

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



**“ESTUDIO DE LA VARIABILIDAD DE LA RESISTENCIA  
DEL CONCRETO APLICANDO CURADOR QUÍMICO DE USO  
EXTERNO Y UTILIZANDO CEMENTO PORTLAND TIPO I”**

**TESIS**  
**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE**  
**INGENIERO CIVIL**

**MARINA JOVITA LAM LAU**

**LIMA - PERÚ**

**2005**

## RESUMEN

- En la presente tesis se estudia la variabilidad de la resistencia del concreto endurecido de mediana a baja resistencia (relaciones agua / cemento de 0.60, 0.65 y 0.70), elaborado con cemento Sol - Portland tipo I y curado con curador químico CURACEM; para lo cual se llevaron a cabo los siguientes tipos de curado de comparación: 1) Curado Patrón, por inmersión en agua, 2) Curado con aplicación de 2 capas de CURACEM, 3) Curado con aplicación de 1 capa de CURACEM y 4) Concreto expuesto al medio ambiente o sin curar.
- Para fines de estudio, se realizaron los siguientes ensayos:
  - a) *En concreto fresco.*- Peso Unitario, Consistencia, Tiempo de Fragua, Contenido de Aire y Exudación.
  - b) *En concreto endurecido.*- Resistencia a la Compresión, Resistencia a la tracción por Compresión Diametral y Módulo de Elasticidad Estático
- Los resultados de resistencia y Módulo Elástico del concreto curado con el curador químico en estudio, a la edad característica de 28 días, respecto del concreto patrón, fueron los siguientes:

La **Resistencia a la Compresión** del concreto curado con **2 capas** del curador químico fue de 92.3%, y del concreto curado con **1 capa** fue de 95.3%, lo que permite indicar que CURACEM tiene un comportamiento eficiente ya que se acerca a la resistencia del concreto patrón satisfactoriamente; siendo el curado de 1 capa el que presenta mejores resultados a edades menores o iguales a los 28 días, luego de los cuales es el concreto curado con 2 capas el que presenta una leve mejoría -a los 42 días- respecto del concreto curado con 1 capa (se ensayaron 189 probetas de concreto, 3 muestras por cada tipo de curado, para una misma relación a/c; salvo el ensayo a los 28 días, donde se ensayaron 6 muestras por cada tipo de curado, para una misma relación a/c).

La **Resistencia a la Tracción** (por compresión diametral) del concreto curado con el curador químico en estudio presenta un comportamiento aleatorio respecto del concreto patrón, por lo que se recomienda profundizar la investigación para relaciones agua / cemento diferentes a las de esta tesis; con la finalidad de determinar la tendencia en su comportamiento. Para las relaciones agua/cemento de 0.60, 0.65 y 0.70, el concreto curado con **2 capas** presentó una Resistencia a la Tracción - respecto del concreto patrón- igual a 84%, 112% y 84% respectivamente, y para el concreto curado con **1 capa** fue de 106%, 99% y 91%; ensayándose un total de 36 probetas de concreto (3 muestras por cada tipo de curado, para una misma relación a/c).

El **Módulo Elástico** del concreto curado con el curador químico en estudio presenta un comportamiento aleatorio respecto del concreto patrón: para las relaciones agua/cemento de 0.60, 0.65 y 0.70, el concreto curado con **2 capas** presentó un Módulo Elástico -respecto del concreto patrón- igual a 57%, 97% y 158% en cada relación a/c, y para el concreto curado con **1 capa** fue de 93%, 112% y 103%). Debido a que en la presente tesis este ensayo es complementario (adicional a la formación del profesional), solo se elaboraron 12 muestras (1 por cada tipo de curado y relación a/c); se recomienda profundizar la investigación en proyectos en los que el Módulo de Elasticidad del Concreto es un factor muy importante (p.e.: en edificios de gran altura, en estudios de estructuras y su capacidad de deformación, etc.).

- Finalmente, el costo y tiempo de aplicación del curador químico en estudio -comparado con el curado real que se da en obra a los muros verticales- es:

<b>Tipo de curado</b>	<b>% en costo</b>	<b>% en tiempo</b>
Aspersión de agua (curado patrón)	100 %	100 %
Aplicación de <b>2 capas</b> de CURACEM	34 %	8 %
Aplicación de <b>1 capa</b> de CURACEM	18 %	5 %

## ÍNDICE

	Pág.
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
 <b>CAPÍTULO I : CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES</b>	
1.1 Cemento Portland Tipo I	
1.1.1 Generalidades .....	2
1.1.2 Propiedades Químicas .....	2
1.1.3 Propiedades Físicas .....	3
1.1.4 Mecanismos de Hidratación del Cemento .....	4
1.2 Agregado Fino	
1.2.1 Generalidades .....	6
1.2.2 Principales Propiedades Físicas .....	6
1.2.3 Resultados de Laboratorio .....	11
1.3 Agregado Grueso	
1.3.1 Generalidades .....	16
1.3.2 Principales Propiedades Físicas .....	17
1.3.3 Resultados de Laboratorio .....	22
1.4 Agregado Global	
1.4.1 Generalidades .....	27
1.4.2 Peso Unitario Compactado .....	28
1.4.3 Resultados de Laboratorio .....	30
1.5 Agua de Mezcla	
1.5.1 Generalidades .....	32
1.5.2 Requisitos .....	33
1.6 Curador Químico	
1.6.1 Generalidades .....	35
1.6.2 Curador Químico CURACEM .....	48
1.6.3 Curadores Químicos alternativos .....	52
 <b>CAPÍTULO II : DISEÑO DE MEZCLA</b>	
2.1 Generalidades .....	59
2.2 Procedimiento de Diseño .....	64
2.3 Diseño de Mezclas Patrones .....	73
2.3.1 Diseño de mezcla para $a/c = 0.60$ .....	74
2.3.2 Diseño de mezcla para $a/c = 0.65$ .....	75
2.3.3 Diseño de mezcla para $a/c = 0.70$ .....	75

### **CAPÍTULO III : PROCEDIMIENTO DE CURADO DEL CONCRETO**

3.1	Generalidades .....	77
3.2	Curado por Inmersión .....	80
3.3	Curado con curador químico .....	81
3.4	Concreto expuesto al medio ambiente .....	83

### **CAPÍTULO IV : PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO**

4.1	Asentamiento .....	84
4.2	Peso Unitario y contenido de aire .....	86
4.3	Tiempo de Fraguado .....	89
4.4	Exudación .....	92
4.5	Índice de Consistencia o Fluidez .....	95

### **CAPÍTULO V PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO**

5.1	Resistencia a la Compresión .....	97
5.2	Resistencia a la Tracción .....	105
5.3	Módulo de Elasticidad Estático .....	109

### **CAPÍTULO VI ANÁLISIS DE RESULTADOS .....** 116

### **CAPÍTULO VII : ANÁLISIS COMPARATIVO DE COSTOS SEGÚN EL PROCESO DE CURADO .....** 130

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....** 134

### **BIBLIOGRAFÍA .....** 146

### **ANEXOS Y FOTOGRAFÍAS .....** 150

## INTRODUCCIÓN

El curado del concreto es un proceso constructivo muy importante ya que promueve la adecuada hidratación del cemento y el desarrollo de las propiedades de resistencia y durabilidad para las cuales fue diseñada la mezcla, además de controlar su temperatura superficial y reducir la aparición de fisuras y grietas de contracción por efecto de la fragua del concreto.

En obra es muy común curar los elementos de concreto aplicando agua en su superficie, pudiendo utilizarse diferentes vías como: curado por inmersión, aspersión, uso de coberturas o materiales húmedos (yute, esteras de algodón, arena, aserrín, etc.); existiendo también procedimientos especiales de curado que permiten acelerar el desarrollo de la resistencia inicial del concreto en un corto tiempo, p.e.: curado por aplicación de vapor, curado eléctrico, curado por aplicación de rayos infrarrojos, entre otros.

Adicional a los métodos mencionados en el párrafo anterior, un método muy recomendado en la actualidad -para el curado del concreto- es el uso de materiales sellantes / impermeabilizantes que permiten controlar la evaporación del agua de mezcla, ya sea en el concreto en estado fresco o en el concreto en estado endurecido, previo humedecimiento de su superficie.

Tal es el caso de los curadores químicos, los cuales se encuentran disponibles en el mercado nacional y se presentan como una nueva alternativa de curado, lo que ha motivado la realización de la presente tesis con la finalidad de determinar la influencia de dichos productos en la resistencia final del concreto y verificar las bondades de éstos respecto a lo indicado por sus fabricantes; eligiendo para fines de estudio el curador químico CURACEM, el cual es elaborado por Master Builders Technologies del Perú, y es definido por su fabricante como un compuesto parafínico que sirve para impermeabilizar el concreto y controlar la evaporación de agua del mismo, permitiendo de esta manera una hidratación óptima del cemento de la mezcla.

## **CAPÍTULO I**

### **CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES**

#### **1.1 CEMENTO PORTLAND TIPO I**

##### **1.1.1 GENERALIDADES**

El *Cemento Portland Tipo I* (llamado así porque el color de sus partículas era muy parecido al de las canteras de la Isla Portland, en Inglaterra), pertenece a la familia de cementos o aglomerantes y se caracteriza por el tamaño muy fino de sus partículas y por su color gris verdoso. Es muy utilizado en obras de construcción que no requieren de características especiales del cemento.

En la presente tesis se utilizó *Cemento Portland tipo I "El Sol"*, gracias al apoyo de mi universidad (a través del Departamento Académico de Construcción de mi Facultad) y el valioso aporte de la Empresa "*Cementos Lima S.A.*".

##### **1.1.2 PROPIEDADES QUÍMICAS DEL CEMENTO**

En general, la Norma ASTM C-150 especifica los siguientes requisitos químicos o parámetros de calidad del cemento Portland:

<sup>1</sup> Wilfredo Valdivia: "Tecnología de los Materiales"- Cap. IV: Aglomerantes. Editorial CEIC – UNI, Perú 1987.

**Tabla 1.1: Requisitos Químicos del Cemento Portland – Norma ASTM C 150**

Requisitos	Tipo de Cemento Portland				
	I	II	III	IV	V
Pérdida por calcinación (%máx)	3.0	3.0	3.0	2.5	3.0
Residuo Insoluble (%máx)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Óxido de magnesio MgO, (%máx)	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
Anhídrido sulfúrico SO <sub>3</sub> , %máx :					
- Cuando C <sub>3</sub> A ≤ 8%	3.0	3.0	3.5	2.3	2.3
- Cuando C <sub>3</sub> A > 8%	3.5	N/A	4.5	N/A	N/A
Óxido Férrico Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%máx)	-	6.0	-	6.5	-
Silicato Tricálcico C <sub>3</sub> S (%máx)	-	-	-	65	-
Silicato Dicálcico C <sub>2</sub> S (%máx)	-	-	-	40	-
Aluminato Tricálcico C <sub>3</sub> A (%máx)	-	8	15	7	5
C <sub>4</sub> AF (Ferrialuminato Tetracálcico) + 2C <sub>3</sub> A (aluminato tetracálcico) o C <sub>4</sub> AF (solución sólida) + C <sub>2</sub> F (la que sea aplicable)	-	-	-	-	20
<b>Requisitos Químicos Opcionales:</b>					
Álcalis Na <sub>2</sub> O + 0.658 K <sub>2</sub> O (%máx)	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
C <sub>3</sub> S + C <sub>3</sub> A (%máx)	-	58	-	-	-
<b>C<sub>3</sub>A (%máx)</b>					
a) cementos de moderada resistencia a sulfatos	-	-	8	-	-
b) cementos de moderada resistencia a sulfatos	-	-	5	-	-

Fuente: - ASOCEM: "Cementos - Boletines N°1 al 42" (Boletín N° 14: La normalización de los cementos Portland, pág. 90), Lima – 1993  
 - Javier Arrieta Freyre. "Tecnología de los Materiales" (apuntes de clase). Ed. UNI, Perú 1998

### 1.1.3 PROPIEDADES FÍSICAS DEL CEMENTO

A continuación tenemos los requisitos físicos del cemento Portland dados por la Norma ASTM C-150:



**Tabla 1.2:** Requisitos Físicos Estándar ASTM C 150, para cementos.

Descripción	Tipo I	Tipo II	Tipo III	Tipo IV	Tipo V
Contenido de aire en % (máx, min)	(12,N/A)	(12,N/A)	(12,N/A)	(12,N/A)	(12,N/A)
Fineza con turbidímetro, en m <sup>2</sup> /kg.min.	160	160		160	160
Fineza por permeabilidad de aire, en m <sup>2</sup> /kg.min.	280	280		280	280
Expansión en autoclave	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Resistencia en compresión, en Mpa.					
a 1 día			12.4		
a 3 días	12.4	10.3	24.1		8.3
a 7 días	19.3	17.2		6.6	15.2
a 28 días					20.7
Fraguado inicial mí.(Gillmore) en min.	60	60	60	60	60
Fraguado final máx(Gillmore) en min.	600	600	600	600	600
Fraguado inicial mín.(Vicat) en min.	45	45	45	45	45
Fraguado final máx.(Vicat) en min.	375	375	375	375	375
<b>Requisitos Físicos Opcionales</b>					
Fraguado falso (penetración final), %min.	50	50	50	50	50
Calor hidratación máx. a 7 días en cal/gr		70		60	
Calor de hidratación máx. a 28 días en cal/gr		58		70	
Resistencia a compresión min. a 28 días, en Mpa	27.8	27.6			
Expansión con sulfatos a 14 días, %máx.					0.04

Fuente: Javier Arrieta Freyre. "Tecnología de los Materiales" (apuntes de clase). Editorial UNI, Perú 1998.

#### 1.1.4 MECANISMOS DE HIDRATACIÓN DEL CEMENTO<sup>1,2</sup>

Cuando el cemento Portland se mezcla con el agua se inicia una reacción química: cada partícula de cemento adquiere un tipo de crecimiento en su superficie que se extiende gradualmente hasta unirse con otras partículas en crecimiento, dando como resultado el fraguado, endurecimiento progresivo y consolidación de la mezcla, así como el desarrollo de la resistencia del concreto. Durante el proceso de hidratación del cemento se presentan 2 etapas principales: fraguado y endurecimiento.

<sup>1</sup> Javier Arrieta Freyre: "Tecnología de los Materiales"- Cementos (Apuntes de clase). Editorial UNI, Perú 1998.

<sup>2</sup> Antonio Miguel Saad: "Tratado de construcción - Propiedades de los materiales aglomerantes: fabricación, aplicación y usos" (Tomo I). Editorial Continental – México 1961.

La primera termina en pocas horas y la segunda se considera que dura hasta los 28 días, aunque en realidad es indefinido ya que depende principalmente de las características de la mezcla y calidad del concreto. De acuerdo a la Teoría de Le Chatelier, el cemento presenta los siguientes procesos de fraguado y endurecimiento:

- 1) Los aluminatos ( $C_3A$ ,  $C_4AF$ ) son los primeros en reaccionar, pero su proceso se ve limitado por el efecto de retardo de fragua del yeso adicionado durante el proceso de fabricación del cemento. Se presenta una fragua o resistencia inicial débil, volviéndose más eficaz durante las primeras 24 horas hasta los 28 días.

La hidratación del aluminato tricálcico genera la cristalización del cemento pero, debido a su inestabilidad volumétrica (es un cuerpo expansivo), no es favorable en exceso.

El agua reacciona más lento con el silicato tricálcico ( $C_3S$ ) debido a su estabilidad interna, por lo que sufre hidratación e hidrólisis, las cuales se dan entre las 24 horas hasta los 7 días. Se forma el hidrato cálcico gelatinoso y sílice gelatinosa los cuales dan una protección a los granos de cemento que no han sido atacados, haciendo que se hidraten más lento e incrementando la consolidación, impermeabilidad y dureza de la pasta. A esta reacción se le atribuye la resistencia del cemento en los primeros días.

- 3) El Silicato Bicálcico ( $C_2S$ ) es poco hidráulico por lo que demora más en hidratarse. Esta reacción es responsable del endurecimiento del cemento entre los 7 y 28 días e influye en la resistencia de la pasta para períodos mayores de 1 año. La combinación del  $C_2S$  con otros compuestos del cemento contribuye a la obtención de altas resistencias de las pastas o morteros de cemento.

- 4) El endurecimiento del cemento Portland continúa durante años, aumentando su resistencia debido a que la gelatina de hidrato cálcico cristaliza y da un nuevo elemento de dureza.

Es muy importante mencionar que durante el proceso de hidratación, la mezcla sufre un aumento de temperatura. Para muros y losas delgadas de hasta 20 cm. de espesor, esta variación se pierde tan rápidamente como se eleva la temperatura del concreto, pero en muros de 30 cm. ó más, es común observar que unas 24 horas después de haber retirado los encofrados, la superficie del concreto está tibia al tacto.

## **1.2 AGREGADO FINO**

### **1.2.1 GENERALIDADES**

La norma ASTM C 33 define al agregado fino como arena natural, manufacturada (artificial) o la combinación de ambas, que pasa a través de la malla N° 4 (abertura de 4.75 mm). En nuestro país, la norma NTP 400.037 lo define como el proveniente de la desintegración natural o artificial que pasa el tamiz 9.5 mm (3/8) y que cumple con los límites establecidos.

### **1.2.2 PRINCIPALES PROPIEDADES FÍSICAS**

#### **1.2.2.1 Granulometría**

Es la distribución de las partículas de arena, la cual se determina en función de tamices y límites establecidos e influye determinadamente en las propiedades de mezcla y calidad del concreto. La norma ASTM C 33 indica los siguientes límites:

**Tabla 1.3 :** Requisitos Granulométricos de la Norma ASTM C 33 para el Agregado Fino.

Tamiz		Límites (% que pasa)		
I.D.	F (mm)	C	M	F
3/8"	9.51	100	100	100
N° 4	4.75	95 - 100	89 - 100	89 - 100
8	2.38	80 - 100	65 - 100	80 - 100
16	1.19	50 - 85	45 - 100	70 - 100
30	0.595	25 - 60	25 - 80	55 - 100
50	0.277	10 - 30	5 - 48	5 - 70
100	0.149	2 - 10	0 - 12*	0 - 12

- Aumentar a 15% para agregado fino triturado, excepto cuando se use para pavimentos

Los grupos C, M y F indican la granulometría correspondiente a la arena gruesa, intermedia y fina respectivamente<sup>1</sup>. Para la elaboración de concreto, la norma señala que la arena fina debe cumplir con los requisitos del grupo C; dando las siguientes recomendaciones<sup>2</sup>:

En nuestro país, el Reglamento Nacional de Construcción limita el porcentaje (en peso) que pasa la malla N° 200, el cual no debe ser mayor de 3%.

- Los porcentajes de las mallas 50 y 100 se pueden reducir a 5 y 0% respectivamente para el caso en que el agregado fino se utilice en concreto con aire incorporado que contenga más de 251 kg de cemento / m<sup>3</sup> de concreto, en concretos sin aire incorporado con más de 307 Kg de cemento/m<sup>3</sup> o en concretos con minerales adicionados que compensen la deficiencia de dichas mallas. Esto se debe al hecho de que a mayor contenido de cemento, se obtendrá una mejor plasticidad y compacidad de la mezcla, reemplazando así la función del agregado fino.

<sup>1</sup> Enrique Rivva López: "Naturaleza de los Materiales de Construcción", ACI - Perú, Lima 2000.

<sup>2</sup> ASOCEM: "Cementos" (Boletín Técnico N° 8: Granulometría de la Arena), Perú 1993.

El agregado fino retenido entre 2 mallas consecutivas no debe ser mayor del 45%, para asegurar una distribución homogénea del tamaño de las partículas del agregado fino.

### **Módulo de Finura (M.F.)**

Se define como un factor empírico adimensional que se obtiene de la suma de los porcentajes acumulados de la muestra de arena retenidos en cada uno de los tamices especificados (tamices estándar de la arena: No. 4, 8, 16, 30, 50, 100) y dividiendo el resultado entre 100. Es un indicador de la finura de un agregado ya que a mayor M. F., el agregado es más grueso.

El módulo de finura del agregado fino no debe ser mayor de 2.3 ni menor de 3.1 (para el caso en que el módulo de finura varíe en más de 0.20 con el valor asumido en la dosificación del concreto, éste debe ser rechazado hasta realizar los ajustes correspondientes). Experimentalmente se ha observado que para arenas con módulo de finura de [2.2 , 2.8], se producen concretos de buena trabajabilidad y baja segregación; y para arenas con M.F. entre [2.8 , 3.2], se obtienen concretos de alta resistencia.

Se debe corregir la granulometría de aquellas arenas con alto contenido de finos, incrementando la relación piedra / arena; ya que, de no hacerlo, estaríamos produciendo concretos más caros debido a su mayor demanda de agua.

### **1.2.2.2 Peso Específico**

La norma NTP 400.021 define al peso específico como la relación, a temperatura estable, entre la masa de un volumen unitario del agregado y la masa del mismo volumen de agua destilada libre de gas. No es una medida de calidad del agregado. En general, el peso específico del agregado es la relación de su peso al peso de un volumen igual de agua y se utiliza en algunos métodos de diseño de mezcla de concreto.

Según las condiciones de ensayo, el peso específico del agregado fino (y grueso) puede ser:

- a) **Peso específico aparente.**- Relación, a temperatura estable, de la masa en el aire de un volumen unitario de material en el aire de igual densidad de un volumen igual de agua destilada libre de gas. Si el material es un sólido, el volumen es aquel de la porción impermeable.
- b) **Peso específico de masa.**- Relación, a temperatura estable, de la masa en el aire de un volumen unitario de material permeable (incluyendo los poros permeables e impermeables naturales del material) a la masa en el aire de igual densidad e un volumen igual de agua destilada libre de gas.
- c) **Peso específico de masa saturada superficialmente seca.**-Es lo mismo que el peso específico de masa, excepto que la masa incluye el agua en los poros permeables.

### 1.2.2.3 Contenido de Humedad

Se expresa como el porcentaje de humedad presente en una muestra de arena en estado natural, la cual es secada al horno durante 24 horas. Puede ser menor o mayor que la absorción ya que depende principalmente de las condiciones ambientales y de almacenamiento a los que está expuesto el agregado.

En general podemos decir que la estructura interna de las partículas de un agregado fino está formada por materia sólida y huecos que pueden o no contener agua. Las condiciones de humedad que pueden presentar los agregados son:

Tabla 1.4: Condiciones de humedad de los agregados.

Estado	Secado al Horno	Secado al Aire	Saturado Superficialmente Seco (S.S.S.)	Húmedo o mojado
Esquema				
Humedad Total	Ninguna	Menor que la absorción potencial	Igual a la absorción potencial	Mayor que la absorción potencial
Características	Totalmente absorbentes	Superficie seca pero con humedad en el interior. Es un poco absorbente	No absorben ni aumentan agua en la mezcla	Contenido de humedad en exceso en su superficie

Fuente: Javier Arrieta Freyre: "Tecnología de los Materiales" – Agregados (apuntes de clase). Editorial UNI, Perú 1998.

#### 1.2.2.4 Peso Unitario del Agregado Fino

Es la relación del peso del material necesario para llenar un recipiente de dimensiones estándar, entre el volumen de dicho molde. La norma NTP 400.017 indica el uso del recipiente de  $1/10 \text{ pie}^3$  para agregados con tamaño máximo de  $1/2"$ . El peso unitario del agregado puede ser suelto o compactado.

- a) **Peso unitario Suelto.**- El material se coloca en el recipiente, libre de presiones salvo su propio peso.
- b) **Peso Unitario Compactado.**- A diferencia del peso suelto, se coloca al material aplicándole una energía de compactación preestablecida.

### 1.2.3 RESULTADOS DE LABORATORIO

Con la finalidad de sintetizar la información, en el presente ítem se muestran sólo los resultados finales de laboratorio. Los datos base y de laboratorio, así como los procedimientos de ensayo, se han ubicado en el capítulo correspondiente a "ANEXOS".

El agregado fino utilizado en la presente investigación proviene de la cantera "La Gloria", tiene la característica de ser una arena gruesa y con un porcentaje de finos mayor que el indicado por el RNC, lo cual sólo es referencial ya que, como se mostrará más adelante, la arena desarrolla un comportamiento aceptable dentro de los requisitos planteados en la presente tesis.

#### **Secuencia de Resultados de Laboratorio – Agregado Fino:**

Los resultados de laboratorio, correspondientes al agregado fino, se presentan en el siguiente orden:

- 1- Granulometría y Módulo de Finura
- 2- Peso Unitario Suelto y Compactado
- 3- Contenido de Humedad
- 4- Peso Específico y Absorción
- 5- Porcentaje que pasa la malla 200



**CUADRO 1.1: ENSAYO GRANULOMÉTRICO DE AGREGADO FINO - Norma NTP 400.012:2001**

( Fecha de ensayo : 09 de setiembre de 2003 )

Peso inicial de muestra (gr) :

No.	Peso retenido de la muestra (gr)			Promedio (gr)	Peso Ret. Corregido	% Ret	% Ret Acum.	% Acum. que pasa	Observaciones	Módulo de Finura
	M1	M2	M3							
4	6.0	5.0	6.0	5.7	5.7	1.13	1.13	98.87	Los 0.30 gr. faltantes se han agregado a las mallas de No. 8 y 16 (error = 0.07%)	<b>2.91</b>
8	90.5	92.0	106.5	96.3	96.5	19.30	20.43	79.57		
16	107.0	111.0	112.5	110.2	110.3	22.07	42.50	57.50		
30	91.5	93.0	89.5	91.3	91.3	18.27	60.77	39.23		
50	82.5	82.0	77.5	80.7	80.7	16.13	76.90	23.10		
100	64.0	60.5	57.5	60.7	60.7	12.13	89.03	10.97		
fondo	58.5	56.5	49.5	54.8	54.8	10.97	100.00	0.00		
Total	500.0	500.0	499.0	499.7	500.0					

error = 0.30 gr ó 0.07% (respecto de los 500 gr iniciales)

**Nota :** Las flechas laterales indican las mallas estándar.

**CUADRO 1.2 : ENSAYO DE PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO DE AGREGADO FINO - Norma NTP 400.017**

( Fecha de ensayo : 08 de setiembre de 2003 )

Descripción	Muestra			Prom.	Observ.
	M1	M2	M3		
A Peso Molde (gr)	2780	2780	2780	2780	} Molde estándar
B Volumen Molde (pie <sup>3</sup> )	1/10	1/10	1/10	1/10	
C Factor de Conversión	0.04	0.04	0.04	0.04	
D Peso Suelto + Molde (gr)	7690	7721	7681	7697	
E Peso Suelto (gr)	4910	4941	4901	4917	= D - A
F Peso Compac. + Molde (gr)	8487	8492	8495	8491	
G Peso Compactado (gr)	5707	5712	5716	5712	= F - A
<b>P.U. Suelto (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	1754	1765	1750	1756	= ( E / B ) x C
<b>P.U. Compactado (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	2038	2040	2041	2040	= ( G / B ) x C

**CUADRO 1.3 : ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD DE AGREGADO FINO - Norma NTP 400.017**

( Fecha de ensayo : 08 y 09 de setiembre de 2003 )

Descripción	Agregado Fino	Observaciones
A peso muestra húmeda (gr)	500.0	
B peso muestra seca + molde (gr)	612.5	
C peso molde (gr)	117.5	
D peso muestra seca (gr)	495.0	= B - C
<b>Contenido de Humedad (%)</b>	1.00%	= ( A - D ) / D x 100

**Nota :**

El contenido de humedad de los agregados varía según las condiciones ambientales y de almacenamiento de los mismos por lo que los resultados aquí mostrados sólo son referenciales, debiéndose recalcularse antes de cada diseño de mezcla de concreto.

**CUADRO 1.4 : ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADO FINO - Norma NTP 400.022**  
 ( Fecha de ensayo : 08 al 10 de setiembre de 2003 )

Descripción	Muestra			Promedio	Observ.
	M1	M2	M3		
B Peso muestra sss (gr)	500.00	500.00	500.00	500.00	
C Peso muestra sss + agua + fiola (gr)	989.50	990.00	988.50	989.33	
D Peso fiola (gr)	174.50	174.50	174.50	174.50	
W Peso del agua (gr)	315.00	315.50	314.00	314.83	= C - B - D
E Peso muestra seca + molde (gr)	673.50	671.50	668.00	671.00	
F Peso molde (gr)	179.00	177.50	173.50	176.67	
A Peso muestra seca al horno (gr)	494.50	494.00	494.50	494.33	= E - F
V Volumen fiola (cc)	500.00	500.00	500.00	500.00	
<b>P.E. Masa (gr/cc)</b>	2.67	2.68	2.66	2.67	= A/(V - W)
<b>P.E. Masa sss (gr/cc)</b>	2.70	2.71	2.69	2.70	= B/(V - W)
<b>P.E. Aparente (gr/cc)</b>	2.75	2.77	2.74	2.75	= A/((V - W) - (B - A))
<b>% Absorción</b>	1.11%	1.21%	1.11%	1.15%	= (B - A)/A

**CUADRO 1.5 : ENSAYO DE DETERMINACIÓN DEL AGREGADO FINO QUE  
PASA LA MALLA N° 200 - Norma NTP 400.018**  
( Fecha de ensayo : 11 al 16 de setiembre de 2003 )

	Descripción	Muestra			Prom.	Observ.
		M1	M2	M3		
A	Peso seco (gr)	500.0	500.0	500.0	500.0	
C	Peso seco sin finos + molde (gr)	638.5	635.5	640.5	638.2	
D	W molde (gr)	173.5	177.0	179.0	176.5	
B	W seco sin finos (gr)	465.0	458.5	461.5	461.7	= C - D
	<b>% finos</b>	7.0%	8.3%	7.7%	7.7%	= ( A - B ) / A x 100

**Nota :**

El agregado fino excede el 3% de finos sugerido por el RNC, el cual garantiza la trabajabilidad de la mezcla, pero no significa que los agregados que no cumplan con este límite deban ser rechazados inmediatamente; sino que se deberá verificar que cumplan con los requisitos exigidos por el concreto mediante los ensayos de laboratorio que se consideren pertinentes (p.e.: trabajabilidad, resistencia, etc.)

### 1.3 AGREGADO GRUESO<sup>1,2,3</sup>

#### 1.3.1 GENERALIDADES

Se define como el material retenido en el tamiz 4,75 mm (malla ASTM N° 4) proveniente de la desintegración natural o mecánica de la roca, y que cumple con los límites establecidos en la norma. Puede estar compuesto por grava, grava partida, piedra partida, escoria de altos hornos o una combinación de éstos.

- a) **Grava.**- Es el agregado grueso proveniente de la desintegración natural de materiales pétreos (generalmente de canteras y lechos de ríos) depositados en forma natural.
- b) **Piedra Triturada o chancada.**- Es aquel agregado grueso obtenido por trituración artificial de rocas o gravas.
- c) **Escoria de altos hornos.**- Se denomina así a los subproductos obtenidos de la fabricación del hierro, los cuales son aprovechados como arena o agregados gruesos para concreto, o en la elaboración de bloques. Químicamente está formada por los mismos óxidos de cal, sílice y alúmina que se encuentran en el cemento Portland, pero en proporciones diferentes:

CaO	25 a 50%
SiO <sub>2</sub>	25 a 40%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10 a 30%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.4 a 1.6%

<sup>1</sup> Javier Arrieta Freyre: "Tecnología de los Materiales" Agregados (apuntes de clase). Editorial UNI, Perú 1998.

<sup>2</sup> Wilfredo Valdivia: "Tecnología de los Materiales" (Cap. IV: Aglomerantes). Editorial CEIC – UNI, Perú 1987.

<sup>3</sup> ASOCEM: "Cementos – Boletines Técnicos N° 1 al 42" (Boletín N° 9: Granulometría de los Agregados Gruesos; Boletín N° 28: Nueva Norma de Requisitos de Agregados) - Perú 1993.

## 1.3.2 PRINCIPALES PROPIEDADES FÍSICAS

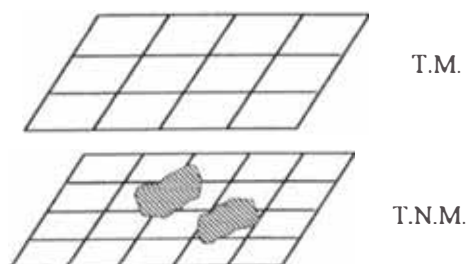
### 1.3.2.1. Granulometría

La granulometría del agregado grueso es un factor determinante para la elaboración de un concreto de alta compacidad, economía y resistencia, ya que se ha determinado que los agregados con dimensiones homogéneas generan un gran número de vacíos; mientras que los agregados con dimensiones variables presentan una mayor compacidad debido al mejor acomodo de sus partículas.

La norma ASTM regula la distribución granulométrica del agregado grueso en base a diez series granulométricas (el Reglamento Nacional de Construcción se apoya en estas series), las cuales no son determinantes para la aceptación del material, sino que permiten analizar el comportamiento del mismo dentro de las zonas o franjas definidas por éstas.

Previo a la gráfica de las series granulométricas normalizadas, es necesario conocer las siguientes definiciones que permiten expresar la granulometría del agregado grueso:

- a) **Tamaño máximo (TM)** .- Es el menor tamiz por el que pasa toda la muestra de agregado grueso.
- b) **Tamaño Nominal Máximo (TNM)** .- Es el correspondiente al menor tamiz (de la serie utilizada) que produce el primer retenido.



*Figura 1.1: Esquema del Tamaño Máximo (T.M.) y Tamaño Nominal Máximo (T.N.M.) del Agregado Grueso.*

Luego, teniendo como dato el tamaño máximo del agregado grueso, seleccionamos la serie correspondiente (Tabla 1.5) y graficamos los límites indicados para cada malla. Unimos los límites y obtenemos la franja o zona estandarizada. Se grafica la granulometría del agregado y se analiza cuál es el comportamiento de esta curva respecto de los límites normalizados.

El *Tamaño Máximo* es muy importante para la aplicación de un agregado dentro de un proyecto de construcción, ya que en base a éste podemos determinar si el agregado cumple o no con las condiciones establecidas por las normas involucradas.

En nuestro país, el Reglamento Nacional de Construcción (RNC) regula el Tamaño Máximo del agregado en función de su aplicación, con la finalidad de prevenir la aparición de vacíos o cangrejas en los elementos, el cual no debe ser mayor de:

- $1/5$  de la menor separación entre los lados del encofrado.
- $1/3$  del peralte (espesor) de las losas sin refuerzo situadas sobre el terreno.
- $3/4$  del espaciamiento mínimo libre entre las varillas, cables o ductos de preesfuerzo.

Los requisitos mencionados anteriormente pueden ser obviados por el ingeniero responsable del proyecto siempre que considere que el agregado a utilizar va a producir mezclas trabajables y sin cangrejas, caso contrario no. Adicionalmente, el RNC indica como máximo un 1% en peso del agregado grueso que pase la malla 200.

A continuación se muestran las series granulométricas dadas por la norma ASTM C 33, para agregados gruesos:

**Tabla 1.5 : Requisitos Granulométricos del Agregado Grueso - Norma ASTM C 33**

N° ASTM	Tamaño Nominal	% Que pasa por los tamices normalizados												
		100 mm (4")	90 mm (3 1/2")	75 mm (3")	63 mm (2 1/2")	50 mm (2")	37.5 mm (1 1/2")	25.0 mm (1")	19 mm (3/4")	12.5 mm (1/2")	9.5 mm (3/8")	4.75 mm (N° 4)	2.36 mm (N° 8)	1.18 mm (N° 16)
1	90 a 37.5 mm (3 1/2 a 1 1/2")	100	90 a 100		25 a 60		0 a 15		0 a 5					
2	63 a 37.5 mm (2 1/2 a 1 1/2")			100	90 a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 5					
3	50 a 25.0 mm (2 a 1")				100	90 a 100	0 a 15	0 a 5						
357	50 a 4.75 mm (2 a N° 4)				100	95 a 100	35 a 70	10 a 30			0 a 5			
4	37.5 a 19 mm (1 1/2 a 3/4")					100	90 a 100	20 a 55	0 a 15					
467	37.5 a 4.75 mm (1 1/2" a N° 4)					100	95 a 100		35 a 70		0 a 5			
5	25.0 a 12.5 mm (1 a 1/2")						100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5			
56	25.0 a 9.5 mm (1 a 3/8")						100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5		
57	25.0 a 4.75 mm (1 a N° 4)						100	95 a 100		25 a 60	0 a 10	0 a 5		
6	19.0 a 9.5 mm (3/4 a 3/8")							100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5		
67	19.0 a 4.75 mm (3/4" a N° 4)							100	90 a 100		20 a 55	0 a 10	0 a 5	
7	12.5 a 4.75 mm (1/2" a N° 4)								100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	
8	9.5 a 2.36 mm (3/8" a N° 8)									100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5

Fuente: ASOCEM. "Cementos, Boletines Técnicos N° 1 al 42" (Boletín N° 9, Tabla 2: Requisitos de Granuometría de los Agregados Gruesos, pág. 58) - Lima, 1993

Tesis : "Estudio de la variabilidad de la resistencia del concreto aplicando curador químico de uso externo y utilizando cemento Portland tipo I"

Testista : Bach. Ing. Marina Jovita Lam Lau

Asesor : Ing. Carlos Armando Barzola Gastelú



### Módulo de Finura del Agregado Grueso

Teniendo en cuenta que las mallas utilizadas para determinar la granulometría del agregado grueso se designan por el tamaño de la abertura cuadrada en pulgadas, y conociendo que las mallas estándar del agregado grueso son las siguientes (cada una es la mitad de la que le antecede): 3", 1½", ¾" y 3/8", procedemos a determinar su módulo de finura, el cual está dado por la suma de los porcentajes retenidos acumulados de las mallas entre 100.

