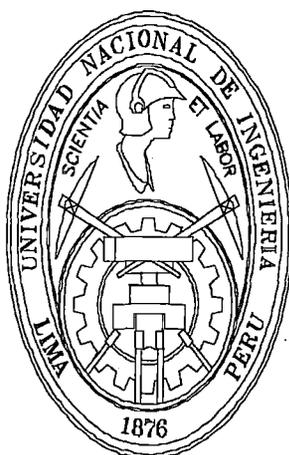


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



**" CURADO Y PROTECCIÓN DE CONCRETOS COLOCADOS EN  
CLIMAS FRÍOS "**

**TESIS**

Para optar el Título Profesional de:

**INGENIERO CIVIL**

**RODNEY WALTER AMACIFUEN FIGUEREDO**

**LIMA - PERÚ**

**2002**

**Digitalizado por:**

**Consortio Digital del  
Conocimiento MebLatam,  
Hemisferio y Dalse**

Nunca consideres el estudio como una obligación sino como una oportunidad para penetrar en el bello y maravilloso mundo del saber.

**Albert Einstein.**

Dedico todo este trabajo a mis  
padres Walter y Norma por su  
apoyo, sacrificio y esfuerzo  
invalorable en mi formación  
como profesional.

A mi esposa Marilú por su  
apoyo y confianza.

## AGRADECIMIENTO

Agradezco a **Dios** porque sin el nada hubiera sido posible.

Mi agradecimiento al Ing. Javier Moreno Sotomayor, por su participación como asesor del presente trabajo de tesis, así como por su colaboración y apoyo durante el desarrollo del mismo.

Al Laboratorio de Ensayos de Materiales de la FIC-UNI, por el apoyo brindado para la realización de la investigación, asimismo como al personal técnico y administrativo del mismo por su colaboración brindada.

Mi agradecimiento a los señores de KOSTEC S.R.L., especialistas en aislamientos por su apoyo incondicional en la presente investigación realizada.

De igual manera, a la empresa Z Aditivos S.A., fabricantes de aditivos para la construcción por su colaboración brindada.

A los ingenieros, personal técnico y amigos de Corporación Sagitario - Obra Vilavilani Tacna que me brindaron su invaluable colaboración desinteresada para desarrollar la tesis.

A mis padres, a mi esposa, a todos aquellos familiares y amigos que de alguna forma colaboraron y confiaron en la realización de la presente tesis.

# **INDICE**

PAG.

## **INTRODUCCIÓN**

### **CAPITULO I: CONCRETO EN CLIMAS FRÍOS**

1. Definiciones Generales	2
2. Concreto en clima frío	10
3. Congelamiento en el concreto	14
3.1 Mecanismos de la congelación	15
3.2 Durabilidad de estructuras en climas fríos	22
4. Preparación antes de la colocación	33

### **CAPITULO II: COLOCACIÓN Y CURADO DEL CONCRETO**

1. Consideraciones Generales	38
1.1 Temperaturas recomendadas para el concreto	38
1.2 Temperatura del concreto en el momento de la colocación	39
1.3 Calentamiento de los componentes del concreto	41
1.4 Métodos de calentamiento	44
1.5 Cálculo de la temperatura final de la mezcla de concreto	46
1.6 Transporte de la mezcla (descenso de temperatura)	48
2. Colocación del concreto	49
3. Curado del concreto	51
3.1 Definición	51
3.2 Contenido óptimo de agua	52
3.3 Temperatura	52
3.4 Velocidad del viento	55
3.5 Ventajas de un curado adecuado del concreto	57
3.6 Métodos de curado	58

3.7 Curado de elementos horizontales	70
3.8 Curado en elementos verticales	72
3.9 Curado en clima frío	74
3.9.1 Procedimientos de curado recomendados	77
3.9.2 Periodo de curado	79
4. Evaluación de los procedimientos del curado	80
4.1 Cuando finalizar el curado	81

### **CAPITULO III: PROTECCIÓN DEL CONCRETO CONTRA EL CONGELAMIENTO**

1. Introducción	84
2. Materiales aislantes	90
3. Metodología de protección	106
3.1 Elementos horizontales	107
3.2 Elementos verticales	107
3.3 Recintos cerrados	108
3.4 Calentamiento mediante resistencias eléctricas	112
3.5 Envolturas con material aislante	113
3.6 Encofrados aislantes	114
4. Consecuencias de la no-protección del concreto	116
5. Otras experiencias	119
5.1 Curado con agua tibia y protección del concreto con viruta de madera y cartones	119
5.2 Curado mediante membrana química y protección del concreto mediante tela plástica y mantas de totora	120
5.3 Curado mediante membrana química y protección del concreto mediante tela plástica y paja	121

## **CAPITULO IV: ESTUDIO DEL CURADO Y PROTECCIÓN DEL CONCRETO EN EL LABORATORIO EN CONDICIONES DE CLIMA FRÍO**

1. Estudio comparativo de temperaturas y resistencias a la compresión de probetas de concreto en el laboratorio bajo condiciones de clima frío	123
2. Pruebas experimentales	130
2.1. Monitoreo de temperatura ambiente vs tiempo	130
2.2. Diseño de mezcla de concreto $f'c=210$ kg/cm <sup>2</sup> con cemento tipo I	133
2.3. Monitoreo de temperaturas de probetas de concreto	136
2.3.1. Probetas con protección contra el frío bajo condiciones de clima frío	136
2.3.2. Probetas sin protección y con protección contra el frío bajo condiciones de clima frío	146
2.3.3. Probetas sumergidas en poza de agua bajo condiciones de curado estándar	150
2.4. Monitoreo de resistencias a la compresión de probetas de concreto	154
2.4.1. Determinación del periodo de protección: Edad 24, 48, 72 horas. Probetas patrón (curadas en poza de agua bajo condiciones estándar), probetas con membrana (condiciones ambientales normal), probetas sin protección y con protección bajo condiciones de clima frío.	154
2.4.2. Periodo de protección de 2 y 3 días usando mantas de lana de fibra de vidrio: Edad 7 y 28 días Probetas patrón (curadas en poza de agua bajo condiciones estándar), probetas con membrana (condiciones ambientales normal), probetas con protección bajo condiciones de clima frío(tiempo de protección: 2 y 3 días).	160

**CAPITULO V: ESTUDIO DEL CURADO Y PROTECCIÓN DEL CONCRETO  
APLICADO EN LA OBRA TRAMO III - VILAVILANI REMODELACIÓN DEL  
CANAL UCHUSUMA - TACNA**

1. Generalidades	167
1.1. Antecedentes	168
1.2. Consideraciones	169
1.3. Producción del concreto	171
2. Técnica de protección usando mantas de fibra de vidrio	172
2.1. Generalidades	172
2.2. Técnica de protección y curado	173
2.3. Procedimiento de la técnica del curado y protección	175
3. Pruebas experimentales	177
3.1. Monitoreo de temperatura ambiente vs tiempo	177
3.2. Diseño de mezclas de concreto $f'c=210$ kg/cm <sup>2</sup> con cemento tipo I y IP	191
3.3. Estudio termodinámico de las pérdidas de energía	201
3.3.1. Definiciones previas	201
3.3.2. Pérdida de energía del muro de concreto de sobreelevación	202
3.4. Monitoreo de temperaturas y resistencias (24,48,72 horas)	208
3.4.1. Estructura : Módulo de sobreelevación del canal	208
3.4.2. Estructura : Losa de una vereda	239
3.4.3. Estructura : Puente canoa	245
4. Ensayos de testigos de concreto en la ejecución de la obra	251
5. Análisis de costo del curado y protección del concreto	260
6. Planeamiento de trabajo para el tratamiento del concreto en climas fríos	261

<b>CAP VI.- Análisis de los resultados</b>	264
<b>CAP VII.- Conclusiones y Recomendaciones</b>	
Conclusiones	272
Recomendaciones	275
<b>ANEXOS</b>	278
<b>Anexo A:</b> Características de los materiales empleados en el Laboratorio ( LEM-FIC )	279
<b>Anexo B:</b> Características de los materiales empleados en la obra Tramo III - Vilavilani	305
<b>Anexo C:</b> Fotografías de ensayos en el Laboratorio ( LEM-FIC )	329
<b>Anexo D:</b> Fotografías de la obra Tramo III - Vilavilani.	338
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	344

# INTRODUCCIÓN

El territorio nacional consta de tres regiones naturales (costa, sierra y selva), las cuales en algunos casos presentan condiciones climatológicas de climas extremos, tal es el caso de las zonas de sierra que por lo general se encuentran a gran altura sobre el nivel del mar y en donde en un solo día se producen cambios bruscos de temperatura que generan repercusiones cuando se trabaja con concreto y no se toman las medidas preventivas del caso.

Las condiciones climatológicas se convierten en un factor necesario de tener en cuenta en las diferentes obras de ingeniería civil que involucran la utilización de concreto, especialmente en aquellos lugares donde se realizaran trabajos con concreto bajo condiciones de clima frío sujetos a periodos de congelamiento y descongelamiento, sino se toman las precauciones para evitar estos fenómenos el concreto va a sufrir problemas de fraguado inicial, fisuramiento, bajas resistencias y poca durabilidad. Representando la solución de dichos problemas un reto para la Ingeniería Civil en nuestro país.

En tal sentido la presente investigación pretende ser de gran utilidad, ya que está destinado a enfocar las operaciones de concretado en climas fríos, de tal manera que se garantice que el concreto independientemente de la temperatura ambiental será lo suficientemente resistente y durable para poder cumplir con los requisitos de servicio especificados.

A fin de lograr esto, la investigación realizada esta basada en el estudio del curado y protección del concreto contra el congelamiento en la etapa de endurecimiento en climas fríos, utilizando para tal fin la técnica de curado mediante la aplicación de una membrana química, y la protección del concreto mediante el recubrimiento del mismo con mantas de lana de fibra de vidrio de 3" de espesor. De esta manera se plantea la utilización de esta técnica sobre la base de un estudio técnico realizado en la investigación.

Es difícil encontrar la bibliografía que se ocupen de este tema desde un punto de vista práctico y por lo general referido a situaciones propias de la realidad de otros países; a través de la investigación se espera lograr un aporte significativo dando las pautas para futuras investigaciones que incluso se podrían realizar utilizando otros tipos de materiales aislantes.

# CAPÍTULO I

## CONCRETO EN CLIMAS FRÍOS

# 1. DEFINICIONES GENERALES

## Definición y Naturaleza del Concreto

El concreto de cemento Portland es un "material compuesto", constituido por una mezcla de material granular fino y grueso (los agregados), cemento Portland y agua, pudiendo usarse además algún aditivo.

Los agregados son esencialmente inertes y sirven como materiales de relleno.

Por lo general se utilizan como agregados para preparar concreto, los encontrados en la naturaleza, es decir las rocas. Estas son extraídas, seleccionadas y procesadas para a continuación ser separadas, por conveniencia, en una fracción gruesa (piedra), y la otra fracción fina (arena).

En lugares y zonas alejadas, muchas veces se debe trabajar con agregados no seleccionados; arena y grava de cantera e incluso con el denominado "hormigón" (agregado global).

Cuando la piedra, arena, agua y cemento Portland son mezclados en las proporciones apropiadas, el agua y el cemento forman una pasta que reviste todas las piedras y los granos de arena, además de rellenar los espacios entre ellos. Al combinarse el agua con el cemento se producen una serie de reacciones químicas (este proceso es llamado "hidratación del cemento" ), y se forma un "gel", el cual al endurecer, liga las piedras y

las partículas de arena en una masa sólida que toma la apariencia de una piedra artificial, que a medida que se endurece se vuelve más fuerte.

Las distintas proporciones en las que son mezclados los materiales influyen en la resistencia del concreto, especialmente la relación "agua/cemento" de manera que, resistencia trabajando con los mismos materiales (agua, cemento, arena y piedra) una variación en la relación "agua/cemento" lleva una variación en la resistencia del concreto de manera inversamente proporcional, es decir, a menor relación agua/cemento mayor resistencia y viceversa. También influyen en la resistencia, las condiciones de compactación y curado del concreto y, en menor grado, las características de los agregados.

Aunque el mayor desarrollo de la resistencia del concreto ocurre en los primeros días, el concreto puede ganar resistencias adicionales por años si la humedad está presente y se mantiene la hidratación del cemento.

## **Cemento Portland**

El cemento Portland se define como el producto obtenido por la pulverización del clinker Portland con la adición eventual de sulfato de calcio. Permittedose la adición de otros productos que no excedan del 1% en peso del total siempre y cuando su inclusión no afecte las propiedades del cemento resultante. Todos los productos adicionados deberán ser pulverizados conjuntamente con el clinker.

Se define " clinker Portland " al producto constituido en su mayor parte por silicatos de calcio, el cual es obtenido por la cocción hasta fusión parcial (clinkerización) de una mezcla convenientemente proporcionada y homogenizada de materiales debidamente seleccionados.

El cemento Portland al final del proceso de su fabricación nos da un polvo muy fino que en presencia de agua se endurece adquiriendo propiedades resistentes y adherentes.

El nombre de Cemento Portland fue dado por su inventor en 1824, el albañil Joseph Aspdin quien eligió ese nombre pues según él, el concreto hecho con su nuevo cemento se parecía a una piedra natural de construcción existente en la Isla de Portland (Inglaterra) y que era muy apreciada en la época.

Existen 5 tipos de cemento Portland:

- **Cemento Portland tipo 1 (normal).** Es aquel cemento Portland destinado a obras de concreto en general, cuando en las mismas no se especifique la utilización de los tipos 2, 3, 4 y 5.
- **Cemento Portland tipo 2 (de moderada resistencia a los sulfatos).** Es el destinado a obras de concreto en general y obras expuestas a la acción moderada de sulfatos o donde se requiera moderado calor de hidratación, cuando así se es especificado
- **Cemento Portland tipo 3 (de alta resistencia inicial).** Es el cemento Portland del cual se requiere alta resistencia inicial

- **Cemento Portland tipo 4 (de bajo calor de hidratación).** Es el cemento Portland del cual se requiere bajo calor de hidratación.
- **Cemento Portland tipo 5 (resistente a sulfatos).** Es el cemento Portland del cual se requiere alta resistencia a los sulfatos.

## **Cemento Portland Puzolánico**

El cemento Portland puzolánico es aquel que se obtiene de la pulverización conjunta de una mezcla de clinker Portland y puzolana con la adición eventual de sulfato de calcio.

La " puzolana " para la fabricación de cementos es aquel material que posee propiedades puzolánicas, es decir como actitud para fijar hidróxido de calcio a la temperatura ambiente, formando en presencia de agua, compuestos que poseen propiedades hidráulicas.

La puzolana puede ser de 3 clases:

- **Naturales** (tierra de diatomeas, rocas opalinas, esquitos, cenizas volcánicas, pumitas, etc.)
- **Material calcinado** (los anteriormente mencionados y algunos como las arcillas y esquitos más comunes)
- **Material artificial** (óxido de silicio precipitado y cenizas volantes)

Se normalizan 2 tipos de este cemento de acuerdo a sus componentes:

- **Cemento Portland Puzolánico tipo I.** Es aquel que presenta un porcentaje adicionado de puzolana entre 15% y 45%.
- **Cemento Portland Puzolánico tipo IPM.** Es aquel que presenta un porcentaje adicional de puzolana menor de 15%.

## **Agregado para concreto**

Se define como un conjunto de partículas, de origen natural y artificial, que pueden ser tratados o elaborados y cuyas dimensiones están comprendidas entre límites normalizados.

### **Agregado fino**

Definido como el proveniente de la desintegración natural (arena) o artificial, que pasa el tamiz 9.5 mm (3/8) y que cumple con los límites establecidos en la norma.

### **Agregado grueso**

Se denomina a aquel que es retenido en el tamiz 4.75 mm (N°4) proveniente de la desintegración natural o mecánica de la roca, y que cumple con los límites establecidos en la norma.

## **Grava**

Es el agregado grueso, proveniente de la desintegración natural de materiales pétreos siendo su procedencia generalmente de cantera y lechos de ríos, depositado en forma natural.

## **Piedra triturada o chancada**

Se define así al agregado grueso obtenido por trituración artificial de rocas o gravas.

## **Aditivos**

Se denomina aditivo a las sustancias añadidas a los componentes fundamentales de concreto con el propósito de modificar alguna de sus propiedades.

## **Aditivos incorporadores de aire**

Son aquellos que producen la formación de burbujas, en reducida cantidad y uniformemente repartidas en el concreto, mejorando la trabajabilidad y durabilidad frente a la acción destructiva del congelamiento y deshielo, con eventual reducción de las resistencias mecánicas.

## Control de Calidad del Concreto

Es considerado un concreto de buena calidad aquel que cumple con los requisitos de "Trabajabilidad", "Resistencia", "Durabilidad" y "Economía" que exige cada caso en particular.

- El concreto debe ser **trabajable** de acuerdo a la estructura en la que se va a usar que pueda ser transportado y colocado en el encofrado sin segregar, manteniendo homogéneo y con un mínimo de vacíos.
- El concreto debe tener la suficiente **resistencia** para soportar las cargas a las que estará sometido.
- El concreto debe ser capaz de **durar**, bajo las condiciones de exposición a las cuales estará sujeto.
- El concreto debe ser producido **económicamente** en comparación a otros materiales similares resistentes y durables que pudieran ser utilizados.

Cuando es preparado un concreto según una dosificación ya aprobada para un caso particular, se debe de verificar si el desempeño de la mezcla cumple con los requisitos teóricos que se espera para ese caso particular.

Debido a este motivo se ejecutan ensayos en las mezclas de concreto frescas y posteriormente en el concreto endurecido.

Estos ensayos son ejecutados mediante procedimientos establecidos por autoridades competentes en cada país denominándoles "Normas".

Un ensayo se podría ejecutar de muchas maneras. Una "Norma" no es sino un acuerdo, establecido por entidades competentes, para realizar un ensayo de una determinada manera a fin de evitar dispersión de los resultados.

En nuestro país Perú existen las Normas Técnicas Peruanas INDECOPI, las que en mayoría de los casos están basadas en las Normas Norteamericanas ASTM. El disponer de una norma para el procedimiento de un ensayo tiene una doble utilidad:

- Permite que el ensayo sea confiable, es decir, que distintas personas trabajando con el mismo material, puedan hacer el ensayo y obtengan aproximadamente el mismo resultado.
- De otra parte, hace que el ensayo sea comparable, es decir, si el ensayo se ha realizado siguiendo el procedimiento que indica la norma, con dos materiales distintos, se puede afirmar que el material con el que se obtuvo el resultado más cercano a las especificaciones técnicas, es más adecuado o tiene un mejor comportamiento, que el que obtuvo el resultado más alejado a estas.

Por lo tanto, si bien el uso de las normas no es una imposición legal, es la forma de garantizar la calidad de un material, tanto para el cliente que lo va a usar, como para el vendedor que lo está ofreciendo.

## **2. CONCRETO EN CLIMA FRÍO**

Nuestro país es uno de los que presentan lugares donde en un solo día pueden sucederse cambios bruscos e intempestivos de temperatura que debilitan y originan fatiga en cualquier estructura. Por lo tanto en determinados momentos y lugares estamos expuestos a trabajos en climas fríos.

Según las normas ACI-306R ("Cold Weather Concreting"), el clima frío se define como un periodo de tiempo en el cual durante más de 3 días consecutivos la temperatura promedio diaria cae por debajo de 5°C; y la temperatura ambiental no es mayor de 10°C por más de la mitad de un periodo de 24 horas.

La temperatura promedio diaria es definida como el promedio de la más alta y menor temperatura ambiental que ocurra durante el periodo desde las cero horas de ese día hasta la medianoche de ese día.

En nuestro país la N.T.E. E-060 considera clima frío a aquel en que, en cualquier época del año la temperatura ambiente puede estar por debajo de 5°C.

Las operaciones de concretado en clima frío tienen como finalidad lograr un procedimiento de trabajo que garantice que el concreto, independientemente de la temperatura de congelación, será lo suficientemente resistente y durable como para cumplir con los requisitos de servicio que se le han asignado.

Los trabajos de concreto bajo condiciones de clima frío darán como resultado una estructura lo suficientemente resistente y durable para satisfacer los requisitos de servicio si es hecho, colocado, curado y protegido de manera adecuada. El grado necesario de protección aumenta, a medida que disminuye la temperatura ambiental.

Los problemas en este caso provienen de la congelación del concreto fresco. Si se permite que el concreto que no ha fraguado se congele, el agua de la mezcla se convertirá en hielo y aumentará el volumen total del concreto. Puesto que ahora no queda agua disponible para las reacciones químicas, el fraguado y endurecimiento del concreto se retrasa y queda poca pasta de cemento que pueda ser alterada por la formación de hielo. Cuando en una etapa posterior tiene lugar el deshielo, el concreto fraguará y endurecerá en su estado expandido, que contiene un gran volumen de poros y, en consecuencia, tiene una resistencia baja.

El concreto puede revibrarse y recompactarse cuando se deshiela pero tal procedimiento en general no es recomendable, pues resulta difícil saber exactamente cuándo ha empezado a fraguar el concreto.

Si el congelamiento ocurre después de que el concreto ha fraguado, pero antes de que desarrolle una resistencia considerable, la expansión asociada con la formación de hielo causa una ruptura y pérdida irreparable de la resistencia. Sin embargo, si el concreto ha adquirido suficiente resistencia antes de congelarse, puede soportar la presión interna generada por la formación de hielo a partir del agua remanente de la mezcla. Tal cantidad es pequeña porque, en esta etapa, una parte del agua de la mezcla ya se habrá

combinado con el cemento en el proceso de hidratación, y otra parte estará localizada en los pequeños poros de gel, y por tanto, no podrá congelarse. Lamentablemente, no es fácil establecer la edad en que el concreto es lo bastante fuerte para resistir el congelamiento, aunque se dispone de algunos datos adquiridos con la experiencia.

Generalmente, mientras más avanzada esté la hidratación del cemento, y mayor sea la resistencia del concreto, menor será la vulnerabilidad a los daños por congelación. Además de protegerlo contra los daños por congelamiento en una etapa temprana, el concreto debe poder soportar cualesquiera de los ciclos consecuentes de congelamiento y deshielo, si estando en servicio es probable tal situación.

## **2.1. FACTORES DE INFLUENCIA EN LA ELABORACIÓN DEL CONCRETO EN CLIMAS FRÍOS**

- **Temperaturas promedio.** Los datos de partida en todo estudio de trabajos en climas extremos son las temperaturas diarias, en las regiones altoandinas de nuestro país por lo general fluctúan en un incremento y decremento constante, siendo el intervalo de tiempo en horas de temperatura baja, muy extenso, y por lo general que las mismas lleguen a temperaturas de congelamiento.
- **Tiempo disponible.** Es uno de los factores indispensables, mediante el cual podremos saber en que periodos de tiempo es factible realizar los trabajos con

concreto, esto depende del estado del clima para cada lugar donde se ha de trabajar, haciendo referencia a nuestra realidad en zonas altoandinas podemos mencionar que ante la presencia de precipitaciones intempestivas la duración de la radiación solar decrece especialmente en temporadas de lluvias y en tiempo de estiaje, la humedad porcentual llega a extremos críticos.

- Las condiciones de temperatura del agua y la tipología del agregado relacionadas con su temperatura son relativas a la variación de temperatura del medio ambiente de cada temporada.
- En el caso de nuestro país los lugares en que se evidencia la presencia de climas fríos por lo general son ubicados a gran altitud, por lo tanto se produce una **reducción en el rendimiento**, en el caso de las máquinas que intervienen de una u otra forma en cualquier clase de trabajo, esta reducción es producida por la disminución del oxígeno en el medioambiente ocasionando una combustión incompleta en motores de explosión; y en el caso del personal que participa en las labores cansancio por las condiciones adversas de trabajo.
- Debido a los trabajos realizados en esta clase de clima, reflejado por la continuidad de las sollicitaciones combinadas por fatiga y otros; es necesario determinar **factores de seguridad adecuados** para poder obtener resistencias finales requeridos.

### **3. CONGELAMIENTO EN EL CONCRETO**

Dentro del estudio de concreto en climas fríos cabe mencionar la posibilidad de exposición del concreto a congelamiento y deshielo, y por tal motivo es necesario conocer de que estamos hablando.

La exposición del concreto a ciclos de congelamiento y deshielo es una prueba severa para el material, y es obvio que si se trata de un concreto de baja calidad seguramente fallará. Por otro lado estudios sobre concreto en climas con las características antes mencionadas demuestran que un concreto con aire incorporado el cual es adecuadamente dosificado, mezclado, colocado, acabado y curado, casi siempre resistirá al congelamiento cíclico durante muchos años.

De otro lado, es necesario precisar de que aún un concreto de buena calidad resiste daños como resultado de la exposición al congelamiento en condiciones poco comunes, especialmente si el concreto se mantiene en un estado de saturación casi completa, pero hay situaciones en que el concreto es saturado por una sola cara y expuesto al aire por la otra, en tal situación su comportamiento puede ser en extremo variable; el cual se puede manifestar desde el caso en que no sufre ningún daño hasta aquel en que falle por completo.

El concreto no aumenta su resistencia cuando está helado, si se le permite llegar a ese estado poco después de haber sido colocado, seguramente sufrirá daños. Después de su

acabado, el concreto en estas condiciones empieza a endurecer, pero es más poroso y más débil que el concreto que no se haya congelado y debe por lo tanto retirarse.

El concreto congelado puede confundirse con concreto que haya fraguado normalmente; al retirar el encofrado, la falla puede ocurrir después con consecuencias serias.

Si el concreto se congela después de que ha endurecido probablemente no sufra daños permanentes, siempre y cuando se tenga en cuenta ciertas consideraciones tales como las que mencionaremos mas adelante en la durabilidad del concreto en climas fríos.

### **3.1. MECANISMOS DE LA CONGELACIÓN**

Las investigaciones sobre la acción del frío en el concreto han desarrollado algunas hipótesis razonables para explicar los complejos mecanismos que intervienen en el proceso de congelamiento.

La pasta de cemento endurecida y los agregados se comportan de manera diferente cuando son sometidos a congelamiento, y al respecto existe un consenso general al respecto de que deben de tratarse por separado.

#### **3.1.1. Congelamiento de la pasta de cemento**

Acerca del congelamiento de la pasta de cemento se han realizado estudios al respecto siendo 2 hipótesis las que nos proporcionan una visión de este tema:

- a) Estudios iniciales al respecto atribuían el daño causado por el congelamiento a la pasta de cemento a los esfuerzos ocasionados por presiones hidráulicas en los poros, dicha presión se debía a la resistencia al movimiento del agua para alejarse de las zonas en que se da el congelamiento; sosteniendo que la presión dependía de la velocidad de congelación, grado de saturación y coeficiente de permeabilidad de la pasta; así como de la longitud del conducto de flujo del agua hasta el lugar más cercano de escape; cuando se aplica aire incorporado en el concreto se produce un acortamiento de dichos conductos de flujo.

Estudios posteriores encontraron que durante el proceso de congelación de la pasta de cemento, la mayoría de los movimientos del agua se realizan hacia las regiones de congelación y no alejándose de estas, como se creía anteriormente.

En tal sentido se encontró también, que las dilataciones (expansiones) que se presentan durante el congelamiento disminuyen conforme se aumenta la velocidad de enfriamiento.

Estos dos hallazgos se oponen a la hipótesis de presión hidráulica, modificando la teoría antes mencionada.

Lo que se plantea es que el agua en una pasta de cemento está en forma de una solución alcalina ligera. Cuando la temperatura del concreto cae por debajo del punto de congelación se producirá de inmediato un periodo de superenfriamiento en el que se forman cristales de hielo en los capilares de mayor tamaño. Por consecuencia el contenido de álcalis aumenta en porción de la solución aún no congelada que se encuentra en los capilares mencionados, creando un potencial

osmótico que obliga a las moléculas de agua, que se hallan en los poros cercanos, a difundirlas en la solución de las cavidades congeladas.

Como resultado, la solución que está en contacto con el hielo se diluye, permitiendo que el crepúsculo de hielo crezca aún más (crecimiento del hielo). En el momento en que la cavidad se encuentre llena de hielo y solución, cualquier crecimiento produce una presión de dilatación provocando que la pasta falle.

Actualmente muchos investigadores creen que la mayoría de los daños que resiente la pasta de cemento, como resultado del congelamiento, son causados por esfuerzos resultantes de la presión osmótica.

- b) En los últimos años estudios sobre la acción de congelación sobre la pasta de cemento, consideran que el agua absorbida en la superficie o contenida en los poros que no puede congelarse es importante en el proceso. Debido a la diferencia de presión de vapor de este líquido superenfriado y la masa de hielo en los alrededores del sistema de la pasta, se producirá una migración de agua a lugares en donde se pueda congelar; los cuales pueden ser los poros más grandes o la superficie exterior. El proceso lleva a la desecación parcial de la pasta y a la acumulación del hielo en grietas y hendiduras. La pasta falla cuando la redistribución necesaria del agua no puede lograrse de manera ordenada, ya sea porque la cantidad de agua es excesiva (alta relación agua/cemento para el mismo grado de saturación), porque el tiempo disponible no es suficiente (enfriamiento rápido), o porque el camino que tiene que recorrer el agua es muy largo (falta de burbujas de aire incorporado). En tal motivo

cualquiera que fuera el caso la congelación forma un sólido semiamorfo (no cristales de hielo) que produce grandes esfuerzos internos.

Existe un consenso acerca de que la pasta de cemento puede hacerse completamente inmune a los daños causados por temperaturas de congelamiento por medio de aire incorporado, excepto cuando la pasta se expone a condiciones especiales que hacen que los vacíos de aire se llenen. Sin embargo, el aire incorporado por si solo no elimina, la posibilidad de que el concreto sea dañado por la congelación, los fenómenos de congelamiento en las partículas de los agregados también deben tomarse en cuenta.

### **3.1.2. Congelamiento de los agregados**

La mayoría de las rocas tienen poros más grandes que las pastas de cemento y expelen agua durante la congelación. Según estudios realizados por el ACI se piensa que la teoría de la presión hidráulica (tal como se mencionó con relación a la pasta de cemento) se puede aplicar en casi todos los casos.

Sobre este tema se propuso la teoría de la "agua ordenada", donde se afirma que la causa principal de la deterioración de las rocas no es el congelamiento, sino la expansión del agua absorbida (que no es congelable); pero estudios posteriores muestran resultados en que el agua no se expande durante el enfriamiento; por el contrario se contrae. Lo que sí está claro es que la absorción de grandes cantidades de agua por agregados que tienen una estructura porosa muy fina, puede romper el concreto (como resultado de la formación de hielo).

Esta demostrado que el tamaño del agregado grueso es un factor importante para la resistencia al congelamiento, para cualquier roca natural se demostró, siempre que no esté confinada por pasta de cemento, existe un tamaño crítico por abajo del cual puede ser congelada sin sufrir daños. Lo que se recoge de investigaciones al respecto es que el tamaño crítico de rocas de buena calidad, varía hacia arriba a partir de quizá 6 mm. A pesar de eso, algunos agregados (como por ejemplo: granito, basalto, diabasa, cuarcita, mármol) tienen una capacidad tan baja para recibir agua congelable que no producen esfuerzos cuando se congelan, esto sin que importe el tamaño de la partícula.

El papel del aire incorporado para reducir el efecto del congelamiento en las partículas de rocas es mínimo.

### **3.1.3. Efectos globales en el concreto**

Si la matriz de pasta que rodea a las partículas de agregado no contiene aire incorporado, puede fallar al estar saturada críticamente y sufrir congelamiento. Sin embargo, la matriz contiene una distribución apropiada de vacíos formados por el aire incorporado, caracterizada por un factor de espaciamiento menor que, aproximadamente 0.20 mm, el congelamiento no produce esfuerzos destructivos.

Existen algunas rocas que prácticamente no contiene agua congelada. El concreto con aire incorporado hecho con un agregado compuesto en su totalidad por tales rocas, podría soportar el congelamiento aún bajo condiciones de humedad continua por un periodo bastante largo; pero podría acortarse si los vacíos de aire se llenan de agua y materiales sólidos.

Si se usan agregados absorbentes (tales como los empleados en elementos estructurales ligeros) y el concreto está colocado en un medio ambiente continuamente húmedo, el concreto probablemente fallará si se satura. La presión que se desarrolla cuando las partículas expelen agua durante el congelamiento las rompe así como la matriz. Si alguna partícula está cerca de la superficie del concreto, pueden desarrollarse estallamientos.

Generalmente, el agregado no está en estado crítico de saturación cuando termina el periodo de construcción debido a la desecación producida por las reacciones químicas durante el endurecimiento (autodesecación de la pasta de cemento) y a las pérdidas del líquido por evaporación. Si el agregado o parte de él se satura críticamente, debe de ser a partir de agua que se obtiene de una fuente exterior. Sin embargo, es muy raro encontrar estructuras situadas en una forma tal, que todas las superficies estén continuamente mojadas y además periódicamente en congelamiento. Lo más usual es que los elementos de concreto tiendan a secarse durante la estación seca, ya que por lo menos una de sus superficies se expone a la atmósfera. Por esto el concreto con aire incorporado, por lo general no presenta daños como resultado de la congelación, aunque esté hecho totalmente con agregados absorbentes.

Resulta evidente que mientras este más seco el agregado cuando se cuele el concreto, mayor cantidad de agua debería recibir para alcanzar el punto de saturación crítica y que tardará más en alcanzar este punto. Es muy importante tomarlo en cuenta, ya que la duración de la estación húmeda y seca es limitada. Puede ser poco ventajoso utilizar

grava extraída de un lugar bajo el agua, especialmente si la estructura debe entrar en servicio durante la estación húmeda o poco después de que comienza el invierno.

Existen algunos tipos de roca que tiene la característica de que una vez que han sido secadas si vuelven a colocar en agua la absorción es rápida y alcanzan con rapidez la saturación; estas rocas son del tipo de saturación fácil. Este tipo de rocas aún cuando esté seca al iniciar el mezclado, puede alcanzar altos niveles de saturación estando aún en la mezcladora, pero puede ser que no se sequen lo suficiente debido a la acción de la autodesecación. Por lo tanto con este tipo de material se pueden presentar problemas, si no existe un periodo seco lo bastante largo antes del invierno. Un pequeño porcentaje de roca fácilmente saturable en un agregado, puede causar serios daños, y las que son difíciles de saturar (usualmente el grano grueso), por lo general, causarán menos problemas. Obviamente, los datos acerca de la facilidad de saturación de cada tipo de rocas en un agregado, podrían ser útiles.

La velocidad de absorción de un agregado, con independencia de sus características de absorción propias, está limitada por la velocidad a la cual puede pasar el agua a través de la envolvente de pasta endurecida, ya que el hecho de que el coeficiente de permeabilidad de la pasta endurecida disminuye conforme aumenta su contenido de cemento y conforme haya sido curada en húmedo durante mayor tiempo, se puede disminuir la velocidad de absorción de cualquier tipo de agregado si se reduce la relación agua/cemento de la pasta y especificando la necesidad de un buen curado.

## **3.2. DURABILIDAD DE ESTRUCTURAS EN CLIMAS FRÍOS**

Para poder obtener estructuras en climas fríos donde el concreto es expuesto una combinación de humedad y congelamiento, es necesario tener en cuenta las siguientes consideraciones:

1. Un adecuado diseño de la estructura de tal forma que sean reducidos los efectos originados por la exposición a la humedad.
2. Baja relación agua/cemento.
3. Aire incorporado.
4. Materiales adecuados
5. Adecuado Curado antes del primer ciclo de congelamiento.
6. Especial atención a los procedimientos constructivos

### **3.2.1. Exposición a la humedad**

Tomando en cuenta que los trabajos a realizarse se encuentran bajo condiciones de clima extremo; se pueden prevenir la vulnerabilidad de la estructura al congelamiento; debido a que el congelamiento es principalmente influida por su grado de saturación; es necesario realizar un **cuidadoso diseño de la estructura** con el fin de reducir la captación el agua por el concreto.

Para lograr tal fin es necesario tomar ciertas consideraciones en el diseño de la estructura a realizar, como las mencionadas a continuación:

La estructura debe de presentar una geometría que propicie un buen drenaje. En el caso de muros y todas las superficies exteriores, las partes superiores deben ser inclinadas; evitar la formación de charcos en las zonas bajas de la estructura, así como evitar que las perforaciones de drenaje descarguen sobre superficies de concreto expuestas. Asimismo no permitir que el drenaje de partes elevadas fluya sobre los remates superiores o las caras de los muros de concreto.

Es necesario eliminar todas las juntas innecesarias y prever un desagüe efectivo.

La construcción de escurrideros de reborde puede evitar que el agua corra bajo los bordes de miembros estructurales. En el diseño de la estructura se debe de considerar evitar la formación de "trampas de agua" o encharcamientos, que resultan de prolongar los diafragmas hasta los estribos en los puentes.

Algunas veces es posible evitar la humedad en la parte inferior de las losas colocadas a nivel del terreno, pero la construcción de una sub-base siguiendo las recomendaciones de la norma ACI sobre la construcción de pavimentos y bases de concreto reducirán las acumulaciones de humedad. Por otro lado se debe de tener cuidado en minimizar la formación de grietas en la estructura, ya que pueden acumular o transmitir agua.

Cabe mencionar que de acuerdo a investigaciones practicadas en puentes de concreto se han demostrado que existe una gran correlación entre los daños producidos por congelamiento y deshielo de ciertas partes de los puentes en estudio, y una excesiva exposición a la humedad de dichas partes debidas a fallas en el diseño estructural.

### 3.2.2. Relación agua/cemento

Para el caso de que un concreto con peso normal pueda resistir procesos de congelamiento y deshielo en condición húmeda, se debe tener en cuenta una relación de agua/cemento sin que exceda en lo siguiente:

- Secciones delgadas (cubiertas o piso de puentes, barandas, cunetas, parapetos y trabajos ornamentales), secciones con menos de 25 mm de recubrimiento sobre los refuerzos y cualquier concreto expuesto a sales descongelantes.....0.45
- Todas las demás estructuras.....0.50

No es práctico calcular la relación agua/cemento en concretos que contengan agregados ligeros, debido a que no está bien definida la determinación de absorción de dichos agregados. Para este tipo de concreto se recomienda que cumpla con la especificación de tener una resistencia a la compresión de  $280 \text{ kg/cm}^2$  (27.6Mpa); en el caso de exposición severa se ha encontrado deseable especificar un contenido mínimo de cemento de  $335 \text{ kg/m}^3$ , y sólo la cantidad necesaria de agua para alcanzar la consistencia que se requiere.

### 3.2.3. Aire Incorporado

Una cantidad demasiado pequeña de aire incorporado no protegerá la pasta de cemento contra el congelamiento y el exceso de aire provocará la disminución de su resistencia.

En la siguiente tabla se muestran los contenidos recomendados de aire incorporado en el concreto.

**Tabla N° 1**

**Contenidos de aire recomendados para el concreto resistente a la congelación**

Tamaño máximo nominal del agregado		Contenido promedio de aire, por ciento*	
		Exposición Severa +	Exposición Moderada ++
Mm	Pulg		
9.5	(3/8)	7.5	6
12.5	(1/2)	7	5.5
19	(3/4)	6	5
38	(1 1/2)	5.5	4.5
75	(3**)	4.5	3.5
150	(6**)	4	3

\* Una tolerancia razonable para el contenido de aire en obra es de  $\pm 1.5 \%$

+ Exposición exterior en un clima frío en que el concreto puede estar en contacto casi continuo con la humedad, antes del congelamiento, o en el caso en que se usen sales descongelantes. Algunos ejemplos son los pavimentos, cubiertas de puentes, banquetas y depósitos de agua.

++ Exposición exterior en un clima frío en que el concreto estará ocasionalmente expuesto a la humedad antes del congelamiento y no se usarán sales descongelantes. Algunos ejemplos son los muros exteriores, vigas y losas que no estén en contacto directo con el suelo.

\*\* Estos contenidos de aire se aplican a toda la mezcla, lo mismo que para los tamaños de agregado anteriores. Sin embargo, cuando se prueban estos concretos los agregados mayores a 38 mm (1 1/2 pulg) se retiran, ya sea a mano o por medio de horneado y el contenido de aire se determina en la fracción de la mezcla menor de 38 mm (1 1/2 pulg). (La tolerancia en la obra se adapta a este valor). De esta forma se calcula el contenido de aire de toda la mezcla.

**Fuente:** Normas ACI 201.2R

En la tabla anterior se muestran valores para dos condiciones de exposición: severa y moderada. Dichos valores asignan aproximadamente 9% de aire en el mortero para el caso de exposición severa y alrededor de 7% en exposición moderada.

El concreto con aire incorporado se puede obtener al usar un aditivo incorporador de aire (el cual es añadido en la mezcladora de concreto), un cemento incorporador de aire o con el uso de ambos si es necesario. El contenido de aire resultante depende del cemento, de las proporciones de las mezclas, de los agregados, tipo de mezcladora empleada, el proceso de mezclado, temperatura y otros factores (incluyendo ceniza volante y negro de humo emulsificado). Cuando se usa un aditivo, la dosis cambia de acuerdo a las necesidades para obtener el contenido de aire deseado, pero no es posible si solo se utiliza un cemento incorporador de aire, a veces el contenido de aire que se obtenga será inadecuado o excesivo. Sin embargo, el uso de un cemento incorporador de aire es el método más adecuado para proporcionar cierta protección en obras pequeñas sujetas a congelamiento y donde no se cuente con un equipo para medir el contenido de aire. Sin embargo obviamente que el mejor procedimiento es el uso de aditivos incorporadores de aire.

Por lo tanto es necesario realizar frecuentes determinaciones del contenido de aire del concreto.

Para **concretos de peso normal**, se pueden usar los siguientes métodos de prueba:

- Método volumétrico (ASTM C173)
- Método de presión (ASTM C231)
- La prueba del peso unitario (ASTM C138)

Se puede utilizar un medidor de aire para obtener una indicación aproximada de su contenido.

Para **concretos de peso ligero** se recomienda el método volumétrico.

### **3.2.4. Materiales Adecuados**

#### **Materiales cementantes**

Los diferentes tipos de cemento Portland y los cementos combinados al emplearse en concreto debidamente dosificado, fabricado y con aire incluido, proporcionan una resistencia similar al congelamiento. Es necesario que el cemento cumpla con las normas ASTM C150 o C595.

La mayoría de puzolanas usadas como aditivo tienen poco efecto sobre la durabilidad del concreto siempre y cuando el contenido de aire, resistencia y humedad del concreto sean similares. Sin embargo, se debe realizar una investigación adecuada antes de la utilización de materiales nuevos o no probados aún. Las puzolanas deben de cumplir con la norma ASTM C618.

#### **Agregados**

Los agregados naturales deben de cumplir con la norma ASTM C33, a pesar de que esto no necesariamente asegura su durabilidad. En el caso de agregados de peso ligero deben de cumplir con las especificaciones de la norma ASTM C30, las cuales especifican muchos requisitos pero dejan la selección final del agregado en manos del ingeniero especialista en concreto, quien puede tener un juicio adecuado si esta familiarizado con

el comportamiento en la obra del agregado seleccionado. Es factible que en algunas circunstancias se realicen algunos estudios por medio de registros del comportamiento en obra; los cuales pueden servir para aceptar o rechazar un agregado y si no es factible se depende más de las pruebas de laboratorio, tales como: absorción, peso específico, pruebas de solidez y determinación de la estructura porosa. Cabe el mencionar que existen publicaciones que describen las pruebas y presentan opiniones sobre su utilidad. Aunque estos datos son útiles y algunas organizaciones se han sentido justificadas al imponer límites a las pruebas que se realizan en agregados, generalmente se acepta, que debe dependerse principalmente de pruebas hechas al concreto fabricado con el agregado que se trata de conocer.

Entre las pruebas de laboratorio para concreto se incluye la prueba rápida de congelamiento y deshielo (ASTM C666) en la que la durabilidad del concreto se mide por la reducción del módulo de elasticidad dinámico del concreto. Se considera que esta prueba es la que mejor indica la durabilidad relativa de un agregado.

Los resultados de pruebas realizadas bajo la norma ASTM C666 han sido ampliamente analizados y discutidos; y se han criticado por ser rápidas y sin semejanza a las condiciones de la obra. Debido ha que se ha notado que las muestras de prueba son saturadas inicialmente, mientras que éste no es normalmente el caso con concretos en la obra cuando empieza la temporada de heladas. Más aún, los métodos de prueba no producen en realidad las condiciones verdaderas de los agregados del concreto en la obra. También se han criticado estos métodos de prueba porque requieren velocidades de enfriamiento mayores que las encontradas en la obra. También se ha objetado que el

pequeño tamaño de las muestras usadas en esta prueba no permita la inclusión de agregados gruesos, que pueden ser más vulnerables a la deterioración que los pequeños. Existe una aceptación bastante general al hecho de que estas pruebas pueden servir para clasificar a los agregados desde excelentes hasta malos en el orden correcto, sin embargo, no pueden predecir si un agregado bueno dará resultados satisfactorios al emplearse en un concreto con un contenido de humedad y que esté expuesto a congelamiento. De lo contrario se presentarían efectos económicos de importancia, especialmente en áreas en que los agregados de buena calidad son escasos ya que se podrían usar agregados locales marginales.

Debido a las críticas y objeciones expuestas a la norma ASTM C666, se concibió una prueba de dilatación que posteriormente fue desarrollada por otros. La norma ASTM C671 requiere que las muestras de concreto con aire incorporado sean inicialmente llevadas hasta condiciones de humedad que puedan esperarse en el concreto al principio de la temporada de invierno. Este contenido de humedad debió obtenerse de preferencia en pruebas realizadas sobre concreto en la obra. El aumento de longitud (dilatación) de la muestra durante la porción de congelamiento del ciclo, se mide cuidadosamente. Es factible el uso de la norma ASTM C682 como auxiliar para interpretar los resultados obtenidos.

Un cambio de longitud excesivo es un indicador de que el agregado se ha saturado peligrosamente y pueden llegar a sufrir daños. Si el tiempo empleado en alcanzar la saturación crítica es menor que la temporada en que se produce congelamiento en el lugar de la obra, se concluye que el agregado no es apropiado para ser usado en las

condiciones de exposición dadas; si el tiempo es mayor, se concluye que el concreto no será afectado por el congelamiento cíclico.

Las pruebas de dilatación pueden tomar un tiempo mayor que el requerido por otras pruebas de congelamiento cíclico. Asimismo los resultados de la prueba son sumamente sensibles al contenido de humedad del agregado y del concreto, y son bastante prometedores, aunque muchos de los interesados continúan usando la norma ASTM C666 hasta conseguir mejoras en la C671.

Cuando por medio de registros de servicio y/o pruebas se encuentran que los agregados naturales no son aceptables, se pueden mejorar algunas veces removiendo las partículas ligeras, suaves o de calidad inferior procesando el agregado.

## **Aditivos**

Los aditivos incorporadores de aire deben sujetarse a la norma ASTM C260 y los aditivos químicos deben cumplir con la norma ASTM C494. Algunos de dichos aditivos no imparten durabilidad suficiente aunque incorporan bastante aire en el concreto, ya que producen sistemas de cámara de aire toscos con factores de espaciamiento entre cámaras mayores de 0.20 mm, que es la distancia necesaria para proteger al concreto adecuadamente norma ASTM C260.

Los aditivos minerales (inclusive las puzolanas) y los agregados sucios pueden requerir una mayor cantidad de aditivo para que se desarrolle la cantidad requerida de aire incorporado.

Acerca del uso de aditivos podemos encontrar una guía detallada en la publicación del comité ACI 212.

### **3.2.5. Curado**

El concreto con aire incorporado debe de ser capaz de soportar uno o dos ciclos de congelamiento y deshielo cuando logre una resistencia a la compresión de aproximadamente  $35 \text{ kg/cm}^2$  (3.45 Mpa) siempre que no exista una fuente exterior de humedad. A temperaturas de  $10^\circ\text{C}$  la mayoría de los concretos dosificados alcanzarán esta resistencia durante el segundo día.

Antes de que el concreto sea expuesto a congelamiento durante un periodo largo, es deseable que alcance una resistencia a la compresión de  $280 \text{ kg/cm}^2$  (27.6 Mpa).

Se aconseja dejar un periodo de secado después del curado. Para condiciones de exposición moderada se ha fijado que el concreto alcance una resistencia de  $210 \text{ kg/cm}^2$  (20.7 Mpa).

### **3.2.6. Prácticas Constructivas**

Las adecuadas prácticas constructivas son indispensables para obtener un concreto durable.

En el caso de losas de pavimentos expuestas a la acción de sales descongelantes es necesario tomar especial atención, debido a la dificultad de obtener acabados durables

en las losas y por la exposición severa a las sales descongelantes. El concreto de este tipo de losas debe de ser compactado adecuadamente, sin embargo, el trabajar la superficie con exceso, el exagerar el acabado y añadir agua para facilitar el acabado deben evitarse debido a que hacen un exceso de mortero o de agua llegue a la superficie. La lechada resultante es particularmente vulnerable a la acción de sales descongelantes. Estas prácticas también pueden conducir a la remoción del aire incorporado. Radicando su importancia mínima si únicamente las burbujas mayores expelen, pero si las burbujas pequeñas son removidas, la durabilidad puede afectarse seriamente.

Para poder aplicar cualquier producto descongelante a los pavimentos de concreto es necesario que estén secos y haber alcanzado el nivel de resistencia especificado para poder ser abiertos al tráfico. Es necesario tomar en cuenta las recomendaciones planteadas al planear pavimentaciones poco antes de la época en que la temperatura baja al nivel de congelación en ciertos casos, puede ser posible utilizar diferentes métodos para remover el hielo, tales como abrasivos, para controlar lo resbaloso del pavimento suponiendo que el concreto puede ser vulnerable todavía.

En situaciones donde es requerido de una mayor protección que la normal o para aumentar la seguridad, como el caso de pavimentos colocados al final del otoño y que serán tratados con sales descongelantes al inicio del otoño es recomendable un tratamiento de superficie que repela al agua.

Cuando es usado concretos de peso ligero se debe de evitar saturar excesivamente el agregado antes de mezclarlo la saturación por vacío o por medios térmicos (cuando por

ejemplo es necesario bombearlo) puede hacer que los agregados ligeros estén en una condición tal que el agua absorbida pueda causar fallas del concreto si se congela cíclicamente a menos que el concreto pueda secarse antes del congelamiento.

#### **4. PREPARACIÓN ANTES DE LA COLOCACIÓN**

Al realizar trabajos de concreto en climas fríos los planes para proteger al concreto fresco del congelamiento y para mantener las temperaturas por encima del mínimo diseñado, durante el tiempo requerido después del vaciado, deben de prepararse de antemano cuando se esperan temperaturas de congelamiento. Todo el equipo y los materiales necesarios deben de estar en la obra antes de que caiga la primera helada y no después de que el concreto ha sido colocado, y antes de que la temperatura se acerque al punto de congelación.

Además de lo mencionado anteriormente, la preparación para la colocación consiste principalmente en asegurarse de que todas las superficies que vayan a estar en contacto con el concreto recién colocado se encuentren a una temperatura que no pueda ocasionar un congelamiento prematuro, o prolongar severamente el endurecimiento del concreto.

Generalmente, la temperatura de las superficies en contacto, incluyendo los materiales de sub-base, no necesita ser superior a unos cuantos grados sobre el punto de

congelación, aproximadamente 2°C, y preferiblemente, no debe ser superior a la temperatura del concreto que ha de ser colocado (tales valores recomendados los podremos apreciar en el siguiente capítulo).

Durante periodos severos de clima frío, se hace necesario calentar los encofrados, el refuerzo y el concreto antes de colocarlo, y arreglar la forma de proporcionar aislamiento para prevenir la pérdida excesiva de calor.

Cuando se tengan temperaturas menores a -10°C, es requerido calentar el acero del refuerzo de diámetros de 1" o mayores, y también los insertos metálicos, hasta temperaturas que superen el punto de congelación.

Es necesario retirar todo el hielo, nieve y escarcha del interior de los encofrados de las estructuras a vaciar y también del acero de refuerzo si es que tuviera, así como cualquier elemento ahogado en el concreto antes de comenzar el vaciado; de manera que no ocupen el espacio destinado al concreto sólido. Es posible utilizar chorros de aire caliente para remover la escarcha, la nieve y el hielo de los encofrados, el acero de refuerzo y otros aditamentos ahogados; o en algunos casos colocar braceros cercanos a los encofrados, pero la aplicación de vapor es probablemente el mejor método.

Si el area de trabajo no estuviera cubierta, y en tal caso no protegida; es pertinente que estos trabajos previos se tengan que ejecutar justo en el momento anterior a la colocación del concreto con el propósito de que no se vuelvan a congelar.

Cuando se tengan juntas de llenado, es recomendable el calentamiento del concreto antiguo, previo a la colocación del concreto nuevo.

El concreto nunca debe de ser colocado sobre material congelado de la superficie de la sub-base, si no es posible debe de posponerse la colocación hasta que el suelo se haya descongelado y calentado lo suficiente para asegurar que no se volverá a congelar nuevamente durante el periodo de curado. Algunas veces, la sub-base se puede descongelar lo suficiente como para colocar el concreto cubriéndola con material aislante (en algunos lugares utilizan paja o alquitrán) durante unos días antes de la colocación del concreto, pero por lo general resulta requerido la aplicación de calor externo, esto se puede realizar quemando paja, arrojando vapor u otro material granular caliente.

Es imprescindible que experimentos en la obra a realizar se realicen para mostrar cuales son las combinaciones de material aislante y el tiempo que permitirán que el calor superficial descongele el material de la sub-base. Otra manera de que las bases puedan deshelarse es colocando braceros espaciados a intervalos cortos.

Si el concreto va a ser colocado sobre un suelo permanentemente congelado, este último deberá ser descongelado en una profundidad suficiente como para garantizar que el concreto no experimente congelación durante el periodo de protección requerido, o cubrir el suelo con una altura suficiente de material granular seco y no susceptible al hielo.

De ser requerido, el material descongelado ha de volverse a compactar previniendo futuros problemas de asentamientos.

El motivo de que el concreto nunca debe ser colocado sobre un suelo helado viene a ser que el subsecuente deshielo conducirá a asentamientos desiguales de la estructura vaciada, lo cual puede conducir a la formación de fisuras. Además, habrá un flujo de calor desde el concreto, lo cual retardaría el proceso de endurecimiento y crea la posibilidad de que la parte inferior de la losa se congele.

# CAPÍTULO II

## COLOCACIÓN Y CURADO DEL CONCRETO

# 1. CONSIDERACIONES GENERALES

## 1.1. TEMPERATURAS RECOMENDADAS PARA EL CONCRETO

Tabla N° 2

Línea	Temperatura del aire	Tamaño de la sección, dimensión mínima ( m )			
		0.30	0.30 - 0.90	0.90 - 1.80	1.80
Temperatura mínima del concreto en el momento de la colocación y que se mantiene					
1	—	13°C	10°C	7°C	5°C
Temperatura mínima del concreto en el momento del mezclado según el clima indicado *					
2	Arriba de -1°C	16°C	13°C	10°C	7°C
3	-18°C a -1°C	18°C	16°C	13°C	10°C
4	-18°C	21°C	18°C	16°C	13°C
Máxima caída gradual de temperatura permisible durante las primeras 24 horas después de terminada la protección					
5	—	28°C	22°C	17°C	11°C

\* Para climas más fríos se proporciona un margen mayor de temperatura entre el concreto en el momento del mezclado y la temperatura mínima requerida para la colocación de concreto fresco.

Fuente: Normas ACI 306R-88 (tabla 3.1)

## **1.2. TEMPERATURA DEL CONCRETO EN EL MOMENTO DE LA COLOCACIÓN**

La temperatura mínima para vaciar concreto depende del equipo disponible y del tipo de trabajo; aunque no existe un límite definido, en ciertos países de Europa se recomienda suspender la colocación del concreto corriente a temperaturas inferiores a  $-10^{\circ}\text{C}$  ó  $-15^{\circ}\text{C}$ , sin embargo utilizando coberturas herméticas y calentamiento exterior o recurriendo a la prefabricación y curado de vapor o en autoclaves, se puede trabajar a temperaturas muy bajas, se tienen registros de a  $-25^{\circ}\text{C}$  ó aún menos.

En el concreto fresco debe de distinguirse entre la temperatura que existe en el momento del mezclado y la que hay después del colocado, la primera debe ser algo mayor que la segunda, es evitan pérdidas de temperatura exageradas, apurando en lo posible las operaciones de transporte y colocación.

La temperatura del concreto en el momento de la colocación no deberá ser inferior a la que se indica en la línea 1 de la tabla 2.1. Las altas temperaturas en el concreto no ofrecen proporcionalmente una mayor protección contra el congelamiento, ya que la pérdida de calor es más rápida en diferenciales mayores de temperatura. Además, a temperaturas más elevadas se requiere más agua de mezclado, por lo que aumenta la pérdida de revenimiento, en ocasiones se provoca un fraguado rápido y se incrementa la contracción térmica. La rápida pérdida de humedad en las superficies de concreto expuestas, puede provocar agrietamientos por contracción plástica. Por lo tanto, la

temperatura del concreto en el momento de la colocación, debe de mantenerse tan cerca de las temperaturas mínimas sugeridas como sea posible.

La temperatura del concreto en el momento de la colocación debe mantenerse no más alta de 6°C por encima de las mínimas temperaturas recomendadas en la tabla N° 2. Temperaturas que sean 11°C mayores son bastantes raras. Si es difícil el calentar los agregados de una manera uniforme o a una temperatura predeterminada, la temperatura del agua de mezclado puede ser fácilmente ajustada por combinación de agua caliente y fría a fin de mantener la temperatura del concreto dentro del rango de 6°C de la temperatura requerida.

Conforme la temperatura del aire descende, resulta necesario que sean más los ingredientes a calentar con la finalidad de que se produzca un concreto con la temperatura mínima requerida. Durante trabajos en que la temperatura cae demasiado, es necesario que la temperatura del concreto sea elevada a fin de anular la pérdida de calor ocurrida en la etapa entre el mezclado y la colocación, como se recomienda en las líneas 2, 3 y 4 de la tabla 2.1. De otro lado cabe mencionar que al ser la sección del concreto más masiva, más lentamente perderá calor. Esto podemos evidenciarlo en la línea 1 de la tabla 2.1 en que se recomienda temperaturas mínimas y más bajas para el concreto, en el momento de la colocación, a medida que la sección del concreto sea más masiva.

### 1.3. CALENTAMIENTO DE LOS COMPONENTES DEL CONCRETO

La temperatura del cemento y de los agregados varía con las condiciones atmosféricas y el tipo de almacenaje empleado. Dado que normalmente, tienen un cierto grado de humedad, cuando la temperatura desciende por debajo del punto de congelación, suelen formarse terrones helados y trozos de hielo. En tal caso los agregados deben de descongelarse para evitar oquedades en el concreto, si el descongelamiento ocurre en la mezcladora, un excesivo contenido de agua. El descongelamiento de los agregados facilita además un mezclado adecuado.

Para temperaturas superiores a la de congelación, resulta raramente necesario calentar los agregados. Cuando son inferiores, en general sólo es necesario calentar el agregado fino para obtener un concreto con la temperatura adecuada. Si la temperatura de los agregados es superior a la de congelación, normalmente es posible conseguir la temperatura adecuada para el concreto, con sólo calentar el agua de mezclado.

Si el agua de mezclado está a 60°C, solo en contadas ocasiones es necesario calentar los agregados a temperaturas de más de 15°C. Además si el agregado grueso está seco y libre de escarcha, hielo y grumos congelados, es factible que se obtenga la temperatura requerida del concreto fresco calentando únicamente la arena, tal como mencionamos anteriormente, asimismo este incremento de temperatura del agregado fino solo en raras ocasiones no será superior a los 40°C. aproximadamente (sí el agua de mezclado se encuentra a 60°C).

Por otro lado, se debe considerar las variaciones estacionales, dado que las temperaturas promedio de los agregados pueden ser sustancialmente más altas que las temperaturas del aire en el otoño, ocurriendo lo contrario en la primavera.

El **agua** de mezclado debe de estar disponible a una temperatura regulada y constante, y en cantidades suficientes, a fin de evitar fluctuaciones de consideración en la temperatura y, por consiguiente en el slump y durabilidad del concreto entre diferentes dosificaciones.

Por otro lado es necesario mencionar que el contacto prematuro entre agua sumamente caliente y cantidades concentradas de cemento provoca un fraguado relámpago y la formación de grumos de cemento en los camiones mezcladores. Asimismo cuando se utilice agua a una temperatura superior a los 60°C, puede resultar necesario ajustar el orden en el cual se mezclan los componentes. Una forma de realizar esto es, si se empieza con el agua caliente y el agregado grueso, antes de adicionar el cemento detener o aminorar la rapidez de entrada del agua mientras se cargan el cemento y el agregado.

Es factible de usar agua a la temperatura del punto de ebullición, siempre que la temperatura del concreto se encuentre dentro del rango permisible y que no se presente un fraguado relámpago.

Si ocurriera una pérdida de efectividad del **aditivo incorporador de aire**, debido al contacto inicial con el agua caliente, dicho aditivo debe de agregarse a la carga una vez

que la temperatura del agua haya disminuido por el contacto con los materiales sólidos más frescos.

Si resulta necesario la dosificación del **cemento** separadamente de los agregados, el mezclado será más difícil de realizar. En este caso deben de colocarse aproximadamente las tres cuartas partes de la adición de agua caliente en el tambor de la mezcladora, ya sea antes de los agregados o al mismo tiempo que éstos. El cemento debe de ser añadido después de los agregados. La cuarta parte restante del agua debe de ser cargada por la boca de descarga del tambor a un ritmo moderado como componente final.

El calentamiento de los **agregados** debe de efectuarse de manera que se evite grumos de hielo, de nieve o de agregados. Generalmente sobrevivirán al mezclado algunos grumos congelados de aproximadamente 75mm, los cuales subsistirán hasta luego de la colocación del mismo.

Debe de evitarse el sobrecalentamiento, que produzca temperaturas elevadas en los agregados, cuyas cantidades en la dosificación son reducidas, de tal forma que no superen los 100°C y que el promedio de temperatura del volumen de la carga no exceda de 65°C; ya que de producirse esto se producirá la formación de agrietamientos imperceptibles en las partículas.

En cualquiera de estos dos casos con estas temperaturas se sobrepasa lo necesario para obtener las temperaturas requeridas en un concreto recién mezclado. Los materiales deben ser calentados uniformemente, puesto que una variación considerable en su

temperatura producirá variar notablemente el requerimiento de agua, la rapidez del endurecimiento y el revenimiento del concreto.

#### **1.4. METODOS DE CALENTAMIENTO**

El concreto puede ser calentado, al calentar el agua y/o el agregado; o aplicando calor al mezclador.

Un procedimiento aconsejable para calentar los agregados consiste en hacer circular vapor por tuberías sobre los cuales se apilan. Cuando los agregados son descongelados o calentados, mediante el vapor que circula en tuberías, las superficies expuestas de estos deben cubrirse con lonas impermeables u otras cubiertas protectoras con la finalidad de mantener una distribución de calor uniforme, y evitar la formación de superficies de agregado congelados. El vapor vivo, preferentemente a alta presión (5.25 a 8.75 kg/cm<sup>2</sup>) puede inyectarse directamente en las pilas de agregados para calentarlos, pero la variación en el contenido de humedad de los agregados puede originar un control errático del agua de la mezcla, pero también aumenta la posibilidad de puntos localizados secos y calientes. En tal sentido es pertinente tomar en cuenta que los chorros de vapor liberados en el agregado pueden generar problemas de variación en la humedad. Por otro lado, el desgaste y la corrosión en la tubería donde circula el vapor hacia los agregados pueden provocar fugas que generarían un similar problema de variación de humedad. Una medida recomendada es realizar inspecciones en la tubería y de detectarse el problema realizar los reemplazos necesarios. El vapor, generalmente es

satisfactorio si cuenta con un drenaje adecuado en las pilas de agregado para mantener el contenido de humedad uniforme.

Luego de un periodo prolongado de calentamiento con vapor de los agregados en los almacenes de depósito, se requiere tener mucho cuidado en la dosificación de las primeras tandas de concreto. En tal sentido algunos productores de cemento no utilizan las primeras cantidades de agregado extremadamente caliente, sino este es descargado y reciclado con el resto de agregado del almacenamiento.

En algunas obras se calienta el agregado, colocando cubiertas sobre las pilas de almacenamiento, dentro de las cuales se colocan braceros para mantener el aire caliente. Este método es satisfactorio para prevenir el congelamiento del agregado pero no eleva la temperatura mucho. Por lo tanto mientras que este método es apropiado para ser usado como protección contra las heladas nocturnas, se debe adoptar alguna forma adicional de calentamiento para condiciones severas de frío.

En obras pequeñas, generalmente los agregados se pueden descongelar calentándolos cuidadosamente sobre tuberías de fierro fundido dentro de las cuales se mantiene fuego encendido. Debe de tenerse la precaución de prevenir un sobrecalentamiento de aquellos elementos.

Es muy importante dentro de la elección de cualquier método para calentar los agregados tomar en cuenta que esto dependerá de la economía relativa generada, para lo

cual se considerará la cantidad de agregado que debe calentarse y los arreglos pertinentes que se tendrá que realizar en la planta de concreto.

De todos los componentes del concreto, **el agua** de mezclado es el más fácil de calentar prácticamente. La cantidad en peso de los agregados y del cemento, en una dosificación promedio, es mucho mayor que el del agua. Sin embargo, el agua es capaz de almacenar una cantidad de calor cinco veces mayor que los materiales sólidos, a igualdad de peso. En tal sentido calentar el agua resulta el método más simple y efectivo.

Para calentar el agua de mezclado pueden usarse calentadores, calderos, vapor o serpentines para proporcionar el calor necesario.

Los métodos basados en la aplicación de calor en el mezclador, como por ejemplo con soplete u otra flama, no son completamente satisfactorios, tanto desde el punto de vista en el calentamiento como en la variabilidad en la pérdida de humedad.

## **1.5. CALCULO DE LA TEMPERATURA FINAL DE LA MEZCLA DE CONCRETO**

Si se conoce las temperaturas de todos los componentes y el contenido de humedad de los agregados, la temperatura final de la mezcla de concreto puede calcularse por medio de la siguiente fórmula:

$$T = \frac{[ 0.22 ( T_c C + T_p P + T_{ar} Ar ) + W_p T_p + W_{ar} T_{ar} + Ag T_{ag} ]}{[ 0.22 ( C + P + Ar ) + W_p + W_{ar} + Ag ]}$$

Donde :

T= Temperatura final de la mezcla de concreto (°C).

C , P , Ar , Ag son los pesos en kg. del cemento, agregado grueso, agregado fino y agua de la mezcla respectivamente.

T<sub>c</sub> , T<sub>p</sub> , T<sub>ar</sub> , T<sub>ag</sub> son las temperaturas en °C del cemento, agregado grueso, agregado fino y agua de la mezcla respectivamente.

W<sub>p</sub> , W<sub>ar</sub> son los pesos en kg. de la humedad de agregado grueso y agregado fino respectivamente.

La fórmula antes mencionada sufrirá una modificación en el caso de que la temperatura de uno, o de ambos agregados sea inferior a 0°C, debido a que la humedad se encontrará en estado de congelación, esta modificación tendrá como finalidad tomar en cuenta el calor que se requiere para elevar la temperatura del hielo a 0°C y, de este modo convertirlo en agua. En tal sentido, las expresiones W<sub>ar</sub>T<sub>ar</sub> y/o W<sub>p</sub>T<sub>p</sub> deben de sustituirse por: W<sub>ar</sub> ( 0.50 T<sub>p</sub> - 0.80 ) y/o W<sub>p</sub> ( 0.50 T<sub>ar</sub> - 0.80 ) , respectivamente, según sea el caso (el valor de 0.50 corresponde al calor específico del hielo, y el número 80 se relaciona con el calor de fusión necesario para derretir el hielo).

## 1.6. TRANSPORTE DE LA MEZCLA (DESCENSO DE TEMPERATURA)

Como ya hemos mencionado todo trabajo siempre deberá de ser planificado con anterioridad, en tal sentido la producción del concreto no se exime de tal recomendación, en tal sentido al planificar los procedimientos del mismo deberá de tenerse en cuenta el evitar grandes distancia de transporte de la mezcla para su abastecimiento, largos periodos de esperada durante la colocación y un procedimiento rápido de vaciado que reduzca las pérdidas de calor del concreto.

Refiriéndonos al transporte del concreto podemos mencionar que el Instituto Sueco para investigaciones del Cemento y el Concreto (Petersons 1966) realizó pruebas, para poder determinar el descenso de la temperatura del concreto que se produciría durante su entrega en climas fríos. En tal sentido dichos estudios abarcaron mezcladoras de tambor giratorio (mixers), camiones de volteo abiertos y camiones de volteo cubiertos.

El descenso de la temperatura para un lapso de una hora en el tiempo de entrega puede estimarse mediante las siguientes expresiones:

- Mezcladoras de tambor giratorio (mixers):

$$T' = 0.25(t_r - t_a)$$

- Camiones de volteo cubiertos:

$$T' = 0.10(t_r - t_a)$$

- Camiones de volteo abiertos:

$$T' = 0.20(t_r - t_a)$$

Donde :

$T'$  = Descenso de la temperatura que se espera durante la entrega, °C (este valor debe de ser adicionado a  $t_r$  para determinar la temperatura requerida de concreto en la planta)

$t_r$  = temperatura requerida para el concreto en la obra, °C

$t_a$  = temperatura ambiente del aire, °C

## **2. COLOCACIÓN DEL CONCRETO**

El colocado y compactación del concreto realizado de una manera adecuada son partes primordiales dentro de los procedimientos requeridos en todo trabajo realizado con concreto. Tanto en el caso de climas bajo condiciones no extremas y extremas (especialmente en el caso que estamos tratando en climas fríos) para que se consiga el éxito de los trabajos a ejecutar son necesarios realizar una previsión y planeamiento cuidadoso.

Puesto que se llevan a cabo casi simultáneamente y son interdependientes, el colocado y la compactación deben considerarse en realidad como una sola operación.

El objetivo principal del colocado es depositar el concreto en su posición final, o lo más cerca posible de ésta, de la manera más rápida y eficaz, para evitar la segregación y lograr una compactación total.

En tal sentido en el caso de la compactación del concreto, el espesor de las capas deberá ser el mayor posible, teniendo para este fin en cuenta el equipo de vibración que se utilizará; esto tiene por finalidad retener la mayor cantidad de temperatura generada por el concreto (a mayor espesor de la capa mayor temperatura generada y retención).

Para evitar pérdidas serias de calor durante el manejo debe de transportarse tan rápidamente como sea posible y preferentemente en tolvas. El uso de transportares de cinta o vertederos largos son insatisfactorios. La colocación debe de realizarse continuamente sin demoras.

Durante la colocación del concreto en climas fríos deberá tenerse en cuenta lo siguiente:

- Se suspenderá las operaciones de colocación del concreto, si no se cuenta en obra con los medios adecuados de protección del mismo, en aquellas situaciones en que dentro de las 48 horas siguientes al momento del vaciado la temperatura ambiental puede descender por debajo de 0°C o cuando sea menor de 4°C en descenso.
- Si los agregados son calentados, la temperatura en ningún punto de los mismos excederá a 100°C, ni la temperatura media a 65°C.
- Como mencionamos anteriormente, previamente debe retirarse el hielo de armaduras, encofrados o elementos embebidos, cualquier superficie o suelo sobre el cual el concreto va a ser colocado.
- Es necesario que durante la protección se deba mantener las condiciones favorables de curado. Si las condiciones de protección no dan los resultados esperados, se suspenderá la colocación del concreto.

## 3. CURADO

### 3.1. DEFINICIÓN

Para que un concreto obtenga una buena calidad, luego del vaciado de una mezcla adecuada debe seguirle el curado apropiado, durante las primeras etapas de endurecimiento. **Curado** es el nombre que se da a los procedimientos empleados para promover la hidratación del cemento y el desarrollo de la resistencia del concreto; cuando se mezcla cemento con agua, tiene lugar una reacción química; esta reacción, llamada hidratación, es la que hace que el cemento, y por lo tanto el concreto, se endurezca y después desarrolle resistencia.

Dichos procedimientos de curado son el control de la temperatura y los movimientos de la humedad desde y hacia el concreto. Estos últimos afectan no solo a la resistencia, sino también a la durabilidad.

Por lo tanto el **curado** es un proceso que tiene por finalidad mantener en el concreto el contenido de agua adecuado para alcanzar la máxima hidratación de las partículas de cemento.

El concreto que ha sido correctamente curado es superior en muchos aspectos. No sólo es más resistente y más durable bajo ataques químicos, sino que también es más resistente al desgaste y más impermeable; por añadidura, es menos probable que lo dañen las heladas y los golpes accidentales que reciba.

Además de asegurar el desarrollo de resistencia en el cuerpo del concreto, el curado apropiado proporciona a la delgada capa expuesta de éste una propiedad de "cubierta endurecida", que aumenta considerablemente su resistencia al desgaste y su buen aspecto durante mucho tiempo, cuando está a la intemperie.

En todos los casos, un concreto bien curado es un mejor concreto.

### **3.2. CONTENIDO OPTIMO DE AGUA**

Una mezcla fresca de concreto tiene normalmente una cantidad de agua mayor de la que puede combinarse químicamente con el cemento. Sin embargo, varios factores pueden reducir el contenido de agua por debajo del nivel mínimo requerido para la adecuada hidratación del cemento. La evaporación es uno de los factores más importantes.

La evaporación de agua del concreto, luego de su colocación, es función de la temperatura del aire y del concreto, de la humedad relativa del medio ambiente y de la velocidad del viento.

### **3.3. TEMPERATURA**

El proceso de hidratación del cemento en una mezcla de concreto es función de la temperatura del medio ambiente. Se sabe que a temperatura muy bajas: 5°C o menos, el desarrollo de las resistencias se ve retrasado seriamente.

Las temperaturas altas incrementan notablemente la velocidad de hidratación del cemento, dándose el caso de que es posible obtener la resistencia esperada a 28 días, luego de unas cuantas horas de inmersión del concreto en agua en ebullición.

Sin embargo, es también conocido que someter el concreto a temperaturas muy altas (60°C o más) durante el endurecimiento inicial, trae como consecuencia resistencias a edades tardías menores que las obtenidas durante el concreto a 21°C.

Además, a altas temperaturas el riesgo de fisuramiento superficial del concreto se ve incrementado notablemente debido a la pérdida superficial de humedad (ver figura N° 1). Este mismo fenómeno se presenta con bajas humedades relativas. (ver figura N°2).

La temperatura de la masa de concreto fresco es otro de los factores que intervienen en la pérdida de humedad. Dicha temperatura es función de la temperatura de los componentes del concreto: agregados, cemento, de la temperatura ambiente y de la absorción de radiación solar.

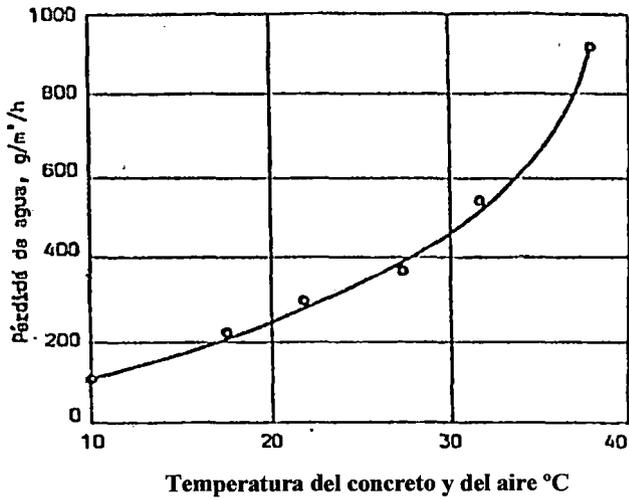


FIG. N°1. Pérdida de humedad del concreto fresco en función de la temperatura del concreto y del aire. ( Humedad relativa del 70%; velocidad del viento = 4.5 m/seg.)

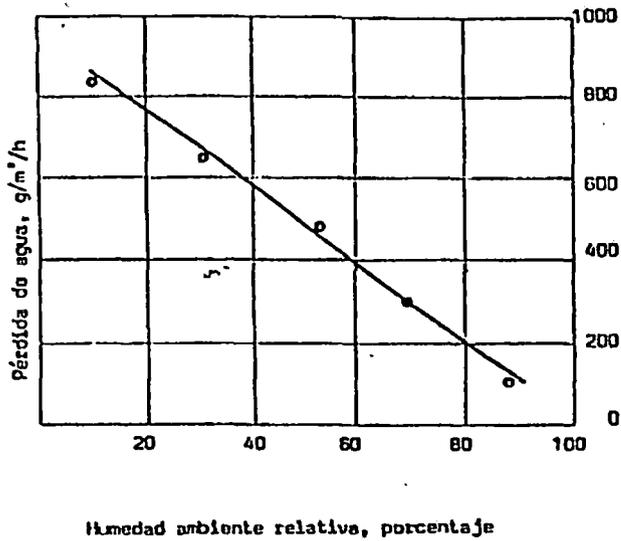


FIG. N°2. Pérdida de humedad del concreto en función de la humedad relativa del medio ambiente (T = 21°C; Velocidad del viento = 4.5 m/seg.).

Fuente: Revista de Información Profesional "El Ingeniero Civil" ( N°54, 1988 )

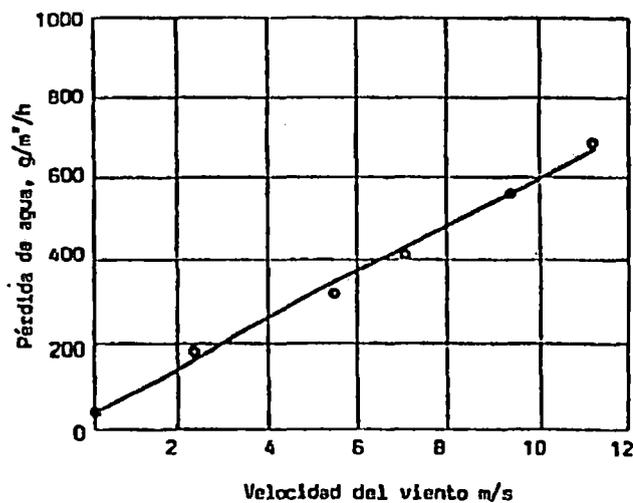
Artículo: Curado del Concreto

### 3.4. VELOCIDAD DEL VIENTO

La velocidad del viento es tal vez el factor de más peso en la pérdida de humedad superficial del concreto (ver figura N°3).

Para evitar los efectos adversos de este fenómeno debe procurarse instalar barreras en las construcciones, o cuando sea factible construir los pisos de concreto después de haber levantado los muros.

NOTA: La Figura N°4 agrupa los tres gráficos anteriores y provee un método sencillo para estimar la pérdida de humedad superficial del hormigón.



**FIG. N°3.** Pérdida de humedad del concreto en función de la velocidad del viento.

(Humedad relativa del 70%, T = 21°C)

**Fuente:** Revista de Información Profesional "El Ingeniero Civil" ( N°54, 1988 )

Artículo: Curado del Concreto

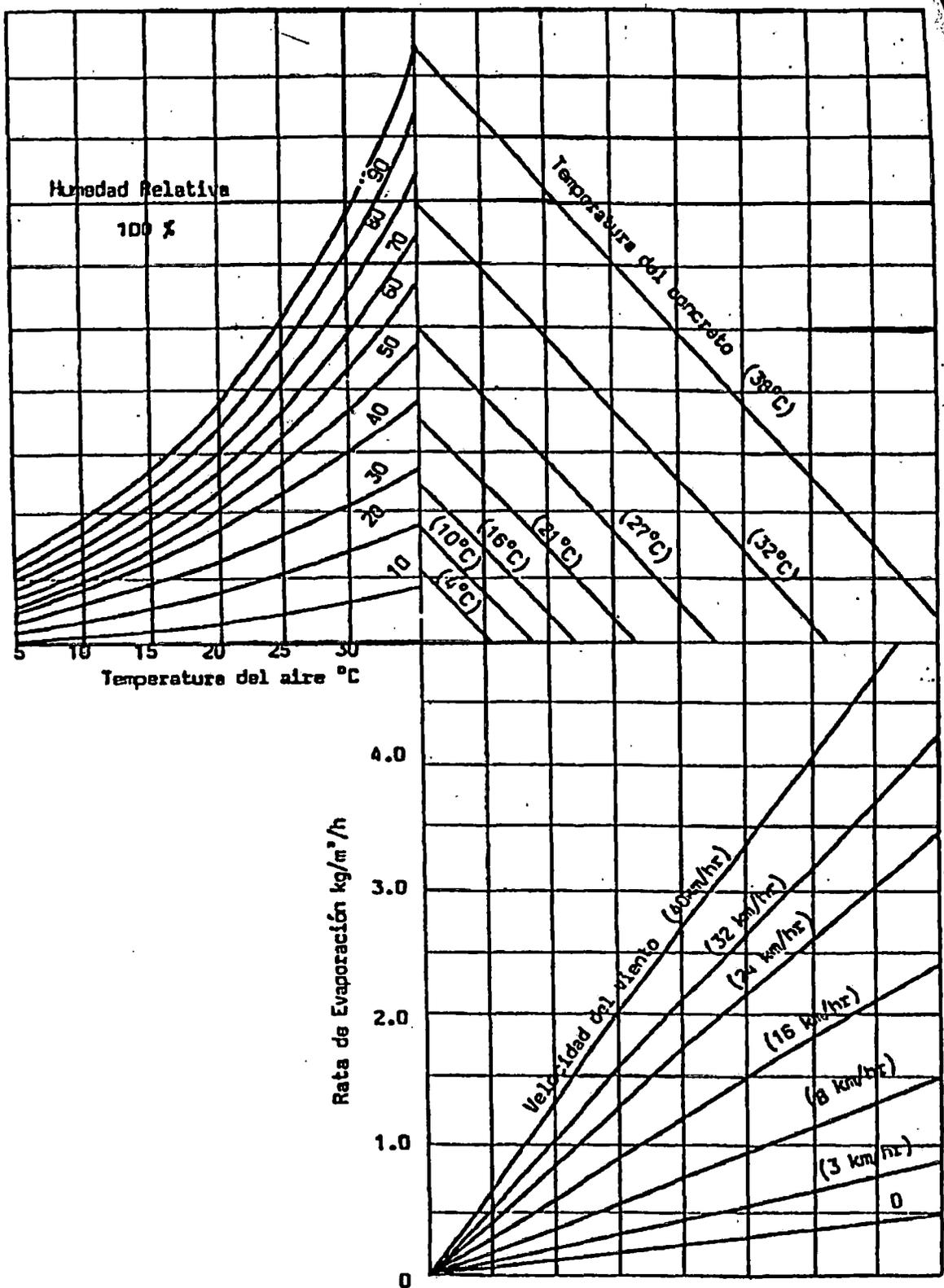


FIG. N°4. Efecto de la temperatura del concreto y el aire, humedad relativa y velocidad del viento sobre la rata de evaporación de la humedad superficial del concreto. Si la rata de evaporación se aproxima a 1 kg/m<sup>3</sup>/hr, deben tomarse precauciones contra el agrietamiento por contracción.

