



300615
UNIVERSIDAD LA SALLE 3
20

ESCUELA DE INGENIERIA
INCORPORADA A LA U. N. A. M.

**“APLICACION DEL VAPOR DE AGUA EN LA
REHIDRATACION DE ELEMENTOS DE CONCRETO”**

TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A :
DANIEL CASALES LOPEZ

DIRECTOR DE TESIS:

ING. EDMUNDO G. BARRERA M.

MEXICO, D. F.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1990



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

I N D I C E

INTRODUCCION	1
CAPITULO I: REHIDRATACION DEL CONCRETO	4
I.1. Porque rehidratar el concreto.	5
I.2. Métodos comunes de rehidratación del concreto.	8
I.2.1. Curado con agua.	9
I.2.1.A.Métodos de curado con agua.	9
I.2.2. Curado con materiales selladores.	12
I.2.2.A.Métodos de curado con materiales selladores	12
CAPITULO II: METODOS DE CURADO ACELERADO.	15
II.1. Como y porque acelerar el curado.	16
II.2. Métodos de curado acelerado con calor.	18
II.2.1. Utilización del calor de rehidratación.	18
II.2.2. Elevación de la temperatura del concreto fresco.	18
II.2.3. Tratamiento con vapor a presión normal.	19
II.2.4. Tratamiento con vapor bajo presión.	19
II.2.5. Tratamiento con aire caliente.	19
II.2.6. Calentamiento de las cimbras.	20
II.2.7. Baños calientes.	20
II.2.8. Utilización del calor de radiación.	20
II.2.9. Calentamiento eléctrico.	21
II.2.10 Calentamiento por ondas de alta frecuencia	21

II.3.	Curado de concreto con vapor.	22
II.3.1.	Curado de concreto con vapor a baja presión.	24
II.3.2.	Curado de concreto con vapor a alta presión.	28
CAPITULO III: VAPOR DE AGUA Y GENERADORES DE VAPOR		30
III.1.	Generación de vapor.	31
III.2.	Descripción general de un generador de vapor.	32
III.2.1.	Unidad de calentamiento.	33
III.2.2.	Bomba de agua.	34
III.2.3.	Conjunto de quemador y ventilador.	35
III.2.4.	Cámara de combustión.	35
III.2.5.	Separador de vapor.	36
III.3.	Instalación de la caldera.	37
III.3.1.	Requisitos de ventilación.	38
III.3.2.	Tanque de combustible.	39
III.3.3.	Tanque de condensados.	39
III.3.4.	Suavizador de agua.	39
III.3.5.	Sistema de agua vapor.	40
III.4.	Mantenimiento del generador.	41
CAPITULO IV: CANTIDAD DE VAPOR NECESARIA PARA EL CURADO DE CONCRETO.		43
IV.1.	Fórmula general para calcular la potencia requerida para el curado.	44

IV.2.	Cantidad de vapor necesaria para el curado a alta presión.	46
IV.2.1.	Ejemplo de cálculo de caballos de vapor requeridos para el curado de blocks de concreto.	47
IV.3.	Cantidad de vapor necesaria para el curado a presión atmosférica.	51
IV.3.1.	Fórmula general de potencia requerida para el curado a presión atmosférica.	52
IV.3.2.	Ejemplo de cálculo de vapor requerido para el curado de blocks de concreto a presión atmosférica.	53
IV.4.	Tablas para el cálculo de caballos de vapor requeridos para el curado.	56
IV.4.1.	Forma de uso de las tablas.	56
IV.4.2.	Ejemplo de cálculo utilizando las tablas.	58
IV.5.	Producción en serie.	59
CAPITULO V: COSTO DEL CURADO CON VAPOR Y APLICACIONES RECOMENDADAS.		72
V.1.	Precio de algunos equipos para la generación de vapor.	73
V.2.	Costo horario de un generador de vapor.	73
V.2.1.	Costo horario de un generador de vapor de 10 C.V.	73

V.2.2.	Costo horario de un generador de vapor de 16 C.V.	76
V.2.3.	Costo horario de un generador de vapor de 33C.V.	77
V.2.4.	Costo horario de un generador de vapor de 60 C.V.	79
V.2.5.	Costo horario de un generador de vapor de 100 C.V.	80
V.2.6.	Costo horario de un generador de vapor de 150 C.V.	82
V.2.7.	Costo horario de un generador de vapor de 200 C.V.	83
V.3.	Aplicaciones recomendadas.	85
CONCLUSIONES		89
BIBLIOGRAFIA		92

INDICE DE FIGURAS

CAPITULO I:

- | | | |
|------|-------------------------------------|---|
| 1.1. | Gráfica temperatura - resistencia. | 6 |
| 1.2. | Pérdidas de humedad en el concreto. | 7 |

CAPITULO II:

- | | | |
|------|---|----|
| 2.1. | Forma general de la curva en tratamiento con vapor libre. | 25 |
| 2.2 | Cámara de curado. | 27 |

CAPITULO III:

- | | | |
|------|---|----|
| 3.1. | Generador de vapor. | 32 |
| 3.2. | Unidad de calentamiento de un generador de vapor. | 33 |
| 3.3. | Bomba de agua. | 34 |
| 3.4. | Cámara de combustión. | 36 |
| 3.5. | Separador de vapor. | 37 |
| 3.6. | Sistema preinstalado de un generador de vapor. | 41 |

CAPITULO IV:

- | | | |
|------|--|----|
| 4.1. | Autoclave para curado de blocks de concreto. | 48 |
|------|--|----|

CAPITULO V:

INDICE DE TABLAS

CAPITULO I:

CAPITULO II:

- 2.1. Composición del cemento portland normal. 17

CAPITULO III:

CAPITULO IV:

- 4.1. C.V. requeridos por acero en la cámara. 61
- 4.1.B. C.V. requeridos por acero en la cámara. 62
- 4.2. C.V. requeridos debido al concreto. 63
- 4.3. Gráfica Presión vs. Volumen/peso. 64
- 4.4. Presión vs. Kilocalorias. 65
- 4.5. Presión vs. Factor de llenado de vapor. 66
- 4.6. C.V. requeridos para el llenado de vapor. 67
- 4.6.B. C.V. requeridos para el llenado de vapor. 68
- 4.6.C. C.V. requeridos para el llenado de vapor. 69
- 4.7. Pérdidas de C.V. en autoclaves. 70
- 4.8. Pérdidas de C.V. en cámaras de curado. 71

CAPITULO V:

- 5.1. Costo de generadores de vapor en miles de pesos. 74

I N T R O D U C I O N

I N T R O D U C C I O N

Para lograr las propiedades deseadas del concreto es necesario llevar a cabo un proceso de curado o rehidratación -- del mismo.

Mediante el curado, se mantendrá un contenido satisfactorio de humedad y temperatura, evitándose así, agrietamientos y pérdidas de resistencia en los elementos colados.

Los métodos para el curado del concreto son muy variados y pueden ir desde simplemente aplicar agua, en todas las superficies, mediante una manguera hasta el uso de concretos -- previamente tratados o realizar el curado mediante sistemas -- industrializados como es el empleo de vapor.

Los requerimientos de producción y disminución en los -- tiempos de fraguado llevan a buscar formas de acelerar los -- curados logrando disminuir en muchos casos el espacio o terreno necesario para obtener cierta producción, en otros, es resultado de reducir el tiempo de uso de cimbras para su pronta reutilización, en otras ocasiones, acelerar el proceso de curado y fraguado conduce a disminuir tiempos de construcción,

disminuyendo así algunos factores como el costo financiero -- de las obras.

OBJETIVO

Se busca explicar brevemente la importancia del curado del concreto así como algunos métodos para la realización de este proceso.

Por otra parte, se da especial importancia al sistema - de curado de concreto mediante vapor, indicando la forma de llevarlo a cabo y mostrando algunas ventajas de este, sobre otros métodos de curado, entre otras cosas; eficiencia, optimización de tiempo y costos.

ALCANCES

La presente tesis se limita a indicar algunos métodos - para la rehidratación del concreto, mostrando algunos casos en los que puede utilizarse el vapor en el proceso, sin em - bargo los cálculos de requerimientos de vapor así como los - períodos de curado son valores aproximados y deben obtenerse prácticamente debido a la innumerable cantidad de variables - que pueden afectar este proceso. El enfoque es físico y químico, dando prioridad al aspecto físico.

CAPITULO I: REHIDRATACION DEL CONCRETO

- 1.1. Porque rehidratar el concreto.
- 1.2. Métodos comunes de rehidratación del concreto.
 - 1.2.1. Curado con agua.
 - 1.2.1.A. Métodos de curado con agua.
 - 1.2.2. Curado con materiales selladores.
 - 1.2.2.A. Métodos de curado con materiales selladores.

C A P I T U L O I

REHIDRATACION DEL CONCRETO

I.1. PORQUE REHIDRATAR EL CONCRETO.

El rehidratado o curado de concreto consiste en mantener un contenido satisfactorio de humedad y temperatura en el concreto recién colado, para que puedan así desarrollarse las -- propiedades de resistencia y durabilidad deseadas.

La resistencia y durabilidad del concreto se desarrollarán plenamente, sólo si se cura de manera adecuada.

La cantidad de agua en la mezcla del concreto al momento de colar es normalmente más de la que debe retenerse para el curado. Sin embargo, la pérdida excesiva de agua por evaporación puede reducir la cantidad de agua retenida a un nivel inferior al necesario para el desarrollo de sus propiedades de resistencia y durabilidad. Los efectos potencialmente perjudiciales de la evaporación deben evitarse, ya sea mediante la aplicación de agua o evitando la evaporación excesiva.

El hecho de no evitar esta evaporación excesiva frecuentemente causa grietas por contracción plástica y pérdida de - resistencia del material más cercano a la superficie.

Por otra parte, la temperatura afecta considerablemente

en la resistencia temprana del concreto. Se ha observado que temperaturas inferiores a los 10 grados centígrados son desfavorables para la resistencia temprana. A temperaturas inferiores a los 5 grados centígrados el desarrollo de la resistencia temprana se retarda mucho y a 0 grados centígrados se obtiene muy poca resistencia.

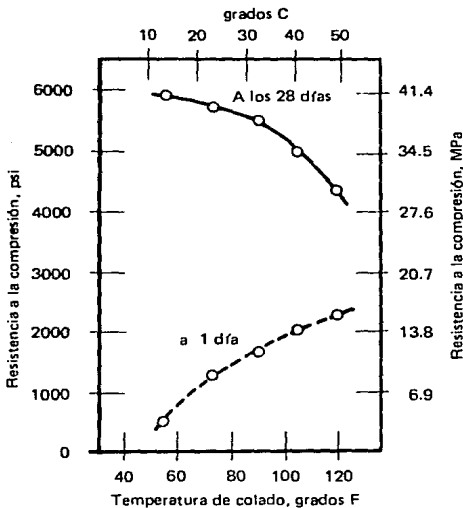


Fig. 1.1. Gráfica temperatura - resistencia.

En lo que se refiere a resistencia final, existen evidencias de que curar durante menos tiempo a temperaturas elevadas, no es tan benéfico como curar durante más tiempo a temperaturas inferiores. (Obsérvese la figura 1.1).

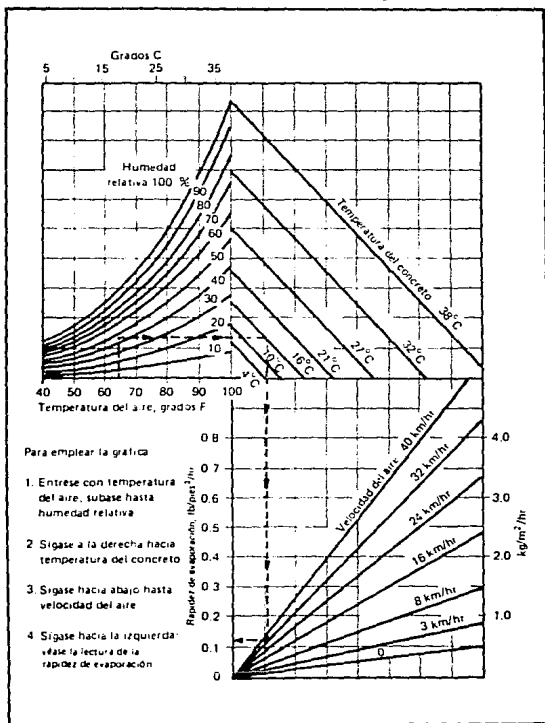


Fig. 1.2. Pérdida de humedad en el concreto.

En la figura anterior (fig. 2) se aprecia el efecto de las temperaturas del concreto y del aire, de la humedad relativa y de la velocidad del aire, sobre la rapidez de evaporación de la humedad de la superficie del concreto. Con ayuda de esta figura, puede estimarse gráficamente la pérdida de humedad de la superficie en diversas condiciones atmosféricas.

Si la rapidez de evaporación se aproxima a 1.0 kg./m²/hr. será necesario tomar precauciones contra el agrietamiento por contracción plástica.

1.2. METODOS COMUNES DE REHIDRATACION DEL CONCRETO.

Existen diversos materiales, métodos y procedimientos para el curado del concreto, pero tienen la misma finalidad: - Mantener el contenido de humedad y temperatura para obtener - las características de resistencia y durabilidad deseadas.

Puede considerarse fundamentalmente dos sistemas para garantizar el contenido de humedad:

1.- La contínua o frecuente aplicación de agua por aspersión, anegamiento, vapor o materiales de cubrimiento saturados, como carpetas de algodón, yute, alfombras, tierra, arena, aserrín, paja o heno.

2.- Evitar la pérdua excesiva de agua en la superficie

del concreto, mediante el empleo de materiales como hojas de plástico, papel impermeable o con materiales de curado que formen una película impermeable.

1.2.1. CURADO CON AGUA.

Al curar con agua es importante tomar en cuenta la mano de obra y agua disponibles, así como otros factores que influyen en el costo.

El método a elegir deberá proporcionar una cubierta continua y completa de agua con el mínimo de materiales perjudiciales al concreto; especialmente si el acabado será aparente ya que puede mancharse o decolorarse. También debe tenerse cuidado del gradiente térmico entre el agua de curado y el concreto.

1.2.1.A. METODOS DE CURADO CON AGUA.

a) Anegamiento o inmersión.

Es el método de curado más completo, consiste en la inmersión total de la pieza de concreto en agua. No es muy común por lo complejo que resulta sumergir algunos elementos de concreto, pero en ocasiones en que pueda formarse un charco para cubrir una losa o aprovechar una corriente de agua es ideal el método. Se debe tener especial cuidado con fu -

gas de agua ya que pueden provocar un curado no satisfactorio o daños en los alrededores como ablandar el terreno. La temperatura del agua no debe ser menor de 11 grados centígrados que la del concreto para evitar esfuerzos por temperatura en la superficie y por lo tanto agrietamiento.

b) Rociado de niebla o aspersión.