En el cálculo del módulo de finura del agregado grueso, se incluyen las mallas estándar pertenecientes al agregado fino, en cuyo caso el porcentaje retenido acumulado para cada una de ellas es igual a 100. Veamos:

**Mallas estándar del agregado grueso :** 3", 1½", ¾" y 3/8"

**Mallas estándar del agregado fino :** N° 4, 8, 16, 30, 50, 100 (suma de % retenidos acumulados = 6x100 = 600)

Finalmente:

$$M.F._{(grueso)} = \frac{\sum \left( \begin{array}{l} \% \text{ retenidos acumulados mallas} \\ \text{estándar agregado grueso} \end{array} \right) + 600}{100}$$

#### 1.3.2.2. Peso específico y absorción

Tienen las mismas definiciones que el agregado fino; y al igual que éste, el peso específico del agregado grueso presenta 3 tipos: Peso específico aparente, de masa y de masa saturada superficialmente seca, los cuales se determinan con un procedimiento de laboratorio diferente, tal como se muestra en el Anexo.

Como dato general, podemos mencionar algunos pesos específicos de los agregados, los cuales están en función de la roca de origen:

***Tabla 1.6:*** Pesos Específicos de los principales agregados.

Agregado	Peso Específico (gr/cm <sup>3</sup> )
Basalto	2.80
Pedernal	2.54
Granito	2.69
Hornfelsa	2.82
Caliza	2.66
Pórfido	2.73
Cuarcita	2.62
Arenisca	2.50
Arena y Grava	2.65
Roca Trapeana	2.90

#### **1.3.2.3. Contenido de Humedad**

A diferencia de la arena, el agregado grueso es menos voluble a cambiar su contenido de humedad, sin que esto signifique dejar de calcular su valor para cada diseño de mezcla que se considere necesario.

#### **1.3.2.4. Peso Unitario Suelto y Compactado**

Se les conoce como pesos volumétricos suelto y compactado. Se define como el peso del material necesario para llenar un recipiente de un volumen preestablecido. Al igual que en el agregado fino, se trabaja con el volumen ocupado por el agregado incluyendo sus vacíos, y se calcula con el mismo procedimiento.

### 1.3.3 RESULTADOS DE LABORATORIO

El agregado grueso utilizado en la presente tesis es un agregado artificial (piedra chancada), proveniente de la cantera "La Gloria". Fue un agregado remanente (se aprovechó que era el saldo de un compañero tesista).

Mediante un análisis visual, se pudo observar que el agregado, a pesar de ser piedra chancada, de forma angulosa y compacta, presentaba algunas piedras de río (redondeadas y en algunos casos porosas), y algunas piedras alargadas y achatadas; es decir se trata de un agregado ligeramente contaminado, cuyas causas son ajenas a la presente tesis.

#### **Secuencia de Resultados de Laboratorio – Agregado Grueso:**

Los resultados de laboratorio correspondientes al agregado grueso se presentan en el siguiente orden:

- 1- Granulometría y Módulo de Finura
- 2- Peso Unitario Suelto y Compactado
- 3- Contenido de Humedad
- 4- Peso Específico y Absorción
- 5- Cuadro Resumen de las propiedades de los agregados fino y grueso.

**CUADRO 1.6: ENSAYO GRANULOMÉTRICO DE AGREGADO GRUESO - Norma NTP 400.012:2001**

( Fecha de ensayo : 08 de setiembre de 2003 )

Peso inicial de muestra (gr) :

malla	Peso retenido de la muestra (gr)			Promedio (gr)	Peso Ret. Corregido	% Ret	% Ret Acum.	% Acum. que pasa	Observ.	Módulo de Finura
	M1	M2	M3							
1"	177.0	227.5	142.5	182.3	182.3	2.28	2.28	97.72	Los 3.80 gr. faltantes se han agregado a las mallas de 3/4" y 1/2" (error = 0.05%)	7.28
3/4"	2336.5	2127.0	2671.5	2378.3	2380.3	29.75	32.03	67.97		
1/2"	4021.0	3811.5	3892.0	3908.2	3910.1	48.88	80.91	19.09		
3/8"	1206.5	1366.0	1123.0	1231.8	1231.8	15.40	96.31	3.69		
No. 3 fondo	241.5	418.5	164.0	274.7	274.7	3.43	99.74	0.26		
<b>Total</b>	7997.0	7994.5	7997.0	7996.2	8000.0	0.26	100.00	0.00		

error = 3.80 gr ó 0.05% (respecto de los 8 kg iniciales)

**Nota :** Las flechas laterales indican las mallas estándar.

**CUADRO 1.7 : ENSAYO DE PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO DE AGREGADO GRUESO - Norma NTP 400.017**

( Fecha de ensayo : 08 de setiembre de 2003 )

Descripción	Muestra			Prom.	Observ.
	M1	M2	M3		
A Peso Molde (gr)	7000	7000	7000	7000	} Molde estándar
B Volumen Molde (pie <sup>3</sup> )	1/3	1/3	1/3	1/3	
C Factor de Conversión	0.04	0.04	0.04	0.04	
D Peso Suelto + Molde (gr)	21000	21200	21200	21133	
E Peso Suelto (gr)	14000	14200	14200	14133	= D - A
F Peso Compac. + Molde (gr)	22850	22750	22700	22767	
G Peso Compactado (gr)	15850	15750	15700	15767	= F - A
<b>P.U. Suelto (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	1500	1521	1521	1514	= ( E / B ) x C
<b>P.U. Compactado (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	1698	1688	1682	1689	= ( G / B ) x C

**CUADRO 1.8 : ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD DE AGREGADO GRUESO - Norma NTP 400.017**

( Fecha de ensayo : 08 y 09 de setiembre de 2003 )

Descripción	Agregado Grueso	Observ.
A peso muestra húmeda (gr)	1000.0	
B peso muestra seca + molde (gr)	1146.0	
C peso molde (gr)	149.0	
D peso muestra seca (gr)	997.0	= B - C
<b>Contenido de Humedad (%)</b>	<b>0.30%</b>	<b>= ( A - D ) / D x 100</b>

**Nota :**

El contenido de humedad de los agregados varía según las condiciones ambientales y de almacenamiento de los mismos por lo que los resultados aquí mostrados sólo son referenciales, debiéndose recalcularse antes de cada diseño de mezcla de concreto.

**CUADRO 1.9: ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADO GRUESO - Norma NTP 400.021**

( Fecha de ensayo : 08 al 10 de setiembre de 2003 )

Descripción	Muestra			Promedio	Observ.
	M1	M2	M3		
B	2000.00	2000.00	1500.00	1833.33	
D	3182.50	3184.50	2860.50	3075.83	
E	1890.00	1890.00	1890.00	1890.00	
C	1292.50	1294.50	970.50	1185.83	= D - E
F	2261.50	2257.50	1623.50	2047.50	
G	272.00	267.50	131.50	223.67	
A	1989.50	1990.00	1492.00	1823.83	= F - G
<b>P.E. Masa (gr/cc)</b>	2.81	2.82	2.82	2.82	= A / ( B - C )
<b>P.E. Masa sss (gr/cc)</b>	2.83	2.83	2.83	2.83	= B / ( B - C )
<b>P.E. Aparente (gr/cc)</b>	2.85	2.86	2.86	2.86	= A / ( A - C )
<b>% Absorción</b>	0.53%	0.50%	0.54%	0.52%	= ( B - A ) / A x 100

Tesis : " Estudio de la variabilidad de la resistencia del concreto aplicando curador químico de uso externo y utilizando cemento Portland Tipo 1 "

Tesista : Bach. Ing. Marina Jovita Lam Lau

Asesor : Ing. Carlos Armando Barzola Gastelú

**CUADRO 1.10 : RESUMEN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS AGREGADOS** ( Fecha : 13 de setiembre de 2003 )

**Procedencia de los Agregados:**

Arena Gruesa : Cantera "La Gloria"  
 Piedra Chancada : Cantera "La Gloria"

N°	Descripción	Agregado Fino	Agregado Grueso
1	Peso Específico de masa (gr/cm <sup>3</sup> )	2.67	2.82
2	Peso Específico de masa sss (gr/cm <sup>3</sup> )	2.70	2.83
3	Peso Específico aparente (gr/cm <sup>3</sup> )	2.75	2.86
4	Peso Unitario Suelto (kg/m <sup>3</sup> )	1756	1514
5	Peso Unitario Compactado (kg/m <sup>3</sup> )	2040	1689
6	Contenido de Humedad (%)	1.01	0.30
7	Absorción (%)	1.15	0.52
8	Módulo de Finura	2.91	7.28
9	Tamaño Máximo (plg)	-	1"
10	Tamaño Nomimal Máximo (plg)	-	3/4"
11	% que pasa la malla 200	7.70	-

## **1.4 AGREGADO GLOBAL**

### **1.4.1 GENERALIDADES**

Se denomina agregado global a la combinación de agregado fino y grueso (en porcentajes previamente establecidos) que se va a utilizar para la elaboración de concreto.

La importancia del estudio del agregado global y su control en obra y laboratorio radica en que los agregados -en las proporciones adecuadas- reducen las deformaciones por contracción del cemento; influyen en la resistencia y durabilidad del concreto, estabilidad de volumen, impermeabilidad y desempeño del mismo, y generan un ahorro significativo del aglomerante ya que representan el 60 – 75% del volumen del concreto.

#### **Granulometría del Agregado Global**

El estudio de la granulometría del agregado global es muy importante para predecir el comportamiento de la mezcla y del producto final. Por ejemplo, para el caso de granulometrías discontinuas (cuando el agregado no tiene 2 o más tamaños de partículas sucesivos) se pueden presentar problemas de segregación, en especial en concretos sin aire incluido y con asentamientos mayores de 3”.

En la presente tesis se han considerado los Requisitos Granulométricos del Agregado Global dados por la norma DIN 1045, los cuales son:



**Tabla 1.7:** Requisitos Granulométricos del Agregado Global – DIN 1045

Abertura de Tamiz		% en peso que pasa		
en (mm)	en (pulg)	A	B	C
31.5	1 ½"	100	100	100
16	¾"	62	80	89
8	3/8"	38	62	77
4	Nº 4	23	47	65
2	8	14	37	53
1	16	8	28	42
0.25	50	2	8	15

#### 1.4.2 PESO UNITARIO COMPACTADO

Se define como la relación entre el peso del material colocado bajo una energía de compactación preestablecida, necesario para llenar un recipiente de dimensiones estándar, y el volumen de dicho molde. Se obtiene con el mismo procedimiento de ensayo del Peso Unitario Compactado del agregado grueso o fino, utilizando como recipiente el del agregado grueso.

El Peso Unitario Compactado del Agregado Global (P.U.C. Global) es un parámetro importante dentro de la determinación de los porcentajes de agregado fino y grueso necesarios para el diseño de mezcla del concreto ya que experimentalmente se ha demostrado que para un valor dado de los agregados, este PUC global presenta un valor máximo; es decir, como parte principal del concreto nos permitiría obtener concretos pesados, con bajo contenido de aire debido al óptimo acomodo de sus partículas, y económicos.

En este método, el punto de equilibrio o combinación ideal de los agregados se obtiene en el laboratorio realizando un análisis comparativo de los pesos unitarios compactados de agregados globales ensayados con diferentes proporciones de agregados fino y grueso (la suma de ambos debe ser igual a 100%). Los resultados se trasladan a un gráfico %Arena vs. P.U.C. Global ( $\text{kg/m}^3$ ) y luego se procede a encontrar el valor máximo o punto de inflexión de la curva resultante. De esta forma obtenemos el porcentaje de arena y por diferencia encontramos el porcentaje de piedra.

Tomando como guía la experiencia de mi asesor, el Ingeniero Carlos A. Barzola Gastelú; y como punto de apoyo la tesis del Ingeniero Edgar Vilca Justo: "Características del Concreto Endurecido por efecto de un aditivo curador de aplicación externa, utilizando cemento Portland tipo I", procedí a determinar los porcentajes de los agregados teniendo en cuenta los siguientes pasos:

**1- Tanteo inicial de porcentajes de combinación.-** Para encontrar una combinación inicial de partida, utilicé las fórmulas del Módulo de Finura del Agregado Global (método de diseño de mezcla de concreto):

$$M.F._{\text{fino}} * R_{\text{fino}} + M.F._{\text{grueso}} * R_{\text{grueso}} = M.F._{\text{global}} \quad \dots (1)$$

$$R_{\text{fino}} + R_{\text{grueso}} = 1.00 \quad \dots (2)$$

**Donde:** M.F. global = módulo de finura del agregado global  
M.F. fino = módulo de finura del agregado fino = 2.91  
M.F. grueso = módulo de finura del agregado grueso = 7.28  
R fino = % de agregado fino  
R grueso = % de agregado grueso

El A.C.I. define valores del módulo de finura del agregado global en función del método de mezclado a utilizar:

**Tabla 1.8 :** Módulo de Finura del Agregado Gohal – ACI

<b>Método de Mezclado</b>	<b>Módulo de Finura</b>
Mezcladora	5.4 – 5.6
Trompo	5.2 – 5.4
Bombeo	5.0 – 5.1

Tomando el valor de M.F. grueso = 5.4, y reemplazando los valores conocidos en las ecuaciones (1) y (2), obtuve como combinación inicial 43% de Arcna y 57% de piedra.

**2- Determinación del P.U.C. global máximo.-** Durante los ensayos de laboratorio, se determinó el peso unitario compactado global para 6 porcentajes de arena: 43, 42, 44, 45, 46 y 41%; pero no se obtuvieron resultados favorables ya que no se presentó ningún pico o valor máximo de éste, por lo que se rehizo el tanteo partiendo de una relación 50% arena - 50% piedra, variando luego los porcentajes de arena a 45, 55, 42.75 y 47.5 (estos dos últimos se hicieron para encontrar el punto de inflexión).

### 1.4.3 RESULTADOS DE LABORATORIO

Los resultados obtenidos en el laboratorio son los siguientes:

**CUADRO 1.11 : DETERMINACIÓN DE PORCENTAJES DE AGREGADOS FINO Y GRUESO UTILIZANDO EL MÉTODO DEL AGREGADO GLOBAL - PESO UNITARIO COMPACTADO DE COMBINACIÓN DE AGREGADOS.**

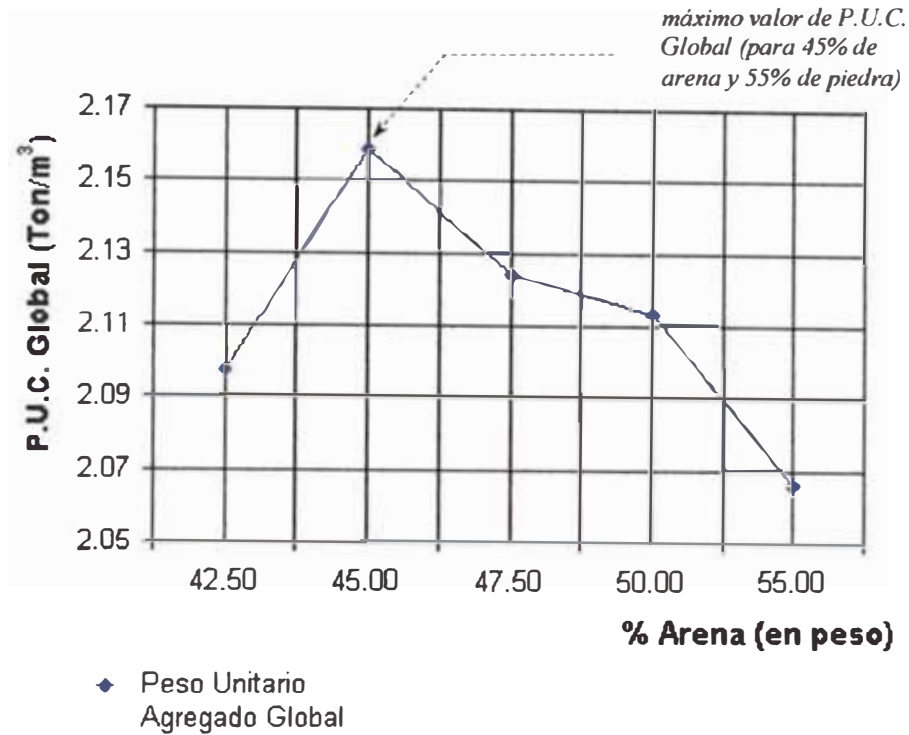
( Fecha : 10 y 11 de setiembre de 2003 )

Peso de muestra inicial (kg) = 24.00      Volumen de molde (pie<sup>3</sup>) = 1/3  
 Peso de molde (kg) = 7.00      Factor de conversión = 0.04      (ton/m<sup>3</sup>)

Secuencia en laboratorio	% Arena	% Piedra	Peso arena (kg)	Peso Piedra (kg)	Peso Compactado (kg)	P.U. Global (ton/m <sup>3</sup> )	Observaciones
4°	42.50	57.50	10.20	13.80	19.80	2.10	De los resultados, se observa que el máximo P.U.C. Global se da para la combinación de 45% Arena y 55% Piedra.
1°	<b>45.00</b>	<b>55.00</b>	<b>10.80</b>	<b>13.20</b>	<b>20.38</b>	<b>2.16</b>	
5°	47.50	52.50	11.40	12.60	20.05	2.12	
2°	50.00	50.00	12.00	12.00	19.95	2.11	
3°	55.00	45.00	13.20	10.80	19.50	2.07	

**Nota :** Los pesos iniciales de arena y piedra se calcularon para una muestra inicial global de 24 kg.

**Gráfica 1.1:** % Arena vs. P.U.C. Global – Determinación de Porcentajes de Agregados de Combinación.



## 1.5 AGUA DE MEZCLA<sup>1,2,3</sup>

### 1.5.1 GENERALIDADES

El agua es el elemento indispensable para la transformación química del cemento, para su colocación y compactación como mezcla final. Usualmente se le identifica como “*agua de mezcla*” debido a que va a ser utilizada en la elaboración de concreto, por lo que debe cumplir con una serie de requisitos físicos y químicos preestablecidos. En nuestro país, la norma NTP 339.088 es quien se encarga de regular dichos parámetros.

<sup>1</sup> Wilfredo Valdivia: “Tecnología de los Materiales” (Cap. VII: Agua para concreto y morteros). Editorial CEIC – UNI, Perú 1987.

<sup>2</sup> ASOCEM: “Cemento - Boletines Técnicos N° 1 al 42” (Boletín No 21: Agua de amasado). Perú 1993

<sup>3</sup> Adam Neville y JJ. Brooks: “Tecnología del Concreto”. Editorial Trillas, México 1998.

Experimentalmente se ha determinado que el cemento reacciona con un mínimo de 25% de agua en peso del mismo pero, debido a que es necesario ~~garantizar~~ la trabajabilidad, acomodo de los agregados y compactación de la mezcla, se emplean relaciones agua / cemento mayores; las cuales varían desde 0.35 á 1.00, dependiendo de las características del concreto como son: relación agregado / cemento, resistencia del concreto, requisitos del proyecto, etc.

### 1.5.2 REQUISITOS

Para la elaboración de concreto se pueden utilizar las aguas "potables" (aguas aptas para el consumo humano), o aquellas que ya han sido utilizadas para este fin, y que han producido resultados satisfactorios. Sin embargo hay que tener en cuenta que no todas las aguas potables son óptimas, ya que dependerá del contenido de cloruros, concentración de sodio o potasio (genera la reacción álcali-agregado cuando éste tienen sílice reactivo, produciendo expansiones en el concreto), o de la materia orgánica -expresada en oxígeno consumido- presente en las mismas.

En general se recomienda que el agua de mezcla sea incolora, libre de glúcidos (azúcares), aceites, cloruros y de cualquier sustancia que pueda producir efectos desfavorables sobre el fraguado, resistencia o durabilidad del concreto o de las armaduras, como es el caso de algunas impurezas, las cuales propician la aparición de manchas en la superficie del concreto e incrementan los vacíos en la mezcla, dando como resultado bajas resistencias en el concreto.

El Comité 301 del ACI establece los siguientes límites para el agua de amasado o agua de mezcla:

**Tabla 1.9:** Requisitos para el agua de mezcla – ACI Comité 301

Sustancias	Agua Potable	Agua para concreto
Cloruros	250 mg/lt	300 mg/lt
Sulfatos	50 mg/lt	300 mg/lt
Sales de Magnesio	125 mg/lt	150 mg/lt
Sales solubles	800 mg/lt	1 500 mg/lt
pH	10.6	no menor de 7
Sólidos en suspensión	10 mg/lt	1 000 mg/lt
Materia orgánica expresada en oxígeno	0.001 mg/lt	10 mg/lt

**Fuente:** Wilfredo Valdivia: *Tecnología de los Materiales* (Cap. VII: Agua para Concreto y morteros, Tabla 1: Limitaciones que da el Comité 301-72 del ACI - pág. 3) Edit. CEIC - UNI, Perú 1987.

Para los casos en que se deba utilizar el agua de mar, ésta tiene una salinidad típica de 35%, produciendo una resistencia temprana ligeramente mayor, pero menor a largo plazo (se reduce en un 15% aproximadamente, el cual es tolerable). Para concretos cuya apariencia final sea importante o se proyecte un acabado final de yeso, no es recomendable utilizar las aguas con alta concentración de cloruros ya que pueden ocasionar humedad persistente y eflorescencia.

Hay que tener presente que cuando no se cuenta con información o existen dudas de la calidad del agua a utilizar en la mezcla de concreto, lo recomendable es realizar ensayos químicos de la misma, con la finalidad de comparar los resultados obtenidos con los límites mostrados en la tabla 1.9. Adicionalmente, se debe hacer un ensayo de tiempo de fragua para verificar el correcto desarrollo de la fragua y endurecimiento de la pasta y, finalmente, hacer un ensayo de resistencia a la compresión en morteros.

## 1.6 CURADOR QUÍMICO

### 1.6.1 GENERALIDADES<sup>1,2,3,4,5</sup>

#### 1.6.1.1 Curado de Concreto

Se denomina así a los procedimientos empleados para promover la hidratación del cemento y el desarrollo de la resistencia del concreto. Dichos procedimientos permiten controlar la temperatura y los movimientos de humedad desde y hacia el concreto, siendo estos últimos los que afectan no solo su resistencia sino también su durabilidad.

El curado del concreto es muy importante ya que la hidratación del cemento se lleva a cabo sólo en los capilares llenos de agua, es por esto que se debe prevenir la evaporación de agua de los mismos. Otro factor importante es que, debido a la pérdida interna de agua por auto-deseccación (proceso natural exotérmico del cemento que se da durante su hidratación) se debe proveer de agua al concreto desde el exterior; es decir, debe tener lugar el ingreso de agua dentro del concreto.

Normalmente, el fenómeno de auto-deseccación se presenta en el concreto sellado, cuando se tienen relaciones agua / cemento menores a 0.50, ya que la humedad relativa interna en los capilares disminuye por debajo del 80% (valor mínimo necesario para que tenga lugar la hidratación).

En general, el curado del concreto es muy importante por los siguientes motivos: restringe la contracción de fragua, se reduce la deformación diferida, permite alcanzar la resistencia especificada del concreto utilizando una vía óptima y provee de la durabilidad requerida ya que el concreto obtenido es menos permeable y poroso.

<sup>1</sup> Adam Neville y J.J. Brooks: "Tecnología del Concreto" – Editorial Trillas, México 1998

<sup>2</sup> ASOCEM: "Cemento - Boletines Técnicos N° 1 al 42" (Boletín No 2: Curado del Concreto)., Lima 1993

<sup>3</sup> American Concrete Institute – ACI Perú: "Normas Peruanas de Estructuras" – Lima, 2001

<sup>4</sup> Enrique Casaprima: "Técnica y Práctica del Hormigón Armado I" – 2da. Edición, Editorial CEAC – España, 1961

<sup>5</sup> Oscar Casas Dávila: "Construcción II" (Cap. VIII: Puesta en Obra del Concreto). FIC – UNI, 2000



### 1.6.1.2 Métodos de Curado

Existen diversos métodos de curado, los cuales se pueden llevar a cabo a temperaturas normales o elevadas, pero todos ellos deben efectuarse teniendo en cuenta que la resistencia del concreto a largo plazo se verá seriamente afectada si se le somete a temperaturas iniciales elevadas, aún cuando se obtengan muy buenas resistencias iniciales del mismo. Además, en los casos de curado con agua, su temperatura no debe ser menor en más de 10° C respecto del concreto (es decir, no debe ser demasiado fría respecto del concreto a curar).

Entre los principales métodos de curado de concreto podemos mencionar los siguientes:

1.- **Curado normal o húmedo.**-Tiene como objetivo mantener el concreto a temperatura normal, saturado o tan saturado como sea posible. La ventaja de este método es que permite el incremento de la humedad interna.

Teóricamente, el proceso de inmersión o inundación es el más eficiente, pero solo es aplicable a elementos donde se puede controlar el flujo de agua, hacer pequeños "diques" o formar estanques de las dimensiones requeridas (p.e.: en pavimentos, losas y placas de alcantarilla, elementos de concreto móviles o fácilmente manejables, probetas de ensayo, etc)

2.- **Curado por Riego periódico de las áreas expuestas.**- Se aplica cuando no hay restricción de gasto de agua, ya que es necesario mantener la continuidad del proceso de curado.

3.- **Cobertura con arpilleras o yute mojado, coberturas con tierra o arena húmeda.**- La primera es de fácil aplicación en elementos verticales y horizontales; la segunda se utiliza generalmente en elementos horizontales (losas, pisos, etc.).

A diferencia del curado por riego periódico, este método requiere de menores aplicaciones de agua puesto que el agua se evapora con menos facilidad.

**4.- Aplicación de películas impermeables, compuestos de sellado parafínicos o resinoides, papel reforzado a prueba de agua o láminas de plástico.-** La aplicación de membranas es eficaz cuando éstas no están dañadas o picadas, ayudando a prevenir la evaporación del agua del concreto aunque sin permitir el ingreso de agua al mismo para reponer la pérdida por auto-desecación.

La membrana se forma con componentes sellados aplicados en forma líquida –a mano o por rocío– luego de que el agua libre ha desaparecido de la superficie del concreto pero antes de que los poros se sequen, de modo que puedan absorber el compuesto. Las membranas pueden ser claras, blancas o negras. Los componentes opacos tienen el efecto de dar “sombra” al concreto y el color claro conduce a una menor absorción del calor del sol, permitiendo una menor elevación de la temperatura del concreto. Las condiciones de aplicación de los compuestos son indicadas por el fabricante.

La efectividad de una membrana blanca y de las láminas translúcidas de polietileno (medida por la resistencia del concreto) es la misma. Esta se mide comparando la pérdida de humedad de una muestra sellada con la pérdida de humedad de una muestra sin sellar, ambas hechas y curadas bajo condiciones preestablecidas. La norma ASTM presenta las siguientes referencias:

**Tabla 1.10:** Normas ASTM relacionadas con materiales sellantes y coberturas de plástico o papel reforzado

Norma ASTM	Descripción
C 309	Indica los componentes del curado con membranas.
C 171	Indica los materiales para curado consistentes en láminas de plástico y papel reforzado.
C 156	Indica las pruebas para la eficiencia de los materiales para el curado.

En casos de aplicación de membranas en carreteras y trabajos de puentes, la norma BS 8110: parte 1: 1985 señala una eficiencia de curado del 75%.

Adicionalmente tenemos que –aún cuando las membranas de sellado reducen el grado de hidratación y los índices de hidratación comparadas con un curado de humedad eficiente, excepto cuando se aplican en concretos con agua / cemento elevadas– se suele recomendar este método de curado debido a que en la práctica el curado con humedad se aplica de manera intermitente, lo que no garantiza un curado eficiente ya que estará en función del seguimiento y control que se realice en obra a dicho proceso.

**5.- Curado al vapor.-** Se considera como un caso especial del curado húmedo, ya que el vapor es húmedo a presión atmosférica cuando la temperatura está por debajo de los 100° C (212° F). Este método proporciona altas temperaturas de curado, permitiendo que el concreto desarrolle elevadas resistencias iniciales y pueda ser manejado inmediatamente después de vaciado.

Este método se puede aplicar por medio del curado a vapor de alta presión o en autoclave (en cámaras especiales o túneles a través de los cuales son transportados los elementos de concreto en una banda transportadora) y es muy utilizado en el curado de piezas prefabricadas ya que permite obtener una resistencia que con el curado normal se obtiene luego de varios días.

Como referencia, se ha determinado que con el curado a vapor se obtienen resistencias de hasta el 60% de la resistencia a la compresión a los 28 días; presentándose un aumento de su resistencia hasta los 7 días, luego de los cuales ésta tiende a disminuir.

Una limitación de este método es que si se excede de una temperatura límite (aproximadamente los 75° C), la resistencia inicial aumentaría, pero posteriormente se generaría una pérdida muy significativa de la resistencia. La Norma Peruana de Estructuras indica como límite máximo del vapor los 66° C o la temperatura de pulverización del vapor.

**6.- Curado eléctrico (de calefacción eléctrica) del concreto<sup>1,2</sup>.**- Se utiliza para acelerar el endurecimiento del concreto fresco y como un medio de mantener la temperatura del concreto por encima del punto de congelación en casos de temperaturas bajas extremas (requiere de consumos pequeños de energía).

El curado eléctrico se basa en aplicar calor por acción de la electricidad al elemento de concreto, en donde se hace pasar una corriente alterna empleando dos electrodos fijos al concreto o colocados sobre la superficie del mismo. Este método se aplica en elementos prefabricados de concreto simple y armado, p.e.: pilotes, paneles de concreto ligero y de agregado poroso, concreto pesado, muros, etc.

<sup>1</sup> Carlos A. Barzola Gastelú: "Acción del Curado Eléctrico sobre el Concreto" – Tesis de Grado. Editorial P.A.I.C UNI, Perú 1971

<sup>2</sup> Elizabeth Patricia Soto Barra. "Curado del Concreto" – Tesis de Grado. FIC – UNI, Perú 1998.

**7.- Curado con rayos infrarrojos<sup>1</sup>.**- El curado del concreto se realiza por aplicación artificial de calor. Se emplea en la fabricación de tuberías, en donde la fuente de calor es aplicada en el espacio hueco de éstas, elevando la temperatura hasta los 90° C. En este método no se ha detectado que la resistencia final se vea afectada negativamente.

**8.- Utilización de encofrados o empleo de acelerantes<sup>1,2</sup>.**- Se consideran métodos de curado por control de evaporación (de la misma categoría que los curados mencionados en el ítem 4), pero su aplicación es en un período muy corto.

En el caso de los encofrados, si se conservan en su posición original durante 4 días posteriores al vaciado del concreto, cumplen la función indirecta de curado, ya que le protegen de la pérdida de humedad, por lo que se aplica al concreto un curado adicional sólo cuando es necesario (exposición permanentemente del concreto o climas calientes) y siempre que se hayan removido los encofrados de su superficie. Preventivamente, se puede aplicar agua en las caras expuestas del encofrado, sin removerlo del concreto.

Cuando se emplean acelerantes, éstos ayudan a acelerar la hidratación del cemento y reducen significativamente el tiempo de curado en comparación con un concreto normal pero no son un método de curado en sí sino que, a diferencia del encofrado, en este caso el concreto requiere de un curado adicional para alcanzar los requisitos establecidos por el proyecto.

<sup>1</sup> Elizabeth Patricia Soto Barra. "Curado del Concreto" – Tesis de Grado. FIC – UNI, Perú 1998.

<sup>2</sup> Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. "El Concreto en Obra" – Tomo II. Edit. Limusa, México 1990

Independiente del método de curado, tenemos que en la práctica es muy raro conseguir la hidratación de todo el cemento, por lo que se recomienda mantener dicho proceso hasta que los capilares en la pasta hidratada de cemento se hayan segmentado, consiguiéndose de esta manera un concreto impermeable, durable, menos sensible a las heladas y golpes accidentales que pudiera recibir, y de muy buena resistencia (principalmente a la compresión y desgaste).

Finalmente, tenemos que los métodos de curado más recomendables son aquellos que cubren al concreto completamente, en especial aquellos que mantienen el agua o la humedad en contacto estrecho con la superficie del concreto (métodos 1, 2 y 3), ya que de esta forma se protege al elemento de los rayos directos del sol y se le proporciona una humedad constante. Sin embargo, debido a que tienen ciertas desventajas como disponibilidad de agua, costo de mano de obra y materiales, supervisión continua para garantizar la correcta aplicación de los métodos de curado, entre otros, se suele optar por los métodos que evitan la pérdida de humedad ya que –aún cuando no tienen la misma eficiencia– tienen la ventaja de poder aplicarse con mayor facilidad a todo tipo de trabajos (excepto los especiales) y a menores costos.

### **1.6.1.3 Recomendaciones para un curado óptimo del concreto<sup>1,2</sup>**

Para asegurar el curado óptimo del concreto debemos tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

El agua de curado no debe tener más de 10° C por debajo de la temperatura del concreto (es decir, el agua puede ser fría en un máximo de 10° C respecto del concreto a curar), ya que se pueden presentar problemas en su superficie debido a la gradiente de temperatura.

<sup>1</sup> Elizabeth Patricia Soto Barra. "Curado del Concreto" – Tesis de Grado. FIC – UNI, Perú 1998.

<sup>2</sup> Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. "El Concreto en Obra" – Tomo II. Edit. Limusa, México 1990

Los elementos verticales de concreto, de superficies coloreadas o normales, que van a estar expuestos permanentemente a la intemperie, requieren de cuidados especiales durante su curado (se pueden presentar problemas de fisuramiento, aspecto poroso y de alta permeabilidad, mala durabilidad, débil ante la acción de heladas, climas húmedos y secos, etc.), y ser curados como mínimo durante 7 días. En este tipo de elementos es recomendable utilizar sacos de yute o polietileno, pero se ha observado que es más conveniente emplear un compuesto de curado aplicado por aspersión.

Todos los elementos de concreto que van a estar expuestos permanentemente a la intemperie deberán curarse como *mínimo 7 días*. Esto se aplica también a concretos cuyas superficies van a ser tratadas con martelinado o soplado de arenisca (acabado rugoso del concreto).

Para el caso de concreto blanco o de color, se deben utilizar plásticos en lugar de yute, ya que estos últimos pueden generar manchas en la superficie del concreto, siendo las piezas de plástico quienes brindan una mejor protección. En este tipo de concreto se debe tener cuidado al aplicar compuestos de curado, ya que se debe prever que estos no mancharán su superficie.

Cuando se va a curar concreto con armaduras de acero sobresalientes en ciertas áreas (p.e. continuaciones del refuerzo en los extremos superiores de columnas y muros), se pueden evitar las manchas de óxido y de aguas de lluvia que escurre por la superficie de concreto aplicando una lechada de cemento puro sobre el acero de refuerzo o protegiendo el acero con coberturas plásticas adheridas al mismo con cinta adhesiva, antes de aplicar el curado.

Para el curado de losas, este debe iniciarse lo antes posible, en el transcurso de la primera  $\frac{1}{2}$  hora posterior a la desaparición del brillo del agua, y en especial cuando predomine la presencia de vientos secos.

Para losas de grandes dimensiones se suele emplear el curado con membranas, con la ayuda de máquinas de operación mecánica. Para losas o pavimentos pequeños se aplican las membranas de curado con ayuda de un aspersor tipo fumigador de jardín, o se les cubre con yute mojado, arena húmeda, hojas de polietileno o papel de sacos de cemento; los cuales deben conservarse puestos como mínimo durante 7 días, manteniendo la humedad de los mismos, y teniendo especial cuidado en sus bordes, en donde el concreto presenta una mayor tendencia a secarse.

En casos de concreto con acabados superficiales (recubrimientos de arenacemento, grano lítico, pintura, etc.), se debe evitar utilizar compuestos de curado, ya que se puede afectar la adherencia.

Cuando en el concreto se va a realizar un enrasado de arena - cemento, se debe evitar usar compuestos de curado y más bien, proceder a conservar húmeda la superficie del concreto (luego de aplicar el enrasado) durante un mínimo de 7 días, con la ayuda de cubiertas de polietileno o papel de sacos de cemento.

En caso de realizar el curado del concreto con el método de aplicación de compuestos químicos, es recomendable:

- a) El compuesto químico debe cumplir con los requisitos de la norma ASTM C309 y debe contar con un certificado de calidad del fabricante o de un laboratorio.
- b) EL curado del concreto con este método se puede considerar equivalente a 14 días del curado húmedo, siempre que la membrana se mantenga intacta.



- c) Cuando existe la posibilidad de agrietamiento horizontal, es recomendable curar por vía húmeda durante las primeras 24 horas, previo a la aplicación del compuesto.
- d) En el caso de las membranas parafínicas, no se recomienda su uso en superficies que van a recibir tratamiento superficial, ya que éstas son difíciles de remover luego de ser aplicadas en el concreto, por lo que se debe recurrir al arenado u otro método alternativo de remoción, como el empleo de escobillas metálicas, lijas, etc.
- e) Se debe tener en cuenta que la eficiencia mínima promedio de un concreto curado bajo estas condiciones es del 75%, llegando en los mejores casos a alcanzar el 90% de eficiencia.

Para climas especiales como los climas cálidos y fríos, se debe tener en cuenta lo siguiente:

**i) *Climas Cálidos.***- Se denomina clima cálido cuando la temperatura ambiente es mayor a los 28° C, hay baja humedad relativa y altas velocidades de viento. Todas estas condiciones contribuyen a afectar negativamente la resistencia del concreto fresco o endurecido debido a la rápida evaporación del agua de concreto, por lo que éste requiere de cuidados rigurosos que permitan la correcta hidratación del cemento.

**ii) *Clima Frío.***- Es aquel en que se presenta por más de 3 días consecutivos las siguientes condiciones:

- Temperatura ambiental promedio diaria menor de 5° C.

- Temperatura ambiental menor de 10° C por más de la mitad de un período de 24 horas.

