

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**

**PROGRAMA ACADEMICO DE INGENIERIA CIVIL**



**Curvas de Correlación del Equipo de Determinación  
Acelerada de la Resistencia en Compresión  
del Concreto**

**T E S I S**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO CIVIL**

**JORGE RAFAEL FOINQUINOS MERA**

**Lima • Perú**

**1981**

# I N D I C E

	PAG. :
INTRODUCCION -----	I
CAPITULO I - MATERIALES -----	3
1.1 CEMENTO PORTLAND -----	3
1.2 ANALISIS FISICO -----	3
1.3 ANALISIS QUIMICO -----	6
1.4 AGREGADOS -----	10
1.5 AGREGADO FINO -----	13
1.6 AGREGADO GRUESO -----	21
CONCLUSIONES -----	29
CAPITULO II - DISEÑO DE MEZCLAS -----	31
2.1 DATOS PREVIOS AL DISEÑO -----	32
2.2 MEZCLA 1.- RELACION AGUA-CEMENTO 0,65 -----	33
2.3 MEZCLA 2.- RELACION AGUA-CEMENTO 0,55 -----	36
2.4 MEZCLA 3.- RELACION AGUA-CEMENTO 0,45 -----	38
CONCLUSIONES -----	41
CAPITULO III - ENSAYOS EN CONCRETO FRESCO -----	43
3.1 PESO UNITARIO -----	43
3.2 ASENTAMIENTO -----	43
3.3 CONTENIDO DE AIRE -----	46
CONCLUSIONES -----	48

CAPITULO IV - ENSAYOS EN CONCRETO ENDURECIDO -----	49
4,1 RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL CONCRETO -----	49
4,2 CURADO DEL CONCRETO -----	51
4,3 CURADO MEDIANTE AGUA EN EBULLICION -----	52
4,4 RESULTADO DE ENSAYOS DE COMPRESION DE PROBETAS SOMETIDAS A CURADO ACELERADO -----	56
4,5 RESULTADO DE ENSAYOS A COMPRESION ----- DE PROBETAS SOMETIDAS A CURADO NORMAL.	60
4,6 EVALUACION DEL GRADO DE CONTROL -----	63
CONCLUSIONES -----	66
 CAPITULO V - DETERMINACION DE LAS CURVAS DE RELACION, -----	 69
5,1 AJUSTE DE LAS CURVAS DE REGRESION POR EL METODO DE MINIMOS CUADRADOS -----	69
CONCLUSIONES FINALES Y RECOMENDACIONES -----	78

-----

## INTRODUCCION

Sabemos que la calidad del concreto es tipificada por su resistencia a la compresión a 28 días "f'c", sin embargo, dadas la tendencia a la fabricación de concretos de endurecimiento rápido, el advenimiento del concreto pre-tensado, las especificaciones del control de calidad más rígidas, la mayor rapidez de colocación, el gran volumen de vaciado por día que se logra en obras de gran magnitud, se hace ya una imperiosa necesidad el conocer la resistencia del concreto lo más rápido posible; es por todo esto que nace la preocupación de realizar ensayos acelerados que nos determinen la resistencia a compresión del concreto.

El presente trabajo es la aplicación de un proceso de curado acelerado por agua en ebullición a la que se someten las probetas de ensayo. La finalidad que se persigue es la de encontrar una ecuación que nos relacione el curado acelerado con el curado a 28 días. El método de curado con agua en ebullición está sujeta a una serie de variables; para este trabajo se ha tomado como patrón, con ciertas modificaciones, los ensayos realizados en el Canada, por los profesores V.M. Malhotra y N. G. Zoldners y el ensayo realizado en el Lab. de Ensayos de

Materiales de la Universidad Nacional de Ingeniería, por el Ing. L. Mueras.

La importancia que reviste el tema se puede notar en la creciente preocupación existente, por lograr una información rápida acerca de la resistencia del concreto - por medio de métodos acelerados, en países como Inglaterra, Japón, Francia, Australia, E.E.U.U. de Norteamérica, Canada, etc.; en estos lugares se han creado Comités para evaluar y seleccionar los trabajos realizados con la finalidad de llegar a una estandarización en la aplicación - del método.

Con este trabajo a la vez de buscar los resultados ya mencionados se trata también de crear una mayor expectativa en el tema y de ese modo se continuen realizando - más ensayos toda vez que se cuenta con el equipo necesario en el Laboratorio de Ensayos de Materiales de la Universidad Nacional de Ingeniería.

-----

## CAPITULO I

### MATERIALES

#### 1.1 CEMENTO PORTLAND

El Cemento Portland es el resultado de una mezcla íntima de materiales calcáreos y arcillosos en proporciones convenientemente llevadas hasta fusión incipiente y posteriormente molida muy finamente, sin contar con ninguna adición fuera de yeso y agua.

En el presente trabajo se utilizó Cemento Portland tipo IP, marca "El Sol", de la Fábrica de Cementos Lima .

#### 1.2.0 ANALISIS FISICO

La determinación de ciertas propiedades físicas de los cementos es sumamente importante para la aceptación del material y para predecir su comportamiento en la realización del concreto.

#### 1.2.1 FINEZA, NORMA ITINTEC Nº 334.002

La fineza del cemento se mide en términos de Superficie Específica, es decir, el total del área superficial en la unidad de peso.

La superficie específica es calculada por la si-

guiente expresión:

$$S_e = K\sqrt{T}$$

Donde se tiene:

$S_e$  = Superficie específica expresada en  $\text{cm}^2/\text{gramo}$

$K$  = Constante de calibración, obtenida mediante un cemento patrón de superficie específica conocida.

$T$  = Tiempo en segundos.

Se obtuvo como resultado:  $2,931 \text{ cm}^2/\text{gr.}$

La Norma específica que la fineza debe ser mayor de  $2,800 \text{ cm}^2/\text{gr.}$

## 1.2.2 TIEMPO DE FRAGUADO; NORMA ITINTEC Nº 334.006

Se denomina así al tiempo que transcurre entre el mezclado del cemento con el agua hasta la solidificación de la mezcla. Diferenciándose dos etapas como son la fragua inicial y la fragua final.

La mezcla se deberá preparar con el porcentaje de agua en peso necesario para que la mezcla adquiera la "Consistencia Normal", denominándose así cuando una pasta sometida a la sonda de Vicat ésta penetra 10 mm. en 30 segundos.

Consistencia Normal = 24.2%

Tiempo de Fraguado (Agujas Vicat)

Hora de Inicio : 10 h 34'

HORA	PENETRACION	TIEMPO
12h 00'	Fondo	1h 26'
12h 35'	40	2h 01'
12h 45'	30	2h 11'
12h 50'	25	2h 16'
13h 35'	02	3h 01'
14h 05'	Fin de fragua	3h 31'

	<u>Según Ensayo</u>	<u>Según Normas</u>
Fragua Inicial	2h 16'	Mínimo 45'
Fragua Final	3h 31'	Máximo 8h

### 1.2.3 RESISTENCIA A LA COMPRESION : NORMA ASTM C-150

Es uno de los ensayos más importantes. Consiste en obtener la resistencia en compresión en cubos de mortero standard con miras a compararlas con las mínimas que las normas estipulan.

La mezcla se realiza en la siguiente proporción.

Cemento : 1

Arena : 2.75 (arena standard C-109)

Agua : La suficiente para producir un flujo de 100% a 115%, dando en la mesa de flujo 25 golpes en 15 segundos.

Edad (Días)	Carga Máxima (Kg.)	Resistencia (Kg./cm <sup>2</sup> )	Promedio (Kg./cm <sup>2</sup> )	Mínimo Normas
3	3,350	134	142	85
	3,700	148		
	3,580	143		
7	5,550	222	223	145
	5,450	218		
	5,700	228		
28	7,850	314	297	245
	7,300	292		
	7,150	286		

#### 1.2.4 ESTABILIDAD DE VOLUMEN : NORMA ITINTEC Nº 333.004

La determinación de esta propiedad nos permite verificar la ausencia de agentes expansivos en el cemento, tales como cal libre, magnesia libre o sulfato de calcio.

Expansión de autoclave : 0.23%

Cumple con el máximo permisible de 0.80% que indica la Norma.

#### 1.3.0 ANALISIS QUIMICO

El cemento esta constituido principalmente por cal, siguiéndole a bastante distancia la sílice, luego la alúmina y por último el óxido de hierro.

Los componentes del cemento se presentan en dos grupos: Principales y secundarios.

Los componentes principales y sus porcentajes de variación son:

Oxido de Calcio	Ca O	60	a	67%
Oxido de Silicio	Si O <sub>2</sub>	17	a	25%
Oxido de Alúmina	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3	a	8%
Oxido Férrico	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.5	a	6%

Entre los componentes secundarios se encuentran :  
La pérdida por calcinación (P.C.), el residuo insoluble -  
(R.I.) y el anhídrido sulfúrico (SO<sub>3</sub>).

Estos componentes principales y secundarios no se encuentran como tales en el cemento, sino formando los -  
constituyentes hidráulicamente activos, es decir los com-  
puestos principales, siendo estos los siguientes:

Silicato Tricálcico.	3CaO.SiO <sub>2</sub>	C3S
Silicato Bicálcico..	2CaO.SiO <sub>2</sub>	= C2S
Aluminato Tricálcico	3CaO.Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	= C3A
Ferroaluminato Tetra cálcico .....	4CaO.Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	= C4AL

Normalmente los porcentajes límites de los compo -  
nentes principales esten dentro de los siguientes valores:

C3S	30	a	60%
C2S	15	a	37%
C3A	7	a	15%
C4AL	8	a	10%

Estos compuestos principales presentan ciertas ca-  
racterísticas como son:

El Silicato Tricálcico.- Que tiene una composición

de 73.7% de cal y 26.3% de sílica y se caracteriza:

- Gran velocidad de hidratación.
- Desarrolla fuerte calor de hidratación ( $120 \frac{\text{cal}}{\text{gr}}$ ).
- Contribuye en forma fuerte a las resistencias iniciales.

El Silicato Bicálcico.- Consiste en 65.1% de cal y 34.9% de sílica.

- Baja velocidad de hidratación.
- Bajo calor de hidratación ( $62 \frac{\text{cal}}{\text{gr}}$ )
- Es el principal contribuyente a las resistencias a largo plazo.
- Buena estabilidad química.

El Aluminato Tricálcico.- Consiste en aproximadamente 62.3% de cal y 37.7% de alúmina.

- Velocidad de hidratación grande, casi instantánea.
- Elevado calor de hidratación ( $207 \frac{\text{cal}}{\text{gr}}$ )
- Contribuye notablemente a la resistencia en las primeras 24 horas.
- Es sensible y vulnerable por la acción química de aguas con sulfatos y con cloruros.

El Ferroaluminato Tetracálcico.- Consiste en 46.1% de alúmina, 21% de alúmina y 32.9% de óxido de fierro.

- Gran velocidad de hidratación.
- Bajo calor de hidratación en relación al C3S ( $100 \frac{\text{cal}}{\text{gr}}$ )
- Contribución a la resistencia no definidas.
- Tiene una gran estabilidad química.