Fuente: Norma ACI 305

En la carta anterior se deben de seguir los siguientes pasos para poder utilizarla:

1. Entre la temperatura del aire y suba hacia la curva de humedad relativa.
2. Muévase hacia la derecha hasta encontrar la temperatura del concreto.
3. Muévase hacia abajo hasta encontrar la velocidad del aire.
4. Muévase hacia la izquierda y lea la rata de evaporación, aproximada.

### **3.5. VENTAJAS DE UN CURADO ADECUADO DEL CONCRETO**

Las siguientes son las principales razones que demuestran la importancia de una buena práctica del curado del concreto:

- **Desarrollo de la resistencia a la compresión**

Cuando el concreto no es curado, este no desarrolla la resistencia esperada (ensayos de laboratorio muestran que el concreto sin curar que permanece en un ambiente seco puede perder hasta el 50% de su resistencia potencial).

- **Mayor durabilidad y mejor apariencia**

El curado adecuado del concreto reduce el agrietamiento, el descascaramiento y aumenta la resistencia al desgaste.

- **Disminución notable de la contracción plástica**

La rápida pérdida de humedad del concreto aumenta la contracción plástica, la cual se traduce en un fisuramiento superficial intenso, en particular en las placas de concreto.

Por lo tanto se puede precisar la considerable reducción en la contracción plástica que se logra con un adecuado curado del concreto.

### **3.6. MÉTODOS DE CURADO**

Básicamente se pueden agrupar en tres categorías los procedimientos de curado:

1. Curado por interposición de un medio húmedo.
2. Curado por control de la evaporación.
3. Curado por aplicación artificial de calor.

#### **1. CURADO POR INTERPOSICIÓN DE UN MEDIO HÚMEDO**

Es aquel método que previene o impide la evaporación del agua mediante la interposición de un medio húmedo.

Generalmente es el curado con agua, y se realiza mediante la aplicación continua o frecuente de agua.

Si este tipo de curado es aplicado adecuadamente puede producir concretos de calidad, pero es necesario tener en consideración: supervisión constante para garantizar el medio húmedo, en tal forma el aumento de costo por la necesidad de mayor mano de obra y la dificultad de aplicar en zonas escasas de agua.

Dentro de este sistema se contemplan varios procedimientos como los siguientes:

### **1.1. Por inmersión**

Es el método que produce los mejores resultados, pero presenta inconvenientes de tipo práctico, pues implica inundar o sumergir completamente el elemento de concreto. Además del costo adicional por mano de obra, la necesidad de aplicarla en un lugar donde se cuente con el suministro adecuado para la aplicación del mismo.

Generalmente se realiza este procedimiento mediante la formación de lagunas sobre la superficie del concreto, siendo el espesor de la capa sobre la superficie de concreto de 5 cm. La capa debe de mantenerse por lo menos 72 horas. Para la formación del pequeño murete o cerco que actuará como muro de retención del agua se empleará arcilla o barro.

### **1.2. Mediante el empleo de rociadores o fumigadores**

Con este método se consiguen buenos resultados y es un método fácil de ejecutar.

Este procedimiento debe de comenzar tan pronto como toda agua ha desaparecido de la superficie del concreto, el rocío debe de ser fino, mantenerse por lo menos 72 horas y no dejar marcas sobre la superficie del concreto. Tiene el inconveniente de la intermitencia que puede conducir a un curado deficiente, y la necesidad de contar con un personal especializado.

### **1.3. Empleo de tejidos de yute o de otros materiales absorbentes**

Estos tejidos mantienen la humedad en superficies tanto verticales como horizontales, pero deben ser humedecidos periódicamente, con el riesgo de que si no se mantiene el nivel de humedad el curado es deficiente.

Entre otros materiales absorbentes se puede mencionar esteras de algodón (dos capas de algodón y entre ellas un relleno de algodón en rama, las cuales son cocidas)

Este tipo de curado ha de ser aplicado tan pronto como sea posible sin dañar la superficie del concreto, para lo cual se debe considerar: no arrastrar el material sobre la superficie del concreto, la cobertura húmeda deberá dejarse por lo menos 72 horas, al ser rociado la cobertura para mantenerla húmeda no debe de producirse ningún daño al concreto.

Además, presentan el problema de absorber, eventualmente, el agua útil del concreto.

### **1.4. Curado con arena, tierra, aserrín o paja**

Se emplea con algún éxito el curado mediante el cubrimiento del concreto con alguna de los materiales tales como: arena, tierra, aserrín o paja; es muy útil cuando se presentan vientos fuertes.

Cuando se emplea arena o tierra, esta debe de estar libre de grandes terrones o piedras a fin de evitar un secado irregular de la cobertura.

Si se usa paja es recomendable que el espesor de la capa colocada sea de 20 a 30 cm, la cual se mantendrán por un lapso de curado especificado. Es necesario tener presente la

suciedad resultante y el peligro de reacciones químicas por descomposición de la materia orgánica.

Tiene además de los inconvenientes de los tejidos de yute o otros materiales absorbentes, el problema de que pueden manchar el concreto o deteriorarlo como sucede con aserrín proveniente de maderas con alto contenido de ácido tánico.

## **2. CURADO POR CONTROL DE LA EVAPORACIÓN**

Esta clase de curado tiene por finalidad el impedir o reducir la pérdida de agua por interposición de un medio impermeable, el cual controla la evaporación. A su vez se puede agrupar en:

- Aquellos que utilizan materiales sellantes o compuestos curadores líquidos.
- Los que utilizan el encofrado como medio de cobertura.
- Aquellos que incrementan la velocidad de endurecimiento por utilización de aditivos acelerantes.

### **2.1. Materiales sellantes o compuestos curadores líquidos**

Incluye esta categoría las láminas y los compuestos curadores líquidos que forman membrana.

- **Películas de plástico**

Son livianas y se extienden fácilmente en superficies horizontales; en elementos verticales es más complicada su utilización. La película de plástico debe tener un espesor mínimo de 0.1 mm.

Cuando se precisa un acabado excelente del concreto, como en el caso del concreto arquitectónico "cara vista", el empleo de películas plásticas para el curado puede dar como resultado la aparición de manchas en el concreto debidas a la distribución no homogénea del agua y al movimiento de sustancias solubles en la superficie.

- **Papel impermeable**

Su uso es similar al de las películas de plástico. Cuando se usa papel para cubrir placas debe de proveerse cierta holgura para que sobresalga de las mismas; además, se hace necesario colocar en los bordes materiales pesados (arena, tablas, etc.) para evitar que el viento lo desplace.

- **Compuestos de curado**

Los compuestos líquidos de curado que forman membrana deben cumplir las especificaciones de la Norma ASTM C309 - 81.

Entre las materias primas que se usan normalmente en la fabricación de compuestos de curado se pueden citar: ceras, resinas, caucho clorado y disolvente altamente volátiles. Dichos compuestos deben estar diseñados de tal manera que formen un sello poco tiempo después de haber sido aplicados; además no deben reaccionar con la pasta de cemento.

Normalmente se le adiciona un pigmento de curado, con el fin de provocar la reflexión de los rayos solares; además, el pigmento hace visible el compuesto al aplicador, facilitándole el control de cubrimiento.

Los compuestos que forman membrana normalmente se aplican con fumigadora manual o rociadores mecánicos. Se recomienda aplicarlos en dos capas, la segunda de las cuales debe aplicarse en dirección perpendicular a la primera para garantizar la uniformidad del sello.

El momento óptimo para la aplicación de los compuestos líquidos es aquel en que se observa que ha desaparecido el agua libre de la superficie del concreto, aunque sin demorar la aplicación tanto que el compuesto sea absorbido por los poros superficiales del concreto.

En condiciones ambientales críticas: alta temperatura, baja humedad relativa y vientos fuertes, además de prever la utilización de barreras para el viento y pantallas que proporcionen sombra, se deben combinar el curado con agua con la aplicación del compuesto líquido.

El procedimiento incluye rociar agua continuamente sobre la superficie de concreto por un lapso aproximado de 2 horas y proceder luego a aplicar el compuesto curador líquido.

## **2.2. Los que utilizan el encofrado como medio de cobertura.**

La utilización de los encofrados como medio de cobertura puede proporcionar protección satisfactoria contra las pérdidas de humedad siempre que la superficie expuesta del concreto reciba la cantidad de agua necesaria para que ella encuentre su camino entre el encofrado y el concreto. En este caso el rociado de las caras externas del encofrado contribuye a la protección.

Este método no es el más recomendable en concretos exteriores "cara vista", ya que el material puede no mantenerse lo suficientemente húmedo para ser aceptado.

## **2.3. Aquellos que incrementan la velocidad de endurecimiento por utilización de aditivos acelerantes.**

La utilización de aditivos acelerantes puede considerarse como un método indirecto de curado en la medida que permite reducir el tiempo durante el cual el agua puede evaporarse antes de obtener el concreto una resistencia adecuada. Este empleo de aditivos puede complementarse con procedimientos de curado normales, pero estos últimos no necesitan ser aplicados con un tiempo similar al necesario cuando no se usan aditivos.

### **3. CURADO POR APLICACIÓN ARTIFICIAL DE CALOR**

Son aquellos que aceleran el desarrollo de resistencia por aplicación artificial de calor, mientras el concreto es mantenido en condición húmeda.

Comprende los siguientes procedimientos:

#### **3.1. Curado por rayos infrarrojos**

Este método permite una ganancia de resistencia con mayor rapidez comparada con el caso de curado al vapor. Asimismo la rápida elevación de temperatura inicial no da lugar a disminución de la resistencia final.

Este procedimiento es especialmente usado en la industria de la fabricación de tuberías, siendo la temperatura de operación de 90°C y la ubicación de la fuente de calor el espacio hueco en la tubería.

#### **3.2. Curados eléctricos**

Este procedimiento de curado consiste en hacer pasar una corriente alterna a través del elemento, mediante la utilización de dos electrodos fijos al concreto o colocados sobre la superficie del mismo. El curado es producido por aplicación de calor.

Su costo es alto y su mejor aplicación en **climas fríos**. Puede emplearse para proteger al concreto de las heladas, con pequeño consumo de energía.

### **3.3. Curado al vapor a presión normal**

Esta clase de curado se utiliza para acelerar el desarrollo de la resistencia en las edades iniciales del concreto mediante la saturación del elemento estructural con vapor a presión atmosférica y temperatura por debajo de los 100°C.

Sus ventajas adicionales son las siguientes:

- Los encofrados pueden ser vueltos a usar a intervalos más cortos.
- Los productos de concreto pueden ser almacenados o puestos en servicio a una edad más temprana.
- El trabajo es agilizado por la utilización de áreas menores que aquellas requeridas por curado húmedo.
- Facilita la fabricación de productos coloreados en tonos más encendidos.
- Posibilita la aplicación más económica de secado artificial para la remoción del exceso de humedad de unidades de albañilería.

Los efectos de este curado sobre las propiedades del concreto son:

- La rápida ganancia en compresión, lográndose en 24 horas el 60% de la resistencia a los 28 días.
- En un concreto curado con este método su resistencia final no es tan alta como la de un concreto curado en húmedo por 28 días, siendo el incremento de resistencia evidente hasta los 7 días y tendiendo a disminuir en edades posteriores.

- De forma similar es afectada la resistencia a la tensión.
- El módulo de elasticidad del concreto es afectado de manera similar a la resistencia a la compresión. Pero luego de 180 días de secado el módulo de elasticidad dinámico no parece ser afectado por el tipo de curado.
- La contracción por secado del concreto disminuye por incrementos de temperatura del curado al vapor y también con incrementos en la longitud del tiempo de curado a vapor.
- Puede reducir el escurrimiento plástico del concreto hasta un 50%.
- Aumenta la permeabilidad del concreto con respecto a concretos curados en húmedo, cuando han recibido un curado al vapor por períodos cortos y temperaturas más bajas.
- La resistencia a los procesos de congelación y deshielo es menor que la de concretos curados por procedimiento húmedo.

Este método presenta las siguientes limitaciones:

- En condiciones de alta temperatura tanto el calor como la humedad pueden perderse hacia el exterior si no se tiene coberturas aislantes adecuadas.
- Los problemas ocasionados por la rápida elevación de la temperatura son más pronunciados para relaciones agua/cemento altas y para los cementos de rápido endurecimiento.
- No es pertinente la aplicación directa de los chorros de vapor sobre el concreto o los encofrados. Ya que el vapor será mejor distribuido a través de pequeños chorros, tal como si se tratara de tuberías perforadas.

- El calor de hidratación contribuye a elevar la temperatura del concreto, de tal forma esta última puede subir demasiado y dañar al elemento estructural.

### **3.4. Curado al vapor a alta presión**

En el caso del método por aplicación de vapor a alta presión es necesario contar con cámaras de presión, continuo abastecimiento de vapor húmedo, temperaturas de curado del orden de los 177°C y presiones de vapor de 8.5 kg/cm<sup>2</sup>.

En la realización de este procedimiento debe de tenerse en cuenta lo siguiente:

- La velocidad de calentamiento requerida no debe de ser alta para evitar interferencias con los procesos de fraguado.
- El ciclo de curado debe de tener un incremento gradual de la temperatura máxima en un periodo de tres a cinco horas, seguido de 5 a 8 horas en dicha temperatura y luego una disminución gradual de la presión en un lapso de 15 minutos a una hora.
- Los detalles de ciclo de vaporización varían con las diferentes plantas y el tamaño de los elementos a ser curados.

Los efectos de este curado sobre las propiedades del concreto son:

- Acelera la velocidad de endurecimiento del concreto cuando este contiene cloruro de calcio adicionado.

- Es posible que al utilizar este método se consiga a las 24 horas las resistencias esperadas a los 28 días que sería utilizando un curado húmedo normal. Además al año la resistencia es similar a la de concretos de proporciones equivalentes curados bajo condiciones normales.
- Proporciona un incremento en la resistencia contra el ataque de sulfatos y otros tipos de ataques químicos.
- Reduce la florescencia cuando se elimina la cal que puede deslavar hacia la superficie.
- Reduce la permeabilidad del concreto, no afecta el coeficiente de expansión termal, ni el módulo de elasticidad.
- Se produce un incremento en la resistencia del concreto a la acción destructiva de los procesos de congelación y deshielo.
- Su contracción es muy baja, obteniéndose valores entre los 33% y 15% de los concretos curados a temperatura normal.

Este método presenta las siguientes limitaciones:

- Podría presentarse una reducción de hasta el 50% en la capacidad de adherencia entre el concreto y el acero de refuerzo.
- Los concretos tienden a ser más quebradizos y su color es de apariencia blanquecina.
- Cuando se adiciona puzolana adicionada a la mezcla puede producir la reducción de la resistencia de los concretos.

### **3.7. CURADO DE ELEMENTOS HORIZONTALES**

Podemos denominar como estructuras horizontales a aquellas en las cuales la superficie principal del concreto está en posición horizontal y es grande con relación a la superficie vertical, siendo la dimensión mínima del elemento estructural no mayor de 60 cm. Esta definición incluye losas, pavimentos, veredas, revestimientos de canales, etc.

En el curado inicial de los elementos horizontales deberemos tener ciertas consideraciones:

- Luego de finalizado la colocación del concreto, deberá ser cubierto inmediatamente con un material aprobado como adecuado para el curado.
- Dicho material debe encontrarse cuidadosamente saturado al momento de su colocación, manteniéndose esta condición hasta el momento de ser retirado.
- El material utilizado como cobertura del concreto deberá ser mantenido por lo menos hasta conseguir que el concreto desarrolle su máxima temperatura y empiece a descender.
- Es factible suspender el procedimiento empleado en el curado inicial al final del periodo inicial del curado, siempre que se utilice un sustituto adecuado durante el resto del período de curado.
- Los procedimientos de curado que sustituyen al material absorbente deben de ser aplicados inmediatamente después de la remoción de las coberturas y antes de que la superficie del concreto se llegue a secar.

Para el período de curado final de elementos horizontales tendremos las siguientes consideraciones:

- Es factible mantener la cobertura empleada en el período inicial del curado del concreto.
- Es posible utilizar cualquiera de los procedimientos de curado por cobertura húmeda, tomando las precauciones adecuadas en el caso de **climas fríos**, usando a la vez una protección de las que mencionaremos en el siguiente capítulo.
- La utilización de papel impermeable o cobertura plástica puede ser empleada, colocados y mantenidos en contacto con la superficie del concreto.
- Asimismo podemos utilizar la aplicación de membranas impermeables.
- En todos los casos que hemos mencionado deberemos tener la precaución del caso al emplearlas en climas extremos como el caso de climas fríos, siendo una práctica adecuada la combinación de algún método de protección, para conservar las temperaturas adecuadas del concreto, y conseguir el propósito del curado empleado.

Acerca de la duración periodo del curado, se tomará en cuenta lo siguiente:

- Si la temperatura ambiente es menor de 5°C (temperaturas en climas fríos), es requerido la protección del concreto con la finalidad de mantener su temperatura entre 10 y 21 °C durante el período del curado.
- Por otro lado, si la temperatura es mayor de 5 °C, el dispositivo empleado para el curado final del concreto, deberá permanecer por lo menos 72 horas y el tiempo

adicional requerido, para conseguir que las muestras curadas en obra alcancen la resistencia requerida para el concreto en la edad del ensayo.

- Es factible la utilización de aditivos acelerantes de fragua a fin de reducir el tiempo de curado, cuando sea requerido según la situación del trabajo a realizar, como en el caso de labores en climas fríos.

En el caso de pavimentos, veredas y todas aquellas estructuras horizontales en que sus caras laterales son soportadas por encofrados durante las operaciones de colocación y acabado, deberán ser protegidos por un material impermeable de recubrimiento inmediatamente de la remoción del encofrado, si es que el método de curado empleado para el resto de la estructura es inadecuado para dichas superficies.

### **3.8. CURADO EN ELEMENTOS VERTICALES**

Para este caso mencionaremos a las estructuras que no caigan dentro del concepto anterior de estructuras horizontales. En tal sentido, inmediatamente acabado las operaciones de vaciado, o cuando ellas van a ser suspendidas por más de 3 horas, la superficie del concreto expuesta deberá ser cubierta con una capa doble de un material absorbente completamente húmedo al momento de ser cubierto.

Dicha cobertura deberá de ser mantenida saturada hasta el momento de su remoción, debiendo permanecer colocada por lo menos 96 horas, salvo ensayos que justifiquen otro período de tiempo.

Solo en aquellos casos en que en los elementos de concreto no están sujetos a resistir esfuerzos de flexión; o encofrados que no soportan concretos sometidos a tales esfuerzos, es factible que se pueda desencofrar luego de las 24 horas de vaciado; siendo necesario aplicar a la superficie descubierta algún método de curado mencionado anteriormente. Es aconsejable que el método utilizado tenga una aplicación aproximada de 96 horas como mínimo, obviamente dependiendo de ensayos previos se puede obtener menores periodos de tiempo.

Se recomienda con respecto al período de curado, lo siguiente:

- Para los casos en que la temperatura ambiente sea mayor a los 5 °C, es aconsejable que el curado se realice por lo menos 10 días, siendo los 4 primeros días correspondientes al curado inicial.
- Para los casos en que las temperaturas sean cercanas a los 5°C, es posible extender el período final de curado más allá de los 10 días según sea requerido
- Y en caso de temperaturas menores de 5°C (temperaturas en **climas fríos**), además del método de curado aplicado a la estructura vertical, es necesario la utilización en forma paralela de un método de protección, con la finalidad de que el concreto mantenga una temperatura de 10 a 21°C durante el tiempo que dure el curado del mismo.

Es necesario tomar las medidas adecuadas en la finalización del período del curado, o cuando se retiran los encofrados, con la finalidad de evitar una repentina exposición del

concreto a temperaturas que difieran significativamente de aquellas en las que ha sido curado.

La recomendación anterior debe tomarse en cuenta cuando trabajamos en **climas fríos**, en tales circunstancias la exposición debe ser hecha de manera que permita que la totalidad de la masa de concreto se aproxime gradualmente a la temperatura a la cual va a estar expuesta inmediatamente después del período de curado.

### **3.9. CURADO EN CLIMA FRIO**

El curado en clima frío debe proporcionar protección contra la congelación, sin dejar de tener presente el objetivo principal de retener la humedad durante el tiempo necesario para que la hidratación del cemento llegue a un punto aceptable.

Con el fin de que alcance la hidratación adecuada, el concreto nuevo debe de ser protegido del secado prematuro. Por lo general, deben de tomarse medidas preventivas necesarias a fin de evitar una evaporación excesiva de la humedad de dicho concreto.

Sin embargo, durante el invierno, cuando la temperatura ambiental cae por debajo de los 10°C, las condiciones atmosféricas en la mayor parte de las zonas no provocarán un secado indeseable; pero el concreto nuevo, en condiciones de saturación, resulta vulnerable al congelamiento y, por lo tanto, debe permitirse un ligero secado antes de exponerlo a temperaturas de congelamiento.

A pesar de que el concreto expuesto al clima frío no es susceptible de secarse a una rapidez no deseada, debe prestarse especial atención a aquel concreto que si está protegido, tal como lo mencionamos en la tabla N° 3.1(protección recomendada para el concreto en climas fríos).

Cuando se de el caso de estructuras en que los encofrados permanezcan en su lugar se debe hacer que las superficies adyacentes a éstas sean curadas adecuadamente en clima frío.

Pero las superficies sin encofrado, en particular los pisos terminados, tienden al secado rápido en un recinto cerrado.

Cuando un concreto es calentado a más de 16°C y expuesto a una temperatura ambiental de 10°C, es indispensable que se tomen medidas preventivas a fin de evitar el secado.

Al disminuir la temperatura ambiental a 10°C, el concreto puede ser expuesto al aire dentro de la zona de confinamiento, siempre y cuando la humedad relativa no sea inferior al 40%.

Cuando el clima es extremadamente frío, siempre resulta necesario añadir humedad al aire calentado con el objeto de mantener la humedad relativa requerida.

Por ejemplo, si la temperatura exterior es de -12°C la humedad relativa dentro de recinto calentado puede ser menos que el 20% si no se añade humedad.

Si se emplea curado con agua, éste debe darse por terminado 12 horas antes de finalizar el periodo de protección de la temperatura del concreto, y deberá permitirse que el

concreto seque antes y durante el periodo de ajuste gradual a las condiciones de clima frío ambiental que se menciona en la línea 5 de la tabla N°2.

Generalmente una vez removida la protección para conservar la temperatura, no se requiere ningún procedimiento especial para evitar la evaporación excesiva, en tanto la temperatura ambiental permanezca por debajo de los 10°C.

Una excepción a esto constituyen los concretos colocados en regiones extremadamente áridas. Cuando el concreto a 20°C queda expuesto al aire con una temperatura de 10°C, y una humedad relativa menor al 40%; o el concreto a 10°C con una temperatura ambiental de 5°C y una humedad relativa menor al 60%; el secado será excesivo.

Cuando la temperatura del concreto ha caído a 5°C, una temperatura ambiental de 5°C, con una humedad relativa del 11% puede ser tolerada.

En tales regiones el concreto puede ser curado con agua cuando no se espera congelamiento inmediato; y ocurre un secado excesivo. De lo contrario, el procedimiento preferido es el empleo de compuestos para "curado" o de una cubierta impermeable. A temperaturas superiores de a los 10°C, el secado aumenta con rapidez.

Durante el periodo invernal, en el cual se presenta el congelamiento, las temperaturas extremas ocasionales, superiores a los 10°C, no deben ser motivo de preocupación ni ser un índice de mejora en las condiciones ambientales. Sin embargo, cuando se presentan temperaturas superiores a los 10°C durante más de la mitad de horas de un periodo de

24 horas, ya no debe considerar al concreto como concreto de invierno y debe aplicarse una práctica de curado normal.

A pesar de que el concreto expuesto a climas invernales no seca rápidamente la aplicación de un compuesto para curado reduce el secado y, por lo tanto, mejora las condiciones de curado. Si se aplica dicho compuesto durante el primer periodo de temperatura superior al punto de congelación después de que se ha retirado la protección, se elimina la necesidad de efectuar operaciones adicionales de curado si la temperatura se llegara a elevar por encima de los 10°C.

### **3.9.1. PROCEDIMIENTOS DE CURADO RECOMENDADOS**

La pérdida de humedad que experimenta el concreto una vez colocado en el encofrado o cubierto con aislamiento, raramente puede afectar al curado.

Sin embargo, en invierno se requiere un curado húmedo para compensar la pérdida de humedad cuando se emplean coberturas calentadas. Cuando se usa aire caliente, es de suma importancia que se suministre mucha humedad al concreto.

La técnica preferida consiste en utilizar **vapor**, tanto para el calentamiento como para evitar la evaporación excesiva.

Descargar vapor vivo dentro de una carpa cubierta constituye un excelente método de curado por cuanto aporta al concreto tal como hemos mencionado humedad y calor. El vapor resulta especialmente práctico en tiempos extremadamente fríos, debido a que la humedad aportada elimina el secado rápido que ocurre cuando se calienta aire muy frío.

El curado inmediato, utilizando un **compuesto líquido** del tipo formador de membrana, puede ser utilizado dentro de carpas calentadas. Sin embargo, es preferible efectuar primeramente un curado húmedo (no debe aplicarse sino hasta que se ha terminado el uso del vapor) y aplicar la membrana de curado una vez retirada la protección y cuando la temperatura ambiente es superior a la de congelación. El calor liberado durante la hidratación del cemento, compensa en medida considerable la pérdida de calor durante las operaciones de terminado y curado inmediato.

Cuando se utiliza un **calor seco**, el concreto debe estar cubierto con un material impermeable, o con un compuesto para "curado" que cumpla con los requisitos de la norma ASTM C309

El calor puede mantenerse en el concreto mediante fieltros de aislamiento comerciales o de algodón. La eficiencia de un aislamiento puede determinarse colocando un termómetro debajo de la misma, en contacto con el concreto para poder realizar así un monitoreo de la misma.

Si la temperatura cae por debajo del mínimo admitido, debe agregarse una aislación adicional. Las esquinas y bordes del concreto son más vulnerables a la congelación y deben controlarse para determinar la efectividad de la protección.

Es posible obtener recomendaciones sobre la cantidad necesaria de aislamiento para protección del concreto a distintas temperaturas, directamente de los fabricantes de dichos materiales o tomando como referencia la norma ACI 306-65.

Se puede **curar con agua**. Pero el curado con agua es el método menos deseable, dado que en climas extremadamente fríos, ocasiona problemas de formación de hielo donde el agua se filtra de los recintos o donde existe un sellado deficiente. De la misma forma, incrementa la posibilidad de que el concreto congele en condiciones próximas a saturación, una vez que se remueve la protección.

### **3.9.2. PERIODO DE CURADO**

Luego de colocado, el concreto debe mantenerse a una temperatura adecuada hasta que alcance una resistencia suficiente como para soportar la exposición subsiguiente a temperaturas bajas y cargas de servicio anticipadas, sin que produzca una reducción significativa de su resistencia final.

Por razones de durabilidad, el concreto debe de mantenerse a la temperatura indicada tal como se indica en la tabla N°2 (renglón 1) por el lapso indicado en la tabla N°3 (protección recomendado para concretos en climas fríos).

Para que se desarrolle la resistencia necesaria que pueda soportar las cargas previstas, el criterio del ingeniero debe basarse en su experiencia en casos similares y apoyándose en

ensayos de resistencia de probetas en situaciones similares en la obra a realizar; los cuales deben de ser curados en las mismas condiciones que el elemento principal.

Los tiempos de curado y protección varían en función del tipo y cantidad de cemento, empleo de acelerantes, forma y tamaño de las masas de concreto, resistencia requerida y destino de la estructura antes de alcanzar la resistencia especificada (tal como lo podemos observar en las tablas N°2, N°3 y N°4).

#### **4.0. EVALUACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DEL CURADO**

Aunque debido al gran número de variables es difícil establecer cuál de los procedimientos es más efectivo, se acepta que la aplicación directa y continua de agua sobre el concreto produce los mejores resultados; sin embargo para casos de climas fríos, el uso del agua como hemos mencionado anteriormente constituye un riesgo potencial debido a la formación de hielo.

Sin embargo, solo en condiciones ideales se logra continuidad en el curado con agua, aunque permite una ganancia adicional de resistencia, propicia la aparición de fisuras y reduce la durabilidad del concreto.

Ante este hecho, los compuestos líquidos de curado que forman membrana surgen como la alternativa adecuada para aplicarlos en climas fríos con mayores ventajas:

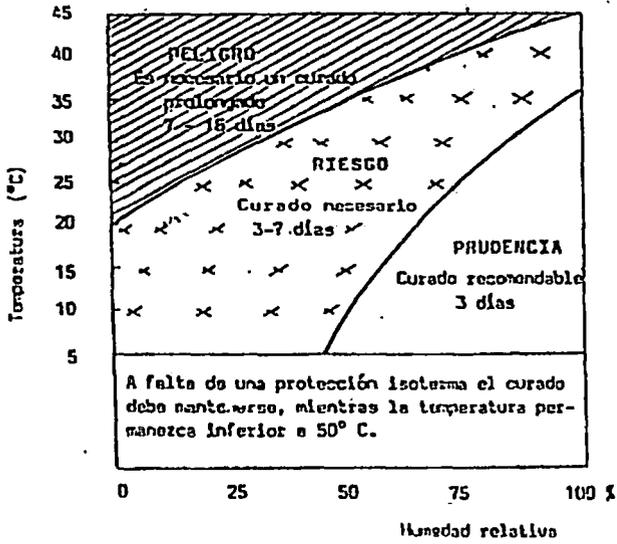
- Baja pérdida de agua por evaporación.
- Facilidad de aplicación
- Disminución de los costos (mano de obra y consumo de agua).
- Ideal para sitios con deficiente suministro de agua.
- Producción de concreto más durable.
- Superficies de concreto libres de descascaramientos y resistentes al desgaste.
- Pisos de concreto que no desprenden polvo.

#### **4.1. CUANDO FINALIZAR EL CURADO**

Un curado prolongado del concreto conduce normalmente a la obtención de resistencias mecánicas mayores que las que se obtienen con periodos más cortos de curado. Desde el punto de vista práctico, siete días es el tiempo de curado recomendable para la generalidad de las estructuras. Sin embargo, ante condiciones climáticas adversas puede ser necesario prolongar el curado por encima de los siete días, condición, además, deseable cuando se fabrican concretos de alta resistencia.

La figura N°5 relaciona la temperatura ambiente y la humedad relativa con el periodo de curado recomendable. Sin embargo, cualquier recomendación debe ser complementada con los datos obtenidos de experiencias anteriores en la fabricación de concreto en la zona y del conocimiento de los materiales característicos de la región.

**FIG.5.** Tiempos de curado mínimos recomendables de acuerdo con la temperatura y la humedad del medio ambiente.



**Fuente:** Revista de Información Profesional "El Ingeniero Civil" ( N°54, 1988 )

Artículo: Curado del Concreto

# CAPÍTULO III

## PROTECCIÓN DEL CONCRETO CONTRA EL CONGELAMIENTO

# 1. INTRODUCCIÓN

Cuando el concreto se hace con materiales helados y se mantiene en un ambiente helado, no llega a tener prácticamente ninguna resistencia, de tal manera que la necesidad de protección y requisitos especiales es evidente.

El concreto hecho en clima frío necesita protección especial de los lugares en que se coloca, de los materiales que se emplean y de la temperatura y condiciones de curado.

La protección del concreto debe de proporcionarse inmediatamente después de la colocación del mismo, con el fin de asegurarse de que no sufra congelamiento antes de que haya sido posible instalar la protección.

El concreto encofrado y/o adecuadamente protegido por coberturas adecuadas cuando las temperaturas sean menores a 10°C y nos encontremos en situaciones de clima frío pierde rara vez su humedad en una forma tal que afecte su calidad final, la protección del concreto realizada correctamente mantiene una adecuada temperatura que impide la pérdida de calor y/o se evapore el agua del concreto; siendo necesaria en tal sentido la utilización de un método de curado adecuado para el trabajo a realizar en estas condiciones, tal como lo mencionamos en el capítulo anterior. Por lo tanto hacemos hincapié en que cuando hablemos de concreto en climas fríos, el concepto de curado y protección del concreto van ligados para poder obtener el éxito de los trabajos a realizar.

**PROTECCIÓN RECOMENDADA CONTRA EL CONGELAMIENTO DEL  
CONCRETO COLOCADO EN CLIMA FRÍO**

**TABLA N° 3**

Categoría del servicio	Protección recomendada en la temperatura que se indica en la línea 1, tabla N° 2 ( días )			
	Contra daño por congelamiento temprano **		Para resistencia temprana con respecto a la categoría de su servicio	
	Cemento del Tipo I y II	Tipo III, acelerante o 20% extra de cemento	Cemento del Tipo I y II	Tipo III, acelerante o 20% extra de cemento
1. Sin carga, sin exposición	2	1	2	1
2. Sin carga, expuesto	3	2	3	2
3. Carga parcial, expuesto	3	2	6	4
4. Carga completa, expuesto	3	2	Ver tabla siguiente	

\* Clima susceptible de tener una temperatura media diaria inferior a los 5°C

\*\* El concreto masivo requerirá una protección más extensa contra el agrietamiento térmico con contracción y, cuando el contenido de cemento es bajo, requerirá una protección más extensa hasta que el concreto alcance una resistencia de 35 kg/cm<sup>2</sup>

**Fuente:** Normas ACI 306R (tablas 5.1 - 5.3)

Esta protección necesaria para evitar el congelamiento temprano deberá realizarse inmediatamente luego de la colocación del concreto. Por lo tanto esta labor debe de planificarse con anterioridad.

Se ha demostrado que cuando no hay fuentes externas de agua para el curado, el concreto que ha obtenido una resistencia de  $35 \text{ kg/cm}^2$  no resultará dañado por un ciclo de congelamiento y deshielo.

Los valores presentados en la tabla anterior correspondiente a la columna izquierda corresponden a un periodo mínimo de protección para evitar el daño en un ciclo de congelamiento-deshielo temprano y por lo tanto aseguran que no afectarán su durabilidad última del concreto. Se entiende que estos cortos periodos iniciales han de ser seguidos de un adecuado período de curado, tal como mencionamos anteriormente, el cual garantice que se ha de alcanzar la resistencia requerida, y que el concreto no ha de estar sujeto de condiciones de congelación en estado de saturación antes de lograr adquirir la resistencia esperada.

Pero cuando hay requerimientos de resistencia temprana, es necesario extender el periodo de protección más allá de la señalada en la columna izquierda, tal como se especifica en la columna derecha de la tabla anterior (Para resistencias tempranas con respecto a la categoría de su servicio).

Asimismo ha de tenerse presente que la temperatura del concreto determina la efectividad de la protección, independiente de la temperatura del aire o de si es

durabilidad o resistencia. Las esquinas y ángulos del concreto son más vulnerables a congelación y generalmente son más difíciles de mantener a la temperatura requerida; en tal sentido, surge la necesidad de medir su temperatura, monitorearla y evaluarla, para poder verificar la efectividad de la protección empleada.

### **Tipos de Categoría de Servicio:**

**Sin carga, sin exposición.** Se refiere a cimientos y subestructuras que no están sometidos a cargas tempranas, y estarán profundamente enterrados en el suelo o tapados, es decir no sufrirán congelamiento y deshielo durante su vida de servicio.

**Sin carga, expuesto.** Se refiere a estructuras que tienen superficies expuestas al congelamiento durante su vida de servicio, pero no tienen requerimientos de grandes resistencias tempranas (pilas masivas y presas)

**Carga parcial, expuesto.** Se refiere a estructuras expuestas al clima que pueden estar sometidas a pequeñas cargas tempranas en comparación con sus resistencias de diseño; y tendrán la necesidad de desarrollar resistencias adicionales antes de la aplicación de las cargas de diseño.

**Carga completa, expuesto.** Se refiere al concreto estructural, que requiere apoyos de construcción temporales a fin de resistir las cargas de construcción. Los requerimientos de protección se describen a continuación.

## REQUISITOS PARA CONCRETOS ESTRUCTURALES

Para el concreto estructural en el cual se necesita obtener una resistencia de diseño antes de proceder a retirar con seguridad los encofrados y puntales (ejemplos típicos de esta clase de concreto son las losas, vigas y pisos), se debe de permitir un tiempo de protección superior al mínimo indicado en la tabla anterior, debido a que estos tiempos no son adecuados para ganar la adecuada resistencia. Los tiempos en que retiraran los encofrados y puntales dependerán de un estudio de la resistencia del concreto en el lugar donde se realizan las labores. A continuación damos un cierto criterio que se puede tomar en cuenta, pero como hemos dicho el concreto se comporta en cada lugar de diferente manera por eso es necesario un estudio previo in situ.

### DURACIÓN DE LA PROTECCIÓN RECOMENDADA PARA EL PORCENTAJE DE RESISTENCIA REQUERIDO EN CLIMA FRÍO CONCRETO ESTRUCTURAL

TABLA N° 4

Porcentaje de la resistencia de diseño $f'c$ requerido	A 10°C, días			A 21°C, días		
	Tipo de cemento			Tipo de cemento		
	I	II	III	I	II	III
50	6	9	3	4	6	3
65	11	14	5	8	10	4
85	21	28	16	16	18	12
95	29	35	26	23	24	20

Los datos de esta tabla proceden de concretos con resistencias de 210 a 350 kg/cm<sup>2</sup> después de 28 días de curado de 21+- 1.7°C. Se consideró esta resistencia a los 28 días, para cada tipo de cemento, como el 100% en la determinación del tiempo necesario para alcanzar diversos porcentajes de esta resistencia a 10 y 21°C durante el curado. Deben de obtenerse los valores específicos con materiales y mezclas de la obra.

**Fuente:** Norma ACI 306R (tabla 6.8)

## CAIDAS DE TEMPERATURA LUEGO DEL RETIRO DE LA PROTECCIÓN

Cuando se finaliza el periodo de protección, debe de enfriarse el concreto gradualmente con la finalidad de minimizar las distintas deformaciones inductoras de agrietamiento entre el interior y el exterior de la estructura. Dichas caídas de temperatura no deben de exceder los valores de la siguiente tabla.

Para tal fin, se puede conseguir reduciendo lentamente las fuentes de calentamiento, o al permitir que el aislamiento permanezca hasta que el concreto haya alcanzado el equilibrio térmico con la temperatura ambiental del exterior, sin embargo cuando se emplean encofrados aislantes pueden presentarse algunas dificultades con la baja de temperatura en la superficie del concreto. Una buena solución en este caso puede resultar, que al retirar el encofrado se cubra al concreto con hojas de polietileno para ayudar a aliviar el problema momentáneamente al dejarse cierta circulación de aire.

**TABLA N° 5**

<b>Baja de temperatura máxima permisible durante las primeras 24 horas después de la finalización del periodo de protección</b>			
<b>Tamaño de la sección, dimensiones mínimas</b>			
<b>&lt; 30 cm</b>	<b>30 a 90 cm</b>	<b>90 cm a 1.80 m</b>	<b>&gt; 1.80 m</b>
<b>28°C</b>	<b>22°C</b>	<b>17°C</b>	<b>11°C</b>

**Fuente:** Norma ACI 306R (tabla 5.5)

En el caso de concretos estructurales el ingeniero debe determinar y especificar la resistencia requerida del concreto en obra, con la finalidad de permitir el retiro del encofrado y puntales. Con tal fin es valido el realizar pruebas adecuadas a las probetas de concreto curados en obra o del concreto en la obra

## 2. MATERIALES AISLANTES

Un aislante térmico deberá ofrecer una buena resistencia a la transmisión del calor; en la realidad, no existen aislantes perfectos, sino malos conductores del calor y capaces de frenar la intensidad de un flujo térmico.

Por tal motivo la principal característica de los materiales de aislamiento térmico es que deben tener un coeficiente de conductividad térmica lo más bajo posible.

El material aislante debe ser mal absorbente de la humedad. La humedad reduce de modo apreciable las propiedades del aislamiento térmico de la mayoría de los materiales aislantes, debido a que la humedad tiene un valor de conductividad térmica bastante elevado a temperaturas normales.

El grado de absorción de agua viene regido en gran parte por la naturaleza química del aislante y, en parte por la naturaleza de la estructura celular interna del material aislante.

De tal sentido las propiedades del aislamiento térmico aumentan con el número de oquedades lo que, por supuesto, reduce la resistencia del material.

Es importante que los materiales de aislamiento térmico tengan un costo bajo y sean de fácil utilización. La mayoría de materiales para el aislamiento térmico se producen en masa y sus precios en tal forma se encuentran fijados por condiciones económicas rígidas. Cabe mencionar que los materiales para aislamiento térmico de alto vacío

contienen intrínsecamente poco material apreciable (en su mayor parte aire) y de este modo el costo principal es el de fabricación, transporte y gastos generales fijos.

Todos los materiales de aislamiento térmico tienen que ser producidos en fábricas y luego llevados al lugar deseado para ser incorporados a la construcción con excepción de la espuma de formaldehído de urea y espuma de poliuretano que pueden producirse "in situ".

Debido a que la mayor parte del calor de la hidratación del cemento se genera durante los 3 primeros días, es posible no ser necesario el calentamiento mediante fuentes externas con la finalidad de evitar el congelamiento, si es que se consigue retener el calor generado. Para tal fin el calor generado por la hidratación puede ser retenido al usar mantas aislantes en las superficies no encofradas y usando encofrados aislantes. Para que el uso del aislamiento sea efectivo debe mantenerse en contacto con el concreto o con la superficie del encofrado.

Los aislantes pueden clasificarse de muchas formas:

- Según su estructura: granular, fibrosa, alveolar, etc.
- Según su origen: vegetal, mineral, etc.
- Según su resistencia en las diferentes zonas de temperatura.

Algunos de los materiales aislantes que más se acostumbran a usar para la protección del concreto contra el congelamiento son los siguientes:

## **2.1. HOJAS DE ESPUMA DE POLIESTIRENO**

El poliestireno, conocido desde 1930, es una de las más antiguas resinas termoplásticas de síntesis. Es un derivado del benceno que proviene de la destilación de la hulla o del petróleo.

El poliestireno expandido es uno de los materiales de aislamiento más utilizados en estos días, debido a que es uno de los materiales de aislamiento de alto vacío más barato. El poliestireno expandido nació en Alemania en 1951, bajo el nombre de Styropor.

La espuma de poliestireno expandido forma una estructura celular cerrada y sin ninguna comunicación entre las cavidades alveolares. Como consecuencia de esto, es un material esponjoso pero no absorbente. Es un material sumamente ligero y su manipulación es por lo tanto sencilla, tanto en lo referente al cortado como a la fijación.

Pertenece al grupo de los plásticos celulares; y tiene las siguientes propiedades:

- a) Este material tiene una conductividad térmica muy baja debido al hecho de que los poros del material están completamente cerrados.
- b) El material tiene una excelente rigidez y buena relación de resistencia/peso.
- c) La penetración de agua es baja.
- d) El material tiene excelentes propiedades a bajas temperaturas y una buena resistencia dieléctrica.

Según los fabricantes indican que los límites de empleo varían entre los -200°C a +85°C, pero es necesario verificarla de acuerdo al tipo de producto que se emplea.

Las hojas de espuma de poliestireno pueden ser recortadas en la forma necesitada y fijarse entre los pernos de los encofrados, clavarse, o colocarlas en el lugar preciso por medio de pegamento.

Con adhesivos apropiados, las hojas de poliestireno pueden adherirse entre sí o a cualquier otro material (hierro, vidrio, etc.). Los adhesivos a utilizar con el poliestireno expandido no deben contener demasiado disolvente, pues éste tiende a atacar el plástico; es mejor utilizar un adhesivo tipo látex o adhesivos comerciales tales como el acetato de polivinilo, estireno/butadieno, resinas epoxídicas endurecidas en frío, etc.

## **2.2. ESPUMAS AISLANTES**

La espuma se puede utilizar rociándola en la parte exterior de los encofrados con el objetivo de formar una capa aislante continua. La espuma de urea debe, a su vez, ser rociada con un esmalte para exteriores, a fin de evitar virtualmente la absorción de agua y protegerla del efecto dañino de los rayos ultravioleta.

Es necesario que el empleo de este tipo de espuma se utilice con precaución, debido a que, cuando entra en contacto con el fuego, genera gases sumamente tóxicos. En el caso de espumas podemos mencionar a dos de las más usadas como:

### **a) ESPUMA DE UREA FORMALDEHIDO**

Conocido como espuma plástica aislante, se trata de una resina de formaldehido de endurecimiento en frío. Pertenece al tipo de las denominadas de espumación "in situ", es conocido en Alemania con el nombre de "espuma aislante"; y en Francia con el de "nieve plástica".

La espuma plástica aislante se forma en el lugar donde tiene que ir colocada. Para lo cual se utiliza un aparato consistente en un compresor, dos recipientes y una pistola de inyección. Del extremo de la pistola fluye una espuma blanca que parece nata y que se solidifica al cabo de pocos minutos.

La urea y la melamina son capaces de reaccionar con el formaldehido para formar un material plástico que está en completa forma de resina en su estado final y, como tal, totalmente "termoestable".

En la práctica, el proceso de fabricación se interrumpe a media etapa y se produce el resol formaldehido de urea. Para producir la resita de formaldehido de urea en la media etapa o etapa resol, se mezclan cerca de 60 partes de urea con 200 partes de formaldehido acuoso al 30% que se neutraliza con el hidróxido de sodio a un ph 7 o ligeramente superior. La mezcla se mantiene en ebullición durante cerca de 10 minutos y se agregan 0.26 partes de ácido acético. Después de un nuevo calentamiento durante 2 ó 3 y horas se obtiene un líquido viscoso.

Este líquido se transporta a pie de obra y se coloca en uno de los dos cilindros de la máquina de inyección. El segundo cilindro se llena con una mezcla de catalizador, corrientemente ácido cinámico o sus ésteres, y un detergente disuelto en agua. Se deja que se junten finos chorros de los dos líquidos e inmediatamente se montan en espuma. Esta espuma se inyecta a través de una boquilla y tiene aproximadamente la misma consistencia que la crema de afeitar. La espuma se solidifica casi inmediatamente por la transformación de la estructura resol de formaldehído de urea en la forma de resita. Una vez que se ha evaporado el agua, queda situada en su lugar una espuma sólida seca, porosa e hidrofugante que tiene una proporción de vacío muy elevada y poros muy pequeños. Actuando como una capa excelente de aislamiento térmico.

Esta espuma plástica más que un producto, es una nueva técnica de aislamiento que permite solucionar de una manera fácil problemas que hasta ahora eran difíciles de llevar a término. La aplicación de esta espuma corre siempre a cargo de equipos especializados. Los cuales además del material de inyección, poseen andamios móviles que les permiten el acceso fácil a cualquier estructura.

## **b) ESPUMA DE POLIURETANO**

Los poliuretanos fueron puestos a punto por los alemanes en 1937 para competir con las poliamidas americanas. Se pueden obtener espumas flexibles y espumas rígidas.

Los poliuretanos son plásticos hechos de isocianatos y poliésteres. La química de los poliuretanos es compleja, ya que sus reacciones se producen simultáneamente. No

existe una composición bien definida para el poliuretano expandido, pero, por el contrario, hay una gran variedad de fórmulas para aplicar según las necesidades.

Los isocianatos son muy reactivos las reacciones se inician y controlan por medio de catalizadores. Para su iniciación se requiere muy poco o nada de calor.

Los poliésteres principalmente utilizados para las espumas de poliuretano son los de glicol etileno y ácido adípico. Los dos isocianatos empleados para la producción de la espuma son el di-isocianato de totileno y el di-isocianato-difenil metano. Se produce mezclando conjuntamente los líquidos con un catalizador, tal como una de las aminas terciarias, dejando que se produzca una rápida y enérgica reacción exotérmica.

Las espumas se producen por liberación de dióxido de carbono durante la descomposición de los grupos isociato. El grado de gaseación depende de la velocidad del calentamiento que tiene lugar siendo posible alcanzar temperaturas de hasta 130° a 140°C en la parte central de algunas espumas. Cuando se agregan los productos químicos del uno al otro se requiere un control de medición extraordinariamente exacto y se precisa colocar los materiales en los moldes antes de que hayan endurecido demasiado.

La espuma de poliuretano puede producirse en fábricas y tiene poros incluidos (esta es la que se utiliza para la fabricación de paneles). Asimismo la espuma puede también rociarse "in situ", tal como se propone en el caso de concretos en climas fríos, utilizando una unidad pulverizadora portátil con dispositivos de medición de los reactivos. Empleando un tipo de pistola de pulverizar se puede aplicar una capa de espuma de 3/4" de espesor de densidad comprendida entre 48 y 64 kg/m<sup>3</sup>. Empleando

un método por el cual las cédulas cerradas del material se rellenan de hidrocarburos de cloro y fluor, se han podido obtener valores más bajos de conductividad.

El material tiene una naturaleza impermeable, y los cambios de temperatura se dan durante su endurecimiento.

Es un excelente aislante térmico, resistente al hielo. El poliuretano no es combustible más que en contacto directo con la llama y en presencia de oxígeno abundante.

Para conseguir que el poliuretano se volatice, es necesario la presencia de vapor de agua y a una temperatura superior a los 150°C

### **2.3. MANTAS DE ESPUMA DE VINILO**

Este material consiste en mantas flexibles de espuma de vinilo con un lado recubierto con vinilo extruido. Es factible que para obtener calor adicional se pueda también colocar alambres eléctricos incorporados en la espuma. Las mantas no eléctricas se pueden conseguir en rollos de ancho estándar. En el caso de utilizarse mantas eléctricas deben de mandarse hacer por pedido.

Las espumas de vinilo están hechas de mezclas de acetato de polivinilo, cloruro de polivinilo y plastificantes. Esta mezcla es colocada en un container cerrado y se somete a una presión comprendida entre los 7 y 56 kg/cm<sup>2</sup> de dióxido de carbono o de un hidrocarburo de cloro o fluor. La mezcla de resina absorbe gas, siendo ayudado este proceso de absorción por un determinado número de placas separadoras en el interior

del recipiente. La espuma se produce cuando la mezcla comprimida gas/resina se libera. El material luego se vulcaniza en moldes cerrados a una densidad final muy baja.

Debido a su considerable resistencia a la compresión y de la naturaleza no desmenuzable de su superficie, se pueden obtener mantas, las cuales como hemos mencionado utilizaremos con el propósito de proteger al concreto contra el frío, aunque su utilización de este material es aprovechada de muchas maneras en la industria de la construcción no es propósito de esta tesis mencionarlas.

La característica de la espuma de vinilo que conforman a las mantas tiene límites de temperatura para su trabajo, por debajo de  $-25^{\circ}\text{C}$ , las espumas sufren un envejecimiento acelerado y su límite superior se sitúa en los  $70^{\circ}\text{C}$ .

Este material no tolera la combustión y es extraordinariamente resistente al ataque por acción química. La permeabilidad al vapor es excepcionalmente baja y por lo tanto no se requiere sellado especial de vapor. En tal motivo se puede mencionar que al elaborar paneles con este material, en la industria de la construcción se le esta utilizando como encofrado permanente en ciertas construcciones.

## **2.4. FIBRAS DE CELULOSA O LANA MINERAL**

Por lo general, la lana mineral o las fibras de celulosa (fibras vegetales), son cubiertas por gruesos forros de polietileno para formar grandes mantas o rollos. En algunas ocasiones a los forros de plástico se les da un acabado superficial rugoso, a fin de

reducir el riesgo de deslizamiento cuando son colocados. Este material puede ser utilizado en forma extendida para cubrir losas o plegados para envolver a otros elementos.

- **FIBRAS MINERALES**

Se agrupan normalmente en:

La fibra de amianto.

La fibra o lana de vidrio.

La fibra o lana de roca.

La fibra de amianto es una fibra natural que se encuentra en la naturaleza.

La lana de roca se elabora, con frecuencia, a partir de escoria de altos hornos. En el momento de la fusión de la escoria se añaden rocas seleccionadas, con el fin de obtener ciertas cualidades en el producto final.

La lana de vidrio necesita la fusión de una composición vítrea particular, especialmente adaptada al problema del fibrilado.

**a) FIBRA DE AMIANTO**

El amianto, conocido desde la antigüedad, es una fibra mineral natural obtenida por trituración de una roca eruptiva cristalizada.

En el comercio, el amianto se encuentra bajo cuatro formas:

La fibra bruta (triturada ligeramente en la mina), la fibra triturada, la fibra abierta, la fibra cardada.

El amianto puede a su vez ser rociado, para lo cual se compone de fibras de amianto tratadas especialmente las cuales se hallan en suspensión en agua y se rocían por medio de una pistola de chorro múltiple en las superficies deseadas, permanece en estado plástico durante unas dos horas, en cuyo tiempo puede ser aplanado o modelado según se necesite. Después de ocho horas se convierte en una protección permanente.

El amianto también es utilizado en forma de paneles.

#### **b) LANA DE VIDRIO**

Es un material algo similar a la lana de roca, se produce de una composición especial de vidrio de sosa suave, es un buen aislante térmico y absorbente acústico. Trataremos mas detalladamente sobre este material en el siguiente capítulo.

#### **c) LANA MINERAL**

La lana mineral, llamada también lana de roca es un mineral fibroso hecho a partir de la diabasa mineral que es una roca ígnea muy dura de composición bastante constante.

El mineral se funde a una temperatura muy elevada en un horno de reverbero y luego se extrae por estirado en minutas fibras delgadas mediante una máquina de hilar. La superficie de la lana mineral se trata con una mezcla de aceite y resina fenólica, que

tiene un ángulo de contacto capilar bastante superior a  $90^\circ$  y de este modo es fuertemente hidrofugante. Debido a su naturaleza inorgánica el material no puede ser atacado por insectos ni puede pudrirse. Es muy resistente al fuego y puede cortarse y conformarse con facilidad.

La conductividad térmica de la lana mineral depende de su densidad y de la finura de sus fibras.

Aunque la lana de roca misma no afecta a la velocidad de corrosión de los objetos de hierro o acero en contacto con ella, se ha encontrado que los objetos de acero que están metidos en un material fibroso tal como la lana de roca, tienen tendencia a corroerse más rápidamente que lo harían en el aire, a causa de la aireación parcial.

Una propiedad importante de la lana de roca y otros materiales fibrosos delgados, es la resistencia a la microconvección.

Cabe mencionar que la lana mineral la podemos encontrar en distintas formas como: lana suelta, en forma de fieltro, como planchas y en la forma de mantas propuesta para la protección del concreto.

En la forma de mantas la lana mineral es unida toda ella mediante una envoltura de materiales diversos, tales como tela metálica, papel para construcción impermeable, polietileno, la envoltura usada asimismo sirve para facilitar el manipuleo de la lana ya

que en forma suelta tiende a irritar la piel de la persona que la manipulea en su instalación.

- **FIBRAS DE CELULOSA**

La celulosa es una sustancia que en unión de otra llamada lignina constituye el principal componente de las paredes celulares de los vegetales, insoluble en el agua, alcohol y éter. La celulosa que constituye la mayor parte del tejido de las plantas, en el caso de la industria de la construcción cuando hablamos de estas fibras nos referimos generalmente como fibras de madera, debido a que la madera se compone esencialmente por celulosa (entre el 40 y 60%).

La lana celulósica es una fibra artificial que se obtiene partiendo de celulosas muy puras, por un procedimiento análogo al empleado para la seda artificial.

La madera utilizada para la elaboración de fibras aislantes no tiene, por su naturaleza o por su forma, valor constructivo; son desechos de aserradero, costeros y madera de monte bajo. En el caso de la madera, la mejora constante de sus propiedades mediante tratamientos de toda índole, así como el uso de moderna maquinaria, ha hecho que continúe siendo uno de los materiales más usados.

La madera al principio es cortada en astillas de forma paralelepípeda, después es desfibrada mecánicamente entre dos cilindros acanalados en presencia de vapor, de forma que se ablanden los ligantes de la madera. La masa fibrosa es refinada y después

se le incorporan ligantes necesarios para la cohesión del producto acabado. En este estado la pasta es tratada, de forma diferente, según el producto elegido.

La operación de afieltrado consiste en entremezclar las fibras en todos los sentidos para dar homogeneidad al producto.

Cabe mencionar el caso en que las fibras de madera son utilizadas para confeccionar tableros aislantes; los cuales pueden ser usados como encofrados para estructuras requeridas.

## **2.5. PAJA**

La paja sigue siendo el material popular usado, debido a que es fácil de encontrar y su costo es mínimo; sin embargo no es tan efectiva como las mantas o los tapetes antes mencionados.

La paja viene a ser la caña de las plantas gramíneas, seca y separada del grano; tal como el trigo, cebada, etc. La paja también es definida como el tallo delgado o parte pequeña de una hierba.

Presenta algunas desventajas tales como:

- Su voluminosidad
- Su inflamabilidad

- La necesidad de protegerla de la humedad

En el caso de la paja, se pueden utilizar lonas alquitranadas, películas de polietileno plástico o papel impermeable como recubrimiento protector con objeto de disminuir las infiltraciones de aire, y de mantener la paja seca y en su lugar.

## **2.6. MANTAS O AISLAMIENTOS POR TELAS DE ALGODÓN**

El algodón es una planta malvácea, cuyo fruto contiene de quince a veinte semillas, envueltas en una borra o fibra muy larga y blanca, de celulosa pura, las propiedades textiles de la pelusa que envuelve la semilla del algodón han sido conocidas desde tiempos muy remotos, es así que con los avances de la tecnología se han llegado a producir aislantes térmicos de algodón.

Las mantas comerciales o los aislamientos confeccionados con telas de algodón, requieren de protección contra el viento, la lluvia, la nieve u otro tipo de humedad, para tal fin se suele cubrir con un material impermeable, tal como mencionamos anteriormente sino se vería afectada su capacidad aislante.

Podemos agregar que es recomendado el uso del material de células muy estrechas debido a su resistencia a la humedad, que lo hace un mejor aislante.

**Tabla N°6**

**Valores de la resistencia térmica de algunos materiales aislantes**

<b>Material Aislante</b>	<b>Resistencia Térmica ( R )</b> para materiales con un espesor de 10 mm*
	<b>°C / ( W/m<sup>2</sup> )</b>
<b><u>Paneles y planchas</u></b>	
Poliuretano expandido (R-11 exp.)	0.438
Poliestireno expandido extruido(R-12 exp.)	0.347
Poliestireno expandido extruido, liso	0.277
Fibra de vidrio, unida orgánicamente	0.277
Poliestireno expandido, esteras moldeadas	0.247
Fibra mineral con adhesivo resinoso	0.239
Panel de fibra de vidrio con fieltro húmedo	0.204
Recubrimiento, densidad regular	0.182
Vidrio celular	0.182
Cartón laminado	0.139
Paneles de conglomerados (baja densidad)	0.128
Triplay	0.087
<b><u>Mantas</u></b>	
Fibra mineral, formas fibrosas procesadas a partir de roca, escoria o vidrio	0.224
<b><u>Relleno suelto</u></b>	
Fibra de madera, maderas suaves	0.231
Fibra mineral (roca, escoria o vidrio)	0.173
Perlita (expandida)	0.187
Vermiculita (expandida)	0.152
Aserrín o viruta	0.154

**Fuente:**

\* Valores del ASHRAE Handbook of Fundamentals, 1977, American Society of Heating, Refrigerating, and Air- Conditioning Engineers, Nueva York.

### **3. METODOLOGÍA DE PROTECCIÓN**

El concreto colocado en climas fríos debe de mantenerse dentro de las temperaturas recomendadas en la tabla N° 2 y durante los periodos de tiempo recomendados en la tabla N° 3.

El sistema de protección requerido para conseguir mantener las temperaturas recomendadas depende algunos factores como las condiciones climáticas del lugar, la geometría de la estructura, y la dosificación de la mezcla de concreto. Asimismo de los recursos con que contemos en el lugar donde se realizarán las labores.

Es factible que en algunos casos solo sea necesario cubrir el concreto con materiales aislantes y usar el calor de hidratación para mantener el valor de las temperaturas recomendadas.

En casos más extremos, será necesario construir recintos cerrados e inyectar calor para mantener las temperaturas deseadas.

A continuación podemos mencionar algunas alternativas más usadas en la protección de estructuras de concreto contra el congelamiento, así como las más utilizadas frecuentemente en elementos horizontales y verticales:

### **3.1. ELEMENTOS HORIZONTALES**

Podemos situarnos en 2 condiciones cuando las temperaturas ambientales son no muy bajas y demasiado bajas:

- Cuando las condiciones climatológicas no sean tan severas, temperaturas ambientales no muy bajas, hay evidencia de haberse colocado una capa de arena húmeda (fuente de curado) y sobre la cual se colocan capas de paja. Lo cual ha podido impedir la pérdida del calor de fragua.
- Pero cuando ya nos encontramos con problemas de temperaturas muy bajas, y se prevé el congelamiento del agua de curado, es recomendable la utilización de mantas impermeables, dejando un espacio libre entre la superficie de la estructura de concreto y la manta empleada, por donde se hace ingresar vapor de agua, aire caliente o se colocan calefactores estacionarios.

### **3.2. ELEMENTOS VERTICALES.**

Para el caso de superficies verticales es común el uso de elementos que brinden un calentamiento a las estructuras, como calefactores estacionarios, pero tomando la precaución de que el calor emitido por los equipos sea uniforme sobre las superficies de la estructura de concreto. Cuando se aplica el calor seco, tener especial cuidado como lo mencionamos en el capítulo anterior de la pérdida excesiva de humedad en las superficies del elemento.

Tanto en elementos verticales como horizontales es factible el uso de recintos cerrados, o alguno de los diferentes métodos de protección que describiremos a continuación; e incluso la combinación de cualquiera de los métodos, dependiendo de la complejidad del problema a que nos enfrentemos.

La protección del concreto luego de su colocación va relacionada como mencionamos en mantener las temperaturas requeridas para una adecuada hidratación del cemento, para tal fin podemos mencionar los siguientes métodos utilizados:

### **3.3. RECINTOS CERRADOS**

Los recintos cerrados constituyen los más efectivos métodos de protección, pero resultan asimismo los más costosos. La utilización de los recintos depende de la naturaleza de la estructura y de las condiciones climáticas. Impiden el paso del viento, evitan la entrada del aire frío y conservan el calor. En tal sentido necesario evitar aberturas para mantener fuera de los recintos las corrientes frías.

Experiencias han mostrado que son generalmente requeridos para operaciones de colocación cuando la temperatura ambiental es menor que los  $-20^{\circ}\text{C}$ . Se tiene referencia que se ha intentado colocar concreto a temperaturas tan bajas sin recintos de protección y se encontraron dificultades en las operaciones y rendimiento de los equipos que dieron como resultado construcciones de baja calidad.

Las cubiertas de los recintos cerrados impiden el paso el viento, evitan la entrada del aire frío del exterior, y conservan el calor del interior. Las carpas o cubiertas pueden ser construidas con lana, lona, paneles de construcción, láminas de plástico u otro material adecuado, siendo los recomendados materiales aislantes.

Los recintos cerrados hechos con materiales flexibles son menos costosos y fáciles de instalar y retirar.

Los recintos hechos con materiales rígidos son más efectivos en impedir el paso del viento y conservar la temperatura en las superficies. Los recintos pueden ser capaces de resistir el viento y la nieve, así como generar un ambiente hermético. Es necesario establecer un espacio adecuado entre la cubierta del recinto y la estructura de concreto de tal forma que permita la libre circulación del aire caliente alrededor de los miembros de concreto. Asimismo una altura suficiente permite que los trabajadores puedan laborar con mayor eficiencia sin inconvenientes.

El interior de los recintos puede ser calentados mediante vapor, ventiladores de calefacción, estufas, salamandras o calentadores de diversos tipos.

La temperatura en el interior de la cubierta es más fácil de controlar cuando se emplea vapor vivo. El vapor también es ventajoso debido a la posibilidad, siempre presente de incendios originados por las cubiertas calentadas. Por eso se debe tener medidas estrictas de prevención contra el peligro de incendios al usar otra forma de calentamiento del interior.

El calentamiento se puede realizar haciendo que circule vapor por tuberías. Las tuberías de vapor toman más tiempo para colocarse y tienden a secar la atmósfera, pero no tanto como el fuego.

Aunque el calentamiento usando vapor proporciona un ambiente ideal para el curado, las condiciones de trabajo que se generan no son las más ideales y cabe la posibilidad de producirse problemas de hielo en los alrededores de la cubierta del recinto.

También se pueden utilizar los ventiladores que inyectan aire caliente, estos pueden ser calentados con petróleo o con gas generalmente; pero también existen los que funcionan a electricidad; los primeros son los populares y más usados. Los ventiladores pueden suministrar la cantidad adecuada de calor requerida.

Los gases de escape han de ser ventilados al exterior con la finalidad de evitar daños por el ataque de bióxido de carbono a las superficies del concreto fresco expuesto. Es recomendable que sean ubicados exteriormente del recinto, e inyectar el aire caliente a través de ductos.

Las estufas y otros tipos de calentadores son unidades independientes que pueden fácilmente trasladarse de una ubicación a otra, gracias a su economía y pronta disponibilidad son usados generalmente.

Las estufas a petróleo o carbón son de fácil manejo y como mencionamos muy económicas. Convienen para obras pequeñas pero tienen varias desventajas. Producen

un calor seco, de tal manera que es necesario tomar precauciones para prevenir el desecamiento del concreto especialmente en las proximidades del elemento calefactor. Si son colocadas sobre losas de piso, deben estar elevadas y el concreto de los alrededores protegido con arena húmeda.

Los calentadores a combustión producen además dióxido de carbono, que al combinarse con el hidróxido de calcio en el concreto fresco, forma una capa débil de carbonato de calcio en la superficie. Esto se genera sobre la superficie terminada del piso, que al ser transitada, se producirá polvo. Por esta razón los calentadores que producen dióxido de carbono no deben emplearse durante la colocación del concreto y las primeras 24 a 36 horas del periodo de curado, salvo que se asegure una adecuada ventilación.

Debido a que en climas muy fríos pueden generarse en el interior de las cubiertas grandes variaciones de temperatura, es necesario conseguir reducir al mínimo las diferencias de temperatura mediante ventilación y circulación.

Debe evitarse el enfriamiento rápido del concreto al finalizar el periodo de calentamiento. Un enfriamiento instantáneo de la superficie del concreto mientras en su interior continua caliente, puede originar fisuras, especialmente en grandes secciones como pilares de puentes, contrafuertes, presas y grandes elementos estructurales.

### **3.4. CALENTAMIENTO MEDIANTE RESISTENCIAS ELÉCTRICAS**

Para poder conseguir las temperaturas adecuadas para el concreto se puede utilizar resistencias eléctricas aisladas las cuales producen el calentamiento interno del mismo.

El procedimiento consiste en pasar corriente de bajo voltaje a través de las espirales ahogadas en la masa, cerca de la sección de la estructura en labor. La temperatura interna del concreto puede ser controlada mediante la siguiente manera, para elevar la temperatura se procede a disminuir el espaciamiento o la pendiente de las espirales, y el enfriamiento progresivo se puede controlar con interrupciones intermitentes de la corriente que circula a través de ellas.

El calentamiento del concreto se inicia aproximadamente después de un periodo de prefraguado de 4 a 5 horas, esto debe depender de las características del fraguado del concreto.

Cuando se aplica este procedimiento, como protección del concreto debe utilizarse encofrados aislantes, y cubrir las superficies expuestas con materiales adecuados. El encofrado aislante es requerido para evitar el congelamiento del concreto durante el periodo de prefraguado y minimizar la disipación del calor de las superficies que carecen de espirales.

La pérdida de humedad en las superficies sin encofrado debido a la evaporación debe evitarse cubriendo con capas de plástico u otro material adecuado que se pueda tener a disposición.

En el caso de tener presencia de nieve es recomendable usar materiales más resistentes y aislantes para cubrir el concreto. Al utilizar esta forma de calentamiento del concreto, debe de vigilarse por medio de dispositivos de control la temperatura con la finalidad de no sobrepasar las temperaturas recomendadas.

### **3.5. ENVOLTURAS CON MATERIAL AISLANTE**

Para proteger el concreto contra la posibilidad de congelamiento, resulta efectivo colocar capas de material aislante directamente sobre el concreto, luego de su colocación de tal manera que el concreto sea envuelto.

Esta protección es particularmente importante en el caso del concreto ligero estructural, debido a que su capacidad de mayor retención de calor permite un congelamiento más lento de las superficies, que el concreto de peso normal.

Este tipo de envolturas no resultan muy efectivas en casos de climas de frío severo, salvo tengan algún dispositivo de calentamiento en su interior, tal como la combinación con el método anterior.

Las envolturas y/o cualquier otro tipo de protección utilizado deben de mantenerse durante el periodo de tiempo de protección recomendado.

La utilización de este método se basa en aprovechar la temperatura del concreto al momento de su colocación y el calor que genera en el concreto por la hidratación del cemento; de tal manera que las envolturas que se colocan evitan la pérdida del calor generado. Para poder conseguir esto es necesario que se tenga un control de la temperatura del concreto en su interior y superficie para determinar el tiempo requerido del uso de las envolturas, y reutilizarlas en otras estructuras similares.

### **3.6. ENCOFRADOS AISLANTES**

Es común la utilización de encofrados de madera, estos encofrados con dicho material proporcionan al concreto protección contra ligeras heladas, pero son insuficientes en situaciones de frío severo. Estos encofrados pueden ser cubiertos con forros absorbentes u otros materiales aislantes, aumentando así el aislamiento del mismo, aplicando este procedimiento encofrados de gran espesor de madera se pueden reducir por los otros materiales empleados. Por otro lado los encofrados metálicos no ofrecen ninguna protección contra el frío.

Como mencionamos anteriormente el uso de encofrados elaborados con materiales aislantes adecuados sirven de protección al concreto contra climas fríos. El uso de estos

encofrados, puede ser utilizado en combinación con algún sistema de calentamiento, o si el caso lo permitiera sólo con el uso de dichos encofrados aislantes con una ligera protección de las superficies expuestas del concreto.

Cuando los encofrados aislantes son usados en combinación de los recintos calentados; se recomienda llevar un control de las temperaturas tanto del interior como de la superficie del concreto. Esto se hace para evitar que el concreto se caliente más de lo necesario, especialmente en casos de trabajos con concreto masivo.

Por otro lado, casi siempre resulta ventajoso dejar los encofrados en su lugar durante, al menos, el periodo de protección mínimo requerido, sin embargo un plan de construcción económico siempre indica su retiro en etapas tempranas, en tales casos, los encofrados pueden quitarse lo más temprano posible cuando su retiro no dañe o represente un peligro para el concreto.

Los encofrados aislantes pueden ser elaborados con planchas y paneles de poliuretano, poliestireno, fibra de vidrio, madera u otro material aislante tales como los mencionados anteriormente, su elección dependerá del costo y la disponibilidad de los mismos.

## **4. CONSECUENCIAS DE LA NO-PROTECCIÓN DEL CONCRETO**

La temperatura afecta la duración del proceso de hidratación del cemento; en el caso de temperaturas bajas se produce un retardo tanto en el endurecimiento del concreto y el aumento de su resistencia.

En consecuencia, las temperaturas por debajo del punto de congelación son nocivas para el concreto fresco; de darse el caso de exponer el concreto colocado inmediatamente a congelación, este aumentará muy poco su resistencia y con seguridad sufrirá algún daño permanente; de tal manera que la necesidad de protección y requisitos especiales en el tratamiento del concreto se hace evidente.

Otra de las consecuencias de no proteger el concreto de su exposición a bajas temperaturas es la pérdida excesiva del calor, y más aún a temprana edad que se genera calor de hidratación del cemento.

Si se permite que el concreto que no ha fraguado se congele, el agua de la mezcla se convertirá en hielo y aumentará el volumen total del concreto (cuando el agua se congela hay un incremento de volumen de hasta 9% más o menos aproximadamente). Al suceder esto, no queda agua disponible para las reacciones químicas, el fraguado y endurecimiento del concreto se retrasa y queda poca pasta de cemento que puede ser alterada por la formación de hielo. Al producirse el deshielo posteriormente, el concreto

fraguará y endurecerá en su estado expandido, el cual contiene una gran cantidad de poros y en consecuencia, este concreto tendrá baja resistencia.

El detenimiento del endurecimiento, debido al aumento volumétrico del agua en estado sólido rompe la débil adherencia entre las partículas del concreto. Siendo este efecto más grave en el caso de concreto reforzado, al romperse la adherencia del acero de refuerzo con el concreto.

Cuando el congelamiento se produce posteriormente, de que el concreto ha fraguado, pero antes de que se desarrolle una resistencia considerable, la expansión producida por la formación de hielo causa una ruptura y pérdida irreparable de la resistencia.

El daño causado por ciclos repetidos de congelación y deshielo en concretos que no han sido protegidos adecuadamente durante la hidratación inicial hasta desarrollar una resistencia adecuada para soportar la presión interna generada por la formación de hielo a partir del agua remanente de la mezcla, abarca desde escamación de la superficie hasta la completa desintegración al formarse las capas de hielo; la cual comienza por la superficie expuesta del concreto y progresa a través de su profundidad sin posibilidad de alguna reparación.

En tal sentido se entenderá que, el ciclo de congelamiento y deshielo puede producir efectos desastrosos en la calidad final del concreto, aún si se haya iniciado el proceso de endurecimiento; por tal motivo es necesario a parte de realizar una adecuada protección

del concreto, tomar las medidas pertinentes para conseguir la durabilidad de las estructuras, tal como lo mencionamos en el capítulo I.

En el caso de utilizar una inadecuada protección del concreto también se pueden producir ciertos problemas; si se utiliza una técnica que inyecta calor a la estructura de concreto, es importante mantener una temperatura razonable en las áreas que se quiere proteger, debido a que demasiado calor puede cocer el concreto y ocasionar problemas casi tan perjudiciales como si el concreto fuera sometido a congelación.

Cuando nos referimos a los problemas suscitados por deshielo y congelamiento continuo, como ya lo mencionamos aparte de las consecuencias descritas, el problema del fisuramiento debido al cambio volumétrico llega a reflejarse en la durabilidad de la estructura, lo cual es el resultado de los esfuerzos de tracción a que es sometido el concreto al dilatarse y contraerse continuamente por efecto de las fluctuaciones de temperaturas del medio en que se encuentra

Tal es así lo que ocurre en nuestra realidad nacional, que con frecuencia en los lugares donde se presentan temperaturas de clima frío no se mantiene todo el tiempo en temperaturas bajas, sino por el contrario experimenta periodos de aumento de temperatura ambiental generalmente durante horas de la tarde pudiendose producir gradientes de temperaturas muy significativos. Y si el concreto a temprana edad no se le permite desarrollar una resistencia mínima para poder enfrentar estos esfuerzos es evidente que será sólo cuestión de tiempo la aparición de estos efectos negativos perjudiciales para el concreto.

## **5. OTRAS EXPERIENCIAS**

Las siguientes experiencias corresponden a técnicas usadas en la ejecución de algunas obras, las cuales dieron resultados satisfactorios en su aplicación y que mencionamos como referencia por haber sido empleadas en nuestro territorio.

### **5.1. CURADO CON AGUA TIBIA Y PROTECCIÓN DEL CONCRETO CON VIRUTA DE MADERA Y CARTONES**

En el Yacimiento Minero de Arcata, ubicado al noroeste de la ciudad de Arequipa, distrito de Cayarani, provincia de Condesuyos.

El concreto que se encontraba expuesto a condiciones de clima frío en el ambiente tuvo la protección con viruta de madera y cartones, curándolas con agua tibia cada 24 horas.

El procedimiento se realizó de la siguiente manera; el concreto se rociaba con agua tibia; lo cual era realizado en las primeras horas del día, evitando de tal forma que la estructura se encuentre saturada o embebida durante la noche, pues podría producirse el congelamiento del concreto; cabe mencionar que el uso de agua tibia podría reemplazarse por el uso de una membrana química, para evitar posible congelamiento.

El concreto se encontraba protegido con viruta de madera y cartones, haciendo el papel de un aislamiento; reteniendo el calor de hidratación del cemento que se genera y evitando que penetre el frío del exterior durante la noche.

## **5.2. CURADO MEDIANTE MEMBRANA QUÍMICA Y PROTECCIÓN DEL CONCRETO MEDIANTE TELA PLÁSTICA Y MANTAS DE TOTORA**

En la ejecución de cabeceras y plataforma de estacionamiento del Aeropuerto de Juliaca, ubicada en el departamento de Puno.

El curado del concreto se realizó mediante el empleo de un curador de membrana tipo resinoide; el cual servirá para prevenir la fisuración inicial por contracción de fragua producto de la pérdida rápida de humedad.

Para la protección del concreto se empleo una tela plástica de color negro y manta de totora de 2" de espesor, la tela plástica negra se utilizará para concentrar el calor en las horas de mayor temperatura y la manta de totora reduciría el descenso de temperatura de la masa de concreto en la noche.

El procedimiento de la utilización de esta técnica consistió en aplicar el curador de membrana, a continuación se colocaba la tela plástica, y al empezar a descender la temperatura se cubría con la manta de totora, al subir la temperatura durante el día se retiraba la manta para provocar la concentración del calor sobre la tela plástica negra la cual lo transmitía a la superficie de concreto en contacto, y al descender la temperatura en la tarde se volvía a cubrir con la manta de totora para retener el calor almacenado en el día, este procedimiento se repetía durante los 7 primeros días.

### **5.3. CURADO MEDIANTE MEMBRANA QUÍMICA Y PROTECCIÓN DEL CONCRETO MEDIANTE TELA PLÁSTICA Y PAJA**

Este procedimiento fue empleado en la ejecución de los trabajos de concreto en la nueva presa de relaves y canal de derivación en la unidad Andaychagua, localizado en el departamento de Junín.

En este lugar se registraron temperaturas de entre los  $-5^{\circ}\text{C}$  y  $10^{\circ}\text{C}$  aproximadamente.

La técnica consistió en la utilización de una membrana química sobre la superficie del concreto y para la protección se realizó mediante la colocación sobre las superficies de concreto de una capa de paja forrada con plástico, el plástico evitaba los problemas de humedad, y posibles lluvias o nieve, que afectarían el empleo de la paja, similar al caso anterior se aprovechaba la conservación del calor de fragua del concreto.

En zonas donde era requerida una mayor protección se empleo la utilización de recintos cerrados, los cuales eran construidos con un armazón de madera y cubiertos con un grueso plástico; para conseguir temperaturas adecuadas se localizaban en su interior potentes reflectores de luz que ubicados adecuadamente generaban un ambiente apropiado, sin perjuicio de las temperaturas bajas del exterior.

# CAPÍTULO IV

## ESTUDIO DEL CURADO Y PROTECCIÓN DEL CONCRETO EN EL LABORATORIO EN CONDICIONES DE CLIMA FRÍO

# **1. Estudio Comparativo de Temperaturas y Resistencias a la Compresión de Probetas de Concreto en el Laboratorio Bajo Condiciones de Clima Frío**

La presente investigación consistió en realizar un estudio de la resistencia a la compresión y el comportamiento de la temperatura del concreto cuando este es sometido a temperaturas de un clima frío. En nuestro estudio se planteo la utilización de una técnica combinada de curado y protección para poder enfrentar las consecuencias que se producen en el concreto cuando no se toman las medidas preventivas bajo condiciones de clima frío.

Esta técnica de curado consistió en aplicar una membrana química al concreto y para la protección del mismo se cubrió la superficie del concreto con una manta de lana de fibra de vidrio, la cual mantenía una temperatura adecuada generada por el calor de hidratación del cemento, el período de la protección concluía hasta que el concreto desarrolle una resistencia acorde con los parámetros que hemos mencionado en el capítulo anterior (mínimo 35 kg/cm<sup>2</sup>).

Las pruebas se realizaron en el Laboratorio de Ensayo de Materiales FIC-UNI, y para la simulación de temperaturas correspondientes a clima frío se utilizó un congelador, las temperaturas eran controladas con un termómetro ambiental para poder verificar las temperaturas simuladas.