Bajo estas condiciones, el concreto en estado fresco es vulnerable a la congelación en condiciones saturadas, por lo que se debe mantener la humedad y temperatura adecuadas en el concreto. Como recomendaciones adicionales tenemos:

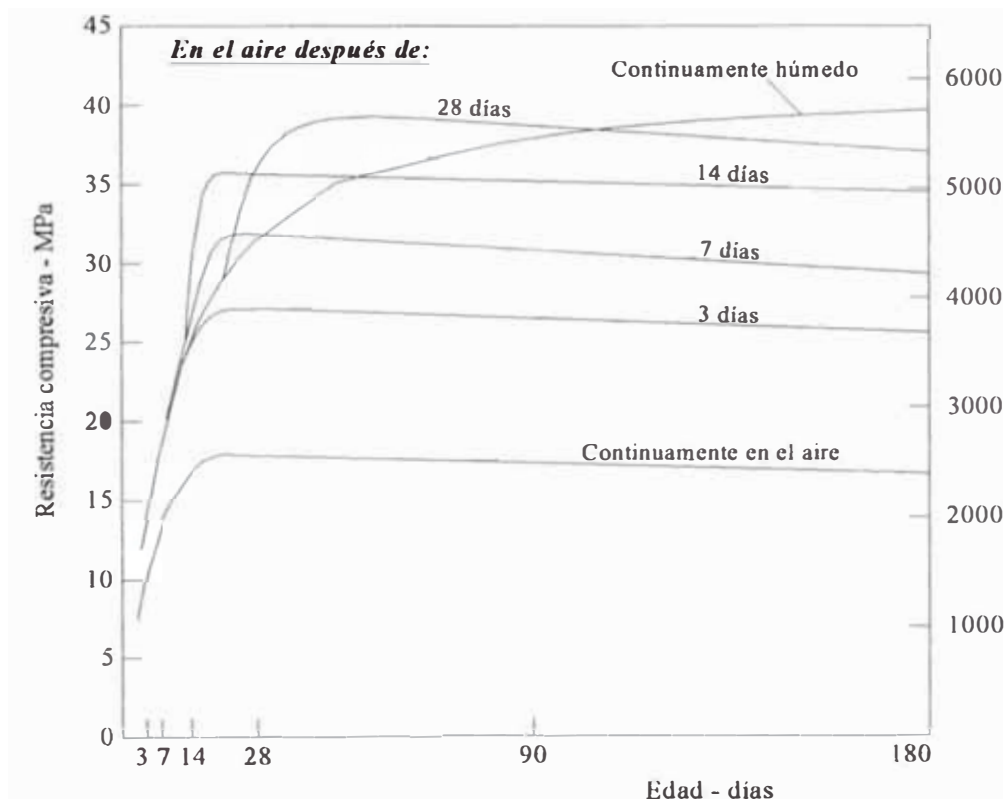
- Para temperaturas medias menores a 4° C, se debe mantener la temperatura del concreto entre 10 y 21° C durante el período especificado de curado.
- Se debe proteger al concreto contra la congelación y deshielo por lo menos hasta que desarrolle una resistencia a la compresión del 35 kg/cm<sup>2</sup>), y no se debe permitir el empleo de concreto sin aire incorporado; caso contrario, no se debe permitir que el concreto sin aire incorporado se congele en condiciones de saturación.
- Se debe evitar el secado excesivo debido a la concentración inadecuada de calor por efecto del curado con coberturas de aislamiento y calentamiento.
- Cuando se aplique calentamiento artificial, éste debe descontinuarse gradualmente al final del proceso de curado, con la finalidad de evitar el fisuramiento del mismo por efecto del cambio brusco de temperatura (el descenso total en cualquier porción de concreto no debe exceder -en 24 horas- los 4° C para secciones masivas, y los 13° C en secciones delgadas.
- Cuando se emplee calentamiento seco, el concreto se debe curar previamente con agua para prevenir un secado violento, en especial en las losas de piso y techos.
- Cuando se utilicen recintos cerrados para curar el concreto, éstos deberán ser herméticos y capaces de resistir la acción del viento y cargas de nieve.

### 1.6.1.4 Período de curado del concreto<sup>1</sup>

El período o tiempo de curado del concreto depende de muchos factores, y éste a su vez tiene marcada influencia dentro del comportamiento del concreto endurecido.

Como una manera de visualizar el efecto de curado sobre la resistencia del concreto veamos el siguiente esquema dado por Neville, para diferentes tipos de curado por el método de humedad:

**Fig. 1.2:** Influencia del curado por humedad en la resistencia del concreto, con una relación  $a/c = 0.50$



**Fuente:** Adam Neville y J.J. Brooks: "Tecnología del Concreto – Editorial Trillas, México 1998 (Figura 10.1, Pág. 39: Influencia del curado por humedad en la resistencia del concreto con una relación  $a/c = 0.50$ ).

Podemos observar que los mejores resultados se obtienen en elementos con humedad continua, pero como en la realidad esto no es aplicable, el período de curado dependerá básicamente de la función estructural que desempeñe el

concreto, de las características climatológicas predominantes, del tipo de cemento a utilizar, de las características que se deseen obtener del concreto, de la temperatura misma del concreto, entre otros.

La norma ACI 308-81 establece un tiempo mínimo de 3 días para cemento Portland de endurecimiento rápido (tipo III); de 7 días para cemento Portland común (tipo I) y de 14 días para cemento Portland de bajo calor (tipo IV). Sin embargo, debido a que la temperatura cumple un papel decisivo en el período de curado, la norma BS 8110: Parte 1: 1985 ha establecido períodos de curado normales para las condiciones siguientes:

**Tabla 1.11:** *Período mínimo de curado de concreto para diferentes cementos y condiciones de curado, según la norma BS 8110: Parte 1: 1985*

Tipo de Cemento	Período mínimo de curado y protección -en días- para la temperatura promedio superficial del concreto. (*Las fórmulas se usan para calcular el periodo mínimo de protección; t = temperatura °C)			
	Entre 5 y 10° C (41° F)	Arriba de 10° C (50° F)	Entre 5 y 25° C (41 y 77° F)	
Todos los tipos	1.- Húmedo no protegido (humedad relativa ≥ 80%), protegido del sol y del viento. Sin requerimientos especiales.			
Portland común (tipo I) Resistente al sulfato (tipo V) Endurece rápido (tipo III)	}	4	3	$\frac{60}{t + 10}$
Otros, con o sin escoria CCP		6	4	$\frac{80}{t + 10}$
Portland común (tipo I) Resistente al sulfato (tipo V) Endurece rápido (tipo III)	}	6	4	$\frac{80}{t + 10}$
Otros, con o sin escoria CCP		10	7	$\frac{140}{t + 10}$

**Fuente:** Adam Neville y J.J. Brooks: "Tecnología del Concreto – Editorial Trillas, México 1998 (Tabla 1.10: Período mínimo de protección requerido para diferentes cementos y condiciones de curado, como fue prescrito por la norma BS 8110: parte 1: 1985, Pág. 141).

## 1.6.2 CURADOR QUÍMICO CURACEM<sup>1,2</sup>

CURACEM es elaborado por Master Builders Technologies - MBT Perú, bajo los parámetros de calidad dados por la norma ASTM C 309-98<sup>a</sup>, quien le clasifica como compuesto tipo 1 - clase A. A continuación se presenta la información técnica del producto:

### 1.6.2.1 Descripción

CURACEM es un compuesto líquido de color blanco, formado por emulsión acuosa de parafinas refinadas con oleato de etanolaminas y pigmento de dióxido de titanio; es decir, se trata de parafina (conocida comúnmente como "cera" para velas) finamente molida, la cual se encuentra en suspensión en un medio acuoso. Su nombre original es Masterkure 123.

### 1.6.2.2 Aplicaciones

Se utiliza en todo tipo de obras, en especial en concretos de grandes superficies como pavimentos, pistas de aeropuertos, soleras de canales, losas en general, carpetas de puentes, obras hidráulicas, premoldeados curados a vapor, pisos industriales, etc. Actualmente su uso se ha extendido al curado de muros de viviendas de concreto vaciadas monolíticamente, en donde se procede a retirarlo luego de 28 días con ayuda de escobillas metálicas, detergente y lijas, con la finalidad de removerlo completamente y asegurar una óptima adherencia entre el concreto y la pintura que se aplicará posteriormente.

<sup>1</sup> Master Builders Technologies – MBT Perú. "CURACEM - Hoja Técnica". Edición 01/2001

<sup>2</sup> Degussa Construction Chemicals. "Masterkure 123 – Hoja de Salud y Seguridad". Edición 04/04/2000

### 1.6.2.3 Presentación del Producto y rendimiento

CURACEM rinde  $5\text{m}^2$  / litro en su estado natural y, en caso de diluirlo en agua en una proporción de 1:1, puede rendir hasta  $10\text{ m}^2/\text{L}$ . Tiene 2 presentaciones oficiales: *Tambor x 200 litros* (55 Gal.) y *garrafa x 20 litros* (5 Gal.). En ocasiones se expende a granel, en función del pedido del cliente.

### 1.6.2.4 Modo de Empleo

CURACEM se aplica tan pronto haya desaparecido el agua libre existente en la superficie del concreto fresco, lo cual ocurre entre  $\frac{1}{2}$  a 2 horas posteriores al alisado, dependiendo del clima y del tipo de concreto.

Cuando se desean cumplir los requisitos de normalización involucrados, CURACEM es aplicado sin diluir. Caso contrario, en obra se puede diluir el compuesto en agua, en una proporción 1:1.

La colocación de CURACEM se hace utilizando un pulverizador (similar a una mochila de jardín, para fumigar), debiendo aplicarlo en forma pareja y homogénea con la finalidad de distribuirlo correctamente y sin generar "lagunas" o manchas blancas densas en el concreto, ya que de esta manera, el compuesto demoraría en secar. Es recomendable aplicar el curador haciendo 2 pasadas, una en sentido cruzado respecto de la otra, hasta completar la cantidad de 1L de líquido en  $5\text{ m}^2$  de superficie.

En caso de concretos elaborados bajo el uso de encofrados, éstos se deben retirar y se procede a humedecer el concreto hasta que los poros hayan absorbido el agua (este proceso de humedecimiento es necesario para asegurar la continuidad del curado). Seguidamente, se aplica CURACEM, verificando previamente que el agua superficial aplicada ha desaparecido. Al final de la jornada, el equipo de curado se debe lavar con agua, para evitar que se presenten posteriores atoros por efecto del secado del agua y adhesión de la parafina en la boquilla del mismo.

### 1.6.2.5 Precauciones y Condiciones de almacenamiento del producto

En caso de que la película aplicada se haya deteriorado por efecto de lluvia o cualquier agente externo antes de su secado, ésta deberá ser retocada en las áreas dañadas.

Se debe proteger el curador de las temperaturas bajo cero. La vida útil del producto es de 6 meses (en envases cerrados de origen). No es un producto inflamable ni combustible.

### 1.6.2.6 Guía de seguridad: Riesgos, medidas de prevención y primeros auxilios

- a) *En salud.*- No presenta riesgos de salud cuando es utilizado para los usos recomendados y en las condiciones adecuadas de higiene personal e industrial.

En caso de exposición prolongada o repetida puede provocar dermatitis, por lo que se recomienda minimizar el contacto con la piel utilizando guantes de goma y calzado de trabajo. Se recomienda el uso de lentes protectores cuando exista el riesgo de salpicadura del producto. No se debe utilizar kerosene, nafta o solventes orgánicos para retirar el producto ya que sólo se requiere de agua.

No hay riesgos de inhalación, por lo que no se requiere de equipo especial. Lo recomendable es trabajar en lugares ventilados. Sólo cuando hay inhalación excesiva, se puede producir neumonitis.

No presenta problemas de toxicidad aguda, y sus materiales constitutivos no han sido reportados como cancerígenos. En caso de ingestión, enjuagar y lavar la boca con agua, pero no inducir al vómito. En caso de presentarse efectos adversos, obtener ayuda médica. No olvidar lavarse las manos antes de comer o beber.

- b) En medio ambiente.-** No es un producto biodegradable, por lo que se deben prevenir la descarga a desagote o drenajes, acequias o ríos empleando arena, tierra o cualquier otra barrera apropiada para detener derrames accidentales.

En caso de derrame, absorber con arena o tierra, recoger y transportar en recipientes apropiados hasta su destino definitivo de acuerdo a la legislación vigente en el lugar de aplicación.

CURACEM no presenta problemas de ecotoxicidad, ya que al diluirse con agua se produce el corte de la emulsión, separándose las parafinas sólidas, insolubles en agua, las cuales no son tóxicas para los organismos acuáticos. Al penetrar en la tierra, se adhiere a las partículas y se inmoviliza. Adicionalmente se ha comprobado que es un producto estable, por lo que no se genera el riesgo de formación de compuestos peligrosos durante su almacenamiento.

- c) En seguridad.-** No es un producto inflamable, por lo que no hay medidas indicadas para la prevención de incendios.
- d) En manipuleo y almacenaje.-** No presenta riesgos de transporte ni almacenaje. Durante la manipulación de los tambores, el operario deberá usar guantes y zapatos de seguridad. El almacenamiento del producto se debe realizar en un ambiente protegido de la congelación.



### 1.6.3 CURADORES QUÍMICOS ALTERNATIVOS<sup>1,2,3,4</sup>

En esta sección se incluye un cuadro resumen de los curadores químicos disponibles en la ciudad de Lima, cuyas características y aplicaciones se han obtenido de las hojas técnicas de los productos y han sido ratificadas por las empresas representantes, con la finalidad de evitar errores de interpretación y/o de información adicional expuesta en la presente. La información obtenida se ha recopilado tomando en cuenta las siguientes pautas:

#### 1.6.3.1 En la tabla 1.12:

1. **Datos Comerciales.**- Aquí se agrupan los datos referidos a las empresas involucradas tales como el **Grupo Comercial** (creador o propietario de los derechos del producto), y la empresa **Representante** (representante oficial del Grupo Comercial o de una línea específica de productos de la misma en nuestro país; pudiendo desempeñarse como fabricante y/o distribuidora). Se indican datos referenciales de contacto de las empresas representantes.
2. **Curadores Químicos.**- Es la relación de curadores que las empresas representantes tienen a la venta en la actualidad (año 2004). Se indican sus características generales y aplicaciones.

#### 1.6.3.2 En la tabla 1.13:

Se presentan los precios de venta referenciales (actualizados al mes de junio de 2005 y considerando como valor de cambio \$ 1.00 = s/ 3.25).

<sup>1</sup> EUCO. "Manual de productos para la construcción" – Química Suiza S.A.

<sup>2</sup> ITICSA "Chema: Aditivos y Productos para la Construcción" – Guía de Productos de Construcción.

<sup>3</sup> MBT Perú. Hojas Técnicas de Curadores Químicos.

<sup>4</sup> SIKA Perú. Hojas técnicas de productos para la Construcción.

<sup>5</sup> Z Aditivos S.A. "Línea de Comercialización" – Guía de Productos de Construcción.

**Tabla 1.12 : Principales Curadores Químicos disponibles en la ciudad de Lima.**

N°	Datos Comerciales	Curadores Químicos		
		Nombre	Características	Aplicaciones
1	<p><b>Grupo Comercial:</b> EUUCO <i>The Euclid Chemical Company - EEUU</i></p> <p><b>Representante:</b> Química Suiza S.A.</p> <p><b>Dir.:</b> Av. República de Panamá 2577, La Victoria</p> <p><b>Tel.:</b> 51-1-211-4000 ó 51-1-211-4066</p> <p><b>Fax:</b> 51-1-211-4050</p> <p><b>web:</b> www.qsconstruccion.com</p> <p><b>e-mail:</b> ventas@qsconstruccion.com avinces@quimicasuiza.com mguillen@quimicasuiza.com</p>	<p><b>KUREZ SEAL</b> (tambor o cilindro x 230 kg, Rend.=5 á 6 m<sup>2</sup>/L)</p>	<p>Compuesto para curado de concreto fresco (ASTM C 309). Líquido transparente. No desprende vapores molestos. Densidad =1.25Kg/L</p>	<p>En concreto caravista, pavimentos, pisos, muros y columnas, pisos industriales, losas, para ambientes interiores y exteriores. Aplicación directa del envase. No necesita removerse para tratamientos posteriores.</p>
		<p><b>KUREZ QS</b> (tambor x 200 kg, baldes x 20 Kg, Rend=150 á 200 gr/m2)</p>	<p>Compuesto para curado de concreto fresco, sin disolventes (ASTM C 309 Tipo1, clase A y B). Líquido blanco. No desprende vapores molestos. Densidad =0.995Kg/L</p>	<p>Igual que KUREZ SEAL, en banquetas, plataformas, parapetos, drenajes, etc. Se aplica cuando desaparece la humedad superficial del concreto fresco, directo del envase. Se remueve con limpiadores base pino y cepillado fuerte.</p>
		<p><b>EUCOCURE</b> (tambor x 200 kg ó 55 gal, baldes x 20 Kg ó 5 gal, Rend=7.5 á5.0 m2/L)</p>	<p>Compuesto acrílico curador de concreto fresco y sellador (ASTM C 309 Tipo1, clase A y B). Líquido blanco opaco. No desprende vapores molestos. Densidad =1.05Kg/L</p>	<p>Para los mismos usos de KUREZ SEAL y KUREZ QS, con la ventaja de que sella la superficie del concreto. Se aplica directamente del envase, luego de desaparecer la humedad superficial del concreto fresco. Se remueve con lijado, cepillado y aplicación de agua a presión.</p>
		<p><b>REZ SEAL</b> (tambor x 55 gal, Rend=150 á 200 gr/m2)</p>	<p>Membrana líquida acrílica para curado y sellado de concreto fresco (ASTM C 309 Tipo1 y 1D, clase B), de color claro, ligeramente ámbar, resistente a rayos UV, álcalis de cemento fresco y sales. Dens.=0.8 Kg/L</p>	<p>Para concretos de interiores y exteriores, superficies de terrazo y para aquellas superficies de pisos que se requiera de resistencia a la penetración de polvo y de materiales que manchen. Se remueve con disolventes fuertes como xileno, tolueno, o removedores de pintura comerciales, si no hay contraindicación.</p>

Tesis : "Estudio de la variabilidad de la resistencia del concreto aplicando curador químico de uso externo y utilizando cemento Portland tipo I"

Tesista : Bach. Ing. Marina Jovita Lam Lau

Asesor : Ing. Carlos Armando Barzola Gastelu

... continúa Tabla 1.12 :

		<b>Curadores Químicos</b>		
<b>N°</b>	<b>Datos Comerciales</b>	<b>Nombre</b>	<b>Características</b>	<b>Aplicaciones</b>
2	<p><b>Grupo Comercial :</b> CHEMA <i>Chem Masters del Perú S.A.</i></p> <p><b>Representante :</b> ITICSA Importadora Técnica Industrial y Comercial <b>Dir. :</b> Av. Industrial 765, Lima Cercado (alt. Cdra. 25 Av. Argentina) <b>Telf :</b> 51-1-336-8407 <b>Fax :</b> 51-1-336-8408 <b>web :</b> www.iticsa.com <b>e-mail:</b> chema@iticsa.com</p>	<p><b>MEMBRANIL A</b> (Presentación: 1, 5 y 55 gal. Rend= 12-14 m2/gal)</p> <p><b>MEMBRANIL B</b> (Presentación: 1, 5 y 55 gal. Rend= 20 m2/gal)</p> <p><b>MEMBRANIL C-9</b> (Presentación: 1, 5 y 55 gal. Rend= 12-14 m2/gal)</p> <p><b>MEMBRANIL VISTA</b> (Presentación: 1, 5 y 55 gal. Rend= 12-14 m2/gal)</p> <p><b>SUPER CURADOR CHEMA</b> (Presentación: 1, 5 y 55 gal. Rend= 12-14 m2/gal)</p> <p><b>MEMBRANIL ECONÓMICO REFORZADO</b> (Presentación: 1, 5 y 55 gal. Rend= 15 m2/gal)</p>	<p>Curador tipo membrana, líquido color rosa transparente (ASTM C309-Clase A) no tóxico ni inflamable. Se aplica sobre concreto fresco o endurecido.</p> <p>Curador resinoide tipo membrana (ASTM C309, Tipo I - Clase B) para vaciados en climas fríos (incluso temperaturas menores de 0°C).</p> <p>Curador tipo membrana con pigmento blanco (ASTM C309 tipo 2, clase B) para climas cálidos y con fuerte radiación solar (resiste temperaturas mayores de 28°C)</p> <p>Curador y sellador tipo membrana (ASTM C309, clase A), no inflamable.</p> <p>Curador líquido acrílico tipo membrana, resistente a climas fríos y templados, mín. 5° C.</p> <p>Curador acrílico líquido tipo membrana, para climas templados. Se aplica luego de la exudación del concreto.</p>	<p>Para vaciados en climas templados (temperaturas de 10 - 20 °C), en elementos horizontales, verticales, inclinados, losas, pistas, veredas, columnas, vigas, canales de irrigación.</p> <p>Para losas, vigas, columnas, muros, etc. Se aplica sobre concreto fresco o endurecido. Cuando se van a aplicar pinturas o asfaltos se debe remover la membrana mediante lavado de la superficie.</p> <p>Para losas, vigas y elementos verticales, columnas, muros. Se aplica sobre concreto fresco o endurecido. La membrana se remueve con lavado o abrasión, o por efecto de la desintegración al estar expuesta a la intemperie.</p> <p>Para concreto expuesto o caravista, sobre concreto fresco (luego de la exudación) o endurecido. Antes de aplicar pinturas o cualquier tipo de recubrimiento, remover la membrana con agua y escobilla.</p> <p>Se aplica en concreto fresco o endurecido, en calzadas, veredas, techos, carreteras, diques, revestimiento de canales, curado de tubos de concreto.</p> <p>Para todo tipo de superficies de concreto, veredas, calzadas, techos, carreteras, diques, revestimientos de canales, curado de tubos de concreto, etc.</p>

Tesis : "Estudio de la variabilidad de la resistencia del concreto aplicando curador químico de uso externo y utilizando cemento Portland tipo I"

Tesista : Bach. Ing. Marina Jovita Lam Lau

Asesor : Ing. Carlos Armando Barzola Gastelú

... continúa Tabla 1.12 :

N°	Curadores Químicos		
	Datos Comerciales	Nombre	Características
3	<p><b>Grupo Comercial:</b> DEGUSSA - Alemania</p> <p><b>Representante:</b> Master Builders Technologies MBT Perú - MBT UNICON</p> <p><b>Dir.:</b> Plácido Jiménez 630 - Lima Cercado (Lima 1)</p> <p><b>Tel.:</b> 51-1-385 0109</p> <p><b>Fax:</b> 51-1-385 2065</p> <p><b>web:</b> www.mbtla.com</p> <p><b>e-mail:</b> hlilap@unicon.com.pe rsotomayor@unicon.com.pe</p>	<p><b>CURACEM</b> (tambores x 55 gal ó 208 L, baldes x 5 gal ó 19 L; Rend=5 á 10 m2/L,)</p> <p><b>MASTERKURE N-SEAL-HS</b> (tambores x 55 gal ó 208 L, baldes x 5 gal ó 19 L; Rend=5 á 10 m2/L,)</p>	<p><b>Aplicaciones</b></p> <p>Para estructuras de concreto expuesto en general, pavimentos, pistas de aeropuertos, canales, losas de techo y aligerados, carpetas de puentes, estructuras hidráulicas, prefabricados, pisos industriales, recomendable para curados en climas calurosos y secos. Se remueve con lijado y cepillado fuerte.</p> <p>Para interiores y exteriores, sobre concreto liso o texturizado, elementos verticales u horizontales, pisos industriales, etc. Recomendable en casos que no se requiera remover el compuesto de curado de la superficie del concreto. Se recomienda <b>SÓLO PARA USO PROFESIONAL</b>, debido a los riesgos de aplicación y garantías de eficiencia del producto.</p>
4	<p><b>Grupo Comercial:</b> SIKA - Suiza</p> <p><b>Representante:</b> Sika Perú S.A.</p> <p><b>Dir.:</b> Av. Los Frutales 253, Ate.</p> <p><b>Fax:</b> 51-1- 618 6070</p> <p><b>web:</b> www.sika.com.pe</p> <p><b>e-mail:</b> construcción@sika.com.pe ó ventas@sika.com.pe</p>	<p><b>ANTISOLS</b> (tambores x 220 kg, baldes x 20 kg; Rend = 180 - 200 gr/m2)</p>	<p>Se aplica en elementos de concreto en general, en especial en superficies verticales. No requiere ser removido para tratamientos posteriores de tarrajeo, pintado, colocación de baldosas, etc.</p>

Tesis : "Estudio de la variabilidad de la resistencia del concreto aplicando curador químico de uso externo y utilizando cemento Portland tipo I"

Tesista : Bach. Ing. Marina Jovita Lam Lau

Asesor : Ing. Carlos Armando Barzola Gastelú

... continúa Tabla 1.12 :

N°	Datos Comerciales	Curadores Químicos		
		Nombre	Características	Aplicaciones
5	<p><b>Grupo Comercial :</b> Z ADITIVOS - Perú</p> <p><b>Representante :</b> <b>Z ADITIVOS S.A.</b> Dir. : Av. Los Faisanes 675 ó W8A - Urb. La Campiña, Chorrillos</p> <p><b>Telfax :</b> 51-1-252 3274 ó (3058) <b>Nextel :</b> 51-1-9812*8514 <b>web :</b> www.zaditivos.com <b>e-mail :</b> zaditivos@terra.com.pe</p>	Z. MEMBRANA "A" (baldes x 5 gal, cilindros x 55 gal); Rend= 20m2/gal.	Curador acuoso, tipo membrana (ASTM C 309), pigmento de color rojo que desaparece a los 7 días.	Para pistas, veredas, placas y columnas, losas industriales. También se emplea en el curado de morteros impermeabilizados aplicados en tanques y cisternas.
		Z. SOL BLANCO (baldes x 5 gal, cilindros x 55 gal); Rend= 20 á 30 m2/gal.	Curador tipo membrana para concreto fresco o endurecido, parafínico, color blanco, semi-transparente (ASTM C 309, tipo Z. Clase B)	Para losas, pistas, canales, bodegas, paredes, silos, en grandes áreas expuestas, etc. Se remueve por medios abrasivos y mecánicos.
		CURET Z. (baldes x 5 gal, cilindros x 55 gal); Rend= 20 m2/gal.	Curador y sellador acrílico de concreto, de color blanco (ASTM C 309, tipo I). Es refractario a los rayos solares.	Para columnas, vigas, placas. Recomendable en superficies que van a recibir tratamientos posteriores (tarrajeo, pintura, etc); para climas fríos y cálidos.
		Z. ESPUESTO (baldes x 5 gal, cilindros x 55 gal); Rend= 20 m2/gal.	Curador tipo membrana transparente, no inflamable (ASTM 3787 y ASTM C 309), no inflamable.	Para concreto caravista (placas, columnas). En caso de pintura debe removerse con agua y escobillón. No necesita removerse en caso de tarrajeo.
		CURADOR Z. RESINOIDE (baldes x 5 gal, cilindros x 55 gal); Rend= 20 m2/gal.	Compuesto líquido tipo membrana (ASTM C 309, tipo I). Producto inflamable.	Recomendable para climas fríos, en pistas, veredas, columnas, placas, vigas, techos, etc, y en aquellos que van a tener recubrimientos asfálticos.

Tesis : "Estudio de la variabilidad de la resistencia del concreto aplicando curador químico de uso externo y utilizando cemento Portland tipo I"

Tesista : Bach. Ing. Marina Jovita Lam Lau

Asesor : Ing. Carlos Armando Barzola Gastelú

**Tabla 1.13 :** Precios referenciales de los principales curadores químicos disponibles en la ciudad de Lima.

Representante	Referencias	Curador	Presentación	Precio (\$) Unitario*
<b>ITICSA</b> Importadora Técnica Industrial y Comercial	<b>Dir.:</b> Av. Industrial 765, Lima Cercado (alt. Cdra. 25 Av. Argentina) <b>Telf.:</b> 51-1-336-8407 <b>Fax :</b> 51-1-336-8408 <b>web :</b> www.iticsa.com <b>e-mail:</b> chema@iticsa.com	MEMBRANIL A	x 1 gal.	5.19
			x 5 gal.	22.50
			x 55 gal.	220.00
		MEMBRANIL B	x 1 gal.	9.86
			x 5 gal.	45.00
			x 55 gal.	450.00
		MEMBRANIL C-9	x 1 gal.	6.05
			x 5 gal.	29.30
			x 55 gal.	302.00
		MEMBRANIL VISTA	x 1 gal.	3.34
			x 5 gal.	15.50
			x 55 gal.	140.00
		SUPER CURADOR CHEMA	x 1 gal.	4.62
			x 5 gal.	22.00
			x 55 gal.	196.39
MEMBRANIL ECONÓMICO REFORZADO	x 1 gal.	3.20		
	x 5 gal.	14.60		
	x 55 gal.	120.74		
<b>MBT Perú / MBT UNICON</b>	<b>Dir. :</b> Plácido Jiménez 630 - Lima Cercado (Lima 1) <b>Telf.:</b> 51-1-385 0109 <b>Fax :</b> 51-1-385 2065 <b>web :</b> www.mbtla.com <b>e-mail:</b> hllap@unicon.com.pe rsotomayor@unicon.com.pe	CURACEM	x 55 gal ó 208 L	260.00
		MASTERKURE N-SEAL-HS	x 55 gal ó 208 L	385.00
<b>Química Suiza S.A.</b>	<b>Dir.:</b> Av. República de Panamá 2577, La Victoria <b>Telf.:</b> 51-1-211-4000 ó 51-1-211-4066 <b>Fax:</b> 51-1-211-4050 <b>web:</b> www.qsconstruccion.com <b>e-mail:</b> ventas@qsconstruccion.com avinces@quimicasuiza.com	KUREZ SEAL	x 230 Kg.	99.00
			x 25 Kg.	13.00
		KUREZ QS	x 200 Kg.	187.00
			x 20 Kg.	21.80
		EUCOCURE	x 200 Kg.	144.50
			x 20 Kg.	18.00
REZ SEAL	x 55 gal.	408.91		

\* Los precios no incluyen IGV. En el caso de Química Suiza, los precios son válidos para un mínimo de 5 - 10 und.

\* Precios actualizados al mes de Mayo de 2005, con un valor de cambio igual a U\$S 1.00 = s/ 3.25

Tesis : "Estudio de la variabilidad de la resistencia del concreto aplicando curador químico de uso externo y utilizando cemento Portland tipo I"

57

Tesista : Bach. Ing. Marina Jovita Lam Lau

Asesor : Ing. Carlos Armando Barzola Gastelú

... continúa Tabla 1.13

Representante	Referencias	Curador	Presentación	Precio (\$) Unitario*
Sika Perú S.A.	Dir. : Av. Los Frutales 253, Ate. Fax : 51-1-618 6070 web : www.sika.com.pe e-mail: ventas@sika.com.pe ó construcción@sika.com.pe	ANTISOL S	x 220 Kg	128.00
			x 20 Kg	20.00
Z ADITIVOS S.A.	Dir.: Av. Los Faisanes 675 ó W8A - Urb. La Campiña, Chorrillos. Telfax : 51-1-252 3274 ó 51-1-252 3058 Nextel : 51-1-9812*8514 web : www.zaditivos.com e-mail : zaditivos@terra.com.pe	Z. MEMBRANA "A"	x 5 gal.	13.66
			x 55 gal.	150.00
		Z. SOL BLANCO	x 1 gal.	3.00
			x 55 gal.	160.00
		CURET Z.	x 5 gal.	11.82
			x 55 gal.	130.00
		Z. ESPUESTO	x 5 gal.	10.91
			x 55 gal.	120.00
CURADOR Z. RESINOIDE	x 1 gal.	6.00		
	x 55 gal.	300.00		

\* Los precios no incluyen IGV.

\* Precios actualizados al mes de Mayo de 2005, con un valor de cambio igual a US\$ 1.00 = s/ 3.25

Tesis : "Estudio de la variabilidad de la resistencia del concreto aplicando curador químico de uso externo y utilizando cemento Portland tipo I"

58

Tesista : Bach. Ing. Marina Jovita Lam I. au

Asesor : Ing. Carlos Armando Barzola Gastelú

## **CAPÍTULO II**

### **DISEÑO DE MEZCLA**

#### **2.1 GENERALIDADES<sup>1,2</sup>**

Se denomina *Diseño de Mezcla* al cálculo de las proporciones de los materiales requeridos para la elaboración de un concreto con características preestablecidas.

Existen diversos métodos de diseño de mezcla (cuyas tablas se muestran en el ANEXO), entre los cuales podemos mencionar:

Método del ACI - Comité 211

Método de Walter

Método del módulo de finura de la combinación de agregados

Método de la relación agua / cemento

Método de diseño por mezclas de prueba

Método del Peso Unitario Compactado del Agregado Global y máxima resistencia a la compresión del concreto a los 7 días.

##### **2.1.1 Método del ACI -Comité 211.**

Consiste en hacer el diseño de mezcla del concreto en base a tablas proporcionadas por el ACI. Generalmente este método se aplica en el diseño de concretos de peso normal y para las condiciones especificadas en cada tabla.

<sup>2</sup> Enrique Rivva López. "Tecnología del Concreto - Diseño de Mezclas". Editorial ACI. Perú 1992  
Rafael Cachay Huamán. "Diseño de Mezclas, Método del Agregado Global y Módulo de Finura para Concretos de Mediana a Alta Resistencia" – Tesis de Grado. Editorial FIC -UNI. Perú 1998.



En este método se determinan las proporciones de los materiales por metro cúbico de concreto, teniendo como base o no las especificaciones técnicas del proyecto (tales como resistencia, durabilidad, propiedades de los agregados, trabajabilidad, etc.), desviación estándar o variabilidad de datos de la empresa constructora, entre otros. Tiene la característica de mantener constante la cantidad de agregado grueso durante los cálculos de diseño.

El método del ACI permite realizar diseños de mezcla para diferentes requisitos de obra gracias a la diversidad de condiciones planteadas en sus tablas de diseño, lo que ha permitido el desarrollo de nuevos métodos de diseño.

### **2.1.2 Método de Walter.**

El profesor norteamericano Stanton Walter desarrolló una tabla para el diseño de mezcla del concreto que, a diferencia del Método del ACI, plantea el cálculo de las proporciones de los materiales del concreto en función del contenido de la pasta de cemento, perfil y tamaño máximo nominal del agregado grueso (redondeado o regular) y módulo de finura del agregado fino (lo clasifica en 3 categorías: fino, mediano y grueso); siendo aplicable a concretos sin aire incorporado.

### **2.1.3 Método del módulo de finura de la combinación de agregados.**

Fue desarrollado por Stanton Walter y el grupo de investigación del Laboratorio de Concreto de la Universidad de Maryland. A diferencia del método anterior, en este método se determinan los porcentajes de agregado grueso y fino en función de sus módulos de finura (considerados una medida indirecta de sus granulometrías y superficies específicas), condición del módulo de finura del agregado global planteada por las especificaciones de obra y características requeridas del concreto (como resistencia, relación agua / cemento, contenido total de agua, etc.).

#### **2.1.4 Método de la Relación agua / cemento.**

Se aplica generalmente cuando no se tiene registro de ensayos aceptables de obra o cuando no hay información de resultados de mezcla de prueba. Este método consiste en determinar la relación agua / cemento del concreto en función de una tabla que relaciona el efecto del contenido de aire sobre la resistencia del concreto.

Este método sólo se debe realizar bajo la autorización de la Supervisión, para la elaboración de concretos con resistencias a la compresión menores a los 245 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días y en los que se va a utilizar cemento Portland tipo I (normal). No es aplicable para el diseño de concretos pesados o ligeros o aquellos en los que se utilicen aditivos que no sean incorporadores de aire.

#### **2.1.5 Método de diseño por mezclas de prueba.**

Se utiliza cuando no se cuenta con un registro aceptable de resultados de ensayos en obra, o cuando éstos no cumplen requisitos preestablecidos. Puede ser realizado sólo cuando el responsable es un ingeniero con amplia experiencia y en casos de extrema necesidad. No es aplicable en concretos que van a tomar esfuerzos sísmicos y/o desarrollarán comportamiento estructural.

En este método se determinan las proporciones de los materiales en función de resultados de mezclas experimentales conocidas como mezclas de prueba, debiendo tener especial cuidado en utilizar los materiales y las combinaciones de los mismos que se van a emplear en obra.

#### **2.1.6 Método del Peso Unitario Compactado del Agregado Global (P.U.C. Global) y Máxima Resistencia a la Compresión del Concreto.**

Este método de diseño es relativamente joven aún cuando los principios en los que se basa son muy antiguos. En nuestro país ha sido desarrollado y viene siendo investigado por los ingenieros Rafael Cachay Huamán y Carlos A. Barzola Gastelú, desde el año 1998. Ambos son profesores de la Universidad Nacional de Ingeniería e investigadores del Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil - UNI.

El método del P.U.C. Global plantea el diseño del concreto tomando como base la combinación óptima de los agregados fino y grueso obtenidos del análisis del comportamiento del peso unitario compactado del agregado global para diferentes combinaciones de agregados; optándose por elegir los porcentajes de agregados cuya combinación genere el máximo P.U.C. Global.

Adicionalmente, y con la finalidad de refinar dichos porcentajes, se elaboran probetas de ensayos para 3 combinaciones diferentes de agregados (3 probetas cilíndricas de 15 x 30 cm para cada combinación), las cuales deben ser ensayadas a compresión a los 7 días. La primera combinación es la relación de agregados obtenida en el laboratorio con ayuda del P.U.C. Global máximo. Las otras dos se obtienen variando el porcentaje de arena en + 3% (tener en cuenta que la suma de porcentajes de arena y piedra es 100%) de la primera combinación. Finalmente se elige la relación arena - piedra que genera la máxima resistencia a la compresión a los 7 días.

