCIA DE LA FORMA Y TAMAÑO DE LA PROBETA SOBRE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO

Para el control de la calidad del concreto se ha tomado como base la medida de la resistencia a la compresión simple, la cual, desde 1920, se lleva a cabo en muchos países mediante la utilización de cilindros de 15 cm de diámetro por 30 cm de altura, gracias a que al cabo de una serie de pruebas sobre especímenes de diferentes tamaños y distintas relaciones de altura diámetro, las resistencias medidas sobre los cilindros de 15 x 30 cm resultaron ser muy semejantes a aquellas para las cuales se habían diseñado las mezclas.

Llegándose a establecer estas dimensiones como norma para control de la calidad del concreto, recomendándose además que la relación diámetro/tamaño máximo del agregado no sea menor que tres ².

En la actualidad ya existen precedentes en la investigación relacionada al efecto de la forma y tamaño de probeta en la resistencia a la compresión de concreto, tanto de las cúbicas como de las cilíndricas. Son numerosas las investigaciones que se han realizado con el objeto de estudiar el efecto del tamaño del cilindro sobre la medida de la resistencia del concreto. Estas investigaciones datan desde 1925 cuando Gonnerman realizó un estudio acerca del efecto del tamaño y forma del espécimen sobre la resistencia del concreto, del cual concluyó que los cilindros de 10 cm x 20 cm eran apropiados siempre y cuando la relación entre el diámetro del cilindro y el tamaño máximo del agregado, (D/d), no fuera menor que tres. ³

Neville (1995) considerando que los testigos de tamaño pequeño presentan mayor dispersión que las probetas de tamaño normal, estimó que para que se dé una determinación precisa de la resistencia, el número de testigos de 50 mm deberá ser tres veces superior al número de testigos de 100mm de diámetro.

Lewis (1976) señaló que la dispersión de la resistencia de los testigos de 50 mm de diámetro a menudo excede la observada para testigos de 100 o 150 mm de diámetro.

Bungey y Millard (1996) han publicado datos referentes al muestreo, ensayo es interpretación de testigos con diámetros por debajo de los 50mm, aunque en general, a menor diámetro más baja es la resistencia y menor la precisión, lo que puede obligar a emplear un elevado número de testigos.

Bowman (1980) encontró un coeficiente de variación del 28.9% para la resistencia estimada del concreto insitu con testigos de 50 mm frente al 9.5% correspondientes a testigos de 150 mm extraídos del mismo concreto.

El Instituto Americano del Concreto (ACI), desarrolló una investigación bastante práctica al respecto utilizando especímenes de 10x20 cm. Se usó gravas de piedra caliza, gravas

naturales y manufacturadas como agregado grueso y arena natural como agregado fino. Se trabajó diferentes relaciones agua/cemento y se realizó diferentes combinaciones de agregados pétreos para ser ensayados a los 7, 28, 42 y 91 días de madures y se compararon resultados con probetas curadas en el campo y en condiciones de laboratorio. Todos los resultados coincidieron en que las probetas de 6 x 12 pulgadas desarrollan una mayor resistencia a la compresión que las probetas de 4 x 8 pulgadas.

J.R del Viso, J.R Carmona y G. Ruiz; señalan algunas de las ventajas que se han podido encontrar con el uso de cilindros de 10 cm x 20 cm y 7.5 cm x 15 cm :

- Facilidad de fabricación. El llenado de los moldes se realizará con mayor rapidez, ya que se requiere un menor volumen de concreto, disminuyendo el tiempo de llenado de las probetas.
- Mayor facilidad en el manejo y transporte de los especímenes. El cilindro de 7.5 cm x 15 cm pesa alrededor de 1.5 kg, el de 10 x 20 cm pesa 3.6 kg, mientras que el cilindro de 15 cm x 30 cm pesa aproximadamente 12.2 kg. Esto se refleja en el manejo más cómodo de los especímenes al introducirse y retirarse del sitio de curado.
- Menor capacidad de almacenamiento requerida. Por sus menores dimensiones, los especímenes cilíndricos permiten disponer de mayor espacio de almacenamiento en los cuartos curado. El cilindro de 15 cm x 30 cm ocupa un volumen ocho veces mayor que el de un cilindro de 7.5 x 15 cm y más de tres veces el volumen del cilindro de 10 cm x 20cm.

- Menor peso y mayor economía de los moldes.
- Menor capacidad de la máquina de ensayo. La prensa para el ensayo a la compresión simple requiere menor capacidad de carga al disminuir las dimensiones de los especímenes, siendo esto un factor de suma importancia cuando se trata de concretos de alta resistencia.
- Economía de materiales. Con el volumen de concreto de un cilindro de 15 x 30 cm, se pueden fabricar ocho cilindros de 7.5 cm x 15 cm y cerca de 3.5 cilindros de 10 cm x 20 cm, es decir se requiere menor cantidad de concreto para fabricar cilindros de 10 cm x 20 cm y 7.5 cm x 15 cm.

Por otro lado, el uso de los cilindros de 7.5 cm x 15 cm y 10 x 20 cm puede presentar desventajas como las siguientes:

- Estos especímenes podrán utilizarse, siempre y cuando el tamaño máximo del agregado grueso, no exceda 2,5 cm. Por su menor tamaño y peso, pueden ser susceptibles de mal trato, daño e inclusive pérdida.
- Al ser más livianos, pueden ser mal manipulados en obra durante las primeras horas de fraguado, lo que proporcionará un resultado erróneo al ser ensayados.

Debido a los malos tratos, la incidencia en el resultado de resistencia a compresión puede ser mayor.

En cuanto a las probetas cúbicas las ventajas que han podido encontrarse son:

- La eliminación de la producción de polvo provocado por el pulido de las probetas cilíndricas.
- Permite una fácil manipulación, en la obra y transporte, y reducción del peso respecto a la probeta cilíndrica.

- El molde de probeta cúbica es apilable entre sí, lo que permite disponer de mayor espacio, tanto en la obra, como en el propio laboratorio.
- Permite una importante reducción, aproximadamente casi la mitad respecto a las probetas cilíndricas, del espacio en las cámaras húmedas y del espacio para apilar moldes.
- Las probetas cúbicas permiten aminorar costes de consumo eléctrico y de contrato de mantenimiento de maquinaria, ya que en las probetas cúbicas este coste es cero.
- Al emplear, probetas cúbicas también se conseguirá un ahorro de tiempo, ya que la probeta va directamente de la cámara a la prensa, no necesita ser pulida.
- Esta probeta permite extraer la probeta de concreto fácilmente del molde.

Entre los inconvenientes de esta probeta pueden mencionarse que no es posible extraer muestras en obras ya ejecutadas, así como también que hay que ensayar la probeta en la dirección perpendicular al moldeo.

III MATERIALES Y METODOS

El diseño de mezclas utilizado para la presente investigación se basó en el método ACI ya que los resultados obtenidos se ajustaban mejor a los valores esperados.

Inicialmente se preparó una mezcla patrón con el tamaño máximo de piedra de la cantera de procedencia que fue de 1". Con esta mezcla se ensayaron probetas cilíndricas de 6" x 12", buscando obtener un slump que se encuentre dentro del rango entre 3" y 4" con una resistencia de diseño 280 kg/cm²

Una vez obtenido el diseño modelo se procedió a realizar las mezclas con diferentes tamaños máximos de piedra: 3/4", 1/2" y 3/8" con el propósito de ver su influencia en la preparación de la probeta y en la resistencia de diseño.

Luego de tener las piedras clasificadas de acuerdo al tamaño máximo, se seleccionaron diferentes tamaños y formas de probetas:

Cuadro N° 9: Formas y tamaños de probetas

PROBETAS CILINDRICAS	6" X 12"
	3" X 6"
	2" X 4"
PROBETAS CUBICAS	6" X 6"

MATERIALES

- Cemento Portland Tipo I
- Piedra chancada de 1", 3/4", 1/2"; 3/8"
- Agregado fino de M.F de 2.75
- Agua potable

3.1 CARACTERIZACION DE LOS AGREGADOS

Las muestras de agregado fueron seleccionadas a través del método de cuarteo; el cual se detalla a continuación:

- Se colocó un tamaño de muestra considerable sobre una superficie plana, dura y limpia.
- Se mezcló el material completamente con ayuda de la lampa, buscando apilar la muestra de forma cónica, depositando cada paleada sobre la anterior.
- Luego se aplanó con cuidado la pila hasta que obtuvo un espesor y un diámetro uniformes, y se dividió en cuatro partes iguales, teniendo mucho cuidado de no mezclar entre sí cada una de las partes en que ha sido separada toda la muestra.
- Dos de las partes diagonalmente opuestas fueron eliminadas, incluyendo todo el material fino.
- Se mezcló el material restante y se cuarteo sucesivamente hasta reducir la muestra al tamaño requerido

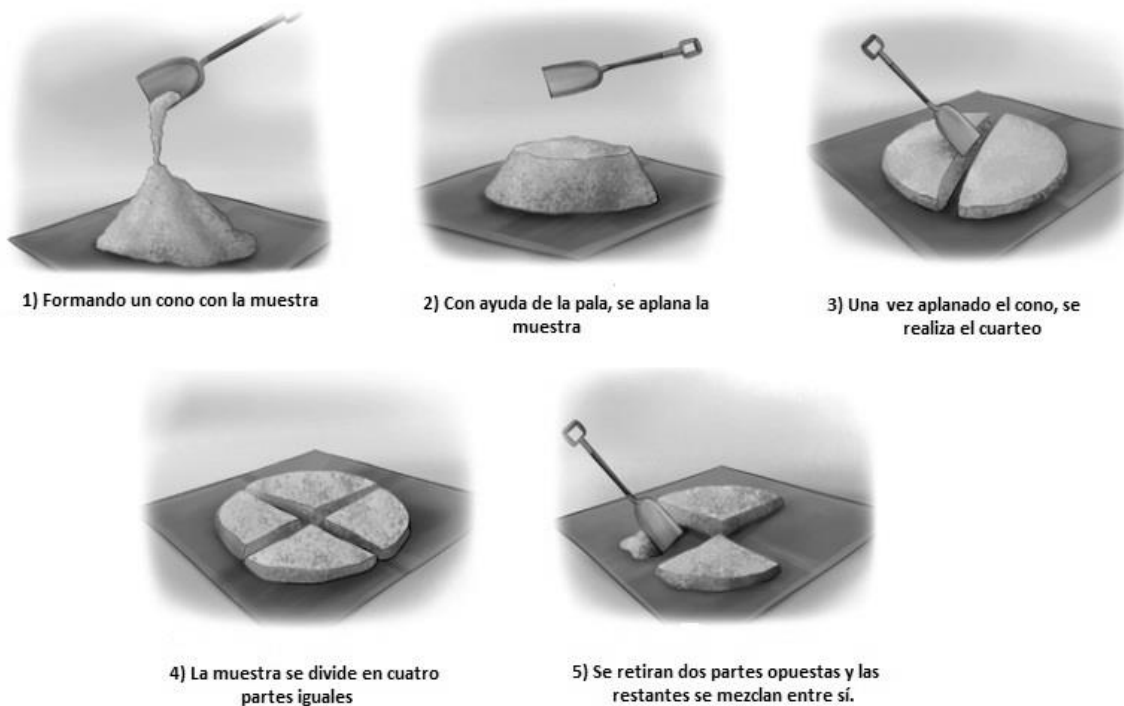


Figura N°6: Método del cuarteado

El agregado fue caracterizado para determinar los siguientes parámetros:

Cuadro N° 10: Parámetros para la caracterización del agregado

PARAMETROS	NORMA TECNICA
a) ANALISIS GRANULOMETRICO	NTP 400.012: 2013
b) PESO ESPECIFICO Y PORCENTAJE DE ABSORCION PARA AGREGADO FINO	NTP 400.022:2002
c) PESO ESPECIFICO Y PORCENTAJE DE ABSORCION PARA AGREGADO GRUESO	NTP 400.021:2002
d) CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL	NTP 339.185:2013
e) PESO UNITARIO Y COMPACTADO PARA AGREGADO FINO Y GRUESO	NTP 400.017:2011

(Ver procedimiento del ensayo en el anexo II)

Los resultados se muestran en el Cuadro N° 12 del capítulo de resultados IV

3.2 ELABORACION DEL CONCRETO

3.2.1 DISEÑO DE MEZCLAS

Materiales

- Agua
- Cemento
- Piedra chancada de tamaño 1"; 3/4"; 1/2"; 3/8"
- Arena

Procedimiento

En total se elaboraron 16 mezclas, con diferentes tamaños de piedra en diferentes tamaños y formas de probetas.

Cuadro N°11: Cantidad de probetas a preparar

N° TANDA	f'c	T.M PIEDRA	N° PROBETAS POR CADA TAMAÑO	PROBETAS CILINDRICAS			PROEBTA CUBICA
				6"x 12"	3"x6"	2"x 4"	6"x 6"
1	280	1"	4	6"x 12"	3"x6"	2"x 4"	6"x 6"
2	280	3/4"	4	6"x 12"	3"x6"	2"x 4"	6"x 6"
3	280	1/2"	4	6"x 12"	3"x6"	2"x 4"	6"x 6"
4	280	3/8"	4	6"x 12"	3"x6"	2"x 4"	6"x 6"

La mezcla modelo se elaboró con el tamaño máximo de piedra de 1" en probetas cilíndricas de 6" por 12"

Se tuvieron que hacer correcciones en el método ACI con el cual se realizó el diseño; ya que el volumen de agua indicado en los cuadros resultó insuficiente para lograr la resistencia y slump deseados.

El procedimiento en términos generales es el que se detalla a continuación:

El diseño se inició con los siguientes parámetros establecidos:

- Resistencia de diseño= 280 Kg/cm²
- Slump 3” a 4”

- 1) Se obtuvo la cantidad de agua necesaria para la mezcla en función del tamaño máximo del agregado y del asentamiento Para el volumen unitario de agua se empleó el cuadro N°1 mostrado en el Anexo I
- 2) Se seleccionó el contenido de aire de acuerdo al cuadro N°1 mostrado en el Anexo I
- 3) Se seleccionó la relación agua/cemento, tomando como criterio la resistencia, de acuerdo al Cuadro N°2 mostrado en el Anexo I
- 4) Se calculó el contenido de cemento por unidad de volumen de concreto, el cual podrá conocerse con el volumen de agua y la relación agua/cemento que ya han sido estimados anteriormente.
- 5) Se calculó el contenido de agregado grueso como se indica en el Cuadro N°3, mostrado en el Anexo I
- 6) Se obtuvo la suma de volúmenes absolutos de agua, cemento, aire y agregado grueso.
- 7) Se calculó el volumen absoluto de agregado fino, en base a la suma de volúmenes absolutos
- 8) Se obtuvo el peso en seco del agregado fino.
- 9) Se determinó los valores de diseño de agua, cemento, agregado grueso y fino.
- 10) Se corrigieron las cantidades obtenidas de agregados por efecto de humedad y absorción.

11) Finalmente se calculó el peso de cada uno de los componentes

Una vez lista la mezcla se realizó la prueba de slump con la finalidad de medir el revenimiento de la mezcla y comprobar si es que estaba dentro del límite establecido de 3” a 4”.



Figura N° 7: Preparación de concreto en carretilla

3.2.2 PRUEBA DE REVENIMIENTO

- Se seleccionó una superficie plana, horizontal, lisa, firme y no absorbente.
- Se humedeció la parte interior del cono con agua y colocarlo sobre la placa metálica (también húmeda).

- El operador colocó los pies sobre los estribos del molde hasta concluir la prueba.
- Se llenó el cono hasta un tercio de su capacidad y se compactó el concreto exactamente 25 veces con la varilla punta de bala, distribuyendo las penetraciones en forma helicoidal sobre toda el área.
- Se llenó la segunda capa hasta dos tercios de su capacidad y se volvió a compactar como en la primera pero tratando que las penetraciones pasen 2 cm de la primera capa; la tercera capa se llena a que quede al ras.

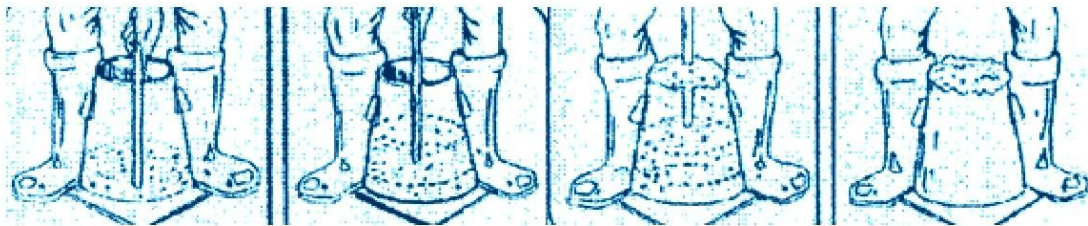


Figura N° 8 Prueba de revenimiento

- Con la varilla se eliminó el exceso de concreto de la parte superior del cono y se limpió el concreto derramado alrededor del fondo del cono.
- Se levantó el cono verticalmente y con lentitud, evitando giros o inclinación del cono que podrían arrastrar el concreto.
- Inmediatamente después se giró el cono de revenimiento y se colocó sobre la superficie cercana al concreto revenido, tendiendo la varilla sobre la parte superior del cono en dirección del concreto receñado.
- Se midió verticalmente con la cinta métrica, la diferencia que existía entre la altura del cono de metal y la porción central de la superficie del concreto asentado. Esta fue la medida del revenimiento y se reportó con aproximación al centímetro.



Figura N° 9: Medida del asentamiento con el Cono de Abrams

3.2.3 PROCEDIMIENTO PARA EL LLENADO DE PROBETAS

Se emplearon probetas de acero; ya que se tomó en cuenta lo estipulado por la Norma ASTM C31 que señala que las probetas deberán ser de acero, hierro forjado, PVC u otro material no absorbente y que no reaccione con el cemento.

Probetas cilíndricas

Para el llenado de probetas cilíndricas se tomó como referencia la norma ACI 318-11S que indica que los cilindros deben tener un diámetro de 100mm y una altura de 200 mm o un diámetro de 150 mm y una altura de 300 mm

El concreto se colocó en tres capas, cada capa debía tener una altura aproximada de 1/3 del molde.

Una vez colocada cada capa se compactó con 25 golpes de la varilla de 5/8" y con forma semiesférica, uniformemente en forma de espiral de afuera hacia adentro; la punta de la varilla semiesférica permite que se deslice entre los agregados, en vez de empujarlos como

lo hace una varilla de corte recto en la punta, con la cual quedan espacios huecos al ser retirada. Al retirar la barra, permitió que el concreto vaya cerrándose tras ella, lo que es facilitado por la punta redondeada.

En la primera capa, los 25 golpes atravesaron íntegramente pero sin golpear el fondo del molde. La compactación de la segunda y la tercera capas se hizo atravesando totalmente cada una de ellas y penetrando aproximadamente 2 cm en la capa siguiente. El llenado de la última capa se hizo con un exceso de concreto.

El llenado de las probetas cilíndricas de 3" x 6" y 2" x 4" se realizó de acuerdo a lo señalado en la norma ASTM C31, esta indica que las probetas cilíndricas menores a 6" de diámetro serán compactadas con una varilla de forma semiesférica de 3/8", ambas probetas se llenaron con dos capas y se aplicaron 25 golpes por cada capa; el procedimiento fue el mismo que se realizó para las probetas cilíndricas de 6" x 12"

Terminada la compactación de la capa superior, se golpearon los costados del molde suavemente con una maza de madera o similar, a fin de eliminar macro burbujas de aire que podían formar agujeros en la capa superior.

Finalmente, se enrasó la probeta al nivel del borde superior del molde, mediante una cuchara de albañil, retirando el hormigón sobrante y trabajando la superficie hasta que se logró una cara perfectamente plana y lisa.

Probetas cúbicas

Cada uno de los moldes fue fijado a su base con el uso de abrazaderas a fin de prevenir fugas de la mezcla de concreto.

Se cubrieron las paredes del molde con aceite, de acuerdo a la norma BS 1881: parte 108:1983.

El molde se llenó en dos capas, cada capa de concreto se compacta por medio de 18 golpes con una varilla de acero cuadrada de 2.5 cm.

El apisonado se continuó hasta que el concreto del cubo estuvo completamente compacto.

Para ambos casos; los moldes que se emplearon no debían ser ni absorbentes ni deformables.

Antes de empezar a llenar los moldes, estos se colocaron sobre una superficie horizontal, rígida y lisa.

Se aplicó lubricante al interior de cada molde con la finalidad de facilitar el desmolde y evitar pérdidas de humedad

La finalidad de compactar el concreto en los moldes fue la de eliminar los huecos que podían quedar dentro de la masa por la diferente forma y tamaño de los componentes que, al disminuir la sección de la probeta, le hacen perder resistencia.

Las probetas se dejaron almacenadas, sin desmoldar durante 24 horas, a temperatura ambiente, evitando movimientos, golpes, vibraciones y pérdida de humedad.

3.2.4 CURADO DE PROBETAS

Después de 24 horas de confeccionadas, las probetas se desmoldaron y se colocaron en la cámara de curado, la cual tendrá en su interior agua saturada con cal en una proporción de 2 g por cada litro de agua.



Figura N° 10: Probetas desmoldadas

Las probetas permanecieron en la cámara de curado hasta el momento en que se realizó el ensayo de compresión.



Figura N° 11: Probetas en la cámara de curado

3.2.5 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

El ensayo de compresión se realizó de acuerdo a lo establecido en la norma NTP 339.034. Este método de ensayo consiste en aplicar una carga axial en compresión a los moldes cilíndricos o corazones en una velocidad tal que esté dentro del rango especificado antes que la falla ocurra.

El esfuerzo a la compresión de la muestra está calculado por el cociente de la máxima carga obtenida durante el ensayo entre el área de la sección transversal de la muestra.

Por cada mezcla se elaboraron 4 probetas, de las cuales una se ensayó a los 7 días y las tres restantes a los 28 días.

**Cuadro N° 12: Número de probetas ensayadas por
Tiempo de endurecimiento**

N° DE PROBETA POR CADA MEZCLA	EDAD DE LA PROBETA (DÍAS)	
	7	28
N° 1	X	
N° 2		X
N° 3		X
N° 4		X

3.3 MEZCLAS DE PRUEBA

La mezcla diseñada para la probeta cilíndrica de 6” por 12” con tamaño máximo de piedra de 1” se tomó como muestra patrón.

A partir del patrón se prepararon muestras modificando el tamaño máximo de agregado para ajustarlo al tamaño de la probeta.

Para el tamaño máximo de 1” y un slump entre 3” y 4” el cuadro N° 1 del Anexo I indica una cantidad de agua de 193 l/m³, con esta premisa se realizó una primera mezcla la cual resultó con una pobre consistencia y una baja resistencia.

Por lo cual tuvo que modificarse la cantidad de agua a 216 l/m³ con este incremento se obtuvieron los resultados esperados.

Los resultados se muestran en el Cuadro N° 13 del capítulo de Resultados.

3.4 ANALISIS ESTADISTICO

El análisis estadístico se realizó con ayuda del software MINITAB.

El procedimiento se realizó para cada probeta de la siguiente manera:

- Con los 4 valores de resistencia obtenidos por cada mezcla a los 28 días, se calculó la resistencia promedio.
- Con los valores máximos y mínimos se obtuvo el rango en el que está la resistencia a la compresión de las diferentes mezclas.
- Se calculó el valor de desviación estándar, el cual indicaba el grado de control de calidad de la mezcla y establece las condiciones de aceptabilidad del concreto de acuerdo a lo que se muestra en el siguiente cuadro.

Cuadro N° 13: Valores de dispersión para el control de concreto

DISPERSION TOTAL					
CLASE DE OPERACIÓN	DESVIACION STANDARD PARA DIFERENTES GRADOS DE CONTROL (kg/cm ²)				
	EXCELENTE	MUY BUENO	BUENO	SUFICIENTE	DEFICIENTE
Concreto en Obra	< a 28.1	28.1 a 35.2	35.2 a 42.2	42.2 a 49.2	> a 49.2
Concreto en Laboratorio	< a 14.1	14.1 a 17.6	17.6 a 21.1	21.1 a 24.6	> a 24.6

- Finalmente se graficó la Curva de distribución, que tiene como valor máximo el promedio de las resistencias de los 4 ensayos. Las curvas de distribución se muestran en el Anexo 6

3.5 COSTOS DE PROBETAS CILINDRICAS Y CUBICAS

COSTO DE PROBETA CUBICA DE 6" X 6"

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	P.U (S./.)	PRECIO PARCIAL (S./.)
CEMENTO	bls	2	20	40
A. FINO	m3	0.5	48	24
A. GRUESO	bls	8	9	72

PRECIO TOTAL S/. 136.00

COSTO DE PROBETA CUBICA DE 6" X 12"

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	P.U (S./.)	PRECIO PARCIAL (S./.)
CEMENTO	bls	3	20	60
A. FINO	m3	0.5	48	24
A. GRUESO	bls	8	9	72

PRECIO TOTAL S/. 156.00

IV.- RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 CARACTERIZACIÓN DEL AGREGADO

4.1.1 AGREGADO GRUESO

Los resultados de la caracterización del agregado grueso se muestran en el cuadro N° 11 y en la Figura N° 13

Cuadro N° 14: Resumen de las propiedades físicas del agregado grueso empleado en la muestra patrón con T.M de 1”

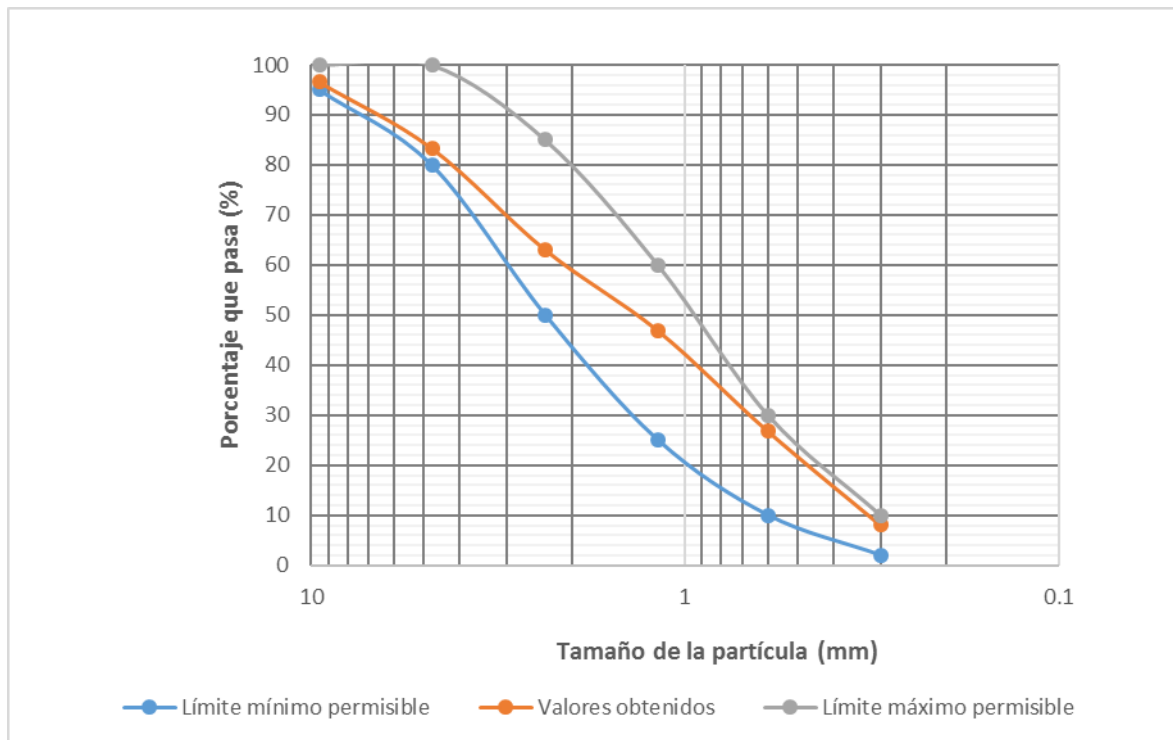
Módulo de fineza	2.68 kg/m ³
Peso específico saturado con superficie seca	2.79 kg/m ³
Peso específico de masa	2.78
Absorción	0.39%
Humedad	0.42%
Peso unitario compactado	1.29 kg/m ³
Peso unitario suelto	1.15 kg/m ³

Se puede observar que:

- El tamaño máximo del agregado grueso fue de 1”
- El módulo de fineza fue de 2.68 lo que nos indica
- El peso específico fue de 2.79 kg/m³ que se determinó de acuerdo a la norma ASTM C 127 e indica que está dentro de los límites que oscilan entre 2.500 y 2750 kg/m³,

- El porcentaje de humedad es de 0.42% y el porcentaje de absorción es de 0.39% por lo cual habrá que restarle agua a la mezcla.
- El peso unitario compactado es de 1.29 gr/cc. y no se encuentra dentro del rango recomendado entre 1500 kg/m³ y 1700 kg/m³ (Pasquel, 2003)

Figura N° 12: Curva granulométrica del Agregado Grueso



- De la curva granulométrica se puede observar que la granulometría de este agregado queda entre los dos límites establecidos por la norma NTP 400.013

4.1.2 AGREGADO FINO

Los resultados de la caracterización del agregado grueso se muestran en el cuadro N° 12 y en la Figura N° 14.

Cuadro N° 15: Resumen de las propiedades físicas del agregado fino

Módulo de fineza	2.75
Peso específico saturado con superficie seca	2.61
Peso específico de masa	2.55
Absorción	2.52%
Humedad	2.57%
Peso unitario compactado	1.25 kg/m ³
Peso unitario suelto	1.23 kg/m ³

El cuadro nos indica lo siguiente:

- El peso específico obtenido es de 2.61 gr/cc que se encuentra dentro del rango de 2.6 a 3.0 gr/cc.
- El porcentaje de humedad es de 2.57% y el de absorción es de 2.52%. Por lo cual hay que restarle un poco cantidad de agua a la mezcla.
- El peso unitario compactado es de 1.25 gr/cc. Y no se encuentra dentro del rango establecido de 1500 a 1700 kg/m³.

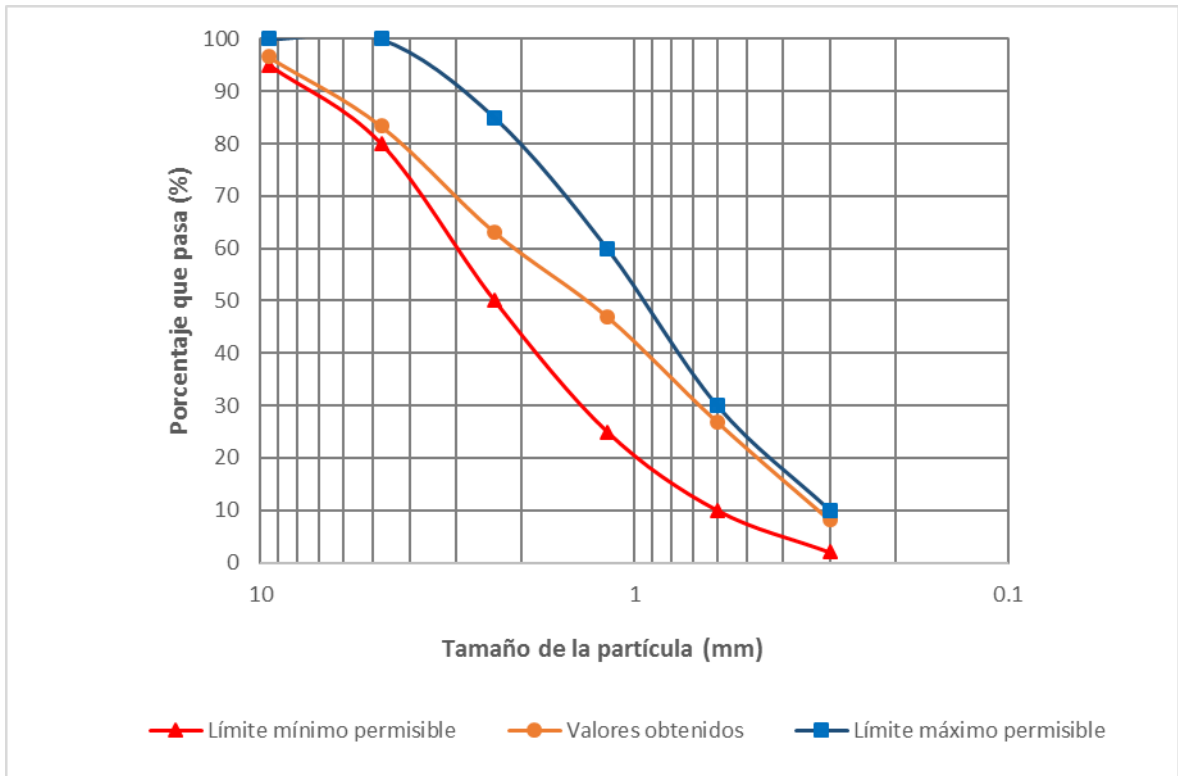


Figura N° 13: Curva granulométrica del Agregado Fino

- La granulometría nos muestra que el módulo de finura es de 2.75; el cual se encuentra de los límites que van de 2.3 a 3.1 y nos indica que se trata de una arena mediana y que puede ser utilizado en la elaboración de concretos de buena trabajabilidad

4.2 DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO

4.2.1 MEZCLAS DE PRUEBA

Inicialmente la mezcla preparada con tamaño máximo de 1" fue diseñada con 4.52 litros de agua y 9.70 kg. de cemento, con estas cantidades la consistencia alcanzada fue muy seca.

Ante esta situación tuvo que modificarse la cantidad de agua y cemento, manteniendo la relación agua/cemento y poder lograr una consistencia plástica.

A partir de las cantidades tanto de agua, cemento, arena y piedra se diseñaron las otras mezclas de concreto

Para los tamaños máximos de 1/2" y 3/8" tuvo que incrementarse la cantidad de agua y cemento manteniendo la relación a/c en todo momento. Esto debido a que al tamizar estos tamaños de piedra retenían material fino que afectaba en la consistencia de la mezcla.

Las cantidades de materiales utilizadas para cada probeta y tipo de mezcla se muestran en el Cuadro N° 15

El revenimiento o slump alcanzado por cada mezcla se presenta en el cuadro N° 16, se observa que todas las mezclas lograron el slump esperado entre 3" y 4".

