

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

Trabajo de Grado

Previo a la obtención del título de

INGENIERO CIVIL

Tema:

**ESTUDIO DE LOS EFECTOS DE LA FALTA DE
VIBRACIÓN, EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y
MÓDULO ELÁSTICO DEL HORMIGÓN, EN FUNCIÓN DE
VARIACIONES DEL REVENIMIENTO.**

Realizado por:

GUSTAVO DAVID BERREZUETA VÉLEZ

Director:

ING. LUIS OCTAVIO YÉPEZ ROCA. M.Sc.

Guayaquil - Ecuador

2010

TRABAJO DE GRADO

Tema:

ESTUDIO DE LOS EFECTOS DE LA FALTA DE VIBRACIÓN, EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y MÓDULO ELÁSTICO DEL HORMIGÓN, EN FUNCIÓN DE VARIACIONES DEL REVENIMIENTO.

Presentado a la facultad de ingeniería, Carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

Por:

GUSTAVO DAVID BERREZUETA VÉLEZ

Para dar cumplimiento con uno de los requisitos para optar

Por el título de:

INGENIERO CIVIL

Tribunal de sustentación

Ing. Luis Octavio Yépez Roca. M.Sc.

DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

Ing. Carlos Chon Díaz, ME

PROFESOR INVITADO

Dr. Ing. Walter Mera Ortiz.

DECANO DE LA FACULTAD

Ing. Lilia Valarezo de Pareja. M.Sc.

DIRECTORA DE LA ESCUELA



DEDICATORIA

A mis padres, que me han apoyado incondicionalmente durante toda mi vida.



AGRADECIMIENTOS

Este Trabajo de Grado no hubiese sido posible sin el aporte de todos los que abajo citaré.

Primero y antes que nada, gracias a Dios, por estar conmigo en cada paso que doy, por ser mi guía y por haber puesto a todas las personas que de una u otra forma han colaborado conmigo en mi carrera.

A mis padres. Con su esfuerzo y sacrificio me dieron la oportunidad de realizar mis estudios.

Quiero expresar mi más sincero y profundo agradecimiento a mi Director de Trabajo de Grado, el Ing. Octavio Yépez, por su continuo e incondicional respaldo durante todo el tiempo en que se ha llevado a cabo este trabajo.

Al personal del CEINVES, en especial a Michael y Carlos Alberto, técnicos de laboratorio siempre dispuestos a ayudarme.

A mis hermanos, cuñados y sobrinos que me han dado palabras de aliento y apoyo.

A mis compañeros, que durante estos años me han acompañado y ayudado.

A todos aquellos que estuvieron, que están y continúan a mi lado.



INDICE

INDICE	i
RESUMEN	1
CAPÍTULO I. GENERALIDADES Y OBJETIVOS	3
1.1 Generalidades.....	3
1.2 Objetivos	4
CAPÍTULO II. DESCRIPCIÓN Y DOSIFICACIÓN DE LOS MATERIALES USADOS EN LA ELABORACIÓN DEL HORMIGÓN	6
2.1 Introducción.....	6
2.2 Descripción	6
2.2.1 Agua	7
2.2.2 Agregado grueso	7
2.2.3 Cemento	8
2.2.4 Aditivo	8
2.3 Dosificación.....	9
2.3.1 Agua	10
2.3.2 Agregado grueso	10
2.3.3 Agregado fino	10
2.3.4 Cemento	10
2.3.5 Aditivo	10
CAPÍTULO III. ENSAYOS DEL COMPORTAMIENTO DEL HORMIGÓN ...	12
3.1 Introducción	12
3.2 Asentamiento del concreto fresco.....	12
3.3 Resistencia a compresión del hormigón	13
3.4 Módulo elástico del hormigón	14
CAPÍTULO IV. REALIZACIÓN DE PRUEBAS EXPERIMENTALES	17
4.1 Introducción	17
4.2 Elaboración de mezcla de hormigón.....	17
4.3 Elaboración de los cilindros de hormigón.....	19
4.4 Rotura de cilindros a compresión.....	19
4.5 Ensayo de módulo de elasticidad	20



CAPÍTULO V. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS	
OBTENIDOS.....	23
5.1 Introducción	23
5.2 Asentamiento del concreto fresco	23
5.3 Valores de las roturas de cilindros	24
5.4 Resultados de los módulos de elasticidad	31
CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	47
6.1 Conclusiones	47
6.2 Recomendaciones	48
ANEXO A	49
ANEXO B	51
ANEXO C	52
ANEXO D	53
ANEXO E.....	54
BIBLIOGRAFÍA	55
Libros.....	55
Páginas web	56



RESUMEN

Cuando se habla de hormigón, está claro que este es uno de los materiales más usados en área de la construcción. En consecuencia, al tratar del hormigón, hay que tener un amplio estudio y conocimiento de este, para evitar inconvenientes en las obras, resultado del uso de este material.

Para tal efecto, se ha realizado un estudio experimental para tratar de determinar el grado de influencia de los factores de la vibración y revenimiento del hormigón, que en primera instancia, puede afectar a las propiedades del hormigón.

Se estudiarán las variaciones de dichos factores sobre algunas de las características más relevantes del hormigón, como son la resistencia a compresión y el módulo de elasticidad.

Para darle fiabilidad a este estudio, los ensayos de este material se ha procedido según lo indicado en las normas ASTM y se han desarrollado con el auspicio del Laboratorio de Estructuras de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. El estudio de los resultados experimentales, permite determinar las variaciones más significativas de las propiedades antes nombradas del hormigón.

Por último, se extraen conclusiones acerca del vibrado necesario y del revenimiento adecuado del hormigón con fines académicos, y se proporcionan sugerencias para evitar inconvenientes producto del desconocimiento de estos factores del hormigón.



CAPÍTULO I. GENERALIDADES Y OBJETIVOS



CAPÍTULO I. GENERALIDADES Y OBJETIVOS

1.1 GENERALIDADES

El hormigón presenta distintos niveles de revenimiento a la hora de ser colocado en obra y en muchas ocasiones el personal en obra desestima la necesidad de la compactación del hormigón cuando este tiene revenimiento alto. Sin embargo, esta compactación a nivel académico se dice que sí es necesaria para eliminar las burbujas o bolsas de aire atrapadas en la mezcla y el hormigón se pegue a todas las paredes del encofrado.

En algunas ocasiones, cuando se le da una mala vibración al hormigón, al desencofrar el elemento fundido se pueden ver oquedades en las paredes, sobre todo en las partes con más armadura. En estos casos hay posibles soluciones que se pueden realizar para arreglar este defecto, pero éstas pocas veces se dan debido al costo y tiempo que toman; por esto, el obrero en ciertos casos, para tapar estos daños, inmediatamente



desencofrado el elemento de hormigón, le aplica un mortero de cemento y arena con lo que quedan imperceptibles estos huecos.

Si tenemos en cuenta que las paredes son una pequeña parte visible del hormigón, hay que analizar que en las partes interiores del elemento se pueden producir muchos huecos imperceptibles que pueden hasta afectar en la resistencia a compresión, la adherencia acero – hormigón, además de un sin número de propiedades del hormigón.

Después de estas consideraciones hechas, queda clara la necesidad de seguir realizando estudios experimentales al hormigón, que nos permitan tener un amplio conocimiento de este material vastamente usado.

Si bien es cierto, la afectación de una indebida compactación al hormigón a todas las propiedades sería motivo de un trabajo mucho más extenso, en esta investigación, se va a analizar de forma general la afectación a la resistencia a la compresión y al módulo elástico del hormigón.

1.2 OBJETIVOS

Llegar a obtener datos que nos permitan entender el comportamiento de la resistencia y módulo elástico del hormigón, en función de su revenimiento, al ser sometido a un correcto e incorrecto vibrado del hormigón.



CAPÍTULO II. DESCRIPCIÓN Y DOSIFICACIÓN DE LOS MATERIALES USADOS EN LA ELABORACIÓN DEL HORMIGÓN



CAPÍTULO II. DESCRIPCIÓN Y DOSIFICACIÓN DE LOS MATERIALES USADOS EN LA ELABORACIÓN DEL HORMIGÓN

2.1 INTRODUCCIÓN

Los materiales usados para la elaboración del hormigón para este trabajo, son básicamente los mismos que se utilizan en una obra común, es decir, el agua, agregado grueso y fino, el cemento, cemento y aditivo.

2.2 DESCRIPCIÓN

En la elaboración del hormigón para ser usado en la fabricación de cilindros que posteriormente serían ensayados, se emplearon materiales comúnmente usados para este fin, los cuales se detallan a continuación:



2.2.1 AGUA

El agua cuando se usa en la elaboración del hormigón, debe estar libre de impurezas que puedan alterar las características de este. Es por esto, y por la facilidad de acceso, que se escogió trabajar con agua potable, la cual es perfectamente apta para el hormigón.



Foto 1

Captación de agua para la elaboración del hormigón

2.2.2 AGREGADO GRUESO

El agregado grueso usado, o piedra, es de tamaño 3/4" (pulgadas), el cual es típicamente usado en la elaboración de hormigón para obras comunes. Este agregado fue obtenido en un distribuidor de materiales de construcción (DISENSA), quienes se abastecen de la cantera de CALIZAS HUAYCO, en la vía a la Costa, que es apto para la elaboración de hormigón.



Foto 2

**Agregado grueso antes de ser puesto en sacos
para su transporte a laboratorio**



2.1.1 AGREGADO FINO

También conocido como arena de río, el agregado fino también se obtuvo del mismo distribuidor arriba mencionado, el cual es de buena calidad y no necesita ser cribado ya que no contiene material orgánico.

2.2.3 CEMENTO

Para este trabajo se decidió usar el cemento más común usado en el país, cemento Holcim Rocafuerte, Cemento Portland Puzolánico Tipo IP, que según esta clasificación, es bueno para una gran variedad de tipos de trabajo, como se indica en el Anexo A.



Foto 3

Sacos de cemento en el lugar de venta

2.2.4 ADITIVO

Para obtener un hormigón de resistencia a la compresión buena, se decidió agregar aditivo al hormigón fresco, y así evitar altas cantidades de agua que podrían disminuir la resistencia. El aditivo escogido es el SIKAMENT N-100, de fabricante SIKA, el cual como principal características tiene que es superplastificante y reductor de agua de alto poder, con lo que se puede lograr una gran trabajabilidad sin sacrificar resistencia.



Foto 4

Aditivo SIKAMENT N100 (superplastificante)

2.3 DOSIFICACIÓN

Para la dosificación del hormigón se puede hablar en dos formas: (1) por metro cúbico o (2) por tanda o “parada”.

Inicialmente se calcula para un metro cúbico, pero como para la elaboración de las muestras no se necesita tanta mezcla, se trabaja con valores proporcionales a una tanda de concretera de aproximadamente un décimo de metro cúbico. Esta cantidad permite la elaboración de 12 cilindros, y así mantener la homogeneidad en el hormigón.

Por lo tanto, de ahora en adelante, al hablar de la dosificación, se estará refiriendo a un décimo de metro cúbico, salvo que se indique lo contrario.



Foto 5

Balanza usada en medición del peso de los materiales



2.3.1 AGUA

La cantidad usada en los distintos moldeos produce la variación en el revenimiento del hormigón fresco. La relación Agua/Cemento escogida es de 0.50, lo que nos da un peso de aproximadamente 25 kilogramos o litros de agua.

2.3.2 AGREGADO GRUESO

Para la elaboración de la mezcla se utiliza 100 kilogramos de piedra, la cual contiene pequeñas cantidades de humedad. La cantidad de agua en el agregado grueso se obtiene seleccionando una pequeña muestra de menos de un kilogramo, se pesa, se lleva al horno, se vuelve a pesar y con esta diferencia de peso, se obtiene el porcentaje de humedad en el agregado.

2.3.3 AGREGADO FINO

En la mezcla se agrega 60 kilogramos de arena. La humedad en este material tiene magnitud significativa y variación considerable, esto se debe a la forma en que es almacenada (sacos de arena apilados) y por las lluvias propias de la época. Así mismo como con el agregado grueso, este también es pesado y secado, obteniendo de esta forma la cantidad de agua contenida en este.

2.3.4 CEMENTO

La cantidad de cemento usada es de un saco, es decir, 50 kilogramos, para cada tanda que se realiza.

2.3.5 ADITIVO

En las especificaciones del aditivo superplastificante - reductor de agua de alto poder, se indica que la cantidad que puede ser vertida varía entre 0.5% y 1% del peso del cemento, por lo que se echa 0.375 kilogramos del aditivo en todas las tandas.