De lo expuesto anteriormente, vemos que el principio de este método es la influencia de los agregados dentro de la resistencia, durabilidad y economía del concreto, entre otras propiedades; e inherente a estas propiedades se obtienen: trabajabilidad de la mezcla, óptimo acomodo de las partículas de los agregados fino y grueso, y muy buena compacidad del producto resultante.

Cabe mencionar que en este método se determinan las proporciones de los materiales por metro cúbico de concreto, pudiéndose utilizar como referencia para los tanteos iniciales las tablas de diseño de los métodos mencionados anteriormente, ya que no se han desarrollado aún registros históricos de obra por su poca aplicación debido al escaso conocimiento de las empresas constructoras respecto de este método o del hecho que el respaldo de éste es función de los resultados de laboratorio, por ser un método que aún no es considerado dentro de la normatividad nacional vigente.

En el siguiente cuadro se muestran los procedimientos a seguir para el desarrollo de los principales métodos de diseño de mezcla (en el caso de las tablas referenciales para el diseño de mezcla, ver la sección ANEXOS):

**Tabla 2.1**

*Procedimiento de diseño de mezcla de concreto según el método a utilizar, empleando como referencia un Procedimiento Base.*

(Fuente: Ing. Rafael Cuchay H. "Diseño de Mezclas, Método del Agregado Global y Módulo de Finura para Concretos de Mediana a Alta Resistencia" - Ed. UNI, Perú 1998)

N°	Método	ACI 211	Walker	Módulo de Finura de la Combinación	Relación a/c
1	Procedimiento Base				
2	Aquí se indican los pasos a seguir para un diseño de concreto en general (el check en los otros métodos indica que es el mismo procedimiento que el base).	es muy utilizado en el diseño de mezcla del concreto y en casos que hay registros históricos.	Es función del M. de Finura y características físicas de los agregados, así como del contenido de cemento.	El diseño es función de los M.F. de los agreg., su superf. Especifica, y la resistencia requerida.	Se usa cuando no hay registro óptimo de la empresa, o no hay datos de diseños de mezcla.
3	Planos y especificaciones (Recopilar información base)	✓	✓	✓	✓
4	Resistencia requerida, desviac. estándar, coefic. de variación.	✓	✓	Tener como base resistencia promedio.	Tener el registro de pruebas anteriores.
5	T.N.M. del agregado grueso	✓	✓	✓	Realizar el control de:
6	Asentamiento de diseño (slump)	✓	✓	✓	- T.N.M
7	Agua de diseño (función de TNM, slump y % aire atrapado o incorp.)	✓	✓	✓	- Asentamiento (agua)
8	% de aire atrapado o total	✓	✓	✓	- Contenido de aire
9	Selección a/c (por resistencia), en función de los items 5 y 2	✓	✓	✓	- Relación a/c
10	Relación a/c (por durabilidad)	✓	✓	✓	- Factor cemento
11	Selección de a/c (mín. de 7 y 8)	✓	✓	✓	- Agregado fino, grueso
12	Determinar Factor cemento(bls/m3)				
13	Agregado Fino / grueso (determinar proporciones relativas)	Determinar contenido de agregado grueso	Calcular S Vol. Abs.de agua, aire, cemento, agreg. grueso y luego global, % agreg. fino.	- Vol. de pasta, Vol. Abs. Agreg, M.F. Comb, % Finos, Vol. y peso seco de agregados	
14	Diseño seco	S Vol. Abs.de agua, cemento, aire, agreg. grueso y luego vol. fino. Hacer diseño seco.	✓	✓	
15	Diseño húmedo	✓	✓		Proporcionam. en obra
16	Reajuste en laboratorio	(si no cumple, volver a 5)	✓	Proporción en peso (tanda de l bolsa)	Tandas de prueba o especificadas
17	Reajuste en obra	Dosificar tanda requerida	✓	✓	Resultados de f'c vs a/c

Tesis : " Estudio de la variabilidad de la resistencia del concreto aplicando curador químico de uso externo y utilizando cemento Portland Tipo I "

Tesista : Bach. Ing. Marina Jovita Lam Lau

Asesor : Ing. Carlos Armando Barzola Gasteli

## 2.2 PROCEDIMIENTO DE DISEÑO<sup>1,2</sup>

El procedimiento de diseño de mezcla por el *Método del Agregado Global y Máxima Resistencia a la Compresión* desarrollado en la presente tesis fue el siguiente:

### a) Recopilación de Información Base:

Características físicas del agregado fino y grueso obtenidas del laboratorio.

Determinación de las condiciones de diseño del concreto. En este caso, el diseño debía cumplir con un slump de 3-4", concreto de mediana a baja resistencia y relaciones agua / cemento iguales a 0.60, 0.65 y 0.70.

### b) Peso Unitario Compactado Global

Se determinó el máximo Peso Unitario Compactado Global y la combinación arena - piedra resultante.

Cálculo de 2 combinaciones adicionales de agregado global variando el porcentaje de arena en + 3% respecto de la obtenida anteriormente.

### c) Diseño y elaboración de concretos de prueba para el cálculo del agua de mezcla.

El procedimiento de diseño se indica en la tabla 2.2 (Pág. 84). Para el tanteo del agua de mezcla se utilizó la relación agua / cemento de 0.65. Se tuvo en cuenta el control diario del contenido de humedad de los agregados previo al diseño de mezcla de concreto, salvo aquellos días en que se pesaron los agregados y se almacenaron en bolsas con la finalidad de asegurar la inalterabilidad de los mismos.

<sup>1</sup> Carlos Armando Barzola Gastelú: "Tecnología del Concreto II" (Apuntes de clase). Editorial FIC-UNI. Perú 2001.

<sup>2</sup> Edgar Vilca Justo: "Características del concreto endurecido por efecto de un aditivo curador de aplicación externa, utilizando Cemento Portland tipo I" – Tesis de Grado. Editorial FIC – UNI. Perú, 1999.

Es recomendable calcular 3 o más diseños de mezcla a manera de previsión, variando los volúmenes de agua por metro cúbico de concreto, para facilitar el tanteo que nos permita obtener el slump o trabajabilidad especificados en menor tiempo. Adicionalmente, quiero indicar que la curva Agua vs. Slump es opcional si tenemos como base un registro de la variabilidad del slump para condiciones de diseño similares al nuestro, tal como se muestra en las observaciones del cuadro 2.6 (Pág. 92), lo que me permitió obtener un ahorro importante de tiempo y dinero.

### **Importante!!**

Esta etapa de elaboración de mezclas de prueba cumple un rol decisivo en el cálculo de los porcentajes de combinación de agregados ya que es aquí donde podremos verificar -tanto visual como físicamente- el comportamiento de la mezcla y la relación entre los agregados y la pasta de cemento. Prueba de ello es que en la presente tesis se pudo observar que los porcentajes preliminares obtenidos en el laboratorio (45% Arena – 55% piedra) no eran óptimos debido a que se obtuvo una mezcla con apariencia “pedregosa” y de mala adherencia entre los materiales del concreto, además de presentar *falla por corte*, por lo que se tuvo que redefinir nuevamente la combinación de agregados en base al cuadro 1.11 y gráfica 1.1, obteniendo la combinación de 46% arena – 54% piedra, la cual dio pase a un concreto de buena trabajabilidad y aceptable.

**d) Porcentajes definitivos de agregados – Método de la Máxima Resistencia a la Compresión a los 7 días.**

Para la elección de la combinación definitiva de agregados, se elaboraron 2 mezclas adicionales a la combinación 46% arena – 54% piedra, variando el porcentaje de arena en + 3%:

<b>Combinación</b>	<b>%Arena - % Piedra</b>
1era.	46% - 54%
2da. (-3% arena)	43% - 57%
3era. (+3% arena)	49% - 51%

El tanteo de agua de mezcla de cada combinación se realizó considerando un asentamiento de 3 á 4 pulgadas. Obtenido este Slump, las mezclas eran vaciadas inmediatamente en los moldes, compactadas, enrasadas y finalmente rotuladas. El desencofrado y curado de las muestras se realizó luego de 24 horas.

A la edad de 7 días, las muestras fueron ensayadas a compresión (f'c), eligiéndose como combinación definitiva aquella cuyo concreto presentó el mayor valor de resistencia.

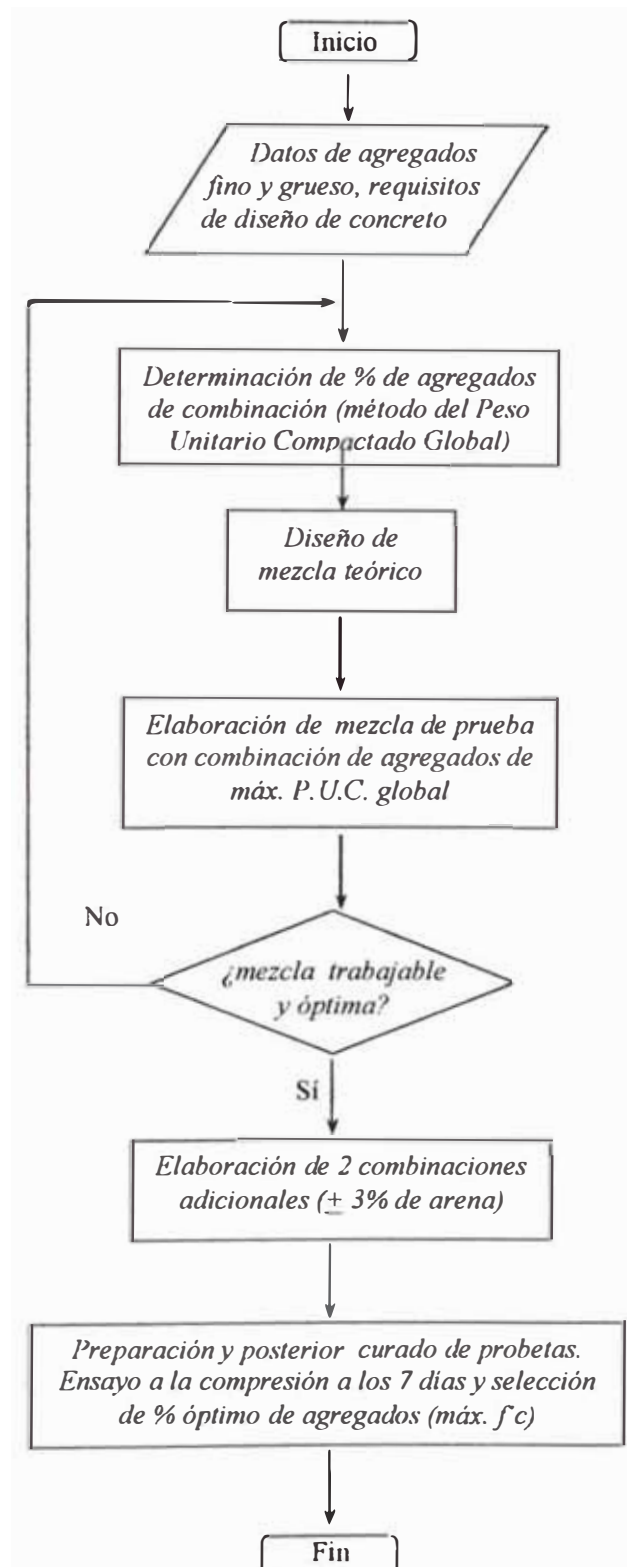
A continuación se presenta el diagrama de flujo del procedimiento de diseño de mezclas de prueba por el método adoptado en la presente tesis, la tabla 2.2 (de diseño) y los resultados obtenidos en el laboratorio, cuya secuencia es la siguiente:

Diseño de mezclas de prueba: combinaciones de 46, 43 y 49% de arena y resultados de Slump.

Resultados de la resistencia a la compresión a los 7 días, de las mezclas de prueba.

Gráfica del *Porcentaje de Arena de la Combinación vs. Resistencia a la Compresión (7 días)*.

**Fig. 2.1:** Diagrama de Flujo para la obtención de las mezclas de prueba, utilizando el "Método del Agregado Global y la Máxima Resistencia a la Compresión"



**Fuente :** Elaboración propia



**TABLA 2.2 : PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO**

Fuente: Ing. Rafael Cachay Huamán. "Diseño de Mezclas. Método del Agregado Global y Módulo de Finura para Concretos de Mediana a Alta Resistencia"  
 – Tesis de Grado. Edit. Facultad de Ingeniería Civil – UNI. Perú 1998

a/c (en peso) = <input type="text" value="A5"/>		C.H. Arena (%) = <input type="text" value="A6"/>		C.H. Piedra (%) = <input type="text" value="A8"/>	
		ABS. Arena (%) = <input type="text" value="A7"/>		ABS. Piedra (%) = <input type="text" value="A9"/>	

Material	Cant.	P.E. (gr/cc)	V. A.	P. Seco (kg)	P.U.S.	+ C.H. Agreg	agua (lt/m3)	D.O.	D.U.O. / kg cem.	Para 3 prob.	Slump
Cemento (kg/m3)	B1	A1	C1	D1	E1			H1	I1	J1	K
Agua (lt/m3)	B2	A2	C2	D2	E2			H2	I2	J2	
Arena (% en peso)	B3	A3	C3	D3	E3	F1	G1	H3	I3	J3	
Piedra (% en peso)	B4	A4	C4	D4	E4	F2	G2	H4	I4	J4	
aire (% en vol.)	B5	-	C5								
Total (m <sup>3</sup> ) =			C6	G3		Total =		I5	J5		
Agua + Cemento + aire =			C7	P.U.S. =		E5		# tandas ó kg de cemento (para 3 probetas)			
arena + piedra =			C8	D.U.O. =		H5					

*Verificando semejanza de (arena + piedra) en P.U.S. Y D.U.O.:*

**En donde:**

- i ) Ai = datos base de laboratorio / requisitos de diseño de concreto.
- ii ) B2 = tanteo o volumen definitivo de agua de mezcla (lt/m3 de concreto)
- iii ) B1 = B2/A5 ; B3, B4 = porcentajes de combinación de arena y piedra
- iv ) B5 = de tablas o condic. inic. de diseño ; Ci=Bi/(Ai\*1000) (i=1,2)
- v ) C5=B5/100; C6=1.00; C7=C1+C2+C5; C8=C6-C7; C3=C8xB3; C4=C8xB4
- vi ) Di=Ai\*Ci\*1000 (i=1,2,3,4); Ei=Di/B1 (i=1,2,3,4); F1=D3\*[1+A6/100];
- vii ) F2=D4\*[1+A8/100]; G1=D3\*[A6-A7]/100; G2=D4\*[A8-A9]/100; G3=G1+G2
- viii) H1=D1; H2=D2+G3; H3=F1; H4=F2; li=Hi/B1 (i=1,2,3,4); I5=S(li) (i=1,2,3,4)
- ix) J5=54/I5 (para 3 probetas de 18 kg c/u)
- x) Ji=li\*J5 (i=1,2,3,4,)
- xi) E5=E3+E4; H5=I3+I4
- xii) K=slump resultante del diseño (se obtiene en el laboratorio)

**CUADRO 2.1: DISEÑO DE MEZCLAS DE PRUEBA DE 3 PORCENTAJES DE ARENA DE COMBINACIÓN: 43, 46 y 49%; CON a/c=0.65, PARA LA DETERMINACIÓN DE SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 7 DÍAS Y ELECCIÓN DE PORCENTAJES DE AGREGADOS DEFINITIVOS.** ( Fecha : 26 de setiembre de 2003 )

a/c (en peso) = **0.65**

C.H. Arena (%) = **1.73**  
 ABS. Arena (%) = **1.15**

C.H. Piedra (%) = **0.96**  
 ABS. Piedra (%) = **0.52**

Material	Cant.	P.E. (gr/cc)	V. A.	P. Seco (kg)	P. U.S.	+ C.H. Agreg	agua (lt/m3)	D.O.	D.U.O. / kg cem.	Para 3 prob.	Slump
Cemento (kg/m3)	344.88	3.15	0.109	344.88	1.000			344.88	1.00	7.9	2 1/2" (se descartó la mezcla, pero luego se identificó lectura mal hecha ya que se hizo desde punto más alto del cono, pero debió ser desde su eje vertical.
Agua (lt/m3)	<b>224.17</b>	1.00	0.224	224.17	0.650			215.24	0.62	4.9	
Arena (% en peso)	<b>46.00</b>	2.67	0.297	793.84	2.302	807.57	4.60	807.57	2.34	18.5	
Piedra (% en peso)	<b>54.00</b>	2.82	0.349	984.25	2.854	993.70	4.33	993.70	2.88	22.7	
Aire (% volumen)	2.00	-	0.020	-	-	-	-	-	-	-	
		Total =	1.000	aporte de agua de los agreg. =	8.93	Total =	6.85				
		Agua + Cemento + aire =	0.354								
		arena + piedra =	0.646								

Verificando semejanza de la sumatoria de (arena + piedra) de P.U.S. Y D.U.O. : P.U.S. = 5.156 } ok!!  
 D.U.O. = 5.223

... continúa Cuadro 2.1

Material	Cant.	P.E. (gr/cc)	V. A.	P. Seco (kg)	P.U.S.	+ C.H. Agreg	agua (lt/m3)	D.O.	D.U.O. / kg cem.	Para 3 prob.	Slump
ii- Cemento (kg/m3)	353.85	3.15	0.112	353.85	1.000			353.85	1.000	8.12	3 1/2"
Agua (lt/m3)	230.00	1.00	0.230	230.00	0.650			221.18	0.625	5.08	
Arena (% en peso)	46.00	2.67	0.293	783.18	2.213	796.73	4.54	796.73	2.252	18.29	
Piedra (% en peso)	54.00	2.82	0.344	971.04	2.744	980.36	4.27	980.36	2.771	22.51	
Aire(% volumen)	2.00	-	0.020	-	-	-	-	-	-	-	
iii- Cemento (kg/m3)	346.15	3.15	0.110	346.15	1.000			346.15	1.000	7.91	3 1/2"
Agua (lt/m3)	225.00	1.00	0.225	225.00	0.650			216.14	0.624	4.94	
Arena (% en peso)	43.00	2.67	0.277	740.65	2.140	753.46	4.30	753.46	2.177	17.22	
Piedra (% en peso)	57.00	2.82	0.368	1036.95	2.996	1046.90	4.56	1046.90	3.024	23.93	
Aire (% volumen)	2.00	-	0.020	-	-	-	-	-	-	-	
iv- Cemento (kg/m3)	353.85	3.15	0.112	353.85	1.000			353.85	1.000	8.13	3 1/4"
Agua (lt/m3)	230.00	1.00	0.230	230.00	0.650			221.13	0.625	5.08	
Arena (% en peso)	49.00	2.67	0.312	834.26	2.358	848.69	4.84	848.69	2.398	19.51	
Piedra (% en peso)	51.00	2.82	0.325	917.09	2.592	925.90	4.04	925.90	2.617	21.28	
Aire (% volumen)	2.00	-	0.020	-	-	-	-	-	-	-	

Tesis : " Estudio de la variabilidad de la resistencia del concreto aplicando curador quimico de uso externo y utilizando cemento Portland Tipo 1 "

Testista : Bach. Ing. Marina Jovita Lam Lau

Asesor : Ing. Carlos Armando Barzola Gastelú

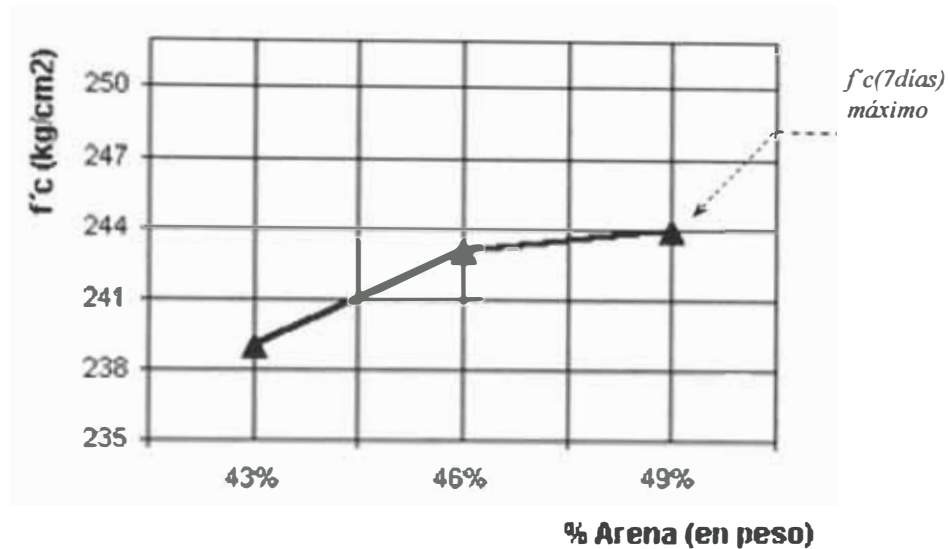
**CUADRO 2.2: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CONCRETO (7 DÍAS), SEGUN LAS DIFERENTES COMBINACIONES DE AGREGADOS CONSIDERADAS.** (Fecha: 03 de Octubre de 2003)

% de Agregados	Muestra	Area (cm <sup>2</sup> )	Carga (Kg.)	f'c (Kg./cm <sup>2</sup> )	f'c prom. (Kg/cm <sup>2</sup> )
Arena = 46% Piedra = 54% ( slump = 3 1/2" )	M1-1	173.20	42 500	245	243
	M1-2	172.03	41 800	243	
	M1-3	172.03	41 600	242	
Arena = 43% Piedra = 57% ( slump = 3 1/2" )	M2-1	174.37	39 700	228	239
	M2-2	174.37	42 200	242	
	M2-3	174.37	43 200	248	
Arena = 49% Piedra = 51% ( slump = 3 1/4" )	M3-1	172.03	41 600	242	244
	M3-2	173.20	44 200	255	
	M3-3	174.37	41 000	235	

**Finalmente :**

% Arena	% Piedra	Agua (lt/m <sup>3</sup> )	Slump (pulg)	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )
43%	57%	225	3 1/2"	239
46%	54%	230	3 1/2"	243
<b>49%</b>	<b>51%</b>	<b>230</b>	<b>3 1/4"</b>	<b>244</b>

**Gráfica 2.1:** Porcentaje de Arena de combinación vs. Resistencia a la Compresión: Determinación de Porcentajes Definitivos de Agregados – Método de la Máxima Resistencia a Compresión



**Observaciones:**

De la gráfica, se observa que la curva de resistencias no presenta un punto de inflexión o "pico" para un porcentaje de arena determinado. Sin embargo, se optó por elegir la combinación 49% arena - 51% piedra por los siguientes motivos:

Para la combinación de 49% Arena y 51% Piedra se obtiene la máxima resistencia a la compresión.

Durante el proceso de mezcla, se observó una mejor pastosidad y plasticidad en esta combinación, en comparación con las otras dos combinaciones.

De los resultados de laboratorio relacionados a la determinación del P.U.C. Global, vemos que para porcentajes mayores al 46% de arena, el P.U.C. Global empieza a disminuir. Esto permite determinar que para un porcentaje mayor de 49% de arena, el concreto resultante no cumpliría con los requisitos de economía y calidad descados.

Como información adicional debo indicar que se elaboró -sólo como prueba- una tanda de concreto con 51% de arena y 49% de piedra,  $a/c = 0.65$  (agua = 220 lt/m<sup>3</sup>); obteniéndose un slump de 2" y dando como resultado una resistencia  $f'c(7d) = 227$  kg/cm<sup>2</sup>, menor a la obtenida por la combinación de 49% Arena - 51% Piedra.

### **2.3 DISEÑO DE MEZCLAS PATRONES**

Para la elaboración de los concretos patrones a utilizar en la presente tesis -cuyas relaciones agua / cemento son iguales a 0.60, 0.65 y 0.70 y la combinación de agregados es de 49% arena y 51% piedra- se obtuvieron los siguientes diseños de mezcla:

### 2.3.1 DISEÑO DE MEZCLA PARA LA RELACIÓN a/c= 0.60

En este diseño fue necesario hacer 2 tanteos para poder determinar el agua de diseño por metro cúbico de concreto:

**CUADRO 2.3 :** Determinación de agua de diseño para a/c = 0.60 ( Fecha : 06 y 07 de Octubre de 2003 )

Material	Cant.	P.E. (gr/cc)	V. A.	P. Seco (kg)	P.U.S.	+ C.H. Agreg	agua (lt/m3)	D.O.	D.U.O. / kg cem.	Para 3 prob.	Slump
Cemento (kg/m3)	391.67	3.15	0.124	391.67	1.000			391.67	1.000	9.02	
Agua (lt/m3)	<b>235.00</b>	1.00	0.235	235.00	0.600			233.07	0.595	5.37	
Arena (% en peso)	49.00	2.67	0.304	812.01	2.073	825.25	3.90	825.25	2.107	19.00	4 1/4"
Piedra (% en peso)	51.00	2.82	0.317	892.64	2.279	895.31	-1.96	895.31	2.286	20.61	
Aire (% volumen)	2.00	-	0.020	-	-	-	-	-	-	-	
Cemento (kg/m3)	383.33	3.15	0.122	383.33	1.000			383.33	1.000	8.80	
Agua (lt/m3)	<b>230.00</b>	1.00	0.230	230.00	0.600			225.49	0.588	5.17	3 3/4"
Arena (% en peso)	49.00	2.67	0.308	822.01	2.144	837.06	5.59	837.06	2.184	19.21	
Piedra (% en peso)	51.00	2.82	0.320	903.63	2.357	907.25	-1.08	907.25	2.367	20.82	
Aire (% volumen)	2.00	-	0.020	-	-	-	-	-	-	-	OK !!

### 2.3.2 DISEÑO DE MEZCLA PARA LA RELACIÓN $a/c = 0.65$

**CUADRO 2.4 :** Determinación de agua de diseño para  $a/c = 0.65$  ( Fecha : 06 de Octubre de 2003 )

Material	Cant.	P.E. (gr/cc)	V. A.	P. Seco (kg)	P.U.S.	+ C.H. Agreg	agua (lt/m <sup>3</sup> )	D.O.	D.U.O. / kg cem.	Para 3 prob.	Slump
Cemento (kg/m <sup>3</sup> )	353.85	3.15	0.112	353.85	1.000			353.85	1.000	8.13	<div style="border: 1px dashed black; border-radius: 50%; padding: 10px; display: inline-block;">3 1/2"</div> OK !!
Agua (lt/m <sup>3</sup> )	<b>230.00</b>	1.00	0.230	230.00	0.650			228.01	0.644	5.24	
Arena (% en peso)	49.00	2.67	0.312	834.26	2.358	847.86	4.00	847.86	2.396	19.49	
Piedra (% en peso)	51.00	2.82	0.325	917.09	2.592	919.85	-2.02	919.85	2.600	21.14	
Aire (% volumen)	2.00	-	0.020	-	-	-	-	-	-	-	

### 2.3.3 DISEÑO DE MEZCLA PARA LA RELACIÓN $a/c = 0.70$

**CUADRO 2.5 :** Determinación de agua de diseño para  $a/c = 0.70$  ( Fecha : 06 de Octubre de 2003 )

Material	Cant.	P.E. (gr/cc)	V. A.	P. Seco (kg)	P.U.S.	+ C.H. Agreg	agua (lt/m <sup>3</sup> )	D.O.	D.U.O. / kg cem.	Para 3 prob.	Slump
Cemento (kg/m <sup>3</sup> )	321.43	3.15	0.102	321.43	1.000			321.43	1.000	7.37	<div style="border: 1px dashed black; border-radius: 50%; padding: 10px; display: inline-block;">3 1/2"</div> OK !!
Agua (lt/m <sup>3</sup> )	<b>225.00</b>	1.00	0.225	225.00	0.700			222.97	0.694	5.11	
Arena (% en peso)	49.00	2.67	0.320	854.27	2.658	868.19	4.10	868.19	2.701	19.91	
Piedra (% en peso)	51.00	2.82	0.333	939.09	2.922	941.90	-2.07	941.90	2.930	21.60	
Aire (% volumen)	2.00	-	0.020	-	-	-	-	-	-	-	



**CUADRO 2.6 :** Resumen de Diseños de Mezcla - Concretos Patrones

Agregados	a/c	Agua (lt/m <sup>3</sup> )	Slump (pulg)
Arena = 49% Piedra = 51%	0.60	230	3 3/4"
	0.65	230	3 1/2"
	0.70	225	3 1/2"

**OBSERVACIONES :**

De los cuadros 2.3, 2.4 y 2.5; se puede observar que la obtención del slump de diseño fue casi inmediato. Esto se debió a que -previo a las mezclas en el laboratorio- se tomaron en cuenta los comportamientos del Slump mostrados en la Tesis de Grado del Ing. Vilca Justo: "Características del Concreto Endurecido por efecto de un aditivo curador de aplicación externa, utilizando Cemento Portland tipo I" (Facultad de Ingeniería Civil - UNI), de donde pude obtener los siguientes datos:

a/c	Agua	Slump	Observaciones
0.45	240	2 3/4"	- A medida que se incrementa el a/c, el volumen de agua de diseño es menor ya que el cemento disminuye.
	245	3"	
	255	3 3/4"	
	260	4 1/8"	
0.50	230	2 1/4"	- Vemos que para a/c 0.45 y 0.50, los volúmenes de agua son cercanos entre si para un slump promedio de 3" á 4".
	235	3"	
	240	3 5/8"	
0.55	245	4"	- Para un mismo a/c, vemos que el slump aumenta aprox. entre 1/2" a' 3/4" por cada 5 lt de agua que se incrementa.
	225	2"	
	233	3 3/4"	
	235	4"	
	240	4 5/8"	

Fuente : Cuadros 3.3.7, 3.3.2 y 3.3.8; Vilca Justo, Edgar. "Características del concreto endurecido por efecto de un aditivo curador de aplicación externa, utilizando Cemento Portland tipo I" - Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería Civil - UNI, 1999

## **CAPÍTULO III**

### **PROCEDIMIENTO DE CURADO DEL CONCRETO**

#### **3.1 GENERALIDADES**

Siendo el objetivo de la presente tesis el “*Estudio de la variabilidad de la resistencia del concreto aplicando curador químico de uso externo y utilizando cemento Portland tipo I*”, se elaboraron probetas cilíndricas de concreto con la finalidad de someterlas a las siguientes condiciones de exposición, con la finalidad de plantear y comparar situaciones estándar (curado al agua), extremas (sin curar) y alternativas (aplicando CURACEM):

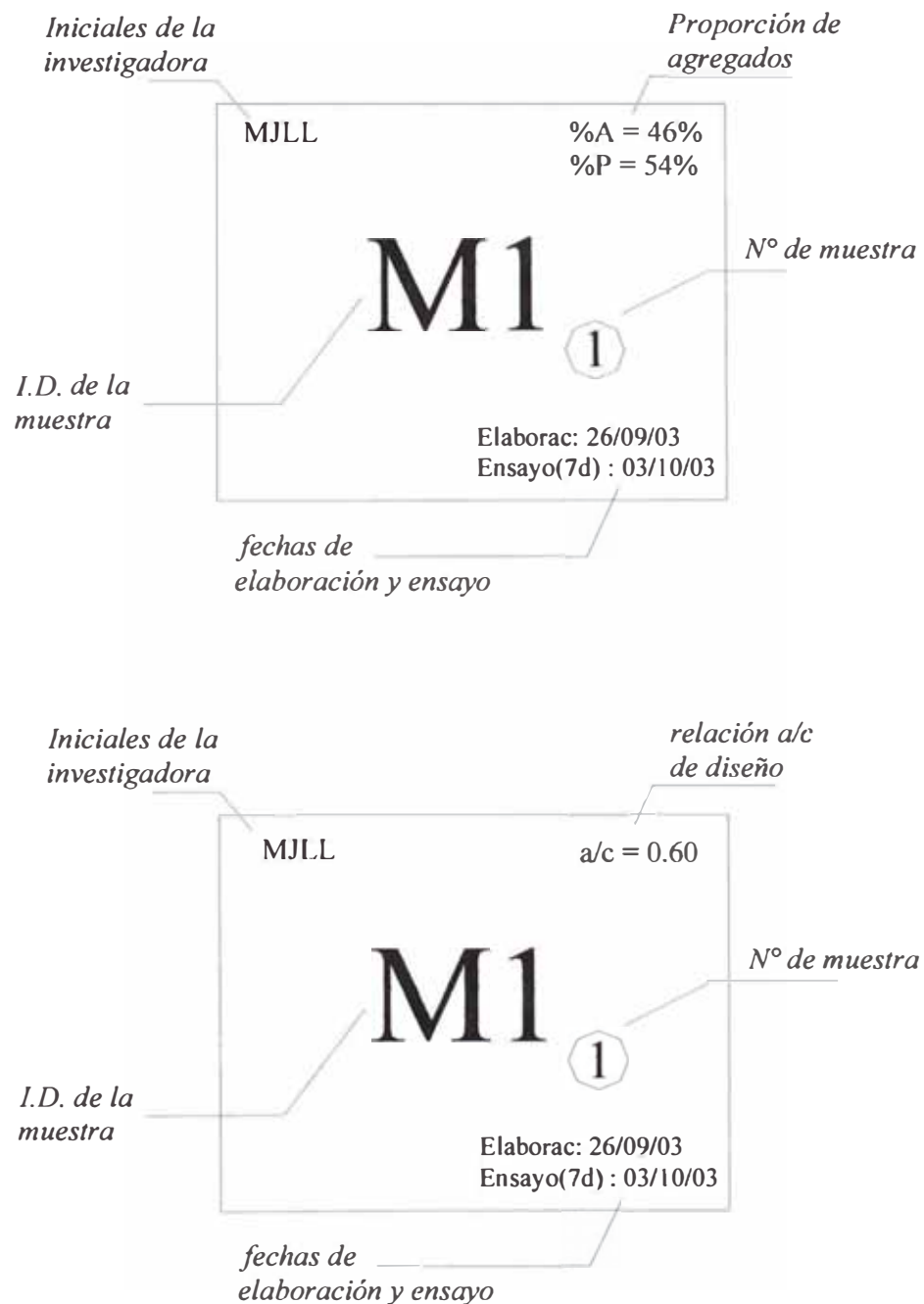
- 1- Curado del concreto por inmersión.
- 2- Curado con aplicación de curador químico
- 3- Concreto expuesto al medio ambiente o a la intemperie.

Previo a la aplicación de éstos e independiente del tratamiento recibido, se tomaron en cuenta las siguientes pautas:

##### **3.1.1 Elaboración de muestras de concreto**

Durante el período de elaboración de muestras, se prepararon como máximo 4 probetas cilíndricas -equivalentes a 18 kg c/u- por tanda (ya que al intentar preparar 6 probetas se presentó segregación de la mezcla, la cual era difícil de controlar debido al volumen de la mezcla y la capacidad de la carretilla). Posterior al vaciado y enrase de la cara superior de las probetas, ésta era identificada con una etiqueta (etiquetas de papel bond de 7 x 5.5 cm, 24 pzas / hoja bond A4), según la proporción de agregados o la relación a/c característica de la mezcla elaborada:

**Figura 3.1:** Etiquetado de las muestras de concreto



**Para la primera etiqueta (etiquetado de muestras de prueba):**

M1 = Corresponde a la relación arena – piedra: 46% - 54%; (adicionalmente se tuvieron M2, M3 y M4, pertenecientes a las relaciones 43%-57%, 49%-51% y 51%-49% )

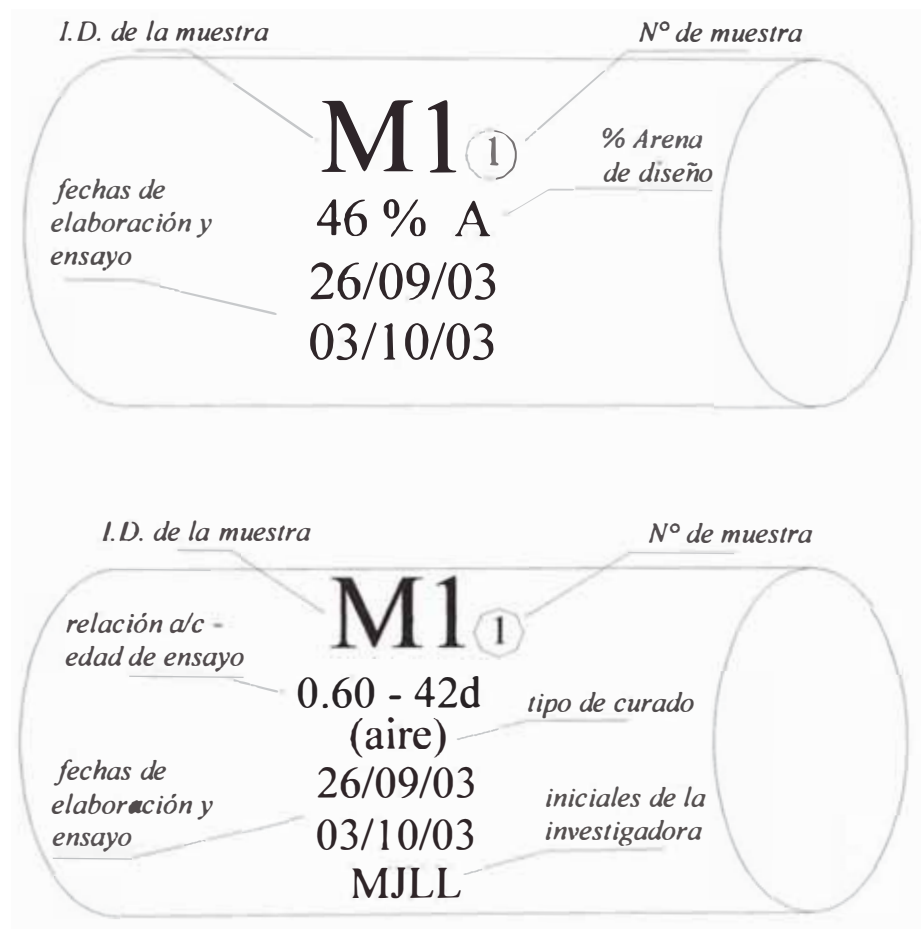
**Para la segunda etiqueta (etiquetado de muestras patrones):**

M1 = Corresponde a la relación a/c=0.60 (adicionalmente se tuvieron M2 y M3, pertenecientes a las relaciones a/c = 0.65 y 0.70). Con las identificaciones tipo M1E y M1T, se indicó si era muestra para ensayo de Módulo Elástico o Tracción, para la relación a/c indicada con el número central).