Cuadro N° 16: Cantidad de materiales por probeta y tamaño máximo de agregado grueso

Materiales	Prob. Cilíndrica 6" x 12"					Prob. Cilíndrica 3" x 6"					Prob. Cilíndrica 2" x 4"					Prob. Cúbica 6" x 6"				
	Volumen total					Volumen total					Volumen total					Volumen total				
	1"	3/4"	1/2"	3/8"	0.00556	1"	3/4"	1/2"	3/8"	0.00070	1"	3/4"	1/2"	3/8"	0.00021	1"	3/4"	1/2"	3/8"	0.00354
Cemento (kg)	18.74	18.74	23.57	23.89		2.96	2.32	2.32	2.64		1.26	0.94	0.94	1.37		15.82	15.82	15.82	15.82	
Agua (t)	8.72	8.72	10.97	11.12		1.38	1.08	1.08	1.23		0.59	0.44	0.44	0.64		7.35	7.35	7.35	7.35	
Piedra (kg)	19.36	18.36	18.36	18.36		2.27	2.27	2.27	2.27		0.92	0.92	0.92	0.92		15.47	15.47	15.47	15.47	
Arena (kg)	16.95	16.95	16.95	16.95		2.1	2.1	2.1	2.1		0.85	0.85	0.85	0.85		14.29	14.29	14.29	14.29	

Cuadro N° 17: Slump alcanzado para cada tanda preparada

Probeta cilíndrica 6" X 12"		Probeta cilíndrica 3" X 6"		Probeta cilíndrica 2" X 4"		Probeta cúbica 6" X 6"	
TM	Slump	TM	Slump	TM	Slump	TM	Slump
1"	4"	1"	4"	1"	3"	1"	3.75"
3/4"	4"	3/4"	3.75"	3/4"	3.75"	3/4"	4"
1/2"	3.5"	1/2"	3"	1/2"	3"	1/2"	3.5"
3/8"	3.5"	3/8"	4"	3/8"	4"	3/8"	3.5"

4.3 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

En el Cuadro N° 15 se muestran los resultados de los ensayos de Resistencia a la compresión promedio.

Cuadro N° 18: Resumen de la Resistencia a la compresión promedio a los 28 días

PROBETAS	TAMAÑO DE PIEDRA				TAMAÑO DE PIEDRA			
	1"	3/4"	1/2"	3/8"	1"	3/4"	1/2"	3/8"
	RESISTENCIA PROMEDIO (kg/cm ²) - 28 DIAS				% DE RESISTENCIA - 28 DIAS			
6"x 12"	313.17	284.89	337.68	292.14	112	102	121	104
3"x6"	266.04	261.22	276.58	358.25	95	93	99	128
2"x 4"	171.32	203.05	244.19	271.97	61	73	87	97
6"x 6"	277.92	263.46	277.06	298.98	99	94	99	107

La norma E.060 indica que no se considerará un resultado como satisfactorio si el valor obtenido del ensayo individual está por debajo de la resistencia de diseño por más de 35 kg/cm²

Los ensayos realizados en las probetas de 6" x 12" superaron la resistencia de diseño de 280 Kg/cm².

El resultado de resistencia a la compresión de la probeta de 6" x 12" con tamaño máximo de piedra de 1/2" fue de 337.68 Kg/cm², superando en 21% a la resistencia de diseño.

Los ensayos realizados en las probetas de 2" x 4" con el tamaño máximo de 1" son los que más se alejaron de la resistencia de diseño, con un porcentaje de 61%.

La resistencia alcanzada en la probeta cúbica de 6" x 6" con la piedra de tamaño máximo de 1" fue de 277.9 Kg/cm², lo que equivale al 99% de la resistencia de diseño.

El agregado grueso presentaba gran cantidad de material fino, por lo que al realizar la mezcla con el tamaño máximo de 3/8" tuvo que incrementarse aún más el volumen de agua y la cantidad de cemento, lo que incrementó la resistencia del concreto en un 4% para la probeta de 6" x 12"; un 28% para la probeta de 3" x 6" y un 7% para la probeta de 6" x 6".

4.4 CURVAS DE ENDURECIMIENTO

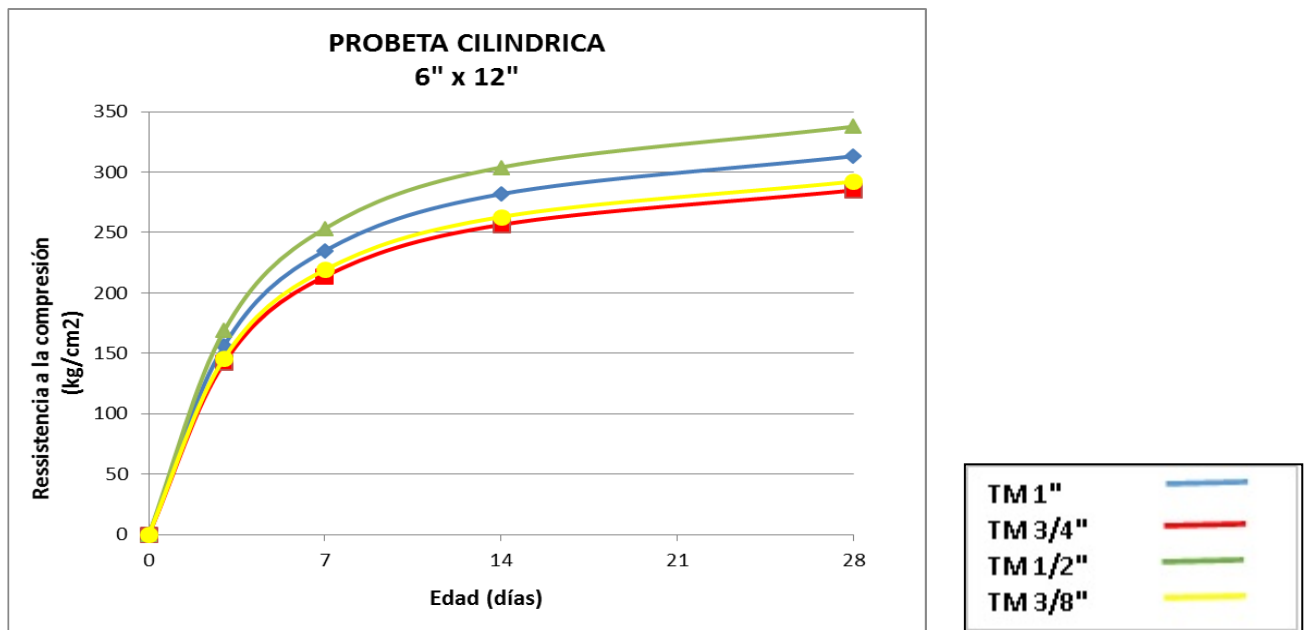


Figura N° 14: Curva de endurecimiento

Probeta cilíndrica 6" x 12"

En esta gráfica se observa el comportamiento que tuvieron las distintas mezclas que se ensayaron a compresión a la edad de 7, 14, 21 y 28 días.

Los valores que se muestran son las resistencias promedio de cada una de las mezclas. Se observó que la mezcla que obtuvo mayor resistencia a la compresión fue la mezcla realizada con el tamaño de piedra de 1/2”.

A los 21 días la mezcla preparada con 1” obtuvo una resistencia promedio de 281.85 kg/cm² y la preparada con tamaño de piedra de 1/2” obtuvo una resistencia promedio de 303.91 kg/cm², superando la resistencia de diseño que fue de 280 kg/cm²

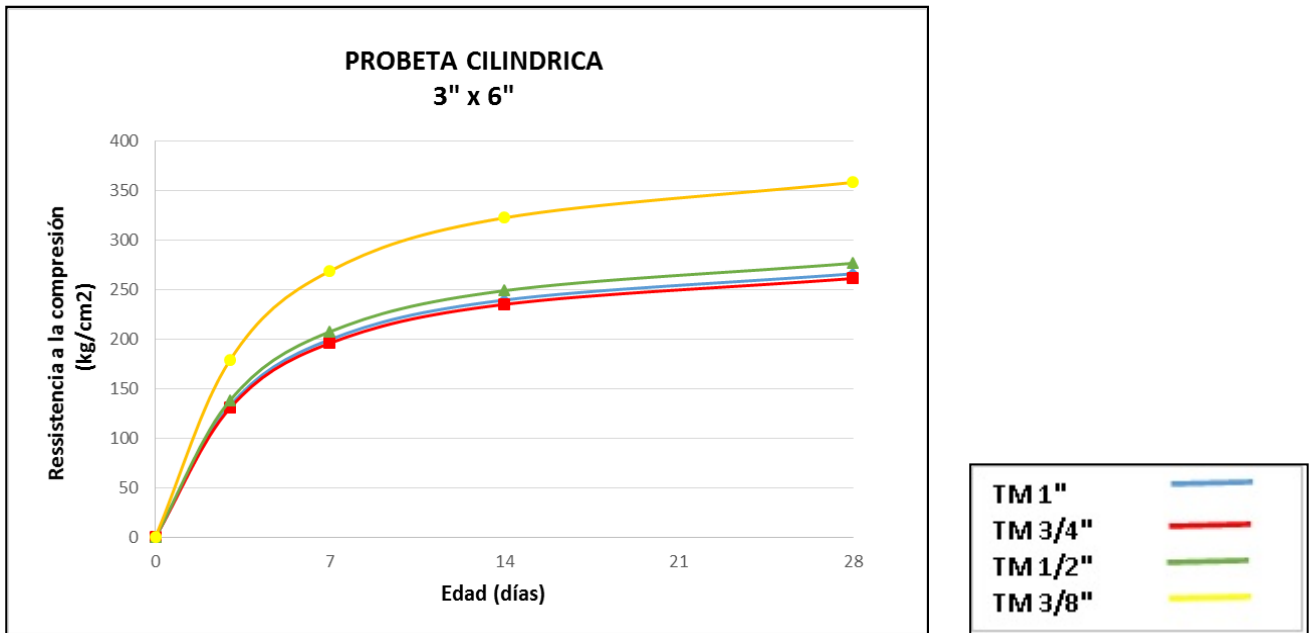


Figura N° 15: Curva de endurecimiento

Probeta cilíndrica 3” x 6”

Esta grafica nos muestra las resistencias a traves del tiempo que se obtuvieron para las 4 mezclas, en este caso la mezcla preparada con el tamaño de piedra de 3/8” fue la que alcanzó una mayor resistencia.

A los 14 días de endurecimiento, la mezcla preparada con el tamaño de piedra de 3/8” alcanzó una resistencia promedio de 322.42 kg/cm², superando la resistencia de diseño

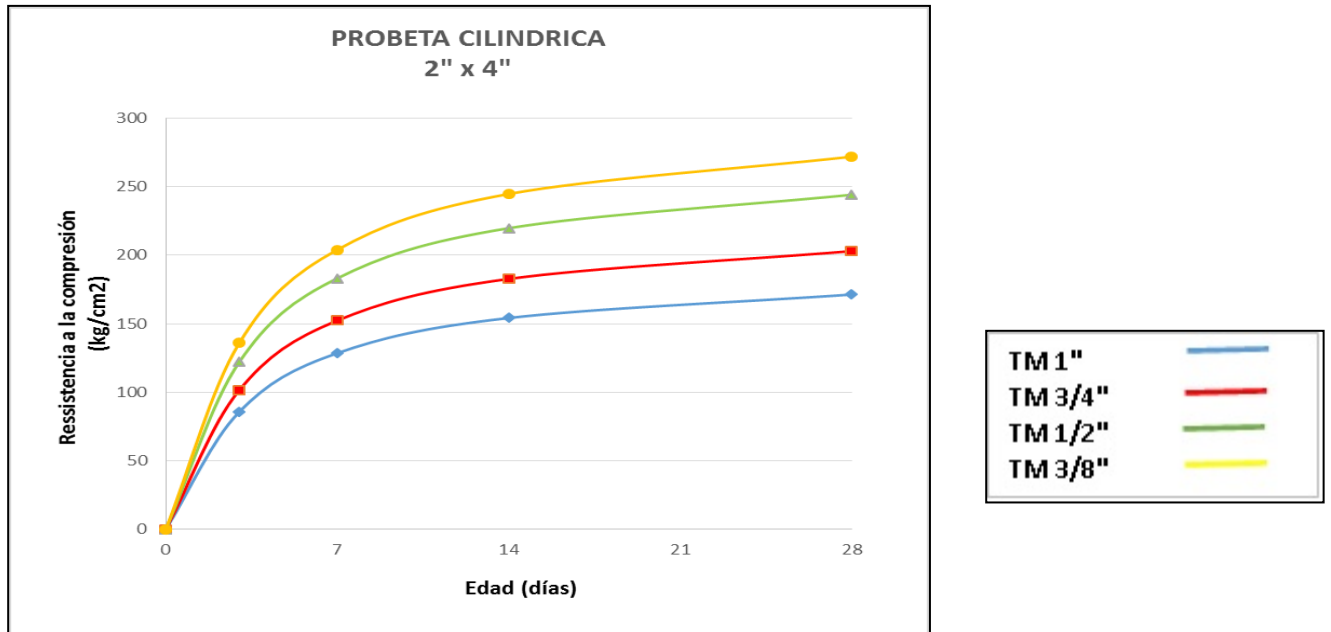


Figura N° 16: Curvas de comparativas
Probeta cilíndrica 2" x 4"

Se puede observar en la gráfica que la mezcla preparada con la piedra de 3/8” fue la que obtuvo una mayor resistencia.

Existe 50 kg/cm² de diferencia entre cada resistencia lograda en cada edad de ensayo.

La gráfica nos muestra también que ninguna de las mezclas logró superar la resistencia de diseño.

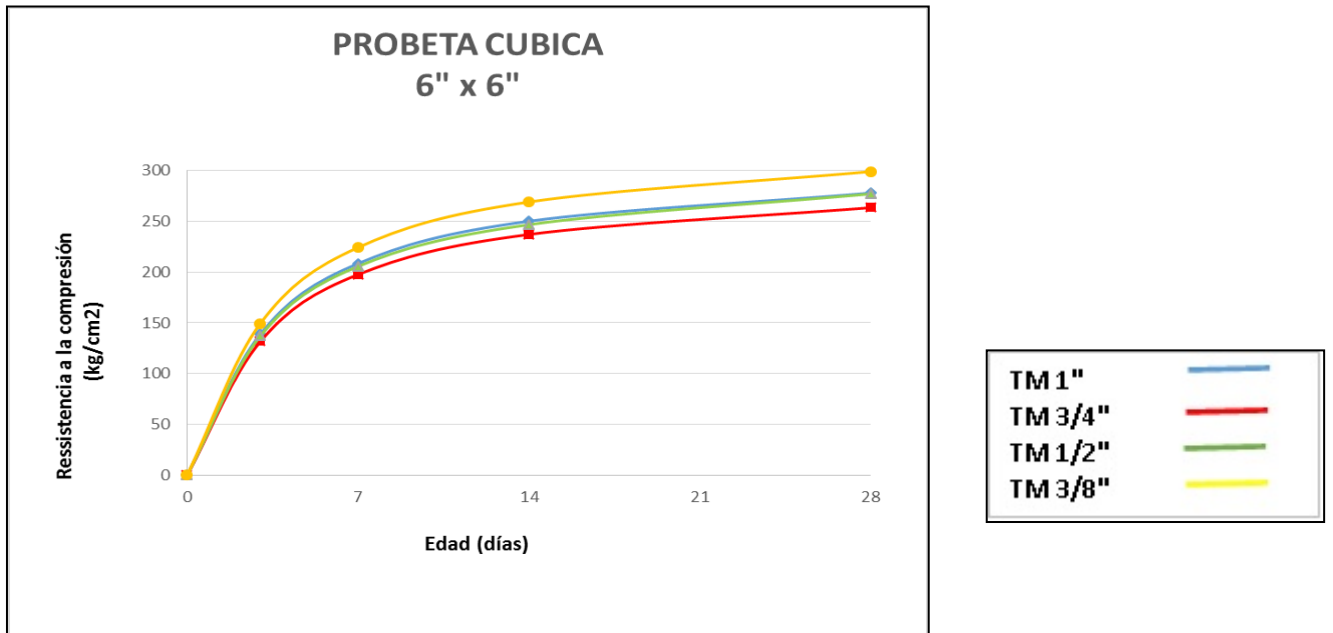


Figura N° 17: Curvas comparativas

Probeta cilíndrica 6" x 6"

De las 4 mezclas preparadas únicamente la mezcla que tuvo el agregado con tamaño de piedra de 3/8 alcanzó superar la resistencia de diseño. A los 28 días se obtuvo una resistencia promedio de 298.98 kg/cm²

4.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Cuadro N° 19: Cuadro comparativo – Análisis estadístico

Análisis estadístico	Prob.Cilindrica 6" x 12"				Prob.Cilindrica 3" x 6"				Prob.Cilindrica 2" x 4"				Prob. Cúbica 6" x 6"			
	TAMAÑO MAXIMO DE PIEDRA				TAMAÑO MAXIMO DE PIEDRA				TAMAÑO MAXIMO DE PIEDRA				TAMAÑO MAXIMO DE PIEDRA			
	1"	3/4"	1/2"	3/8"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	1"	3/4"	1/2"	3/8"
Media (kg/cm ²)	313.17	284.89	337.68	292.14	266.04	261.22	276.58	358.25	171.32	203.05	241.19	271.97	277.91	263.46	277.91	298.99
Desv Estándar (kg/cm ²)	13.19	4.22	10.55	22.13	27.57	34.59	38.01	57.67	20.54	12.45	54.03	76.8	34.25	29.31	11.43	20.9
Mínimo (kg/cm ²)	303.04	279.63	325.3	266.27	238.57	220.38	224.38	284.13	149.84	185.03	168.21	194.46	234.54	277.35	263.59	274.22
Máximo (kg/cm ²)	332.45	289.95	346.48	289.4	303.45	292.61	310.59	408.78	194.16	213.19	289.867	359.81	318.17	292.84	291.43	325.38
Rango (kg/cm ²)	29.41	10.32	21.18	23.13	64.88	72.23	86.21	124.65	44.32	28.16	259.35	165.35	83.63	65.49	27.84	51.16

Como se mencionó anteriormente, el valor de desviación estándar, el cual indica el grado de control de calidad de la mezcla; en la presente investigación **el control de calidad de la mezcla**, nos indicará que tan eficiente ha sido el acomodo del agregado grueso de acuerdo a su tamaño máximo en cada tamaño y forma de probeta.

- **Probeta cilíndrica 6" x 12"; TM 1"**

El promedio de la resistencia 313.17 kg/cm² indica que esta mezcla es aceptada ya que el resultado obtenido es mayor que la resistencia de diseño.

La desviación estándar de 13.19 kg/cm² indica que el control en el laboratorio ha sido excelente ya que es menor de 14.1 kg/cm².

- **Probeta cilíndrica 6" x 12"; TM 3/4"**

Esta mezcla es aceptada ya que el promedio de resistencia 284.89 kg/cm² es mayor que la resistencia de diseño.

La desviación 4.22 kg/cm² nos indica que el control en el laboratorio ha sido excelente, según lo mostrado en el Cuadro N° 12 del acápite III Materiales y Métodos.

- **Probeta cilíndrica 6"x 12"; TM 1/2"**

El promedio de resistencia de las 4 probetas fue de 337.68 kg/cm², superó la resistencia de diseño, la desviación estándar indica que el control ha sido excelente.

- **Probeta cilíndrica 6" x 12"; TM 3/8"**

La resistencia promedio de las 4 probetas dio un resultado mayor a la resistencia de diseño. 292.14 kg/cm². La desviación estándar fue de 10.55 kg/cm², indica que el control en laboratorio ha sido suficiente.

- **Probeta cilíndrica 3" x 6"; TM 1"**

La desviación estándar indica que el concreto ha sido deficiente; el valor de resistencia promedio fue 266.04 kg/cm², el cual es bajo con respecto a la resistencia de diseño.

- **Probeta cilíndrica 3" x 6"; TM 3/4"**

Tanto la resistencia promedio 261.22 kg/cm² como la desviación estándar 34.59 kg/cm² indican que esta mezcla no logró superar los resultados esperados. La desviación estándar fue mayor de 24.6, según el Cuadro N°5 del acápite II.

- **Probeta cilíndrica 3" x 6"; TM 1/2"**

La resistencia promedio 276.58 kg/cm² fue menor que la resistencia de diseño.

- **Probeta cilíndrica 3" x 6"; TM 3/8"**

Esta mezcla logró superar la resistencia de diseño, ya que fue 358.25 kg/cm², a pesar de que la desviación estándar 57.67 kg/cm² indica que el control ha sido deficiente.

- **Probeta cilíndrica 2" x 4"; TM 1"**

Con esta mezcla no se logró superar la resistencia a la compresión de diseño 171.32 kg/cm², con un buen control de calidad (desviación estándar = 20.54 kg/cm²)

- **Probeta cilíndrica 2" x 4"; TM 3/4"**

La resistencia promedio 203.05 kg/cm² indica que no se superó la resistencia de diseño. La desviación estándar indica que el control ha sido excelente ya que la desviación estándar fue de 12.45 kg/cm², menor a 14.1 kg/cm².

- **Probeta cilíndrica 2" x 4"; TM 1/2"**

Tanto la resistencia 241.19 kg/cm² como la desviación estándar (desviación estándar = 54.03 kg/cm²) fueron deficientes.

- **Probeta cilíndrica 2" x 4"; TM 3/8"**

El promedio de resistencias 271.97 kg/cm² resultó menos a la resistencia de diseño y el control indica que ha sido deficiente.

- **Probeta cilíndrica 6" x 6"; TM 1"**

Con esta mezcla no se logró superar la resistencia de diseño, el promedio fue 277.92 kg/cm²; de igual manera la desviación estándar 34.25 kg/cm² indica que el control ha sido deficiente ya que es mayor a 24.1 kg/cm²

- **Probeta cilíndrica 6" x 6"; TM 3/4"**

La resistencia no superó el valor de diseño, se obtuvo 263.46 kg/cm². El valor de la desviación estándar 29.31 kg/cm² indica que ha sido deficiente

- **Probeta cilíndrica 6" x 6"; TM 1/2"**

Esta mezcla no lograr superar la resistencia de diseño ya que fue de 277.06 kg/cm², con un grado de control excelente en laboratorio (desviación estándar = 11.43 kg/cm²).

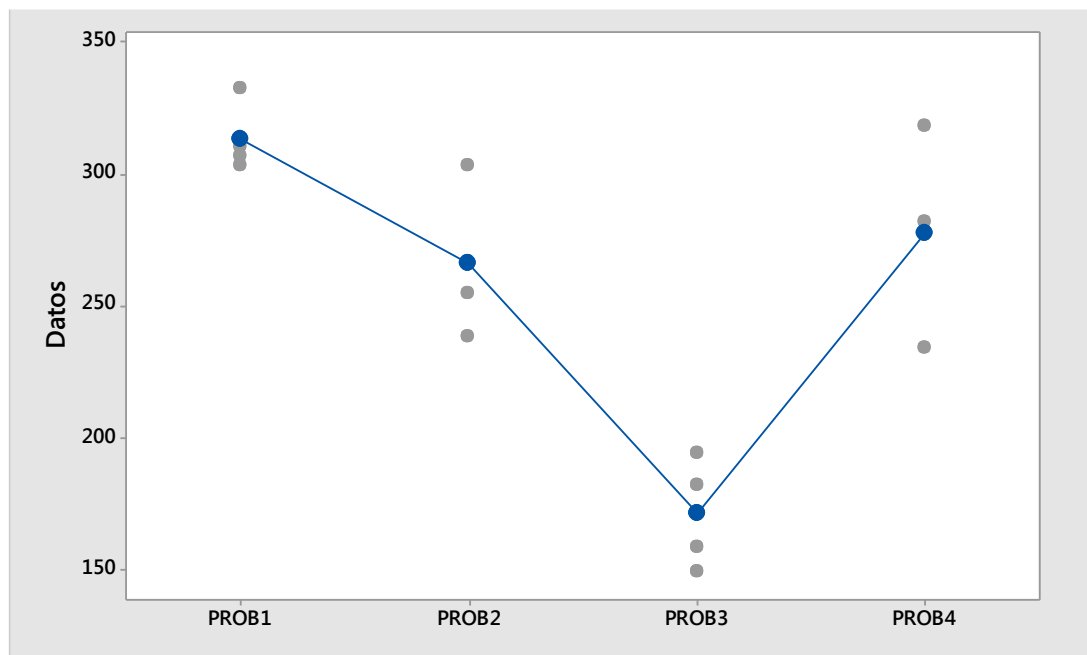
- **Probeta cilíndrica 6" x 6"; TM 3/8"**

Se puede aceptar esta mezcla, ya que la resistencia obtenida 298.98 kg/cm² superó la resistencia de diseño con un buen grado de control, ya que la desviación estándar fue de 20.9 kg/cm², que se encuentra en el rango de 17.6 a 21.1 kg/cm²

4.5.1 ANALISIS DE VARIANZA

- **ANALISIS ENTRE TAMAÑOS DE PROBETAS PARA AGREGADO GRUESO DE TM 1"**

Figura N° 18: Agregado Grueso; TM 1"



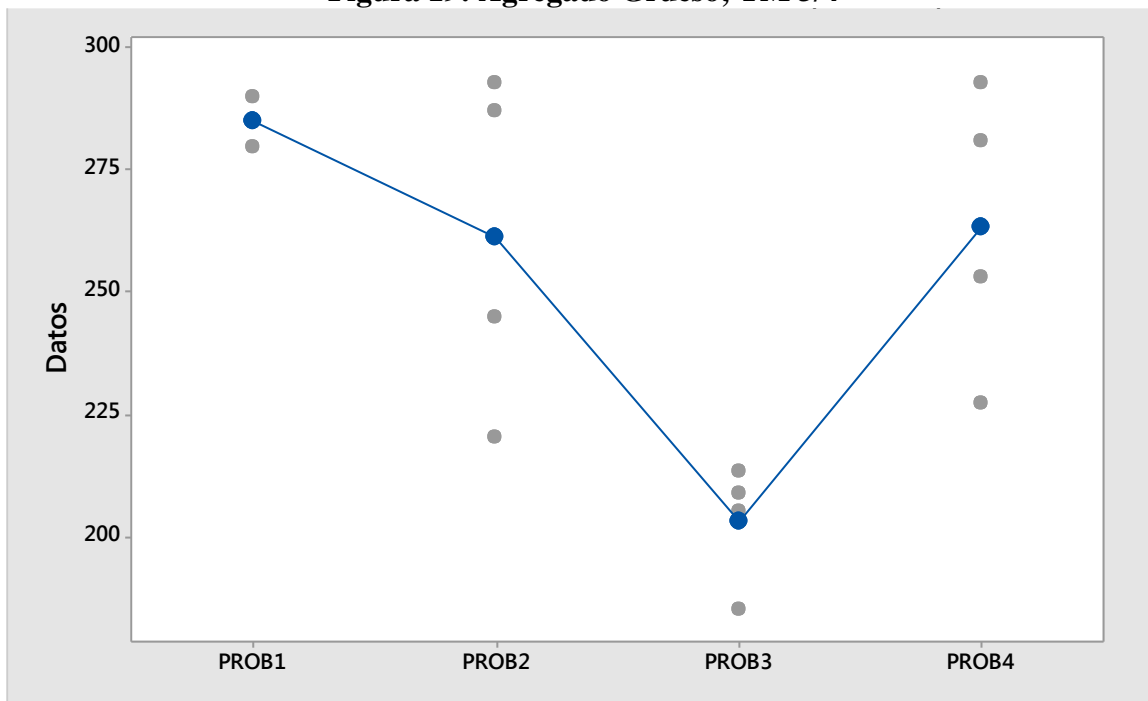
Se rechaza la hipótesis nula de que todas las medias son iguales. Existe desigualdad de varianzas para el presente análisis.

Entre la PROB 1 (6" x 12") y la PROB3 (2" x 4") las medias son significativamente diferentes.

La PROB 3 parece tener los índices mayoritariamente bajos, mientras que la PROB1 y PROB 4 presentan índices bastantes mayores.

- **ANALISIS ENTRE TAMAÑOS DE PROBETAS PARA AGREGADO GRUESO DE TM 3/4"**

Figura 19: Agregado Grueso; TM 3/4"



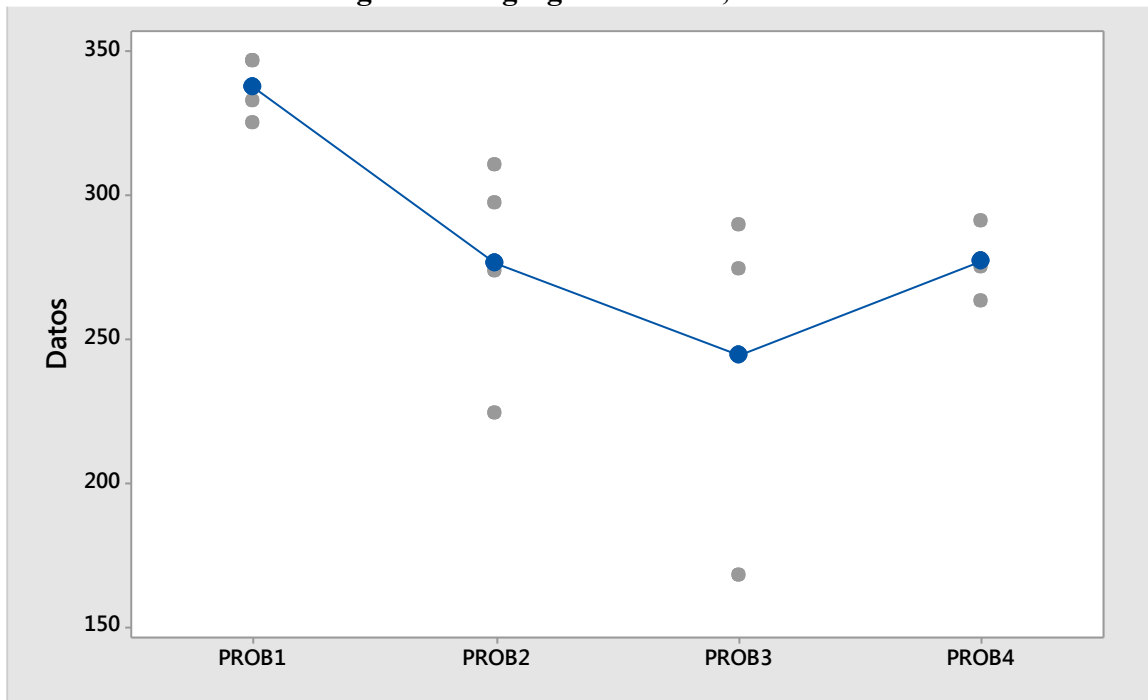
Se rechaza la hipótesis nula de que todas las medias son iguales. Se acepta la hipótesis alterna de que por lo menos una media es diferente.

Existe desigualdad de varianzas para el análisis.

La PROB 3 (2" x 4") parece tener los índices mayoritariamente bajos, mientras que la PROB 2 Y PROB 4 tienen medias bastantes mayores

- **ANÁLISIS ENTRE TAMAÑOS DE PROBETAS PARA AGREGADO GRUESO DE TM 1/2”**

Figura 20: Agregado Grueso; TM 1/2”

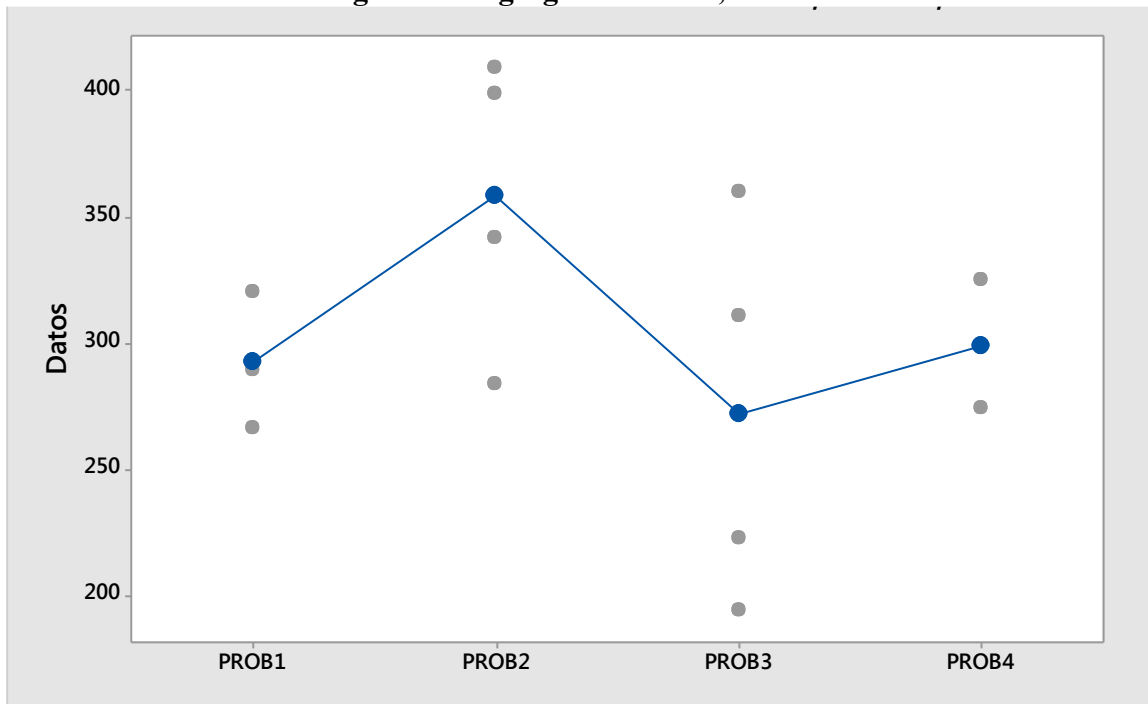


Se rechaza la hipótesis nula de que todas las medias son iguales, se acepta la hipótesis alterna de que por lo menos una media es diferente. Existe desigualdad de varianzas para el análisis.

La PROB 3 presenta valores bajos a comparación de la PROB 1 que presenta valores bastantes mayores.

- **ANÁLISIS ENTRE TAMAÑOS DE PROBETAS PARA AGREGADO GRUESO DE TM 3/8”**

Figura 21: Agregado Grueso; TM 3/8”



Existe desigualdad de varianzas para el análisis. Las medias son totalmente diferentes.

En la PROB 2 se alcanzaron índices mayores. Mientras que en la PROB 3 se obtuvieron valores mucho más bajos. Entre las medias de las PROB 1 Y PROB 4 no existe mucha diferencia entre los resultados.

En los ensayos realizados con la piedra de TM 1”, tanto para la probeta cilíndrica de 6” x 12” y la cubica de 6” x 6” se puede observar que no existe mucha dispersión en los resultados obtenidos, a la vez que el resultado de resistencia a la compresión promedio obtenido en ambas se aproximó a la resistencia de Diseño.