Este es un método excelente, especialmente si la temperatura es bastante mayor que la de congelación. Pueden utilizarse aspersores de jardín si se dispone del agua necesaria o el equipo de bombeo pero debe cuidarse el costo, o emplear -- sistemas de rociado intermitente vigilando que en ningún momento quede la superficie del concreto seca. Para elementos verticales es conveniente el uso de una manguera siempre que no se erosione la superficie.

c) Costales, carpetas de algodón y alfombras.

Al cubrir el concreto con materiales absorbentes, se mantendrá el agua sobre la superficie de los elementos, rehidratando el concreto. Estos materiales deben estar limpios de toda sustancia perjudicial al concreto como azúcar, fertilizantes, etc.

En el caso de los costales, entre más pesado sea este, - tendrá más capacidad de retención de agua y deberá colocarse doble, traslapándose hasta la mitad de su ancho para retener

mejor la humedad y evitar que el viento los levante.

Si se utilizan alfombras u otros materiales pesados, habrá que esperar a que el concreto adquiera un grado mayor de endurecimiento y no colocarlo inmediatamente después del colado.

d) Curado con tierra.

La tierra proporciona un curado satisfactorio sobre áreas pequeñas sin embargo deben evitarse partículas mayores a 25 mm., grandes cantidades de materia orgánica u otras sustancias nocivas al concreto.

e) Arena y aserrín.

Tanto la arena como el aserrín se utilizan de igual manera que la tierra, con la ventaja de proporcionar una capa protectora a la superficie de concreto, aspecto muy útil si se tendrán carpinteros y montadores de cimbra sobre la superficie recién colada.

f) Paja o heno.

Es un método aplicable especialmente en medios rurales. No es muy conveniente ya que el viento puede levantar la paja y el heno, para evitarlo, se coloca una tela de alambre. Presenta otros problemas como el riesgo de incendio o manchas en el concreto. Estos materiales deben emplearse en capas de 150 mm. para garantizar la humedad necesaria.

Por ningún motivo debe permitirse que durante el período de curado se sequen los materiales de cubierta antes mencionados ya que absorberían la humedad del concreto y al finalizar se este período se deberán retirar al estar completamente secos, proporcionándole así un secado lento al concreto.

1.2.2. CURADO CON MATERIALES SELLADORES.

Los materiales selladores son hojas o membranas impermeables que se colocan sobre el concreto, reduciéndose así la pérdida de humedad por evaporación. Este sistema presenta varias ventajas, por ejemplo, hay menor posibilidad de que el concreto se seque antes de tiempo por errores en el mantenimiento de la cubierta húmeda, son más fáciles de manejar y pueden aplicarse sin curados iniciales y son excelentes en zonas áridas.

1.2.2.A. METODOS DE CURADO CON MATERIALES SELLADORES.

a) Película plástica.

Es sumamente ligera y se presenta en colores blanco, negro y transparente, de acuerdo a las normas, su espesor debe ser de 0.10 mm.

Las partículas blancas son un poco más costosas pero reflejan los rayos solares y por lo tanto absorben menos calor. Para climas fríos es conveniente el uso de la película negra.

Se debe tener precaución de no romper la película o rasgarla para evitar discontinuidad en el curado. Algunas películas están reforzadas con vidrio u otras fibras que le proporcionan mayor resistencia.

Este método no es recomendable si el acabado es aparente debido a que al retirar la película, normalmente la superficie resulta moteada, por lo tanto puede utilizarse en pavimentos, losas de techo, guarniciones, drenes, etc.

b) Papel impermeable.

El papel impermeable está formado por dos hojas de papel kraft unidas con cemento bituminoso e impermeabilizados con fibras, tiene un tratamiento para evitar expansiones y contracciones al mojarse. Para unirse varias hojas se utilizan también compuestos bituminosos.

La forma de aplicar el papel impermeable es similar a la de las películas de plástico y presenta algunas ventajas, por ejemplo, las roturas del papel son fácilmente detectables y se reparan simplemente pegando otro trozo de papel, puede utilizarse varias veces y si se duda de su capacidad de retención de agua se utiliza en dos capas, aprovechándose así al máximo.

c) Compuestos líquidos para formar membranas de curado.

La fórmula de estos compuestos debe formar una película

sobre el concreto capaz de retener la humedad muy poco tiempo después de haber sido aplicados y de ninguna manera deben ser nocivos a la mezcla del concreto. Normalmente estos compuestos son ceras, resinas naturales o sintéticas u otros solventes.

Es común aplicarle a estos compuestos tintes para reflejar el calor o para fines de inspección. Este sistema de curado no debe utilizarse si sobre el concreto se aplicará otra capa de concreto, mosaicos o pintura ya que la adherencia a esta superficie sería muy baja.

Normalmente estos compuestos se dosifican a razón de 0.20 a 0.25 litros/m². Y puede aplicarse con brocha de cerdas suaves y largas, con compresores a una presión de 5 a 7 kg/cm². o si el tamaño de la obra lo amerita con sistemas mecánicos.

CAPITULO II: METODOS DE CURADO ACELERADO.

- II.1. Como y porque acelerar el curado.
- II.2. Métodos de curado acelerado con calor.
 - II.2.1. Utilización del calor de rehidratación.
 - II.2.2. Elevación de la temperatura del concreto fresco.
 - II.2.3. Tratamiento con vapor a presión normal.
 - II.2.4. Tratamiento con vapor bajo presión.
 - II.2.5. Tratamiento con aire caliente.
 - II.2.6. Calentamiento de las cimbras.
 - II.2.7. Baños calientes.
 - II.2.8. Utilización del calor de radiación.
 - II.2.9. Calentamiento eléctrico.
 - II.2.10 Calentamiento por ondas de alta frecuencia.
- II.3. Curado de concreto con vapor.
 - II.3.1. Curado de concreto con vapor a baja presión.
 - II.3.2. Curado de concreto con vapor a alta presión.

C A P I T U L O 2

METODOS DE CURADO ACELERADO Y CURADO CON VAPOR

2.1. COMO Y PORQUE ACELERAR EL CURADO.

Debido a factores técnicos y económicos se presentan muchas ocasiones en que es necesario acelerar los procesos de fraguado y endurecimiento del concreto. Algunos de esos factores son la productividad en sus diferentes aspectos, tales como el número de moldes utilizados, la producción unitaria por molde, la mano de obra en las diferentes etapas del proceso, el espacio requerido para el curado, la demora en la entrada en servicio de las piezas y el período de uso de la cimbra.

Los métodos para acelerar el curado del concreto consisten básicamente en aumentar deliberadamente la temperatura del concreto fresco con el fin de activar las reacciones que producen su endurecimiento, esto permite descimbrar con mayor rapidez y poner en servicio parcialmente la obra o los elementos de concreto que forman parte de ella.

El cemento portland normal está formado aproximadamente en un 55% por silicato tricálcico, en un 20% por silicato bicálcico, en un 12% por aluminato tricálcico y en un 8% de ferrito aluminato tetracálcico. (Ver tabla 2.1).

COMPUESTO	NOMENCLATURA	(%) PROMEDIO
Silicato Tricálcico	$\text{SiO}_2 \cdot 3\text{CaO}$	55
Silicato Bicálcico	$\text{SiO}_2 \cdot 2\text{CaO}$	20
Aluminato Tricálcico	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaO}$	12
Ferrito Aluminato - tetra Cálcico	$\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{CaO}$	8
Otros	-----	5

Tabla 2.1. Composición del cemento portland normal.

Al mezclarse el cemento portland normal con el agua se presenta una reacción exotérmica que al utilizar un catalizador aumentará su velocidad.

Es una observación común que cuando se eleva la temperatura de un sistema de reacción aumenta la velocidad de la misma.

Una regla empírica es que la velocidad de reacción se duplica por cada 10 grados centígrados de aumento en la temperatura.

A medida que la temperatura es mayor aumentará la energía cinética translacional de cada molécula, esto provoca que las moléculas choquen con más frecuencia, así la velocidad de reacción aumenta porque aumenta el número de las colisiones al elevarse la temperatura.

En este caso el catalizador será calor que provoca una -

mayor velocidad en la reacción de los silicatos bicálcico y tricálcico, así como del aluminato tricálcico. Sin embargo se retardará la reacción con el ferrito aluminato tetracálcico, pero por ser tan pequeña la proporción de este compuesto, el calor producirá una reacción aceleradora.

2.2. METODOS DE CURADO ACELERADO CON CALOR.

A continuación se mencionarán y explicarán brevemente algunos métodos de curado con calor:

2.2.1. UTILIZACION DE CALOR DE HIDRATACION.

Las reacciones que producen el endurecimiento (hidratación) del concreto liberan cantidades importantes de calor. La temperatura del concreto se eleva entonces en forma natural. En la medida en que la disipación del calor se restringe; las reacciones químicas se aceleran otro tanto.

2.2.2. ELEVACION DE LA TEMPERATURA DEL CONCRETO FRESCO.

La temperatura del concreto fresco puede elevarse hasta 50 ó 60 grados centígrados antes de su aplicación. En estas condiciones la colocación y la compactación del concreto deben hacerse rápidamente ya que el tiempo de fraguado es muy corto. Incluso sin aislamiento especial, la elevada temperatura del concreto fresco puede mantenerse durante mucho tiempo.

po, y elevarse aun más, gracias a la generación de calor del propio concreto. Generalmente, el calentamiento del concreto fresco se hace por inyección de vapor directamente a la revolvedora.

2.2.3. TRATAMIENTO CON VAPOR A PRESION NORMAL.

El calentamiento de elementos de concreto con vapor a -- presión atmosférica es un método utilizado hace bastante tiempo. De todos los tratamientos, este es probablemente el que soporta mejor el concreto; a lo largo de este capítulo se dará una mayor explicación de este método.

2.2.4. TRATAMIENTO CON VAPOR BAJO PRESION.

El calentamiento de elementos de concreto fresco por medio de vapor bajo presión y a temperatura más elevada es generalmente utilizado en la fabricación de piezas de tamaño reducido. Este método también será explicado ampliamente a lo largo de este capítulo.

2.2.5. TRATAMIENTO CON AIRE CALIENTE.

En algunos casos se propone el tratamiento del concreto fresco con aire caliente (entre 60 y 80°C). De esta manera se obtiene una cierta aceleración en el endurecimiento, pero a costa de una pérdida de resistencia que puede alcanzar, en algunos casos, hasta el 30 ó 40% de la resistencia normal a

los 28 días.

2.2.6. CALENTAMIENTO DE LAS CIMBRAS.

En la prefabricación industrial, se utilizan en ocasiones cimbras metálicas provistas de tubos con circulación de agua caliente, aceite o vapor sobrecalentado, con el fin de calentar el concreto por la superficie cimbrada.

La temperatura de la cimbra no debe exceder el punto de ebullición del agua, para evitar la formación de burbujas de vapor que podrían dañar el concreto.

2.2.7. BAÑOS CALIENTES.

En la literatura técnica se encuentra un procedimiento que consiste en sumergir los elementos de concreto que han empezado a endurecerse, en baños de agua o aceite caliente. Por ejemplo, después de 8 horas de endurecimiento normal, el elemento de concreto se sumerge en un baño de aceite, a temperatura de 70 a 100°C. El procedimiento de inmersión en aceite permite obtener un concreto que es particularmente resistente al intemperismo.

2.2.8. UTILIZACION DEL CALOR DE RADIACION.

Los elementos de concreto relativamente delgados se pueden calentar por medio de rayos infrarojos.

De esta manera, se provoca una aceleración en el endurecimiento de la superficie, sin gran efecto a mayor profundidad. La fuente de calor se mantiene aproximadamente a 10 cm. de la superficie y se desplaza a una velocidad que depende -- del poder de la radiación.

2.2.9. CALENTAMIENTO ELECTRICO.

Existen diferentes sistemas para calentar eléctricamente un concreto fresco.

Aplicando una corriente alterna entre dos cimbras metálicas se produce un calentamiento del concreto confinado entre ellas. Pero el efecto disminuye con rapidez, ya que la resistencia del concreto a paso de la corriente eléctrica -- aumenta rápidamente a medida que este se endurece, de manera que hay que aumentar la tensión que así se vuelve peligrosa.

Las varillas de acero de refuerzo pueden utilizarse como electrodos, pero hay que estudiar muy bien su distribución para que el calentamiento del concreto sea uniforme y acorde al programa establecido. También puede incorporarse alambres -- eléctricos en el concreto, pero esto se hace ocasionalmente.

2.2.10. CALENTAMIENTO POR ONDAS DE ALTA FRECUENCIA.

Con una instalación relativamente costosa, puede también calentarse el concreto por medio de ondas de alta frecuencia --

cuencia o microondas. En poco tiempo se establece una determinada temperatura en toda la masa del concreto.

Los elementos se aíslan térmicamente después, conservando su calor durante cierto tiempo, como en los otros casos. Mediante pruebas, se ha podido determinar que se necesitan -- 24 kwh para calentar un metro cúbico de concreto. Por el modo como se trasmite el calor, este procedimiento debería tener una aplicación particularmente en el concreto ligero. En este caso el consumo de energía se reduciría aproximadamente a 15 kwh por metro cúbico de concreto.

2.3. CURADO DE CONCRETO CON VAPOR.

La aplicación de vapor es uno de los métodos más antiguos y más usados para acelerar el curado del concreto. En condiciones ideales, la ventaja del curado del concreto con vapor sobre otros métodos de curado acelerado, es que el medio de curado se encuentra cerca de la saturación de humedad, minimizando así, la evaporación del agua del elemento, lo cual es de cierta importancia cuando se trata de elementos de descimbrado parcial o total, por ejemplo, bloques, tubos, etc.

Las condiciones de humedad y temperatura del curado con vapor son de gran utilidad especialmente en climas fríos, además, el curado con vapor provoca una rápida resistencia del concreto.

El agrietamiento por contracción puede ser minimizado -
tomando alguna o todas las precauciones siguientes:

- 1.- Humedecer los moldes.
- 2.- Humedecer los agregados en caso de estar secos y absorbentes.
- 3.- Levantar barreras contra el viento para reducir la evaporación del agua en la superficie.
- 4.- Disminuir la temperatura del concreto fresco en climas cálidos, mezclando agua fría.
- 5.- Evitar el sobrecalentamiento del concreto en climas fríos.
- 6.- Proteger temporalmente con cubiertas durante cualquier retraso en la aplicación del vapor.
- 7.- Utilizar procedimientos constructivos adecuados para evitar el retraso entre el colado y el curado.
- 8.- Proteger el concreto durante las primeras horas después del colado para minimizar la evaporación, pueden aplicarse películas selladoras.

La aplicación del vapor para el curado con vapor se divide en dos métodos:

- a) Curado de concreto con vapor a baja presión (presión atmosférica).
- b) Curado de concreto con vapor a alta presión.