### 3.1.2 Desencofrado, rotulado de muestras y aplicación del método de curado

El desencofrado de las muestras se realizó en un período comprendido entre las  $24 \pm 8$  horas posteriores al vaciado; e inmediatamente se rotularon en su cara lateral según el tipo de concreto elaborado. Luego fueron trasladadas hacia las áreas de curado respectivos:

**Figura 3.2:** Rotulado de las muestras de concreto



La primera figura corresponde al rotulado de las muestras de prueba, y la segunda a las muestras de concreto de diseño definitivo (patrón):

Para la segunda figura tenemos que la palabra "aire" indica que se trata de un concreto expuesto al medio ambiente (sin curar). Adicionalmente se identificó con "agua" al curado por inmersión, "1C" al curado con 1 capa de curador CURACEM y "2C" al concreto curado con 2 capas de curador.

### **3.1.3 Verificación y control del estado de las muestras y fin del tratamiento de curado.**

Se tuvo especial cuidado en controlar el buen estado y conservación de las muestras, protegiéndoles de la acción nociva de agentes externos según el tratamiento aplicado:

En el caso de las muestras curadas por inmersión en la poza, se colocaron tapas de madera y probetas en desuso sobre ésta, con la finalidad de evitar que las probetas fueran removidas y/o ensayadas por error. Adicionalmente se colocaron letreros y rótulos indicando “TESIS – NO TOCAR”. Para el ensayo de las muestras, éstas eran retiradas de la poza la tarde del día anterior al ensayo ó 4 horas antes del ensayo.

Se verificó el buen estado de las muestras curadas con curador químico durante todo su período de curado, colocando hitos y maderas con la finalidad de restringir el paso al área de curado asignada.

Las muestras sin curar -expuestas al medio ambiente- fueron colocadas sobre el techo del laboratorio por dos motivos: 1) evitar que éstas fueran eliminadas en caso de dejarlas simplemente fuera del laboratorio y 2) someter a las probetas a condiciones de clima reales y no a las condiciones del laboratorio; es decir, dejarlas simplemente bajo techo. Finalmente, al igual que las probetas curadas en agua, éstas eran retiradas del techo la tarde del día anterior al ensayo o el mismo día.

## **3.2 CURADO POR INMERSIÓN (agua)**

Consistió en colocar las probetas -correctamente identificadas- en la poza de curado asignada para la presente investigación. El procedimiento y los materiales y equipos requeridos fueron los siguientes:

### 3.2.1 Materiales y Equipos:

Agua, manguera y baldes

Carrito mecánico ó carretilla para traslado de probetas.

Asadera metálica con mangos recubiertos de caucho.

Balanza con capacidad mínima de 20 kg. (en el caso de tomar pesos iniciales de muestras)

Hoja y lapicero para toma de datos (para identificar y registrar el número de muestra y el tipo de curado a aplicar).

Como seguridad personal, se utilizaron guantes industriales de jebe y botas con punta de acero.

### 3.2.2 Procedimiento:

- 1.- Se llenó la poza de curado con ayuda de la manguera o baldes en los casos en que el nivel de agua de ésta era inferior al requerido.
- 2.- Utilizando la asadera metálica, se depositaron las probetas en la poza, organizándolas en función de su fecha de ensayo (el vaciado de concreto se realizó acorde con las fechas de ensayo de las mismas, es decir, de mayor a menor edad de ensayo).
- 3.- Se procedió a cubrir la poza con tapas de madera para evitar la remoción y ensayo de las mismas por terceros, y así evitar la pérdida de los especímenes.

### 3.3 CURADO CON CURADOR QUÍMICO (1 capa, 2 capas)

Se procedió a aplicar CURACEM directamente sobre las muestras rotuladas, obviando el humedecimiento previo recomendado por el fabricante con la finalidad de determinar el comportamiento de las muestras ante esta condición. Este método se subdividió a su vez en 2 modalidades:

- 1) **Aplicación de 1 capa (1C).**- Consistió en aplicar sólo una capa de curador en las muestras seleccionadas.
- 2) **Aplicación de 2 capas (2C).**- Se aplicó la primera capa en conjunto con las probetas de 1C, y luego de 1 hora se aplicó la segunda capa.

La demanda de curador químico con 1 capa fue de 112.5 ml para 3 probetas (lo que equivale a un rendimiento de 4.70 m<sup>2</sup>/L por capa aplicada); utilizándose el doble de volumen para el curado con 2C.

### 3.3.1 Materiales y herramientas:

Curador Químico CURACEM

Probeta graduada (capacidad = 1000 ml)

Balde (capacidad = 4 L)

Brocha de 3", reloj

Esponja lava-vajilla

Lavatorio

Como seguridad personal, se utilizaron guantes industriales de jebes y botas con punta de acero.

Carrito para traslado de muestras.

### 3.3.2 Procedimiento:

- 1.- Previo al curado, se habilitó un área de almacenamiento de las muestras a curar, colocando bases de madera y cubriéndolas con plásticos, con la finalidad de aislar las muestras del suelo.
- 2.- Para el cálculo del volumen requerido por las muestras, inicialmente se procedió a medir un volumen inicial de curador en la probeta graduada, el cual fue depositado en el balde y aplicado con la brocha a 3 muestras. Luego se midió el volumen utilizado y de esta manera se obtuvo el requerimiento por probeta, para 1 capa.  
Con el volumen referencial de demanda de las muestras, se procedió a medir el volumen total requerido para las muestras a curar.

- 3.- Se aplicó la primera capa de curador en las muestras respectivas, derivándose las de 1C a su posición definitiva y las de 2C eran colocadas en bases provisionales de madera, las cuales tenían un mínimo contacto con la base de las probetas, y permitían proteger la membrana aplicada.
- 4.- Luego de 1 hora se aplicó la segunda capa de curador, colocando las muestras en su posición definitiva y posteriormente se enjuagaron las herramientas con agua a presión y con ayuda de la esponja.

### **3.4 CONCRETO EXPUESTO AL MEDIO AMBIENTE**

Para este tratamiento, se depositaron las probetas sobre el techo del *Laboratorio de Ensayo de Materiales*, colocando un letrero adicional con la finalidad de que las muestras no fueran removidas.

#### **3.4.1 Materiales y herramientas:**

Carrito para traslado de materiales

Banquita (para subir al techo)

Como seguridad personal, se utilizaron guantes industriales de jebe y botas con punta de acero.

#### **3.4.2 Procedimiento:**

- 1.- Traslado de muestras al exterior del laboratorio.
- 2.- Ubicación de las muestras sobre el techo del laboratorio (ordenadas en función de su fecha de ensayo).
- 3.- Devolución de carrito y banquita al interior del LEM.



## CAPÍTULO IV

### PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO

#### 4.1 ASENTAMIENTO

Se le conoce como *Slump* o *Revenimiento*, permite determinar la trabajabilidad de la mezcla y se utiliza como parámetro de diseño del concreto. No se aplica para mezclas secas. La norma NTP 339.035:1999 determina el procedimiento a seguir para la obtención del asentamiento del concreto.

#### **Tipos de Slump o Revenimiento<sup>1</sup>:**

- a) Slump o Revenimiento Verdadero: Cuando el concreto simplemente se asienta, conservando su forma original.
- b) Slump o Revenimiento de Corte: Cuando la mitad de la parte superior del cono del concreto se desprende y se desliza lateralmente en un plano inclinado.
- c) Slump o Revenimiento de Colapso: Cuando el concreto se asienta inmediatamente, es decir, no se considera como asentamiento.

De los tres casos mencionados, sólo se considera útil el *Slump verdadero*, siendo los valores de (b) y (c) referenciales. En los casos que se presenta el slump de corte, es recomendable realizar una segunda prueba para obtener una forma más parecida a la del slump o revenimiento verdadero. Si en este ensayo el concreto nuevamente se corta, será un indicador de que se debe verificar el diseño de mezcla, por lo que se deberá tomar nota de este evento en el cuaderno de registros. De igual forma se deben registrar los resultados cuando se presenten asentamientos de colapso.

<sup>1</sup> Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto: "El concreto en la Obra" – Tomo II, Editorial Limusa - 1990

#### 4.1.1 Herramientas y equipos

Cono de Abram y base impermeable de 450 mm de lado (puede ser una plancha metálica o se puede hacer de triplay de 20 mm, cubierto con una placa de acero N° 18); esta última es opcional.

Barra compactadora con punta semiesférica (varilla lisa de acero,  $F = 5/8"$  y longitud aprox. = 60 cm.)

Cucharón metálico y badilejo o plancha de enrase.

Wincha, carretilla.

#### 4.1.2 Procedimiento

- 1.- Se moja el cono de Abram, la base metálica, barra compactadora, cucharón metálico y el badilejo. En caso de no usar base, apoyar el cono sobre una superficie plana (húmeda y que sea absorbente) y pisar firmemente las aletas de éste evitando en todo momento que se mueva. Asegurarse de tener a la mano todas las herramientas.
- 2.- Llenar el recipiente vaciando el concreto en 3 capas, compactando cada capa con 25 golpes verticales (usar la punta semiesférica de la barra) y distribuidos uniformemente en toda la sección y en forma de espiral, desde los extremos hacia adentro.  
En la primera capa se debe inclinar un poco la barra para compactar la mezcla cerca del perímetro, y sin golpear el fondo. En las 2 siguientes capas, la barra debe penetrar ligeramente en la capa inmediatamente inferior.
- 3.- La última capa se llena por exceso, se compacta y se enrasa. Debe procurarse no aumentar mezcla en la última capa luego de la compactación, pero en caso de ser necesario, se debe añadir con exceso y luego se enrasa con el badilejo o la barra.
- 4.- Sujutando firmemente el cono con los pies, limpiar los alrededores de éste, sujetar con las manos firmemente sus orejas superiores (presionando verticalmente y hacia abajo) y retirar los pies. Luego retirar cuidadosamente el cono levantándolo lo más vertical posible y evitando afectar la muestra (hacerlo en aproximadamente 10 segundos). Apoyar el

cono sobre su base menor y cerca de la muestra ensayada y colocar horizontalmente la barra sobre ésta, con el extremo saliente que cubra el cono deformado.

- 5.- Medir el asentamiento (en pulgadas) desde el centro del cono deformado de concreto hasta la cara inferior de la barra (altura total del molde cónico). En caso de obtener asentamiento de corte, volver a realizar el ensayo con otra parte de la mezcla y verificar que se presente el slump verdadero, caso contrario se debe replantear el diseño.
- 6.- Regresar la mezcla de concreto a la carretilla, re-mezclarlo y continuar con los trabajos programados. No olvidar lavar las herramientas y equipos al final de la jornada, así como retornarlos a su lugar correspondiente.

## 4.2 PESO UNITARIO Y CONTENIDO DE AIRE

La norma NTP 339.046:1979 regula el procedimiento a seguir para la obtención del Peso Unitario del Concreto por el Método Gravimétrico; el cual viene dado por la relación del peso del concreto -necesario para llenar un recipiente de dimensiones estándar- entre el volumen de dicho recipiente.

**Tabla 4.1:** *Requisitos dimensionales para los recipientes a utilizar en el Ensayo de Peso Unitario.*

Capacidad		T.N.M. del agregado grueso
Pie <sup>3</sup>	Dm <sup>3</sup>	
½	14	≤ 5 cm (2")
1	28	> 5 cm (2")

### 4.2.1 Herramientas y equipos

Balanza (capacidad min. = 50 kg, precisión = 50 gr.)

Barra compactadora con punta semiesférica (varilla lisa de acero, recta, F = 5/8" y longitud aprox. = 60 cm.), cucharón y recipiente metálico de ½ pie<sup>3</sup> (de la tabla 4.1).

Carretilla para el traslado de la mezcla.

#### **4.2.2 Procedimiento**

- 1.- Previo al ensayo de peso unitario, se debe determinar el slump o asentamiento de la mezcla; así como el peso del recipiente a utilizar.
- 2.- Se llena el recipiente (previamente mojado en su interior) vaciando la mezcla de concreto en tres capas y aplicando en cada una de ellas 25 golpes con la barra compactadora, distribuidos uniformemente y en forma de espiral. En la primera capa, la barra no debe golpear el fondo. Entre capa y capa se deben aplicar golpes en los costados del recipiente, distribuidos uniformemente y hasta que se observe la aparición de una ligera capa de agua sobre la mezcla o que desaparezcan las burbujas grandes de aire de la capa compactada.
- 3.- En la última capa se hecha un excedente de concreto, con la finalidad de que al compactar no quede hueco y se pueda alisar la superficie superior al nivel del borde superior del recipiente.
- 4.- Limpiar el exterior del recipiente, verificar que la balanza se encuentre calibrada y pesar.
- 5.- Tener como registro las características de la mezcla y el diseño respectivo.

#### **4.2.3 Cálculos y resultados**

A continuación presento los cálculos y resultados obtenidos, no sin antes mencionar que el ensayo de Peso Unitario del concreto permite determinar en general los siguientes parámetros:

- Peso Unitario del concreto y contenido total de aire de la mezcla.
- Rendimiento de concreto por bolsa de cemento y rendimiento relativo.
- Factor cemento (bolsas de cemento utilizadas por metro cúbico de concreto).

**Cuadro 4.1 : Ensayo Gravimétrico y Contenido de Aire de Concreto Fresco.**  
 NTP 339.046:1979 (Fecha : 27 de Noviembre de 2003)

	a/c	0.60	0.65	0.70	Observaciones
	Slump (pulg)	3"	3"	3 1/4"	
A	P.C. M1 + molde	45.90	45.50	45.80	} Pesos compactados de 2 muestras (molde metálico de 1/2 pie <sup>3</sup> )
B	P.C. M2 + molde	45.60	45.50	45.80	
C	Vol. Molde (pie <sup>3</sup> )	0.50	0.50	0.50	
D	Peso Molde (kg)	11.80	11.80	11.80	
E	Peso Prom. (Kg)	33.95	33.70	34.00	= (A + B) / 2 - D
	Agua + Molde (kg)	25.65	25.65	25.65	→ Se pesa el agua requerida para llenar el molde metálico.
F	Peso Agua (kg)	13.85	13.85	13.85	
G	Factor molde (m <sup>-3</sup> )	72.20	72.20	72.20	= 1000 / F = (vol. del molde) <sup>-1</sup>
N	N° de bolsas de cemento/mezcla	0.207	0.191	0.174	= bolsas de cemento utilizadas en 1 tanda (0.02 m3) de concreto
Pc	Wneto 1 bl. cem (kg)	42.50	42.50	42.50	= peso de 1 bolsa de cemento
Paf	Wtotal agreg.fino en la condic. usada (kg)	19.21	19.52	19.95	= peso de agregado de 1 tanda de concreto (0.02 M3)
Pag	Wtotal agreg.grueso en condic. usada (kg)	20.81	21.15	21.61	= peso de agregado de 1 tanda de concreto (0.02 M3)
Pa	Wtotal agua, añadido a la mezcla (kg)	5.19	5.19	5.06	= peso de agua adicionada a la mezcla
Vh	Vol. Concreto fresco produc. por mezcla(m <sup>3</sup> )	0.022029	0.022193	0.021997	= 54 kg (de la tanda) / Pu
Vd	Vol. de diseño de concreto (m <sup>3</sup> )	0.022545	0.022586	0.022541	= S [ (Peso de material) / (P.E.*1000) ]
Yr	Rendimiento Relativo	0.9772	0.9826	0.9759	= Vh / Vd
Pun	Peso Unitario Nominal (kg/m <sup>3</sup> )	2395.26	2390.82	2395.68	= 54 kg (de la tanda) / Vd

**Resultados :**

Y	<b>Rendimiento (m<sup>3</sup>/bls)</b>	0.106	0.116	0.126	= N / Vh
Nm	<b>Factor Cemento (bls/m<sup>3</sup> de concreto)</b>	9.40	8.61	7.91	= 1 / Y
Pu	<b>Peso Unitario Compactado (kg/m<sup>3</sup>)</b>	2451	2433	2455	= E x G
A	<b>Contenido total de aire (%)</b>	2.34	1.77	2.47	= abs [ ( Pun - Pu ) / Pun ] x 100 = abs [ ( Vh - Vt ) / Vh ] x 100

### 4.3 TIEMPO DE FRAGUADO

La Norma NTP 339.082:2001 regula el procedimiento de ensayo para la determinación del tiempo de fraguado de concretos con revenimiento o slump mayor a cero, por medio de su resistencia a la penetración. En la presente tesis se han elaborado 2 muestras de ensayo para cada relación a/c, de los cuales se obtuvieron los siguientes resultados:

#### 4.3.1 Herramientas y equipos

- Tamiz N° 4, mesa vibradora
- Contenedores rígidos, impermeables, libres de grasa o aceites, de dimensiones laterales y de altura igual a 15 cm.
- Barra compactadora lisa, punta semiesférica ( $F = 5/8''$ )
- Cucharón y badilejo metálicos.
- Jeringa (capacidad = 20 cc) o pipeta.
- Agujas de penetración estándar de: 645 mm<sup>2</sup>, 323 mm<sup>2</sup>, 161 mm<sup>2</sup>, 65 mm<sup>2</sup>, 32 mm<sup>2</sup> y 16 mm<sup>2</sup> (equivalen a 1 pulg<sup>2</sup>, ½ pulg<sup>2</sup>, ¼ pulg<sup>2</sup>, 1/10 pulg<sup>2</sup>, 1/20 pulg<sup>2</sup>, 1/40 pulg<sup>2</sup>), las cuales deben tener una marca periférica a una distancia de 25 mm, medida desde el área de apoyo del agua -cara inferior de la aguja. La longitud de la aguja de 16 mm<sup>2</sup> no debe ser mayor de 90 mm.
- Aparato de carga, hidráulico o mecánico, con capacidad de carga = 600 N y con medidor de carga con aproximación de 10 N o menos.
- Termómetro para la mezcla de concreto y ambiental.
- Reloj.

#### 4.3.2 Procedimiento

- Se anota la hora en que el agua de mezcla entra en contacto con el cemento.
- Determinar el slump de la mezcla.
- Se tamiza la mezcla por la malla N° 4 con la ayuda de la mesa vibradora, con la finalidad de utilizar solamente el mortero de la mezcla. Previo a llenar los contenedores, se mezclan manualmente el mortero obtenido y se mide su temperatura, así como la temperatura ambiental al inicio y fin del ensayo.

- Llenar los contenedores en una sola capa, dejando una altura interior libre desde el borde superior igual a  $\frac{1}{2}$ " para la remoción del agua de exudación.
- Consolidar el mortero para eliminar las burbujas de aire (se puede usar la mesa vibratoria, colocando los contenedores hasta que desaparezcan las burbujas grandes, o utilizando la punta semiesférica de la barra lisa, compactando uniformemente el mortero una vez por cada  $645 \text{ mm}^2$  ó  $1 \text{ pulg}^2$ , y luego golpeando los lados del contenedor). Nivelar la superficie del mortero y dejar reposar las muestras en un lugar seguro, colocándolos inclinados sobre un taco de madera o desnivel de 5 cm. de altura, para facilitar la remoción de agua antes de cada penetración de las agujas (como sugerencia, hacer una hendidura en un borde, presionando suavemente con la yema del dedo).
- Las agujas se van a ir presionando sobre las muestras en función del orden decreciente de sus áreas. Luego de un tiempo prudencial (aprox. 3 horas), insertar la aguja de mayor diámetro en la máquina de carga, verificando que el medidor de carga esté calibrado. Luego poner la base (superficie de contacto) de la aguja en contacto con la superficie del mortero. Aplicar una fuerza vertical hacia abajo hasta que la aguja penetre en el mortero a una profundidad de  $25 \text{ mm} + 2 \text{ mm}$  hasta la marca de la aguja, todo esto en un tiempo de  $10 \text{ seg} \pm 2 \text{ seg}$ . Anotar la fuerza para producir esta penetración y el tiempo, medido como el tiempo transcurrido después del contacto inicial del cemento con el agua. Lo recomendable es que esta fuerza inicial sea igual a **100 lb.**, ya que si es menor significa que el concreto aún no adquiere una resistencia mínima que indique que su fragua inicial está próxima; y si es mayor, la fragua puede haber comenzado.
- Las demás agujas se aplican a intervalos de  $\frac{1}{2}$  hora. La distancia entre impresiones debe ser  $\geq 2 F$  de la aguja que se va a insertar, y en áreas que el mortero no se haya figurado. La distancia desde el borde del contenedor y alguna impresión de la aguja deberá ser como mínimo 1" (25 mm).

### 4.3.3 Cálculos y resultados

El tiempo de fraguado del concreto se determina por el Método Aritmético o lineal, y el Método Logarítmico. Para ambos casos, los tiempos de fragua inicial y final son aquellos en que el concreto presenta una resistencia a la penetración igual a 500 y 4000 psi. respectivamente. Los resultados fueron:

**Cuadro 4.2 : Resumen del Ensayo de Tiempo de Fraguado del Concreto - NTP 339.082:2001 (06 y 07 de Octubre de 2003)**

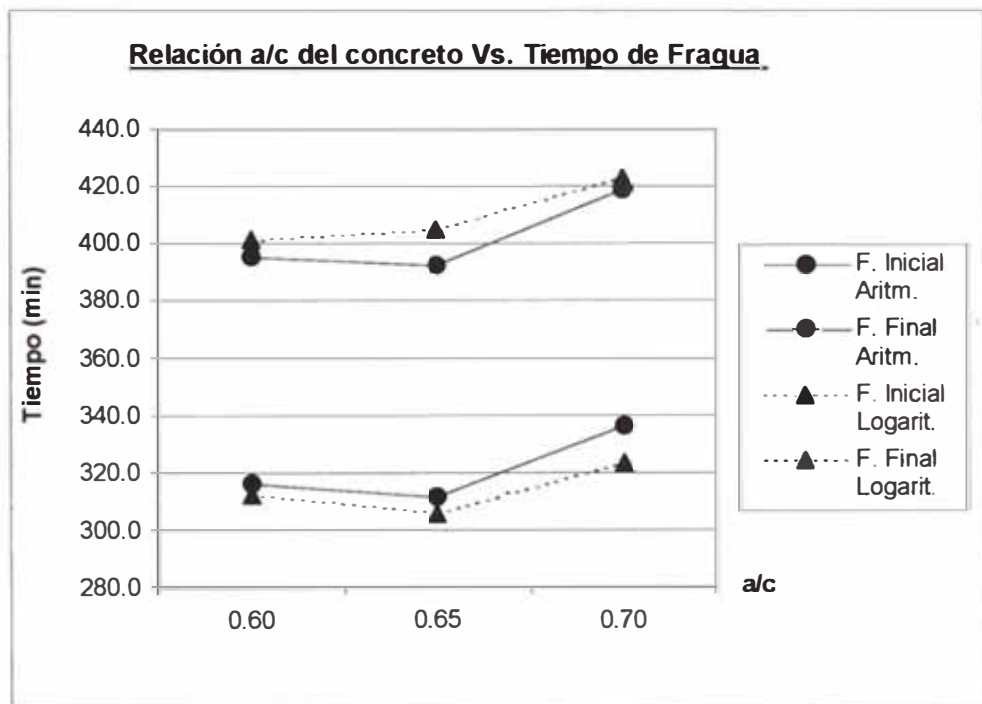
A/c y slump	Muestra	Tiempo de Fraguado (min)			
		Método Aritmético		Método Logarit.	
		F. Inic.	F. Final	F. Inic.	F. Final
<b>0.60</b> (3 3/4")	M1-1	311	392	307	397
	M1-2	321	398	318	405
	Prom.	316	395	313	401
<b>0.65</b> (3 1/2")	M2-1	317	395	308	411
	M2-2	306	391	304	399
	Prom.	312	393	306	405
<b>0.70</b> (3 1/2")	M3-1	341	418	324	424
	M3-2	332	420	324	423
	Prom.	337	419	324	423

**Cuadro 4.3 : Tiempos de Fraguado Inicial y Final de Concreto Patrón (a/c = 0.60, 0.65 y 0.70)**

a/c y slump	Tiempo de Fraguado (min)					
	Método Aritm.		Método Logaritm.		Promedio	
	F. Inic.	F. Final	F. Inic.	F. Final	Inicial	Final
0.60 (3 3/4")	316	395	313	401	<b>314</b> (5:14h)	<b>398</b> (6:38h)
0.65 (3 1/2")	312	393	306	405	<b>309</b> (5:08h)	<b>399</b> (6:39h)
0.70 (3 1/2")	337	419	324	423	<b>330</b> (5:30h)	<b>421</b> (7:01h)



**Gráfico 4.1:** Comportamiento de los Tiempos de Fraguado Inicial y Final del Concreto Patrón según su relación a/c.



#### 4.4 EXUDACIÓN

La exudación del concreto, conocida también como “sangrado” está dada por el volumen de agua (que aflora en la superficie del concreto) entre el área expuesta involucrada, en su estado fresco. La norma NTP 339.077 regula el procedimiento de ensayo a seguir para la determinación de la exudación del concreto.

##### 4.4.1 Herramientas y equipos

Recipientes cilíndricos (pueden ser baldes de pintura de capacidad = 4 L)

Cucharón metálico y badilejo

Barra compactadora ( $F = 5/8"$ ,  $L = 60$  cm)

Tubo graduado o jeringa de 20 cc

Pipeta (opcional, se puede usar la jeringa)

Balanza, precisión = 0.5%

Mesa vibradora

Cubiletes de metal (capacidad = 1000 cc) o vasos descartables, para depositar el agua exudada y lodos.

Reloj

#### 4.4.2 Procedimiento

- 1.- Identificar cada uno de los baldes o recipientes cilíndricos y pesarlos.
- 2.- Determinar el slump de la mezcla de concreto de ensayo.
- 3.- Vaciar el concreto en los recipientes, de la misma forma que en el "*Ensayo Gravimétrico para determinar el peso unitario del concreto*", dejando una altura libre interior, desde la mezcla hasta el borde superior del recipiente, de 25 cm. + 0.5 cm. Para eliminar las burbujas, utilizar la mesa vibradora y la barra compactadora. Nivelar su superficie e inmediatamente apuntar la hora y peso de la muestra nivelada (lo mismo se hace para las demás muestras).
- 4.- Colocar los recipientes inclinados, colocándolos con un borde sobre un taco o madero de 5 cm. de alto, para facilitar la extracción del agua exudada. La extracción del agua de exudación se realiza con la jeringa, a intervalos de 30 minutos hasta que cese la exudación; tomando nota de la muestra, hora y volumen exudado. Todos estos tiempos son medidos a partir del tiempo de nivelado de las muestras.
- 5.- La extracción periódica puede ser omitida cuando se requiere el volumen total de agua de exudación, pudiéndose extraer ésta en una sola operación.

#### 4.4.3 Cálculos y Resultados

A continuación se presentan los cálculos y resultados del Ensayo de Exudación:

**CUADRO 4.4: ENSAYO DE DETERMINACIÓN DE EXUDACIÓN DEL CONCRETO**

**NTP 339.046:1979** ( Fecha : 29 de Noviembre de 2003 )

a/c	0.60		0.65		0.70		Observ.			
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 1	Muestra 2				
Slump	3 1/4"		3 1/4"		3 1/2"					
h <sub>inicio</sub>	9:37 am		10:28 am		11:30 am					
h <sub>nivelación</sub>	9:54 am		10:54 am		12:04 am					
F F <sub>balde</sub> (cm)	15.00		15.00		15.00					
a Área (cm <sup>2</sup> )	176.72		176.72		176.72		= P * F <sup>2</sup> / 4			
b W <sub>muestra + balde</sub> (kg)	10.74	9.34	10.09	10.12	9.74	9.82				
c W <sub>balde</sub> (kg)	0.22	0.17	0.23	0.21	0.22	0.22				
S W <sub>muestra</sub> (kg)	10.52	9.17	9.86	9.91	9.52	9.61	= b - c			
↓ Lectura de volúmenes de exudación según la hora correspondiente (en cm <sup>3</sup> ) ↓										
+ 10 min	10:04	1.8	5.2 (*)	11:04	2.6	1.5	12:16	1.0	1.5	
+ 10 min	10:14	2.2	2.4	11:14	2.0	2.8	12:30	4.0	2.8	
+ 10 min	10:24	3.0	2.4	11:24	3.5	3.3	12:40	3.5	2.2	
+ 10 min	10:34	2.3	1.8	11:35	3.0	3.0	12:49	1.5	1.0	
+ 30 min	11:11	3.5	1.5	12:04	3.0	2.5	1:14	1.8	1.6	
+ 30 min	11:34	-	-	12:38	-	0.8	1:44	1.0	0.1	
+ 30 min	12:04	-	-	1:04	-	-	2:14	-	-	
+ 30 min	12:34	-	-	1:34	-	-	2:44	-	-	
D Vol. total agua exud. (de la muestra) (gr)	12.8	8.1	14.1	13.9	12.8	9.2	= suma de parciales			
d Vol. de agua (del vaso recolector)	11.2	11.0	11.4	12.4	11.0	7.5	= lectura del agua acum. en el vaso)			
D Variación vol. (error)	1.6	-2.9	2.7	1.5	1.8	1.7	= D - d			
% % D Vol. (% error)	13%	-36%	19%	11%	14%	18%	= D / D x 100%			
W masa total de mezcla	54.00		54.00		54.00		= en kg			
w masa neta de agua de mezcla (kg)	5.19		5.19		5.06		(adicionada a la mezcla)			
C Masa de agua en el molde (gr)	1010.99		952.5		892.39		= w / W * S * 1000			
Exudación	1.27%		1.46%		1.03%		= D / C * 100%			

**Observaciones**

(\*) Se produjo una sobrevibración de la muestra, por lo que se presentó una exudación inicial anormal.

Para los cálculos de exudación, he procedido a utilizar los datos parciales y totales de las muestras que presentan el menor valor de "% DVol"

## 4.5 INDICE DE CONSISTENCIA O FLUIDEZ

Como una investigación adicional, se realizó el *Método de Ensayo para la Determinación del Índice de Consistencia (Fluidéz) del Concreto Fresco*, para las 3 relaciones a/c (0.60, 0.65 y 0.70), con la finalidad de observar su comportamiento.

### 4.5.1 Herramientas y equipos

Mesa de sacudidas y molde tronco-cónico de dimensiones estándar.

Cucharón o badilejo, wincha.

Barra compactadora lisa, punta semiesférica ( $F = 5/8"$ ,  $L = 60$  cm)

Baldes o depósitos para recolección de agua excedente y limpieza final.

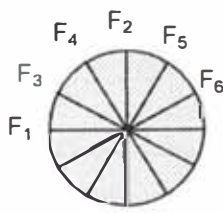
### 4.5.2 Procedimiento

- Se determina previamente el slump de la muestra.
- Humedecer el molde, cucharón, la mesa de sacudidas y la barra. Eliminar el exceso de agua utilizando un depósito como receptor.
- Colocar el molde en el centro de la mesa de sacudidas, con su base mayor hacia abajo y asegurarlo firmemente. Llenar con concreto en 2 capas, en cada una de ellas aplicar 25 golpes (de manera similar que el slump). Finalmente, enrasar y retirar los excedentes del molde y de sus alrededores.
- Levantar el molde lo más rápido posible, cuidando de hacerlo verticalmente y elevar la mesa a su punto más alto. Dejar caer durante 15 veces desde dicha altura, para lo cual giramos la manivela con una velocidad uniforme (aproximadamente 1 golpe / seg.).
- Tomar la medida de 6 diámetros distribuidos simétricamente. Recoger la muestra y limpiar la mesa con agua, recogiéndola con ayuda de los baldes.

### 4.5.3 Cálculos y Resultados

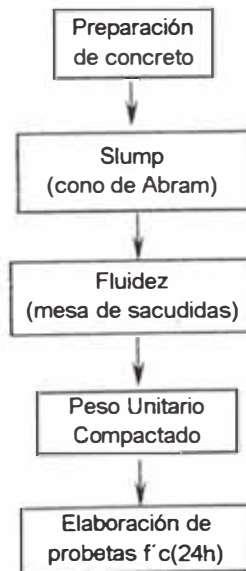
A continuación se presentan los cálculos y resultados obtenidos.

**CUADRO 4.5: ENSAYO DE CONSISTENCIA - FLUIDEZ DEL CONCRETO, UTILIZANDO LA MESA DE SACUDIDAS (NTP 339.085:1981)**  
(Fecha : 27 de Noviembre de 2003)

Mezcla Fi (cm)	0.60 (slump 3")	0.65 (slump 3")	0.70 (slump 3 1/4")	Observaciones
F <sub>1</sub>	40.00	42.50	44.00	
F <sub>2</sub>	39.00	42.50	44.00	
F <sub>3</sub>	39.50	43.50	44.50	
F <sub>4</sub>	39.50	42.50	43.50	
F <sub>5</sub>	39.50	43.50	43.00	
F <sub>6</sub>	39.50	42.50	44.50	
F <sub>prom.</sub>	39.50	42.83	43.92	= SFi / 6
<b>Fluidez (%)</b>	58%	71%	76%	= ( ( Fprom - 25 ) / 25 ) * 100

**Nota:**

Los ensayos de Fluidez y Peso Unitario Compactado del concreto se realizaron secuencialmente, utilizando para cada relación a/c una tanda de diseño equivalente a 3 probetas de 6" x 12" (0.02 m<sup>3</sup> de concreto). Finalmente se aprovechó la mezcla elaborando probetas para el ensayo de compresión a las 24h:



## CAPÍTULO V

### PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO

#### 5.1 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Se determina por medio de la norma NTP 339.034:1999; la cual se aplica a concretos con pesos unitarios mayores de  $800 \text{ kg/m}^3$  ( $50 \text{ lb/pic}^3$ ). La resistencia a la compresión es el parámetro más importante para el diseño de un concreto.

En la presente tesis se han diseñado concretos de mediana a baja resistencia, es decir, concretos con resistencias menores a los  $300 \text{ Kg/cm}^2$ .

##### 5.1.1 Procedimientos involucrados, herramientas y equipos

a) *Previo al ensayo: toma de datos iniciales y aplicación de carga a las probetas:*

###### **Herramientas y Equipos:**

- Carrito mecánico para el traslado de las muestras (capacidad = 320 Kg.).
- Balanza mecánica o digital (capacidad mínima = 14 Kg.)
- Vernier de 30 cm., termostato, cucharón sopero.
- Brocha de 3" para aceitar y waípe (3 grupos: seco, aceitado y para limpieza), recipiente con aceite.
- Base estándar para capiado. Varilla metálica para limpieza.
- Reloj.
- Equipo de seguridad personal: botas punta de acero, guantes de cuero con manga de 6 á 8" de largo, camisa manga larga, pantalón jean (que no sea sintético, ancho).

###### **Procedimiento:**

- 1.- Con ayuda del carrito se reúnen todas las probetas a ensayar. Luego se prepara el formato de ensayo.

- 2.- Pesar las probetas y tomar dos medidas del diámetro en su parte central con ayuda del vernier (las medidas deben ser perpendiculares entre sí).
- 3.- Trasladar las muestras a la zona de capiado y preparar los termostatos llenándolos de capi (rinde aprox. 12 á 15 probetas). Conectar los termostatos y controlarlos durante ½ hora. Asegurarse que esté funcionando el extractor de aire y el ventilador.
- 4.- Mientras se calienta el capi, aplicar aceite en la cara superior de las probetas a ensayar, con ayuda del waipce y la brocha.
- 5.- Cuidar siempre la mezcla y mover con cuidado, sin salpicar y sin forzar. Si ya se ha derretido el 70% del capi del termostato, desconectarlo y aceitar la base del capiador.
- 6.- Colocar capi (lo equivalente al cucharón sopero), que cubra la base del capiador, y colocar hacia abajo la cara aceitada de la probeta. Dejar reposar unos segundos hasta que enfríc, luego girar sobre su eje vertical y levantar.
- 7.- Colocar cuidadosamente la probeta a un costado y aceitar la base que falta capi. Aceitar nuevamente la base del capiador y repetir el paso 6. Luego colocar la probeta lista en el carrito, cuidando que no se dañe el capi y repetir los pasos 6 y 7 para el resto de probetas a ensayar.

*b) Ensayo de Compresión:*

**Herramientas y Equipos:**

- Máquina de ensayo de uso corriente, capaz de mantener una velocidad de carga uniforme y continua, con períodos de calibración continua (por lo menos cada 12 meses). En este caso se utilizó la máquina de laboratorio asignada a los tesisistas y alumnos: Máquina Universal AMSLER.
- Depósito para recuperación de capi y aro metálico saca-capi.
- Recogedor y escoba, depósito para desechos y desmonte.
- Wincha, guantes de goma y botas de seguridad.

### **Procedimiento:**

- 1.- Luego del capiado, se trasladan las muestras al área de ensayo, y se retira la cobertura de la máquina. Verificar la escala de cargas (para mi caso era la combinación A + B + C de pesas). Limpiar la base y la rótula donde se apoya la probeta durante el ensayo. Asegurarse de que en cada ensayo estén siempre limpias y activar la máquina de ensayo.
- 2.- Colocar la probeta a ensayar lo más centrada posible (desplazar el cabezal superior hacia arriba) y asegurarla desplazando mecánicamente el cabezal superior hacia abajo. Evitar que algo quede atrapado entre el cabezal superior y el concreto ya que, de ocurrir, no se podrá retirar hasta que el espécimen se haya ensayado y fallado.
- 3.- Medir la altura del espécimen, incluyendo el espesor de las capas de capi, y aplicar la carga a una velocidad de 3.5 ton/seg. Cuidar de regresar la velocidad a cero (0) INMEDIATAMENTE después de que falle el elemento, cuando se detiene la aguja de lectura de carga máxima. Levantar mecánicamente el cabezal superior para evitar que se "pegue" a la muestra, y tomar lectura de la carga. Retirar la probeta ensayada. Limpiar los cabezales superior e inferior y colocar una nueva muestra.
- 4.- Repetir los pasos 2 y 3 con esta nueva muestra; y mientras se va aplicando la carga, retirar el capi de la probeta ensayada anteriormente y colocarla sobre el carrito. Repetir los pasos 2, 3 y 4 hasta terminar con todas las muestras y finalmente apagar la máquina.