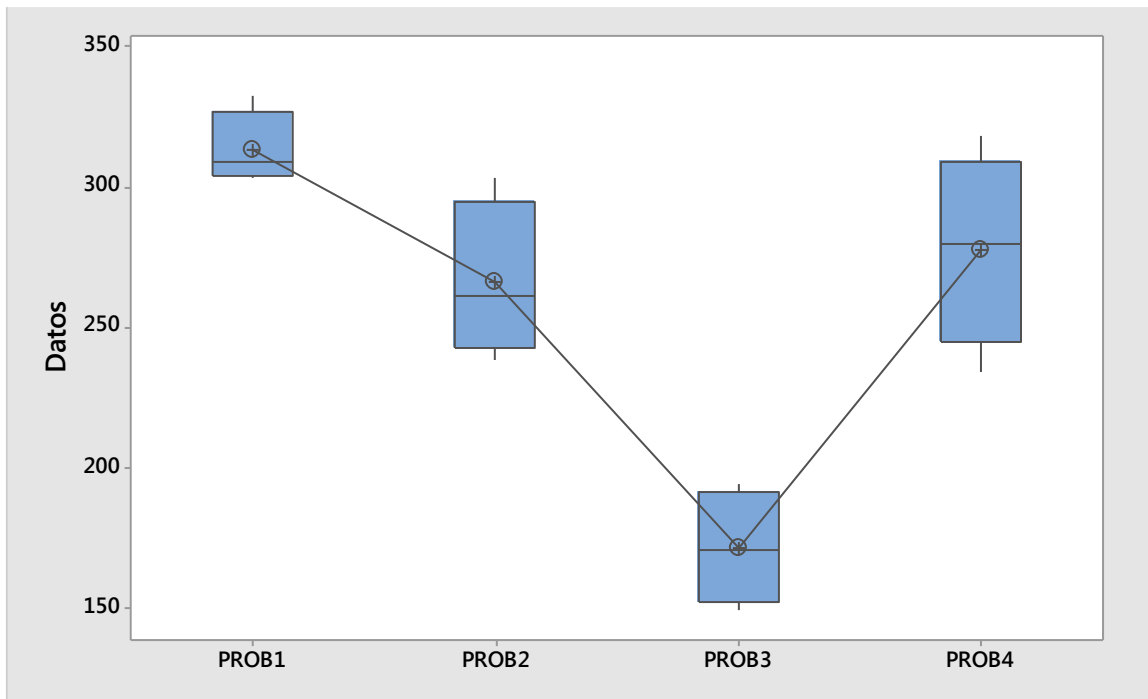
Con el agregado grueso con TM de 3/4” los valores de resistencia a la compresión que se acercaron más a la resistencia de diseño fueron los obtenidos en la Probeta de 6” x 12” y 6” x 6”

Con el agregado grueso con TM 1/2” los valores más cercanos a la resistencia de diseño, se obtuvieron en la probeta de 6” x 12”. Con la probeta de 6” x 6” los valores obtenidos fueron menos dispersos.

Con la piedra de TM 3/8", se obtuvieron resultados favorables, ya que todos superaron la resistencia de diseño. Con las probetas de 3" x 6" y 2" x 4" se obtuvieron resultados muy dispersos.

- **ANALISIS DE VARIANZA INDIVIDUAL POR TAMAÑO Y FORMA DE PROBETA 1"**

Figura 22: Agregado Grueso; TM 1"



PROBETA 1

Los valores de resistencia comprendidos entre el 50% y 75% están más dispersos que los ubicados entre el 25% y 50%

El bigote inferior es más corto que el superior; por ello el 25% de los valores más inferiores están más concentrados que el 25% de los valores mayores.

El rango intercuartilico indica que el 50% de valores de resistencia está comprendido en 22.91 kg/cm²

PROBETA 2

El bigote de arriba es mayor, lo que indica que el 25% de los valores mayores está más concentrado que el 25% de los menores.

El rango intercuartilico indica que el 50% de los valores está comprendido en 51.73 kg/cm².

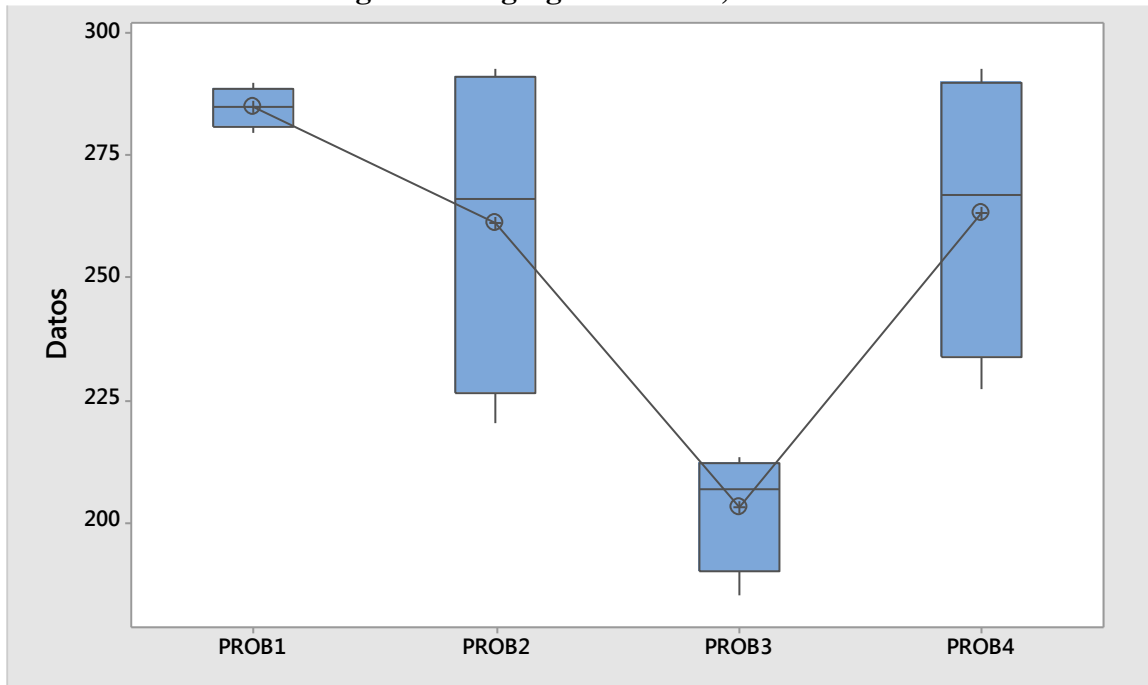
PROBETA 4

El bigote de arriba es de mayor tamaño, lo que indica que el 25% de los valores mayores está más concentrado que el 25% de los inferiores.

El rango intercuartilico indica que el 50% de los valores está comprendido en 63.95 kg/cm².

- **ANALISIS DE VARIANZA INDIVIDUAL POR TAMAÑO Y FORMA DE PROBETA 3/4"**

Figura 23: Agregado Grueso; TM 3/4"



PROBETA 2

Los valores de resistencia comprendidos entre el 25% y 50% están más dispersos que los ubicados entre el 50% y 75%

El rango intercuartilico indica que el 50% de los valores está comprendido entre 64.72 kg/cm².

PROBETA 3

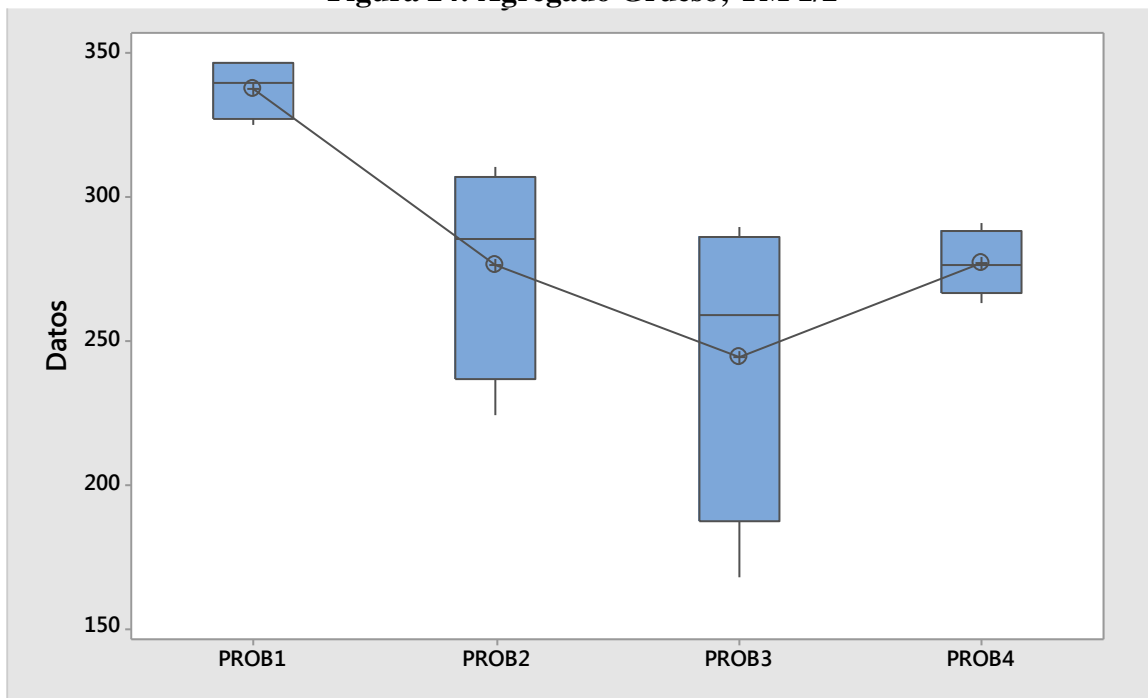
Los valores de resistencia comprendidos entre el 25% y 50% están más dispersos que los ubicados entre el 50% y 75%

El rango intercuartilico indica que el 50% de los valores está comprendido entre 22.0125 kg/cm².

El bigote de arriba es de mayor tamaño, lo que indica que el 25% de los valores mayores está más concentrado que el 25% de los inferiores.

- **ANALISIS DE VARIANZA INDIVIDUAL POR TAMAÑO Y FORMA DE PROBETA 1/2"**

Figura 24: Agregado Grueso; TM 1/2"



PROBETA 1

Los valores de resistencia comprendidos entre el 25% y 50% están más dispersos que los ubicados entre el 50% y 75%

El bigote inferior es mayor, lo que indica que el 25% de los valores mayores está más concentrado.

PROBETA 2

El bigote inferior es mayor, lo que indica que el 25% de los valores mayores está más concentrado.

Los valores de resistencia comprendidos entre el 25% y 50% están más dispersos que los ubicados entre el 50% y 75%

PROBETA 3

El bigote inferior es mayor, lo que indica que el 25% de los valores mayores está más concentrado.

Los valores de resistencia comprendidos entre el 25% y 50% están más dispersos que los ubicados entre el 50% y 75%

V. CONCLUSIONES

1) PROBETA 6" X 12"

Los resultados obtenidos en la probeta cilíndrica de 6" x 12" para todos los casos ofrecieron mejores resultados; ya que estos, superaron la resistencia de diseño establecida; lográndose en todos los casos un excelente control de calidad.

- El resultado de resistencia a la compresión promedio de la probeta de 6"x12" con tamaño máximo de piedra de ½" fue de 337.68 Kg/cm², superando en 21% a la resistencia de diseño.
- El margen de error para las probetas de 6" x 12" se encuentra entre 0.04 y 0.11, nos indica, que los resultados de la resistencia a la compresión son confiables.

2) PROBETA 6" X 6"

- Los valores de resistencia obtenidos en la probeta cúbica de 6" por 6" tienen una diferencia menor a 35 kg/cm² de la mezcla patrón obtenido en la probeta de 6" x 12". Estos resultados pueden considerarse satisfactorios.
- La resistencia promedio alcanzada en la probeta cúbica de 6" x 6" con la piedra de tamaño máximo de 1" fue de 277.9 Kg/cm², lo que equivale al 99% de la resistencia de diseño.
- El margen de error de las probetas cubicas empleadas se encuentra entre 0.06 y 0.07, lo que nos indica que los resultados a la compresión son confiables.

3) PROBETA 3" X 6"

- Los valores de resistencia a la compresión obtenidos con la probeta de 3" x 6" con TM de 1" se encuentra por debajo de la resistencia obtenida en la mezcla patrón en más de 35 kg/cm². La diferencia obtenida fue de 47.13 kg/cm².
- Todas las tandas preparadas en las probetas de 3" x 6" y 2" x 4" tuvieron una desviación estándar mayor a 24.6; lo cual indica un control de calidad deficiente, esto puede ser debido a que al tratarse de probetas de tamaño más pequeño, se incrementa la facilidad de movimiento cuando el concreto está fresco ocasionando daños en las probetas y proporcionar un mal resultado a la hora de ensayarlas.

4) PROBETA 2" X 4"

- El resultado de resistencia en la probeta de 2" x 4" con T.M de 1" fue de 141.85 kg/cm² inferior al obtenido con la mezcla patrón. Dicho resultado no puede ser tomados en cuenta.
- Los agregados de menor tamaño (3/8") producen concretos con un 10% más de resistencia, debido al mayor incremento de cemento que tuvo que hacerse para no modificar la relación agua/ cemento y conseguir la trabajabilidad deseada.

VI. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda continuar con el uso de probetas cilíndricas de 6" X 12" para realizar el ensayo a compresión.
2. Se puede utilizar probetas cubicas de 6" x 6", teniendo mucho cuidado en el llenado, curado y ensayo de resistencia a la compresión para obtener ensayos confiables.
3. No se recomienda el uso de probetas cilíndricas de 2" x 4", ya que el margen de error de los resultados en el ensayo de compresión es elevado, lo que indica que los resultados que se obtendrán no serán del todo confiables.
4. Los testigos pequeños presentan mayor dispersión que los testigos de tamaño normal, es por ello que muchos autores indican que cuando se trate de obtener la resistencia a compresión en testigos pequeños de 50 mm, se requerirá que el número de probetas a ser ensayadas sean tres veces mayor que la de los testigos de 150 mm.
5. Si bien con probetas de dimensiones más pequeñas que las estandarizadas se economiza en materiales, se facilita el transporte; los resultados de resistencia a la compresión pueden distanciarse mucho de los valores esperados. Por ello es mejor emplear moldes estandarizados a fin de obtener óptimos resultados.

6. Seleccionar bien el agregado grueso, para evitar que este contenga mucha cantidad de material fino que pueda afectar la mezcla de concreto.

7. Se recomienda realizar estudios periódicos de los agregados, para saber si existen o no cambios en sus características; es decir llevar un control de calidad

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ASTM C29/C29M-07. Método de ensayo estándar para determinar la densidad en masa (peso unitario) e índice de huecos en los agregados
- ASTM C33/C33M – 13. Especificación Normalizada para Agregados para Concreto
- ASTM C109/C109M – 13. Método Normalizado de Ensayo de Resistencia a Compresión de Morteros de Cemento Hidráulico (Utilizando Especímenes Cúbicos de 2 in. o [50-mm])
- ASTM C-127/C-128. Método de ensayo para la determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción de agua del agregado grueso. 2004
- ASTM C136-05. Método de Ensayo Normalizado para la Determinación Granulométrica de Agregados Finos y Gruesos. 2004
- Del Viso, J. R.; Carmona y Ruiz G. 2007. Influencia De La Forma y del Tamaño de la Probeta en la Resistencia a Compresión de Hormigones de Alta Resistencia.
- Del Viso, J.R; Ruíz G; Carmona J.R; Porras Soriano R. 2008. Relación Entre la Resistencia a Compresión Obtenida con Probetas Cúbicas y Cilíndricas de Varios Tamaños en Hormigones de Alta Resistencia
- NTP 400.012. Método de Ensayo para Análisis granulométrico del Agregado fino y agregado grueso. 2001
- NTP 400.017-199AGREGADOS. Método de ensayo para determinar el peso unitario del agregado. 1999
- NTP 400.022-2002. Método de ensayo para determinar el peso específico y Absorción de Agregado fino.2002
- NTP 400.021-2002. Peso específico y absorción del agregado grueso, Método de ensayo para. 2002

- NTP 339.033-1999 Práctica para elaboración y curado de probetas cilíndricas de concreto en obra. 1999
- NTP 339.034-1999. Método de ensayo, para determinar esfuerzo a compresión en muestras cilíndricas de concreto.1999.
- Pasquel Carbajal, Enrique.1998. Tópicos de Tecnología del Concreto en el Perú. Colegio de Ingenieros del Perú- Consejo Nacional.
- Rivva López, Enrique. 2000. Diseño de Mezclas. Lima. ACI Perú
- Rivva López, Enrique. 2000. Naturaleza y Materiales del Concreto. ACI Perú
- Reglamento Nacional de Construcción E.060
- Rojas Henao Lina Marcela.2012. Ensayos de Información de Probetas Testigo en Hormigones Autocompactantes.

VII ANEXOS

ANEXO 1: CUADROS UTILIZADAS EN EL DISEÑO DE MEZCLAS

CUADRO 1: cantidades aproximadas de agua de amasado para diferentes slump, tamaño máximo de agregado y contenido de aire.

ASENTAMIENTO	TAMAÑO MAXIMO NOMINAL (PULG)								
	3/8	1/2	3/4	1	1 1/2	2	3	6	
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113	S/ aire incorporado
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124	
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	-----	
Aire Atrapado (%)	3.00	2.50	2.00	1.50	1.00	0.50	0.30	0.20	
1" a 2"	181	175	168	160	150	142	122	107	C/ aire incorporado
3" a 4"	202	193	184	175	165	157	133	109	
6" a 7"	216	205	197	184	174	166	154	-----	

CUADRO 2: Relación Agua - Cemento en peso

f ' cr	Relación Agua - Cemento	
	S/AIRE	C/AIRE
150	0.79	0.7
200	0.69	0.6
250	0.61	0.52
300	0.55	0.45
350	0.47	0.39
400	0.42	-
450	0.38	-

CUADRO 3: Volumen de agregado grueso compactado en seco por metro cubico de concreto

Tamaño máximo Nominal del ag. grueso (")	Volumen de agregado grueso seco (m3) y compactado, por unidad de volumen de concreto, para diversos módulos de fineza del agregado fino			
	2.4	2.6	2.8	3
3/8	0.5	0.48	0.46	0.44
1/2	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4	0.66	0.64	0.62	0.6
1	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2	0.76	0.74	0.72	0.7
2	0.78	0.76	0.74	0.72
3	0.81	0.79	0.77	0.75
6	0.87	0.85	0.83	0.81

ANEXO 2: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE LA CARACTERIZACION DEL AGREGADO

2.1 Agrado Grueso

2.1.1 Granulometría

Cuadro N° 4: Granulometría del agregado grueso

N° Tamiz	Diámetro	Peso retenido	% retenido	% retenido	% Pasa
				acumulado	
1/1/2"	38.10	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.40	845.00	14.14	14.14	85.86
3/4"	19.00	3000.00	50.21	64.35	35.65
1/2"	12.70	1600.00	26.78	91.13	8.87
3/8"	9.51	420.00	7.03	98.16	1.84
Fondo		110.00	1.84	100.00	0.00
	Total	5975.00	MF=	2.68	

En el cuadro N° 4, se observa que el Tamaño Máximo nominal es de 1".

2.1.2 Peso Específico

Cuadro N° 5: Peso específico del agregado grueso

Pe= Peso específico	
W1= Peso en el aire de la muestra seca al horno (gr)	5585
W2= Peso en el aire de la muestra saturada con superficie seca (gr)	5607
W3= Peso en el agua de la muestra saturada (gr)	3596

- **Peso específico saturado con superficie seca**

$$Pe_{sss} = \frac{W2}{W2 - W3}$$

$$Pe_{sss} = 2.79 \text{ gr/cc}$$

- **Peso específico de masa**

$$Pe = \frac{W1}{W2 - W3}$$

$$Pe_{sss} = 2.78 \text{ gr/cc}$$

2.1.3 Porcentaje de Absorción

$$\%A = \frac{W2 - W1}{W1} * 100$$

$$\%A = 0.39$$

2.1.4 Porcentaje de Humedad

Cuadro N° 5: Porcentaje de humedad del agregado grueso

W2= Peso del agregado en estado natural (gr)	6000
W1= Peso del agregado secado en el horno (gr)	5975

$$\%H = \frac{W2 - W1}{W2} \times 100$$

$$\% H = 0.42$$

2.1.5 Peso Unitario

- **Peso Unitario compactado**

Cuadro N° 6: Peso unitario compactado del agregado grueso

Wc= Peso del agregado utilizado para llenar el recipiente en forma compactada (gr)	3415
Va= Volumen del recipiente (m3)	2650.72

$$Pc = \frac{Wc}{Va}$$

$$Pc = 1.29 \text{ gr/cm}^3$$

- **Peso Unitario suelto**

Cuadro N° 7: Peso unitario suelto del agregado grueso

Ws= Peso del agregado utilizado para llenar el recipiente en forma suelta (gr)	3055
Va= Volumen del recipiente (m3)	2650.72

$$P_s = \frac{W_s}{V_a}$$

$$P_s = 1.15 \text{ gr/cm}$$

2.2 Agregado fino

2.2.1 Granulometría

Cuadro N° 8: Granulometría del Agregado fino

N° Tamiz	Diámetro	Peso retenido	% retenido	% retenido acumulado	% Pasa
4.00	4.75	41.00	6.45	6.45	93.55
8.00	2.36	84.00	13.21	19.66	80.34
16.00	1.18	110.00	17.30	36.96	63.04
30.00	0.59	102.40	16.11	53.07	46.93
50.00	0.30	102.10	16.06	69.13	30.87
100.00	0.15	132.00	20.76	89.89	10.11
200.00	0.07	55.70	8.76	98.65	1.35
Fondo		8.60	1.35	100.00	0.00
	Total	635.8	MF	2.75	

2.2.2 Peso Específico

Cuadro N° 9: Peso específico del agregado fino

Pe= Peso específico	
W= Peso de la muestra saturada con superficie seca (gr)	500
Wa= Peso del picnómetro lleno con agua (gr)	664
Wp= Peso del picnómetro con la muestra más agua hasta la marca de calibración	972.5
W1= Peso en el aire de la muestra seca al horno (gr)	487.7

- **Peso específico saturado con superficie seca**

$$P_{e \text{ sss}} = \frac{W}{W_a + W - W_p}$$

$$P_{e \text{ sss}} = 2.61 \text{ gr/cc}$$

- **Peso específico de masa**

$$Pe = \frac{W1}{W_a + W - W_p}$$

$$Pe_{sss} = 2.55 \text{ gr/cc}$$

2.2.3 Porcentaje de Absorción

$$\%A = \frac{W - W1}{W1} * 100$$

$$\%A = 2.52$$

2.2.4 Porcentaje de Humedad

Cuadro N° 10: Porcentaje de humedad del agregado fino

W2= Peso del agregado en estado natural (gr)	653.94
W1= Peso del agregado secado en el horno (gr)	637.15

$$\%H = \frac{W2 - W1}{W2} \times 100$$

$$\% H = 2.57$$

2.2.5 Peso Unitario

- **Peso Unitario compactado**

Cuadro N° 11: Peso unitario compactado del agregado fino

Wc= Peso del agregado utilizado para llenar el recipiente en forma compactada (gr)	3325
Va= Volumen del recipiente (m3)	2650.72

$$P_c = \frac{W_c}{V_a}$$

$$P_c = 1.25 \text{ gr/cm}^3$$

- **Peso Unitario suelto**

Cuadro N° 12: Peso unitario suelto del agregado fino

Ws= Peso del agregado utilizado para llenar el recipiente en forma suelta (gr)	3250
Va= Volumen del recipiente (m3)	2650.72

$$P_s = \frac{W_s}{V_a}$$

$$P_s = 1.23 \text{ gr/cm}^3$$

ANEXO 3: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Cuadro N° 13: Resistencia a la compresión por edad de ensayo

6" X12" TM 1"		EDAD (días)			
		3	7	14	28
RESISTENCIA (kg/cm ²)	P1	151.52	227.28	272.74	303.04
	P2	153.44	230.16	276.19	306.88
	P3	166.23	249.34	299.21	332.45
	P4	155.15	232.72	279.26	310.29

Cuadro N° 14: Resistencia a la compresión por edad de ensayo

6" X12"		EDAD (días)			
		3	7	14	28
TM 3/4"					
RESISTENCIA (kg/cm2)	P1	142.44	213.66	256.39	284.88
	P2	144.98	217.46	260.96	289.95
	P3	142.55	213.82	256.58	285.09
	P4	139.82	209.72	251.67	279.63

Cuadro N° 15: Resistencia a la compresión por edad de ensayo

6" X12"		EDAD (días)			
		3	7	14	28
TM 1/2"					
RESISTENCIA (kg/cm2)	P1	173.22	259.82	311.79	346.43
	P2	173.24	259.86	311.83	346.48
	P3	166.25	249.38	299.25	332.50
	P4	162.65	243.98	292.77	325.30

Cuadro N° 16: Resistencia a la compresión por edad de ensayo

6" X12"		EDAD (días)			
		3	7	14	28
TM 3/8"					
RESISTENCIA (kg/cm2)	P1	160.15	240.22	288.26	320.29
	P2	146.31	219.46	263.35	292.61
	P3	133.14	199.70	239.64	266.27
	P4	144.70	217.05	260.46	289.40

Cuadro N° 17: Resistencia a la compresión por edad de ensayo

3" X6"		EDAD (días)			
		3	7	14	28
TM 1"					
RESISTENCIA (kg/cm2)	P1	151.73	227.59	273.11	303.45
	P2	119.29	178.93	214.71	238.57
	P3	133.62	200.43	240.52	267.24
	P4	127.46	191.18	229.42	254.91

Cuadro N° 18: Resistencia a la compresión por edad de ensayo

3" X6"		EDAD (días)			
		3	7	14	28
TM 3/4"					
RESISTENCIA (kg/cm2)	P1	146.31	219.46	263.35	292.61
	P2	110.19	165.29	198.34	220.38
	P3	143.52	215.28	258.34	287.04
	P4	122.43	183.64	220.37	244.85

Cuadro N° 19: Resistencia a la compresión por edad de ensayo

3" X6"		EDAD (días)			
		3	7	14	28
TM 1/2"					
RESISTENCIA (kg/cm2)	P1	155.29	232.94	279.53	310.59
	P2	136.83	205.25	246.29	273.66
	P3	148.84	223.26	267.91	297.68
	P4	112.19	168.29	201.94	224.38

Cuadro N°11: Resistencia a la compresión por edad de ensayo

3" X6"		EDAD (días)			
		3	7	14	28
TM 3/8"					
RESISTENCIA (kg/cm2)	P1	142.07	213.10	255.72	284.13
	P2	204.39	306.59	367.90	408.78
	P3	170.64	255.96	307.15	341.28
	P4	199.40	299.10	358.92	398.80

Cuadro N° 11: Resistencia a la compresión por edad de ensayo

2" X4"		EDAD (días)			
		3	7	14	28
TM 1"					
RESISTENCIA (kg/cm2)	P1	91.26	136.89	164.27	182.52
	P2	79.39	119.08	142.89	158.77
	P3	74.92	112.38	134.86	149.84
	P4	97.08	145.62	174.74	194.16

Cuadro N° 12: Resistencia a la compresión por edad de ensayo

2" X4"		EDAD (días)			
		3	7	14	28
RESISTENCIA (kg/cm2)	TM 3/4"				
	P1	102.60	153.90	184.68	205.20
	P2	104.39	156.58	187.89	208.77
	P3	106.60	159.89	191.87	213.19
	P4	92.52	138.77	166.53	185.03

Cuadro N° 13: Resistencia a la compresión por edad de ensayo

2" X4"		EDAD (días)			
		3	7	14	28
RESISTENCIA (kg/cm2)	TM 1/2"				
	P1	144.93	217.40	260.88	289.87
	P2	84.11	126.16	151.39	168.21
	P3	137.09	205.64	246.76	274.18
	P4	122.26	183.38	220.06	244.51

Cuadro N°20: Resistencia a la compresión por edad de ensayo

2" X4"		EDAD (días)			
		3	7	14	28
RESISTENCIA (kg/cm2)	TM 3/8"				
	P1	111.27	166.91	200.29	222.55
	P2	97.23	145.85	175.01	194.46
	P3	155.54	233.30	279.96	311.07
	P4	179.91	269.86	323.83	359.81

Cuadro N° 21: Resistencia a la compresión por edad de ensayo

6" X6"		EDAD (días)			
		3	7	14	28
RESISTENCIA (kg/cm2)	TM 1"				
	P1	138.52	207.77	249.33	277.03
	P2	117.27	175.90	211.08	234.53
	P3	140.95	211.43	253.72	281.91
	P4	159.08	238.63	286.35	318.17

Cuadro N° 22: Resistencia a la compresión por edad de ensayo

6" X6" TM 3/4"		EDAD (días)			
		3	7	14	28
RESISTENCIA (kg/cm2)	P1	113.67	170.51	204.61	227.35
	P2	126.45	189.68	227.61	252.90
	P3	146.42	219.63	263.56	292.84
	P4	140.37	210.56	252.67	280.74

Cuadro N° 23: Resistencia a la compresión por edad de ensayo

6" X6" TM 1/2"		EDAD (días)			
		3	7	14	28
RESISTENCIA (kg/cm2)	P1	145.72	218.57	262.29	291.43
	P2	138.94	208.41	250.09	277.88
	P3	131.80	197.69	237.23	263.59
	P4	137.67	206.50	245.80	275.33

Cuadro N° 18: Resistencia a la compresión por edad de ensayo

6" X6" TM 3/8"		EDAD (días)			
		3	7	14	28
RESISTENCIA (kg/cm2)	P1	162.69	244.04	292.84	325.38
	P2	148.84	223.27	267.92	297.69
	P3	149.32	223.98	268.78	298.64
	P4	137.11	205.67	246.80	274.22

ANEXO 4: CURVAS DE ENDURECIMIENTO

PROBETAS 6" X 12"

Figura 01: Probeta 6" x 12"; TM 1"

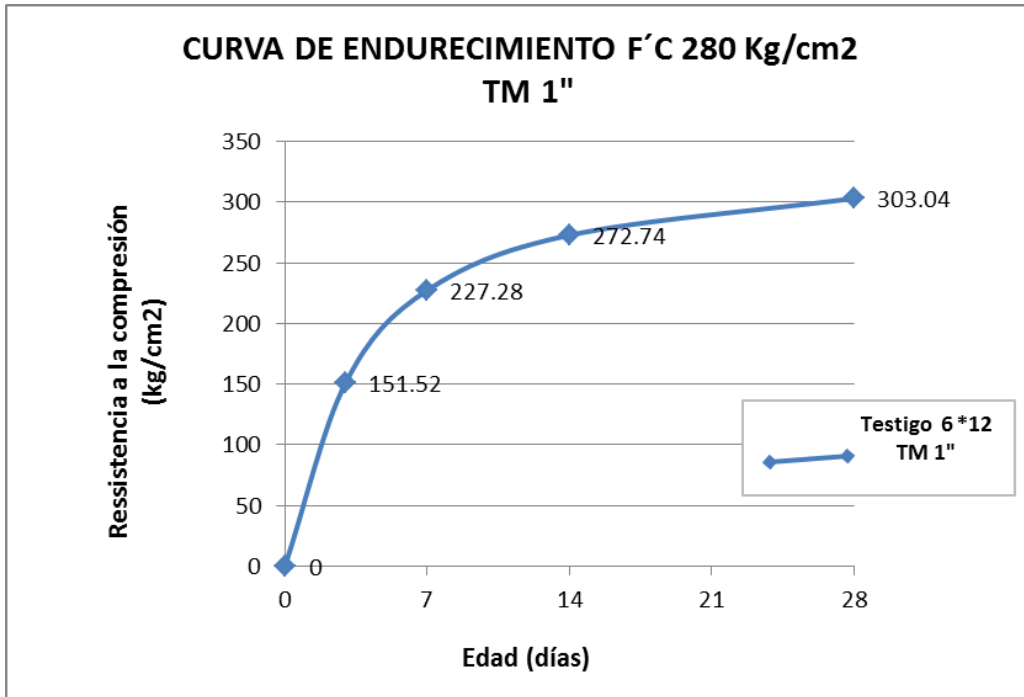


Figura 02: Probeta 6" x 12"; TM 1"

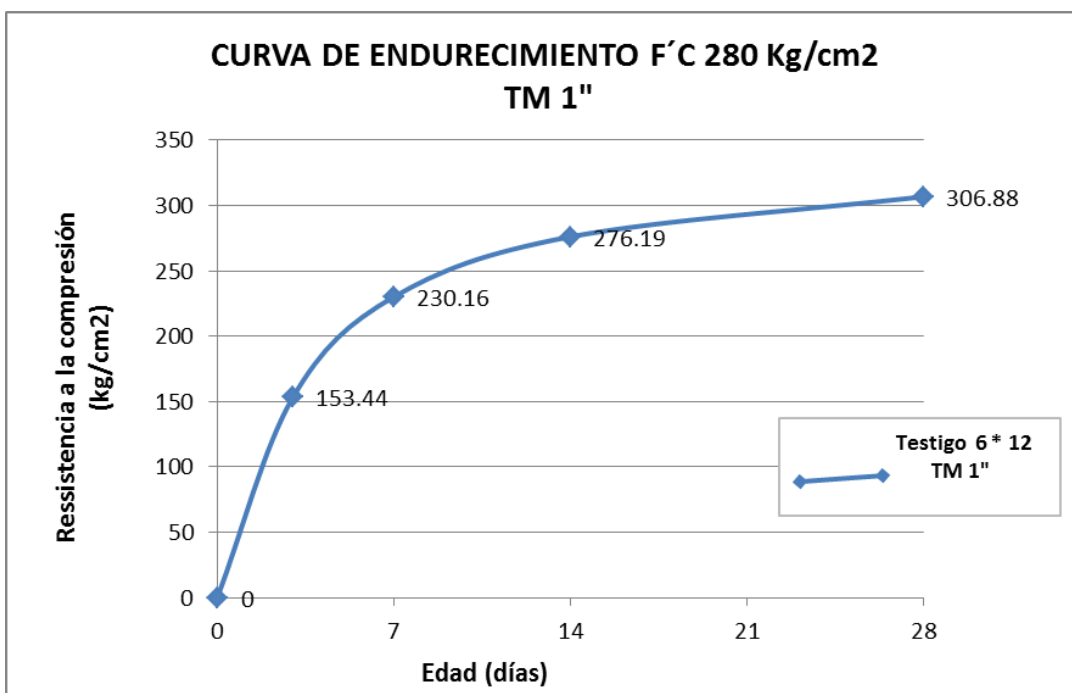


Figura 03: Probeta 6" x 12"; TM 1"

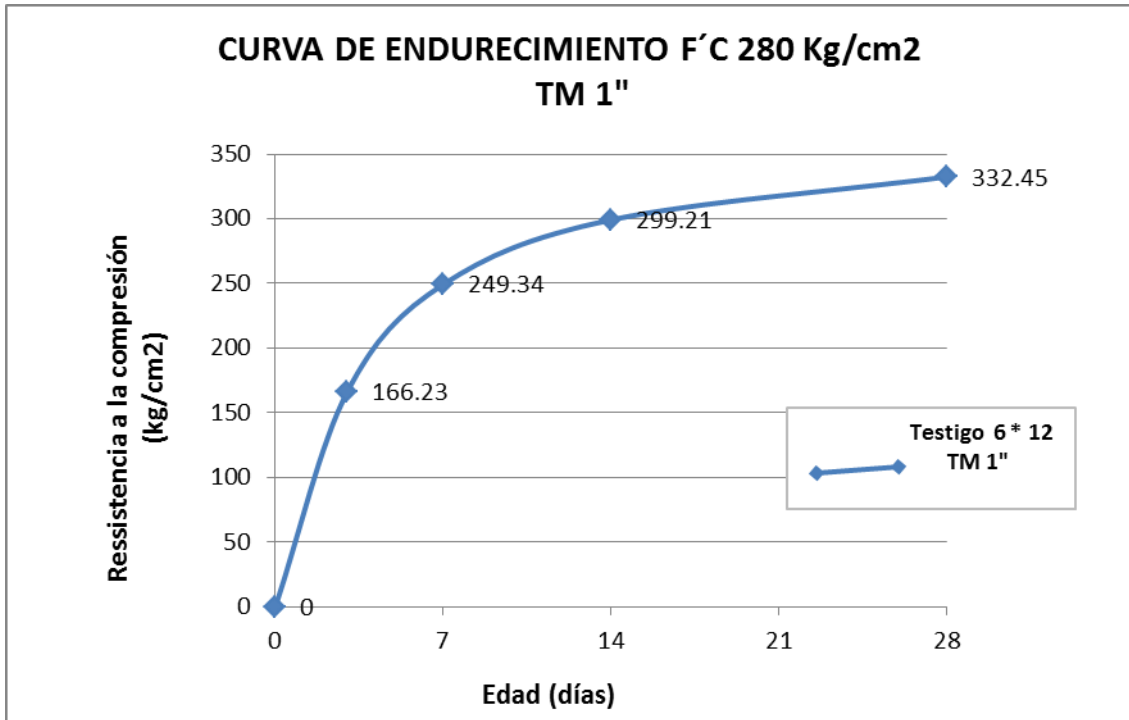


Figura 04: Probeta 6" x 12"; TM 3/4"