Con fines de la investigación las pruebas se realizaron a probetas de concreto cilíndricas estándar (0.15m de diámetro y 0.30m de altura). El concreto evaluado fue elaborado teniendo en cuenta los siguientes parámetros que como lo mencionamos en el primer capítulo son los mínimos para obtener un concreto con una adecuada durabilidad frente a una exposición de clima frío: relación agua/cemento=0.50, con aire incorporado (entre 4% a 6%), slump de 3" a 4".

En la investigación el concreto elaborado con los parámetros anteriores lo sometimos a 4 situaciones de curado, definiendo de tal manera los siguientes tipos de concreto:

- El **concreto patrón** consistió en un concreto que tuvo un curado estándar, es decir, inicialmente durante las primeras 24 horas el concreto se mantuvo en un ambiente húmedo con temperaturas de 16°C a 27°C, y que luego de desmoldar las probetas son sumergidas en una poza de agua saturada con cal, con temperaturas similares tal como lo determina la norma NTP 339.033.
- El **concreto con membrana** consistió simplemente en un concreto colocado a la intemperie bajo temperaturas estándar ambientales (superiores a las de clima frío) el cual fue curado con membrana química. Este concreto se realizó para poder verificar la efectividad de nuestra membrana química empleada.
- El **concreto clima frío 1** consistió en un concreto sometido a temperaturas de clima frío, que no tuvo ninguna técnica de curado ni protección contra el frío.
- El **concreto clima frío 2** consistió en concreto sometido a temperaturas de clima frío, el cual fue curado con una membrana química y protegido contra el frío

mediante la manta de lana de fibra de vidrio de 3" de espesor (técnica propuesta por la presente tesis).

Una vez elaborado el concreto; con fines comparativos del estudio las probetas del **concreto patrón** seguían un procedimiento de curado en laboratorio acorde las normas que lo definen, y eran evaluadas sus resistencias a las edades requeridas.

En el caso de la técnica de curado y protección del concreto planteada, al **concreto clima frío2** una vez colocado, luego de unos minutos se le aplicaba una membrana química y a continuación era cubierto con la manta de lana de fibra de vidrio, a las 24 horas aproximadamente eran desmoldadas las probetas y a las superficies que habían permanecido cubiertas por el molde (encofrado) se le aplicaba la membrana química. Procediendo seguidamente a volver a cubrir el concreto.

Con fines comparativos dejamos probetas sin ningún curado ni protección (**concreto clima frío1**) junto a las probetas que si la tenían y igualmente las sometimos a temperaturas de un clima frío, evaluando su resistencia a las edades requeridas.

Asimismo para poder verificar la efectividad de nuestra membrana química de curado, dejamos otras probetas (**concreto con membrana**) curándolas simplemente con la aplicación de la membrana utilizada y permaneciendo a temperaturas estándar ambientales (temperaturas  $>10^{\circ}\text{C}$ ) hasta la edad a ensayar, para luego poder compararla con el concreto patrón y evaluar su efectividad.

Debido a que el objetivo de nuestra tesis es mostrar que un concreto protegido con esta manta de lana de fibra de vidrio, puede llegar a desarrollar su resistencia a la compresión ante la inclemencia de un clima frío, debíamos poder determinar cual es el período de tiempo que debíamos proteger al concreto.

Para poder estimar el tiempo que permanecería el concreto protegido con la manta evaluamos la resistencia a la compresión del concreto a la edad de 24, 48 y 72 horas; encontrando de esta manera el período de tiempo en que el concreto protegido desarrolle su resistencia hasta alcanzar un valor mínimo de 3.5 Mpa (35kg/cm<sup>2</sup>). Luego de lo cual se retiraba la protección y lo dejábamos simplemente sometido a las temperaturas correspondientes a climas fríos hasta la edad de 7 y 28 días para evaluar luego los resultados obtenidos.

Asimismo hicimos un seguimiento de la forma como la temperatura del concreto se comportaba bajo condiciones de clima frío sin y con protección, y además su comportamiento en la poza de curado durante el período de protección planteado.

Para poder realizar el control de la temperatura del concreto en las probetas, fue necesario colocar un tubo metálico en el interior de concreto, y que haciendo que uno de uno de sus extremos estuviese cerrado, lo llenábamos con glicerina o aceite mineral, y por el extremo abierto se introducía el termómetro, el metal y el aceite o la glicerina transmitían la temperatura generada por el concreto con mucha aproximación.

## MEMBRANA QUÍMICA

Se utilizó el producto "Curet Z", el cual es un curador sellador acrílico de color blanco; este producto fue proporcionado por la empresa Z aditivos S.A., el cual también fue usado en el Proyecto Vilavilani, que presentamos en el capítulo siguiente.

Este curador forma una película transparente que evita el evaporamiento del agua del concreto.

Su aplicación es utilizada tanto en zonas frías como donde se presentan altas temperaturas.

Puede ser usado con mochila pulverizadora, brocha, rodillo, etc.

### **Ventajas:**

- Tiene una doble función (curador y sellador del concreto).
- No mancha el concreto.
- No es tóxico.
- No produce fisuramiento
- La película que se forma es compatible con pinturas látex.
- En el caso de realizar tarrajeo a la estructura, aplicar directamente sobre la membrana.

La pigmentación de color blanco lo hace refractario a los rayos solares, y su rendimiento aproximado de 20 m<sup>2</sup> por galón.

## **MANTA DE LANA DE VIDRIO**

Las mantas de lana de fibra de vidrio fueron proveídas por la empresa Kostec, especialista en aislamientos, tal como las usadas en el capítulo siguiente.

La lana de vidrio está constituida por fibras de vidrio de pequeño diámetro, que entrelazadas entre sí encierran millones de espacios de aire inmóvil y estancado, siendo esta característica la que le confiere sus excelentes propiedades de aislante térmico y absorbente acústico.

### **Ventajas:**

- No son combustibles ni inflamables. En caso de incendio no desprenden gases tóxicos.
- Son inorgánicos y químicamente neutras.
- No producen ni aceleran la corrosión de metales y no lo atacan hongos ni bacterias.
- Amplio rango de temperatura de trabajo de  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  hasta  $550^{\circ}\text{C}$ , variando su coeficiente de conductividad entre  $0.028$  y  $0.079\text{ Kcal / m h}^{\circ}\text{C}$
- Son dimensionalmente estables no se contraen, no se dilatan ni deforman con los cambios de temperatura.
- Está comprobado clínicamente que es un material inerte, por lo que no produce efectos nocivos a la salud.
- Alta eficiencia térmica que le permite obtener ahorros de hasta el 96% de la pérdida de energía.

La presentación utilizada para el estudio en mención corresponde a la forma de **mantas**.

Las **mantas** se conforman de una capa de lana de vidrio respunteada con hilo de algodón.

El poco peso y facilidad de manejo del material, agilizan la ejecución del aislamiento de equipos grandes y de formas irregulares.

Su conductividad térmica corresponde a  $0.035 \text{ Kcal / mh}^\circ\text{C}$ ; y su densidad a un valor de  $40.60 \text{ kg/m}^3$ .

## **2. PRUEBAS EXPERIMENTALES**

### **2.1. MONITOREO DE TEMPERATURA AMBIENTE vs. TIEMPO**

**CUADRO # 1**  
**TEMPERATURA AMBIENTAL**  
**SIMULACIÓN CLIMA FRÍO**

LEM ( Laboratorio de Ensayo de Materiales FIC-UNI )

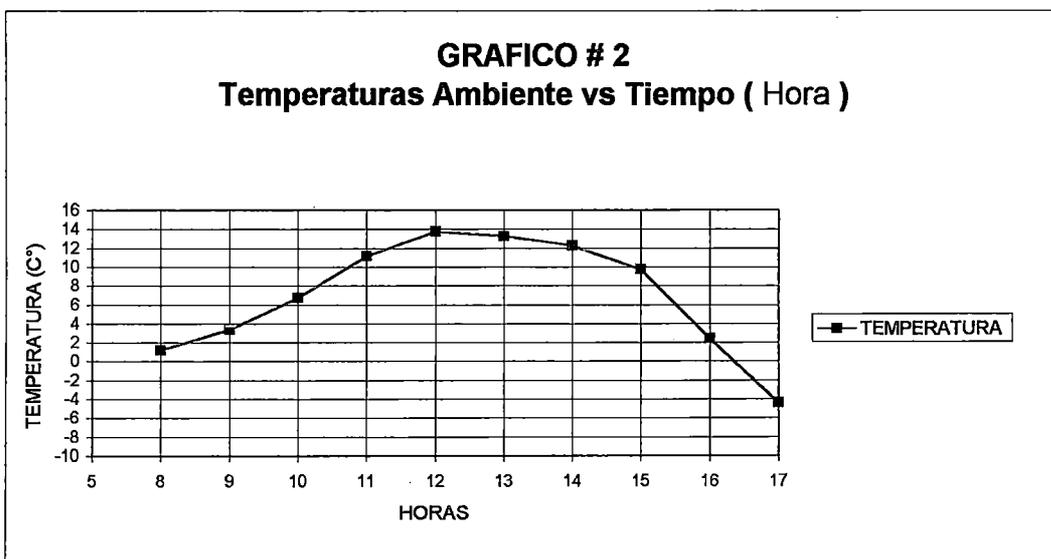
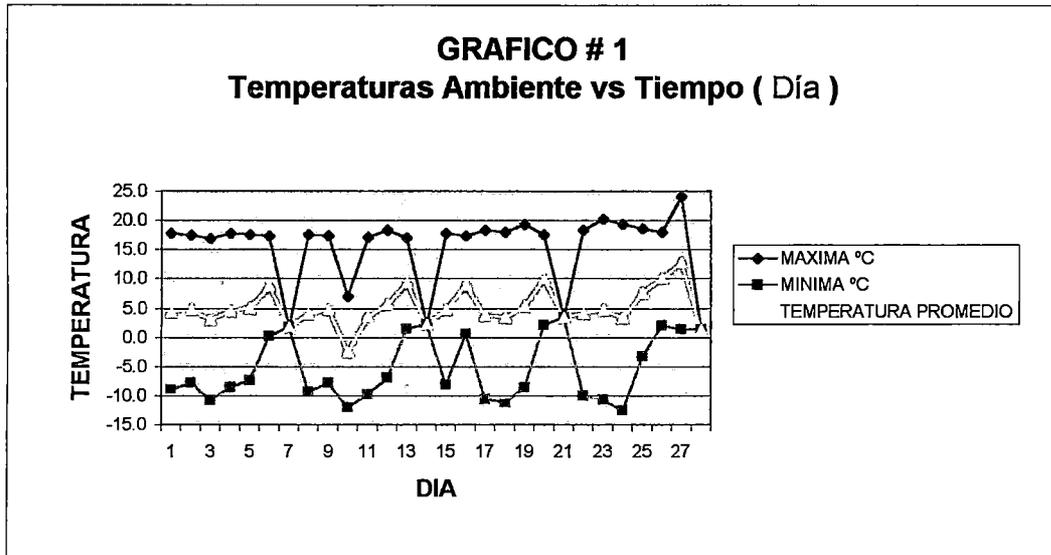
HORA	DIAS																												PROMEDIO POR HORA
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	
08		-7.7	-3.1	1.1	1.0	0.2	1.8	1.8	2.4	1.2	3.0	-0.9	2.1	2.3	2.3	1.3	1.1	1.3	1.2	2.2	3.5	3.5	1.1	0.8	2.5	2.1	2.3	1.4	1.2
09	16.0	6.0	-2.7	1.4	1.5	2.7	1.8	2.9	3.6	2.4	2.8	1.5	1.5	2.3	2.3	1.8	2.2	5.8	4.3	6.4	3.5	4.8	3.6	1.1	6.8	2.1	4.2	1.4	3.4
10	17.8	9.5	-2.5	13.5	1.8	4.0	1.8	11.6	8.0	2.3	16.4	1.8	2.1	2.3	16.2	2.0	2.9	14.1	7.2	14.3	3.5	6.1	11.1	1.4	8.3	3.9	5.4	1.4	6.7
11	4.1	17.5	0.1	13.3	8.6	16.3	1.8	15.4	15.4	5.3	16.7	12.7	3.5	2.3	16.8	2.2	3.9	17.6	18.8	17.6	3.5	15.1	17.6	7.6	16.9	16.3	24.1	1.4	11.2
12	0.8	17.0	16.6	13.0	16.4	17.3	1.8	17.0	17.2	5.7	15.6	13.6	16.6	2.3	17.2	11.6	15.7	17.2	18.8	17.1	3.5	15.5	20.2	18.5	17.1	17.6	21.9	1.4	13.7
13	-1.7	13.2	16.9	16.9	16.1	16.3	1.8	17.6	17.4	7.0	16.2	15.3	17.0	2.3	16.3	16.1	17.8	17.2	19.1	11.4	3.5	16.3	17.2	19.0	16.1	18.0	10.4	1.4	13.3
14	-3.0	14.0	15.8	17.6	17.6	7.2	1.8	17.0	14.1	4.5	17.1	15.5	2.7	2.3	17.8	16.8	18.3	18.0	19.3	8.3	3.5	18.3	17.5	19.1	18.4	17.9	3.6	1.4	12.2
15	-5.0	3.5	15.2	17.8	14.8	1.8	1.8	16.5	4.8	3.6	8.3	18.4	2.3	2.3	4.6	17.3	15.3	17.9	9.8	3.5	3.5	17.6	17.9	19.4	18.6	17.9	1.4	1.4	9.7
16	-7.3	-1.6	-0.8	9.4	-2.9	1.8	1.8	-3.2	-0.1	0.8	3.5	8.7	2.3	2.3	-8.1	4.6	-10.6	4.5	-1.0	3.5	3.5	9.2	6.1	9.6	10.5	17.9	1.4	1.4	2.4
17	-9.0	-7.8	-10.8	-8.6	-7.4	1.8	1.8	-9.4	-7.8	-12.0	-9.8	-6.9	2.3	2.3	2.2	0.6	-1.1	-11.1	-8.6	3.5	3.5	-10.0	-10.7	-12.6	-3.3	2.4	1.4	1.4	-4.4

Temp. Max. °C	18	18	17	18	18	17	2	18	17	7	17	18	17	2	18	17	18	18	19	18	4	18	20	19	19	18	24	1
Temp. Min. °C	-9	-8	-11	-9	-7	0	2	-9	-8	-12	-10	-7	2	2	-8	1	-11	-11	-9	2	4	-10	-11	-13	-3	2	1	1
Temp. Prom °C	4.4	4.9	3.1	4.6	5.1	8.8	1.8	4.1	4.8	-2.5	3.7	5.8	9.3	2.3	4.9	9.0	3.9	3.5	5.4	9.9	3.5	4.2	4.8	3.4	7.7	10.1	12.8	1.4

TESIS: CURADO Y PROTECCIÓN DE CONCRETOS COLOCADOS EN CLIMAS FRÍOS

# Simulación Clima Frío

( Laboratorio de Ensayo de Materiales FIC-UNI )



## 2.2 DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO

**CEMENTO**  
**LABORATORIO**  
**RESISTENCIA ESPECIFICADA**  
**INCORPORADOR DE AIRE ZETA AIR**

**: TIPO I**  
**: LEM (FIC - UNI)**  
**: 210 Kg/cm<sup>2</sup>**

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD
<b>A</b>	<b>ANALISIS DE AGREGADOS</b>		
<b>A1</b>	<b>AGREGADO FINO (Cantera Trapiche)</b>		
1	Peso especifico de masa sss.	gr/cm <sup>3</sup>	2.660
2	Absorción	%	1.780
3	Contenido de Humedad	%	0.650
4	Peso unitario sin varillar	Kg/m <sup>3</sup>	1698.800
5	Peso unitario varillado	Kg/m <sup>3</sup>	1852.300
6	Modulo de fineza		2.830
<b>A2</b>	<b>AGREGADO GRUESO (Cantera Gloria)</b>		
7	Peso especifico de masa sss.	gr/cm <sup>3</sup>	2.760
8	Absorción	%	0.550
9	Contenido de Humedad	%	0.300
10	Peso unitario sin varillar	Kg/m <sup>3</sup>	1412.200
11	Peso unitario varillado	Kg/m <sup>3</sup>	1548.300
<b>A3</b>	<b>CEMENTO</b>		
12	Andino Portland Tipo I		
13	Peso especifico	gr/cm <sup>3</sup>	3.150
<b>B</b>	<b>CALCULO DE LA RESISTENCIA PROMEDIO</b>		
<b>B1</b>	<b>METODO DE LA DESVIACION STANDARD</b>		
14	Resistencia especificada	Kg/cm <sup>2</sup>	210.000
15	t = CoefProbabilidad 1/100 que el promedio de 5 pruebas sea menor al f'c		1.330
16	d = desviación standard (18% control regular)	Kg/cm <sup>2</sup>	20.000
17	f'cr = f'c + txd	Kg/cm <sup>2</sup>	236.600
<b>C</b>	<b>DATOS DE DISEÑO</b>		
18	Tamaño máximo del agregado	pulg	1.0
19	Asentamiento	pulg	3.5
20	Aire total	%	6.0
21	Agua de diseño	Lt/m <sup>3</sup>	201.000
22	Relación agua cemento	Lt/Kg	0.495
23	Cantidad de cemento	Kg/m <sup>3</sup>	406.061
24	% de agregado fino	%	53.0
25	% de agregado grueso	%	47.0

<b>D</b>	<b>CALCULO DE VOLUMENES ABSOLUTOS</b>		
26	Cemento	m3	0.1289
27	Agua	m3	0.2010
28	Aire	m3	0.0600
29	<b>TOTAL</b>	m3	<b>0.3899</b>
30	Agregado fino	m3	0.3233
31	Agregado grueso	m3	0.2867
<b>E</b>	<b>PESOS POR M3 SIN CORREGIR</b>		
32	Cemento	Kg/m3	406.061
33	Agregado fino	Kg/m3	860.108
34	Agregado grueso	Kg/m3	791.411
35	Agua	Kg/m3	201.000
36	Incorporador de aire Zeta Air	Kg/m3	0.229
37	<b>TOTAL</b>	Kg/m3	<b>2258.809</b>
<b>F</b>	<b>CORRECCION POR HUMEDAD</b>		
<b>F1</b>	<b>AGREGADOS</b>		
38	Agregado fino	Kg/m3	865.698
39	Agregado grueso	Kg/m3	793.785
<b>F2</b>	<b>APORTE DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS</b>		
40	Agregado fino	Kg/m3	-9.719
41	Agregado grueso	Kg/m3	-1.979
42	<b>TOTAL</b>	Kg/m3	<b>-11.698</b>
43	Agua efectiva	Kg/m3	212.698
<b>G</b>	<b>PESOS POR M3 CORREGIDOS POR HUMEDAD</b>		
44	Cemento	Kg/m3	406.061
45	Agregado fino	Kg/m3	865.698
46	Agregado grueso	Kg/m3	793.785
47	Agua	Kg/m3	212.698
48	Incorporador de aire Zeta Air	Kg/m3	0.229
49	<b>TOTAL</b>	Kg/m3	<b>2278.471</b>
<b>H</b>	<b>DISENO UNITARIO DE OBRA</b>		
50	Cemento		1.000
51	Agregado fino		2.132
52	Agregado grueso		1.955
53	Agua		0.524
54	Incorporador de aire Zeta Air		0.001
<b>I</b>	<b>PROPORCIONES PARA UNA TANDA DE 50 KG</b>		
55	# de tandas		8.9
56	Cemento	kg	8.91
57	Agregado fino	kg	19.00
58	Agregado grueso	kg	17.42
59	Agua	lts.	4.67
60	Incorporador de aire Zeta Air	ml	5.87

## ENSAYOS DE CONCRETO

**TESIS** : CURADO Y PROTECCIÓN DE CONCRETOS COLOCADOS EN CLIMAS FRÍOS  
**LABORATORIO** : LEM (LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES FIC - UNI)

### DATOS

f'c : 210 kg/cm<sup>2</sup>  
 Asentamiento : 3 - 4 "  
 Tamaño máx. agregado : 1 "  
 Aire total : 6%  
 Humedad arena : 0.65 %  
 Humedad grava : 0.30 %

DESCRIPCION	UNIDAD	PESOS POR M3 SIN CORREGIR	PESOS POR M3 CORREGIDOS POR HUMEDAD	PESOS CORREGIDOS POR HUMEDAD COLADA DE PRUEBA
Cemento Andino Portland tipo I	kg.	406.061	406.061	16.041
Arena Cantera Trapiche	kg.	860.108	865.698	34.199
Grava Cantera Gloria	kg.	791.411	793.785	31.358
Agua	kg.	201.000	212.698	8.402
Relación agua/cemento	lt/kg.	0.495	0.495	0.495
Incorporador de aire Zeta Air	kg.	0.229	0.229	0.009
Acelerante de fragua	ml	0.0	0.0	0.0
Plastificante	ml	0.0	0.0	0.0
Peso Unitario del concreto	kg.	2258.809	2278.471	90.009

**CUADRO # 2**  
**CALENDARIO DE ROTURAS Y RESULTADOS DE COMPRESION**

FECHA DE ROTURA	EDAD DIAS	N° DE BRIQUETAS (ka/cm <sup>2</sup> )									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
23 de agosto del 2001	3	154.7	146.5	159.8	144.8	146.5	160.5				
04 de setiembre del 2001	7	187.4	189.7	193.1	194.3	185.1	207				
01 de octubre del 2001	28	296.5	291.9	287.4	288.5	290.8	293.1				

## **2.3. MONITOREO DE TEMPERATURAS DE PROBETAS DE CONCRETO**

### **2.3.1. PROBETAS CON PROTECCIÓN CONTRA EL FRÍO BAJO CONDICIONES DE CLIMA FRÍO**

**CUADRO # 3**

**MONITOREO DE TEMPERATURA SUPERFICIAL,  
Y TEMPERATURA AMBIENTE vs. TIEMPO**

**SIMULACION CLIMA FRÍO**

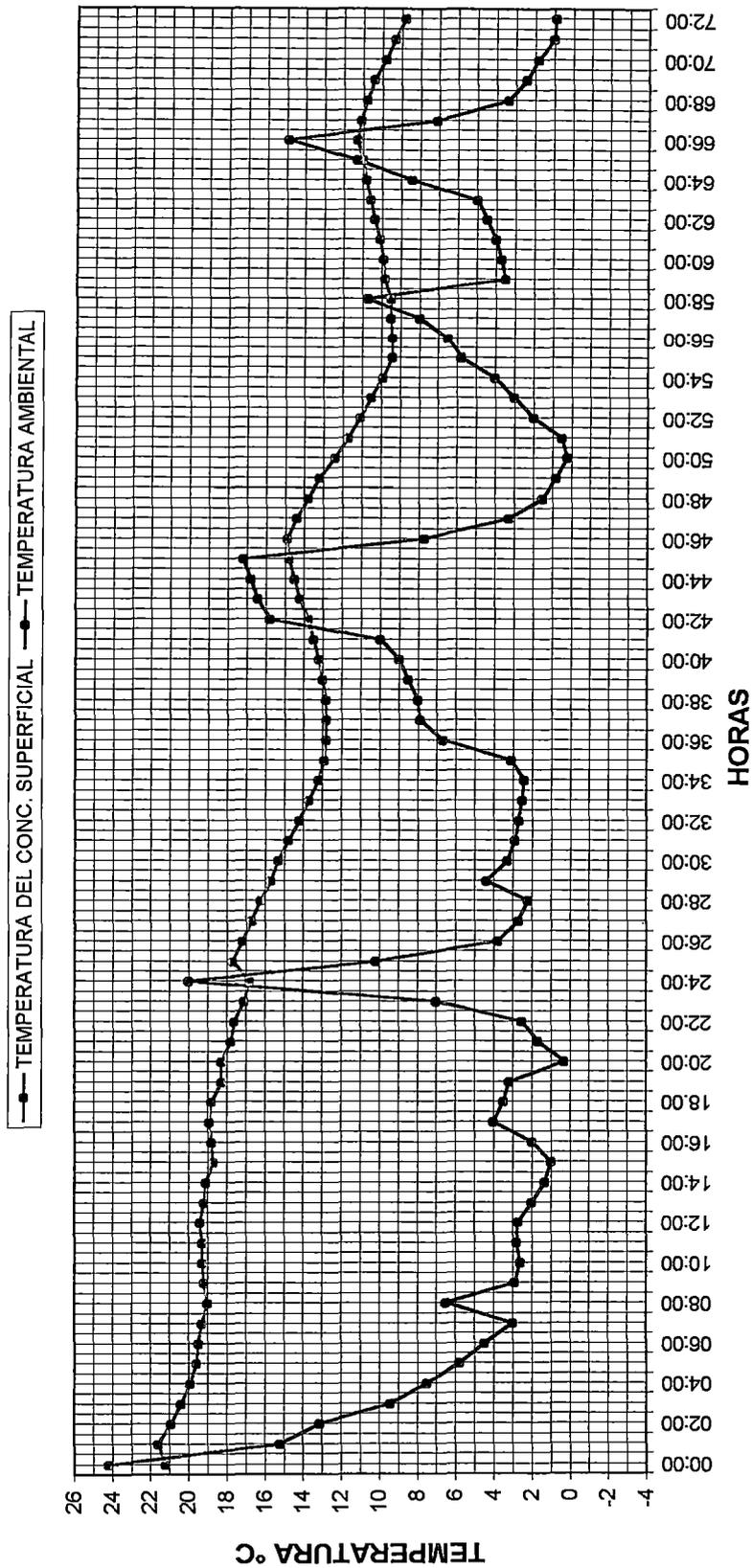
**LABORATORIO** : LEM (LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES FIC - UNI)  
CONCRETO PROTEGIDO CON MANTA DE LANA DE FIBRA DE VIDRIO  
(TEMPERATURAS CLIMA FRÍO)

**Viernes 29 de junio del 2001**  
(Hora de vaciado = 2:45 p.m)

HORA		TEMPERATURA SUPERFICIAL ° C	TEMPERATURA AMBIENTE ° C
DEL DIA	ACUMULADA		
02:00 p.m.	00.0	21.2	24.2
03:00 p.m.	01.0	21.6	15.2
04:00 p.m.	02.0	20.9	13.1
05:00 p.m.	03.0	20.4	9.4
06:00 p.m.	04.0	19.9	7.5
07:00 p.m.	05.0	19.6	5.8
08:00 p.m.	06.0	19.5	4.5
09:00 p.m.	07.0	19.3	3.0
10:00 p.m.	08.0	19.0	6.5
11:00 p.m.	09.0	19.2	2.9
12:00 a.m.	10.0	19.3	2.6
01:00 a.m.	11.0	19.3	2.8
02:00 a.m.	12.0	19.4	2.7
03:00 a.m.	13.0	19.2	2.0
04:00 a.m.	14.0	19.1	1.3
05:00 a.m.	15.0	18.7	1.0
06:00 a.m.	16.0	18.8	2.0
07:00 a.m.	17.0	18.9	4.0
08:00 a.m.	18.0	18.8	3.5
09:00 a.m.	19.0	18.3	3.2
10:00 a.m.	20.0	18.3	0.3
11:00 a.m.	21.0	17.8	1.7
12:00 p.m.	22.0	17.6	2.5
01:00 p.m.	23.0	17.1	7.0
02:00 p.m.	24.0	16.8	20.0
03:00 p.m.	25.0	17.7	10.2
04:00 p.m.	26.0	17.2	3.8
05:00 p.m.	27.0	16.7	2.7

06:00 p.m.	28.0	16.2	2.2
07:00 p.m.	29.0	15.7	4.4
08:00 p.m.	30.0	15.3	3.3
09:00 p.m.	31.0	14.8	2.9
10:00 p.m.	32.0	14.2	2.7
11:00 p.m.	33.0	13.7	2.5
12:00 a.m.	34.0	13.2	2.4
01:00 a.m.	35.0	12.9	3.1
02:00 a.m.	36.0	12.8	6.7
03:00 a.m.	37.0	12.8	7.9
04:00 a.m.	38.0	12.8	8.0
05:00 a.m.	39.0	13.0	8.5
06:00 a.m.	40.0	13.2	9.0
07:00 a.m.	41.0	13.5	10.0
08:00 a.m.	42.0	13.8	15.8
09:00 a.m.	43.0	14.2	16.4
10:00 a.m.	44.0	14.5	16.8
11:00 a.m.	45.0	14.8	17.2
12:00 p.m.	46.0	14.9	7.7
01:00 p.m.	47.0	14.4	3.3
02:00 p.m.	48.0	13.8	1.5
03:00 p.m.	49.0	13.2	0.8
04:00 p.m.	50.0	12.4	0.2
05:00 p.m.	51.0	11.7	0.5
06:00 p.m.	52.0	11.1	2.0
07:00 p.m.	53.0	10.5	3.0
08:00 p.m.	54.0	9.9	4.0
09:00 p.m.	55.0	9.4	5.8
10:00 p.m.	56.0	9.4	6.5
11:00 p.m.	57.0	9.5	8.0
12:00 a.m.	58.0	9.5	10.7
01:00 a.m.	59.0	9.8	3.5
02:00 a.m.	60.0	9.9	3.7
03:00 a.m.	61.0	10.1	4.0
04:00 a.m.	62.0	10.4	4.5
05:00 a.m.	63.0	10.6	5.0
06:00 a.m.	64.0	10.8	8.4
07:00 a.m.	65.0	11.0	11.3
08:00 a.m.	66.0	11.3	14.9
09:00 a.m.	67.0	11.1	7.1
10:00 a.m.	68.0	10.8	3.4
11:00 a.m.	69.0	10.4	2.4
12:00 p.m.	70.0	9.8	1.8
01:00 p.m.	71.0	9.3	1.0
02:00 p.m.	72.0	8.8	0.9

**GRAFICO # 3**  
**TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL CONCRETO**  
**Y TEMPERATURA AMBIENTAL vs TIEMPO**  
**Simulación Clima Frío (Laboratorio de Ensayo de Materiales FIC-UNI)**



**CUADRO # 4**  
**MONITOREO DE TEMPERATURA DEL CONCRETO,**  
**Y TEMPERATURA AMBIENTE vs. TIEMPO**  
**SIMULACION CLIMA FRÍO**

**LABORATORIO** : LEM (LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES FIC - UNI)  
 CONCRETO PROTEGIDO CON MANTA DE LANA DE FIBRA DE VIDRIO  
 (TEMPERATURAS CLIMA FRÍO)

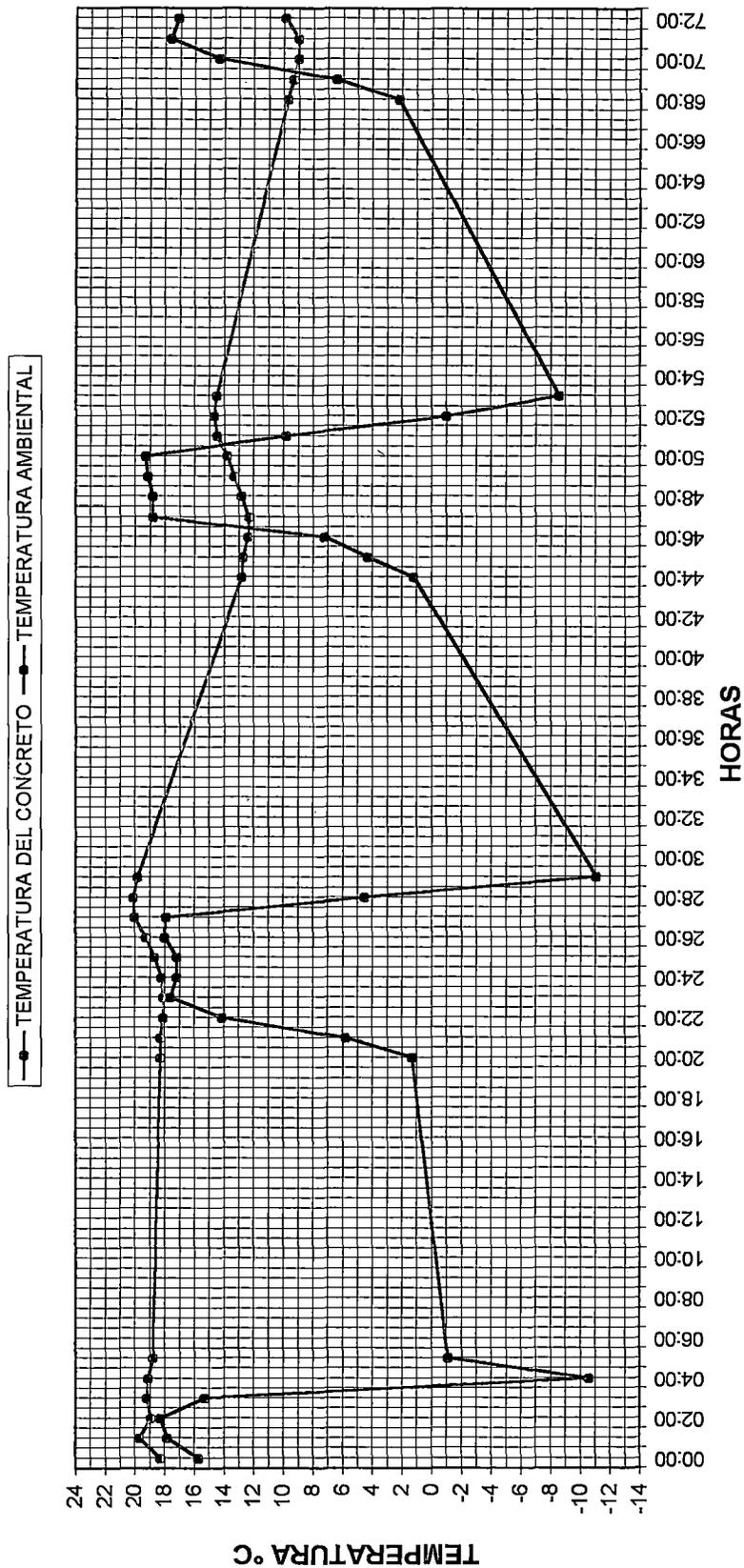
**Miércoles 19 de setiembre del 2001**

(Hora de vaciado = 11:55 a.m)

HORA		TEMPERATURA DEL CONCRETO °C	TEMPERATURA AMBIENTE °C
DEL DIA	ACUMULADA		
12:00 p.m.	00.0	18.3	15.7
01:00 p.m.	01.0	19.7	17.8
02:00 p.m.	02.0	18.9	18.3
03:00 p.m.	03.0	19.2	15.3
04:00 p.m.	04.0	19.1	-10.6
05:00 p.m.	05.0	18.8	-1.1
06:00 p.m.	06.0	-	-
07:00 p.m.	07.0	-	-
08:00 p.m.	08.0	-	-
09:00 p.m.	09.0	-	-
10:00 p.m.	10.0	-	-
11:00 p.m.	11.0	-	-
12:00 a.m.	12.0	-	-
01:00 a.m.	13.0	-	-
02:00 a.m.	14.0	-	-
03:00 a.m.	15.0	-	-
04:00 a.m.	16.0	-	-
05:00 a.m.	17.0	-	-
06:00 a.m.	18.0	-	-
07:00 a.m.	19.0	-	-
08:00 a.m.	20.0	18.3	1.3
09:00 a.m.	21.0	18.3	5.8
10:00 a.m.	22.0	18.1	14.1
11:00 a.m.	23.0	18.1	17.6
12:00 p.m.	24.0	18.2	17.2
01:00 p.m.	25.0	18.7	17.2
02:00 p.m.	26.0	19.3	18.0
03:00 p.m.	27.0	20.0	17.9

04:00 p.m.	28.0	20.1	4.5
05:00 p.m.	29.0	19.8	-11.1
06:00 p.m.	30.0	-	-
07:00 p.m.	31.0	-	-
08:00 p.m.	32.0	-	-
09:00 p.m.	33.0	-	-
10:00 p.m.	34.0	-	-
11:00 p.m.	35.0	-	-
12:00 a.m.	36.0	-	-
01:00 a.m.	37.0	-	-
02:00 a.m.	38.0	-	-
03:00 a.m.	39.0	-	-
04:00 a.m.	40.0	-	-
05:00 a.m.	41.0	-	-
06:00 a.m.	42.0	-	-
07:00 a.m.	43.0	-	-
08:00 a.m.	44.0	12.8	1.2
09:00 a.m.	45.0	12.7	4.3
10:00 a.m.	46.0	12.4	7.2
11:00 a.m.	47.0	12.3	18.8
12:00 p.m.	48.0	12.8	18.8
01:00 p.m.	49.0	13.3	19.1
02:00 p.m.	50.0	13.8	19.3
03:00 p.m.	51.0	14.5	9.8
04:00 p.m.	52.0	14.7	-1.0
05:00 p.m.	53.0	14.5	-8.6
06:00 p.m.	54.0	-	-
07:00 p.m.	55.0	-	-
08:00 p.m.	56.0	-	-
09:00 p.m.	57.0	-	-
10:00 p.m.	58.0	-	-
11:00 p.m.	59.0	-	-
12:00 a.m.	60.0	-	-
01:00 a.m.	61.0	-	-
02:00 a.m.	62.0	-	-
03:00 a.m.	63.0	-	-
04:00 a.m.	64.0	-	-
05:00 a.m.	65.0	-	-
06:00 a.m.	66.0	-	-
07:00 a.m.	67.0	-	-
08:00 a.m.	68.0	9.7	2.2
09:00 a.m.	69.0	9.3	6.4
10:00 a.m.	70.0	9.0	14.3
11:00 a.m.	71.0	9.0	17.6
12:00 p.m.	72.0	9.9	17.1

**GRAFICO # 4**  
**TEMPERATURA DEL CONCRETO**  
**Y TEMPERATURA AMBIENTAL vs TIEMPO**  
**Simulación Clima Frío (Laboratorio de Ensayo de Materiales FIC-UNI)**



**CUADRO # 5**  
**MONITOREO DE TEMPERATURA SUPERFICIAL,**  
**Y TEMPERATURA AMBIENTE vs. TIEMPO**  
**SIMULACION CLIMA FRÍO**

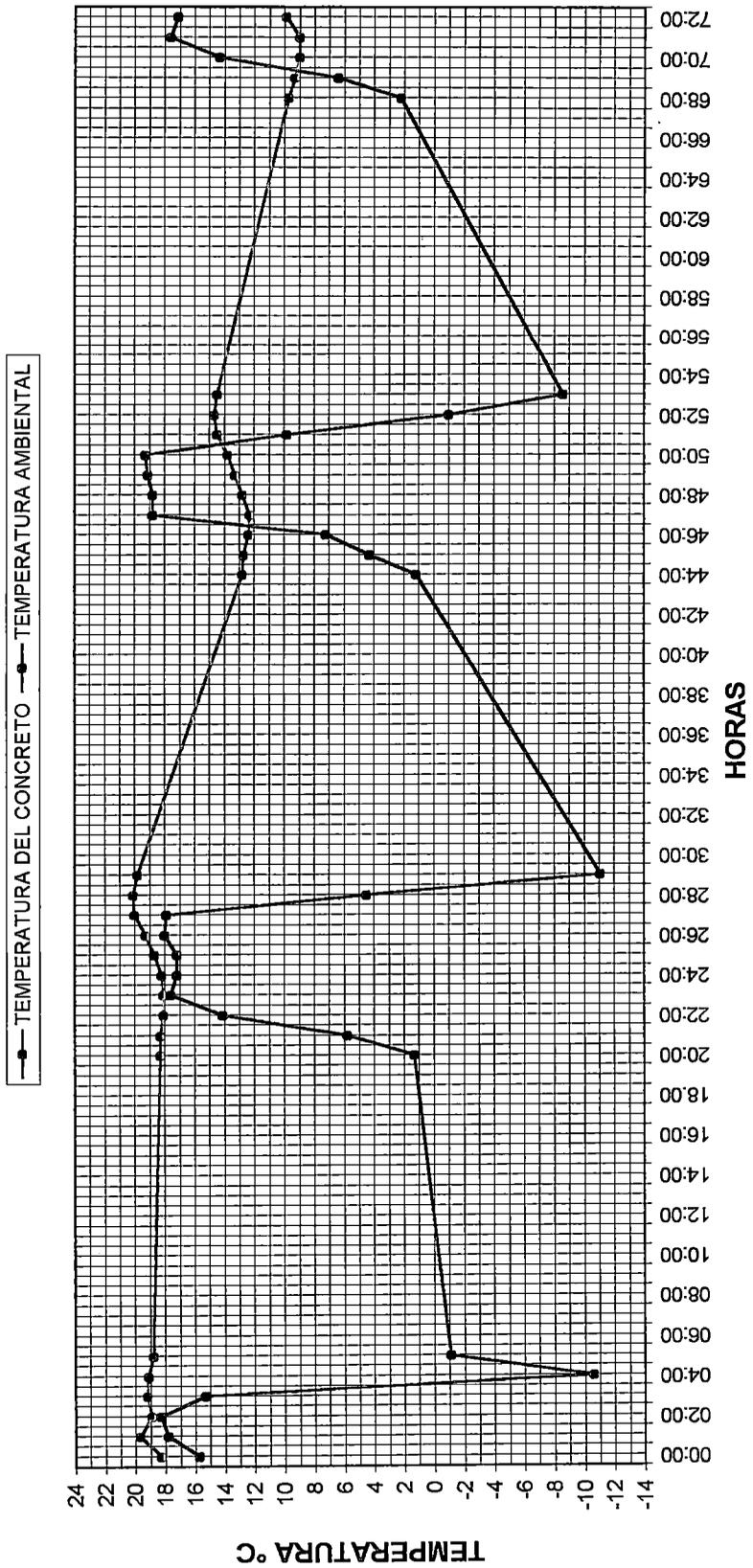
**LABORATORIO** : LEM (LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES FIC - UNI)  
 CONCRETO PROTEGIDO CON MANTA DE LANA DE FIBRA DE VIDRIO  
 (TEMPERATURAS CLIMA FRÍO)

**Lunes 24 de setiembre del 2001**  
 (Hora de vaciado = 12:00 p.m)

HORA		TEMPERATURA DEL CONCRETO ° C	TEMPERATURA AMBIENTE ° C
DEL DIA	ACUMULADA		
12:00 p.m.	00.0	18.8	15.5
01:00 p.m.	01.0	19.1	16.3
02:00 p.m.	02.0	18.8	18.3
03:00 p.m.	03.0	19.1	17.6
04:00 p.m.	04.0	19.1	9.2
05:00 p.m.	05.0	19.5	-10.0
06:00 p.m.	06.0	-	-
07:00 p.m.	07.0	-	-
08:00 p.m.	08.0	-	-
09:00 p.m.	09.0	-	-
10:00 p.m.	10.0	-	-
11:00 p.m.	11.0	-	-
12:00 p.m.	12.0	-	-
01:00 a.m.	13.0	-	-
02:00 a.m.	14.0	-	-
03:00 a.m.	15.0	-	-
04:00 a.m.	16.0	-	-
05:00 a.m.	17.0	-	-
06:00 a.m.	18.0	-	-
07:00 a.m.	19.0	-	-
08:00 a.m.	20.0	16.6	1.1
09:00 a.m.	21.0	16.6	3.6
10:00 a.m.	22.0	16.4	11.1
11:00 a.m.	23.0	16.4	17.6
12:00 p.m.	24.0	17.0	20.2
01:00 p.m.	25.0	17.9	17.2
02:00 p.m.	26.0	18.7	17.5
03:00 p.m.	27.0	19.5	17.9

04:00 p.m.	28.0	20.5	6.1
05:00 p.m.	29.0	20.8	-10.7
06:00 p.m.	30.0	-	-
07:00 p.m.	31.0	-	-
08:00 p.m.	32.0	-	-
09:00 p.m.	33.0	-	-
10:00 p.m.	34.0	-	-
11:00 p.m.	35.0	-	-
12:00 p.m.	36.0	-	-
01:00 a.m.	37.0	-	-
02:00 a.m.	38.0	-	-
03:00 a.m.	39.0	-	-
04:00 a.m.	40.0	-	-
05:00 a.m.	41.0	-	-
06:00 a.m.	42.0	-	-
07:00 a.m.	43.0	-	-
08:00 a.m.	44.0	11.5	0.8
09:00 a.m.	45.0	11.5	1.1
10:00 a.m.	46.0	11.6	1.4
11:00 a.m.	47.0	11.8	7.6
12:00 p.m.	48.0	12.0	18.5
01:00 p.m.	49.0	12.4	19.0
02:00 p.m.	50.0	12.9	19.1
03:00 p.m.	51.0	13.4	19.4
04:00 p.m.	52.0	14.0	9.6
05:00 p.m.	53.0	13.6	-12.6
06:00 p.m.	54.0	-	-
07:00 p.m.	55.0	-	-
08:00 p.m.	56.0	-	-
09:00 p.m.	57.0	-	-
10:00 p.m.	58.0	-	-
11:00 p.m.	59.0	-	-
12:00 p.m.	60.0	-	-
01:00 a.m.	61.0	-	-
02:00 a.m.	62.0	-	-
03:00 a.m.	63.0	-	-
04:00 a.m.	64.0	-	-
05:00 a.m.	65.0	-	-
06:00 a.m.	66.0	-	-
07:00 a.m.	67.0	-	-
08:00 a.m.	68.0	8.4	2.5
09:00 a.m.	69.0	8.4	6.8
10:00 a.m.	70.0	8.3	8.3
11:00 a.m.	71.0	8.6	16.9
12:00 p.m.	72.0	9.1	17.1

**GRAFICO # 5**  
**TEMPERATURA DEL CONCRETO**  
**Y TEMPERATURA AMBIENTAL vs TIEMPO**  
**Simulación Clima Frío (Laboratorio de Ensayo de Materiales FIC-UNI)**



2.3.2. PROBETAS SIN PROTECCIÓN Y CON PROTECCIÓN  
CONTRA EL FRÍO BAJO CONDICIONES DE  
CLIMA FRÍO

**CUADRO # 6**

**MONITOREO DE TEMPERATURA DEL CONCRETO SIN PROTECCIÓN Y CON PROTECCIÓN CONTRA EL FRÍO, Y TEMPERATURA AMBIENTE vs. TIEMPO  
SIMULACION CLIMA FRÍO**

LABORATORIO : LEM (LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES FIC - UNI)  
CONCRETO SIN PROTECCIÓN Y CON PROTECCIÓN (TEMPERATURAS CLIMA FRÍO)

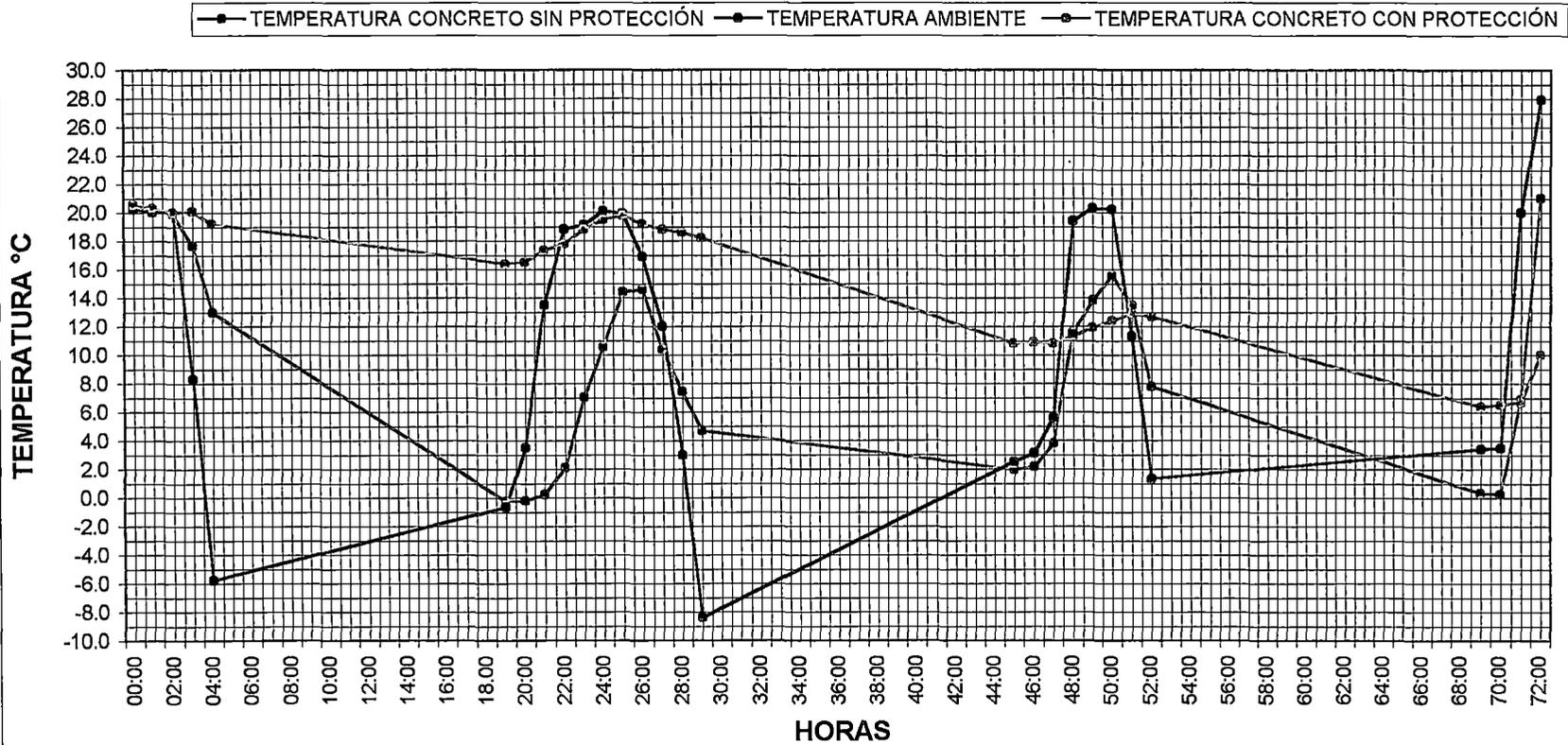
**Martes 09 de octubre del 2001**

(Hora de vaciado = 01:00 p.m.)

HORA		TEMP. (1)	TEMP. (2)	TEMP. (3)	TEMP. PROM. CONCRETO SIN PROTECCIÓN	TEMP. PROM. CONCRETO CON PROTECCIÓN	TEMPERATURA AMBIENTE
DEL DIA	ACUMULADA	°C	°C	°C	°C	°C	°C
01:00 p.m.	00.0	20.6	20.5	20.5	20.5	20.5	20.2
02:00 p.m.	01.0	20.4	20.2	20.1	20.2	20.3	20.0
03:00 p.m.	02.0	20.0	19.9	19.9	19.9	20.0	20.0
04:00 p.m.	03.0	18.0	17.6	17.4	17.7	20.1	8.3
05:00 p.m.	04.0	13.2	13.0	12.8	13.0	19.2	-5.8
06:00 p.m.	05.0	-	-	-	-	-	-
07:00 p.m.	06.0	-	-	-	-	-	-
08:00 p.m.	07.0	-	-	-	-	-	-
09:00 p.m.	08.0	-	-	-	-	-	-
10:00 p.m.	09.0	-	-	-	-	-	-
11:00 p.m.	10.0	-	-	-	-	-	-
12:00 p.m.	11.0	-	-	-	-	-	-
01:00 a.m.	12.0	-	-	-	-	-	-
02:00 a.m.	13.0	-	-	-	-	-	-
03:00 a.m.	14.0	-	-	-	-	-	-
04:00 a.m.	15.0	-	-	-	-	-	-
05:00 a.m.	16.0	-	-	-	-	-	-
06:00 a.m.	17.0	-	-	-	-	-	-
07:00 a.m.	18.0	-	-	-	-	-	-
08:00 a.m.	19.0	0.0	-0.2	-0.6	-0.3	16.4	-0.7
09:00 a.m.	20.0	0.0	-0.2	-0.4	-0.2	16.5	3.5
10:00 a.m.	21.0	0.3	0.3	0.0	0.2	17.3	13.5
11:00 a.m.	22.0	2.4	2.3	1.5	2.1	17.8	18.8
12:00 p.m.	23.0	7.2	7.1	6.8	7.0	18.8	19.1
01:00 p.m.	24.0	11.5	10.0	10.1	10.5	19.5	20.1
02:00 p.m.	25.0	14.7	14.3	14.1	14.4	19.8	19.9
03:00 p.m.	26.0	14.8	14.5	14.5	14.6	19.2	16.9
04:00 p.m.	27.0	10.7	10.3	10.2	10.4	18.8	12.0
05:00 p.m.	28.0	8.1	7.2	7.0	7.4	18.6	3.0
06:00 p.m.	29.0	5.4	4.5	4.1	4.7	18.2	-8.4
07:00 p.m.	30.0	-	-	-	-	-	-
08:00 p.m.	31.0	-	-	-	-	-	-
09:00 p.m.	32.0	-	-	-	-	-	-
10:00 p.m.	33.0	-	-	-	-	-	-
11:00 p.m.	34.0	-	-	-	-	-	-
12:00 p.m.	35.0	-	-	-	-	-	-
01:00 a.m.	36.0	-	-	-	-	-	-
02:00 a.m.	37.0	-	-	-	-	-	-

03:00 a.m.	38.0	-	-	-	-	-	-
04:00 a.m.	39.0	-	-	-	-	-	-
05:00 a.m.	40.0	-	-	-	-	-	-
06:00 a.m.	41.0	-	-	-	-	-	-
07:00 a.m.	42.0	-	-	-	-	-	-
08:00 a.m.	43.0	-	-	-	-	-	-
09:00 a.m.	44.0	-	-	-	-	-	-
10:00 a.m.	45.0	2.4	2.0	1.5	2.0	10.8	2.5
11:00 a.m.	46.0	2.6	2.1	1.8	2.2	10.9	3.1
12:00 p.m.	47.0	4.6	3.6	3.2	3.8	10.8	5.6
01:00 p.m.	48.0	11.9	11.6	11.4	11.6	11.3	19.4
02:00 p.m.	49.0	13.9	14.1	13.5	13.8	11.9	20.3
03:00 p.m.	50.0	15.5	15.7	15.5	15.6	12.4	20.2
04:00 p.m.	51.0	13.6	13.6	13.3	13.5	12.9	11.3
05:00 p.m.	52.0	8.0	7.8	7.6	7.8	12.7	1.3
06:00 p.m.	53.0	-	-	-	-	-	-
07:00 p.m.	54.0	-	-	-	-	-	-
08:00 p.m.	55.0	-	-	-	-	-	-
09:00 p.m.	56.0	-	-	-	-	-	-
10:00 p.m.	57.0	-	-	-	-	-	-
11:00 p.m.	58.0	-	-	-	-	-	-
12:00 p.m.	59.0	-	-	-	-	-	-
01:00 a.m.	60.0	-	-	-	-	-	-
02:00 a.m.	61.0	-	-	-	-	-	-
03:00 a.m.	62.0	-	-	-	-	-	-
04:00 a.m.	63.0	-	-	-	-	-	-
05:00 a.m.	64.0	-	-	-	-	-	-
06:00 a.m.	65.0	-	-	-	-	-	-
07:00 a.m.	66.0	-	-	-	-	-	-
08:00 a.m.	67.0	-	-	-	-	-	-
09:00 a.m.	68.0	-	-	-	-	-	-
10:00 a.m.	69.0	0.4	0.3	0.3	0.3	6.4	3.4
11:00 a.m.	70.0	0.4	0.2	0.2	0.3	6.5	3.5
12:00 p.m.	71.0	7.1	6.9	6.7	6.9	6.7	20.0
01:00 p.m.	72.0	20.7	21.9	20.5	21.0	10.0	27.9

**GRAFICO # 6**  
**TEMPERATURA DEL CONCRETO SIN PROTECCIÓN Y CON PROTECCIÓN**  
**CONTRA EL FRÍO Y TEMPERATURA AMBIENTAL vs TIEMPO**  
**Simulación Clima Frío (Laboratorio de Ensayo de Materiales FIC-UNI)**



**2.3.3. PROBETAS SUMERGIDAS EN POZA DE AGUA BAJO  
CONDICIONES DE CURADO ESTÁNDAR**

## CUADRO # 7

### MONITOREO DE TEMPERATURA DEL CONCRETO, TEMPERATURA DEL AGUA DE LA POZA Y TEMPERATURA AMBIENTE vs. TIEMPO SIMULACION CLIMA FRÍO

**LABORATORIO** : LEM (LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES FIC - UNI)

CONCRETO CURADO EN POZA SUMERGIDA (TEMPERATURAS ESTÁNDAR 16°C < Temp. < 27°C)

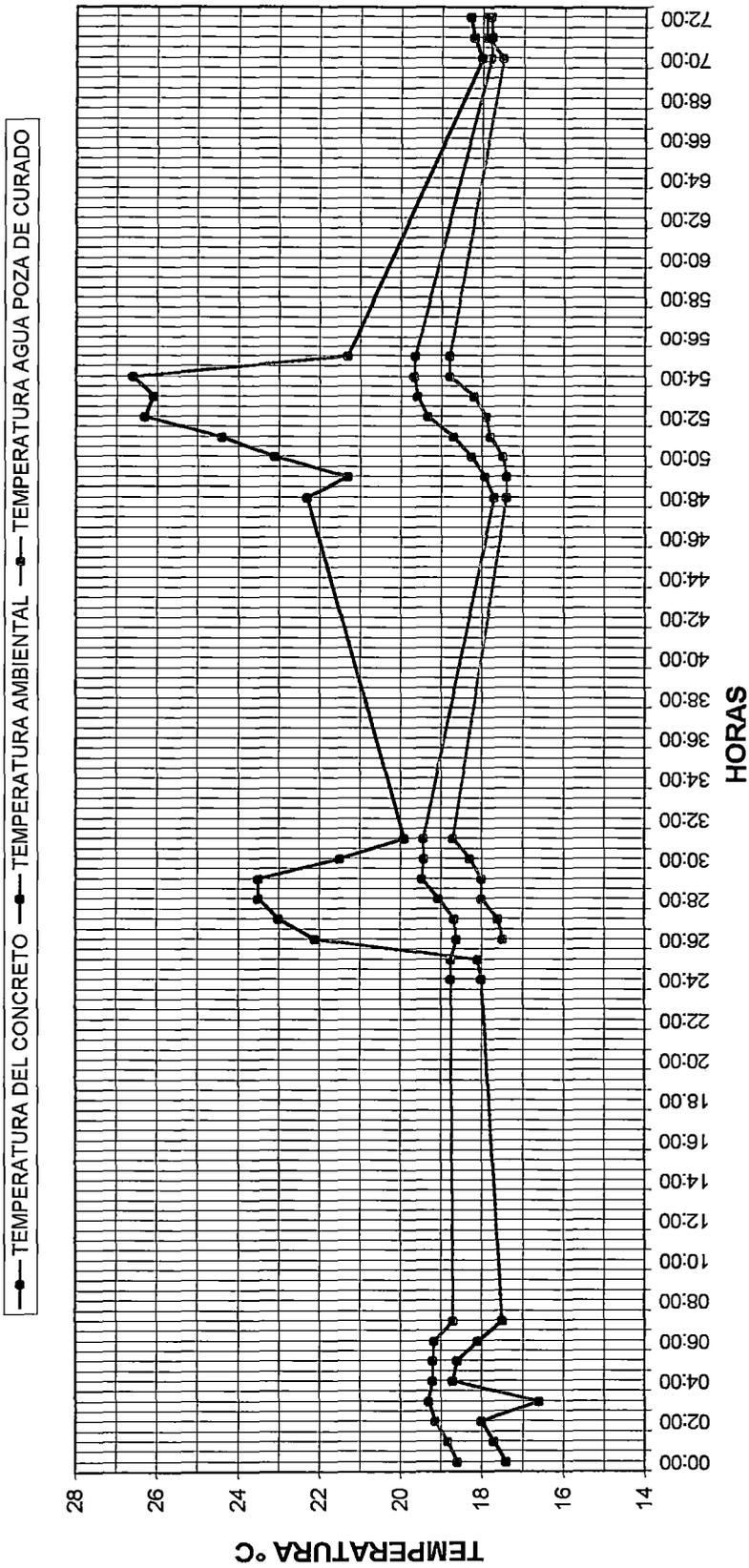
**Lunes 01 de octubre del 2001**

(Hora de vaciado = 10:00 a.m)

HORA		TEMP. (1)	TEMP. (2)	TEMP. (3)	TEMP. PROM. CONCRETO	TEMP. POZA DE CURADO	TEMPERATURA AMBIENTE
DEL DIA	ACUMULADA	°C	°C	°C	°C	°C	°C
10:00 a.m.	00.0	18.6	18.6	18.6	18.6	-	17.4
11:00 a.m.	01.0	18.8	18.8	18.9	18.8	-	17.7
12:00 a.m.	02.0	19.0	19.2	19.2	19.1	-	18.0
01:00 p.m.	03.0	19.2	19.4	19.3	19.3	-	16.6
02:00 p.m.	04.0	19.2	19.2	19.2	19.2	-	18.7
03:00 p.m.	05.0	19.2	19.2	19.2	19.2	-	18.6
04:00 p.m.	06.0	19.2	19.2	19.1	19.2	-	18.1
05:00 p.m.	07.0	18.8	18.6	18.7	18.7	-	17.5
06:00 p.m.	08.0	-	-	-	-	-	-
07:00 p.m.	09.0	-	-	-	-	-	-
08:00 p.m.	10.0	-	-	-	-	-	-
09:00 p.m.	11.0	-	-	-	-	-	-
10:00 p.m.	12.0	-	-	-	-	-	-
11:00 p.m.	13.0	-	-	-	-	-	-
12:00 p.m.	14.0	-	-	-	-	-	-
01:00 a.m.	15.0	-	-	-	-	-	-
02:00 a.m.	16.0	-	-	-	-	-	-
03:00 a.m.	17.0	-	-	-	-	-	-
04:00 a.m.	18.0	-	-	-	-	-	-
05:00 a.m.	19.0	-	-	-	-	-	-
06:00 a.m.	20.0	-	-	-	-	-	-
07:00 a.m.	21.0	-	-	-	-	-	-
08:00 a.m.	22.0	-	-	-	-	-	-
09:00 a.m.	23.0	-	-	-	-	-	-
10:00 a.m.	24.0	18.6	18.8	18.9	18.8	-	18.0
11:00 a.m.	25.0	18.6	18.8	18.9	18.8	-	18.1
12:00 p.m.	26.0	18.7	18.6	18.6	18.6	17.5	22.1
01:00 p.m.	27.0	18.8	18.6	18.6	18.7	17.6	23.0
02:00 p.m.	28.0	19.0	19.1	19.1	19.1	18.0	23.5
03:00 p.m.	29.0	19.3	19.6	19.5	19.5	18.0	23.5
04:00 p.m.	30.0	19.5	19.4	19.4	19.4	18.3	21.5
05:00 p.m.	31.0	19.5	19.4	19.4	19.4	18.7	19.9
06:00 p.m.	32.0	-	-	-	-	-	-
07:00 p.m.	33.0	-	-	-	-	-	-
08:00 p.m.	34.0	-	-	-	-	-	-
09:00 p.m.	35.0	-	-	-	-	-	-
10:00 p.m.	36.0	-	-	-	-	-	-
11:00 p.m.	37.0	-	-	-	-	-	-
12:00 p.m.	38.0	-	-	-	-	-	-

01:00 a.m.	39.0	-	-	-	-	-	-
02:00 a.m.	40.0	-	-	-	-	-	-
03:00 a.m.	41.0	-	-	-	-	-	-
04:00 a.m.	42.0	-	-	-	-	-	-
05:00 a.m.	43.0	-	-	-	-	-	-
06:00 a.m.	44.0	-	-	-	-	-	-
07:00 a.m.	45.0	-	-	-	-	-	-
08:00 a.m.	46.0	-	-	-	-	-	-
09:00 a.m.	47.0	-	-	-	-	-	-
10:00 a.m.	48.0	17.6	17.7	17.8	17.7	17.4	22.3
11:00 a.m.	49.0	17.8	18.0	18.0	17.9	17.4	21.3
12:00 p.m.	50.0	18.1	18.3	18.4	18.3	17.5	23.1
01:00 p.m.	51.0	18.6	18.7	18.8	18.7	17.8	24.4
02:00 p.m.	52.0	19.3	19.4	19.3	19.3	17.9	26.3
03:00 p.m.	53.0	19.4	19.7	19.7	19.6	18.2	26.1
04:00 p.m.	54.0	19.6	19.7	19.7	19.7	18.8	26.6
05:00 p.m.	55.0	19.6	19.6	19.7	19.6	18.8	21.3
06:00 p.m.	56.0	-	-	-	-	-	-
07:00 p.m.	57.0	-	-	-	-	-	-
08:00 p.m.	58.0	-	-	-	-	-	-
09:00 p.m.	59.0	-	-	-	-	-	-
10:00 p.m.	60.0	-	-	-	-	-	-
11:00 p.m.	61.0	-	-	-	-	-	-
12:00 p.m.	62.0	-	-	-	-	-	-
01:00 a.m.	63.0	-	-	-	-	-	-
02:00 a.m.	64.0	-	-	-	-	-	-
03:00 a.m.	65.0	-	-	-	-	-	-
04:00 a.m.	66.0	-	-	-	-	-	-
05:00 a.m.	67.0	-	-	-	-	-	-
06:00 a.m.	68.0	-	-	-	-	-	-
07:00 a.m.	69.0	-	-	-	-	-	-
08:00 a.m.	70.0	17.8	17.8	17.8	17.8	17.5	18.0
09:00 a.m.	71.0	17.8	17.7	17.8	17.8	17.9	18.2
10:00 a.m.	72.0	17.9	17.8	17.7	17.8	17.9	18.3

**GRAFICO # 7**  
**TEMPERATURA DEL CONCRETO, TEMPERATURA DEL AGUA DE LA POZA**  
**DE CURADYOY TEMPERATURA AMBIENTAL vs TIEMPO**  
**Simulación Clima Frío (Laboratorio de Ensayo de Materiales FIC-UNI)**



## **2.4. MONITOREO DE RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS DE CONCRETO**

### **2.4.1. DETERMINACIÓN DEL PERIODO DE PROTECCIÓN: EDAD 24, 48, 72 HORAS.**

PROBETAS PATRÓN (CURADAS EN POZA DE AGUA BAJO CONDICIONES ESTÁNDAR), PROBETAS CON MEMBRANA (CONDICIONES AMBIENTALES NORMAL), PROBETAS SIN PROTECCIÓN Y CON PROTECCIÓN BAJO CONDICIONES DE CLIMA FRÍO.

## CUADRO # 8

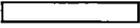
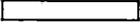
### CUADRO DESCRIPTIVO

#### SIMULACIÓN CLIMA FRÍO

**Tesis** : Curado y Protección de Concretos Colocados en Climas Fríos

**Laboratorio** : LEM ( Laboratorio de Ensayo de Materiales )

Determinación Período de Protección

Tipo de Concreto	Condición de Temperatura	Curado	Protección contra el Frío	Color
Concreto Patrón	Normal	Curado en Poza de Agua Sumergido	Sin Protección	
Concreto con Membrana	Normal	Curado con Membrana Química	Sin Protección	
Concreto Clima Frío1	Clima Frío Temperatura Promedio < 5°C	Sin Curado	Sin Protección	
Concreto Clima Frío2	Clima Frío Temperatura Promedio < 5°C	Curado con Membrana Química	Manta de Lana de Fibra de Vidrio	

# CUADRO COMPARATIVO DE RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN

## SIMULACIÓN CLIMA FRÍO

### DETERMINACIÓN DEL PERIODO DE PROTECCIÓN

Laboratorio : LEM (Laboratorio de Ensayos de Materiales FIC-UNI)

#### CUADRO # 9

##### RESISTENCIAS OBTENIDAS A LAS 24 HORAS

	Concreto Patrón	Concreto con Membrana	Concreto Clima Frío 1	Concreto Clima Frío 2
Probeta 1	96.51	64.37	2.51	44.83
Probeta 2	100.00	65.52	2.26	45.20
Probeta 3	97.70	67.82	2.23	47.17
Probeta 4	95.35	71.26	3.11	45.35
Probeta 5	98.84	71.26	2.82	44.83
Probeta 6	86.04	67.82	3.78	40.70
Promedio Kg/cm <sup>2</sup>	95.74	68.01	2.79	44.67

#### CUADRO # 10

##### RESISTENCIAS OBTENIDAS A LAS 48 HORAS

	Concreto Patrón	Concreto con Membrana	Concreto Clima Frío 1	Concreto Clima Frío 2
Probeta 1	148.26	85.88	8.14	100.00
Probeta 2	130.23	86.47	11.21	101.16
Probeta 3	138.98	89.66	9.60	94.92
Probeta 4	126.55	100.56	13.80	93.10
Probeta 5	140.70	93.10	17.44	87.36
Probeta 6	130.23	91.95	16.86	90.40
Promedio Kg/cm <sup>2</sup>	135.83	91.27	12.84	94.49

### CUADRO # 11

#### RESISTENCIAS OBTENIDAS A LAS 72 HORAS

	Concreto Patrón	Concreto con Membrana	Concreto Clima Frío 1	Concreto Clima Frío 2
Probeta 1	154.65	131.84	34.59	150.57
Probeta 2	146.51	130.23	24.71	132.56
Probeta 3	159.77	133.33	28.49	150.57
Probeta 4	144.83	141.18	34.47	132.18
Probeta 5	146.51	135.63	32.27	135.63
Probeta 6	160.47	131.03	30.52	135.63
Promedio Kg/cm2	152.12	133.87	31.01	139.52

### CUADRO # 12

#### RESUMEN

TIPO DEL CONCRETO	EDAD					
	24 horas		48 horas		72 horas	
	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN					
	Kg/cm2	(%)	Kg/cm2	(%)	Kg/cm2	(%)
Concreto Patrón	95.74	(100.00)	135.83	(100.00)	152.12	(100.00)
Concreto con Membrana	68.01	(71.03)	91.27	(67.20)	133.87	(88.00)
Concreto Clima Frío1	2.79	(2.91)	12.84	(9.45)	31.01	(20.38)
Concreto Clima Frío2	44.67	(46.66)	94.49	(69.57)	138.52	(91.72)

**GRAFICO #8**  
**RESISTENCIA DE PROBETAS DE CONCRETO EN CODICIONES ESTÁNDAR CURADAS EN POZA DE AGUA vs. PROBETAS CURADAS A LA INTEMPERIE Y PROBETAS EN CONDICIONES DE CLIMA FRIO SIN PROTECCIÓN Y CON PROTECCIÓN (MEMBRANA QUÍMICA- MANTAS DE LANA DE FIBRA DEVIDRIO)**

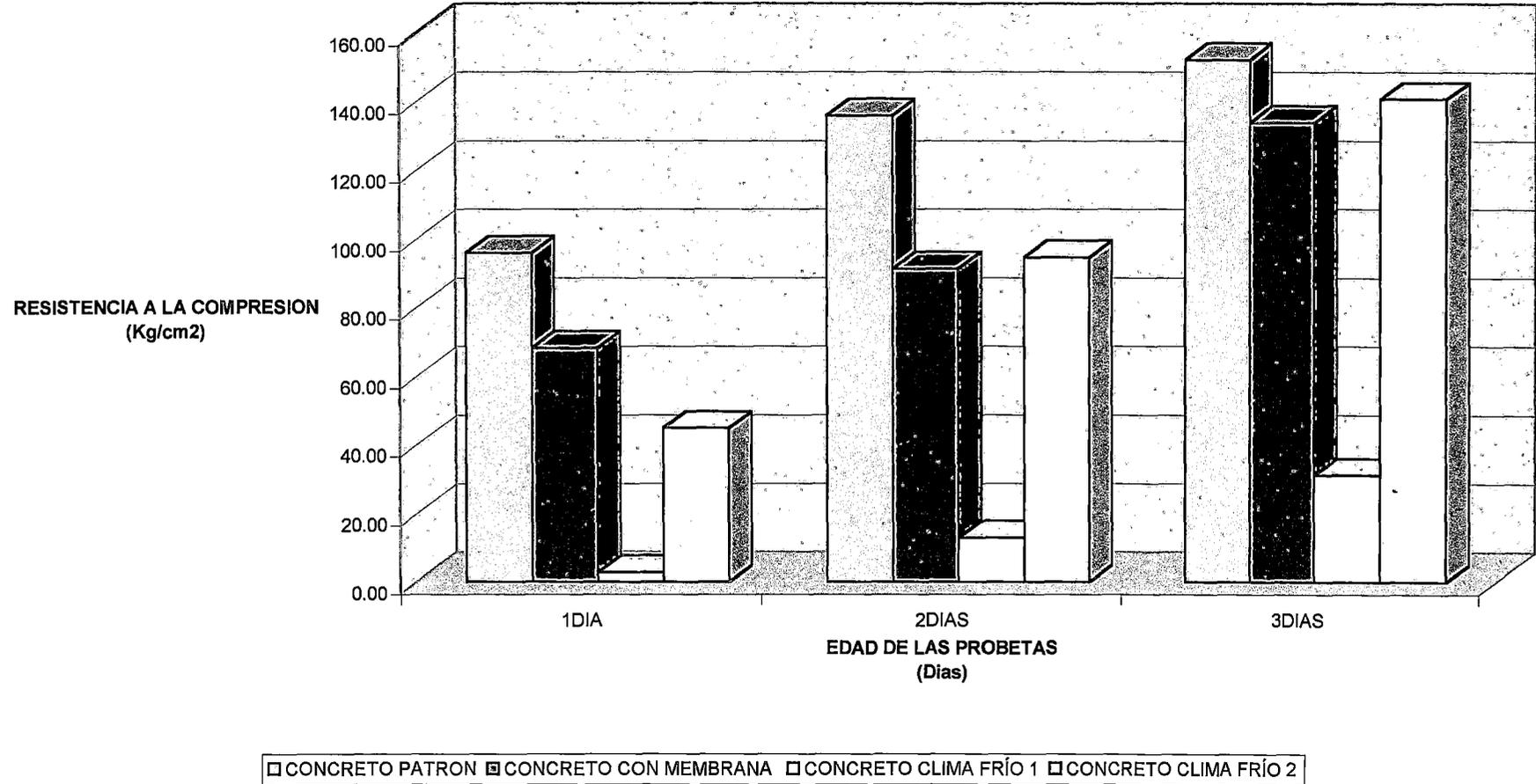
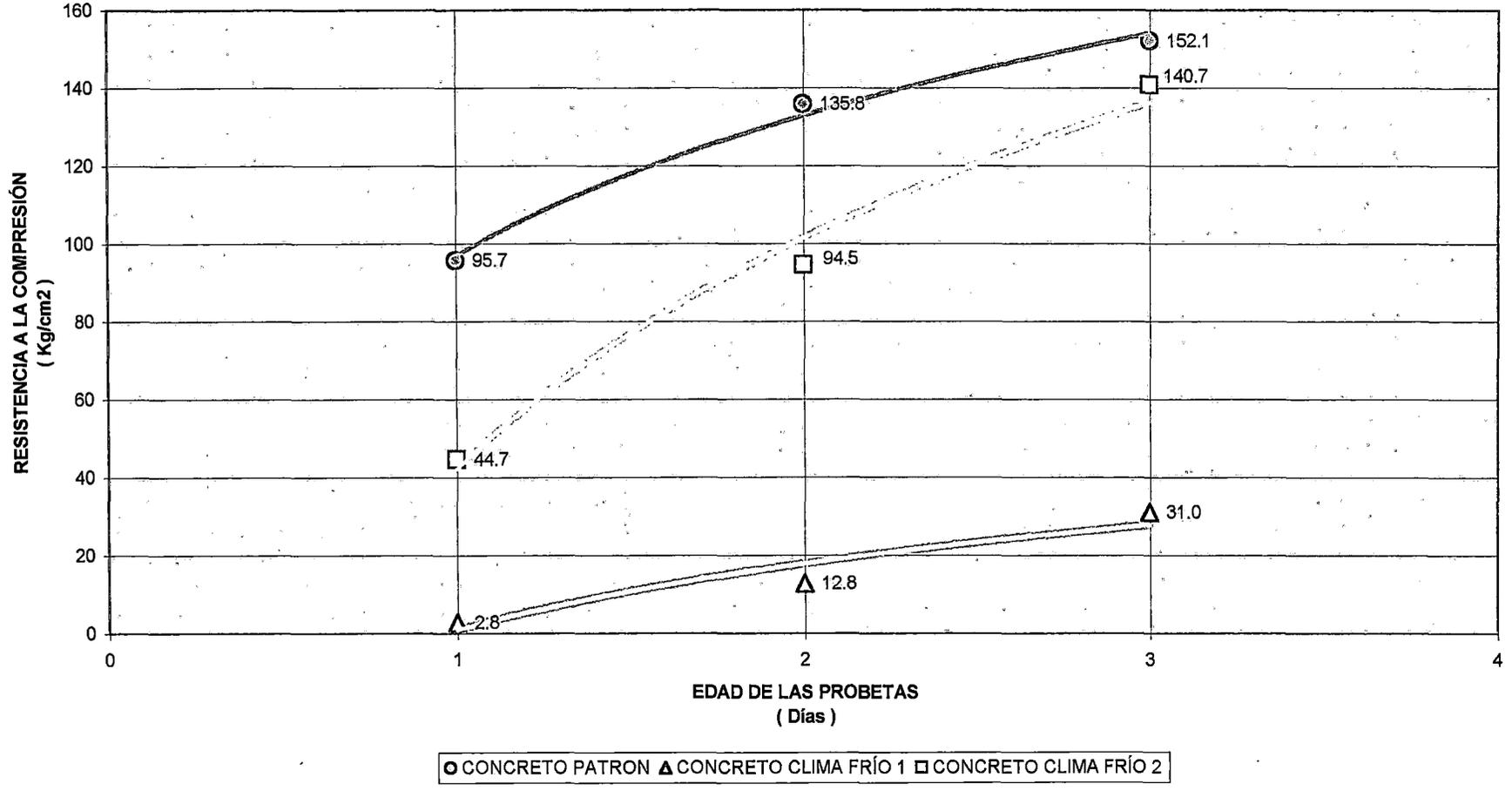


GRAFICO # 9

RESISTENCIA DEL CONCRETO CON Y SIN PROTECCIÓN BAJO CONDICIONES DE CLIMA FRÍO vs. CONCRETO CURADO BAJO CONDICIONES DE LABORATORIO ESTANDAR



2.4.2. PERIODO DE PROTECCIÓN DE 2 Y 3 DÍAS USANDO MANTAS DE LANA DE FIBRA DE VIDRIO: EDAD 7 Y 28 DÍAS.

PROBETAS PATRÓN (CURADAS EN POZA DE AGUA BAJO CONDICIONES ESTÁNDAR), PROBETAS CON MEMBRANA (CONDICIONES AMBIENTALES NORMAL), PROBETAS CON PROTECCIÓN BAJO CONDICIONES DE CLIMA FRÍO(TIEMPO DE PROTECCIÓN: 2 Y 3 DÍAS).