Entre los compuestos secundarios se encuentran: La Cal Libre y el Oxido de Magnesia; la Cal Libre en presencia de agua o sustancias ácidas forman sales de calcio - las cuales dan origen a expansiones, agrietamientos y desmoronamiento del concreto.

El Oxido de Magnesia es una sustancia que frecuentemente acompaña al Oxido de Calcio; al contrario de la Cal, la Magnesia no se combina durante la cocción del cemento, sino que permanece como "Magnesia Libre". Es peligrosa, pues en contacto con el agua se hidrata y cambia de volumen, produciendo expansiones que se manifiestan a largo plazo.

Se presenta a continuación los resultados obtenidos del análisis químico de una muestra de Cemento Portland, Tipo IP "Sol".

Componentes principales:

- Oxido de Calcio	CaO	59.60%
- Oxido de Silicio	SiO <sub>2</sub>	24.68
- Oxido Férrico	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.51
- Oxido de Alúmina	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.97

Componentes secundarios:

- Pérdida por calcinación	P.C.	1.45%
- Residuo insoluble	R.I.	4.03
- Anhídrido Sulfúrico	SO <sub>3</sub>	2.29
- Oxido de Magnesia	MgO	1.98
- Cal Libre		0.71

## 1.4. AGREGADOS

Los agregados como elementos constituyentes del concreto ocupan un porcentaje comprendido entre el 66% y el 78%; su rol es evidentemente de importancia en lo que compete a calidad, trabajabilidad y economía del concreto.

Existen algunas propiedades de los agregados en que debe ponerse especial atención, al escoger el tipo de material a usar.

En general podemos considerar que un buen agregado consiste en partículas libres de fracturas, bien graduadas y que no sean planas ni alargadas. Para seleccionar los agregados deberán tenerse como guía los siguientes criterios:

- Que se garantice granulometría uniforme a través del período de uso. Aunque es deseable que el agregado esté dentro de los límites de Norma existente, se puede lograr buenos concretos con agregados que escapan de las especificaciones.
- Los agregados con partículas en forma desfavorable no deben ser necesariamente rechazados a favor de agregados más costosos, sin hacer un estudio económico previo.
- Agregados contaminados con materia orgánica que interfieran la fragua del concreto no deberán usarse.
- Agregados que contengan partículas fríasbles o blandas no deberán usarse en concretos sometidos a intemperismo

o cuando en apariencia es importante.

Existen una serie de propiedades de los agregados que revisten importancia en cuanto se refiere a la preparación de concreto; algunos en cuanto a determinación propiamente de su calidad y otros en vista a la dosificación posterior de la mezcla. Estas propiedades son :

- La Granulometría.- La distribución de partículas del agregado tiene una gran importancia en los requerimientos de agua de la mezcla y en consecuencia en la trabajabilidad y acabado del concreto fresco. Su determinación se realiza tamizando, la muestra por una serie de mallas normalizadas; mediante este ensayo podemos determinar el módulo de fineza y el tamaño del agregado.
- El peso unitario.- Es importante por cuanto nos da una medida de los vacíos en la unidad de volumen del agregado. El peso unitario seco, suelto y compactado es calculado determinando el peso de agregado necesario para llenar un recipiente standard (volumen determinado)
- El peso específico.- Es la relación de peso de material a volumen de material; su diferencia con el peso unitario estriba en que éste no toma en cuenta los vacíos. Es necesario para realizar la dosificación de la mezcla y verificar que el agregado corresponde a material de peso normal.
- La absorción.- La absorción de un agregado está re -

presentada por el porcentaje de agua que le es necesario para llegar a la condición de saturado superficialmente seco (condición de equilibrio).

- El contenido de humedad.- Es el porcentaje de agua que tiene el agregado en el estado en que se encuentra.
- La durabilidad.- Esta prueba es una de las más importantes para determinar la calidad de los agregados, en lo referente a su comportamiento ante el intemperismo - principalmente. La prueba consiste en sumergir alternadamente una muestra de agregado en una solución de sulfato de sodio o de magnesio y secarlo al horno.

1.5 AGREGADO FINO

1.5.1 ENSAYO DE GRANULOMETRIA - NORMA ASTM C-136

Muestra : Arena de la Molina

Peso : 500 grs.

ENSAYO I

TAMIZ No.	PESO RETENIDO EN CADA MALLA (grs.)	PORCENTAJE RETENIDO EN CADA MALLA	PORCENTAJE ACUMULADO RETENIDO.
4	25	5.00	5.00
8	74	14.80	19.80
16	130	26.00	45.80
30	89	17.80	63.60
50	72	14.40	78.00
100	63	12.60	90.60
FONDO	47	9.40	100.00

ENSAYO II

TAMIZ No.	PESO RETENIDO EN CADA MALLA (grs.)	PORCENTAJE RETENIDO EN CADA MALLA	PORCENTAJE ACUMULADO RETENIDO.
4	24	4.80	4.80
8	70	14.00	18.80
16	130	26.00	44.80
30	86	17.20	62.00
50	76	15.20	77.20
100	61	12.20	89.40
FONDO	53	10.60	100.00

ENSAYO III

TAMIZ No.	PESO RETENIDO EN CADA MALLA (grs.)	PORCENTAJE RETENIDO EN CADA MALLA	PORCENTAJE ACUMULADO RETENIDO.
4	24	4.80	4.80
8	69	13.80	18.60
16	127	25.40	44.00
30	91	18.20	62.20
50	79	15.80	78.00
100	66	13.20	91.20
FONDO	44	8.80	100.00

GRANULOMETRIA PROMEDIO DE LOS ENSAYOS I, II Y III

TAMIZ No.	PESO RETENIDO EN CADA MALLA (grs.)	PORCENTAJE RETENIDO EN CADA MALLA	PORCENTAJE ACUMULADO RETENIDO.
4	24	4.80	4.80
8	71	14.20	19.00
16	129	25.80	44.80
30	89	17.80	62.60
50	76	15.20	77.80
100	63	12.60	90.40
FONDO	48	9.60	100.00

CUADRO No. 1

Requisitos para granulometría del agregado fino ASTM C-33

TAMIZ	% QUE PASA
3/8	100
No. 4 (4.75 mm)	95 - 100
No. 8 (2.38 mm)	80 - 100
No. 16 (1.19 mm)	50 - 85
No. 30 ( 595 μ )	25 - 60
No. 50 ( 297 μ )	10 - 30
No. 100 ( 149 μ )	2 - 10

### 1.5.2 MODULO DE FINEZA - NORMA ASTM C-125

Muestra : Arena de La Molina

TAMIZ No.	PORCENTAJE RETENIDO ACUMULADO		
	ENSAYO I	ENSAYO II	ENSAYO III
4	5.00	4.80	4.80
8	19.80	18.80	18.60
16	45.80	44.80	44.00
30	63.60	62.00	62.00
50	78.00	77.20	78.00
100	90.60	89.40	91.20
SUMA	302.80	297.00	298.80
MF = $\frac{SUMA}{100}$	3.03	2.97	2.99

PROMEDIO                      Módulo de Fineza : 3.00

La Norma específica que el módulo de fineza no deberá ser menor de 2.3 ni mayor de 3.1.

### 1.5.3 PESO UNITARIO - NORMA ASTM C-29

Muestra : Arena de La Molina

#### A) Peso unitario suelto

	<u>ENSAYO I</u>	<u>ENSAYO II</u>	<u>ENSAYO III</u>
Peso de la muestra suelto + vasija (kg.)	7.600	7.400	7.400
Peso de la vasija	2.852	2.852	2.852
Peso de la muestra suelta	4.748	4.548	4.548
Constante (1/m <sup>3</sup> )	353.15	353.15	353.15
Peso unitario suelto	1676.76	1606.13	1606.13
	Promedio = 1629.67 kg/m <sup>3</sup>		

#### B) Peso unitario compactado

	<u>ENSAYO I</u>	<u>ENSAYO II</u>	<u>ENSAYO III</u>
Peso de la muestra suelta + vasija (kg.)	8.200	8.000	8.000
Peso de la vasija	2.852	2.852	2.852
Peso de la muestra suelta (kg.)	5.348	5.148	5.148
Constante (1/m <sup>3</sup> )	353.15	353.15	353.15
Peso unitario compactado	1888.15	1818.02	1818.02
	Promedio = 1841.56 kg/m <sup>3</sup>		

### 1.5.4 CONTENIDO DE HUMEDAD - NORMA ASTM C-566

Muestra : Arena de La Molina

	<u>ENSAYO I</u>	<u>ENSAYO II</u>
Peso de la muestra húmeda (gr.)	500	500
Peso de la muestra seca (gr.)	498	497
Contenido de agua (gr.)	2	3
Contenido de humedad ( % )	0.40	0.60

Promedio : 0.50

### 1.5.5 PESO ESPECIFICO Y PORCENTAJE DE ABSORCION NORMA ASTM C 128-59

A) Peso específico de masa :

$$P. e. \text{ de masa} = \frac{A}{V - W}$$

Donde :

A = Peso de la muestra secada al horno

V = Volumen en mililitros del matraz

W = Pero en grs. o volumen en mililitros de agua añadida en el matraz.

B) Peso específico de masa saturada y superficial - mente seca,

$$P. e. \text{ de masa S.S.S.} = \frac{500}{V - W}$$

C) Peso Específico Aparente

$$P.E. \text{ Aparente} = \frac{A}{(V - W) - (500 - A)}$$

D) Porcentaje de Absorción

$$\text{Porcentaje de Absorción} = \frac{500 - A}{A} \times 100$$

	ENSAYO I	ENSAYO II	ENSAYO III
Peso de la arena superficialmente seca + peso del balón + peso del agua (grs.)	993	996	995
Peso de la arena superficialmente seca + peso del balón (grs.)	683	683	682
Peso del agua ( W )	310	313	313
Peso de la arena secada al horno + peso del balón	677	676	676
Peso del balón	183	183	182
Peso de la arena secada al horno (A)	494	493	494
Volumen del balón	500	500	500
Peso específico de masa	2.60	2.64	2.64
Promedio		2.63	
Peso específico de masa S.S.S.	2.63	2.67	2.67
Promedio		2.66	
Peso específico aparente	2.68	2.74	2.73
Promedio		2.72	
Porcentaje de absorción	1.21	1.42	1.21
Promedio		1.28	

1,5,6 ENSAYO DE DURABILIDAD - NORMA ASTM C - 88

MALLA No.	% RETENIDO	PESO INICIAL	PESO FINAL	PERDIDA DE PESO	% PERDIDA	% PERDIDA CORREGIDO
8	15,20	100	95	5	5	0,76
16	33,60	100	93	7	7	2,35
30	19,20	100	93	7	7	1,34
50	15,20	100	94	6	6	0,91

% de pérdida total corregido : 5,36

La norma específica que el % de pérdida corregido total sea menor de 10 %.

1,5,7 MATERIAL MAS FINO QUE PASA LA MALLA No. 200 - NORMA A.S.T.M. C - 117.

Peso de la muestra original (grs.) (B) 500

Peso de arena retenido malla 200 (C) 476

Porcentaje que pasa la malla

No. 200  $A = \frac{(B-C)}{B} \times 100$  4,8

La norma específica que el porcentaje sea menor de 5 %.

