



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

“Trabajo de grado previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil”

MODALIDAD: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.

TÍTULO DEL PROYECTO:

**“INVESTIGACIÓN DEL TIEMPO ÓPTIMO DE CURADO A VAPOR EN UN
HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA PARA ELEMENTOS PREFABRICADOS
EN PRODUCCIÓN MASIVA”**

AUTORES:

GABRIEL EDUARDO ANDRADE RONCANCIO

CARLOS ISRAEL MOSQUERA PAREDES

DIRECTOR:

ING. ALEXIS MARTÍNEZ

RIOBAMBA – ECUADOR

2013

Los miembros del Tribunal de Graduación del proyecto de investigación de título: **“INVESTIGACIÓN DEL TIEMPO ÓPTIMO DE CURADO A VAPOR EN UN HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA PARA ELEMENTOS PREFABRICADOS EN PRODUCCIÓN MASIVA”**, presentado por: Gabriel Eduardo Andrade Roncancio, Carlos Israel Mosquera Paredes y dirigida por: Ing. Alexis Martínez.

Una vez escuchada la defensa oral y revisado el informe final del proyecto de investigación con fines de graduación escrito en la cual se ha constatado el cumplimiento de las observaciones realizadas, remite la presente para uso y custodia en la biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la UNACH.

Para constancia de lo expuesto firman:

Ing. Ángel Paredes.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Firma

Ing. Alexis Martínez.
DIRECTOR DEL PROYECTO

Firma

Ing. Javier Palacios.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Firma

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

“La responsabilidad del contenido de este Proyecto de Graduación, nos corresponde exclusivamente a:

Gabriel Eduardo Andrade Roncancio, Carlos Israel Mosquera Paredes y del Director del Proyecto: Ing. Alexis Martínez y el patrimonio intelectual de la misma a la Universidad Nacional de Chimborazo”.

AGRADECIMIENTO

“A Dios por el maravilloso regalo de la vida, a la Facultad de Ingeniería de la UNACH y la escuela de Ingeniería Civil por abrirnos sus puertas para desarrollar nuestro conocimiento en la investigación plasmada en este proyecto. A todos los docentes que integran esta Escuela, quienes supieron guiarnos con su profesionalidad y alcanzar nuestras expectativas en el campo de la Ingeniería Civil”

DEDICATORIA

“A Dios por bendecirme con la vida, a la memoria de mi padre Clemente Eudoro Andrade Salvador. A mi madre María Janeth Roncancio que a la distancia en todo momento conté con su apoyo y cariño incondicionales, por estar siempre pendiente de mi desarrollo humano y profesional”

Gabriel E. Andrade R.

“A la memoria de mis abuelos que desde el cielo me han dado su bendición. A mi madre que supo ser una amiga más y que supo tolerar todas mis acciones pero que siempre estuvo ahí apoyándome para que sea un profesional y una persona de bien”

Carlos I. Mosquera P.

ÍNDICE

PORTADA.....	I
PAGINA DE REVISIÓN.....	II
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
DEDICATORIA.....	V
INDICE GENERAL.....	VII
INDICE DE TABLAS.....	XIII
INDICE DE FIGURAS.....	XV
GLOSARIO DE TÉRMINOS Y ABREVIATURAS.....	XVIII
RESUMEN.....	XXI
SUMMARY.....	XXII

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I	
1. FUNDAMENTO TEORICO.....	2
1.1- CURADO DEL CONCRETO.....	2
1.1.1. Importancia de la humedad.....	3
1.1.2- Importancia de la temperatura.....	4
1.1.3- Efectos del curado en la resistencia y durabilidad del hormigón.....	4
1.2.- CURADO A VAPOR DEL CONCRETO.....	6
1.3.- CURADO ACELERADO1 (ACI 318-05 CAP 5.11.3).....	7
1.4.- CURADO EN ELEMENTOS PREFABRICADOS.....	7
1.4.1.- Desmolde de elementos prefabricados.....	9
1.4.2.- Características del cemento para elementos prefabricados.....	9
1.5.- HORMIGONADO.....	10
1.5.1.- Almacenamiento de materias primas.....	10
1.5.2.- Control de agua en mezclado del hormigón.....	11
1.5.2.1.- Descripción general del funcionamiento básico.....	12
a) Ciclo de mezclado de “Pre humedecimiento”.....	12
b) Ciclo de mezclado de “Mezcla seca”.....	13
1.5.3.- Mezcladora planetaria.....	15
1.6.- INCLUSIÓN DE ADITIVO ACELERANTE ERGOMIX-5500.....	15
1.6.1.- Prestaciones y porcentajes utilizados.....	16
1.7.- FRAGUADO DEL HORMIGÓN.....	16
1.7.1.- Tiempo de fraguado del hormigón.....	17
1.7.2.- Factores que afectan el tiempo de fraguado del hormigón.....	18
1.7.3.- Influencia de la temperatura en el fraguado del hormigón.....	19
1.8.- ASENTAMIENTOS Y ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES DE HORMIGÓN.....	21

1.8.1.- Asentamiento en el hormigón fresco (ASTM C 143, NTE INEN 1 578)	21
1.8.2.- Elaboración y curado en obra de especímenes de hormigón para pruebas de compresión (ASTM C 31, NTE INEN 1 576).....	21
1.9.- CALIDAD DEL HORMIGÓN.....	22
1.9.1.- Evaluación y aceptabilidad del hormigón.....	25
1.9.1.1.- Elementos prefabricados de hormigón pretensado $f'c= 50$ Mpa sometidos a compresión.....	25
1.9.1.2.- Elementos prefabricados de hormigón pretensado $f'c= 50$ Mpa sometidos a flexión.....	25

CAPÍTULO II

2.- METODOLOGÍA.....	30
2.1.- TIPO DE ESTUDIO.....	30
2.2.- POBLACIÓN MUESTRA.....	31
2.3.- OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	32
2.3.1.- Identificación de variables.....	32
2.3.2.- Operacionalización de variables.....	32
2.4.- PROCEDIMIENTOS.....	33
2.4.1.- Preparación del concreto.....	33
1) Instrucciones.....	33
2) Transportar agregados a las tolvas.....	34
3) Pesar cemento.....	34
4) Pesar agua.....	34
5) Pesar aditivos.....	34
6) Cernir agregados.....	34
7) Pesar agregados.....	35
8) Transportar agregados al mixer.....	35
9) Mezclar materias primas en el mixer.....	36
10) Verificar mezcla de concreto.....	36

11) Mezclar el Concreto simple con aditivo.....	37
12) Descargar concreto a la tolva de distribución.....	37
13) Control de Calidad (Asentamientos y elaboración de especímenes).....	38
2.4.2.- HORMIGONADO.....	44
1) Colocar peinillas en la línea de producción.....	44
2) Verter el concreto en la máquina distribuidora.....	44
3) Verter el concreto en moldes.....	45
4) Distribuir el concreto en los moldes.....	45
5) Activar vibradores.....	45
6) Alisar Superficie del elemento prefabricado.....	46
7) Verificación del proceso de hormigonado.....	46
2.4.3.- COLOCACIÓN DE SOPORTES Y COBERTORES DE CURADO.....	46
1) Toma de soportes y cobertores de curado.....	46
2) Colocación de cilindros de prueba.....	46
3) Verificación de la colocación de soportes y cobertores.....	47
2.4.4.- CURADO.....	47
1) Inspección del nivel de combustible del caldero.....	47
2) Control del nivel de agua del caldero.....	47
3) Colocación de termocuplas en la línea de producción.....	47
4) Encender el caldero.....	47
5) Distribución de vapor en la línea de producción.....	48
6) Registro de presión y temperatura del caldero.....	48
7) Control de válvulas de vapor en el caldero.....	48
8) Ensayos de resistencia a la compresión en probetas de hormigón durante el curado a vapor.....	48
9) Dejar de suministrar vapor a la línea.....	49
10) Verificación del proceso de curado de la línea de producción.....	49
11) Curar la línea en forma continua.....	50
2.4.5.- FRAGUADO DEL CONCRETO.....	50
2.5.- PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS.....	53

CAPITULO III

3. RESULTADOS.....	55
3.1.- MODELO MATEMATICO A PARTIR DE LAS 4 HORAS DE CURADO t_c vs T.....	104
3.1.1.- CÁLCULO MATRICIAL EN MATLAB 6.5.....	105
a) Lineal.....	105
b) Cuadrática.....	105
c) Cúbica.....	106
3.1.2 GRÁFICAS EN MATLAB DE REGRESIONES LINEALES Y NO LINEALES DE t_c vs T HASTA LAS 4 HORAS DE CURADO.....	107
a) Modelo lineal.....	107
b) Modelo cuadrático.....	107
c) Modelo cúbico.....	108
3.2 MODELO MATEMATICO A PARTIR DE LAS 4 HORAS DE CURADO t_c vs T.....	109
3.2.1.- CALCULO MATRICIAL EN MATLAB 6.5.....	110
a) Lineal.....	110
3.2.2.- GRÁFICA EN MATLAB.....	110
3.3.- REGRESIONES LINEALES Y NO LINEALES DE t_c vs f'_{cc} HASTA LAS 4 HORAS DE CURADO.....	111
3.3.1.- CALCULO MATRICIAL EN MATLAB 6.5.....	113
a) Lineal.....	113
b) Cuadrática.....	114
d) Cúbica.....	114
3.3.2. Gráfica en Matlab.....	115
3.4.- RESULTADOS GENERALES DEL MODELO MATEMÁTICO AJUSTADO.....	115
3.4.1.- Influencia de la temperatura a partir de las 4 horas de curado.....	115

3.4.2.- Fórmula para tiempo de curado vs Temperatura hasta las 4 horas de curado.....	116
3.4.3.- Fórmula para tiempo de curado vs Resistencia a partir de las 4 horas de curado.....	117
3.5.- DATOS EXPERIMENTALES DEL CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA ($f'c = 50 \text{ Mpa}$) PARA ELEMENTOS PREFABRICADOS.....	118
3.5.1.- Resultados del hormigón (curva resistencia vs tiempo) en elementos prefabricados de concreto de alta resistencia curado a vapor.....	118
3.5.2.- Resultados del hormigón (curva resistencia vs tiempo) en elementos prefabricados de concreto de alta resistencia sin curado.....	118
3.5.3.- Resultados del hormigón (curva resistencia vs tiempo) en elementos prefabricados de concreto de alta resistencia curado en agua.....	123
3.6.- RESUMEN DE RESULTADOS Y RELACIÓN ENTRE LOS DISTINTOS MÉTODOS DE CURADO.....	127

CAPITULO IV

4. DISCUSIÓN.....	129
4.1.- DISCUSION DE LA HUMEDAD FINAL DE LA MEZCLA.....	129
4.2.- DISCUSION DE LA TEMPERATURA DE CURADO.....	130
4.2.1- DIFERENCIAS EN LA CURVA TEMPERATURA EN FUNCIÓN DEL TIEMPO SEGÚN DATOS BIBLIOGRÁFICOS Y EXPERIMENTALES.	131
4.3.- DISCUSIÓN SOBRE EL TIEMPO DE FRAGUADO DEL HORMIGÓN PARA EXTRACCIÓN DE SEPARADORES.....	133
4.4.- DISCUSIÓN SOBRE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DURANTE EL PROCESO DE CURADO A VAPOR CON EL TIEMPO DE CURADO SEGÚN RESULTADOS EXPERIMENTALES.....	133
4.5.- DISCUSIÓN ENTRE LOS DISTINTOS MÉTODOS DE CURADO.....	135
4.6.- DISCUSIÓN SOBRE LOS BENEFICIOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	136

CAPITULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	138
5.1.- CONCLUSIONES.....	138
5.2.- RECOMENDACIONES.....	139

CAPITULO VI

6. PROPUESTA.....	140
6.1 TITULO DE LA PROPUESTA.....	140
6.2 INTRODUCCIÓN.....	140
6.3 OBJETIVOS.....	141
6.3.1.- General.....	141
6.3.2.- Específicos.....	141
6.4 FUNDAMENTACION CIENTIFICA – TÉCNICA.....	141
6.4.1.- CURADO A VAPOR EN ELEMENTOS PREFABRICADOS.....	141
6.4.2.- FRAGUADO DEL HORMIGÓN.....	142
6.4.3.- CALIDAD DEL HORMIGÓN.....	142
6.4.4.- TIEMPOS EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE ELEMENTOS PREFABRICADOS $f'_c=50$ MPa.....	142
6.5 DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA.....	144
6.6. DISEÑO ORGANIZACIONAL.....	145
6.7.- MONITOREO Y EVALUACION DEL PROYECTO.....	145
6.8.- PROPUESTAS FUTURAS Y BENEFICIOS DE LA INVESTIGACIÓN..	146

CAPITULO VII

7.- BIBLIOGRAFÍA.....	148
-----------------------	-----

CAPITULO VIII

8.- ANEXOS.....	150
-----------------	-----

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Características de cemento para prefabricados.....	9
Tabla 2.- Características del aditivo Ergomix 5500.....	15
Tabla 3 .- Resistencia promedio requerida a compresión cuando se dispone de información sobre la desviación estándar (Ss).....	23
Tabla 4 .- Factor de modificación de la desviación estándar cuando hay de 15 a 30 pruebas.....	24
Tabla 5.- Factor de modificación de la desviación estándar cuando se cuente con menos de 15 pruebas.....	23
Tabla 5a.- Cargas de prueba de los elementos de hormigón pretensado sometidos a flexión.....	26
Tabla 6. Producción de elementos prefabricados.....	31
Tabla 7. Número de ensayos a compresión durante y después del curado a vapor.....	32
Tabla 8. Identificación de variables.....	32
Tabla 9. Operacionalización de variables.....	33
Tabla 11.- Resultados de ensayos a compresión del hormigón $f'c = 50\text{MPa}$ con registros de temperatura, humedad, tiempo de curado y de fraguado.....	56
Tabla 12.- Resultado de la media aritmética de la humedad final según el Hidro Control.....	99
Tabla 13.- Media aritmética del tiempo de fraguado.....	100
Tabla 14.- Media aritmética de la temperatura hasta las 4 horas de curado.....	102
Tabla 15.- Media aritmética de la temperatura a partir de las 4 horas de curado.	103
Tabla 16. Tabla general de las variables Temperatura y tiempo de curado hasta las 4 horas de curado.....	104
Tabla 27.- Coeficientes para las fórmulas de regresión lineal y no lineal tc vs T hasta las 4 horas de curado.....	106
Tabla 38.- Resultados de la ecuación de regresión no lineal de tercer grado	108

Tabla 49.- Tabla general de las variables Temperatura y tiempo de curado a partir de las 4 horas de curado.....	109
Tabla 21.- Tabla general de las variables Resistencia y tiempo de curado a partir de las 4 horas de curado.....	112
Tabla 22.- Coeficientes para las fórmulas de regresión lineal y no lineal t_c vs R a partir de las 4 horas de curado.....	115
Tabla 23.- Influencia del tiempo de curado a partir de la temperatura a partir de 4 horas de curado.....	116
Tabla 24.- Influencia del tiempo de curado a partir de la temperatura hasta las 4 horas de curado.....	117
Tabla 25.- Influencia del tiempo de curado a partir de la resistencia a partir de las 4 horas de curado.....	117
Tabla 26.- Reporte de actividades de laboratorio en Ecuatoriana de Prefabricados.....	119
Tabla 27.- Reporte de ensayos de compresión sin curado.....	120
Tabla 28.- Cuadro de resumen de Resistencia a la compresión sin curado $f'_c=50$ Mpa.....	123
Tabla 29.- Reporte de ensayos de compresión $F'_C=50$ Mpa curados en agua....	124
Tabla 30.- Cuadro de resumen de Resistencia a la compresión curado en agua $f'_c=50$ Mpa.....	127
Tabla 31.- Resultados de resistencia a la compresión en un hormigón $f'_c = 50$ MPa curados en agua, a vapor y sin curar.....	127
Tabla 32.- Influencia del tiempo de curado a partir de la resistencia.....	134
Tabla 33.- Proceso de producción de una línea de elementos prefabricados.....	143
Tabla 34.- Modelo de proceso propuesto de producción de una línea de elementos prefabricados.....	143
Tabla 35.- Porcentaje de aumento de la producción de elementos prefabricados.....	144