## CUADRO # 13

### CUADRO DESCRIPTIVO

#### SIMULACIÓN CLIMA FRÍO

**Tesis** : Curado y Protección de Concretos Colocados en Climas Fríos

**Laboratorio** : LEM ( Laboratorio de Ensayo de Materiales )

Periodo de Protección de 2 y 3 días

Tipo de Concreto	Condición de Temperatura	Curado	Protección contra el Frío	Tiempo de Protección (días)	Color
Concreto Patrón	Normal	Curado en Poza de Agua Sumergido	Sin Protección	-	
Concreto con Membrana	Normal	Curado con Membrana Química	Sin Protección	-	
Concreto Clima Frío2a	Clima Frío Temperatura Promedio < 5°C	Curado con Membrana Química	Manta de Lana de Fibra de Vidrio	2	
Concreto Clima Frío2b	Clima Frío Temperatura Promedio < 5°C	Curado con Membrana Química	Manta de Lana de Fibra de Vidrio	3	

# CUADRO COMPARATIVO DE RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN

## SIMULACIÓN CLIMA FRÍO

**Laboratorio** : LEM (Laboratorio de Ensayos de Materiales FIC-UNI)

Periodo de Protección de 2 y 3 días usando Mantas de Lana de Fibra de Vidrio

**CUADRO # 14**  
**RESISTENCIAS OBTENIDAS A LOS 7 DÍAS**

	Concreto Patrón	Concreto con Membrana	Concreto Clima Frío 2	
			Tiempo de Protección	
			2 días	3 días
Probeta 1	187.36	169.77	162.79	175.86
Probeta 2	189.66	174.12	160.92	180.46
Probeta 3	193.10	187.36	155.81	174.71
Probeta 4	194.25	187.21	152.87	173.56
Probeta 5	185.06	181.61	155.17	164.37
Probeta 6	206.98	183.05	155.81	176.74
Promedio Kg/cm <sup>2</sup>	192.74	180.52	157.23	174.28

**CUADRO # 15**  
**RESISTENCIAS OBTENIDAS A LOS 28 DÍAS**

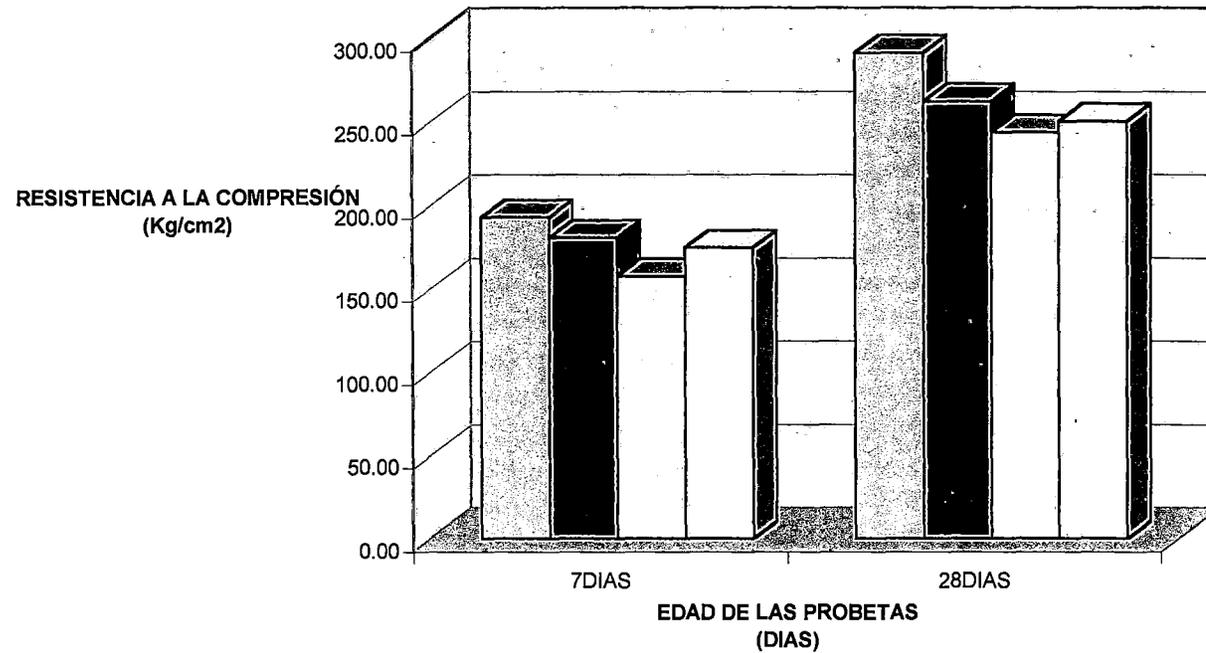
	Concreto Patrón	Concreto con Membrana	Concreto Clima Frío 2	
			Tiempo de Protección	
			2 días	3 días
Probeta 1	296.50	261.02	242.53	246.51
Probeta 2	291.86	262.07	239.53	254.65
Probeta 3	287.36	268.97	240.70	245.20
Probeta 4	288.51	262.07	249.43	259.77
Probeta 5	290.80	262.07	240.23	254.65
Probeta 6	293.10	258.05	250.00	241.38
Promedio Kg/cm2	291.36	262.38	243.74	250.36

**CUADRO # 16**  
**RESUMEN**

TIPO DEL CONCRETO	EDAD			
	7 días		28 días	
	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN			
	Kg/cm2	(%)	Kg/cm2	(%)
Concreto Patrón	192.74	(100.00)	291.36	(100.00)
Concreto con Membrana	180.52	(93.66)	262.38	(90.05)
Concreto Clima Frío2a (Protección 2 días)	157.23	(81.58)	243.74	(83.66)
Concreto Clima Frío2b (Protección 3 días)	174.28	(90.43)	250.36	(85.93)

GRAFICA #10

RESISTENCIAS DE PROBETAS DE CONCRETO CONDICIONES ESTANDAR CURADAS EN POZA DE AGUA vs. PROBETAS CURADAS CON MEMBRANA A LA INTEMPERIE Y PROBETAS EN CONDICIONES DE CLIMA FRÍO CON PROTECCIÓN (MEMBRANA QUÍMICA-MANTA DE LANA DE FIBRA DE VIDRIO)

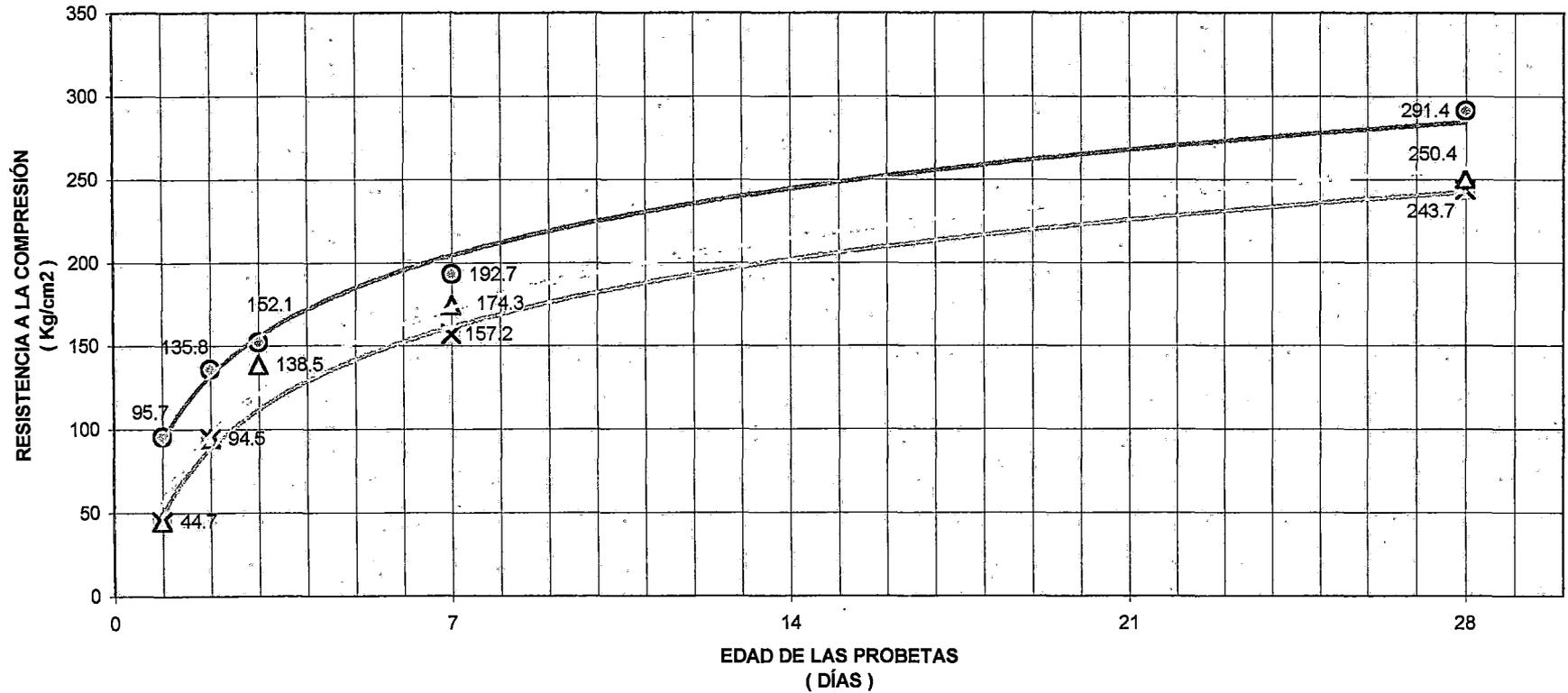


□ CONCRETO PATRON ■ CONCRETO CURADO CON MEMBRANA □ CONCRETO CON PROTECCION 2 DIAS □ CONCRETO CON PROTECCION 3 DIAS

GRAFICO # 11

RESISTENCIA DEL CONCRETO CON UN PERIODO DE PROTECCIÓN DE 2 Y 3 DÍAS BAJO CONDICIONES DE CLIMA FRÍO vs. CONCRETO CURADO BAJO CONDICIONES ESTANDAR

Técnica Empleada (Curado : Membrana Química - Protección : Mantas de Lana de Fibra de Vidrio de 3"espesor)



✕ Concreto Clima Frío 2a ( Protegido 2días ) ▲ Concreto Clima Frío 2b ( Protegido 3días ) ● Concreto Patrón

# CAPÍTULO V

ESTUDIO DEL CURADO Y PROTECCIÓN DEL CONCRETO

APLICADO EN LA OBRA TRAMO III VILAVILANI

REMODELACIÓN DEL CANAL DE UCHUSUMA

TACNA

# 1. GENERALIDADES

El presente estudio de curado y protección del concreto lo realizaremos en la obra tramo III - Vilavilani. El tipo del proyecto corresponde a una infraestructura hidráulica orientada a propósitos múltiples: suministro de agua potable para la ciudad de Tacna, el abastecimiento de agua de riego para los valles de Caplina y Uchusuma, y el desarrollo hidroeléctrico de la región. La obra consistió de dos partes, la primera Reservorios de regulación en la ciudad de Tacna, y la otra de Remodelación del canal Uchusuma. Para los fines de nuestro estudio los ensayos experimentales los realizamos en esta segunda parte.

El canal Uchusuma, se desarrolla en la zona altiplánica del departamento de Tacna, entre los 4000 a 4400 m.s.n.m. a 136 km. de la ciudad de Tacna. Pertenece al distrito de Palca y parte del canal se encuentra en el territorio chileno. Los trabajos se desarrollan desde la entrega del canal que viene de Chuapalca, hasta su descarga a la quebrada de Vilavilani. Corresponde a un canal existente de 49.5 km. de longitud, con una capacidad de 2.00 m<sup>3</sup>/s, la cual será ampliada a 4.50 m<sup>3</sup>/s.

Los trabajos realizados en la remodelación del canal comprenden básicamente:

- El resane de la superficie del canal con mortero y/o concreto.
- Construcción de caminos de servicio a todo lo largo del canal con una capa de afirmado para la rodadura de vehículos, y una berma de protección del otro lado

- La colocación de una geomembrana de polipropileno para asegurar impermeabilidad, protegida contra el punzonamiento por un geotextil.
- La construcción de un cruce de vía férrea, cruces de drenes, salidas de fondo y puentes denominados "canoas" (para pasar de un lado del canal hacia el otro lado)
- La construcción de muros de sobreelevación en concreto ciclópeo para incrementar el tirante admisible del caudal de agua
- Y finalmente el revestimiento del fondo con una losa de concreto simple para proteger la geomembrana durante la limpieza de los sedimentos del canal.

## **1.1. ANTECEDENTES**

- ◆ El aumento de la capacidad ha sido conseguido mediante la colocación de un dado de concreto ciclópeo ( $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2 + 30\%$  de piedra grande), el cual ha sido vaciado en paños de 3 metros de longitud, formando juntas que han sido selladas mediante material elastómetro, solo en la cara en contacto con el agua. El concreto utilizado lleva un agregado grueso de T.M. 1 1/2" y cemento tipo I, IP y V, dependiendo de la concentración de sales y sulfatos. Para la construcción de la sobreelevación se utilizarán módulos metálicos y de madera para los encofrados
- ◆ Las condiciones ambientales en la zona involucran temperaturas correspondientes a clima cálido durante el día con descensos bruscos de temperatura en la noche hasta por debajo del punto de congelamiento del agua. Se aprecia también la ocurrencia de

velocidades del viento elevadas y humedades relativas bajas que contribuyen a la existencia de tasas de evaporación de agua importantes.

- ◆ Los agregados para estos concretos se han obtenido de la Cantera Ayro-Humapalca, no prevista en el proyecto pero que cumple con las exigencias indicadas en las Especificaciones Técnicas para este propósito. El procedimiento empleado para su producción es el zarandeo mecánico con una práctica de manipuleo y acopio tal que impiden su segregación y contaminación, y la producción y suministro de concreto ha sido planificada mediante el uso de planta dosificadora con camiones mezcladores.
  
- ◆ Se efectuó calificación de los agregados y se ejecutaron diseños de mezclas de prueba que satisfacen los requisitos de las especificaciones técnicas.

## **1.2. CONSIDERACIONES**

Se han tomado en cuenta las siguientes consideraciones previstas en el Expediente Técnico de la obra:

- Utilización de concreto  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , con una relación de agua/cemento de 0.50, tamaño máximo del agregado de 1 1/2" y Slump de 3"

- Empleo de cemento Portland Tipo I Yura - norma ASTM C150-95 para condiciones de agresividad química externa e interna mínimas. En caso de constatarse la presencia de sulfatos en circunstancias que puedan atacar el concreto se utilizara cemento Puzolánico (se usó cemento Portland Tipo IP Yura) para una exposición moderada y para suelos de exposición severa el empleo de cemento tipo V, según indicación del supervisor, para satisfacer la durabilidad de los concretos.
- Las partículas de agregado grueso para la mezcla de concreto son de perfil subangular y textura áspera, lo cual contribuye a mejorar la adherencia con el aglomerante así como a incrementar el anclaje mecánico a favor del desarrollo de las propiedades mecánicas del concreto.

La arena se encuentra limpia encontrándose el pasante la malla # 200 dentro de lo especificado en la norma ASTM C-33. El material pasante se clasifica como un limo no plástico.

Las cantidades de cloruros y sulfatos presente en los materiales de esta cantera permiten prever la no existencia de problemas de agresividad química interna.

- El agua a utilizarse proviene del canal y cumple los requerimientos de la norma ASTM C109 par su uso en concreto.
- A fin de mejorar la resistencia del concreto  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ . A los ciclos de congelación y fusión así como su Trabajabilidad, se considera el uso de aditivo incorporador de aire.

### 1.3. PRODUCCION DEL CONCRETO

El suministro de concreto se ha efectuado desde tres plantas dosificadoras: una ubicada en el km. 1+500, otra en el km. 16+000 y otra en el km. 32+000.

El suministro del concreto fue subcontratado a las empresas Yura División de Concretos S.A. - Unión de Concreteras S.A.

La planta ubicada en el km. 1+500 tuvo una capacidad de producción de 25 m<sup>3</sup>/h, la ubicada en el km. 16+000 de 40 m<sup>3</sup>/h, y la planta ubicada en el km. 32+000 de 35m<sup>3</sup>/h.

- La dosificación de los diferentes insumos: agregados y cemento del concreto para la unidad cúbica se realizara por peso. El agua y aditivos se dosificaran por volumen.
- El mezclado y el transporte del concreto se realizaron en camiones mezcladores de 8 m<sup>3</sup> de capacidad.
- La temperatura ambiente para el inicio del concretado será superior a los 7°C y en ascenso, lo cual se produce entre las 7:30 y 8:00 a.m. aproximadamente. Según nuestro registro de temperatura ambiente que se adjunta.

La temperatura para la finalización del concretado será de 10°C en descenso, lo cual se produce aprox. A las 3:00 p.m. Según nuestro registro de temperatura ambiente.

En el lapso de 1 hora, entre 3:00 y 4:00 p.m., en que la temperatura ambiente desciende hasta los 5°C aprox. se empleará para labores de acabado, curado y abrigado.

En consecuencia se dispuso para las actividades de vaciado de concreto de aprox. 7 horas al día.

- El concreto será entregado en obra a una temperatura mínima de 13°C tal como se indica en el ACI 306 R-88, la cual es superior a la temperatura de 5°C indicada en el expediente técnico del proyecto.

## **2. TECNICA DE PROTECCION USANDO MANTAS DE FIBRA DE VIDRIO**

### **2.1. GENERALIDADES**

En los trabajos con concreto que se realizaron se planteo utilizar un método combinado de curado y protección, que consistió en emplear un curador de membrana química impermeable y colchonetas de lana de vidrio aglutinada de 3" de espesor, de manera que el curador prevea la fisuración inicial por contracción de fragua producto de la pérdida rápida de humedad y las colchonetas de fibra de lana de vidrio reduzca el descenso de temperatura de la masa de concreto en la noche y periodos de temperatura correspondientes a climas fríos.

## 2.2. TECNICA DE CURADO Y PROTECCION

El curado del concreto se basa en manejar los tres parámetros básicos que controlan la reacción química del proceso de hidratación del cemento y que son: Humedad, Temperatura y Tiempo. No basta asegurar sólo uno de ellos pues la combinación adecuada de los tres es la que garantiza el proceso de hidratación. Normalmente nos preocupamos mucho de evitar la pérdida de agua como requisito fundamental del curado o sólo de “protegerlo de la helada” cuando trabajamos en altura, descuidando el comportamiento conjunto e integral de los tres parámetros, dentro de valores que han sido ampliamente investigados y analizados científicamente.

El Comité ACI 308-92 “Standard Practice for Curing Concrete” (Ref.3, Anexo I), establece que para temperaturas del concreto por debajo de 10 °C el proceso de hidratación se vuelve lento, a 5 °C la hidratación se retarda notablemente y a 0 °C se detiene, por lo que se estima que la temperatura mínima para una hidratación normal es de 13 °C, lográndose prácticamente el total de hidratación en un periodo de 28 días cuando se utilizan cementos standard. Temperaturas superiores aceleran el proceso de hidratación reduciendo el tiempo mencionado. El mismo comité indica que cuando el concreto alcanza un mínimo de 3.4 Mpa (34 kg/cm<sup>2</sup>), ya está en condiciones de exponerse a condiciones adversas en clima frío.

Definido el marco conceptual, se entiende pues que la técnica de protección y curado para la obra en cuestión, debe adaptarse al periodo de clima híbrido en que se planeen ejecutar los trabajos para contrarrestar los efectos negativos sobre el concreto, antes que

dar una regla general que no es consecuente con la realidad del proceso constructivo. Para nuestro caso, se ha decidido establecer el período de labores de colocación de concreto entre las 07:00 horas y 08:00 horas con una temperatura ambiente del orden de 10 °C y aumentando, y concluir las a las 15:00 horas en que la temperatura ambiente vuelve a estar a 10 °C y descendiendo, luego, constituye un ciclo de 7 a 8 horas de trabajo en el período cálido, en que las precauciones deben estar orientadas a evitar secado superficial del concreto y temperaturas de colocación no mayores de 30 °C, pues se producirían problemas de fisuración por contracción plástica por secado. La manera más simple de efectuar esto es controlar las temperaturas de colocación del concreto fresco para que no se supere el límite indicado, y emplear curador de membrana que debe aplicarse lo mas pronto posible luego de efectuado el acabado superficial, para prevenir secado violento y agrietamiento por contracción plástica por secado.

Como el periodo frío del clima híbrido se inicia en la tarde, es obvio que está descartada cualquier técnica de curado con agua pues podría congelarse en este lapso y ocasionar efectos perjudiciales en el concreto.

Dentro de este esquema, se planteó el utilizar algún elemento aislante que protegiera el concreto durante el periodo frío para garantizar como mínimo el mantener la temperatura promedio en no menos de 13 °C durante 2 días si la estructura no iba a estar sometida a cargas ni expuesta a las condiciones de servicio, o 3 días si no iba a estar sometida a cargas pero si a las condiciones de servicio, tal como lo recomienda conservadoramente el comité ACI 306.R para clima frío. Como ya resaltamos

previamente, se indica como medida complementaria que el concreto debería de desarrollar al menos 34 kg/cm<sup>2</sup> para estar en condiciones de suspenderse la técnica de protección, primando esta condición sobre la recomendación anterior.

Bajo estas consideraciones, se propuso el empleo de una manta de lana de fibra de vidrio de 3" de espesor, sobre la base de los cálculos termodinámicos realizados asumiendo valores extremos supuestos, de 22 °C para la temperatura máxima generada por el concreto y -15 °C para la temperatura ambiente mínima estimada en la época mas fría.

### **2.3. PROCEDIMIENTO DE LA TÉCNICA DEL CURADO Y PROTECCIÓN**

1. Al concreto fresco inmediatamente después de colocado se le protegerá contra los efectos del viento y el sol, que favorecen la evaporación, mediante la aplicación con mochila pulverizadora de una membrana química impermeable (curado químico).
2. Luego de aplicado, el curador se dejará secar por un tiempo de aproximadamente 15 minutos y se procederá a cubrir toda la superficie de la estructura vaciada con colchonetas de lana de vidrio aglutinada de 3" de espesor enfundada en polietileno de 30 micras de espesor. La estructura así protegida se mantendrá a una temperatura mínima de 15°C que permitirá el desarrollo de su resistencia utilizando el potencial de calor de hidratación natural del cemento.

3. Al día siguiente del vaciado se efectuará el desencofrado, aplicándose a las nuevas superficies expuestas la membrana química impermeable descrita en el numeral 1 así como la protección mediante abrigo de la estructura descrita en el numeral 2.
  
4. El proceso de protección mediante abrigo se aplicará por 3 días, en que se habrá producido el pico térmico originado por el calor de hidratación y el concreto estará en capacidad de enfrentar las condiciones térmicas del medio ambiente al haber alcanzado una resistencia a la compresión del orden de los 34 kg/cm<sup>2</sup>.

### **3. PRUEBAS EXPERIMENTALES**

#### **3.1. MONITOREO DE TEMPERATURA AMBIENTE vs. TIEMPO**

**CUADRO # 17**  
**TEMPERATURA AMBIENTAL MES DE MAYO**

HORA	DÍAS																															PROMEDIO POR HORA
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
06	-3	-1	-2	-3	-4	-4	-3	-3	-1	-2	-1	-1	-2	-2	-3	-3	-4	-5	-5	-2	-6	-8	-7	-9	-7	-8	-8	-9	-10	-10	-10	-4.7
07	4	3	4	5	4	5	4	4	3	3	6	7	5	3	0	2	-2	-2	-4	1	0	-2	-1	-2	-1	-2	-3	-3	-3	-2	-3	1.1
08	8	7	7	8	7	7	8	8	7	8	8	9	7	8	7	7	5	7	7	8	5	3	4	4	3	0	0	1	0	0	1	5.5
09	11	10	11	10	11	12	12	11	12	12	13	14	12	10	9	10	9	10	9	10	9	5	9	7	7	5	6	5	4	4	5	9.2
10	13	12	13	12	14	14	14	13	13	15	16	16	16	12	14	13	11	12	11	14	14	7	11	11	12	9	10	10	11	10	10	12.4
11	15	14	16	14	16	16	16	15	15	17	18	18	18	16	16	15	15	14	15	16	17	11	15	13	14	11	12	12	14	13	14	14.9
12	17	18	18	17	19	19	20	17	18	20	20	17	19	18	17	17	16	14	18	20	13	17	18	16	15	16	15	16	17	17	17	17.3
13	19	20	21	18	19	19	18	20	20	21	21	19	17	15	14	14	19	17	16	14	19	18	19	20	19	19	19	18	20	19	20	18.5
14	21	21	21	19	20	21	16	20	18	20	19	16	15	13	12	10	17	15	18	12	17	20	17	16	17	16	17	17	17	16	16	17.1
15	19	18	17	17	16	15	17	17	16	17	16	15	11	10	10	8	14	12	14	10	15	16	15	12	15	14	15	15	14	13	15	14.5
16	14	15	14	13	14	12	12	12	13	14	12	9	8	7	5	9	10	12	10	9	10	10	10	10	10	10	9	8	10	9	10	10.7
17	9	10	10	7	6	6	8	7	5	8	8	8	7	6	5	3	7	8	8	8	7	8	7	6	7	8	7	6	7	7	8	7.2
18	6	7	8	4	5	5	6	5	4	5	5	4	3	3	2	2	4	3	4	5	4	5	4	3	4	5	4	3	4	3	4	4.4

Temperatura Máxima °C	21	21	21	19	20	21	20	20	20	21	21	19	19	18	18	17	19	17	18	18	20	20	19	20	20	19	19	18	20	19	20
Temperatura Mínima °C	-3	-1	-2	-3	-4	-4	-3	-3	-1	-2	-1	-1	-2	-2	-3	-3	-4	-5	-5	-2	-6	-8	-7	-9	-7	-8	-8	-9	-10	-10	-10
Temperatura Promedio °C	9.0	10.0	9.5	8.0	8.0	8.5	8.5	8.5	9.5	9.5	10.0	9.0	8.5	8.0	7.5	7.0	7.5	6.0	6.5	8.0	7.0	6.0	6.0	5.5	6.5	5.5	5.5	4.5	5.0	4.5	5.0

CUADRO # 18

TEMPERATURA AMBIENTAL MES DE JUNIO

HORA	DIAS																														PROMEDIO POR HORA	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
06	-10	-10	-9	-10	-11	-10	-9	-9	-10	-8	-8	-10	-10	-11	-10	-11	-11	-9	-10	-9	-12	-10	-9	-10	-10	-11	-11	-12	-12	-10	-10	-10.1
07	-4	-3	-3	-4	-3	-3	-2	-2	-4	-2	-3	-3	-2	-4	-3	-3	-3	-2	-2	-2	-3	-3	-2	-4	-4	-4	-4	-5	-5	-3	-3.1	
08	6	5	7	6	5	6	5	5	4	6	6	7	5	5	6	4	6	5	6	6	5	6	5	5	4	4	5	5	4	4	5.3	
09	9	10	9	9	10	9	8	8	7	7	8	8	9	9	10	9	8	8	7	10	8	9	8	8	8	8	8	7	6	7	8	8.3
10	11	12	12	12	10	11	12	10	10	12	10	11	12	10	12	10	12	12	13	10	12	10	8	9	9	10	11	11	10	10	10.8	
11	14	16	14	15	14	15	15	15	15	14	13	14	14	15	14	15	14	15	14	14	14	14	15	14	12	11	12	11	11	10	10	13.6
12	17	17	18	18	18	18	16	18	17	16	17	16	15	15	16	14	16	15	14	14	16	15	14	16	16	15	15	15	14	14	15.8	
13	19	19	20	20	19	18	19	19	18	17	17	16	16	15	14	14	14	15	14	14	14	17	15	15	14	14	13	14	13	14	16.0	
14	20	21	20	20	19	20	19	20	20	17	16	16	16	15	16	16	16	16	14	13	16	16	17	16	15	14	14	14	15	15	16.6	
15	18	17	18	18	17	17	17	16	17	15	15	14	14	15	15	14	14	14	14	14	12	11	12	12	10	10	12	9	8	9	14.0	
16	12	13	13	13	15	13	15	15	13	11	10	9	9	9	9	7	9	9	8	8	7	6	7	8	8	7	7	5	5	5	9.5	
17	8	7	9	8	8	7	7	7	6	9	7	7	7	7	7	8	7	6	6	6	6	4	3	3	4	3	3	2	2	3	5.8	
18	2	4	5	5	4	5	5	4	5	2	3	6	2	4	5	4	3	2	2	3	2	1	2	2	2	1	2	2	1	1	3.0	

Temperatura Máxima °C	20	21	20	20	19	20	19	20	20	17	17	16	16	15	16	16	16	16	14	14	17	16	17	16	16	15	15	15	15	15
Temperatura Mínima °C	-10	-10	-9	-10	-11	-10	-9	-9	-10	-8	-8	-10	-10	-11	-10	-11	-11	-9	-10	-9	-12	-10	-9	-10	-10	-11	-11	-12	-12	-10
Temperatura Promedio °C	5.0	5.5	5.5	5.0	4.0	5.0	5.0	5.5	5.0	4.5	4.5	3.0	3.0	2.0	3.0	2.5	2.5	3.5	2.0	2.5	2.5	3.0	4.0	3.0	3.0	2.0	2.0	1.5	1.5	2.5

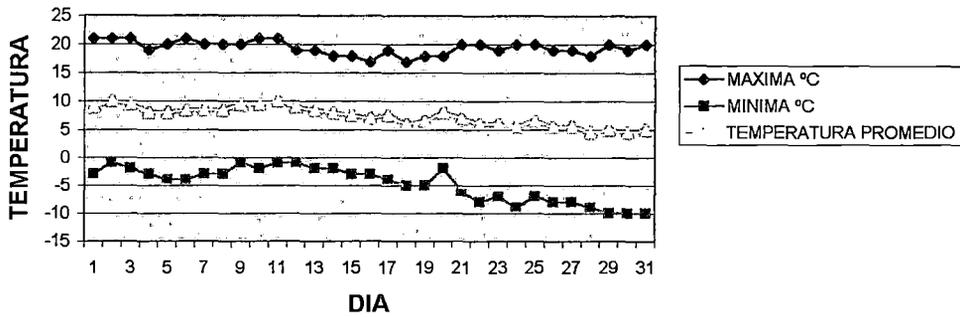
CUADRO # 19

TEMPERATURA AMBIENTAL MES DE JULIO

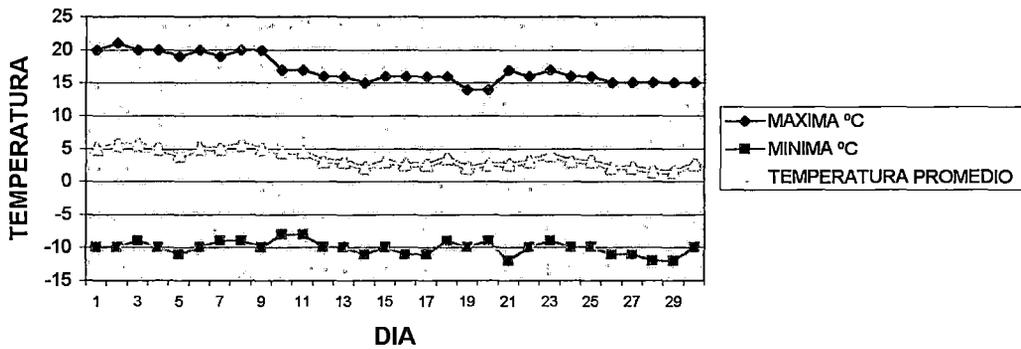
HORA	DÍAS																															PROMEDIO POR HORA	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31		
06	-10	-9	-9	-8	-8	-10	-10	-9	-8	-8	-9	-9	-8	-7	-10	-8	-6	-6	-6	-5	-4	-4	-7	-7	-5	-5	-5	-4	-3	-3	-3	-6.9	
07	-4	-2	-3	-1	-1	-2	-3	-2	-3	-3	-2	-2	-2	-1	-3	-3	-1	-1	2	0	0	0	-1	-2	-2	-2	-2	-1	-1	-1	-1	-1.6	
08	4	3	3	4	5	3	3	5	5	5	4	4	3	3	3	4	4	4	6	6	6	5	7	7	7	4	5	5	6	6	6	4.7	
09	6	7	6	6	7	6	6	7	7	8	8	9	7	8	8	9	7	7	9	7	8	8	8	8	8	7	7	6	7	6	6	7.3	
10	9	10	8	8	9	8	8	8	7	8	8	9	10	8	8	8	8	7	8	7	9	7	9	10	10	10	9	8	8	7	9	8	8.4
11	10	12	12	10	11	12	11	10	10	9	8	9	10	11	12	10	10	11	11	11	12	12	10	12	12	11	12	10	10	12	10	10.7	
12	14	14	12	12	12	11	12	11	10	10	12	14	15	14	12	11	13	13	14	13	13	11	13	12	12	12	13	14	14	14	14	12.6	
13	14	15	15	15	12	13	11	13	10	11	12	12	14	13	12	13	16	16	15	15	16	16	14	14	14	13	13	16	14	15	15	13.8	
14	16	15	14	14	14	12	12	10	12	12	11	14	15	14	15	16	16	16	15	14	16	16	15	15	16	15	15	15	13	14	15	14.3	
15	12	10	10	9	10	10	10	9	11	11	10	10	9	9	9	8	8	9	8	7	6	7	7	10	9	8	8	7	8	10	10	9.0	
16	10	10	10	9	9	9	10	10	10	10	9	8	8	8	8	9	10	9	8	8	7	7	9	10	10	10	9	10	9	10	10	9.1	
17	7	7	8	6	6	6	5	5	7	7	7	7	6	6	5	7	8	6	6	6	7	6	6	5	4	5	4	4	5	5	5	5.9	
18	3	2	2	2	1	1	1	3	3	2	2	2	1	3	3	1	2	2	2	3	1	2	1	2	1	2	2	3	1	2	2	1.9	

Temperatura Máxima °C	16	15	15	15	14	13	12	13	12	12	12	14	15	14	15	16	16	16	15	15	16	16	15	15	16	15	15	16	14	15	15
Temperatura Mínima °C	-10	-9	-9	-8	-8	-10	-10	-9	-8	-8	-9	-9	-8	-7	-10	-8	-6	-6	-6	-5	-4	-4	-7	-7	-5	-5	-5	-4	-3	-3	-3
Temperatura Promedio °C	3.0	3.0	3.0	3.5	3.0	1.5	1.0	2.0	2.0	2.0	1.5	2.5	3.5	3.5	2.5	4.0	5.0	5.0	4.5	5.0	6.0	6.0	4.0	4.0	5.5	5.0	5.0	6.0	5.5	6.0	6.0

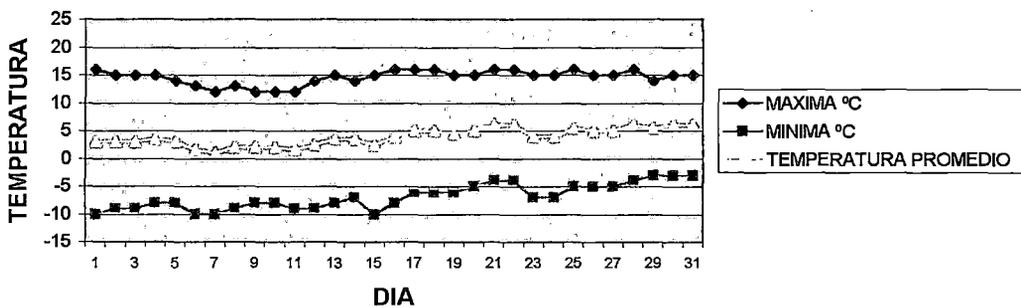
**GRAFICO # 12**  
**Vilavilani - Temperaturas Ambiente vs Tiempo**  
**Mes de Mayo**



**GRAFICO # 13**  
**Vilavilani - Temperaturas Ambiente vs Tiempo**  
**Mes de Junio**



**GRAFICO # 14**  
**Vilavilani - Temperaturas Ambiente vs Tiempo**  
**Mes de Julio**



CUADRO # 20

TEMPERATURA AMBIENTAL MES DE OCTUBRE DE 1999

HORA	DIAS																															PROMEDIO POR HORA	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31		
06	0	-1	1	1	3	-1	-5	-2	-4	-2	-3	-1	-3	-2	0	3	0	1	1	4	5	1	0	1	0	-2	0	-3	2	-2	-2	-0.3	
07	6	4	5	5	5	7	2	2	2	3	5	4	5	4	5	6	8	6	8	6	7	5	6	5	4	0	5	4	5	6	5	4.8	
08	8	7	7	7	9	8	7	9	5	7	8	8	10	11	10	9	10	9	11	9	10	9	8	9	8	5	7	7	7	8	7	8.2	
09	10	10	9	9	10	11	9	10	9	10	11	10	12	13	14	12	11	11	13	14	13	12	10	11	10	8	10	10	9	10	11	10.7	
10	12	15	11	11	12	12	12	13	12	13	15	15	15	16	15	16	14	13	15	16	15	14	14	15	13	10	13	12	10	12	13	13.4	
11	14	17	12	12	13	14	13	15	14	15	17	17	18	18	17	17	16	15	17	17	17	17	16	17	16	15	12	15	14	14	13	15	15.2
12	15	18	15	15	15	15	15	16	17	18	18	19	17	16	18	18	17	17	17	18	18	18	18	18	17	15	17	15	16	14	15	16.6	
13	15	16	13	8	14	17	15	18	17	18	15	13	9	14	15	14	13	11	12	14	15	14	15	14	10	15	13	17	15	15	14	14.1	
14	14	14	12	7	15	17	15	16	14	15	13	13	10	11	14	12	11	10	11	13	13	13	13	12	10	11	11	13	13	13	12	12.4	
15	12	11	10	6	16	17	14	13	11	12	10	13	10	8	13	10	9	8	9	12	10	11	10	10	9	7	9	9	11	10	10	10.6	
16	11	10	8	4	13	15	14	12	8	10	9	13	10	6	9	8	6	4	7	10	9	9	8	7	6	5	7	8	9	8	7	8.7	
17	8	9	6	1	8	13	12	11	4	9	7	12	9	4	6	5	0	-1	4	8	7	7	6	5	4	2	5	6	5	4	5	6.2	
18	5	6	4	0	5	4	10	8	2	6	5	7	5	-1	-1	-2	-3	-4	-1	3	4	5	4	3	1	0	1	3	3	2	3	2.8	
19	-3	2	1	0	4	5	6	2	0	4	2	3	-2	-4	-5	-6	-5	-6	-3	0	1	0	-1	0	-1	-2	-2	-1	0	-1	-0.4		
20	-2	0	1	2	3	1	2	-1	-2	-3	-4	-5	-4	-4	-3	-2	-2	-1	-3	-3	-2	-2	-4	-4	-5	-5	-3	-2	-4	-5	-4	-2.3	

Temperatura Máxima °C	15	18	15	15	16	17	15	18	17	18	18	18	18	18	18	17	17	17	18	18	18	18	18	17	15	17	17	16	15	15	
Temperatura Mínima °C	-3	-1	1	0	3	-1	-5	-2	-4	-3	-4	-5	-4	-4	-5	-6	-5	-6	-3	-3	-2	-2	-4	-4	-5	-5	-3	-3	-4	-5	-4
Temperatura Promedio °C	6.0	8.5	8.0	7.5	9.5	8.0	5.0	8.0	6.5	7.5	7.0	7.0	7.0	7.0	6.5	6.0	6.0	5.5	7.0	7.5	8.0	8.0	7.0	7.0	6.0	5.0	7.0	7.0	6.0	5.0	5.5

CUADRO # 21

TEMPERATURA AMBIENTAL MES DE NOVIEMBRE DE 1999

HORA	DIAS																															PROMEDIO POR HORA
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
06	0	3	2	1	-3	-2	-2	2	-3	1	4	3	0	1	2	3	-1	2	3	2	2	1	2	2	4	4	1	0	-1	-3	-1	0.9
07	7	5	5	3	0	3	3	3	4	4	6	6	5	4	6	7	3	5	6	5	7	6	5	5	6	6	5	5	8	6	5	5.0
08	9	7	7	8	6	6	6	5	8	6	8	7	9	9	8	8	5	8	9	6	7	9	8	9	7	8	8	9	10	9	7	7.6
09	10	10	9	10	8	10	10	9	10	8	10	9	11	12	11	10	8	11	12	9	11	12	12	10	9	10	10	11	14	12	14	10.4
10	12	15	11	12	10	12	14	12	12	9	11	11	13	14	13	12	10	13	14	12	14	14	15	12	11	12	12	13	16	14	16	12.6
11	13	16	13	14	12	14	15	15	15	10	13	13	15	16	15	14	12	15	16	14	16	16	15	13	13	14	16	15	17	16	17	14.5
12	15	17	15	16	13	16	16	17	17	10	15	16	17	17	16	15	13	17	17	16	16	16	15	15	16	14	17	19	18	18	17	15.9
13	17	18	17	15	14	14	13	14	16	11	13	14	15	14	14	15	15	15	17	17	17	16	17	16	17	12	17	19	16	17	16	15.4
14	15	16	15	13	14	12	11	12	14	9	11	12	10	12	10	14	13	14	14	15	16	16	15	16	15	14	10	14	10	12	12	13.1
15	13	15	13	10	12	10	9	10	12	9	9	9	8	10	8	10	10	11	10	10	11	14	14	17	13	12	8	12	8	10	10	10.9
16	11	15	11	9	10	8	7	8	10	7	7	5	6	7	6	8	8	9	8	8	12	10	16	11	10	6	9	6	8	7	6	8.7
17	9	12	9	8	7	6	5	6	8	5	5	3	5	5	4	6	6	6	6	10	8	8	9	8	4	6	4	6	4	5	4	6.4
18	5	9	7	6	5	4	3	4	5	3	3	1	3	3	1	4	4	3	4	3	5	8	6	5	7	6	2	4	1	4	2	4.2
19	3	6	5	4	3	2	1	2	3	1	2	0	0	1	1	0	1	3	2	1	3	6	3	2	5	4	0	1	0	2	0	2.2
20	1	3	3	2	1	0	0	1	1	-1	1	-1	0	0	-2	0	1	0	1	0	1	2	1	0	2	1	-1	0	-2	-1	-2	0.4

Temperatura Máxima °C	17	18	17	16	14	16	16	17	17	11	15	16	17	17	16	15	15	17	17	17	17	16	17	17	17	14	17	19	18	18	17	
Temperatura Mínima °C	0	3	2	1	-3	-2	-2	1	-3	-1	1	-1	0	0	-2	0	-1	0	1	0	1	1	1	1	0	2	1	-1	0	-2	-3	-2
Temperatura Promedio °C	8.5	10.5	9.5	8.5	5.5	7.0	7.0	9.0	7.0	5.0	8.0	7.5	8.5	8.5	7.0	7.5	7.0	8.5	9.0	8.5	9.0	8.5	9.0	8.5	9.5	7.5	8.0	9.5	8.0	7.5	7.5	

CUADRO # 22

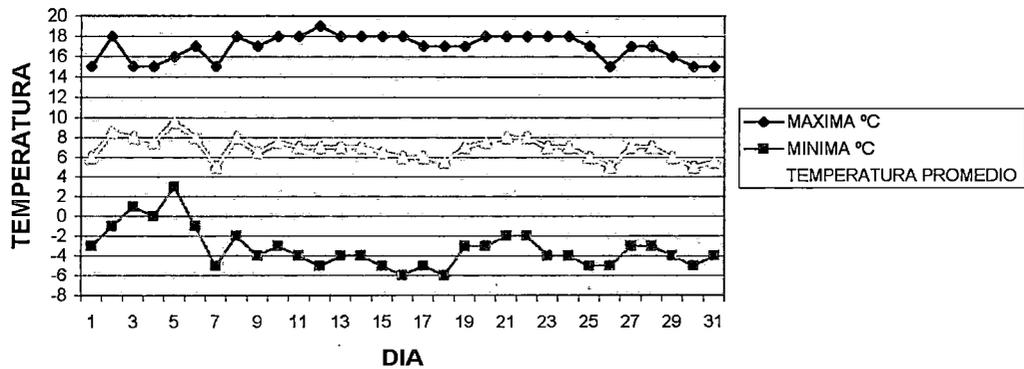
TEMPERATURA AMBIENTAL MES DE DICIEMBRE DE 1999

HORA	DÍAS																				PROMEDIO POR HORA
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
06	0	1	1	2	1	4	-4	2	0	5	4	4	5	0	1	-3	-4	-5	-5	-2	0.4
07	5	6	4	5	7	8	0	6	7	8	9	9	11	5	6	6	3	2	4	8	6.0
08	10	9	10	12	11	10	10	10	9	10	12	15	14	9	10	11	10	11	11	10	10.7
09	12	12	13	14	15	14	15	15	10	14	15	17	15	14	15	16	14	15	16	13	14.2
10	14	14	15	16	17	16	18	17	13	16	17	19	19	17	19	20	17	18	19	16	16.9
11	15	16	17	18	19	17	20	18	15	17	19	20	21	22	23	22	19	21	21	19	19.0
12	17	17	19	20	20	18	24	20	17	19	22	22	24	25	21	20	17	24	24	22	20.6
13	18	19	20	20	18	19	18	16	16	16	18	19	18	19	18	18	16	20	19	18	18.2
14.	10	11	18	16	16	16	16	12	16	15	14	17	16	16	16	16	14	18	17	15	15.3
15	8	9	16	14	12	14	16	14	14	15	14	15	10	14	13	12	12	15	15	12	13.2
16	6	5	14	10	10	12	10	10	12	10	14	10	8	10	11	10	12	10	12	10	10.3
17	4	1	8	7	8	11	6	8	10	8	7	6	5	8	7	8	7	8	10	8	7.3
18	2	0	6	6	8	4	6	8	6	5	3	2	4	3	4	4	3	5	8	5	4.6
19	0	3	2	2	3	5	2	2	4	4	3	1	0	2	1	2	1	3	7	3	2.5
20	-1	1	1	0	1	2	1	0	3	2	1	-1	0	0	1	1	1	5	2	2	1.1

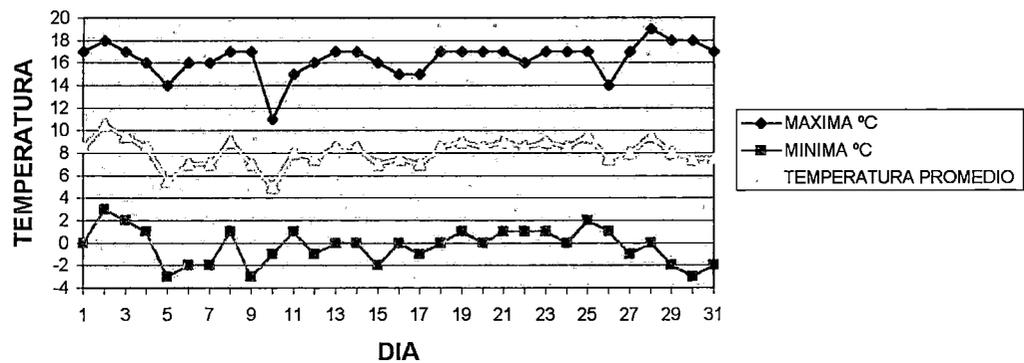
Temperatura Máxima °C	18	19	20	20	20	19	24	20	17	19	22	22	24	25	23	22	19	24	24	22
Temperatura Mínima °C	-1	0	1	0	1	2	-4	0	0	2	1	-1	0	0	1	-3	-4	-5	-5	-2
Temperatura Promedio °C	8.5	9.5	10.5	10.0	10.5	10.5	10.0	10.0	8.5	10.5	11.5	10.5	12.0	12.5	12.0	9.5	7.5	9.5	9.5	10.0

TESIS: CURADO Y PROTECCIÓN DE CONCRETOS COLOCADOS EN CLIMAS FRÍOS

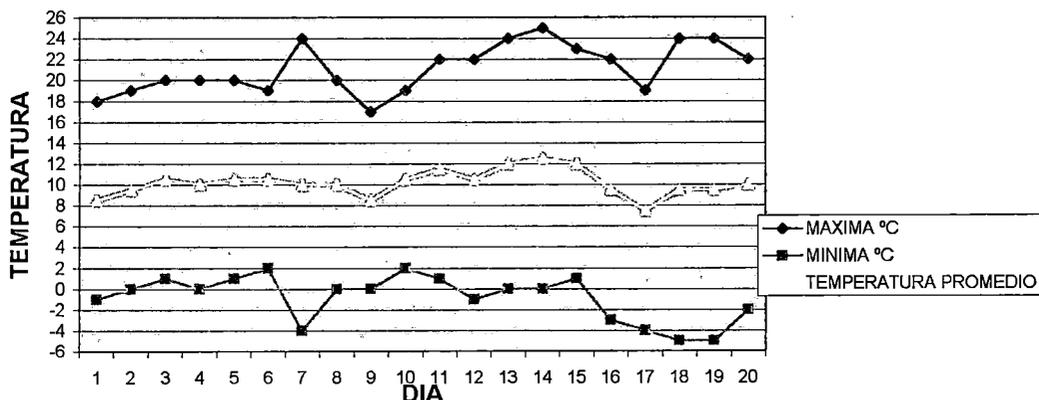
**GRAFICO # 15**  
**Vilavilani - Temperaturas Ambiente vs Tiempo**  
 Mes de Octubre



**GRAFICO # 16**  
**Vilavilani - Temperaturas Ambiente vs Tiempo**  
 Mes de Noviembre



**GRAFICO # 17**  
**Vilavilani - Temperaturas Ambientales vs Tiempo**  
 Mes de Diciembre

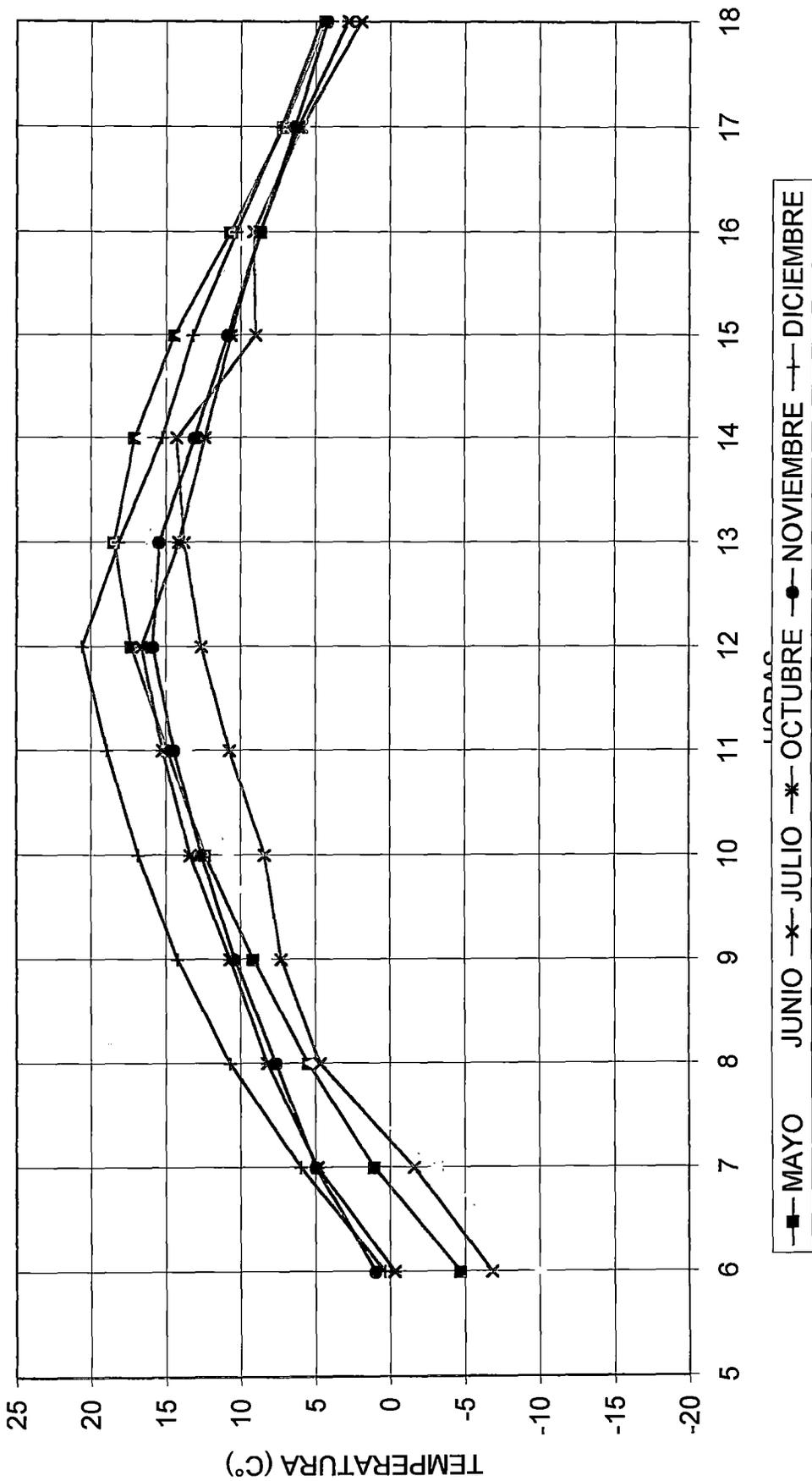


**CUADRO # 23**

**TEMPERATURAS AMBIENTES PROMEDIOS**

HORAS	MAYO	JUNIO	JULIO	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
6	-4.7	-10.1	-6.9	-0.3	0.9	0.4
7	1.1	-3.1	-1.6	4.8	5.0	6.0
8	5.5	5.3	4.7	8.2	7.6	10.7
9	9.2	8.3	7.3	10.7	10.4	14.2
10	12.4	10.8	8.4	13.4	12.6	16.9
11	14.9	13.6	10.7	15.2	14.5	19.0
12	17.3	15.8	12.6	16.6	15.9	20.6
13	18.5	16.0	13.8	14.1	15.4	18.2
14	17.1	16.6	14.3	12.4	13.1	15.3
15	14.5	14.0	9.0	10.6	10.9	13.2
16	10.7	9.5	9.1	8.7	8.7	10.3
17	7.2	5.8	5.9	6.2	6.4	7.3
18	4.4	3.0	1.9	2.8	4.2	4.6

GRAFICO # 18  
TEMPERATURAS AMBIENTE PROMEDIO

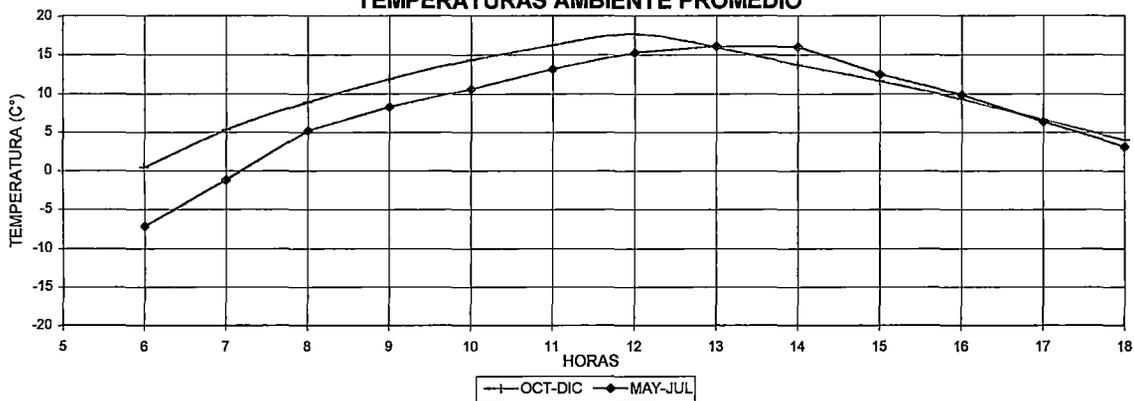


**CUADRO # 24**

**TEMPERATURAS AMBIENTES PROMEDIOS  
PERIODOS : MAYO-JULIO / OCTUBRE-DICIEMBRE**

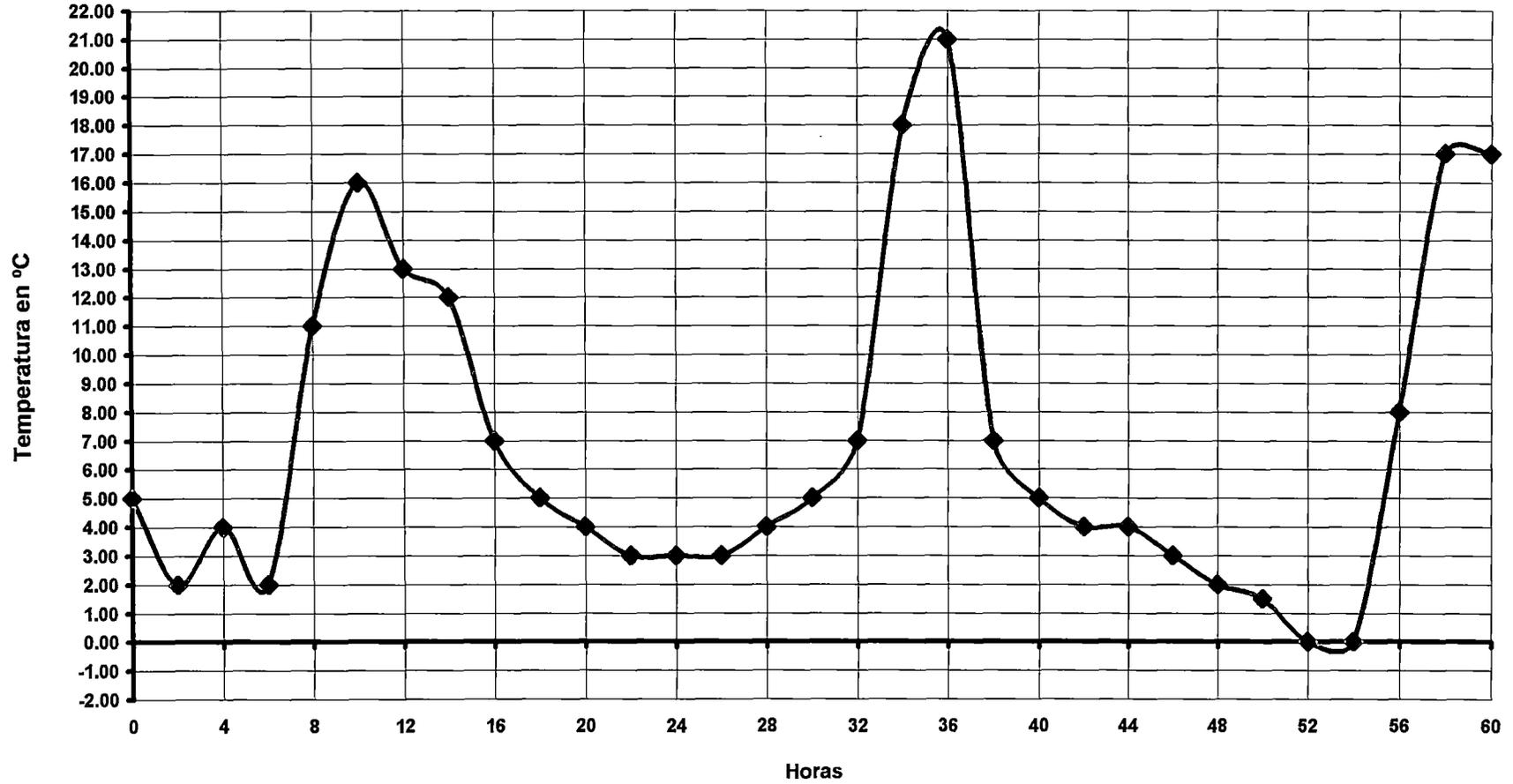
HORAS	MAY-JUL	OCT-DIC
6	-7.2	0.3
7	-1.2	5.3
8	5.1	8.8
9	8.2	11.8
10	10.5	14.3
11	13.1	16.2
12	15.3	17.7
13	16.1	15.9
14	16.0	13.6
15	12.5	11.6
16	9.8	9.2
17	6.3	6.6
18	3.1	3.9

**GRAFICO # 19  
TEMPERATURAS AMBIENTE PROMEDIO**



**GRAFICO # 20**  
**Vilavilani - Temperatura Ambiente vs Tiempo**  
**Mes de Enero**

00:00 horas del 20/01/00 a 12:00 horas del 22/01/00



## CUADRO # 25

### TEMPERATURA AMBIENTAL Y TEMPERATURA PROMEDIO DEL CONCRETO VACIADO EN OBRA ( °C )

#### OBRA VILAVILANI - PLANTA DE CONCRETO UNICON

Mes	Temp. Prom.Ambiental de 7:00 a 11:00 am	Temp. Prom. Concreto en Obra	Temp. Prom.Ambiental de 12:00 a 2:00 pm	Temp. Prom. Concreto en Obra	Temp. Prom.Ambiental de 3:00 a 5:00 pm	Temp. Prom. Concreto en Obra
ABRIL	de 7 a 11	de 12 a 13.5	de 11 a 14	de 14 a 16	de 11.5 a 13	de 14 a 16
MAYO	de 8 a 10	de 14.2 a 15.6	de 11 a 14	de 14 a 16	de 11.5 a 13	de 14 a 16
JUNIO	de 9 a 13	de 14 a 16	de 10 a 14	de 14 a 16	de 12 a 15	de 13.5 a 16.8
JULIO	de 7.8 a 11.5	de 13.9 a 17.6	de 12 a 15	de 16 a 18.3	de 9.5 a 12	15.6
AGOSTO	de 7.1 a 12.5	de 17 a 20.2	de 10 a 13	de 19 a 20	de 11 a 13	de 17.9 a 19
SETIEMBRE	de 9 a 12	de 10 a 16	de 11 a 14	de 14 a 16.7	de 10 a 13	de 13.6 a 17
OCTUBRE	de 9.8 a 11.6	de 13 a 15	de 13 a 18	de 15 a 19	de 11.5 a 13	de 14.7 a 15.5
NOVIEMBRE						
01 al 05/11/00	de 8.4 a 12	de 14 a 16	de 12.5 a 13.8	de 14 a 15.4	de 9.6 a 12	de 14 a 16
06 al 12/11/00	de 11.7 a 15	de 14.2 a 17.6	de 12 a 15	de 14 a 17.4	de 8 a 10.5	de 14 a 16

### **3.1. DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO $f'c=210$ kg/cm<sup>2</sup> CON CEMENTO TIPO I y IP**

- Para el diseño de las mezclas de concreto se han empleado el método del ACI 211.1.77 - Regresión Lineal, adoptando para el caso particular  $f'c = 210$  kg/cm<sup>2</sup>. El criterio de durabilidad propuesto por el método (concreto con aire incorporado).
- Tomando en consideración la variabilidad de los componentes del concreto, las condiciones del trabajo y el control de calidad en obra, el diseño de mezcla se ha efectuado para una resistencia promedio ( $f'cr$ ) superior a la especificada ( $f'c$ ).
- Se han realizado diferentes mezclas de prueba con aire incorporado tanto con y sin acelerante de fragua, con el objeto de determinar el porcentaje óptimo de aditivo incorporador de aire a emplear así como verificar las resistencias de los concretos preparados.
- Aun cuando las Especificaciones Técnicas consideran para el concreto  $f'c = 210$  kg/cm<sup>2</sup> un Slump de 3", la consistencia de la mezcla diseñada será un poco más seca: Slump 2", con la finalidad de reducir contracciones durante el proceso del secado del concreto.
- El concreto para estructuras ha sido diseñado para resistir las extremas condiciones de exposición a las que estará sometido, lo cual se ha logrado mediante la baja relación agua/cemento empleada así como también por la utilización de aditivos

incorporadores de aire que permiten obtener un concreto durable a lo largo del tiempo.

- Al estar controlados los diseños de mezcla por la relación agua/cemento por motivos de durabilidad, ya que está plenamente demostrado que el control de una baja permeabilidad es la mejor garantía de durabilidad en el concreto, es evidente que las resistencias superan el  $f'_{cr}$  establecido sólo por consideraciones estructurales, y los resultados de ensayos de compresión a las edades de 7 y 28 días lo confirman.
- La especificación técnica establece el empleo de incorporador de aire, sin embargo no establece el % de aire incorporado, por lo que se consideró sobre la base de las recomendaciones del ACI que no debería ser inferior a 5% ni mayor de 7 % para contrarrestar efectivamente los ciclos de hielo y deshielo.
- Las temperaturas del concreto fresco estuvieron en el orden de 20°C para una temperatura ambiente entre 15°C y 22°C, utilizando agua entre 21°C y 22°C.
- El muestreo, moldeado y curado de los testigos de concreto (para el diseño) se ha efectuado en las condiciones estándar de control indicadas en el código ACI 318-99.
- Las mezclas de concreto  $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$  con cemento Tipo I y IP presentadas, corresponden a las más eficientes en término de costo- beneficio, con calidad y durabilidad requeridas, por lo tanto las que se adoptaron como diseño de mezcla propuesto.

## AGREGADOS

- Los agregados procesados cumplen en general con los límites granulométricos ASTM C-33 para el caso de la arena saliéndose algo del huso. Por otro lado las mezclas granulométricas totales se ubican dentro de los husos recomendados por graduaciones ideales como la parábola de Fuller o Bolomey y experimentales como los de las normas europeas. Luego, desde este punto de vista y en concordancia con el criterio 6.4 de ASTM C-33, los agregados son aptos para uso en concreto.
- Tal como la norma ASTM C-33 consigan el pasante de la malla # 200, en 5% para concreto en general y 3% para aquellos sujetos a abrasión. Adicionalmente se ha verificado que el pasante por la malla #200 es no plástico, y en consecuencia de acuerdo con la nota A de la tabla ASTM C-33 se podrá incrementar dichos límites a 5% y 7% respectivamente, al tratarse de material libre de arcilla.
- En lo referente a las características físicas totales como peso específico, durabilidad, absorción, etc., se hallan dentro de los límites establecidos para estos casos.
- Con referente a la prueba equivalente de arena. Esta es una prueba no considerada por el ASTM C-33 y que desarrolló la División de Caminos de California, como un parámetro de control de los finos en los materiales cohesivos para rellenos, mas no para concreto.

- No obstante, algunos investigadores han pretendido encontrar una correlación con el pasante de la malla # 200 o la suciedad en la arena para concreto, sin embargo, ni el ACI ni el ASTM han establecido límites en cuanto a equivalente de arena, pues su validez es sumamente dudosa para calificar agregados para concreto ya que involucra mucha dispersión y no está demostrada la correlación indicada. Independientemente de esto, se puede apreciar en las pruebas realizadas, que para el mismo material se obtuvieron valores que oscilan entre 71% y 80 %, lo cual corrobora lo indicado.

## DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO

**CEMENTO** : TIPO I  
**FECHA** : 11-01-2000  
**OBRA** : REMODELACION CANAL UCHUSUMA  
**RESISTENCIA ESPECIFICADA** : 210 Kg/cm<sup>2</sup>  
**INCORPORADOR DE AIRE AIR MIX.**

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD
<b>A</b>	<b>ANALISIS DE AGREGADOS</b>		
<b>A1</b>	<b>AGREGADO FINO (Cantera Humapalca)</b>		
1	Peso especifico de masa sss.	gr/cm <sup>3</sup>	2.560
2	Absorción	%	3.230
3	Contenido de Humedad	%	2.700
4	Peso unitario sin varillar	Kg/m <sup>3</sup>	1755.000
5	Peso unitario varillado	Kg/m <sup>3</sup>	1850.000
6	Modulo de fineza		3.020
<b>A2</b>	<b>AGREGADO GRUESO</b>		
7	Peso especifico de masa sss.	gr/cm <sup>3</sup>	2.510
8	Absorción	%	3.820
9	Contenido de Humedad	%	0.800
10	Peso unitario sin varillar	Kg/m <sup>3</sup>	1499.000
11	Peso unitario varillado	Kg/m <sup>3</sup>	1613.000
<b>A3</b>	<b>CEMENTO</b>		
12	Yura Portland Tipo I		
13	Peso especifico	gr/cm <sup>3</sup>	3.130
<b>B</b>	<b>CALCULO DE LA RESISTENCIA PROMEDIO</b>		
<b>B1</b>	<b>METODO DE LA DESVIACIÓN STANDARD</b>		
14	Resistencia especificada	Kg/cm <sup>2</sup>	210.000
15	t = CoefProbabilidad 1/100 que el promedio de 5 pruebas sea menor al f'c		1.280
16	d = desviación standard (18% control regular)	Kg/cm <sup>2</sup>	37.800
17	f'cr = f'c + txd	Kg/cm <sup>2</sup>	258.384
<b>C</b>	<b>DATOS DE DISEÑO</b>		
18	Tamaño máximo del agregado	mm	38.100
19	Asentamiento	mm	50.800
20	Aire total	%	6.000
21	Agua de diseño	Lt/m <sup>3</sup>	154.820
22	Relación agua cemento	Lt/Kg	0.495
23	Cantidad de cemento	Kg/m <sup>3</sup>	312.768
24	Volumen de agregado grueso -10%	m <sup>3</sup>	0.5900
25	Peso del agregado grueso	Kg/m <sup>3</sup>	1480.9

<b>D</b>	<b>CALCULO DE VOLUMENES ABSOLUTOS</b>		
26	Cemento	m3	0.0999
27	Agua	m3	0.1548
28	Aire	m3	0.0600
29	Agregado grueso	m3	0.3792
30	<b>TOTAL</b>	m3	0.6939
31	Volumen del agregado fino	m3	0.3061
32	Peso del agregado fino	Kg/m3	783.623
<b>E</b>	<b>PESOS POR M3 SIN CORREGIR</b>		
33	Cemento	Kg/m3	312.768
34	Agregado fino	Kg/m3	783.623
35	Agregado grueso	Kg/m3	1480.900
36	Agua	Kg/m3	154.820
37	Incorporador de aire Air Mix	Kg/m3	0.213
38	<b>TOTAL</b>	Kg/m3	2732.324
<b>F</b>	<b>CORRECCION POR HUMEDAD</b>		
<b>F1</b>	<b>AGREGADOS</b>		
39	Agregado fino	Kg/cm	804.781
40	Agregado grueso	Kg/m3	1492.747
<b>F2</b>	<b>APORTE DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS</b>		
41	Agregado fino	Kg/m3	-4.153
42	Agregado grueso	Kg/m3	-44.723
43	<b>TOTAL</b>	Kg/m3	-48.876
44	Agua efectiva	Kg/m3	203.696
<b>G</b>	<b>PESOS POR M3 CORREGIDOS POR HUMEDAD</b>		
45	Cemento	Kg/m3	312.768
46	Agregado fino	Kg/m3	804.781
47	Agregado grueso	Kg/m3	1492.747
48	Agua	Kg/m3	203.696
49	Incorporador de aire Air Mix	Kg/m3	0.213
50	<b>TOTAL</b>	<b>Kg/m3</b>	<b>2814.205</b>
<b>H</b>	<b>CALCULOS EN VOLUMENES</b>		
51	Cemento	pies3	7.36
52	Agregado fino	pies3	16.19
53	Agregado grueso	pies3	35.17
54	Agua	pies3	7.19
55	Incorporador de aire Air Mix	Kg/m3	0.213
<b>I</b>	<b>PROPORCIONES PARA UNA BOLSA DE CEMENTO</b>		
56	Cemento	pies3	1.00
57	Agregado fino	pies3	2.20
58	Agregado grueso	pies3	4.78
59	Agua	lts	27.68
60	Incorporador de aire Air Mix	ml	28.90

## ENSAYOS DE CONCRETO

PROYECTO : TRAMO III VILAVILANI  
 OBRA : REMODELACION CANAL UCHUSUMA

DÍA	MES	AÑO
15	Enero	2000

### DATOS

f'c : 210.000 kg/cm<sup>2</sup>  
 f'cr : 258.384 kg/cm<sup>3</sup>  
 Tamaño máx. agregado : 1 1/2 "  
 Aire total : 6%  
 Humedad arena : 2.70 %  
 Humedad grava : 0.80 %

DESCRIPCION	UNIDAD	PESOS POR M3 SIN CORREGIR	PESOS POR M3 CORREGIDOS POR HUMEDAD	PESOS CORREGIDOS POR HUMEDAD COLADA DE PRUEBA
Cemento Yura Portland tipo I	kg.	312.768	312.768	18.005
Arena Cantera Humapalca	kg.	783.623	804.781	46.327
Grava Cantera Humapalca	kg.	1480.900	1492.747	85.930
Agua	kg.	154.820	203.696	11.726
Relación agua/cemento	l/kg.	0.495	0.495	0.495
Incorporador de aire Air Mix 200 0.068%	kg.	0.213	0.213	0.012
Acelerante de fragua Acelguard 80 2%	ml	0.0	0.0	0.0
Plastificante	ml	0.0	0.0	0.0
Peso Unitario del concreto	kg.	2732.324	2814.205	162.000

### CUADRO # 26

#### CALENDARIO DE ROTURAS Y RESULTADOS DE COMPRESION

FECHA DE ROTURA	EDAD DIAS	Nº DE BRIQUETAS (ka/cm <sup>2</sup> )							
		1	2	3	4	5	6	7	8
	1								
18 de enero del 2000	3	128	132						
	5								
22 de enero del 2000	7			208	206				
29 de enero del 2000	14					261	210		
	21								
12 de febrero del 2000	28							314	289

## DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO

CEMENTO	: TIPO IP
FECHA	: 11-01-2000
OBRA	: REMODELACION CANAL UCHUSUMA
RESISTENCIA ESPECIFICADA	: 210 Kg/cm <sup>2</sup>
INCORPORADOR DE AIRE AIR MIX.	

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD
<b>A</b>	<b>ANALISIS DE AGREGADOS</b>		
<b>A1</b>	<b>AGREGADO FINO (Cantera Humapalca)</b>		
1	Peso especifico de masa sss.	gr/cm <sup>3</sup>	2.560
2	Absorción	%	3.230
3	Contenido de Humedad	%	1.600
4	Peso unitario sin varillar	Kg/m <sup>3</sup>	1755.000
5	Peso unitario varillado	Kg/m <sup>3</sup>	1850.000
6	Modulo de fineza		3.020
<b>A2</b>	<b>AGREGADO GRUESO</b>		
7	Peso especifico de masa sss.	gr/cm <sup>3</sup>	2.510
8	Absorción	%	3.820
9	Contenido de Humedad	%	0.500
10	Peso unitario sin varillar	Kg/m <sup>3</sup>	1499.000
11	Peso unitario varillado	Kg/m <sup>3</sup>	1613.000
<b>A3</b>	<b>CEMENTO</b>		
12	Yura Portland Tipo IP		
13	Peso especifico	gr/cm <sup>3</sup>	2.870
<b>B</b>	<b>CALCULO DE LA RESISTENCIA PROMEDIO</b>		
<b>B1</b>	<b>METODO DE LA DESVIACION STANDARD</b>		
14	Resistencia especificada	Kg/cm <sup>2</sup>	210.000
15	t = CoefProbabilidad 1/100 que el promedio de 5 pruebas sea menor al f'c en 35 kg		2.330
16	d = desviación standard (18% control regular)	Kg/cm <sup>2</sup>	35.200
17	f'cr = f'c + txd-35	Kg/cm <sup>2</sup>	292.016
<b>C</b>	<b>DATOS DE DISEÑO</b>		
18	Tamaño máximo del agregado	mm	38.100
19	Asentamiento	mm	50.800
20	Aire total	%	6.000
21	Agua de diseño	Lt/m <sup>3</sup>	168.293
22	Relación agua cemento	Lt/Kg	0.495
23	Cantidad de cemento	Kg/m <sup>3</sup>	339.986
24	Volumen de agregado grueso -10%	m <sup>3</sup>	0.5900
25	Peso del agregado grueso	Kg/m <sup>3</sup>	1480.9

<b>D</b>	<b>CALCULO DE VOLUMENES ABSOLUTOS</b>		
26	Cemento	m3	0.1185
27	Agua	m3	0.1683
28	Aire	m3	0.0600
29	Agregado grueso	m3	0.3792
30	<b>TOTAL</b>	m3	0.7259
31	Volumen del agregado fino	m3	0.2741
32	Peso del agregado fino	Kg/m3	701.680
<b>E</b>	<b>PESOS POR M3 SIN CORREGIR</b>		
33	Cemento	Kg/m3	339.986
34	Agregado fino	Kg/m3	701.680
35	Agregado grueso	Kg/m3	1480.900
36	Agua	Kg/m3	168.293
37	Incorporador de aire Air Mix	Kg/m3	0.230
38	<b>TOTAL</b>	Kg/m3	<b>2691.089</b>
<b>F</b>	<b>CORRECCION POR HUMEDAD</b>		
<b>F1</b>	<b>AGREGADOS</b>		
39	Agregado fino	Kg/cm	712.907
40	Agregado grueso	Kg/m3	1488.305
<b>F2</b>	<b>APORTE DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS</b>		
41	Agregado fino	Kg/m3	-11.437
42	Agregado grueso	Kg/m3	-49.166
43	<b>TOTAL</b>	Kg/m3	-60.603
44	Agua efectiva	Kg/m3	228.896
<b>G</b>	<b>PESOS POR M3 CORREGIDOS POR HUMEDAD</b>		
45	Cemento	Kg/m3	339.986
46	Agregado fino	Kg/m3	712.907
47	Agregado grueso	Kg/m3	1488.305
48	Agua	Kg/m3	228.896
49	Incorporador de aire Air Mix	Kg/m3	0.2319038
50	<b>TOTAL</b>	<b>Kg/m3</b>	<b>2770.324</b>
<b>H</b>	<b>CALCULOS EN VOLUMENES</b>		
51	Cemento	pies3	8.00
52	Agregado fino	pies3	14.35
53	Agregado grueso	pies3	35.06
54	Agua	pies3	8.08
55	Incorporador de aire Air Mix	Kg/m3	0.230
<b>I</b>	<b>PROPORCIONES PARA UNA BOLSA DE CEMENTO</b>		
56	Cemento	pies3	1.00
57	Agregado fino	pies3	1.79
58	Agregado grueso	pies3	4.38
59	Agua	lts	28.61
60	Incorporador de aire Air Mix	ml	28.90

## ENSAYOS DE CONCRETO

**PROYECTO** : TRAMO III VILAVILANI  
**OBRA** : REMODELACION CANAL UCHUSUMA

DÍA	MÉS	AÑO
29	Enero	2000

**DATOS**

f'c : 210.000 kg/cm<sup>2</sup>  
 f'cr : 257.016 kg/cm<sup>3</sup>  
 Tamaño máx. agregado : 1 1/2 "  
 Aire total : 6%  
 Humedad arena : 1.60 %  
 Humedad grava : 0.50 %

DESCRIPCION	UNIDAD	PEÑOS POR M3 SIN CORREGIR	PEÑOS POR M3 CORREGIDOS POR HUMEDAD	PEÑOS CORREGIDOS POR HUMEDAD COLADA DE PRUEBA
Cemento Yura Portland Puzolánico tipo IP	kg.	339.986	339.986	19.881
Arena Cantera Humapalca	kg.	701.680	712.907	41.689
Grava Cantera Humapalca	kg.	1480.900	1488.305	87.031
Agua	kg.	168.293	228.896	13.385
Relación agua/cemento	lt/kg.	0.495	0.495	0.495
Incorporador de aire Air Mix 200 0.068%	kg.	0.230	0.230	0.014
Acelerante de fragua Acelguard 80 2%	ml	0.0	0.0	0.0
Plastificante	ml	0.0	0.0	0.0
Peso Unitario del concreto	kg.	2691.089	2770.324	162.000
<b>ENSAYOS</b>				
Slump	Pulg.	3 1/2 "		
Aire total	%	5.40		
Humedad relativa	%	—		
Temperatura del ambiente	°C	11.00		
Temperatura del agua	°C	29.50		
Temperatura del concreto	°C	17.80		
Moldeo	Hora	15 : 05		
<b>OBSERVACIONES:</b>				

**CUADRO # 27**

**CALENDARIO DE ROTURAS Y RESULTADOS DE COMPRESION**

FECHA DE ROTURA	EDAD DIAS	Nº DE BRIQUETAS (ka/cm <sup>2</sup> )							
		1	2	3	4	5	6	7	8
	1								
01 de febrero del 2000	3	111	109						
	5								
05 de febrero del 2000	7			192	207				
12 de febrero del 2000	14					244	258		
	21								
26 de febrero del 2000	28							320	311

### **3.3. ESTUDIO TERMODINÁMICO DE LAS PÉRDIDAS DE ENERGIA**

#### **3.3.1. DEFINICIONES PREVIAS**

La unidad de utilización práctica es la caloría grande (Kcal). Es por definición la cantidad de calor necesario para elevar la temperatura de un Kg. De agua de 14°C a 15°C a la presión atmosférica de 760mm. Hg.

La unidad de calor expresado en unidades británicas térmicas (BTU) se relaciona con la Kcal de la siguiente forma:

$$1 \text{ BTU} = 0.252 \text{ Kcal}$$

#### **CALOR ESPECIFICO:**

El calor específico de un cuerpo es la cantidad de calor necesario para elevar la temperatura de la unidad de masa 1°C, se mide en Kcal / Kg -°C.

#### **COEFICIENTE DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA ( $\lambda$ ):**

Es la cantidad de calor expresado en Kcal que atraviesa un metro cuadrado de superficie de un cuerpo, considerando el espesor de un metro, en una hora y debido a la diferencia de temperatura de un grado centígrado entre las dos caras paralelas de dicho cuerpo.

#### **COEFICIENTE PECULIAR:**

El intercambio que se produce sobre la superficie de una pared entre la superficie de la misma y el medio gaseoso en que se encuentra, se expresa como un coeficiente de

intercambio superficial "a", llamado coeficiente peculiar. Con él se obtiene el valor de la transmisión de calor por metro cuadrado y por hora para un grado de diferencia entre el medio gaseoso y la superficie de la pared.

El coeficiente de transmisión de calor (K) se calcula en forma práctica con la fórmula simplificada  $\lambda/\text{espesor del aislamiento}$ , en el caso de que se trate de seguir el cálculo para una estructura no aislada, será suficiente sustituir a K por el coeficiente peculiar externo ( $a_e$ ), teniendo en cuenta la velocidad del viento o del medio.

### **3.3.2. PERDIDA DE ENERGÍA DEL MURO DE CONCRETO DE SOBREELEVACIÓN**

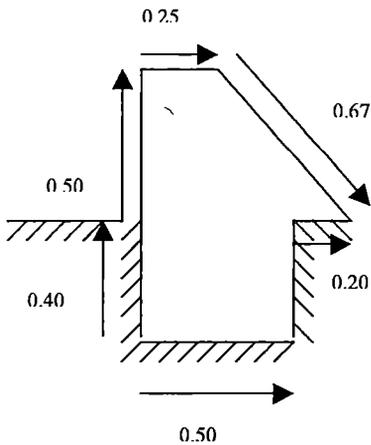
OBRA : TRAMO III – PROYECTO VILAVILANI  
CONTRATISTA : CORPORACIÓN SAGITARIO S.A.  
SUPERVISIÓN : EWI – VCHI  
UBICACIÓN : Km 0+030 del Canal Uchusuma. El Ayro.  
FECHA : 11 de Febrero del 2,000

A) SITUACIÓN REAL: MONITOREO EN LAS PRIMERAS 12 HORAS DE VACIADO

Temperatura ambiente: 4.6 °C

1° Dimensión del sardinel vaciado

Longitud del sardinel	= 3.00 m
Area expuesta al viento	= 4.26 m <sup>2</sup>
Areas laterales expuestas al viento	= 0.875 m <sup>2</sup>
Area del sardinel en contacto con el suelo	= 4.50 m <sup>2</sup>



## 2° Temperatura a las 12 horas

- Temperatura del concreto = 29 °C
- Temperatura del suelo en la base de contacto con el sardinel (medido in situ) = 14 °C
- Temperatura ambiental = 4.6 °C

3° Peso del concreto  $0.4375 \times 3.00 \times 2350 = 3085 \text{ Kg.}$

4° Calor específico del concreto = 0.21 Kcal / Kg-°C

## 5° Coeficiente de transmisión del calor (K)

- En la base del sardinel = 1.50 Kcal / hr-m<sup>2</sup>°C
- En el área expuesta al viento =  $0.035 / 0.075 = 0.4666 \text{ Kcal / hr-m}^2\text{°C}$

- 0.035 conductividad térmica del aislamiento a temperatura ambiente.
- 0.075 espesor del aislamiento expresado en metros

Tomando en cuenta que el sardinel se encuentra inmerso en dos ambientes que tienen temperaturas diferentes, se calcula que la temperatura promedio ( $t_e$ ) a la que esta expuesta el sardinel es:

$$t_e = \frac{(T_{amb} \times \text{Areas Expuestas al Viento}) + (T_{suelo} \times \text{Area Sardinel Suelo})}{\text{Area Total del Sardinel}}$$

$$= \frac{(4.60 \times 5.135) + (14 \times 4.5)}{9.635} = 9^\circ\text{C}$$

Un sardinel de concreto que se encuentra a la temperatura  $t_o$  y esta inmerso en un ambiente de temperatura  $t_e$ , se enfriará con la ley exponencial. Después de un tiempo  $h$  el sardinel tendrá una temperatura  $t$ .

$$- ksh/cp$$

$$t = t_e + (t_o - t_e) \cdot e$$

Donde :

$t$  = temperatura del sardinel después de un tiempo  $h$ .  
 $t_e$  = temperatura externa promedio ( $9\text{ }^\circ\text{C}$ )  
 $t_o$  = temperatura inicial del sardinel de concreto ( $29\text{ }^\circ\text{C}$ )  
 $e$  = logaritmo neperiano  
 $k$  = coeficiente de transmisión total del calor  
 $s$  = área del sardinel  
 $h$  = 12 horas  
 $c$  = calor específico del concreto ( $0.21\text{ Kcal / Kg-}^\circ\text{C}$ )  
 $p$  = peso del concreto =  $3,085\text{ Kg}$ .

$$t = 9 + (29 - 9) e^{-\frac{(1.5 \times 4.5 + 0.4666 \times 5.135) \times 12}{0.21 \times 3085}}$$

$$t = 9 + (29 - 9) e^{-\frac{109.8}{647.85}}$$

$$t = 26\text{ }^\circ\text{C}$$

## B) SITUACIÓN HIPOTÉTICA

Considerando que la temperatura ambiental que se ha registrado en la zona, en los periodos de frío intenso es de  $-15\text{ }^\circ\text{C}$ , procederemos a hacer los cálculos tomando en cuenta esta posibilidad.