2.3.1. CURADO DE CONCRETO CON VAPOR A BAJA PRESION.

Los factores principales que influyen en un tratamiento con vapor a baja presión son los siguientes:

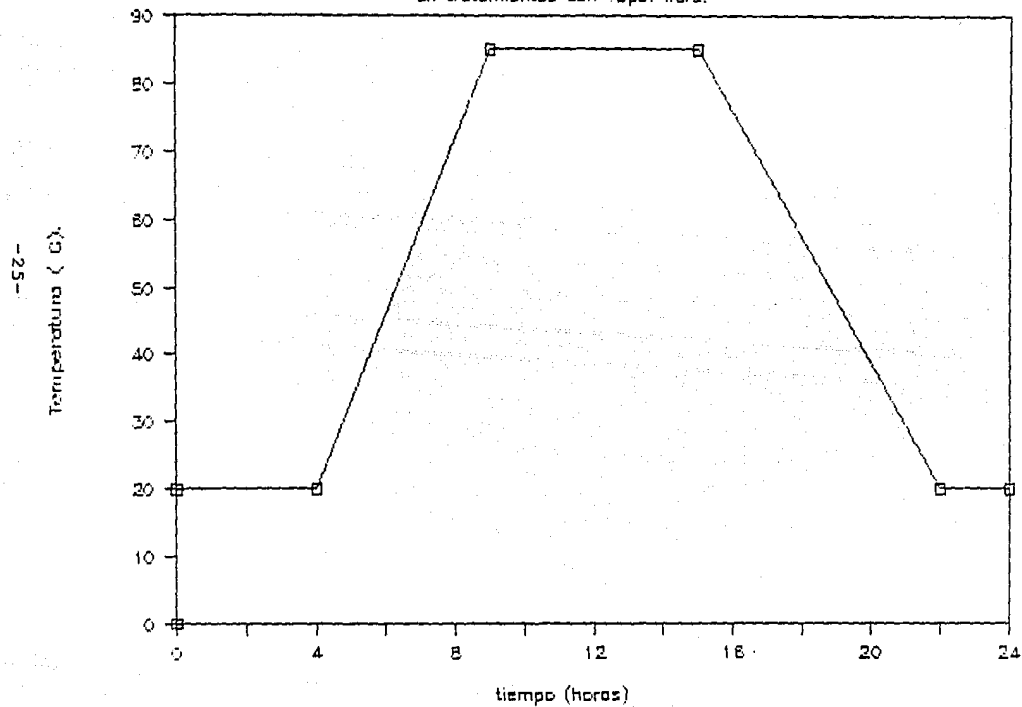
- a) El período preliminar de curado normal a temperatura ordinaria, desde el colado hasta el inicio del tratamiento térmico.
- b) La velocidad de calefacción desde el comienzo del calentamiento hasta alcanzar la máxima temperatura.
- c) La máxima temperatura alcanzada.
- d) El período de permanencia a la máxima temperatura.
- e) La velocidad de enfriamiento desde el final del período de permanencia máxima temperatura hasta llegar a la temperatura ordinaria.

Estos períodos y etapas determinan el tiempo total del proceso de curado. (Ver fig. 2.1.)

Algunos detalles y valores de estas etapas y períodos -- son los siguientes:

- 1.- El tiempo razonable del período preliminar varía entre una y tres horas, a mayor sea este, mayores pueden ser la velocidad de calefacción y la máxima temperatura alcanzada.
- 2.- Cuanto mayor es la velocidad de calefacción, mayores serán las resistencias iniciales, pero las finales pueden quedar reducidas hasta en un 60% de la resis--

fig 2.1 forma general de la curva
en tratamientos con vapor libre.



tencia con un curado normal. Los valores razonables para la velocidad de calefacción varían entre 10 - - $^{\circ}\text{C/hr.}$ y 20°C/hr. la más común es de 12 a 15°C/hr.

- 3.- Para la temperatura máxima los valores más frecuentes varían entre 70 y 90 grados centígrados.
- 4.- Si el período de permanencia a la máxima temperatura es muy grande, las resistencias finales serán mayores, pero ello va en detrimento de la producción. -- Los valores comunes para este período son 8, 10 y 12 horas.
- 5.- A menor sea la velocidad de enfriamiento, mejores serán las características generales de la producción. Los valores razonables para el enfriamiento varían entre 5°C/hr. y 20°C/hr.

En cuanto al tiempo total del curado, este puede variar entre 8 y 24 hrs., siendo valores normales los comprendidos entre 15 y 24 hrs.

Este método requiere una caldera para suministrar el vapor necesario, y una cámara para cubrir el elemento de concreto y evitar la intemperie así como almacenar el vapor. Las cámaras varían considerablemente en función de la forma y tamaño de los elementos colados, por ejemplo, para piezas pequeñas de mampostería puede utilizarse un cuarto buscando sellar lo más posible la puerta o acceso para evitar las fugas de temperatura y vapor. (fig. 2.2). O bien puede estar formada

por una simple lona que cubra por ejemplo la losa de un edificio.

Es recomendable contar con varias cámaras ya que así - - puede tenerse una producción en serie.

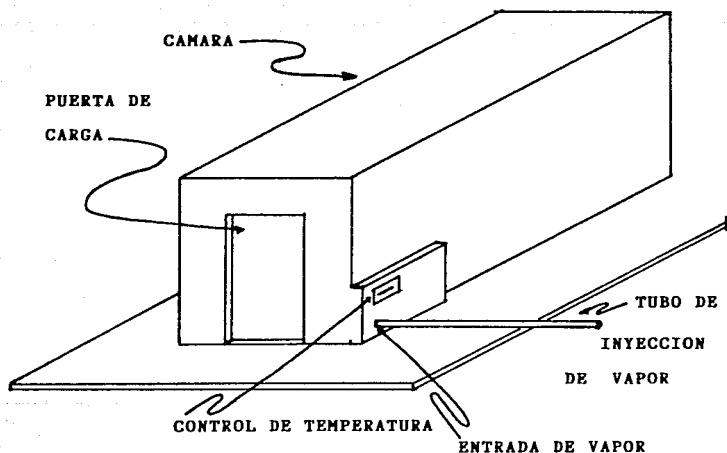


Fig. 2.2. Cámara de curado.

2.3.2. CURADO DE CONCRETO CON VAPOR A ALTA PRESION.

Este método es muy común para la fabricación de piezas de tamaño reducido. La característica principal de este tratamiento es que la resistencia final de las piezas de concreto puede alcanzarse en unas cuantas horas.

Los productos de hidratación en estas condiciones pueden ser distintos a los obtenidos con un curado normal y pueden presentarse también reacciones puzolánicas.

Las temperaturas de trabajo suelen estar comprendidas entre 120 y 160°C, pero pueden llegar hasta 200°C y a presiones de 20 atmósferas.

Las ventajas principales del tratamiento a alta presión o en autoclave son las siguientes:

- a) Se presenta un endurecimiento más rápido.
- b) La contracción inicial es menor, así como la contracción de secado.
- c) Los productos obtienen un mayor grado de sequedad.
- d) El método es muy útil para tratar concretos ligeros o porosos.
- e) Se obtiene una mayor durabilidad ya que presenta una mayor resistencia la ataque de sulfatos.

Como el método requiere de un generador de vapor y un --

autoclave capaz de resistir grandes temperaturas y presiones, presenta la desventaja de una alta inversión inicial.

CAPITULO III: VAPOR DE AGUA Y GENERADORES DE VAPOR

III.1. Generación de vapor.

III.2. Descripción general de un generador de vapor.

III.2.1. Unidad de calentamiento.

III.2.2. Bomba de agua.

III.2.3. Conjunto de quemador y ventilador.

III.2.4. Cámara de combustión.

III.2.5. Separador de vapor.

III.3. Instalación de la caldera.

III.3.1. Requisitos de ventilación.

III.3.2. Tanque de combustible.

III.3.3. Tanque de condensados.

III.3.4. Suavizador de agua.

III.3.5. Sistema de agua vapor.

III.4. Mantenimiento del generador.

C A P I T U L O 3

VAPOR Y GENERADORES DE VAPOR

El vapor ha sido por muchos años la fuente principal de energía calorífica para la elaboración de muy variados productos y ha sido también, el punto clave de diversas plantas de fuerza.

Como se ha visto en el capítulo anterior, la industria del concreto también utiliza el vapor, ya sea en el concreto premezclado, fabricación de piezas de mampostería, elementos precolados y pretensados, por ejemplo, en climas muy fríos, el vapor es utilizado, para calentar el agua y los agregados del concreto y así obtener una temperatura adecuada al momento de colar.

3.1. GENERACION DE VAPOR.

La forma general para producir vapor de agua es utilizando una caldera.

Este tipo de máquinas se divide principalmente en dos grupos. El primero se basa en el principio de un intercambiador de calor. En una cámara a presión se tiene el compuesto a calentar y en una serie de tubos se hace pasar alguna sustancia precalentada con un quemador, esta sustancia calentará

a la red de tubos y estos por conducción lo harán con el compuesto.

El segundo grupo es el correspondiente a los generadores de vapor, cuyo principio consiste en establecer un flujo de agua a presión a través de un serpentín, este es calentado -- por un quemador. Al salir el agua del serpentín, lo hará en forma de vapor.

Por las características de tamaño, peso y facilidad para transportarse considero, los generadores de vapor, el sistema más apropiado para la industria de la construcción y se tratará con mayor detalle a lo largo de este capítulo.

3.2. DESCRIPCION GENERAL DE UN GENERADOR DE VAPOR.

Normalmente los generadores de vapor tienen una capacidad de 10 a 200 caballos de vapor (para requerimientos mayores, pueden utilizarse simultáneamente varios equipos). Y -- utilizan como combustible diesel, gas L.P., gas natural o diesel-gas. Poseen la gran ventaja de obtener vapor en tan sólo 5 minutos después de su arranque en frío.

Los componentes principales de un generador de vapor son:

- | | |
|--|--------------------------|
| 1.- Unidad de calentamiento | 4.- Cámara de combustión |
| 2.- Bomba de agua | 5.- Separador de agua. |
| 3.- Conjunto de quemador y ventilador. | |

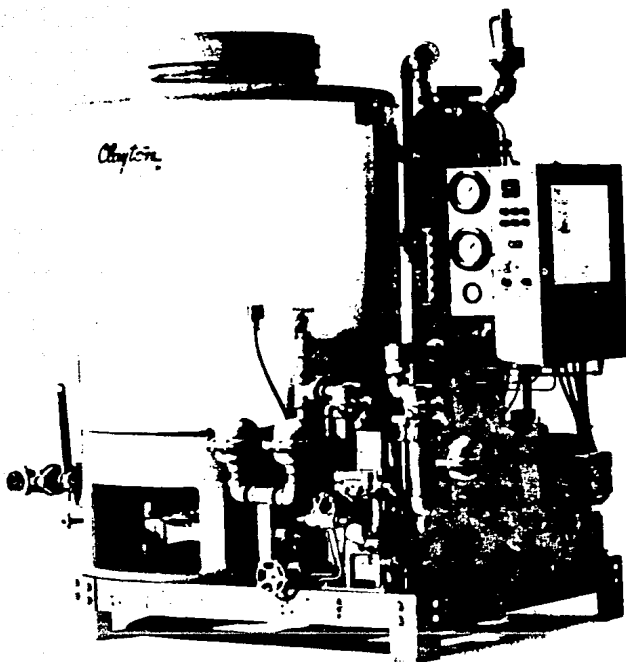


Fig. 3.1. Generador de vapor.

3.2.1. UNIDAD DE CALENTAMIENTO.

La unidad de calentamiento es un tubo dispuesto en forma de espiral (serpentín) por el que circula el agua a alta velocidad y presión, en sentido contrario a la circulación de los gases de combustión que rodean a los espirales del tubo.

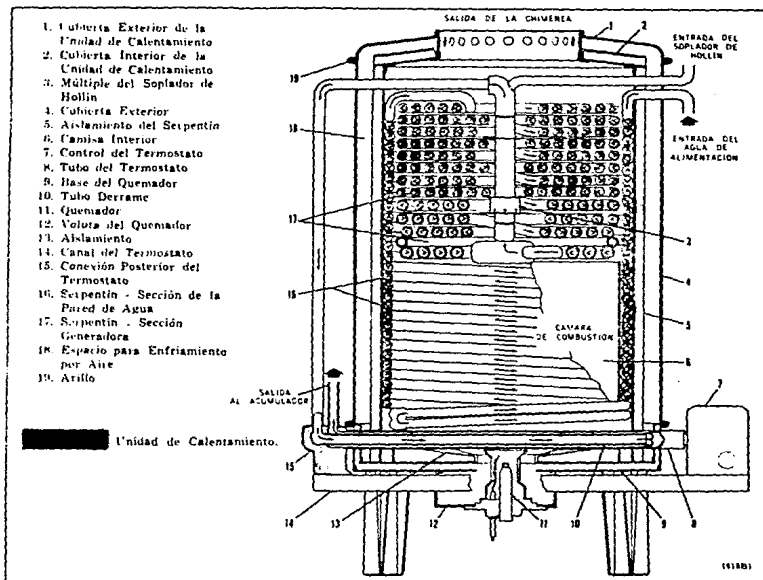
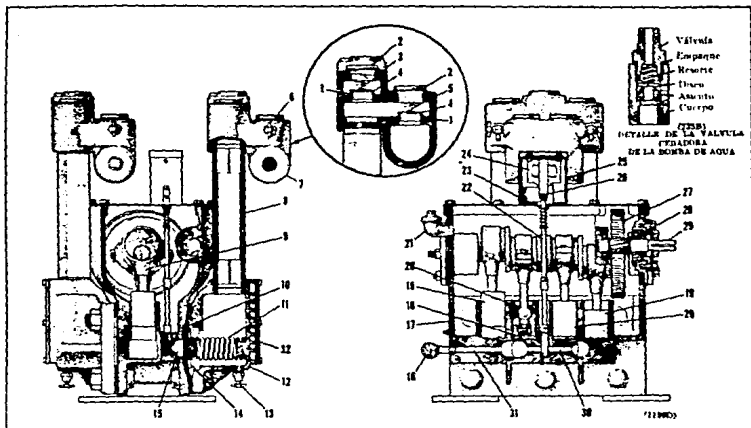


Fig. 3.2. Unidad de calentamiento de un generador vapor

3.2.2. BOMBA DE AGUA

Es una bomba del tipo de diafragma, diseñada para mantener un volumen fijo en cualquier condición de trabajo.

Es impulsada por un motor eléctrico y está dividida en 2 secciones que alimentan a la unidad de calentamiento de acuerdo con su demanda de agua.