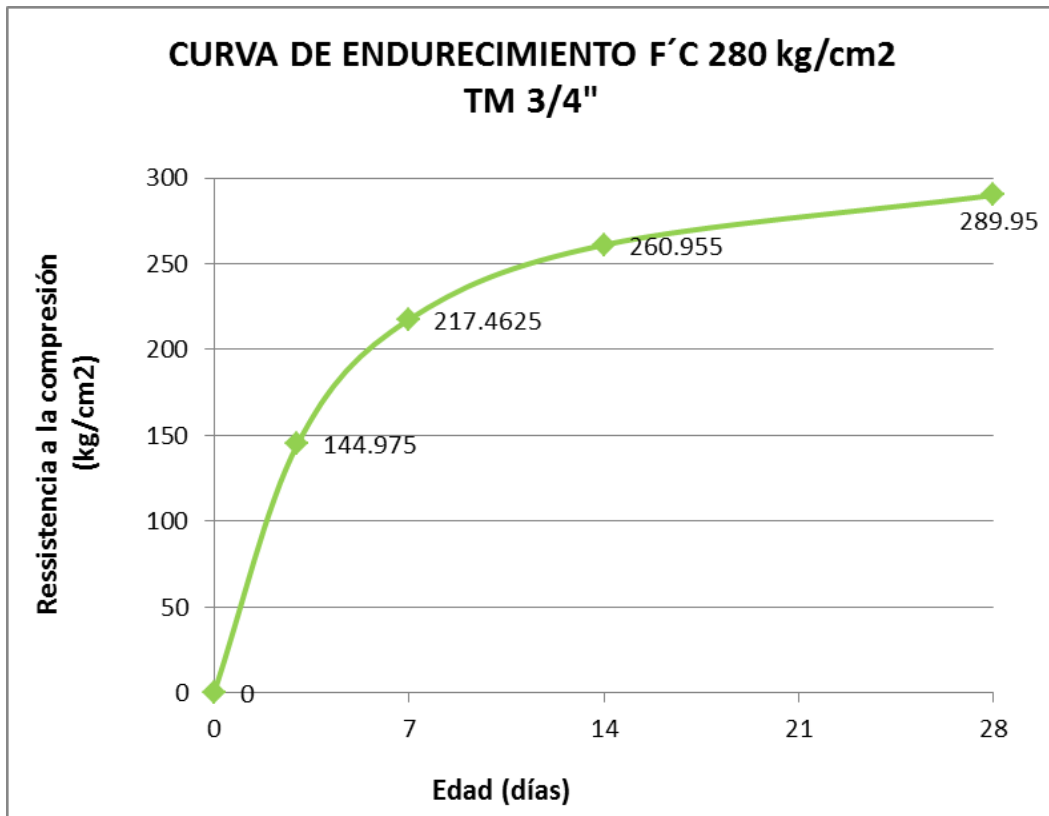


Figura 05: Probeta 6" x 12"; TM 3/4"

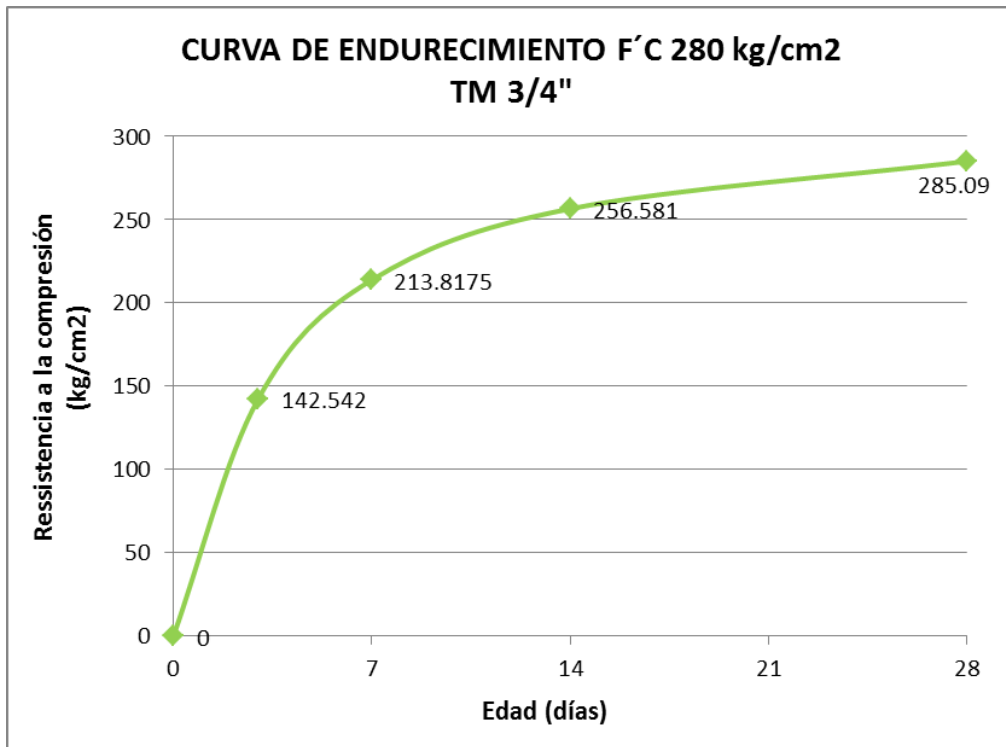


Figura 06: Probeta 6" x 12"; TM 3/4"

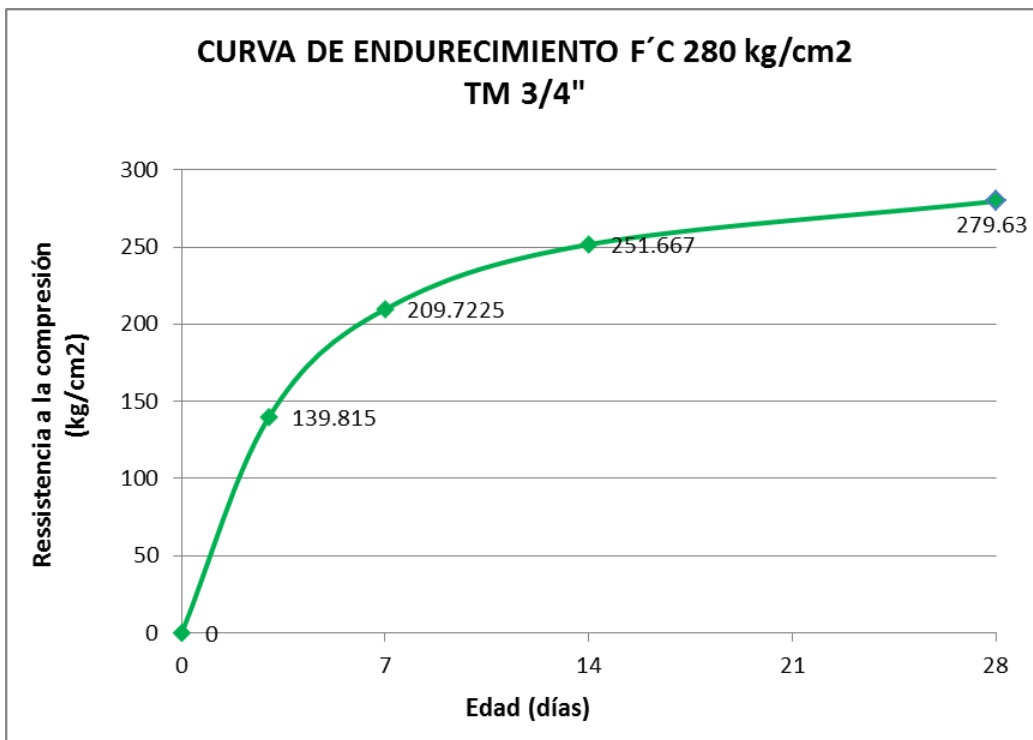


Figura 07: Probeta 6" x 12"; TM 1/2"

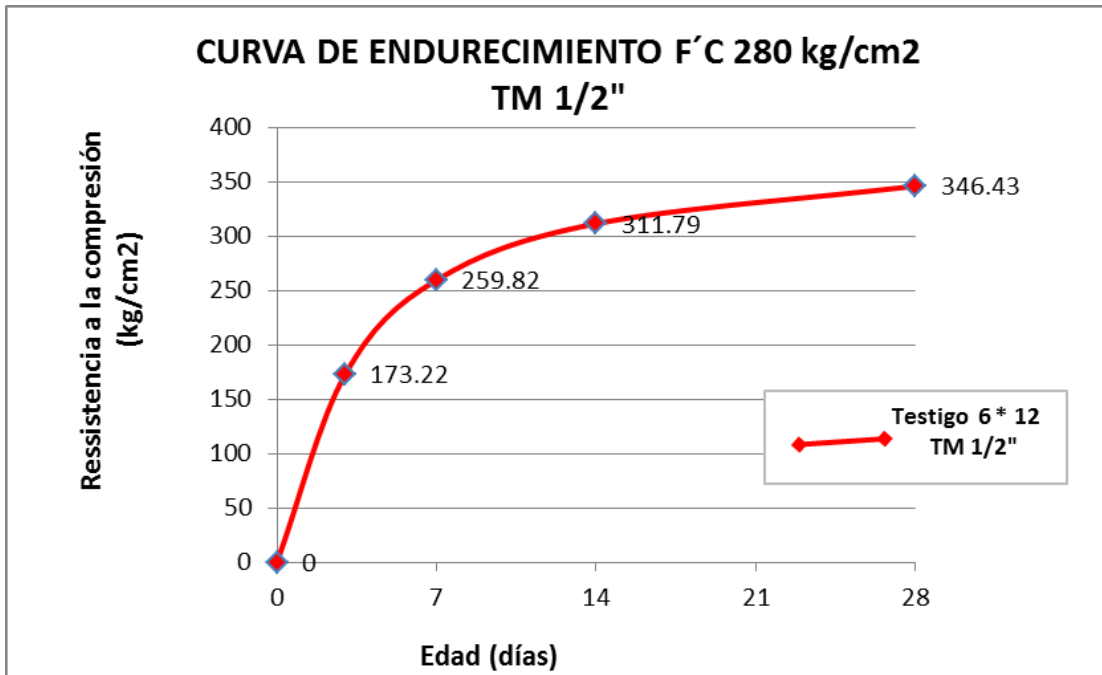


Figura 08: Probeta 6" x 12"; TM 1/2"

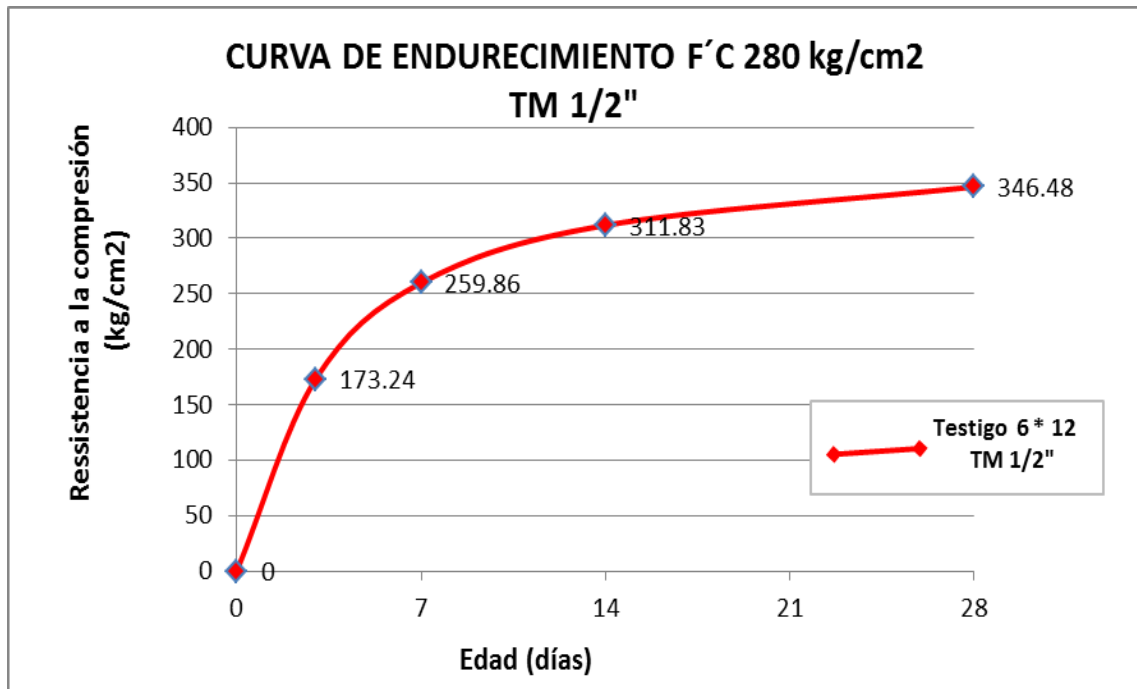


Figura 09: Probeta 6" x 12"; TM 1/2"

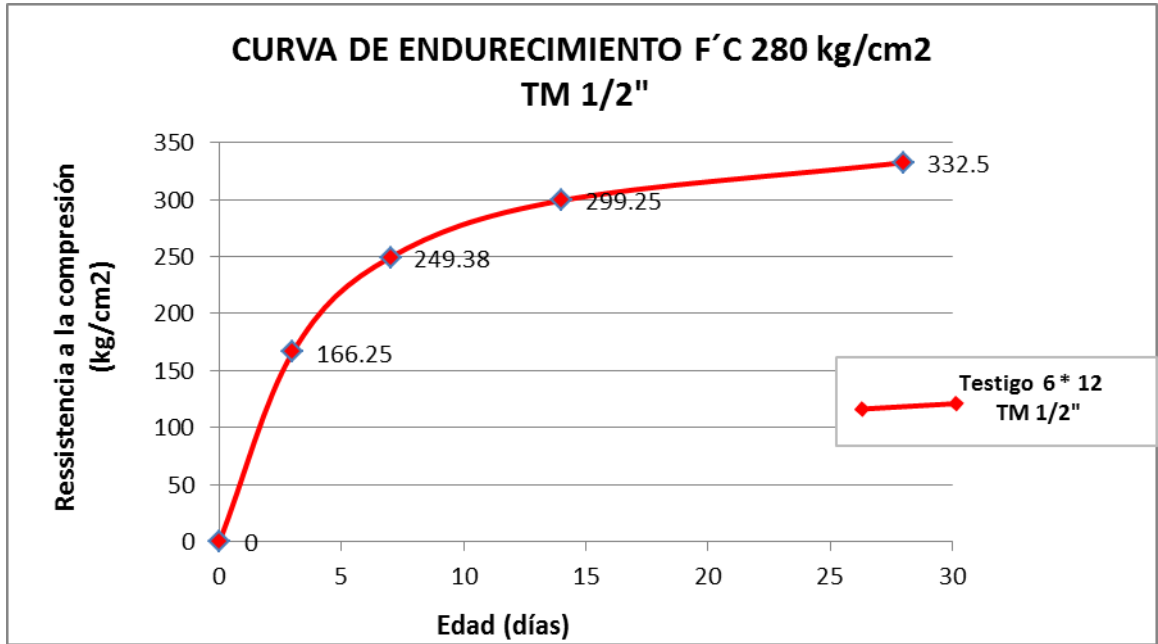


Figura 10: Probeta 6" x 12"; TM 3/8"

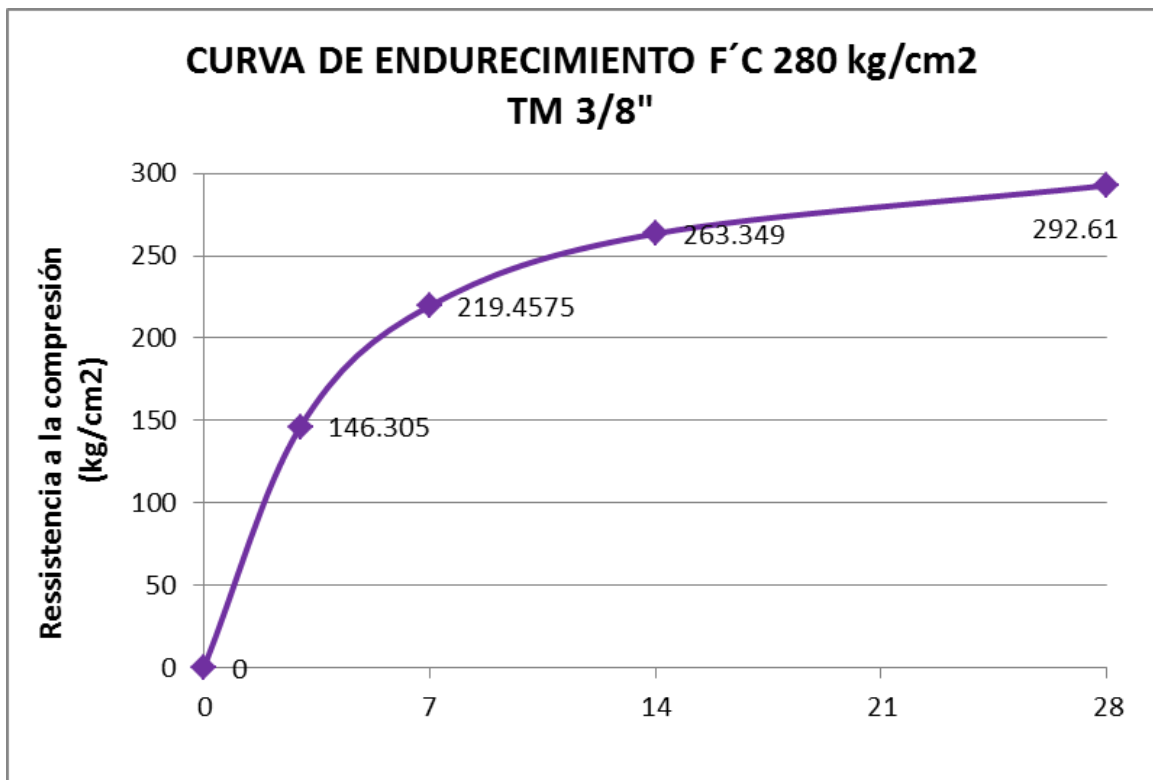


Figura 11: Probeta 6" x 12"; TM 3/8"

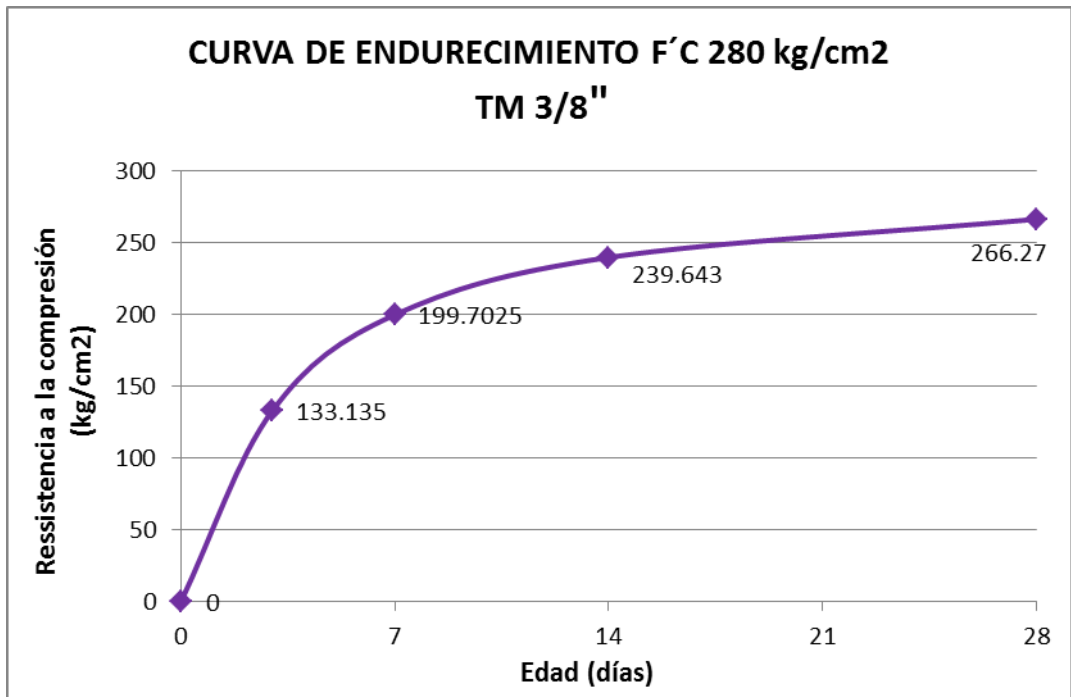
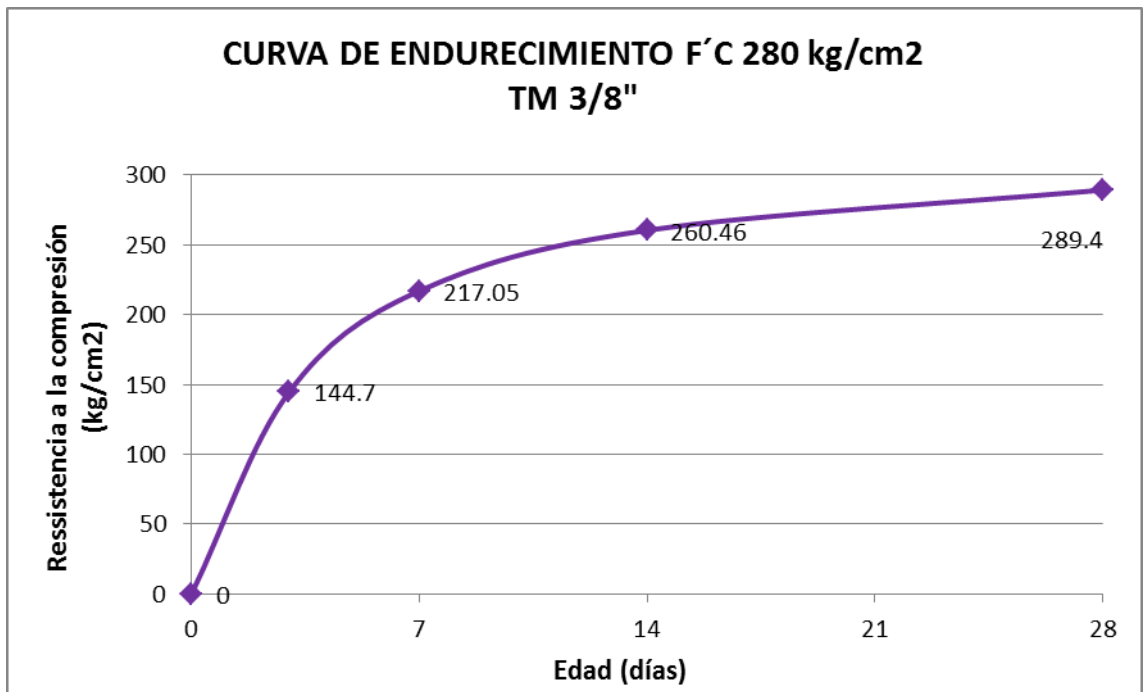


Figura 12: Probeta 6" x 12"; TM 3/8"



PROBETAS 3" X 6"

Figura 13: Probeta 3" x 6"; TM 1"

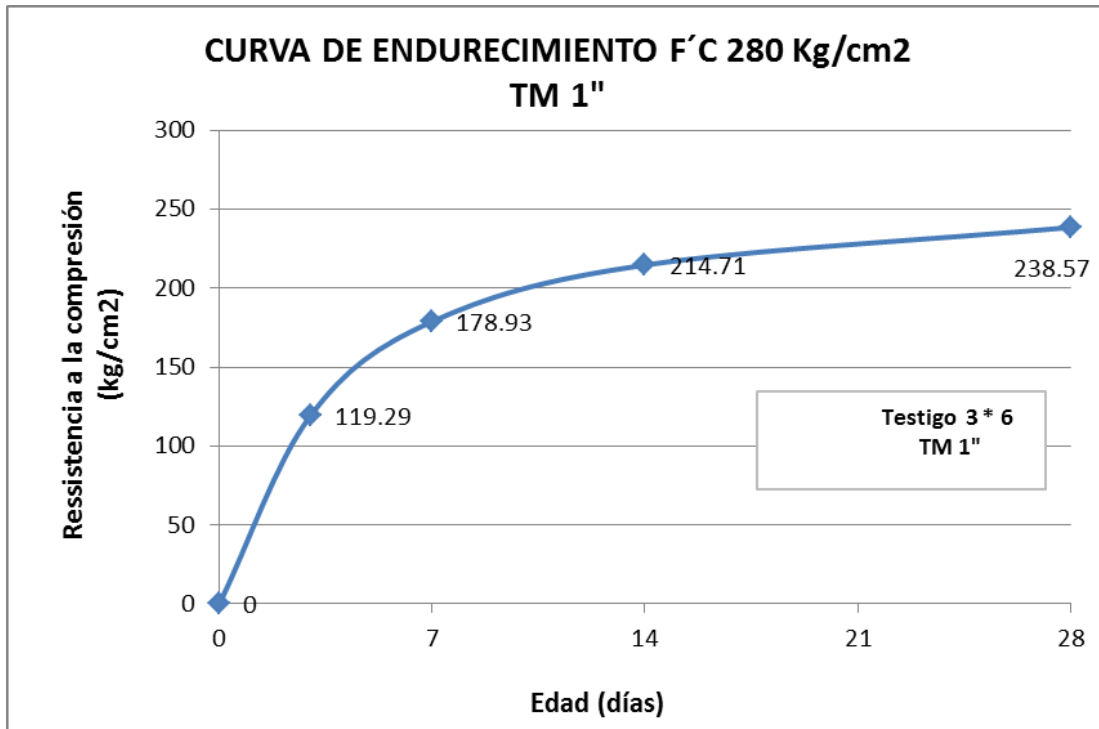


Figura 14: Probeta 3" x 6"; TM 1"

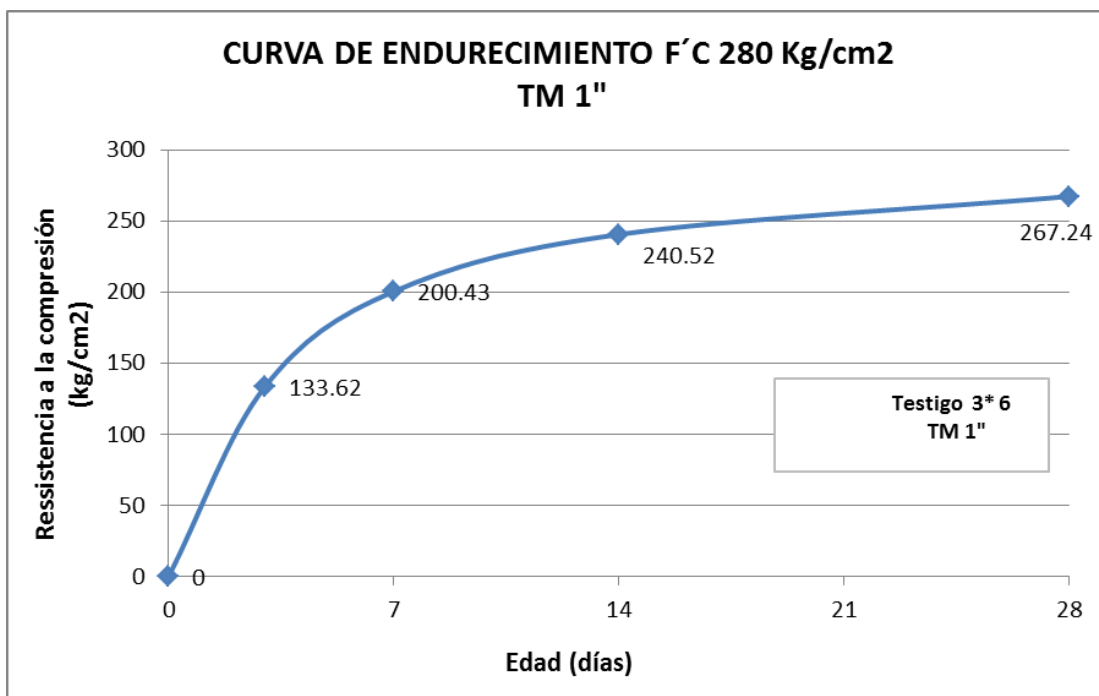


Figura 15: Probeta 3" x 6"; TM 1"

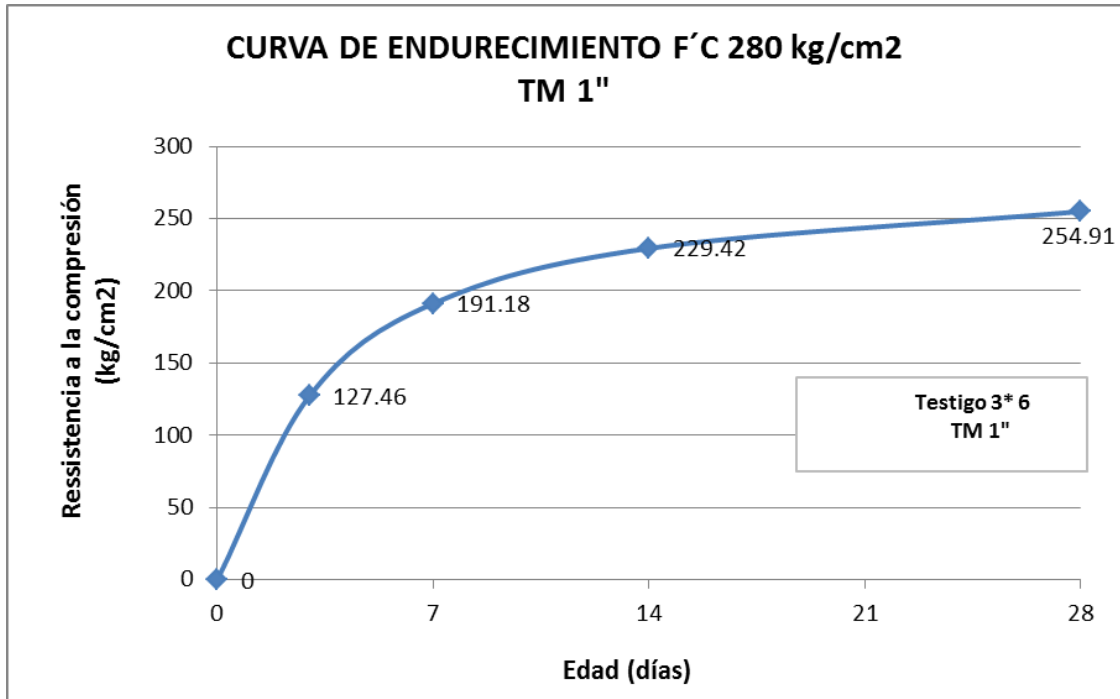


Figura 16: Probeta 3" x 6"; TM 3/4"

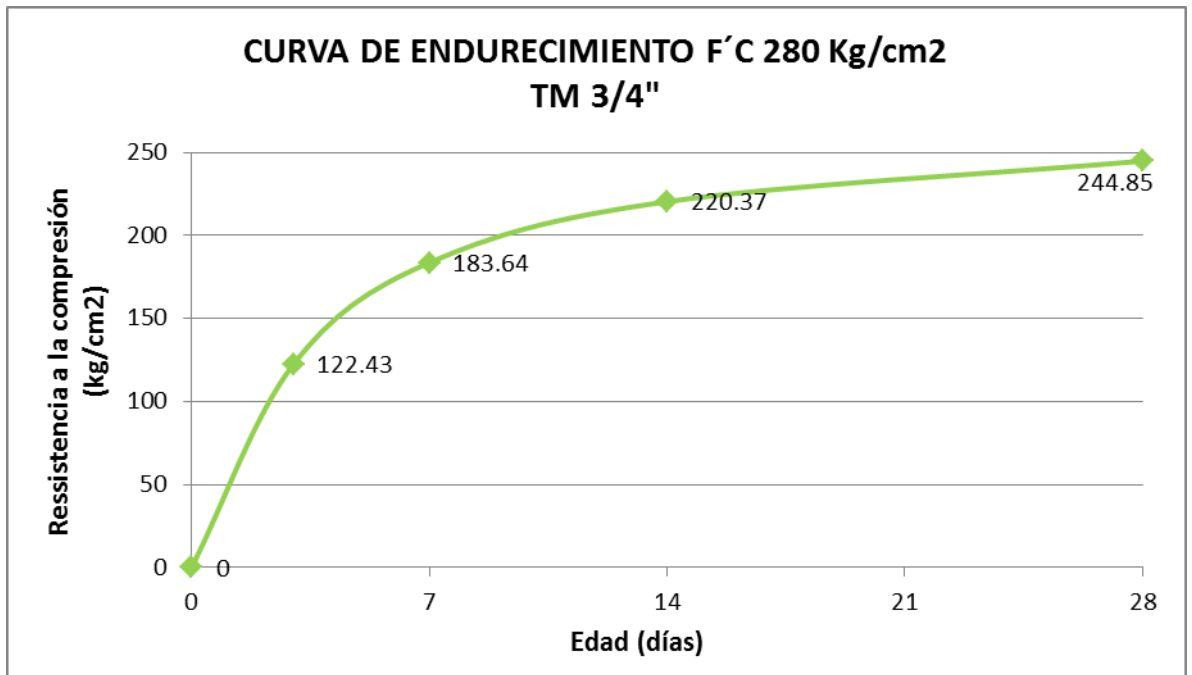


Figura 17: Probeta 3" x 6"; TM 3/4"

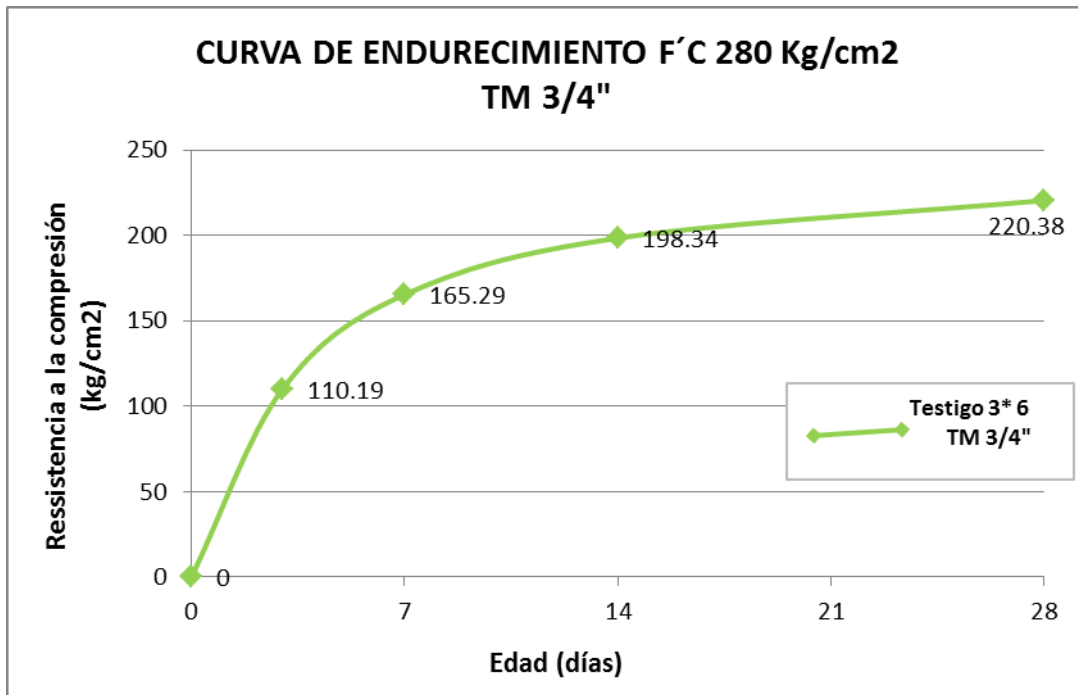


Figura 18: Probeta 3" x 6"; TM 3/4"