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Curado a vapor de elementos prefabricados de concreto presforzado	6
Figura 2.- Proceso de curado a vapor.....	8
Figura 3.- Resistencia vs. Tiempo del cemento según norma INEN 490 y resultados obtenidos en Laboratorio.....	10
Figura 4.- Almacenamiento de material pétreo.....	10
Figura 5.- Tolvas para los agregados fino y grueso.....	11
Figura 6.- Mezcladora de hormigón.....	11
Figura 7.- Hidro- Control V. Panel Frontal.....	12
Figura 8.- Ciclo de mezclado de “Pre humedecimiento”.....	13
Figura 9 .- Ciclo de mezclado de “Mezcla seca”.....	13
Figura 10.- Mezcladora planetaria.....	15
Figura 11.- Fraguado del hormigón.....	17
Figura 12.- Cono de Abrams (Asentamiento del hormigón fresco).....	21
Figura 13.- Molde para elaboración de especímenes de hormigón para pruebas de compresión.....	21
Figura 14.- Cilindros de hormigón para prueba de compresión (100x200)mm..	22
Figura 15.- Moldes cilíndricos normalizados.....	22
Figura15a.- Ensayo del momento negativo en el apoyo del riel.....	27
Figura15b.- Ensayo del momento negativo en el apoyo del riel.....	28
Figura 16.- Central de hormigonado.....	33
Figura 17.- Transporte de material pétreo a las tolvas de alimentación.....	34
Figura 18.- Paso de agregados por tamices.....	35
Figura 19 .- Peso de agregados en balanzas.....	35
Figura 20 .- Transporte de agregados grueso y fino al mixer.....	36
Figura 21 .- Mezcla de materias primas en el mixer.....	36
Figura 22.- Verificación de la mezcla de concreto.....	37

Figura 23.- Tanque de aditivo ERGOMIX 5500.....	37
Figura 24.- Descargue de concreto a la tolva o canasta de distribución.....	38
Figura 25.- Cono de Abrams (Asentamiento del hormigón fresco).....	38
Figura 26.- Proceso inicial (Asentamiento del hormigón fresco).....	39
Figura 27.- Compactado con varilla de apisonado (Asentamiento del hormigón fresco).....	39
Figura 28.- Llenado de la última capa (Asentamiento del hormigón fresco).....	40
Figura 29.- Enrasado con varilla (Asentamiento del hormigón fresco).....	40
Figura 30.- Levantado de molde troncónico (Asentamiento del hormigón fresco).....	41
Figura 31.- Medición del asentamiento o revenimiento (Asentamiento del hormigón fresco).....	41
Figura 32.- Molde para elaboración de especímenes de hormigón para pruebas de compresión.....	42
Figura 33.- Preparación de Moldes (Elaboración de especímenes de hormigón)	42
Figura 34.- Llenado de molde en capas de igual volumen.....	43
Figura 35.- Vertido de hormigón en moldes.....	45
Figura 36.- Distribución de hormigón en moldes.....	45
Figura 37.- Colocación de cilindros de prueba.....	46
Figura 39.- Control y registro de temperatura y presión del caldero.....	47
Figura 40.- Ensayos a compresión durante el curado a vapor.....	49
Figura 41.- Línea de producción sin suministro de vapor.....	49
Figura 43.- Puntos de intersección de la curva Tiempo de curado vs Temperatura.....	104
Figura 44. Cálculo matricial en Matlab 6.5 de regresión lineal t_c vs T	105
Figura 45. Cálculo matricial en Matlab 6.5 de regresión no lineal cuadrática t_c vs T	105
Figura 46.- Cálculo matricial en Matlab 6.5 de regresión no lineal cúbica t_c vs T	106

Figura 47. - Curva lineal de regresión ajustada t_c vs T	107
Figura 48. - Curva cuadrática de regresión ajustada t_c vs T	107
Figura 49. Curva cúbica de regresión ajustada t_c vs T	108
Figura 50. Curva optimizada t_c vs T	109
Figura 51. - Cálculo matricial en Matlab 6.5 de regresión lineal t_c vs T a partir de 4 horas de curado.....	110
Figura 52. - Curva lineal de regresión ajustada t_c vs T a partir de las 4 horas de curado.....	110
Figura 53. Cálculo matricial en Matlab 6.5 de regresión lineal t_c vs R	113
Figura 54. Cálculo matricial en Matlab 6.5 de regresión no lineal cuadrática t_c vs R	114
Figura 55. - Cálculo matricial en Matlab 6.5 de regresión no lineal cúbica t_c vs R	114
Figura 56. Curva no lineal de regresión ajustada t_c vs f'_{cc} a partir de las 4 horas de curado.....	115
Figura 57. - Diferentes tipos de curado en elementos prefabricados.....	128
Figura 58. - Proceso de curado a vapor.....	131
Figura 59. Proceso de curado a vapor curva Temperatura vs tiempo de curado..	132
Figura 60. - Ensayo de Resistencia a la compresión Carga vs Tiempo.....	133
Figura 61. - Relación entre los distintos tipos de curado para elementos prefabricados.....	135

DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

Aditivo.- Otro material que, aparte del cemento, agregados y agua, se utiliza mezclándolo en el concreto para modificar alguna de sus propiedades ya sea en estado fresco o endurecido.

Aditivos aceleradores (ASTM C 494).- Son aquellos que cambian el tiempo de fraguado y endurecimiento de la mezcla. Cuando se seleccionan apropiadamente para un proyecto en particular y de acuerdo a las condiciones del clima, con frecuencia esto facilita que los trabajadores hagan un buen trabajo.

Concreto.- Un material compuesto que consiste esencialmente de un medio aglomerante dentro del cual se ahogan partículas de fragmentos de agregado; en concreto de cemento portland, el aglomerante es una mezcla de cemento portland y agua.

Curado.- Mantenimiento de un contenido de humedad y temperatura satisfactorias en el concreto durante las etapas tempranas, de modo que puedan desarrollarse las propiedades deseadas.

Dosificación.- Proporción en las que se deben mezclar los componentes de una mezcla.

Endurecimiento.- Es la rigidización progresiva de la pasta que se manifiesta por el desarrollo de una capacidad mecánico-resistente (resistencia del cemento).

Fraguado.- Es el espesamiento progresivo de la mezcla de cemento-agua.

Hormigonado.- Colocación del hormigón dentro de un molde (prefabricados). Sinónimo de fundición y colado del hormigón.

Resistencia a la edad de proyecto.- Resistencia actual llevada a la edad del ensayo especificado en el proyecto, según el procedimiento establecido en esta norma.

Resistencia actual del hormigón.- Valor expresado como resistencia cúbica, a la fecha de ensayo, aplicando solamente correcciones por esbeltez y forma que se establecen en la norma.

Resistencia característica.- F_k . Valor calculado estadísticamente a partir de los resultados obtenidos en los ensayos que corresponda a un nivel de confianza determinado, considerando una distribución normal.

Resistencia especificada.- F_c y F_t : a compresión y flexo-tracción, respectivamente establecidas en el proyecto sobre probeta normal con un determinado nivel de confianza.

Resistencia media del hormigón.- F_m . Promedio aritmético de los resultados de resistencia mecánica del hormigón de un mismo grado y edad.

Resistencia media requerida o de dosificación.- F_r , valor medio estimado de los resultados de la resistencia mecánica que se necesita alcanzar para satisfacer la resistencia especificada.

Fisuras.- Las fisuras aparecen en el hormigón como consecuencia de tensiones superiores a su capacidad resistente a tracción.

Pretensado.- Un método de pretensar el concreto reforzado en el cual los tendones son tensados antes de que el concreto se haya endurecido.

Proyecto.- Conjunto de trabajos que incluye diseños, presupuestos, memoria técnica, lista de materiales y especificaciones técnicas, programación de trabajos para la ejecución de la obra.

Liana.- Instrumento que se utiliza para alisar el hormigón.

Temperatura.- T, es la temperatura a la cual se está curando la línea de producción.

Resistencia de curado.- f'_{cc} , es la resistencia durante el proceso de curado después de las cuatro horas.

RESUMEN

El siguiente proyecto tiene como finalidad conseguir un tiempo óptimo en el curado a vapor en elementos prefabricados de hormigón pretensado, para ello se necesita encontrar la humedad final de la mezcla de concreto óptima, así como temperatura en el proceso y otros factores como resistencia a la compresión, fraguado acelerado etc.

En todos estos procesos se obtendrán resultados los cuales se almacenan en una base de datos, la misma que servirá para su análisis y toma de decisiones. Partiendo de estos se realiza un modelo matemático capaz de interpretarlos para en lo posterior maximizar o minimizar las curvas encontradas con el fin de aumentar el proceso de producción de elementos prefabricados basados en el tiempo optimizado del curado a vapor de los mismos.

El hormigón prefabricado casi no tiene precedentes, es decir que se incluye en la tecnología moderna.

El proceso que es motivo de esta investigación se enfoca en el curado a vapor a presión normal, el mismo que toma un papel muy importante en la calidad del producto terminado, además tiene valor agregado y es indispensable en lo que se refiere al aumento de producción.

La fabricación de estos elementos prefabricados de concreto se llevó a cabo en una planta fija de producción, las cuales cuentan con el equipo y personal especializado para elaborar, bajo estrictas normas de calidad, diferentes productos solicitados por la industria de la construcción.

El suministro de humedad y temperatura óptimas al concreto permitirán que la medida más común cumpla lo deseado en el diseño, esta es la resistencia a la compresión.

SUMMARY

This project intended to achieve an optimal time in the steam cured precast prestressed concrete, this requires finding the final moisture content of the concrete mix optimal, as well as the process temperature and other factors such as resistance compression, accelerated setting, etc.

In all these processes will yield results which are stored in a database, it will serve for analysis and decision making. From these performing a mathematical model able to interpret subsequent to maximize or minimize the curves found to increase the production process precast optimized time-based steam curing thereof.

Precast concrete is almost unprecedented, that is included in modern technology.

The process is of this research focuses on steam curing at normal pressure. This takes a very important role in the quality of the finished product, and further has added value is necessary in regard to increased production.

Making these prefabricated concrete elements was conducted in a fixed plant production, which have the equipment and expertise to develop, under strict quality standards, different products required by the construction industry.

The provision of optimum temperature and humidity at to concrete will allow concrete common measure meets the desired design, this is the compressive strength.

The provision of optimum temperature and humidity at to concrete will allow that the common measure meet the desired design, this is the compressive strength.

INTRODUCCIÓN

Los elementos prefabricados es en la actualidad uno de los más importantes recursos en la rama de la Ingeniería, su propósito es reducir el tiempo de construcción, optimizando costos, además su precisión geométrica, el empleo de maquinarias de producción permite una buena calidad probada y constante de los materiales que son determinados, dosificados y controlados, reducción en los plazos de ejecución, reducción de equipos de obra (andamios, encofrados, etc.), secciones con mayor resistencia, mano de obra especializada, economía y en cuanto a la posibilidad de aplicar técnicas de pretensado, curado acelerado, que es motivo de la presente investigación.

El tipo de curado utilizado en la fabricación de estos elementos es acelerado a vapor, aunque no existe en realidad suficiente información experimental y científica de este tema en el proceso de prefabricación, sino mas bien ha empleado el vapor de agua que es el más utilizado, éste no sólo es una fuente de calor efectiva, sino que pone a disposición la humedad necesaria para la hidratación.

El proceso del cual depende la productividad es el curado. La duración de este proceso depende del aditivo utilizado el cual permite alcanzar resistencias requeridas.

En definitiva se desea hallar un modelo en el cual se pueda apreciar qué puntos son los óptimos para todas estas variables dependientes o independientes en el hormigón (fraguado, resistencia, humedad, temperatura, etc.) antes, durante y después del proceso de curado acelerado.

Con todos estos parámetros conseguiremos un tiempo óptimo de curado a vapor en datos estadísticos y modelos matemáticos los cuales beneficiarán al proceso de producción de estos elementos de alta resistencia de hormigón.

CAPITULO I

1.- FUNDAMENTO TEÓRICO.

1.1- CURADO DEL CONCRETO.

El curado consiste en propiciar y mantener un ambiente de apropiada temperatura y contenido de humedad en el hormigón recién colocado, de modo que éste desarrolle el potencial de las propiedades que se esperan de él. Un hormigón curado adecuadamente alcanzará su máxima resistencia y durabilidad, será más impermeable y tendrá menor riesgo de fisuración.

- **CURADO EN AGUA DEL CONCRETO**

El endurecimiento del concreto depende de una reacción química que es la hidratación y su velocidad depende de la temperatura y el tiempo, también requiere la presencia de humedad. Cuando el concreto se endurece más resiste al daño y se hace más durable. Es decir:

MAYOR ENDURECIMIENTO = MAYOR RESISTENCIA

Un buen curado del concreto involucra:

- Humedad.
- Temperatura.
- Tiempo.

El mantenimiento de una temperatura satisfactoria para el concreto discute bajo consideraciones de clima frío y clima caliente.

El concreto debe mantenerse continuamente húmedo por 7 días a menos que se especifique otra cosa.

Métodos de curado en agua.

- **Encharcamiento.-** Es uno de los mejores métodos de curado del concreto cubrirlo con agua en tanto que no se dañe la superficie por la aplicación del agua.
- **Rociado o atomizador de niebla.-** Cuando el agua que corra fuera del concreto no cause daño al concreto pueden usarse los rociadores para césped para curar el concreto.
- **Arpilleras o lonas mojadas.-** El concreto también puede curarse cubriéndolo con arpillera, sábanas, esteras de algodón o lonas mojadas. Estos materiales deben mantenerse mojados durante el período de curado.
- **Arena mojada.-** Los materiales sueltos y húmedos tales como arena o tierra pueden usarse para curar lonas o zapatas de concreto. Se usan también aserrín, paja o henos mojados, pero a veces manchan la superficie.

Los métodos que acaban de describirse requieren de la adición de agua para evitar que el concreto se seque.

1.1.1. Importancia de la humedad

Garantizar un contenido mínimo de humedad en el hormigón durante el período de curado es fundamental en el desarrollo de su estructura. Algunas investigaciones han comprobado que, por ejemplo, la resistencia se ve seriamente comprometida cuando la humedad relativa del hormigón es inferior a 80%. Por ello, el curado debe prevenir durante las primeras edades la evaporación del agua superficial, manteniendo el hormigón en una condición saturada o cercana a ella. Sin embargo, en ciertos casos mantener el contenido de humedad en el hormigón no es suficiente. Se ha comprobado que en hormigones de baja relación agua-cemento (menor a 0.40) no sólo se debe evitar la evaporación de agua superficial, sino se requiere además proveer cantidades adicionales de agua de modo de asegurar la hidratación del cemento.

Es fundamental tener presente que el curado afectará especialmente la primera capa del elemento, probablemente los primeros centímetros de profundidad. Su importancia radica en que justamente esta parte del elemento es la expuesta a evaporación y cambios de humedad, fisuración por retracción plástica, acción de la intemperie, abrasión (desgaste), ataque de químicos y carbonatación, y a su vez esta misma zona es la que debe proveer de impermeabilidad al hormigón y protección a sus armaduras.

1.1.2- Importancia de la temperatura

Aunque dentro del curado el papel de la temperatura es de menor incidencia que el contenido de humedad, mantener la temperatura del hormigón en valores cercanos a

20°C (en todo caso superior a 10 ° C e inferior a 30 ° C) permite que la tasa de desarrollo de resistencia permanezca en niveles normales. La temperatura del hormigón puede influir además en la pérdida de humedad superficial, dado que diferencias térmicas entre el elemento y el ambiente pueden aumentar la tasa de evaporación.