- | | | |
|--------------------------|---|---|
| 1. Asiento de la Válvula | 12. Cabeza de la Bomba | 22. Vástago de Derivación |
| 2. Tapa de la Válvula | 13. Grifo Drene | 23. Empaque |
| 3. Resorte de Descarga | 14. Rondana del Diafragma | 24. Solenoide |
| 4. Disco de Válvula | 15. Cámara Hidráulica | 25. Cubierta del Solenoide |
| 5. Resorte de Admisión | 16. Grifo de Tierra de la Válvula de Purga Automática | 26. Armadura del Solenoide |
| 7. Cabezal | 17. Cárcer | 27. Engrane Principal |
| 8. Tubo Columna | 18. Válvula Rompe Vacío | 28. Engrane Piñón |
| 9. Corredora | 19. Pistón de la Bomba Rectificadora | 29. Eje Piñón |
| 10. Diafragma | 20. Pistón de la Bomba de Agua de Alimentación | 30. Orificio de Aceite Hacia la Válvula de Purga Automática |
| 11. Resorte | 21. Codo para Llenado de Aceite | 31. Orificio de Aceite Hacia la Válvula de Purga Automática |
| | | 32. Cubierta de la Chaqueta de Agua. |

Fig. 5.3. Bomba de agua.

Es decir que si el generador opera a media capacidad - - (fuego bajo), sólo una de las secciones de la bomba, envía el agua a la unidad de calentamiento. Y si por el contrario el generador trabaja a toda su capacidad (fuego alto), la bomba de agua opera con sus dos secciones.

3.2.3. CONJUNTO DE QUEMADOR Y VENTILADOR.

Se utiliza un ventilador de tiro forzado para suministrar una cantidad de aire suficiente para una combustión correcta. El flujo de aire entra a la cámara de combustión con movimientos espirales originados por la constitución del ducto que lleva el aire a dicha cámara, estos movimientos espirales del aire en conjunto con la atomización de las boquillas del quemador, hacen que la flama sea de alta velocidad y en forma de corazón, proporcionando una combustión completa.

3.2.4. CAMARA DE COMBUSTION.

Está diseñada para confinar la flama a un sólo lugar, y realizar una combustión completa antes que los gases lleguen a los tubos de la unidad de calentamiento.

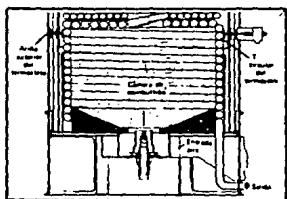


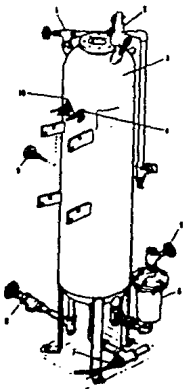
Fig. 3.4. Cámara de combustión.

3.2.5. SEPARADOR DE VAPOR.

Su función como su nombre lo indica, es separar el vapor de las partículas de agua (condensados) que lleva en suspensión.

La operación del separador es la siguiente:

El vapor que entre en él, pasa a través de una boquilla separadora que hace que el vapor gire, este movimiento centrífugo provoca la separación del condensado que por simple gravedad se acumula en el fondo del recipiente, para posteriormente ser desalojado por una trampa de vapor.



1. VALVULA DEL SOPLADOR DE HOLLIN
2. VALVULA DE SEGURIDAD
3. CUERPO DEL SEPARADOR DE VAPOR
4. VALVULA DE INSPECCION
5. VALVULA DE LA TRAMPA DE VAPOR
6. TRAMPA DE VAPOR
7. CONEXION DE AUXILIAR DEL TERMOSTATO
8. VALVULA DE DRENE
9. TERMOMETRO
10. CONECTORES

Fig. 3.5. Separador de vapor.

3.3. INSTALACION DE LA CALDERA.

Al instalar el generador de vapor debe ponerse a consideración los abastecimientos de combustible, agua y corriente eléctrica, así como la ventilación.

Es recomendable dejar un espacio amplio alrededor de la unidad para facilitar su operación y mantenimiento, lográndose así rendimientos óptimos y menor pérdida de tiempo para mantenimiento y reparaciones.

3.3.1. REQUISITOS DE VENTILACION. (1)

La ventilación apropiada es de primordial importancia para que el generador de vapor opere con eficiencia.

Debe instalarse un tubo o ducto de la chimenea del mismo diámetro (o mayor) que la salida del generador. El primer tramo de este ducto debe ser removible para facilitar el retiro de la tapa y acceso al serpentín.

Si es necesario instalar tramos de ducto horizontales, deberá tener como mínimo una inclinación de 15 grados y se aumentará el diámetro del ducto en 5 cm. por cada 3m. de longitud. En caso de codos se aumentará el diámetro en la misma proporción.

En el extremo del tubo se colocará un capuchón, cuidando no restrinja el flujo de gases.

Si el generador de vapor se instala en un cuarto cerrado debe proveerse ventilación del exterior para que suministre el aire necesario para la combustión apropiada. La ventilación deberá ser cuando menos dos veces la del área del tubo de la chimenea.

- (1) Las recomendaciones de ventilación son sugerencias del fabricante de los generadores de vapor.

3.3.2. TANQUE DE COMBUSTIBLE.

Es conveniente tener el tanque de combustible en un lugar elevado para proveer el abastecimiento por gravedad. En caso de estar el tanque a más de 3 metros debajo del nivel de la bomba de combustible del generador, deberán instalarse un tanque y bomba auxiliares.

3.3.3. TANQUE DE CONDENSADOS.

Este tanque almacena y controla el nivel de agua de alimentación de la caldera. Así mismo, recibe, almacena y distribuye eficientemente en su interior, los retornos de condensados de alta y baja presión provenientes del sistema de vapor. Además es utilizado para tratar químicamente el agua y mejorar su calidad.

El tanque de condensados puede quedar instalado a una altura igual al generador para proporcionar agua por gravedad. Sin embargo no es conveniente si se opera un retorno de condensados extremadamente caliente ya que se presentará vapor encerrado en la bomba de agua de alimentación. Por esta razón se recomienda instalarlo a una altura mayor, pudiendo quedar sujeto a una pared.

3.3.4. SUAVIZADOR DE AGUA.

El suavizador de agua es una especie de filtro que elimi

na sustancias del agua que pueden provocar incrustaciones y -
corrosión en los tubos del generador.

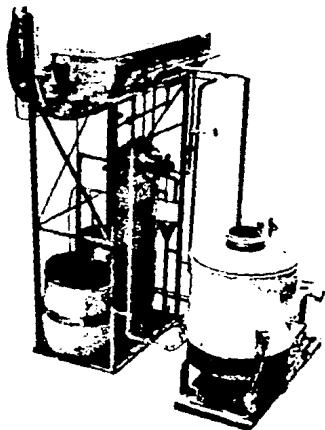
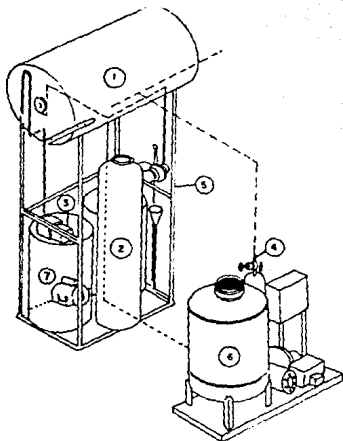
El suavizador contiene una resina y grava por las que se
hace pasar el flujo de alimentación general de agua obtenién-
dose agua suave que se almacena en el tanque de condensados -
para llevar a cabo el proceso.

La resina deberá regenerarse, haciéndose pasar salmuera
por el suavizador. Este proceso se realizará siempre que se
pruebe el agua con un reactivo jabonoso y se considere dura.

3.3.5. SISTEMA DE AGUA VAPOR.

El equipo antes mencionado opera de la siguiente manera:

La toma de agua potable se conecta al suavizador (que --
cuenta con un tanque con salmuera para su regeneración periód-
ica). El agua suave obtenida, se conduce al tanque de con -
densados donde también es bombeada una solución para trata --
miento químico del agua. De ahí, el agua será tomada e impul-
sada por la bomba del generador, pasando por el serpentín has-
ta llegar al separador de vapor, donde se tendrá una válvula
para la descarga de vapor y el residuo de condensados se en-
viará nuevamente al tanque de condensados. Este regreso de -
agua precalentada aumentará la temperatura del agua del tan-
que, optimizándose el proceso al repetirse el ciclo.



- | | |
|-------------------------|-----------------------|
| 1 Tanque de Condensados | 4 Descarga de Vapor |
| 2 Suavizador de Agua | 5 Estructura Metálica |
| 3 Bomba Dosificadora | 6 Caldera de Vapor |
| 7. Bomba Refuerzo | |

Fig. 3.6. Sistema preinstalado de un generador de vapor.

En caso de espacios reducidos o necesidad de transportar el equipo se podrá instalar como lo indica la figura 3.6, pudiendo quedar instalado en una zona de 1.58 m. de largo, 2.41 m. de ancho y una altura de 2.85 m. El peso del equipo instalado de esta forma es de 655 kg. Se observa que es posible transportarlo en la plataforma de una camioneta, aspecto muy importante a considerar para el curado con vapor en el sitio de la obra.

3.4. MANTENIMIENTO DEL GENERADOR.

Como cualquier maquinaria, el generador de vapor requiere cuidados para mantenerlo en óptimas condiciones. El mantenimiento

nimiento elemental consiste en realizar diariamente las siguientes operaciones:

- Soplado de hollín y purga del generador.
- Hacer pruebas de dureza del agua en el suavizador. (si lo requiere, regenerar la resina).
- Drenar una cuarta parte del contenido del tanque de condensados al final de la jornada de trabajo.
- Revisar el filtro del combustible.

Por otra parte es recomendable que el operador tenga un adiestramiento por parte del fabricante para una mejor operación y mantenimiento óptimo del equipo.

CAPITULO IV: CANTIDAD DE VAPOR NECESARIA PARA
EL CURADO DE CONCRETO.

- IV.1. Fórmula general para calcular la potencia requerida para el curado.
- IV.2. Cantidad de vapor necesaria para el curado a alta presión.
- IV.2.1. Ejemplo de cálculo de caballos de vapor requeridos para el curado de blocks de concreto.
- IV.3. Cantidad de vapor necesaria para el curado a presión atmosférica.
- IV.3.1. Fórmula general de potencia requerida para el curado a presión atmosférica.
- IV.3.2. Ejemplo de cálculo de vapor requerido para el curado de blocks de concreto a presión atmosférica.
- IV.4. Tablas para el cálculo de caballos de vapor requeridos para el curado.
- IV.4.1. Forma de uso de las tablas.
- IV.4.2. Ejemplo de cálculo utilizando las tablas.
- IV.5. Producción en serie.

C A P I T U L O 4

CANTIDAD DE VAPOR NECESARIA PARA EL CURADO

Como hemos visto, el curado con vapor puede ser llevado a cabo a presión atmosférica o a alta presión (autoclave), -- por lo que a lo largo de este capítulo se analizarán las potencias necesarias para determinados volúmenes y áreas de concreto a curar, con cada uno de los métodos.

4.1. FORMULA GENERAL PARA CALCULAR LA POTENCIA REQUERIDA PARA EL CURADO.

Para obtener el número de caballos de vapor requeridos es necesario conocer lo siguiente:

- Peso de los elementos considerando su calor específico, el incremento de temperatura y las horas requeridas para alcanzar dicha temperatura.
- Carga de vapor para llenar el autoclave.
- Pérdidas por radiación.

La fórmula general es la siguiente:

Elementos (A):

$$A = \frac{\text{Peso de elementos X Incremento de Temp. X Calor espec.}}{9.81 \times 641,615 \times \text{Tiempo min.} \times 0.9863}$$

Carga de vapor (B):

$$B = \frac{\text{Volumen X Calor latente del vapor.}}{\text{Volumen de vapor X } 9.81 \text{ X } 641,615 \text{ X } 0.9863}$$

Pérdida por radiación (C):

$$C = \frac{\text{Factor de pérdida "K" X Area X Incremento de temperatura}}{9.81 \text{ X } 641,615 \text{ X } 2 \text{ (pérdida en promedio) X } 0.9863}$$

Fórmula General:

$$C.V. = A + B + C$$

$$A = \frac{W \text{ X } (T2 - T1) \text{ x Ce}}{9.81 \text{ X } 641,615 \text{ X } t \text{ X } 0.9863}$$

$$B = \frac{V \text{ X } Cl}{Vv \text{ X } 9.81 \text{ X } 641,615 \text{ X } 0.9863}$$

$$C = \frac{K \text{ X } (T2 - T1)}{9.81 \text{ X } 641,615 \text{ X } 2 \text{ X } 0.9863}$$

Donde:

W = Peso de los elementos

T2 = Temperatura final

T1 = Temperatura inicial

Ce = Calor específico

t = tiempo en horas

V = Volumen del autoclave o zona de curado

Cl = Calor latente del vapor (en función de la presión)

Vv = Volumen del vapor por Kg. (en función de la presión)

K = Factor de pérdidas por radiación.

4.2. CANTIDAD DE VAPOR NECESARIA PARA EL CURADO A ALTA PRESION.

Es importante hacer un estudio de la demanda, facilidades, producción y forma de operación de la planta de piezas de concreto a la que se desea aplicar el vapor.

Para proceder al cálculo, deben tomarse en cuenta los siguientes datos y aspectos:

- 1.- La temperatura promedio más baja del medio ambiente. (En caso de estar el autoclave a la intemperie).
- 2.- La temperatura promedio más baja del cuarto. (Si el autoclave está en un lugar cerrado).
- 3.- Temperatura deseada de curado de las piezas de concreto.
- 4.- Tiempo requerido para alcanzar la temperatura de curado (2.5 a 3 hrs.), el tiempo para humedecer las -- piezas (6.5 a 12 hrs.) y el tiempo de carga y descarga.
- 5.- Peso total de las piezas para llenar el autoclave.
- 6.- Peso total y calor específico de las repisas para estibar las piezas de concreto.
- 7.- Peso total y calor específico de los soportes de las repisas.
- 8.- En caso de utilizar más de un autoclave, determinar el ciclo para la carga máxima de vapor.
- 9.- Presión y temperatura de operación del autoclave.

- 10.- Determinar el factor "K" en función del aislamiento del autoclave.
- 11.- Dimensiones (diámetro, largo y espesor) y peso del autoclave.

El máximo requerimiento de vapor, ocurre por mucho, al tiempo que el autoclave se lleva a la temperatura de curado. Esto incluye alcanzar dicha temperatura en el autoclave, las piezas de concreto, las repisas, los soportes de las repisas y cualquier otro equipo o estructura que esté contenida en el autoclave durante el curado.

4.2.1. EJEMPLO DEL CALCULO DE CABALLOS DE VAPOR REQUERIDOS PARA EL CURADO DE BLOCKS DE CONCRETO.

Se suponen las siguientes condiciones:

- 1.- El autoclave se encuentra a la intemperie.
- 2.- Mínima temperatura ambiental es 5 grados centígrados.
- 3.- Temperatura inicial de todos los elementos es 5°C.
- 4.- Temperatura máxima de curado es 175°C.
- 5.- Dimensiones y peso del autoclave:

Diámetro 2.50 m,

Largo 30.00 m.