CAPÍTULO III. ENSAYOS DEL COMPORTAMIENTO DEL HORMIGÓN



CAPÍTULO III. ENSAYOS DEL COMPORTAMIENTO DEL HORMIGÓN

3.1 INTRODUCCIÓN

Los ensayos detallados a continuación, sirven para medir distintas propiedades del hormigón, ya en estado fresco, o una vez endurecido, para así poder caracterizar el hormigón obtenido en los distintos casos.

3.2 ASENTAMIENTO DEL CONCRETO FRESCO

Este ensayo, en español conocido como el “Cono de Abrams”, se realiza para determinar cuál es el revenimiento con el que se encuentra el hormigón al estar fresco.

Consiste básicamente en la colocación de una muestra de hormigón fresco compactado en un molde especial de forma cónica, luego, el



molde es retirado y se mide distancia desplazada de la cima del hormigón. Esta distancia es el asentamiento del hormigón.

En cada moldeo se realizaba por lo menos una vez este ensayo, para partiendo del valor obtenido, agregar agua hasta obtener la consistencia deseada.

Para la realización de este ensayo se procedió tal como se indica en la norma ASTM C143, que se encuentra en el anexo B.

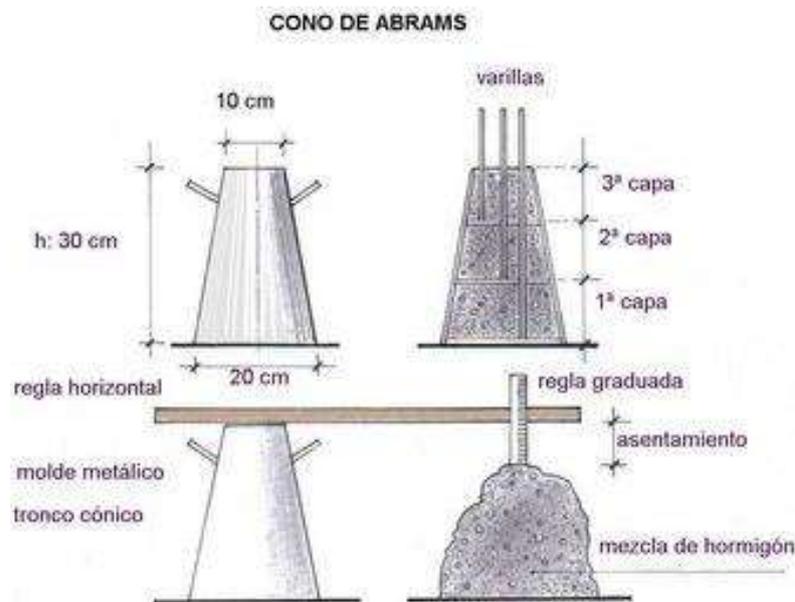


Figura 2
Ensayo de Asentamiento

3.3 RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN

La resistencia a la compresión del hormigón se determina en muestras cilíndricas (en este caso de 15cm de diámetro y 30cm de altura), llevadas hasta la rotura mediante cargas axiales de compresión que se incrementan continuamente a velocidades preestablecidas.

Con este ensayo se busca establecer la capacidad de soporte a una fuerza axial de compresión, de los cilindros de hormigón curados una vez endurecidos. La resistencia característica a la compresión del hormigón (f'_c), la cual es utilizada en el diseño estructural, se obtiene al realizar esta prueba a los 28 días de fraguado el hormigón.



La práctica de cómo se realiza esta prueba se detalla claramente en la norma ASTM C 39, la cual se adjunta en el anexo C.



Figura 3

Sentido de las fuerzas en ensayo de compresión

3.4 MÓDULO ELÁSTICO DEL HORMIGÓN

Gracias a este ensayo, se obtiene el módulo elástico del concreto de los especímenes de hormigón elaborados previamente.

“Todos los hormigones presentan un primer rango de comportamiento relativamente lineal (casi una línea recta en la curva esfuerzo-deformación) y elástico (en la descarga recupera la geometría previa a la carga) ante cargas a compresión bajas (menores al 70% de la carga de rotura); y un segundo rango de comportamiento no lineal e inelástico cuando las cargas son altas.”

1

1 Marcelo Romo Proaño, TEMAS DE HORMIGÓN ARMADO, <http://publiespe.espe.edu.ec/librosvirtuales/hormigon/temas-de-hormigon-armado/hormigon01.pdf>

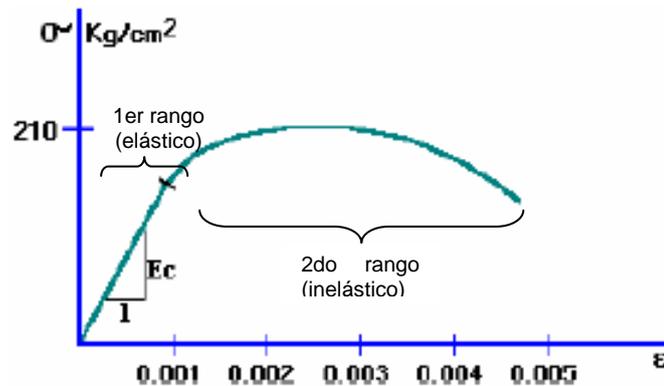


Figura 3

Gráfica esfuerzo vs. deformación donde se aprecia el Módulo Elástico “ E_c ” (pendiente en el primer rango)

La pendiente de la curva en el rango de comportamiento lineal recibe la denominación de Módulo Elasticidad del material o Módulo de Young (E_c), que es una medida de la rigidez del hormigón en este caso, esto también se conoce como la resistencia a la deformación elástica. Este Módulo de Elasticidad es diferente para distintas resistencias a la compresión de los hormigones, e incrementa cuando el valor de la resistencia del concreto es mayor.

La norma ASTM C 469 indica el procedimiento de cómo realizar el este ensayo. Esta norma se adjunta en el anexo D.

Nota: El ACI (American Concrete Institute) propone la siguiente expresión que también es recogida por el Código Ecuatoriano de la construcción para calcular de forma aproximada el módulo de elasticidad del hormigón, en función de la resistencia:

$$E_c = 4700\sqrt{f'c}$$

E_c = módulo de elasticidad en MPa

$f'c$ = resistencia del concreto en MPa



CAPÍTULO IV. REALIZACIÓN DE PRUEBAS EXPERIMENTALES



CAPÍTULO IV. REALIZACIÓN DE PRUEBAS EXPERIMENTALES

4.1 INTRODUCCIÓN

A continuación se describe el procedimiento realizado desde la elaboración del hormigón, hasta los distintos ensayos mencionados en el anterior capítulo. También se hace hincapié en los métodos cuya puesta en práctica como indica la norma ASTM no fue posible, y se haya realizado mediante procedimientos específicos no contemplados en la norma.

4.2 ELABORACIÓN DE MEZCLA DE HORMIGÓN

Con todos los materiales y herramientas listos para la elaboración del hormigón, se procede a:

1. Pesar los 100 kilos de agregado grueso, y al mismo tiempo se toma una muestra de aproximadamente medio kilo para analizar el contenido de humedad del material.



2. Se procede de igual forma con los 60 kilos de agregado fino, y analizando el contenido de humedad.
3. Con los datos de la cantidad de agua en la arena y piedra, se pesa el agua hasta completar los 25 kilogramos.
4. Se pesa 375 gramos del aditivo superplastificante SIKAMENT N100.
5. Se vierten la piedra, arena, agua y plastificante junto con el saco de cemento en la concretera ya en funcionamiento.
6. Se observa la consistencia de la mezcla y se añade agua hasta obtener la consistencia deseada.
7. Se realiza el ensayo del revenimiento y dependiendo de este se añade o no un poco más de agua (aproximadamente 0.2 litros para aumentar un centímetro de asentamiento).



Foto 6

**Medición del asentamiento del hormigón durante
la elaboración de la mezcla**

8. Una vez llegado al asentamiento deseado se tiene listo el hormigón para la elaboración de los cilindros.
9. Se repite este procedimiento para obtener los demás puntos de asentamiento planificados.



4.3 ELABORACIÓN DE LOS CILINDROS DE HORMIGÓN

En cada punto de asentamiento, para realizar los cilindros, se necesitan 12 moldes, de los cuales 6 se realizarán según la norma ASTM C 31, que se adjunta en el Anexo E, es decir, con 25 varilladas y 10 a 15 golpes con el martillo de goma. El resto de cilindros se elaborarán sin ningún tipo de vibrado o varillado.

Así al final de la jornada, se obtienen 6 cilindros con varillado que representa a un hormigón con correcta vibración y colocación en obra; y 6 cilindros sin varillado, los que representan un hormigón en obra sin vibrar.

El hormigón fragua durante un día, y luego de esto, es retirado del molde y colocado en las piscinas de curado para esperar ahí hasta el día del ensayo correspondiente. Este procedimiento se repite en cada elaboración del hormigón, es decir, se obtienen 12 cilindros por cada punto de asentamiento.



Foto 7

Cilindro sin vibración desmoldado. Se aprecian vacíos aire en la parte inferior del mismo

4.4 ROTURA DE CILINDROS A COMPRESIÓN

De los seis cilindros de hormigón de cada tipo (con y sin varillado), 2 cilindros se ensayan a los 7 días y otros 2 a los 49 días. Normalmente se



realiza una rotura de cilindros a los 28 días para obtener su resistencia a compresión (f'_c), sin embargo, por complicaciones de fechas y de disponibilidad del laboratorio, se decide realizar 21 días después estos ensayos.

Al tener estos valores de rotura de los cilindros a compresión, se logra obtener un porcentaje de la afectación a la resistencia a la compresión del hormigón bien compactado versus el hormigón mal compactado.



Foto 8

Realización de la rotura a compresión del cilindro.

4.5 ENSAYO DE MÓDULO DE ELASTICIDAD

Cuando ya se ha ensayado los cilindros a compresión por segunda ocasión (49 días) y se tiene el valor de esfuerzo último que soporta el hormigón, se procede a calcular el 40% de la carga última que soporta el hormigón. Esto es necesario para realizar el ensayo de módulo elástico debido a que esta prueba se realiza con este porcentaje de resistencia del hormigón.

Esta prueba se realiza 7 días después de la rotura a compresión a 49 días, es decir, a los 56 días, con los 2 últimos cilindros restantes de cada tipo y para cada punto de asentamiento.



Los valores obtenidos sirven para analizar el grado de afectación al módulo elástico del hormigón de una incorrecta compactación en los distintos grados de asentamiento.



Foto 8

Cilindro con accesorios para realizar ensayo de Módulo de Elasticidad



CAPÍTULO V. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS OBTENIDOS



CAPÍTULO V. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS OBTENIDOS

5.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se presenta el resultado de todos los ensayos realizados, los cuales son descritos en el capítulo III.

5.2 ASENTAMIENTO DEL CONCRETO FRESCO

En la obtención del hormigón con distintos niveles de revenimiento, se utilizó distintas dosificaciones en los materiales para alcanzar estos niveles. En el cuadro mostrado a continuación se muestra cuales fueron las dosificaciones usadas en cada punto de asentamiento.



		REVENIMIENTO				
		12	15	19	21	25
MATERIALES (Kg)	PIEDRA	99.743	99.177	98.865	99.474	98.600
	ARENA	59.730	51.446	49.615	50.069	56.689
	ADITIVO	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375
	CEMENTO	50.000	50.000	50.000	50.000	50.000
	AGUA	27.782	27.977	27.120	28.557	29.157
	<i>Relación A/C</i>	<i>0.556</i>	<i>0.560</i>	<i>0.556</i>	<i>0.560</i>	<i>0.583</i>

Cuadro 1.
**Dosificación utilizada en la elaboración de hormigón para
cada punto de asentamiento**

Análisis: Para la elaboración de las muestras se estimó que se variaría principalmente la cantidad de agua agregada a la mezcla, sin embargo en las dosificaciones se aprecia que tienen valores similares de relación agua cemento.

Interpretación: Se observa que la cantidad de arena disminuye algunos casos, la cual tiene un alto grado de absorción de de agua, por lo tanto, al verse disminuida, hay mayor cantidad de agua para hacer reacción con el cemento provocando así un mayor revenimiento.