1.1.3- Efectos del curado en la resistencia y durabilidad del hormigón

Tanto en terreno como en laboratorio se ha comprobado que un curado deficiente disminuye la resistencia y la durabilidad del hormigón. Varios estudios muestran que probetas sin curar pueden registrar disminuciones de resistencia a compresión a 28 días de edad de hasta un 40% con respecto a probetas curadas adecuadamente. También se ha determinado que mientras mayor es el retraso en el inicio del curado mayor será la pérdida de resistencia, observándose, por ejemplo, que probetas curadas a partir del tercer día de edad alcanzan sólo un 85% de su resistencia potencial. Aunque aún no existe una conclusión clara al respecto, la pérdida de resistencia a 28 días de edad por efecto del curado parece estar relacionada directamente con las condiciones de humedad de los tres primeros días y en menor medida con la temperatura. Se debe tener presente que la

resistencia a la flexo tracción es mucho más sensible a las condiciones de curado y contenido de humedad de las probetas al momento del ensayo que en el caso de la compresión.

El efecto sobre la durabilidad del hormigón es más difícil de cuantificar, pero no menos importante. Un curado inadecuado favorece la formación de fisuras y disminuye la impermeabilidad, la resistencia a la intemperie, al desgaste y al ataque de químicos. No siempre es posible determinar el grado de eficiencia del curado en la durabilidad, puesto que las condiciones atmosféricas juegan un papel muy importante en dicho proceso.

Mientras que en épocas lluviosas o húmedas se requiere relativamente poco esfuerzo para obtener un buen curado, en condiciones de poca humedad y alta temperatura se deben tomar medidas especiales para evitar pérdidas excesivas de agua en el hormigón.

El curado es el proceso por el cual se busca mantener saturado el concreto hasta que los espacios de cemento fresco, originalmente llenos de agua sean reemplazados por los productos de la hidratación del cemento. El curado pretende controlar el movimiento de temperatura y humedad hacia dentro y hacia afuera del concreto.

Busca también, evitar la contracción de fragua hasta que el concreto alcance una resistencia mínima que le permita soportar los esfuerzos inducidos por ésta.

La falta de curado del concreto reduce drásticamente su resistencia.

Existen diversos métodos de curado: curado con agua, con materiales sellantes y curado al vapor. El proyecto se enfoca directamente en este último.

El curado al vapor tiene la gran ventaja que permite ganar resistencia rápidamente. Se utiliza tanto para estructuras vaciadas en obra como para las prefabricadas,

siendo más utilizado en las últimas. El procedimiento consiste en someter al concreto a vapor a presiones normales o superiores, calor, humedad, etc.

El concreto curado al vapor, deberá tener una resistencia similar o superior a la de un concreto curado convencionalmente.

Los cambios de temperatura no deben producirse bruscamente pues sino, ocasionan que el concreto se resquebraje.

1.2.- CURADO A VAPOR DEL CONCRETO



Figura 1. Curado a vapor de elementos prefabricados de concreto presforzado

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

De los métodos de curado, el empleo de vapor de agua es el más utilizado en la industria de los prefabricados ya que el vapor de agua no sólo es una fuente de calor efectiva, sino que brinda la humedad necesaria para la hidratación y desarrollar una resistencia temprana al hormigón. Antes de comenzar a aplicar vapor de agua debe tener lugar la fase de asentamiento, ya que con una aplicación demasiado temprana de calor, puede echarse a perder el desarrollo de la resistencia.

1.3.- CURADO ACELERADO (ACI 318-05 CAP 5.11.3) (Anexo I)

La resistencia a la compresión de un concreto curado con vapor no es tan alta como la de un concreto semejante curado continuamente en condiciones de humedad con temperaturas moderadas.

El procedimiento de curado a vapor debe poseer una atención muy cuidadosa para obtener resultados uniformes y satisfactorios, en este caso se debe evitar pérdida de humedad durante este proceso.

1.4.- CURADO EN ELEMENTOS PREFABRICADOS

Una de las principales ventajas de la prefabricación es la rapidez con la que se ejecutan las obras. Esto se debe en gran medida a la velocidad con la que se hacen los ciclos de colado de los elementos prefabricados. Para ello se requiere que el método de curado del concreto acelere las reacciones químicas que producen un concreto resistente y durable. El método de curado más utilizado en elementos prefabricados y especialmente en los pretensados es el curado a vapor. Con la aplicación de este método es posible la producción de elementos presforzados en forma económica y rápida al permitir la utilización diaria de los moldes.

El ciclo de curado con vapor es el siguiente:

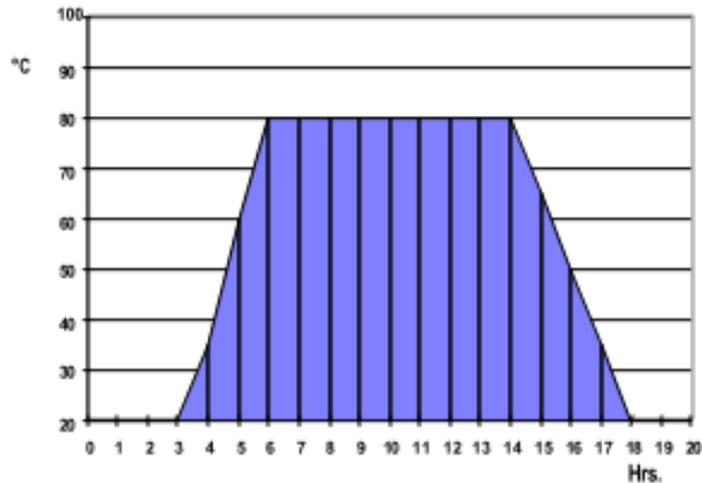


Figura 2. Proceso de curado a vapor

Fuente: <http://www.anippac.org.mx/capitulo06.pdf>

El proceso que se realiza para el efecto de estudio es el siguiente:

- Después del colado se debe esperar de 1 a 2 horas hasta que el concreto alcance su fraguado inicial, protegiéndolo con una carpa o cobertor para evitar la deshidratación de la superficie.
- Se eleva la temperatura hasta 60° ó 65° C durante dos horas.
- El proceso de vaporizado durará de 3 a 4 horas manteniendo la temperatura entre 60° y 70° C.
- Seguirá un período de enfriamiento gradual cubriendo al elemento para lograr que el enfriamiento sea más lento y uniforme.
- La duración total del proceso es de 5 a 7 horas aproximadamente.

1.4.1.- DESMOLDE DE ELEMENTOS PREFABRICADOS.

Como se ha explicado en capítulos anteriores, en el sistema de pretensado se requiere que el concreto haya alcanzado la resistencia a la compresión $f'c$, necesaria para resistir los esfuerzos debidos a la transferencia del presfuerzo al cortar los cables y liberar a las piezas para su extracción. Generalmente un elemento prefabricado deberá ser diseñado para los esfuerzos a los que será sometido durante cada fase de su existencia, el valor de $f'c$ se considera del 70 u 80 por ciento del $f'c$ de diseño.

1.4.2.- CARACTERÍSTICAS DEL CEMENTO PARA ELEMENTOS PREFABRICADOS. (Anexo 2)

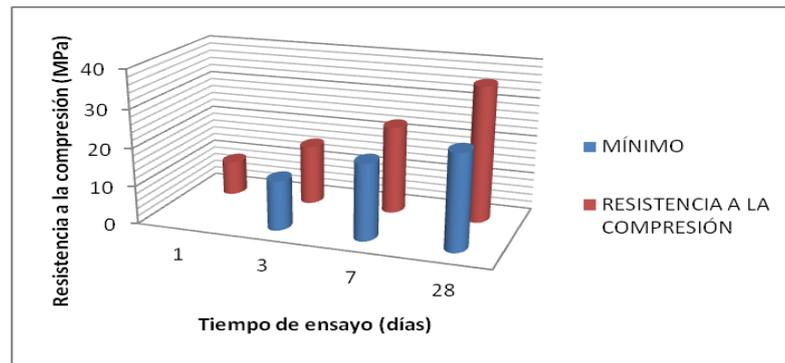
El cemento utilizado es especial de TIPO 10P, determinando un 10% de puzolana y 90% de Clinker. Sus características son:

Tabla 5. Características de cemento para prefabricados

 CARACTERÍSTICAS DE CEMENTO PARA PREFABRICADOS				
PARÁMETROS FÍSICOS		INEN 490	CHI	CUMPLE NORMA
FINURA	M325 (%)		5,4	
	Blaine (cm ² /gr)		3900	
CONSISTENCIA NORMAL (%)			29,2	
FRAGUADO	Inicial (h)	0:45 como mínimo	2:15	SI
	Final(h)	7:00 como máximo	3:20	SI
CONTENIDO DE AIRE (%)		12,0 como máximo	1,4	SI
PESO VOLUMÉTRICO (T/m ³)			1,04	
RESISTENCIAS (Mpa)	1 día		9,0	
	3 días	13,0 como mínimo	15,6	SI
	7 días	20,0 como mínimo	23,0	SI
	28 días	25,0 como mínimo	35,5	SI

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

Figura 3. Resistencia vs. Tiempo del cemento según norma INEN 490 y resultados obtenidos en Laboratorio



Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

1.5.- HORMIGONADO

1.5.1.- ALMACENAMIENTO DE MATERIAS PRIMAS.



Figura 4.- Almacenamiento de material pétreo

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

Los materiales pétreos se almacenan y luego son transportados a las tolvas que son parte de la hormigonera.



Figura 5. Tolvas para los agregados fino y grueso.

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.



Figura 6. Mezcladora de hormigón

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

1.5.2.- CONTROL DE AGUA EN MEZCLADO DEL HORMIGÓN

Para este control se utiliza un sistema de fácil uso manejado por un operador y supervisado por un técnico de control de calidad.

Esta mezcla de agua se lo realiza en un programa llamado hidro-control detallado a continuación:

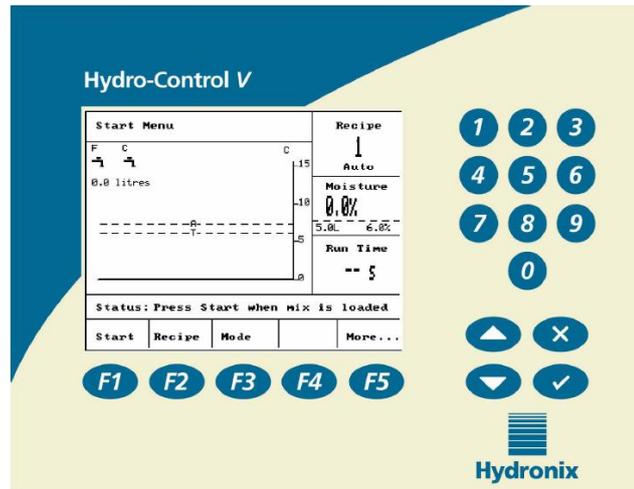


Figura 7. Hidro- Control V. Panel Frontal.

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

1.5.2.1.- Descripción general del funcionamiento básico.

El funcionamiento del Hydro-Control V está basado en un sistema de fórmulas. Se pueden definir hasta 99 fórmulas. Cada fórmula contiene información para ejecutar el ciclo de mezclado. Antes de ejecutar un ciclo de mezclado, es necesario configurar una fórmula con los valores correctos para definir el modo de control y para controlar el ciclo de mezclado.

Se pueden definir dos ciclos de mezclado básicos:

a) Ciclo de mezclado de “Pre humedecimiento”

El ciclo de mezclado de 'Pre humedecimiento' se utiliza cuando se tiene que añadir una cantidad de agua a los áridos antes de añadir el cemento. El **Humedecimiento final** (agua principal añadida) tiene lugar después del **Tiempo de mezcla inicial** (denominado en ocasiones tiempo de la mezcla seca). A continuación va el **Tiempo de mezcla final** (también denominado tiempo de mezcla húmeda). Al final del **Tiempo de mezcla final**, el Hydro-Control V emite una señal de **MEZCLA TERM** y la hormigonera se podrá descargar.

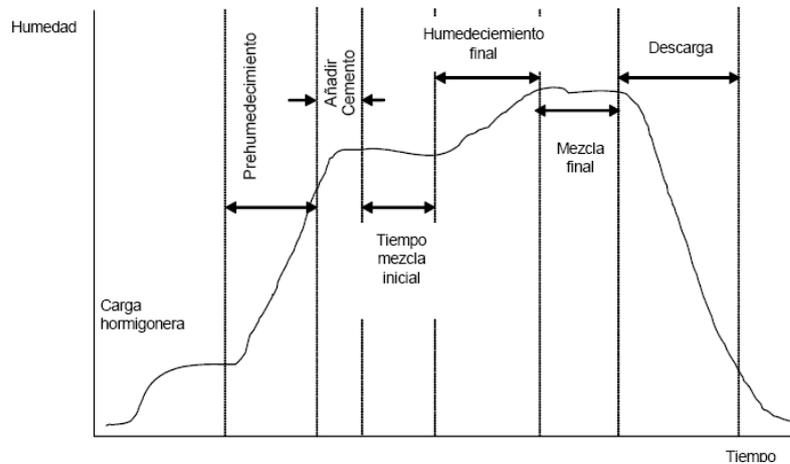


Figura 8.- Ciclo de mezclado de “Pre humedecimiento”
 Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
 Carlos I. Mosquera P.

b) Ciclo de mezclado de “Mezcla seca”

El ciclo de mezclado de 'Mezcla seca' se utiliza cuando no se requiere un pre-humedecimiento. El **Humedecimiento final** (agua principal añadida) tiene lugar después del **Tiempo de mezcla inicial** y después va el **Tiempo de mezcla final**. Al final del **Tiempo de mezcla final**, el Hydro-Control V emite una señal de **MEZCLA TERM** y la hormigonera se podrá descargar.

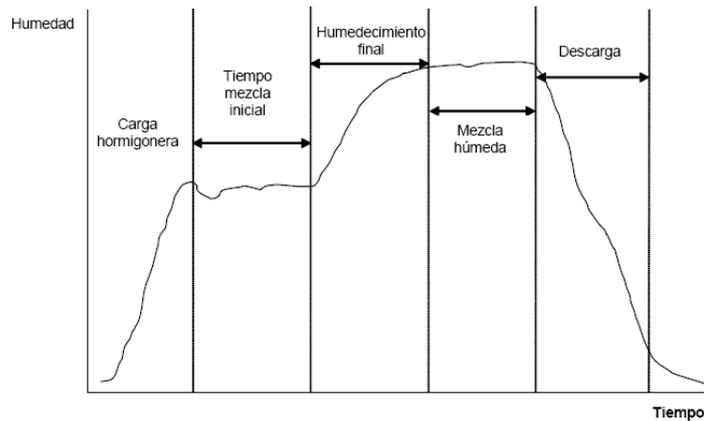


Figura 9 .- Ciclo de mezclado de “Mezcla seca”
 Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
 Carlos I. Mosquera P.

El Hydro-Control V puede funcionar en uno de los tres modos de control existentes. El modo de control a utilizar se define por la fórmula y puede ser diferente para cada una.

Modo de Preajuste.

Una cantidad fija de agua definida por la fórmula se añade durante las fases de pre humedecimiento (si se requiere) y humedecimiento final del ciclo de mezclado, con independencia de la lectura actual de humedad.

Este modo también se puede utilizar sin conectar un sensor.

Modo Automático

Una cantidad de agua definida por la fórmula se añade durante el pre humedecimiento (si se requiere), y la lectura de humedad del sensor se utiliza para controlar el agua añadida hasta un valor definido por la fórmula seleccionada durante la fase de humedecimiento final de la mezcla.

Modo Calc.