Tomando en cuenta que el sardinel se encuentra inmerso en dos ambientes que tienen temperaturas diferentes, se calcula que la temperatura promedio ( $t_e$ ) a la que esta expuesta el sardinel es:

$$\frac{(-15.0 \times 5.135) + (14 \times 4.5)}{9.635} = -1.5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$- ksh/cp$$

$$t = t_e + (t_o - t_e) e$$

Donde :

t = temperatura del sardinel después de un tiempo h.

t<sub>e</sub> = temperatura externa promedio (-1.5 °C)

t<sub>o</sub> = temperatura inicial del sardinel de concreto (29 °C)

e = logaritmo neperiano

k = coeficiente de transmisión total del calor

s = área del sardinel

h = 12 horas

c = calor específico del concreto (0.21 Kcal / Kg-°C)

p = peso del concreto ( 3,085 Kg )

$$t = -1.5 + (29 - (-1.5)) e^{-\frac{(1.5 \times 4.5 + 0.4666 \times 5.135) \times 12}{0.21 \times 3085}}$$

$$t = -1.5 + (30.5) e^{-\frac{(109.8)}{647.85}}$$

$$t = 24 \text{ } ^\circ\text{C}$$

## **NOTA:**

1º La temperatura del sardinel de concreto que se ha obtenido en el cálculo, tomando los parámetros de la situación real, concuerdan con la temperatura obtenida de la medición realizada in situ. Considerando siempre que los cálculos teóricos, se pueden apartar un poco de las mediciones reales, debido a que los cálculos teóricos no contemplan todas las posibles variables que se presentan en la realidad.

2º Dado que hemos comprobado que los cálculos teóricos se aproximan a los datos reales, podemos suponer que la temperatura encontrada en el caso hipotético que se ha planteado debe también estar cercana a la realidad.

### **3.4. MONITOREO DE TEMPERATURAS Y RESISTENCIAS**

**(24, 48, 72 HORAS)**

#### **3.4.1. ESTRUCTURA : MÓDULO DE SOBREELEVACIÓN DEL CANAL**

**CUADRO # 28**

**MONITOREO DEL CONCRETO DE SOBREELEVACIÓN PROTEGIDO CON  
MANTAS DE LANA DE FIBRA DE VIDRIO USANDO CEMENTO TIPO I**

**TEMPERATURAS DE MONITOREO**

**Viernes 11 de febrero del 2000**

(Hora de vaciado = 12:00 p.m.)

HORA		TEMPERATURA DEL CONCRETO		TEMPERATURA AMBIENTE °C
DEL DIA	ACUMULADA	INTERIOR °C	SUPERFICIAL °C	
06:00 p.m.	06.0	22.0	16.8	5.7
08:00 p.m.	08.0	24.7	18.7	5.5
10:00 p.m.	10.0	28.3	24.5	4.8
12:00 p.m.	12.0	30.8	28.3	4.9

**Sabado 12 de febrero del 2000**

02:00 a.m.	14.0	33.3	31.2	4.4
04:00 a.m.	16.0	34.7	32.1	3.1
06:00 a.m.	18.0	35.5	32.7	3.4
08:00 a.m.	20.0	35.0	33.1	11.3
10:00 a.m.	22.0	36.5	45.8	20.0
12:00 p.m.	24.0	39.0	46.0	22.2
02:00 p.m.	26.0	41.2	43.2	11.0
04:00 p.m.	28.0	41.5	42.6	7.0
06:00 p.m.	30.0	42.0	41.9	5.2
08:00 p.m.	32.0	42.0	41.5	5.1
11:00 p.m.	34.0	42.0	40.7	3.0
12:00 p.m.	36.0	42.0	40.4	2.8

**Domingo 13 de febrero del 2000**

02:00 a.m.	38.0	42.1	40.1	-2.0
04:00 a.m.	40.0	41.8	39.8	-1.0
06:00 a.m.	42.0	41.6	39.4	-1.0
08:00 a.m.	44.0	42.1	43.2	10.0
10:00 a.m.	46.0	42.6	45.2	12.0
12:00 p.m.	48.0	44.5	45.3	13.0
02:00 p.m.	50.0	44.3	46.5	11.0
04:00 p.m.	52.0	43.6	43.3	7.5
06:00 p.m.	54.0	42.9	42.0	6.0
08:00 p.m.	56.0	42.4	40.4	5.5
10:00 p.m.	58.0	41.8	39.4	3.9
12:00 p.m.	60.0	40.8	38.5	2.8

**Lunes 14 de febrero del 2000**

02:00 a.m.	62.0	40.2	38.1	2.5
04:00 a.m.	64.0	40.0	37.8	3.7
06:00 a.m.	66.0	40.0	37.6	6.0
08:00 a.m.	68.0	41.7	38.2	11.0
10:00 a.m.	70.0	42.3	39.3	15.0
12:00 p.m.	72.0	43.2	40.1	21.0

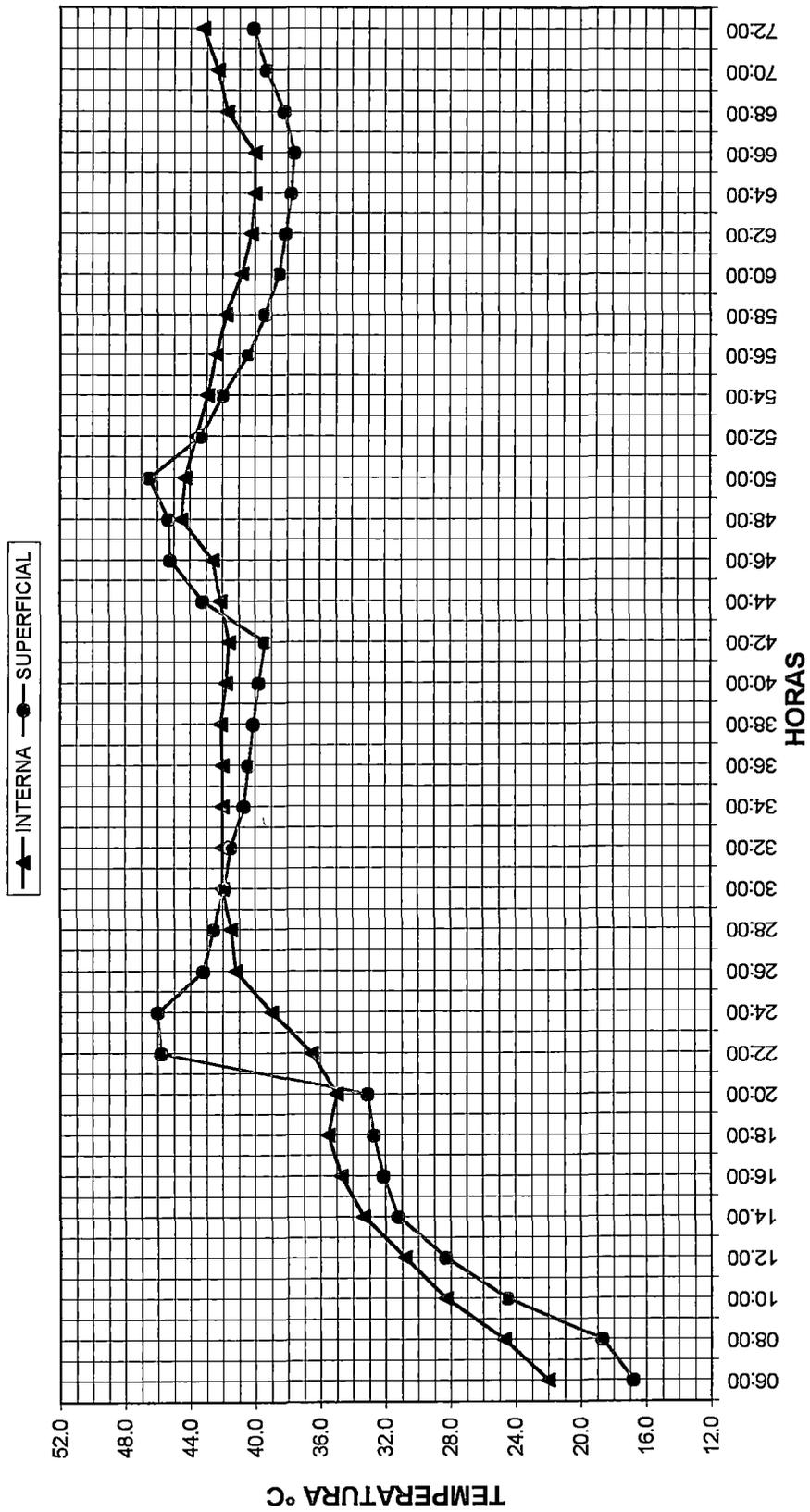
**PROPORCIONES EN VOLUMEN**

Cemento Yura tipo I	: 1.00 pie <sup>3</sup>
Arena	: 1.99 pie <sup>3</sup>
Piedra de 1 1/2"	: 3.12 pie <sup>3</sup>
Agua	: 25.69 L.
Incorporador de Aire	: 28.90 gr.

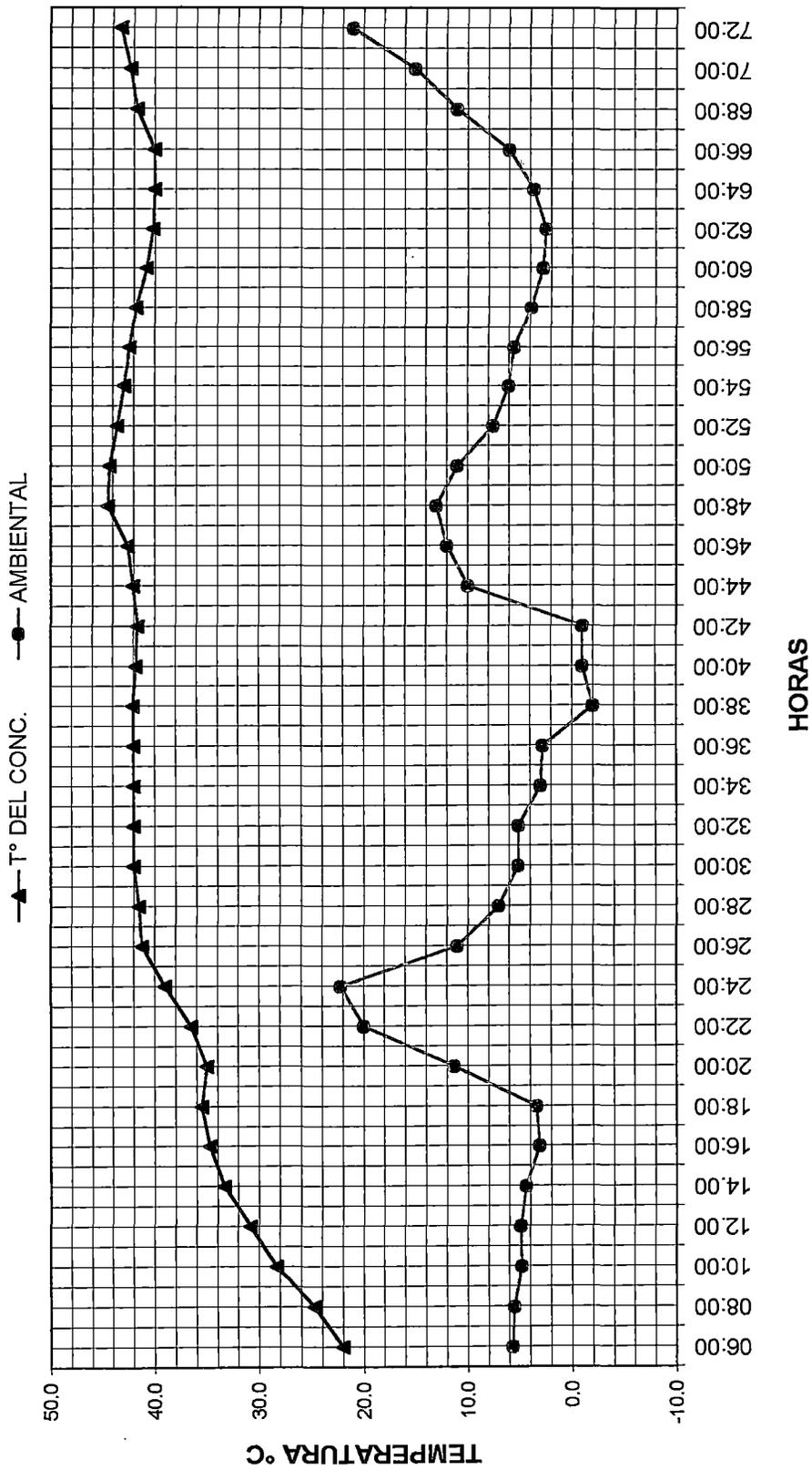
**DETERMINACIONES**

Slump	2 1/4"
Aire total	4.5%
Temp. del ambiente	17.0
Temp. del agua	49.0°C
Temp. Del concreto	20.6° C
Temp. De la piedra	11.9° C
Temp. De la arena	14.8° C
Temp. Del cemento	11.0° C

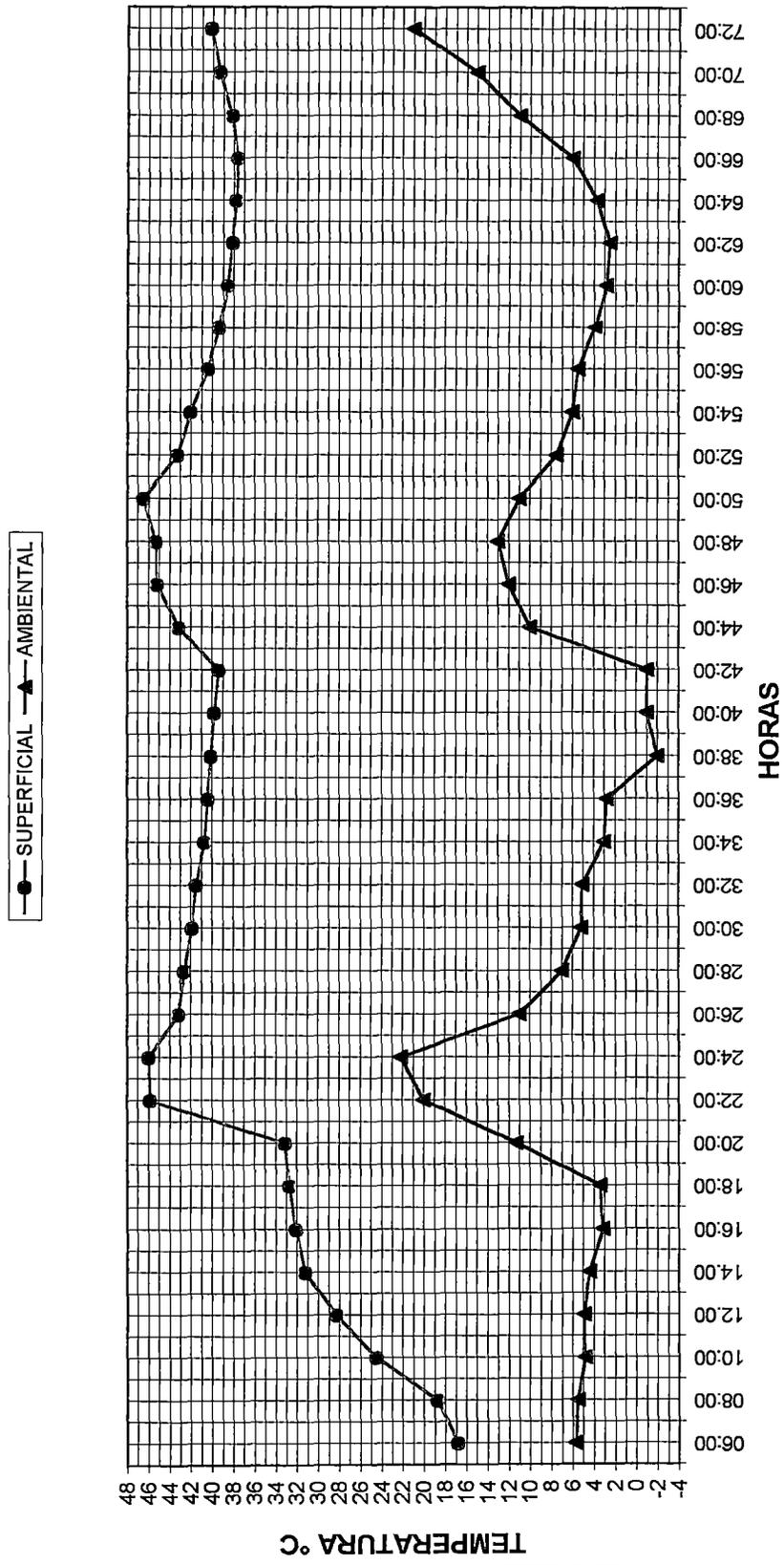
**GRAFICO # 21**  
**TEMPERATURA SUPERFICIAL E INTERIOR DEL**  
**CONCRETO vs TIEMPO**



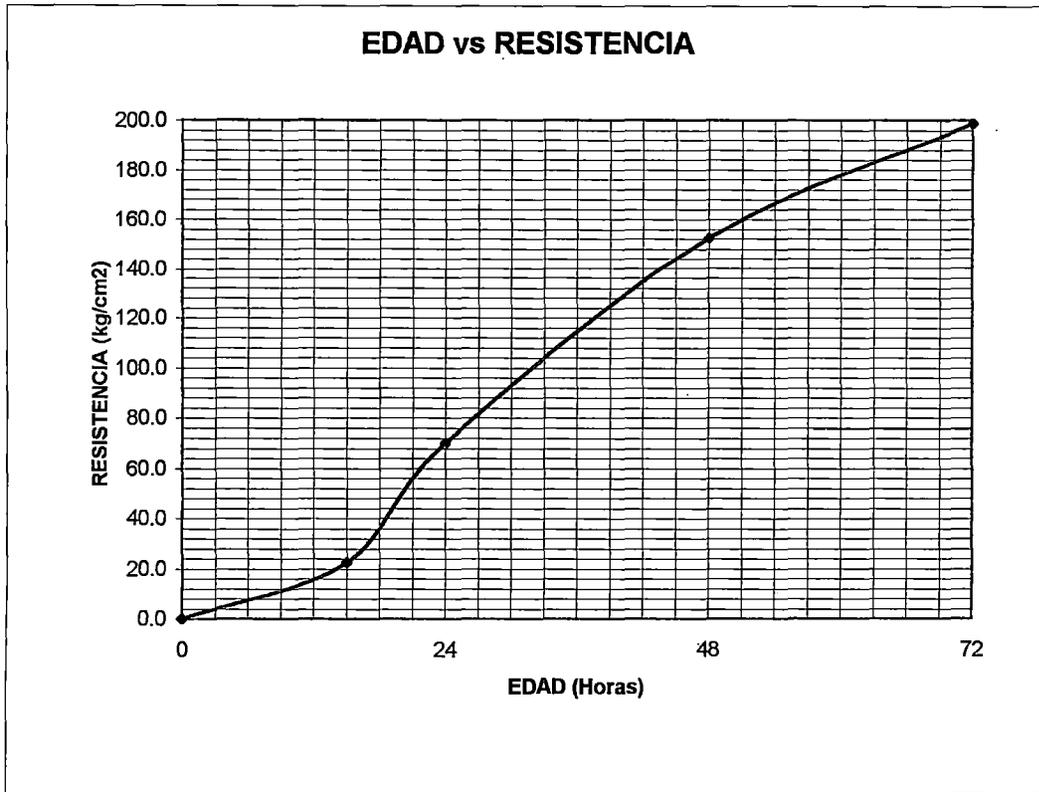
**GRAFICO # 22**  
**TEMPERATURA INTERIOR DEL CONCRETO Y TEMPERATURA AMBIENTAL**  
**VS TIEMPO**



**GRAFICO #23**  
**TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL CONCRETO**  
**Y TEMPERATURA AMBIENTAL vs TIEMPO**



**GRAFICO # 24**



**CUADRO # 29**

**ENSAYOS DE RESISTENCIA**

TESTIGO	RESISTENCIA DEL CONCRETO				
	kg / c m 2				
	E D A D (Horas)				
	0	15	24	48	72
A	-	32.50	72.2	149.35	199.03
B	-	12.58	67.80	155.22	198.24
PROMEDIO	-	23	70	152	199

**CUADRO # 30**

**MONITOREO DEL CONCRETO DE SOBREELEVACIÓN PROTEGIDO CON  
MANTAS DE LANA DE FIBRA DE VIDRIO USANDO CEMENTO TIPO IP**

**TEMPERATURAS DE MONITOREO**

**Viernes 11 de febrero del 2000** (Hora de vaciado = 12:00 p.m)

HORA		TEMPERATURA DEL CONCRETO		TEMPERATURA AMBIENTE
DEL DIA	ACUMULADA	INTERIOR °C	SUPERFICIAL °C	°C
06:00 p.m.	06.0	23.4	20.3	5.7
08:00 p.m.	08.0	26.1	19.8	5.5
10:00 p.m.	10.0	28.0	25.1	4.8
12:00 p.m.	12.0	30.3	26.8	4.9

**Sabado 12 de febrero del 2000**

02:00 a.m.	14.0	32.4	26.8	4.4
04:00 a.m.	16.0	33.0	29.8	3.1
06:00 a.m.	18.0	33.7	30.2	3.4
08:00 a.m.	20.0	32.8	30.7	11.3
10:00 a.m.	22.0	33.8	33.8	20.0
12:00 p.m.	24.0	35.9	42.1	22.2
02:00 p.m.	26.0	36.5	35.4	11.0
04:00 p.m.	28.0	36.9	33.7	7.0
06:00 p.m.	30.0	37.1	32.2	5.2
08:00 p.m.	32.0	36.9	31.9	5.1
11:00 p.m.	34.0	35.9	31.0	3.0
12:00 p.m.	36.0	35.7	30.8	2.8

**Domingo 13 de febrero del 2000**

02:00 a.m.	38.0	35.2	30.8	-2.0
04:00 a.m.	40.0	34.7	30.0	-1.0
06:00 a.m.	42.0	34.2	29.3	-1.0
08:00 a.m.	44.0	34.5	35.2	10.0
10:00 a.m.	46.0	35.0	37.2	12.0
12:00 p.m.	48.0	34.6	34.7	13.0
02:00 p.m.	50.0	35.7	34.7	11.0
04:00 p.m.	52.0	35.5	32.9	8.0
06:00 p.m.	54.0	34.7	32.9	6.0
08:00 p.m.	56.0	34.0	32.9	6.0
10:00 p.m.	58.0	33.3	31.4	4.0
12:00 p.m.	60.0	32.4	29.0	3.0

**Lunes 14 de febrero del 2000**

02:00 a.m.	62.0	40.2	38.1	3.0
04:00 a.m.	64.0	40.0	37.8	4.0
06:00 a.m.	66.0	40.0	37.6	6.0
08:00 a.m.	68.0	41.7	38.2	11.0
10:00 a.m.	70.0	42.3	39.3	15.0
12:00 p.m.	72.0	43.2	40.1	21.0

**PROPORCIONES EN VOLUMEN**

Cemento Yura tipo I	: 1.00 pie3
Arena	: 1.63 pie3
Piedra de 1 1/2"	: 2.85 pie3
Agua	: 26.61 L.
Incorporador de Aire	: 28.90 gr.

**DETERMINACIONES**

Slump	2 3/4"
Aire total	3.0%
Temp. del ambiente	15.9°C
Temp. del agua	53.8°C
Temp. Del concreto	20.0 ° C
Temp. De la piedra	11.9 ° C
Temp. De la arena	14.8 ° C
Temp. Del cemento	11.0 ° C

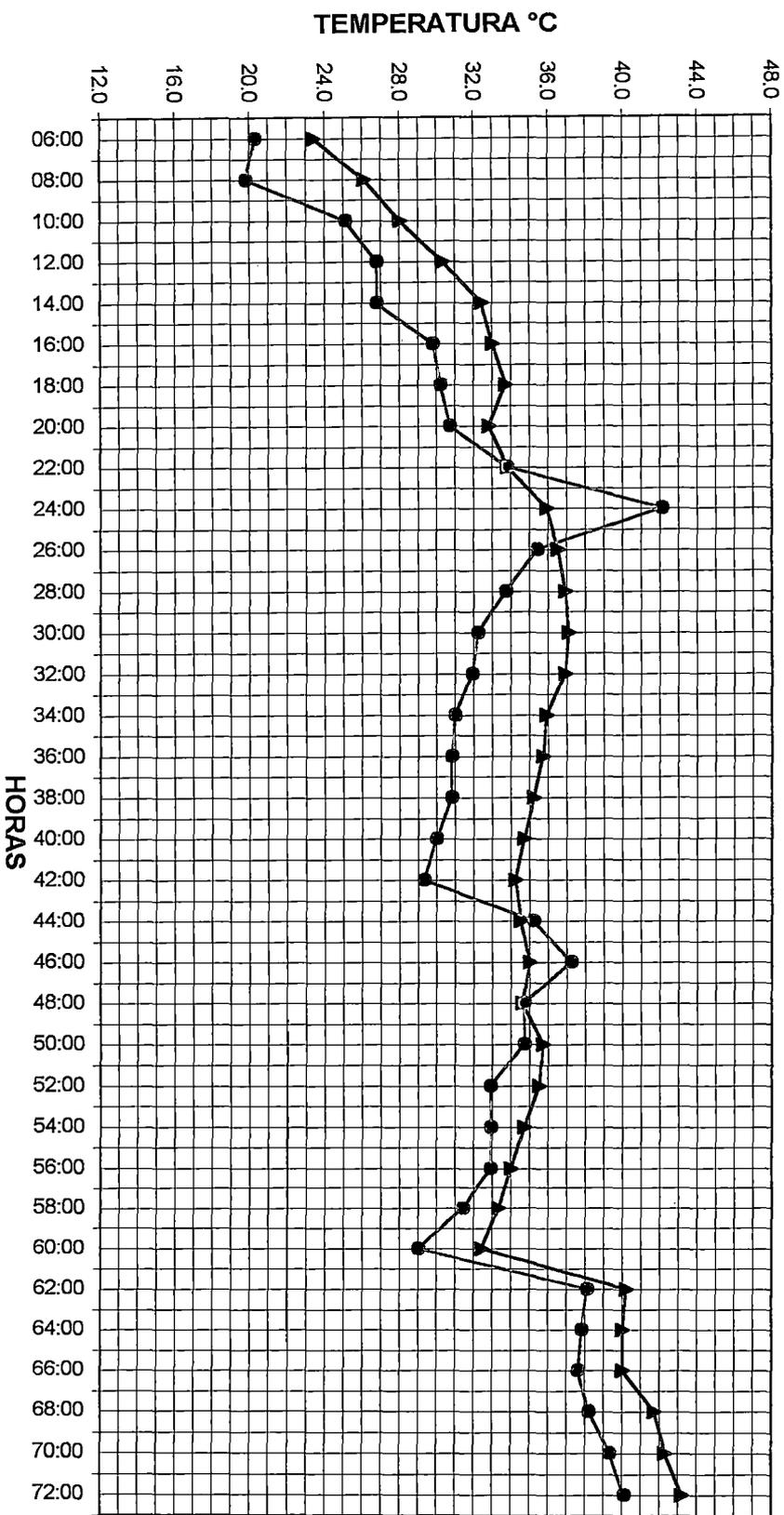
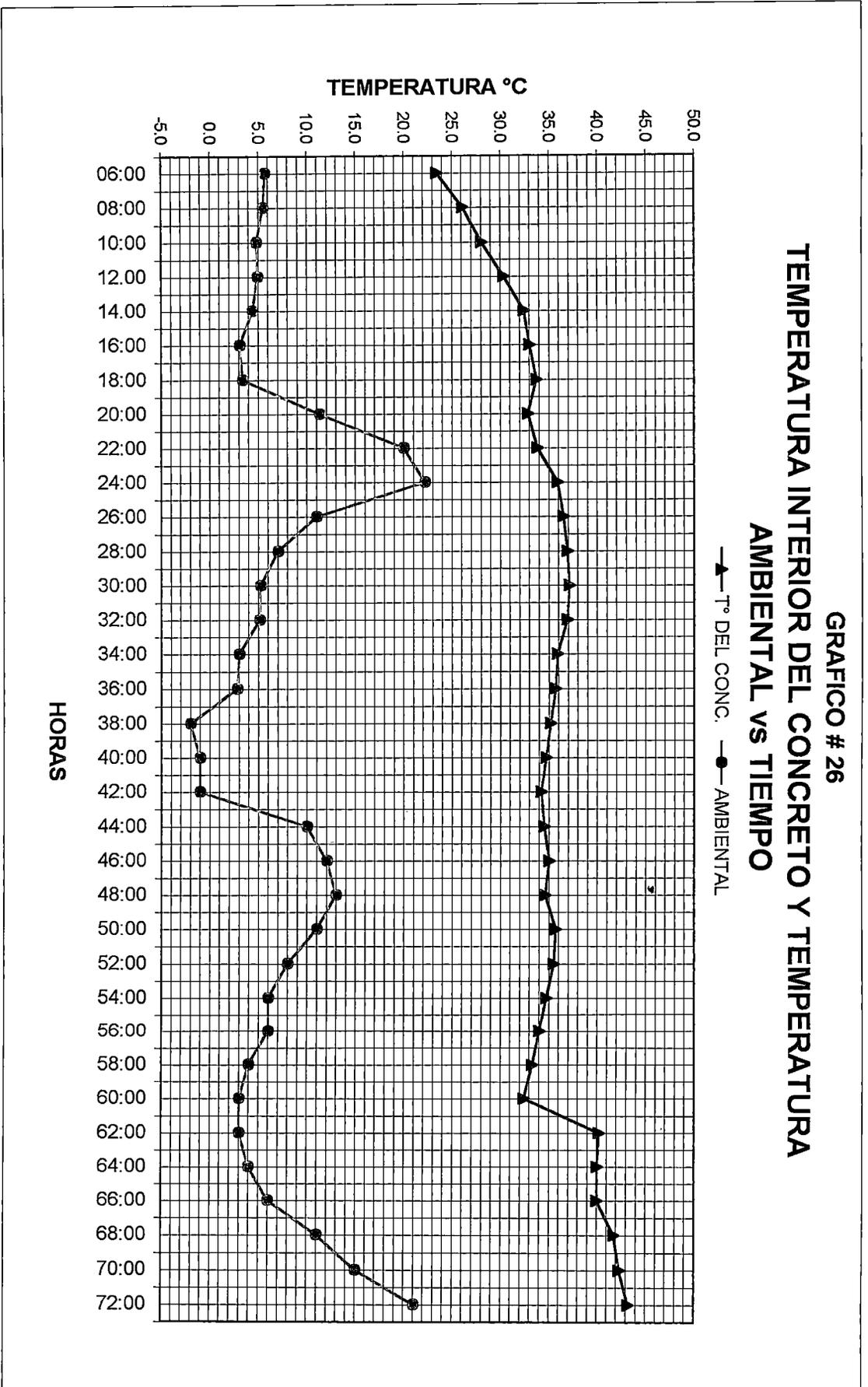
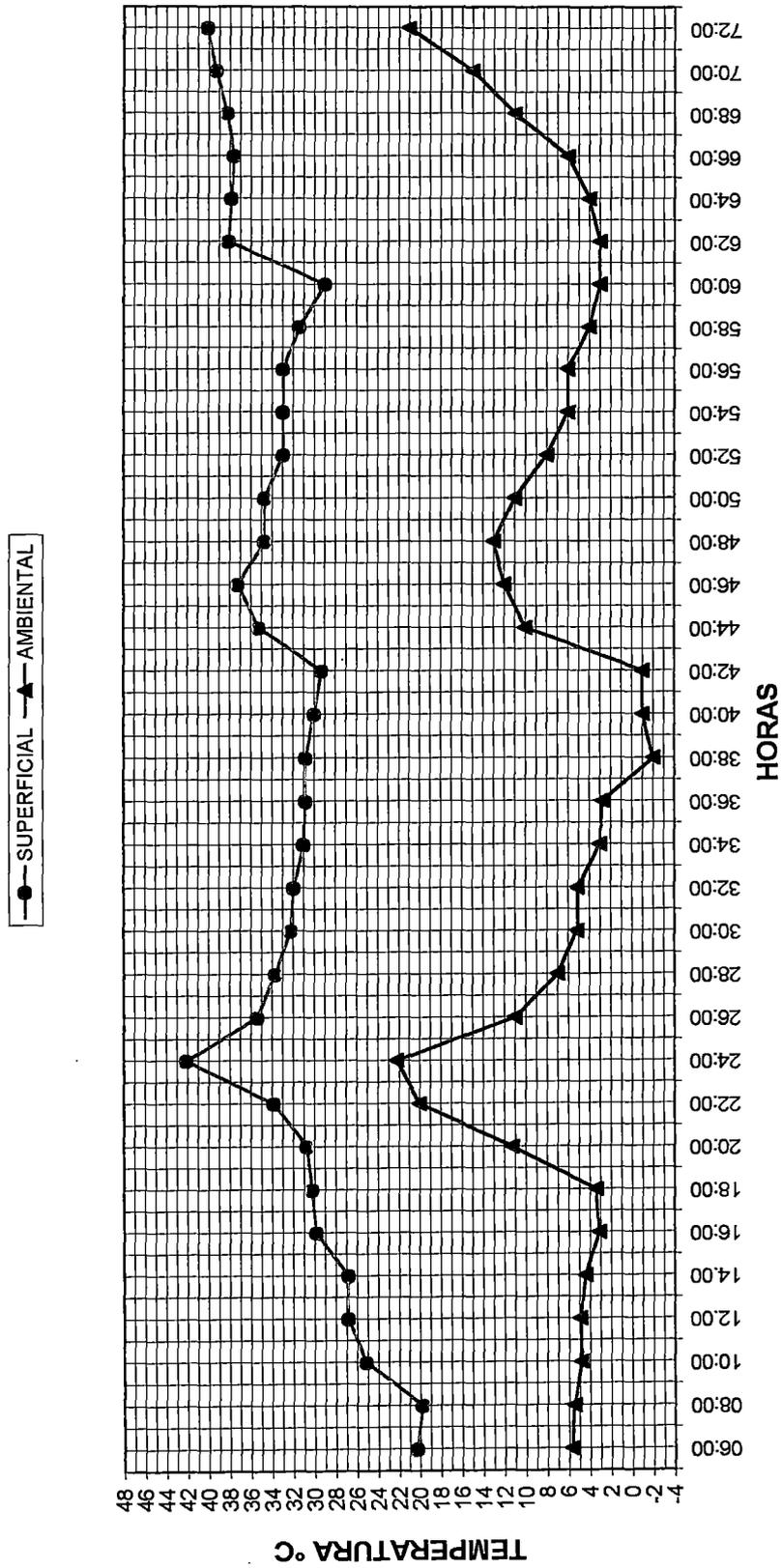


GRAFICO # 25  
 TEMPERATURA SUPERFICIAL E INTERIOR DEL  
 CONCRETO VS TIEMPO

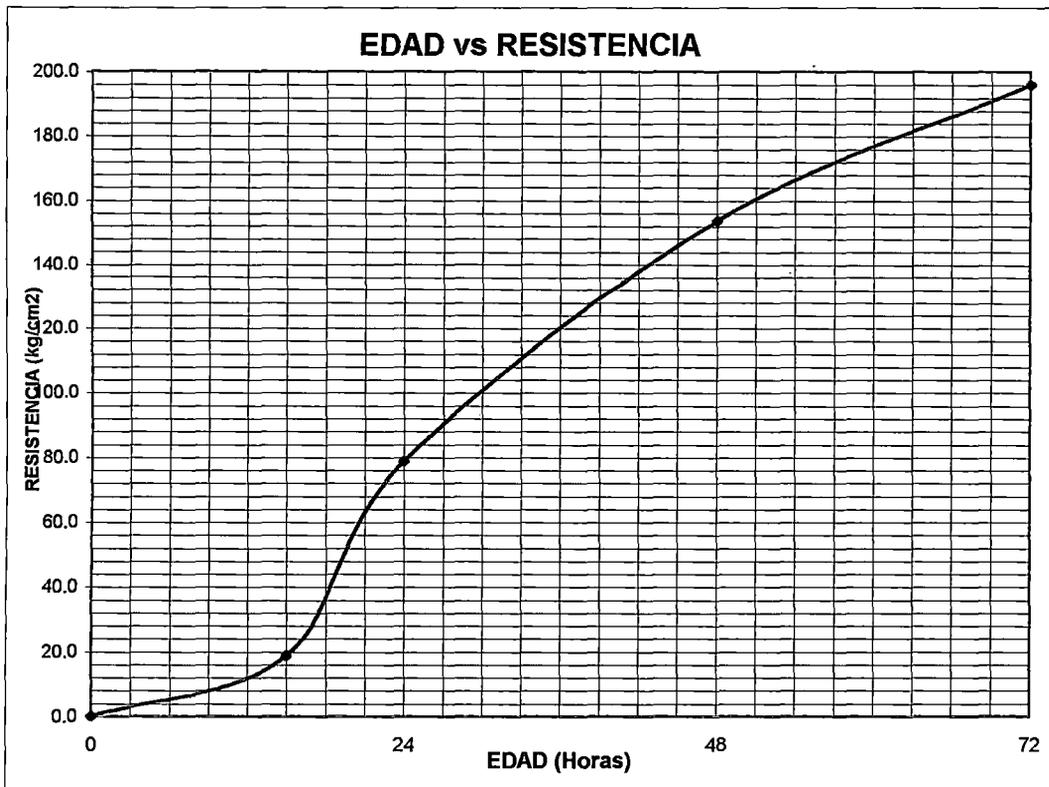
—▲— INTERNA —●— SUPERFICIAL



**GRAFICO # 27**  
**TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL CONCRETO**  
**Y TEMPERATURA AMBIENTAL vs TIEMPO**



**GRAFICO # 28**



**CUADRO # 31**

**ENSAYOS DE RESISTENCIA**

TESTIGO	RESISTENCIA DEL CONCRETO kg / c m 2				
	E D A D (Horas)				
	0	15	24	48	72
A	-	6.32	80.7	153.76	193.25
B	-	31.38	77.00	153.36	198.77
PROMEDIO	-	19	79	154	196

**CUADRO # 32**

**MONITOREO DEL CONCRETO DE SOBREELEVACIÓN PROTEGIDO CON  
MANTAS DE LANA DE FIBRA DE VIDRIO USANDO CEMENTO TIPO I**

**TEMPERATURAS DE MONITOREO**

**Jueves 30 Marzo del 2000**

(Hora de vaciado = 12:00 p.m)

HORA		TEMPERATURA DEL CONCRETO		TEMPERATURA AMBIENTE
DEL DIA	ACUMULADA	INTERIOR °C	SUPERFICIAL °C	° C
06:00 p.m.	06.0	20.0	22	5.2
08:00 p.m.	08.0	21.8	24.4	2.7
10:00 p.m.	10.0	23.8	26.2	0.7
12:00 p.m.	12.0	25.2	27.2	-1.2

**Viernes 31 de Marzo del 2000**

02:00 a.m.	14.0	26.8	27.5	-2.1
04:00 a.m.	16.0	27.1	28.0	-2.6
06:00 a.m.	18.0	27.2	28.0	-0.2
08:00 a.m.	20.0	27.5	27.2	9.8
10:00 a.m.	22.0	28.4	29.2	16.6
12:00 p.m.	24.0	30.6	30.2	17.6
02:00 p.m.	26.0	33.1	32.5	15.9
04:00 p.m.	28.0	31.2	30.8	6.4
06:00 p.m.	30.0	30.6	30.4	3.2
08:00 p.m.	32.0	32.3	31.9	3.9
11:00 p.m.	34.0	30.9	30.6	-1.0
12:00 p.m.	36.0	30.2	39.1	-2.0

**Sabado 01 de Abril del 2000**

02:00 a.m.	38.0	30.0	38.4	-4.0
04:00 a.m.	40.0	29.7	36.2	-4.0
06:00 a.m.	42.0	29.2	35.1	7.0
08:00 a.m.	44.0	29.6	33.2	14.7
10:00 a.m.	46.0	31.6	35.3	17.2
12:00 p.m.	48.0	33.4	36.8	16.0
02:00 p.m.	50.0	31.5	33.9	13.0
04:00 p.m.	52.0	29.6	31.0	10.0
06:00 p.m.	54.0	27.7	28.0	7.0
08:00 p.m.	56.0	26.6	26.1	6.0
10:00 p.m.	58.0	25.5	25.0	3.2
12:00 p.m.	60.0	24.6	24.0	0.1

**Domingo 02 de Abril del 2000**

02:00 a.m.	62.0	24.1	23.2	0.8
04:00 a.m.	64.0	23.7	22.9	1.4
06:00 a.m.	66.0	23.4	22.4	1.7
08:00 a.m.	68.0	24.7	23.9	10.5
10:00 a.m.	70.0	25.0	27.0	12.1
12:00 p.m.	72.0	25.2	27.0	14.6

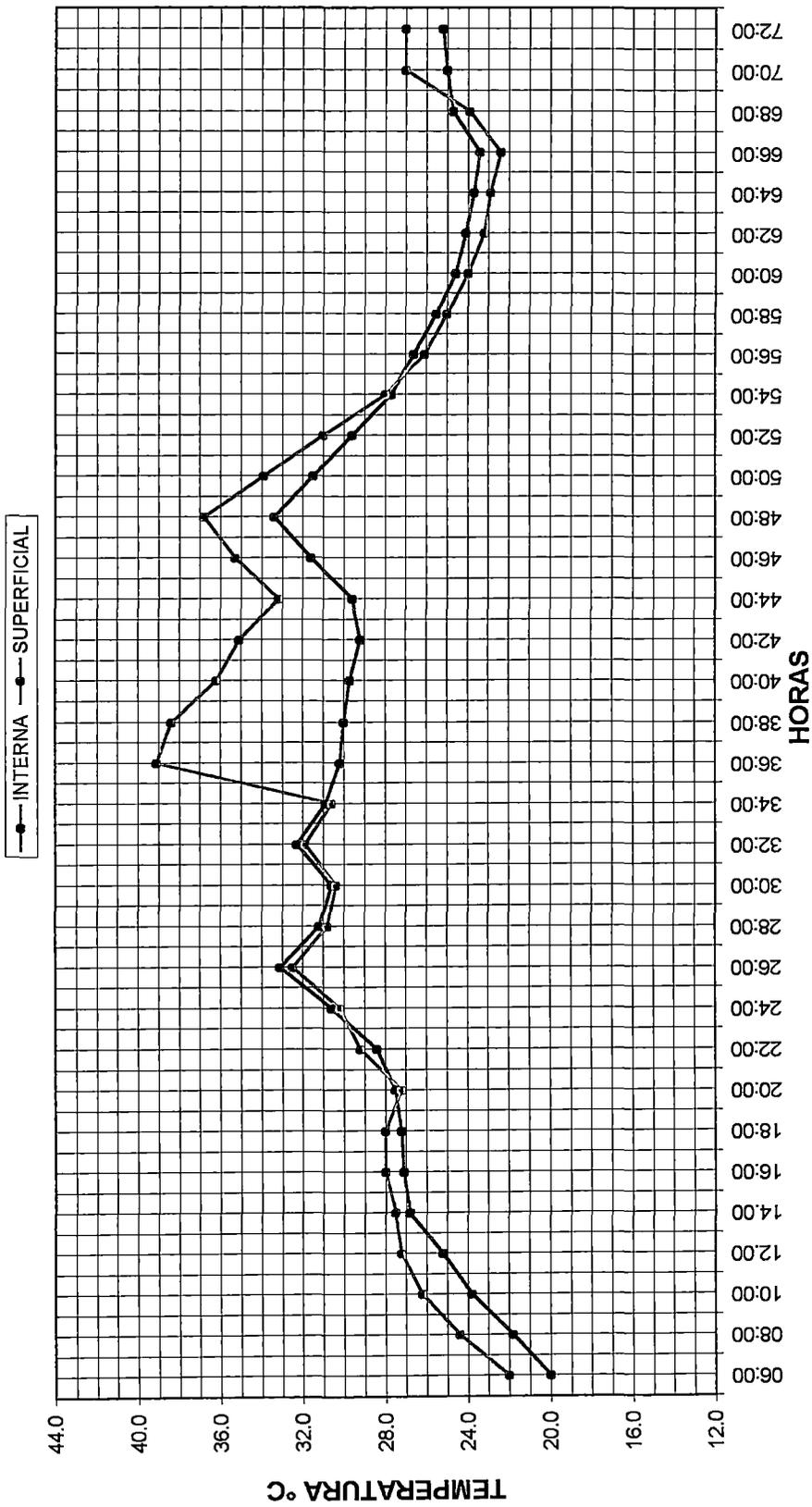
**PROPORCIONES EN VOLUMEN**

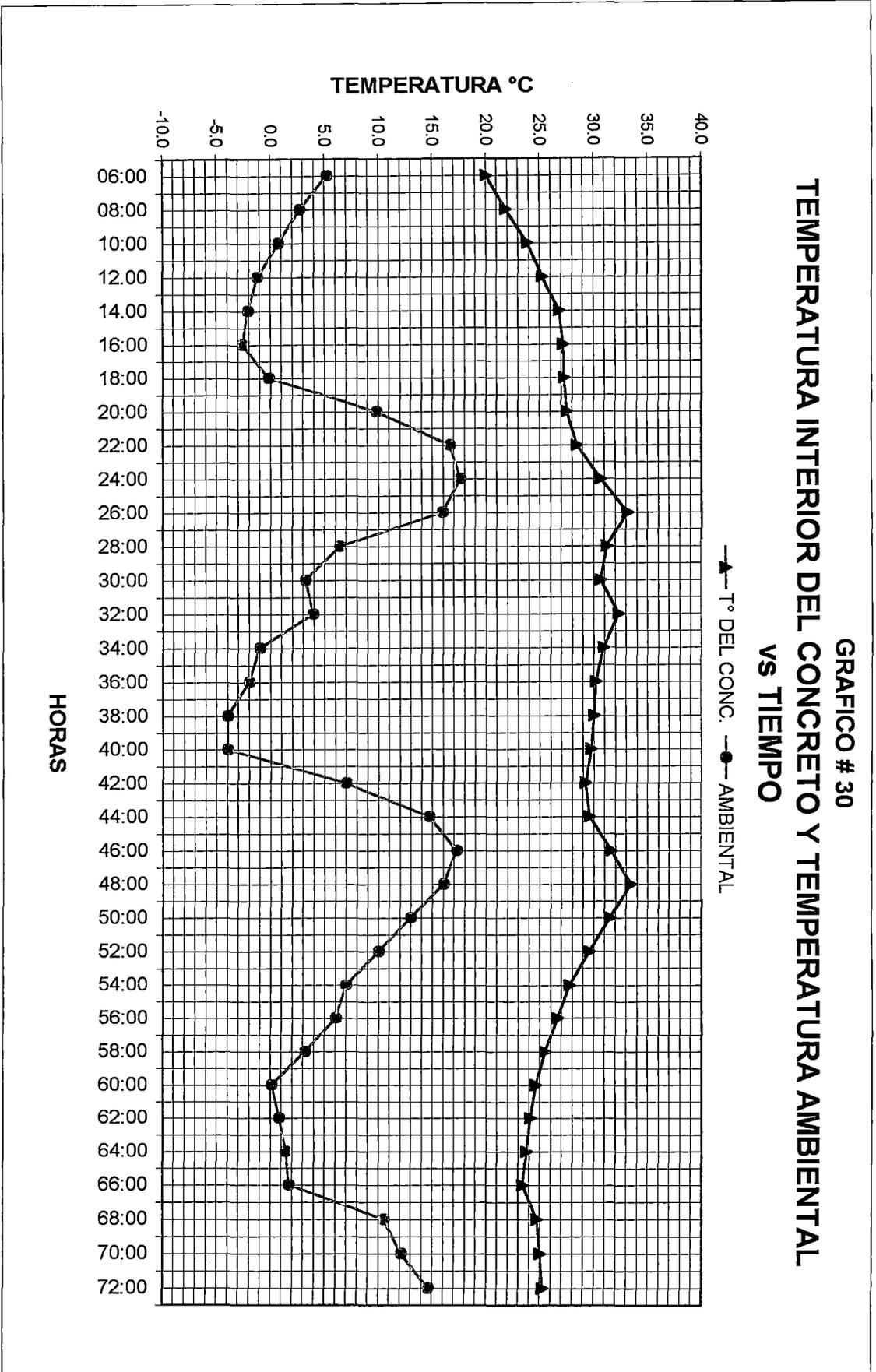
Cemento Yura tipo I	: 1.00 pie3
Arena	: 2.09 pie3
Piedra de 1 1/2"	: 3.15 pie3
Agua	: 19.03 L.
Incorporador de Aire	: 28.90 gr.

**DETERMINACIONES**

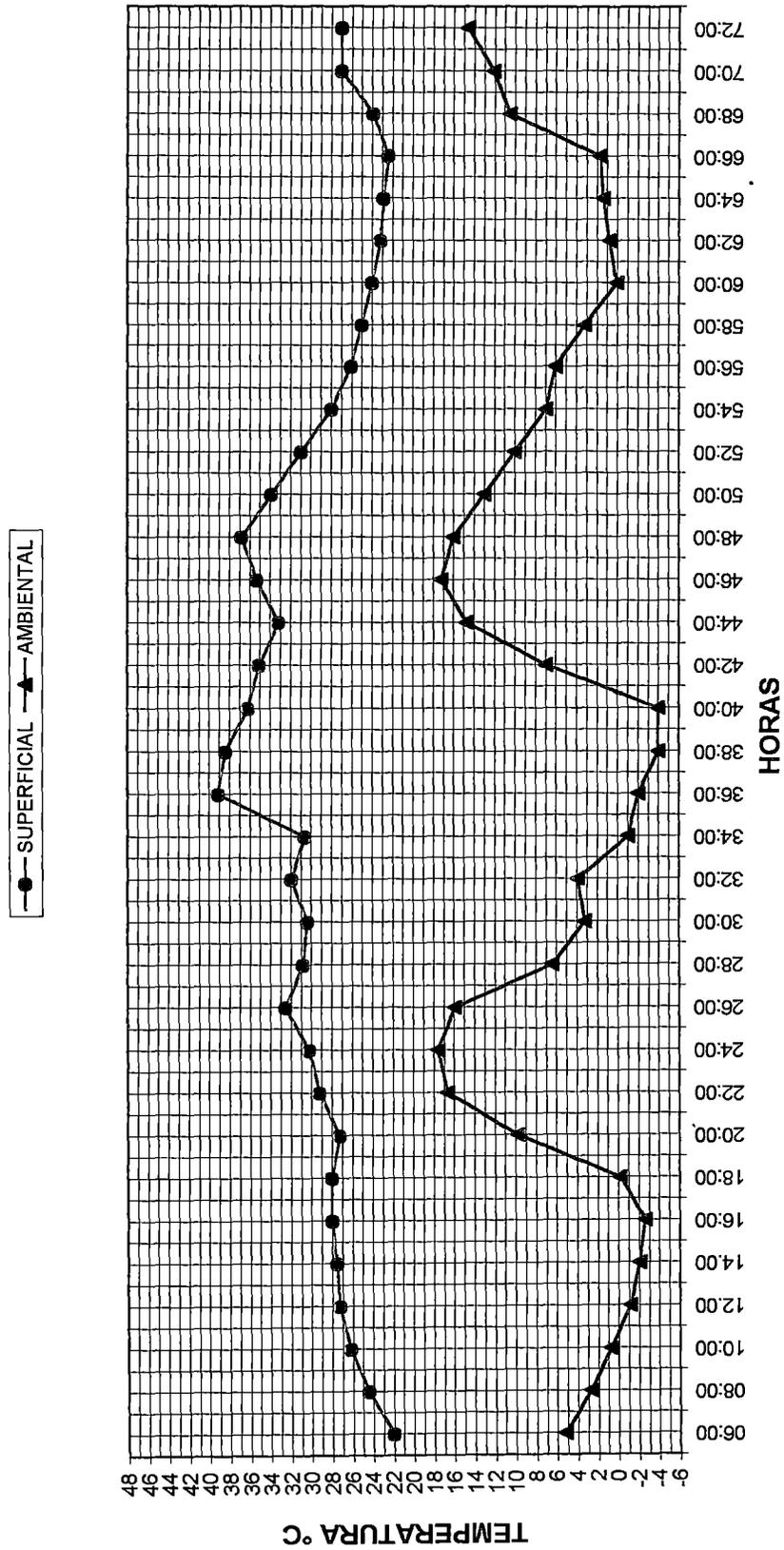
Slump	3"
Aire total	5.4%
Temp. del ambiente	17.2°C
Temp. del agua	58.0°C
Temp. Del concreto	22.6°C
Temp. De la piedra	11.3°C
Temp. De la arena	11.8°C
Temp. Del cemento	10.8°C

**GRAFICO # 29**  
**TEMPERATURA SUPERFICIAL E INTERIOR DEL**  
**CONCRETO VS TIEMPO**

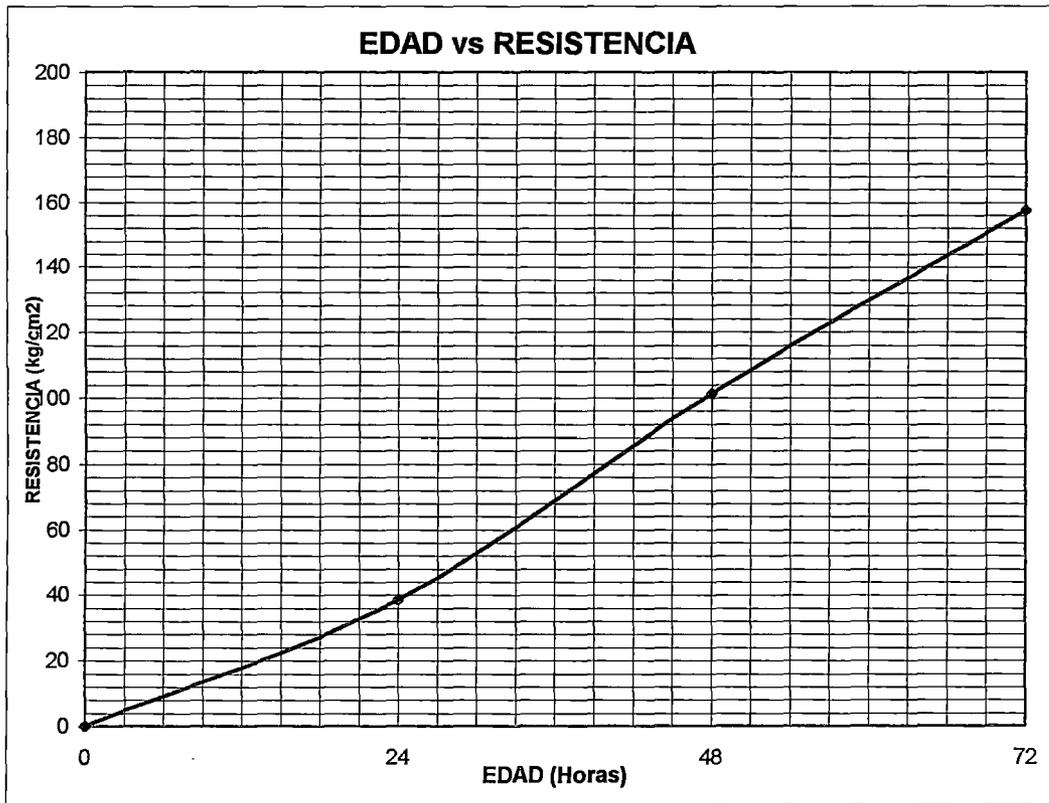




**GRAFICO # 31**  
**TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL CONCRETO**  
**Y TEMPERATURA AMBIENTAL vs TIEMPO**



**GRAFICO # 32**



**CUADRO # 33**

**ENSAYOS DE RESISTENCIA**

TESTIGO	RESISTENCIA DEL CONCRETO kg / c m 2				
	E D A D (Horas)				
	0	15	24	48	72
A	-	-	41.58	101.92	159.77
B	-	-	35.50	100.47	155.5
PROMEDIO	-	-	39	101	158

**CUADRO # 34**

**MONITOREO DEL CONCRETO DE SOBREELEVACIÓN PROTEGIDO CON  
MANTAS DE LANA DE FIBRA DE VIDRIO USANDO CEMENTO TIPO IP**

**TEMPERATURAS DE MONITOREO**

**Jueves 30 Marzo del 2000**

(Hora de vaciado = 11:00 a.m)

HORA		TEMPERATURA DEL CONCRETO		TEMPERATURA AMBIENTE °C
DEL DÍA	ACUMULADA	INTERIOR °C	SUPERFICIAL °C	
06:00 p.m.	07.0	26.8	24.7	7.5
08:00 p.m.	09.0	28.5	27.6	3.2
10:00 p.m.	11.0	30.8	29.4	0.7
12:00 p.m.	13.0	31.0	30.2	-1.0

**Viernes 31 de Marzo del 2000**

02:00 a.m.	15.0	32.9	29.6	-1.8
04:00 a.m.	17.0	32.3	30.6	-2.4
06:00 a.m.	19.0	34.2	30.7	-0.3
08:00 a.m.	21.0	33.8	32.0	12.5
10:00 a.m.	23.0	34.1	39.2	17.3
12:00 p.m.	25.0	35.1	37.7	17.6
02:00 p.m.	27.0	36.5	35.8	15.9
04:00 p.m.	29.0	35.4	34.2	6.8
06:00 p.m.	31.0	36.8	34.0	3.2
08:00 p.m.	33.0	38.2	35.3	4.1
11:00 p.m.	35.0	32.5	33.2	-1.0
12:00 p.m.	37.0	33.0	34.1	-2.0

**Sabado 01 de Abril del 2000**

02:00 a.m.	39.0	32.3	33.2	-4.0
04:00 a.m.	41.0	31.6	32.9	-4.0
06:00 a.m.	43.0	33.7	34.5	7.0
08:00 a.m.	45.0	34.9	35.7	14.7
10:00 a.m.	47.0	35.9	38.2	17.2
12:00 p.m.	49.0	36.5	39.6	16.0
02:00 p.m.	51.0	35.6	37.9	13.3
04:00 p.m.	53.0	34.6	36.1	10.6
06:00 p.m.	55.0	33.7	34.4	7.9
08:00 p.m.	57.0	32.1	33.3	6.4
10:00 p.m.	59.0	31.4	32.2	3.2
12:00 p.m.	61.0	30.8	31.3	0.1

**Domingo 02 de Abril del 2000**

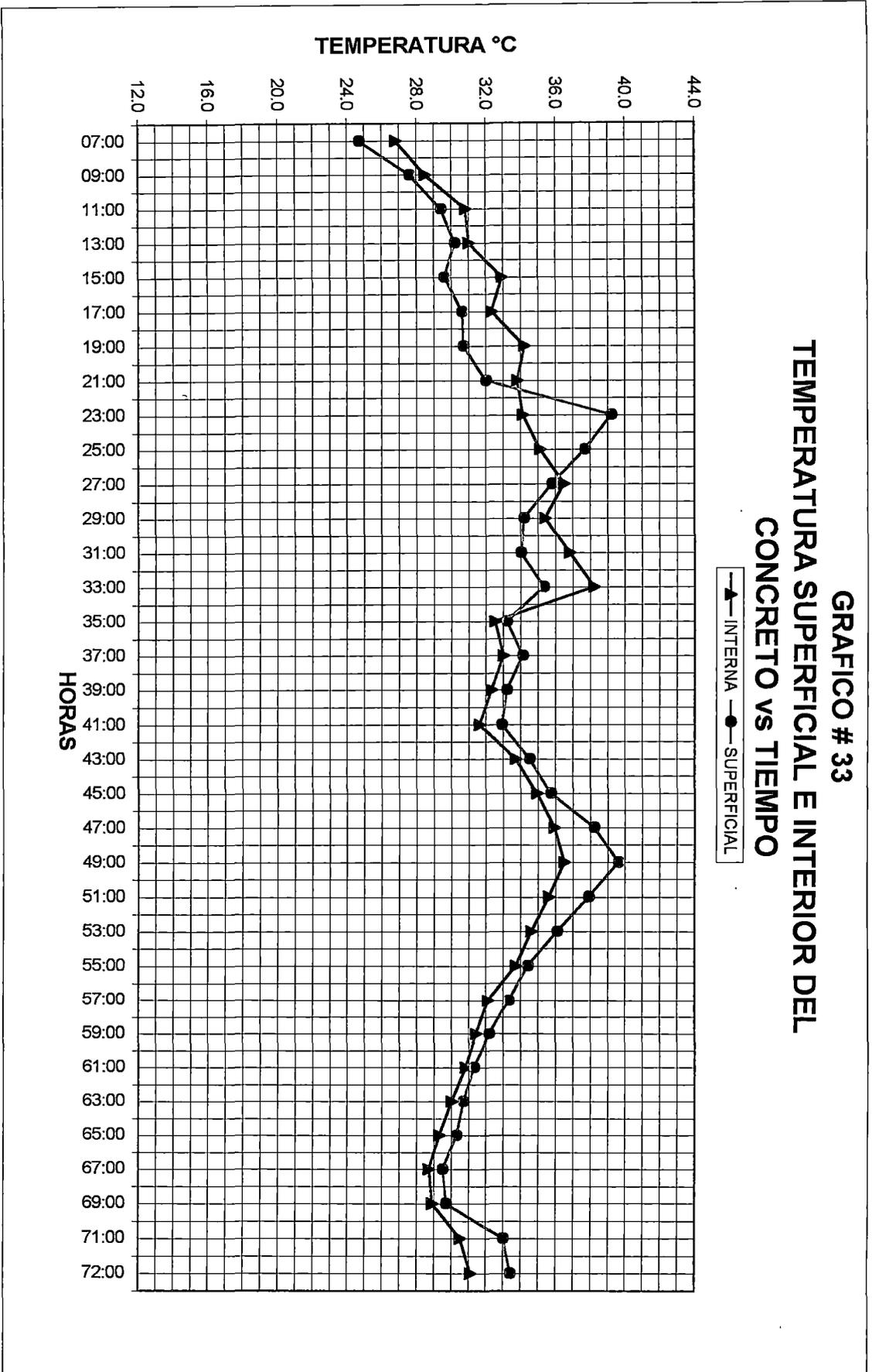
02:00 a.m.	63.0	30.0	30.7	0.7
04:00 a.m.	65.0	29.3	30.3	1.6
06:00 a.m.	67.0	28.7	29.5	1.2
08:00 a.m.	69.0	28.9	29.7	10.6
10:00 a.m.	71.0	30.5	33.0	12.4
11:00 p.m.	72.0	31.1	33.4	15.2

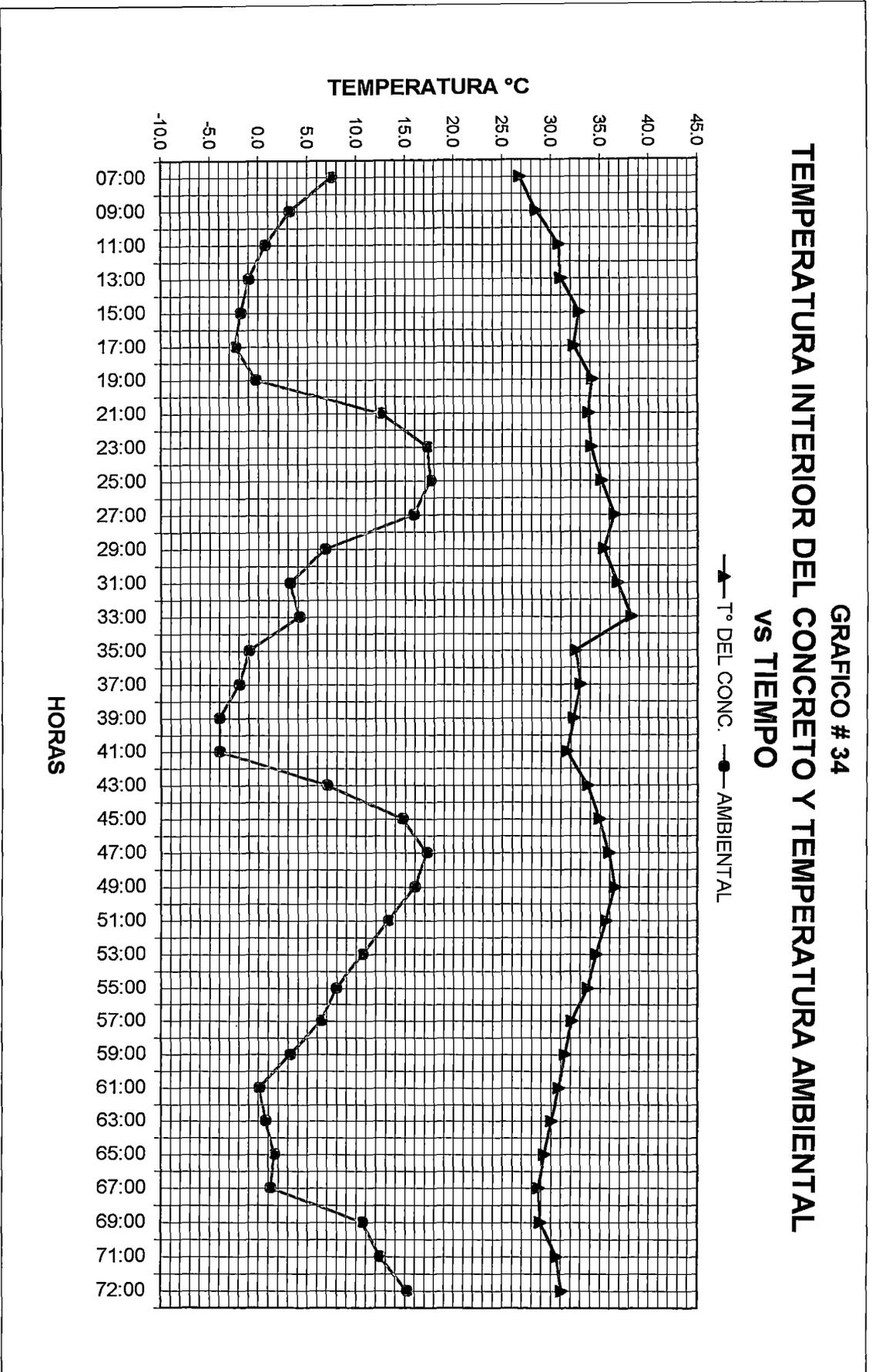
**PROPORCIONES EN VOLUMEN**

Cemento Yura tipo I	: 1.00 pie3
Arena	: 1.74 pie3
Piedra de 1 1/2"	: 2.88 pie3
Agua	: 19.67 L.
Incorporador de Aire	: 28.90 gr.

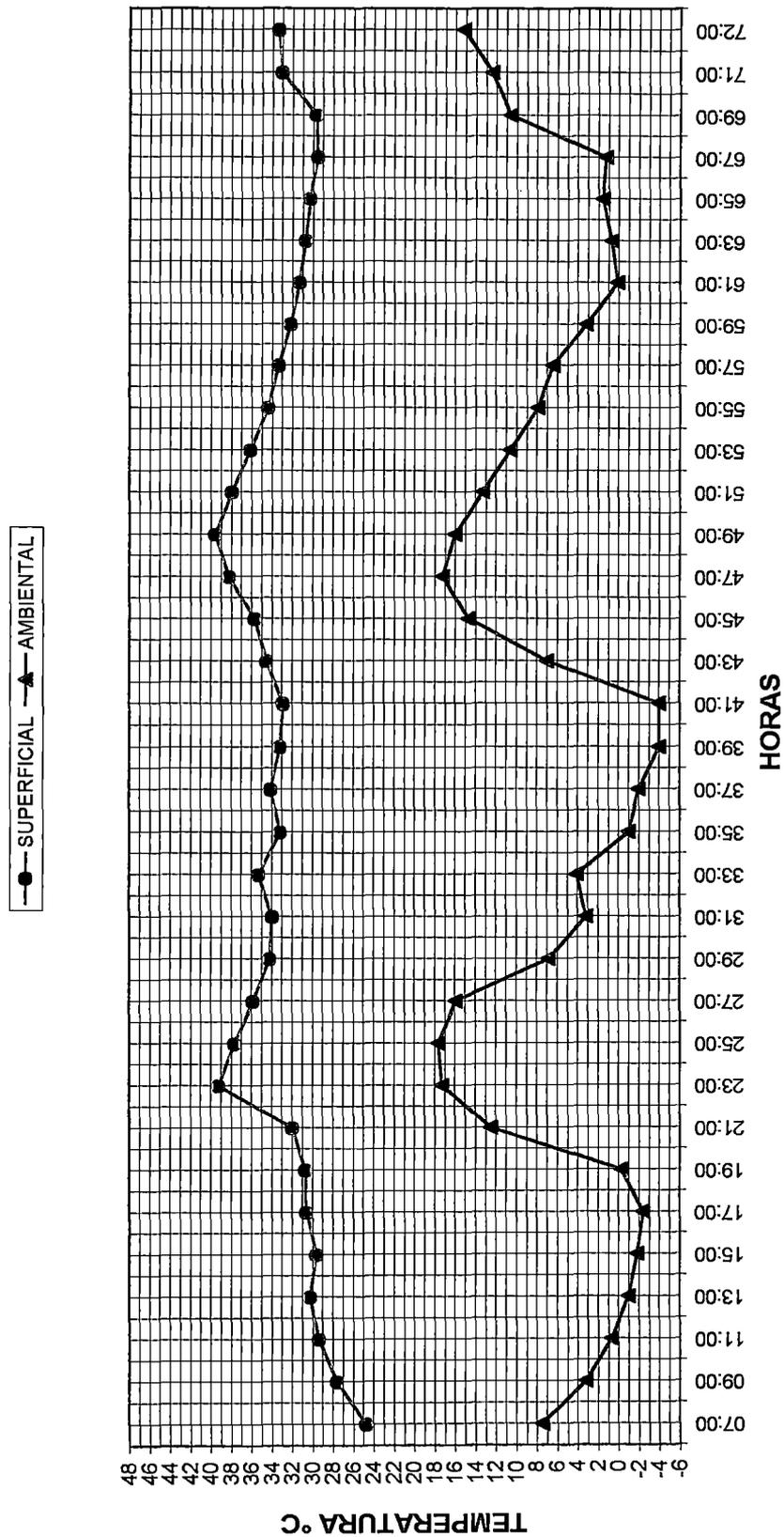
**DETERMINACIONES**

Slump	2 1/4"
Aire total	4.7%
Temp. del ambiente	14.0°C
Temp. del agua	57.0°C
Temp. Del concreto	24.3°C
Temp. De la piedra	11.3
Temp. De la arena	11.8°C
Temp. Del cemento	10.9°C

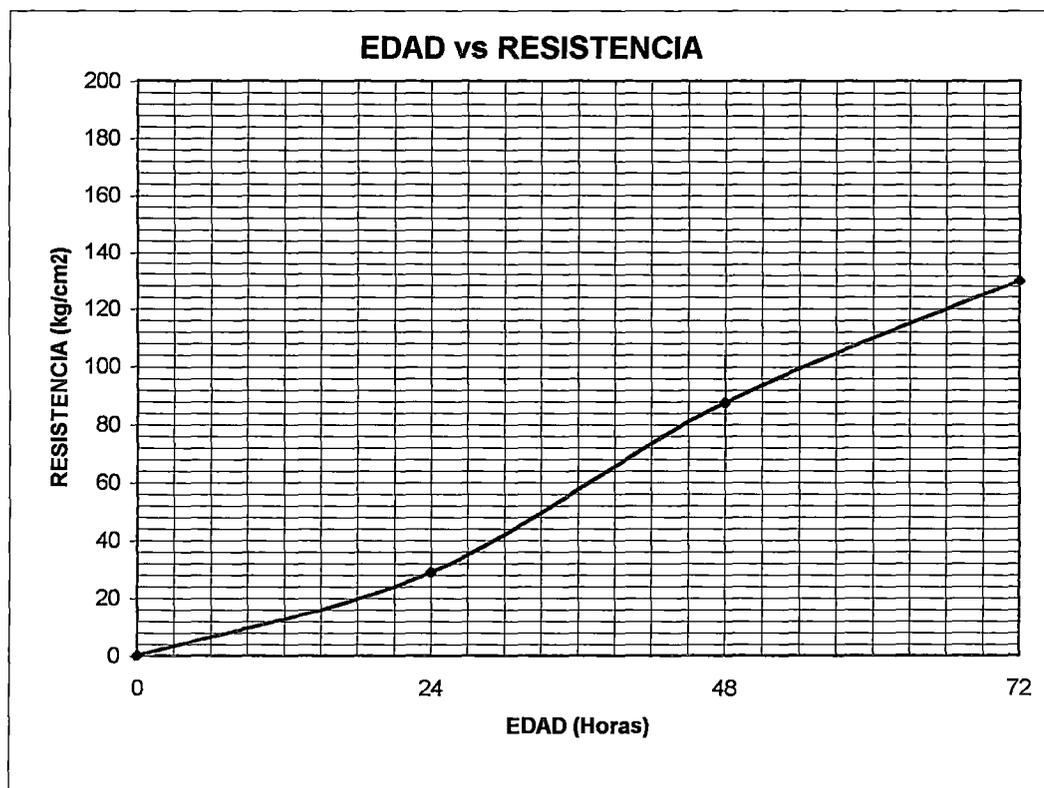




**GRAFICO # 35**  
**TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL CONCRETO**  
**Y TEMPERATURA AMBIENTAL vs TIEMPO**



**GRAFICO # 36**



**CUADRO # 35**

**ENSAYOS DE RESISTENCIA**

TESTIGO	RESISTENCIA DEL CONCRETO				
	kg / c m 2				
	E D A D (Horas)				
	0	15	24	48	72
A	-	-	24.61	86.25	131.5
B	-	-	33.23	88.55	128.48
PROMEDIO	-	-	29	87	130

**CUADRO # 36**

**MONITOREO DEL CONCRETO DE SOBREELEVACIÓN PROTEGIDO CON  
MANTAS DE LANA DE FIBRA DE VIDRIO USANDO CEMENTO TIPO I**

**TEMPERATURAS DE MONITOREO**

**Sábado 22 de Abril del 2000** (Hora de vaciado = 10:00 a.m)

HORA		TEMPERATURA DEL CONCRETO		TEMPERATURA AMBIENTE
DEL DIA	ACUMULADA	INTERIOR °C	SUPERFICIAL °C	° C
06:00 p.m.	08.0	14.5	15.2	5.8
08:00 p.m.	10.0	16.1	16.2	3.8
10:00 p.m.	12.0	17.2	17.0	1.1
12:00 p.m.	14.0	17.8	18.0	-1.0

**Domingo 23 de Abril del 2000**

02:00 a.m.	16.0	18.0	18.0	-3.0
04:00 a.m.	18.0	18.0	18.0	-3.0
06:00 a.m.	20.0	17.9	18.0	-0.7
08:00 a.m.	22.0	17.8	18.0	9.2
10:00 a.m.	24.0	18.5	20.2	14.1
12:00 p.m.	26.0	21.5	24.2	16.9
02:00 p.m.	28.0	22.5	26.3	15.9
04:00 p.m.	30.0	24.3	26.9	10.2
06:00 p.m.	32.0	25.6	27.3	4.9
08:00 p.m.	34.0	26.3	28.7	4.2
10:00 p.m.	36.0	27.6	29.6	1.5
12:00 p.m.	38.0	26.4	28.7	-1.9

**Lunes 24 de Abril del 2000**

02:00 a.m.	40.0	25.2	28.2	-4.2
04:00 a.m.	42.0	24.8	27.6	-6.0
06:00 a.m.	44.0	25.4	27.2	-4.0
08:00 a.m.	46.0	24.5	23.9	12.0
10:00 a.m.	48.0	26.3	27.3	18.8

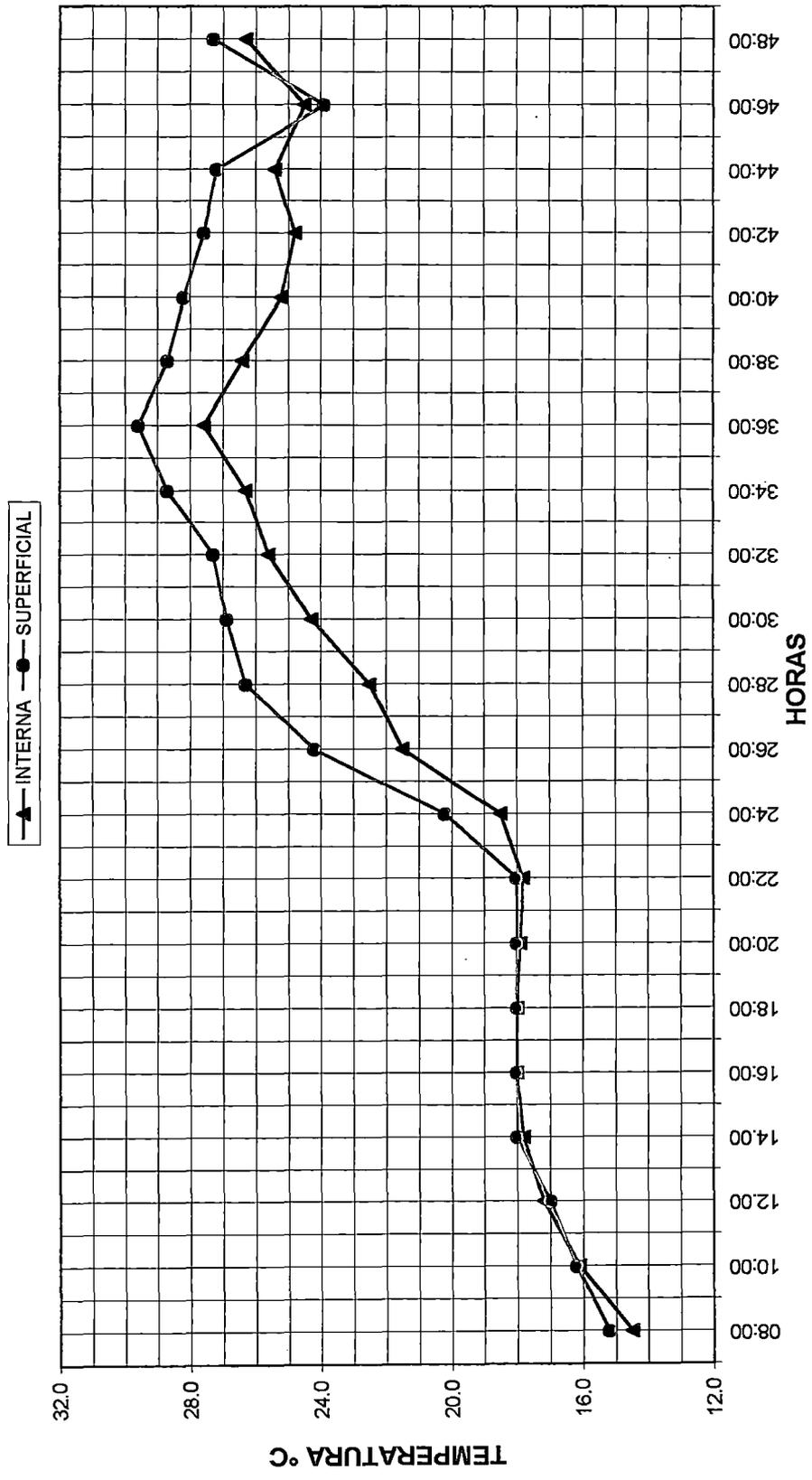
NOTA:

Progresiva 0+300 del canal Uchusuma.