5.3 VALORES DE LAS ROTURAS DE CILINDROS

Inicialmente se ensayan los cilindros elaborados a 7 días, luego a los 47 días con los que se obtiene los valores para realizar el ensayo de módulo elástico y finalmente, una vez realizado el ensayo del módulo elástico, se procede a la rotura de los cilindros a los 56 días. Los datos obtenidos son:

Muestra	Peso Cilindro (húmedo)	Fecha de muestra	Fecha de Rotura	Días	Fuerza (KN)	Esfuerzo (N/mm ²)	Esfuerzo (N/mm ²)
1 SV (12cm)	12.668	06/02/2010	17/02/2010	11	386.9	21.89	19.38
2 SV (12cm)	12.388	06/02/2010	17/02/2010	11	298.2	16.87	
3 SV (12cm)	11.702	06/02/2010	25/03/2010	47	378.1	21.40	24.51
4 SV (12cm)	12.726	06/02/2010	25/03/2010	47	488.3	27.63	



5 SV (12cm)	12.018	06/02/2010	03/04/2010	56	133.8	7.57	*22.67
6 SV (12cm)	12.264	06/02/2010	03/04/2010	56	400.6	22.67	
1 CV (12cm)	13.448	06/02/2010	17/02/2010	11	412.9	23.37	23.43
2 CV (12cm)	13.174	06/02/2010	17/02/2010	11	415.2	23.50	
3 CV (12cm)	12.626	06/02/2010	25/03/2010	47	530.1	30.00	31.04
4 CV (12cm)	13.026	06/02/2010	25/03/2010	47	566.9	32.08	
5 CV (12cm)	12.446	06/02/2010	03/04/2010	56	565.0	31.97	32.26
6 CV (12cm)	12.258	06/02/2010	03/04/2010	56	575.0	32.54	

1 SV (15cm)	12.162	18/02/2010	25/02/2010	7	251.9	14.25	14.00
2 SV (15cm)	12.212	18/02/2010	25/02/2010	7	242.9	13.75	
3 SV (15cm)	12.368	18/02/2010	06/04/2010	47	374.9	21.22	21.85
4 SV (15cm)	12.240	18/02/2010	06/04/2010	47	397.2	22.48	
5 SV (15cm)	12.240	18/02/2010	15/04/2010	56	447.0	25.30	26.18
6 SV (15cm)	11.776	18/02/2010	15/04/2010	56	478.2	27.06	
1 CV (15cm)	12.480	18/02/2010	25/02/2010	7	307.0	17.37	17.21
2 CV (15cm)	12.576	18/02/2010	25/02/2010	7	301.4	17.06	
3 CV (15cm)	12.568	18/02/2010	06/04/2010	47	533.5	30.19	29.19
4 CV (15cm)	12.564	18/02/2010	06/04/2010	47	498.2	28.19	
5 CV (15cm)	13.296	18/02/2010	15/04/2010	56	511.4	28.94	29.07
6 CV (15cm)	12.278	18/02/2010	15/04/2010	56	516.1	29.21	

1 SV (19cm)	12.178	19/02/2010	26/02/2010	7	218.5	12.36	12.75
2 SV (19cm)	12.166	19/02/2010	26/02/2010	7	232.2	13.14	
3 SV (19cm)	12.300	19/02/2010	07/04/2010	47	452.2	25.59	25.85
4 SV (19cm)	12.776	19/02/2010	07/04/2010	47	461.3	26.10	
5 SV (19cm)	12.194	19/02/2010	16/04/2010	56	469.1	26.55	23.76
6 SV (19cm)	12.052	19/02/2010	16/04/2010	56	370.7	20.98	
1 CV (19cm)	13.388	19/02/2010	26/02/2010	7	362.5	20.51	19.03
2 CV (19cm)	12.664	19/02/2010	26/02/2010	7	310.2	17.55	
3 CV (19cm)	12.778	19/02/2010	07/04/2010	47	530.6	30.03	29.35
4 CV (19cm)	12.676	19/02/2010	07/04/2010	47	506.6	28.67	
5 CV (19cm)	12.614	19/02/2010	16/04/2010	56	535.9	30.33	31.23
6 CV (19cm)	12.916	19/02/2010	16/04/2010	56	568.0	32.14	

1 SV (21cm)	12.282	22/02/2010	01/03/2010	7	200.8	11.36	12.22
2 SV (21cm)	12.390	22/02/2010	01/03/2010	7	231.1	13.08	
3 SV (21cm)	13.134	22/02/2010	10/04/2010	47	424.5	24.02	24.88
4 SV (21cm)	12.782	22/02/2010	10/04/2010	47	454.7	25.73	
5 SV (21cm)	12.456	22/02/2010	19/04/2010	56	495.6	28.05	29.16
6 SV (21cm)	12.156	22/02/2010	19/04/2010	56	534.9	30.27	
1 CV (21cm)	12.398	22/02/2010	01/03/2010	7	216.4	12.25	13.53
2 CV (21cm)	12.454	22/02/2010	01/03/2010	7	261.9	14.82	



3 CV (21cm)	12.470	22/02/2010	10/04/2010	47	462.3	26.16	25.30
4 CV (21cm)	12.460	22/02/2010	10/04/2010	47	431.7	24.43	
5 CV (21cm)	12.808	22/02/2010	19/04/2010	56	552.2	31.25	29.33
6 CV (21cm)	12.704	22/02/2010	19/04/2010	56	484.3	27.41	

1 SV (25cm)	12.280	11/02/2010	18/02/2010	7	234.2	13.25	13.39
2 SV (25cm)	12.212	11/02/2010	18/02/2010	7	239.1	13.53	
3 SV (25cm)	12.126	11/02/2010	30/03/2010	47	343.9	19.46	19.69
4 SV (25cm)	12.032	11/02/2010	30/03/2010	47	351.9	19.91	
5 SV (25cm)	11.958	11/02/2010	08/04/2010	56	364.1	20.60	21.36
6 SV (25cm)	12.080	11/02/2010	08/04/2010	56	390.9	22.12	
1 CV (25cm)	12.550	11/02/2010	18/02/2010	7	260.5	14.74	13.23
2 CV (25cm)	12.752	11/02/2010	18/02/2010	7	207.1	11.72	
3 CV (25cm)	12.384	11/02/2010	30/03/2010	47	402.6	22.78	22.87
4 CV (25cm)	12.436	11/02/2010	30/03/2010	47	405.8	22.96	
5 CV (25cm)	12.494	11/02/2010	08/04/2010	56	401.4	22.71	23.45
6 CV (25cm)	12.434	11/02/2010	08/04/2010	56	427.5	24.19	

Cuadro 2.
Tabla de rotura de todos los cilindros de hormigón

Para un correcto análisis e interpretación de estos datos, se ordena estos valores de distintas maneras para lograr entender el comportamiento del hormigón.

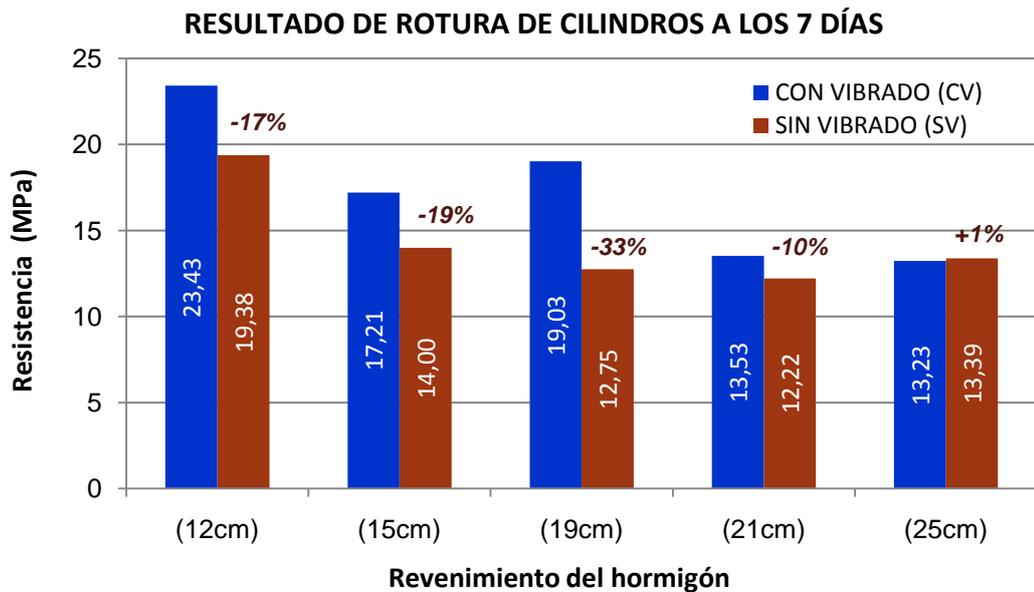


Gráfico 1.
Valores de roturas de cilindros a los 7 días



Análisis: El hormigón en los primeros días presenta un comportamiento, el cual con el paso de los días puede ir variando. Inicialmente se compara los porcentajes de afectación entre las muestras realizadas con y sin compactación

Interpretación: Los porcentajes de afectación a las muestras tiene valores considerables, excepto en el caso del asentamiento de 25 centímetros, lo cual es explicable, ya que en esos casos, los vacíos dejados en el hormigón son mínimos.

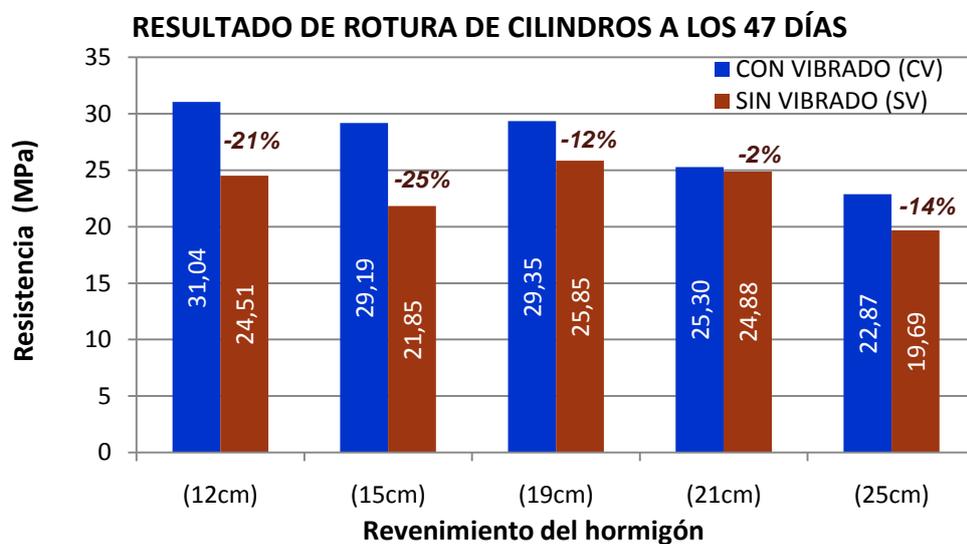


Gráfico 2.
Valores de roturas de cilindros a los 47 días

Análisis: Con el pasar de los días, el hormigón gana más resistencia, por lo que los valores de rotura cambian.

Interpretación: Con el paso de los días la diferencia de pérdida de resistencia de las muestras sin vibración con asentamiento de 12cm y 15cm se mantuvo aproximadamente igual, sin embargo, en 19cm se produjo una disminución de esta diferencia (de 33% a 12%) al igual que en los 21cm donde se ubicó en solo 2% (a los 7 días 10%). Finalmente se observa un incremento de este porcentaje de diferencia de resistencia cuando tiene 25cm de asentamiento, en donde aumenta un 15% la diferencia.

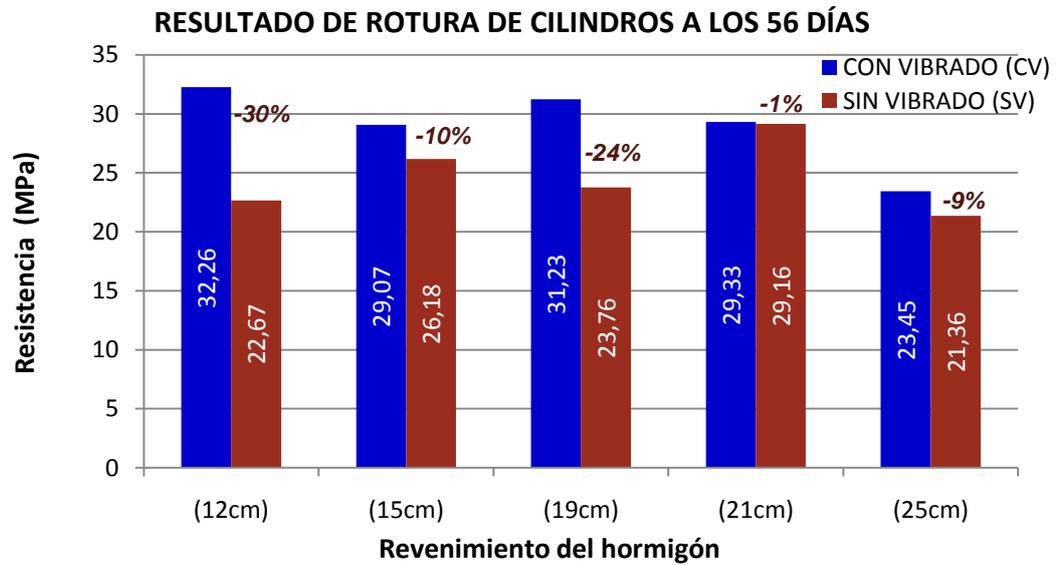


Gráfico 3.
Valores de roturas de cilindros a los 56 días

Análisis: Finalmente, los cilindros de hormigón son llevados a la falla a los 56 días, y tal como se muestra en el Gráfico 3, se siguen manteniendo éstas diferencias.