Espesor 7/8 in. = 2.22 cm.

Peso del acero 7,600 kg/m³.

Peso del autoclave = 86,133 kg.

$$(Pi \times 5 \times 30) + 2(Pi \times 2.5 \times 2.5) \times 0.0222 \times 7600$$

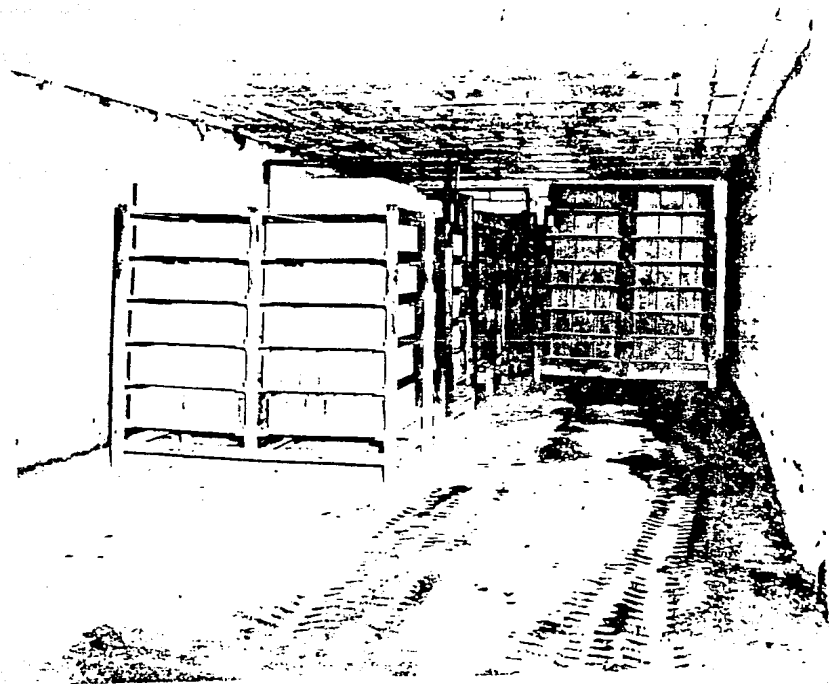


Fig. 4.1. Autoclave para curado de blocks de concreto.

- 6.- Soportes para repisas (28) de 300 kg. c/u.
 $28 \times 300 = 8,400 \text{ kg.}$
- 7.- Repisas (700) de 20 kg. c/u.
 $700 \times 20 = 14,000 \text{ kg.}$
- 8.- Peso y número de blocks. 8,000 blocks de 5 kg. c/u.
- 9.- Factor "K" para autoclaves aisladas = 785 cal/m²/hr.
- 10.- Calor específico de los bloques de concreto = 200 cal/Kg. C
- 11.- Calor específico del acero = 113 cal./kg. C
- 12.- Tiempo para alcanzar la temperatura máxima = 3 hrs.

Cálculos:

Peso del autoclave	86,133 kg.
Peso de los soportes	8,400 kg.
Peso de las repisas	<u>14,000 kg.</u>
T O T A L	108,533 kg.

$$A1 = \frac{108,533 \times 113 \times 170}{9.81 \times 641,615 \times 3 \times 9863} = 111.95 \text{ C.V.}$$

$$A2 = \frac{8,000 \times 5 \times 200 \times 170}{9.81 \times 641,615 \times 3 \times 9863} = 73.02 \text{ C.V.}$$

Vapor para llenar autoclaves:

Calor latente del vapor a 10.5 kg./cm² es 214,970 cal.

Volumen del vapor a 10.5 kg./cm² es 1.8391 m³/kg.

Volumen del autoclave es 589.04 m³ pero descontando el volumen de los blocks (50% aproximadamente), tenemos 295 m³.

$$B = \frac{295 \times 214,970}{1.8391 \times 3 \times 9.81 \times 641,615 \times 0.9863} = 1.85 \text{ C.V.}$$

Pérdidas por radiación:

$$C = \frac{785 \times 170 \times 510.50}{9.81 \times 641,615 \times 2 \times 0.9863} = 5.49 \text{ C.V.}$$

Total de caballos de vapor requeridos para calentar el auto-clave en 3 horas:

Calentamiento del equipo (A1)	111.95 C.V.
Calentamiento de blocks (A2)	73.02 C.V.
Carga del autoclave (B)	1.85 C.V.
Pérdidas por radiación (C)	<u>5.49 C.V.</u>
S U M A	192.31 C.V.

Supongamos 10% de pérdidas en la transmisión 19.23 C.V.

Total de C.V. requeridos por hora durante las primeras 3 horas. 211.54 C.V.

Después de las 3 primeras horas, los caballos de vapor por hora, requeridos para el curado serán:

Pérdidas por radiación (5.49 X 2)	10.98 C.V.
Pérdidas en la transmisión	<u>19.23 C.V.</u>
T O T A L	30.21 C.V.

Quedando disponibles para otros autoclaves u otros requerimientos de vapor 178.85 C.V.

4.3. CANTIDAD DE VAPOR NECESARIA PARA EL CURADO A PRESION ATMOSFERICA.

Como hemos visto, el curado con vapor a baja presión es un método muy versátil ya que se utiliza para el curado de losas, blocks de concreto, elementos precolados y preesforzados etc. A pesar de esa variedad de elementos, el sistema de cálculo de caballos de vapor requerido es prácticamente el mismo para todos los casos.

Los aspectos que debemos tomar en cuenta para obtener la potencia de la caldera para el curado son los siguientes:

- 1.- Temperatura promedio más baja del medio ambiente.
- 2.- Temperatura de curado.
- 3.- Incremento de temperatura por hora (normalmente 33 °C/hr.)
- 4.- Peso total del concreto.
- 5.- Peso total de elementos de la cámara de curado.
- 6.- En caso de utilizar más de una cámara, determinar el ciclo de puntos de vapor máximo.
- 7.- Determinar el factor "K" de pérdidas por radiación.
- 8.- Dimensiones de la cámara.

Es importante tomar en cuenta que entre mejor aisladas estén las cámaras de curado, menor será la cantidad de vapor requerida.

4.3.1. FORMULA GENERAL DE POTENCIA REQUERIDA PARA EL CURADO A PRESION ATMOSFERICA.

$$C.V. = A + B + C$$

De elementos de la cámara:

$$A = \frac{\text{Peso de elementos} \times \text{Calor específico} \times \text{Incremento de Temp.}}{9.81 \times 641,615 \times 0.9863}$$

Carga de vapor para llenar la cámara:

$$B = \frac{\text{Volumen de la cámara} \times \text{Calorías por kilogramo de vapor}}{0.9863 \times 9.81 \times 641,615 \times \text{Volumen por Kg. de vapor}}$$

Pérdidas por radiación:

$$C = \frac{\text{Factor de pérdida de calor} \times \text{Area} \times \text{diferencia de temps.}}{0.9863 \times 9.81 \times 641,615}$$

Fórmula general:

$$C.V. = \frac{W \times T_2 \times T_1}{9.81 \times 641,615 \times 98} + \frac{V \times C_1}{V_v \times 9.81 \times 641,615 \times 98} + \frac{K \times A \times (T_2 - T_1)}{9.81 \times 641,615 \times 98}$$

Donde:

W = Peso de los elementos

Ce = Calor específico

V = Volumen de la cámara

- C1 = Calor latente del vapor (en función de la presión)
Vv = Volumen por Kg. de vapor (en función de la presión)
K = Factor de pérdidas por radiación
A = Area de la cámara
T2 = Temperatura final
T1 = Temperatura inicial

4.3.2. EJEMPLO DE CALCULO DE VAPOR REQUERIDO PARA EL CURADO DE BLOCKS DE CONCRETO A PRESION ATMOSFERICA.

Suponemos los siguientes datos:

- 1.- Cámara de curado situada a la intemperie.
- 2.- Temperatura mínima del ambiente, -5°C .
- 3.- Temperatura inicial de los materiales 5°C .
- 4.- Temperatura máxima del curado, 75°C .
- 5.- Datos de la cámara:
 - Ancho = 3.00 m.
 - Largo = 10.00 m.
 - Alto = 2.50 m.
 - 2 puertas $3,00 \times 2,10$ m. = 12,60 m².
 - Techo y muros expuestos = 82.40 m².
 - Volumen = 75.00 m³.
- 6.- Soportes (14) para las repisas de los blocks.
 - 300 kg. c/u. X 14 piezas = 4,200 kg.
- 7.- 350 repisas de 25 kg. c/u. = 8,750,00 kg.
- 8.- Peso y número de blocks de concreto:
 - 8,000 pzas. X 2.5 kg. c/u. = 20,000.00 kg.

- 9.- Calor específico de los blocks de concreto.
 $0.20 \text{ cal/gr. } ^\circ\text{C} = 200 \text{ cal/kg. } ^\circ\text{C}.$
- 10.- Factores de pérdida por radiación:
 Factor para las paredes expuestas = $680 \text{ cal/m}^2 \text{ hr.}$
 Factor para las puertas de la cámara = $2,710 \text{ cal/m}^2 \text{ hr.}$
 Factor para el volumen libre de la cámara = $55 \text{ cal/m}^2 \text{ hr.}$
- 11.- Incremento de temperatura:
 $(T_2 - T_1) = (75 - 5) = 70^\circ\text{C}.$
- 12.- Tiempo requerido para aumentar la temperatura a razón de 33°C. por hora.
 $70/33 = 2.12 \text{ hrs.}$

Cálculos:

Peso de soportes	4,200 kg.
Peso de las repisas	<u>8,750 kg.</u>
T O T A L	12,950 kg.

$$A1 = \frac{12,950 \times 113 \times 33}{9.81 \times 641,615 \times .9863} = 7.78 \text{ C.V.}$$

De los blocks de concreto:

$$20,000 \times 200 \times 33$$

$$A2 = \frac{20,000 \times 200 \times 33}{9.81 \times 641,615 \times .9863} = 21.26 \text{ C.V.}$$

Vapor para llenar la cámara:

Presión de operación 5.27 kg./cm²

Calor latente del vapor
a 5.27 kg/cm². 225,465 cal.

Volumen del vapor (5.27Kg/cm²) 0.3033 m³/kg.

Volumen de la cámara
75 m³ - 50% por carga = 37.5 m³

$$B = \frac{37.5 \times 225,465}{0.3033 \times 9.82 \times 641,615 \times 9.863} = 4.48 \text{ C.V.}$$

Pérdidas por radiación:

$$(T_2 - T_1) = 70^\circ\text{C}$$

Puertas:

$$C_1 = \frac{12.60 \times 70 \times 2710}{9.81 \times 641,615 \times 9.863} = 0.39 \text{ C.V.}$$

Paredes expuestas:

$$C_2 = \frac{82.40 \times 70 \times 680}{9.81 \times 641,615 \times 9.863} = 0.63 \text{ C.V.}$$

Pérdidas por radiación = 1.02 C.V.

$$\text{SUMA} = 34.54 \text{ C.V.}$$

Pérdidas por transmisión (10%) = 3.45 C.V.

Los caballos de vapor requeridos son los siguientes:

Debido a:

Soportes y repisas	7.78 C.V.
Blocks de concreto	21.26 C.V.
Vapor para llenar la cámara	4.48 C.V.
Pérdidas por radiación	<u>1.02 C.V.</u>
S U M A	34.54 C.V./hr.
Pérdidas por transmisión 10%	<u>3.45 C.V.</u>
TOTAL (período de calentamiento)	37.99 C.V./hr.

Para mantener la temperatura de curado se requieren unicamente los siguientes caballos de vapor:

Debido a:

Pérdidas por radiación	1.02 C.V.
Pérdidas por transmisión	<u>3.45 C.V.</u>
T O T A L	4.47 C.V./hr.

4.4. TABLAS PARA EL CALCULO DE CABALLOS DE VAPOR REQUERIDOS PARA EL CURADO.

A continuación se presentan varias tablas para el cálculo aproximado y rápido de los caballos de vapor requeridos para el curado.

4.4.1. FORMA DE USO DE LAS TABLAS.

1) Calcular el peso de todos los elementos de acero (autoclave, soportes, repisa, etc.) y multiplicarlo por el incre

mento de temperatura por hora. Con este dato utilizar la tabla 4.1 y obtener los caballos de vapor requeridos por elementos de acero.

2) Calcular el peso de todos los elementos de concreto a curar y multiplicarlo por el incremento de temperatura por hora. Entrar a la tabla 4.2 y obtener los caballos de vapor requeridos para el curado del concreto.

3) Con la presión de operación, obtener el factor de la tabla 4.5 y multiplicarlo por el volumen libre (aprox. 50% -- del volumen de la cámara o igual al volumen de concreto). -- Utilizar la tabla 4.6 con este dato y obtener los caballos de vapor requeridos para el llenado de la cámara o autoclave.

4) Para el cálculo de las pérdidas de caballos de vapor por radiación en autoclaves, ver la tabla 4.7, donde el eje de las abscisas corresponde al área por el incremento de temperatura.

5) Para el curado en cámaras, las pérdidas de caballos de vapor por radiación pueden calcularse utilizando la tabla 4.8 para cada uno de los materiales expuestos.

El total de caballos de vapor está dado por la suma de los incisos anteriores correspondientes a autoclaves o cámaras, según sea el caso, incrementada en 10% por pérdidas en la transmisión.

4.4.2. EJEMPLO DEL CALCULO UTILIZANDO LAS TABLAS.

En este ejemplo se calcularán los caballos de vapor requeridos para el curado con vapor de pilotes de concreto.

Datos:

- a) Curado a presión atmosférica utilizando lonas.
- b) La presión de operación será 5.3 KG./CM².
- c) Incremento de temperatura es 70 °C.
- d) Curado de dos pilotes a la vez.
- e) Datos de cada pilote:

Sección:	Cuadrada.
largo:	10 m.
lado:	45 cm.
Volumen:	2.03 M ³ .
Peso/vol.:	2,400 Kg./ M ³ .
Peso/pieza:	4,872 Kg.
- f) Cimbra metálica con peso total de 300 kg.
- g) El área expuesta de las lonas es de 20 M².
- h) Volumen de vapor en la cámara 4 M³.