En resumen, en un corto tiempo tendremos todas las probetas ensayadas y limpias de capi al finalizar el ensayo. Luego se procede a limpiar los cabezales de la máquina y a barrer el área de ensayo. Protegemos la máquina con su cobertor y trasladamos las probetas ensayadas al "Área de probetas a donar". Finalmente retornamos el carrito y todos los instrumentos a su ubicación correspondiente.

**5.1.2 Resultados:** A continuación se presentan los resultados obtenidos del Ensayo de Compresión, según la edad de ensayo del concreto y parámetros de comparación debidamente indicados:



**CUADRO 5.1 : RESUMEN DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE RESISTENCIA  
A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO, PARA a/c = 0.60,  
0.65 Y 0.70** (Velocidad de Ensayos = 3.50 ton/min)

a/c	curado	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )				
		24h	7 d	14 d	28 d	42 d
0.60	<b>Patrón</b>	<b>122</b>	<b>242</b>	<b>284</b>	<b>316</b>	<b>318</b>
	2 capas	-	234	240	269	294
	1 capa	-	222	264	290	275
	expuesto	-	229	264	287	278
0.65	<b>Patrón</b>	<b>117</b>	<b>234</b>	<b>271</b>	<b>295</b>	<b>289</b>
	2 capas	-	238	249	291	267
	1 capa	-	221	264	288	261
	expuesto	-	232	227	279	243
	2c - expuesto	-	-	-	298	-
	1c - expuesto	-	-	-	287	-
0.70	<b>Patrón</b>	<b>88</b>	<b>229</b>	<b>253</b>	<b>277</b>	<b>275</b>
	2 capas	-	197	249	258	260
	1 capa	-	219	255	266	251
	expuesto	-	209	247	232	225
	2c - expuesto	-	-	-	-	-
	1c - expuesto	-	-	-	257	-
	2c - agua	-	206	231	271	-
	1c - agua	-	208	254	278	-

**CUADRO 5.2: COMPORTAMIENTO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN  
DEL CONCRETO, CONSIDERANDO F'c PATRÓN = 100%**

a/c	curado	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )				
		24h	7 d	14 d	28 d	42 d
0.60	<b>Patrón</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>
	2 capas	-	97%	85%	85%	92%
	1 capa	-	92%	93%	92%	86%
	expuesto	-	95%	93%	91%	87%
0.65	<b>Patrón</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>
	2 capas	-	102%	92%	99%	92%
	1 capa	-	94%	97%	98%	90%
	expuesto	-	99%	84%	95%	84%
	2c - expuesto	-	-	-	101%	-
	1c - expuesto	-	-	-	97%	-
0.70	<b>Patrón</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>
	2 capas	-	86%	98%	93%	95%
	1 capa	-	96%	101%	96%	91%
	expuesto	-	91%	98%	84%	82%
	2c - expuesto	-	-	-	-	-
	1c - expuesto	-	-	-	93%	-
	2c - agua	-	90%	91%	98%	-
	1c - agua	-	91%	100%	100%	-

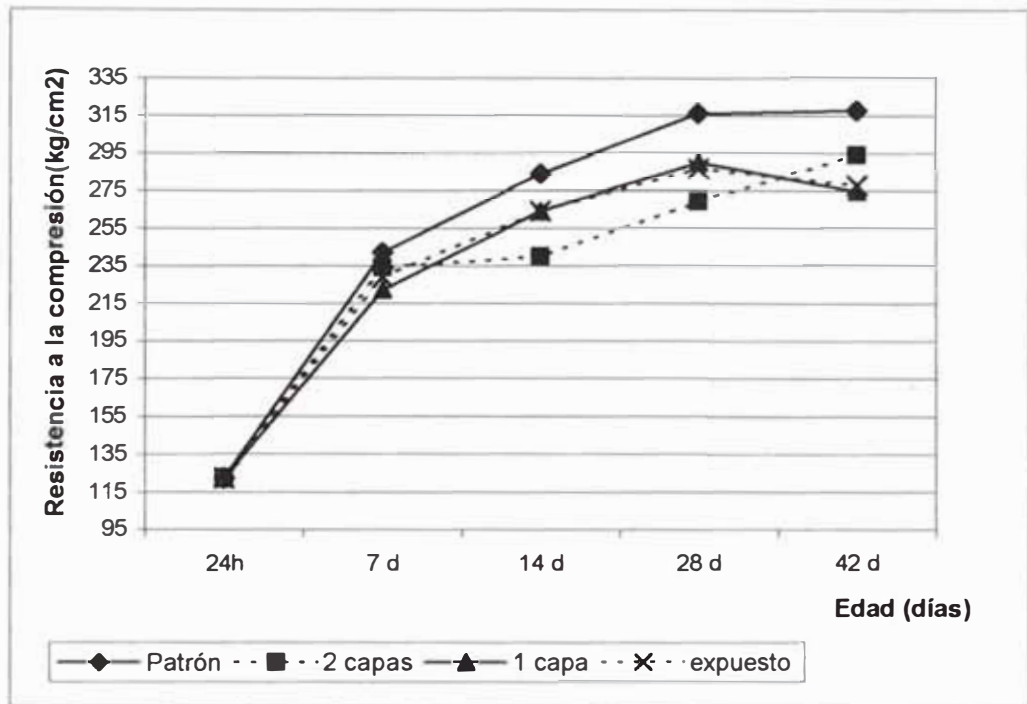
**CUADRO 5.3: COMPORTAMIENTO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO, CONSIDERANDO F'c PATRÓN (28 DÍAS) = 100%**

a/c	curado	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )				
		24h	7 d	14 d	28 d	42 d
0.60	<b>Patrón</b>	39%	77%	90%	<b>100%</b>	101%
	2 capas	-	74%	76%	85%	93%
	1 capa	-	70%	84%	92%	87%
	expuesto	-	72%	84%	91%	88%
0.65	<b>Patrón</b>	40%	79%	92%	<b>100%</b>	98%
	2 capas	-	81%	84%	99%	91%
	1 capa	-	75%	89%	98%	88%
	expuesto	-	79%	77%	95%	82%
	2c - expuesto	-	-	-	101%	-
	1c - expuesto	-	-	-	97%	-
0.70	<b>Patrón</b>	32%	83%	91%	<b>100%</b>	99%
	2 capas	-	71%	90%	93%	94%
	1 capa	-	79%	92%	96%	91%
	expuesto	-	75%	89%	84%	81%
	2c - expuesto	-	-	-	-	-
	1c - expuesto	-	-	-	93%	-
	2c - agua	-	74%	83%	98%	-
	1c - agua	-	75%	92%	100%	-

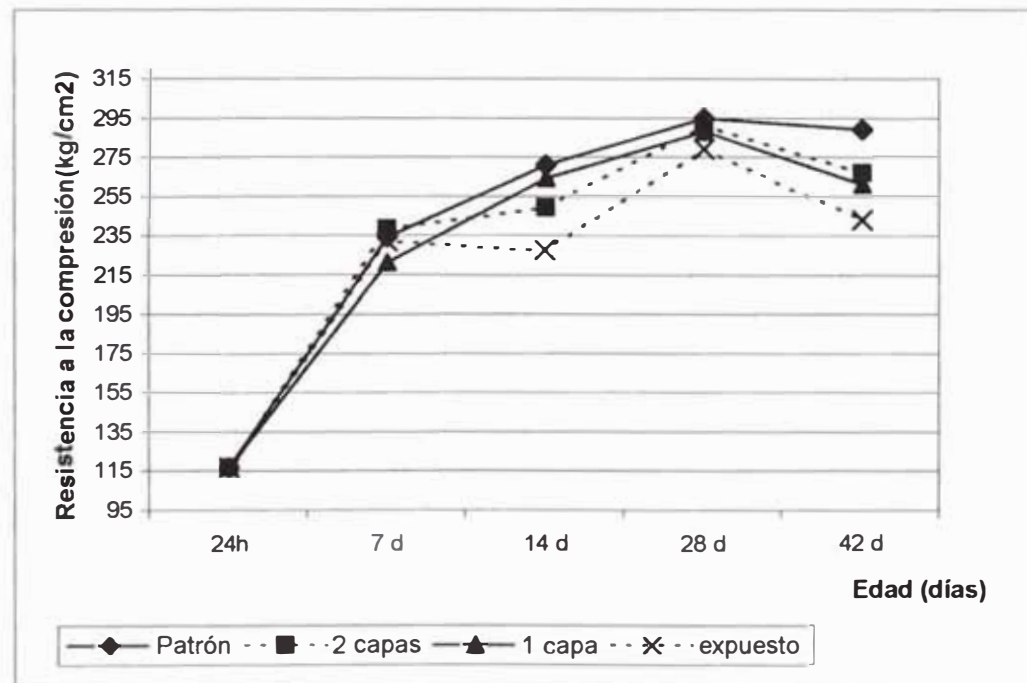
**CUADRO 5.4: COMPORTAMIENTO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO, CONSIDERANDO F'c (28 DÍAS) = 100%**

a/c	curado	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )				
		24h	7 d	14 d	28 d	42 d
0.60	<b>Patrón</b>	39%	77%	90%	<b>100%</b>	101%
	2 capas	-	87%	89%	<b>100%</b>	109%
	1 capa	-	77%	91%	<b>100%</b>	95%
	expuesto	-	80%	92%	<b>100%</b>	97%
0.65	<b>Patrón</b>	40%	79%	92%	<b>100%</b>	98%
	2 capas	-	82%	86%	<b>100%</b>	92%
	1 capa	-	77%	92%	<b>100%</b>	91%
	expuesto	-	83%	81%	<b>100%</b>	87%
	2c - expuesto	-	-	-	<b>100%</b>	-
	1c - expuesto	-	-	-	<b>100%</b>	-
0.70	<b>Patrón</b>	32%	83%	91%	<b>100%</b>	99%
	2 capas	-	76%	97%	<b>100%</b>	101%
	1 capa	-	82%	96%	<b>100%</b>	94%
	expuesto	-	90%	106%	<b>100%</b>	97%
	2c - expuesto	-	-	-	-	-
	1c - expuesto	-	-	-	<b>100%</b>	-
	2c - agua	-	76%	85%	<b>100%</b>	-
	1c - agua	-	75%	91%	<b>100%</b>	-

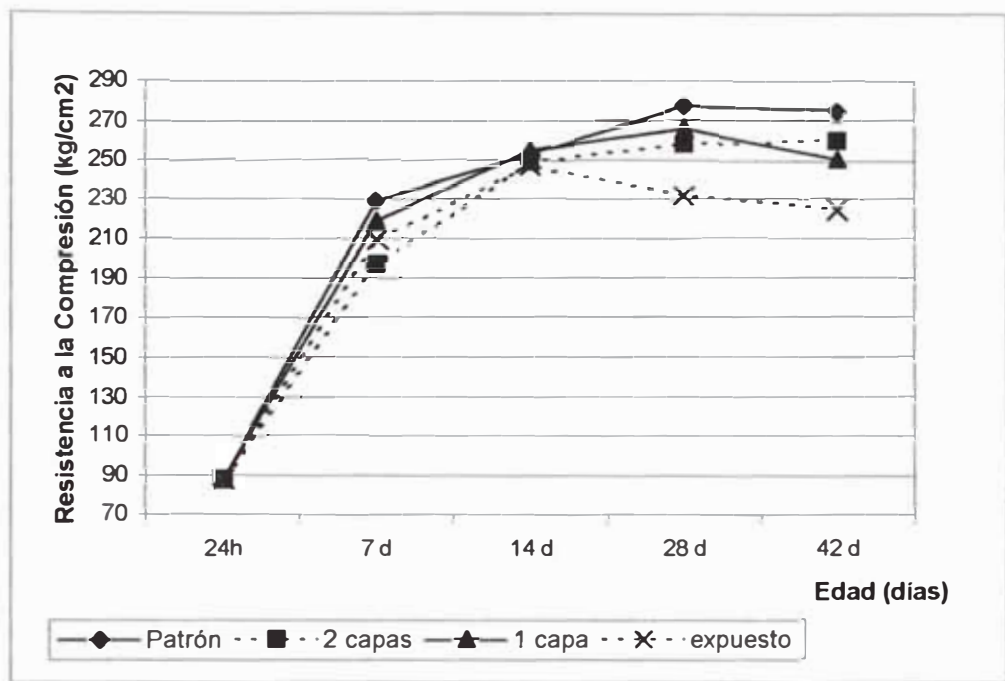
**GRÁFICO 5.1: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO**  
**a/c = 0.60 vs. EDAD (TIEMPO EN DÍAS)**



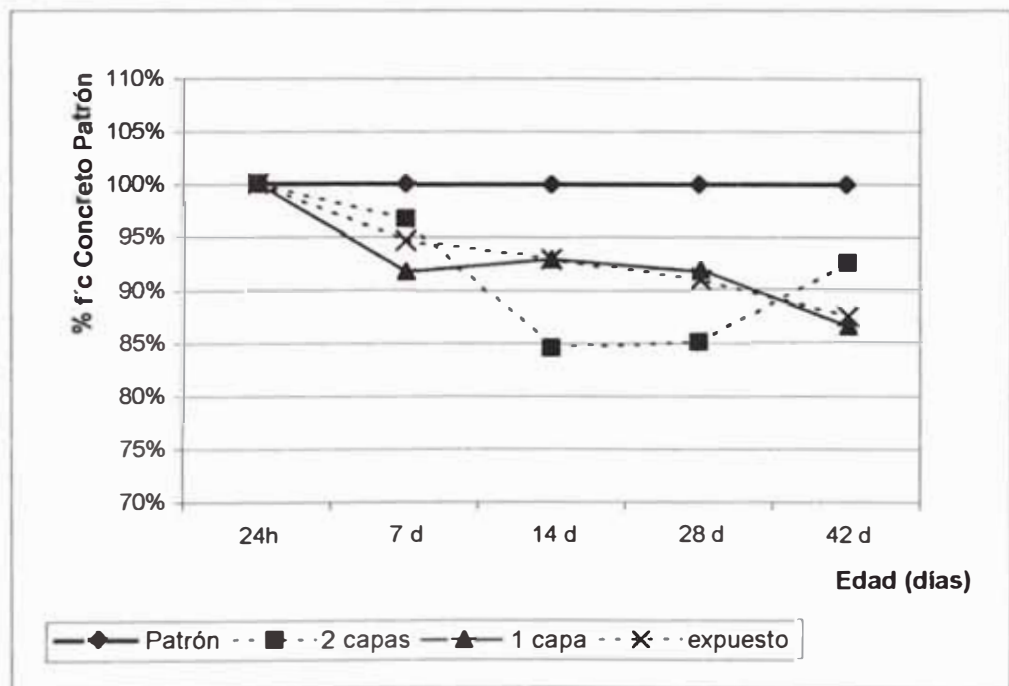
**GRÁFICO 5.2: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO**  
**a/c = 0.65 vs. EDAD (TIEMPO EN DÍAS)**



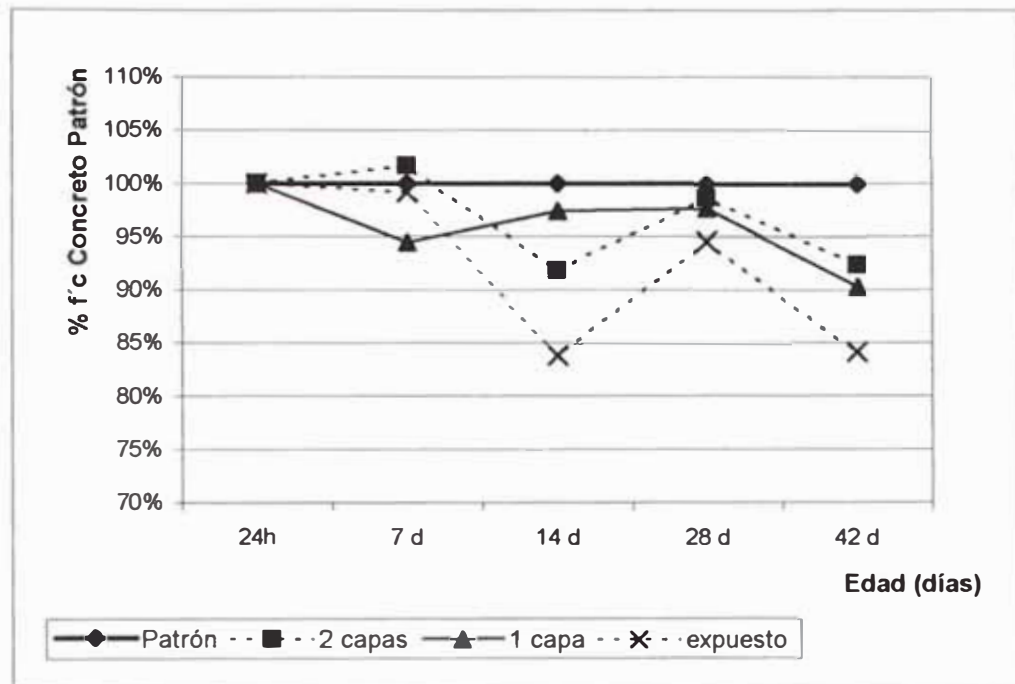
**GRÁFICO 5.3: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO  
a/c = 0.70 vs. EDAD (TIEMPO EN DÍAS)**



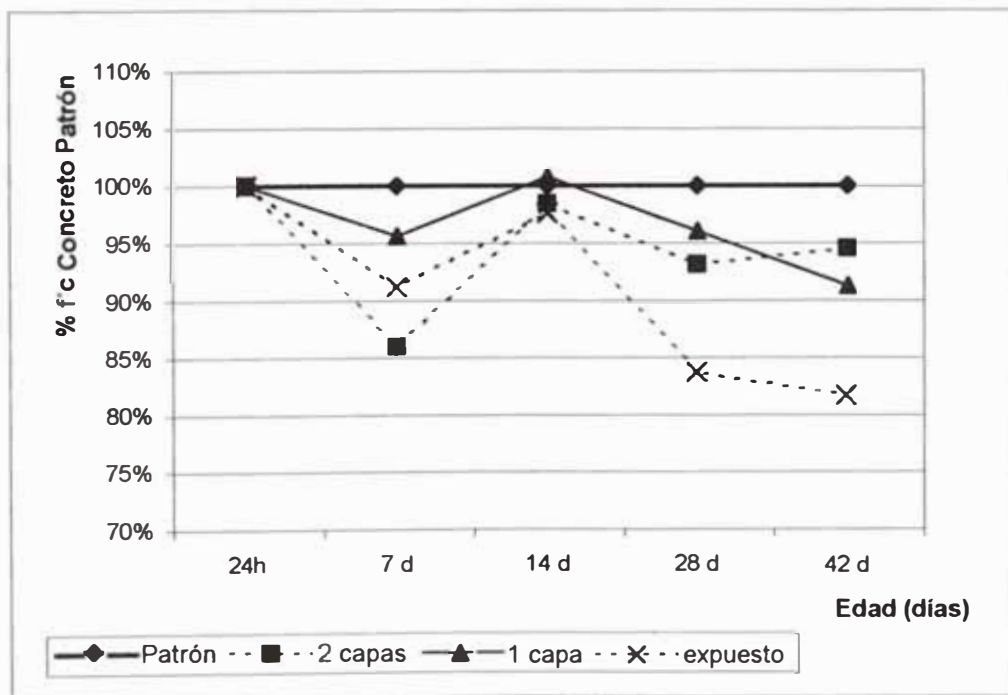
**GRÁFICO 5.4 : RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO  
a/c = 0.60 vs. EDAD (TIEMPO EN DÍAS), CONSIDERANDO  
F'c PATRÓN = 100%**



**GRÁFICO 5.5 :** RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO  
 $a/c = 0.65$  vs. EDAD (TIEMPO EN DÍAS), CONSIDERANDO  
 $f'c$  PATRÓN = 100%



**GRÁFICO 5.6 :** RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO  
 $a/c = 0.70$  vs. EDAD (TIEMPO EN DÍAS), CONSIDERANDO  
 $f'c$  PATRÓN = 100%



## 5.2 RESISTENCIA A LA TRACCIÓN

La norma NTP 339.084:1981 regula el procedimiento de ensayo a seguir para la determinación de la resistencia a tracción del concreto simple a través del ensayo de resistencia de probetas sometidas a compresión diametral.

### 5.2.1 Equipos y herramientas

Se recomienda utilizar la máquina empleada en el ensayo de compresión, y aplicando la misma velocidad de carga, con la finalidad de mantener los mismos márgenes de error y poder comparar los resultados de los diferentes ensayos entre sí.

Carrito mecánico para el traslado de las muestras (capacidad aprox. = 320 Kg.).

Vernier de 30 cm.

Platina de apoyo suplementaria de 50 mm x 35 cm. como mínimo (de acero, plana, con deformación permisible de + 0.025 mm, espesor aprox. de 2").

Listones de apoyo (2 tiras de triplay de 3 mm, de 2.5 cm x 35 cm x 3 mm de espesor), libres de imperfecciones.

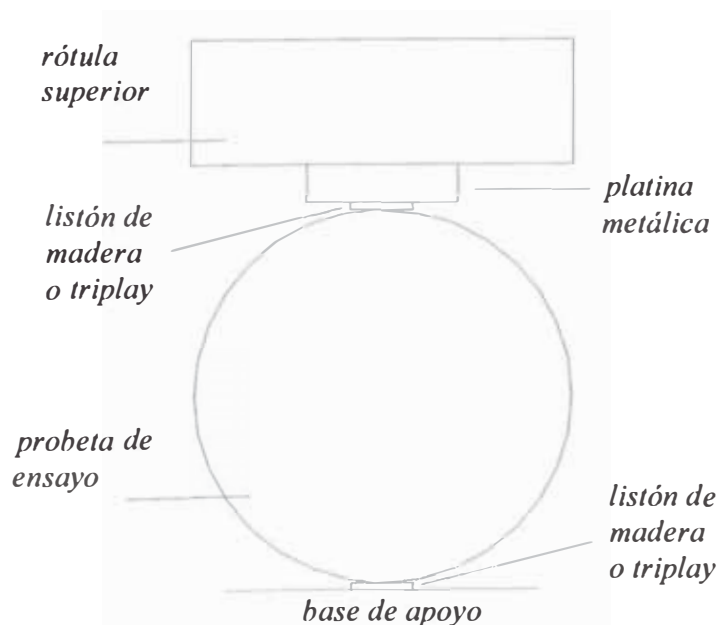
### 5.2.2 Procedimiento

- 1- Tomar 2 medidas de la altura de la probeta (perpendiculares entre sí) y 3 medidas del diámetro (al centro y en cada extremo de la probeta). En este ensayo las probetas no son capiadas.
- 2- Ubicar un listón en la base de apoyo de la máquina y colocar encima la probeta. Ambos deben quedar en el eje central de la base (usar las referencias que tiene la base: hendiduras circulares en el centro de ésta,

directamente alineadas con la rótula superior). Luego colocar el otro listón y la platina sobre la probeta.

- 3- Bajar la rótula superior, cuidando que la probeta, platina y listones estén debidamente centrados y alineados, CUIDAR que no quede nada atrapado entre la platina y la rótula, ya que ésta no se puede levantar luego que han hecho presión contra la muestra; es decir, el sistema levanta la rótula sólo hasta después que la muestra ha fallado. La carga se aplica a una velocidad de 3.5 ton/seg.
- 4- Apuntar la carga máxima y el tipo de falla de la probeta. En caso de falla visible, ésta debe haberse desarrollado a lo largo de los ejes de contacto del concreto con los listones, partiendo la probeta cilíndrica en 2 (ver registro fotográfico en ANEXOS).
- 5- Limpiar el área de ensayo y trasladar los residuos de concreto y las probetas al depósito de desmonte.

**Figura 5.1 :** Esquema de ubicación de muestra, listones y platina para ensayo de Tracción Indirecta (Compresión Diametral)



### 5.2.3 Resumen de Resultados

Los resultados del *Ensayo de Compresión Diametral* se presentan en el siguiente orden:

- Cuadro resumen de resultados.
- Gráfica de las resistencias a tracción del concreto según relación a/c.
- Gráfica comparativa de las resistencias a tracción según a/c, considerando resistencia a tracción del concreto patrón igual a 100%

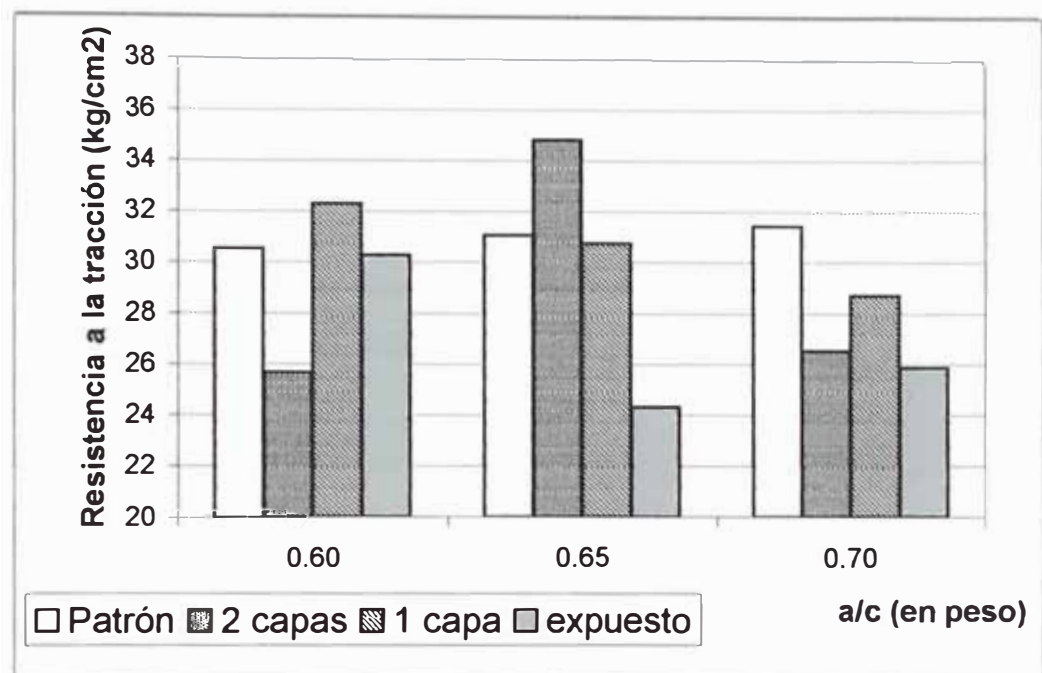
**Cuadro 5.5 :** *Resumen de resultados de "Ensayo de Compresión Diametral para la determinación de la Resistencia a la Tracción del Concreto".*

a/c	curado	f't (kg/cm <sup>2</sup> )	Patrón = 100%	% f'c(28d)	%f'c(28d) promedio
0.60	<b>Patrón</b>	<b>31</b>	<b>100%</b>	<b>10%</b>	10%
	2 capas	26	84%	10%	
	1 capa	32	106%	11%	
	expuesto	30	99%	11%	
0.65	<b>Patrón</b>	<b>31</b>	<b>100%</b>	<b>11%</b>	10%
	2 capas	35	112%	12%	
	1 capa	31	99%	11%	
	expuesto	24	78%	9%	
	2c - expuesto	-	-	-	
	1c - expuesto	-	-	-	
0.70	<b>Patrón</b>	<b>31</b>	<b>100%</b>	<b>11%</b>	11%
	2 capas	27	84%	10%	
	1 capa	29	91%	11%	
	expuesto	26	82%	11%	
	2c - expuesto	-	-	-	
	1c - expuesto	-	-	-	
	2c - agua	-	-	-	
	1c - agua	-	-	-	

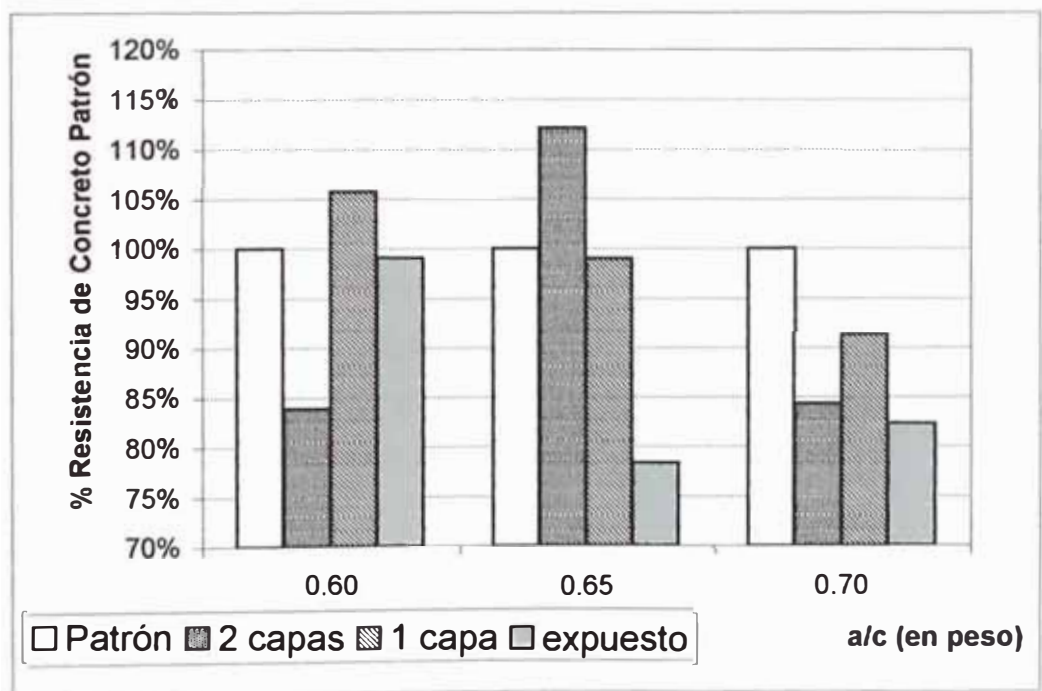
- Donde: **Patrón** – curado por inmersión en agua  
 2 capas – curado con aplicación de 2 capas de CURACEM  
 1 capa – curado con aplicación de 1 capa de CURACEM  
 expuesto – muestras expuestas al medio ambiente, sin curar.  
 f't – Resistencia a la Tracción del concreto.  
 Patrón=100% – Comparación de resistencias considerando la resistencia del concreto patrón igual a 100%  
 %f'c (28d) – Resistencia a la tracción del concreto en función de su resistencia a la compresión a los 28 días (en el diseño estructural siempre se considera igual a 10%).



**GRÁFICO 5.7: COMPORTAMIENTO DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DEL CONCRETO, SEGÚN RELACIÓN a/c.**



**GRÁFICO 5.8 : COMPORTAMIENTO DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DEL CONCRETO SEGÚN RELACIÓN a/c, CONSIDERANDO  $f'c$  PATRÓN = 100%**



### 5.3 MÓDULO DE ELASTICIDAD

El ensayo para la determinación del Módulo de Elasticidad Estático del concreto se realiza bajo los procedimientos establecidos en la norma ASTM C 469: "Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compresión". Los especímenes se ensayan a los 28 días de vaciados y deben estar en buen estado y correctamente curados.

#### 5.3.1 Herramientas y Equipos

Máquina de ensayo que cumpla con la norma ASTM E4: "Práctica para verificación de cargas de máquinas de ensayo". En mi caso, utilicé la Máquina Universal AMSLER con una velocidad de carga inicial de 3 ton/seg. (incrementándola luego a 3.5 ton/seg., igual a la carga aplicada en el ensayo de compresión).

Compresómetro / deformímetro, el cual permite leer la deformación promedio de dos puntos diametralmente opuestos, paralelos al eje mayor de la muestra y ubicados a la mitad de la altura del espécimen (ver siguiente figura, No. 5.2).

Carrito para traslado de muestras, depósito de capi y aro saca-capi.

Pieza de alambre No. 16 (longitud aprox. = 20 cm.), para manipular los accesorios pequeños del deformímetro.

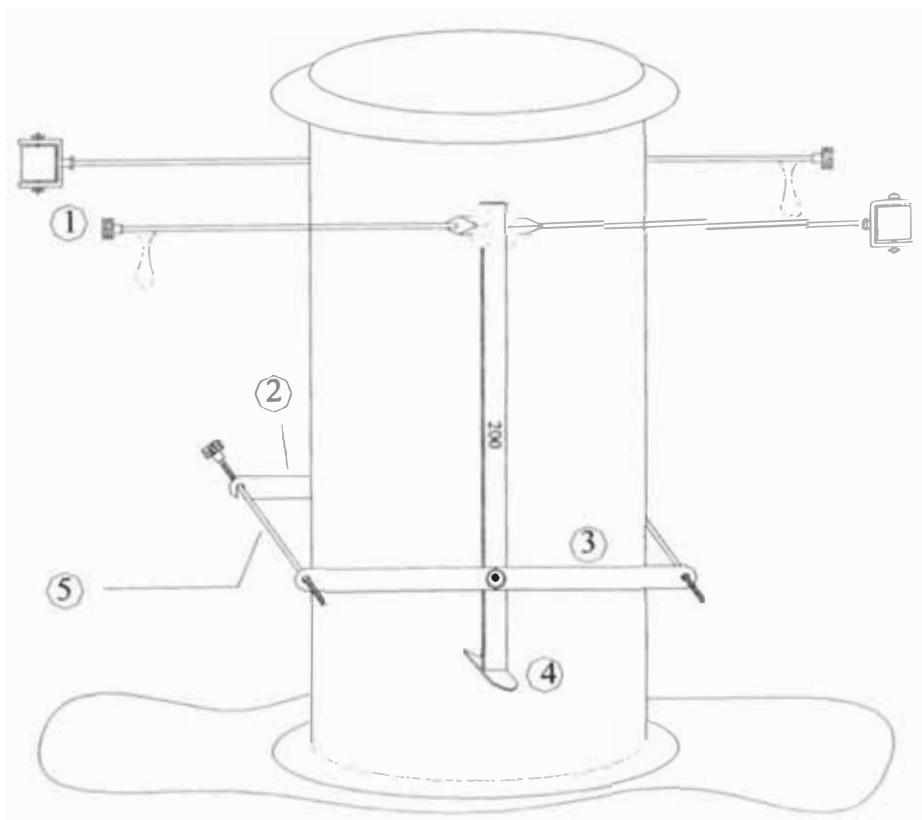
Formato para toma de datos de ensayo indicando referencias de la muestra y cargas de compresión a partir de cero (0), para la toma respectiva de lecturas de deformación cada 2 toneladas.

#### 5.3.2 Procedimiento

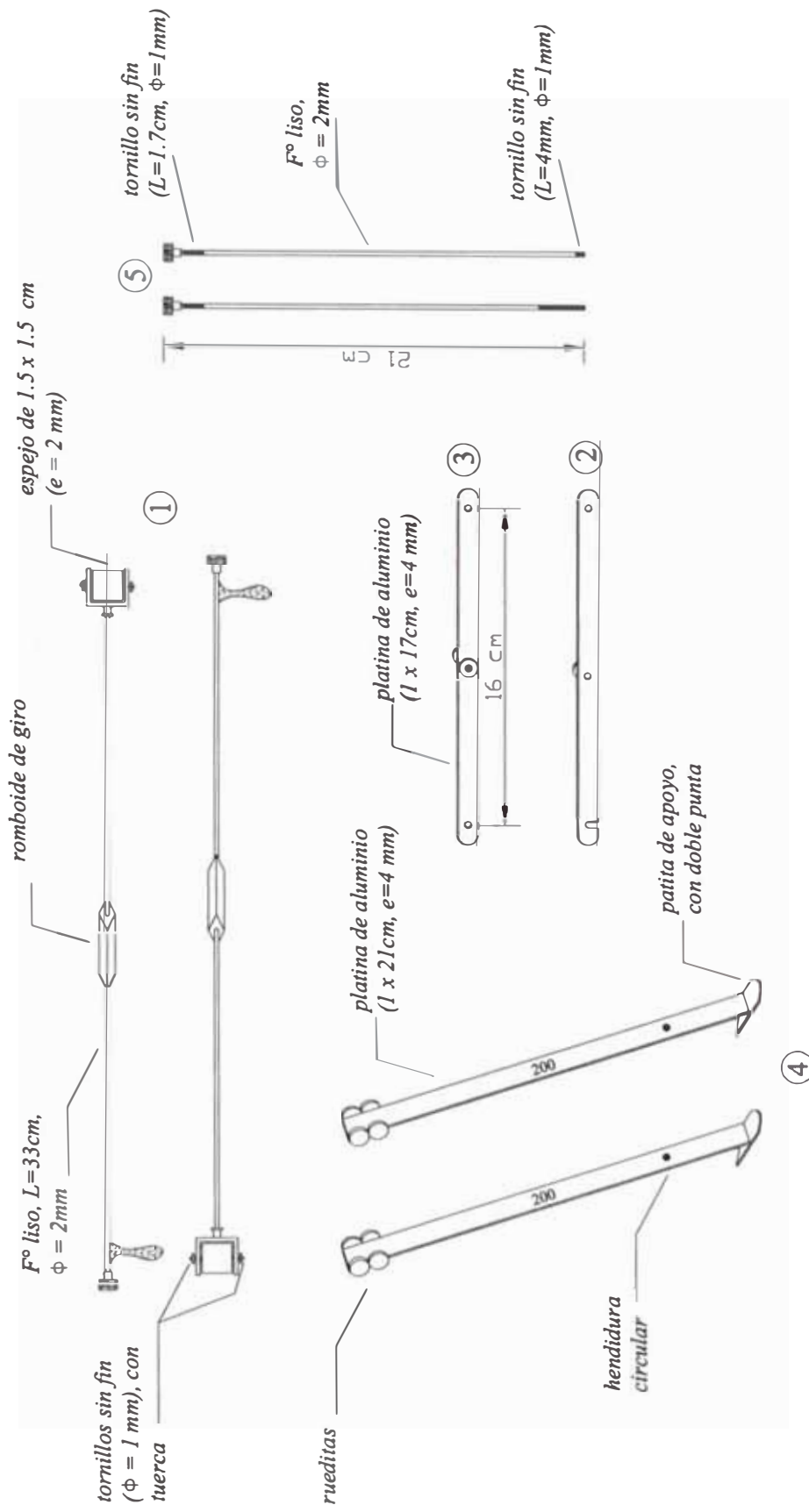
- 1- Colocar el trípode con el deformímetro a una distancia horizontal aproximada de 1 m., medida desde la cara más próxima de la muestra.
- 2- La muestra a ensayar se coloca de la misma forma que en el ensayo a compresión (ver figura 5.1).