Una cantidad de agua definida por la fórmula se añade durante las fases de pre humedecimiento (si se requiere) y el sistema calcula la cantidad de agua que se deberá añadir durante la fase de humedecimiento final a partir de un 'Valor calculado de humedad' y el parámetro del Peso en seco.

NOTA: Este modo requiere realizar un ciclo de mezclado en modo **Calib** (calibración) antes de que se pueda llevar a cabo un ciclo en modo Calc. Este modo se desactivará si no se ha introducido un valor de 'Peso en seco' o si no hay presente un contador de agua.

1.5.3.- MEZCLADORA PLANETARIA.

El tipo de mezcladora que se utiliza en Ecuatoriana de prefabricados es la planetaria que posee un sensor de humedad para la mezcla de hormigón antes indicada y debe colocarse en la base.

Lo ideal sería colocarlo en una posición donde el flujo de material fuera lo más homogéneo posible, alejado de áreas de turbulencias fuertes producidas por la acción de mezclado de las palas. Normalmente, esta posición es la que está cerca de la pared lateral de la mezcladora. Por lo tanto, generalmente se recomienda colocar el sensor con el borde interior a unos 10 – 15 cm (4 – 6 pulgadas) de la pared lateral de la mezcladora. La distancia mínima nunca debe ser inferior a 5 cm (2 pulgadas).

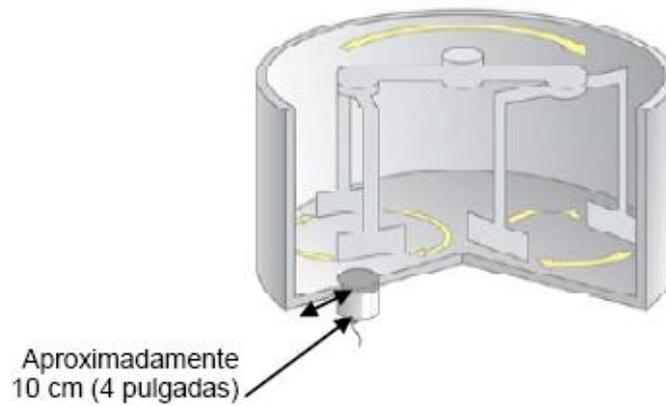


Figura 10.- Mezcladora planetaria

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

1.6.- INCLUSIÓN DE ADITIVO ACELERANTE ERGOMIX-5500.

Tabla 2. Características del aditivo Ergomix 5500

CARACTERÍSTICAS FÍSICO - QUÍMICAS			
Densidad (g/cc)	pH	Cloruros	Norma
1.080 ± 0.020	4.5 ± 1	no posee	UNI EN 934-2 T 3.1-3.2

1.6.1.- Prestaciones y porcentajes utilizados

Aditivo superfluidificante policarboxilato con gran variedad de dosificación utilizado para la prefabricación. Permite obtener hormigón con reducida relación a/c y elevada durabilidad.

Este aditivo se puede manejar en un rango de 0.6 % hasta 1.6 % del peso del cemento.

Es decir que para esta dosificación de $f^c = 50$ MPa, el porcentaje utilizado de este aditivo es de 0.8 % de 500 kg. de cemento, esto es 4 kg. de aditivo acelerante superfluidificante reductor de agua.

1.7.- FRAGUADO DEL HORMIGÓN.

Cuando el cemento y el agua entran en contacto, se inicia una reacción química exotérmica que determina el paulatino endurecimiento de la mezcla. Dentro del proceso general de endurecimiento se presenta un estado en que la mezcla pierde apreciablemente su plasticidad y se vuelve difícil de manejar; tal estado corresponde al fraguado inicial de la mezcla. A medida que se produce el endurecimiento normal de la mezcla, se presenta un nuevo estado en el cual la consistencia ha alcanzado un valor muy apreciable; este estado se denomina fraguado final.

La determinación de estos dos estados, cuyo lapso comprendido entre ambos se llama tiempo de fraguado de la mezcla, es muy poco precisa y sólo debe tomarse a título de guía comparativa. El tiempo de fraguado inicial es el mismo para los cinco tipos de cemento enunciados y alcanza un valor de 45 a 60 minutos, el tiempo de fraguado final se estima en 10 horas aproximadamente. En resumen, puede definirse como tiempo de fraguado de una mezcla determinada, el lapso necesario para que la mezcla pase del estado fluido al sólido. Así definido, el fraguado no es sino una parte del proceso de endurecimiento. Es necesario colocar la mezcla en los moldes antes de que inicie el fraguado y de preferencia dentro de los primeros 30 minutos de fabricada. Cuando se presentan problemas especiales

que demandan un tiempo adicional para el transporte del concreto de la fábrica a la obra, se recurre al uso de “retardantes” del fraguado, compuestos de yeso o de anhídrido sulfúrico; de igual manera, puede acelerarse el fraguado con la adición de sustancias alcalinas o sales como el cloruro de calcio.

El endurecimiento del concreto depende a su vez del endurecimiento de la lechada o pasta formada por el cemento y el agua, entre los que se desarrolla una reacción química que produce la formación de un coloide “gel”, a medida que se hidratan los componentes del cemento. La reacción de endurecimiento es muy lenta, lo cual permite la evaporación de parte del agua necesaria para la hidratación del cemento, que se traduce en una notable disminución de la resistencia final. Es por ello que debe mantenerse húmedo el concreto recién colado, “curándolo”. También se logra evitar la evaporación del agua necesaria para la hidratación del cemento, cubriendo el concreto recién descimbrado con una película impermeable de parafina o de productos especiales que se encuentran en el mercado desde hace varios años.

1.7.1.- TIEMPO DE FRAGUADO DEL HORMIGÓN



Figura 11.- *Fraguado del hormigón*

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I.

Mosquera P.

El tiempo de fraguado es un período en el cual mediante reacciones químicas del cemento y el agua conducen a un proceso, que mediante diferentes velocidades de reacción, generan calor y dan origen a nuevos compuestos, estos en la pasta de cemento generan que este endurezca y aglutine al agregado de la mezcla de hormigón, y se ponga fuerte y denso, adquiriendo de este modo una cierta

resistencia, este tiempo es de suma importancia debido a que nos permite colocar y acabar el hormigón.

Típicamente, el fraguado inicial ocurre entre dos y cuatro horas después del hormigonado, y nos define el límite de manejo, o sea el tiempo por el cual el hormigón fresco ya no puede ser mezclado adecuadamente, colocado y compactado, el fraguado final ocurre entre cuatro y ocho horas después del hormigonado, y está definido por el desarrollo de la resistencia, que se genera con gran velocidad. El fraguado inicial y el fraguado final se determinan arbitrariamente por el ensayo de resistencia a la penetración.

El fraguado inicial indica el momento en el que la masa ha adquirido tanta rigidez que no puede ser vibrado sin dañar su estructura interna.

Los principales factores a tener en cuenta son temperatura/clima, relación agua-materiales cementicios (a/mc), contenido de cemento/adiciones, tipo de cemento, aditivos químicos, tiempo de adición de los aditivos, mezclado.

En el caso de prefabricados y utilizando el aditivo acelerante Ergomix-5500 ha llegado a satisfacer un tiempo de fraguado mínimo de entre 1 y 2 horas como se podrá observar en los resultados del presente proyecto.

1.7.2.- FACTORES QUE AFECTAN EL TIEMPO DE FRAGUADO DEL HORMIGON

Los factores más importantes son:

- **Temperatura/ clima.-** El aumento de la temperatura reduce el tiempo de fraguado. La disminución de la temperatura aumenta el tiempo de fraguado.

La hidratación parará cuando la temperatura esté cerca de 0°C. La exposición a la luz del sol y las condiciones ventosas también influyen

el fraguado, especialmente en la superficie, en gran parte debido a los efectos de calor y refrigeración por evaporación.

- **Relación agua - materiales cementicios (a/mc).**- Una relación a/c más baja reduce el tiempo de fraguado.
- **Contenido de cemento/adiciones.**- El aumento del contenido de cemento reduce el tiempo de fraguado.
- **Tipo de cemento.**- La química del cemento afectará fuertemente el tiempo de fraguado.
- **Aditivos químicos.**- Los aditivos aceleradores y retardadores se utilizan deliberadamente para controlar el tiempo de fraguado. La sobredosis de algunos reductores de agua puede dar lugar al retraso del fraguado.
- **Tiempo de adición de los aditivos.**- La adición retrasada de algunos reductores de agua puede evitar la rigidización temprana o el retraso.
- **Mezclado.**- La mejora del mezclado influye en la hidratación mejorando la homogeneidad y la dispersión de los reactivos y, así, también acelera el fraguado.

1.7.3.- INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN EL FRAGUADO DEL HORMIGÓN.

El hormigón puede ser considerado como un sistema de tres fases, agua, partículas sólidas y aire.

El fraguado inicial indica el momento en el cual la masa ya no puede ser vibrada debido a que e ha adquirido la resistencia suficiente en la cual puede dañar la estructura interna.

Es bien conocido que la temperatura es uno de los parámetros que más influencia tienen en el desarrollo de resistencias del hormigón: un incremento de la temperatura hará que la mezcla madure más rápidamente que cuando ésta permanece constante. Esto se debe a una aceleración de la reacción de hidratación,

que es térmicamente activada. Además, la temperatura puede provocar efectos adversos en el hormigón:

- Una temperatura del hormigón demasiado elevada al inicio de la hidratación puede conducir a una pérdida permanente de resistencia.
- Grandes variaciones de temperatura pueden generar la fisuración del hormigón.
- Las heladas antes de que el hormigón haya alcanzado suficientes resistencias pueden causar pérdidas de resistencia permanentes.

Para prevenir estos daños y asegurar un funcionamiento adecuado del hormigón será necesario un conocimiento previo de los efectos de la temperatura en el fraguado de la masa.

Según estudios realizados mediante ensayos se ha determinado que:

- El aumento de la temperatura reduce el tiempo de fraguado. La exposición a la luz del sol y junto a otras condiciones también influyen el fraguado, especialmente en la superficie, en gran parte debido a los efectos de calor y refrigeración por evaporación.
- Una relación a/c más baja reduce el tiempo de fraguado.
- El aumento del contenido de cemento reduce el tiempo de fraguado.

1.8.- ASENTAMIENTOS Y ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES DE HORMIGÓN.

1.8.1.- ASENTAMIENTO EN EL HORMIGÓN FRESCO (ASTM C 143, NTE INEN 1 578) (Anexo 3, parte 1)

Se usa esta prueba para medir la consistencia o rigidez del concreto, cuando existen cambios en esta prueba es debido a la cantidad de agua de la mezcla.



Figura 12.- Cono de Abrams (Asentamiento del hormigón fresco)
Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
 Carlos I. Mosquera P.

1.8.2.- ELABORACIÓN Y CURADO EN OBRA DE ESPECÍMENES DE HORMIGÓN PARA PRUEBAS DE COMPRESIÓN (ASTM C 31, NTE INEN 1 576) (Anexo 3, parte 2)



Figura 13.- Molde para elaboración de especímenes de hormigón para pruebas de compresión
Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
 Carlos I. Mosquera P

1.9.- CALIDAD DEL HORMIGÓN.

La calidad del hormigón depende fundamentalmente de su resistencia a la compresión, durabilidad y estabilidad volumétrica.

Su aceptabilidad se mide en su resistencia a la rotura por compresión f'_c mediante pruebas en cilindros normalizados (NTE INEN 1 573, *Anexo 1 parte 3*). En este caso los cilindros tienen un diámetro de 100 mm y una altura de 200 mm los mismos que se someten a esfuerzos de compresión en la prensa hasta conseguir su rotura.



Figura 14.- Cilindros de hormigón para prueba de compresión (100x200) mm
Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

Estos cilindros se preparan en moldes cilíndricos normalizados como se indica en la fig. 15.



Figura 15.- Moldes cilíndricos normalizados.
Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

La mezcla de hormigón debe ser diseñada en tal forma de obtener una resistencia promedio requerida a compresión (f'_{cr}) que cumpla con la tabla 3, y de satisfacer los criterios de durabilidad.

El hormigón debe producirse para minimizar la frecuencia de resultados de ensayos que arrojen valores inferiores a la resistencia especificada (f'_c), la misma que en ningún caso debe adoptarse menor que 17 MPa.

Tabla 3 .- RESISTENCIA PROMEDIO REQUERIDA A COMPRESIÓN CUANDO SE DISPONE DE INFORMACIÓN SOBRE LA DESVIACIÓN ESTANDAR (S_s)

Resistencia especificada a compresión (Mpa)	Resistencia promedio requerida a compresión (Mpa)
$f'c \leq 35$	Usar el mayor de los dos valores (1) o (2) $f'cr = f'c + 1,34 Ss$ (1) $f'cr = f'c + 2,33 Ss - 3,5$ (2)
$f'c > 35$	Usar el mayor de los dos valores (1) o (2) $f'cr = f'c + 1,34 Ss$ (1) $f'cr = 0,90 f'c + 2,33 Ss$ (2)

Fuente: HORMIGÓN ARMADO. José Camposano Luque. 2008

Determinación de la Desviación Estándar (Ss).

Si se encuentran disponibles datos suficientes de ensayos de producción de un determinado diseño de hormigón se puede establecer una desviación estándar. Los datos que se utilicen para su cálculo deben cumplir con las siguientes condiciones:

- Representar materiales, procedimientos de C.C y condiciones similares a los que se utilizarán en la obra.
- Representar un hormigón producido para alcanzar resistencias dentro de un margen de 7 MPa de $f'c$.
- Consistir en 30 ensayos consecutivos o a su vez dos grupos de ensayos consecutivos que totalicen 30 ensayos mínimo.

En el caso que no existan datos de 30 ensayos sino de 15 a 29 se puede calcular una Ss modificándola con sus factores de la tabla siguiente:

Tabla 4.- FACTOR DE MODIFICACIÓN DE LA DESVIACIÓN ESTANDAR CUANDO HAY DE 15 A 30 PRUEBAS

Número de pruebas	Factor de modificación de la desviación estandar
De 15 a 19	1,16
De 20 a 24	1,08
De 25 a 29	1,03
30 o más	1,00

Fuente: HORMIGÓN ARMADO. José Camposano Luque. 2008

De la misma forma cuando se cuente con menos de 15 pruebas se utilizará la tabla siguiente:

Tabla 5.- FACTOR DE MODIFICACIÓN DE LA DESVIACIÓN ESTANDAR CUANDO SE CUENTE CON MENOS DE 15 PRUEBAS

Resistencia especificada (MPa)	Resistencia promedio requerida (MPa)
$f'c < 21$	$f_{cr'} = f'c + 7$
$21 \leq f'c \leq 35$	$f_{cr'} = f'c + 8,3$
$f'c > 35$	$f_{cr'} = 1,10 f'c + 5$

Fuente: HORMIGÓN ARMADO. José Camposano Luque. 2008

1.9.1.- EVALUACIÓN Y ACEPTABILIDAD DEL HORMIGÓN.

El nivel de resistencia de una determinada clase de hormigón se considera satisfactorio si se cumple:

1.9.1.1.- ELEMENTOS PREFABRICADOS DE HORMIGÓN PRETENSADO $f'c = 50$ MPa SOMETIDOS A COMPRESIÓN.

Cuando el control es por resistencia a la compresión:

- a) El promedio aritmético de tres resultados consecutivos de resistencia es igual o mayor que $f'c$;
- b) Ninguna prueba individual (promedio de dos) cae por debajo de $f'c$ en más de 3.5n MPa cuando $f'c$ es igual o menor que 35 MPa; o en más de 0.1 $f'c$ cuando $f'c$ es mayor que 35 MPa.

1.9.1.2.- ELEMENTOS PREFABRICADOS DE HORMIGÓN PRETENSADO $f_c = 50$ MPa SOMETIDOS A FLEXIÓN.

Como conclusiones de desprenden las siguientes:

- Los ensayos a ser ejecutados como mínimo para la calificación de los DHP corresponden a:
- Ensayos estáticos en sección central a flexión negativa.