1.6 AGREGADO GRUESO

1.6.1 GRANULOMETRIA - NORMA ASTM C-136

Muestra : Piedra chancada de La Molina

Peso de la Muestra : 5000 grs.

ENSAYO I

TAMIZ No.	PESO RETENIDO EN CADA MALLA (grs.)	PORCENTAJE RETENIDO EN CADA MALLA	PORCENTAJE ACUMULADO RETENIDO.
1"	508	10.16	10.16
3/4"	2116	42.32	52.48
1/2"	1708	34.16	86.64
3/8"	578	11.56	98.20
1/4"	79	1.58	99.78
FONDO	11	0.22	100.00

Tamaño Máximo 1"

ENSAYO II

TAMIZ No.	PESO RETENIDO EN CADA MALLA	PORCENTAJE RETENIDO EN CADA MALLA	PORCENTAJE ACUMULADO RETENIDO.
1"	569	11.38	11.38
3/4"	2246	44.92	56.30
1/2"	1596	31.92	88.22
3/8"	539	10.78	99.00
1/4"	43	0.86	99.86
FONDO	7	0.14	100.00

Tamaño Máximo 1"

ENSAYO III

TAMIZ No.	PESO RETENIDO EN CADA MALLA	PORCENTAJE RETENIDO EN CADA MALLA	PORCENTAJE ACUMULADO RETENIDO.
1"	398	7.96	7.96
3/4"	2023	40.46	48.42
1/2"	1741	34.82	83.24
3/8"	691	13.82	97.06
1/4"	135	2.70	99.76
FONDO	12	0.24	100.00

Tamaño Máximo 1"

Granulometría promedio de los Ensayos I, II y III

TAMIZ No.	PESO RETENIDO EN CADA MALLA	PORCENTAJE RETENIDO EN CADA MALLA	PORCENTAJE ACUMULADO RETENIDO.
1"	492	9.84	9.84
3/4"	2128	42.56	52.40
1/2"	1682	33.64	86.04
3/8"	603	12.06	98.10
1/4"	85	1.70	99.80
FONDO	10	0.20	100.00

El agregado satisface las exigencias granulométricas de la Norma C-33 A.S.T.M.

### 1.6.2 MODULO DE FINEZA - NORMA ASTM C-125

Muestra : Piedra chancada de La Molina

TAMIZ No.	RETENIDO ACUMULADO		
	ENSAYO I	ENSAYO II	ENSAYO III
1"	10.16	11.38	7.96
3/4"	52.48	56.30	48.42
1/2"	86.64	88.22	83.24
3/8"	98.20	99.00	97.06
1/4"	99.78	99.86	99.76
SUMA	750.68	755.30	745.48
MF = $\frac{\text{SUMA}}{100}$	7.51	7.55	7.45
PROMEDIO		7.50	

**1.6.3 PESO UNITARIO - NORMA A.S.T.M. C 29-60**

Muestra : Piedra chancada de La Molina

**A) Peso Unitario Suelto**

Peso de la muestra suelta + vasija (kg.)	28.800	28.400	29.200
Peso de la vasija	9.000	9.000	9.000
Peso de la muestra suelta	19.800	19.400	20.200
Constante	70.63	70.63	70.63
Peso unitario suelto	1398.47	1370.22	1426.73
	Promedio = 1398.47 kg/m <sup>3</sup>		

**B) Peso Unitario Compactado**

Peso de la muestra compactada + vasija (kg.)	31.200	31.200	31.600
Peso de la vasija	9.000	9.000	9.000
Peso de la muestra compactada	22.200	22.200	22.600
Constante	70.63	70.63	70.63
Peso unitario compactado	1567.99	1567.99	1596.24
	Promedio = 1577.41 kg/m <sup>3</sup>		

#### 1.6.4 CONTENIDO DE HUMEDAD - NORMA A.S.T.M. C-566

Muestra : Piedra chancada de La Molina

PESO	ENSAYO I	ENSAYO II
Peso de la muestra húmeda (gr.)	1000	1000
Peso de la muestra seca (gr.)	998	998
Contenido de agua (gr.)	2	2
Contenido de humedad (gr.)	0.20	0.20
	Promedio : 0.20	

#### 1.6.5 PESO ESPECIFICO Y PORCENTAJE DE ABSORCION

Norma A.S.T.M. C-128 - 59

A) Peso específico de masa

$$P. e. de masa = \frac{A}{B - C}$$

donde :

A = Peso de la muestra secada al horno

B = Peso de la muestra saturada con superficie seca

C = Peso de la muestra saturada dentro del agua.

B) Peso específico de masa saturada superficialmente - seco.

$$P. e. de masa S.S.S = \frac{B}{B - C}$$

C) Peso específico aparente

$$P. e. aparente = \frac{A}{A - C}$$

D) Porcentaje de absorción

$$\% \text{ absorción} = \frac{B - A}{A} \times 100$$

	<u>ENSAYO I</u>	<u>ENSAYO II</u>	<u>ENSAYO III</u>
Peso de la muestra secada al horno (gr.) (A)	4961	4960	4958
Peso de la muestra saturada dentro del agua + peso de la canastilla.	5010.50	5035	5016
Peso de la muestra saturada con superficie seca (gr.) (B)	5000.50	5000	5000
Peso de la canastilla	1819	1819	1819
Peso de la muestra saturada dentro del agua. (C)	3191.50	3216	3197
Peso específico de masa	2.74	2.78	2.75
Promedio		2.75	
Peso específico de masa S.S.S.	2.76	2.80	2.77
Promedio		2.77	
Peso específico aparente	2.80	2.84	2.81
Promedio		2.82	
Porcentaje de absorción	0.79	0.81	0.85
Promedio		0.82	

1.6.6 ENSAYO DE DURABILIDAD - NORMA A.S.T.M. C - 88

Muestra : Piedra chancada de La Molina

MALLA No.	RETENIDO %	PESO INICIAL	PESO FINAL	PERDIDA DE PESO	% PERDIDA	% PERDIDA CORREGIDO
3/4"	21.60	1000	980	20	2	0.04
1/2"	41.92	500	488	12	2.4	1.01
3/8"	20.62	300	295	5	1.67	0.34
1/4"	12.50	300	292	8	2.67	0.33

% de pérdida total corregido : 1.72

La norma especifica que el % de pérdida total corregido sea menor de 12 %.

1.6.7 MATERIAL MAS FINO QUE PASA LA MALLA No. 200 - NORMA A.S.T.M. C - 117.

Peso de la muestra original (gr.) (B) 2500

Peso piedra retenida malla No. 200 (C) 2469

Porcentaje que pasa la malla No. 200

$$A = \frac{B - C}{B} \times 100 \quad 1.24$$

La norma especifica que el porcentaje sea menor de 1 %

## CONCLUSIONES

Se empleo en la investigación Cemento Portland Tipo IP, marca "Sol"; a este cemento se le sometió a una serie de ensayos, tanto físicos como un ensayo químico, con el objeto de comparar los resultados con lo que las normas señalan.

De los ensayos físicos podemos decir que el cemento cumple con los valores mínimos de las normas. En el ensayo de resistencia a la compresión notamos que el cemento adquiere resistencias elevadas a temprana edad; así para los 3 primeros días tiene valores de resistencia del orden del 48% y para los 7 días del orden del 75%.

De los resultados del análisis químico podemos decir que los compuestos principales están dentro del orden de variación en porcentaje. Si bien el porcentaje de residuos insolubles es de 4.03%, este compuesto secundario, por tratarse de un cemento puzolánico no existe norma que fije el máximo de residuo insoluble. La referencia en ese sentido estaría dado por el máximo que fija la norma ITINTEC N° 334.009 para los cementos puros tipo I que es de 1%. No se aplicó las fórmulas de Bogue para encontrar el porcentaje de compuestos del cemento por tratarse la muestra de un cemento adicionado.

En lo que respecta a los agregados podemos notar que el porcentaje de absorción obtenido es mayor que el contenido de humedad por lo que se deberá agregar agua pa

ra que los agregados lleguen a la condición de saturado - superficialmente seco.

El agregado grueso pedido a la cantera es de 1/2" sin embargo, el tamaño máximo del agregado encontrado en los ensayos es de 1".

El módulo de fineza del agregado fino es de 3.

Tanto el agregado grueso como el fino al ser sometido al ensayo de durabilidad arrojarán porcentajes menores que los estipulados por las normas.

----

## CAPITULO II

### DISEÑO DE MEZCLAS

El concreto se compone esencialmente de cemento, agregados y agua. Tiene además aire, ya sea atrapado o intencionalmente incorporado mediante el empleo de un aditivo.

Las proporciones de la mezcla de concreto deberán ser seleccionadas de manera tal que se obtengan la manejabilidad, resistencia y durabilidad necesaria para el caso particular que se está estudiando.

La manejabilidad de la mezcla, incluyendo satisfactorias condiciones de acabado, involucra conceptos como "trabajabilidad" y "consistencia".

La trabajabilidad de la mezcla, define la capacidad del concreto para ser colocado y consolidado adecuadamente, así como para ser acabado sin segregación dañina. La trabajabilidad es afectada por la granulometría, perfil y proporción del agregado; el contenido de cemento, la presencia de aire incorporado, así como por la consistencia de la misma.

La consistencia es el grado de humedad de la mezcla de concreto; se mide en términos del asentamiento, a mayor asentamiento más húmeda es la mezcla.

Los requisitos de agua en una mezcla de concreto se incrementan conforme el agregado sea más angular y de textura más rugosa; y tienden a disminuir conforme el tamaño máximo se incrementa.

La determinación final del proporcionamiento, calculado por cualquier método, debe ser siempre considerado su jeto a revisión en base a la experiencia con coladas de prueba.

## 2.1 DATOS PREVIOS AL DISEÑO

Antes de comenzar al diseño de las mezclas a emplearse en el estudio, presentaremos las características de los materiales adquiridos y que serán los elementos constituyentes de los concretos.

### CEMENTO

- Cemento Portland "Sol" Tipo IP

- Peso específico 3.15

### AGREGADO GRUESO

- Peso específico de masa 2.75

- Contenido de humedad 0.20 %

- Porcentaje de absorción 0.82 %

- Peso unitario compactado 1577.41 Kg/m<sup>3</sup>

Tamaño máximo 1"

AGREGADO FINO

- Peso específico de masa	2.63
- Contenido de humedad	0.50%
- Porcentaje de absorción	1.28%
- Módulo de fineza	3

Condiciones:

1° Se ha establecido la relación agua-cemento para cada diseño de mezcla, siendo las mismas las que a continuación se indican:

- a) Mezcla 1.- Relación agua-cemento 0.65
- b) Mezcla 2.- Relación agua-cemento 0.55
- c) Mezcla 3.- Relación agua-cemento 0.45

2° El concreto deberá ser de consistencia plástica con un asentamiento comprendido entre 3 y 4 pulgadas.