- 3- Instalar los accesorios del deformímetro en la probeta a ensayar, tal como se muestra en la figura 5.3, cuidando que los espejos laterales miren hacia el equipo y el eje de la arista más aguda de su rombo central quede perpendicular a la superficie de contacto de la probeta.
- 4- Desde el deformímetro, localizar el reflejo de la regla sobre los espejos. Primero hacerlo mirando desde un costado de los lentes visores y luego mirando a través de éstos (girando las perillas de Zoom para acercar o alejar la imagen desde el lente, según sea el caso) y manteniendo la visibilidad de los hilos reticulares del lente.
- 5- Localizar en los lentes el valor cero (0) de la regla, y verificar que el reflejo de ésta sea claro y se observe la posición vertical de la regla.
- 6- Aplicar una velocidad de carga de 3 Ton. á 2.5 Ton./seg. y, cada 2 toneladas, tomar nota de las deformaciones frontal y posterior que se presentan.

**Fig. 5.2:** Esquema de muestra cilíndrica de concreto (6x12 pulg.), con accesorios de deformímetro para el ensayo de Módulo Elástico.



**Figura 5.3 :** *Ensayo de Módulo Elástico - Accesorios para medición de deformaciones de las probetas cilíndricas de concreto.*



### 5.3.3 Cálculos y Resultados

- i) Promediar las deformaciones para cada carga.
- ii) De las lecturas parciales obtener los siguientes datos, interpolando los resultados obtenidos del laboratorio y calcular el valor del Módulo Elástico tal como se indica en la ecuación 5.3.3.1:
  - $f_c(1)$  = Esfuerzo de compresión (en  $\text{kg/cm}^2$ ) que produce la deformación de  $0.5 \times 10^{-4}$  mm.
  - $f_c(2)$  Resistencia a la compresión (en  $\text{kg/cm}^2$ ) correspondiente al 40% de la resistencia máxima.
  - $E(2)$  Deformación producida por la carga  $f_c(2)$

#### Cálculo de Módulo de Elasticidad según laboratorio:

$$E = [ f_c(2) - f_c(1) ] / [ E(2) - 0.5 \times 10^{-4} ] \quad \dots \quad 5.3.3.1$$

En paralelo, y con fines de comparación, se calcula el Módulo Elástico por el método del ACI 318.83 y la Norma Peruana E-060:

#### Método del ACI 318.83

$$E = 0.135 \times P.U.^{3/2} \times f_c^{1/2} \quad \dots \quad 5.3.3.2$$

Donde:  $P.U.$  = Peso unitario del concreto ( $\text{kg/m}^3$ )  
 $f_c$  = Resistencia a la compresión del concreto ( $\text{kg/cm}^2$ )

#### Método de la Norma Peruana NP E-060

$$E = 15200 \times f_c^{1/2} \quad \dots \quad 5.3.3.3$$

Donde:  $f_c$  = Resistencia a la compresión del concreto ( $\text{kg/cm}^2$ )

### 5.3.4 Resumen de Resultados

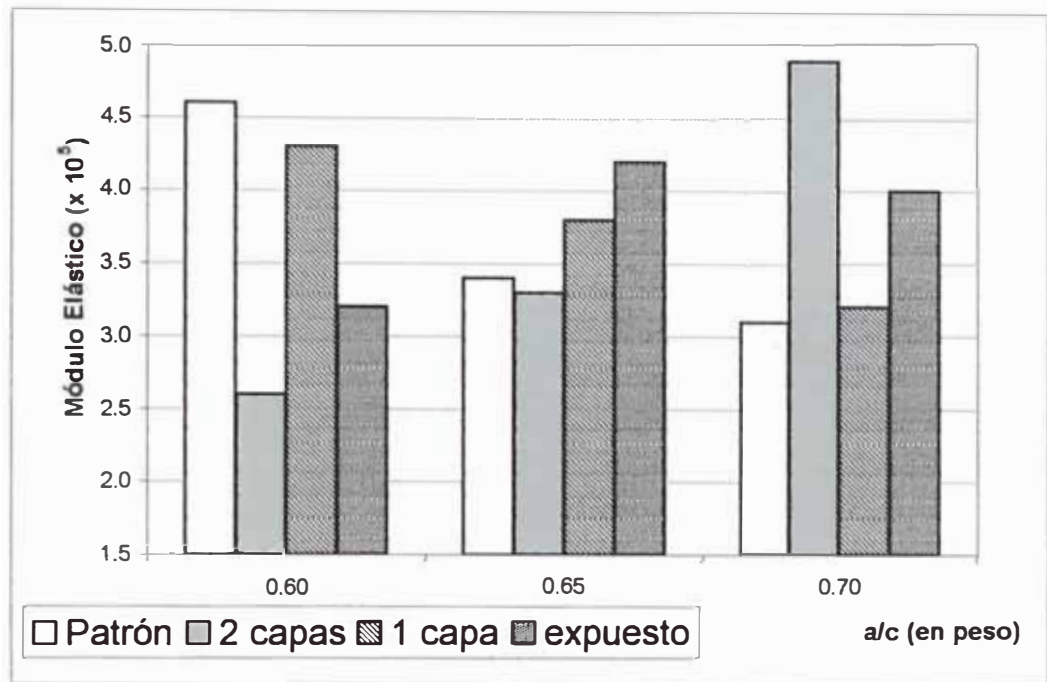
A continuación se presentan los resultados obtenidos del *Ensayo para la Determinación del Módulo de Elasticidad Estático del Concreto*.

**CUADRO 5.6: MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO, RESUMEN DE RESULTADOS Y ANÁLISIS DE SU COMPORTAMIENTO.**

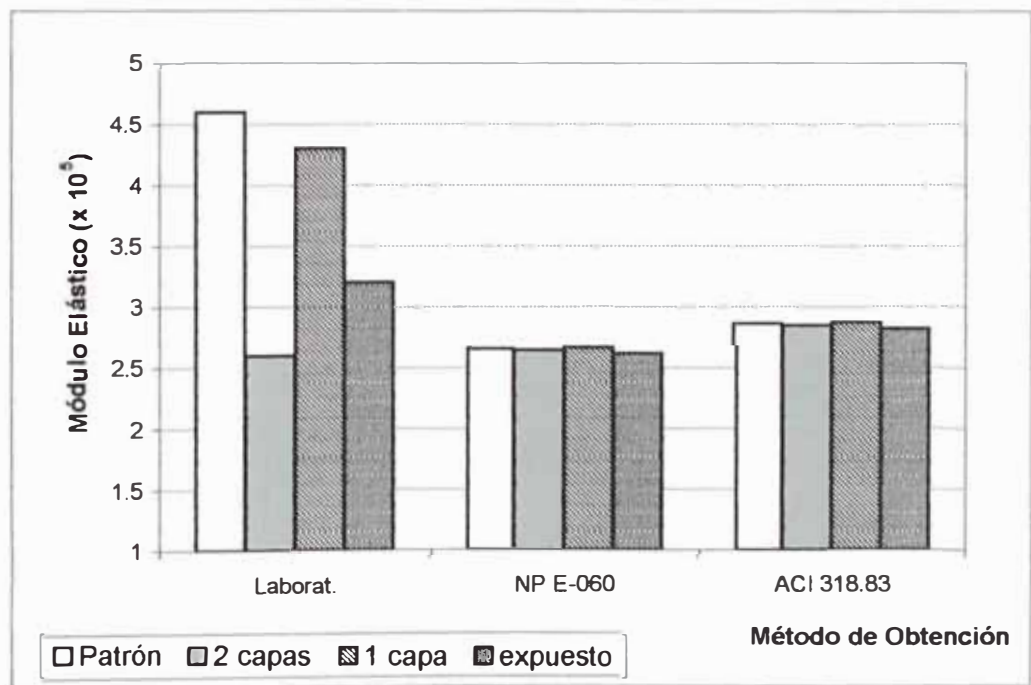
a/c	curado	f'c máx. (kg/cm <sup>2</sup> )	M. E. Laborat. (kg/cm <sup>2</sup> )	% de M.E. Patrón	M. E. (NP E-060) $=15200 \sqrt{f'c}$	M. E. (ACI 318.83) $= 0.135 \times PU^{3/2} \times f'c^{1/2}$
0.60 (PUC = 2451kg/m <sup>3</sup> )	<b>Patrón</b>	<b>305</b>	<b>4.60E+05</b>	<b>100%</b>	2.65E+05	2.86E+05
	2 capas	302	2.60E+05	57%	2.64E+05	2.85E+05
	1 capa	307	4.30E+05	93%	2.66E+05	2.87E+05
	expuesto	296	3.20E+05	70%	2.62E+05	2.82E+05
0.65 (PUC = 2433 kg/m <sup>3</sup> )	<b>Patrón</b>	<b>318</b>	<b>3.40E+05</b>	<b>100%</b>	2.71E+05	2.92E+05
	2 capas	263	3.30E+05	97%	2.47E+05	2.66E+05
	1 capa	268	3.80E+05	112%	2.49E+05	2.68E+05
	expuesto	260	4.20E+05	124%	2.45E+05	2.64E+05
	2c - expuesto	-	-	-	-	-
	1c - expuesto	-	-	-	-	-
0.70 (PUC = 2455 kg/m <sup>3</sup> )	<b>Patrón</b>	<b>284</b>	<b>3.10E+05</b>	<b>100%</b>	2.56E+05	2.76E+05
	2 capas	251	4.90E+05	158%	2.41E+05	2.60E+05
	1 capa	253	3.20E+05	103%	2.42E+05	2.61E+05
	expuesto	241	4.00E+05	129%	2.36E+05	2.54E+05
	2c - expuesto	-	-	-	-	-
	1c - expuesto	-	-	-	-	-
	2c - agua	-	-	-	-	-
	1c - agua	-	-	-	-	-

**Nota :** M.E. = Módulo Elástico

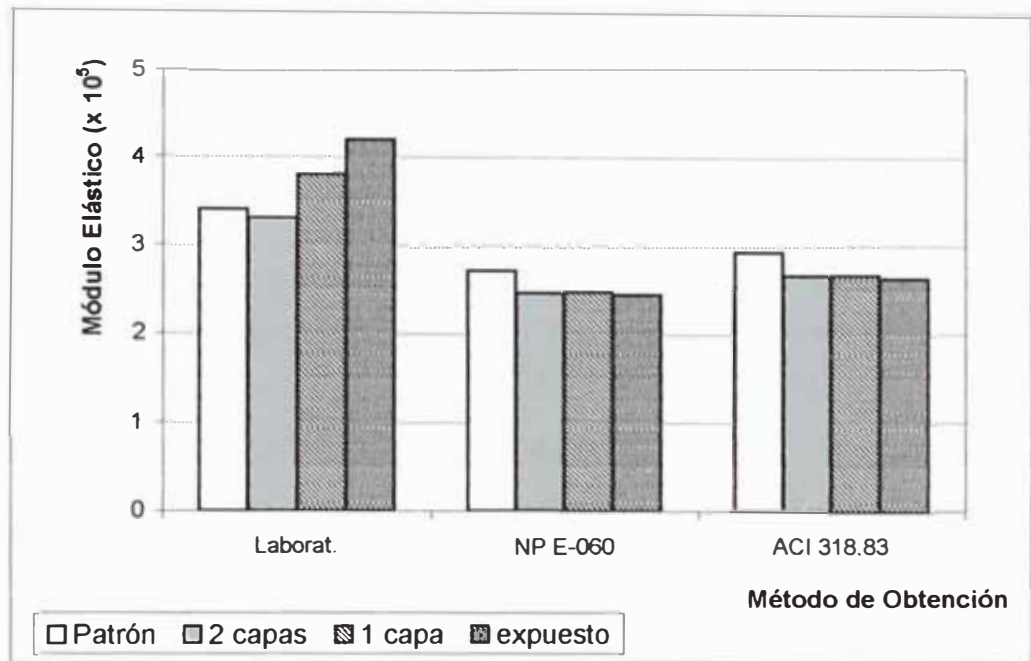
**GRÁFICO 5.9 : COMPORTAMIENTO DEL MÓDULO ELÁSTICO DEL CONCRETO, SEGÚN RELACIÓN a/c.**



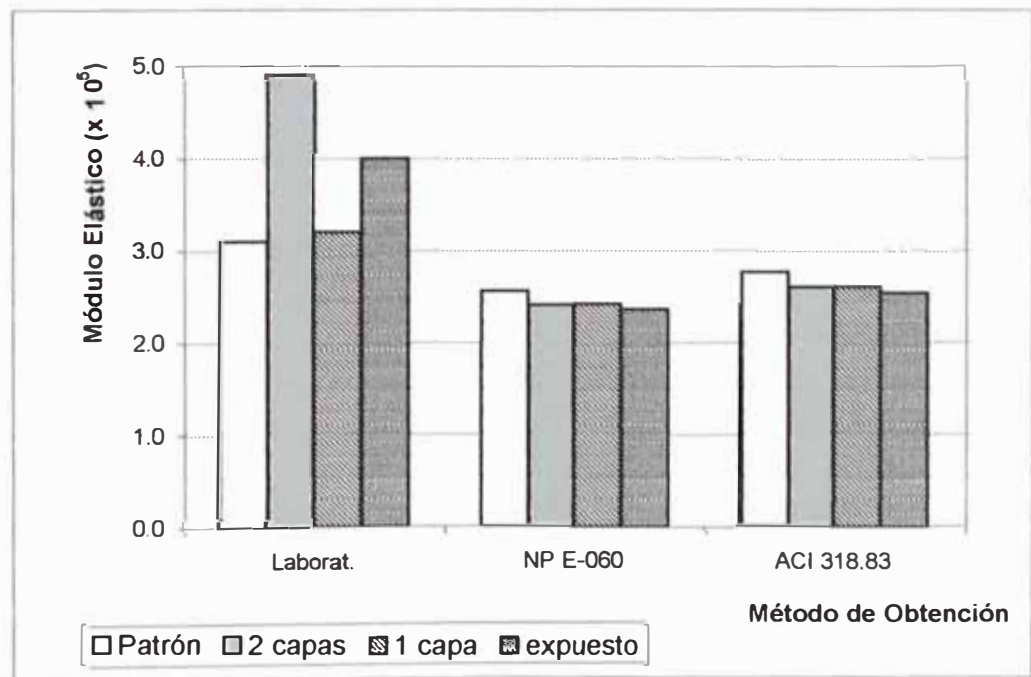
**GRÁFICO 5.10 : COMPORTAMIENTO DEL MÓDULO ELÁSTICO DEL CONCRETO a/c = 0.60, SEGÚN SU MÉTODO DE OBTENCIÓN.**



**GRÁFICO 5.11 :** COMPORTAMIENTO DEL MÓDULO ELÁSTICO DEL CONCRETO  $a/c = 0.65$ , SEGÚN SU MÉTODO DE OBTENCIÓN.



**GRÁFICO 5.12 :** COMPORTAMIENTO DEL MÓDULO ELÁSTICO DEL CONCRETO  $a/c = 0.70$ , SEGÚN SU MÉTODO DE OBTENCIÓN.





## CAPÍTULO VI

### ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 6.1- AGREGADOS

- Del cuadro 1.10: "Resumen de las Propiedades Físicas de los agregados", se observa que éstas se encuentran dentro de los requerimientos de las normas involucradas, y cumplen con las características deseadas por la presente tesis (p.e.: tamaño máximo de agregados, módulo de finura, etc.), a excepción del porcentaje de agregado fino que pasa la malla 200, el cual excede el 3% recomendado por el Reglamento Nacional de Construcción.
- En el gráfico A1.1, observamos que la curva granulométrica del agregado fino se ubica dentro del huso C dado por la norma ASTM C-33, presentando una distribución homogénea en la forma de una curva suave y sin cambios bruscos. Para el caso del agregado grueso, podemos ver que la curva granulométrica (ver gráfico A1.1) se sale del huso granulométrico entre las mallas de ½" y N° 4; lo que indica un exceso de grava fina que hace que la curva granulométrica sea irregular.

Físicamente se observó que el agregado grueso tenía algunas piedras redondeadas de ½" a ¾", porosas (con agujeros, como piedra pómez pero más densas) y otras tenían forma laminar (piedras planas y alargadas, no recomendadas ya que no aportan resistencia al concreto).

#### 6.2- AGREGADO GLOBAL

- Del cuadro 1.11 y el gráfico 1.1 vemos que, inicialmente, la combinación 45% Arena y 55% Piedra generaban el máximo *Peso Unitario Compactado* del agregado global. Del gráfico A1.2 (ver anexos) observamos que la curva granulométrica de la combinación se sitúa predominantemente entre los husos "A" y "B" de la norma DIN 1045, cuya área encerrada tiene como característica la de generar concretos trabajables.

- Luego de hacer el diseño de mezcla de prueba con la combinación de agregados elegida, se realizaron los primeros procesos de elaboración de concreto para el tanteo del agua de diseño, observándose que la mezcla tenía un comportamiento irregular en su slump (ver cuadros A2.2, A2.3, gráfico A2.1) y apariencia "pedregosa", con poca presencia de finos; por lo que se verificó y corrigió la combinación de agregados a 46% Arena y 54% Piedra (ver cuadro A2.4 y gráfico A2.2).
- Para la elección de los porcentajes definitivos de los agregados se utilizó el "Método de la Máxima Resistencia a la Compresión a los 7 días", elaborándose 3 tandas de concreto con diferentes combinaciones de arena - piedra: 46% - 54%, 43% - 57% y 49% - 51% (ver cuadro 2.2). En el gráfico 2.1 se observa que la combinación 49% Arena y 51% Piedra genera la resistencia a la compresión máxima por lo que se seleccionó definitivamente esta combinación.
- En el gráfico A2.4 se muestran los husos DIN 1045 y la curva granulométrica correspondiente a la combinación 49% Arena y 51% Piedra. Vemos que (a diferencia de las curvas de las gráficas A1.2 y A2.3) ésta se ubica dentro del área comprendida por los husos B y C, denominada como área de concretos bombeables (por el alto contenido de agregados finos); lo que nos muestra que el agregado global ha buscado equilibrar la deficiencia de la distribución granulométrica del agregado grueso mencionada anteriormente.

### 6.3- DISEÑO DE MEZCLAS

- En el cuadro 2.6 se muestran los volúmenes de agua de diseño a considerar para cada a/c respectivo (combinación de agregados = 49% Arena - 51% Piedra), los cuales son:

$$a/c = 0.60 \quad \Rightarrow \quad 230 \text{ lt/m}^3$$

$$a/c = 0.65 \quad \longrightarrow \quad 230 \text{ lt/m}^3$$

$$a/c = 0.70 \quad \longrightarrow \quad 225 \text{ lt/m}^3$$

- Cabe mencionar que lo indicado en las observaciones del cuadro 2.6 permitió el tanteo óptimo del agua de mezcla, con un ahorro importante de materiales y mano de obra, así como de tiempo de ejecución.

#### 6.4- CONCRETO FRESCO

##### 6.4.1- **Peso Unitario Compactado, contenido de aire y factor cemento**

Del cuadro 4.1 tenemos los siguientes resultados:

a/c	P.U.C. (kg/m <sup>3</sup> )	P.U.C. teórico (kg/m <sup>3</sup> )	% Aire	F. Cemento (bls/m <sup>3</sup> )
0.60	2451	2395	2.34	9.40
0.65	2433	2391	1.77	8.60
0.70	2455	2396	2.47	7.90

- Vemos que el P.U.C. de a/c = 0.70 es mayor que el P.U.C. de a/c = 0.65; esto se debe a que el volumen de agua de diseño de a/c = 0.70 es de 225 lt/m<sup>3</sup> (contra los 230 lt/m<sup>3</sup> de a/c = 0.65), por lo que para este caso se presenta que el P.U.C. del concreto no decrece a medida que aumenta la relación a/c de diseño.

##### 6.4.2 **Tiempo de Fraguado**

Del cuadro 4.3 tenemos que el tiempo de fraguado inicial y final del concreto (según su relación a/c) es el siguiente:

a/c	Tiempo de Fraguado (min.)		D (Tiempo Fraguado)
	Inicial	Final	
0.60	314 (5:14 h)	398 (6:38 h)	84 min (1:24 h)
0.65	309 (5:08 h)	399 (6:39 h)	90 min (1:30 h)
0.70	330 (5:30 h)	421 (7:01 h)	91 min (1:31 h)

### 6.4.3 Exudación

Del cuadro 4.4, se presentan los siguientes resultados:

a/c = 0.60	—————>	1.27 %
a/c = 0.65	—————>	1.46 %
a/c = 0.70	—————>	1.03 %

Vemos que a/c = 0.70 presenta una exudación menor que a/c = 0.65, lo que se explica debido a las características de diseño entre ambas muestras, mencionadas en el ítem 6.4.1.

### 6.4.4 Fluidez

Del cuadro 4.5, vemos que la fluidez va aumentando a medida que aumenta la relación a/c, presentándose una fluidez promedio de 58, 71 y 76% para a/c = 0.60, 0.65 y 0.70 respectivamente.

## 6.5- CONCRETO ENDURECIDO

### 6.5.1- Ensayos de compresión

#### 6.5.1.1 Concreto a/c = 0.60

- Del cuadro 5.1 ( $a/c = 0.60$ ) y el gráfico 5.1, el concreto patrón presenta un comportamiento creciente de su resistencia, en forma de curva convexa (variando de 122 á 318 kg/cm<sup>2</sup>). El concreto con 2 capas de curador (identificado como 2C) también tiene un comportamiento creciente, pero con forma de curva cóncava; presentándose el punto de inflexión a los 14 días. El concreto con 1 capa de curador (1C) y el concreto expuesto al ambiente (aire) forman 2 curvas ascendentes convexas parecidas, muy próximas entre sí (la distancia entre ambas va de 0 á 7 kg/cm<sup>2</sup>, como máximo), y ambas presentan una caída de de su resistencia de 3 y 5% respectivamente, al pasar de los 28 a los 42 días.
- Del cuadro 5.2 ( $a/c = 0.60$ ), en el que se considera la resistencia patrón = 100%, vemos los siguientes comportamientos del concreto:
  - A los 7 días, el concreto 2C presenta un 97% de la resistencia patrón, 1C presenta 92% y el concreto al aire está en 95%.
  - A los 14 días, el concreto 2C presenta 85% de la resistencia patrón, 1C presenta 93% y el concreto al aire 93%.
  - A los 28 días, 2C presenta 85%, 1C presenta 92% y al aire 91%.
  - A los 42 días, 2C presenta 92%, 1C presenta 86% y al aire 87%.
- Del gráfico 5.4, correspondiente al cuadro 5.2 (Patrón = 100%) – Relación  $a/c = 0.60$ , se observa el siguiente comportamiento, según el tipo de curado:

- La curva del concreto 2C presenta un comportamiento descendente - ascendente: a los 7 días decrece a 93% respecto del 100% de la resistencia patrón, a los 14 días baja a 85%, a los 28 días se mantiene en 85% y a los 42 días sube a 92% de la resistencia patrón.
  - La curva del concreto 1C presenta un comportamiento descendente - ascendente - descendente: a los 7 días baja a 92% respecto de la resistencia patrón, a los 14 días sube a 93%, a los 28 días baja nuevamente a 92% y a los 42 días baja a 86%.
  - La curva del concreto expuesto al medio ambiente (o al aire, colocado sobre el techo del LEM) presenta un comportamiento descendente a lo largo de toda su resistencia: a los 7 días baja a 95% respecto de la resistencia patrón, a los 14 días baja a 93%, a los 28 días baja a 91% y a los 42 días baja a 87%. Como podemos ver, a partir de los 14 días las curvas de 1C y al aire están casi juntas.
- Del cuadro 5.3 ( $a/c = 0.60$ ), en el cual se considera como 100% la resistencia del concreto patrón a los 28 días, se presentan los siguientes resultados:
    - Concreto patrón: a las 24 horas tiene un 39% de su resistencia a los 28 días, a los 7 días presenta una resistencia de 77%, a los 14 días tiene 90%, y a los 42 días alcanza 101% de su resistencia a los 28 días.
    - Concreto 2C: a los 7 días presenta una resistencia del 74% de la resistencia patrón a los 28 días, a los 14 días tiene el 76%, a los 28 días alcanza el 85% y a los 42 días alcanza el 93%.
    - Concreto 1C: 70% a los 7 días, 84% a los 14 días, 92% a los 28 días y 87% a los 42 días.
    - Concreto al aire o expuesto al medio ambiente: 72% a los 7 días, 84% a los 14 días, 91% a los 28 días y 88% a los 42 días.

- Del cuadro 5.4 ( $a/c = 0.60$ ), en el cual se toma como 100% las resistencias del concreto a los 28 días (independiente para cada tipo de curado), podemos observar lo siguiente:

Concreto patrón: su comportamiento es el mismo que el descrito en el análisis del cuadro 5.3.

Concreto 2C: a los 7 días presenta el 87% de su resistencia a los 28 días, a los 14 días sube a 89%, a los 28 días es su 100% y a los 42 días alcanza hasta 109%.

Concreto 1C: 77% a los 7 días, 91% a los 14 días, 100% a los 28 días y baja a 95% a los 42 días.

Concreto al aire o expuesto al medio ambiente: 80% a los 7 días, 92% a los 14 días, 100% a los 28 días y 97% a los 42 días.

#### 6.5.1.2 Concreto $a/c = 0.65$

- Del cuadro 5.1 ( $a/c = 0.65$ ) y el gráfico 5.2, vemos que el concreto patrón presenta un comportamiento creciente de su resistencia en forma de curva convexa, pero decrece al pasar de 28 a 42 días (su resistencia disminuye en 5 kg/cm<sup>2</sup>). El concreto 2C también presenta un comportamiento creciente pero irregular; disminuyendo 28 kg/cm<sup>2</sup> al pasar de los 28 a los 42 días. El concreto 1C tiene un comportamiento similar al Patrón, pero ambas curvas están separadas desde 7 á 28 kg/cm<sup>2</sup>. El concreto al aire presenta un comportamiento irregular de su resistencia (creciente – decreciente – creciente – decreciente) observándose que al pasar de los 28 a los 42 días, su resistencia disminuye bruscamente 36kg/cm<sup>2</sup>.
- Del cuadro 5.2 ( $a/c = 0.65$ ), en el que se considera la resistencia patrón = 100%, vemos los siguientes comportamientos del concreto:
  - A los 7 días, el concreto con 2 capas de curador (2C) presenta 102% de la resistencia patrón, 1C presenta 94% y el concreto al aire está en 99%.

A los 14 días, el concreto 2C presenta 92% de la resistencia patrón, 1C presenta 97% y el concreto al aire 84%.

A los 28 días, 2C presenta 99%, 1C presenta 98% y al aire 95%.

A los 42 días, 2C presenta -8%, 1C presenta -10% y al aire -16%.

Vemos que a los 28 días, las muestras curadas con CURACEM y colocadas en el techo presentan: muestra con 2 capas = 2C(techo) = 101%; muestra con 1 capa de curador = 1C(techo) = 97%.

- Del gráfico 5.5, correspondiente al cuadro 5.2 (Patrón = 100%) – Relación  $a/c = 0.65$ , se observa el siguiente comportamiento, según el tipo de curado:

La curva del concreto 2C presenta un comportamiento irregular ascendente - descendente – ascendente - descendente: a los 7 días está en 102% respecto de la resistencia patrón, a los 14 días baja a 92%, a los 28 días sube a 99% y a los 42 días baja a 92% de la resistencia patrón.

La curva del concreto 1C presenta un comportamiento irregular descendente – ascendente – ascendente - descendente: a los 7 días baja a 94% respecto de la resistencia patrón, a los 14 días sube a - 97%, a los 28 días sube a 98% y a los 42 días baja a 90%.

La curva del concreto al aire presenta un comportamiento irregular descendente - descendente - ascendente - descendente, casi parecido a 2C a partir de los 14 días, pero con resistencias mucho más críticas respecto de la patrón: a los 7 días baja a 99% de la resistencia patrón, a los 14 días baja a 84%, a los 28 días sube a 95% y a los 42 días baja a 84%.

- Del cuadro 5.3 ( $a/c = 0.65$ ), en el cual se considera como 100% la resistencia del concreto patrón a los 28 días, se presentan los siguientes resultados:



Concreto patrón: a las 24 horas tiene un 40% de su resistencia a los 28 días, a los 7 días presenta una resistencia de 79%, a los 14 días tiene 92%, y a los 42 días baja a 98%.

Concreto 2C: a los 7 días presenta una resistencia del 81% de la resistencia patrón a los 28 días, a los 14 días tiene el 84%, a los 28 días alcanza el 99% y a los 42 días alcanza el 91%.

Concreto 1C: 75% a los 7 días, 89% a los 14 días, 98% a los 28 días y 88% a los 42 días.

Concreto al aire: 79% a los 7 días, 77% a los 14 días, 95% a los 28 días y 82% a los 42 días.

- Del cuadro 5.4 ( $a/c = 0.65$ ), en el cual se toma como 100% las resistencias del concreto a los 28 días (independiente para cada tipo de curado), podemos observar lo siguiente:
  - Concreto patrón: su comportamiento es el mismo que el descrito en el análisis del cuadro 5.3.
  - Concreto 2C: a los 7 días presenta el 82% de su resistencia a los 28 días, a los 14 días sube a 86%, a los 28 días es su 100% y a los 42 días disminuye a 92%.
  - Concreto 1C: 77% a los 7 días, 92% a los 14 días, 100% a los 28 días y baja a 91% a los 42 días.
  - Concreto al aire: 83% a los 7 días, 81% a los 14 días, 100% a los 28 días y 87% a los 42 días.

### **6.5.1.3 Concreto $a/c = 0.70$**

- Del cuadro 5.1 ( $a/c = 0.70$ ) y el gráfico 5.3, vemos que el concreto patrón presenta un comportamiento creciente de su resistencia, en forma de curva convexa, pero decrece al pasar de 28 a 42 días (su resistencia va desde los 229 kg/cm<sup>2</sup> a los 7 días, hasta los 277 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días, disminuyendo en 2 kg/cm<sup>2</sup> al pasar a los 42 días). El concreto 2C también presenta la

forma de una curva convexa, pero siempre creciente (su resistencia va desde los 197 kg/cm<sup>2</sup> a los 7 días, hasta los 260 kg/cm<sup>2</sup> a los 42 días). El concreto 1C tiene un comportamiento similar al Patrón, pero ambas curvas están separadas entre sí por distancias que van desde 2 á 24 kg/cm<sup>2</sup>. El concreto expuesto al medio ambiente (aire) presenta un comportamiento irregular (creciente – decreciente, curva no definida), al pasar de 14 a 28 días, su resistencia disminuye bruscamente 17 kg/cm<sup>2</sup>.

- Del cuadro 5.2 ( $a/c = 0.70$ ), en el que se considera la resistencia patrón = 100%, vemos los siguientes comportamientos del concreto:
  - A los 7 días, el concreto 2C presenta 86% de la resistencia patrón, 1C presenta 96%, al aire 91%, el concreto humedecido y curado con 2 capas de CURACEM = 2C(agua) está en 90% y el concreto humedecido y curado con 1 capa = 1C(agua) está en 91%
  - A los 14 días, el concreto 2C presenta 98% de la resistencia patrón, 1C presenta 101%, concreto al aire 98%, 2C(agua) está en 91% y el concreto 1C(agua) alcanza el 100% de la resistencia patrón.
  - A los 28 días, 2C presenta 93% de la resistencia patrón, 1C presenta 96%, al aire 84%, 2C(agua) está en 98% y el concreto 1C(agua) está en 100%.
  - A los 42 días, 2C presenta 95%, 1C presenta 91% y al aire 82%.
  - Vemos que a los 28 días, las muestras curadas y colocadas en el techo presentan en promedio el 93% de la muestra patrón ( muestra 1C(techo) )
- Del gráfico 5.6, correspondiente al cuadro 5.2 (Patrón = 100%) – Relación  $a/c = 0.70$ , se observa el siguiente comportamiento, según el tipo de curado:
  - La curva del concreto 2C presenta un comportamiento irregular descendente – ascendente – descendente - ascendente: a los 7 días está en 86% respecto de la resistencia patrón, a los 14 días sube a 98%, a

los 28 días baja a 93% y a los 42 días sube a 95% de la resistencia patrón.

- La curva del concreto 1C presenta un comportamiento irregular descendente - ascendente - descendente- descendente: a los 7 días baja a 96% respecto de la resistencia patrón, a los 14 días sube a 101%, a los 28 días baja a 96% y a los 42 días baja a 91%.
  - La curva del concreto al aire o expuesto al medio ambiente presenta un comportamiento irregular descendente - ascendente – descendente - descendente: a los 7 días baja a 91% de la resistencia patrón, a los 14 días sube a 98%, a los 28 días baja a 84% y a los 42 días baja a 82%.
  - La curva del concreto 2C(agua) = concreto humedecido con agua y curado con 2 capas de CURACEM, presenta un comportamiento creciente, de curva convexa: a los 7 días baja a 90% respecto de la resistencia patrón, a los 14 días sube a 91%, a los 28 días sube a 98%.
  - La curva del concreto 1C(agua) = concreto humedecido con agua y curado con 1 capa de CURACEM, presenta un comportamiento creciente y de curva convexa: a los 7 días está en 91% respecto de la resistencia patrón, a los 14 días alcanza el 100% de la resistencia patrón, manteniéndose este valor a los 28 días.
- Del cuadro 5.3 ( $a/c = 0.70$ ), en el cual se considera como 100% la resistencia del concreto patrón a los 28 días, se presentan los siguientes resultados:
    - Concreto patrón: a las 24 horas tiene un 32% de su resistencia a los 28 días, a los 7 días presenta una resistencia de 83%, a los 14 días tiene 91%, y a los 42 días baja a 99%.
    - Concreto 2C: a los 7 días presenta una resistencia del 71% de la resistencia patrón a los 28 días, a los 14 días tiene el 90%, a los 28 días alcanza el 93% y a los 42 días alcanza el 94%.
    - Concreto 1C: 79% a los 7 días, 92% a los 14 días, 96% a los 28 días y 91% a los 42 días.

- Concreto al aire: 75% a los 7 días, 89% a los 14 días, 84% a los 28 días y 81% a los 42 días.
- Concreto 2C(agua): 74% a los 7 días, 83% a los 14 días y 98% a los 28 días.
- Concreto 1C(agua): 75% a los 7 días, 92% a los 14 días y 100% a los 28 días.
- Del cuadro 5.4 ( $a/c = 0.70$ ), en el cual se toma como 100% las resistencias del concreto a los 28 días (independiente para cada tipo de curado), podemos observar lo siguiente:
  - Concreto patrón: su comportamiento es el mismo que el descrito en el análisis del cuadro 5.3.
  - Concreto 2C: a los 7 días presenta el 76% de su resistencia a los 28 días, a los 14 días sube a 97%, a los 28 días es su 100% y a los 42 días alcanza 101%.
  - Concreto 1C: 82% a los 7 días, 96% a los 14 días, 100% a los 28 días y baja a 94% a los 42 días.
  - Concreto al aire: 90% a los 7 días, 106% a los 14 días, 100% a los 28 días y 97% a los 42 días.
  - Concreto 2C(agua): 76% a los 7 días, 85% a los 14 días y 100% a los 28 días.
  - Concreto 1C(agua): 75% a los 7 días, 91% a los 14 días y 100% a los 28 días.

### 6.5.2- Ensayos de Tracción

- Del gráfico 5.7 podemos observar lo siguiente:
  - a) La resistencia a la tracción para las 3 relaciones  $a/c$  no presenta un comportamiento definido; salvo las muestras curadas con 1 capa, las cuales presentan mayor resistencia que las muestras sin curar para todos los casos.