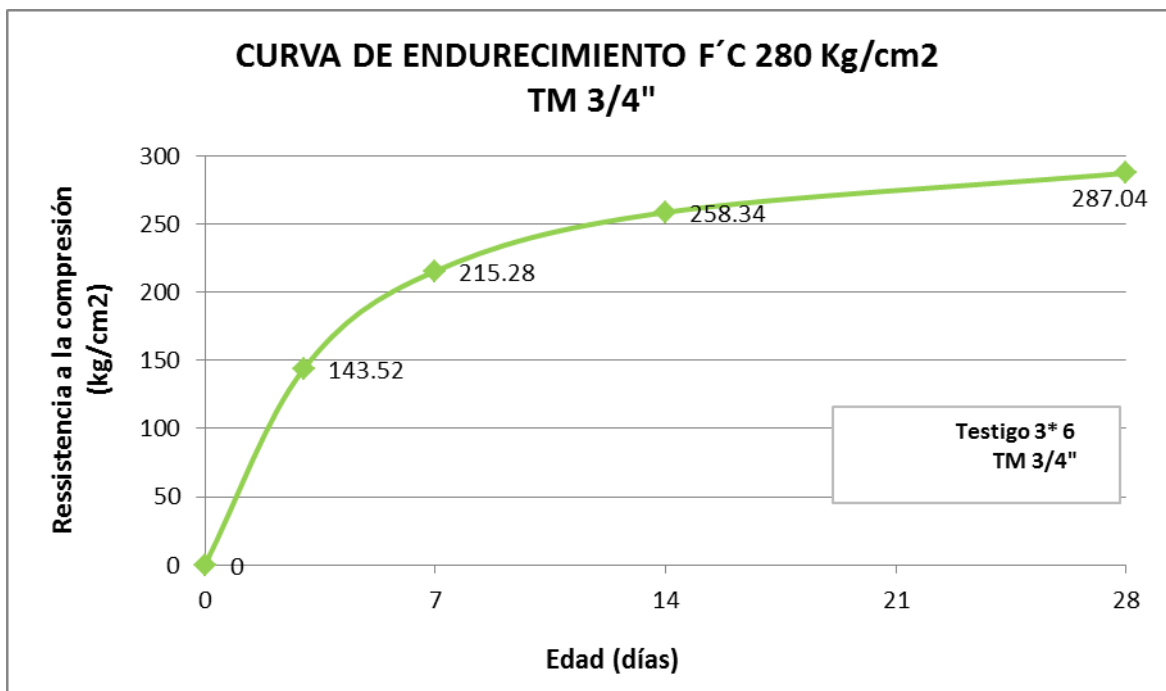


Figura 19: Probeta 3" x 6"; TM 1/2

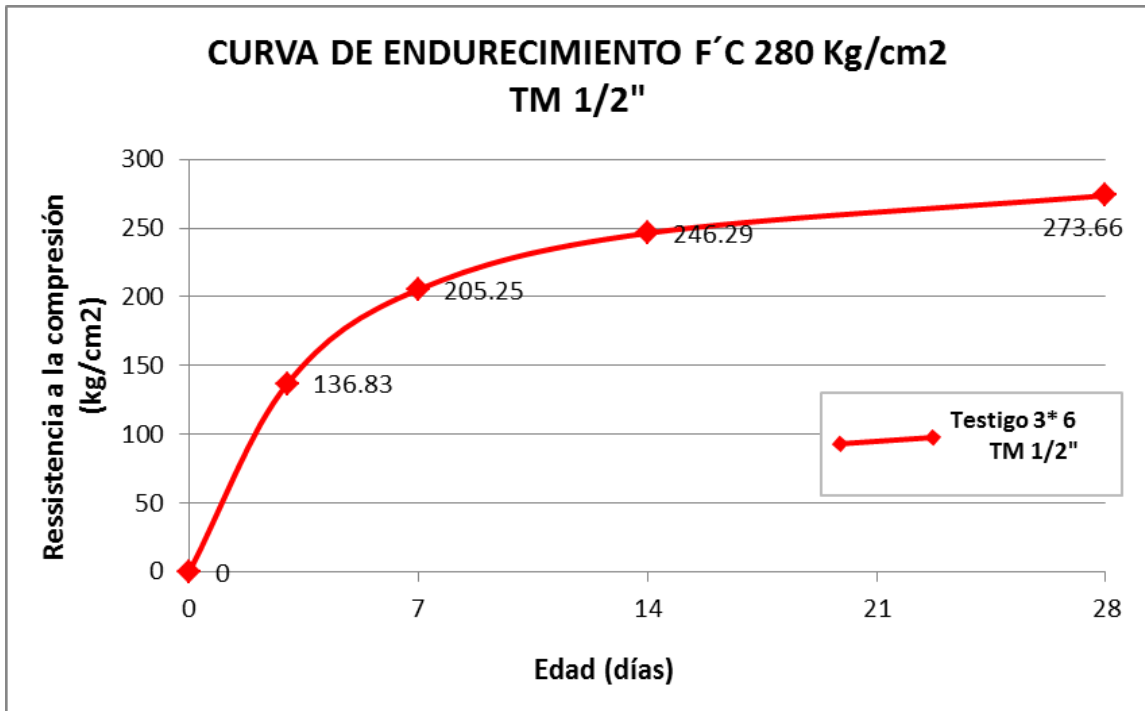


Figura 20: Probeta 3" x 6"; TM 1/2"

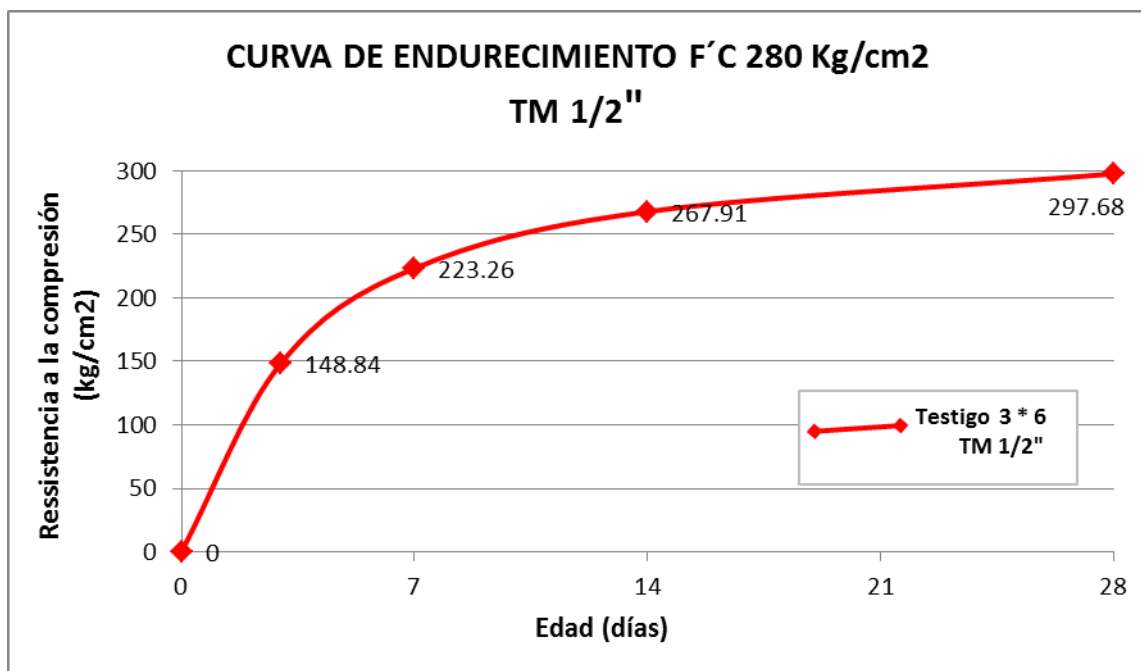


Figura 21: Probeta 3" x 6"; TM 1/2"

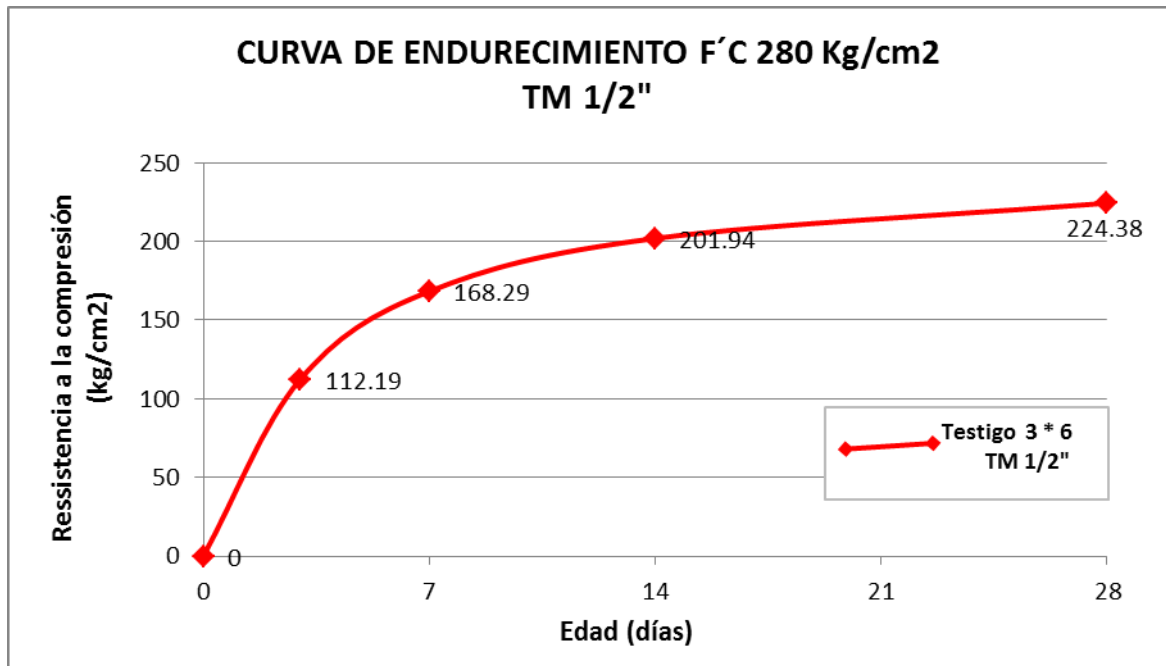


Figura 22: Probeta 3" x 6"; TM 3/8"

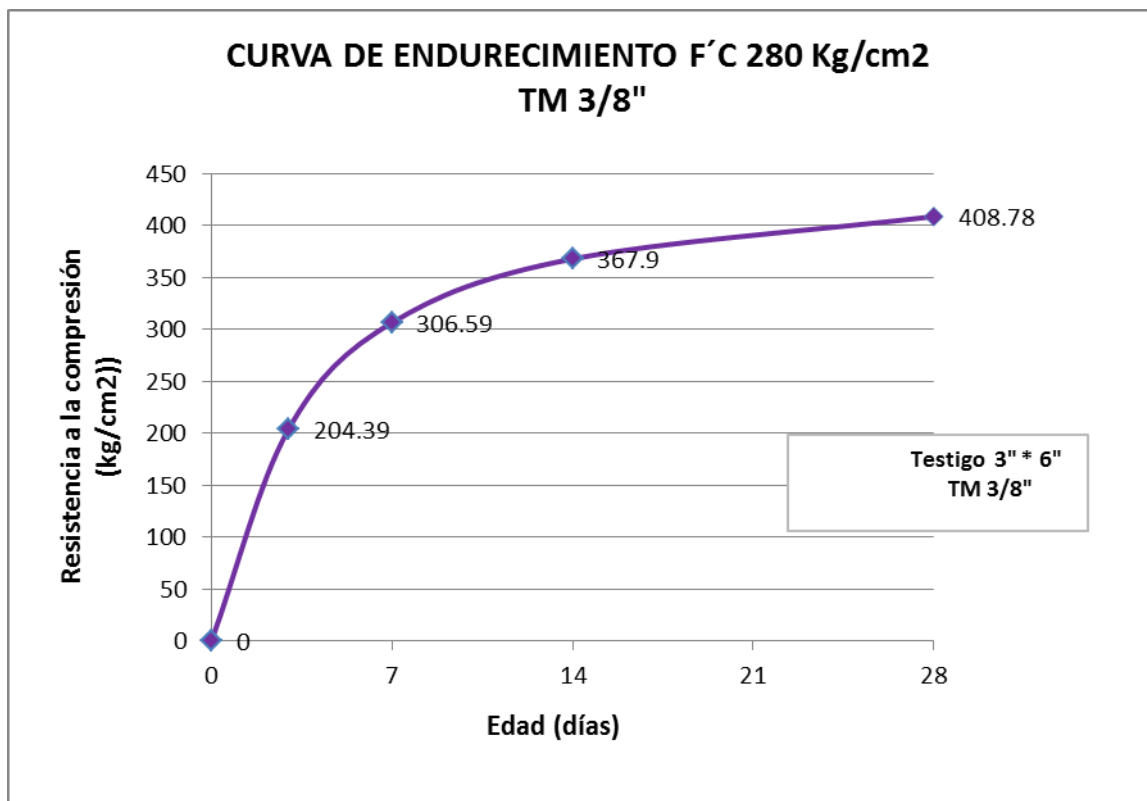
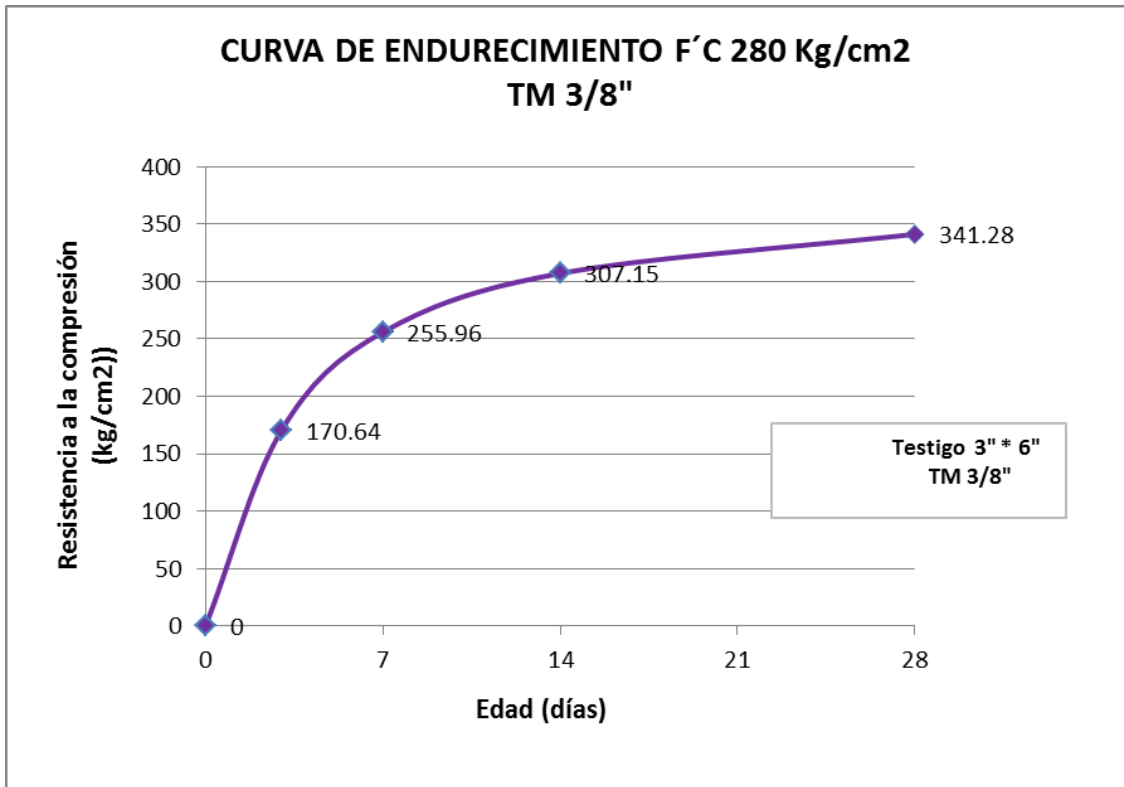


Figura 23: Probeta 3" x 6"; TM 3/8"



PROBETAS 2" X 4"

Figura 24: Probeta 2" x 4"; TM 1

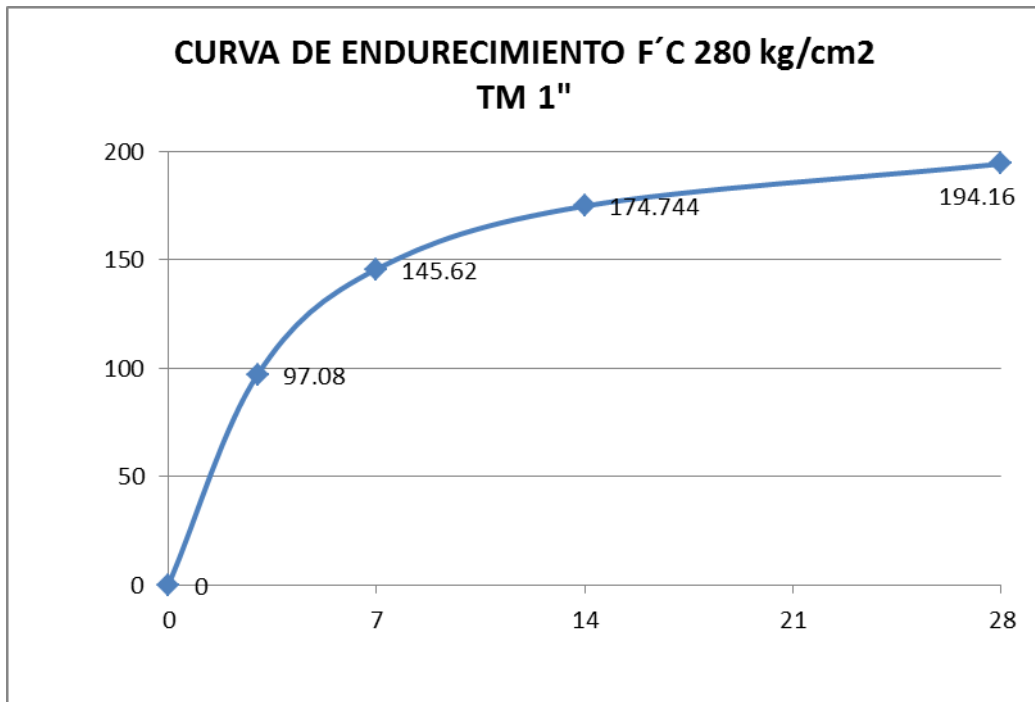


Figura 25 Probeta 2" x 4"; TM 1"

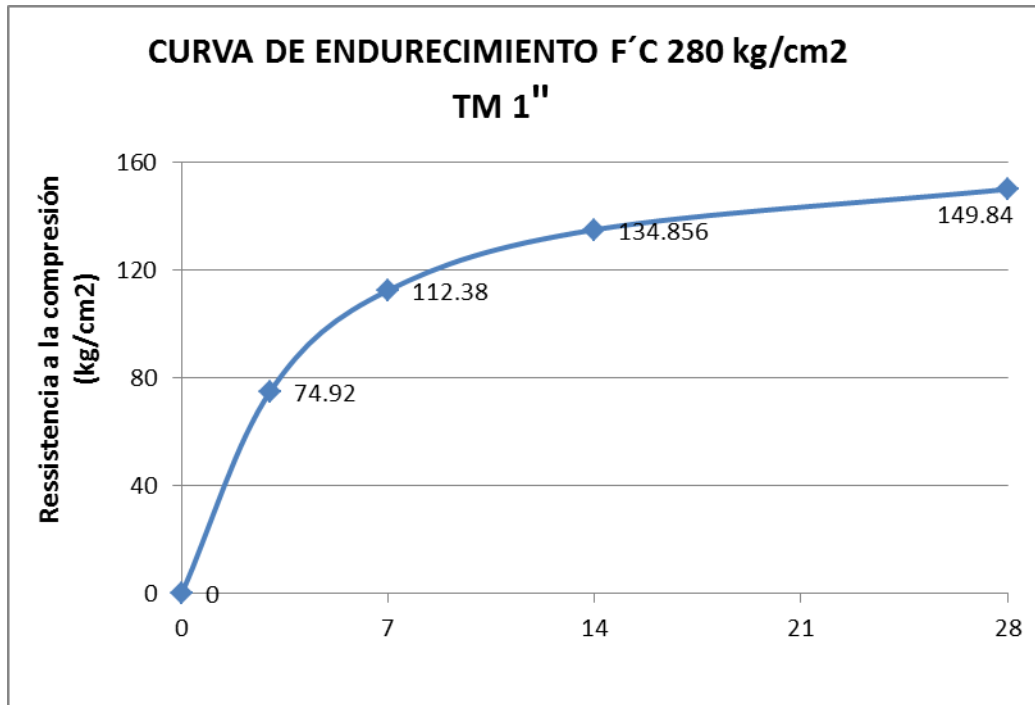


Figura 26 Probeta 2" x 4"; TM 1"

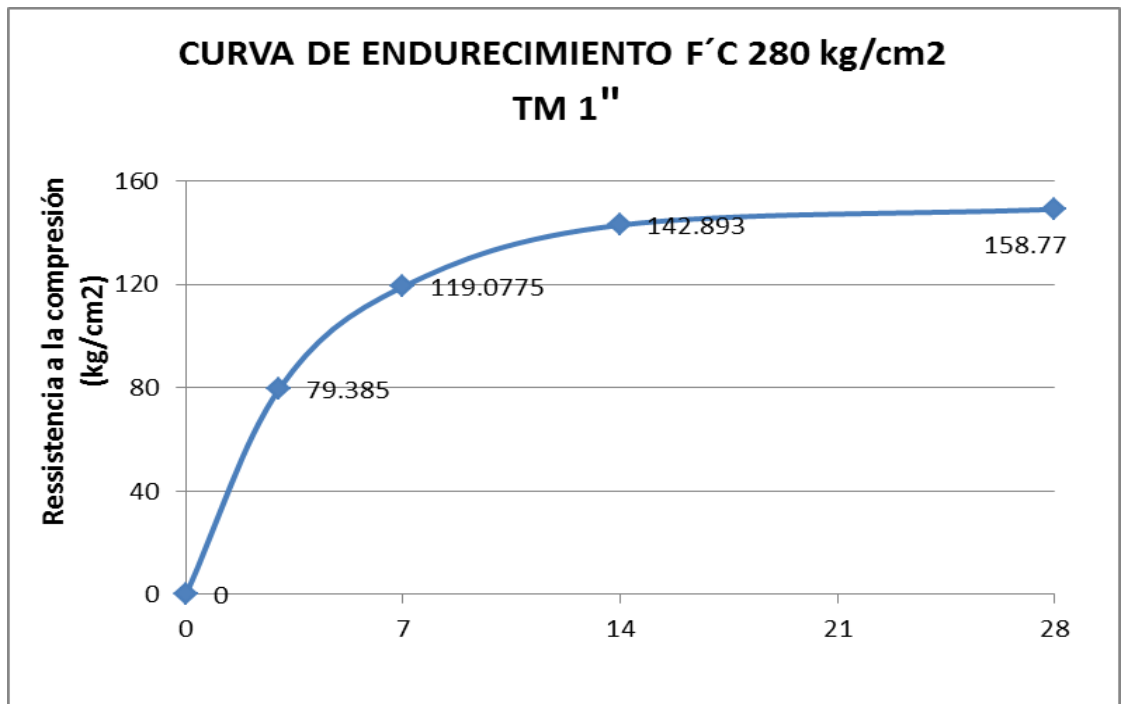


Figura 27 :Probeta 2” x 4”; TM 1/2”

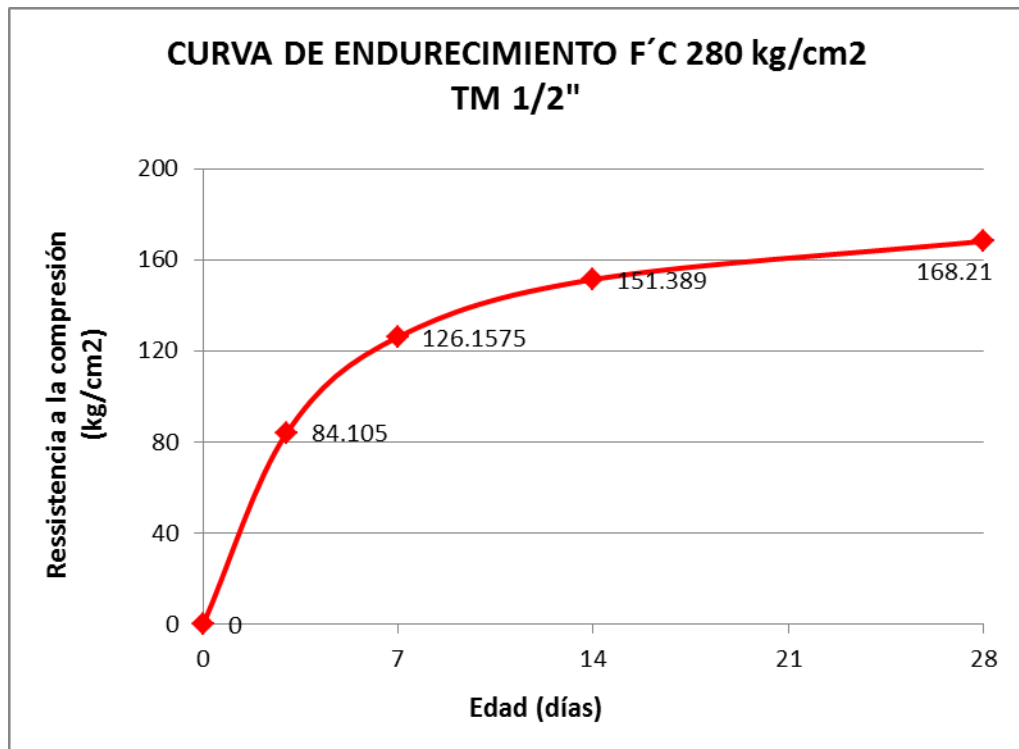


Figura 28 Probeta 2” x 4”; TM 1/2”

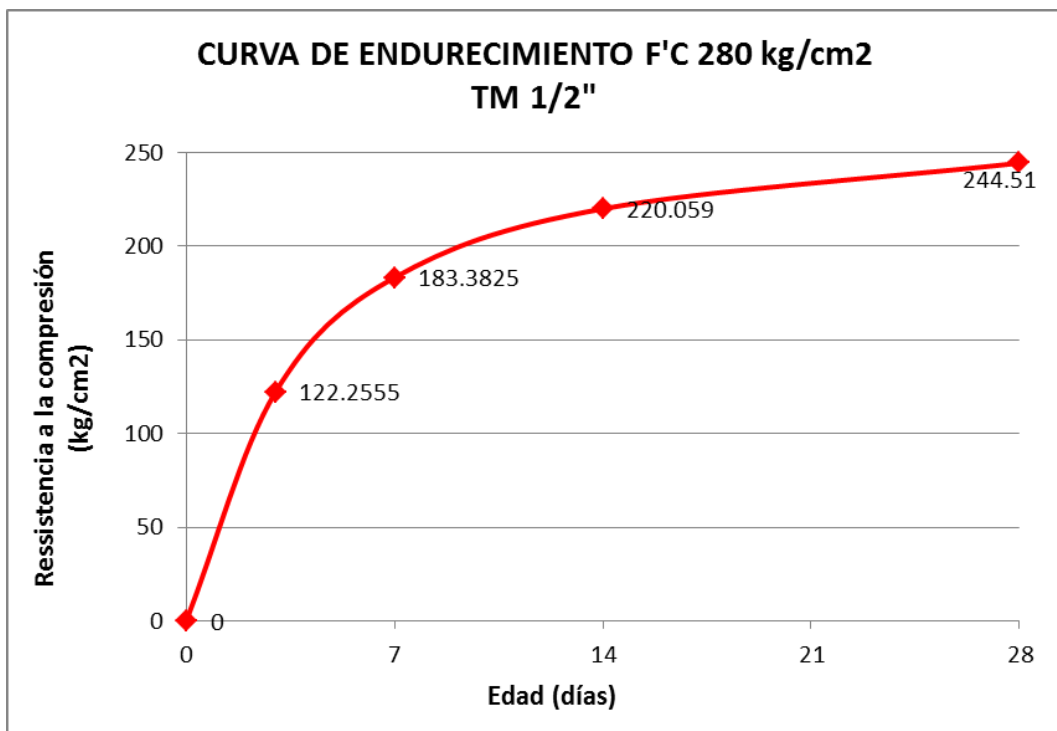


Figura 29 Probeta 2" x 4"; TM 1/2"

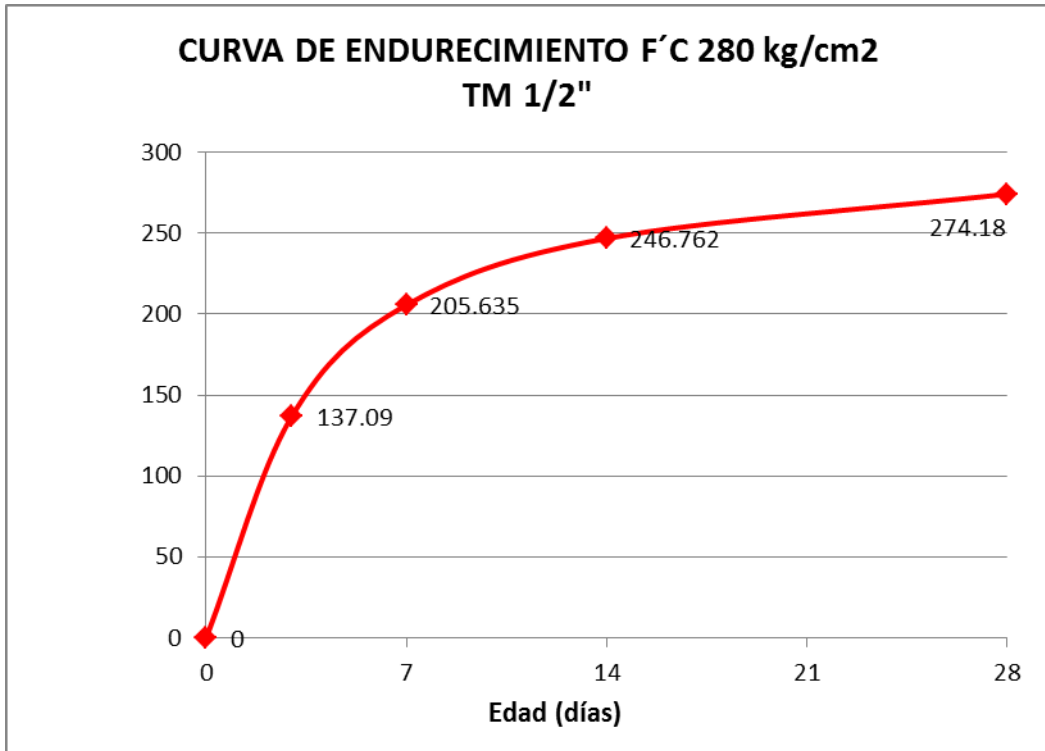


Figura 30: Probeta 2" x 4"; TM 3/4"

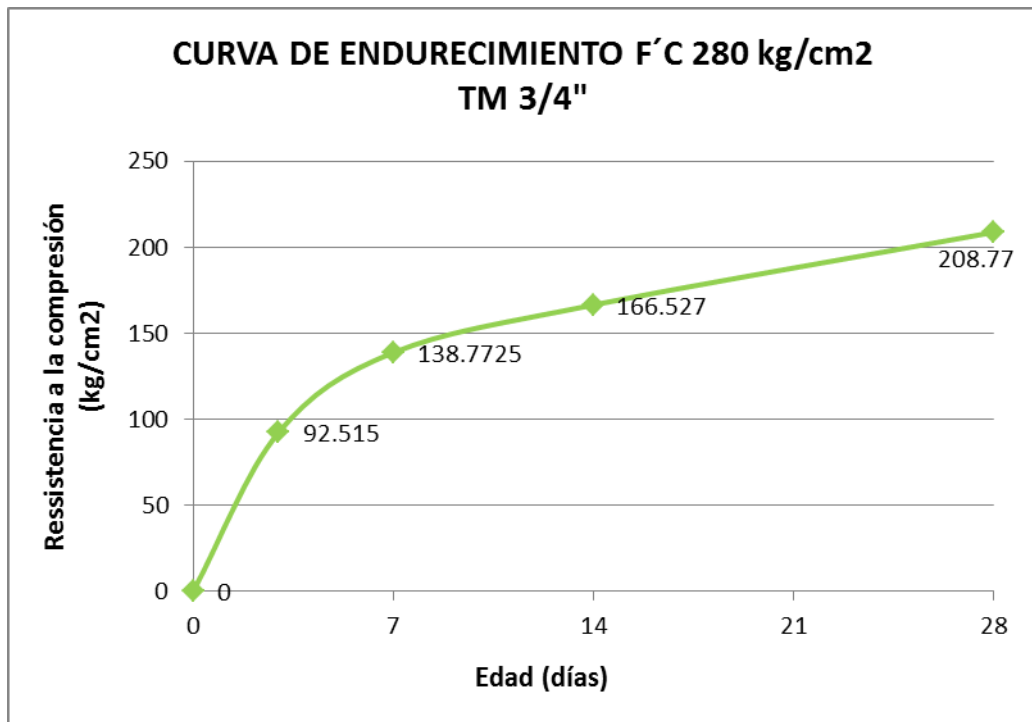


Figura 31 Probeta 2" x 4"; TM 3/4"