Interpretación: Si bien es cierto, de los 47 a los 56 días no debería haber mayores diferencias, estas se producen principalmente por alteraciones en la resistencia de los cilindros sin vibración, ya sea aumentando o disminuyendo. Esto puede ser explicado debido a la falta de homogeneidad en los cilindros, ya que como se muestra más adelante, en algunos especímenes se presentaban grandes oquedades que influían directamente en la rotura del cilindro de hormigón.

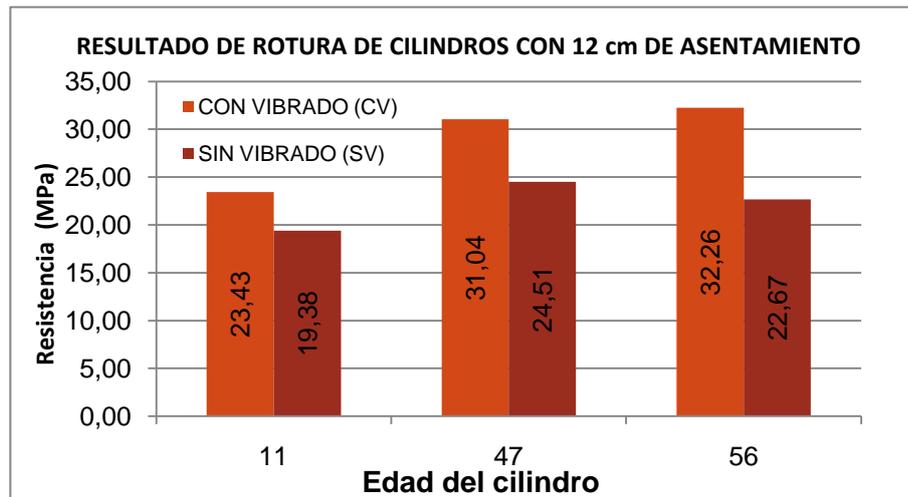


Gráfico 4.
Valores de roturas de cilindros con 12cm de asentamiento

Análisis: Al analizar cada punto de asentamiento, se puede determinar el comportamiento de un mismo tipo de hormigón.

Interpretación: En el Gráfico 4 se puede apreciar claramente que a medida que pasa el tiempo, el hormigón vibrado gana resistencia, a diferencia del hormigón sin compactar. Esto se debe a la irregularidad que se produce en el hormigón si no es vibrado correctamente. Tanto así afectó a la prueba, que en un cilindro a los 56 días apenas llegó al 30% (7,57MPa) de resistencia obtenida en las otras muestras 9 días antes.

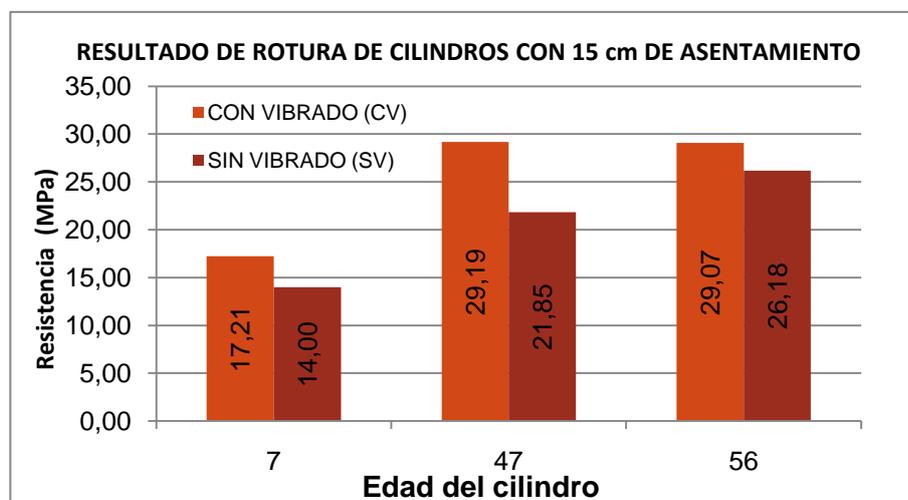


Gráfico 5.
Valores de roturas de cilindros con 15cm de asentamiento



Interpretación: En el Gráfico de arriba, se puede apreciar como el hormigón, que ya se mantiene en su resistencia si es correctamente vibrado, cuando no es compactado muestra ligera mejoría. Esto nos enseña que el valor de resistencia de un hormigón no compactado correctamente puede variar drásticamente de lugar a otro en un mismo elemento, pudiendo provocar puntos críticos en un elemento.

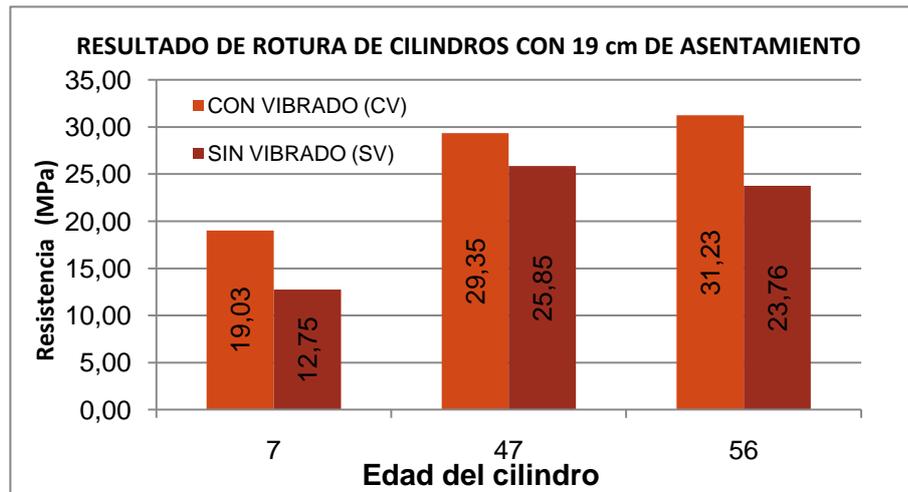


Gráfico 6.
Valores de roturas de cilindros con 19cm de asentamiento

Interpretación: Al llegar a los 19cm de asentamiento la diferencia de valores de resistencia todavía tiene un margen considerable y todavía presenta inestabilidad en el aumento de resistencia con la edad.

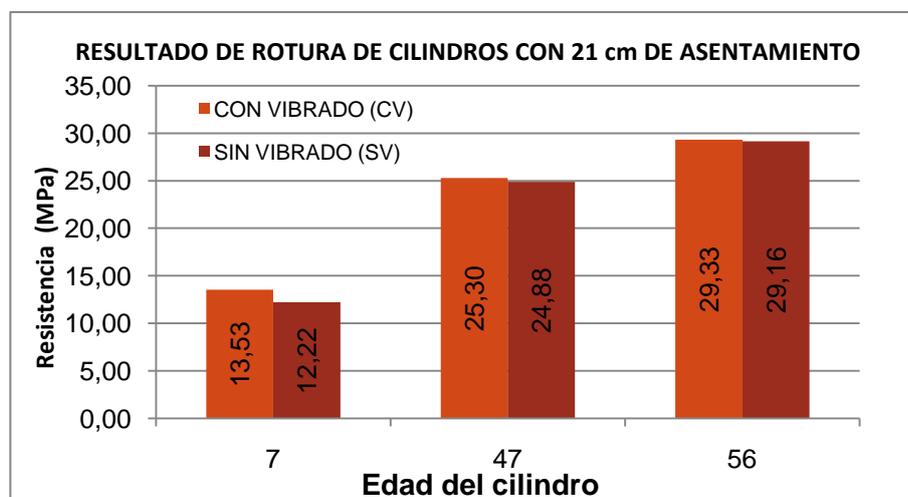


Gráfico 7.
Valores de roturas de cilindros con 21cm de asentamiento



Interpretación: En los 21cm, el hormigón ya presenta valores más estables, es decir, en ambos casos el hormigón presenta un aumento de la resistencia conforme pasan los días y sobre todo no hay una diferencia tan grande entre el hormigón realizado con vibrado y sin vibrado.

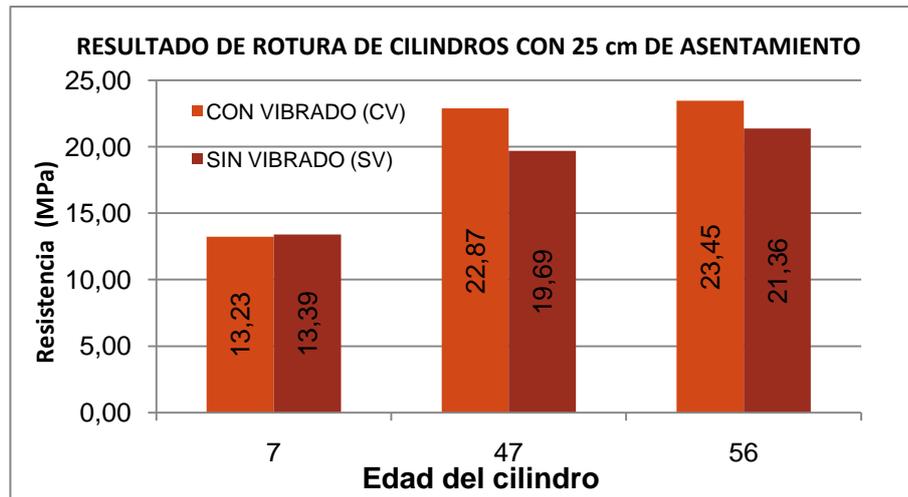


Gráfico 8.

Valores de roturas de cilindros con 25cm de asentamiento

Interpretación: Si bien inicialmente no se presentaba una diferencia considerable, con el tiempo esta diferencia aumentó sustancialmente pero de una manera estable. Este punto de asentamiento junto al anterior, es donde se presenta un mejor comportamiento del hormigón no vibrado, sin embargo, si se presentan deficiencias en cuanto al porcentaje de resistencia.

5.4 RESULTADOS DE LOS MÓDULOS DE ELASTICIDAD

Para la obtención de los resultados del módulo de elasticidad, se procedió a tomar los valores de esfuerzo y deformación que se indican en la norma ASTM 469 (Anexo E – pág. 42) y además se tomó puntos de deformación cuando la carga llegaba a valores múltiples de cincuenta KN, para así tener una gráfica más precisa en Esfuerzo – Deformación Unitaria.



Aquí se presentan los valores de carga y deformación, obtenidos del ensayo del módulo Elástico.