## 2.2 MEZCLA 1.- RELACION AGUA-CEMENTO 0.65

Siguiendo el método del ACI Comité 211-70 para la dosificación de mezclas tenemos:

- 1° Asentamiento requerido de 3" a 4".
- 2° Tamaño máximo del agregado grueso 1".
- 3° El agua de mezclado ha sido determinado según la tabla 5.2.3; esta tabla indica 195 lts./m<sup>3</sup> de agua por metro cúbico de concreto para un tamaño máximo del agregado grueso de 1" y un asentamiento entre 3" y 4". La experiencia del laboratorio recomienda añadir 5 lts./m<sup>3</sup> pa

ra nuestros agregados. Luego el agua será de 200 lts/ $m^3$ . Además esta tabla nos da el porcentaje de aire atrapado que es de 1.5%.

4° Relación agua-cemento 0.65

5° De los resultados obtenidos en los pasos 3 y 4 el contenido de cemento se encuentra igual a

$$\text{Cemento} = \frac{200}{0.65} = 307.7 \text{ Kg}/m^3$$

6° La cantidad de agregado grueso es estimada de la tabla 5.2.6. Para un agregado fino con un módulo de fineza de 3 y un tamaño máximo de agregado grueso de 1". La tabla nos da que  $0.65 m^3$  de agregado grueso seco compactado puede emplearse por cada  $m^3$  de concreto.

Peso unitario compactado 1577.41

Contenido de humedad 0.2%

1577.41 100.2

X 100

Peso seco compactado 1574.3

Peso del agregado grueso  $0.65 \times 1574.3 = 1023.3 \text{ Kg}$ .

7° Una vez establecidas las cantidades de agua, cemento, agregado grueso y aire atrapado el material remanente que conforma el  $m^3$  de concreto lo constituye el agregado fino. La arena requerida lo determinaremos en base al volumen absoluto.

Volúmenes absolutos de los componentes del concreto:

Volumen absoluto de cemento ..... =  $307.7/3.15 \times 1000 = 0.098 \text{ m}^3$

Volumen absoluto de aire ..... =  $0.015 \text{ m}^3$

Volumen absoluto de agua ..... =  $200/10000 = 0.200 \text{ m}^3$

Volumen absoluto de agregado grueso ..... =  $1023.3/2.75 \times 1000 = 0.372 \text{ m}^3$   
=  $0.685 \text{ m}^3$

Volumen absoluto del agregado fino ..... =  $1 - 0.685 = 0.315 \text{ m}^3$

Peso del agregado fino ..... =  $0.315 \times 2.63 \times 1000 = 828.2 \text{ Kgs.}$

8° La humedad de los agregados encontrados en los ensayos son de : 0.20% en el grueso y 0.50% en el fino. Los porcentajes de absorción son : 0.82% en el grueso y 1.28% en el fino.

Corrección por contenido de humedad del agregado:

Agregado grueso húmedo ..... =  $1023.3 + 1023.3 \times \frac{0.2}{100} = 1025 \text{ Kg.}$

Agregado fino húmedo ..... =  $828.2 + 828.2 \times \frac{0.5}{100} = 832 \text{ Kg.}$

Corrección del agua por porcentaje de absorción del

Agregado:

Agregado grueso:  $1023.3 \times \frac{(0.82 - 0.2)}{100} = -6.3 \text{ Kg.}$

Agregado fino :  $828.2 \times \frac{(1.28 - 0.5)}{100} = -6.5 \text{ Kg.}$

Aporte de ambos agregados: 12.8 Kg.

Cantidad de agua total : 200+12.8 =212.8 Kg.

Cantidad de materiales por m<sup>3</sup>:

Cemento 307.7 Kg.

Agregado fino húmedo 832 Kg.

Agregado grueso húmedo 1025 Kg.

Agua 212.8 Lt.

En proporciones

1 : 2.7 : 3.3/0.69

Para preparar una tanda de prueba de 0.02 m<sup>3</sup>

Cemento 0.02 x 307.7 = 6.15 Kg.

Agregado fino 0.02 x 832 = 16.64 Kg.

Agregado grueso 0.02 x 1025 = 20.5 Kg.

Agua 0.02 x 212.8 = 4.26 Kg.

Al preparar ésta colada de ensayo se encontró un asentamiento de 3 1/4", que se encuentran dentro las exigencias de las especificaciones.

## 2.3 MEZCLA 2.- RELACION AGUA-CEMENTO 0.55

Siguiendo los mismos pasos que el diseño anterior tenemos:

1° Asentamiento 3" - 4"

2° Tamaño máximo del agregado grueso 1"

3° Agua 200 lts/m<sup>3</sup>; aire atrapado = 1.5%

4° Relación agua/cemento = 0.55

5° Cemento = 200/0.55 = 363.6 Kgs.

6° Agregado grueso = 0.65 x 1574.3 = 1023.3 Kgs.

7° Volúmenes absolutos de los componentes:

$$\text{Cemento} = 0.115 \text{ m}^3$$

$$\text{Aire} = 0.015 \text{ m}^3$$

$$\text{Agua} = 0.200 \text{ m}^3$$

$$\text{Agregado grueso} = \frac{0.372 \text{ m}^3}{0.702 \text{ m}^3}$$

$$\text{Volumen de agregado fino} = 1 - 0.702 = 0.298 \text{ m}^3$$

$$\text{Peso de agregado fino} = 0.298 \times 2630 = 783.7 \text{ Kg.}$$

8° Correcciones por humedad

Corrección por humedad del agregado:

$$\text{Agregado grueso húmedo} \dots\dots\dots 1023.3 + 1023.3 \times \frac{0.2}{100} = 1025 \text{ Kg.}$$

$$\text{Agregado fino húmedo} \dots\dots\dots 783.7 + 783.7 \times \frac{0.5}{100} = 788 \text{ Kg.}$$

Corrección del agua por porcentaje de absorción del agregado:

$$\text{Agregado grueso} : 1023.3 \times \frac{(0.82 - 0.2)}{100} = -6.3 \text{ Kg.}$$

$$\text{Agregado fino} : 783.7 \times \frac{(1.28 - 0.5)}{100} = -6.1 \text{ Kg.}$$

$$\text{Aporte de ambos agregados:} \quad \quad \quad 12.1 \text{ Kg.}$$

$$\text{Cantidad de agua total} : \quad \quad \quad 212.1 \text{ Kg.}$$

Cantidad de materiales por m<sup>3</sup>:

Cemento	363.6	Kg.
Agregado fino húmedo	788	Kg.
Agregado grueso húmedo	1025	Kg.
Agua	212.1	Lt

En proporciones

1 : 2.2 : 2.8/0.58

Para preparar una tanda de prueba:

Cemento	0.02 x 363.6	=	7.27	Kg.
Agregado fino ...	0.02 x 788	=	15.76	Kg.
Agregado grueso..	0.02 x 1025	=	20.5	Kg.
Agua	0.02 x 212.1	=	4.24	Kg.

El asentamiento que se obtuvo en ésta colada de prueba fué de 3 3/8".

## 2.4 MEZCLA 3.- RELACION AGUA-CEMENTO 0.45

1° Asentamiento 3" - 4"

2° Tamaño máximo del agregado grueso 1"

3° Agua = 200 lts/m<sup>3</sup>; aire atrapado = 1.5%

4° Relación agua/cemento = 0.45

5° Cemento = 200/0.45 = 444.4 Kg.

6° Agregado grueso = 0.65 x 1574.3 = 1023.3 Kg.

7° Volúmenes absolutos de los componentes:

Cemento	=	0.141 m <sup>3</sup>
Aire	=	0.015 m <sup>3</sup>
Agua		0.200 m <sup>3</sup>
Agregado grueso	=	0.372 m <sup>3</sup>
		<hr/>
		0.728 m <sup>3</sup>

Volumen de agregado fino = 1 - 0.728 = 0.272 m<sup>3</sup>

Peso de agregado fino = 0.272 x 2630 = 715.4 Kg.

8° Correcciones por humedad

Corrección por humedad del agregado:

Agregado grueso húmedo ..... 1023.3 + 1023.3 x  $\frac{0.2}{100}$  = 1025 Kg.

Agregado fino - húmedo ..... 715.4 + 715.4 x  $\frac{0.5}{100}$  = 719 Kg.

Corrección del agua por porcentaje de absorción del -

Agregado Grueso:

Agregado grueso: 1023.3 x  $\frac{(0.82 - 0.2)}{100}$  = - 6.3 Kg.

Agregado fino : 715.4 x  $\frac{(1.28 - 0.5)}{100}$  = - 5.6 Kg.

Aporte de ambos agregados: 11.9 Kg.

Cantidad de agua total : 211.9 Kg.

Cantidad de materiales por m<sup>3</sup>:

Cemento 444.4 Kg.

Agregado fino húmedo 719 Kg.

Agregado grueso húmedo 1025 Kg.

Agua 211.9 Lt.

En proporciones:

1 : 1.6 ; 2.3/0.48

Para preparar una tanda de prueba

Cemento                    0.02 x 444.4    =    8.89 Kg.

Agregado fino            0.02 x 719       =    14.38 Kg.

Agregado grueso        0.02 x 1025     =    20.5 Kg.

Agua                        0.02 x 211.9    =    4.24 Lt.

El asentamiento que se obtuvo en ésta colada de prueba  
fué de 3".

## CONCLUSIONES

En el presente trabajo realizado se empezaron los diseños de las mezclas teniendo como elementos condicionantes:

- Las relaciones agua/cemento para la:
  - Mezcla 1            0.65
  - Mezcla 2            0.55
  - Mezcla 3            0.45
- El asentamiento de las mezclas entre: 3" - 4"
- Consistencia : Plástica

Los diseños se elaboraron de acuerdo a las recomendaciones del Comité 211 - 70 del ACI.

No se ha realizado ajustes de las proporciones, ya que las mezclas así elaboradas cumplan con el asentamiento y tenían consistencia plástica; presentándose las mezclas ligeramente pedregosas. Además los tres tipos de mezclas son únicas y nos servirán para comparar y determinar su variación a diferentes edades; una a curado acelerado y otra a curado normal.

Los volúmenes absolutos de los componentes de cada mezcla son:

MATERIAL	M E Z C L A S		
	1	2	3
Cemento	0.098 m <sup>3</sup>	0.115 m <sup>3</sup>	0.141 m <sup>3</sup>
Aire	0.015 m <sup>3</sup>	0.015 m <sup>3</sup>	0.015 m <sup>3</sup>
Agua	0.200 m <sup>3</sup>	0.200 m <sup>3</sup>	0.200 m <sup>3</sup>
Agregado grueso seco	0.372 m <sup>3</sup>	0.372 m <sup>3</sup>	0.372 m <sup>3</sup>
Agregado fino seco	0.315 m <sup>3</sup>	0.298 m <sup>3</sup>	0.272 m <sup>3</sup>

La cantidades de materiales por metro cúbico de concreto para cada diseño son:

MATERIAL	M E Z C L A S		
	1	2	3
Cemento	307.7 Kg.	363.6 Kg.	444.4 Kg.
Agregado fino húmedo	832 Kg.	788 Kg.	719 Kg.
Agregado grueso húmedo	1025 Kg.	1025 Kg.	1025 Kg.
Agua	212.8 Kg.	212.1 Kg.	211.9 Kg.