El número de ensayos por muestras deben corresponder a mínimo tres por cada grupo de moldes y los que el fabricante requiera para garantizar el producto.

PRUEBAS DE CARGA ESTÁTICA:

Tabla 5a.- Cargas de prueba de los elementos de hormigón pretensado sometidos a flexión.

	MOMENTOS (kN.m)			
	Momento Positivo Apoyo	Momento Negativo Apoyo	Momento Positivo Centro	Momento Negativo Centro
Momentos de prueba (kN.m)	10,67	6,50	6,59	9,42
Momento con 3 Mpa.	12,67	10,89	9,99	10,96
Momento con 4,1 Mpa.	14,32	12,33	11,29	12,16
Coeficiente de seguridad considerando los momentos obtenidos con el esfuerzo de tracción de 4,1 Mpa. en el Hormigón	1,34	1,90	1,71	1,29
CARGAS DE PRUEBA POR LA NORMA AREMA				
	Momento Positivo Apoyo	Momento Negativo Apoyo	Momento Positivo Centro	Momento Negativo Centro
CARGAS DE PRUEBA P en kN	87,10	57,52	26,59	37,98
DISTANCIA DE APLICACIÓN (mm)	57,00	75,00	75,00	75,00
DISTANCIA ENTRE SOPORTES (mm)	604,00	604,00	1 144,00	1 144,00

ENSAYOS DEL DURMIENTE DE HORMIGÓN MONOBLOQUE, SEGÚN NORMA AREMA.

- *Ensayo del asiento del riel sometido a carga vertical.*

Momento negativo en el apoyo del riel.- Con el durmiente apoyado y cargado como se indica en la *fig.15a*, se aplica una carga creciente a una tasa no mayor que 22 kN por minuto, hasta la carga P requerida para producir en momento negativo en el apoyo del riel especificado. Esta carga debe ser mantenida por no menos de 3

minutos, tiempo durante el cual la pieza debe inspeccionarse para determinar si aparecen fisuras estructurales.

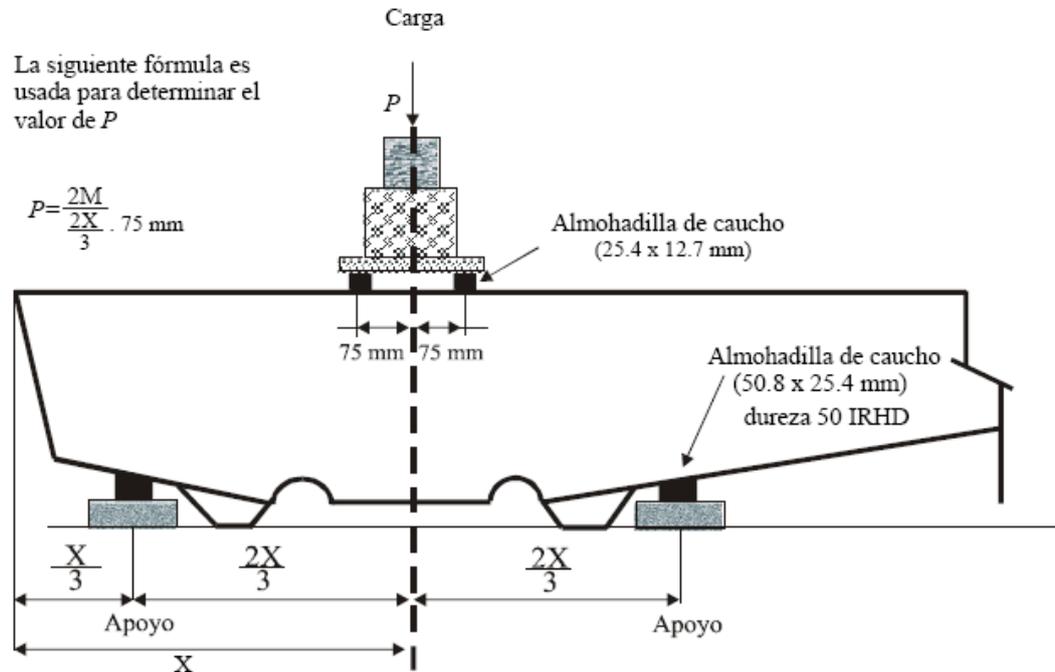


Figura 15a.- Ensayo del momento negativo en el apoyo del riel
Fuente: Art. 4.39 de la norma AREMA

Momento positivo en el apoyo del riel.- De la misma forma el durmiente debe ser apoyado y cargado como se muestra en la figura 15b para producir el momento positivo en el asiento del riel especificado por el cliente. Una lente iluminada de cómo mínimo 5 aumentos debe ser usada para localizar las fisuras. Si la fisuración estructural no ocurre, los requerimientos de cada parte de este ensayo habrán sido alcanzados. Otro material puede ser usado previo acuerdo con el Ingeniero en sustitución de los apoyos de caucho.

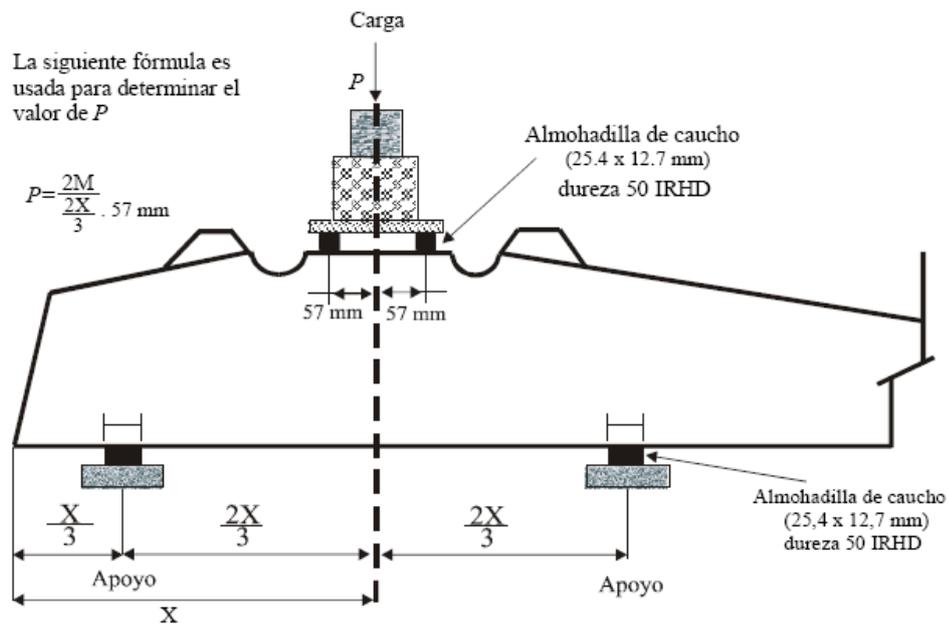


Figura15b.- Ensayo del momento negativo en el apoyo del riel
Fuente: Art. 4.39 de la norma AREMA

Ensayo de momento negativo en el centro del durmiente.

Con el durmiente apoyado y cargado como se muestra en el figura, se aplica una carga creciente a una tasa no mayor de 22 kN por minuto, hasta que se alcance el momento negativo en el centro de diseño especificado. La carga debe ser mantenida por no menos de 3 minutos, tiempo durante el cual la pieza será inspeccionada para determinar si ocurre fisuración estructural.

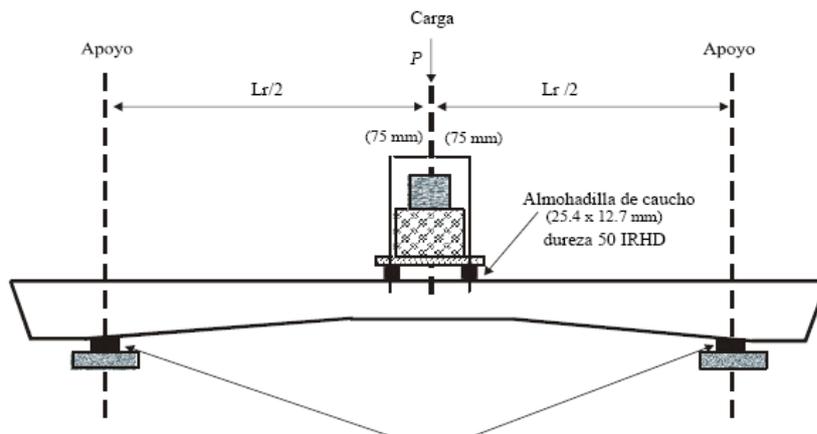


Figura15c.- Ensayo del momento negativo en el apoyo del riel
Fuente: Art. 4.39 de la norma AREMA

Ensayo de momento positivo en el centro del durmiente.

Con el durmiente apoyado y cargado como se muestra en el figura 15d, se aplica una carga creciente a una tasa no mayor de 22 kN por minuto, hasta que se alcance el momento negativo en el centro de diseño especificado. La carga debe ser mantenida por no menos de 3 minutos, tiempo durante el cual la pieza será inspeccionada para determinar si ocurre fisuración estructural. Una lente iluminada de no menos de 5 aumentos debe ser usada para localizar la fisura. Si no se produce la fisuración estructural los requerimientos de este ensayo habrán sido alcanzados.

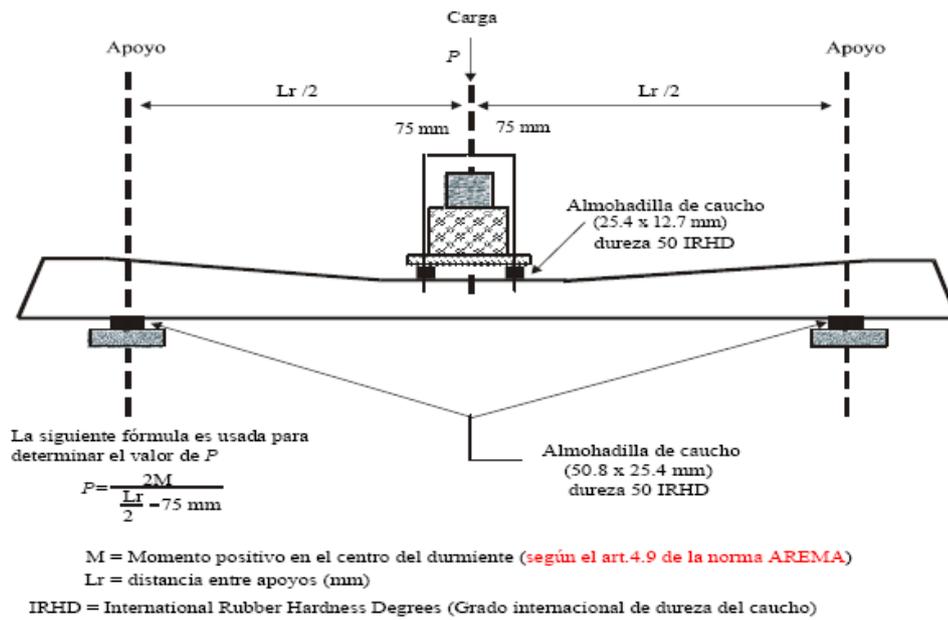


Figura15d.- Ensayo del momento negativo en el apoyo del riel
Fuente: Art. 4.39 de la norma AREMA

CAPITULO II

2.- METODOLOGÍA

2.1.- TIPO DE ESTUDIO

El tipo de estudio de esta investigación, se enfoca directamente a una investigación documental, de campo, bibliográfica y experimental.

Además es un tipo de estudio de investigación asociativa que busca establecer relaciones entre dos o más variables con la finalidad de buscar una correlación o reciprocidad entre ellas.

El estudio se ha realizado en Ecuatoriana de Prefabricados Empresa Pública donde se analizan los datos obtenidos de una base de datos en Excel y todas las posibilidades de relación múltiple para deducir finalmente resultados ajustados y óptimos para el proceso de curado a vapor.

Por ser un proyecto de carácter investigativo fue necesario realizar ensayos de compresión en cilindros de concreto a partir del curado los cuales se realizan a partir de las 4 horas en adelante hasta conseguir una resistencia a la compresión capaz de culminar con las resistencias especificadas de acuerdo al contrato que se realiza, en este caso para un hormigón de $f'c = 50$ Mpa. Esta actividad se realiza en 165 días.

Para este caso después del proceso y la información recopilada de éste se realiza una base de datos en una hoja de cálculo en Excel, el mismo que sirvió para el análisis detallado de los factores que intervienen en el curado como temperatura, resistencia, fraguado, entre otros del concreto de alta resistencia.

Luego de esto se verifica mediante ensayos a compresión de probetas cilíndricas normalizadas a los 7, 14, 21 y 28 días la calidad del concreto (*Anexo 5*).

La siguiente y última etapa es obtener los resultados, analizarlos y buscar el método más adecuado para ajustar a un modelo matemático el cual indicará cuáles son las variables, cómo se relacionan entre ellas y además optimizar estos resultados con la programación lineal. Se busca un tiempo en el cual aumente la producción de estos elementos prefabricados y se ajuste a los requerimientos de calidad del concreto. Estas actividades tienen una duración de 90 días.

2.2.- POBLACIÓN MUESTRA

La base del estudio está enfocada a la metodología aplicada para la optimización del tiempo de curado a vapor en elementos prefabricados de alta resistencia con un $f'c = 50$ MPa en base a la elaboración de una curva que representa el aumento de la producción de estos elementos con el mínimo factor de tiempo.

Para ello se recopiló información necesaria en la parte matemática y en la parte práctica, en definitiva de campo y experimental.

Se presenta como universo un lugar específico donde se realizó la producción de 10240 elementos de hormigón prefabricados, un total de 326 ensayos de resistencia, 6 durante y 6 después del proceso de curado (*Tablas 6 y 7*) por cada línea con su respectiva tabulación de resultados.

Tabla 6. Producción de elementos prefabricados

PRODUCCIÓN DE ELEMENTOS PREFABRICADOS $f'c=50$MPa		
Nº LÍNEAS	ELEMENTOS PRODUCIDOS POR LÍNEA	TOTAL ELEMENTOS PRODUCIDOS
32.00	320.00	10240.00

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

Tabla 7. Número de ensayos a compresión durante y después del curado a vapor

Nº ENSAYOS A COMPRESIÓN DURANTE EL CURADO	Nº ENSAYOS A COMPRESIÓN 7, 14, 21, 28 DIAS POR LÍNEA	TOTAL ENSAYOS A COMPRESIÓN 7, 14, 21, 28 DIAS	TOTAL ENSAYOS A COMPRESIÓN
134.00	8.00	256.00	390.00

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

Este procedimiento de muestra se realiza a partir de la necesidad de ensayar cilindros cumplidas las 4 horas de curado donde el hormigón se aprecia con maduración y el promedio de dos ensayos aritmético a los 7, 14, 21 y 28 días.

2.3.- OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

2.3.1.- IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

Tabla 8. Identificación de variables

VARIABLES INDEPENDIENTES	VARIABLES DEPENDIENTES
TEMPERATURA	TIEMPO CURADO
RESISTENCIA EN CURADO A VAPOR	

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

2.3.2.- OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.

Las variables fundamentales establecidas para este proyecto se operacionalizan de la siguiente manera:

Tabla 9. Operacionalización de variables

VARIABLE	DIMENSION	INDICADOR	TÉCNICA	INSTRUMENTO
PROCESOS DE CURADO A VAPOR	TEMPERATURA DE CURADO	PROBETAS PARA HORMIGÓN 100X200 ELEMENTO PREFABRICADO	Utilización de caldera en el cual se evapora el agua en forma continua por la aplicación de gases	CALDERA
				TERMOCUPLAS
				TABULACIONES, HOJAS DE CAMPO
	PORCENTAJES DE HUMEDAD	PROBETAS PARA HORMIGÓN 100X200	Utilización de sensores de humedad para una central de hormigonado	TERMÓMETRO
				GENERADOR DE VAPOR
				SENSOR DE HUMEDAD
TIEMPOS DE PRODUCCION	HORAS DE CURADO	PROBETAS PARA HORMIGÓN 100X200	Ensayo de resistencia vs. Horas de curado	TABULACIONES, HOJAS DE CAMPO
				CRONOMETRO

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

2.4.- PROCEDIMIENTOS

2.4.1.- PREPARACIÓN DEL CONCRETO.