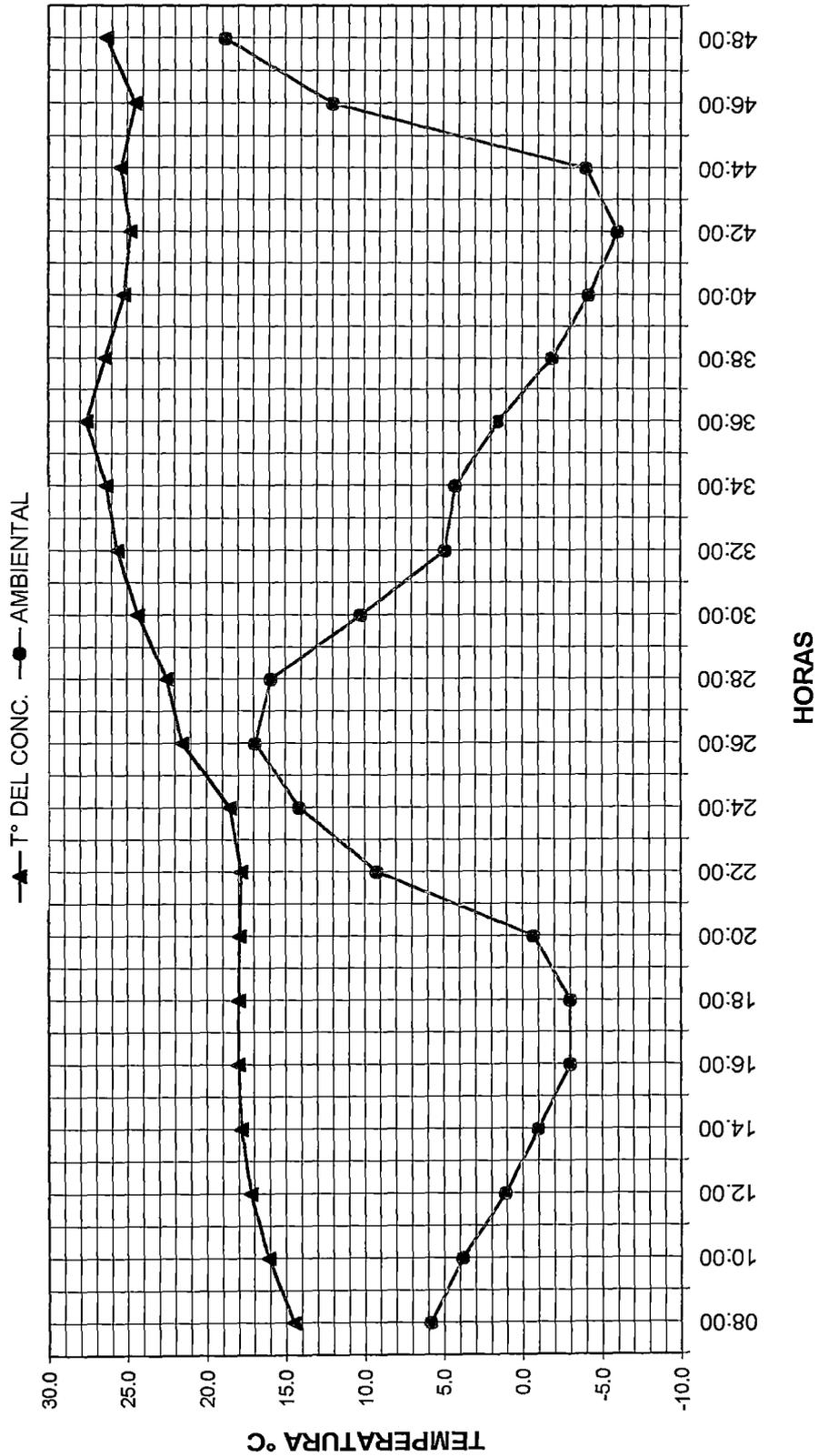
**DETERMINACIONES**

Slump	3"
Aire total	5.2%
Temp. del ambiente	18.0°C
Temp. del agua	32.0°C
Temp. Del concreto	15.5° C
Temp. De la piedra	11.8 ° C
Temp. De la arena	11.2 ° C
Temp. Del cemento	10.8 ° C

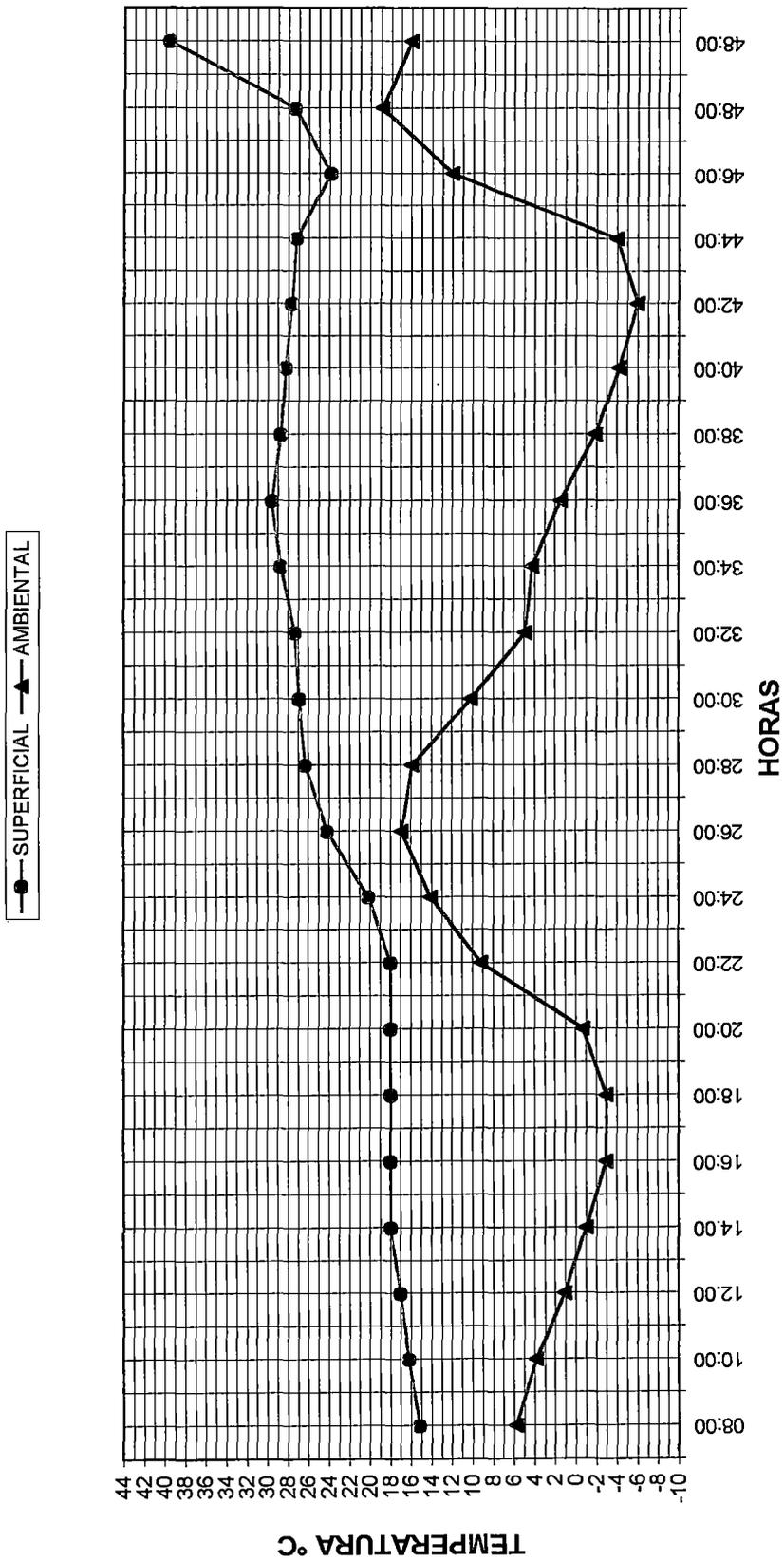
**GRAFICO # 37**  
**TEMPERATURA SUPERFICIAL E INTERIOR DEL**  
**CONCRETO VS TIEMPO**



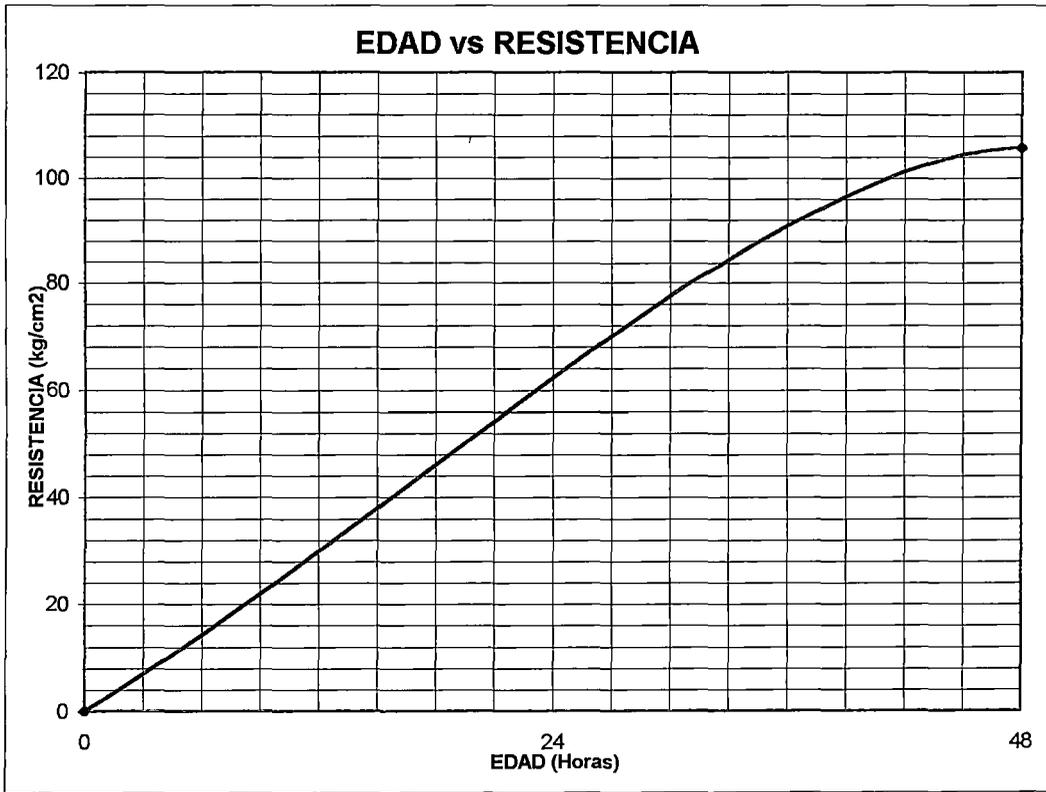
**GRAFICO # 38**  
**TEMPERATURA INTERIOR DEL CONCRETO Y TEMPERATURA AMBIENTAL**  
**VS TIEMPO**



**GRAFICO # 39**  
**TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL CONCRETO**  
**Y TEMPERATURA AMBIENTAL vs TIEMPO**



**GRAFICO # 40**



**CUADRO # 37**

**ENSAYOS DE RESISTENCIA**

TESTIGO	RESISTENCIA DEL CONCRETO				
	kg / c m 2				
	E D A D (Horas)				
	0	15	24	48	72
A	-	-	-	105.7	-
B	-	-	-	105.5	-
PROMEDIO	-	-	-	106	-

**CUADRO # 38**

**MONITOREO DEL CONCRETO DE SOBREELEVACIÓN PROTEGIDO CON  
MANTAS DE LANA DE FIBRA DE VIDRIO USANDO CEMENTO TIPO IP**

**TEMPERATURAS DE MONITOREO**

**Sabado 22 de Abril del 2000** (Hora de vaciado = 10:00 a.m)

HORA		TEMPERATURA DEL CONCRETO		TEMPERATURA AMBIENTE
DEL DIA	ACUMULADA	INTERIOR °C	SUPERFICIAL °C	° C
06:00 p.m.	08.0	16.4	16.9	5.6
08:00 p.m.	10.0	17.6	17.2	4.0
10:00 p.m.	12.0	18.6	17.3	0.8
12:00 p.m.	14.0	18.8	19.7	-1.5

**Domingo 23 de Abril del 2000**

02:00 a.m.	16.0	18.3	19.5	-3.2
04:00 a.m.	18.0	18.5	18.1	-3.1
06:00 a.m.	20.0	18.4	19.5	-0.5
08:00 a.m.	22.0	18.2	18.2	9.2
10:00 a.m.	24.0	18.9	22.0	14.1
12:00 p.m.	26.0	22.5	24.7	16.9
02:00 p.m.	28.0	24.8	25.8	15.9
04:00 p.m.	30.0	25.6	27.3	10.2
06:00 p.m.	32.0	26.2	28.6	4.9
08:00 p.m.	34.0	27.4	29.4	4.2
10:00 p.m.	36.0	27.1	30.1	1.5
12:00 p.m.	38.0	25.7	29.3	-1.9

**Lunes 24 de Abril del 2000**

02:00 a.m.	40.0	25.1	28.1	-4.2
04:00 a.m.	42.0	25.0	27.2	-6.0
06:00 a.m.	44.0	25.2	26.3	-4.0
08:00 a.m.	46.0	24.6	24.1	12.0
10:00 a.m.	48.0	25.9	28.8	18.8

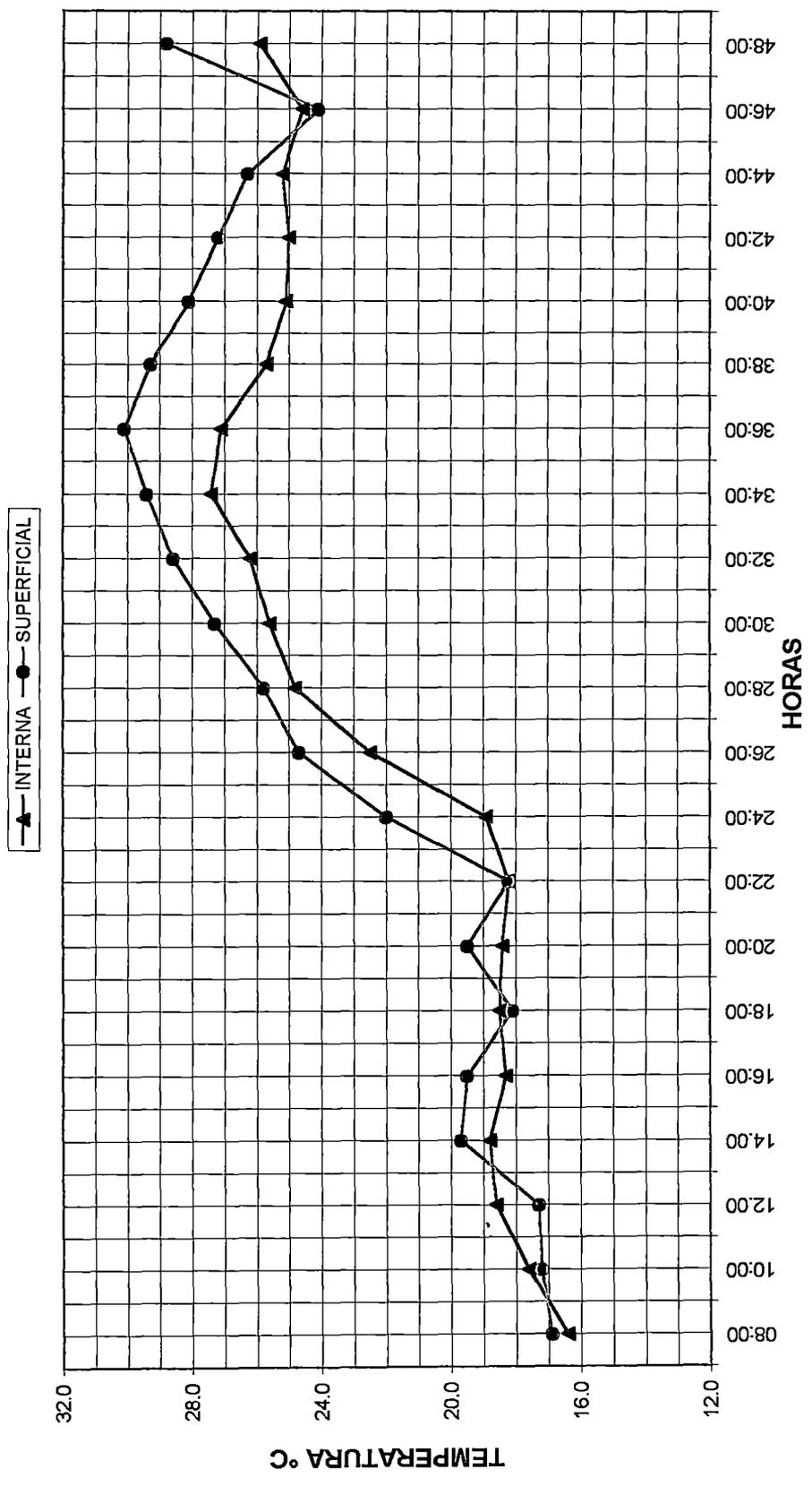
**DETERMINACIONES**

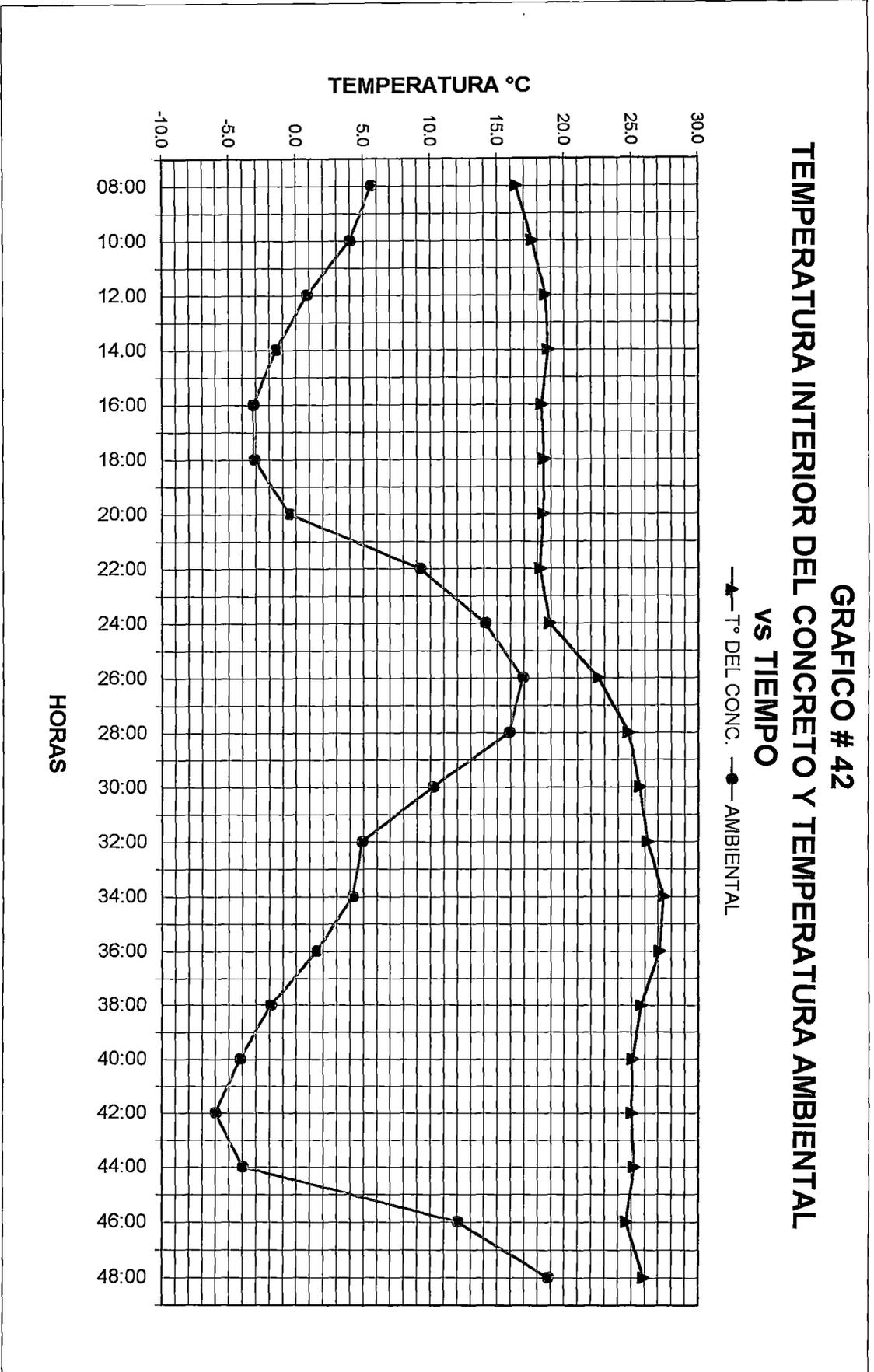
Slump	3"
Aire total	5.2%
Temp. del ambiente	18.0°C
Temp. del agua	32.0°C
Temp. Del concreto	15.5° C
Temp. De la piedra	11.8 ° C
Temp. De la arena	11.2 ° C
Temp. Del cemento	10.8 ° C

NOTA:

Progresiva 0+310 del canal Uchusuma.

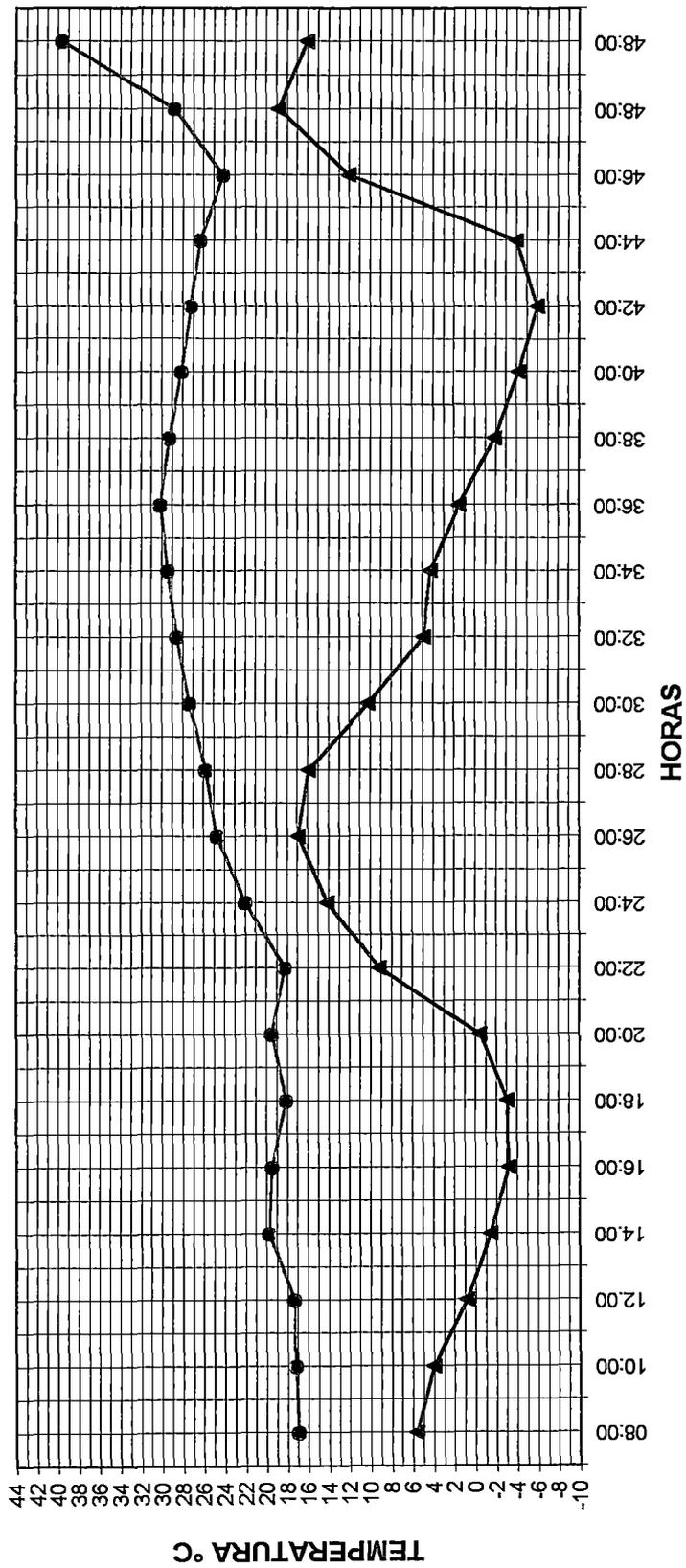
**GRAFICO # 41**  
**TEMPERATURA SUPERFICIAL E INTERIOR DEL**  
**CONCRETO vs TIEMPO**



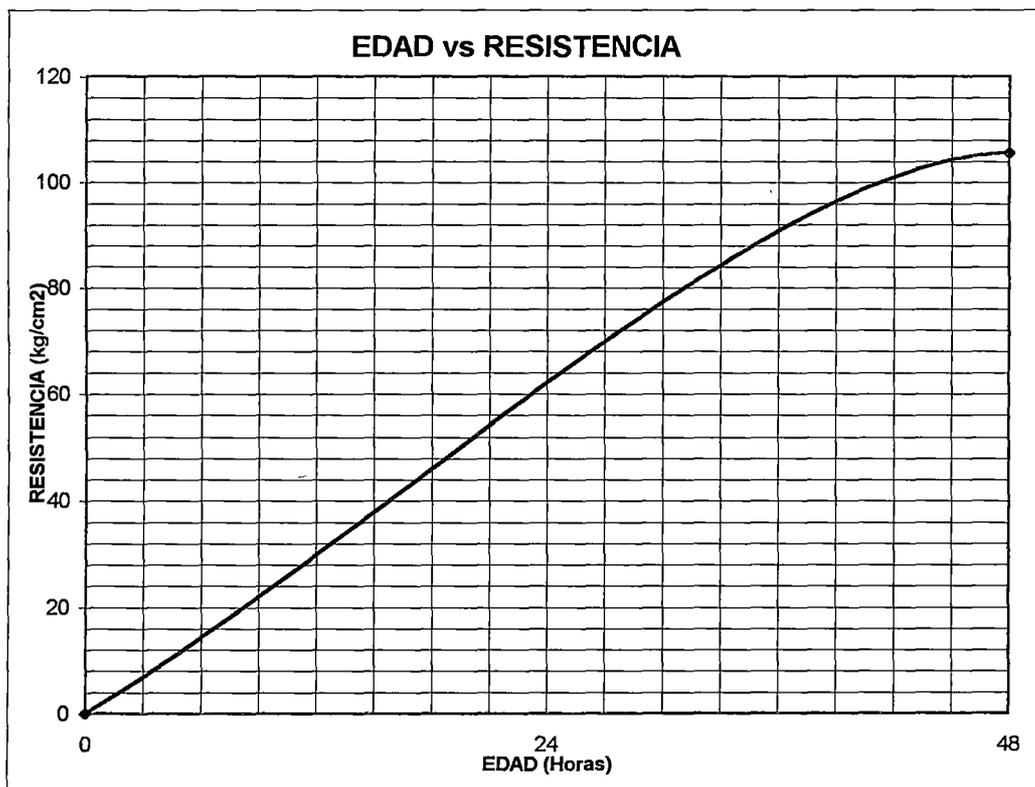


**GRAFICO # 43**  
**TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL CONCRETO**  
**Y TEMPERATURA AMBIENTAL vs TIEMPO**

● SUPERFICIAL ▲ AMBIENTAL



**GRAFICO # 44**



**CUADRO # 39**

**ENSAYOS DE RESISTENCIA**

TESTIGO	RESISTENCIA DEL CONCRETO kg / c m 2				
	E D A D (Horas)				
	0	15	24	48	72
A	-	-	-	105.7	-
B	-	-	-	105.5	-
PROMEDIO	-	-	-	106	-

### 3.4.2. ESTRUCTURA : LOSA DE UNA VEREDA

**CUADRO # 40**

**MONITOREO DEL CONCRETO DE LA LOSA DE UNA VEREDA PROTEGIDO CON  
MANTAS DE LANA DE FIBRA DE VIDRIO USANDO CEMENTO TIPO I**

**TEMPERATURAS DE MONITOREO**

**Miércoles 19 de Enero del 2000** (Hora de vaciado = 12:00 p.m)

HORA	ACUMULADA	TEMPERATURA DEL CONCRETO		TEMPERATURA AMBIENTE
		INTERIOR °C	SUPERFICIAL °C	
06:00 p.m.	06.0	15.0	-	6.0
08:00 p.m.	08.0	15.7	-	4.7
10:00 p.m.	10.0	17.2	-	4.0
12:00 a.m.	12.0	19.3	-	5.0

**Jueves 20 de Enero del 2000**

02:00 a.m.	14.0	20.9	-	2.0
04:00 a.m.	16.0	22.4	-	4.0
06:00 a.m.	18.0	21.3	-	2.0
08:00 a.m.	20.0	21.4	19.0	11.0
10:00 a.m.	22.0	21.3	20.8	16.0
12:00 p.m.	24.0	19.1	18.8	13.0
02:00 p.m.	26.0	19.6	19.4	12.0
04:00 p.m.	28.0	19.5	18.9	7.0
06:00 p.m.	30.0	19.5	18.2	5.0
08:00 p.m.	32.0	19.0	18.7	4.0
11:00 p.m.	34.0	19.1	19.0	3.0
12:00 a.m.	36.0	18.8	18.8	3.0

**Viernes 21 de Enero del 2000**

02:00 a.m.	38.0	18.7	18.8	3.0
04:00 a.m.	40.0	18.7	18.6	4.0
06:00 a.m.	42.0	18.1	18.3	5.0
08:00 a.m.	44.0	18.1	18.1	7.0
10:00 a.m.	46.0	19.0	20.9	18.0
12:00 p.m.	48.0	19.0	19.2	21.0
02:00 p.m.	50.0	17.9	17.7	7.0
04:00 p.m.	52.0	17.8	17.6	5.0
06:00 p.m.	54.0	17.8	17.5	4.0
08:00 p.m.	56.0	17.4	17.3	4.0
10:00 p.m.	58.0	17.2	17.0	3.0
12:00 a.m.	60.0	17.0	17.0	2.0

**Sábado 22 de Enero del 2000**

02:00 a.m.	62.0	16.9	16.6	1.5
04:00 a.m.	64.0	16.4	16.2	0.0
06:00 a.m.	66.0	15.9	16.0	0.0
08:00 a.m.	68.0	16.1	16.3	8.0
10:00 a.m.	70.0	17.1	17.1	17.0
12:00 p.m.	72.0	17.0	16.7	17.0

NOTA:

Vereda de la Oficina de Supervisión , Obra Canal Uchusuma.

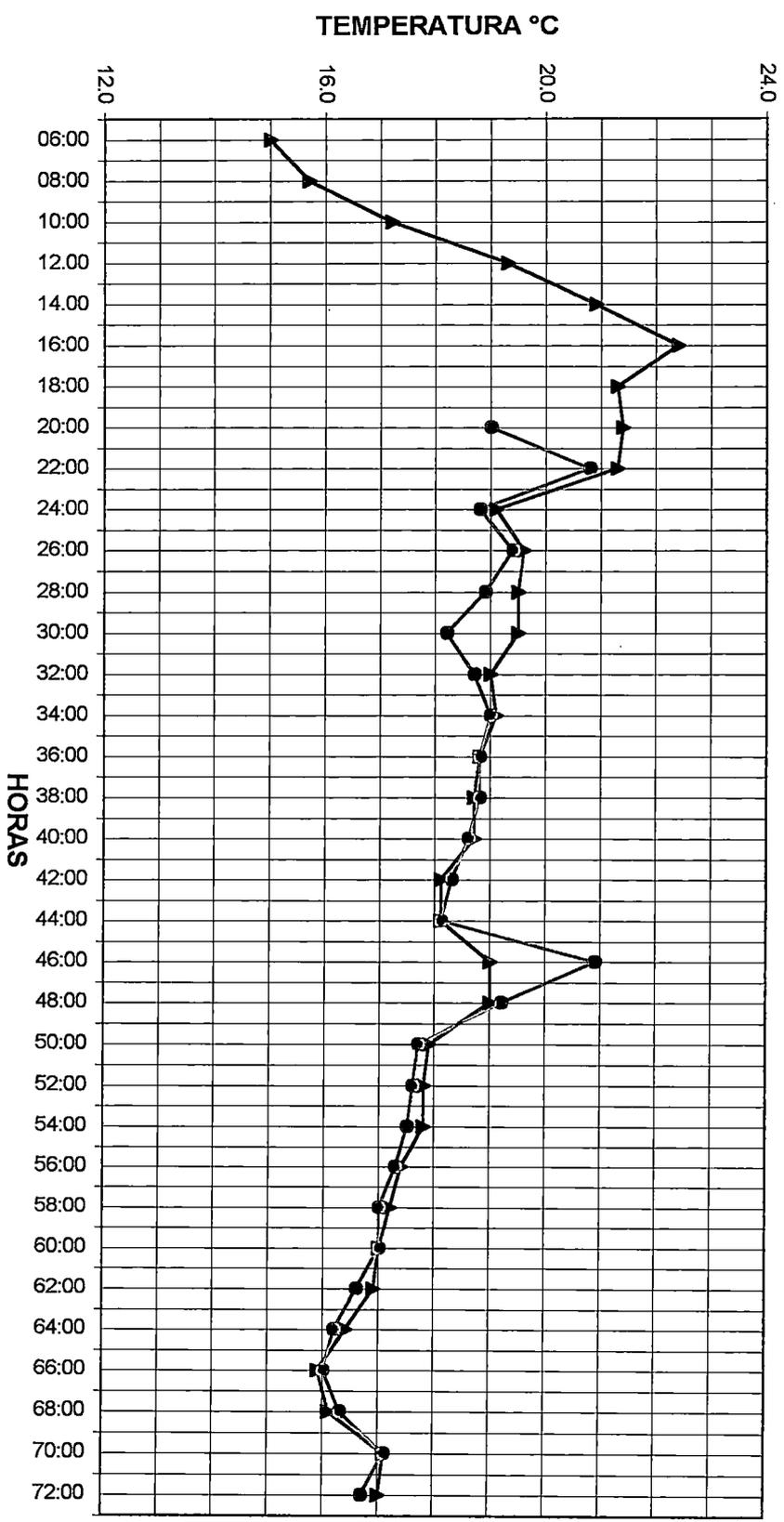
**PROPORCIONES EN VOLUMEN**

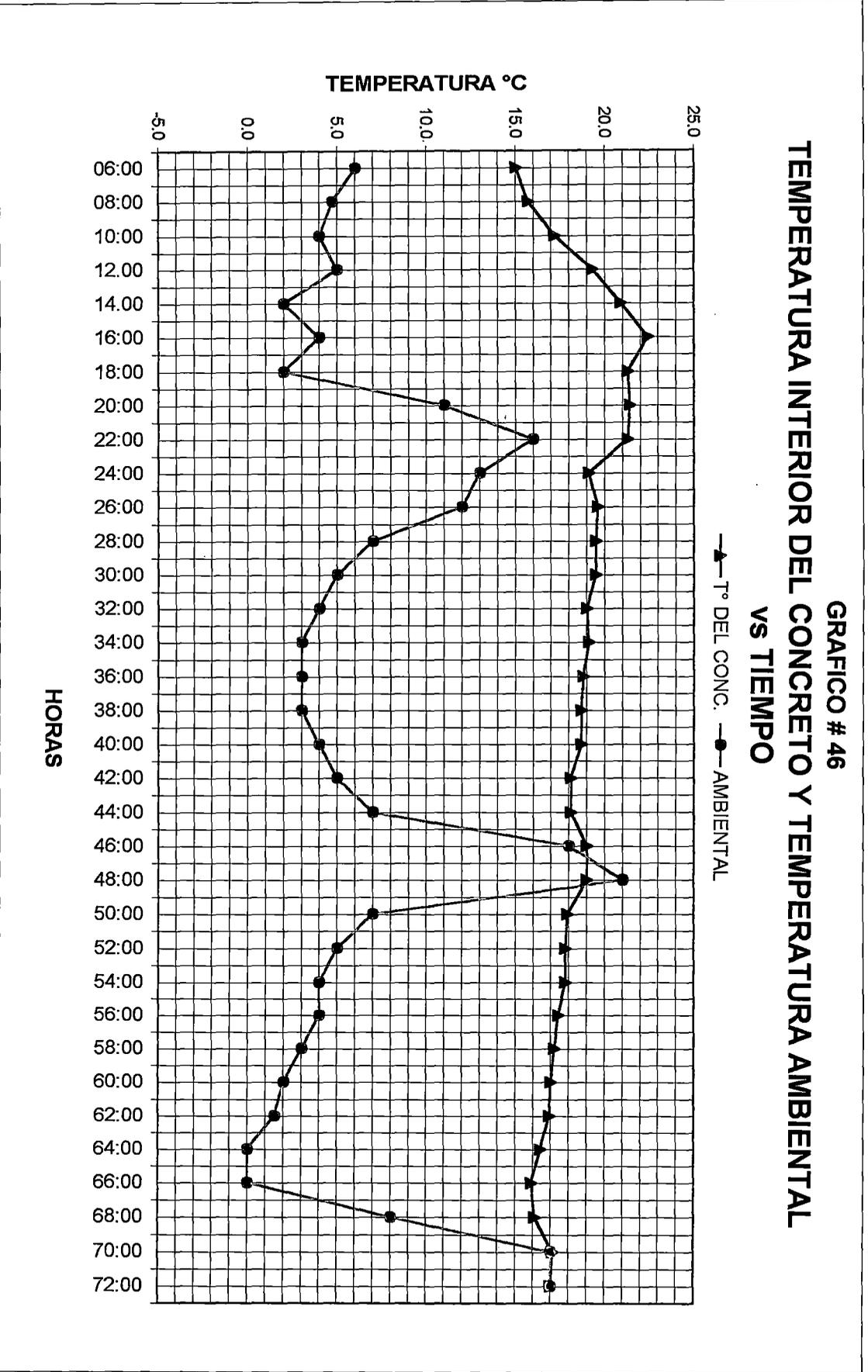
Cemento Yura tipo I	: 1.00 pie3
Arena	: 1.97 pie3
Piedra de 1 1/2"	: 3.11 pie3
Agua	: 15.00 L.
Incorporador de Aire	: 28.90 gr.

**DETERMINACIONES**

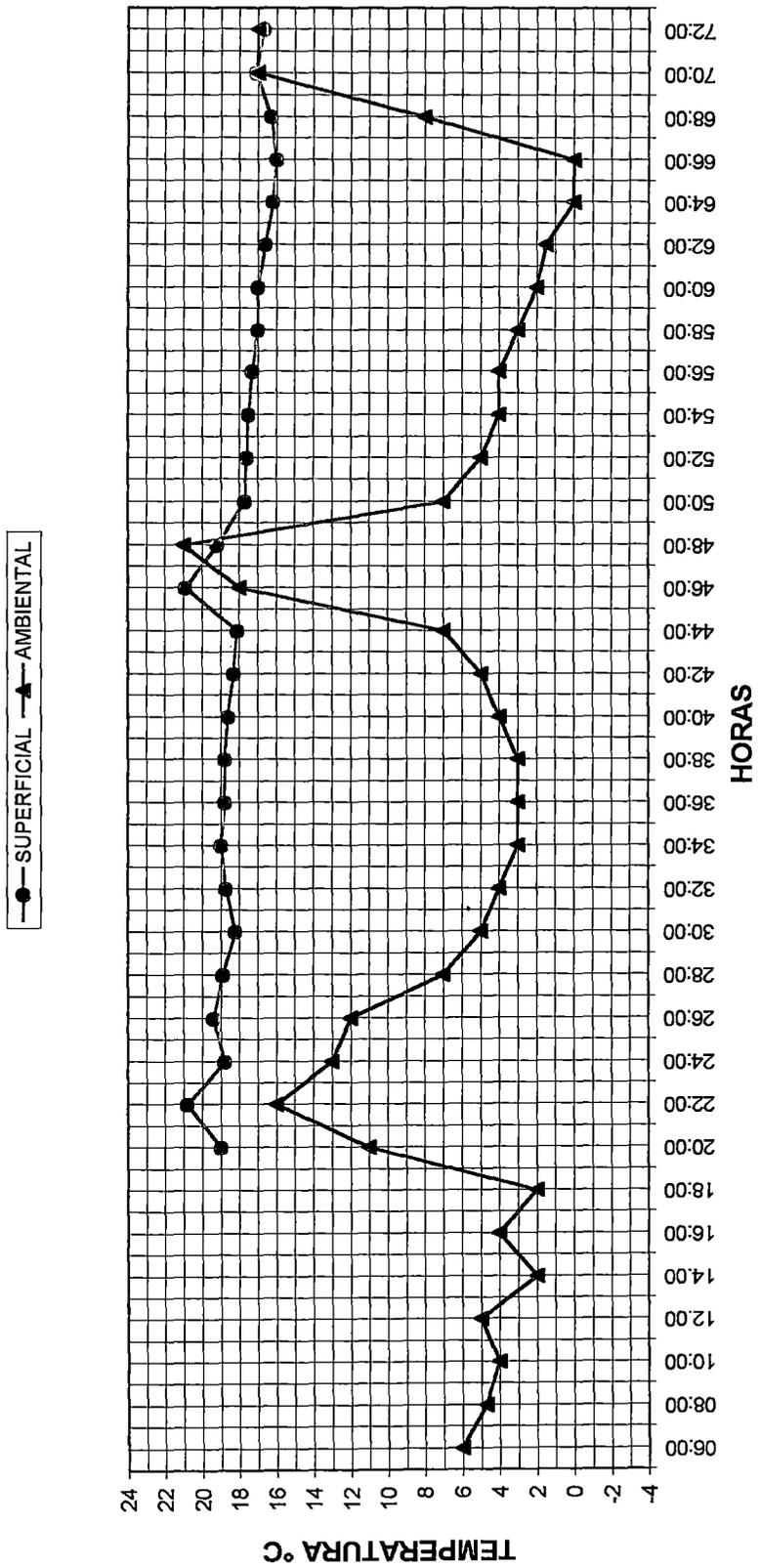
Slump	2 1/4"
Aire total	6%
Temp. del ambiente	12.0°C
Temp. del agua	46.4°C
Temp. Del concreto	17.0° C
Temp. De la piedra	9.9° C
Temp. De la arena	9.8° C
Temp. Del cemento	10.0° C

**GRAFICO # 45**  
**TEMPERATURA SUPERFICIAL E INTERIOR DEL**  
**CONCRETO vs TIEMPO**

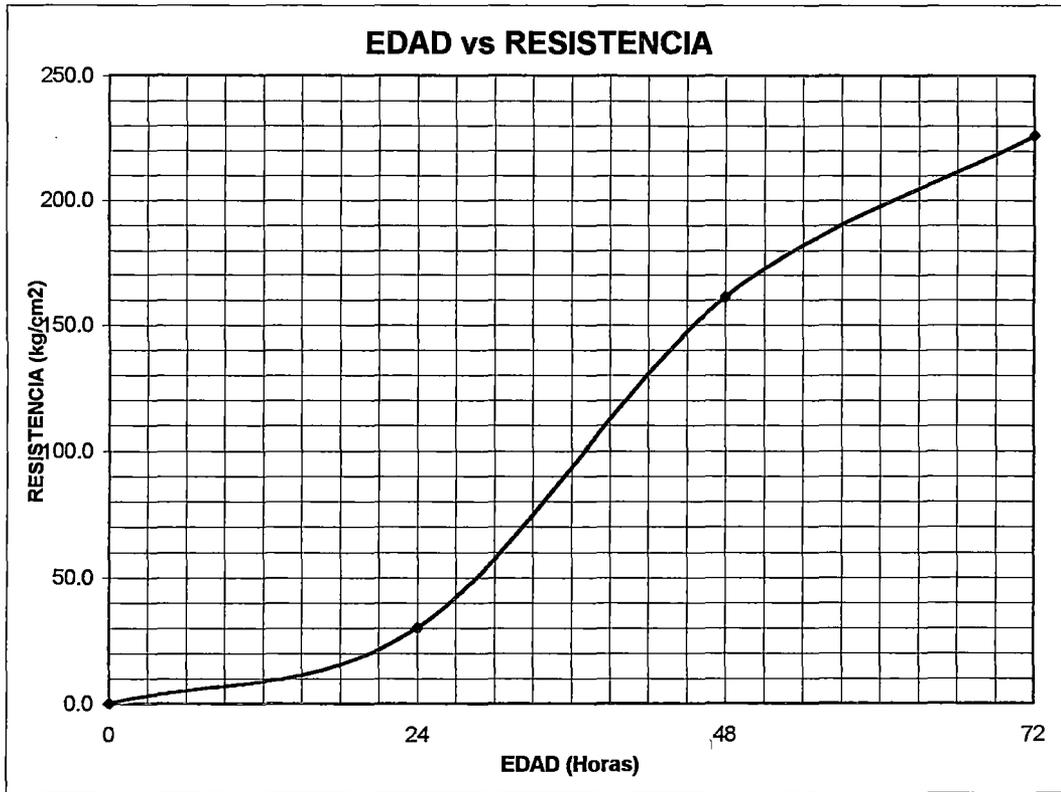




**GRAFICO # 47**  
**TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL CONCRETO**  
**Y TEMPERATURA AMBIENTAL vs TIEMPO**



**GRAFICO # 48**



**CUADRO # 41**

**ENSAYOS DE RESISTENCIA**

TESTIGO	RESISTENCIA DEL CONCRETO				
	kg / c m 2				
	E D A D (Horas)				
	0	15	24	48	72
A	-	-	30	161	226
B	-	-			
PROMEDIO	-	-	30	161	226

### 3.4.3. ESTRUCTURA : PUENTE TIPO CANOA

**CUADRO # 42**

**MONITOREO DEL CONCRETO DE UN PUENTE (CANOA) PROTEGIDO CON  
MANTAS DE LANA DE FIBRA DE VIDRIO USANDO CEMENTO TIPO I**

**TEMPERATURAS DE MONITOREO**

**Miércoles 09 de febrero del 2000** (Hora de vaciado = 2:00 p.m)

HORA		TEMPERATURA DEL CONCRETO		TEMPERATURA AMBIENTE
DEL DÍA	ACUMULADA	INTERIOR °C	SUPERFICIAL °C	°C
06:00 p.m.	04.0	20.2	16.5	6.5
08:00 p.m.	06.0	21.4	18.2	4.5
10:00 p.m.	08.0	24.8	19.8	3.5
12:00 a.m.	10.0	27.1	22.3	2.5

**Jueves 10 de febrero del 2000**

02:00 a.m.	12.0	28.2	23.8	-1.0
04:00 a.m.	14.0	29.6	25.4	-1.0
06:00 a.m.	16.0	30.6	26.3	4.0
08:00 a.m.	18.0	30.9	26.6	8.0
10:00 a.m.	20.0	30.2	29.0	18.6
12:00 p.m.	22.0	30.7	29.6	21.7
02:00 p.m.	24.0	30.7	29.7	14.8
04:00 p.m.	26.0	30.6	30.4	6.0
06:00 p.m.	28.0	29.5	28.2	5.0
08:00 p.m.	30.0	29.9	30.2	4.5
11:00 p.m.	32.0	30.3	31.1	3.2
12:00 a.m.	34.0	30.4	31.4	1.8

**Viernes 11 de febrero del 2000**

02:00 a.m.	36.0	30.5	31.5	0.0
04:00 a.m.	38.0	30.5	32.2	0.0
06:00 a.m.	40.0	30.5	32.2	2.1
08:00 a.m.	42.0	30.5	34.1	5.9
10:00 a.m.	44.0	31.2	34.7	11.4
12:00 p.m.	46.0	30.9	36.7	21.0
02:00 p.m.	48.0	30.5	36.5	19.0
04:00 p.m.	50.0	30.9	36.7	9.3
06:00 p.m.	52.0	30.9	36.2	4.0
08:00 p.m.	54.0	30.4	36.3	5.5
10:00 p.m.	56.0	30.6	35.9	3.0
12:00 a.m.	58.0	31.5	35.7	1.0

**Sábado 12 de febrero del 2000**

02:00 a.m.	60.0	30.7	36.8	5.0
04:00 a.m.	62.0	30.0	37.1	3.0
06:00 a.m.	64.0	29.9	37.2	3.8
08:00 a.m.	66.0	30.0	37.5	12.2
10:00 a.m.	68.0	30.0	37.9	19.7
12:00 p.m.	70.0	29.9	36.5	21.0
02:00 p.m.	72.0	29.8	36.4	11.0

NOTA:

Progresiva 4+930 Puente Canoa del canal Uchusuma.

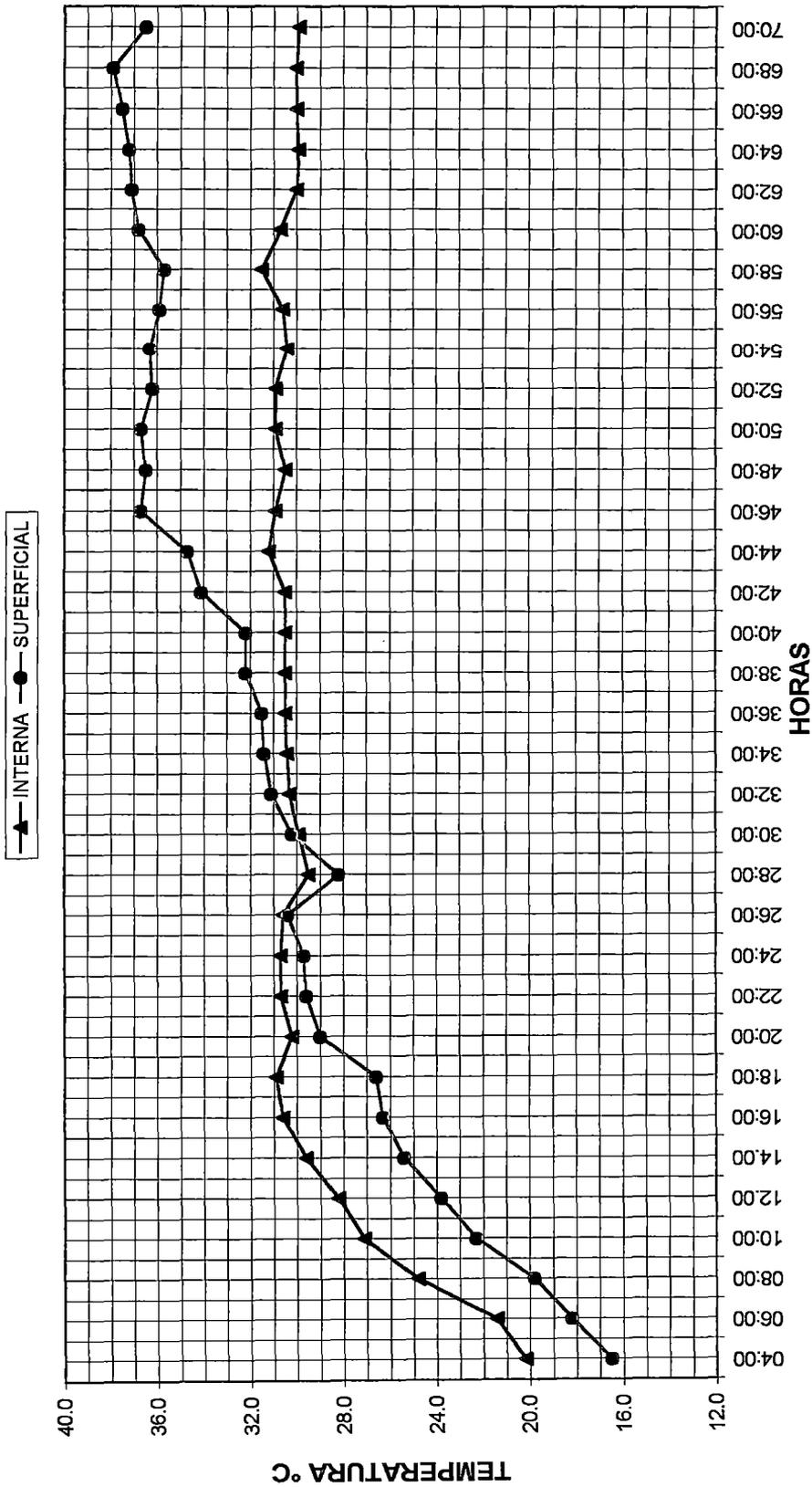
**PROPORCIONES EN VOLUMEN**

Cemento Yura tipo I	: 1.00 pie3
Arena	: 1.97 pie3
Piedra de 1 1/2"	: 3.11 pie3
Agua	: 15 L.
Incorporador de Aire	: 28.90 gr.

**DETERMINACIONES**

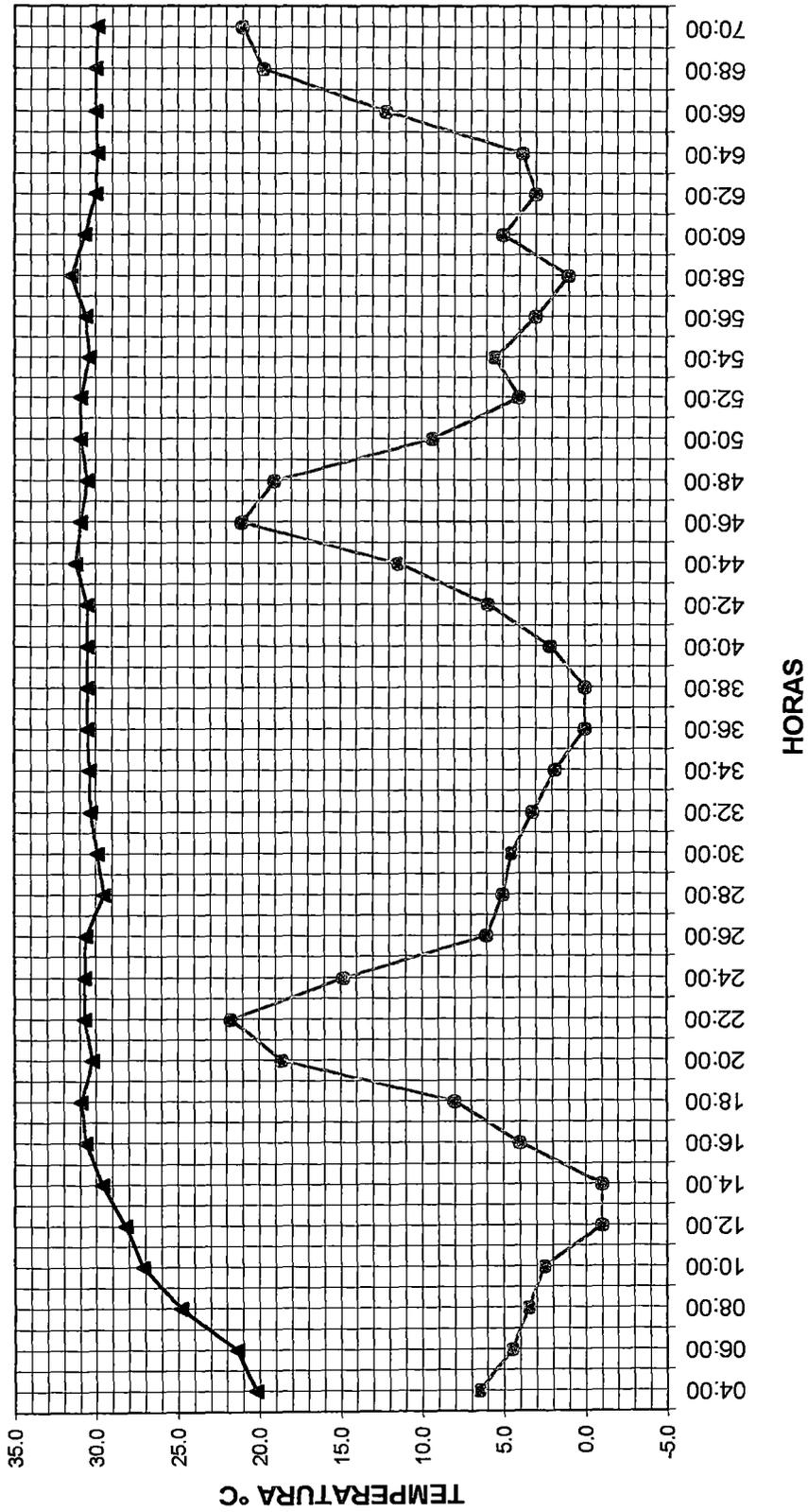
Slump	2 1/4"
Aire total	6.3%
Temp. del ambiente	16.8° C
Temp. del agua	-
Temp. Del concreto	-
Temp. De la piedra	-
Temp. De la arena	-
Temp. Del cemento	-

**GRAFICO # 49**  
**TEMPERATURA SUPERFICIAL E INTERIOR DEL**  
**CONCRETO vs TIEMPO**

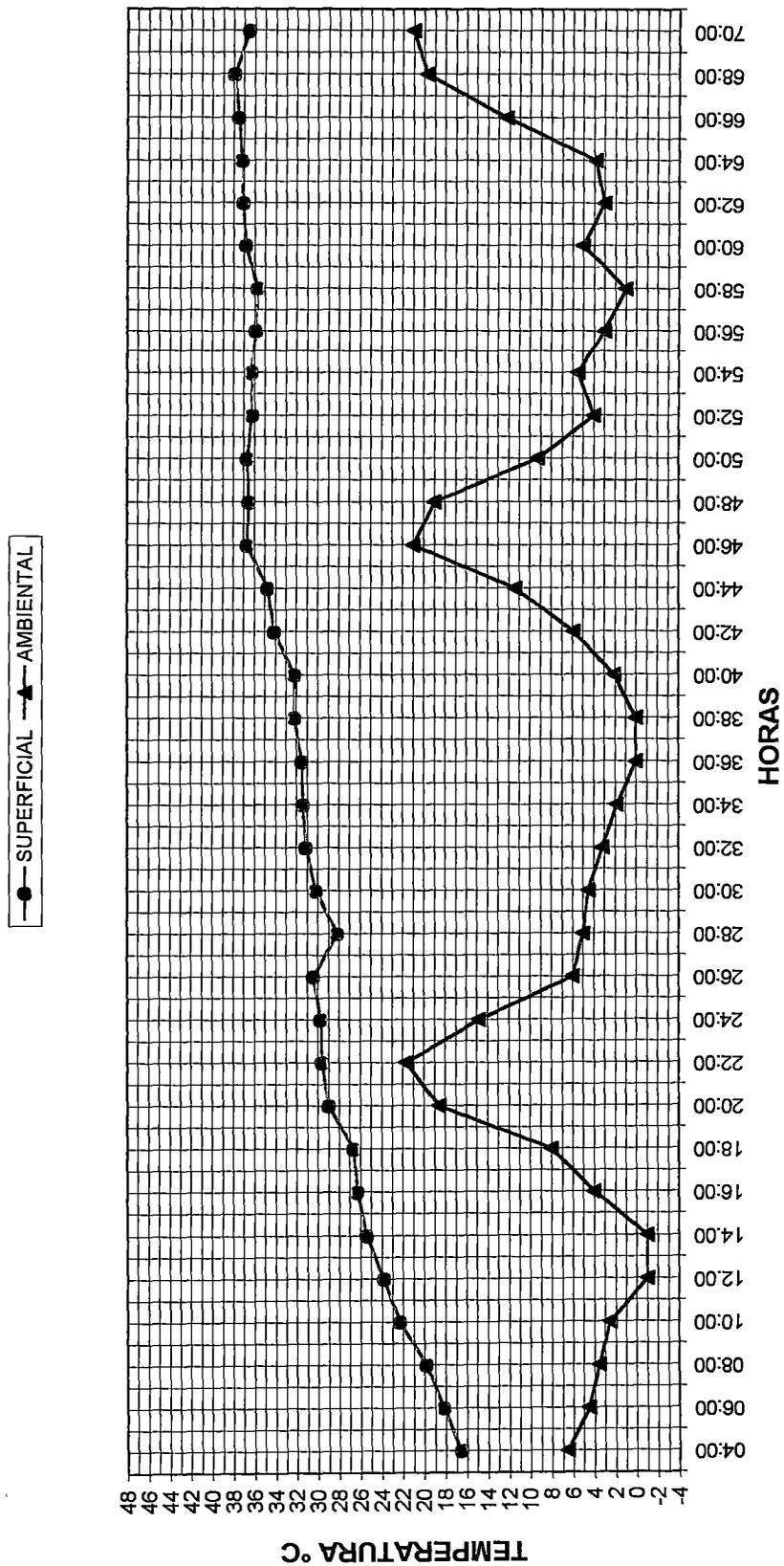


**GRAFICO # 50**  
**TEMPERATURA INTERIOR DEL CONCRETO Y TEMPERATURA AMBIENTAL**  
**vs TIEMPO**

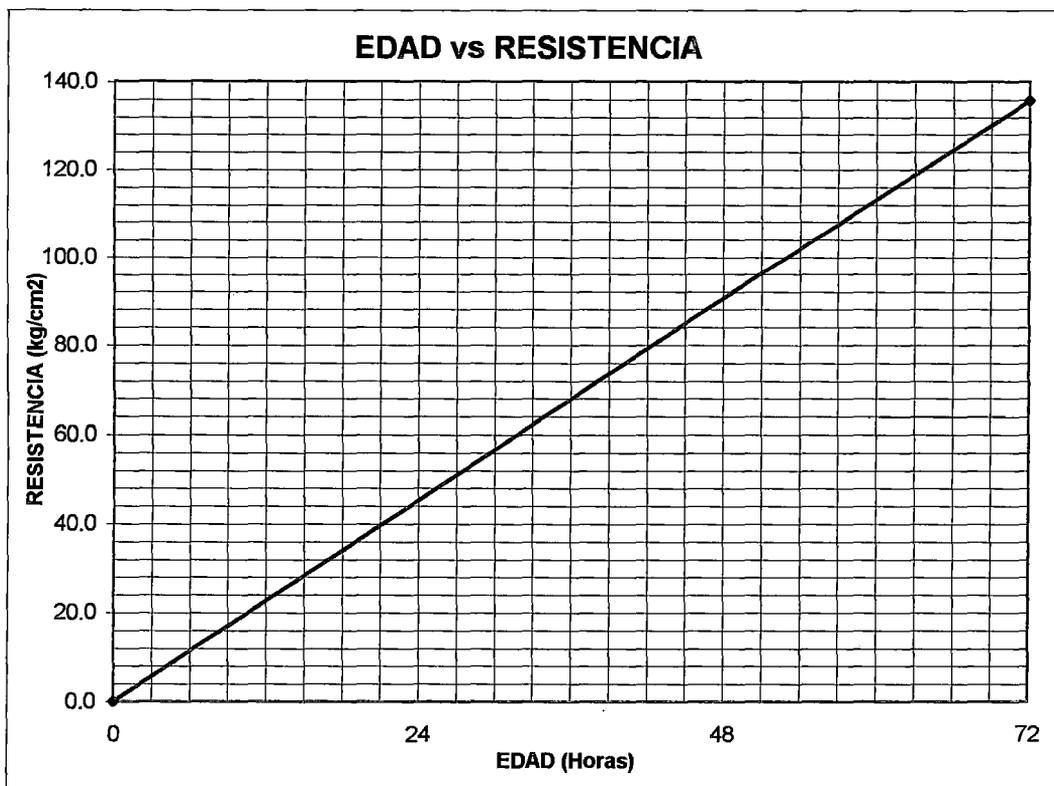
▲ T° DEL CONC. —●— AMBIENTAL



**GRAFICO # 51**  
**TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL CONCRETO**  
**Y TEMPERATURA AMBIENTAL vs TIEMPO**



**GRAFICO # 52**



**CUADRO #43**

**ENSAYOS DE RESISTENCIA**

TESTIGO	RESISTENCIA DEL CONCRETO				
	kg / c m 2				
	E D A D (Horas)				
	0	15	24	48	72
A	-	-	-	-	139.9
B	-	-	-	-	131.6
PROMEDIO	-	-	-	-	136

#### 4. ENSAYO DE TESTIGOS EN LA EJECUCION DE LA OBRA

ENSAYO : RESISTENCIA A LA COMPRESION

OBRA : CANAL VILAVILANI TRAMO III

PROVEEDORES DE CONCRETO: UNICON - YURA

**CUADRO # 44**

FECHA VACIADO	Nº PRUEBA	f'c kg/cm2 PROB 1	f'c kg/cm2 PROB 2	f'c 28 PROM	f'c Especificado	PROM CORRIDO	RANGO	PROM CORRIDO
20-Abr	1	284.39	294.81	289.60	210		10	
21-Abr	2	294.03	273.19	283.61	210		21	
22-Abr	3	276.16	234.23	255.20	210	276.14	42	24.40
23-Abr	4	284.53	322.99	303.76	210	280.86	38	33.74
24-Abr	5	205.39	303.52	254.46	210	271.14	98	59.51
25-Abr	6	315.01	303.37	309.19	210	289.14	12	49.41
26-Abr	7	296.74	311.33	304.04	210	289.23	15	41.45
27-Abr	8	338.43	359.43	348.93	210	320.72	21	15.74
28-Abr	9	334.28	343.00	338.64	210	330.54	9	14.77
29-Abr	10	304.42	304.97	304.70	210	330.76	1	10.09
30-Abr	11	312.53	315.86	314.20	210	319.18	3	4.20
03-May	12	300.82	396.48	348.65	210	322.51	96	33.18
04-May	13	305.33	318.78	312.06	210	324.97	13	37.48
05-May	14	338.68	337.72	338.20	210	332.97	1	36.69
06-May	15	277.61	283.04	280.33	210	310.19	5	6.61
07-May	16	265.62	308.78	287.20	210	301.91	43	16.52
08-May	17	243.66	257.64	250.65	210	272.73	14	20.86
09-May	18	315.44	330.60	323.02	210	286.96	15	24.10
10-May	19	319.14	310.93	315.04	210	296.24	8	12.45
11-May	20	341.37	331.46	336.42	210	324.82	10	11.09
12-May	21	357.21	297.13	327.17	210	326.21	60	26.07
13-May	22	316.22	323.84	320.03	210	327.87	8	25.87
14-May	23	309.28	309.26	309.27	210	318.82	0	22.57
19-May	24	301.84	298.64	300.24	210	309.85	3	3.61
20-May	25	319.18	339.05	329.12	210	312.88	20	7.70
21-May	26	243.10	267.04	255.07	210	294.81	24	15.67
22-May	27	319.58	277.61	298.60	210	294.26	42	28.59
23-May	28	270.89	252.03	261.46	210	271.71	19	28.26
24-May	29	320.50	317.10	318.80	210	292.95	3	21.41
25-May	30	318.72	324.17	321.45	210	300.57	5	9.24
27-May	31	281.40	280.02	280.71	210	306.99	1	3.41
30-May	32	312.53	327.01	319.77	210	307.31	14	7.10
31-May	33	332.82	254.92	293.87	210	298.12	78	31.25
01-Jun	34	301.73	308.26	305.00	210	306.21	7	32.97
03-Jun	35	288.29	224.72	256.51	210	285.12	64	49.33
05-Jun	36	283.10	287.91	285.51	210	282.34	5	24.97
07-Jun	37	273.85	272.85	273.35	210	271.79	1	23.13

FECHA VACIADO	Nº PRUEBA	f'c kg/cm2 PROB 1	f'c kg/cm2 PROB 2	f'c 28 PROM	f'c Especificado	PROM CORRIDO	RANGO	PROM CORRIDO
08-Jun	38	220.76	226.62	223.69	210	260.85	6	3.89
09-Jun	39	328.00	342.53	335.27	210	277.44	15	7.13
10-Jun	40	294.56	300.26	297.41	210	285.46	6	8.70
12-Jun	41	220.31	319.20	269.76	210	300.81	99	39.71
13-Jun	42	292.71	324.23	308.47	210	291.88	32	45.37
14-Jun	43	297.28	322.87	310.08	210	296.10	26	52.00
15-Jun	44	315.86	319.16	317.51	210	312.02	3	20.14
16-Jun	45	323.42	318.34	320.88	210	316.16	5	11.32
19-Jun	46	287.14	304.94	296.04	210	311.48	18	8.73
21-Jun	47	278.31	271.46	274.89	210	297.27	7	9.91
22-Jun	48	336.74	334.88	335.81	210	302.25	2	8.84
25-Jun	49	309.21	311.66	310.44	210	307.04	2	3.72
25-Jun	50	315.44	324.09	319.77	210	322.00	9	4.32
27-Jun	51	330.14	345.36	337.75	210	322.65	15	8.77
28-Jun	52	332.46	339.66	336.06	210	331.19	7	10.36
28-Jun	53	287.58	310.09	298.84	210	324.22	23	14.98
29-Jun	54	213.08	267.83	240.46	210	291.78	55	28.15
29-Jun	55	320.88	273.77	297.33	210	278.87	47	41.46
30-Jun	56	250.02	290.78	270.40	210	269.39	41	47.54
30-Jun	57	300.88	333.03	316.96	210	294.89	32	40.01
01-Jul	58	320.87	279.20	300.04	210	295.80	42	38.19
04-Jul	59	332.26	353.43	342.85	210	319.95	21	31.66
05-Jul	60	350.62	349.24	349.93	210	330.94	1	21.41
05-Jul	61	341.02	335.02	338.02	210	343.60	6	9.52
06-Jul	62	356.11	381.01	368.56	210	352.17	25	10.76
06-Jul	63	337.39	322.15	329.77	210	345.45	15	15.38
07-Jul	64	346.16	341.82	343.99	210	347.44	4	14.83
07-Jul	65	335.39	340.91	338.15	210	337.30	6	8.37
08-Jul	66	361.32	352.35	356.84	210	346.33	9	6.28
08-Jul	67	314.61	317.93	316.27	210	337.09	3	5.94
10-Jul	68	341.97	320.86	331.42	210	334.84	21	11.13
10-Jul	69	348.32	353.92	351.12	210	332.94	6	10.01
11-Jul	70	352.53	367.45	359.99	210	347.51	15	13.88
11-Jul	71	335.16	346.83	341.00	210	350.70	12	10.73
11-Jul	72	335.16	346.83	341.00	210	347.33	12	12.75
12-Jul	73	338.33	324.66	331.50	210	337.83	14	12.34
12-Jul	74	271.98	312.94	292.46	210	321.65	41	22.10
12-Jul	75	271.98	312.94	292.46	210	305.47	41	31.86
13-Jul	76	294.46	323.37	308.92	210	297.95	29	36.94
13-Jul	77	294.46	323.37	308.92	210	303.43	29	32.93
13-Jul	78	336.06	322.97	329.52	210	315.78	13	23.64
14-Jul	79	337.98	336.80	337.39	210	325.27	1	14.39
14-Jul	80	340.03	334.95	337.49	210	334.80	5	6.45
15-Jul	81	308.72	304.97	306.85	210	327.24	4	3.34
15-Jul	82	344.67	345.36	345.02	210	329.78	1	3.17
15-Jul	83	323.42	319.63	321.53	210	324.46	4	2.74
15-Jul	84	328.04	271.80	299.92	210	322.15	56	20.24
16-Jul	85	334.86	329.37	332.12	210	317.85	5	21.84
16-Jul	86	339.97	332.97	336.47	210	322.84	7	22.91
17-Jul	87	351.88	359.76	355.82	210	341.47	8	6.79
18-Jul	88	338.05	342.98	340.52	210	344.27	5	6.60

FECHA VACIADO	Nº PRUEBA	f'c kg/cm2 PROB 1	f'c kg/cm2 PROB 2	f'c 28 PROM	f'c Especificado	PROM CORRIDO	RANGO	PROM CORRIDO
29-Jul	89	337.88	341.51	339.70	210	345.34	4	5.48
29-Jul	90	220.02	336.35	278.19	210	319.47	116	41.63
30-Jul	91	347.31	299.09	323.20	210	313.69	48	56.06
31-Jul	92	350.15	350.49	350.32	210	317.24	0	54.96
01-Ago	93	350.67	357.04	353.86	210	342.46	6	18.31
02-Ago	94	321.27	303.82	312.55	210	338.91	17	8.05
03-Ago	95	340.30	336.80	338.55	210	334.98	4	9.11
04-Ago	96	317.95	296.74	307.35	210	319.48	21	14.05
04-Ago	97	292.42	314.61	303.52	210	316.47	22	15.63
05-Ago	98	319.98	313.34	316.66	210	309.17	7	16.68
05-Ago	99	317.53	296.35	306.94	210	309.04	21	16.67
06-Ago	100	341.17	342.17	341.67	210	321.76	1	9.61
06-Ago	101	318.78	298.70	308.74	210	319.12	20	14.09
07-Ago	102	301.21	218.96	260.09	210	303.50	82	34.44
08-Ago	103	312.53	322.54	317.54	210	295.45	10	37.45
08-Ago	104	314.18	312.94	313.56	210	297.06	1	31.17
09-Ago	105	306.42	324.49	315.46	210	315.52	18	9.77
09-Ago	106	345.83	350.62	348.23	210	325.75	5	8.03
10-Ago	107	257.52	241.56	249.54	210	304.41	16	12.94
10-Ago	108	317.10	318.78	317.94	210	305.24	2	7.48
11-Ago	109	313.76	319.64	316.70	210	294.73	6	7.84
11-Ago	110	356.27	360.51	358.39	210	331.01	4	3.93
12-Ago	111	340.83	305.90	323.37	210	332.82	35	15.02
12-Ago	112	352.53	359.90	356.22	210	345.99	7	15.51
13-Ago	113	276.22	276.27	276.25	210	318.61	0	14.12
13-Ago	114	333.59	330.18	331.89	210	321.45	3	3.61
14-Ago	115	312.08	316.27	314.18	210	307.44	4	2.55
14-Ago	116	340.48	346.85	343.67	210	329.91	6	4.66
15-Ago	117	288.05	317.11	302.58	210	320.14	29	13.21
15-Ago	118	350.81	346.48	348.65	210	331.63	4	13.25
16-Ago	119	329.63	329.21	329.42	210	326.88	0	11.27
16-Ago	120	325.41	312.53	318.97	210	332.35	13	5.88
17-Ago	121	333.59	332.21	332.90	210	327.10	1	4.89
17-Ago	122	272.16	311.24	291.70	210	314.52	39	17.78
18-Ago	123	340.11	334.95	337.53	210	320.71	5	15.21
18-Ago	124	328.78	332.58	330.68	210	319.97	4	16.01
19-Ago	125	321.70	331.65	326.68	210	331.63	10	6.30
19-Ago	126	310.41	244.41	277.41	210	311.59	66	26.58
20-Ago	127	319.22	332.66	325.94	210	310.01	13	29.80
20-Ago	128	329.49	337.53	333.51	210	312.29	8	29.16
21-Ago	129	278.41	271.44	274.93	210	311.46	7	9.48
21-Ago	130	345.71	346.28	346.00	210	318.14	1	5.19
24-Ago	131	263.02	276.99	270.01	210	296.98	14	7.17
24-Ago	132	332.97	341.11	337.04	210	317.68	8	7.56
25-Ago	133	343.29	345.71	344.50	210	317.18	2	8.18
26-Ago	134	344.12	343.32	343.72	210	341.75	1	3.79
01-Sep	135	313.36	315.03	314.20	210	334.14	2	1.63
02-Sep	136	330.47	339.31	334.89	210	330.94	9	3.77
04-Sep	137	289.64	251.41	270.53	210	306.54	38	16.25
04-Sep	138	283.52	295.57	289.55	210	298.32	12	19.71
05-Sep	139	322.96	325.87	324.42	210	294.83	3	17.73

FECHA VACIADO	Nº PRUEBA	f'c kg/cm2 PROB 1	f'c kg/cm2 PROB 2	f'c 28 PROM	f'c Especificado	PROM CORRIDO	RANGO	PROM CORRIDO
05-Sep	140	277.16	282.38	279.77	210	297.91	5	6.73
06-Sep	141	271.81	272.89	272.35	210	292.18	1	3.07
07-Sep	142	254.43	210.31	232.37	210	261.50	44	16.81
08-Sep	143	241.83	238.46	240.15	210	248.29	3	16.19
09-Sep	144	289.64	286.53	288.09	210	253.53	3	16.87
10-Sep	145	333.93	298.91	316.42	210	281.55	35	13.83
10-Sep	146	283.51	308.74	296.13	210	300.21	25	21.12
11-Sep	147	294.81	335.99	315.40	210	309.32	41	33.81
11-Sep	148	282.52	306.59	294.56	210	302.03	24	30.16
12-Sep	149	204.75	275.22	239.99	210	283.31	70	45.24
12-Sep	150	273.05	314.19	293.62	210	276.05	41	45.23
13-Sep	151	266.56	261.74	264.15	210	265.92	5	38.81
14-Sep	152	260.71	275.91	268.31	210	275.36	15	20.39
14-Sep	153	240.35	267.32	253.84	210	262.10	27	15.66
15-Sep	154	298.38	325.89	312.14	210	278.09	28	23.23
15-Sep	155	327.91	332.58	330.25	210	298.74	5	19.72
16-Sep	156	276.64	253.44	265.04	210	302.47	23	18.46
16-Sep	157	311.66	318.78	315.22	210	303.50	7	11.66
17-Sep	158	285.01	262.22	273.62	210	284.63	23	17.70
17-Sep	159	321.22	329.63	325.43	210	304.75	8	12.77
18-Sep	160	323.37	339.76	331.57	210	310.20	16	15.86
18-Sep	161	318.32	295.88	307.10	210	321.36	22	15.75
19-Sep	162	256.84	263.49	260.17	210	299.61	7	15.16
19-Sep	163	289.04	281.61	285.33	210	284.20	7	12.17
20-Sep	164	286.01	303.72	294.87	210	280.12	18	10.60
20-Sep	165	318.78	339.76	329.27	210	303.15	21	15.37
21-Sep	166	282.11	317.11	299.61	210	307.92	35	24.56
21-Sep	167	285.91	265.87	275.89	210	301.59	20	25.34
22-Sep	168	289.54	292.14	290.84	210	288.78	3	19.21
22-Sep	169	262.65	224.42	243.54	210	270.09	38	20.29
23-Sep	170	303.52	284.27	293.90	210	276.09	19	20.03
23-Sep	171	272.71	274.89	273.80	210	270.41	2	19.89
24-Sep	172	271.97	285.77	278.87	210	282.19	14	11.74
24-Sep	173	274.66	282.38	278.52	210	277.06	8	7.90
25-Sep	174	286.53	313.29	299.91	210	285.77	27	16.09
26-Sep	175	263.91	260.37	262.14	210	280.19	4	12.67
07-Oct	176	317.96	297.39	307.68	210	289.91	21	16.96
08-Oct	177	272.16	271.36	271.76	210	280.53	1	8.30
09-Oct	178	263.77	300.28	282.03	210	287.15	37	19.29
10-Oct	179	270.38	273.41	271.90	210	275.23	3	13.45
11-Oct	180	357.23	329.07	343.15	210	299.02	28	22.57
12-Oct	181	300.03	203.94	251.99	210	289.01	96	42.43
13-Oct	182	268.42	251.94	260.18	210	285.11	16	46.91
14-Oct	183	284.02	278.41	281.22	210	264.46	6	39.39
15-Oct	184	314.62	302.01	308.32	210	283.24	13	11.57
16-Oct	185	312.03	332.27	322.15	210	303.89	20	12.82
17-Oct	186	316.26	323.35	319.81	210	316.76	7	13.31

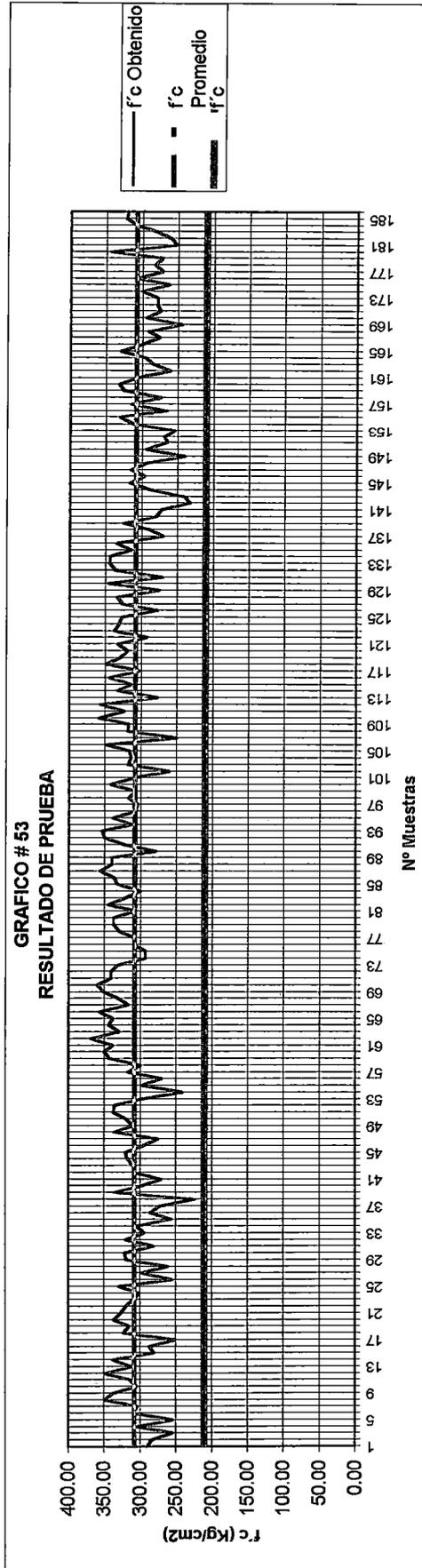
PROMEDIO (X)	=	307.47 kg/cm <sup>2</sup>
DESVIACION (SD)	=	30.64 kg/cm <sup>2</sup>
C. VARIACION (CV)	=	9.96
MAXIMO	=	368.56 kg/cm <sup>2</sup>
MINIMO	=	223.69 kg/cm <sup>2</sup>
0.05X	=	15.37 kg/cm <sup>2</sup>
0.10X	=	30.75 kg/cm <sup>2</sup>

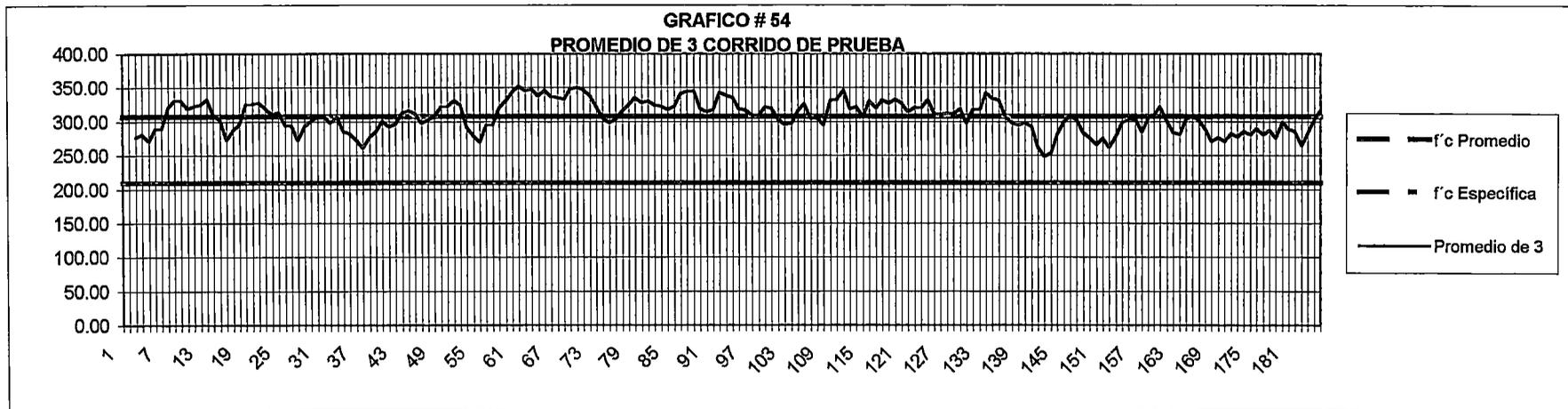
## **DIAGRAMA DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN**

**OBRA :** TRAMO III VILAVILANI

**ESTRUCTURA :** MÓDULOS DE CONCRETO DE SOBREELEVACIÓN

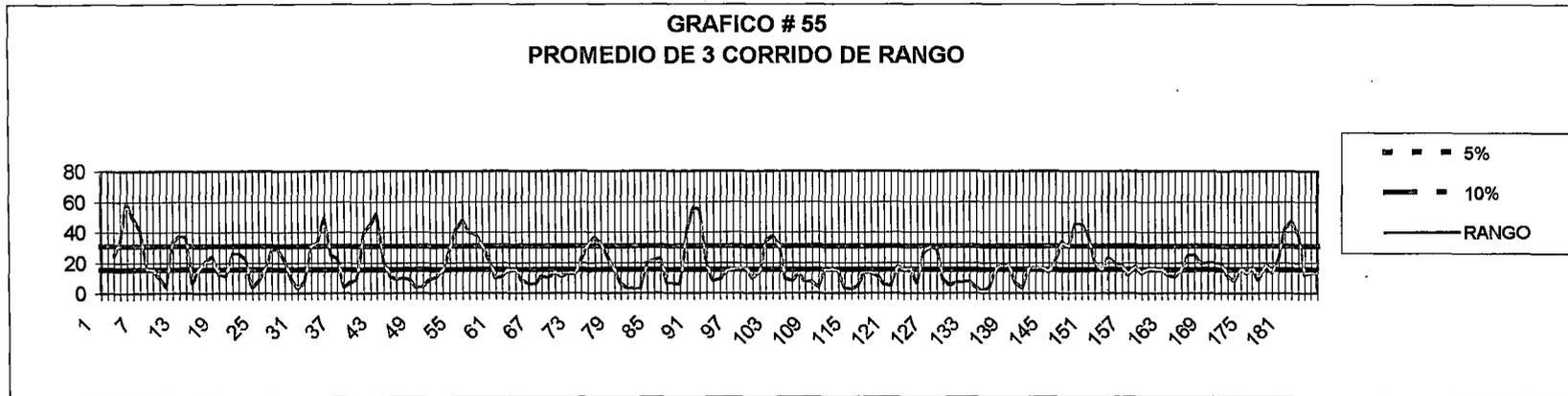
**FECHA :** DEL 20/04/2000 AL 17/10/2000





TESIS: CURADO Y PROTECCIÓN DE CONCRETOS COLOCADOS EN CLIMAS FRÍOS

**GRAFICO # 55**  
**PROMEDIO DE 3 CORRIDO DE RANGO**



## 5. ANALISIS DE COSTO DEL CURADO Y PROTECCIÓN DEL CONCRETO

**TESIS** : CURADO Y PROTECCIÓN DE CONCRETOS COLOCADOS EN CLIMAS FRÍOS  
**PROYECTO** : TRAMO III VILAVILANI  
**OBRA** : REMODELACIÓN CANAL UCHUSUMA  
  
**ESTRUCTURA** : MODULOS DE SOBREELEVACIÓN  
**CURADO** : MEMBRANA QUIMICA IMPERMEABLE  
**PROTECCION** : ABRIGADO DEL CONCRETO CON MANTAS DE LANA DE VIDRIO DE 3" DE ESPESOR

### EN SOLES (S/.)

RENDIMIENTO CONCRETO	303.85 m3/día	Avance	500.00 m/día
		Rendimiento	303.85 m3/día
		tiempo curado	2 días
		Paños de 3.0 m	167 und x lado/día
		Dimensión manta	2.40 x 5.00 m2
		Long. Modulo	3 m
		Nº usos mantas	25 veces
		Vol. Concreto	28,556.00 m3
		Long. Canal	46,990.50 m
		Dólar	3.50 Soles

	UND	CUADR	CANT	P.U.	COSTO
<b>Mano de obra</b>					<b>5.26</b>
Capataz	hh	1	0.0329	12.62	0.42
Oficial	hh	2	0.0658	9.60	0.63
Peón	hh	16	0.5266	8.00	4.21
<b>Equipos</b>					<b>1.25</b>
Herramientas	%MO		0.0500	5.26	0.26
Camión 4 tn	día	2	0.0066	150.00	0.99
<b>Materiales</b>					<b>14.69</b>
Mantas 2.40x5.00	m2		0.5266	16.45	8.66
Aditivo Curet Z blanco	gl		0.2957	9.45	2.79
Reparación (varios)	%mantas		0.2500	8.66	2.17
Combustible	gl		0.1646	6.50	1.07
<b>TOTAL</b>					<b>21.20</b> soles x m3

### COMPARACIÓN COSTO vs. VENTA

<b>VENTA</b>	
VENTA POR CURADO A VAPOR (PRECIO CONTRACTUAL)	31.00 soles x m3
<b>COSTO</b>	
CURADO Y PROTECCION DEL CONCRETO	21.20 soles x m3

**MARGEN :** 31.61%

## **6. PLANEAMIENTO DE TRABAJO PARA EL TRATAMIENTO DEL CONCRETO EN CLIMAS FRÍOS**

Cuando se realicen trabajos con concreto en climas fríos deberemos seguir los siguientes pasos:

### **1. Diseño adecuado del concreto**

Cuando se realizan trabajos en condiciones de climas fríos es necesario un adecuado diseño en la dosificación del concreto para poder contrarrestar cualquier problema ocasionado por las inclemencias del clima (posible congelamiento y descongelamiento, etc.).