Las proporciones en peso para cada una de las mezclas son:

<u>MEZCLAS</u>	<u>PROPORCIONES</u>	<u>AC EFECTIVA</u>
1	1 ; 2.7 : 3.3	0.69
2	1 : 2.2 : 2.8	0.58
3	1 : 1.6 : 2.3	0.48

-----

## CAPITULO III

### ENSAYOS EN CONCRETO FRESCO

El control del concreto fresco tiene la finalidad de predecir su calidad, reflejando de manera singular los factores de heterogeneidad, y así poder establecer su capacidad para adoptar las formas propuestas.

Los ensayos realizados son los siguientes:

- Peso unitario
- Asentamiento
- Contenido de aire

#### 3.1 PESO UNITARIO - NORMA ASTM C138 - 63

Es un ensayo que nos permite conocer el grado de densidad de un concreto, éste se encuentra básicamente ligado a la gravedad específica del agregado, de la cantidad de aire atrapado y de las propiedades que determinan la cantidad de agua necesaria para el mezclado.

Los pesos unitarios del concreto antes de su fragua, nos permiten formarnos una idea inmediata de su composición granulométrica y de la compactación del concreto. Nos da una base para la determinación exacta de la canti-

dad de materiales que entran en la fabricación de  $1 \text{ m}^3$  de concreto.

El ensayo tiene un procedimiento que consiste en llenar un recipiente de volumen y peso conocido, con el concreto en estado fresco en 3 capas, consolidando cada capa con 25 golpes de una varilla de  $5/8''$  uniformemente distribuidos, luego el peso unitario se hallará dividiendo el peso neto del concreto entre el volumen del recipiente.

#### Resultados

##### Mezcla 1

Concreto relación agua/cemento	=	0.65
Peso del recipiente + Peso del concreto	=	42.450 Kg.
Peso del recipiente	=	9.200 Kg.
Peso del concreto	=	33.250 Kg.
Volumen del recipiente $1/2 \text{ pie}^3$	=	$0.014158 \text{ m}^3$
Constante $1/0.014158$		$70.63 \text{ 1/m}^3$
Peso unitario $70.63 \times 33.250$	=	$2348.4 \text{ Kg/m}^3$

##### Mezcla 2

Concreto relación agua/cemento		0.55
Peso del recipiente + Peso del concreto	=	42.600 Kg.
Peso del recipiente		9.200 Kg.
Peso del concreto	=	33.400 Kg
Volumen del recipiente $1/2 \text{ pie}^3$	=	$0.014158 \text{ M}^3$
Constante	=	$70.63 \text{ 1/m}^3$
Peso unitario $70.63 \times 33.400 = 2359$		$\text{Kg/m}^3$

### Mezcla 3

Concreto relación agua/cemento	=	0.45
Peso del recipiente + Peso del concreto	=	42.700 Kg.
Peso del recipiente	=	9.200 Kg.
Peso del concreto	=	33.500 Kg.
Volumen del recipiente 1/2 pie <sup>3</sup>	=	0.014158 m <sup>3</sup>
Constante 1/0.014158	=	70.63 1/m <sup>3</sup>
Peso unitario 70.63 x 33.500	=	2366.1 Kg/m <sup>3</sup>

## 3.2 ASENTAMIENTO - NORMA ASTM C 143 - 69

Conocido corrientemente bajo el nombre "slumptest" fué publicado por el ASTM en 1922 y adoptado como norma - el año de 1939.

Este ensayo es conocido también como ensayo del Cono de Abrams y nos dá una medida directa de la consistencia y la trabajabilidad requerida para una adecuada colocación del concreto. Es un ensayo de fácil ejecución y su uso es una exigencia en todas las obras; sin embargo, no deberá emplearse cuando se esté utilizando agregado grueso mayor de 2" ni cuando las mezclas sean fluídas o tengan una consistencia seca.

El aparato consiste en un molde tronco cónico, metálico, que tiene las siguientes dimensiones:

Diámetro de la base superior	:	4"
Diámetro de la base inferior	:	8"
Altura de tronco del cono	:	12"

El ensayo consiste esencialmente en llenar el cono de Abrams en tres capas, aplicando una compactación en cada capa con 25 golpes de una varilla de 5/8", hasta enrasar el molde; luego se retira el molde verticalmente y se mide el descenso de la mezcla respecto a la altura del molde

Este ensayo se realizó inmediatamente después de cada tanda de vaciado y los resultados fueron en promedio para cada tipo de diseño los siguientes:

Mezcla 1

Asentamiento promedio            3 1/8"

Mezcla 2

Asentamiento promedio            3 1/4"

Mezcla 3

Asentamiento promedio            3"

### 3.3      CONTENIDO DE AIRE

El propósito de este ensayo es llevar el control de aire en el concreto fresco, ya que el contenido de aire atrapado o intencionalmente incorporado tienen gran influencia en la calidad del concreto.

El aire cuando es expresamente incorporado deberá serlo en concretos que van a estar en estructuras expuestas a ciclos de congelación y deshielos o sometidas a la acción del agua de mar.

El aire presente en los vacíos de la pasta de un

concreto en estado fresco puede tener su origen en:

- Aire que en un principio estuvo en los espacios del agregado y cemento, pero que luego se depositó en la pasta de concreto cuando estaba en estado fresco.
- Aire originalmente presente en los espacios intergranulares del cemento y agregados.
- Aire originalmente disuelto en el agua de la mezcla.
- Aire incorporado al concreto durante los procesos de mezcla y colocación.

El equipo usado en este ensayo, es el desarrollado por la Washington State Highway Commission, el cual mide la cantidad de aire basado en el método de presión, éste equipo no está influenciado por los cambios de presión barométrica y sólo requiere de una calibración mientras el manómetro se está ajustando; este aparato da directamente el porcentaje de aire.

Los resultados obtenidos en los ensayos fueron:

MEZCLA	<u>PORCENTAJE DE AIRE</u>
1	1.52%
2	1.28%
3	1.40%

## CONCLUSIONES

Se notará por los resultados encontrados en los ensayos de peso unitario, que los valores están en un rango aceptable en comparación con el valor promedio conocido de  $2400 \text{ Kg/m}^3$ . Además se nota que conforme el valor de la relación agua/cemento disminuye el valor del peso unitario del concreto aumenta; esto es como consecuencia que el porcentaje de cemento aumenta cuando dicha relación disminuye.

Los valores de asentamiento se consideran normales desde que se partió con esa condicionante en el diseño de las mezclas.

El porcentaje de aire atrapado encontrado para cada muestra, es un valor muy cercano al valor asumido que nos da la Tabla 5.2.3 del Comité 211 - 70 del ACI.

----

## CAPITULO IV

### ENSAYOS DE CONCRETO ENDURECIDO

Los ensayos en concreto endurecido son una medida de control y los resultados serán satisfactorios según el control efectuado en la preparación, dosificación y vaciado del concreto ya sea en el laboratorio o en obra. Otro de los factores incidentes en el buen logro de un concreto es el curado al que debe estar sometido ya sea una muestra o un elemento de concreto.

#### 4.1 RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL CONCRETO

La resistencia del concreto es considerada comúnmente como la propiedad más característica del concreto, aunque en algunos casos otras propiedades sean más importantes, tales como la impermeabilidad, resistencia al desgaste, etc., sin embargo todas ellas están en mayor o menor grado ligadas a la resistencia.

En la ingeniería práctica, la resistencia de un concreto de una edad determinada y curado en forma normal se asume que depende principalmente de dos factores: relación agua-cemento y grado de compactación. La relación -

agua-cemento determina la porosidad del concreto endurecido y en consecuencia la relación a/c y el grado de compactación, afectan ambos el volumen de vacíos en el concreto.

En particular la resistencia del concreto depende del grado de hidratación del cemento, de sus propiedades físicas y químicas. Por tanto es más correcto relacionar la resistencia del concreto, a la concentración de los productos sólidos de hidratación del cemento en el espacio válido para esos productos.

Los agregados, desde que ocupan un volumen equivalente aproximadamente al 75% de la masa del concreto, también juegan un papel importante en la resistencia del concreto; teniendo gran importancia la adherencia que se desarolla entre la pasta y el agregado, esta adherencia está influenciado por la textura superficial y la limpieza del agregado. Una superficie de textura rugosa se adhiere meJOR que una superficie lisa o suave.

Otro de los factores incidentes en el logro de una resistencia deseada en el concreto es el curado al que deben estar sometidos los especímenes. La hidratación del cemento depende de la presencia del agua necesaria para este proceso. El curado es sumamente importante en los primeros días, por lo general en los 7 primeros días dependiendo además de las condiciones climáticas y del tipo de estructuras.

En el presente trabajo se realizarón pruebas a com

presión sometidas a dos tipos de curado: Normal o por inmersión de los especímenes en agua y Acelerado o por agua en ebullición.

## 4.2 CURADO DEL CONCRETO

El concreto al momento de ser colocado en las formas, contiene el agua suficiente para lograr la hidratación del cemento. Pero generalmente ocurre pérdida de esta agua, ya sea por evaporación, por escurrimiento entre los espacios de las formas, etc., impidiéndose de este modo la completa hidratación del cemento.

El curado tiene por objeto mantener el concreto saturado o tan saturado como sea posible de agua. La necesidad del curado parte del hecho que la hidratación del cemento, puede realizarse en presencia de capilares llenos de agua; es por ello que cualquier pérdida de humedad por evaporación u otro factor deberá impedirse, la pérdida interna por autodesecación se reemplazará por agua proveniente del exterior.

Como complemento al proceso de curado deberá mantenerse la temperatura del concreto a un grado requerido a través del conjunto de la estructura y por un tiempo requerido; así como también protegerlo contra impacto, cargas u otras alteraciones mecánicas.

En el laboratorio se efectúa el curado de los especímenes por inmersión de los mismos en agua a una temperatura

tura que es la del medio ambiente y durante el tiempo necesario para someter las muestras a la rotura.

### 4.3 CURADO MEDIANTE AGUA EN EBULLICION

Este método de curado se está empleando en obras de gran magnitud, para la determinación y predicción de la resistencia a los 28 días, también se emplea en la fabricación de elementos de concreto con la finalidad de acelerar el desarrollo de las resistencias iniciales.

La razón fundamental de esta forma de curado es la predicción de la resistencia en forma acelerada. Otro de los propósitos íntimamente ligado con la economía es el de poder cambiar o modificar un diseño de mezclas si esta no ha llegado a alcanzar la resistencia prevista y evitar tener que esperar los 28 días que son tomados como base para determinar el  $f'c$  de cualquier concreto.

Este método se encuentra todavía en proceso de estudio realizándose experiencias en diferentes partes del mundo.

Muchos de estos trabajos se han realizado en Canadá, Inglaterra, Francia, Japón, etc., donde generalmente se han utilizado probetas herméticamente cerradas y expuestas al agua en ebullición con sus respectivos moldes.