Cálculo:

1.- Caballos de vapor requeridos por acero en la cámara:

$$300 \text{ Kg.} \times 70^\circ\text{C} = 21,000 \text{ Kg}^\circ\text{C.}$$

$$21,000 \text{ Kg}^\circ\text{C} \text{----- Tabla 4.1.B-----} 0.38 \text{ C.V.}$$

- 2.- Caballos de vapor requeridos por el concreto:
 $(4,872 \text{ Kg. X } 2) \times 70^\circ\text{C} = 682,080 \text{ Kg}^\circ\text{C}.$
 $682,080 \text{ Kg}^\circ\text{C} \text{ ----- TABLA 4.2 ----- } 19.50 \text{ C.V.}$
- 3.- Caballos de vapor por llenado de la cámara:
 $5.3 \text{ Kg/cm } 2 \text{ ----- TABLA 4.5 ----- } 1.2$
 $1.2 \times 4 \text{ M}^3 \text{ ----- TABLA 4.5 ----- } 0.8 \text{ C.V./hr.}$
- 4.- Pérdidas por radiación:
 $20 \text{ M } 2. \text{ ----- TABLA 4.8 ----- } 0.6 \text{ C.V.}$
- 5.- Suma:
 $0.38 + 19.50 + 0.80 + 0.60 = 21.28 \text{ C.V.}$
- 6.- Pérdidas por transmisión (10%):
 $21.28 \text{ C.V.} \times 10\% = 2.13 \text{ C.V.}$
- 7.- Total:
 $21.28 + 2.13 = 23.41 \text{ C.V.}$

4.5. PRODUCCION EN SERIE.

Para alcanzar la temperatura de curado, se requerirá de una gran potencia, sin embargo una vez alcanzada dicha temperatura, la potencia requerida para mantenerla se reducirá a la suma de las pérdidas (conducción y radiación) por lo que gran parte de la potencia de la caldera quedará disponible.

Esta potencia disponible podrá ser utilizada en otros requerimientos de vapor o para establecer un ciclo de curado en serie. Por ejemplo, si consideramos un período de carga de 2 horas utilizando 35 C.V./hr. y un período de curado de 8 ho-

ras con un consumo de vapor de 3 C.V./hr., se observa que durante el período de curado disponemos de 32 C.V. y podemos establecer un ciclo de curado de la siguiente manera:

- 1.- Se propone utilizar 5 cámaras iguales.
- 2.- Tener un desfase de 2 horas en la carga de vapor de cada cámara.

Con este ciclo, la potencia máxima requerida será de 47 C.V. al llenarse de vapor una cámara (35 C.V.) y las cuatro cámaras restantes manteniéndose a la temperatura de curado -- con 3 C.V. cada una. (4 cámaras X 3 C.V. = 12 C.V.).

Se observa que en este caso la producción aumentó 5 veces con sólo aumentar en 35% la potencia de la caldera.

Establecer ciclos de curado u otros usos al vapor puede reducir en forma considerable el costo del curado, aumentando la producción y reduciendo los tiempos de fabricación.

TABLA 4.1

C.V. REQUERIDOS POR ACERO EN LA CAMARA.

-19-

C.V.

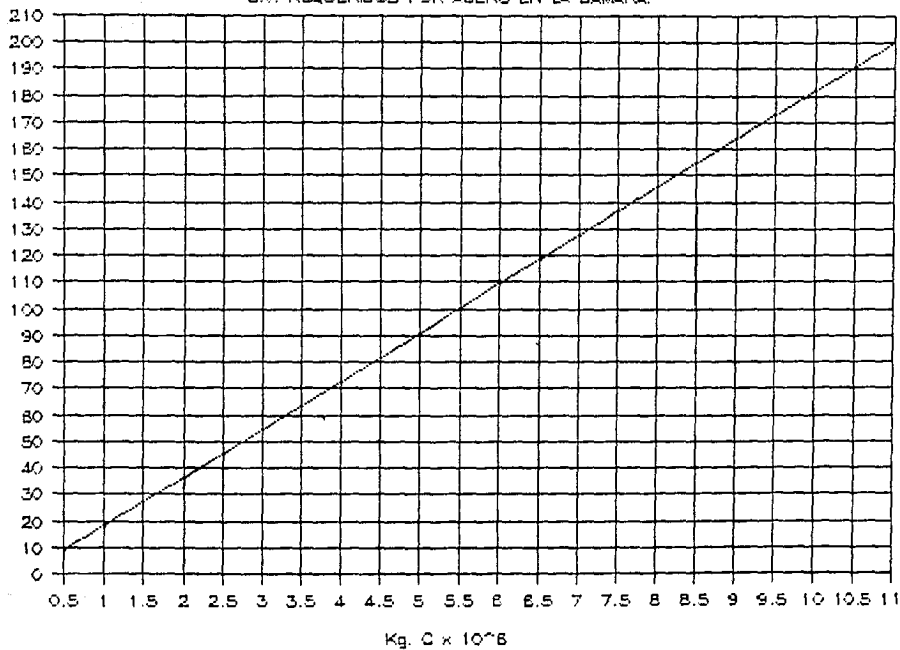


TABLA 4.1.B

C.V. REQUERIDOS POR ACERO EN LA CAMARA.

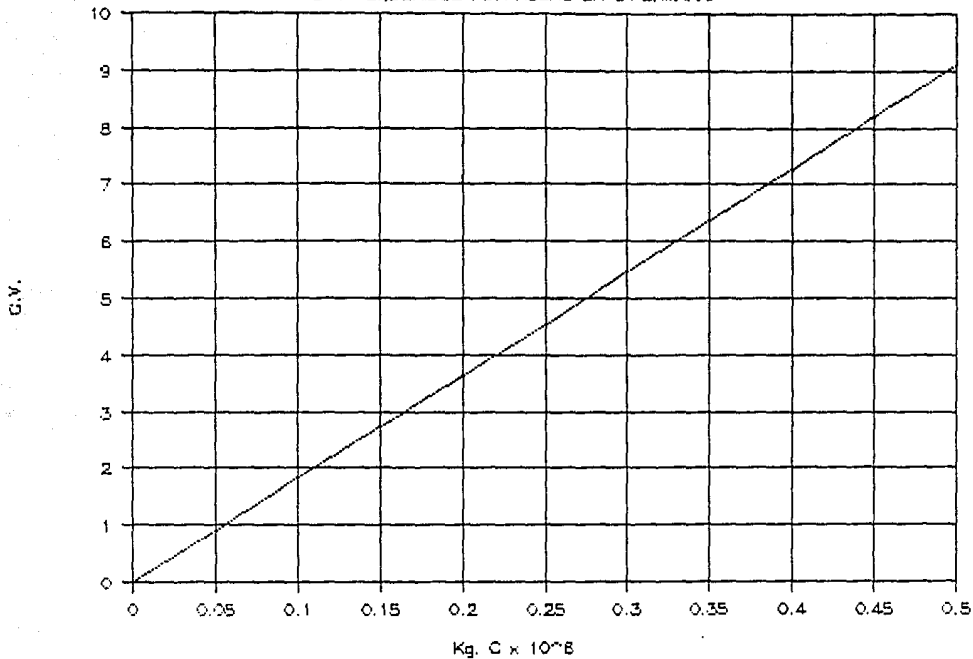


TABLA 4.2

C.V. REQUERIDOS DEBIDO AL CONCRETO.

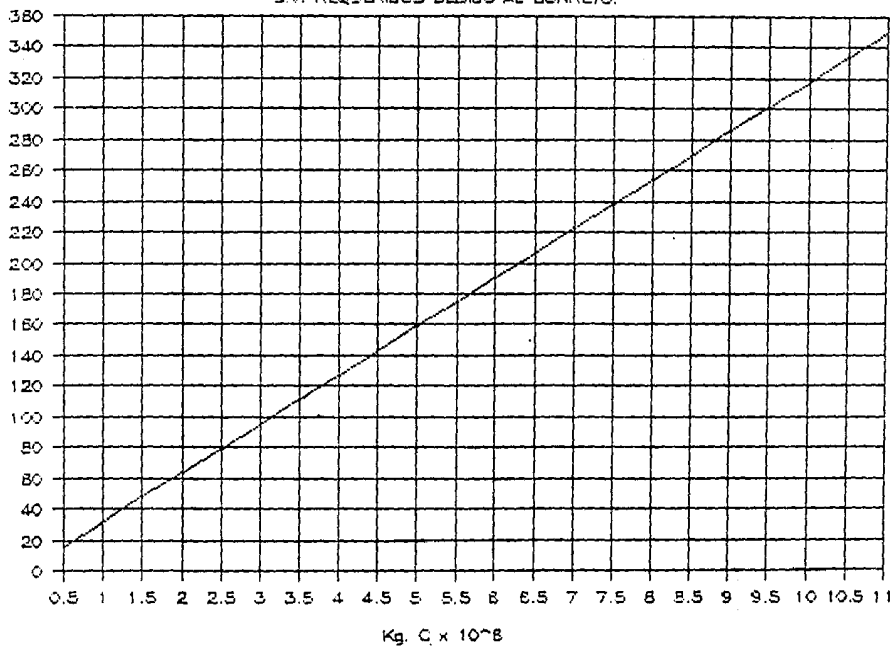


TABLA 4.3

GRÁFICA PRESION vs. VOLUMEN/PESO.

-79-

M³ / Kg.

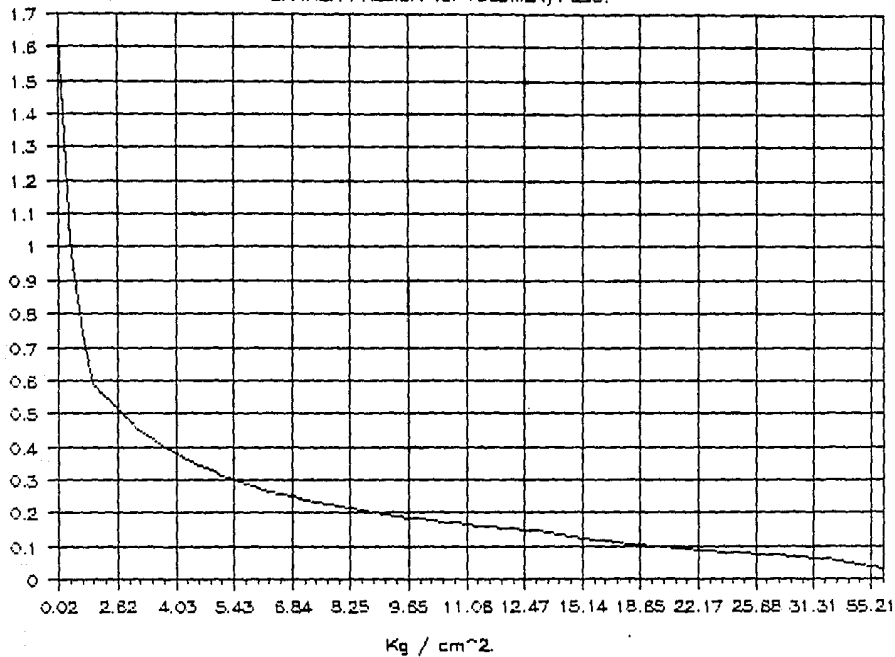


TABLA 4.4

PREISION vs. KILOGALORIAS.

-59-

KILOGALORIAS

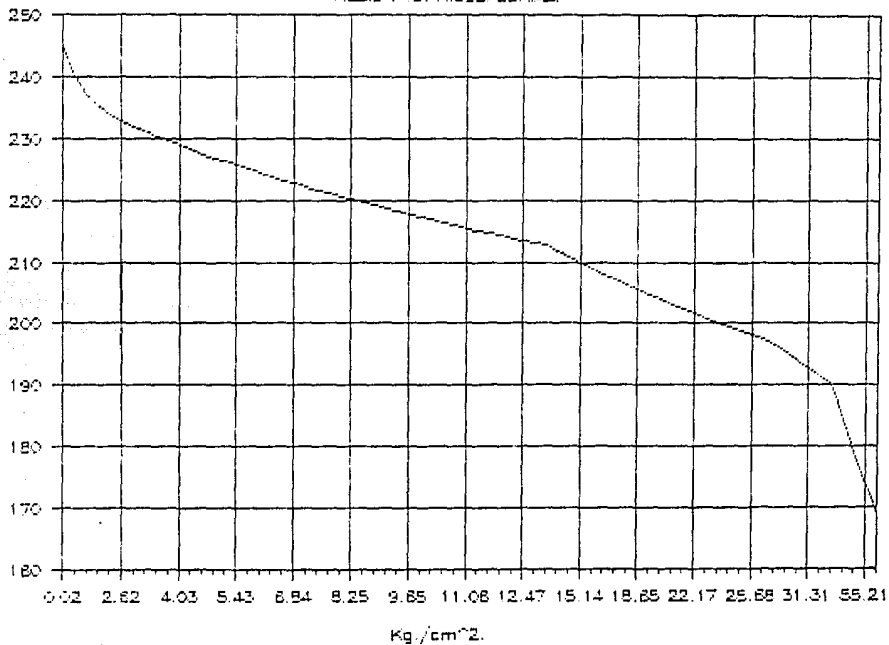


TABLA 4.5

PRESION vs. FACTOR LLENADO VAPOR.

-99-

FACTOR.