Para tal fin como las normas lo indican se debe de diseñar por durabilidad aunque esto signifique una mayor resistencia de lo requerido por la estructura; con lo cual debemos seguir los siguientes criterios:

- relación agua/cemento  $\leq 0.50$
- Incorporar aire
- Materiales adecuados, tanto como el cemento, agregados, agua y aditivos deben de cumplir con sus normas respectivas

- Temperatura adecuada del concreto durante el mezclado, para tal fin se utilizará cualquiera de las técnicas mencionadas en el capítulo II (calentamiento de los agregados y/o agua)

## **2. Preparación previa antes de realizar la colocación del concreto (planificación).**

Siempre resulta mejor planificar los trabajos a realizar, y prever cualquier eventualidad, así estaremos preparados para enfrentarlos si estos se presentaran.

Además antes de proceder a la colocación del concreto se debe de realizar una limpieza de las superficies donde se colocará el concreto, evitando la presencia de nieve o granizo sobre la misma (frecuente en lugares con condiciones de clima frío).

## **3. Transporte del concreto**

Si el concreto es elaborado en un lugar no próximo a su posición de colocación, el transporte del concreto debe de realizarse lo más inmediato posible, y procurar transportarlo en mixer o vehículos cerrados. Evitando en tal sentido que la temperatura del concreto decrezca a valores no recomendados para su colocación

## **4. Adecuados procedimientos constructivos para su colocación**

Consiste en utilizar los procedimientos constructivos más pertinentes para el tipo de estructura a ejecutar, de esta manera la colocación del concreto en el mismo será más rápida y eficiente, evitando perdidas de calor en el concreto durante su colocación. Así

como procedimientos pertinentes cuando se efectúan trabajos en climas fríos (que van desde la preparación de la mezcla hasta el término la protección del concreto).

#### **5. Aplicación de una técnica de curado y protección del concreto (la cual evite problemas de congelamiento)**

Cuando se realizan labores en climas fríos, no solo se hablará de un curado adecuado del concreto sino también de una protección pertinente, en tal sentido estos conceptos estarán ligados íntimamente ya que si se descuida alguno, el otro no será efectivo.

Para poder elegir que técnica emplear se realizará los siguientes pasos:

- Monitoreo de la temperatura ambiental de la zona donde se realizarán los trabajos, de esta forma se podrá determinar a que condiciones ambientales nos enfrentamos y los períodos de tiempo más apropiados para realizar los trabajos con concreto.
  
- Una vez determinado las condiciones a las cuales nos enfrentamos, se procederá a elegir un tipo de curado y protección del concreto (cualquiera de los descritos en capítulos anteriores), esta técnica elegida deberá ser verificada en la estructura a realizar, mediante monitoreos de su temperatura (tanto interior y exterior) y seguimiento de la resistencia a compresión del concreto, que den como resultados valores mínimos que aseguren ningún problema del concreto frente a posibles problemas de congelamiento y descongelamiento posteriores.

# CAPÍTULO VI

## ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

## **ANALISIS DE RESULTADOS**

Luego de evaluar los monitoreos de temperatura realizada a las probetas de concreto en distintas condiciones controladas dentro de un ambiente con temperaturas correspondientes a clima frío podemos precisar que en el proceso de desarrollo de la temperatura generada por la hidratación del cemento dentro del rango de las cero a 72 horas de vaciado se ha obtenido lo siguiente:

- En el concreto de la investigación la temperatura al momento del mezclado se hallaba en el rango de entre 18°C y 21°C.
- Protegiendo las probetas con la manta de lana de fibra de vidrio que se encontraban en un ambiente de clima frío, teniendo en consideración que sus dimensiones en el laboratorio son menores a una estructura real, se obtuvo que la temperatura del concreto decrece con respecto a las temperaturas generadas al momento de mezclado (18°-21°), obteniendo una disminución del 9% a las 24 horas, 37% a las 48 horas y un 52% a las 72 horas.
- En probetas no protegidas con ninguna técnica que se encontraban en un ambiente de clima frío, la temperatura del concreto simplemente decreció un 100%.
- En probetas sumergidas en la poza con agua dentro de un ambiente de condición normal, se obtuvo que los valores de la temperatura del concreto permanecen en un rango de 17°C a 20°C, siendo estos valores de temperaturas las adecuadas para un curado adecuado, y que tomamos como base para nuestras probetas patrón.

- Cuando protegemos al concreto que se encuentra en un ambiente de clima frío, protegiéndolo con las mantas de lana de fibra de vidrio, llegamos a obtener valores de resistencia a la compresión superiores a 35 kg/cm<sup>2</sup> (siendo este valor el mínimo recomendado para que un concreto pueda soportar esfuerzos generados por el hielo y deshielo del ambiente en que se encuentre).
  
- A través de la investigación realizada se obtuvo que el concreto protegido con nuestra técnica planteada en promedio a las 24 horas desarrollaba una resistencia a la compresión de 44.7 kg/cm<sup>2</sup> (un 127% con respecto a los 35 kg/cm<sup>2</sup> mínimos requeridos por las normas), a las 48 horas desarrollaba un valor de 94.5 kg/cm<sup>2</sup> (270%) y las 72 horas de obtenía un valor de 138.5 kg/cm<sup>2</sup> (395.8%).
  
- Si bien como se aprecia se determinó que a las 24 horas superábamos la resistencia a la compresión mínima requerida por las normas, sin embargo se hicieron otras pruebas para evaluar la evolución de la resistencia a la compresión del concreto protegiéndolo un tiempo determinado con las mantas de lana de fibra de vidrio en un ambiente de clima frío, obteniéndose lo siguiente:
  - a) Concreto protegido 48 horas, desarrollo una resistencia a la compresión a los 7 días de 157.2 kg/cm<sup>2</sup> (82% de un concreto bajo condiciones controladas de laboratorio a la misma edad), y a la edad de 28 días 243.7 kg/cm<sup>2</sup> (84% de un concreto bajo condiciones controladas de laboratorio a la misma edad)

b) Concreto protegido 72 horas, desarrollo una resistencia a la compresión a los 7 días de 174.3 kg/cm<sup>2</sup> (90% de un concreto bajo condiciones controladas de laboratorio a la misma edad) y a la edad de 28 días 250 kg/cm<sup>2</sup> (86% de un concreto bajo condiciones controladas de laboratorio a la misma edad)

- Para poder verificar la efectividad del curador de membrana empleado Curet-Z; tomamos testigos curados solo con la membrana química (concreto con membrana). Ensayándolas a distintas edades establecidas, las cuales dieron los siguientes valores: a la edad de 3 días una efectividad del **88%**; para la edad de 7 días **93%** y a los **28** días un **90%** de efectividad (comparadas con probetas patrón de la misma edad curadas bajo condiciones controladas de laboratorio sumergidas en poza de agua); de lo cual se pudo comprobar claramente su efectividad de la membrana empleada (la norma define para su efectividad que sea mayor o igual al 85%).

### **Resultados de Experiencia y Ensayos en Obra con condiciones de Clima Frío**

Aplicando el curado mediante membrana química y protección colocando las mantas de lana de fibra de vidrio en la obra canal de Uchusuma- Vilavilani, se hizo el monitoreo de la temperatura ambiental durante diferentes épocas del año en rangos de 6 a.m. a las 6 p.m., para poder determinar los periodos favorables para realizar los trabajos con concreto, de lo cual se pudo obtener lo siguiente:

- Durante el período de mayo a julio (periodo más desfavorable) se registró temperaturas mínimas de -7.2 °C (a las 6 a.m.) y de 16.1 °C (a las 1 p.m.). Y durante

octubre a diciembre un mejor comportamiento de 0.3 °C (a las 6 a.m.) y 17.7 (a las 12 a.m.). Determinando ciertas pautas para los trabajos a realizar y prever los problemas posibles. Teniendo en cuenta que nuestra norma peruana define que cuando ocurren temperaturas menores a 5°C nos encontramos en climas fríos.

- De estos registros se llegó a determinar que las labores con concreto deberían empezar entre las 7:30 y las 8:00 a.m. y finalizar los vaciados alrededor de las 3:00 p.m., consiguiendo de esta manera aproximadamente entre 7 a 8 horas con trabajos de colocación de concreto.
  
- En estructuras evaluadas donde se uso cemento portland tipo I, se obtuvieron temperaturas pico tanto en el interior como en la superficie del concreto, para distintos periodos de tiempo, lográndose los siguientes valores:
  - a) A las 24 horas, la temperatura promedio en el interior del concreto fue de 34.8 °C. La temperatura promedio en la superficie del concreto fue de 38.1°C.
  - b) A las 48 horas, la temperatura promedio en el interior del concreto fue de 39 °C. La temperatura promedio en la superficie del concreto fue de 42.2°C.
  - c) A las 72 horas, la temperatura promedio en el interior del concreto fue de 37.9 °C. La temperatura promedio en la superficie del concreto fue de 40.2°C.
  
- En estructuras evaluadas donde se uso cemento portland tipo IP, se obtuvieron temperaturas pico tanto en el interior como en la superficie del concreto, para distintos periodos de tiempo, lográndose los siguientes valores:

- a) A las 24 horas, la temperatura promedio en el interior del concreto fue de 35.1 °C.  
La temperatura promedio en la superficie del concreto fue de 40.7 °C.
  - b) A las 48 horas, la temperatura promedio en el interior del concreto fue de 37.7 °C.  
La temperatura promedio en la superficie del concreto fue de 37.7 °C.
  - c) A las 72 horas, la temperatura promedio en el interior del concreto fue de 39.9 °C.  
La temperatura promedio en la superficie del concreto fue de 39.9 °C.
- 
- Los resultados de las resistencias a la compresión del concreto utilizado en la obra, se aprecian en el cuadro del ítem 4 del capítulo V.

# CAPÍTULO VII

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A través de la presente tesis planteamos una técnica para curar y proteger el concreto cuando realizamos trabajos en lugares donde hay las condiciones climatológicas y temperaturas correspondientes a climas fríos. La técnica planteada consistió en curar el concreto con una aplicación de una membrana química y la protección la realizábamos cubriendo las superficies del concreto con mantas de lana de fibra de vidrio de 3" de espesor.

Tal como hemos visto anteriormente en la investigación en el laboratorio (condiciones de clima frío obtenidas mediante una simulación) logramos obtener resultados satisfactorios; y a través de una aplicación práctica de nuestra técnica en la ejecución de una obra mostramos, como lo planteado es factible de ser utilizado en trabajos con concretos bajos condiciones de clima frío; convirtiéndose en una solución real para nuestra problemática nacional.

Es necesario recalcar el hecho de que cuando se realicen trabajos con concreto y en este caso en particular en climas fríos, no sólo un buen diseño y buenos materiales empleados garantizan por sí mismos que se obtenga un concreto durable. En tal sentido, es necesario tomar las medidas adecuadas para evitar efectos no conocidos del congelamiento en el concreto fresco. Para tal fin es primordial realizar los procedimientos adecuados durante el mezclado, transporte, colocación, curado y

protección del concreto, haciendo esto con un buen control de calidad y buenas prácticas constructivas; se puede conseguir prevenir estos problemas.

## **CONCLUSIONES**

- Para la colocación de concretos en climas fríos se hace necesario realizar estudios de monitoreos de la temperatura ambiental del lugar donde se realizarán las labores, de esta forma se determinará:
  - a) Si realmente nos encontramos en un lugar bajo condiciones de clima frío
  - b) Se hallará el rango de tiempo ideal para poder ejecutar los trabajos, en el caso especial de nuestro territorio, tal como sucede en la sierra se podrá utilizar los períodos en que la temperatura asciende durante las tardes y optimizar los resultados.
- Para poder obtener las temperaturas requeridas en el concreto al momento de su colocación se hace necesario la utilización de un método de calentamiento de los componentes del concreto. Siendo el más recomendado calentar el agua. Asegurando de esta forma las condiciones mínimas para que el proceso químico de hidratación del concreto no se detenga (ver tabla N°2).
- No basta solo que al momento de mezclado se consiga la temperatura mínima requerida, sino aún que se llegue con una temperatura adecuada si es requerido

transportar el concreto hasta un punto más alejado, para lo cual tomar las previsiones del caso (Cap. II, ítem 1.6).

- Si el concreto bajo condiciones de clima frío no se protege, se está permitiendo que el concreto se congele durante las primeras horas; y en tal sentido este será un concreto con resistencias posteriores mínimas y los consecuentes problemas descritos en capítulos anteriores.
- Cuando se realicen trabajos con concreto en climas fríos se hace necesario proteger adecuadamente el concreto fresco, para que cuando logre el endurecimiento, sea más resistente y durable. La temperatura en tal sentido afecta la duración del proceso de hidratación del cemento reflejándose en el endurecimiento y aumento de resistencia del concreto.
- Utilizar mantas de lana de fibra de vidrio de 3" de espesor,  $\lambda=0.035\text{Kcal/mh}^\circ\text{C}$  y densidad=40.6 kg/m<sup>3</sup> (ficha técnica adjunta en el anexo A), las cuales han sido verificadas su efectividad por la presente tesis.
- Para poder utilizar la técnica de protección del concreto con mantas se hace necesario la utilización de un curador tipo membrana, logrando de esta manera mantener cubierto el concreto durante el periodo de su protección y evitar que se disipe el calor que se genera.

- La técnica planteada de curado y protección del concreto en climas fríos, es una solución alternativa para la problemática de nuestro territorio. Debido a que durante los 3 primeros días se desarrolla la mayoría del calor producido por la hidratación del cemento, si este calor es adecuadamente conservado tal como lo hicimos mediante empleo de las mantas de lana de fibra de vidrio no se necesitaría la inyección de calor externo.
- La utilización de una técnica combinada de curado y protección del concreto (membrana química - manta de lana de fibra de vidrio) en condiciones de clima frío es totalmente efectiva y factible conservadoramente durante un período de protección de 48 horas (lográndose a las 24 horas superar el valor mínimo de resistencia a la compresión de 35 kg/cm<sup>2</sup> requerido por las normas). Siendo pertinentes pruebas similares a los realizados en la presente investigación para verificar el comportamiento del concreto ante otras situaciones similares o más severas.
- Los tiempos de curado y protección son variables en función del tipo y cantidad de cemento, empleo de aceleradores, forma y tamaño de las masas de concreto, resistencia requerida y destino de la estructura. Por lo tanto no debe de exponerse el concreto a la congelación en condición saturada antes de alcanzar la resistencia requerida, para lo cual los tiempos pertinentes lo determinarán los profesionales responsables del proyecto a ejecutar mediante las pruebas previas realizadas como mencionamos en el procedimiento de la técnica aplicada (ver tabla N°3).

- La presente investigación queda como un precedente para la realización de proyectos futuros, que ante su fácil manera de ser aplicada y los beneficios económicos que se logran al reducir los costos contribuyen a una solución para nuestra problemática nacional en labores con concreto bajo condiciones de climas fríos. Por lo tanto tener presente que la inversión que se pueda hacer en la protección del concreto al inicio, será a la larga totalmente cubierto con la satisfacción de realizar una obra con calidad, que no implicará reparaciones futuras por problemas ocasionados por el deshielo y congelamiento de la estructura.
- En tal sentido nuestra investigación es el inicio de una etapa en la utilización de aislamientos aprovechando la propiedad exotérmica del concreto para protegerlo del frío y aprovecharla en estructuras de forma complicadas que no permiten otro sistema de protección, debiendo de seguir investigándose y profundizarse más para poder utilizar otros tipos de materiales aislantes.

### **RECOMENDACIONES**

- Se recomienda que si se usa mantas de lana de fibra de vidrio de espesor inferior a 3", verificar su efectividad.
- Planificar con suficiente anterioridad el método de protección del concreto a emplear contra posible congelamiento y deshielo en lugares con climas fríos; así como la combinación de una técnica de curado adecuada.

- Cuando no se utiliza calor exterior, tal como la técnica planteada; y se depende del calor de hidratación del cemento; es requerido e indispensable realizar un registro de la temperatura del concreto (monitoreo de su comportamiento); de esta manera podremos verificar la eficiencia de la protección empleada, y corregirla o recurrir a una fuente exterior de calor si es necesario. Para tal fin colocar termómetros dentro del concreto y sobre la superficie de concreto que se encuentre debajo de las cubiertas aislantes.
- Tanto en casos de estructuras de secciones delgadas o mayores, las esquinas y los bordes se recomienda mayor protección y vigilancia debido a que son más vulnerables a la congelación.
- Se recomienda al aplicar técnica planteada, retirar el aislamiento cuando la temperatura ambiente sea adecuada o este aumentando. En caso contrario en que el gradiente de temperatura del ambiente y la temperatura del concreto sean muy grandes, deberemos esperar hasta mejores condiciones climatológicas. En nuestra realidad nacional, en las alturas de la sierra donde se presentan climas fríos siempre en el transcurso del día hay periodos donde hay la presencia de condiciones de climas cálidos, los cuales siempre nos favorecen para la utilización de nuestra técnica.
- Evitar el enfriamiento rápido del concreto al finalizar el periodo de protección o cuando se va a realizar el desencofrado del mismo, un enfriamiento instantáneo de la

superficie del concreto cuando aún su interior continúa caliente, puede originar fisuras, especialmente en grandes secciones.

- Se recomienda aplicar la membrana química lo más pronto posible, siendo esto inmediatamente de que la película de agua este desapareciendo de la superficie del concreto (evitando que la superficie del concreto sea expuesta mucho tiempo al viento y a la radiación solar frecuentes en los climas de nuestra sierra).
- Las mantas de lana de fibra de vidrio deberán de ser protegidas de la humedad y posibles lluvias o nieve cubriéndolas o forrándolas con una cubierta de polietileno resistente, capaz de resistir excesos de manipuleo y la exposición a las acciones climáticas.

# ANEXOS

# ANEXO A

## CARACTERÍSTICA DE LOS MATERIALES EMPLEADOS EN EL LABORATORIO (LEM - FIC)



## CARACTERISTICAS FISICOQUIMICAS DE CEMENTOS POR TIPOS FABRICADOS POR CEMENTO ANDINO S.A.

		TIPO I	TIPO II	TIPO V	TIPO 1(PM)
<b>Características</b>					
<b>Pruebas Físicas</b>					
1) Superficie Especifica (Blaine)	cm <sup>2</sup> /gr	3200	3250	3250	4500
2) Tiempo de Fraguado (Vicat)	hr:min				
Inicial		02:00	02:15	02:25	02:05
Final		03:30	03:45	04:00	03:20
3) Expansión Autoclave	%	0.00	0.00	0.00	0.00
4) Contenido de Aire en volumen	%	4.00	3.80	4.00	3.00
5) Resistencia a la Compresión	lb/pulg <sup>2</sup>				
a 3 días		2500	2250	2150	2300
a 7 días		3400	3100	3000	3350
a 28 días		4600	4500	4000	4550
6) Densidad	gr/cm <sup>3</sup>	3.15	3.15	3.15	3.03
<b>Pruebas Químicas</b>					
1) Pérdida por Ignición	%	0.81	0.73	0.94	1.84
2) Residuo Insoluble	%	0.50	0.60	0.49	12.62
3) Dióxido de Silicio (SiO <sub>2</sub> )	%	21.47	21.85	22.22	26.81
4) Oxido de Aluminio (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	%	4.95	4.61	3.45	5.98
5) Oxido de Hierro (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	%	3.27	3.31	4.22	3.11
6) Oxido de Calcio (CaO)	%	65.02	64.65	64.80	57.99
7) Oxido de magnesio (MgO)	%	1.92	1.86	1.88	1.46
8) Cal Libre	%	1.00	1.10	0.95	N.A.
9) Trióxido de Azufre (SO <sub>3</sub> )	%	2.30	2.15	2.05	1.88
10) Oxido de Sodio (Na <sub>2</sub> O)	%	0.08	0.07	0.06	0.58
11) Oxido de Potasio (K <sub>2</sub> O)	%	0.64	0.62	0.56	1.05
<b>Fases Mineralógicas según Bogue</b>					
SILICATO TRICALCICO (C <sub>3</sub> S)		52.96	50.82	56.00	N.A.
SILICATO DICALCICO (C <sub>2</sub> S)		21.62	24.33	21.48	N.A.
ALUMINATO TRICALCICO (C <sub>3</sub> A)		7.58	6.62	2.00	N.A.
FERROALUMINATO TETRACALCICO (C <sub>4</sub> AF)		9.95	10.06	12.83	N.A.
Alcalis Equivalentes (Na <sub>2</sub> O+0.658xK <sub>2</sub> O)		0.50	0.48	0.43	1.27
ASTM C311 Alkali Disponible (Equivalentente)		0.49	0.47	0.42	0.56
Porcentaje de Adición de Puzolana		N.A.	N.A.	N.A.	14.50

Nota: N.A. = No Aplicable

**EL PERU NECESITA CEMENTO NOSOTROS PRODUCIMOS EL MEJOR**

# **Z - ADITIVOS S.A.**

## **FABRICANTES DE ADITIVOS PARA LA CONSTRUCCION**

---

### **Z. AER.**

**4**

#### **DESCRIPCION:**

- Es un producto incorporador de aire, no contiene cloruros. Cumple con las normas ASTM 260, produciendo un entrapamiento uniforme de aire entre 4 y 6%.

#### **VENTAJAS:**

- Resiste las variaciones fuertes de temperatura, la acción de los sulfatos, salitres, agua de mar, alcalina y de ciertos productos químicos.
- Aumenta la impermeabilidad del hormigón y su resistencia a las heladas.
- Plastifica la mezcla y aumenta la manejabilidad.
- Mejora el aspecto arquitectónico del hormigón.
- En construcciones de losas sin juntas de dilatación, ya que cada burbuja actúa como una cámara de expansión semi-microscópica.
- Se convierte en un buen aislante térmico.
- Su compatibilidad es con todos los aditivos, siempre y cuando se agreguen separadamente.

#### **USOS:**

- Construcciones marítimas e hidráulicas, pavimentos, pistas de aterrizaje, transporte y bombeo de hormigón, obras sometidas a heladas o aguas agresivas y concretos prefabricados.

# Z - ADITIVOS S.A.

FABRICANTES DE ADITIVOS PARA LA CONSTRUCCION

---

## APLICACION:

- Disminuir el agua a la mezcla, según la cantidad de entrampaire que utiliza por bolsa de cemento.
- Recomendamos reducir el agregado fino entre 30-80 Kg.M<sup>3</sup> ya que las burbujas de aire aumentarán el volumen del concreto.
- Recomendamos hacer pruebas en el campo por la variedad de agregados en el país.

## CUIDADOS:

- Cuando se utilice plastificante o retardador de fragua aumentan las acciones del entrampaire, por lo que habrá que reducir la dosis de 1/2 a 3/4 de lo normal.
- Reducir el agua y el agregado fino.
- Usar anteojos al aplicarlo. Si cae en la vista, lavarse bien con agua. Si persisten las molestias consultar con un médico.

## ENDIMIENTO:

- 1 galón por 134 bolsas de cemento.
- 1 Onza por bolsa de cemento.
- 3/4 Onza por bolsa de cemento
- Incorporara aire 5%, bolsa cemento al diseño de mezcla.

## ENVASES:

- 1 galón; 5 galones ; 55 galones.
- Densidad 1.02 Kg./Lts.

## NOTA:

- En altura trabajar con una dosificación de 1.5 onz. x BC.
- Una onz = 24 gr      1 onz = 28 CC      1 galón = 3750 CC

# Z - ADITIVOS S.A.

FABRICANTE DE ADITIVOS PARA LA CONSTRUCCION

---

## CURET Z.

30

### CRIPCION:

ador de color blanco que forma una película transparente que evita el poramiento del agua del concreto. Además la película que forma evita el concreto absorva la humedad e impureza del medio ambiente

TM 309 INTITEC 339- C88

### TAJAS.

Curador de concreto

Sellador del concreto

Cumple doble función

No mancha el concreto

No tóxico

No produce fisuramiento

La película que se forma es compatible con pintura látex

Para tarrajear aplicar directamente sobre la membrana del curet Z.

### S:

Se emplea en columnas, vigas, placas, y en todo elemento de concreto previo curado con agua al decencofrar opcional

Placas, columnas sin pigmento acabado transparente

Zonas frías y altas temperaturas

### CACION:

Líquido que viene listo para usarse con mochila pulverizadora, brocha Rodillo etc.

Agitese antes de usar

Canales = Pigmentado de color blanco refractario a los rayos solares



# **Z - ADITIVOS S.A.**

## **FABRICANTES DE ADITIVOS PARA LA CONSTRUCCION**

---

### **CUIDADOS:**

- Mantener el equipo que se use limpio y lavado el tanque y las boquillas.
- No excederse de 20 M<sup>2</sup> por galón

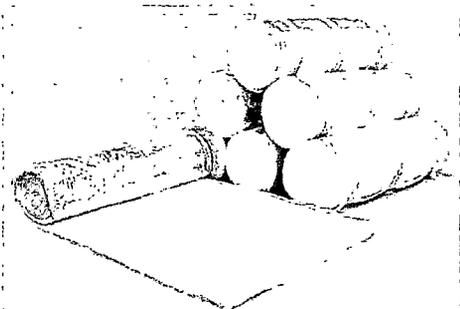
### **ENVASES:**

- 5 galones; 55 galones.

# **Aislamientos Térmicos y Acústicos para la Industria**



Somos una empresa que trabaja hace más de 20 años en el mercado de la aislación térmica y acústica, siendo líderes en el sector industrial. Trabajamos con la gama completa de aislantes nacionales e importados para frío, calor y sonido:

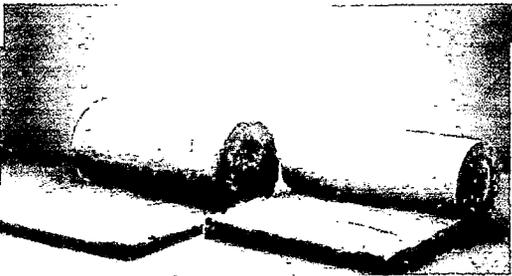


*Colchoneta de lana de vidrio aglutinada con foil de aluminio.*

- Lana de vidrio
- Silicato de calcio
- Teknopor
- Poliuretano
- Lana cerámica
- Lana mineral, etc.

Nuestro personal especializado estará a su disposición para la instalación de los materiales que ofertamos y de los acabados que estos pueden llevar, tales como: planchas metálicas, plástico reforzado con fibra de vidrio, cemento, etc.

Somos representantes exclusivos de: LANA DE VIDRIO S.A. "LAVISA", fabricantes de lana de vidrio, uno de los productos con más bajo coeficiente de conductividad térmica y por lo tanto uno de los mejores elementos aislantes.



*Rollos flexibles de Lana Mineral de baja densidad.*

Son dos las razones principales por las cuales debemos aislar:

- 1. Para mantener condiciones estables que eviten la pérdida o ganancia de calor, a fin de poder efectuar el proceso requerido.
- 2. Minimizar las pérdidas de energía, a fin de reducir los costos de operación y producción.

Existen otras razones de igual importancia tales como:

- Aumentar la eficiencia de los equipos y su tiempo de vida útil.
- Evitar quemaduras y riesgos potenciales de incendio controlando la temperatura superficial.
- Evitar la condensación del vapor de agua sobre las superficies frías.
- Proteger los equipos del fuego o de abusos mecánicos.
- Controlar el ruido.



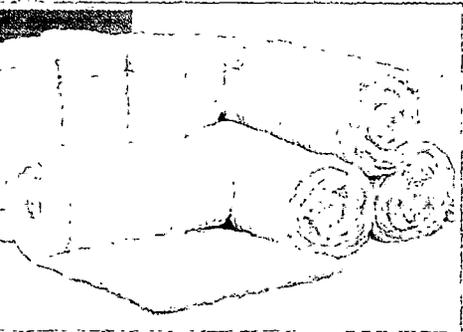
*Central Térmica de Ventanilla.*

Está constituida por fibras de vidrio de pequeño diámetro, que entrelazadas entre si encierran millones de espacios de aire inmóvil y estanco, siendo esta característica la que le confiere sus excelentes propiedades de aislante térmico y absorbente acústico.

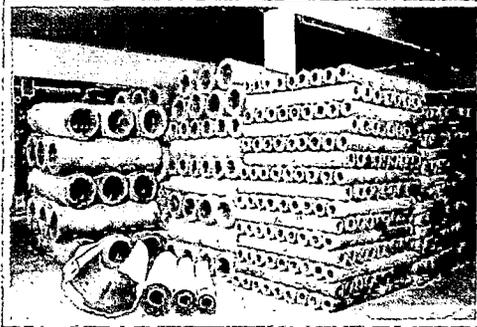
- No son combustibles ni inflamables. En caso de incendio no desprenden gases tóxicos.
- Son inorgánicos y químicamente neutras.
- No producen ni aceleran la corrosión de metales y no lo atacan hongos ni bacterias.
- Amplio rango de temperatura de trabajo de -40°C hasta 550°C, variando su coeficiente de conductividad entre 0,028 y 0,079 Kcal/mh°C entre 0° y los 200°C de temperatura media.
- Son dimensionalmente estables no se contraen, dilatan ni deforman con los cambios de temperatura.

- Está comprobado clínicamente que la fibra de vidrio es totalmente inerte, por lo que no produce efectos nocivos a la salud.
- Alta eficiencia térmica permite obtener ahorros de hasta el 96% de la pérdida de energía.

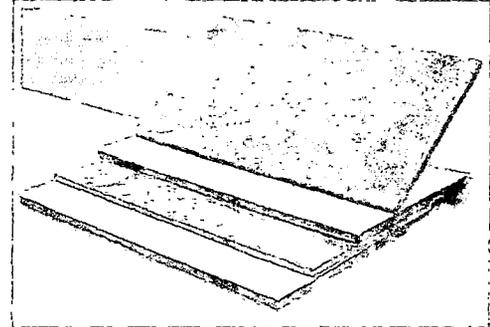
La lana de vidrio se presenta en forma de Preformados (Medias Cañas), Colchonetas (Mantas), y Paneles Rígidos.



Colchonetas cosidas



Preformados



Paneles Rígidos

### Características

La lana de vidrio es moldeada en forma y dimensiones standard, para la aislación térmica de tuberías que operan a temperaturas de hasta 250° C.

KOSTEC AISLAMIENTO MINIMO PARA TUBERIAS						
INSTALACION DE CALEFACCION, VAPOR Y AGUA CALIENTE	RANGO DE TEMPERATURA DE FLUIDO °C	ESPESOR DE AISLACION SEGUN DIAMETRO DE TUBERIAS				
		1" ó menos	1 1/4" a 2"	2 1/2" a 4"	5" a 6"	8" a más
VAPOR DE ALTA PRESION	151 - 232	1 1/2"	2"	2 1/2"	4"	4"
VAPOR DE MEDIA PRESION	122 - 151	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"	3"
VAPOR DE BAJA PRESION	94 - 121	1"	1 1/2"	1 1/2"	2"	2"
BAJA TEMPERATURA	49 - 93	3/4"	1"	1"	1"	1 1/2"
CONDENSADO	CUALQUIERA	1"	1 1/2"	1 1/2"	1 1/2"	2"
AGUA REFRIGERADA	4,5 - 13	1"	1"	1"	1"	1"

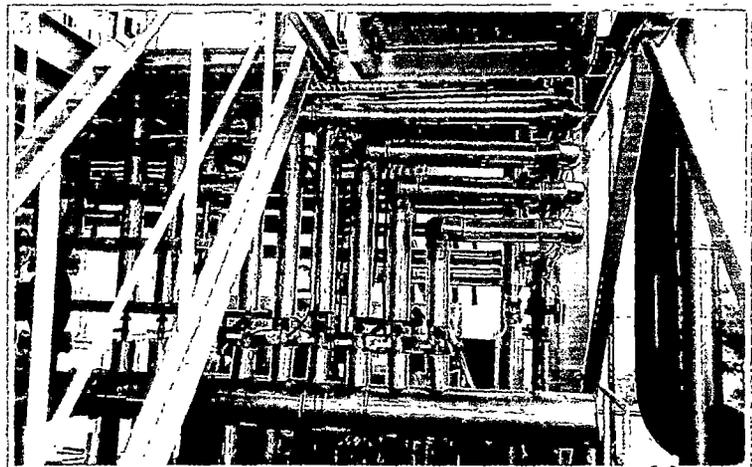
### Características

Por ser preformados como tubos abisagrados longitudinalmente, su montaje en obra es sencillo y rápido, al contarse con un único elemento por tramo a revestir, no presentan problemas de hermanado de medias cañas.

Conductividad térmica : 0,030 Kcal / mh° C a 50° C.  
Densidad : 90Kg/m3

### Presentación

En tubos ( tramos ) de 1 m de largo para diámetros de tubería de 3/8" hasta 12", y espesores nominales de 3/4; 1; 1 1/2; 2; 2 1/2 y 3" con recubrimiento de tocuyo y 2 abrazaderas por tramo.



Planta de Desodorización COPSA - ALICORP

### Características

se conforman de una capa de lana de vidrio pespunteada con hilo de algodón. es un producto diseñado especialmente para el aislamiento de tuberías de vapor a alta presión y fluidos que funcionan a temperaturas hasta de 550° C, así como para calderas, secadores, tanques, etc.

**Características**

El poco peso y facilidad de manejo del material, agilizan la ejecución del aislamiento de equipos grandes y de formas irregulares.

Conductividad térmica : 0,035 Kcal / mh° C a 50° C.

Densidad : 40,60Kg/m3 y otros

**Dimensiones**

Rollos de 1 m de ancho por 5 m de largo, en espesores de 1" hasta 6"; a fin de facilitar y proveer una mejor sujeción y amarre se le puede agregar una malla metálica o fabricarse en medidas especiales.

**PANELES RIGIDOS**

Están constituidos por lana de vidrio aglomerada con una resina

que proporciona resistencia y dimensiones

constantes dentro de las tolerancias de fabricación,

lo que los hace autoportantes.

**Usos :**

- Aislación térmica de tanques de gran diámetro o superficies planas con temperaturas de trabajo de hasta 250° C.

- Tratamientos fonoabsorbentes exigentes en paredes y cielos rasos de salas de grabación, estudios de radio, televisión, cines, teatros, casetas de grupos electrógenos, etc.

- Construcción de pantallas y cabinas fonoabsorbentes en industrias y comercio.

- Aislación termoacústica de tabiques para oficinas, hospitales, escuelas e industrias.

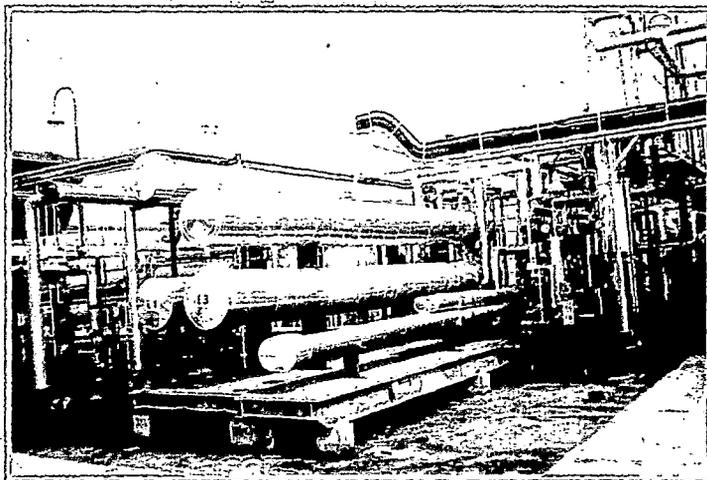
Dimensiones : 2' x 4' en espesores de 1/2" hasta 2".

Densidad : 100Kg/m3

Resistencia Térmica : 4.4

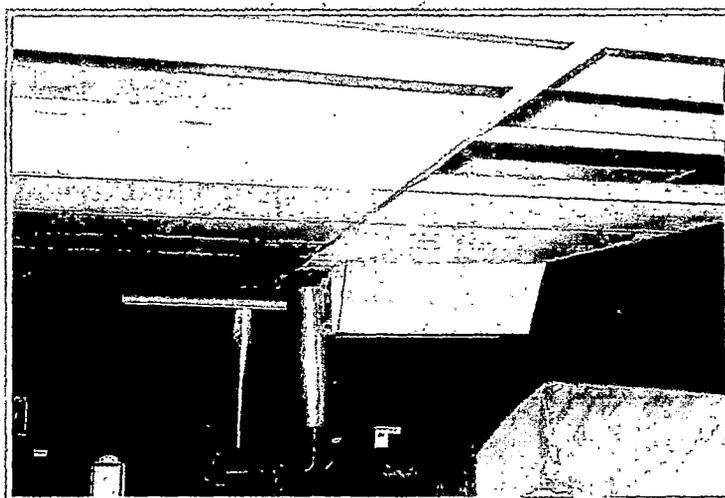
**SERVICIO TECNICO**

Nuestro departamento técnico estará siempre a su servicio para asesorarlo o aclararle cualquier duda que se le pueda presentar, sin compromiso ni costo alguno.



Aislamiento general. Refinería "El Milagro" - Bagua

FRECUENCIA		COEFICIENTE DE ABSORCION (Sab/m2)					
		125	250	500	1000	2000	4000
ESPESOR	1"	0.38	0.90	0.91	1.00	0.99	1.01
ESPESOR	1 1/2"	0.45	0.97	0.99	1.00	1.00	1.00



Aislamiento de sala de Grupos Electrógenos - Resonancia Magnética S.A.

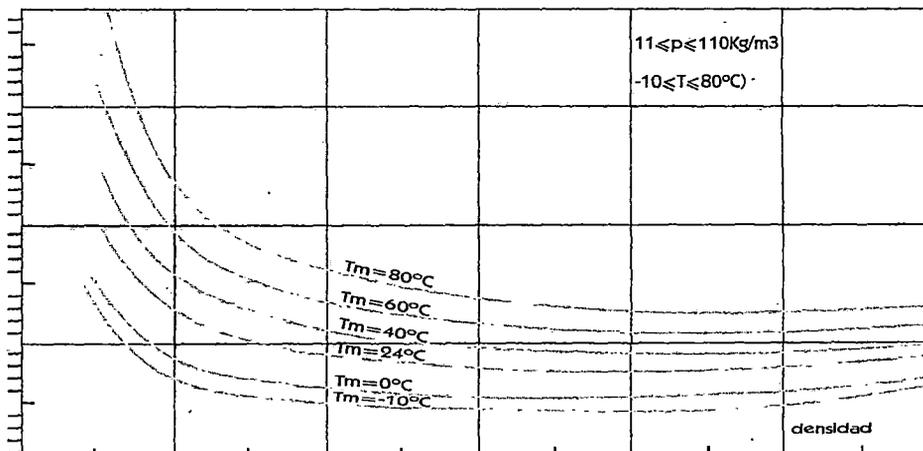


**CONDUCTIVIDAD TERMICA DE LA LANA DE VIDRIO EN FUNCION A SU DENSIDAD Y TEMPERATURA MEDIA**

**COEFICIENTE DE CONDUCTIVIDAD**

kcal/mh°C

0'055  
0'050  
0'045  
0'040  
0'035  
0'030  
0'025  
0'020



densidad

0 20 40 60 80 100 Kg/m3

**\*PERDIDA DE GALONES DE PETROLEO N°6/AÑO SIN AISLAMIENTO**

**PERDIDA EN GALONES DE PETROLEO**  
N°6/Año ( 8320h.) por m.o.m<sup>2</sup>  
de superficies sin aislamiento.  
Considerando que la velocidad del viento  
es de 4.6m/seg., la temperatura ambiental  
es de 21°C, la emittancia es la de un  
cuerpo opaco.

Ø NOM.PULG.	TEMPERATURAS (°C)					
	93	186	280	373	466	550
1/2	72.70	193.88	339.28	521.04	760.35	1,069.34
1	93.91	254.46	454.40	714.92	1,060.26	1,514.65
2	136.32	375.63	687.65	1,105.69	1,072.37	2,453.73
3	187.82	490.75	908.79	1,487.39	2,287.12	3,377.67
4	224.17	624.04	1,096.61	1,814.55	2,814.22	4,186.49
5	260.52	730.06	1,360.16	2,150.80	3,362.52	5,025.61
6	293.84	830.03	1,557.06	2,580.96	3,898.71	5,852.61
8	354.43	1,014.82	1,920.58	3,208.03	5,034.70	7,373.32
10	418.04	1,202.63	2,293.18	3,859.33	6,088.90	9,154.55
12	475.60	1,375.30	2,635.49	4,465.19	7,079.48	10,687.37
16	566.48	1,647.94	3,186.82	5,437.60	8,678.95	13,168.37
20	672.50	1,975.10	3,850.24	6,615.99	10,623.76	16,197.67
24	778.53	2,308.33	4,531.83	7,779.24	12,547.36	19,199.71

SUPERFICIE PLANA						
VERTICAL	287.88	893.41	1,915.86	3,583.55	6,104.94	9,777.83
HORIZ. CALOR ARRIBA	297.80	972.41	2,064.76	3,792.01	6,372.96	10,115.34
HORIZ. CALOR ABAJO	277.95	804.07	1,697.47	3,255.97	5,678.09	9,261.64

**\*ESPEORES ECONOMICOS PARA AISLAMIENTOS**

**ESPEORES ECONOMICOS (pulg.)**  
para un costo de US\$ 30.00  
por millon de Kcal.  
Velocidad del viento 4.6 m/s.

Ø NOM.PULG.	TEMPERATURAS (°C)					
	93	186	280	373	466	550
1/2	1	1.5	2.5	3	3	3
1	1	2	3	3	4	4
2	1.5	2.5	3	4	4	4
3	1.5	2.5	4	4	4	4
4	1.5	3	4	4	4	6
5	1.5	3	4	4	4	6
6	1.5	3	4	4	6	6
8	1.5	3	4	4	6	6
10	1.5	4	4	4	6	6
12	2	4	4	4	6	6
16	2	4	4	6	6	8
20	2	4	4	6	6	8
24	2	4	4	6	6	8

SUPERFICIE PLANA						
VERTICAL	2.5	4	4	6	10	10
HORIZ. CALOR ARRIBA	2.5	4	4	6	10	10
HORIZ. CALOR ABAJO	2.5	4	4	6	10	10

**AHORRO EN GALONES DE PETROLEO N°6 AÑO/m**

**AHORRO EN GALONES BUNKER 6/ m. año**  
utilizando el espesor de aislamiento  
recomendado para un costo de US\$ 30.00  
por millon de Kcal y la pérdida con  
una velocidad del viento de 4.6m/s.

Ø NOM.PULG.	TEMPERATURAS (°C)					
	93	186	280	373	466	550
1/2	66.64	181.76	321.11	496.81	724.00	1,017.85
1	87.85	242.34	436.22	684.62	1,017.85	1,460.12
2	130.26	360.49	660.39	1,069.34	1,623.71	2,378.00
3	178.73	469.54	881.53	1,441.95	2,220.48	3,283.76
4	212.05	605.86	1,063.28	1,760.02	2,735.46	4,101.67
5	248.40	705.83	1,323.80	2,090.22	3,274.67	4,931.70
6	278.70	805.79	1,514.65	2,511.29	3,819.95	5,743.55
8	339.28	981.49	1,869.08	3,126.24	4,940.79	7,246.09
10	399.87	1,172.34	2,232.59	3,762.39	5,979.84	9,006.11
12	457.42	1,338.95	2,568.85	4,353.11	6,958.30	10,517.73
16	542.24	1,605.53	3,102.00	5,337.63	8,533.54	13,004.79
20	645.24	1,923.61	3,747.25	6,497.85	10,448.06	16,003.80
24	745.21	2,247.74	4,413.69	7,639.90	12,344.40	18,978.57

SUPERFICIE PLANA						
VERTICAL	277.95	873.55	1,866.23	3,523.99	6,045.38	9,708.34
HORIZ. CALOR ARRIBA	287.88	943.04	2,015.13	3,732.45	6,323.33	10,045.85
HORIZ. CALOR ABAJO	258.09	774.28	1,647.84	3,196.41	5,628.46	9,192.15

## CUADRO A1

### PESO ESPECIFICO DE LA ARENA

: CURADO Y PROTECCIÓN DE CONCRETOS COLOCADOS EN CLIMAS FRÍOS

LABORATORIO : LEM (LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES FIC - UNI)

ORIGEN : CANTERA TRAPICHE

DESCRIPCION	UNIDAD	PRUEBA N°			
		1	2	3	4
ARENA SSS	gr.	500.00	500.00		
AGUA	cm <sup>3</sup>	500.00	500.00		
AGUA + MUESTRA	cm <sup>3</sup>	680.00	690.00		
AGUA DESPLAZADO	cm <sup>3</sup>	180.00	190.00		
ARENA SECA.	gr.	489.00	493.50		
PESO ESPECIFICO	gr/cm <sup>3</sup>	2.72	2.60		
PESO ESPECIFICO PROMEDIO gr/cm <sup>3</sup>			2.66		

## CUADRO A2

### ABSORCION DE LA ARENA

: CURADO Y PROTECCIÓN DE CONCRETOS COLOCADOS EN CLIMAS FRÍOS

LABORATORIO : LEM (LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES FIC - UNI)

ORIGEN : CANTERA TRAPICHE

DESCRIPCION	UNIDAD	PRUEBA N°			
		1	2	3	4
ARENA SATURADA SSS.	gr.	500.00	500.00		
ARENA SECA	gr.	489.00	493.50		
AGUA	gr.	11.00	6.50		
ABSORCION	%	2.25	1.32		
ABSORCION PROMEDIO %			1.78		

## CUADRO A3

### PESO ESPECIFICO DE LA PIEDRA

**TESIS** : CURADO Y PROTECCIÓN DE CONCRETOS COLOCADOS EN CLIMAS FRÍOS  
**LABORATORIO** : LEM (LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES FIC - UNI)  
**PROCEDENCIA** : CANTERA GLORIA

DESCRIPCION	UNIDAD	PRUEBA N°			
		1	2	3	4
PESO MUESTRA SSS	gr.	496.50	496.00		
VOLUMEN DE AGUA	cm3	500.00	500.00		
VOLUMEN DE AGUA + MUESTRA	cm3	680.00	680.00		
VOLUMEN DESPLAZADO	cm3	180.00	180.00		
PESO MUESTRA SECA	gr.	496.50	496.00		
PESO ESPECIFICO SSS.	gr/cm3	2.76	2.76		
PESO ESPECIFICO SSS. PROMEDIO gr/cm3			2.76		

## CUADRO A4

### ABSORCION DE LA PIEDRA

**TESIS** : CURADO Y PROTECCIÓN DE CONCRETOS COLOCADOS EN CLIMAS FRÍOS  
**LABORATORIO** : LEM (LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES FIC - UNI)  
**PROCEDENCIA** : CANTERA GLORIA

DESCRIPCION	UNIDAD	PRUEBA N°			
		1	2	3	4
PESO MUESTRA SSS.	gr.	499.00	499.00		
PESO MUESTRA SECA	gr.	496.50	496.00		
PESO DEL AGUA	gr.	2.50	3.00		
ABSORCION	%	0.50	0.60		
ABSORCIÓN PROMEDIO %			0.55		

## CUADRO A5

### ENSAYO DE PESOS UNITARIOS ARENA

**TESIS** : CURADO Y PROTECCIÓN DE CONCRETOS COLOCADOS EN CLIMAS FRÍOS  
**LABORATORIO** : LEM (LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES FIC - UNI)  
**PROCEDENCIA** : CANTERA TRAPICHE

DESCRIPCION	UNIDAD	S U E L T O			C O M P A C T A D O		
PESO MUESTRA + MOLDE	Kg	7.5985	7.5805	7.5775	8.0105	8.0240	8.0260
PESO DEL MOLDE	kg	2.7750	2.7750	2.7750	2.7750	2.7750	2.7750
PESO MUESTRA NETA	kg	4.8235	4.8055	4.8025	5.2355	5.2490	5.2510
VOLUMEN DEL MOLDE (1/10 pie <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup>	0.0028	0.0028	0.0028	0.0028	0.0028	0.0028
PESO UNITARIO	kg/m <sup>3</sup>	1703.4	1697.0	1696.0	1848.9	1853.7	1854.4
PESO UNITARIO PROMEDIO	kg/m <sup>3</sup>	1698.8			1852.3		

## CUADRO A6

### ENSAYO DE PESOS UNITARIOS PIEDRA

**TESIS** : CURADO Y PROTECCIÓN DE CONCRETOS COLOCADOS EN CLIMAS FRÍOS  
**LABORATORIO** : LEM (LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES FIC - UNI)  
**PROCEDENCIA** : CANTERA GLORIA

MUESTRA N°	UNIDAD	S U E L T O			C O M P A C T A D O		
PESO MUESTRA + MOLDE	kg.	20.35	20.15	20.45	21.65	21.60	21.55
PESO DEL MOLDE	kg.	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00
PESO MUESTRA NETA	kg.	13.35	13.15	13.45	14.65	14.60	14.55
VOLUMEN DEL MOLDE	m <sup>3</sup>	0.0094	0.0094	0.0094	0.0094	0.0094	0.0094
PESO UNITARIO	kg/m <sup>3</sup>	1415.7	1394.5	1426.3	1553.6	1548.3	1542.9
PESO UNITARIO PROMEDIO	kg/m <sup>3</sup>	1412.2			1548.3		

## CUADRO A7

### CONTENIDO DE HUMEDAD ARENA

TESIS : CURADO Y PROTECCIÓN DE CONCRETOS COLOCADOS EN CLIMAS FRÍOS  
LABORATORIO : LEM (LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES FIC - UNI)  
PROCEDENCIA : CANTERA GLORIA

DESCRIPCION	UNIDAD	PRUEBA N°	
		1	2
PESO MUESTRA HUMEDA	gr.	500.00	500.00
PESO MUESTRA SECA	gr.	495.50	498.00
PESO DEL AGUA	gr.	4.50	2.00
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	0.91	0.40
HUMEDAD PROMEDIO %		0.65	

## CUADRO A8

### CONTENIDO DE HUMEDAD PIEDRA

TESIS : CURADO Y PROTECCIÓN DE CONCRETOS COLOCADOS EN CLIMAS FRÍOS  
LABORATORIO : LEM (LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES FIC - UNI)  
PROCEDENCIA : CANTERA GLORIA

DESCRIPCION	UNIDAD	PRUEBA N°	
		1	2
PESO MUESTRA HUMEDA	gr.	500.00	500.00
PESO MUESTRA SECA	gr.	499.00	498.00
PESO DEL AGUA	gr.	1.00	2.00
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	0.20	0.40
HUMEDAD PROMEDIO %		0.30	

## CUADRO A9

### GRANULOMETRIA DE LA ARENA

**TESIS** : CURADO Y PROTECCIÓN DE CONCRETOS COLOCADOS EN CLIMAS FRÍOS  
**LABORATORIO** : LEM (LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES FIC - UNI)  
**PROCEDENCIA** : CANTERA TRAPICHE

MALLA N°	PESO RETENIDO gr.				% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% ACUMULADO QUE PASA
	M1	M2	M3	PROMEDIO			
4	14.0	14.0	17.0	15.0	3.0	3.0	97.0
8	47.5	42.0	45.0	44.8	9.0	12.0	88.0
16	120.0	114.5	116.5	117.0	23.4	35.4	64.6
30	123.5	126	124.5	124.7	24.9	60.3	39.7
50	100.5	103.5	100	101.3	20.3	80.6	19.4
100	55.0	58.5	55.5	56.3	11.3	91.8	8.2
FONDO	39.5	41.5	41.5	40.8	8.2	100.0	0.0

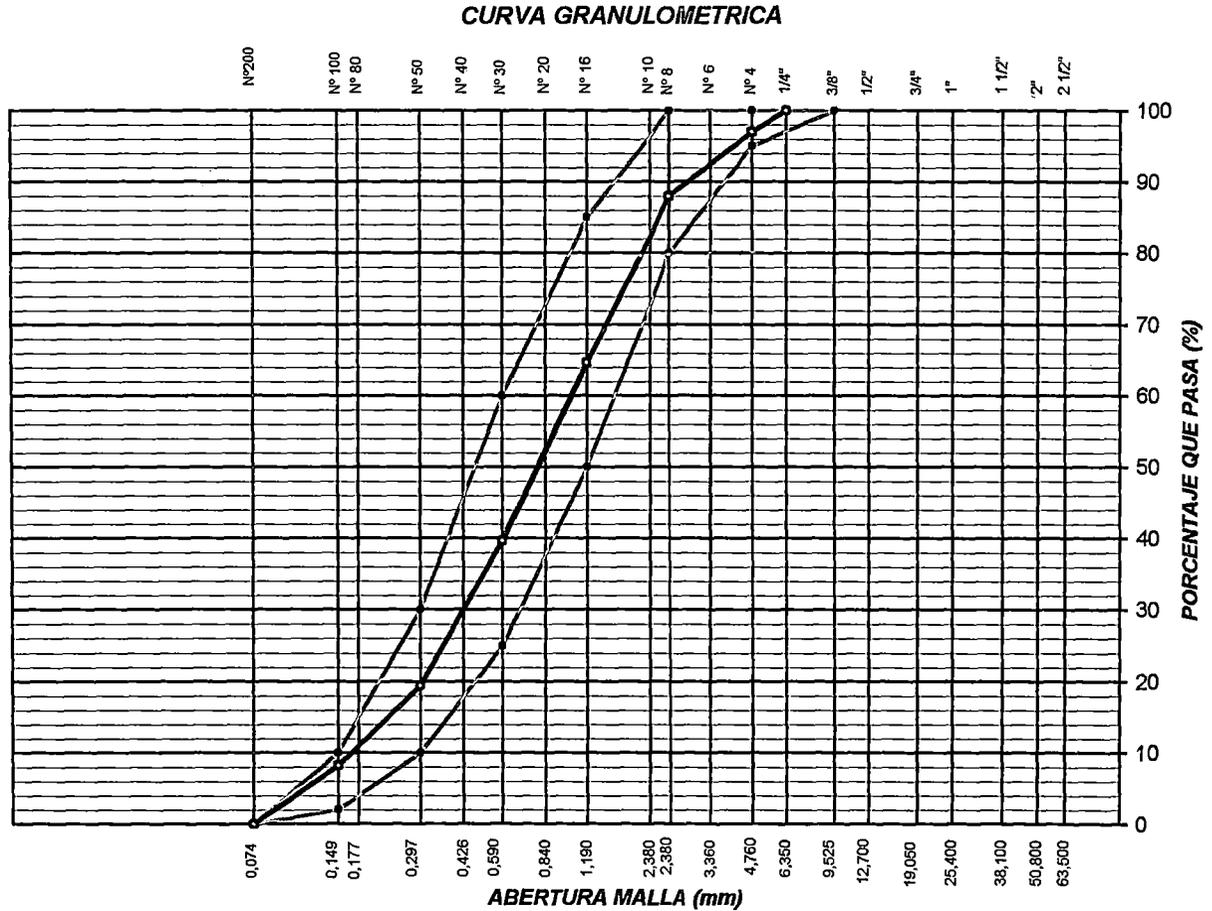
$$MF_{\text{arena}} = \frac{3.0 + 12.0 + 35.4 + 60.3 + 80.6 + 91.8}{100} = \frac{283.1}{100} = 2.83$$

# GRÁFICO A1

TESIS  
LABORATORIO  
PROCEDENCIA

: CURADO Y PROTECCIÓN DE CONCRETOS COLOCADOS EN CLIMAS FRÍOS  
: LEM (LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES UNI - FIC)  
: CANTERA TRAPICHE

MALLAS SERIE AMERICANA	ANALISIS GRANULOMETRICO						
	ABERTURA (mm)	AGREG FINO		AGREG GRUESO		ESPECIFICACIONES	
		% RET. ACUM.	% PASA ACUM.	% RET. ACUM.	% PASA ACUM.	AGREG FINO	AGREG GRUESO
2 1/2"	63.500						
2"	50.800						
1 1/2"	38.100						
1"	25.400						
3/4"	19.050						
1/2"	12.700						
3/8"	9.525					100	
1/4"	6.350		100				
N° 4	4.760	3	97			95 - 100	
N° 6	3.360						
N° 8	2.380	12	88			80 - 100	
N° 10	2.000						
N° 16	1.190	35	65			50 - 85	
N° 20	0.840						
N° 30	0.590	60	40			25 - 60	
N° 40	0.426						
N° 50	0.297	81	19			10 - 30	
N° 80	0.177						
N° 100	0.149	92	8			2 - 10	
N° 200	0.074	100	0				



50%

**ARENA**  
MODULO DE FINURA : 2.83

## CUADRO A10

### GRANULOMETRIA DE LA PIEDRA

**TESIS** : CURADO Y PROTECCIÓN DE CONCRETOS COLOCADOS EN CLIMAS FRÍOS  
**LABORATORIO** : LEM (LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES FIC - UNI)  
**PROCEDENCIA** : CANTERA GLORIA

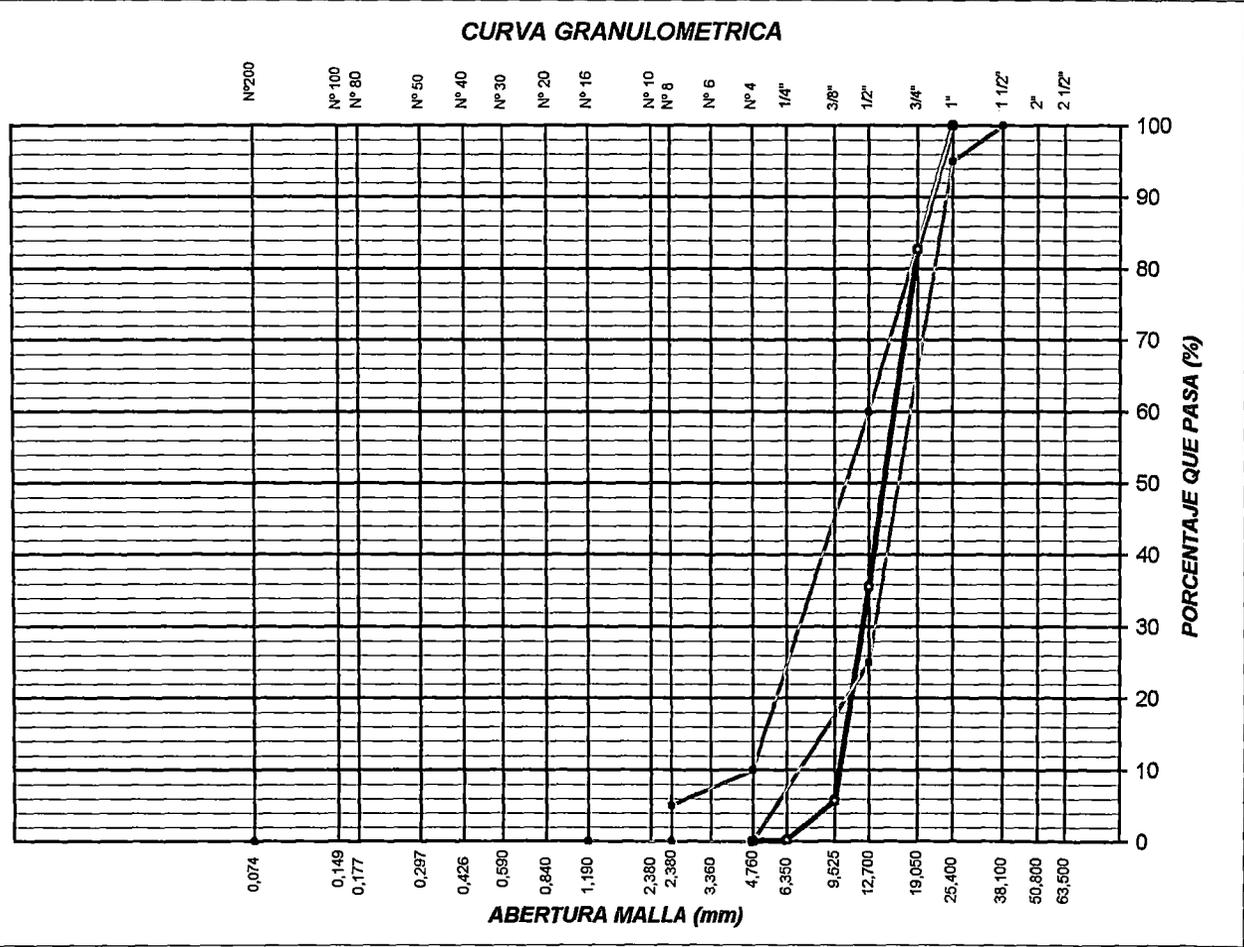
MALLA N°	PESO RETENIDO gr.				% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% ACUMULADO QUE PASA
	M1	M2	M3	PRÓMEDIO			
1	-	-	-	-	-	-	-
3/4	1906.5	1121	1113	1380.2	17.3	17.3	82.7
1/2	3567	4012.5	3745	3774.8	47.2	64.4	35.6
3/8	2130.5	2453.5	2586	2390.0	29.9	94.3	5.7
1/4	389.0	400	528	439.0	5.5	99.8	0.2
FONDO	7	13	28	16.0	0.2	100.0	0.0

$$MF_{\text{piedra}} = \frac{17.3 + 94.3 + 99.8 + 100 * 5}{100} = \frac{711.4}{100} = 7.11$$

## GRÁFICO A2

**TESIS** : CURADO Y PROTECCIÓN DE CONCRETOS COLOCADOS EN CLIMAS FRÍOS  
**LABORATORIO** : LEM (LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES UNI - FIC)  
**PROCEDENCIA** : CANTERA GLORIA

MALLAS SERIE AMERICANA	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO						
	ABERTURA (mm)	AGREG FINO		AGREG GRUESO		ESPECIFICACIONES	
		% RET. ACUM.	% PASA ACUM.	% RET. ACUM.	% PASA ACUM.	AGREG FINO	AGREG GRUESO
2 1/2"	63.500						
2"	50.800						
1 1/2"	38.100					100	
1"	25.400				100		95 - 100
3/4"	19.050			17	83		
1/2"	12.700			64	36		25 - 60
3/8"	9.525			94	6		
1/4"	6.350			100	0		
Nº 4	4.760			100	0		0 - 10
Nº 6	3.360						
Nº 8	2.380						0 - 5
Nº 10	2.000						
Nº 16	1.190						0
Nº 20	0.840						
Nº 30	0.590						
Nº 40	0.426						
Nº 50	0.297						
Nº 80	0.177						
Nº 100	0.149						
Nº 200	0.074						
-200							



**PIEDRA**

MODULO DE FINURA :

7.11

$D_{mx}^n = 1"$

## CUADRO A11

### GRANULOMETRIA DEL AGREGADO GLOBAL

TESIS : CURADO Y PROTECCIÓN DE CONCRETOS COLOCADOS EN CLIMAS FRÍOS

LABORATORIO : LEM (LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES FIC - UNI)

PROCEDENCIA : CANTERA TRAPICHE (Arena) - CANTERA GLORIA (Piedra)

MALLA N°	% RETENIDO				% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% ACUMULADO QUE PASA
	ARENA	PIEDRA	53% A.	47% P.			
1	-	-	-	-	-	-	-
3/4		17.3		8.1	8.1	8.1	91.9
1/2		47.2		22.2	22.2	30.3	69.7
3/8		29.9		14.0	14.0	44.3	55.7
1/4		5.5		2.6	2.6	46.9	53.1
4	3.0	0.2	1.6	0.1	1.7	48.6	51.4
8	9.0		4.8		4.8	53.3	46.7
16	23.4		12.4		12.4	65.7	34.3
30	24.9		13.2		13.2	79.0	21.0
50	20.3		10.7		10.7	89.7	10.3
100	11.3		6.0		6.0	95.7	4.3
FONDO	8.2		4.3		4.3	100.0	0.0

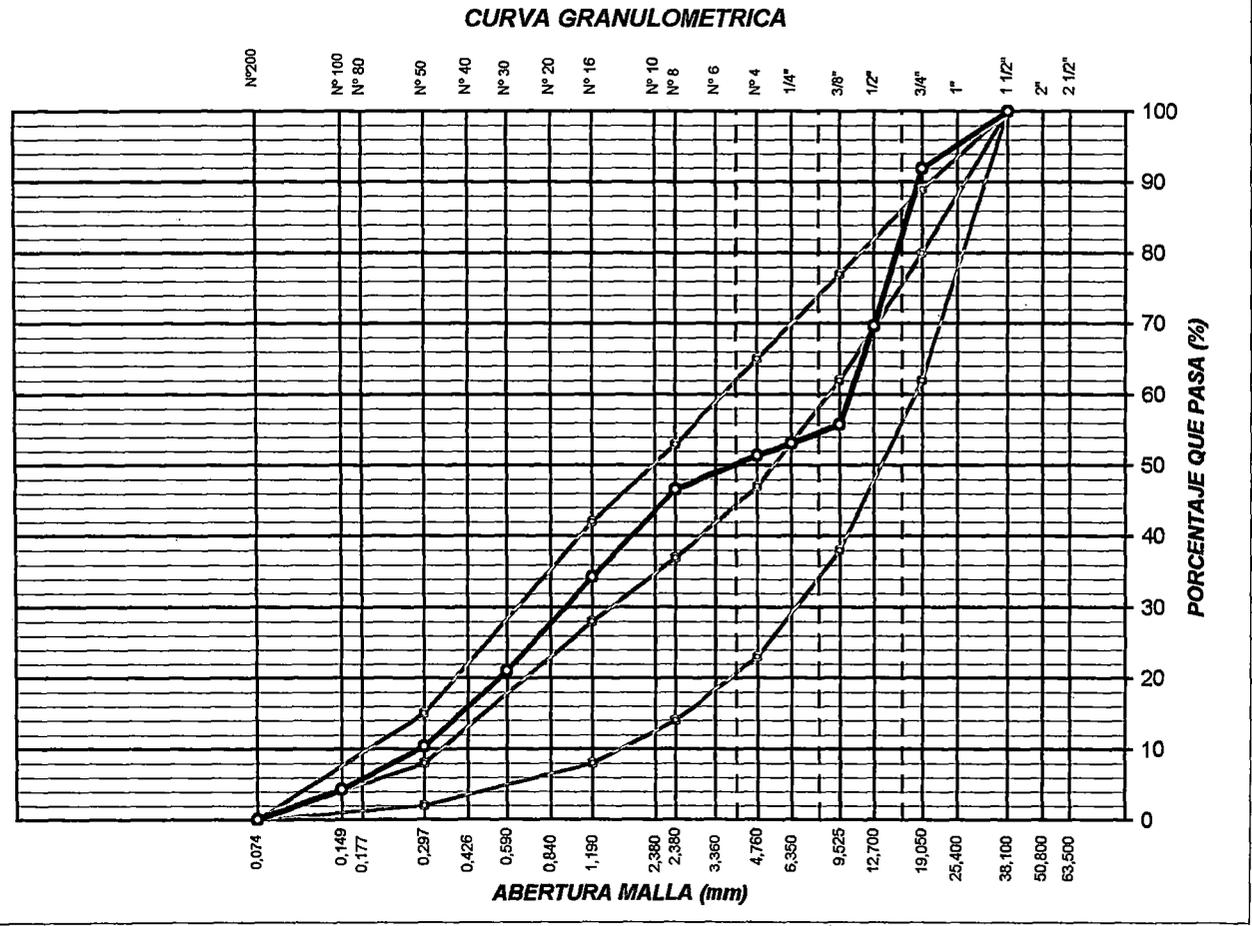
$$MF_{\text{agregado global}} = \frac{8.1 + 44.3 + 48.6 + 53.3 + 65.7 + 79 + 89.7 + 95.7}{100} = \frac{484.4}{100} = 4.84$$

### GRÁFICO A3

TESIS  
LABORATORIO  
PROCEDENCIA

: CURADO Y PROTECCIÓN DE CONCRETOS COLOCADOS EN CLIMAS FRÍOS  
: LEM (LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES UNI - FIC)  
: CANTERA TRAPICHE (Arena) - CANTERA GLORIA (Piedra)

MALLAS SERIE AMERICANA	ANALISIS GRANULOMETRICO			
	ABERTURA (mm)	AGREG GLOBAL		ESPECIFICACIONES HUSO DIN 1045 A - B - C
		% RET	% PASA	% PASA
2 1/2"	63.500			
2"	50.800			
1 1/2"	38.100		100	100 - 100 - 100
1"	25.400	0	100	
3/4"	19.050	8.1	91.9	62 - 80 - 89
1/2"	12.700	22.2	69.7	
3/8"	9.525	14.0	55.7	38 - 62 - 77
1/4"	6.350	2.6	53.1	
N° 4	4.760	1.7	51.4	23 - 47 - 65
N° 6	3.360		51.4	
N° 8	2.380	4.8	46.6	14 - 37 - 53
N° 10	2.000		46.6	
N° 16	1.190	12.4	34.2	8 - 28 - 42
N° 20	0.840		34.2	
N° 30	0.590	13.2	21	
N° 40	0.426		21	
N° 50	0.297	10.7	10.3	2 - 8 - 15
N° 80	0.177		10.3	
N° 100	0.149	6.0	4.3	
N° 200	0.074	4.3	0	
-200				



AGREGADO GLOBAL  
MODULO DE FINURA :

4.84

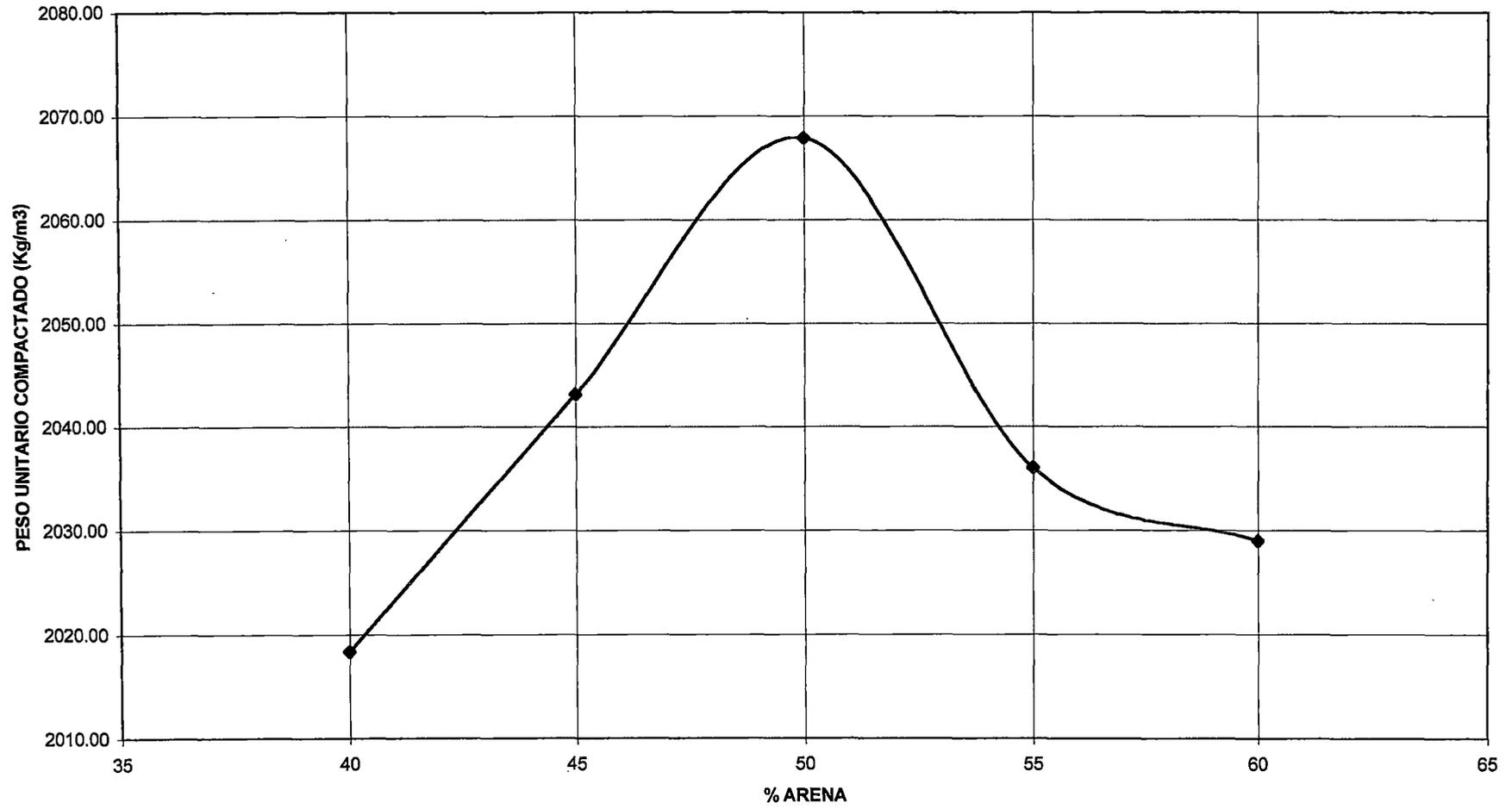
**CUADRO A12**  
**CALCULO Y RESULTADOS DEL PESO UNITARIO**  
**COMPACTADO DEL AGREGADO GLOBAL**

% Arena	% Piedra	Peso muestra compactada + vasija (Kg)			Peso muestra compactada + vasija Promedio A (Kg)	Peso vasija B (Kg)	Peso Unitario Compactado (A-B)/C (Kg/m <sup>3</sup> )
		M1	M2	M3			
40	60	26	26.1	26	26.03	7	2018.38
45	55	26.25	26.25	26.3	26.27	7	2043.12
50	50	26.5	26.5	26.5	26.50	7	2067.87
55	45	26.2	26.15	26.25	26.20	7	2036.06
60	40	26.05	26.15	26.2	26.13	7	2028.99

NOTA: C = constante = 1/3 pie<sup>3</sup> <-> 0.00943 m<sup>3</sup>

En el siguiente gráfico Peso Unitario Compactado del Agregado Global vs. % Arena se observa como varía este peso unitario compactado. El máximo valor que alcanza la curva, nos muestra la mejor combinación de agregados (fino y grueso) que garantice la máxima densidad y por consiguiente la mínima cantidad de vacíos.