CARGA (KN)	Deformación L1 (in) lectura E-4	Esfuerzo (N/mm2 = MPa)	Deformación unitaria E=L1/12	CARGA (KN)	Deformación L1 (in) lectura E-4	Esfuerzo (N/mm2 = MPa)	Deformación unitaria E=L1/12
0.00	0.0000	0.000	0.000000	0.00	0.0000	0.000	0.000000
27.90	0.0006	1.579	0.000050	29.15	0.0006	1.650	0.000050
50.00	0.0011	2.829	0.000092	50.00	0.0012	2.829	0.000100
100.00	0.0024	5.659	0.000196	100.00	0.0025	5.659	0.000206
150.00			0.000000	150.00	0.0039	8.488	0.000325
173.30			0.000000	173.30	0.0044	9.807	0.000367

Cuadro 3.
Valores de Carga vs. Deformación SV R=12cm (Carga Prom_{46días} = 433.2KN)

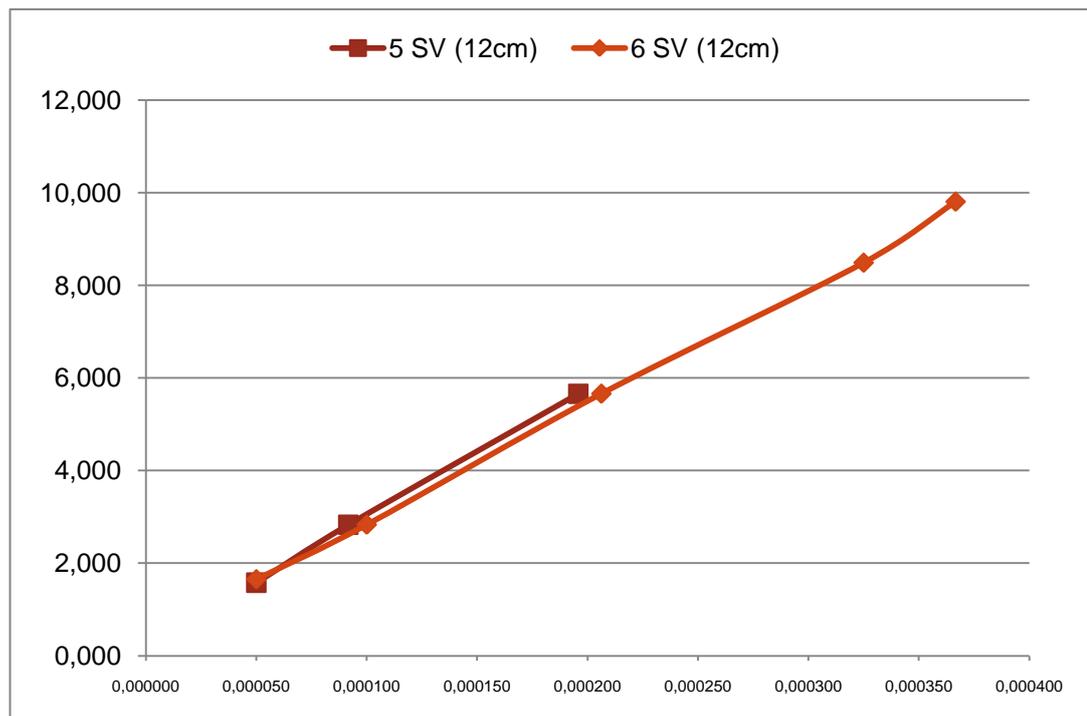


Gráfico 9. Gráfica Esfuerzo vs. Deformación para R= 12cm (SV)



CARGA (KN)	Deformación L1 (in) lectura E-4	Esfuerzo (N/mm ² = MPa)	Deformación unitaria E=L1/12	CARGA (KN)	Deformación L1 (in) lectura E-4	Esfuerzo (N/mm ² = MPa)	Deformación unitaria E=L1/12
0.00	0.0000	0.000	0.000000	0.00	0.0000	0.000	0.000000
40.95	0.0006	2.317	0.000050	39.90	0.0006	2.258	0.000050
50.00	0.0008	2.829	0.000063	50.00	0.0008	2.829	0.000069
100.00	0.0018	5.659	0.000146	100.00	0.0022	5.659	0.000183
150.00	0.0028	8.488	0.000229	150.00	0.0035	8.488	0.000294
200.00	0.0038	11.318	0.000313	200.00	0.0049	11.318	0.000408
219.40	0.0042	12.416	0.000348	219.40	0.0055	12.416	0.000458

Cuadro 4.
Valores de Carga vs. Deformación CV R=12cm (Carga Prom_{46días} = 548.5KN)

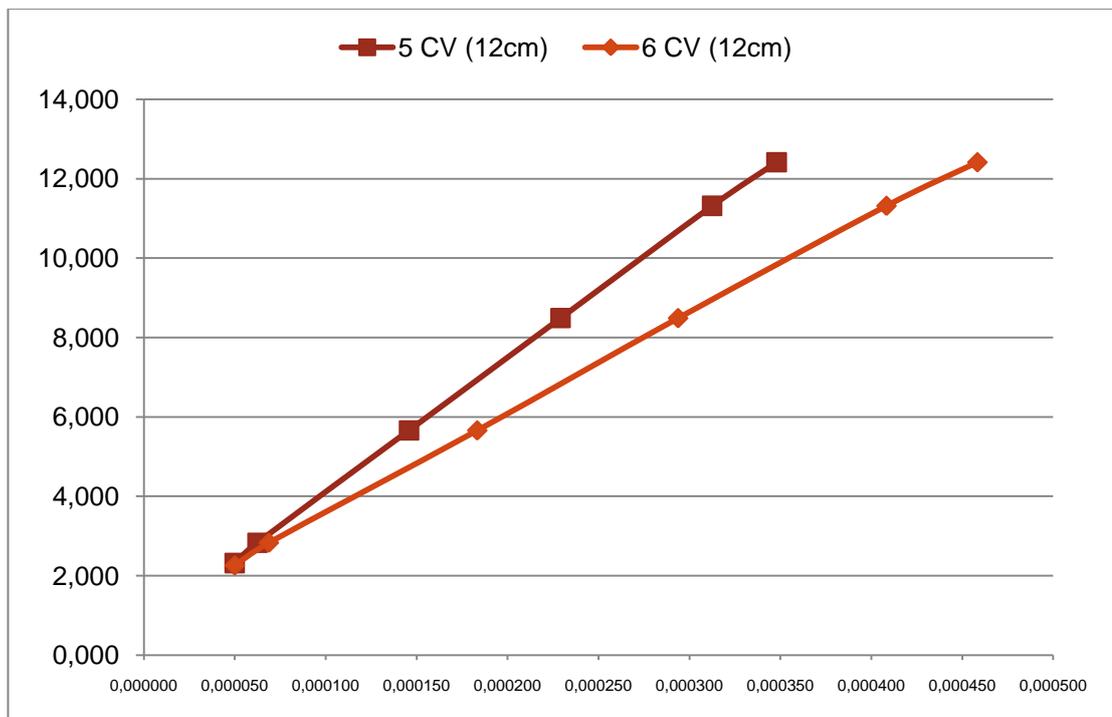


Gráfico 10. Gráfica Esfuerzo vs. Deformación para R= 12cm (CV)



CARGA (KN)	Deformación L1 (in) lectura E-4	Esfuerzo (N/mm ² = MPa)	Deformación unitaria E=L1/12	CARGA (KN)	Deformación L1 (in) lectura E-4	Esfuerzo (N/mm ² = MPa)	Deformación unitaria E=L1/12
0.00	0.0000	0.000	0.000000	0.00	0.0000	0.000	0.000000
26.20	0.0006	1.483	0.000050	25.30	0.0006	1.432	0.000050
50.00	0.0012	2.829	0.000098	50.00	0.0012	2.829	0.000100
100.00	0.0024	5.659	0.000202	100.00	0.0025	5.659	0.000208
150.00	0.0038	8.488	0.000315	150.00	0.0037	8.488	0.000308
154.42	0.0039	8.738	0.000323	154.42	0.0038	8.738	0.000317

Cuadro 5.
Valores de Carga vs. Deformación SV R=15cm (Carga Prom_{46días} = 386.1KN)

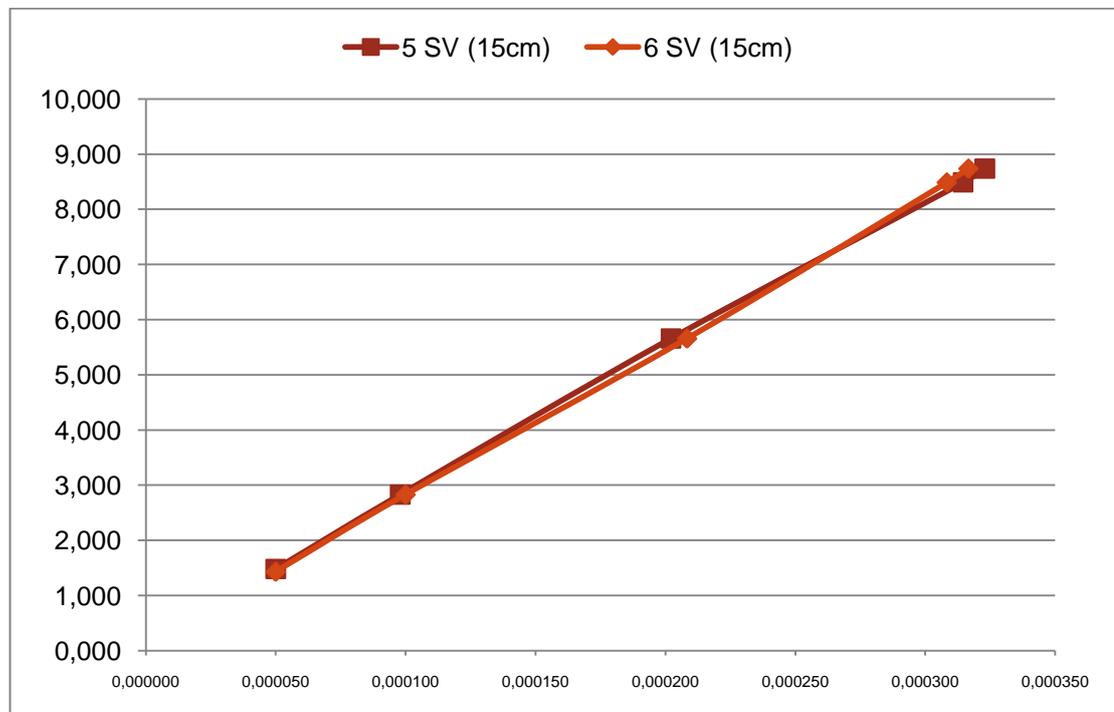


Gráfico 11. Gráfica Esfuerzo vs. Deformación para R= 15cm (SV)



CARGA (KN)	Deformación L1 (in) lectura E-4	Esfuerzo (N/mm ² = MPa)	Deformación unitaria E=L1/12	CARGA (KN)	Deformación L1 (in) lectura E-4	Esfuerzo (N/mm ² = MPa)	Deformación unitaria E=L1/12
0.00	0.0000	0.000	0.000000	0.00	0.0000	0.000	0.000000
32.30	0.0006	1.828	0.000050	25.35	0.0006	1.435	0.000050
50.00	0.0010	2.829	0.000083	50.00	0.0014	2.829	0.000113
100.00	0.0021	5.659	0.000175	100.00	0.0026	5.659	0.000217
150.00	0.0032	8.488	0.000267	150.00	0.0040	8.488	0.000333
200.00	0.0044	11.318	0.000363	200.00	0.0054	11.318	0.000450
206.34	0.0045	11.676	0.000373	206.34	0.0055	11.676	0.000460

Cuadro 6.
Valores de Carga vs. Deformación CV R=15cm (Carga Prom_{46días} = 515.9KN)

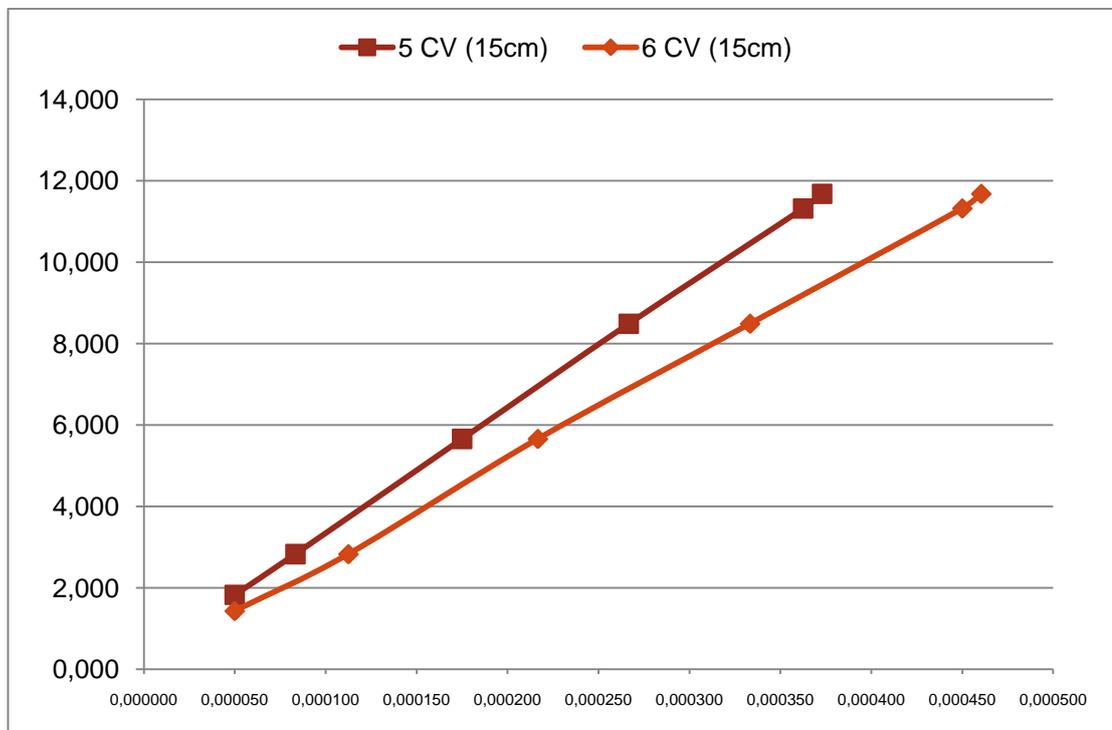


Gráfico 12. Gráfica Esfuerzo vs. Deformación para R= 15cm (CV)