En el presente trabajo se ha sometido las probetas al curado acelerado sin sus moldes. Igualmente se modificó el tiempo de curado al aplicar agua en ebullición por

un tiempo de 2 horas en vez de 3.5 horas que es el tiempo más utilizado, en este tipo de curado; en otros países, en resumen el procedimiento es el siguiente:

- El día anterior al fijado para comenzar los ensayos con el equipo, éste debe llenarse con agua hasta una altura determinada según el número de probetas a ensayar. Es recomendable calentar el equipo hasta que el agua hierva y mantenerlo de esta manera por un tiempo mínimo de una hora. Este proceso nos asegura que al día siguiente se encuentre el equipo en una temperatura que fluctúa entre 49°C y 55°C. Ese mismo día entre las 9.00 y 10.00 a.m. se debe proceder al llenado de las probetas que serán sometidas a curado en el equipo el día siguiente
- El día del ensayo debe verificarse que el volumen de agua sea tal que al introducirse las canastillas con las probetas éstas resulten cubiertas por lo menos 6 cm. de agua. Luego de introducir las probetas se debe proceder a conectar las cuatro resistencias, debiendo permanecer así hasta que se alcance la temperatura deseada pudiendo a partir de ese momento desconectarse una de las llaves de 30 Amp. que controla dos resistencias.
- Se preparó en cada día de vaciado dos tandas de concreto, de cada tanda se vació seis probetas, tres de las cuales eran para el curado intensivo y las restantes para curado a los 28 días.
- Las probetas sometidas a curado intensivo estaban duran

dos horas sometidas a 100°C, estando el agua en plena ebullición, sin embargo, éstas probetas fuerón colocadas en el recipiente cuando la temperatura del mismo era entre 49 a 55°C. Este lapso de tiempo entre el colocado de las muestras y el momento de empezar la ebullición generalmente era entre 2 horas 50 minutos a 3.00 horas, lo que en total hace un tiempo de 4 horas 50 minutos a 5 horas.

- Cuando las probetas estén dentro del equipo se debe colocar la tapa en forma de campana y bloquearse la parte superior de ésta, de esa manera se acelera el tiempo en alcanzar la temperatura deseada. Una vez alcanzada la temperatura se debe cada 30 minutos desbloquearse por espacio de unos segundos la parte superior de la tapa
- Concluído el tiempo de curado se debe proceder a desconectar las resistencias, sacar la tapa en forma de campana y esperar por unos minutos antes de proceder a sacar las muestras. Realizado ya el proceso de remoción se debe nuevamente tapar el equipo de modo de poder conservar todo el calor posible para los ensayos el día siguiente.
- Las probetas extraídas del equipo de curado se llevan a un proceso de enfriado, por diferencia de temperatura con el medio ambiente, para luego de aproximadamente 1 hora con 30 minutos de enfriado proceder al pesado y medición y su rotura en la máquina de compresión.

#### 4.3.1 HORARIO DE TRABAJO

8,00 horas conectado de resistencias, se procede al desmoldeo de las probetas, colocando 6 para el curado intensivo y las otras 6 restantes al curado normal.

8 h. 15 m. a 8 h. 20 m. se procede a colocar las probetas en el interior del equipo. Luego se inicia el pesado de los elementos constitutivos del concreto.

9 h. a 9 h. 45 m. vaciado de las probetas a emplear el día siguiente, realizando al inicio del vaciado una prueba de asentamiento.

11 h. 5 m. a 11 h. 15 m. inicio del período de hervor (temperatura de 100°C), se desconecta una de las llaves de 30 Amp.

13 h. 5 m. a 13 h. 15 m. apagado de las resistencias. Se retira el bloqueo de la campana.

13 h. 10 m. a 13 h. 20 m. se procede a extraer las muestras. Inicio del período de enfriamiento.

14 h. 40 m. medición y pesado de las probetas.

14 h. 55 m. inicio del ensayo de compresión.

4.4 RESULTADO DE ENSAYOS DE COMPRESION DE PROBETAS SOME -  
TIDAS A CURADO ACELERADO.

4.4.1 MEZCLA 1 Relación : Agua/cemento = 0.65

No.	FECHA VACIADO	FECHA ROTURA	PESO (KG.)	DIAM (CM.)	CARGA (KG.)	RESISTENCIA (KG/CM <sup>2</sup> )		
1	8-4-81	9-4-81	13.855	15.40	24,200	130.11		
2			13.398	15.25	22,800	124.59		
3			13.220	15.20	23,000	127.07		
7			13.530	15.30	25,400	138.04		
8			13.470	15.30	23,000	125.00		
9			13.250	15.20	23,800	131.49		
13			9-4-81	10-4-81	13.430	15.10	21,000	117.32
14					13.390	15.15	20,200	112.22
15					13.115	15.20	23,200	128.18
19	13.025	15.00			19,800	111.86		
20	13.090	15.00			21,200	119.77		
21	13.170	15.10			20,800	116.20		
25	13-4-81	14-4-81			13.330	15.20	22,700	125.41
26			13.515	15.20	20,000	110.50		
27			13.100	15.10	21,900	122.35		
31			13.145	15.10	24,200	135.20		
32			13.095	15.10	21,000	117.32		
33			13.075	15.15	22,900	127.22		
37			14-4-81	15-4-81	13.350	15.10	21,800	121.79
38	13.280	15.20			20,600	113.81		
39	13.140	15.10			20,200	112.85		
43	13.080	15.10			24,200	135.20		
44	13.740	15.40			23,200	124.73		
45	13.050	15.10			24,000	134.08		
49	20-4-81	21-4-81			13.280	15.20	22,600	124.86
50			13.285	15.25	22,400	122.40		
51			13.060	15.05	22,100	124.16		
55			13.080	15.10	23,300	130.17		
56			13.020	15.10	22,200	124.02		
57			13.140	15.10	23,900	133.52		

4.4.2 MEZCLA 2

RELACION : AGUA/CEMENTO = 0.55

No.	FECHA VACIADO	FECHA ROTURA	PESO (KG.)	DIAM. (CM.)	CARGA (KG.)	RESISTENCIA (KG/CM <sup>2</sup> )		
1	21-4-81	22-4-81	13.320	15.10	29,800	166.48		
2			13.380	15.10	26,800	149.72		
3			13.170	15.10	28,500	159.22		
7			13.165	15.10	28,300	158.10		
8			13.220	15.15	26,600	147.78		
9			13.115	15.10	25,400	141.90		
13			22-4-81	23-4-81	13.420	15.20	29,400	162.43
14					13.480	15.30	30,000	163.04
15					13.170	15.00	26,800	151.41
19	13.210	15.10			28,100	156.98		
20	13.200	15.10			27,000	150.84		
21	13.130	15.10			28,000	156.42		
25	23-4-81	24-4-81			13.320	15.30	30,900	167.03
26			13.370	15.30	30,100	163.59		
27			13.763	15.50	29,700	157.98		
31			13.235	15.00	28,500	161.02		
32			13.155	15.05	27,100	152.25		
33			13.147	15.10	26,500	148.04		
37			27-4-81	28-4-81	13.550	15.35	29,800	161.08
38	13.505	15.20			29,400	162.43		
39	13.905	15.40			30,000	161.02		
43	13.168	15.10			28,200	157.54		
44	13.190	15.10			26,600	148.60		
45	13.185	15.05			28,600	160.67		
49	28-4-81	29-4-81			13.500	15.15	30,100	167.22
50			13.520	15.20	29,500	162.98		
51			13.230	15.00	29,500	166.67		
55			13.100	15.10	28,800	160.89		
56			13.180	15.10	31,000	173.18		
57			13.100	15.00	29,800	168.36		

4.4.3 MEZCLA 3 RELACION : AGUA/CEMENTO = 0.45

No.	FECHA VACIADO	FECHA ROTURA	PESO (KG.)	DIAM. (CM.)	CARGA (KG.)	RESISTENCIA (KG/CM <sup>2</sup> )		
1	4-5-81	5-5-81	13.350	15.20	34,400	190.06		
2			13.310	15.10	35,800	200.00		
3			13.235	15.15	35,100	195.00		
7			13.045	15.10	33,000	184.36		
8			13.140	15.15	32,600	181.11		
9			13.685	15.40	32,800	176.34		
13			5-5-81	6-5-81	13.620	15.20	31,300	172.93
14					13.780	15.25	34,600	189.07
15					13.680	15.15	35,500	197.22
19	13.440	15.10			34,600	193.30		
20	13.330	15.10			33,300	186.03		
21	13.360	15.10			32,000	178.77		
25	6-5-81	7-5-81			13.500	15.30	35,000	190.22
26			13.510	15.30	33,500	182.07		
27			13.900	15.45	34,600	185.03		
31			13.175	15.20	33,700	186.19		
32			13.110	15.15	33,500	186.11		
33			13.150	15.20	33,300	183.98		
37			7-5-81	8-5-81	13.395	15.20	38,000	209.94
38	13.885	15.45			38,600	206.42		
39	13.470	15.20			36,000	198.90		
43	13.100	15.20			38,500	212.71		
44	13.120	15.10			37,100	207.26		
45	13.190	15.20			37,200	205.52		
49	11-5-81	12-5-81			13.500	15.15	32,700	181.67
50			13.510	15.20	33,800	186.74		
51			13.900	15.10	31,200	174.30		
55			13.180	15.10	33,000	184.36		
56			13.220	15.10	33,600	187.71		
57			13.805	15.40	34,000	182.80		

4.5 RESULTADO DE ENSAYOS A COMPRESION DE PROBETAS  
SOMETIDAS A CURADO NORMAL.

4.5.1 MEZCLA 1 RELACION : AGUA/CEMENTO = 0.65

No.	FECHA VACIADO	FECHA ROTURA	PESO (KG.)	DIAM. (CM.)	CARGA (KG.)	RESISTENCIA KG/CM <sup>2</sup>		
4	8-4-81	6-5-81	13,760	15,15	39,000	216,67		
5			13,385	15,00	37,800	213,56		
6			13,440	15,10	38,400	214,53		
10			13,695	15,20	40,100	221,55		
11			13,700	15,20	37,500	207,18		
12			13,380	15,05	39,700	223,03		
16	9-4-81	7-5-81	13,640	15,30	35,200	191,30		
17			13,620	15,20	34,400	190,06		
18			13,395	15,20	39,600	218,78		
22			13,460	15,20	34,800	192,27		
23			13,335	15,20	39,000	215,47		
24			13,305	15,15	37,700	209,44		
28			13-4-81	11-5-81	13,570	15,40	38,800	208,60
29	13,590	15,35			38,100	205,95		
30	13,370	15,20			37,500	207,18		
34	13,260	15,15			40,700	226,11		
35	13,300	15,15			40,800	226,67		
36	13,290	15,15			41,500	230,56		
40	14-4-81	12-5-81			13,620	15,25	38,600	210,93
41					13,465	15,20	38,400	212,15
42			13,270	15,05	36,000	202,25		
46			13,225	15,10	39,700	221,79		
47			13,365	15,10	40,800	227,93		
48			13,295	15,10	34,000	189,94		
52			20-4-81	18-5-81	13,555	15,15	41,700	231,67
53					13,525	15,20	41,200	227,62
54	13,310	15,05			38,800	217,98		
58	13,300	15,10			43,300	241,90		
59	13,295	15,05			38,500	216,29		
60	13,930	15,40			42,900	230,65		