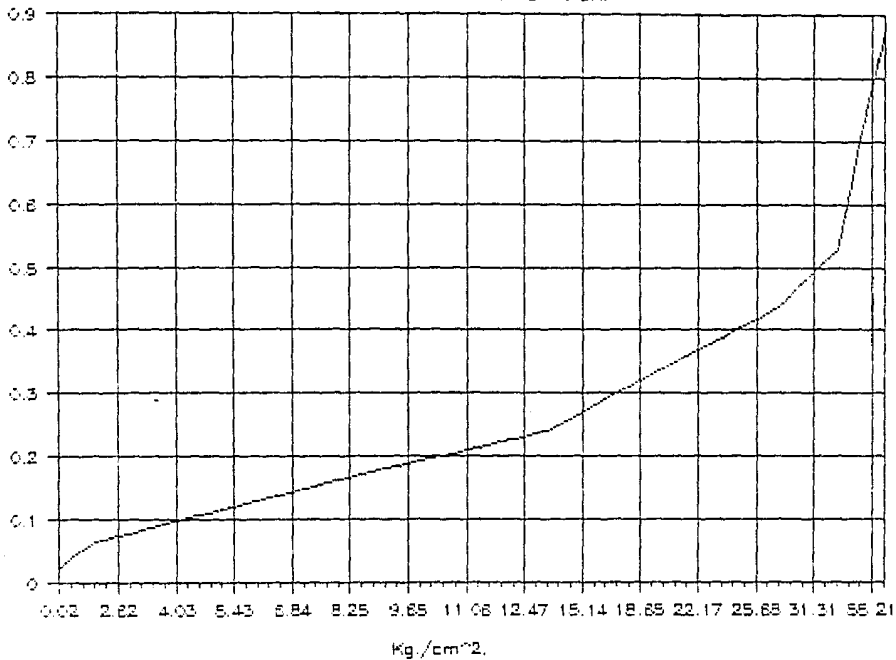


TABLA 4.6

C.V. REQUERIDOS PARA EL LLENADO DE VAPOR

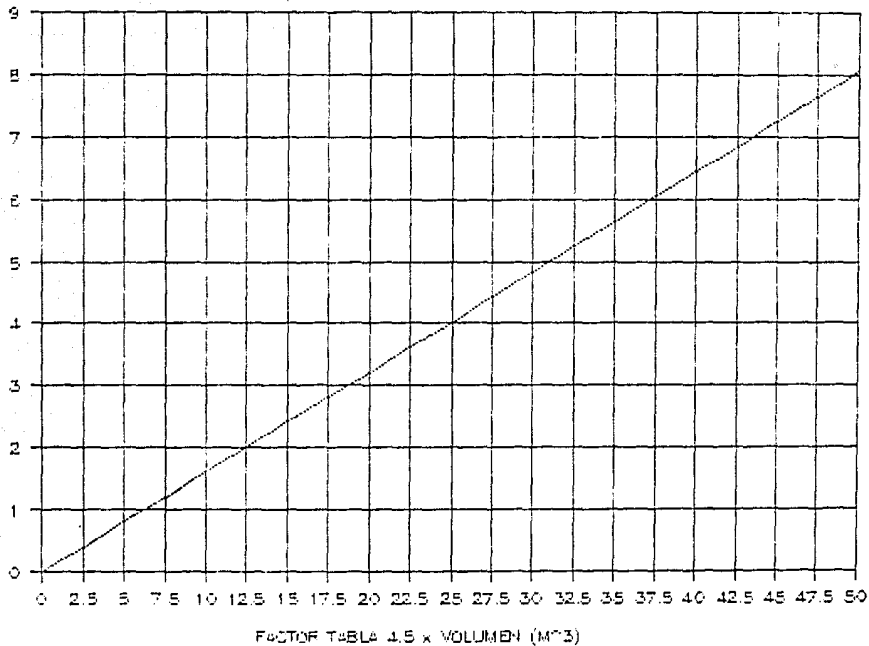
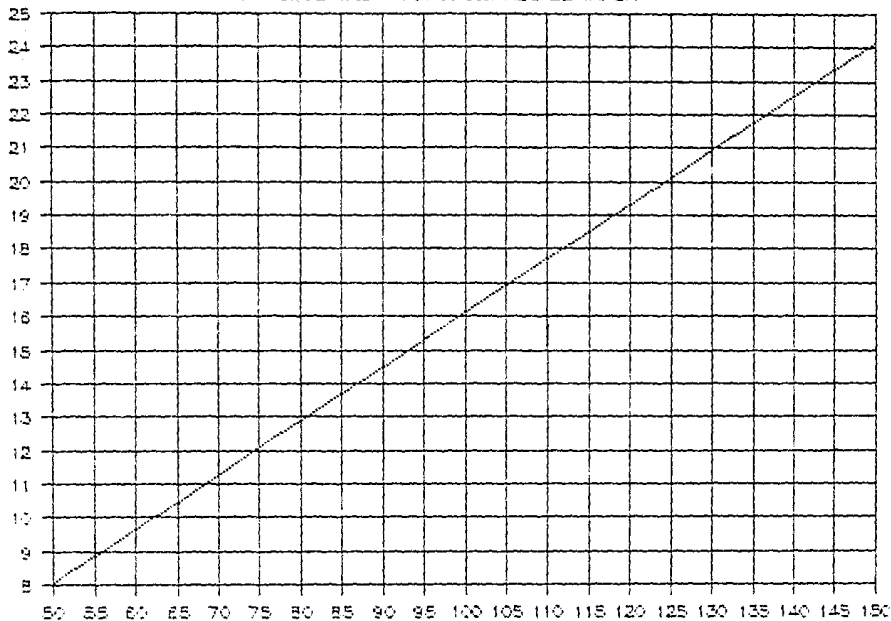


TABLA 4.6.B

C.V. REQUERIDOS PARA EL LLENADO DE VAPOR.



FACTOR TABLA 4.6 x VOLUMEN (M³)

TABLA 4.6.C

C.V. REQUERIDOS PARA EL LLENADO DE VAPOR

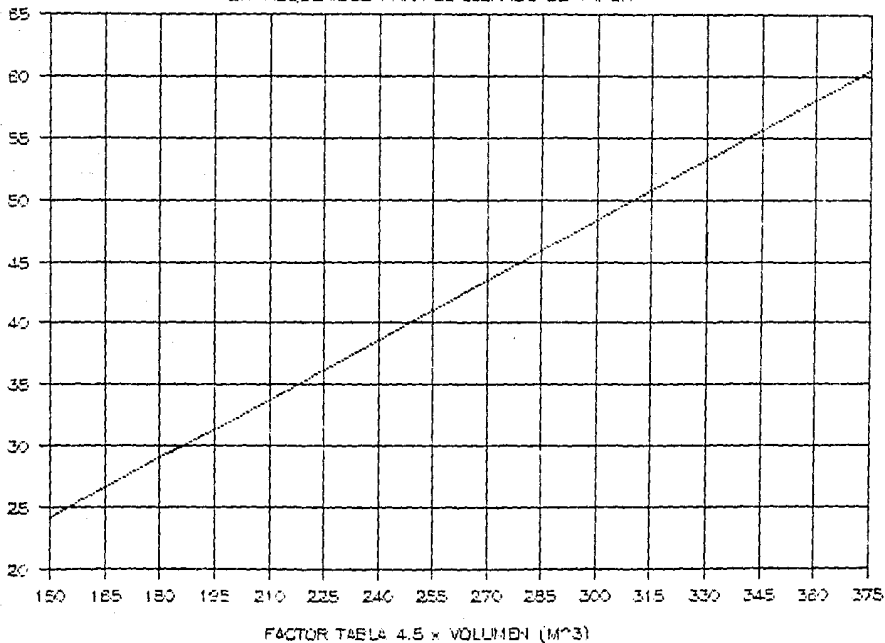


TABLA 4.7

PERDIDAS DE C.V. EN AUTOCLAVES

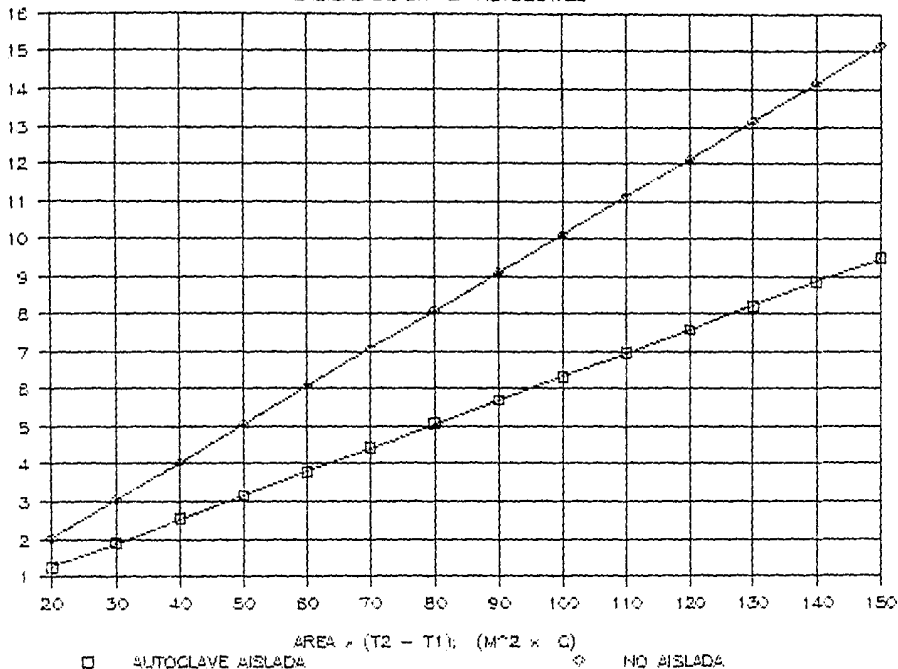
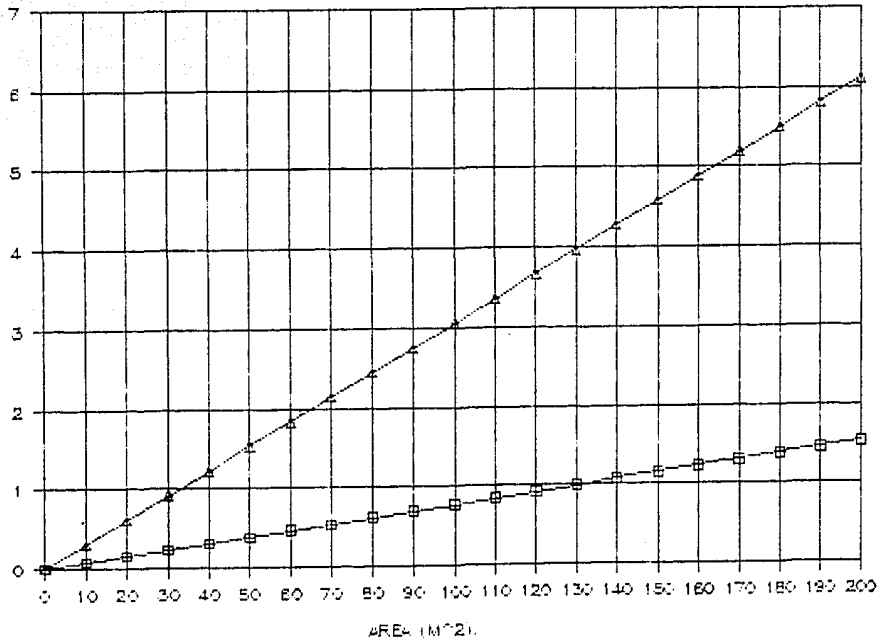


TABLA 4.8. $(T_2 - T_1) = 70 \text{ C}$

PERDIDAS DE C.V. EN CÁMARAS DE CURADO.

-71-
G.W.



□ PAREDES EXPUESTAS

△ PUERTAS Y LONAS.

**CAPITULO V: COSTO DEL CURADO CON VAPOR Y
APLICACIONES RECOMENDADAS.**

- V.1. Precio de algunos equipos para la generación de vapor.
- V.2. Costo horario de un generador de vapor.
- V.2.1. Costo horario de un generador de vapor de 10 C.V.
- V.2.2. Costo horario de un generador de vapor de 16 C.V.
- V.2.3. Costo horario de un generador de vapor de 33 C.V.
- V.2.4. Costo horario de un generador de vapor de 60 C.V.
- V.2.5. Costo horario de un generador de vapor de 100 C.V.
- V.2.6. Costo horario de un generador de vapor de 150 C.V.
- V.2.7. Costo horario de un generador de vapor de 200 C.V.
- V.3. Aplicaciones recomendadas.

C A P I T U L O 5
COSTO DEL CURADO CON VAPOR Y
Y APLICACIONES RECOMENDADAS

5.1. COSTO DE ALGUNOS EQUIPOS PARA LA GENERACION DE VAPOR.

A continuación se presenta una tabla (tabla 5.1) con el costo de algunos equipos para la generación de vapor. Los precios de dicha tabla están actualizados al mes de abril de 1990. Y para obtener un costo aproximado de los equipos en otras fechas, podrá tomarse como parámetro el salario mínimo que en el mes de abril de 1990 alcanza los \$10,080.00 diarios.

5.2. COSTOS HORARIO DE GENERADORES DE VAPOR.

Con ayuda de la tabla 5.1, se calcularán los costos horarios de algunos generadores de vapor, tomándose en cuenta los cargos fijos (Depreciación, inversión, seguros y mantenimiento), cargos por consumos (Lubricantes, combustible, agua, etc.) y el cargo por operación.

5.2.1. COSTO HORARIO DE UN GENERADOR DE VAPOR DE 10 C.V.

DATOS GENERALES:

Valor de adquisición (Va)	=	\$36,458,000
Valor de rescate (Vr)	=	\$14,583,200
Tasa de interés (i)	=	0.40
Prima de seguros (s)	=	0.02

T A B L A 5 . 1

COSTO DE GENERADORES DE VAPOR EN MILES DE PESOS.

CABALLOS DE VAPOR	GENERADOR	TANQUES DE CONDENSADOS	SUAVIZADORES	TANQUES DE COMBUSTIBLES	CHIMENEAS	SUMA
10	\$24,450	\$4,980	\$3,466	\$2,730	\$832	\$36,458
16	\$26,650	\$4,980	\$3,466	\$2,730	\$832	\$38,658
33	\$44,400	\$4,980	\$4,100	\$3,990	\$1,000	\$58,470
60	\$66,500	\$4,980	\$6,357	\$4,610	\$1,408	\$83,855
100	\$86,700	\$6,770	\$9,022	\$6,060	\$1,552	\$110,104
150	\$112,000	\$8,600	\$11,626	\$6,990	\$1,792	\$141,008
200	\$140,000	\$8,600	\$14,366	\$12,800	\$1,792	\$177,558

Vida económica (Ve) = 5 años = 10000 hrs.
Horas por año (Ha) = 2000 hrs.
Factor de mantenimiento (Q) = 0,90

I.- CARGOS FIJOS

a) Depreciación:

$$D = \frac{V_a - V_r}{V_e} = \$2,187$$

b) Inversión:

$$I = \frac{V_a + V_r}{2 \text{ Ha}} i = \$5,104$$

c) Mantenimiento:

$$M = Q \times D = \$1,969$$

$$\text{SUMA DE CARGOS FIJOS} = \$9,260$$

II.- CONSUMOS

a) Combustible:

$$\text{Diesel} = 1.12 \times \text{H.P.} \times \$/\text{lt.} = \$11$$

b) Agua:

$$\text{Agua} = 16.5 \text{ tps/CV/hr.} \times \$1.02 = \$169$$

$$\text{SUMA DE CARGOS POR CONSUMOS} = \$180$$

III.- OPERACION

a) Operador:

$$O = \frac{S_o}{H} = \$25,000$$

CARGOS POR OPERACION \$25,000

IV.- COSTO HORARIO DE LA CALDERA

$$\text{SUMA I} + \text{II} + \text{III} = \$34,440$$

5.2.2. COSTO HORARIO DE UN GENERADOR DE VAPOR DE 16 C.V.

DATOS GENERALES:

Valor de adquisición (Va) =	\$38,658,000
Valor de rescate (Vr) =	\$15,463,200
Tasa de interés (i) =	0.40
Prima de seguros (s) =	0.02
Vida económica (ve) = 5 años =	10000 hrs.
Horas por año (Ha) =	2000 hrs.
Factor de mantenimiento (Q) =	0.90