CARGA (KN)	Deformación L1 (in) lectura E-4	Esfuerzo (N/mm2 = MPa)	Deformación unitaria E=L1/12	CARGA (KN)	Deformación L1 (in) lectura E-4	Esfuerzo (N/mm2 = MPa)	Deformación unitaria E=L1/12
0.00	0.0000	0.000	0.000000	0.00	0.0000	0.000	0.000000
32.50	0.0006	1.839	0.000050	28.90	0.0006	1.635	0.000050
50.00	0.0011	2.829	0.000090	50.00	0.0012	2.829	0.000100
100.00	0.0024	5.659	0.000196	100.00	0.0026	5.659	0.000217
150.00	0.0038	8.488	0.000313	150.00	0.0039	8.488	0.000325
182.70	0.0045	10.339	0.000375	182.70	0.0047	10.339	0.000392

Cuadro 7.
Valores de Carga vs. Deformación SV R=19cm (Carga Prom_{46días} = 456.8KN)

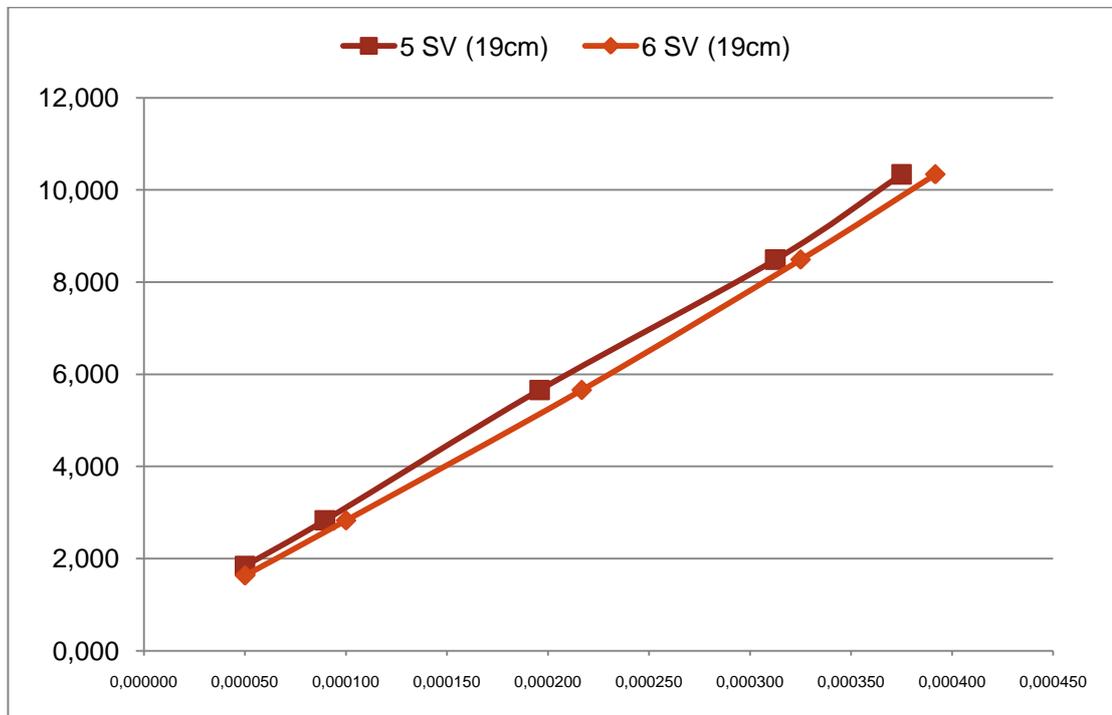


Gráfico 13. Gráfica Esfuerzo vs. Deformación para R= 19cm (SV)



CARGA (KN)	Deformación L1 (in) lectura E-4	Esfuerzo (N/mm ² = MPa)	Deformación unitaria E=L1/12	CARGA (KN)	Deformación L1 (in) lectura E-4	Esfuerzo (N/mm ² = MPa)	Deformación unitaria E=L1/12
0.00	0.0000	0.000	0.000000	0.00	0.0000	0.000	0.000000
34.40	0.0006	1.947	0.000050	31.80	0.0006	1.800	0.000050
50.00	0.0010	2.829	0.000083	50.00	0.0011	2.829	0.000088
100.00	0.0023	5.659	0.000192	100.00	0.0022	5.659	0.000183
150.00	0.0036	8.488	0.000300	150.00	0.0034	8.488	0.000283
200.00	0.0048	11.318	0.000400	200.00	0.0046	11.318	0.000383
207.44	0.0050	11.739	0.000417	207.44	0.0048	11.739	0.000398

Cuadro 8.
Valores de Carga vs. Deformación CV R=19cm (Carga Prom_{46días} = 518.6KN)

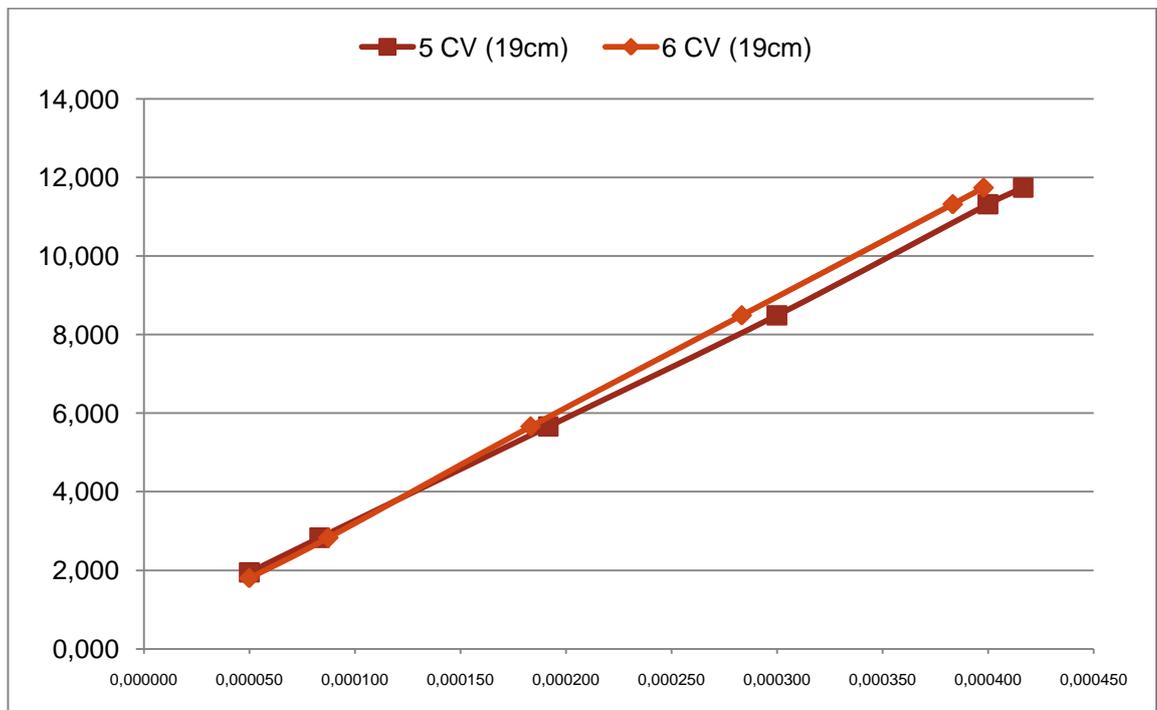


Gráfico 14. Gráfica Esfuerzo vs. Deformación para R= 19cm (CV)



CARGA (KN)	Deformación L1 (in) lectura E-4	Esfuerzo (N/mm2 = MPa)	Deformación unitaria E=L1/12	CARGA (KN)	Deformación L1 (in) lectura E-4	Esfuerzo (N/mm2 = MPa)	Deformación unitaria E=L1/12
0.00	0.0000	0.000	0.000000	0.00	0.0000	0.000	0.000000
28.40	0.0006	1.607	0.000050	29.25	0.0006	1.655	0.000050
50.00	0.0011	2.829	0.000092	50.00	0.0011	2.829	0.000092
100.00	0.0023	5.659	0.000192	100.00	0.0022	5.659	0.000183
150.00	0.0036	8.488	0.000300	150.00	0.0035	8.488	0.000292
173.28	0.0041	9.806	0.000342	173.28	0.0041	9.806	0.000342

Cuadro 9.
Valores de Carga vs. Deformación SV R=21cm (Carga Prom_{46días} = 433.2KN)

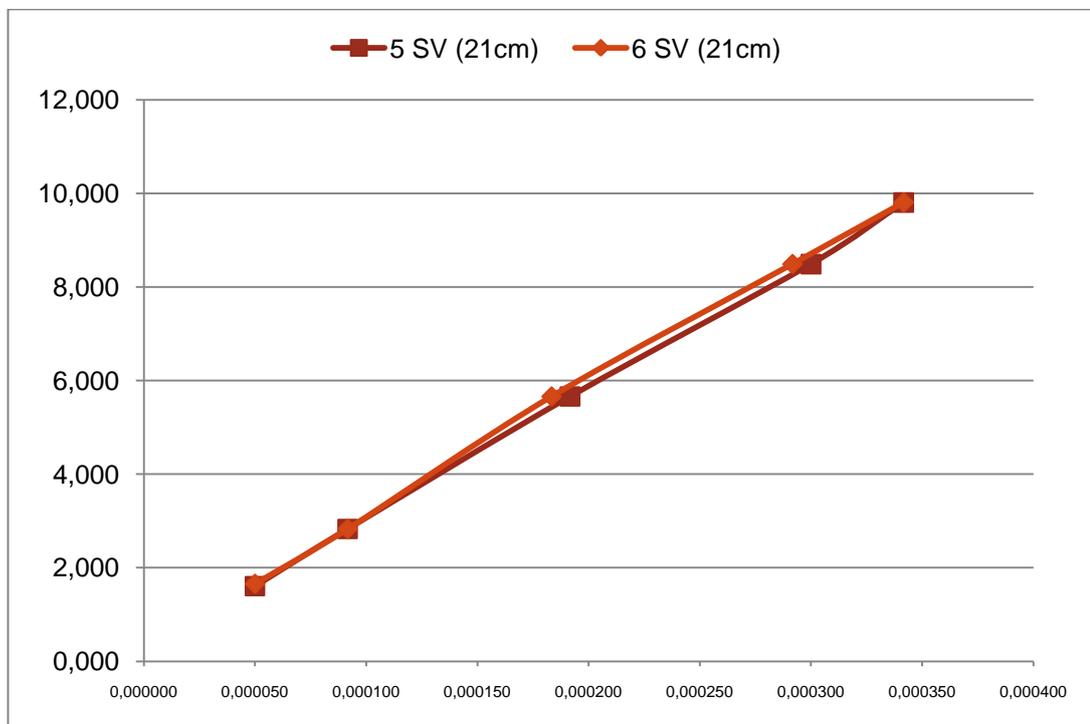


Gráfico 15. Gráfica Esfuerzo vs. Deformación para R= 21cm (SV)



CARGA (KN)	Deformación L1 (in) lectura E-4	Esfuerzo (N/mm ² = MPa)	Deformación unitaria E=L1/12	CARGA (KN)	Deformación L1 (in) lectura E-4	Esfuerzo (N/mm ² = MPa)	Deformación unitaria E=L1/12
0.00	0.0000	0.000	0.000000	0.00	0.0000	0.000	0.000000
28.50	0.0006	1.613	0.000050	33.10	0.0006	1.873	0.000050
50.00	0.0011	2.829	0.000092	50.00	0.0010	2.829	0.000083
100.00	0.0023	5.659	0.000188	100.00	0.0022	5.659	0.000183
150.00	0.0036	8.488	0.000296	150.00	0.0036	8.488	0.000296
200.00	0.0047	11.318	0.000394	200.00	0.0048	11.318	0.000400
219.40	0.0052	12.416	0.000431	219.40	0.0053	12.416	0.000442

Cuadro 10.
Valores de Carga vs. Deformación CV R=21cm (Carga Prom_{46días} = 548.5KN)