4.5.2 MEZCLA 2 RELACION : AGUA/CEMENTO = 0,55

No.	FECHA VACIADO	FECHA ROTURA	PESO (KG.)	DIAM. (CM.)	CARGA (KG.)	RESISTENCIA (KG/CM <sup>2</sup> )
4	21-4-81	19-5-81	13,485	15,25	41,000	224,04
5			13,630	15,30	49,400	268,48
6			13,490	15,30	44,000	239,13
10			13,385	15,20	46,900	259,12
11			13,490	15,20	44,100	243,65
12			13,375	15,20	44,700	246,96
16	22-4-81	20-5-81	13,620	15,25	46,800	255,74
17			13,485	15,15	46,700	259,44
18			13,360	15,10	44,400	248,04
22			13,440	15,10	46,600	260,34
23			13,410	15,10	43,900	245,25
24			13,405	15,10	44,900	250,84
28	23-4-81	21-5-81	13,555	15,20	48,500	267,96
29			13,460	15,15	49,300	273,89
30			13,330	15,00	46,000	259,89
34			13,385	15,15	44,000	244,44
35			13,435	15,10	45,300	253,07
36			13,425	15,10	47,400	264,80
40	27-4-81	25-5-81	13,305	15,40	47,600	265,92
41			13,260	15,10	49,300	273,89
42			13,270	15,15	46,100	258,99
46			13,740	15,10	48,600	268,51
47			13,565	15,05	46,600	257,46
48			13,460	15,00	47,400	263,33
52	28-4-81	26-5-81	13,995	15,40	49,500	266,13
53			13,460	15,10	48,500	270,95
54			13,550	15,15	44,900	249,44
58			13,280	15,10	49,200	274,86
59			13,270	15,05	48,200	270,79
60			13,335	15,00	48,200	272,32

4.5.3 MEZCLA 3 RELACION : AGUA/CEMENTO = 0.45

No.	FECHA VACIADO	FECHA ROTURA	PESO (KG.)	DIAM. (CM.)	CARGA (KG.)	RESISTENCIA (KG/CM <sup>2</sup> )
4	4-5-81	1-6-81	13,595	15,30	55,400	301.09
5			13,565	15,30	57,400	311.96
6			13,375	15,20	56,600	312.71
10			13,225	15,10	57,800	322.91
11			13,275	15,10	52,000	290.50
12			13,310	15,10	54,300	303.35
16	5-5-81	2-6-81	13,615	15,25	57,600	314.75
17			13,565	12,25	56,800	310.38
18			13,325	15,15	53,400	296.67
22			13,350	15,25	52,400	286.34
23			13,295	15,15	53,800	298.89
24			13,360	15,20	51,700	285.64
28	6-5-81	3-6-81	13,660	15,20	52,200	288.40
29			13,595	15,20	52,800	291.71
30			13,475	15,00	50,600	285.88
34			13,295	15,10	51,500	287.71
35			13,305	15,10	52,000	290.50
36			13,315	15,10	55,100	307.82
40	7-5-81	4-6-81	13,595	15,15	54,800	304.44
41			13,530	15,15	57,700	320.56
42			13,345	15,05	58,000	325.84
46			13,290	15,05	53,200	298.88
47			13,300	15,10	53,800	300.56
48			13,315	15,10	55,400	309.50
52	11-5-81	8-6-81	13,680	15,25	51,100	279.23
53			13,600	15,20	57,600	318.23
54			13,380	15,10	55,200	308.38
58			13,375	15,10	50,000	279.33
59			13,365	15,10	55,000	307.26
60			13,390	15,10	54,900	306.70

## 4.6 EVALUACION DEL GRADO DE CONTROL

El grado de control ejercido en obra es evaluado utilizando las probetas de ensayo sometida a compresión, las cuales son representativas de aquellas colocadas en las estructuras y fija los resultados en términos del coeficiente de variación.

Este coeficiente de variación es el que da un índice del nivel técnico con que trabaja una compañía. Su cálculo depende de la desviación standard y de la resistencia promedio de las muestras.

De estudios estadísticos y de la experiencia, se han llegado a establecer ciertos valores de los coeficientes de variación que indican el tipo de control que se tiene. A continuación presentamos una Tabla donde se indican los coeficientes de variación para laboratorio.

COEFICIENTE DE VARIACION (V)	CALIFICACION
0 - 5	Excelente
5 - 7	Bueno
7 - 10	Regular
Más de 10	Mal

Para evaluar al coeficiente de variación se tiene :

$$V = \frac{S}{X} \times 100$$

Donde :

V = Coeficiente de variación expresado en porcenta -  
je.

S = Desviación standard

X = Promedio de todas las muestras

La desviación standard se calcula por la siguiente -  
expresión :

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{n}} \quad \text{para } n \text{ mayor o igual a } 30$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{n - 1}} \quad \text{para } n \text{ menor de } 30$$

El valor promedio de las muestras se calcula con la  
siguiente expresión :

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n}{n}$$

En estas expresiones :

S = Desviación standard

$\bar{X}$  = Promedio de los valores de las muestras

X = Valor de cada muestra

n = Número de muestras

Los resultados encontrados para cada diseño y cada -  
tipo de curado se muestran a continuación :

**MEZCLA 1**

Curado Acelerado

$$n = 30$$

$$\bar{X} = 124 \text{ Kg/cm}^2$$

$$S = 7.50 \text{ Kg/cm}^2$$

$$C.V = 6.05 \%$$

Curado Normal

$$n = 30$$

$$\bar{X} = 215 \text{ Kg/cm}^2$$

$$S = 12.97 \text{ Kg/cm}^2$$

$$C.V = 6.03 \%$$

**MEZCLA 2**

Curado Acelerado

$$n = 30$$

$$\bar{X} = 158.9 \text{ Kg/cm}^2$$

$$S = 7.22 \text{ Kg/cm}^2$$

$$C.V = 4.54 \%$$

Curado Normal

$$n = 30$$

$$\bar{X} = 258.6 \text{ Kg/cm}^2$$

$$S = 11.96 \text{ Kg/cm}^2$$

$$C.V = 4.62 \%$$

**MEZCLA 3**

Curado Acelerado

$$n = 30$$

$$\bar{X} = 189.9 \text{ Kg/cm}^2$$

$$S = 10.47 \text{ Kg/cm}^2$$

$$C.V = 5.51 \%$$

Curado Normal

$$n = 30$$

$$\bar{X} = 301.5 \text{ Kg/cm}^2$$

$$S = 12.72 \text{ Kg/cm}^2$$

$$C.V = 4.22 \%$$

## CONCLUSIONES

Del estudio de los resultados de las probetas ensayadas a compresión se ha podido comprobar que el principio de la relación agua-cemento se cumple plenamente, es decir, que conforme se disminuye el valor de la relación agua-cemento se incrementa el valor de la resistencia.

El emplear agua en ebullición con un medio para acelerar la resistencia, se debe al hecho de que en todas las reacciones químicas del cemento, la temperatura tiene un efecto importante sobre el volumen de productos de hidratación. Un incremento en la temperatura hace que se incremente la velocidad inicial de la reacción química de hidratación del cemento y por lo tanto incrementa el porcentaje de gel presente en las primeras edades lo que a su vez incrementa la resistencia inicial del concreto.

Que los porcentajes encontrados entre las resistencias para las dos formas de curado en los tres diferentes diseños de mezcla son:

Mezcla 1 : Curado acelerado 57.7 % del curado de 28 días  
Mezcla 2 : Curado acelerado 61.4 % del curado de 28 días  
Mezcla 3 : Curado acelerado 63.0 % del curado de 28 días

Estos porcentajes encontrados son elevados si tomamos como elemento comparativo la prueba que realizó en este mismo equipo su diseñador el Ing. A. Fux B. quien para un concreto de  $210 \text{ Kg/cm}^2$  encontró una relación porcentual de 54%.

Se anotará que el tiempo, empleado en el proceso - intensivo, desde el momento de la preparación de la mezcla al momento de la rotura de las probetas, fué de 28.5 h. a 29 h.

De la tabla de coeficientes de variación para laboratorios notamos que nuestros resultados se encuentran en los siguientes calificativos:

<u>Mezcla 1</u>	C. Acelerado	:	Bueno
	C. de 28 días	:	Bueno
Mezcla 2	C. Acelerado	:	Excelente
	C. de 28 días	:	Excelente
Mezcla 3	C. Acelerado	:	Bueno
	C. de 28 días	:	Excelente

Se notara también que los valores de los coeficientes de variación son en cada tipo de mezcla casi iguales lo que se interpretaría estadísticamente como resultados de una misma población, que ha sido sometido a procesos diferentes de curado.

## CAPITULO V

### DETERMINACION DE LAS CURVAS DE RELACION

En este capítulo trataremos de encontrar la correlación de la variación conjunta de las resistencias a compresión de dos formas de curado del concreto, estas variaciones no están restringidas por el que hace el experimento.

#### 5.1 AJUSTE DE LAS CURVAS DE REGRESION POR EL METODO DE MINIMOS CUADRADOS

Para determinar la ecuación que relacione las dos variables, que son datos obtenidos de los dos procesos de curado, donde:

X = Valor de la resistencia de probetas sometidas a curado intensivo.

Y = Valor de la resistencia de probetas sometidas a curado a los 28 días.

Estos datos se representan en un sistema de coordenadas rectangulares cuyos puntos resultantes se denominarán diagrama de disposición, este diagrama nos servirá para determinar la curva que se aproxima a nuestros datos ; en este caso parece que se trata de una hipérbola o de -

una parábola, esta curva se denomina curva de aproximación.

A esta Curva de Aproximación se va aplicar el método de mínimos cuadrados para determinar la mejor curva de ajuste.

El método de mínimos cuadrados se define: De todas las curvas de aproximación a una serie de datos puntuales la curva que tiene la propiedad de que:

$$D_1^2 + D_2^2 + D_3^2 + \dots + D_N^2 \text{ es mínimo}$$

Donde la expresión arriba anotada es : La suma de los cuadrados de las desviaciones verticales con respecto a la mejor curva de ajuste.

Una curva que presente esta propiedad se dice que se ajusta a los datos por mínimos cuadrados y se llama curva de regresión.

La ecuación de la curva es de la forma:

$$Y' = A_1 + A_2 X' \tag{1}$$

Donde los valores de  $A_1$  y  $A_2$  se determinan resolviendo el sistema de ecuaciones:

$$\begin{aligned} 1. \quad & y' = A_1 N + A_2 x' \\ 2. \quad & X' Y' = A_1 X' + A_2 X'^2 \end{aligned}$$

Donde los valores de  $X'$  y de  $Y'$  son:

$$X' = 1/X$$

$$Y' = 1/Y$$

Y la ecuación planteada corresponde a la ecuación normal de una hipérbola de mínimos cuadrados; y los valores de X e Y representan los datos de las dos maneras de curado empleados en los experimentos.

X = Resistencia de probetas sometidas a curado intensivo.

Y = Resistencia de probetas sometidas a curado de 28 días.

La estimación de la variable Y a partir de X se denomina Curva de Regresión de Y sobre X.