1) Instrucciones

El operador de la Central de hormigonado recibe instrucciones de preparación del hormigón.



Figura 16.- Central de hormigonado
Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

2) Transportar agregados a las tolvas

El operador de la mini cargadora transporta los agregados (ripio y arena) hacia las 4 tolvas de distribución (2 de ripio y 2 de arena) correspondientemente.



Figura 17.- Transporte de material pétreo a las tolvas de alimentación
Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

3) Pesar cemento

El cemento es transportado a una tolva donde se pesa la cantidad requerida, la misma que es de 500 kg. aproximadamente.

4) Pesar agua.

La cantidad de agua que se requiere para la preparación del concreto va a depender del porcentaje de humedad de los agregados (arena y ripio) La cantidad de agua que se aumente es controlado por el Hidro – Control (contador de agua).

5) Pesar aditivos.

El aditivo Ergomix 5500 se pesa según la dosificación requerida. En este caso 4.1 kg.

6) Cernir agregados

El operador de línea hace pasar los agregados a través de tamices con la finalidad de retener materiales con distinta granulometría a la requerida en el diseño.



Figura 18.- Paso de agregados por tamices
Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

7) Pesar agregados.

En el sistema de balanzas se pesan los agregados, en esta dosificación serán de 834 kg. de ripio y 783 kg. de arena.



Figura 19.- Peso de agregados en balanzas
Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

8) Transportar agregados al mixer.

La cantidad de arena y ripio pesados caen a la banda transportadora en las tolvas de alimentación, la misma que sube por un skip hasta el mixer.



Figura 20.- Transporte de agregados grueso y fino al mixer
Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

9) Mezclar materias primas en el mixer.

A medida que van llegando las materias primas (áridos, cemento y agua) al mixer éstas se van mezclando mediante paletas o brazos mecánicos hasta obtener una mezcla homogénea.



Figura 21.- Mezcla de materias primas en el mixer
Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

10) Verificar mezcla de concreto.

El técnico de Control de Calidad verifica de forma visual que las materias primas se hayan mezclado correctamente en función a la textura obtenida, entonces en este punto se descarga el aditivo.



Figura 22.- Verificación de la mezcla de concreto
Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

11) Mezclar el Concreto simple con aditivo.

Una vez que se mezclaron las materias primas previamente, se agrega finalmente el aditivo acelerante ERGOMIX 5500.



Figura 23 .- Tanque de aditivo ERGOMIX 5500
Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

12) Descargar concreto a la tolva de distribución.

El operador descarga el concreto a la tolva de distribución.



Figura 24 .- Descargue de concreto a la tolva o canasta de distribución
Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

13) Control de Calidad.

El Técnico de Control de Calidad se encarga de tomar los asentamientos del hormigón y preparar los cilindros respectivos para las pruebas de compresión, esto se lo realiza 3 o 4 veces en el proceso de hormigonado que tiene una duración de 2 horas aproximadamente, estos procedimientos se los detalla a continuación:

ASENTAMIENTO EN EL HORMIGÓN FRESCO (ASTM C 143)

Se usa esta prueba para medir la consistencia o rigidez del concreto, cuando existen cambios en esta prueba es debido a la cantidad de agua de la mezcla.



Figura 25.- Cono de Abrams (Asentamiento del hormigón fresco)
Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

PROCEDIMIENTO

- 1) Se humedece el molde y el piso o placa base, ejecutar sobre una superficie rígida no absorbente.
- 2) Se apoya firmemente el molde sobre la base colocando y presionando con los dos pies los estribos del molde. Por ningún motivo debe moverse los pies durante el llenado del molde. En nuestro caso se omite este paso ya que el equipo que se emplea se puede sujetar manualmente y no es necesario apoyar con los pies.



Figura 26.- Cono de Abrams (Asentamiento del hormigón fresco)
Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

- 3) Se llena el molde en tres capas de igual volumen, la primera capa a una profundidad de 70 mm, la segunda hasta de 160 mm, y la tercera hasta el borde superior del molde.



Figura 27.- Compactado con varilla de apisonado (Asentamiento del hormigón fresco)
Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

4. Se compacta cada capa en toda su profundidad con 25 penetraciones de la varilla, distribuyendo las penetraciones en toda la superficie de cada capa.

5. Se compacta la segunda y tercera capa penetrando la capa anterior 25 mm. (1 pulgada) y se varilla desde cerca del perímetro y continuar progresivamente en forma espiral hacia el centro del molde.



Figura28.- Llenado de la última capa (Asentamiento del hormigón fresco)
Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

6. Para compactar la última capa, se debe mantener un excedente de hormigón sobre el molde antes de comenzar el varillado, si el concreto es insuficiente detener el varillado y colocar una cantidad representativa para mantener un exceso de concreto sobre el molde todo el tiempo.



Figura 29.- Enrasado con varilla (Asentamiento del hormigón fresco)
Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

7. Se enrasa el hormigón rodando la varilla de compactación sobre el borde superior del molde.

8. Se mantiene el molde firme y remover el hormigón alrededor del área circundante de la base del molde para prevenir la interferencia en el momento del asentamiento del concreto.

9. Se levanta el molde por encima de las 12 pulgadas (300 mm) de un solo movimiento sin giros. En un tiempo de 5 ± 2 segundos.



Figura 30.- Levantado de molde troncónico (Asentamiento del hormigón fresco)

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

10. Se mide con una precisión de $\frac{1}{4}$ de pulgada (5 mm) el revenimiento, desde la parte superior del molde hasta el centro desplazado de la superficie original del espécimen.



Figura 31.- Medición del asentamiento o revenimiento (Asentamiento del hormigón fresco)

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

Si al levantar el cono se produce una falla por corte, es necesario descartar la prueba y realizar el ensayo con una nueva porción de mezcla, si la falla se repite, es posible que el hormigón no tenga la plasticidad necesaria o sea cohesivo para aplicar este ensayo.

11. Se ejecuta la prueba desde su inicio hasta el final.

ELABORACIÓN Y CURADO EN OBRA DE ESPECÍMENES DE HORMIGÓN PARA PRUEBAS DE COMPRESIÓN (ASTM C 31,)



Figura 32.- Molde para elaboración de especímenes de hormigón para pruebas de compresión

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

Procedimiento.

- a) Se coloca el molde sobre una superficie horizontal, rígida, nivelada y libre de vibraciones.



Figura 33.- Preparación de Moldes (Elaboración de especímenes de hormigón)

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

- b) Se toma una muestra representativa.

c) Se coloca el hormigón en el interior del molde, moviendo el cucharón alrededor del borde del molde para asegurar la distribución del concreto y una segregación mínima mientras se descarga el hormigón.

d) Se llena el molde en dos capas de igual volumen (*tabla 9a*). En la última capa, agregar la cantidad de hormigón suficiente para que el molde quede lleno después de la compactación.

Tabla 10.- Requisitos para el moldeo por apisonado

Tipo y tamaño de la probeta	Nº de capas de aprox. igual altura	Nº de golpes de pisón por capa
Cilindros:		
Diámetro, pulg (mm)		
4 (100)	2	25
6 (150)	3	25
9 (225)	4	50

Fuente: Designación ASTM: C31/C31M – 03a (*Anexo 4*)



Figura 34.- Llenado de molde en capas de igual volumen

Se ajusta el sobrante o faltante de hormigón con una porción de mezcla y completar el número de golpes faltantes.

e) Se compacta cada capa con 25 penetraciones de la varilla usando la punta semiesférica, distribuyendo uniformemente las penetraciones.

f) Se compacta la capa inferior en todo su espesor. Compactar la segunda capa, penetrando 1 pulgada (25 mm) en la capa anterior.

g) Después de compactar cada capa, se golpea los lados del molde ligeramente de 10 a 15 veces con el martillo de goma para liberar las burbujas de aire que pueden quedar atrapadas. Utilice la mano abierta, si se trata de moldes de un solo uso los cuales son susceptibles a daños por los golpes con el mazo.

h) Mantener una vibración uniforme durante este proceso. La duración del vibrado dependerá de la trabajabilidad del concreto y la efectividad del vibrador, se debe vibrar hasta obtener una superficie lisa. Colocar cada capa de concreto en el molde antes de comenzar la vibración de la misma.

Nota.- Generalmente no más de 5 seg. de vibración por inmersión es necesaria para consolidar el concreto con un revenimiento mayor a 3 pulg. (75 mm.).

i) Enrasar el exceso de hormigón con la varilla de compactación.

j) Identificar los especímenes con la información correcta, no se lo hace sobre las tapas de los moldes y utilizar un método que no altere la superficie del hormigón.

En el caso de este proyecto nuestro caso vamos a compactar y vibrar el hormigón.

2.4.2.- HORMIGONADO.

8) Colocar peinillas en la línea de producción.

Los operadores de línea colocan una peinilla cada cuatro moldes con la finalidad de que se mantengan los cables en su sitio durante el vertido del concreto.

9) Verter el concreto en la máquina distribuidora.

La mezcla de hormigón depositado en la tolva de distribución es levantada mediante el puente grúa y éste es descargado sobre la tolva de la máquina distribuidora.

10) Verter el concreto en moldes.

Comenzando la línea el operador de la maquinaria vierte la mezcla de concreto sobre los moldes.



Figura 35.- Vertido de hormigón en moldes

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

11) Distribuir el concreto en los moldes.

Se distribuye uniformemente el concreto sobre los moldes con un jalador.



Figura 36.- Distribución de hormigón en moldes

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

12) Activar vibradores.

El operador de la distribuidora de hormigón activa el sistema de vibradores para que la mezcla de hormigón se asiente y distribuya con uniformidad por todos los espacios sobre los moldes con el fin de evitar dejar espacios vacíos.

13) Alisar Superficie del elemento prefabricado.

Se alisa la superficie superior del elemento con ayuda de una liana o bailejo, se retira el exceso de hormigón.

14) Verificación del proceso de hormigonado.

El técnico de Control de Calidad verifica el proceso de hormigonado en el cual no pueden existir imperfecciones y/o desniveles que afecten al producto terminado.

2.4.3.- COLOCACIÓN DE SOPORTES Y COBERTORES DE CURADO

4) Toma de soportes y cobertores de curado.

Se toma el número necesario de arcos de soporte y carpas de curado.

5) Colocación de cilindros de prueba.

El ayudante de Laboratorio coloca 12 o más cilindros de hormigón en el extremo del cabezal de tensión (lugar crítico donde la temperatura y vapor son menos que la inicial registrada en el caldero).



Figura 37.- Colocación de cilindros de prueba.

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

6) Verificación de la colocación de soportes y cobertores.

El técnico de Control de Calidad verifica el proceso.

2.4.4.- CURADO

12) Inspección del nivel de combustible del caldero.

Se inspecciona si existe suficiente combustible en el depósito, entonces se abrirá la válvula de agua que va del depósito a la caldera.

13) Control del nivel de agua del caldero.

Se controla el nivel de agua del depósito y se añade ablandador si es necesario y finalmente se abre la válvula de agua que va del depósito a la caldera.

14) Colocación de termocuplas en la línea de producción.

Se coloca una termocupla sobre un molde en la mitad de la línea de producción para controlar la temperatura.

15) Encender el caldero.

Un operador enciende el caldero y controla la combustión, la temperatura y presión requerida. Luego procede a abrir la válvula automática de distribución de vapor.



Figura 38.- Encendido del caldero

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

16) Distribución de vapor en la línea de producción.

El vapor se distribuye a lo largo de la línea de producción a través de tubos de vapor los mismos que están situados bajo los moldes.

17) Registro de presión y temperatura del caldero.

Se controla y registra la temperatura de vapor del caldero (*Anexo 6*) a lo largo de la línea de producción, leyendo el valor cada 30 minutos y que se mantenga entre 60 y 70 °C, lo más constante posible.



Figura 39.- Control y registro de temperatura y presión del caldero

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

18) Control de válvulas de vapor en el caldero.

Si la temperatura del vapor en el molde estuviera ya sea por encima o por debajo del vapor configurado, el calderista debe controlar las válvulas automáticas de vapor abriéndolas o cerrándolas.

19) Ensayos de resistencia a la compresión en probetas de hormigón durante el curado a vapor.

El técnico de Control de Calidad realiza las pruebas de compresión a las probetas de hormigón para determinar el avance del curado a vapor.



Figura 40.- Ensayos a compresión durante el curado a vapor

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

20) Dejar de suministrar vapor a la línea.

El calderista apaga el caldero tras un tiempo predefinido y cierra las válvulas de agua y combustible, además deja reposar el caldero hasta curar la próxima línea lista.



Figura 41.- Línea de producción sin suministro de vapor

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

21) Verificación del proceso de curado de la línea de producción.

El técnico de Control de Calidad verifica que el proceso de curado haya alcanzado una resistencia promedio la misma que alcance a los 28 días la requerida que es de 50 MPa

22) Curar la línea en forma continua.

Se continúa curando la línea hasta que las pruebas de compresión que se realiza a las probetas alcancen los 24 MPa.

2.4.5.- FRAGUADO DEL CONCRETO



Figura 42.- Fraguado del concreto

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

OBJETO:

El presente procedimiento determina el tiempo de trabajabilidad que se puede mantener una mezcla de aditivo con cemento en la Empresa Ecuatoriana de Prefabricados.

Puntos Críticos:

- Seguir detenidamente los pasos descritos en el presente procedimiento.
- La limpieza de los materiales que se utilicen es crítico tanto en elaboración como en control de calidad, de no ser así interferirían directamente en la apreciación en el momento de emitir los resultados.

2.5.- PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS

La toma de datos iniciales de humedad, temperatura y tiempos de curado en el hormigón se realizarán en forma manual ensayos de laboratorio y datos anteriores establecidos por Ecuatoriana de Prefabricados.

Para el procesamiento de datos se utilizará el software Microsoft Office Excel 2007. Los datos y cálculos se mostrarán mediante gráficos estadísticos de columnas, además de tablas de media aritmética, modelos matemáticos con regresiones lineales y no lineales mediante cálculo de matrices en matlab 6.5.

Para las curvas se utilizará los gráficos de líneas con marcadores en cada valor de datos.

CAPITULO III

3. RESULTADOS

Todo el conjunto de resultados se obtuvo de los ensayos compresivos del concreto de $f^c=50$ MPa durante el curado a vapor, los mismos que se registran y tabulan así como registros de temperatura y tiempo de curado, humedad final de mezcla, tiempo de fraguado con aditivo acelerante y cemento Pórtland tipo 10 P.

Se va tabulando estos datos y resultados obtenidos en otra tabla general por fechas desde el mes de Abril del 2012 hasta Septiembre del 2012, la misma que es completa de todos los ensayos realizados, posteriormente en el análisis se destacan las resistencias especificadas anulando las líneas de producción de los elementos sobredimensionados.