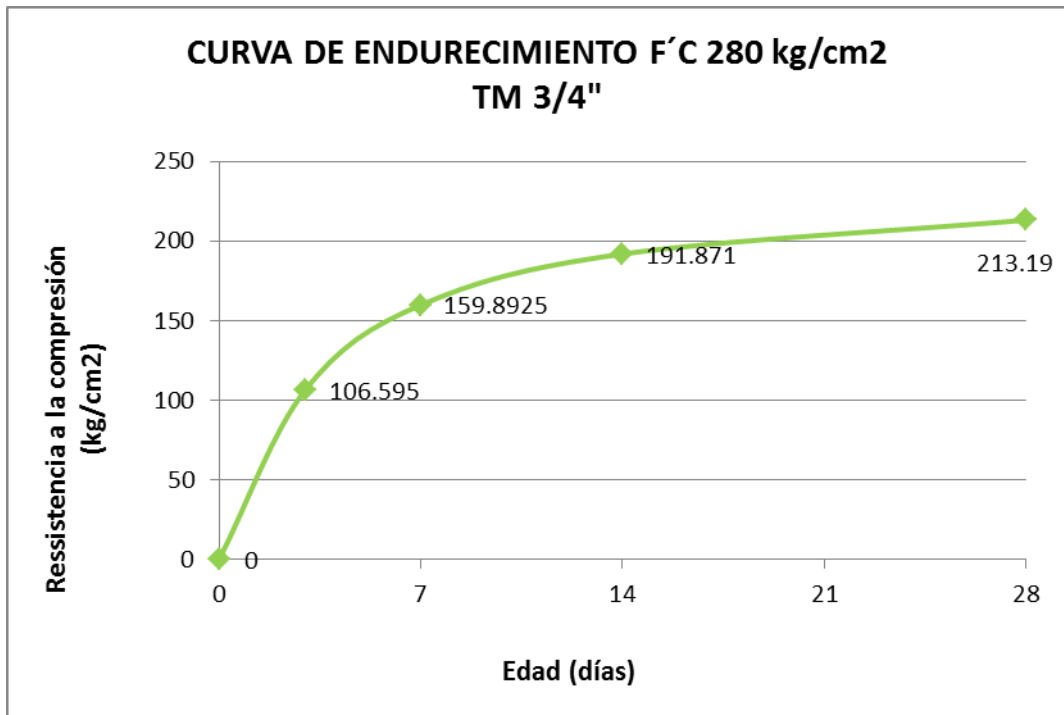


Figura 32 Probeta 2" x 4"; TM 3/4"

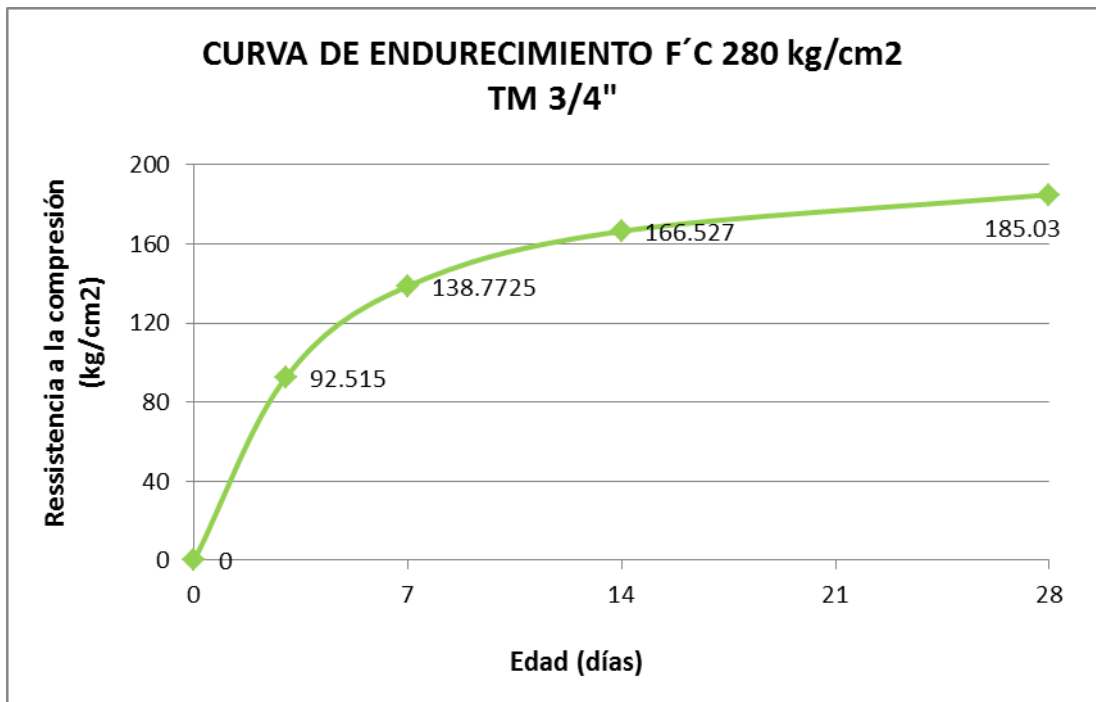


Figura 33 Probeta 2" x 4"; TM 3/8"

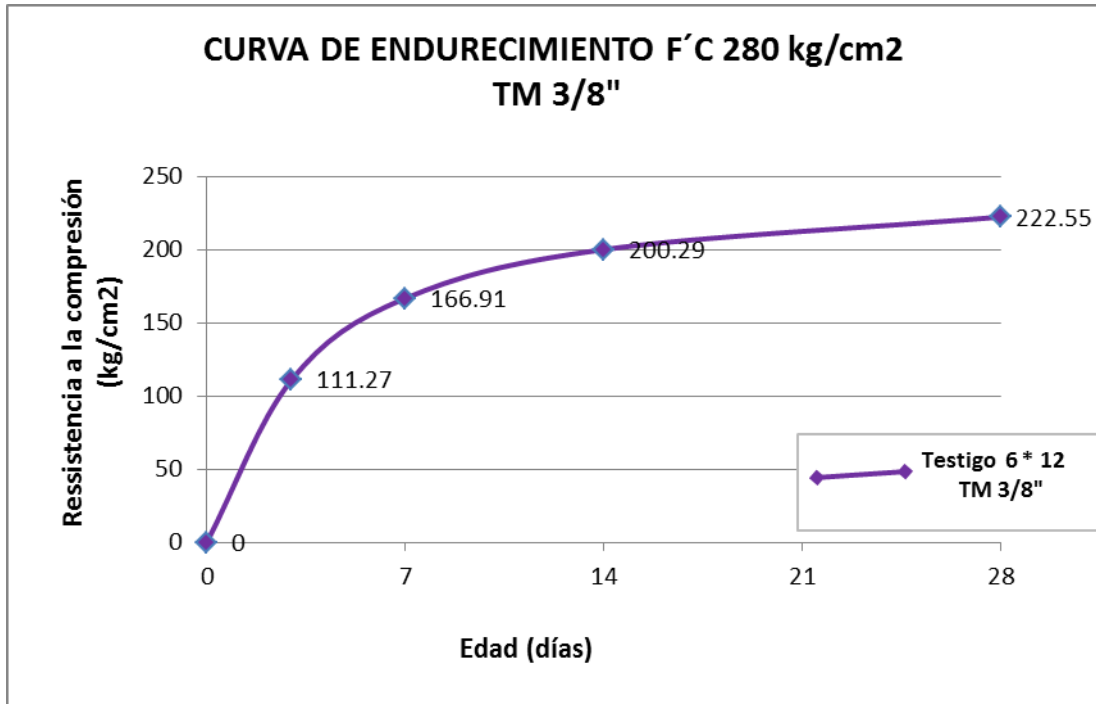


Figura 34 Probeta 2" x 4"; TM 3/8"

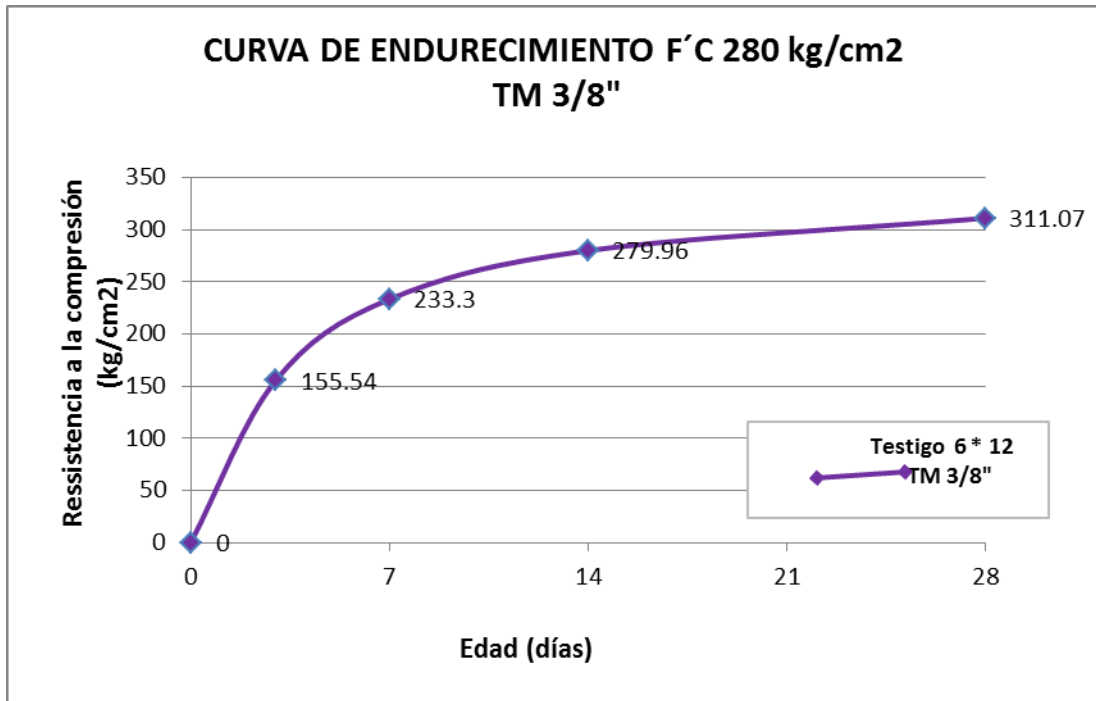
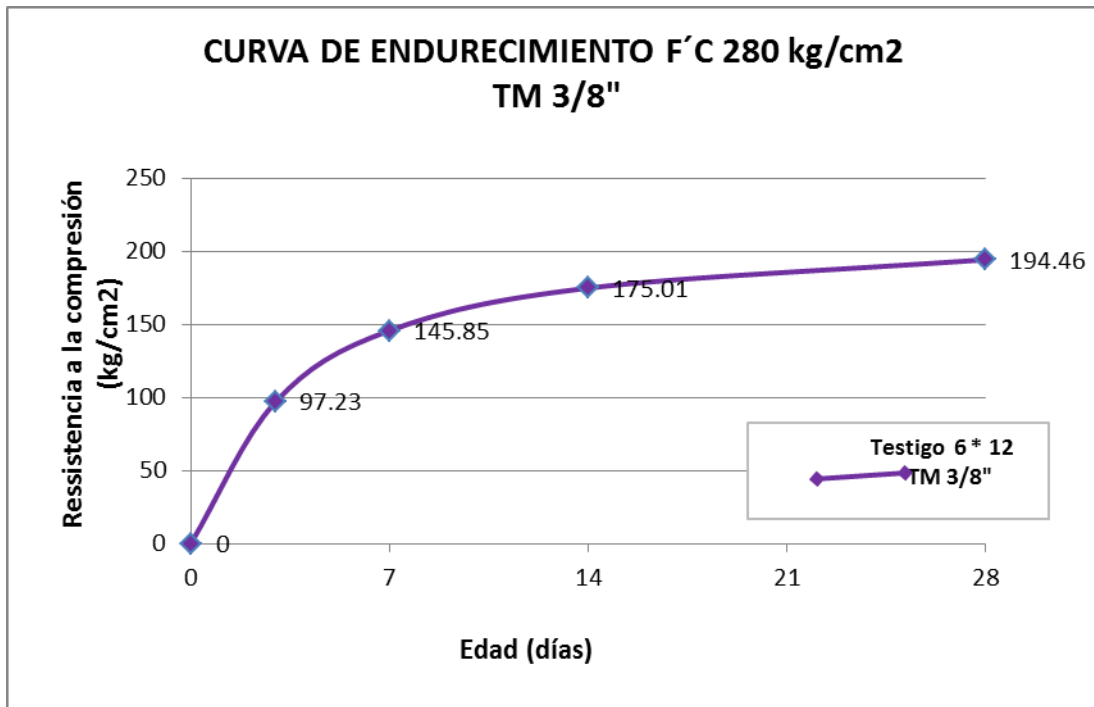


Figura 35 Probeta 2" x 4"; TM 3/8"



PROBETAS 6" X 6"

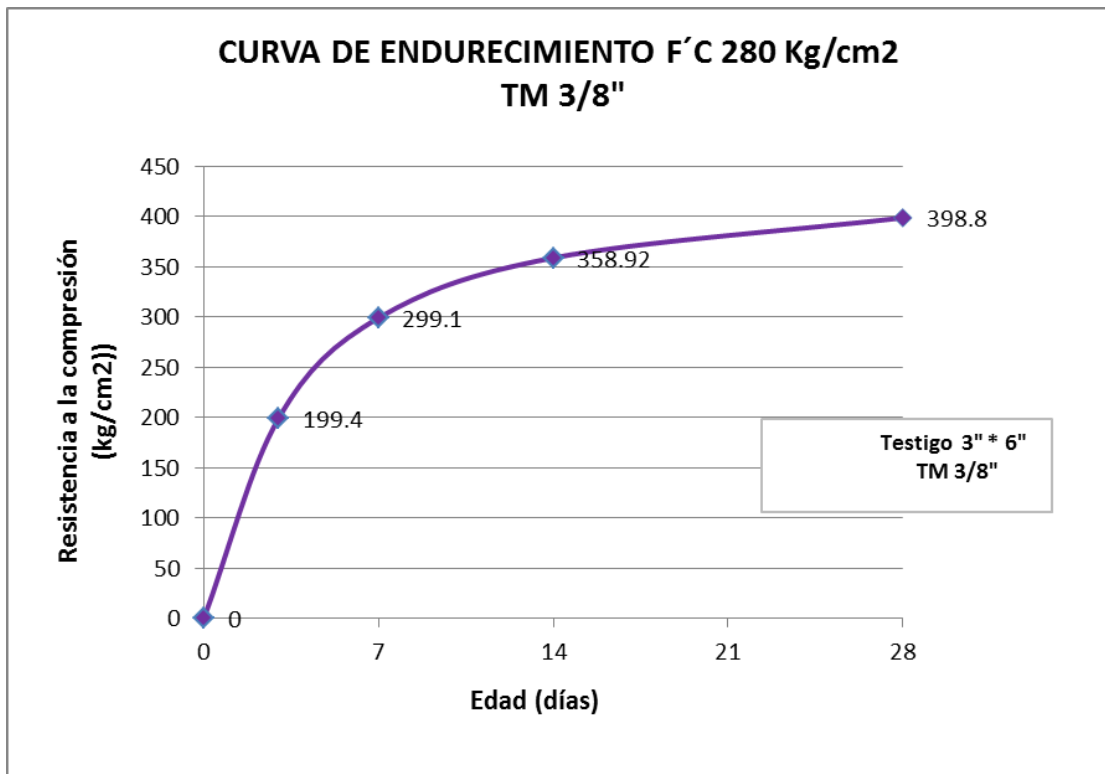


Figura 36 Probeta 6" x 6"; TM 1"

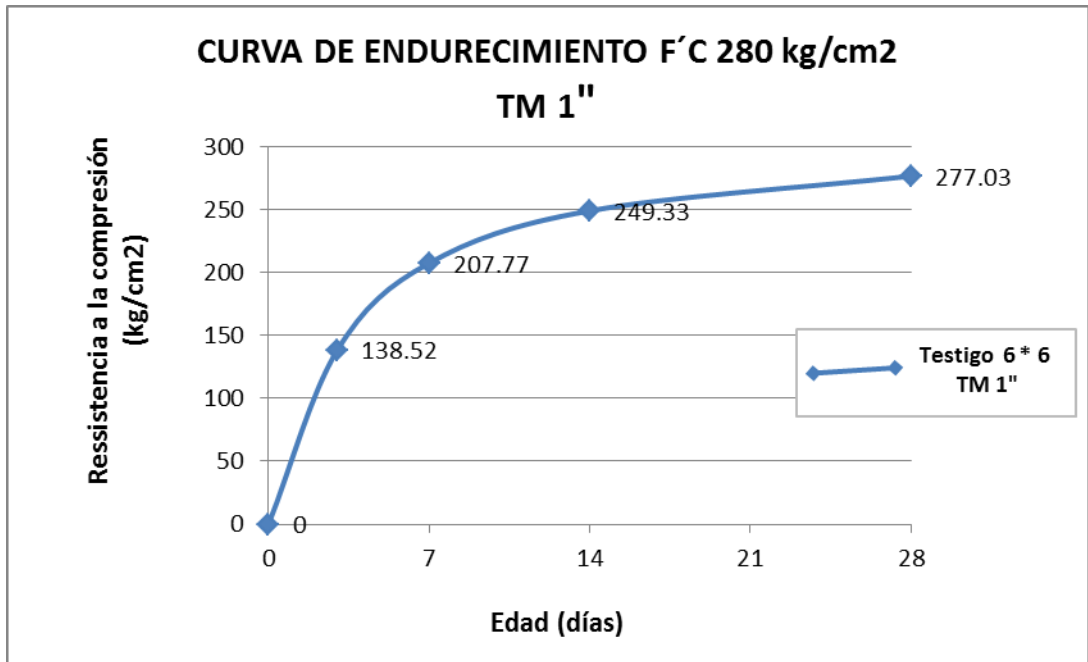


Figura 37 Probeta 6" x 6"; TM 1"

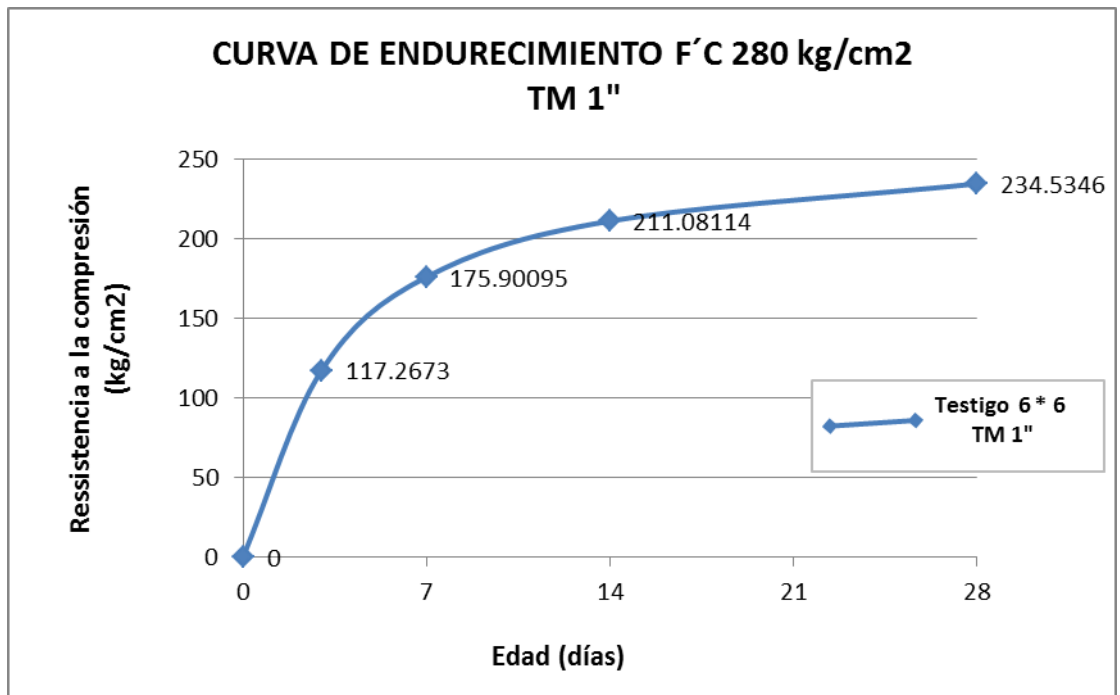


Figura 38 Probeta 6" x 6"; TM 1"

Figura 39 Probeta 6" x 6"; TM 1"

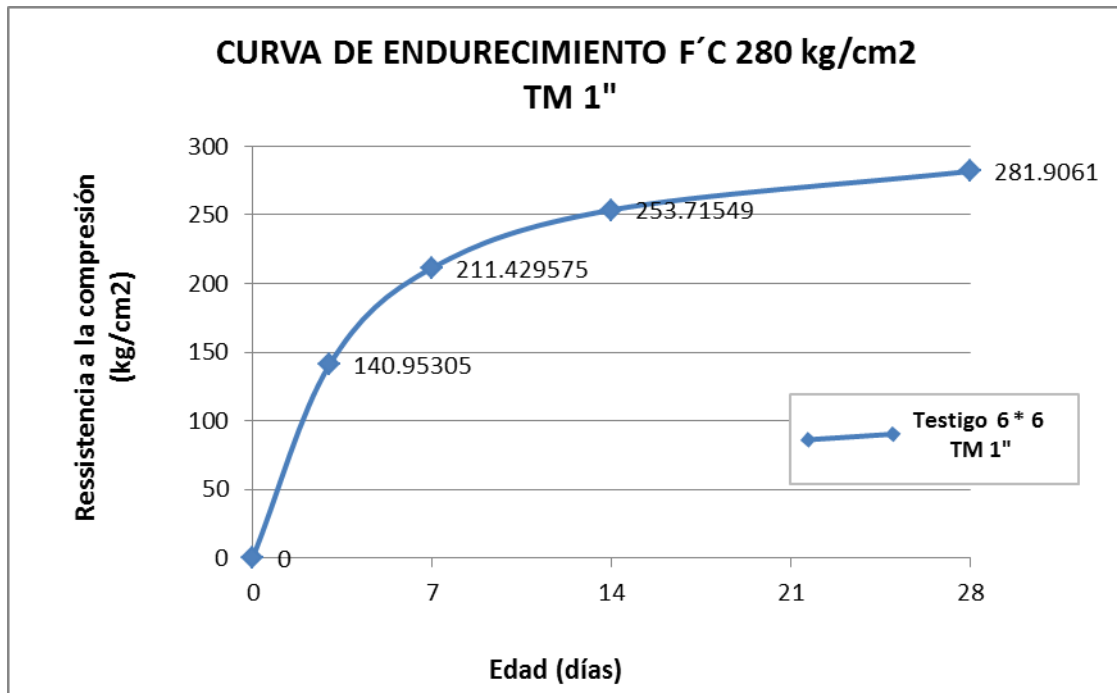


Figura 40 Probeta 6" x 6"; TM 1/2"

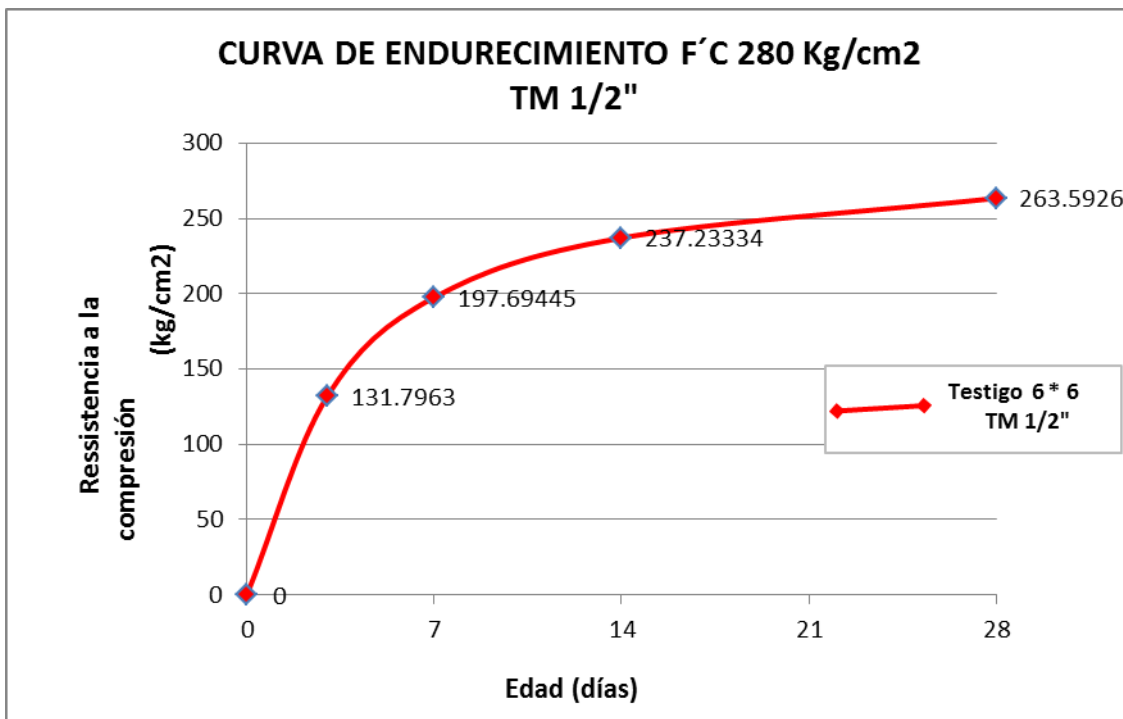


Figura 41 Probeta 6" x 6"; TM 1/2"

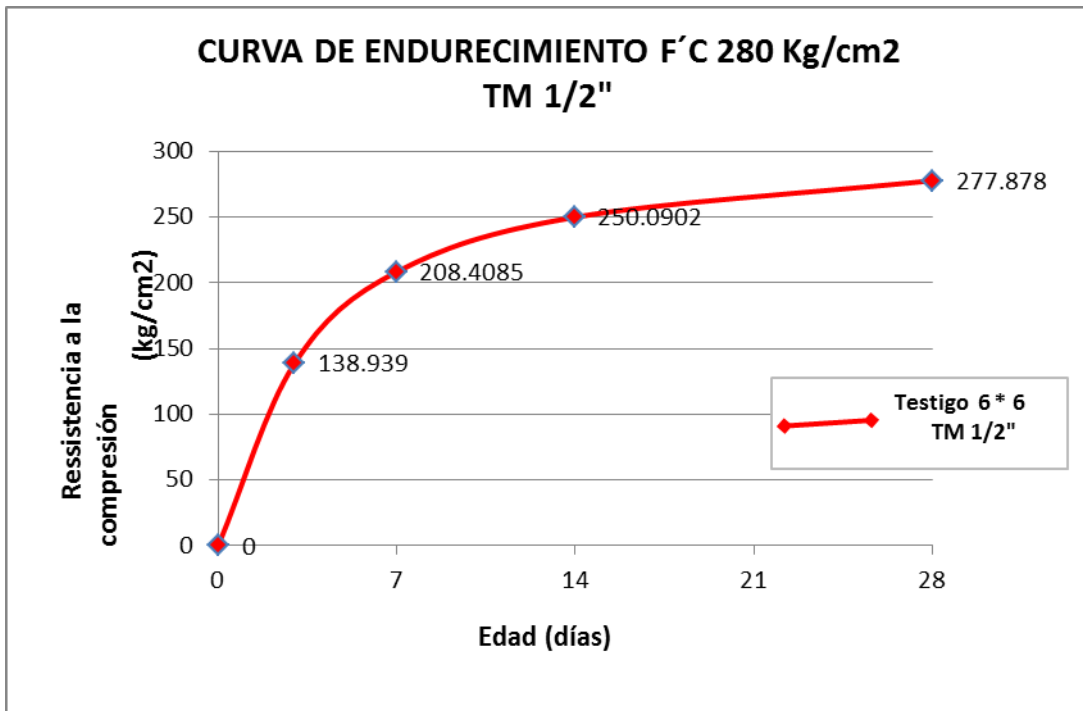
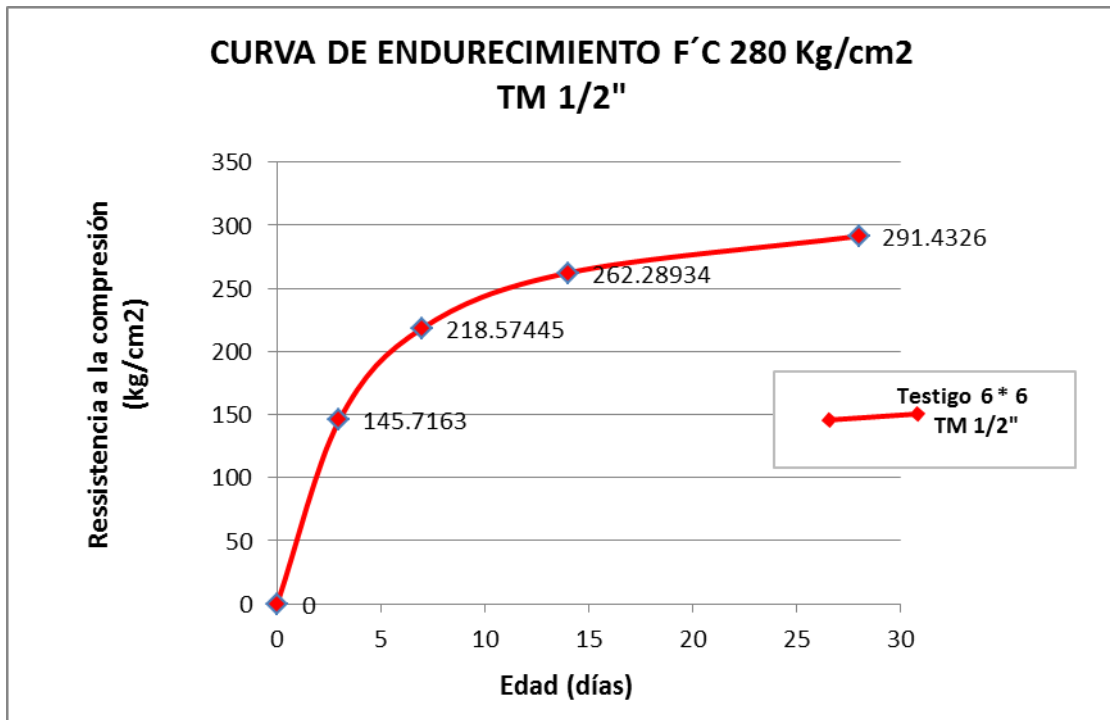


Figura 42 Probeta 6" x 6"; TM 1/2



”

Figura 43 Probeta 6" x 6"; TM 3/4"

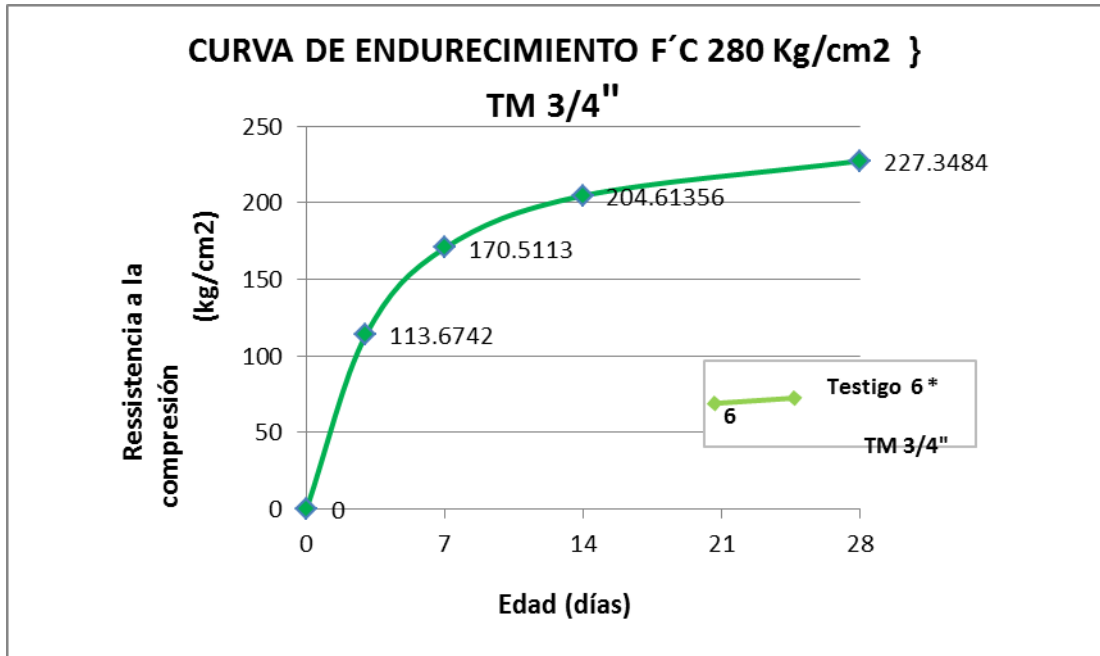


Figura 44 Probeta 6" x 6"; TM 3/4"

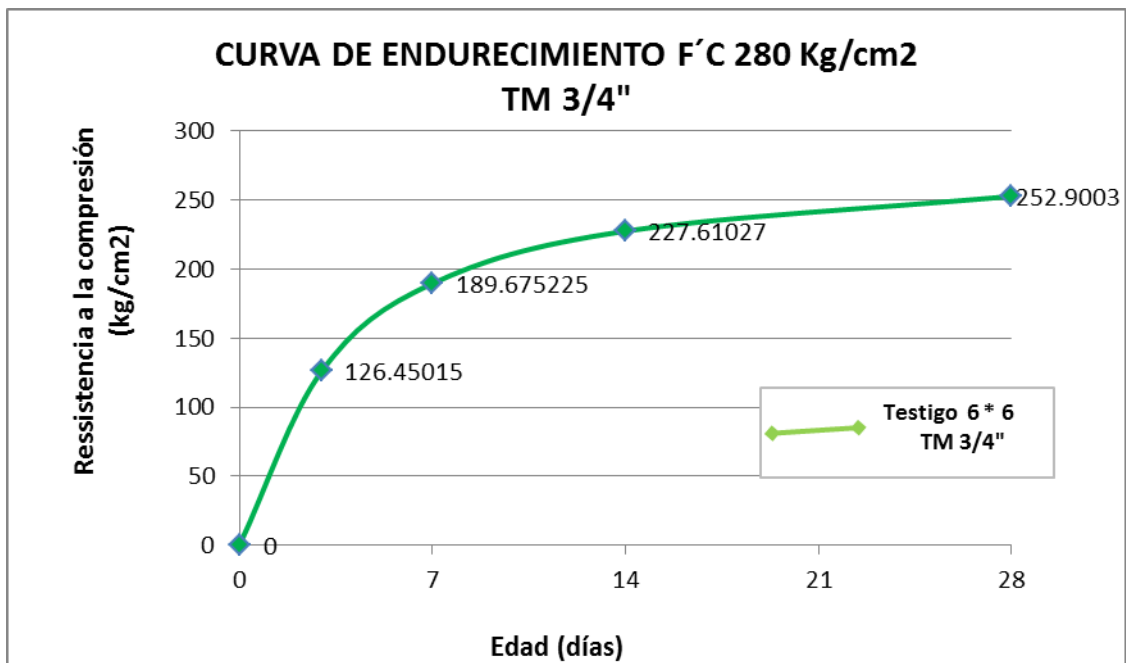


Figura 45 Probeta 6" x 6"; TM 3/4"