### Correlación

Es el grado de relación existente entre las dos variables para este caso entre X e Y. Este grado de relación viene expresado por el Coeficiente de Correlación "r" que se puede calcular a partir de la ecuación de la curva dada por:

$$Y' = m X' + b \quad \text{donde } m = A_2 \text{ y } b = A_1$$

Esta expresión la podemos escribir en términos de  $S_{x'}$ ,  $S_{y'}$ ,  $\bar{X}'$ ,  $\bar{Y}'$  y de r, la ecuación de la curva quedará descrita en la siguiente forma:

$$Y' - \bar{Y}' = \frac{r S_{y'}}{S_{x'}} (X' - \bar{X}')$$

De la expresión

$$m = \frac{r S_{Y'}}{S_{X'}} \quad \text{De donde} \quad r = \frac{m S_{X'}}{S_{Y'}} \quad \text{y .}$$

$r$  = Coeficiente de correlación

$m$  =  $A_2$  encontrado de la resolución de (I)

$S_{X'}$  = Desviación standard de los valores de  $X'$

$S_{Y'}$  = Desviación standard de los valores de  $Y'$

Los valores del coeficiente de correlación varía - entre -1 a +1.

A continuación presentaremos la Tabla de valores - para el cálculo de la curva de regresión y del coeficiente de correlación.

TABLA DE VALORES PARA EL CALCULO DE LA ECUACION DE REGRESION  
Y DEL COEFICIENTE DE CORRELACION \*

n	X	Y	X' = 1/X	Y' = 1/Y
1	130.11	216.67	0.007686	0.004615
2	124.59	213.56	0.008026	0.004683
3	127.07	214.53	0.007870	0.004661
4	138.04	221.55	0.007244	0.004514
5	125.00	207.18	0.008000	0.004827
6	131.49	223.03	0.007605	0.004484
7	117.32	191.30	0.008524	0.005227
8	112.22	190.06	0.008911	0.005261
9	128.28	218.78	0.007802	0.004571
10	111.86	192.27	0.008940	0.005201
11	119.77	215.47	0.008349	0.004641
12	116.20	209.44	0.008606	0.004775
13	125.41	208.60	0.007974	0.004794
14	110.50	205.95	0.009050	0.004856
15	122.35	207.18	0.008173	0.004827
16	135.20	226.11	0.007396	0.004423
17	117.32	226.67	0.008524	0.004412
18	127.22	230.56	0.007860	0.004337
19	121.79	210.93	0.008211	0.004741
20	113.81	212.15	0.008787	0.004714
21	112.85	202.25	0.008861	0.004944
22	135.20	221.79	0.007396	0.004509
23	124.73	227.93	0.008017	0.004387
24	134.08	189.94	0.007458	0.005265
25	124.86	231.67	0.008009	0.004316
26	122.40	227.62	0.008170	0.004393
27	124.16	217.98	0.008054	0.004588
28	130.17	241.90	0.007682	0.004134
29	124.02	216.29	0.008063	0.004623
30	133.52	230.65	0.007490	0.004336
31	166.48	224.04	0.006007	0.004463
32	149.72	268.48	0.006679	0.003725
33	159.22	239.13	0.006281	0.004182
34	158.10	259.12	0.006325	0.003859
35	147.78	243.65	0.006767	0.004104
36	141.90	246.96	0.007047	0.004049
37	162.43	255.70	0.006156	0.003910
38	163.04	259.44	0.006133	0.003854
39	151.41	248.04	0.006605	0.004032
40	156.98	260.34	0.006370	0.003841
41	150.84	245.25	0.006630	0.004077
42	156.42	250.84	0.006393	0.003987
43	167.93	267.96	0.005955	0.003732

44	163.59	273.89	0.006113	0.003651
45	157.98	259.89	0.006330	0.003848
46	161.02	244.44	0.006210	0.004091
47	152.25	253.07	0.006568	0.003951
48	148.04	264.80	0.006755	0.003776
49	161.08	265.92	0.006208	0.003761
50	162.43	273.89	0.006156	0.003651
51	161.29	258.99	0.006200	0.003861
52	157.54	268.51	0.006348	0.003724
53	148.60	257.46	0.006729	0.003884
54	160.67	263.33	0.006224	0.003798
55	167.22	266.13	0.005980	0.003758
56	162.98	270.95	0.006136	0.003691
57	166.67	249.44	0.006000	0.004009
58	160.89	274.86	0.006215	0.003638
59	173.18	270.79	0.005774	0.003693
60	168.36	272.32	0.005940	0.003672
61	190.06	301.09	0.005261	0.003321
62	200.00	311.96	0.005000	0.003206
63	195.00	312.71	0.005128	0.003198
64	184.36	322.91	0.005424	0.003097
65	181.11	290.50	0.005522	0.003442
66	176.34	303.35	0.005671	0.003297
67	172.93	314.75	0.005783	0.003177
68	189.07	310.38	0.005289	0.003222
69	197.22	296.77	0.005070	0.003371
70	193.30	286.34	0.005173	0.003492
71	186.03	298.89	0.005375	0.003346
72	178.77	285.64	0.005594	0.003501
73	190.22	288.40	0.005257	0.003467
74	182.07	291.71	0.005492	0.003428
75	185.03	285.88	0.005405	0.003498
76	186.19	287.71	0.005371	0.003476
77	186.11	290.50	0.005373	0.003442
78	183.98	307.82	0.005435	0.003249
79	209.94	304.44	0.004763	0.003285
80	206.42	320.56	0.004844	0.003120
81	198.90	325.84	0.005028	0.003069
82	212.71	298.88	0.004701	0.003346
83	205.52	309.50	0.004866	0.003231
84	207.26	300.56	0.004825	0.003327
85	181.67	279.23	0.005504	0.003581
86	186.74	318.23	0.005355	0.003142
87	174.30	308.98	0.005737	0.003243
88	184.36	279.33	0.005424	0.003580

89	187.71	307.26	0.005327	0.003255
90	182.80	306.70	0.005470	0.003261

\* Estos datos fueron procesados en una calculadora TI programmable 59 Texas Instruments.

Se obtuvo como resultado lo siguiente:

$$Y' = 0.45349 X' + 0.00098 \quad (II)$$

$$r = 0.9319$$

De la expresión (II), para poner la ecuación en términos de X e Y sabiendo que:

$$X' = 1/X \quad \text{e} \quad Y' = 1/Y \quad \text{en} \quad (II)$$

$$\frac{1}{Y} = 0.45349 \frac{1}{X} + 0.00098$$

$$Y = \frac{X}{0.45349 + 0.00098 X} \quad (III)$$

Luego la ecuación de la curva de regresión de Y sobre X y que nos relaciona el curado intensivo con el curado a 28 días está expresada por la ecuación (III) donde:

X = Resistencia a la compresión de probetas sometidas a curado intensivo.

Y = Resistencia a la compresión a los 28 días.

$A_1 = 0.00098$       Constantes para la resistencia acelerada en función de la resistencia a los 28 días.

$A_2 = 0.45349$

## CONCLUSIONES FINALES Y RECOMENDACIONES

Luego de haberse efectuado todos los ensayos previstos y llegar a determinar la ecuación de relación entre dos tipos de curado, uno acelerado a un tiempo de 28.5 a 29 horas y otro normal a 28 días, podemos decir que el proceso es tan solo una de las muchas variables a la que está sometido este método de curado. Método que aún se encuentra en etapa de estudio en diversos lugares del mundo, con el objeto de llegar a una estandarización en su aplicación y tal vez emplearse en cada lugar con ciertas modificaciones, de acuerdo a las necesidades y realidades del lugar.

Mediante el empleo de este método podemos predecir la resistencia a la compresión, a los 28 días, en un tiempo relativamente corto de 28.5 a 29 horas.

Los experimentos en este trabajo se realizaron utilizando Cemento Portland tipo IP marca "Sol" y agregados grueso y fino de la cantera de La Molina al final de las investigaciones y luego de aplicar el método de mínimos cuadrados, para el ajuste de la curva se obtuvo como resultado la siguiente ecuación:

$$Y = \frac{X}{0.45349 + 0.00098 X}$$

Donde:

Y = Resistencia a curado standard de 28 días, en Kg/cm<sup>2</sup>.

X = Resistencia a curado acelerado, Kg/cm<sup>2</sup>.

0.45349            Constantes para la resistencia acelerada en fun -  
0.00098            ción de la resistencia a curado estandar en 28  
                     días.

La ecuación encontrada, es consecuencia de la utilización en este proceso de investigación de un determinado tipo de cemento y una cierta calidad de agregados; por lo tanto la ecuación responde a las características de estos materiales, a sí como también a la duración del proceso de curado. Se hace pues necesario la continuación de este trabajo para poder determinar la real incidencia del cemento en sus diferentes tipos, de los agregados con sus variaciones en granulometría, ca lidad y cantidad, de la aplicación de los diferentes tipos de aditivos y las variaciones que se puedan hacer en el tiempo de curado. Deberá también investigarse los resultados en concretos de menores relaciones agua-cemento.

El tiempo de curado es recomendable mantenerlo constan te para que de ese modo se elimine una de las variables que afectan el método; para poder realizar los ensayos en un tiempo constante es necesario seguir un horario de trabajo y cumplirlo cada día.

El estudio de otras alternativas en este método de curado, nos dará nuevas ecuaciones y así poder determinar, para cada caso, en el campo práctico, qué ecuación utilizar.

El coeficiente de correlación obtenido es de 0.9318. Este coeficiente varía entre los límites +1 y -1, y cuando el valor absoluto es alto, nos señala relaciones estrechas, mientras que valores pequeños indican relaciones menos definidas; de este modo cuando el coeficiente de correlación es Uno, las variables siguen una línea recta y la relación es perfecta, en cambio si el coeficiente es Cero los puntos están esparcidos en todas las direcciones y las variables son independientes.

Desde el punto de vista práctico, creemos que aunque este método no sería el mejor, en el caso de curado de elementos prefabricados podría ser eventualmente usado.

Para el uso del equipo de curado intensivo se recomienda, sobre todo, verificar el estado de las resistencias y de los sistemas de aislamiento de las mismas (empaquetaduras) comprobando que no exista la posibilidad de que el agua se electrifique.

## BIBLIOGRAFIA

- L.J. Murdock : ELABORACION DEL CONCRETO Y SUS APLICACIONES, Ed. Continental - 1964.
- Rivva López, Enrique : INTRODUCCION AL DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO - UNI - Mayo de 1968.
- Mueras Orcón, Lucio : METODO ACELERADO PARA LA DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A COMPRESION DEL CONCRETO, Tesis de Grado, UNI.
- Biondi Shaw, Ana : INSPECCION DE OBRAS CIVILES, Curso, Colegio de Ingenieros del Perú.
- Leveratto Napan, Carlos : ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS RESISTENCIAS DEL CONCRETO PARA ENSAYOS DE COMPRESION SOMETIDOS A DIVERSOS TIPOS DE CURADO, Tesis de Grado, UNI
- Fux Barbieri, Alfredo : PROYECTO, REALIZACION Y PUESTA A PUNTO DE UN EQUIPO PARA LA DETERMINACION RAPIDA DE RESISTENCIAS A COMPRESION DEL CONCRETO, Tesis de Grado, UNI.
- Grf López, Alejandro y Zúñiga Barrera, Sergio : EVALUACION DE LOS ENSAYOS ACELERADOS EN EL CONTROL DE CALIDAD DEL CONCRETO, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, Set. - Oct. de 1969.
- Murray R. Spiegel : ESTADISTICA, Ed. Mc Graw-Hill, 1969, USA.
- Dixon y Massey : INTRODUCCION AL ANALISIS ESTADISTICO Mc Graw-Hill, 1966.