A continuación todos los ensayos realizados en el tiempo de estudio:

Tabla 11.- Resultados de ensayos a compresión del hormigón $f'c = 50\text{MPa}$ con registros de temperatura, humedad, tiempo de curado y de fraguado*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO																			
TÍTULO DEL PROYECTO: "INVESTIGACIÓN DEL TIEMPO ÓPTIMO DE CURADO A VAPOR EN UN HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA PARA ELEMENTOS PREFABRICADOS EN PRODUCCIÓN MASIVA"																			
FECHA	LINEA	TIEMPO CURADO			TEMPERATURA	HUMEDAD	RESISTENCIA EN CURADO A VAPOR	TIEMPO FRAGUADO				RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN ($f'c$)							
		HORA	MINUTO	NÚMERO	(°C)	FINAL PROM (%)	Mpa	INICIO HORMIGONADO	FIN HORMIGONADO	INICIO CURADO	TIEMPO (HORAS)	7 DIAS	14 DIAS	21 DIAS	28 DIAS				
20/04/2012	3	0	0	0.00	22	10.6		14:06	15:51	17:00	1:09	38.91	42.31	49.51	53.15				
		0	30	0.50	31	10.6										38.91	42.31	49.51	53.15
		1	0	1.00	41	10.6										38.91	42.31	49.51	53.15
		1	30	1.50	51	10.6										38.91	42.31	49.51	53.15
		2	0	2.00	62	10.6										38.91	42.31	49.51	53.15
		2	30	2.50	64	10.6										38.91	42.31	49.51	53.15
		3	0	3.00	65	10.6										38.91	42.31	49.51	53.15
		3	30	3.50	65	10.6										38.91	42.31	49.51	53.15
		4	0	4.00	64	10.6	14.69									38.91	42.31	49.51	53.15
		4	30	4.50	64	10.6										38.91	42.31	49.51	53.15
		5	0	5.00	63	10.6	20.20									38.91	42.31	49.51	53.15
		5	30	5.50	64	10.6	22.45									38.91	42.31	49.51	53.15
		5	40	5.67	64	10.6	19.16									38.91	42.31	49.51	53.15
		5	45	5.75	64	10.6	24.15									38.91	42.31	49.51	53.15
23/04/2012	2	0	0	0.00	21	10.5		9:30:00	10:43	12:30	1:47	39.37	47.74	49.97	55.65				
		0	30	0.50	32	10.5										39.37	47.74	49.97	55.65
		1	0	1.00	41	10.5										39.37	47.74	49.97	55.65
		1	30	1.50	50	10.5										39.37	47.74	49.97	55.65
		2	0	2.00	60	10.5										39.37	47.74	49.97	55.65
		2	30	2.50	66	10.5										39.37	47.74	49.97	55.65
		3	0	3.00	65	10.5										39.37	47.74	49.97	55.65
		3	30	3.50	63	10.5										39.37	47.74	49.97	55.65
		4	0	4.00	63	10.5	14.57									39.37	47.74	49.97	55.65
		4	30	4.50	60	10.5	25.01									39.37	47.74	49.97	55.65

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO															
TÍTULO DEL PROYECTO: "INVESTIGACIÓN DEL TIEMPO ÓPTIMO DE CURADO A VAPOR EN UN HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA PARA ELEMENTOS PREFABRICADOS EN PRODUCCIÓN MASIVA"															
FECHA	LINEA	TIEMPO CURADO			TEMPERATURA (°C)	HUMEDAD FINAL PROM (%)	RESISTENCIA EN CURADO A VAPOR Mpa	TIEMPO FRAGUADO				RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (f'c)			
		HORA	MINUTO	NÚMERO				INICIO HORMIGONADO	FIN HORMIGONADO	INICIO CURADO	TIEMPO (HORAS)	7 DIAS	14 DIAS	21 DIAS	28 DIAS
23/04/2012	3	0	0	0.00	20	10.7	11:20:00	12:24	15:00:00	2:36:00	45.22	50.21	50.59	58.55	
		0	30	0.50	35	10.7					45.22	50.21	50.59	58.55	
		1	0	1.00	37	10.7					45.22	50.21	50.59	58.55	
		1	30	1.50	42	10.7					45.22	50.21	50.59	58.55	
		2	0	2.00	48	10.7					45.22	50.21	50.59	58.55	
		2	30	2.50	60	10.7					45.22	50.21	50.59	58.55	
		3	0	3.00	63	10.7					45.22	50.21	50.59	58.55	
		3	30	3.50	62	10.7					45.22	50.21	50.59	58.55	
		4	0	4.00	59	10.7					12.35	45.22	50.21	50.59	58.55
		4	30	4.50	58	10.7					45.22	50.21	50.59	58.55	
		5	0	5.00	63	10.7					45.22	50.21	50.59	58.55	
		5	30	5.50	60	10.7					19.54	45.22	50.21	50.59	58.55
		6	0	6.00	63	10.7					45.22	50.21	50.59	58.55	
		6	15	6.25	63	10.7	24.30	45.22	50.21	50.59	58.55				
24/04/2012	2	0	0	0.00	21	10.6	7:42:00	9:25	11:00	1:35	42.61	44.36	52.21	58.72	
		0	30	0.50	32	10.6					42.61	44.36	52.21	58.72	
		1	0	1.00	41	10.6					42.61	44.36	52.21	58.72	
		1	30	1.50	50	10.6					42.61	44.36	52.21	58.72	
		2	0	2.00	61	10.6					42.61	44.36	52.21	58.72	
		2	30	2.50	61	10.6					42.61	44.36	52.21	58.72	
		3	0	3.00	65	10.6					42.61	44.36	52.21	58.72	
		3	30	3.50	64	10.6					42.61	44.36	52.21	58.72	
		4	0	4.00	60	10.6					14.69	42.61	44.36	52.21	58.72
		4	30	4.50	65	10.6					16.88	42.61	44.36	52.21	58.72
		5	0	5.00	65	10.6					20.01	42.61	44.36	52.21	58.72
		5	30	5.50	64	10.6					24.56	42.61	44.36	52.21	58.72

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO

TÍTULO DEL PROYECTO: "INVESTIGACIÓN DEL TIEMPO ÓPTIMO DE CURADO A VAPOR EN UN HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA PARA ELEMENTOS PREFABRICADOS EN PRODUCCIÓN MASIVA"

FECHA	LINEA	TIEMPO CURADO			TEMPERATURA (°C)	HUMEDAD FINAL PROM (%)	RESISTENCIA EN CURADO A VAPOR Mpa	TIEMPO FRAGUADO				RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (f'c)			
		HORA	MINUTO	NÚMERO				INICIO HORMIGONADO	FIN HORMIGONADO	INICIO CURADO	TIEMPO (HORAS)	7 DIAS	14 DIAS	21 DIAS	28 DIAS
24/04/2012	3	0	0	0.00	22	10.6		10:00:00	12:30	13:45	1:15	52.32	55.31	53.21	59.81
		0	30	0.50	32	10.6	52.32					55.31	53.21	59.81	
		1	0	1.00	54	10.6	52.32					55.31	53.21	59.81	
		1	30	1.50	65	10.6	52.32					55.31	53.21	59.81	
		2	0	2.00	59	10.6	52.32					55.31	53.21	59.81	
		2	30	2.50	62	10.6	52.32					55.31	53.21	59.81	
		3	0	3.00	63	10.6	52.32					55.31	53.21	59.81	
		3	30	3.50	68	10.6	52.32					55.31	53.21	59.81	
		4	0	4.00	67	10.6	14.51					52.32	55.31	53.21	59.81
		4	30	4.50	65	10.6	20.82					52.32	55.31	53.21	59.81
		5	0	5.00	65	10.6	52.32					55.31	53.21	59.81	
		5	15	5.25	65	10.6	25.39					52.32	55.31	53.21	59.81
25/04/2012	2	0	0	0.00	26	10.8		7:50:00	9:40	11:20	1:40	55.92	50.84	50.41	62.55
		0	30	0.50	33	10.8	55.92					50.84	50.41	62.55	
		1	0	1.00	38	10.8	55.92					50.84	50.41	62.55	
		1	30	1.50	42	10.8	55.92					50.84	50.41	62.55	
		2	0	2.00	46	10.8	55.92					50.84	50.41	62.55	
		2	30	2.50	50	10.8	55.92					50.84	50.41	62.55	
		3	0	3.00	59	10.8	55.92					50.84	50.41	62.55	
		3	30	3.50	60	10.8	55.92					50.84	50.41	62.55	
		4	0	4.00	60	10.8	11.01					55.92	50.84	50.41	62.55
		4	30	4.50	60	10.8	55.92					50.84	50.41	62.55	
		5	0	5.00	61	10.8	15.33					55.92	50.84	50.41	62.55
		5	30	5.50	60	10.8	55.92					50.84	50.41	62.55	
		6	0	6.00	60	10.8	20.35					55.92	50.84	50.41	62.55
		6	30	6.50	60	10.8	55.92					50.84	50.41	62.55	
		7	0	7.00	61	10.8	22.53					55.92	50.84	50.41	62.55
		7	10	7.17	63	10.8	23.79					55.92	50.84	50.41	62.55

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO															
TÍTULO DEL PROYECTO: "INVESTIGACIÓN DEL TIEMPO ÓPTIMO DE CURADO A VAPOR EN UN HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA PARA ELEMENTOS PREFABRICADOS EN PRODUCCIÓN MASIVA"															
FECHA	LINEA	TIEMPO CURADO			TEMPERATURA (°C)	HUMEDAD FINAL PROM (%)	RESISTENCIA EN CURADO A VAPOR Mpa	TIEMPO FRAGUADO				RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (f'c)			
		HORA	MINUTO	NÚMERO				INICIO HORMIGONADO	FIN HORMIGONADO	INICIO CURADO	TIEMPO (HORAS)	7 DIAS	14 DIAS	21 DIAS	28 DIAS
25/04/2012	3	0	0	0.00	26	10.8	10:12:00	11:26	13:00	1:34	51.08	58.84	50.89	57.20	
		0	30	0.50	32	10.8					51.08	58.84	50.89	57.20	
		1	0	1.00	40	10.8					51.08	58.84	50.89	57.20	
		1	30	1.50	49	10.8					51.08	58.84	50.89	57.20	
		2	0	2.00	60	10.8					51.08	58.84	50.89	57.20	
		2	30	2.50	60	10.8					51.08	58.84	50.89	57.20	
		3	0	3.00	60	10.8					51.08	58.84	50.89	57.20	
		3	30	3.50	61	10.8					51.08	58.84	50.89	57.20	
		4	0	4.00	62	10.8					11.56	58.84	50.89	57.20	
		4	30	4.50	63	10.8					13.59	58.84	50.89	57.20	
		5	0	5.00	63	10.8					51.08	58.84	50.89	57.20	
		5	30	5.50	64	10.8					19.35	58.84	50.89	57.20	
		6	0	6.00	65	10.8					51.08	58.84	50.89	57.20	
		6	30	6.50	64	10.8					51.08	58.84	50.89	57.20	
		7	0	7.00	63	10.8	25.26	58.84	50.89	57.20					
26/04/2012	2	0	0	0.00	28	10.6	7:30:00	8:55	10:10	1:15	39.17	40.11	47.72	55.21	
		0	30	0.50	38	10.6					39.17	40.11	47.72	55.21	
		1	0	1.00	45	10.6					39.17	40.11	47.72	55.21	
		1	30	1.50	49	10.6					39.17	40.11	47.72	55.21	
		2	0	2.00	56	10.6					39.17	40.11	47.72	55.21	
		2	30	2.50	60	10.6					39.17	40.11	47.72	55.21	
		3	0	3.00	61	10.6					39.17	40.11	47.72	55.21	
		3	30	3.50	63	10.6					39.17	40.11	47.72	55.21	
		4	0	4.00	62	10.6					18.32	40.11	47.72	55.21	
		4	30	4.50	62	10.6					39.17	40.11	47.72	55.21	
		5	0	5.00	61	10.6					21.46	40.11	47.72	55.21	

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO															
TÍTULO DEL PROYECTO: "INVESTIGACIÓN DEL TIEMPO ÓPTIMO DE CURADO A VAPOR EN UN HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA PARA ELEMENTOS PREFABRICADOS EN PRODUCCIÓN MASIVA"															
FECHA	LINEA	TIEMPO CURADO			TEMPERATURA (°C)	HUMEDAD FINAL PROM (%)	RESISTENCIA EN CURADO A VAPOR Mpa	TIEMPO FRAGUADO				RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (f'c)			
		HORA	MINUTO	NÚMERO				INICIO HORMIGONADO	FIN HORMIGONADO	INICIO CURADO	TIEMPO (HORAS)	7 DIAS	14 DIAS	21 DIAS	28 DIAS
26/04/2012	3	0	0	0.00	29	10.6	9:40:00	11:12	13:05	1:53	52.12	52.26	59.11	61.23	
		0	30	0.50	31	10.6					52.12	52.26	59.11	61.23	
		1	0	1.00	48	10.6					52.12	52.26	59.11	61.23	
		1	30	1.50	57	10.6					52.12	52.26	59.11	61.23	
		2	0	2.00	60	10.6					52.12	52.26	59.11	61.23	
		2	30	2.50	65	10.6					52.12	52.26	59.11	61.23	
		3	0	3.00	66	10.6					52.12	52.26	59.11	61.23	
		3	30	3.50	68	10.6					52.12	52.26	59.11	61.23	
		4	0	4.00	66	10.6					19.72	52.12	52.26	59.11	61.23
		4	30	4.50	63	10.6					20.61	52.12	52.26	59.11	61.23
		5	0	5.00	60	10.6					52.12	52.26	59.11	61.23	
		5	30	5.50	60	10.6					52.12	52.26	59.11	61.23	
		5	55	5.92	62	10.6					27.99	52.12	52.26	59.11	61.23
26/04/2012	2	0	0	0.00	28	10.6					21:31:00	23:54	1:20	1:26	41.49
27/04/2012		0	30	0.50	39	10.6	41.49	42.14	50.36	60.25					
		1	0	1.00	45	10.6	41.49	42.14	50.36	60.25					
		1	30	1.50	59	10.6	41.49	42.14	50.36	60.25					
		2	0	2.00	60	10.6	41.49	42.14	50.36	60.25					
		2	30	2.50	62	10.6	41.49	42.14	50.36	60.25					
		3	0	3.00	66	10.6	41.49	42.14	50.36	60.25					
		3	30	3.50	63	10.6	41.49	42.14	50.36	60.25					
		4	0	4.00	61	10.6	16.02	41.49	42.14	50.36					60.25
		4	30	4.50	61	10.6	41.49	42.14	50.36	60.25					
		5	0	5.00	61	10.6	20.21	41.49	42.14	50.36					60.25
		5	30	5.50	65	10.6	24.98	41.49	42.14	50.36					60.25

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO															
TÍTULO DEL PROYECTO: "INVESTIGACIÓN DEL TIEMPO ÓPTIMO DE CURADO A VAPOR EN UN HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA PARA ELEMENTOS PREFABRICADOS EN PRODUCCIÓN MASIVA"															
FECHA	LINEA	TIEMPO CURADO			TEMPERATURA (°C)	HUMEDAD FINAL PROM (%)	RESISTENCIA EN CURADO A VAPOR Mpa	TIEMPO FRAGUADO				RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (f'c)			
		HORA	MINUTO	NÚMERO				INICIO HORMIGONADO	FIN HORMIGONADO	INICIO CURADO	TIEMPO (HORAS)	7 DIAS	14 DIAS	21 DIAS	28 DIAS
27/04/2012	2	0	0	0.00	28	10.7	11:11:00	17:15	17:50	0:35	55.28	58.54	61.58	65.32	
		0	30	0.50	38	10.7					55.28	58.54	61.58	65.32	
		1	0	1.00	52	10.7					55.28	58.54	61.58	65.32	
		1	30	1.50	60	10.7					55.28	58.54	61.58	65.32	
		2	0	2.00	60	10.7					55.28	58.54	61.58	65.32	
		2	30	2.50	60	10.7					55.28	58.54	61.58	65.32	
		3	0	3.00	60	10.7					55.28	58.54	61.58	65.32	
		3	30	3.50	61	10.7					55.28	58.54	61.58	65.32	
		4	0	4.00	60	10.7					17.71	55.28	58.54	61.58	65.32
		4	30	4.50	60	10.7					19.81	55.28	58.54	61.58	65.32
		5	0	5.00	60	10.7					22.32	55.28	58.54	61.58	65.32
		5	30	5.50	60	10.7					23.59	55.28	58.54	61.58	65.32
		5	50	5.83	60	10.7					24.25	55.28	58.54	61.58	65.32
27/04/2012	3	0	0	0.00	21	10.6	17:42:00	19:45	21:30	1:45	55.39	58.69	59.51	65.21	
28/04/2012		0	30	0.50	30	10.6					55.39	58.69	59.51	65.21	
		1	0	1.00	46	10.6					55.39	58.69	59.51	65.21	
		1	30	1.50	60	10.6					55.39	58.69	59.51	65.21	
		2	0	2.00	60	10.6					55.39	58.69	59.51	65.21	
		2	30	2.50	65	10.6					55.39	58.69	59.51	65.21	
		3	0	3.00	65	10.6					55.39	58.69	59.51	65.21	
		3	30	3.50	64	10.6					55.39	58.69	59.51	65.21	
		4	0	4.00	64	10.6					18.48	55.39	58.69	59.51	65.21
		4	30	4.50	64	10.6					55.39	58.69	59.51	65.21	
		5	0	5.00	65	10.6					23.36	55.39	58.69	59.51	65.21
		5	10	5.17	65	10.6					24.85	55.39	58.69	59.51	65.21