GRÁFICO A4  
PESO UNITARIO COMPACTADO DEL AGREGADO GLOBAL vs. % ARENA



### CUADRO A13

#### PROPORCIONES DE MEZCLAS PARA $a/c=0.50$ Y DIFERENTES

#### COMBINACIONES DE AGREGADOS

MEZCLA DE PRUEBA	DOSIFICACIÓN POR M3 DE CONCRETO				PROPORCIONES		
	MATERIAL	VOLUMEN	PESO SECO	PESO HUMEDO	MATERIAL	PROPOR. EN PESO	TANDA 50 Kg

$a/c = 0.5$ $A = 47\%$ $P = 53\%$	CEMENTO	0.139	436.4	436.4	CEMENTO	1	9.16
	AGUA	0.216	216.0	221.6	AGUA	0.50	4.65
	ARENA	0.296	788.2	796.2	ARENA	1.825	16.71
	PIEDRA	0.334	922.3	927.8	PIEDRA	2.126	19.48
	SUMA TOTAL	0.985	2362.8	2381.9		5.459	50.00
	% DE AIRE DE DISEÑO = 1.5 %					ASENTAMIENTO = 3 1/4"	

$a/c = 0.5$ $A = 50\%$ $P = 50\%$	CEMENTO	0.140	440.4	440.4	CEMENTO	1	9.26
	AGUA	0.218	218.0	224.0	AGUA	0.50	4.71
	ARENA	0.314	834.1	842.6	ARENA	1.913	17.72
	PIEDRA	0.314	865.5	870.7	PIEDRA	1.977	18.31
	SUMA TOTAL	0.985	2358.1	2377.7		5.399	50.00
	% DE AIRE DE DISEÑO = 1.5 %					ASENTAMIENTO = 3 3/4"	

$a/c = 0.5$ $A = 53\%$ $P = 47\%$	CEMENTO	0.139	438.4	438.4	CEMENTO	1	9.22
	AGUA	0.217	217.0	223.4	AGUA	0.50	4.70
	ARENA	0.333	886.5	895.5	ARENA	2.043	18.83
	PIEDRA	0.296	815.7	820.6	PIEDRA	1.872	17.26
	SUMA TOTAL	0.985	2357.6	2377.9		5.424	50.00
	% DE AIRE DE DISEÑO = 1.5 %					ASENTAMIENTO = 3 1/4"	

$a/c = 0.5$ $A = 56\%$ $P = 44\%$	CEMENTO	0.138	434.3	434.3	CEMENTO	1	9.13
	AGUA	0.215	215.0	221.9	AGUA	0.50	4.66
	ARENA	0.354	941.6	951.1	ARENA	2.168	19.98
	PIEDRA	0.278	767.6	772.2	PIEDRA	1.767	16.23
	SUMA TOTAL	0.985	2358.5	2379.5		5.430	50.00
	% DE AIRE DE DISEÑO = 1.5 %					ASENTAMIENTO = 3 1/4"	

**NOTA :**

A = % de arena en la mezcla

P = % de piedra en la mezcla

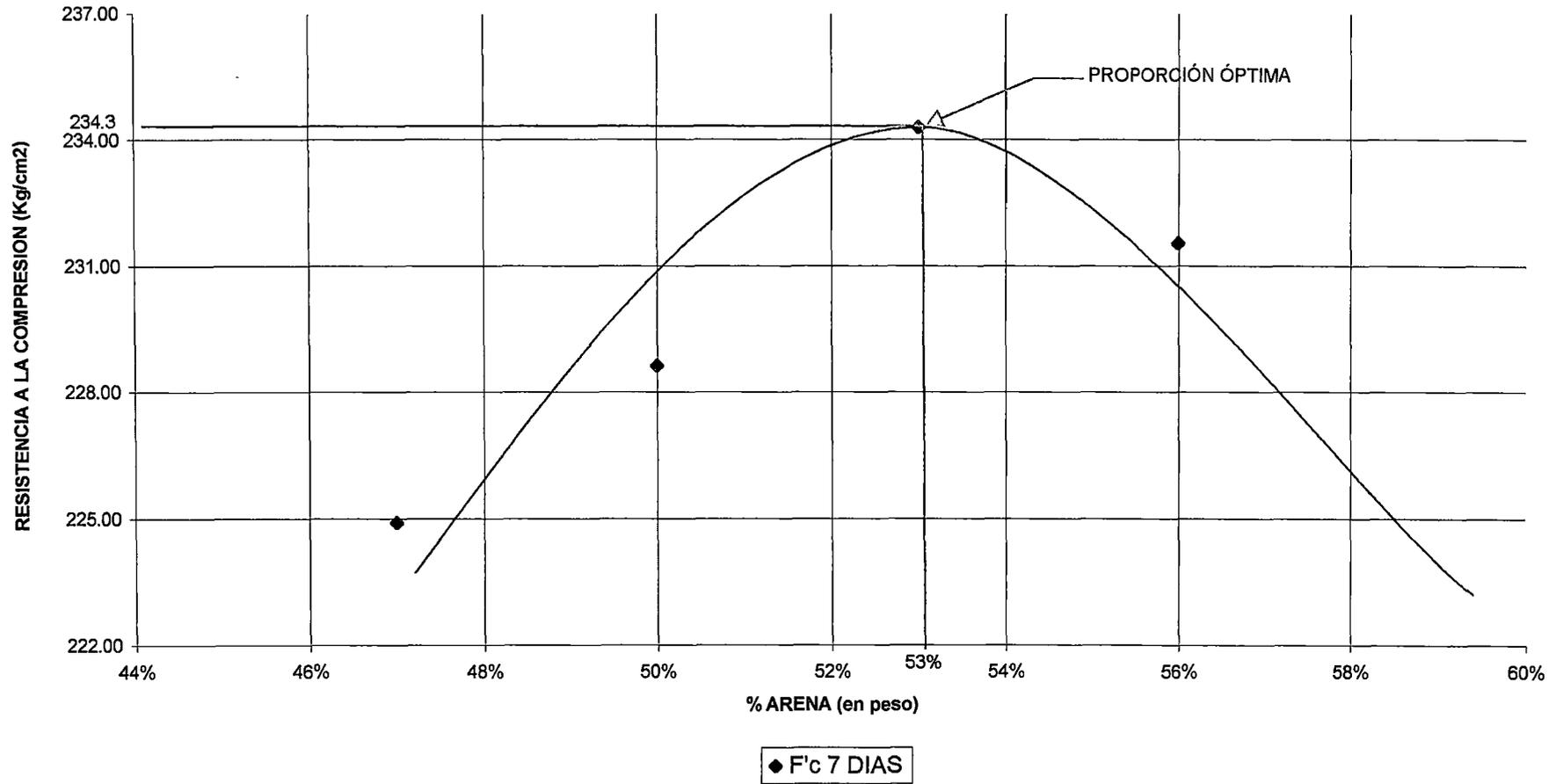
**CUADRO A14**  
**ENSAYOS DE COMPRESIÓN**

EDAD : 7 DÍAS

PARA HALLAR PROPORCIÓN ÓPTIMA DEL PORCENTAJE DE AGREGADOS

% DE AGREGADOS		RESISTENCIA A LA COMPRESION F'c (Kg/cm <sup>2</sup> )			RESISTENCIA PROMEDIO F'c (Kg/cm <sup>2</sup> )
ARENA	PIEDRA	1	2	3	
47	53	224.1	226.4	224.1	224.9
50	50	225.3	229.1	231.5	228.6
53	47	233.3	236.8	232.8	234.3
56	44	231.4	231.0	232.2	231.5

**GRÁFICO A5**  
**CURVA DE ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION A 7 DIAS PARA DIFERENTES**  
**COMBINACIONES ARENA - PIEDRA**  
**DETERMINACIÓN DE PORCENTAJE DE AGREGADOS OPTIMO**



# ANEXO B

CARACTERÍSTICA DE LOS MATERIALES EMPLEADOS

EN LA OBRA TRAMO III - VILAVILANI

TACNA

**CUADRO B1**  
**CUADRO RESUMEM DE AGREGADOS**

**PROYECTO** : TRAMO III VILAVILANI  
**OBRA** : REMODELACION CANAL UCHUSUMA  
**PROCEDENCIA** : CANTERA HUMAPALCA  
**MUESTRA** : PIEDRA TAMAÑO MAXIMO 1 1/2"

AÑO	MES	DIA
1999	DIC.	

FECHA	MUESTRA	% PASANTE TAMIZ N°													CARACTERÍSTICAS FÍSICAS								
		2"	1-1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°8	N°16	N°30	N°50	N°100	N°200	Modulo de Finoza	Humedad %	P. Especif. g/cm <sup>3</sup>	Absorción %	Peso Unitario		Intemperismo %	Abrasion %	Equivalente Arena %
																		suelto	compac.				
07/12/99	Arena						100.00	96.00	78.80	58.80	40.00	19.80	4.40		3.02	4.05	2.56	3.23	1755	1850	5.30		76
07/12/99	Grava		100		67.69		24.15	0.12								1.77	2.51	3.82	1499	1613	4.80		
07/12/99	Aq. Global		100		80.42		42.11				18.02		2.70									26.40	

## CUADRO B2

### GRANULOMETRIA DE LA ARENA

**TESIS** : CURADO Y PROTECCIÓN DE CONCRETOS COLOCADOS EN CLIMAS FRÍOS  
**PROYECTO** : TRAMO III VILAVILANI  
**OBRA** : REMODELACIÓN CANAL UCHUSUMA  
**PROCEDENCIA** : CANTERA HUMAPALCA

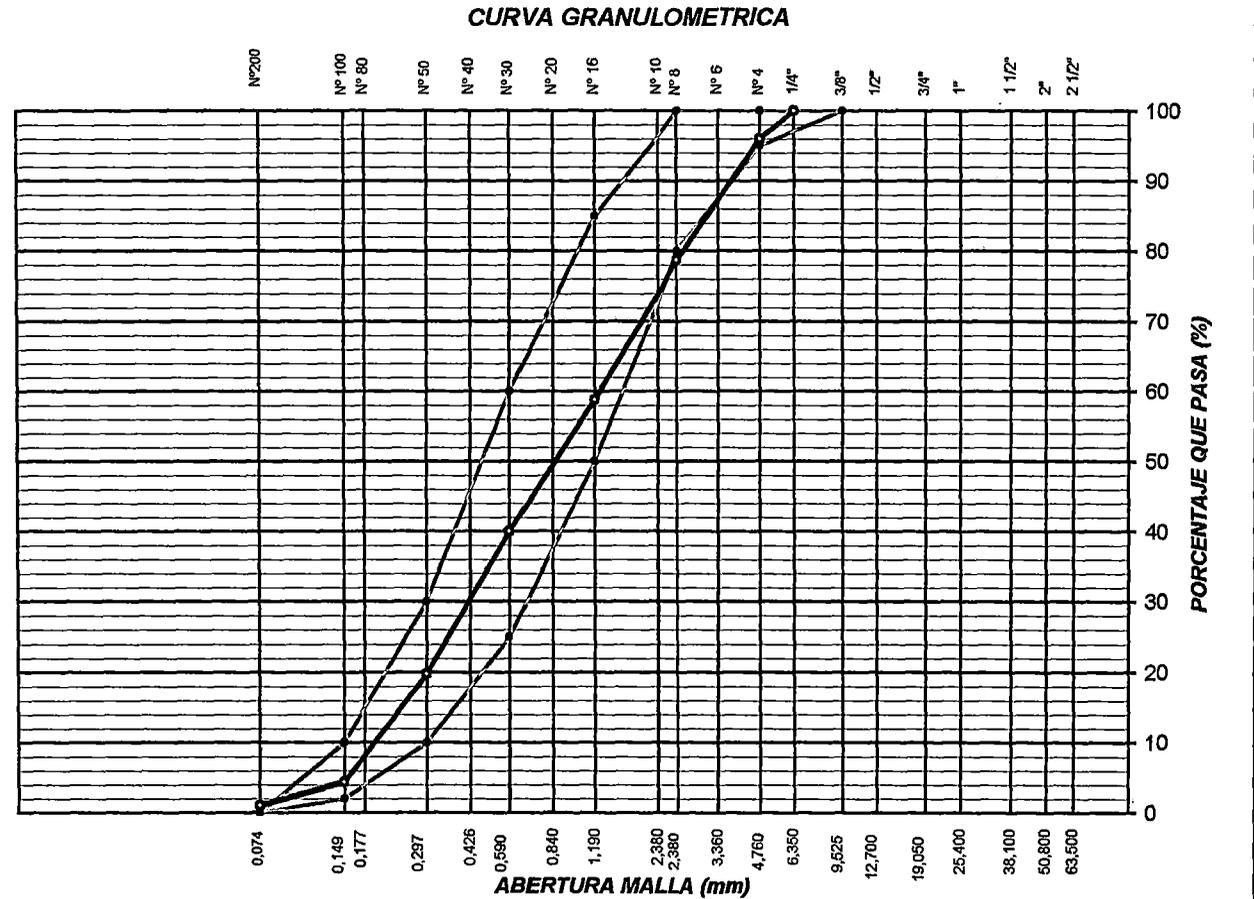
MALLA Nº	PESO RETENIDO gr	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% ACUMULADO QUE PASA
4	20.0	4.0	4.0	96.0
8	86.0	17.2	21.2	78.8
16	100.0	20.0	41.2	58.8
30	94.0	18.8	60.0	40.0
50	101.0	20.2	80.2	19.8
100	77.0	15.4	95.6	4.4
200	17	3.4	99.0	1.0
FONDO	5.0	1.0	100.0	0.0

$$MF_{\text{arena}} = \frac{4.0 + 21.2 + 41.2 + 60.0 + 80.2 + 95.6}{100} = \frac{302.2}{100} = 3.02$$

## GRÁFICO B1

**TESIS** : CURADO Y PROTECCIÓN DE CONCRETOS COLOCADOS EN CLIMAS FRÍOS  
**PROYECTO** : TRAMO III VILAVILANI  
**OBRA** : REMODELACIÓN CANAL UCHUSUMA  
**PROCEDENCIA** : CANTERA HUMAPALCA

MALLAS SERIE AMERICANA	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO						
	ABERTURA (mm)	AGREG FINO		AGREG GRUESO		ESPECIFICACIONES	
		% RET. ACUM.	% PASA ACUM.	% RET. ACUM.	% PASA ACUM.	AGREG FINO	AGREG GRUESO
2 1/2"	63.500						
2"	50.800						
1 1/2"	38.100						
1"	25.400						
3/4"	19.050						
1/2"	12.700						
3/8"	9.525					100	
1/4"	6.350		100				
N° 4	4.760	4	96			95 - 100	
N° 6	3.360						
N° 8	2.380	21	79			80 - 100	
N° 10	2.000						
N° 16	1.190	41	59			50 - 85	
N° 20	0.840						
N° 30	0.590	60	40			25 - 60	
N° 40	0.426						
N° 50	0.297	80	20			10 - 30	
N° 80	0.177						
N° 100	0.149	96	4			2 - 10	
N° 200	0.074	99	1				
N° 200		100	0				



**ARENA**  
 MÓDULO DE FINURA : 3.02

## CUADRO B3

### GRANULOMETRIA DE LA PIEDRA

**TESIS** : CURADO Y PROTECCIÓN DE CONCRETOS COLOCADOS EN CLIMAS FRÍOS

**PROYECTO** : TRAMO III VILAVILANI

**OBRA** : REMODELACIÓN CANAL UCHUSUMA

**PROCEDENCIA** : CANTERA HUMAPALCA

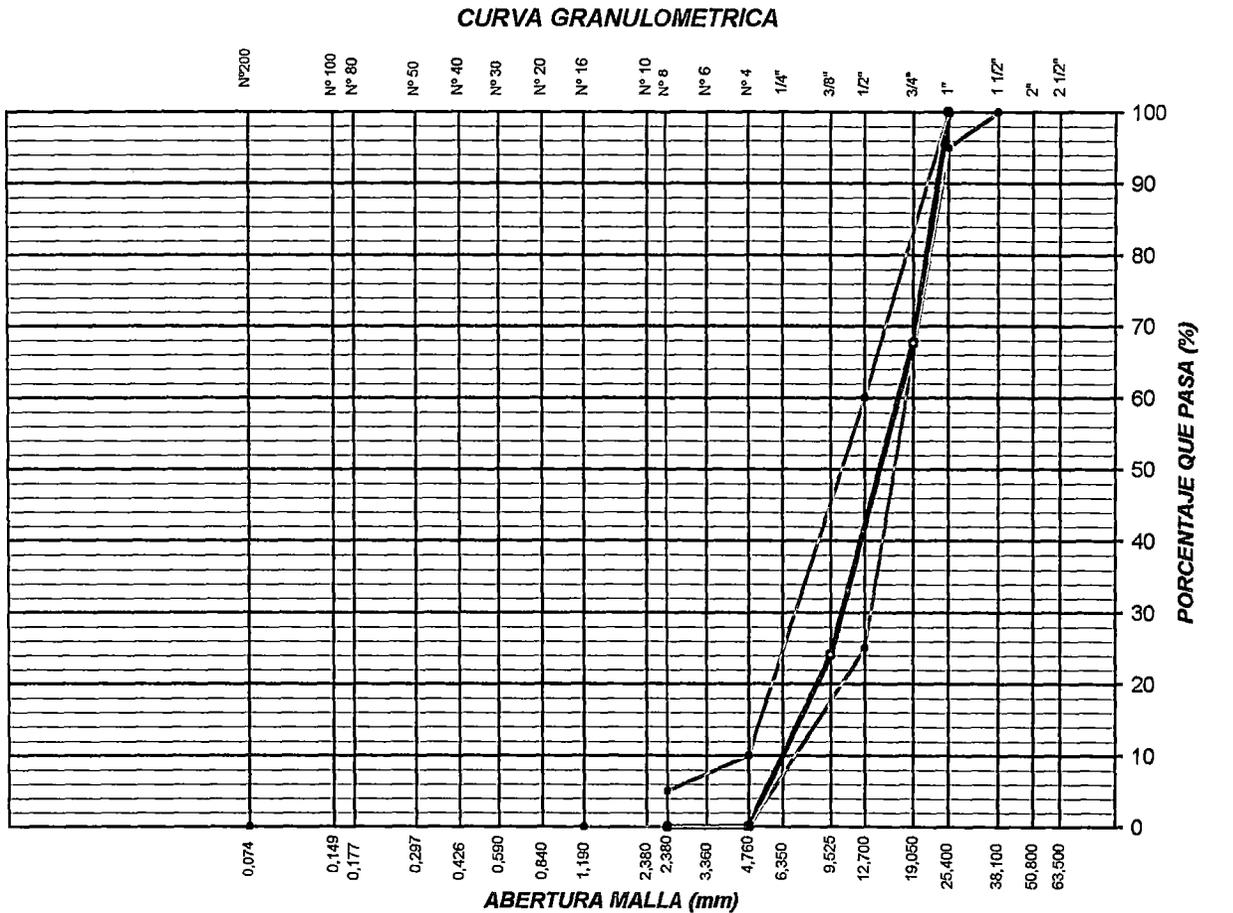
MALLA N°	PESO RETENIDO gr.	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% ACUMULADO QUE PASA
	PROMEDIO			
1	-	-	-	-
3/4	1100.0	32.3	32.3	67.7
1/2			32.3	67.7
3/8	1482.0	43.5	75.9	24.1
1/4			75.9	24.1
4	818	24.0	99.9	0.1
FONDO	4.0	0.1	100.0	0.0

$$MF_{\text{piedra}} = \frac{32.3 + 75.9 + 99.9 + 100 * 5}{100} = \frac{708.1}{100} = 7.08$$

## GRÁFICO B2

**TESIS** : CURADO Y PROTECCIÓN DE CONCRETOS COLOCADOS EN CLIMAS FRÍOS  
**PROYECTO** : TRAMO III VILA VILANI  
**OBRA** : REMODELACIÓN CANAL UCHUSUMA  
**PROCEDENCIA** : CANTERA HUMAPALCA

MALLAS SERIE AMERICANA	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO						
	ABERTURA (mm)	AGREG FINO		AGREG GRUESO		ESPECIFICACIONES	
		% RET. ACUM.	% PASA ACUM.	% RET. ACUM.	% PASA ACUM.	AGREG FINO	AGREG GRUESO
2 1/2"	63.500						
2"	50.800						
1 1/2"	38.100					100	
1"	25.400				100	95 - 100	
3/4"	19.050			32	68		
1/2"	12.700					25 - 60	
3/8"	9.525			76	24		
1/4"	6.350						
N° 4	4.760			100	0		0 - 10
N° 6	3.360						
N° 8	2.380			100	0		0 - 5
N° 10	2.000						
N° 16	1.190						0
N° 20	0.840						
N° 30	0.590						
N° 40	0.426						
N° 50	0.297						
N° 80	0.177						
N° 100	0.149						
N° 200	0.074						
Ø-200							



**PIEDRA**

MODULO DE FINURA : 7.08

$D_{mx}^n = 1"$

## CUADRO B4

### GRANULOMETRIA DEL AGREGADO GLOBAL

**TESIS** : CURADO Y PROTECCIÓN DE CONCRETOS COLOCADOS EN CLIMAS FRÍOS  
**PROYECTO** : TRAMO III VILAVILANI  
**OBRA** : REMODELACIÓN CANAL UCHUSUMA  
**PROCEDENCIA** : CANTERA HUMAPALCA (Arena - Piedra)

MALLA N°	% RETENIDO				% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% ACUMULADO QUE PASA
	ARENA	PIEDRA	45% A	55% P			
1	-	-	-	-	-	-	-
3/4		32.3		17.8	17.8	17.8	82.2
1/2							
3/8		43.5		23.9	23.9	41.7	58.3
1/4							
4	4.0	24.0	1.8	13.2	15.0	56.7	43.3
8	17.2	0.1	7.7	0.1	7.8	64.5	35.5
16	20.0		9.0		9.0	73.5	26.5
30	18.8		8.5		8.5	81.9	18.1
50	20.2		9.1		9.1	91.0	9.0
100	15.4		6.9		6.9	98.0	2.0
200	3.4		1.5		1.5	99.5	0.5
FONDO	1.0		0.5		0.5	100	0.0

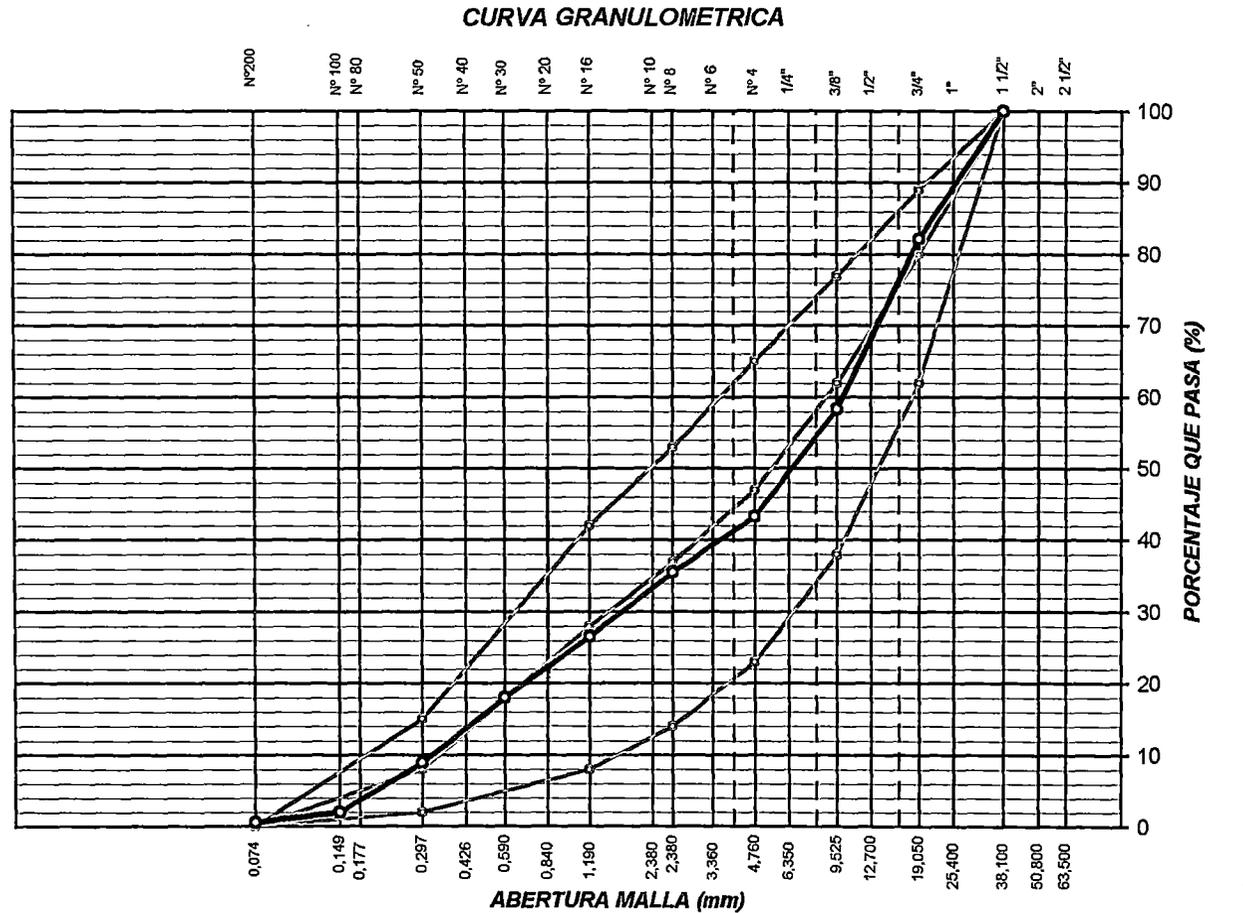
$$MF_{\text{agregado global}} = \frac{17.8 + 41.7 + 56.7 + 64.5 + 73.5 + 81.9 + 91.0 + 98.0}{100} = \frac{526.1}{100} = 5.26$$

### GRÁFICO B3

TESIS  
PROYECTO  
OBRA  
PROCEDENCIA

: CURADO Y PROTECCIÓN DE CONCRETOS COLOCADOS EN CLIMAS FRÍOS  
: TRAMO III VILAVILANI  
: REMODELACIÓN CANAL UCHUSUMA  
: CANTERA HUMAPALCA

MALLAS SERIE AMERICANA	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO			
	ABERTURA (mm)	AGREG GLOBAL		ESPECIFICACIONES HUSO DIN 1045 A - B - C
		% RET	% PASA	% PASA
2 1/2"	63.500			
2"	50.800			
1 1/2"	38.100		100	100 - 100 - 100
1"	25.400	0	100	
3/4"	19.050	17.8	82.2	62 - 80 - 89
1/2"	12.700		82.2	
3/8"	9.525	23.9	58.3	38 - 62 - 77
1/4"	6.350		58.3	
N° 4	4.760	15.0	43.3	23 - 47 - 65
N° 6	3.360		43.3	
N° 8	2.380	7.8	35.5	14 - 37 - 53
N° 10	2.000		35.5	
N° 16	1.190	9.0	26.5	8 - 28 - 42
N° 20	0.840		26.5	
N° 30	0.590	8.5	18	
N° 40	0.426		18	
N° 50	0.297	9.1	8.9	2 - 8 - 15
N° 80	0.177		8.9	
N° 100	0.149	6.9	2	
N° 200	0.074	1.5	1	
-200		0.5	-	



312

AGREGADO GLOBAL  
MODULO DE FINURA :

5.26

## CUADRO B5

### PESO ESPECIFICO DE LA PIEDRA

OBRA : REMODELACION CANAL UCHUSUMA  
 PROCEDENCIA : CANTERA HUMAPALCA

AÑO	MES	DIA
1999	DIC.	7

DESCRIPCION	UNIDAD	PRUEBA N°			
		1	2	3	4
PESO MUESTRA SSS. EN EL AIRE	gr.	761.00	841.00		
PESO MUESTRA SSS. EN EL AGUA	gr.	458.00	505.00		
VOLUMEN DESPLAZADO	cm3	303.00	336.00		
PESO ESPECIFICO SSS.	gr/m3	2.51	2.50		
PESO ESPECIFICO SSS. PROMEDIO gr/cm3				2.51	

## CUADRO B6

### ABSORCION DE LA PIEDRA

OBRA : REMODELACION CANAL UCHUSUMA  
 PROCEDENCIA : CANTERA HUMAPALCA

AÑO	MES	DIA
1999	DIC.	7

DESCRIPCION	UNIDAD	PRUEBA N°			
		1	2	3	4
PESO MUESTRA SSS.	gr.	761.00	841.50		
PESO MUESTRA SECA	gr.	733.00	810.50		
PESO DEL AGUA	gr.	28.00	31.00		
ABSORCION	%	3.82	3.82		
ABSORCION PROMEDIO %				3.82	

## CUADRO B7

### PESO ESPECIFICO DE LA ARENA

OBRA : REMODELACION CANAL UCHUSUMA  
 PROCEDENCIA : CANTERA HUMAPALCA

AÑO	MES	DIA
1999	DIC.	7

DESCRIPCION	UNIDAD	PRUEBA N°			
		1	2	3	4
PESO PICNOMETRO + AGUA + MUESTRA SSS.	gr.	1603.30	1604.30		
PESO PICNOMETRO + AGUA	gr.	1451.00	1452.20		
VOLUMEN DESPLAZADO	cm <sup>3</sup>	97.70	97.90		
PESO MUESTRA SSS.	gr.	250.00	250.00		
PESO ESPECIFICO SSS.	gr/m <sup>3</sup>	2.56	2.55		
PESO ESPECIFICO SSS. PROMEDIO gr/cm <sup>3</sup>			2.56		

## CUADRO B8

### ABSORCION DE LA ARENA

OBRA : REMODELACION CANAL UCHUSUMA  
 PROCEDENCIA : CANTERA HUMAPALCA

AÑO	MES	DIA
1999	DIC.	7

DESCRIPCION	UNIDAD	PRUEBA N°			
		1	2	3	4
PESO MUESTRA SATURADA SSS.	gr.	743.00	421.00		
PESO MUESTRA SECA	gr.	720.50	407.40		
PESO DEL AGUA	gr.	22.50	13.60		
ABSORCION	%	3.12	3.34		
ABSORCION PROMEDIO %			3.23		

## CUADRO B9

### ENSAYO DE PESOS UNITARIOS ARENA

OBRA : REMODELACION CANAL UCHUSUMA  
 PROCEDENCIA : CANTERA HUMAPALCA

AÑO	MES	DÍA
1999	DIC.	7

DESCRIPCION	UNIDAD	S U E L T O			C O M P A C T A D O		
PESO MUESTRA + MOLDE	kg.	17646.00	17600.00	17649.00	18037.00	18220.00	18200.00
PESO DEL MOLDE	kg.	8047.00	8047.00	8047.00	8047.00	8047.00	8047.00
PESO MUESTRA NETA	kg.	9599.00	9553.00	9602.00	9990.00	10173.00	10153.00
VOLUMEN DEL MOLDE	m3	0.5462	0.5462	0.5462	0.5462	0.5462	0.5462
PESO UNITARIO	kg/m3	1757	1749	1758	1829	1863	1859
<b>PESO UNITARIO PROMEDIO</b>	<b>kg/m3</b>	<b>1755</b>			<b>1850</b>		

## CUADRO B10

### ENSAYO DE PESOS UNITARIOS PIEDRA

OBRA : REMODELACION CANAL UCHUSUMA  
 PROCEDENCIA : CANTERA HUMAPALCA

AÑO	MES	DÍA
1999	DIC.	7

MUESTRA N°	UNIDAD	S U E L T O			C O M P A C T A D O		
PESO MUESTRA + MOLDE	kg.	16185.00	16262.00	16250.00	16940.00	16816.00	16818.00
PESO DEL MOLDE	kg.	8047.00	8047.00	8047.00	8047.00	8047.00	8047.00
PESO MUESTRA NETA	kg.	8138.00	8215.00	8203.00	8893.00	8769.00	8771.00
VOLUMEN DEL MOLDE	m3	0.5462	0.5462	0.5462	0.5462	0.5462	0.5462
PESO UNITARIO	kg/m3	1490	1504	1502	1628	1605	1606
<b>PESO UNITARIO PROMEDIO</b>	<b>kg/m3</b>	<b>1499</b>			<b>1613</b>		

**CUADRO B11**  
**CONTENIDO DE HUMEDAD ARENA**

OBRA : REMODELACION CANAL UCHUSUMA  
 PROCEDENCIA : CANTERA HUMAPALCA

AÑO	MES	DIA
1999	DIC.	7

DESCRIPCION	UNIDAD	PRUEBA N°			
		1	2	3	4
PESO MUESTRA HUMEDA	gr.	250.00	250.00	250.00	250.00
PESO MUESTRA SECA	gr.	228.90	229.30	228.90	228.60
PESO DEL AGUA	gr.	21.10	20.70	21.10	21.40
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	9.22	9.03	9.22	9.36
HUMEDAD PROMEDIO %				9.21	

**CUADRO B12**  
**CONTENIDO DE HUMEDAD PIEDRA**

OBRA : REMODELACION CANAL UCHUSUMA  
 PROCEDENCIA : CANTERA HUMAPALCA

AÑO	MES	DIA
1999	DIC.	7

DESCRIPCION	UNIDAD	PRUEBA N°			
		1	2	3	4
PESO MUESTRA HUMEDA	gr.	500.00	500.00	500.00	500.00
PESO MUESTRA SECA	gr.	477.20	477.80	477.40	477.50
PESO DEL AGUA	gr.	22.80	22.20	22.60	22.50
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	4.78	4.65	4.73	4.71
HUMEDAD PROMEDIO %				4.72	

# CUADRO B13

## EQUIVALENTE DE ARENA

OBRA : REMODELACION CANAL UCHUSUMA  
 PROCEDENCIA : CANTERA HUMAPALCA  
 PRUEBA : 01

AÑO	MES	DIA
1999	DIC.	11

DESCRIPCION	MUESTRA N°		
	1	2	3
HORA DE ENTRADA	4.23	4.24	4.25
HORA DE SALIDA	4.33	4.34	4.35
HORA DE ENTRADA	4.38	4.34	4.50
HORA DE SALIDA	4.58	4.59	5.00
ALTURA DE MATERIAL FINO (A)	4.5	4.8	5.2
ALTURA DE NIVEL ARENA (B)	3.5	3.5	3.7
EQUIVALENTE DE ARENA	78	73	71
EQUIVALENTE DE ARENA PROMEDIO	74		

# CUADRO B14

## EQUIVALENTE DE ARENA

OBRA : REMODELACION CANAL UCHUSUMA

PROCEDENCIA : CANTERA HUMAPALCA

PRUEBA : 02

AÑO	MES	DIA
1999	DIC.	17

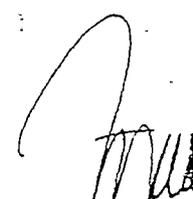
DESCRIPCION	MUESTRA N°		
	1	2	3
HORA DE ENTRADA	8.47	8.48	8.49
HORA DE SALIDA	8.57	8.58	8.59
HORA DE ENTRADA	9.19	9.21	9.23
HORA DE SALIDA	9.39	9.41	9.43
ALTURA DE MATERIAL FINO (A)	5.0	5.2	4.9
ALTURA DE NIVEL ARENA (B)	4.0	3.8	3.8
EQUIVALENTE DE ARENA	80	73	78
<b>EQUIVALENTE DE ARENA PROMEDIO</b>	<b>77</b>		



PROPIEDADES FISICAS DE AGREGADOS

Solicitante : CORPORACION SAGITARIO S.A.	Expediente : 99-291
Proyecto : CANAL VILAVILANI	
Muestra : C. QUEBRADA HUANAPALKA Profundidad: -----	Fecha : 01-Dic-99

Abrasión Los Angeles	
Granulometría empleada	B
Número de Revoluciones	500
Peso Inicial (g)	5,000.0
Peso Final >#12 (g)	3,679.0
Coefficiente de Desgaste	26.4%

  
JORGE V. ZEGARRILLO  
Jefe del Laboratorio





**DURABILIDAD DE AGREGADOS**  
(Solución de Sulfato de Sodio)

Solicitante : CORPORACION SAGITARIO S.A.	Expediente : 99-291
Proyecto : CANAL VILAVILANI	
Muestra : C. QUEBRADA HUANAPALKA	Fecha : 07-Dic-99

**AGREGADO GLOBAL**  
**FRACCIÓN GRUESA**

	Peso inicial	Desgaste (%)	Desgaste en muestra (%)
Mayor que 2 1/2"	0.0 g	0.00%	0.00%
De 2 1/2" a 1 1/2"	0.0 g	5.20%	0.00%
De 1 1/2" a 3/4"	1510.5 g	5.20%	1.48%
De 3/4" a 3/8"	1008.5 g	2.67%	1.02%
De 3/8" a #4	305.0 g	6.85%	2.27%
		$\Sigma =$	4.8%

Análisis Cualitativo (efecto sobre las partículas)

	De 2 1/2" a 1 1/2"	De 1 1/2" a 3/4"
Número Inicial de Partículas	0	56
Partículas Rajadas	0 (0%)	2 (4%)
Partículas Desmoronadas	0 (0%)	0 (0%)
Partículas Fracturadas	0 (0%)	1 (2%)
Partículas Astilladas	0 (0%)	3 (5%)

**FRACCIÓN FINA**

	Peso inicial	Desgaste (%)	Desgaste en muestra (%)
De #4 a #8	100.0 g	14.87%	2.37%
De #8 a #16	100.0 g	10.09%	1.85%
De #16 a #30	100.0 g	3.04%	0.58%
De #30 a #50	100.0 g	2.30%	0.49%
Menor que #50	-----	-----	-----
		$\Sigma =$	5.3%

JORGE V. ZEGARRA PELDÁN

Jefe del Laboratorio





### PROPIEDADES FISICAS DE AGREGADOS

licitante : CORPORACION SAGITARIO S.A.	Expediente : 99-291
ivecto : CANAL VILAVILANI	
uestra : C. QUEBRADA HUANAPALKA Profundidad: -----	Fecha : 01-Dic-99

Impurezas orgánicas por colorimetría

Nº2

JORGE V. ZEGARRA PELLANNE

Jefe del Laboratorio

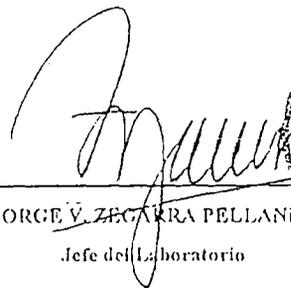




### PROPIEDADES FISICAS DE AGREGADOS

Solicitante : CORPORACION SAGITARIO S.A.	Expediente : 00-008
Proyecto : CANAL VILAVILANI - TACNA	
Muestra : HUMAPALKA FINO	Profundidad: -----
	Fecha : Enero 11, 2000

CONTENIDO DE PARTICULAS LIGERAS	1.12%
---------------------------------	-------

  
\_\_\_\_\_  
JORGE V. ZECARRA PELLANNE  
Jefe del Laboratorio



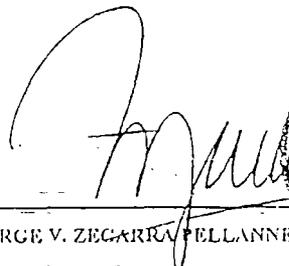


Pontificia Universidad Católica del Perú  
*Laboratorio de Mecánica de Suelos*

PROPIEDADES FISICAS DE AGREGADOS

Solicitante : CORPORACION SAGITARIO S.A.	Expediente : 00-008
Proyecto : CANAL VILAVILANI - TACNA	
Muestra : HUMAPALKA GRUESO	Profundidad: ----- Fecha : Enero 11, 2000

CONTENIDO DE PARTICULAS LIGERAS	0.79%
---------------------------------	-------

  
JORGE V. ZECARRA MELLANNE  
Jefe del Laboratorio

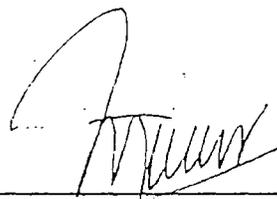




PROPIEDADES FISICAS DE AGREGADOS

Solicitante : CORPORACION SAGITARIO S.A.	Expediente : 99-291
Proyecto : CANAL VILAVILANI	
Muestra : C. QUEBRADA HUANAPALKA	Fecha : 01-Dic-99

Contenido de Arcilla (%)	0.12.
--------------------------	-------

  
\_\_\_\_\_  
JORGE V. ZEGARRA PELLANNE  
Jefe del Laboratorio





Control de Calidad

## CEMENTO "YURA" PORTLAND TIPO I

NCHA 99-05-18

### CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

	YURA S.A.	ASTM C 150-97a	NTP 334.009
Dioxido de Silicio + Residuo Insoluble, SiO <sub>2</sub> + R.I., %	22,78	No especifica	No especifica
Oxido de Aluminio, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %	4,05	No especifica	No especifica
Oxido Ferrico, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %	2,91	No especifica	No especifica
Oxido de Calcio, CaO, %	62,80	No especifica	No especifica
Oxido de Magnesio, MgO, %	2,46	6,00 Máximo	6,00 Máximo
Trioxido de Azufre, SO <sub>3</sub> , %	2,06	3,00 Máximo	3,00 Máximo
		Si C.A Menor o igual 0,00%	
Pérdida por Ignición, P.F. %	1,15	3,00 Máximo	3,00 Máximo
Residuo insoluble, %	0,50	0,75 Máximo	0,75 Máximo
Cal Libre, %	0,47	No especifica	No especifica

### CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Firma Superficie Especifica, m <sup>2</sup> /kg. (cm <sup>2</sup> /lb)	382,0	280,00 Mínimo (2800 Mínimo.g)	280,00 Mínimo (2800 Mínimo.g)
Ensayo de Prueba Bilmetro	(3820)		
Fineza, %			
Malla N° 32	16,30	No especifica	No especifica
Malla N° 200	4,60	No especifica	No especifica
Expansión en Autoclave, %	0,02	0,80 Máximo	0,80 Máximo
Tiempo de Fraguado Ensayo de Vicat, minutos			
Tiempo de Fraguado (Inicial) : No menor de	145	45	45
Tiempo de Fraguado (Final) : No mas de	165	375	375
Contenido de Aire del mortero, %	4,04	12,00 Máximo	12,00 Máximo
Consistencia Normal, %	24,00	No especifica	No especifica
Densidad, g/cm <sup>3</sup>	3,13	No especifica	No especifica
Resistencia a la Compresión, MPa, (Kgf/cm <sup>2</sup> )		Mínimo :	Mínimo :
1 día	13,73 (140)	No especifica (No especifica)	No especifica (No especifica)
3 días	22,65 (231)	12,00 (122,36)	12,00 (120,00)
7 días	30,01 (306)	19,00 (193,75)	19,00 (190,00)
28 días	Pendiente (Pendiente)	No especifica (No especifica)	No especifica (No especifica)

Arequipa, 1999 Junio 18

  
 ING. NORMA ARENAS OPORTO  
 JEFE DE CONTROL DE CALIDAD

# PRODUCT DATABASE

HOME  
The Fluid Chemical Company

MANUFACTURED BY

HOW BROWSE IT

## AIR MIX

### AIR ENTRAINING AGENT FOR CONCRETE

AIR MIX is an aqueous solution of highly purified salts of wood resins. AIR MIX is specifically formulated for use as an air entraining admixture for concrete of all types and is manufactured under rigid control which assures uniform and precise performance. It is compatible with concrete mixes containing calcium chloride, water reducing admixtures or high range water reducing admixtures.

### PRIMARY APPLICATIONS

- Ready mixed concrete
- Mass concrete construction
- Paving concrete
- Structural concrete
- Exterior concrete work exposed to freeze/thaw conditions

### FEATURES / BENEFITS

- Concrete is made more resistant to de-icing salts, sulfate attack and corrosive water
- Less mixing water can be used per yard (meter) of concrete and placeability is improved
- Minimizes bleeding and segregation

### SPECIFICATIONS / COMPLIANCES

AIR MIX meets or exceeds the requirements of the following specifications:

- Corps of Engineers Specification CRD-C-13
- ASTM Specification C-260
- AASHTO Specification M-154

### DIRECTIONS FOR USE

1/2 to 1 oz of AIR MIX per 100 lb (30-60 ml of AIR MIX per 100 kg) of cement will generally entrain 3-6% air in concrete. This amount will vary depending on type of cement, fineness of sand, temperature, design of the mix, etc. Generally, 3/4 oz (45 ml/100 kg) will produce the desired air level in concrete made with sands having an FM from 2.65 - 2.75. Concrete mixes must be tested regularly to confirm that the proper air content is achieved.

Shelf life is 2 years in original, unopened package.

## PACKAGING

AIR MIX is packaged in bulk, 275 gal (1041 liter) totes, 55 gal (208 liter) drums and 5 gal (18.9 liter) pails.

## PRECAUTIONS / LIMITATIONS

- Consult your local Euclid Chemical representative for the proper dosage rate adjustments when using fly ash, slag or high range water reducers.
- If material has frozen, warm material to 70°F (21°C) and agitate for 6-8 hours.
- Add to mix independent of other admixtures.

Form Air Mix-6.97



HOME PRODUCTS BUY EURO COMPANY ONLINE

### ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE AGUAS

Solicitante: CORPORACION SAGITARIO S.A.

Procedencia: AGUA CANAL UCHUSUMA PARA MEZCLA DE CONCRETO: OBRA TRAMO III VILAVILANI - CANAL UCHUSUMA

Fecha de muestreo : 03 de Agosto 1999

Laborat. N°	Clave Campo	pH 25°C	Sales Solubres(mg/l)	Solid. susp. (mg/l)	MILIGRAMOS POR LITRO							R.A.S.	APTITUD RIEGO	FAMILIA QUIMICA	IR *	IL *
					Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup> + K <sup>+</sup>					
72-A-99	Canal Uchusuma - El Avro	6.95	321.00	21	10.00	69.09					12.00					
Valor maximo admisible		5.5-8.5	1.500	1.000	300	3.000					150					

- \* IR: INDICE DE RYZMAR
- \* IL: INDICE DE LANGELIER

Tacna, 05 de Agosto 1999

EJECUTADO: *Pa*



P. \_\_\_\_\_  
 LABORATORIO AGROPECUARIO

# ANEXO C

FOTOGRAFÍAS DE ENSAYOS EN EL LABORATORIO

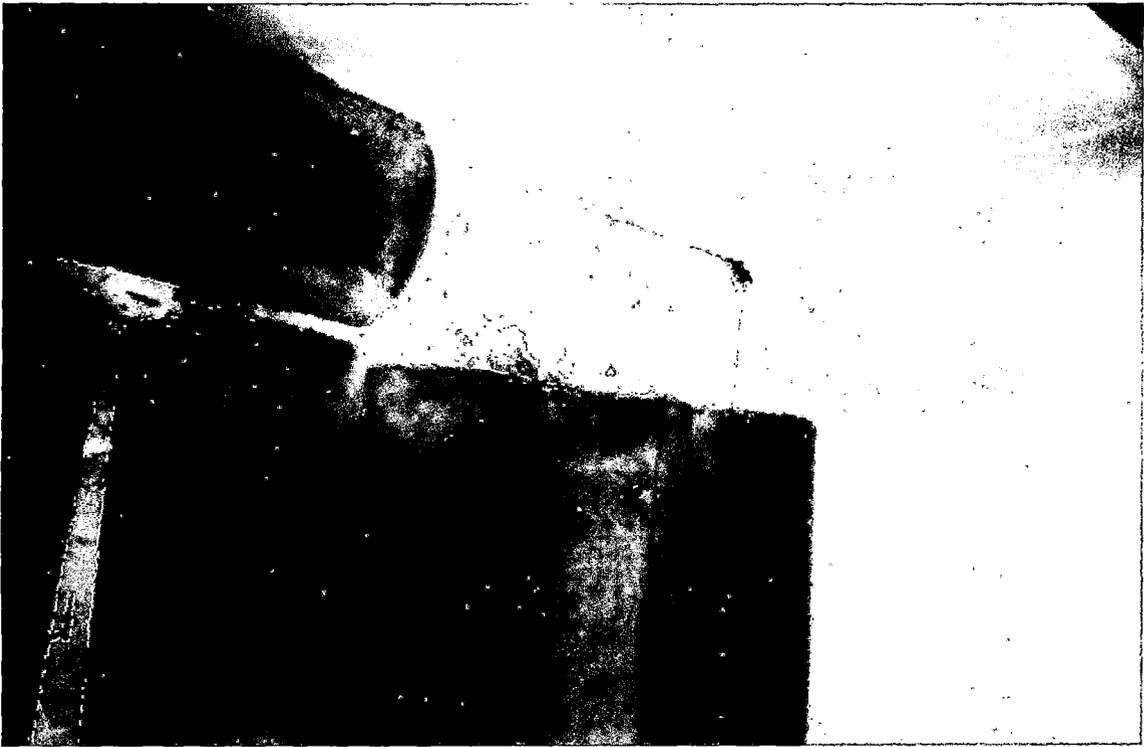
(( LEM - FIC ))



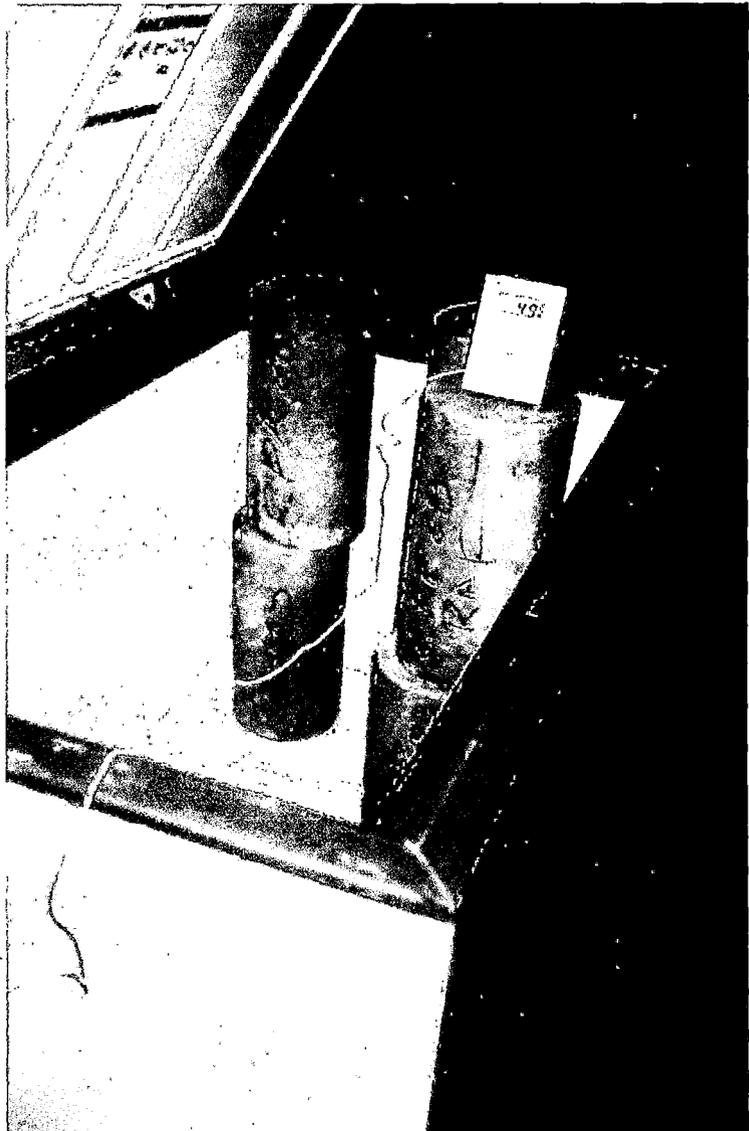
**FOTO 1:**  
COLOCANDO EL CONCRETO  
EN LOS MOLDES



**FOTO 2:**  
APLICANDO LA MEMBRANA  
QUÍMICA SOBRE LA  
SUPERFICIE DEL CONCRETO  
EXPUESTO



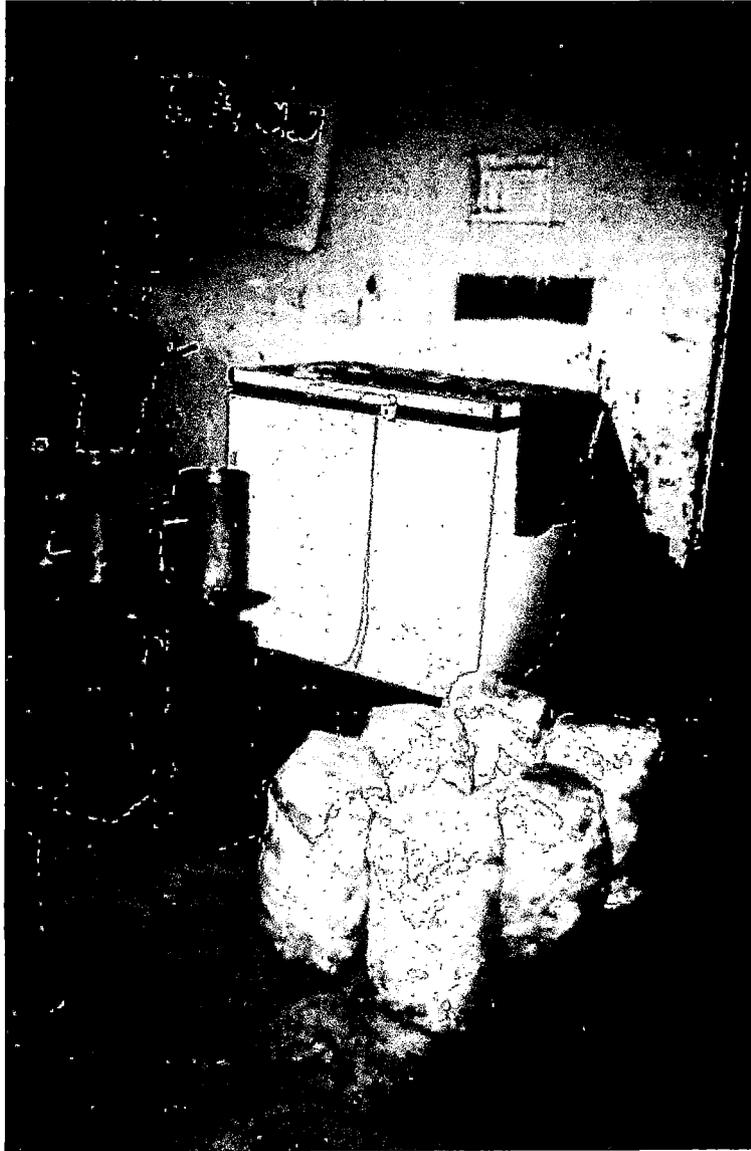
**FOTO 3:**  
PROBETAS COLOCADAS  
EN EL CONGELADOR SIN  
PROTECCIÓN



**FOTO 4:**  
MIDIENDO LA TEMPERATURA  
AMBIENTAL EN EL  
CONGELADOR



**FOTO 5:**  
PROTEGIENDO EL CONCRETO ABRIGÁNDOLO  
CON LA MANTA DE LANA DE FIBRA DE VIDRIO  
DE 3" DE ESPESOR

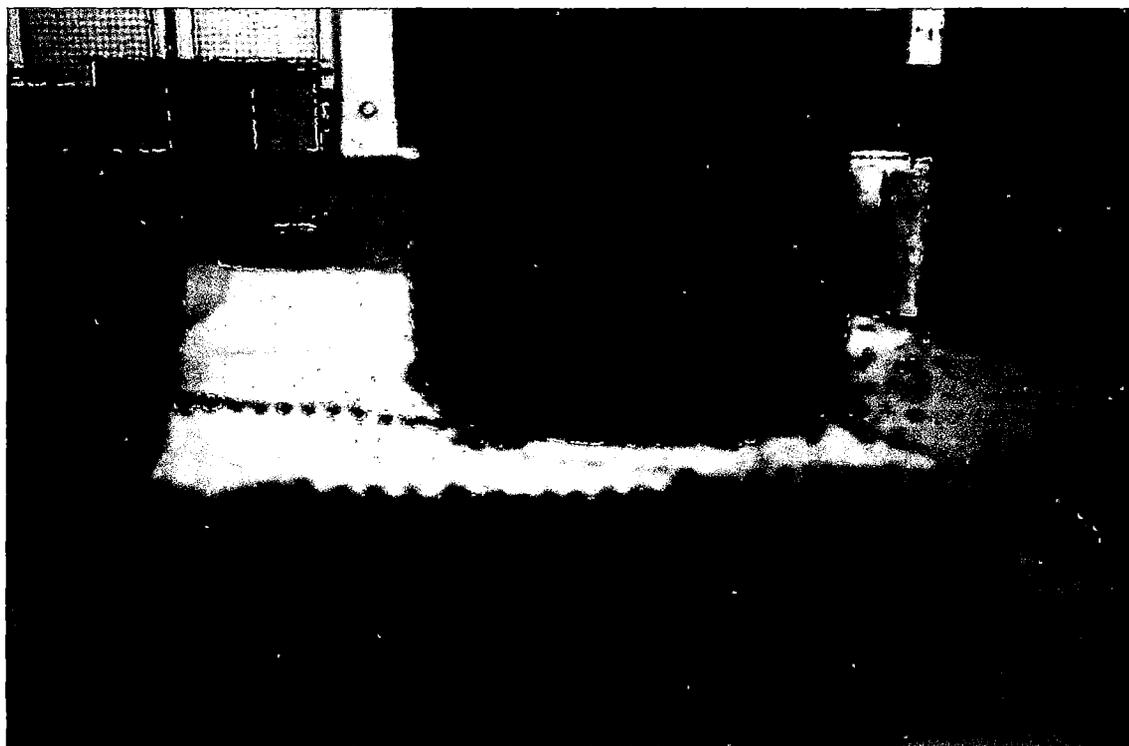


**FOTO 6:**  
PROBETAS PROTEGIDAS PARA SER COLOCADAS EN EL CONGELADOR

**FOTO 7:**  
PROBETA QUE NO TUVO  
PROTECCIÓN, EL CAPPING  
NO PUDO SER COLOCADO  
DEBIDO A QUE EL  
CONCRETO SE  
DESMORONABA.



**FOTO 8:**  
RAPIDAMENTE FALLA  
LA PROBETA QUE NO  
TUVO PROTECCIÓN  
QUEDANDO EN LAS  
CONDICIONES QUE  
MUESTRA LA FOTO





**FOTO 9:**  
LA PROBETA SIN PROTECCIÓN QUEDA MUY AFECTADO  
ESPECIALMENTE EN SUS BORDES



**FOTO 10:**  
PROBETAS SIN PROTECCIÓN TOTALMENTE DESTROZADAS  
LUEGO DE SER ENSAYADAS

**FOTO 11:**  
PROBETAS PROTEGIDAS  
CON LAS MANTAS NO  
PRESENTAN MAYOR  
EFECTO DEL  
CONGELAMIENTO EN  
SUS BORDES



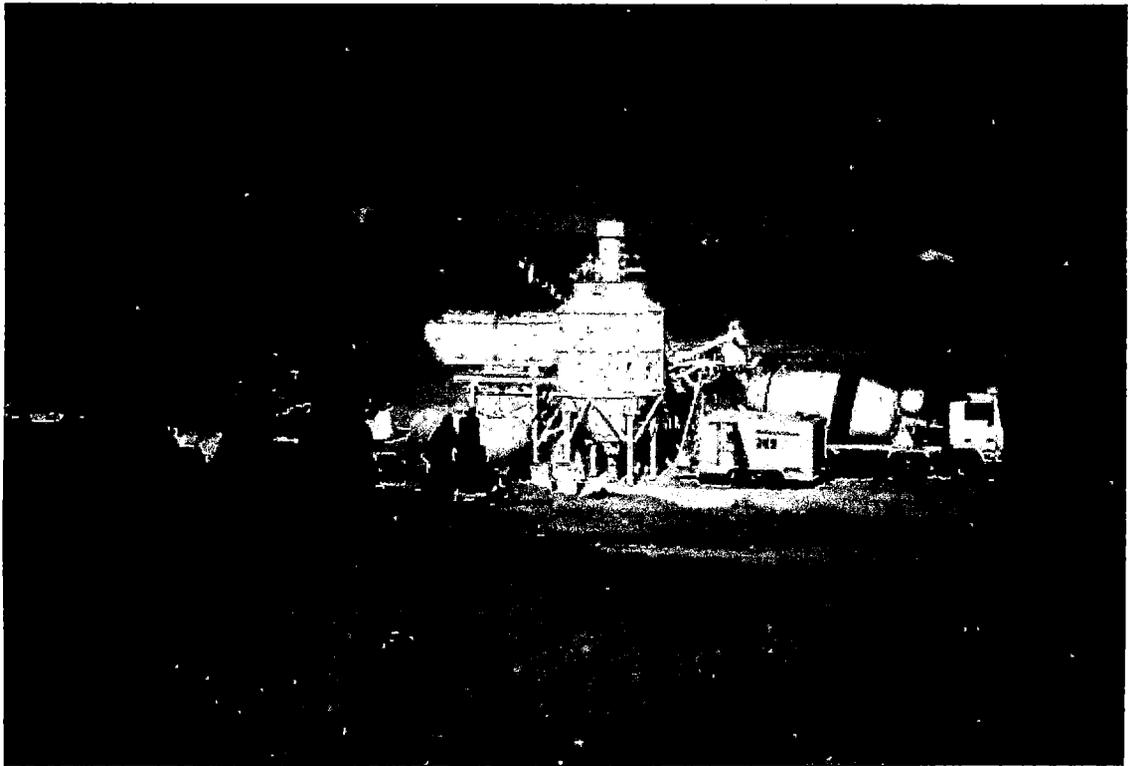
**FOTO 12:**  
EN LA PARTE SUPERIOR  
PROBETAS QUE HAN  
TENIDO PROTECCIÓN  
EN LA PARTE INFERIOR  
PROBETAS QUE NO HAN  
TENIDO PROTECCIÓN



# ANEXO D

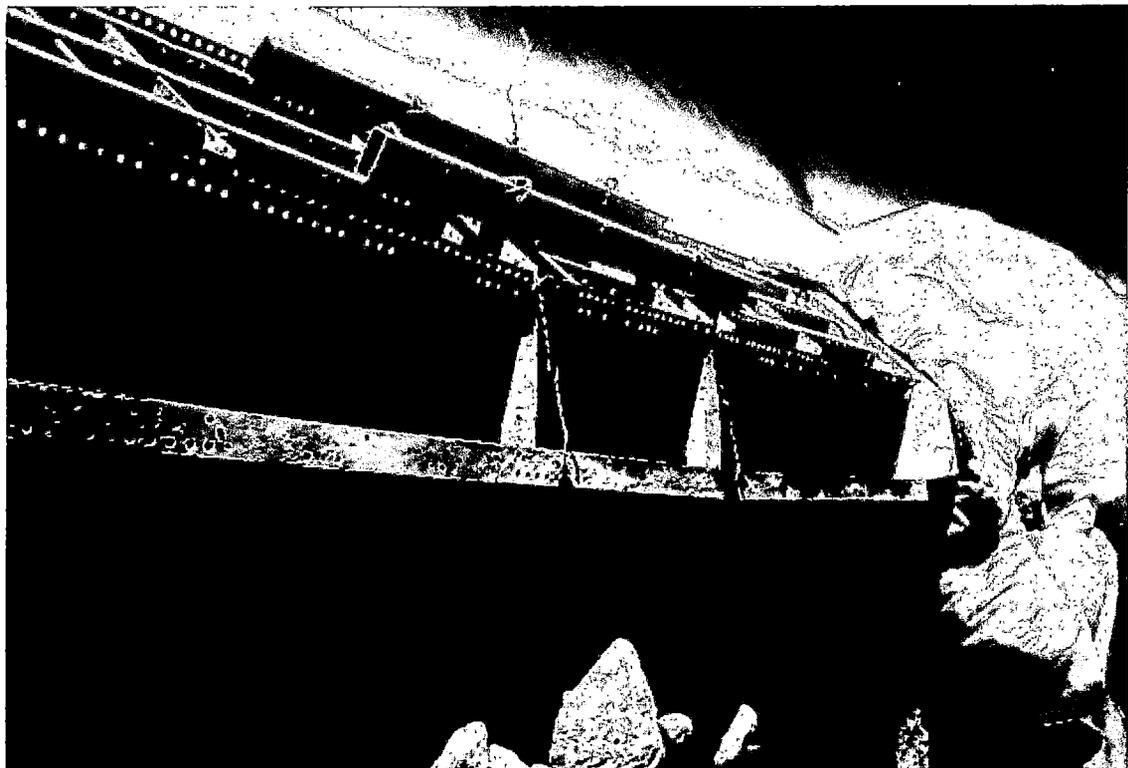
FOTOGRAFÍAS DE LA OBRA TRAMO III

VILAVILANI - TACNA



**FOTO 1:**  
PLANTA DE CONCRETO  
OBRA VILAVILANI

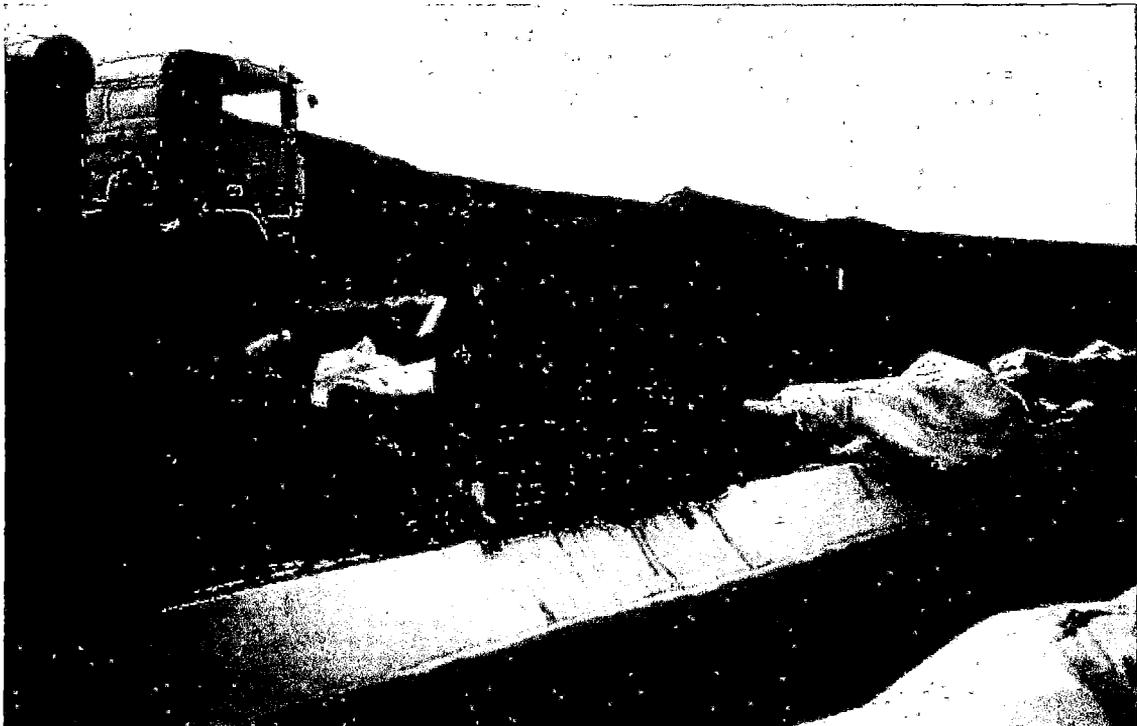
**FOTO 2:**  
ENCOFRADO DEL MURO DE SOBREELEVACIÓN

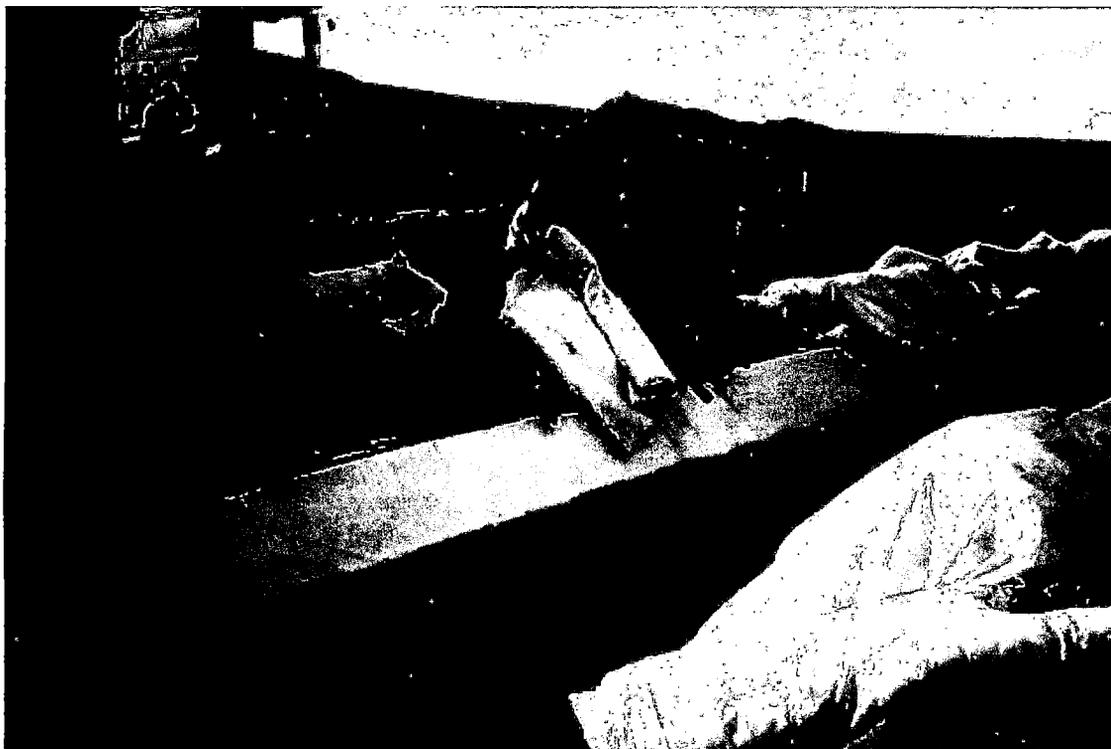




**FOTO 3:**  
TRANSPORTANDO LAS MANTAS DE LANA DE FIBRA DE VIDRIO  
PARA SU COLOCACIÓN

**FOTO 4:**  
APLICANDO LA MEMBRANA QUÍMICA SOBRE LA SUPERFICIE DEL CONCRETO PARA SU  
CURADO





**FOTO 5:**  
COLOCACIÓN DE LA MANTA

**FOTO 6:**  
CUBRIENDO TODA LA SUPERFICIE DEL CONCRETO CON LA MANTA

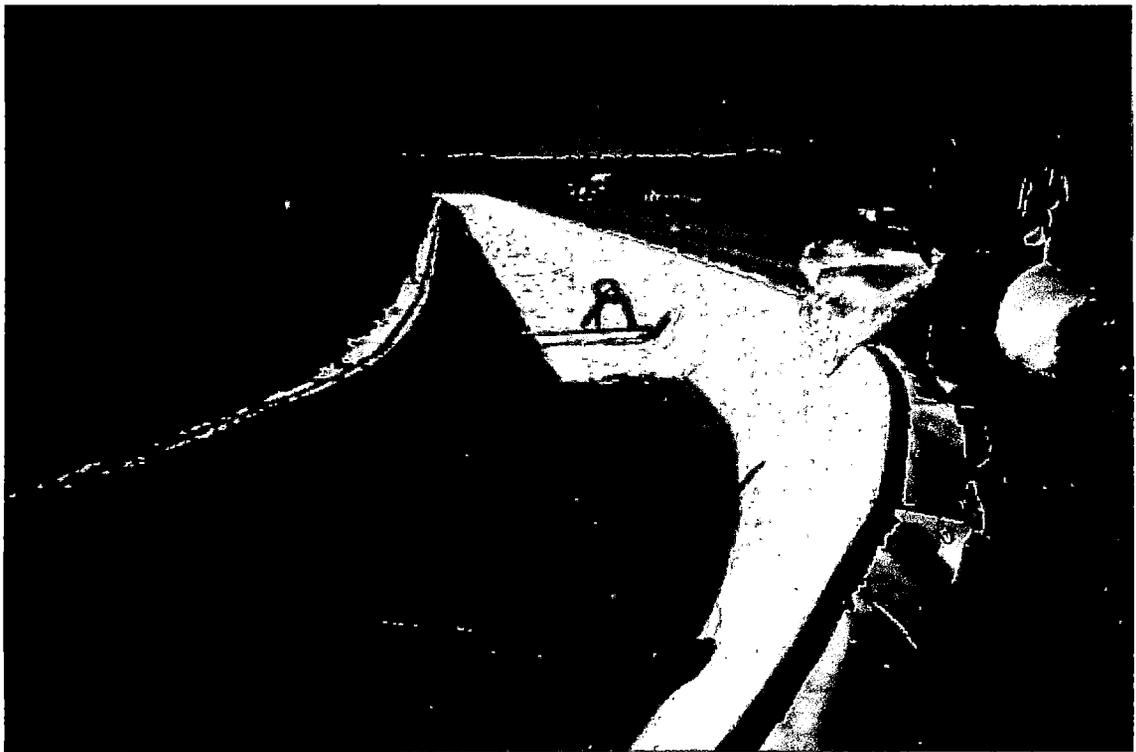




**FOTO 7:**  
ASEGURANDO LA MANTA PARA EVITAR QUE EL VIENTO DESCUBRA LA SUPERFICIE DEL  
CONCRETO

**FOTO 8.**  
MÓDULOS DE CONCRETO CURADOS CON LA MEMBRANA QUÍMICA Y PROTEGIDOS DEL  
FRÍO CON LA MANTA DE LANA DE FIBRA DE VIDRIO DE 3" DE ESPESOR





**FOTO 9:**  
PROTEGIENDO LA SUPERFICIE DE UNA LOSA DE CONCRETO ABRIGÁNDOLO CON LA  
MANTA DE LANA DE FIBRA DE VIDRIO DE 3" DE ESPESOR

# BIBLIOGRAFÍA

1. TITULO : Cold Weather Concreting  
NORMAS : American Concrete Institute (Manual of Concrete Practice)  
AUTOR : ACI Committee 306R-88 (Reapproved 1997)  
BIBLIOTECA : Asocem
2. TITULO : Standard Practice for Curing Concrete  
NORMAS : American Concrete Institute (Manual of Concrete Practice)  
AUTOR : ACI Committee 308-92 (Reapproved 1997)  
BIBLIOTECA : Asocem
3. TESIS : Estudio y Solución a la Problemática del Concretado en el Trapecio Andino  
AUTOR : Jaime Landman Landman  
CIUDAD : Lima - Perú  
BIBLIOTECA : Facultad de Ingeniería Civil - UNI
4. TESIS : Determinación de las características físicas - mecánicas del concreto fabricado en altura y clima riguroso  
AUTOR : Carlos Minaya Rosario  
CIUDAD : Lima - Perú  
BIBLIOTECA : Facultad de Ingeniería Civil - UNI
5. TITULO : Tecnología del Concreto para Obras en Altura en el Perú  
LIBRO : Libro de Ponencias: II Congreso Nacional de Estructuras y Construcción 2000. ACI  
AUTOR : Enrique Pasquel Carbajal  
CIUDAD : Lima - Perú, 2000  
BIBLIOTECA : Asocem
6. TITULO : Curado de Concreto en el Altiplano Empleando Recursos de la Zona  
LIBRO : Libro de Ponencias: VI Congreso Nacional de Ingeniería Civil. CIP  
AUTOR : Enrique Pasquel Carbajal  
CIUDAD : Cajamarca - Perú, 1986  
BIBLIOTECA : Asocem
7. TITULO : Evaluación del Concreto en Procesos constructivos de zonas altas: Minas de Arcata  
LIBRO : Libro de Ponencias: Congreso Nacional de Ingeniería Civil. CIP  
AUTOR : Hernán Alvarez Torres, Wilfredo Pardo Apaza, Juan Barahona Meza.

- CIUDAD : Ica - Perú, 1992  
 BIBLIOTECA : Facultad de Ingeniería Civil - UNI
8. TITULO : Comments on the RILEM recommendations on concreting in the cold weather particular reference to current practice in the United Kingdom  
 LIBRO : Libro de Ponencias: Third international RILEM symposium on winter concreting  
 AUTOR : Pink, A.  
 CIUDAD : Espoo (FI), 1985  
 BIBLIOTECA : Asocem
9. TITULO : Cold weather Concreting in Japan  
 LIBRO : Libro de Ponencias: Third international RILEM symposium on winter concreting  
 AUTOR : Yoshiro, K.  
 CIUDAD : Espoo - Finland, 1985  
 BIBLIOTECA : Asocem
10. TITULO : Recommended practice for curing concrete  
 LIBRO : ACI Journal  
 AUTOR : Oleson, C.C; Adams, R.F.; Howell, E.T.  
 CIUDAD : Detroit, United States  
 BIBLIOTECA : Asocem
11. TITULO : Curado del Concreto, El Concreto en Clima Frío  
 LIBRO : Concreto, Diseño y Aplicación  
 AUTOR : Murdock, L.J.  
 EDITORIAL : Cia. Editorial Continental  
 BIBLIOTECA : Facultad de Ingeniería Civil - UNI
12. TITULO : Problemas de Temperatura en la Elaboración del Concreto, Resistencia al congelamiento y al deshielo  
 LIBRO : Tecnología del Concreto  
 AUTOR : A.M.Neville y J.J.Brooks  
 EDITORIAL : Editorial Trillas. México  
 BIBLIOTECA : Facultad de Ingeniería Civil - UNI
13. TITULO : Agrietamiento a largo plazo, Practicas correctas de construcción  
 LIBRO : Control del Agrietamiento de Estructuras de Concreto  
 AUTOR : Comité ACI 224 - IMCYC  
 EDITORIAL : Editorial Limusa. México  
 BIBLIOTECA : Facultad de Ingeniería Civil - UNI

14. TITULO : Manejo del Concreto, Concreto Endurecido, Sugerencias para el Productor  
LIBRO : Problemas en el Concreto: Causas y Soluciones  
AUTOR : IMCYC  
EDITORIAL : Editorial Limusa. México  
BIBLIOTECA : Facultad de Ingeniería Civil - UNI
15. TITULO : Protección del Concreto, Curado del Concreto  
LIBRO : Recomendaciones para el proceso de puesta en obras de estructuras de concreto  
AUTOR : Enrique Rivva López  
BIBLIOTECA : Personal
16. TITULO : Colocación del Concreto en climas fríos  
LIBRO : Colocación del concreto bajo temperaturas extremas  
AUTOR : Comité ACI 306 - IMCYC  
EDITORIAL : Editorial Limusa. México  
BIBLIOTECA : Sencico
17. TITULO : Congelamiento y Deshielo  
LIBRO : Durabilidad del Concreto ACI 201  
AUTOR : Comité ACI 201 - IMCYC  
EDITORIAL : Editorial Limusa. México  
BIBLIOTECA : Sencico
18. TITULO : Agregados, Concreto  
LIBRO : Cemento. Boletines Técnicos  
AUTOR : Asociación de Productores de Cemento (Asocem)  
BIBLIOTECA : Personal
19. TITULO : Concreto en Clima Frío  
LIBRO : Algunos aspectos importantes para lograr un buen concreto.  
AUTOR : Jaime de las Casas Pasquel  
BIBLIOTECA : Asocem
20. TITULO : Materiales Aislantes, Materiales Fibrosos, Aislantes con Estructura Celular  
LIBRO : Aislamiento Acústico y Térmico en la Construcción  
AUTOR : Claude Rogeron  
EDITORIAL : Editores Técnicos Asociados S.A., Barcelona - España  
BIBLIOTECA : Sencico
21. TITULO : Importancia de la Protección  
LIBRO : Aislamiento y Protección de las Construcciones  
AUTOR : Roger Cadiergues  
EDITORIAL : Editorial Gustavo Gili, S.A., Barcelona - España.  
BIBLIOTECA : Sencico

22. TITULO : Materiales Aislantes  
LIBRO : Aislamiento Térmico y Acústico  
AUTOR : Miguel Paya Aparejador  
EDITORIAL : Ediciones Ceac, Barcelona - España.  
BIBLIOTECA : Sencico
23. TITULO : Espumas Rígidas  
LIBRO : Los Plásticos en la Construcción  
AUTOR : Hansjürsen Saechtling  
EDITORIAL : Editorial Gustavo Gili S.A. Barcelona - España.  
BIBLIOTECA : Sencico
24. TITULO : Materiales para el aislamiento en la construcción  
LIBRO : Aislamiento Térmico y Acústico de Edificios  
AUTOR : R.M.E.Diamant  
EDITORIAL : H. Blume Ediciones. Madrid - España.  
BIBLIOTECA : Sencico
25. TITULO : Materiales Aislantes  
LIBRO : El Vidrio en la Construcción  
AUTOR : Felix Alvarez Martínez  
EDITORIAL : Ediciones CEAC, Barcelona - España.  
BIBLIOTECA : Sencico
26. TITULO : Recomendaciones para el hormigoneado en tiempo frío  
AUTOR : Instituto del Cemento Portland Argentino  
EDITORIAL : Informaciones Técnicas. Buenos Aires, Argentina  
BIBLIOTECA : Asocem
27. TITULO : Concreto en Clima Frío  
LIBRO : Tecnología del concreto. Concretos especiales  
AUTOR : Enrique Rivva López  
CIUDAD : Lima - Perú, 1967  
BIBLIOTECA : Facultad de Ingeniería Civil - UNI
28. TITULO : Concreto en Clima Frío  
LIBRO : Tecnologías apropiadas del concreto y del concreto armado para ingenieros de obra.  
AUTOR : Blanco Blasco, J.  
CIUDAD : Lima - Perú  
BIBLIOTECA : Asocem