- b) Para  $a/c = 0.60$ , la muestra curada con 2 capas tiene una resistencia baja y desproporcionada con respecto a las otras 3 muestras, la muestra patrón tiene una resistencia mayor que la muestra sin curar pero menor que la muestra de 1 capa.
  - c) Para  $a/c = 0.65$ , se presenta como tendencia de la resistencia a la tracción una parábola invertida, donde su punto más elevado es para la muestra curada con 1 capa; siendo la muestra sin curar la que presenta el menor valor.
  - d) Para  $a/c = 0.70$ , la muestra patrón tiene la mayor resistencia a la tracción, luego le sigue 1C, 2C y finalmente la muestra sin curar. Si dejamos de lado 2C, vemos que se presenta una curva cóncava descendiente en el siguiente orden: muestra patrón, muestra 1C y finalmente muestra al aire.
  - e) En relación a las 3  $a/c$ , la resistencia a la tracción de las muestras patrones va en aumento a medida que su  $a/c$  aumenta; sin embargo, para las muestras curadas con 1 capa, su resistencia disminuye a medida que aumenta el  $a/c$ . Para las muestras curadas con 2 capas, su resistencia aumenta para  $a/c = 0.65$ , pero luego disminuye para  $a/c = 0.70$ . Para las muestras sin curar ocurre lo contrario que las muestras 2C: su comportamiento se presenta en forma de una parábola: disminuye al pasar de  $a/c = 0.60$  a  $0.65$  y aumenta en  $a/c = 0.70$ .
- Del cuadro 5.5 y el gráfico 5.8 tenemos que, si consideramos la resistencia patrón = 100% para todas las relaciones  $a/c$ , podemos observar el siguiente comportamiento:
    - a) Para  $a/c = 0.60$ , el concreto 2C está a 84% de la resistencia patrón, 1C está a 106% y la muestra sin curar (al aire) está a 99%.
    - b) Para  $a/c = 0.65$ , 2C está a 112%, 1C a 99%, y al aire es 78% de la resistencia patrón.
    - c) Para  $a/c = 0.70$ , 2C está a 84%, 1C a 91% y al aire a 82%.

### 6.5.3- Ensayos de Módulo de Elasticidad

- Del gráfico 5.9 tenemos:
  - a) No existe una correlación de los resultados, es decir, los valores de Módulo Elástico obtenidos en el laboratorio se comportan de una forma aleatoria.
  - b) Para  $a/c = 0.60$ , el módulo elástico de la muestra curada con 2C es irregular y, si obviamos esta muestra, vemos que el módulo de elasticidad decrece en el siguiente orden: curado patrón – 1C – aire. Para  $a/c = 0.65$ , se presenta un módulo de elasticidad creciente: curado patrón – 1C – aire, dejando aparte el valor de la muestra con 2 capas, la cual tiene un módulo elástico menor que las otras 3 muestras. Para  $a/c = 0.70$ , se presenta un comportamiento similar que 0.65; excepto que la muestra 2C tiene un módulo de elasticidad mucho mayor que las demás muestras.
  - c) Analizando el comportamiento del módulo elástico para el conjunto de las 3 relaciones  $a/c$  vemos que, tanto las muestras patrones como las muestras curadas con 1 capa, tienen tendencia a disminuir a medida que su  $a/c$  aumenta. Para el caso de las muestras curadas con 2 capas, su módulo elástico aumenta a mayor  $a/c$ . Para el caso de las muestras sin curar, su módulo elástico tiene la forma de una parábola invertida (curva convexa), siendo su valor más alto el de la relación  $a/c = 0.65$
- De los gráficos 5.10, 5.11 y 5.12 (módulo de elasticidad del concreto según diferentes métodos de obtención), vemos que:
  - a) En el laboratorio se obtienen mayores valores en comparación con los de la Norma Peruana E-060 y el ACI 318.83.
  - b) En todos los casos, los valores obtenidos con la fórmula del A.C.I. son mayores que los de la Norma Peruana E-060.
  - c) Para todos los casos, el comportamiento del módulo elástico (mediante las fórmulas del ACI y la NP), es decreciente en el siguiente orden: muestras patrón – 1C – 2C – sin curar.

## CAPÍTULO VII

### ANÁLISIS COMPARATIVO DE COSTOS SEGÚN EL PROCESO DE CURADO

#### 7.1- Generalidades:

En el presente capítulo analizaremos el costo del curado de concreto según el método a utilizar, los cuales son:

- 1) Curado de concreto por aspersión de agua,
- 2) Curado de concreto con aplicación de dos (02) capas de CURACEM
- 3) Curado de concreto con aplicación de una (01) capa de CURACEM

#### 7.2- Datos base para el análisis de costos de métodos de curado de concreto:

Se utilizarán datos de costos de materiales -y rendimientos de los mismos- de proyectos de viviendas multifamiliares ejecutadas con el *sistema de vaciado monolítico de muros y losas de concreto*. Los datos y el análisis de costos que se presentan a continuación corresponden al curado de elementos verticales (muros), ya que las losas de techo eran curadas con riego periódico de agua.

**Cuadro 7.1 :** Datos base para el análisis de costo de curado del concreto, según el método a utilizar.

n°	Descripción	Und.	Valor
1-	<b>Precios de materiales</b>		
	a) Agua	US\$/gal	0.001
	b) CURACEM	US\$/gal	4.73
2-	<b>Rendimientos</b>		
	a) Aplicación de CURACEM - 1 capa	m <sup>2</sup> /gal	20
	b) Aplicación de CURACEM - 2 capas	m <sup>2</sup> /gal	10
	c) Aspersión de agua previo a curado químico	m <sup>2</sup> /gal	38
	d) Aplicación de agua para curado por aspersión	m <sup>2</sup> /gal	10

*Nota:* Tipo de cambio a Junio de 2005: 1US\$ = s/ 3.25

... continúa cuadro 7.1

N°	Descripción	Und.	Valor
3	<i>Costos de Mano de Obra</i>		
	Capataz	US\$/hr	2.89
	Ayudante	US\$/hr	2.06
4	<i>Rendimientos de la Mano de Obra</i>		
	Aplicación de 1 capa de CURACEM	m <sup>2</sup> /hr	62
	Aplicación de 2 capas de CURACEM	m <sup>2</sup> /hr	42
	Aspersión de Agua (para 3 riegos por día)	m <sup>2</sup> /hr	22

*Nota:* Tipo de cambio a Junio de 2005: 1US\$ = s/ 3.25

### 7.3- Análisis de costo de métodos de curado

#### 7.3.1 Aplicación de CURACEM – 1 capa

##### a) Costo de materiales

$$\text{Agua} = 1\text{gal}/38\text{m}^2 \times \text{US\$ } 0.001/\text{gal} = \text{US\$ } 0,000026$$

$$\text{CURACEM} = 1\text{gal}/20\text{m}^2 \times \text{US\$ } 4.73/\text{gal} = \underline{\text{US\$ } 0,236500}$$

$$\text{Total 1} = \text{US\$ } 0.24 / \text{m}^2$$

##### b) Costo de mano de obra

$$\text{Capataz} = 0.1 \text{ ( hh/62 m}^2 \times \text{US\$ } 2.89/\text{hh) } = \text{US\$ } 0,005$$

$$\text{Ayudante} = 1.0 \text{ ( hh/62 m}^2 \times \text{US\$ } 2.06/\text{hh) } = \underline{\text{US\$ } 0,033}$$

$$\text{Total 2} = \text{US\$ } 0,038 / \text{m}^2$$



$\text{Costo / m}^2 \text{ (aplicando 1 capa de CURACEM)} = \text{US\$ } 0.28 / \text{m}^2 \text{ ó } \text{s/ } 0.91 / \text{m}^2$
---



### 7.3.2 Aplicación de CURACEM – 2 capas

#### a) Costo de materiales

$$\begin{aligned} \text{Agua} &= 1\text{gal}/38\text{m}^2 \times \text{US\$ } 0.001/\text{gal} = \text{US\$ } 0,000026 \\ \text{CURACEM} &= 1\text{gal}/10\text{m}^2 \times \text{US\$ } 4.73/\text{gal} = \text{US\$ } 0,473000 \\ \text{Total 1} &= \text{US\$ } 0,47 / \text{m}^2 \end{aligned}$$

#### b) Costo de mano de obra

$$\begin{aligned} \text{Capataz} &= 0.1 \text{ ( hh/42 m}^2 \times \text{US\$ } 2.89/\text{hh) } = \text{US\$ } 0,0069 \\ \text{Ayudante} &= 1.0 \text{ ( hh/42 m}^2 \times \text{US\$ } 2.06/\text{hh) } = \text{US\$ } 0,0490 \\ \text{Total 2} &= \text{US\$ } 0,060 / \text{m}^2 \end{aligned}$$



$$\text{Costo / m}^2 \text{ (aplicando 2 capas de CURACEM)} = \text{US\$ } 0.53 / \text{m}^2 \text{ ó } \text{s/ } 1.72 / \text{m}^2$$

### 7.3.3 Curado de concreto con aspersión de agua (3 aspersiones diarias, 7 días de curado)

#### a) Costo de materiales

$$\begin{aligned} \text{Agua} &= 1\text{gal}/10\text{m}^2 \times \text{US\$ } 0.001/\text{gal} \times \\ &3 \text{ aspersiones / día} \times 7 \text{ días} = \text{US\$ } 0,0021 \\ \text{Total 1} &= \text{US\$ } 0,0021 / \text{m}^2 \end{aligned}$$

#### b) Costo de mano de obra

$$\begin{aligned} \text{Capataz} &= 0.1 \text{ ( hh/22 m}^2 \times \text{US\$ } 2.89/\text{hh} \times 7 \text{ días) } = \text{US\$ } 0,92 \\ \text{Ayudante} &= 1.0 \text{ ( hh/22 m}^2 \times \text{US\$ } 2.06/\text{hh} \times 7 \text{ días) } = \text{US\$ } 0,66 \\ \text{Total 2} &= \text{US\$ } 1.58 / \text{m}^2 \end{aligned}$$

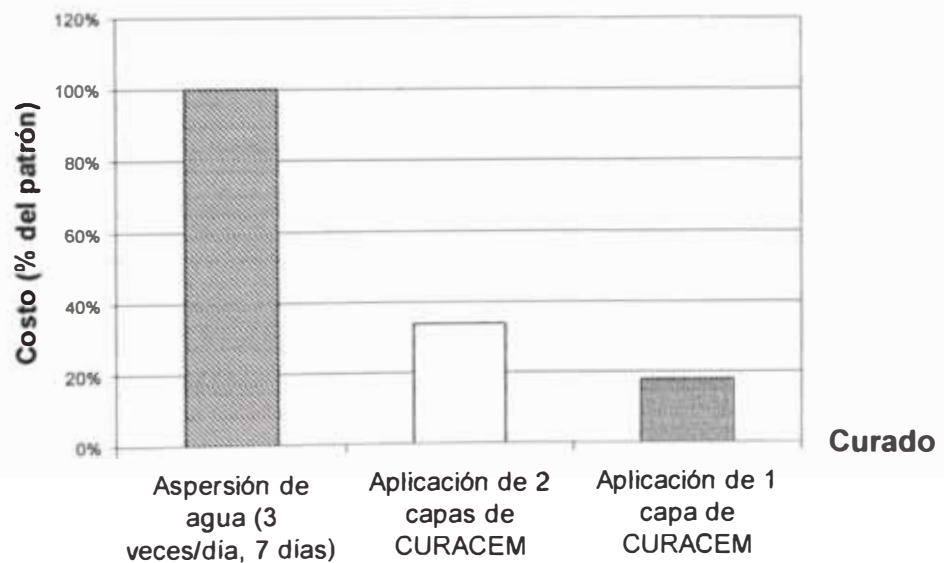


$$\text{Costo / m}^2 \text{ (curado con aspersión de agua)} = \text{US\$ } 1.58 / \text{m}^2 \text{ ó } \text{s/ } 5.14 / \text{m}^2$$

**Cuadro 7.2 :** Resumen del análisis de costos de los métodos de curado (considerando materiales y mano de obra).

Método de curado	Costo (US\$/m <sup>2</sup> )	% en Costo	Tiempo (hrs. / m <sup>2</sup> )	% en tiempo
Aspersión de agua (3 veces/día, 7 días)	1.58	100 %	0.318	100 %
Aplicación de 2 capas de CURACEM	0.53	34 %	0.024	8 %
Aplicación de 1 capa de CURACEM	0.28	18 %	0.016	5 %

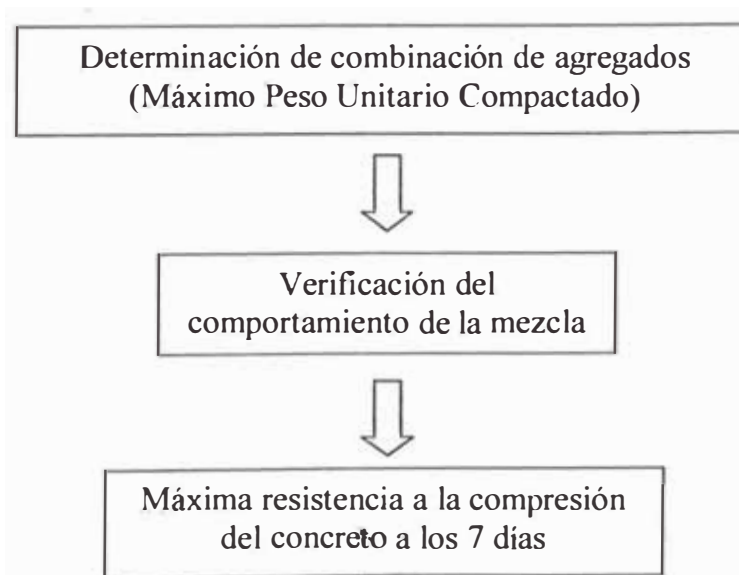
**Gráfico 7.1 :** Comparación de costos de los métodos de curado



## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

### Introducción

- A) En la presente tesis se analiza el comportamiento de la resistencia del concreto de mediana a baja resistencia (relaciones a/c = 0.60, 0.65 y 0.70) curado con curador químico, como respuesta a una necesidad personal de determinar la eficiencia en la resistencia del concreto curado con este método, eligiendo para esta investigación el curador químico CURACEM (curador químico parafínico fabricado por Master Builders Technologies del Perú y clasificado por la norma ASTM C-309 como tipo I - clase A), y utilizando cemento Portland tipo I – Cemento Sol, elaborado por *Cementos Lima S.A.*
- B) Las muestras de concreto se elaboraron en las instalaciones del Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería durante los meses de Agosto a Noviembre del 2003, con una temperatura ambiental comprendida entre los 17 y 21°C.
- C) El diseño de mezcla del concreto se realizó utilizando el "**Método del Peso Unitario Compactado del Agregado Global y Máxima Resistencia a la Compresión del Concreto**", con la siguiente secuencia de ejecución:



D) Para el análisis de la granulometría global (combinación de los agregados) se utilizaron las mallas DIN 1045. El comportamiento de las diferentes combinaciones de agregados -que permitieron obtener la combinación óptima final- fue el siguiente:

Combinación	Observaciones
45% Arena – 55% Piedra	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fue la primera combinación de agregados que produjo el máximo peso unitario compactado global, de 5 combinaciones teóricas planteadas.</li> <li>- El concreto fresco presentó falla por corte. Se observó apariencia "pedregosa" de la mezcla.</li> <li>- La curva granulométrica global se situó entre los husos DIN 1045 A y B. Se observó la influencia de la granulometría irregular del agregado grueso en la curva del agregado global.</li> </ul>
46% Arena – 54% Piedra	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fue la 2da. combinación de prueba de máximo P.U.C. global (se obtuvo haciendo un reajuste a las proporciones de agregados para corregir la falla por corte de la combinación 45% arena – 55% piedra).</li> <li>- El concreto fresco no presentó problemas de asentamiento – falla por corte. Se observó trabajable y fluido.</li> <li>- La curva granulométrica se desplazó hacia el huso DIN 1045 -B en un 1%, predominando su desarrollo entre los husos inferiores A y B.</li> </ul>
49% Arena – 51% Piedra	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fue la combinación de agregados definitiva (de 3 combinaciones de arena de prueba elaboradas: 46%, 43% y 49%), que produjo la máxima resistencia a la compresión del concreto a los 7 días.</li> <li>- La curva granulométrica global ha equilibrado la irregularidad granulométrica del agregado grueso, desplazándose una distancia vertical de 3% hacia los husos superiores DIN 1045 "B" y "C".</li> </ul>

E) El estudio de la resistencia del concreto curado con curador químico CURACEM se realizó considerando una variante al proceso de curado recomendado por el fabricante (Master Builders Technologies, MBT – Perú), desarrollando el proceso descrito en el ítem (b) del siguiente cuadro:

Método de curado	Procedimiento
a) MBT	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.- Desencofrado de concreto, a las 24 hrs. <math>\pm</math> 6 hrs.</li> <li>2.- Humedecimiento previo de la superficie expuesta del concreto, aplicando agua por aspersión.</li> <li>3.- Aplicar CURACEM sobre la cara expuesta del concreto inmediatamente después de que haya secado superficialmente el agua rociada.</li> <li>4.- Si se aplican 2 capas de CURACEM, la segunda capa se coloca luego de 1 hora.</li> </ol>
b) Tesis MJLL*	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.- Desencofrado de concreto, a las 24 hrs. <math>\pm</math> 6 hrs.</li> <li>2.- Aplicación de 1era. capa de CURACEM en la superficie expuesta del concreto (la superficie debe estar libre de polvo e impurezas que afecten la adherencia del curador con el concreto).</li> <li>3.- Aplicación de la 2da. capa de CURACEM luego de 1 hora de aplicada la primera capa</li> </ol>

\* Iniciales de la investigadora (Marina Jovita Lam Lau)

F) El siguiente cuadro es un resumen de los métodos de curado realizados en la presente tesis:

**Cuadro C.1:** Principales métodos de curado de concreto realizados.

Ítem	Tipo de curado	Descripción
1	Patrón (inmersión en agua)	Concreto curado por inmersión en una poza con agua. Se le denomina curado patrón.
2	Aplicación de 2 capas de CURACEM (2C)	Curado del concreto con 2 capas de CURACEM. Las muestras se almacenaron en el interior del Laboratorio de Ensayo de Materiales.

3	Aplicación de 1 capa de CURACEM (1C)	Curado del concreto con 1 capa de CURACEM, utilizando el método MJLL. Las muestras se almacenaron en el interior del Laboratorio de Ensayo de Materiales (LEM).
4	Expuesto al medio ambiente	Concreto expuesto al medio ambiente, sin curar, y colocado sobre el techo del LEM con la finalidad de someterlo a condiciones reales de medio ambiente.

**Cuadro C.2:** Métodos de curado de concreto de prueba adicionales, realizados en la presente tesis (para  $w/c = 0.70$ ).

No.	Tipo de curado	Descripción
5	Aplicación de 2 capas de CURACEM y exposición al medio ambiente (2C – expuesto)	Curado del concreto con 2 capas de CURACEM y almacenamiento de las muestras sobre el techo del laboratorio (condiciones reales).
6	Aplicación de 1 capa de CURACEM y exposición al medio ambiente (1C – expuesto)	Curado del concreto con 1 capa de CURACEM y almacenamiento de las muestras sobre el techo del laboratorio (condiciones reales).
7	Aplicación de 2 capas de CURACEM + previo humedecimiento de la superficie del concreto (2C – agua)	Curado del concreto con 2 capas de CURACEM + humedecimiento previo de la superficie del concreto.
8	Aplicación de 1 capa de CURACEM + previo humedecimiento de la superficie del concreto (1C – agua)	Curado del concreto con 1 capa de CURACEM + humedecimiento previo de la superficie del concreto.

## CONCLUSIONES

Las conclusiones del presente capítulo se basan principalmente en los resultados de ensayos obtenidos a los 28 días de edad del concreto, por ser ésta su edad representativa.

- 1- El concreto curado con **2 capas** de CURACEM presentó una resistencia a la compresión promedio de 92% respecto del concreto patrón a los 28 días, y el concreto curado con **1 capa** de CURACEM presentó el 95% de su resistencia; lo que permite concluir que con el curador químico en estudio se obtienen resultados eficientes y satisfactorios.
  
- 2- El concreto expuesto al medio ambiente presentó una resistencia a la compresión promedio de 90% respecto del concreto patrón a los 28 días. Este resultado no debe utilizarse como referencia para optar por no aplicar un curado del concreto ya que -aún cuando presenta un comportamiento óptimo y eficiente- se recomienda efectuar estudios de investigación de concreto expuesto al medio ambiente (sin curar) para relaciones agua / cemento diferentes a 0.60, 0.65 y 0.70, con la finalidad de determinar la tendencia de su comportamiento o ratificar su aleatoriedad, teniendo en cuenta que las condiciones de exposición a que estuvieron sometidas las muestras fueron las siguientes:

Lugar de ensayo	:	Lima – Distrito de Rímac
Período de ensayo	:	Setiembre – Noviembre de 2003
Condiciones de exposición	:	Al medio ambiente (fuera del laboratorio, sin techo)
Temperatura ambiental promedio :	:	17 – 21°C
Humedad relativa promedio	:	87 - 82%

- 3- El concreto curado con el curador químico en estudio tiene un comportamiento satisfactorio en la resistencia a la compresión del concreto ya que se acerca eficientemente a la resistencia del concreto Patrón; siendo el curado de 1 capa el de mayor eficiencia a edades del concreto menores o iguales a los 28 días, luego de los cuales presenta una tendencia a disminuir su eficiencia, en cuyo caso es el concreto curado con 2 capas quien presenta una leve mejoría a los 42 días, respecto al de 1 capa.

- 4- La resistencia a la tracción (por compresión diametral) del concreto curado con **2 capas** del curador químico en estudio fue de 84%, 112% y 84%, respecto del concreto patrón a los 28 días, para relaciones agua / cemento de 0.60, 0.65 y 0.70 respectivamente; y para el concreto curado con **1 capa** fue de 106%, 99% y 91%.

La resistencia a la tracción (por compresión diametral) del concreto **expuesto al medio ambiente** -respecto del concreto patrón a los 28 días- es de 99%, 78% y 82%, para relaciones agua / cemento de 0.60, 0.65 y 0.70.

- 5- La resistencia a la tracción (por compresión diametral) del concreto presenta un comportamiento aleatorio, por lo que se recomienda realizar estudios comparativos para relaciones agua / cemento diferentes a 0.60, 0.65 y 0.70, con la finalidad de determinar la tendencia en su comportamiento o ratificar su aleatoriedad.

- 6- El módulo elástico del concreto curado con **2 capas** del curador químico en estudio -respecto del concreto patrón a los 28 días- es de 57%, 97% y 158%; para relaciones agua/cemento de 0.60, 0.65 y 0.70 respectivamente; y para el concreto curado con **1 capa** es de 93%, 112% y 103%.

El módulo elástico del concreto **expuesto al medio ambiente** -respecto del concreto patrón a los 28 días- es de 70%, 124% y 129% para relaciones agua/cemento de 0.60, 0.65 y 0.70 respectivamente.

- 7- El concreto curado con curador químico CURACEM presenta un comportamiento aleatorio de su Módulo de Elasticidad a los 28 días, por lo que se recomienda realizar estudios comparativos para relaciones agua/cemento diferentes a 0.60, 0.65 y 0.70, con la finalidad de determinar la tendencia en su comportamiento o ratificar su aleatoriedad.



- 8- Para el concreto con relación agua/cemento de 0.70 se determinó que la eficiencia del curador químico CURACEM -medida como porcentaje de su capacidad de retención de agua a diferentes edades de ensayo de las muestras- es de:

No.	Tipo de curado	Retención de agua* a los		
		7 días	14 días	28 días
1	Patrón	101%	101%	101%
2	2C	100%	100%	99%
3	1C	100%	99%	99%
4	Expuesto	98%	98%	97%
5	2C - expuesto	-	-	98%
6	1C - expuesto	-	-	98%
7	2C - agua	100%	100%	100%
8	1C - agua	100%	99%	99%

\* Investigación adicional realizada en la presente tesis para concreto con relación agua/cemento de 0.70. Peso final de las muestras expresadas en porcentaje de su peso inicial tomado inmediatamente después de su desencofrado a las  $24 \pm 6$  horas ("2C- agua" significa que a la muestra curada con 2 capas de CURACEM se le humedeció con agua antes de la aplicación de dicho curador).

- 9- Los costos y tiempo de ejecución del curado de concreto con curador químico CURACEM respecto del costo del curado de concreto por aspersión de agua que se realiza en obra (curado en condiciones reales para elementos verticales, muros), son los siguientes:

Tipo de curado	% en costo	% en tiempo
Aspersión de agua (curado patrón)	100	100
Aplicación de <b>2 capas</b> de CURACEM	34	8
Aplicación de <b>1 capa</b> de CURACEM	18	5

## RECOMENDACIONES

- a) Independiente del método de curado a utilizar, es recomendable hacer una programación o control que permita determinar la eficiencia del método adoptado, para lo cual se debe utilizar un patrón de comparación. En la presente tesis, se pudo verificar que el concreto curado por inmersión en agua presenta los mejores valores de resistencia, lo que le ratifica como una excelente referencia de análisis.
- b) De adoptarse el curado del concreto con curador químico CURACEM, se debe realizar el humedecimiento previo de las superficies a curar (saturar con agua la superficie expuesta, mediante riego por aspersión); ya que esto permite equilibrar la auto-deseccación que se da en el concreto como efecto natural del proceso de hidratación del cemento y que hace necesario proveer de agua al concreto desde fuera. Adicionalmente, esto garantiza que la superficie de concreto se encuentre libre de impurezas y polvo que pudieran afectar la adherencia entre el concreto y el curador químico.
- c) La elección de aplicación de 1 ó 2 capas de CURACEM -para el curado del concreto- estará a cargo del profesional responsable de dicho proceso; sin embargo cabe mencionar que en la presente tesis se obtuvieron resultados satisfactorios en las muestras curadas con 1 sola capa de CURACEM lo que permite recomendarla como una buena alternativa de curado.
- d) Es recomendable aplicar las capas de curador químico perpendiculares entre sí, ya que esto permite garantizar el sellado total de la superficie expuesta del concreto, evitando la pérdida de agua por evaporación, además debemos indicar que el curado del concreto con curador químico es más eficaz utilizando un aspersor ya que permite obtener aplicaciones homogéneas del mismo.
- e) Otro factor importante durante la utilización de un compuesto químico para el curado del concreto es conocer sus características en relación a los

requerimientos estándar de la ASTM 309-98a, ya que de esta manera tendremos un mejor conocimiento del comportamiento del mismo, además de garantizarnos su buen estado y eficacia.

- f) Se debe tomar en cuenta que si la superficie de concreto curada con curador químico va a recibir un acabado superficial, ésta deberá "rasparse" para retirar la membrana parafínica, ya que de lo contrario no habrá una buena adherencia entre el acabado y el concreto, por lo que se recomienda utilizar CURACEM en superficies de concreto que van a quedar expuestas (sin ser esto una limitante), y utilizar curadores químicos de resina u otros métodos alternativos en las superficies que van a recibir un acabado final.
- g) Un paso fundamental para lograr el ahorro en materiales, tiempo y costo durante la elaboración de las mezclas de concreto de prueba de la presente tesis, fue el estudio de la tesis de grado del Ing. Edgar Vilca Justo: "*Características del concreto endurecido por efecto de un aditivo curador de aplicación externa, utilizando cemento Portland tipo I*" – UNI 1999; lo que permitió deducir los valores aproximados de agua de diseño por metro cúbico de concreto y los márgenes que debía utilizar en caso de que los resultados de asentamiento no fueran los deseados.
- h) Quiero indicar que el interés primordial de la presente tesis es el de orientar a mis compañeros que van a desarrollar su tema de tesis (independiente del área de especialización que elijan); recomendándoles tratarla como un PROYECTO, con metas y objetivos definidos, fechas de inicio y fin, presupuesto y programación teórico y reales, entre otros; colocando fechas o "hitos" de control para la optimización de sus procesos, tiempos de ejecución y avances en función de sus objetivos.
- i) En la presente tesis se incluye una secuencia de los principales procesos realizados, duraciones estimadas, programaciones teóricas y reales, etc; los cuales han contribuido en conjunto en la elaboración de una tesis acorde con el desarrollo de un proyecto, de buena calidad, económico y con un corto tiempo

de trabajo en laboratorio; aún cuando soy consciente de que se pueden presentar ciertas deficiencias o limitaciones de la misma.

- j) Otro punto importante es que para el desarrollo de mi tesis determiné los siguientes principios:

*i) El principio de las 3Rs:*



**Definición de las 3 Rs:**

***Reducir.-***

Evitar todo aquello que de una u otra forma genera un desperdicio innecesario (p.e.: el objetivo fue hacer las mezclas de concreto de prueba mínimas ya que de lo contrario se generaría pérdida de tiempo y dinero, así como acumulación de materiales de desecho difíciles de reutilizar si los dejamos en estado sólido).

***Reutilizar.-***

Volver a usar un producto o material varias veces sin tratamiento. Darle la máxima utilidad a los objetos sin la necesidad de destruirlos o deshacerse de ellos (p.e.: re-uso de bolsas vacías de cemento, sacos de plástico, maderas usadas, utilizar las muestras endurecidas del ensayo de fragua como banquitos para el colegio INGENIERITOS, pintándoles motivos coloridos o alegres, aprovechar el concreto sobrante en la elaboración de vigas para el LEM o en probetas para las donaciones, lo que permite realizar mayores donaciones y menos desperdicios).

**Reciclar.-** Utilizar los mismos materiales una y otra vez reintegrándolos a otro proceso natural o industrial para hacer el mismo o nuevos productos, utilizando menos recursos naturales.

ii) **El principio de Lean Production (Producción sin Pérdidas)**, basado en la mejora continua de procesos, asimilación y aplicación de nuevas experiencias, y aprendizaje de mis propios errores.

Para la aplicación de este principio tomé la experiencia y recomendaciones transmitidas por el Sr. Eliyahu M. Goldratt en su obra "**La Meta**" y el Ingeniero Virgilio Ghio Castillo en su libro: "**Productividad en obras de Construcción: Diagnóstico, Crítica y Propuesta**"; de quienes recomiendo tomar en consideración las siguientes pautas para la realización de cualquier proyecto productivo:

Reducir actividades que no agreguen valor.

Reducir tiempos de ejecución.

Simplificar pasos, partes y relaciones.

Incrementar la transparencia de los procesos.

Enfocar el control de los procesos completos.

Introducir procesos de mejora continua dentro de los procesos.

Hacer comparaciones periódicas internas y externas (con otros proyectos / empresas) o "Bench Marking".

Organizar la producción como un flujo continuo.

Perfeccionar el producto y crear un flujo confiable a través de "parar la línea" (detener la producción cuando se encuentre un producto defectuoso), "jalar" el inventario y distribuir la información y la toma de decisiones.

Buscar la perfección, entregar un producto como lo requiere el cliente, sin pérdida alguna.

*iii) Práctica de valores primordiales, como son: perseverancia, sencillez, ganas de aprender y aplicar nuestros conocimientos, sumados a la honradez* con las personas que traté durante el desarrollo de mi tesis, en mi universidad, facultad (LEM, DAC, Decanato FIC, señores del área de limpieza, profesores y amigos), y fuera de ella (Cementos Lima S.A., La Viga S.A.-Sra. Rocío Pardo, FIRTH Industries Perú, UNICON S.A., MBT – Perú, SIKA Perú S.A., Química Suiza S.A., ITICSA, Z Aditivos S.A., URBI Propiedades - Ing. Josué Méndez y Fernando Guzmán, COINSA – Ing. Julio Giudice), lo que hizo posible el intercambio de experiencias y alternativas de mejora, ideas, observaciones, entre otros.

Finalmente quisiera hacerles llegar lo siguiente (aplicable a cualquier etapa y proyecto de nuestra vida): en la medida de lo posible, planifiquen y verifiquen su avance periódicamente, deteniéndose cuando sea necesario, pero recordando siempre que no debe ser por mucho tiempo, ya que:

*“La pereza avanza tan lento, que pronto le alcanza la pobreza...”*

*(Pensamiento escrito en un muro perimétrico del Distrito de Santiago de Surco)*

## BIBLIOGRAFÍA:

- 1) Título : Características del concreto endurecido por efecto de un aditivo curador de aplicación externa, utilizando cemento Portland tipo I.  
Autor : Vilca Justo, Edgar  
Editorial : FIC – UNI, Perú 1999 - Tesis de Grado (Código TP 3785).  
Biblioteca : Biblioteca Central FIC UNI  
Contenido : Diseño de mezclas / curado de concreto / Norma ASTM C309 (traducción).
  
- 2) Título : Curado del Concreto  
Autor : Soto Barra, Elizabeth Patricia.  
Editorial : FIC – UNI, Perú 1998 – Tesis de Grado (Código TP 3685)  
Biblioteca : Biblioteca Central FIC – UNI  
Contenido : Curado de concreto
  
- 3) Título : Acción del curado eléctrico sobre el concreto  
Autor : Barzola Gastelú, Carlos Armando  
Editorial : P.A.I.C. – UNI, Perú 1971 – Tesis de Grado (Código TG 1404)  
Biblioteca : Biblioteca Central FIC – UNI,  
Contenido : Curado eléctrico del concreto
  
- 4) Título : Normas Peruanas de Estructuras  
Autor : American Concrete Institute - Capítulo Peruano  
Editorial : ACI Perú, Perú 2001  
Biblioteca : Personal  
Contenido : Curado de concreto.
  
- 5) Título : Naturaleza y materiales del concreto  
(II Congreso Nacional de Estructuras y Construcción)  
Autor : Rivva López, Enrique.  
Editorial : American Concrete Institute - Capítulo Peruano, Lima 2000  
Biblioteca : FIC – UNI. Código 691.3 / R616  
Contenido : Cementos / agregados / agua de mezcla
  
- 6) Título : Tecnología del Concreto – *Concrete Technologie*  
Autor : Neville, Adam – Brooks, J.J. (Traducción: Gabriela Pinceda Sánchez)  
Editorial : Trillas – México 1998  
Biblioteca : Biblioteca Central FIC – UNI. / Código: 691.3 N523  
Contenido : Cementos / agua de mezcla / curado de concreto.

- 7) Título : Diseño de Mezclas, Método del Agregado Global y Módulo de Finura para Concretos de Mediana a Alta Resistencia.  
Autor : Cachay Huamán, Rafael.  
Editorial : FIC UNI, Perú 1998.  
Biblioteca : UNICON S.A. (Particular)  
Contenido : Diseño de mezclas / tablas de diseño.
- 8) Título : Cementos – Boletines Técnicos No. 1 al 42  
Autor : Asociación de Productores del Cemento - ASOCEM  
Editorial : ASOCEM, Perú 1993  
Biblioteca : Departamento Académico de Construcción - FIC - UNI  
Contenido : Cementos / agregados / agua de mezcla / concreto / curado de concreto.
- 9) Título : Tecnología del Concreto – Diseño de Mezclas  
Autor : Rivva López, Enrique.  
Editorial : Hozlo, Perú 1992.  
Biblioteca : Biblioteca Central FIC – UNI. Código 624.1834/R626  
Contenido : Diseño de mezclas: métodos y tablas de diseño
- 10) Título : El concreto en Obra – Tomo II  
Autor : Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto - IMCyC  
Editorial : Limusa, México 1990.  
Biblioteca : Departamento Académico de Construcción – FIC – UNI  
Contenido : Concreto / curado de concreto
- 11) Título : Tecnología de los Materiales  
Autor : Valdivia Bravo, Wilfredo  
Editorial : CEIC – FIC UNI, Perú 1987  
Biblioteca : Personal  
Contenido : Aglomerantes / concreto / agua de mezcla.
- 12) Título : Tratado de Construcción; Propiedades de los materiales aglomerantes: Fabricación, aplicación y usos – Tomo I  
Autor : Saad, Antonio Miguel  
Editorial : Continental, México 1961.  
Biblioteca : FIC – UNI. Código 691/S111 T.1  
Contenido : Cementos



- 13) Título : Técnica y Práctica del Hormigón Armado I – 2da. Edición  
Autor : Casaprima, Enrique  
Editorial : CEAC, España 1961  
Biblioteca : Departamento Académico de Construcción – FIC - UNI  
Contenido : Cementos / agregados / curado de concreto.
- 14) Título : Productividad en Obras de Construcción – Diagnóstico, Crítica y Propuesta.  
Autor : Ghio Castillo, Virgilio.  
Editorial : Departamento de Ingeniería – PUCP.  
Biblioteca : Personal  
Contenido : Productividad sin pérdidas / mejora de procesos / etc.
- 15) Título : La Meta.  
Autor : Goldriatt, Eliyahu.  
Editorial : American Media Incorporated  
Biblioteca : Personal  
Contenido : Cadena de procesos / productividad en obra / identificación de puntos críticos en la producción / mejora continua / etc.
- 16) Título : Tecnología del Concreto II (apuntes de clase).  
Autor : Barzola Gastelú, Carlos Armando.  
Editorial : FIC UNI, Perú 2001.  
Biblioteca : Personal  
Contenido : Diseño de mezclas de concreto.
- 17) Título : Construcción II (copias de clase)  
Autor : Casas Dávila, Oscar  
Editorial : FIC – UNI, Perú 2000.  
Biblioteca : Personal  
Contenido : Curado de concreto
- 18) Título : Tecnología de los Materiales (copias de clase)  
Autor : Arrieta Freyre, Javier  
Editorial : FIC – UNI, Perú 1998  
Biblioteca : Personal  
Contenido : Cementos / agregados.

- 19) Título : Normas Técnicas Peruanas (antes ITINTEC)  
Autor : Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales - INDECOPI  
Editorial : INDECOPI, Perú 2002  
Biblioteca : Laboratorio de Ensayo de Materiales FIC - UNI.  
Contenido : Agregados / ensayos en concreto fresco y endurecido.
- 20) Título : Normas Técnicas de Ensayo de Materiales - ASTM  
Autor : ASTM Internacional  
Editorial : ASTM, Estados Unidos de América 2003.  
Biblioteca : UNICON S.A. (Particular)  
Contenido : Normas ASTM C309 / C 156 / C 469
- 21) Título : Fichas Técnicas de Curadores Químicos (comercializados en Perú)  
Autor : Varios (MBT Perú / Química Suiza / Sika Perú / Z Aditivos / ITICSA)  
Editorial : Varios, Perú 2003  
Biblioteca : Personal  
Contenido : curadores químicos de concreto
- 22) Título : Influencia de un Aditivo Curador de Aplicación Externa sobre la Resistencia del Concreto.  
Autor : Acuña Silva, Mario  
Editorial : FIC – UNI, Perú 1996 - Tesis de Grado (Código TG 3366).  
Biblioteca : Biblioteca Central FIC UNI  
Contenido : Curado de concreto con curador químico.

----- \* -----