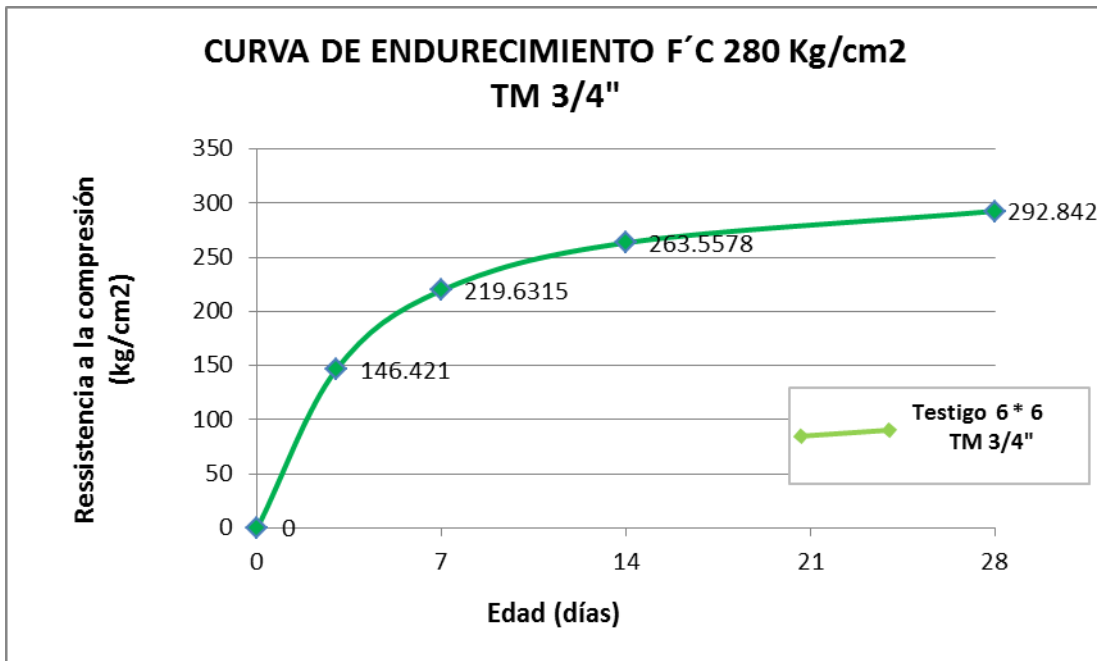


Figura 46 Probeta 6" x 6"; TM 3/8"

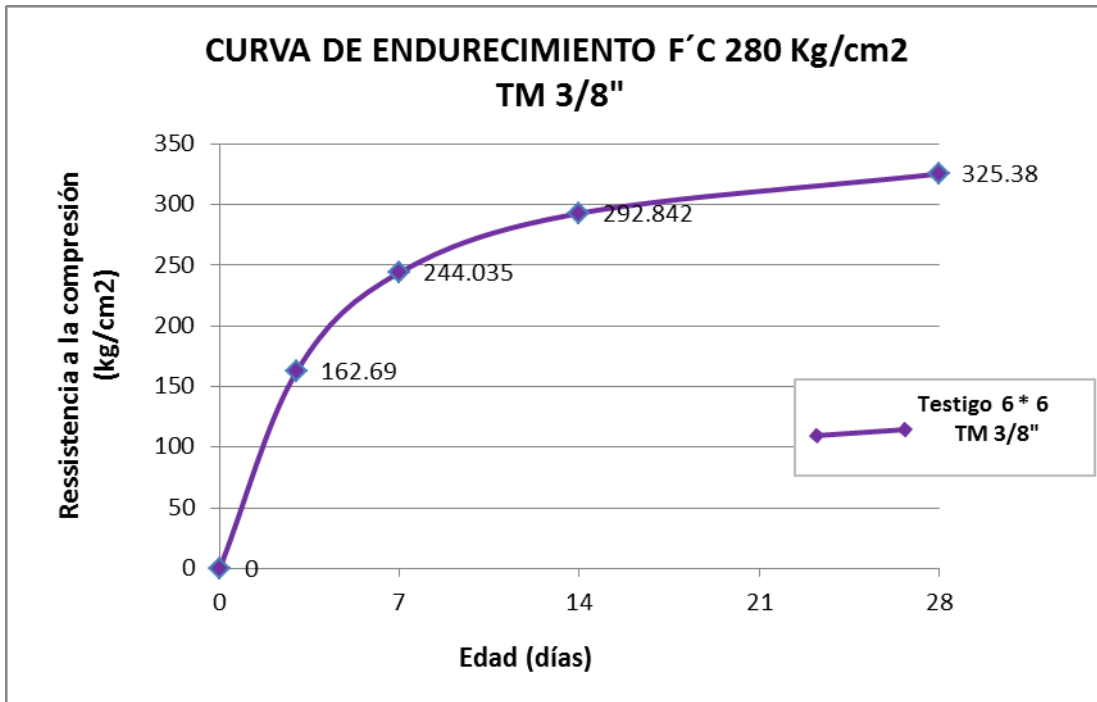


Figura 47 Probeta 6" x 6"; TM 3/8"

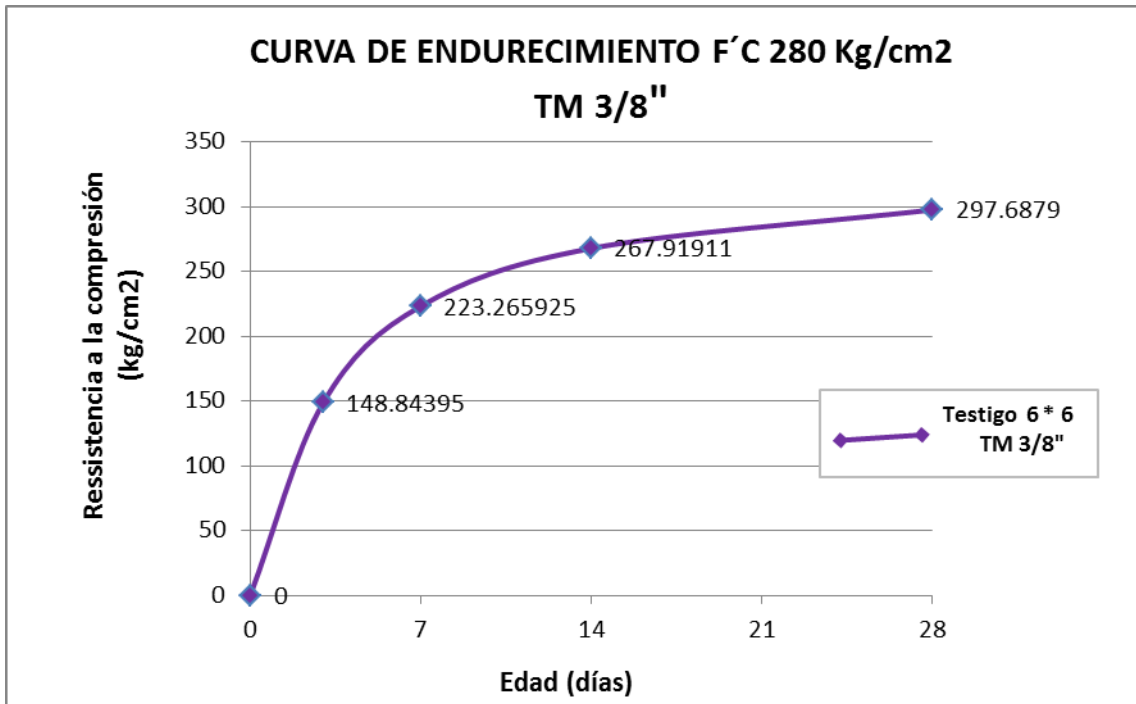
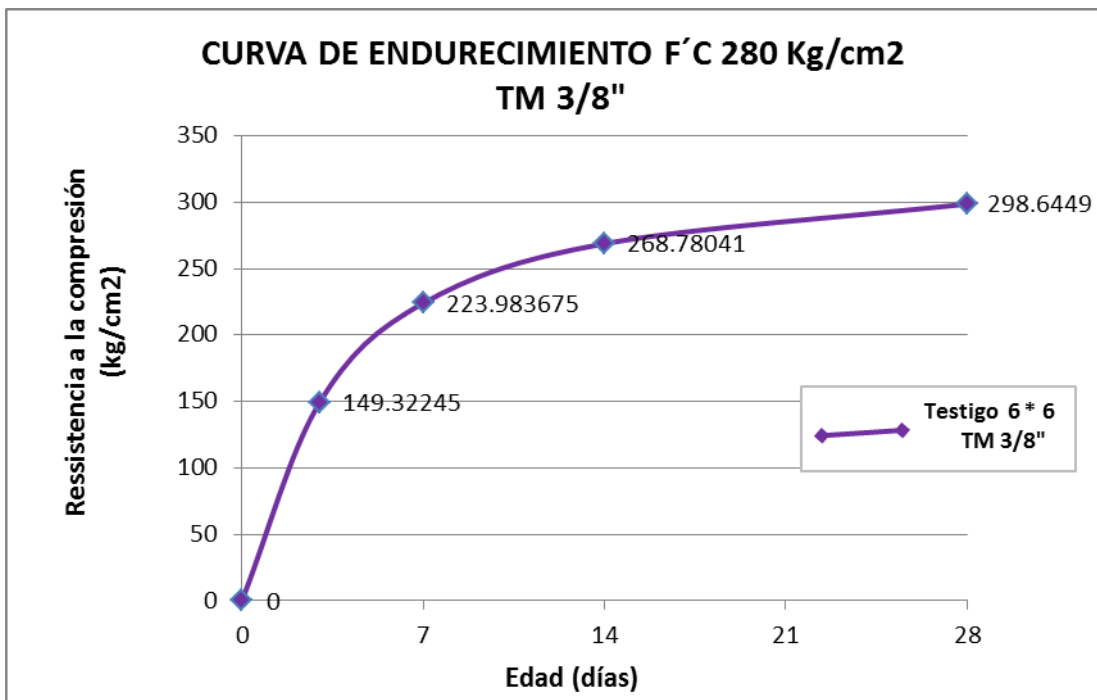


Figura 48 Probeta 6" x 6"; TM 3/8"



ANEXO 5: ANALISIS ESTADISTICO

PROBETA 6" X 12" ; TM 1"	
Media (Kg/cm ²)	313.17
Desv. Estándar (kg/cm ²)	13.19
Mínimo (kg/cm ²)	303.04
Máximo (kg/cm ²)	332.45
Rango (kg/cm ²)	29.41

PROBETA 3" X 6" ; TM 1"	
Media (Kg/cm ²)	266.04
Desv. Estándar (kg/cm ²)	27.57
Mínimo (kg/cm ²)	238.57
Máximo (kg/cm ²)	303.45
Rango (kg/cm ²)	64.88

PROBETA 6" X 12" ; TM 3/4"	
Media (Kg/cm ²)	284.89
Desv. Estándar (kg/cm ²)	4.22
Mínimo (kg/cm ²)	279.63
Máximo (kg/cm ²)	289.95
Rango (kg/cm ²)	10.32

PROBETA 3" X 6" ; TM 3/4"	
Media (Kg/cm ²)	261.22
Desv. Estándar (kg/cm ²)	34.59
Mínimo (kg/cm ²)	220.38
Máximo (kg/cm ²)	292.61
Rango (kg/cm ²)	72.23

PROBETA 6" X 12" ; TM 1/2"	
Media (Kg/cm ²)	337.68
Desv. Estándar (kg/cm ²)	10.55
Mínimo (kg/cm ²)	325.3
Máximo (kg/cm ²)	346.48
Rango (kg/cm ²)	21.18

PROBETA 3" X 6" ; TM 1/2"	
Media (Kg/cm ²)	276.58
Desv. Estándar (kg/cm ²)	38.01
Mínimo (kg/cm ²)	224.38
Máximo (kg/cm ²)	310.59
Rango (kg/cm ²)	86.21

PROBETA 6" X 12" ; TM 3/8"	
Media (Kg/cm ²)	292.14
Desv. Estándar (kg/cm ²)	22.13
Mínimo (kg/cm ²)	266.27
Máximo (kg/cm ²)	289.4
Rango (kg/cm ²)	23.13

PROBETA 3" X 6" ; TM 3/8"	
Media (Kg/cm ²)	358.25
Desv. Estándar (kg/cm ²)	57.67
Mínimo (kg/cm ²)	284.13
Máximo (kg/cm ²)	408.78
Rango (kg/cm ²)	124.65

PROBETA 2" X 4" ; TM 1"	
Media (Kg/cm ²)	171.32
Desv. Estándar (kg/cm ²)	20.54
Mínimo (kg/cm ²)	149.84
Máximo (kg/cm ²)	194.16
Rango (kg/cm ²)	44.32

PROBETA 6" X 6" ; TM 1"	
Media (Kg/cm ²)	277.91
Desv. Estándar (kg/cm ²)	34.25
Mínimo (kg/cm ²)	234.54
Máximo (kg/cm ²)	318.17
Rango (kg/cm ²)	83.63

PROBETA 2" X 4" ; TM 3/4"	
Media (Kg/cm ²)	203.05
Desv. Estándar (kg/cm ²)	12.45
Mínimo (kg/cm ²)	185.03
Máximo (kg/cm ²)	213.19
Rango (kg/cm ²)	28.16

PROBETA 6" X 6" ; TM 3/4"	
Media (Kg/cm ²)	263.46
Desv. Estándar (kg/cm ²)	29.31
Mínimo (kg/cm ²)	277.35
Máximo (kg/cm ²)	292.84
Rango (kg/cm ²)	65.49

PROBETA 2" X 4" ; TM 1/2"	
Media (Kg/cm ²)	241.19
Desv. Estándar (kg/cm ²)	54.03
Mínimo (kg/cm ²)	168.21
Máximo (kg/cm ²)	289.867
Rango (kg/cm ²)	259.35

PROBETA 6" X 6" ; TM 1/2"	
Media (Kg/cm ²)	277.91
Desv. Estándar (kg/cm ²)	11.43
Mínimo (kg/cm ²)	263.59
Máximo (kg/cm ²)	291.43
Rango (kg/cm ²)	27.84

PROBETA 2" X 4" ; TM 3/8"	
Media (Kg/cm ²)	271.97
Desv. Estándar (kg/cm ²)	76.8
Mínimo (kg/cm ²)	194.46
Máximo (kg/cm ²)	359.81
Rango (kg/cm ²)	165.35

PROBETA 6" X 6" ; TM 3/8"	
Media (Kg/cm ²)	298.99
Desv. Estándar (kg/cm ²)	20.9
Mínimo (kg/cm ²)	74.22
Máximo (kg/cm ²)	325.38
Rango (kg/cm ²)	51.16

ANEXO 6: CURVAS DE DSITRIBUCION

Figura 49: Probeta 6" x 12"; TM 1"

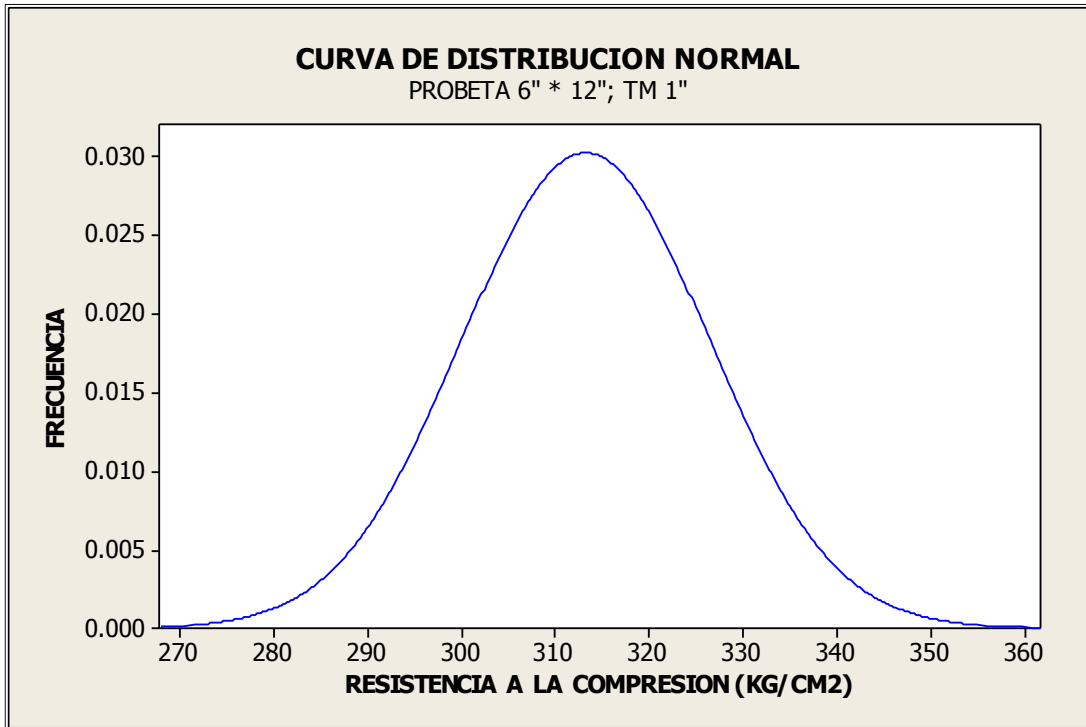


Figura 50: Probeta 6" x 12"; TM 3/4"

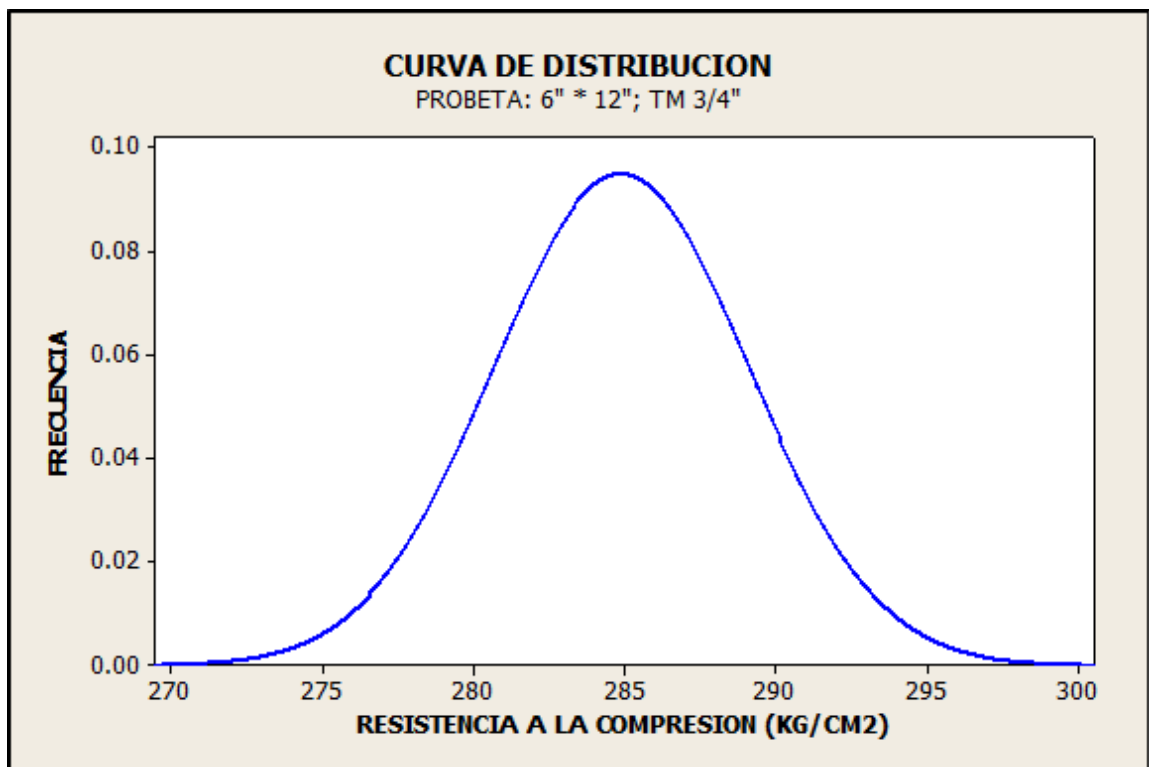


Figura 51: Probeta 6" x 12"; TM 1/2"

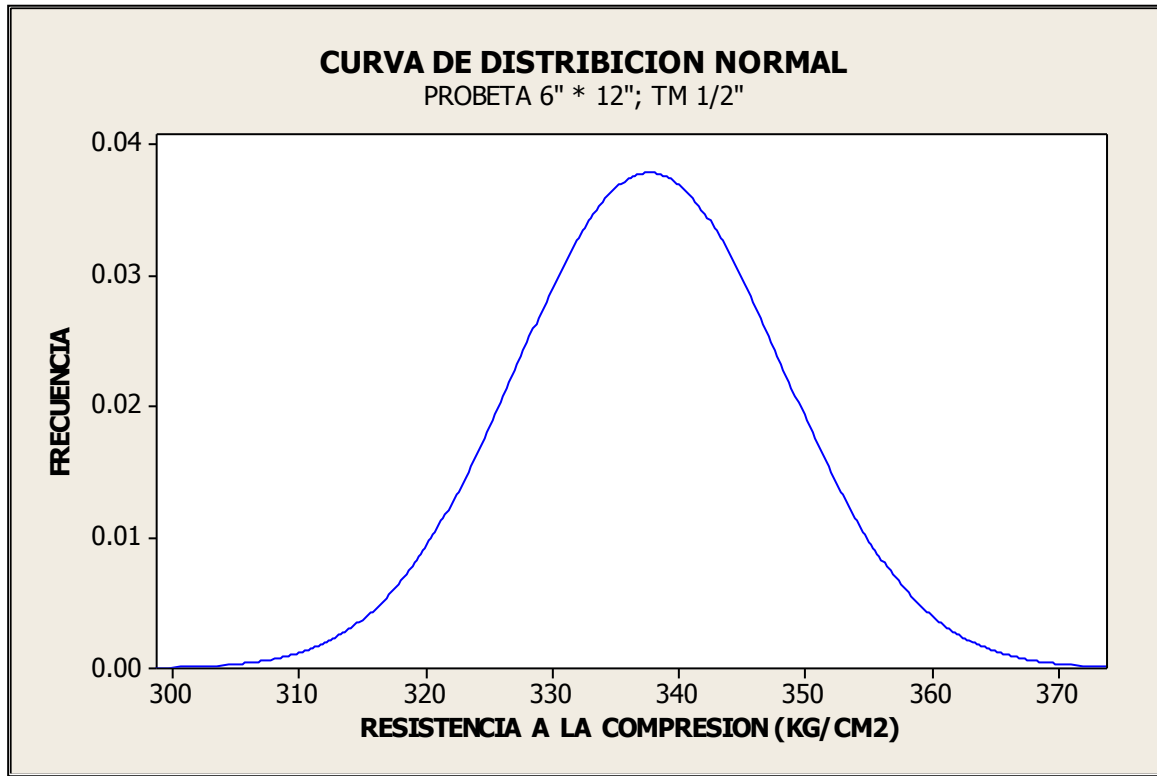


Figura 52: Probeta 6" x 12"; TM 3/8"

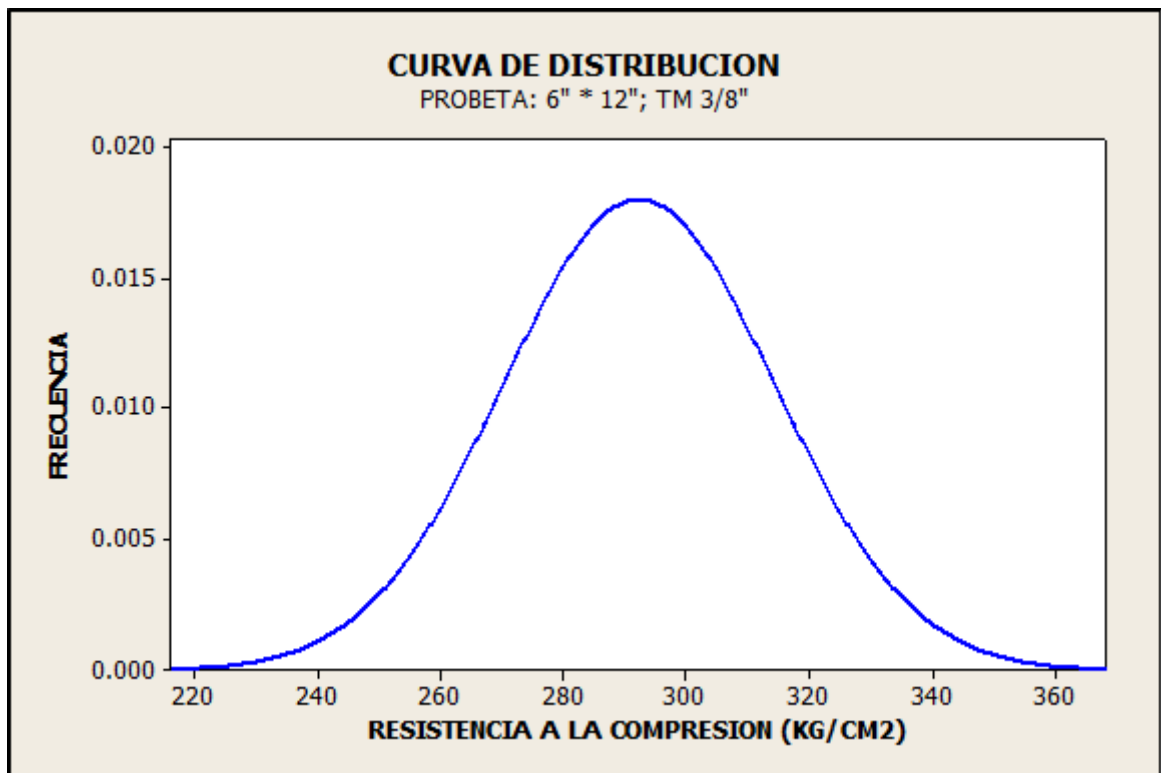


Figura 53: Probeta 3"x6" ; TM 1"

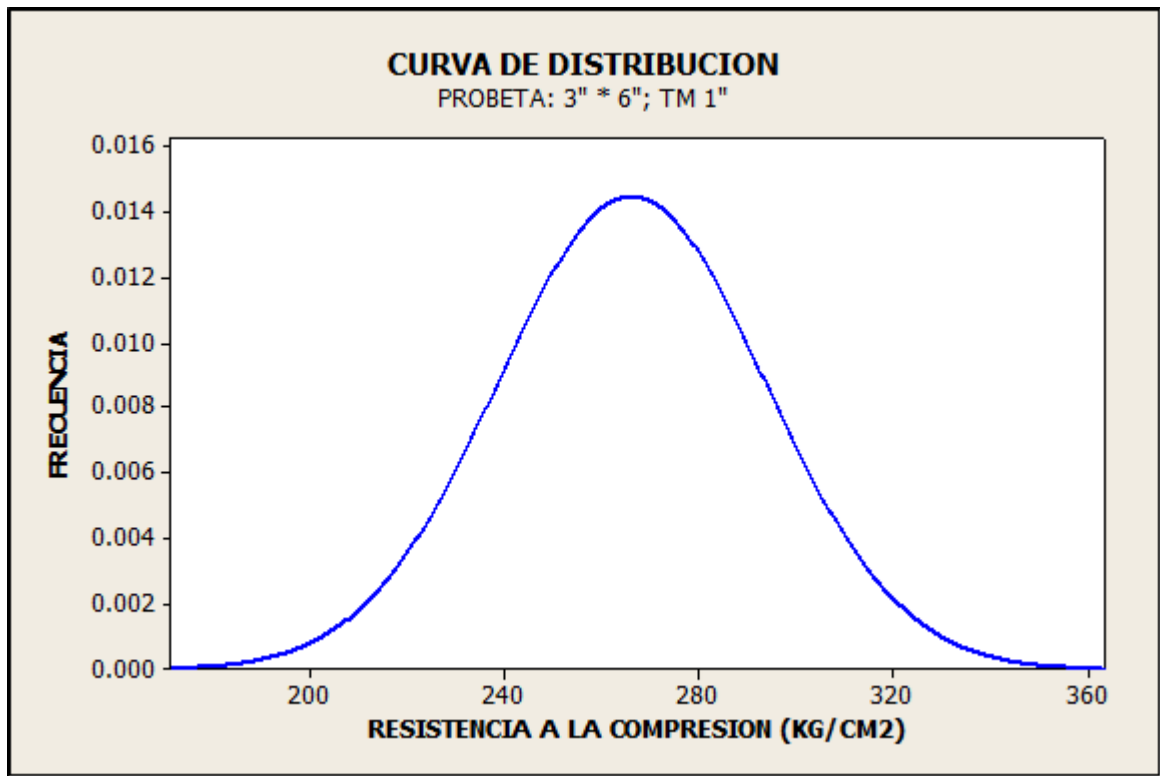


Figura 54: Probeta 3"x6" ; TM 3/4"

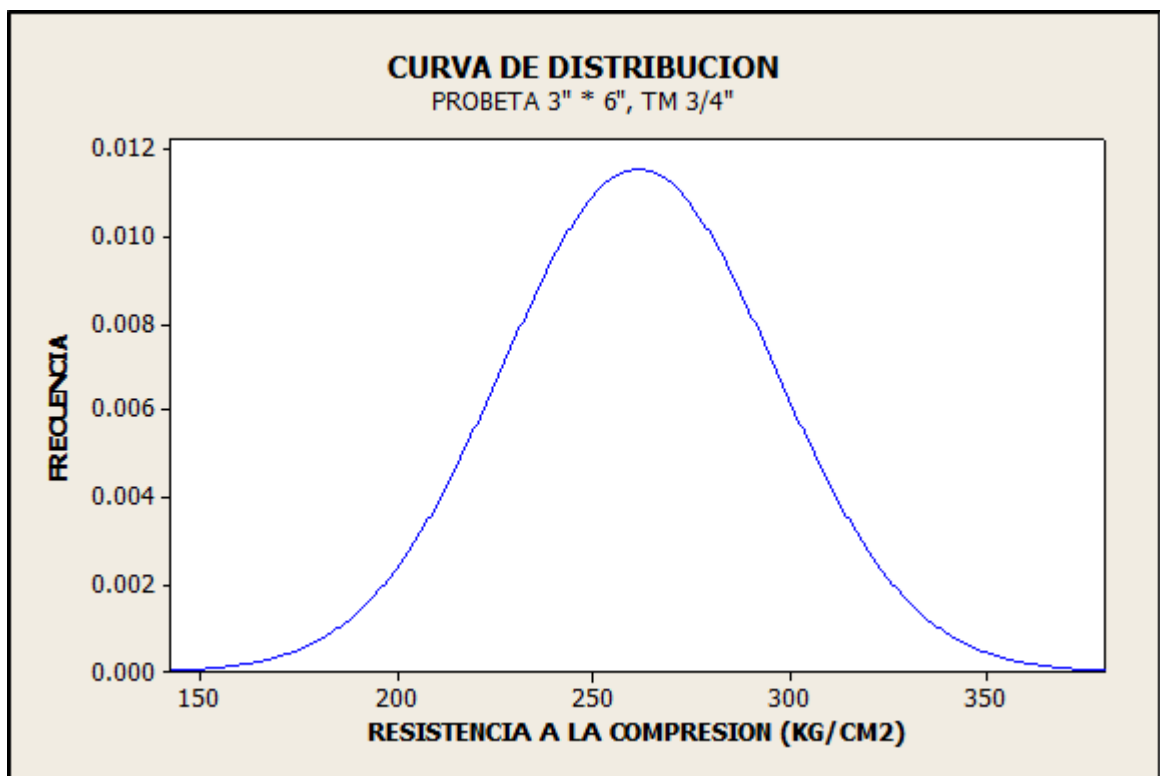


Figura 55 Probeta 3"x6" ; TM 1/2"

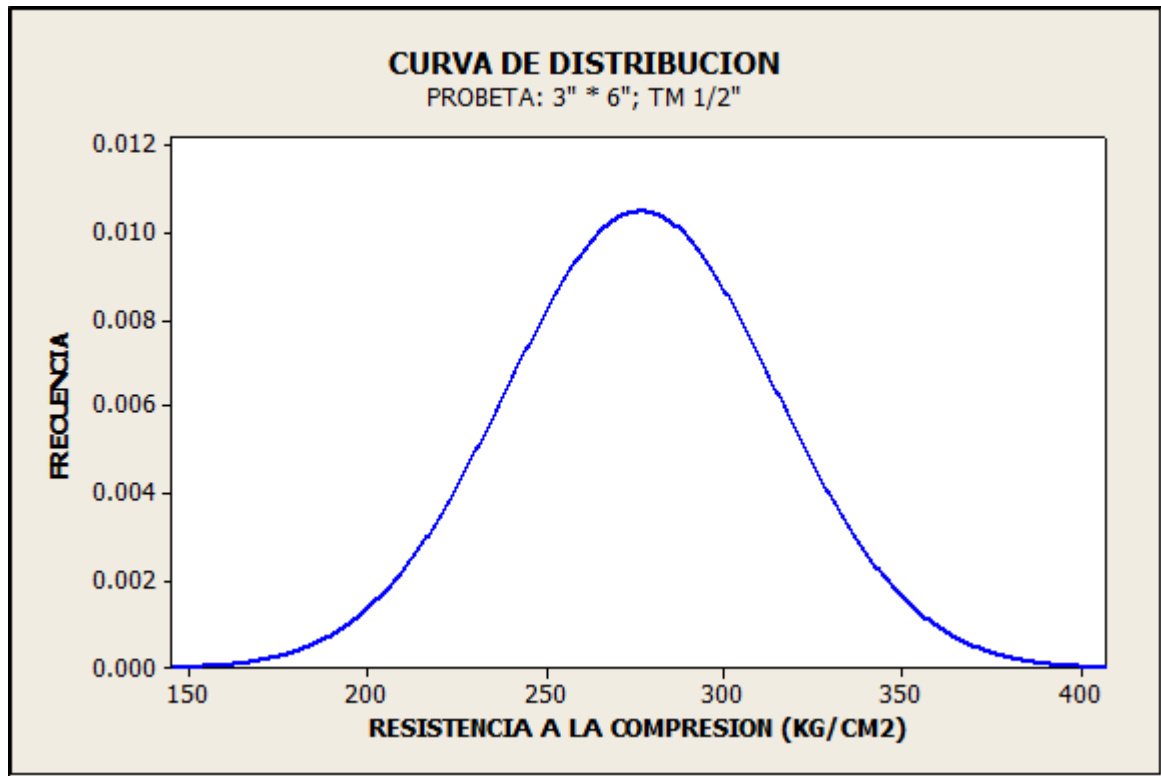


Figura 56: Probeta 3"x6" ; TM 3/4"