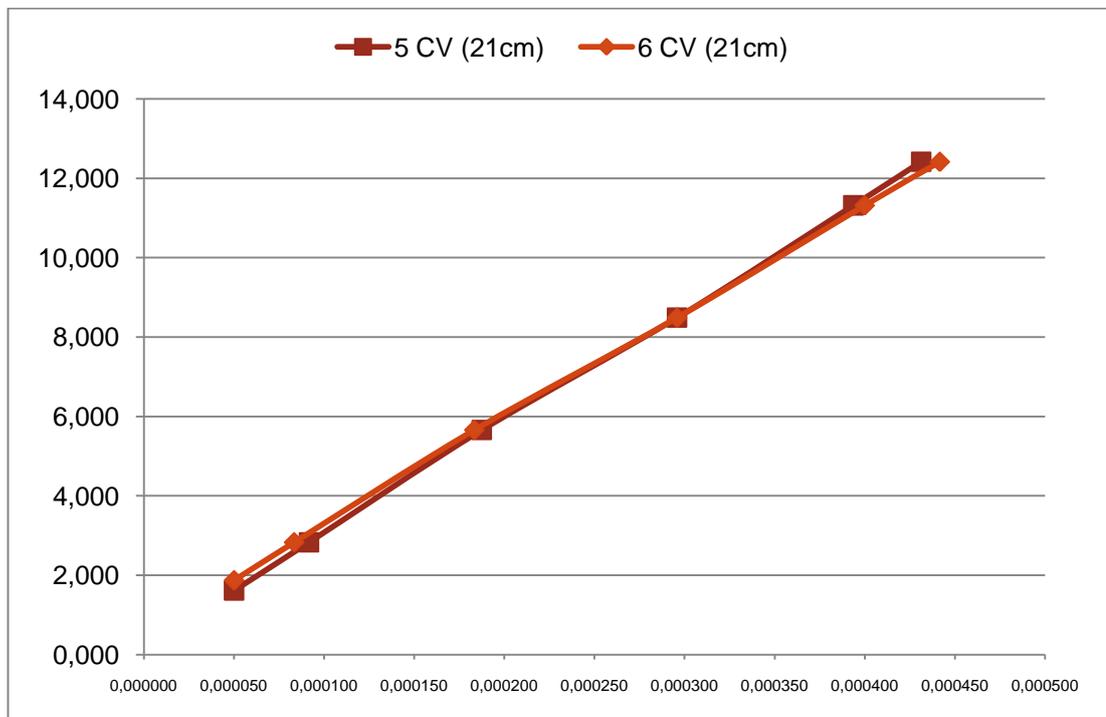


Gráfico 16. Gráfica Esfuerzo vs. Deformación para R= 21cm (CV)



CARGA (KN)	Deformación L1 (in) lectura E-4	Esfuerzo (N/mm ² = MPa)	Deformación unitaria E=L1/12	CARGA (KN)	Deformación L1 (in) lectura E-4	Esfuerzo (N/mm ² = MPa)	Deformación unitaria E=L1/12
0.00	0.0000	0.000	0.000000	0.00	0.0000	0.000	0.000000
24.75	0.0006	1.401	0.000050	26.20	0.0006	1.483	0.000050
50.00	0.0014	2.829	0.000113	50.00	0.0013	2.829	0.000104
100.00	0.0030	5.659	0.000246	100.00	0.0027	5.659	0.000225
139.16	0.0043	7.875	0.000354	139.16	0.0038	7.875	0.000317

Cuadro 11.
Valores de Carga vs. Deformación SV R=25cm (Carga Prom_{46días} = 347.9KN)

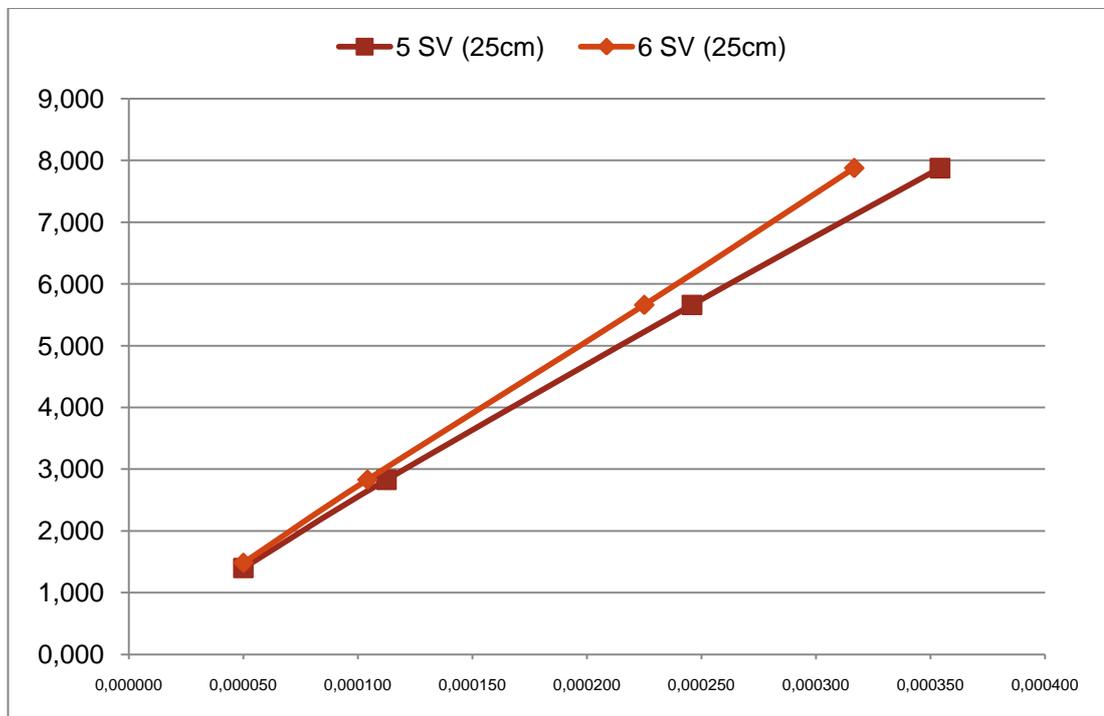


Gráfico 17. Gráfica Esfuerzo vs. Deformación para R= 25cm (SV)



CARGA (KN)	Deformación L1 (in) lectura E-4	Esfuerzo (N/mm ² = MPa)	Deformación unitaria E=L1/12	CARGA (KN)	Deformación L1 (in) lectura E-4	Esfuerzo (N/mm ² = MPa)	Deformación unitaria E=L1/12
0.00	0.0000	0.000	0.000000	0.00	0.0000	0.000	0.000000
24.20	0.0006	1.369	0.000050	26.70	0.0006	1.511	0.000050
50.00	0.0014	2.829	0.000117	50.00	0.0014	2.829	0.000115
100.00	0.0030	5.659	0.000246	100.00	0.0031	5.659	0.000254
150.00	0.0045	8.488	0.000371	150.00	0.0046	8.488	0.000379
161.68	0.0048	9.149	0.000400	161.68	0.0050	9.149	0.000413

Cuadro 12.
Valores de Carga vs. Deformación CV R=25cm (Carga Prom_{46días} = 404.2KN)

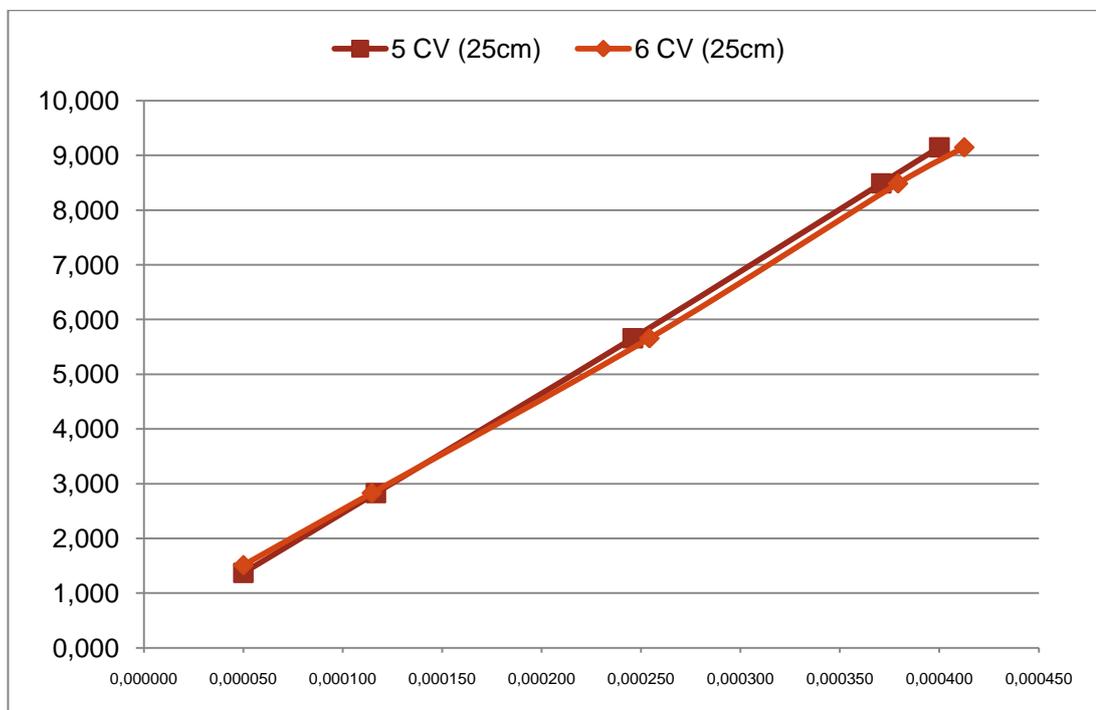


Gráfico 18. Gráfica Esfuerzo vs. Deformación para R= 25cm (CV)



Muestra	Fecha de muestra	Fecha de Ensayo	Días	Esfuerzo (N/mm ²)	Esfuerzo (N/mm ²)	Módulo Elástico (MPa)	Promedio (MPa)	M. E. según ACI (MPa)
5 SV (12cm)	06/02/2010	03/04/2010	56	7.57	*22.67	ERROR	*25756	22378
6 SV (12cm)	06/02/2010	03/04/2010	56	22.67		25756		
5 CV (12cm)	06/02/2010	03/04/2010	56	31.97	32.26	33896	29386	26693
6 CV (12cm)	06/02/2010	03/04/2010	56	32.54		24876		

5 SV (15cm)	18/02/2010	15/04/2010	56	25.30	26.18	26586	26993	24047
6 SV (15cm)	18/02/2010	15/04/2010	56	27.06		27400		
5 CV (15cm)	18/02/2010	15/04/2010	56	28.94	29.07	30499	27727	25342
6 CV (15cm)	18/02/2010	15/04/2010	56	29.21		24955		

5 SV (19cm)	19/02/2010	16/04/2010	56	26.55	23.76	26153	25813	22911
6 SV (19cm)	19/02/2010	16/04/2010	56	20.98		25473		
5 CV (19cm)	19/02/2010	16/04/2010	56	30.33	31.23	26706	27637	26267
6 CV (19cm)	19/02/2010	16/04/2010	56	32.14		28568		

5 SV (21cm)	22/02/2010	19/04/2010	56	24.02	24.88	28109	28027	23442
6 SV (21cm)	22/02/2010	19/04/2010	56	25.73		27944		
5 CV (21cm)	22/02/2010	19/04/2010	56	28.05	29.16	28335	27626	25379
6 CV (21cm)	22/02/2010	19/04/2010	56	30.27		26917		

5 SV (25cm)	11/02/2010	08/04/2010	56	20.60	21.36	21285	22628	21723
6 SV (25cm)	11/02/2010	08/04/2010	56	22.12		23971		
5 CV (25cm)	11/02/2010	08/04/2010	56	22.71	23.45	22228	21650	22761
6 CV (25cm)	11/02/2010	08/04/2010	56	24.19		21071		

Cuadro 13.
Valores de módulo elástico en los cilindros de hormigón

Análisis: Se realiza el ensayo de módulo elástico en las probetas de hormigón. Estos valores son comparados con la recomendación del ACI ($E_c=4700\sqrt{f'_c}$), es decir, en función de la resistencia.

Interpretación: Al comparar los valores, se obtiene que los valores de los ensayos se aproximan bastante a esta recomendación ya que en casi todos los casos la diferencia no supera el 10% de esta recomendación. Sin embargo, donde se producen mayores diferencias con esta recomendación es con los cilindros SV.



Revenimiento	Resistencia a compresión			Módulo Elástico
	7 días	47 días	56 días	
12 centímetros	17.27%	21.02%	29.72%	12.35%
15 centímetros	18.67%	25.16%	9.96%	2.65%
19 centímetros	33.00%	11.93%	23.92%	6.60%
21 centímetros	9.70%	1.66%	0.58%	1.09%
25 centímetros	-1.22%	13.93%	8.92%	-4.52%

Cuadro 14.
Diferencias en porcentaje entre el moldeo realizado con y sin compactación

Análisis: Se compara todas las variaciones en porcentaje de los ensayos de resistencia a la compresión y módulo elástico del hormigón realizados a las probetas con y sin compactación.

Interpretación: Como se puede apreciar en el Cuadro 14, arriba mostrado, las diferencias de resistencias a compresión del hormigón tienen valores altos y significativos, los cuales varían hasta en un 33% debido a un incorrecto vibrado. Sin embargo, al analizar las variaciones en el módulo elástico, se aprecia que estas variaciones no tienen la misma magnitud, llegando hasta un máximo de apenas un 12%.