I.- CARGOS FIJOS

a) Depreciación:

$$D = \frac{V_a - V_r}{V_e} \quad \$2,319$$

b) Inversión:

$$I = \frac{V_a + V_r}{2 H_a} \quad i = \$5,412$$

c) Mantenimiento:

$$M = Q \times D = \$2,088$$

$$\text{SUMA DE CARGOS FIJOS} = \$9,819$$

II.- CONSUMOS

a) Combustible:

$$\text{Diesel} = 1.12 \times \text{H.P.} \times \$/1\text{t.} \quad \$18$$

b) Agua:

$$\text{Agua} = 16.5 \text{ lts/CV/hr.} \times \$1.02 = \$270$$

$$\text{SUMA DE CARGOS POR CONSUMOS} \quad \$288$$

III.- OPERACION

a) Operador:

$$O = \frac{So}{H} = \$2,500$$

$$\text{CARGOS POR OPERACION} \quad \$2,500$$

IV.- COSTO HORARIO DE LA CALDERA

$$\text{SUMA I} + \text{II} + \text{III} \quad \$12,607$$

5.2.3. COSTO HORARIO DE UN GENERADOR DE VAPOR DE 33 C.V.

DATOS GENERALES:

$$\text{Valor de adquisición (Va)} = \$58,470,000$$

$$\text{Valor de rescate (Vr)} = \$25,388,000$$

$$\text{Tasa de interés (i)} = 0.40$$

$$\text{Prima de seguros (s)} = 0.02$$

Vida económica (Ve) = 5 años =	10000 hrs.
Horas por año (Ha) =	2000 hrs.
Factor de mantenimiento (Q) =	0.90

I.- CARGOS FIJOS

a) Depreciación:

$$D = \frac{V_a - V_r}{V_e} = \$3,508$$

b) Inversión:

$$I = \frac{V_a + V_r}{2 Ha} i = \$8,186$$

c) Mantenimiento:

$$M = Q \times D = \$3,157$$

$$\text{SUMA DE CARGOS FIJOS} = \$14,851$$

II.- CONSUMOS

a) Comsutable:

$$\text{Diesel} = 1.12 \times \text{H.P.} \times \$/\text{lt.} = \$37$$

b) Agua:

$$\text{Agua} = 16.5 \text{ lt/CV/hr.} \times \$1.02 = \$557$$

$$\text{SUMA DE CARGOS POR CONSUMOS} = \$594$$

III.- OPERACION

a) Operador:

$$O = \frac{S_o}{H} = \$2,500$$

ESTA TESIS NO DEBE
 SALIR DE LA BIBLIOTECA

CARGOS POR OPERACION	\$2,500
IV.- COSTO HORARIO DE LA CALDERA	
SUMA I + II + III =	\$17,945

5.2.4. COSTO HORARIO DE UN GENERADOR DE VAPOR DE 60 C.V.

DATOS GENERALES:

Valor de adquisición (Va) =	\$83,855,000
Valor de rescate (Vr) =	\$33,542,000
Tasa de interés (i) =	0.40
Prima de seguros (s) =	0.02
Vida económica (Ve) = 5 años =	10000 hrs.
Horas por año (ha) =	2000 hrs.
Factor de mantenimiento (Q) =	0.90

I.- CARGOS FIJOS

a) Depreciación:

$$D = \frac{Va - Vr}{Ve} = \$5,031$$

b) Inversión:

$$I = \frac{Va + Vr}{2 Ha} = \$11,740$$

c) Mantenimiento:

$$M = Q \times D = \$4,528$$

$$\text{SUMA DE CARGOS FIJOS} = \$21,299$$

II.- CONSUMOS

a) Combustible:

Diesel = 1.12 X H.P. X \$/lt. \$67

b) Agua:

Agua = 16.5 lts./CV/hr. X \$1.02 \$1,013

SUMA DE CARGOS POR CONSUMOS \$1,080

III.- OPERACION

a) Operador:

$O = \frac{So}{H} =$ \$2,500

CARGOS POR OPERACION \$2,500

IV.- COSTO HORARIO DE LA CALDERA

SUMA I + II + III = \$24,879

5.2.5. COSTO HORARIO DE UN GENERADOR DE VAPOR DE 100 C.V.

DATOS GENERALES:

Valor de adquisición (va) =	\$110,104,000
Valor de rescate (Vr) =	\$ 44,041,600
Tasa de interés (i) =	0.40
Prima de seguros (s) =	0.20
Vida Económica (Ve) = 5 años =	10000 hrs.
Horas por año (Ha) =	2000 hrs.
Factor de mantenimiento (Q) =	0.90

I.- CARGOS FIJOS

a) Depreciación:

$$D = \frac{V_a - V_r}{V_e} = \$6,606$$

b) Inversión:

$$I = \frac{V_a + V_r}{2 \text{ Ha}} \quad i = \$15,415$$

c) Mantenimiento:

$$M = Q \times D = \$ 5,946$$

$$\text{SUMA DE CARGOS FIJOS} = \$27,966$$

II.- CONSUMOS

a) Combustible:

$$\text{Diesel} = 1.12 \times \text{H.P.} \times \$/\text{lt.} \quad \$112$$

b) Agua:

$$\text{Agua} = 16.5 \text{ lts/CV/hr.} \times \$1.02 \quad \$1,688$$

$$\text{SUMA DE CARGOS POR CONSUMOS} \quad \$1,800$$

III.- OPERACION

a) Operador:

$$O = \frac{S_o}{H} = \$2,500$$

$$\text{COSTOS POR OPERACION} \quad \$2,500$$

IV.- COSTO HORARIO DE LA CALDERA

$$\text{SUMA I} + \text{II} + \text{III} = \$32,266$$

5.2.6. COSTO HORARIO DE UN GENERADOR DE VAPOR DE 150 C.V.

DATOS GENERALES:

Valor de adquisición (Va) =	\$141,008,000
Valor de rescate (Vr) =	\$ 56,403,200
Tasa de interés (i) =	0.40
Prima de seguros (s) =	0.02
Vida económica (Ve) = 5 años =	10000 hrs.
Horas por año (Ha) =	2000 hrs.
Factor de mantenimiento (Q) =	0.90

I.- CARGOS FIJOS

a) Depreciación:

$$D = \frac{Va - Vr}{Ve} \quad \$8,460$$

b) Inversión:

$$I = \frac{Va + Vr}{2 Ha} \quad i = \quad \$19,741$$

c) Mantenimiento:

$$M = Q \times D = \quad \$ 7,614$$

$$\text{SUMA DE CARGOS FIJOS} = \quad \$35,816$$

II.- CONSUMOS

a) Combustible:

$$\text{Diesel} = 1.12 \times \text{H.P.} \times \$/\text{lt.} \quad \$168$$

b) Agua:

$$\text{Agua} = 16.5 \text{ lts/CV/hr.} \times \$1.02 \quad \$2,532$$

$$\text{SUMA DE CARGOS POR CONSUMOS} \quad \$2,700$$

III.- OPERACION

a) Operador:

$$O = \frac{So}{H} = \$2,500$$

CARGOS POR OPERACION \$2,500

IV.- COSTO HORARIO DE LA CALDERA.

$$\text{SUMA I + II + III} = \$41,016$$

5.2.7. COSTO HORARIO DE UN GENERADOR DE VAPOR DE 200 C.V.

DATOS GENERALES:

Valor de adquisición (Va) =	\$177,558,000
Valor de rescate (Vr) =	\$ 71,023,200
Tasa de interés (i) =	0.40
Prima de seguros (s) =	0.02
Vida económica (Ve) = 5 años =	10000 hrs.
Horas por año (Ha) =	2000 hrs.
Factor de mantenimiento (Q) =	0.90

I.- CARGOS FIJOS

a) Depreciación:

$$D = \frac{Va - Vr}{Ve} = \$10,653$$

b) Inversión:

$$I = \frac{Va + Vr}{2 Ha} i = \$24,858$$

c) Mantenimiento:

$$M = Q \times D = \$9,588$$

$$\text{SUMA DE CARGOS FIJOS} \quad \$45,100$$

II.- CONSUMOS

a) Combustibles:

$$\text{Diesel} = 1.12 \times \text{H.P.} \times \$/\text{lt} \quad \$224$$

b) Agua:

$$\text{Agua} = 16.5 \text{ lts/CV/hr.} \times \$1.02 \quad \$3,376$$

$$\text{SUMA DE CARGOS POR CONSUMOS} \quad \$4,600$$

III.- OPERACION

a) Operador:

$$O = \frac{S_o}{H} = \$2,500$$

$$\text{CARGOS POR OPERACION} \quad \$2,500$$

IV.- COSTO HORARIO DE LA CALDERA

$$\text{SUMA I} + \text{II} + \text{III} \quad \$51,200$$

5.3. APLICACIONES RECOMENDADAS.

En condiciones ideales, la ventaja del curado con vapor sobre otros métodos de curado, es que el medio de curado se encuentra cerca de la saturación de humedad, minimizando, así la evaporación del agua del elemento, lo cual es de cierta importancia cuando se trata de elementos de descimbrado total o parcial (bloques, tubos, mamposterías, etc.)

El método presenta también la ventaja de acelerar el - - tiempo de fraguado, esto resulta de gran utilidad cuando se requiere de una gran producción en poco tiempo o si se cuenta con un área para el curado muy reducida.

Por otra parte, en la fabricación de muchas piezas de -- concreto, aparecen factores que afectan grandemente el costo en función del tiempo, como es el caso de cimbras, retraso de la obra o un costo financiero muy alto.

En base a lo anterior puede decirse que el método es muy recomendable para los siguientes elementos:

a) Mampostería de concreto.

Los fabricantes de piezas de mampostería de concreto, - por ejemplo, blocks, tabicón, etc., pueden encontrar en este método grandes ventajas, ya que en un corto tiempo podrán tener a la venta el producto, recuperando así, rápidamente su

inversión y obteniendo ganancias en un lapso menor.

Otra gran ventaja, es el terreno o espacio requerido para la fabricación de las piezas, ya que al estar las piezas -- fraguadas en muy poco tiempo, se podrán almacenar apilándolas o prepañandolas para su embarque.

En cambio en un curado tradicional las piezas tienen que mantenerse durante más tiempo con el tratamiento ocupando -- grandes extensiones de terreno y la inversión queda disponible en un tiempo mucho mayor.

b) Tubos de concreto.

La mayoría de estos elementos pueden descimbrarse rápidamente, sin embargo su resistencia de proyecto la alcanzarán -- en el mismo tiempo que cualquier otro elemento de concreto, -- por lo que en algunos casos no podrán ser utilizados inmediatamente. Los tubos de diámetros reducidos no se ven muy afectados por lo anterior, pero al tratarse de tubos de grandes -- diámetros, estarán sujetos a grandes esfuerzos desde su transporte, colocación o durante su inmediata colocación, por lo -- que es recomendable adquirir su resistencia rápidamente para su uso en un lapso pequeño desde su fabricación.

c) Prefabricados y pretensados.

En lo que respecta a los prefabricados y pretensados, el curado con vapor presenta grandes ventajas como las comenta --

das a lo largo de este capítulo. Normalmente estos elementos son de grandes dimensiones y las limitaciones de terreno harían en el mayor de los casos imposible su producción en serie.

Los prefabricados y pretensados son utilizados generalmente en obras que cuentan con muy poco tiempo para su construcción, el uso de estos elementos reduce de manera considerable estos tiempos así como la mano de obra u otros factores como cimbras, etc. Este requerimiento de velocidad, hace el curado con vapor óptimo para estos elementos.

En el caso de los pretensados, a mayor sea el tiempo en que el elemento adquiera su máxima resistencia, mayor será el tiempo que tenga que aplicarse el esfuerzo de tensado, por lo tanto será conveniente contar con el total de la resistencia en poco tiempo, razón por la que el corto tiempo de fraguado y curado debidos al vapor, hacen popular el método en estos elementos.

d) Losas.

El curado con vapor puede utilizarse en losas de edificios, especialmente si se trata de varias losas semejantes o iguales, de manera que la cimbra pueda utilizarse sin grandes necesidades de habilitado, inmediatamente después de decimbrar.

Este método puede ser muy conveniente si se utiliza un sistema de cimbra que al descimbrar no pierda su forma y posición para poder instalarla en muy poco tiempo en otra zona o hasta apoyarla en la losa recién descimbrada. Construir de esta manera puede considerarse como una producción en serie y en el sitio de la obra.

e) Pilotes.

Estos elementos están considerados como prefabricados, sin embargo en muchas ocasiones son elaborados por empresas cuya especialidad es la construcción y no los prefabricados o sistemas de curado.

Los pilotes son elementos que serán sujetos a grandes esfuerzos (hincado) en un período de tiempo muy pequeño a partir del inicio de la obra y por lo tanto del colado. Esta razón obliga a los constructores a utilizar sistemas como el curado con vapor. De otra manera, muchas obras se verían retrasadas o en el peor de los casos hasta interrumpidas.

CONCLUSIONES

C O N C L U S I O N E S

A lo largo de esta tesis se ha observado la importancia del curado del concreto para obtener las condiciones deseadas en los mismos.

Con los métodos mencionados puede llevarse a cabo el curado prácticamente en cualquier condición o lugar donde esté aplicado el concreto, garantizándose así las condiciones de humedad y temperatura óptimas para el concreto.

Se han explicado algunas razones por las que conviene -- acelerar el curado y las ventajas que se tienen al utilizar -- el curado con vapor ya sea a alta presión o a presión atmosférica.

Para llevar a cabo el curado utilizando vapor es recomendable el uso de un generador de vapor sobre una caldera ya -- que es más fácil de transportar y de instalación más sencilla, dos aspectos de primordial importancia para la adaptación del método a cualquier tipo de elemento de concreto, ya sean producidos en un lugar fijo como una fábrica de blocks o en el -- sitio de una obra para elementos precolados o acelerado del --

fraguado de otras piezas.

Para conocer la cantidad de caballos de vapor requerida para el curado deben hacerse pruebas para cada caso, sin embargo con las fórmulas y gráficas propuestas podrá obtenerse un dato aproximado de gran utilidad para conocer apriori, la potencia del generador requerido y los ciclos de curado que pueden establecerse para aprovechar al máximo el vapor utilizándolo en serie.

Finalmente, puede notarse que el costo del curado de concreto utilizando vapor no es muy elevado y bien se justifica su uso considerando la calidad de los elementos obtenidos, el corto período para alcanzar la resistencia de proyecto o la gran producción obtenida en espacios reducidos en muy poco tiempo.

BIBLIOGRAFIA

B I B L I O G R A F I A

- CONCRETO, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto.
(sin autor).
- PRACTICAS RECOMENDABLES PARA LA DOSIFICACION DEL CONCRETO.
Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto.
(sin autor).
- A ALZATI SERVANDO. Calderas de Vapor.
Editorial Patria, México, D.F.
- FREDERICK S. MERRITT, Manual del Ingeniero Civil, Ed. Mc.
Graw Hill. Segunda edición. México, 1984.
- GONZALEZ CUEVAS OSCAR. Concreto reforzado, Ed. Limusa.
Segunda edición, México, 1985.
- IMCYC. Curado Acelerado del Concreto a Presión Atmosférica.
Ed. IMCYC, S.A. de C.V. Primera edición, México,
1982.
- IMCYC. Curado del Concreto, Ed. Limusa.
Primera reimpresión, México, 1988.
- GONZALEZ ANGEL M., Curso para Operadores del Generador de
Vapor. Clayton de México. Primera Edición, Méxi-
co, 1988.