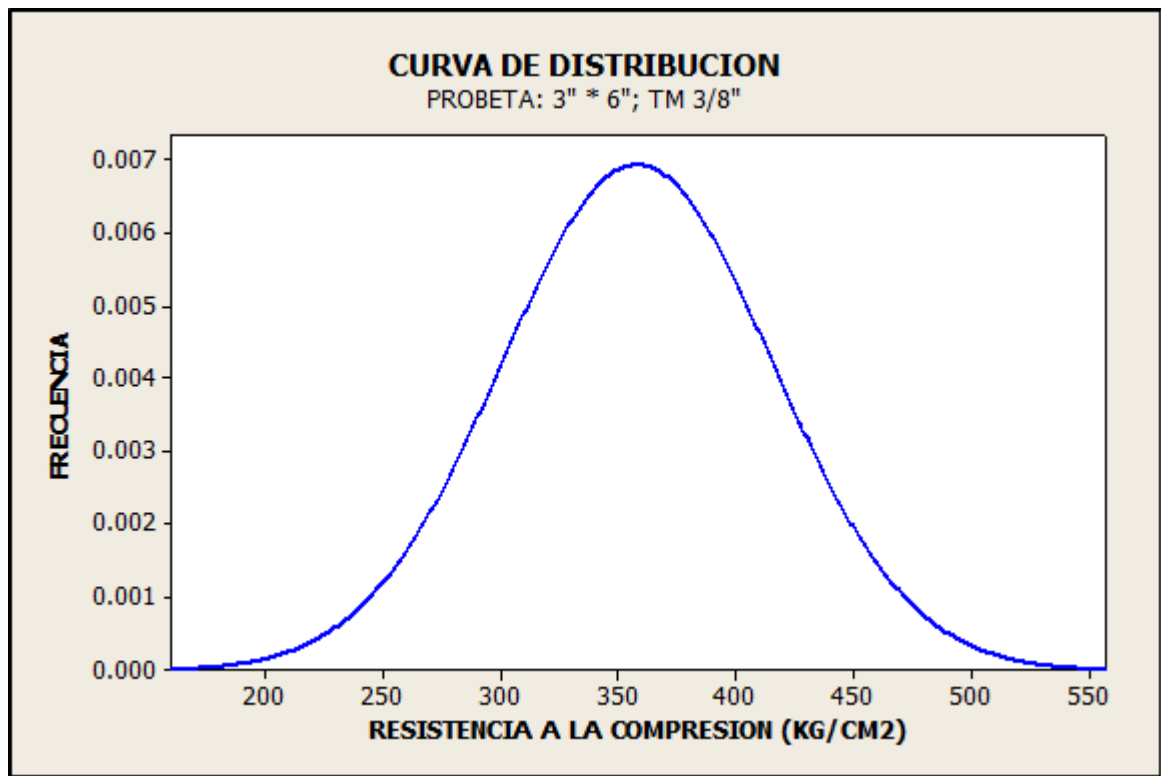


Figura 57: Probeta 2"x4" ; TM 1"

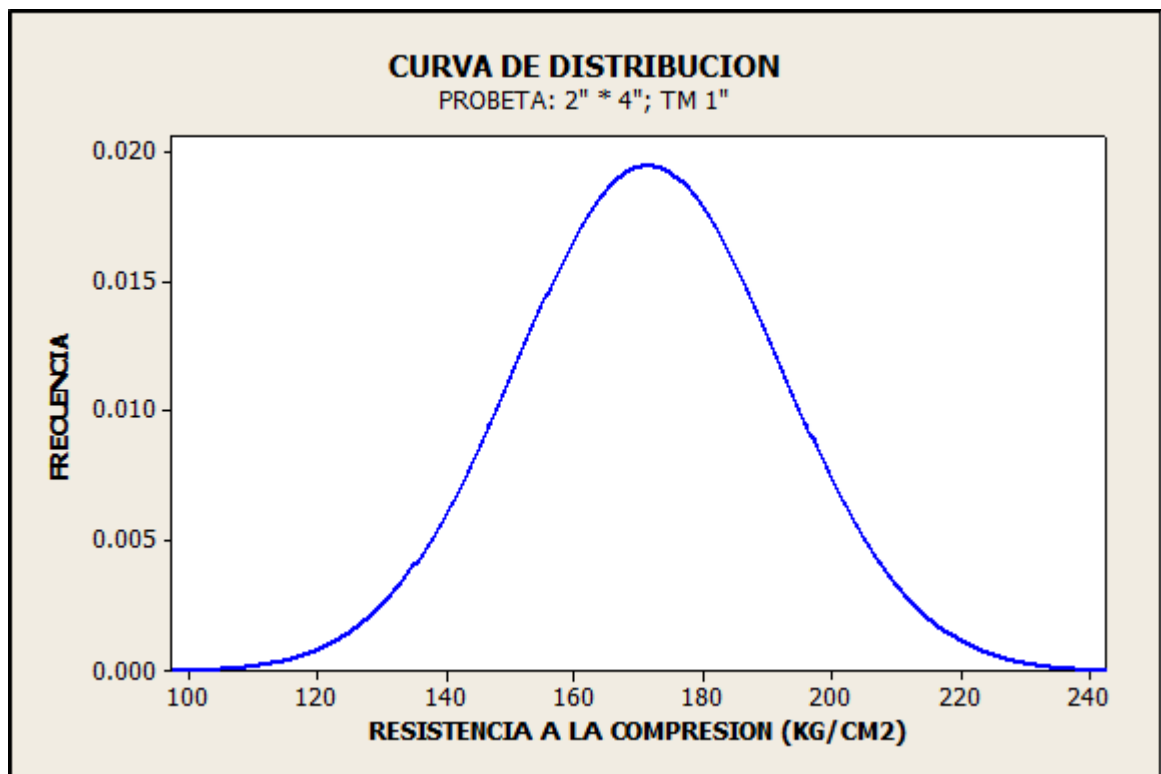


Figura 58 Probeta 2"x4" ; TM 3/4"

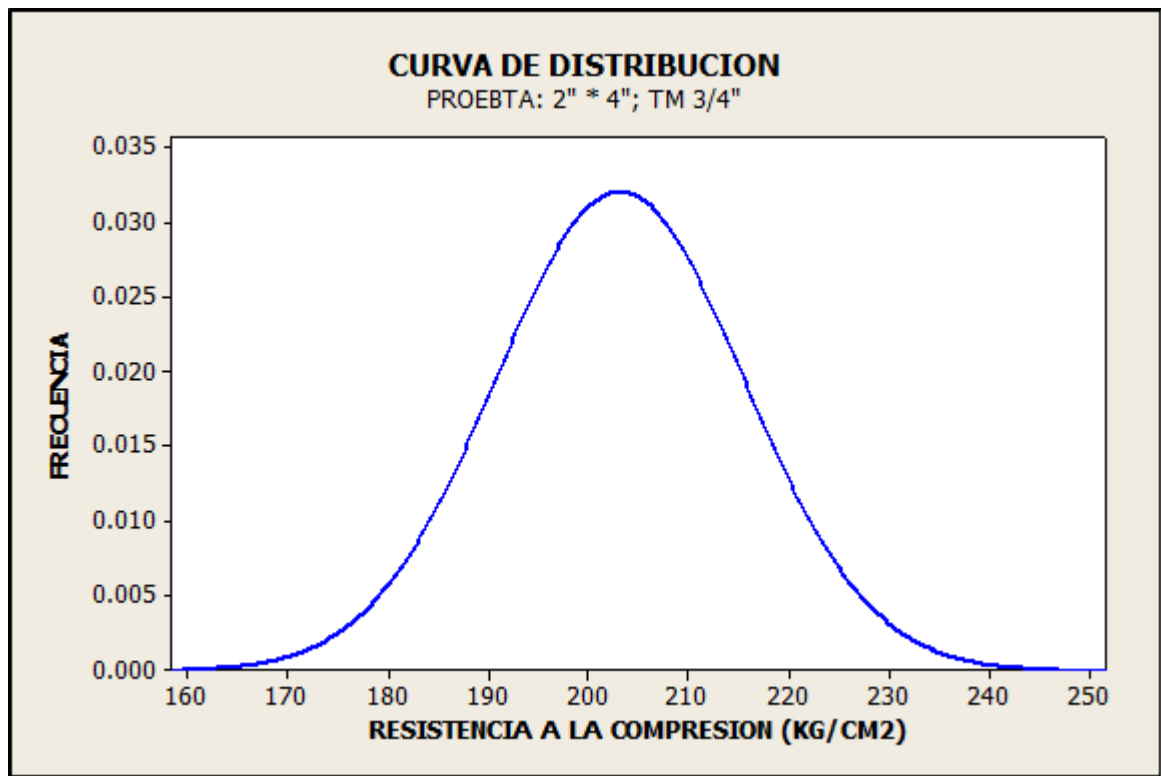


Figura 59: Probeta 2"x4" ; TM 1/2"

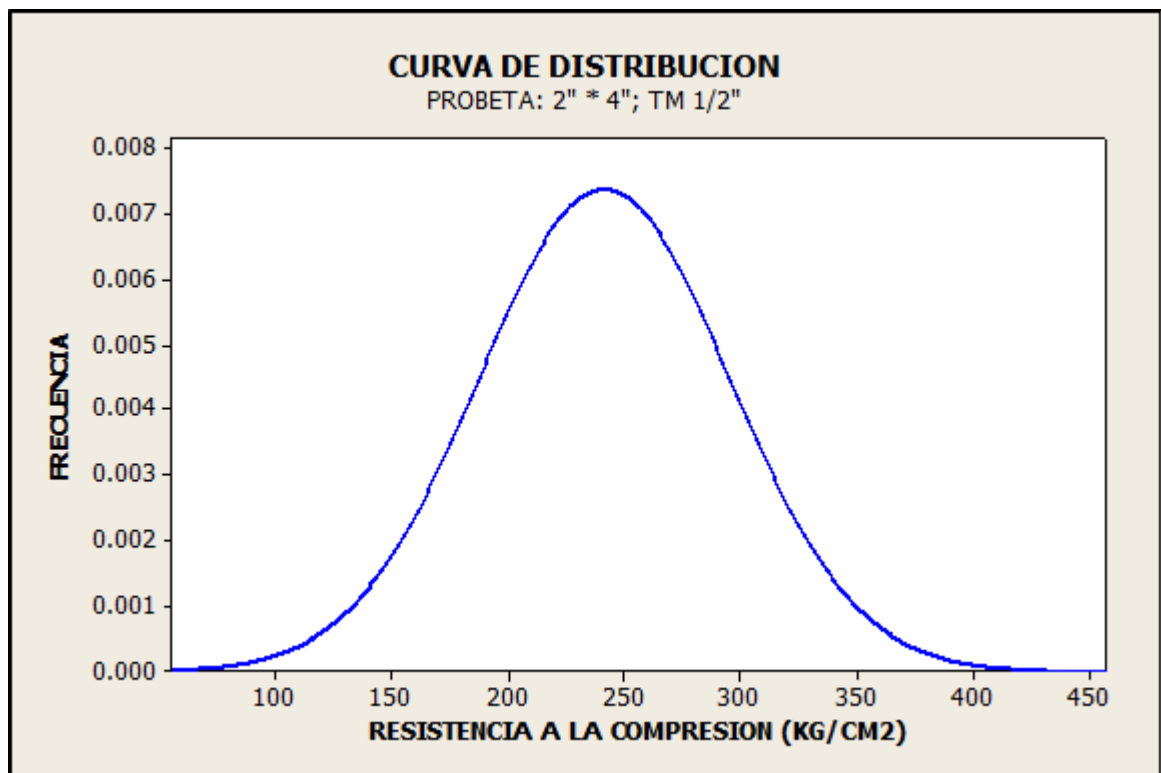


Figura 60: Probeta 2"x4" ; TM 3/8"

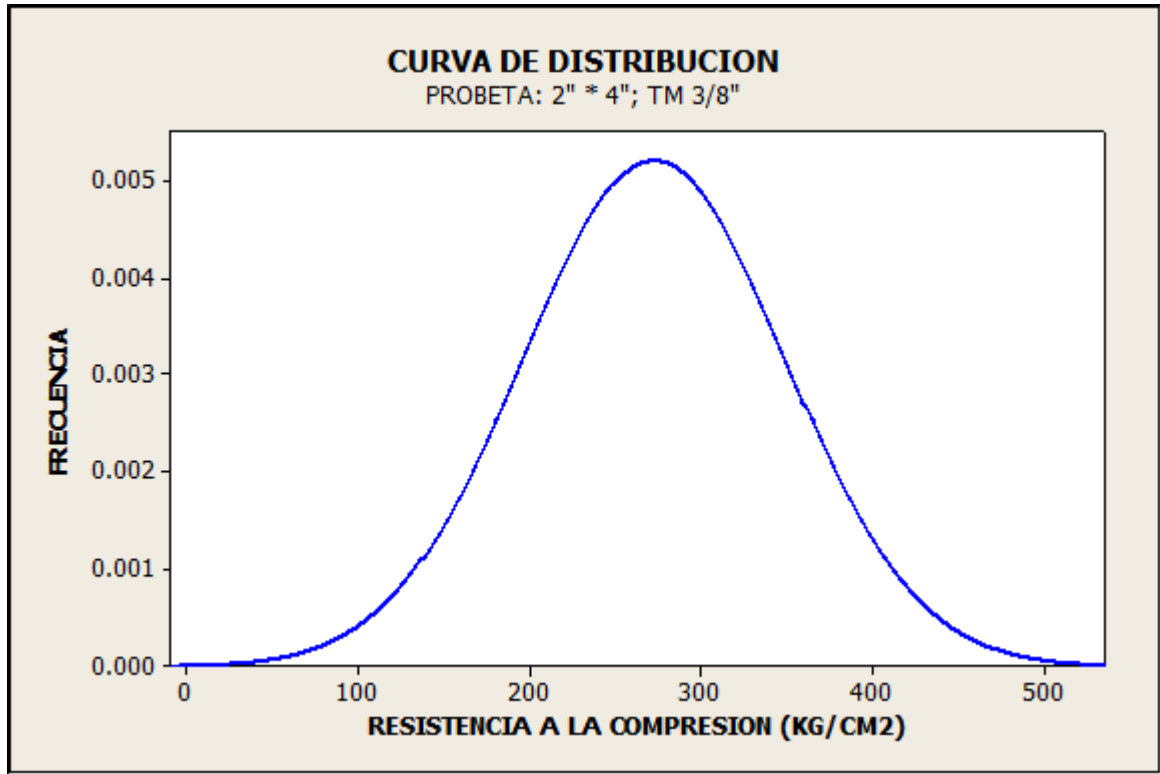


Figura 61: Probeta 6"x6" ; TM 1"

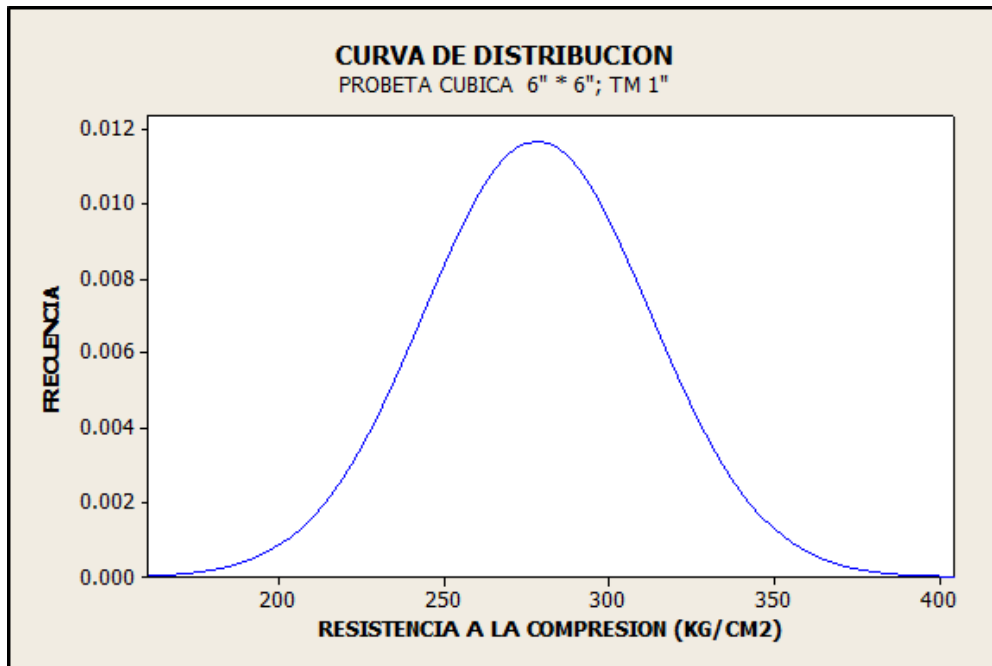


Figura 62: Probeta 6"x6" ; TM 3/4"

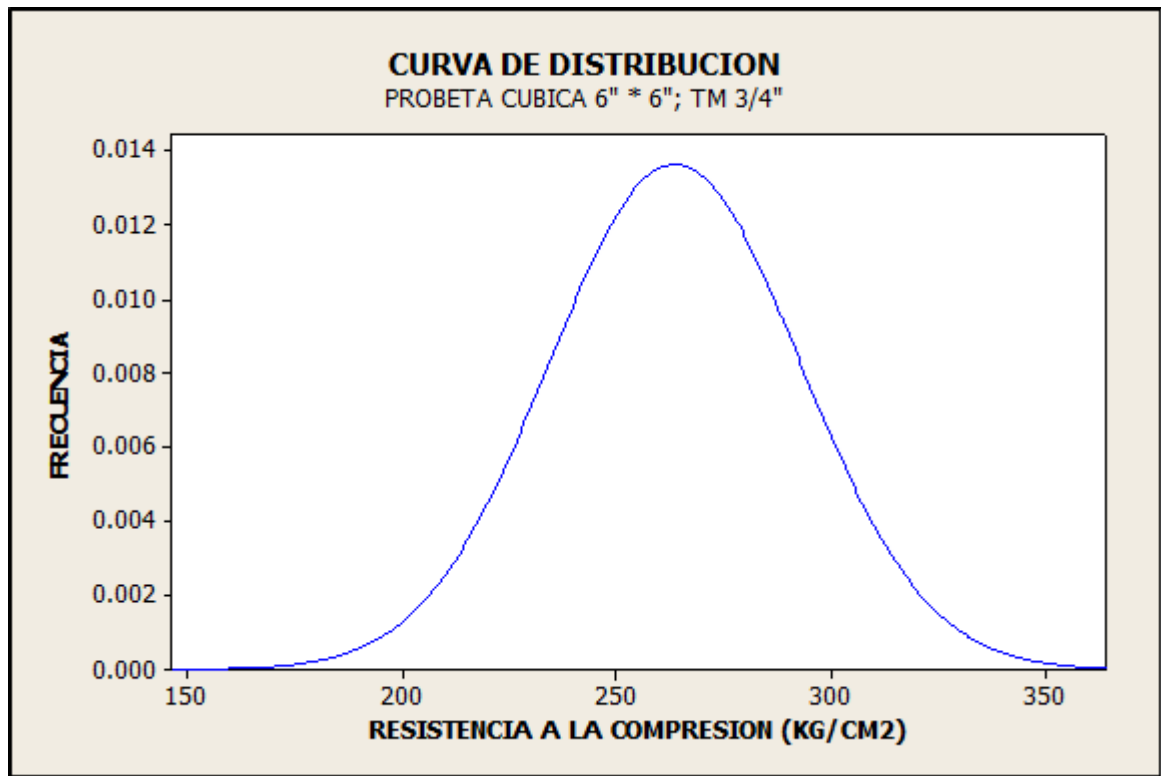


Figura 63: Probeta 6"x6" ; TM 1/2"

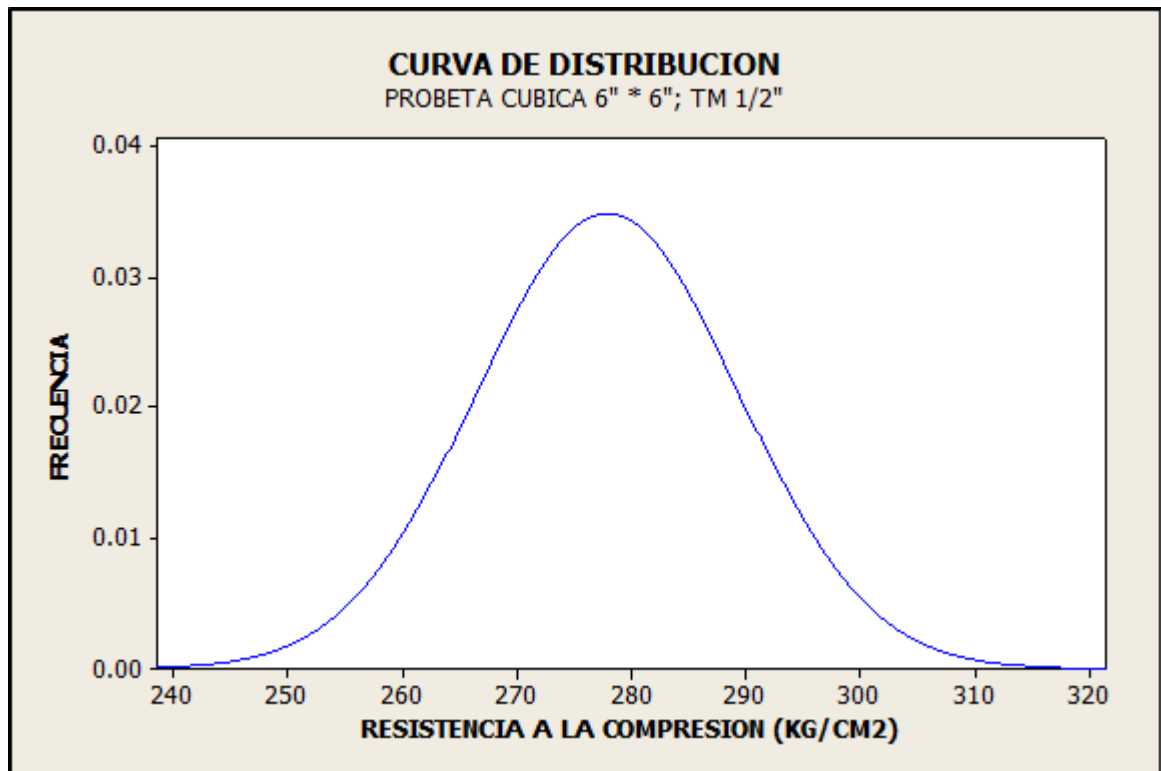
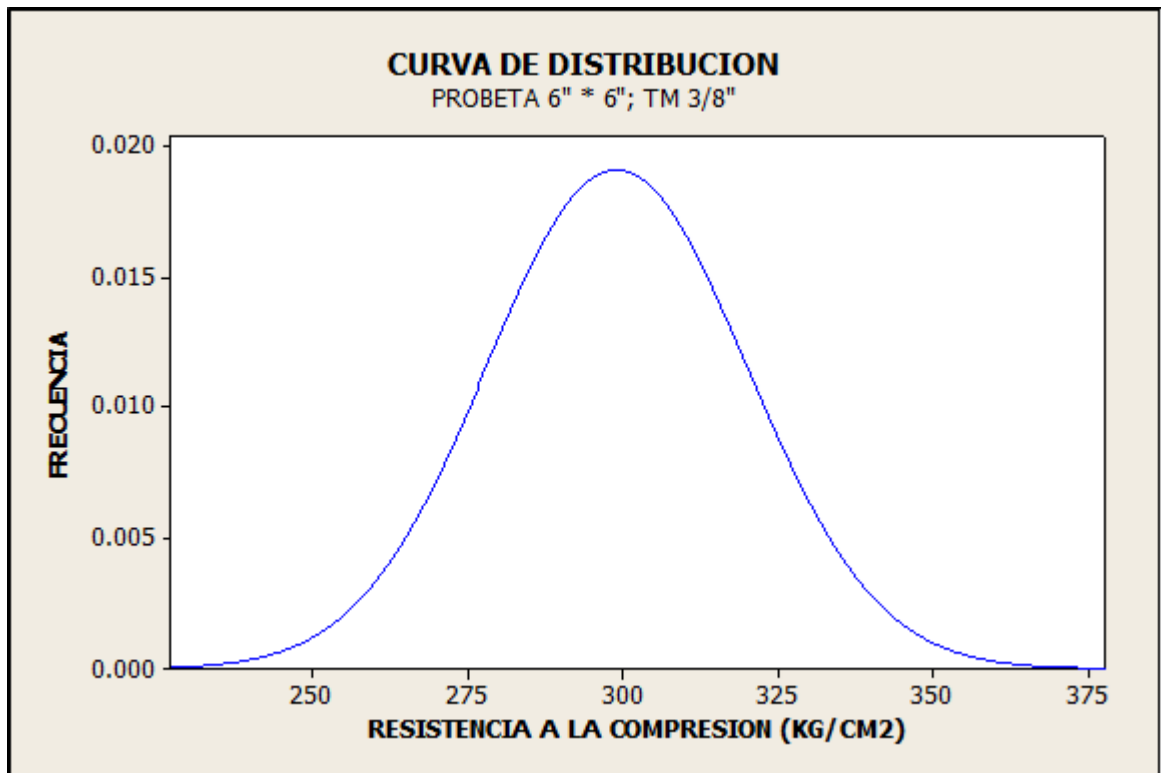


Figura 64: Probeta 6"x6" ; TM 3/8"



ANEXO 7: PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR PROPIEDADES FISICAS DE LOS AGREGADOS

7.1 Análisis granulométrico

Equipos y Materiales

- Balanza con aproximación de 0.1 gr. para el agregado fino y 0.5 gr. para el agregado grueso.
- Serie de tamices estándar
- Agitador mecánico de tamices
- Bandejas y cucharas
- Horno con capacidad para mantener una temperatura uniforme de $110 \pm 5^\circ \text{C}$

Procedimiento

- a. Secar la muestra en el horno a 110°C durante 24 horas.
- b. Pesar 500 gr. de agregado fino y 5 Kilos de agregado grueso.
- c. Se montan los tamices en orden decreciente, tanto para el agregado grueso como para el fino.
- d. Se colocan ambas muestras en la parte superior de cada batería de tamices y se agita en el vibrador por 4 minutos.
- e. Las fracciones retenidas en cada tamiz se separan y se pesan.



Figura N° 8: Serie de tamices

7.2 Peso Específico y Porcentaje de Absorción del Agregado fino

Materiales

- Balanza con aproximación de 0.1 gr.
- Picnómetro de 500 cc.
- Molde troncónico de 40 mm de diámetro en la parte superior y 90 mm en la parte inferior y 75 mm de altura.
- Compactador metálico de 340 gr
- Rociador de agua
- Embudo
- Bandejas
- Horno con capacidad para mantener una temperatura uniforme de $110 \pm 5^\circ \text{C}$

Procedimiento

- a. Se toma una muestra de 1 Kg. de agregado fino por el método de cuarteo
- b. Colocar la muestra en una bandeja y secar en el horno a 110°C durante 24 horas.
- c. Retirar la muestra, dejar enfriar y cubrirla con agua durante 24 horas.



Figura N° 9: Muestra saturada

- d. Extender la muestra sobre una superficie plana expuesta a la intemperie, removiéndola cada cierto tiempo buscando eliminar el agua excedente y lograr un secado uniforme.
- e. Colocar una porción del agregado fino en el molde troncónico, sujeto firmemente sobre una superficie lisa con el diámetro mayor hacia abajo.
- f. Se golpea la superficie suavemente 25 veces con el compactador, luego se levanta el molde, si existiera una humedad el cono de agregado fino no se derrumbara.



Figura N° 10: Muestra en estado saturado con superficie seca

- g. Continuar revolviendo la muestra hasta que el cono de agregado fino se derrumbe al quitar el molde. Esto nos indicara que la muestra ha alcanzado el estado de saturado con superficie seca.
- h. Introducir 500 gr. de esta muestra a picnómetro y llenarlo con agua hasta el 90% de su capacidad.
- i. Hacer rodar el picnómetro sobre superficie plana, y agitarlo para eliminar el aire atrapado.
- j. Terminar de llenar el picnómetro con agua hasta la capacidad indicada y se toma el peso
- k. Se retira todo el material del picnómetro y se lleva al horno a 110° C por 24 horas, transcurrido este tiempo se deja enfriar a temperatura ambiente y se vuelve a pesar
- l. El picnómetro limpio se llena con agua hasta la marca que tiene indicada y se obtiene el peso.



Figura N° 11: Picnómetro con agregado fino y agua

7.3 Peso Específico y Porcentaje de Absorción del Agregado Grueso

Materiales

- balanza hidrostática
- balanza con aproximación de 0.5 gr.
- bandeja
- cucharas
- Horno con capacidad para mantener una temperatura uniforme de $110 \pm 5^\circ \text{C}$
- Paño absorbente

Procedimiento

- a. Por el método del cuarteo, separar 5 Kg. de agregado grueso.

- b. Lavar la muestra con la finalidad de eliminar polvo y/o cualquier impureza existente
- c. Secar la muestra en el horno a 110°C por 24 horas.
- d. Transcurrido este tiempo dejar enfriar la muestra, para luego cubrirla con agua a temperatura ambiente por 24 horas.
- e. Retirar la muestra del agua y secar las partículas del agregado grueso con un paño para eliminar toda película visible de agua. De esta forma se llega al estado de saturado con superficie seca.



Figura N° 12: Secado del agregado grueso con paño

- f. Se coloca la muestra en estado de saturado con superficie seca en la balanza hidrostática.
- g. Se sumerge toda la muestra y se obtiene el peso de la muestra en la balanza, a la vez se elimina todo el aire atrapado
- h. Se retira la muestra y se coloca en el horno a secar por 24 horas
- i. Se deja enfriar y se toma nuevamente el peso



Figura N° 13: Balanza hidrostática

7.4 Contenido de Humedad Natural

Materiales

- Balanza con aproximación de 0.1 gr. fino y 1 gr. para agregado grueso
- Horno con capacidad para mantener una temperatura uniforme de $110 \pm 5^\circ \text{C}$
- Cucharas, espátulas
- Bandejas

Procedimiento

- a. En un recipiente pesar aproximadamente 500 gr. de agregado fino y en otro pesar 5 kilos de agregado grueso.
- b. Colocar en el horno cada una de las muestras a una temperatura de 110°C por 24 horas.

- c. Se retira del horno y se obtiene el peso de cada muestra seca

7.5 Peso Unitario Compactado del Agregado Fino y Agregado Grueso

Materiales

- 5 Kg. de agregado grueso y 500 g de agregado fino
- balanza con aproximación de 0.5 gr.
- Varilla cilíndrica de 16 mm de diámetro y 60 cm. De longitud. Un extremo de la varilla debe ser redondeado.
- Recipiente cilíndrico metálico con asa, que deberá estar reforzado en la parte superior con una banda metálica.

Procedimiento

- a. Determinar el peso y volumen del recipiente.
- b. Llenar 1/3 de la altura del recipiente con el agregado y nivelar con la mano.
- c. Con la varilla compactar esta capa dando 25 golpes distribuidos uniformemente sobre toda la superficie, evitando que la barra golpee el fondo del recipiente.
- d. Llenar nuevamente un tercio más con el agregado y volver a compactar con 25 golpes, tratando que la varilla penetre solo hasta la última capa del agregado colocado.
- e. Por último, completar el recipiente con el agregado hasta sobrellenarlo y compactar nuevamente con 25 golpes.
- f. Enrazar con la varilla empleada para compactar y determinar el peso del recipiente más el agregado.



Figura N° 14: Compactación del agregado fino y grueso con ayuda de la varilla

3.1.6 Peso Unitario Suelto del Agregado Fino y Agregado Grueso

- a. Determinar el peso y volumen del recipiente a utilizarse
- b. Llenar el recipiente con el agregado hasta rebosar y enrasar el excedente con la varilla
- c. Determinar el peso del agregado más el recipiente.



Figura N° 15: Recipientes llenos con agregado fino y agregado grueso

ANEXO 8: FOTOGRAFIAS

TAMAÑO MAXIMO DE AGREGADO GRUESO

Figura 65: Tamaño Máximo: 1"



Figura 66: Tamaño Máximo: 3/4"



Figura 66: Tamaño Máximo: 1/2"



Figura 67: Tamaño Máximo: 3/8"



FORMAS Y TAMAÑOS DE LOS TESTIGOS

Figura 68 Probeta Cilíndrica: 6" X 12"; TM 3/4"

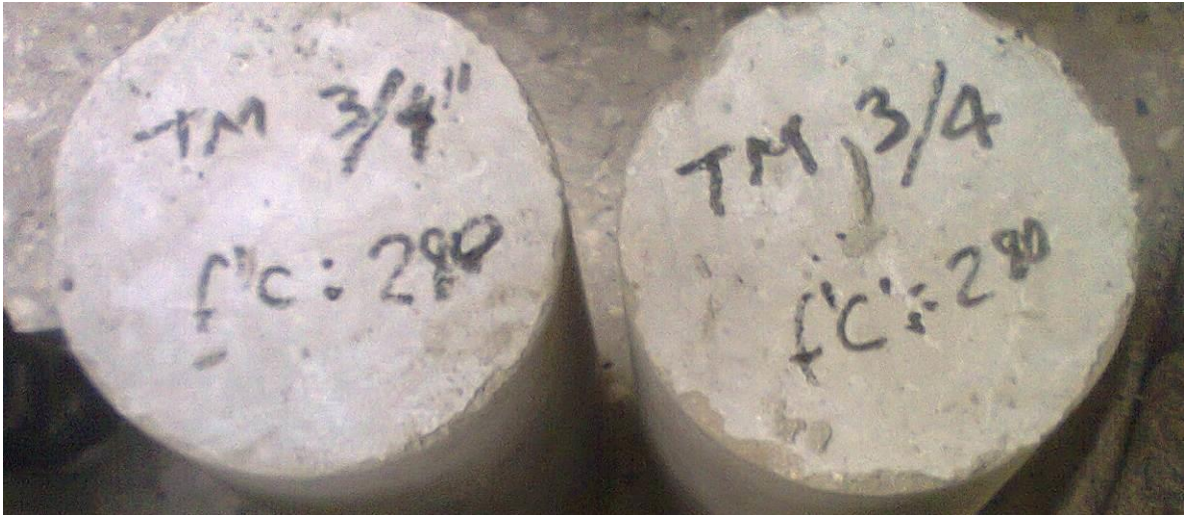


Figura 69: Probeta Cilíndrica
3" X 6"; TM 1"



Figura 70 Probeta Cilíndrica
3X6; TM 3/4"



Figura 71: Probeta Cilíndrica: 3X6; TM 3/8"



**Figura 72: Probeta Cilíndrica
2\"X4\"; TM 1\"**



**Figura 73: Probeta Cilíndrica
2\"X4\"; TM 3/4\"**



**Figura 74: Probeta Cilíndrica
2"X4"; TM $\frac{3}{4}$ "**



**Figura 75: Probeta Cilíndrica
2"X4"; TM $\frac{3}{8}$ "**



Figura 76: Probeta Cúbica: 6" X 6": TM $\frac{1}{2}$ "



PLANOS DE FISURACION

Figura 77: Probeta Cilíndrica: 6" X 12"; TM 1"



Figura 78: Probeta Cilíndrica: 6" X 12"; TM 3/4"



Figura 79: Probeta Cilíndrica 6" X 12"; TM 3/8"



Figura 80: Probeta Cilíndrica: 3" X 6"; TM 1"



Figura 81: Probeta Cilíndrica 3" X 6"; TM 3/4"



Figura 82: Probeta Cilíndrica: 3" X 6"; TM 1/2"



**Figura 83: Probeta Cilíndrica
2" X 4"; TM 1"**



**Figura 84: Probeta Cilíndrica
2" X 4"; TM 3/4"**



Figura 85: Probeta Cilíndrica: 2" X 4"; TM 1/2"



Figura 86: Probeta Cilíndrica: 2" X 4"; TM 3/8"



Figura 87: Probeta Cubica 6" X 6"; TM 1"



Figura 87: Probeta Cubica 6" X 6"; TM 3/4"



Figura 88: Probeta Cubica 6" X 6"; TM 1/2"



Figura 89: Probeta Cubica 6" X 6"; TM 3/8"