Esto se puede explicar debido a que la mezcla de hormigón alcanza los mismos valores de resistencia, pero al ser sometida a una carga, en un caso falla antes debido a que el área transversal que soporta a la misma se disminuye, por lo que alcanza el esfuerzo máximo de resistencia de manera más rápida, provocándose la rotura de la muestra.



Foto 9

Cilindros de hormigón. Los de la izquierda (SV) muestran oquedades e irregularidades en su superficie, a diferencia de los de la derecha (CV).



Foto 10

En este cilindro se muestra la dimensión huecos, debido al aire atrapado en las paredes laterales.



Foto 11

**En esta imagen se compara dos caras de distintos cilindros.
El aire atrapado influye hasta en el área de apoyo del cilindro.**



Foto 12

**Muestra donde se aprecia que la falla
del cilindro sin vibración se produce
en el área con oquedades (este
cilindro es el mismo que se muestra
en la Foto 10)**



CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

Después de haber realizado este trabajo de investigación y su respectivo análisis, se puede concluir de la siguiente manera:

- La compactación en el hormigón fresco es necesaria si se quiere llegar a los niveles de diseño de resistencia mecánica del hormigón.
- Un correcto vibrado elimina el aire acumulado que queda atrapado durante el vaciado del hormigón, con ello se elimina la posibilidad de fallas en estos sectores, ya que se disminuye su sección transversal.
- La resistencia a compresión del hormigón pueden llegar a disminuirse drásticamente cuando se presentan irregularidades propias del mal vibrado del hormigón fresco



- Aunque se demostró un mejor comportamiento del hormigón sin vibrar cuando su revenimiento superaba los 20 centímetros, estos valores igual presentan una ligera desmejora contra un hormigón de igual revenimiento y vibrado.
- En el hormigón sin correcto vibrado, el comportamiento es más impredecible. Estos valores pueden presentar aumento o disminución de resistencia, teniendo en cuenta que no llegan a ser mayores a los de un hormigón con correcta vibración.

6.2 RECOMENDACIONES

- En lo posible, tratar de trabajar con diseños de hormigones fluidos, sin sacrificar sus propiedades.
- Tener estricto control con el vibrado del hormigón a la hora del vertido en obra, en especial en hormigón masivo.
- Realizar todos los correctivos necesarios en caso de que se presenten muestras de mal vibrado en el hormigón y no proceder a tapar los huecos sin un estudio previo del problema
- Capacitar al personal en las distintas obras de los peligros de un incorrecto vibrado al hormigón.



ANEXO A

http://www.asocem.org.pe/SCMRoot/bva/f_doc/cemento/adicionado/cementos_portland_MGC07.PDF

CEMENTOS PORTLAND PUZOLANICOS

Tendencias Actuales en la fabricación y aplicación

Ing. Manuel Gonzáles De la Cotera

Cementos Portland Puzolánicos

El cemento Portland Puzolánico:

Cemento portland puzolánico es el producto resultante de la adición al cemento portland normal de material puzolánico, en un porcentaje de 15 a 50%. Dicha unión puede efectuarse en el estado de clinker, para ser molidos conjuntamente, a la fineza adecuada o también directamente con el cemento, antes de ensacar o en la mezcladora.

Que se denomina puzolana

Puzolana, según el criterio de Lea adoptado por las actuales normas del ASTM es el material silíceo que no siendo aglomerante por sí mismo -o en muy baja magnitud- contiene elementos que se combinan con la cal en presencia del agua, a temperaturas ordinarias, formando compuestos de escasa solubilidad que presentan propiedades aglomerantes.

Propiedades y deficiencias del cemento portland puzolánico

Las características más significativas de los cementos puzolánicos se encuentran en el incremento de las condiciones de trabajabilidad y durabilidad de los concretos.

1. En el concreto fresco:

- a) Mejora la docilidad del concreto, permitiendo su fácil puesta en obra (encofrados).
- b) Disminuye la exudación de las mezclas y la tendencia a la segregación.

2. En el concreto endurecido: Durabilidad.

- a) Mejor resistencia al intemperismo.
- b) Resistencia a las aguas agresivas (obras de cimentación, tuberías, desagües, obras de alcantarillado).



c) Menor calor de hidratación (favorable en obras mäsicas, cimentaciones, presas, cte.).

d) Impermeabilidad es mejorada especialmente en las mezclas pobres y en las primeras edades (recomendable por ello su empleo en obras marítimas e hidráulicas).

e) En regiones de agregados reactivos con cementos de proporción de álcalis significativa, el cemento puzolánico pasa bien esta prueba.

3. En lo que respecta a las características de deformación y resistencia:

a) Retracción y fluencia. Ambos fenómenos se ven acrecentados en el caso de los portland puzolánicos. El campo de variación es amplio, según sea la puzolana, cemento usado y tipo de agregado. En todo caso no hay leyes que determinen las deformaciones del concreto.

b) Las condiciones de deformación elástica del concreto son ligeramente disminuidas por los cementos puzolánicos. Aunque no se puede determinar coeficientes al respecto, dada la cantidad de parámetros incidentes.

c) Las resistencias mecánicas disminuyen en los cementos puzolánicos, especialmente en los concretos ricos en aglomerantes. En las mezclas pobres, eventualmente, los cementos puzolánicos pueden acrecentar la resistencia.

d) Las obras de concreto puzolánicos exigen mayor control y curado especial y continuado para prevenir los peligros de fisuración y otras anomalías.

Una comparación del portland normal y del portland puzolánico

Los cementos mencionados, a nuestro juicio, si bien pueden usarse indistintamente en muchas obras, tienen campos propios en la construcción donde ofrecen ventajas técnicas indiscutibles que los señalan preferentemente a uno sobre otro con sus debidas prevenciones.



ANEXO B

ASPECTOS BÁSICOS DE LA “NORMA ASTM C143”

Método normalizado de prueba para el asentamiento del Hormigón Hidráulico

Alcance: Determina el asentamiento del hormigón hidráulico en laboratorio y en campo.

Resumen: Una muestra fresca de concreto es puesta y compactada por una varilla en un molde con forma de cono. El molde es levantado, y el concreto se derrama. La distancia vertical entre el punto central superior y el la posición de este desplazada, es medida y reportada como el asentamiento del hormigón

Significado y uso: Este método provee al usuario de un procedimiento para determinar el asentamiento del hormigón hidráulico plástico. Es aplicable para agregado de 3/4 pulgadas.

Herramientas: 1. Molde (Cono de Abrams: 8 pulg. diámetro inferior, 4 diámetro superior 12 pulgadas de altura), 2. Varilla lisa (5/8 pulg.).

Muestra: La muestra tiene que ser representativa de todo el lote.

Procedimiento: Poner el molde en una superficie plana, lisa, no absorbente y rígida. Sujetar firmemente durante todo el proceso de llenado. Verter tres capas, cada una de aproximadamente un tercio del volumen. En cada capa introducir 25 veces la varilla uniformemente la profundidad de toda la capa. La capa anterior tiene que ser ligeramente penetrada por la varilla. Luego de varillar la tercera capa, remover con la varilla el exceso de hormigón, y después se procede a levantar de forma vertical el molde. Este proceso no debe tomar más de 2,5 minutos. Se mide el desplazamiento desde la posición la parte superior del molde a la parte central desplazada del espécimen.

Cálculo y Reporte: Se mide y se redondea el asentamiento al entero más cercano (cm)



ANEXO C

ASPECTOS BÁSICOS DE LA “NORMA ASTM C39”

Método normalizado de prueba para el esfuerzo a compresión de especímenes de concreto cilíndricos

Alcance: Determina el la resistencia a compresión de cilindros moldeados o de núcleos de hormigón.

Resumen: Consiste en aplicar una carga axial de compresión a los especímenes, ya sean cilindros moldeados o núcleos de hormigón, hasta que se produzca la falla. El esfuerzo de compresión se calcula dividiendo la máxima carga soportada durante la aplicación de la fuerza, dividida para el área transversal de la muestra.

Significado y uso: Los valores van a variar según muchos factores como la edad, temperatura, método de moldeo, materiales, tipo de mezcla, etc. Este ensayo sirve para el control de calidad

Herramientas: 1. Máquina de ensayo (debidamente calibrada) 2. Apoyos para los cilindros (neoprenos o capping). 3. Indicador de carga.

Muestra: los especímenes no deben variar en más de un 2% de su diámetro.

Procedimiento: Ubicar el espécimen, verificar en cero la carga, comprobar la correcta ubicación de los apoyos. Aplicar la carga hasta que la muestra falle y se rompa. Notar el tipo de falla y la apariencia del concreto.

Cálculo y Reporte: Se divide la máxima carga aplicada y se la divide para el área transversal.



ANEXO D

ASPECTOS BÁSICOS DE LA “NORMA ASTM C469”

Método normalizado de prueba para el módulo estático de elasticidad (para este trabajo no se toma en cuenta la razón de Poisson's)

Alcance: Determina el módulo de elasticidad de cilindros y núcleos de hormigón.

Significado y uso: El módulo de elasticidad puede ser usado para calcular la cantidad de armado de miembros estructurales, determinar la cuantía necesaria, y calcular los esfuerzos para deformaciones observadas

Herramientas: 1. Máquina de ensayo (debidamente calibrada) 2. Deformímetro.

Muestra: Los especímenes cilíndricos moldeados, deben ser curados.

Procedimiento: Mantener la temperatura constante lo más posible. Determinar la resistencia a compresión de un espécimen adicional. Colocar el cilindro con todos los accesorios para medir la deformación en la máquina de aplicación de carga. Cargar por lo menos dos veces hasta el 40% de su resistencia a compresión. Durante la primera carga se debe observar que se asienten bien los apoyos del cilindro. En la segunda carga, se anotan los valores de cargas y deformaciones, para que si en la siguiente aplicación de carga no se observan mayores diferencias, tomar estos datos para obtener el módulo de elasticidad.

Cálculo y Reporte: Se obtiene con la fórmula:

$$E = (S_2 - S_1) / (\epsilon_2 - 0.000050)$$

Donde

E=módulo de Elasticidad

S_2 = Esfuerzo correspondiente al 40% de la carga)

S_1 = Correspondiente a la máxima deformación unitaria (0.000050)

ϵ_2 =Deformación unitaria producida por el esfuerzo S_2



ANEXO E

ASPECTOS BÁSICOS DE LA “NORMA ASTM C31”

Práctica normalizada para la realización y curado de especímenes de ensayo de concreto en el campo

Alcance: Esta práctica determina el procedimiento para realizar y curar cilindros y vigas (no se realiza en esta investigación) de muestras representativas de concreto fresco para un proyecto de construcción.

Significado y uso: Esta práctica provee requerimientos estandarizados para realizar, curar, proteger y transportar especímenes de ensayo bajo condiciones de campo.

Herramientas: 1. Moldes para cilindros 2. Varilla Lisa 3. Vibrador (dependiendo del caso) 4. Martillo de Goma

Procedimiento: Poner el molde en una superficie plana, lisa, no absorbente y rígida, cerca del lugar donde será almacenado. Verter tres capas, cada una de aproximadamente un tercio del volumen. En cada capa introducir 25 veces la varilla uniformemente la profundidad de toda la capa. En cada capa se golpeará con el martillo de goma suavemente en el molde de 5 a 10 veces para soltar el aire atrapado. La capa anterior tiene que ser ligeramente penetrada por la varilla. Luego de varillar la tercera capa, remover con la varilla el exceso de hormigón. Se da un buen acabado a la parte superior. Después se precede a identificar cada cilindro. El curado se procede a hacerlo en una piscina de agua, donde se introduce el cilindro una vez fraguado hasta el día de su ensayo respectivo



BIBLIOGRAFÍA

LIBROS

- Concreto de Alto desempeño – Aitcin – Holcim
- A. M. Neville, *“Tecnología del concreto”*, Instituto Mexicano del Cemento y Concreto, México, 1999.
- Mindless, S. y Young, F., *“Concrete”*, Prentice Hall, 1981.
- Norma ASTM C31, *“Práctica Normalizada para Preparación y Curado de Especímenes de Ensayo de Concreto en la Obra”*, www.astm.org.
- Norma ASTM C39, *“Método de Ensayo Normalizado para Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto”*, www.astm.org
- Norma ASTM C143, *“Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete”*, www.astm.org



PÁGINAS WEB

- http://www.asocem.org.pe/SCMRoot/bva/f_doc/cemento/adicionado/cementos_portland_MGC07.PDF
- <http://publiespe.espe.edu.ec/librosvirtuales/hormigon/temas-de-hormigon-armado/hormigon01.pdf>