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO															
TÍTULO DEL PROYECTO: "INVESTIGACIÓN DEL TIEMPO ÓPTIMO DE CURADO A VAPOR EN UN HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA PARA ELEMENTOS PREFABRICADOS EN PRODUCCIÓN MASIVA"															
FECHA	LINEA	TIEMPO CURADO			TEMPERATURA (°C)	HUMEDAD FINAL PROM (%)	RESISTENCIA EN CURADO A VAPOR Mpa	TIEMPO FRAGUADO				RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (f'c)			
		HORA	MINUTO	NÚMERO				INICIO HORMIGONADO	FIN HORMIGONADO	INICIO CURADO	TIEMPO (HORAS)	7 DIAS	14 DIAS	21 DIAS	28 DIAS
28/04/2012	3	0	0	0.00	28	10.6	9:01:00	10:15	11:40	1:25	48.64	55.21	59.21	60.87	
		0	30	0.50	35	10.6					48.64	55.21	59.21	60.87	
		1	0	1.00	45	10.6					48.64	55.21	59.21	60.87	
		1	30	1.50	49	10.6					48.64	55.21	59.21	60.87	
		2	0	2.00	50	10.6					48.64	55.21	59.21	60.87	
		2	30	2.50	65	10.6					48.64	55.21	59.21	60.87	
		3	0	3.00	64	10.6					48.64	55.21	59.21	60.87	
		3	30	3.50	64	10.6					48.64	55.21	59.21	60.87	
		4	0	4.00	64	10.6					48.64	55.21	59.21	60.87	
		4	20	4.33	63	10.6					15.29	48.64	55.21	59.21	60.87
		4	30	4.50	63	10.6					48.64	55.21	59.21	60.87	
		5	0	5.00	63	10.6					20.48	48.64	55.21	59.21	60.87
		5	30	5.50	63	10.6					48.64	55.21	59.21	60.87	
		5	50	5.83	63	10.6					25.08	48.64	55.21	59.21	60.87
28/04/2012	2	0	0	0.00	28	10.6	5:47:00	8:00	9:25	1:25	42.72	52.65	56.54	60.23	
		0	30	0.50	35	10.6					42.72	52.65	56.54	60.23	
		1	0	1.00	45	10.6					42.72	52.65	56.54	60.23	
		1	30	1.50	54	10.6					42.72	52.65	56.54	60.23	
		2	0	2.00	61	10.6					42.72	52.65	56.54	60.23	
		2	30	2.50	65	10.6					42.72	52.65	56.54	60.23	
		3	0	3.00	65	10.6					42.72	52.65	56.54	60.23	
		3	30	3.50	65	10.6					42.72	52.65	56.54	60.23	
		4	0	4.00	65	10.6					14.24	42.72	52.65	56.54	60.23
		4	30	4.50	66	10.6					19.64	42.72	52.65	56.54	60.23
		5	0	5.00	65	10.6					42.72	52.65	56.54	60.23	
		5	15	5.25	65	10.6					21.25	42.72	52.65	56.54	60.23
		5	30	5.50	64	10.6					42.72	52.65	56.54	60.23	
		5	45	5.75	64	10.6					24.15	42.72	52.65	56.54	60.23

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO															
TÍTULO DEL PROYECTO: "INVESTIGACIÓN DEL TIEMPO ÓPTIMO DE CURADO A VAPOR EN UN HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA PARA ELEMENTOS PREFABRICADOS EN PRODUCCIÓN MASIVA"															
FECHA	LINEA	TIEMPO CURADO			TEMPERATURA (°C)	HUMEDAD	RESISTENCIA EN CURADO A VAPOR Mpa	TIEMPO FRAGUADO DEL CONCRETO				RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (f'c)			
		HORA	MINUTO	NÚMERO				INICIO HORMIGONADO	FIN HORMIGONADO	INICIO CURADO	TIEMPO (HORAS)	7 DIAS	14 DIAS	21 DIAS	28 DIAS
02/05/2012	2	0	0	0.00	25	10.6	7:41:00	9:31:00	10:50	1:19	46.94	52.14	54.69	60.21	
		0	30	0.50	36						46.94	53.14	54.69	60.21	
		1	0	1.00	45						46.94	54.14	54.69	60.21	
		1	30	1.50	52						46.94	55.14	54.69	60.21	
		2	0	2.00	58						46.94	56.14	54.69	60.21	
		2	30	2.50	61						46.94	57.14	54.69	60.21	
		3	0	3.00	62						46.94	58.14	54.69	60.21	
		3	30	3.50	65						46.94	59.14	54.69	60.21	
		4	0	4.00	68						17.09	46.94	60.14	54.69	60.21
		4	30	4.50	67						18.18	46.94	61.14	54.69	60.21
		5	0	5.00	68						20.28	46.94	62.14	54.69	60.21
		5	30	5.50	68							46.94	63.14	54.69	60.21
		5	48	5.80	65						23.80	46.94	64.14	54.69	60.21
02/05/2012	3	0	0	0.00	22	10.6	9:54:00	11:30:00	12:30	1:00	42.51	55.63	58.21	60.78	
		0	30	0.50	32						42.51	55.63	58.21	60.78	
		1	0	1.00	40						42.51	55.63	58.21	60.78	
		1	30	1.50	52						42.51	55.63	58.21	60.78	
		2	0	2.00	68						42.51	55.63	58.21	60.78	
		2	30	2.50	67						42.51	55.63	58.21	60.78	
		3	0	3.00	68						42.51	55.63	58.21	60.78	
		3	30	3.50	67						42.51	55.63	58.21	60.78	
		4	0	4.00	68						42.51	55.63	58.21	60.78	
		4	10	4.17	68						15.54	42.51	55.63	58.21	60.78
		4	30	4.50	65						16.71	42.51	55.63	58.21	60.78
		5	0	5.00	65						20.03	42.51	55.63	58.21	60.78
		5	30	5.50	65						23.51	42.51	55.63	58.21	60.78

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO															
TÍTULO DEL PROYECTO: "INVESTIGACIÓN DEL TIEMPO ÓPTIMO DE CURADO A VAPOR EN UN HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA PARA ELEMENTOS PREFABRICADOS EN PRODUCCIÓN MASIVA"															
FECHA	LINEA	TIEMPO CURADO			TEMPERATURA (°C)	HUMEDAD FINAL PROM (%)	RESISTENCIA EN CURADO A VAPOR Mpa	TIEMPO FRAGUADO DEL CONCRETO				RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (f'c)			
		HORA	MINUTO	NÚMERO				INICIO HORMIGONADO	FIN HORMIGONADO	INICIO CURADO	TIEMPO (HORAS)	7 DIAS	14 DIAS	21 DIAS	28 DIAS
04/05/2012	2	0	0	0.00	25	10.7	10:43:00	12:58:00	13:50	0:52	49.51	55.87	58.59	59.65	
		0	30	0.50	33						49.51	55.87	58.59	59.65	
		1	0	1.00	42						49.51	55.87	58.59	59.65	
		1	30	1.50	55						49.51	55.87	58.59	59.65	
		2	0	2.00	61						49.51	55.87	58.59	59.65	
		2	30	2.50	65						49.51	55.87	58.59	59.65	
		3	0	3.00	66						49.51	55.87	58.59	59.65	
		3	30	3.50	68						49.51	55.87	58.59	59.65	
		4	0	4.00	69						18.01	49.51	55.87	58.59	59.65
		4	30	4.50	69						19.25	49.51	55.87	58.59	59.65
		5	0	5.00	69						20.46	49.51	55.87	58.59	59.65
		5	30	5.50	69						22.58	49.51	55.87	58.59	59.65
		6	0	6.00	69						23.78	49.51	55.87	58.59	59.65
07/05/2012	2	0	0	0.00	28	10.6	7:35:00	9:18:00	10:45	1:27	39.96	43.25	50.32	55.24	
		0	30	0.50	35						39.96	43.25	50.32	55.24	
		1	0	1.00	45						39.96	43.25	50.32	55.24	
		1	30	1.50	55						39.96	43.25	50.32	55.24	
		2	0	2.00	60						39.96	43.25	50.32	55.24	
		2	30	2.50	65						39.96	43.25	50.32	55.24	
		3	0	3.00	65						39.96	43.25	50.32	55.24	
		3	30	3.50	65						39.96	43.25	50.32	55.24	
		4	0	4.00	65						14.24	39.96	43.25	50.32	55.24
		4	30	4.50	63						18.27	39.96	43.25	50.32	55.24
		5	0	5.00	63						20.25	39.96	43.25	50.32	55.24
		5	30	5.50	65						24.01	39.96	43.25	50.32	55.24

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO															
TÍTULO DEL PROYECTO: "INVESTIGACIÓN DEL TIEMPO ÓPTIMO DE CURADO A VAPOR EN UN HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA PARA ELEMENTOS PREFABRICADOS EN PRODUCCIÓN MASIVA"															
FECHA	LINEA	TIEMPO CURADO			TEMPERATURA (°C)	HUMEDAD FINAL PROM (%)	RESISTENCIA EN CURADO A VAPOR Mpa	TIEMPO FRAGUADO DEL CONCRETO				RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (f'c)			
		HORA	MINUTO	NÚMERO				INICIO HORMIGONADO	FIN HORMIGONADO	INICIO CURADO	TIEMPO (HORAS)	7 DIAS	14 DIAS	21 DIAS	28 DIAS
07/05/2012	3	0	0	0.00	29	10.7	9:45:00	10:59:00	12:40	1:41	41.25	44.40	52.56	59.04	
		0	30	0.50	34						41.25	44.40	52.56	59.04	
		1	0	1.00	45						41.25	44.40	52.56	59.04	
		1	30	1.50	60						41.25	44.40	52.56	59.04	
		2	0	2.00	60						41.25	44.40	52.56	59.04	
		2	30	2.50	65						41.25	44.40	52.56	59.04	
		3	0	3.00	66						41.25	44.40	52.56	59.04	
		3	30	3.50	65						41.25	44.40	52.56	59.04	
		4	0	4.00	65						16.25	41.25	44.40	52.56	59.04
		4	30	4.50	66						17.58	41.25	44.40	52.56	59.04
		5	0	5.00	65						19.24	41.25	44.40	52.56	59.04
		5	30	5.50	64						19.57	41.25	44.40	52.56	59.04
		6	0	6.00	64						20.21	41.25	44.40	52.56	59.04
		6	30	6.50	64						23.35	41.25	44.40	52.56	59.04
08/05/2012	2	0	0	0.00	28	10.7	8:10:00	9:27:00	10:30	1:03	45.21	45.28	48.52	58.94	
		0	30	0.50	35						45.21	45.28	48.52	58.94	
		1	0	1.00	45						45.21	45.28	48.52	58.94	
		1	30	1.50	55						45.21	45.28	48.52	58.94	
		2	0	2.00	60						45.21	45.28	48.52	58.94	
		2	30	2.50	62						45.21	45.28	48.52	58.94	
		3	0	3.00	65						45.21	45.28	48.52	58.94	
		3	30	3.50	69						45.21	45.28	48.52	58.94	
		4	0	4.00	69						18.25	45.21	45.28	48.52	58.94
		4	30	4.50	69						22.57	45.21	45.28	48.52	58.94
		4	40	4.67	67						22.65	45.21	45.28	48.52	58.94
		5	0	5.00	65						45.21	45.28	48.52	58.94	
		5	15	5.25	66						45.21	45.28	48.52	58.94	
		5	30	5.50	66						45.21	45.28	48.52	58.94	
		6	0	6.00	67	25.26	45.21	45.28	48.52	58.94					

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO															
TÍTULO DEL PROYECTO: "INVESTIGACIÓN DEL TIEMPO ÓPTIMO DE CURADO A VAPOR EN UN HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA PARA ELEMENTOS PREFABRICADOS EN PRODUCCIÓN MASIVA"															
FECHA	LINEA	TIEMPO CURADO			TEMPERATURA	HUMEDAD	RESISTENCIA EN CURADO A VAPOR	TIEMPO FRAGUADO DEL CONCRETO				RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (f'c)			
		HORA	MINUTO	NÚMERO	(°C)	FINAL PROM (%)	Mpa	INICIO HORMIGONADO	FIN HORMIGONADO	INICIO CURADO	TIEMPO (HORAS)	7 DIAS	14 DIAS	21 DIAS	28 DIAS
09/05/2012	3	0	0	0.00	28	10.6		6:51:00	8:42:00	9:55	1:13	46.21	47.66	50.58	58.94
		0	30	0.50	35							46.21	47.66	50.58	58.94
		1	0	1.00	45							46.21	47.66	50.58	58.94
		1	30	1.50	55							46.21	47.66	50.58	58.94
		2	0	2.00	63							46.21	47.66	50.58	58.94
		2	30	2.50	65							46.21	47.66	50.58	58.94
		3	0	3.00	66							46.21	47.66	50.58	58.94
		3	30	3.50	67							46.21	47.66	50.58	58.94
		4	0	4.00	68							46.21	47.66	50.58	58.94
		4	15	4.25	67		21.07					46.21	47.66	50.58	58.94
		4	30	4.50	66							46.21	47.66	50.58	58.94
		4	45	4.75	67		22.71					46.21	47.66	50.58	58.94
		5	0	5.00	67							46.21	47.66	50.58	58.94
		5	30	5.50	65		23.58					46.21	47.66	50.58	58.94
		5	50	5.83	65		25.00					46.21	47.66	50.58	58.94
10/05/2012	2	0	0	0.00	28		10.6						7:05:00	8:51:00	10:10
		0	30	0.50	35			39.62	48.21	50.21	59.10				
		1	0	1.00	45			39.62	48.21	50.21	59.10				
		1	30	1.50	52			39.62	48.21	50.21	59.10				
		2	0	2.00	58			39.62	48.21	50.21	59.10				
		2	30	2.50	62			39.62	48.21	50.21	59.10				
		3	0	3.00	62			39.62	48.21	50.21	59.10				
		3	30	3.50	62			39.62	48.21	50.21	59.10				
		4	0	4.00	62	15.65		39.62	48.21	50.21	59.10				
		4	30	4.50	65	20.19		39.62	48.21	50.21	59.10				
		5	0	5.00	65	22.55		39.62	48.21	50.21	59.10				
		5	20	5.33	65	25.32		39.62	48.21	50.21	59.10				

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO															
TÍTULO DEL PROYECTO: "INVESTIGACIÓN DEL TIEMPO ÓPTIMO DE CURADO A VAPOR EN UN HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA PARA ELEMENTOS PREFABRICADOS EN PRODUCCIÓN MASIVA"															
FECHA	LINEA	TIEMPO CURADO			TEMPERATURA (°C)	HUMEDAD FINAL PROM (%)	RESISTENCIA EN CURADO A VAPOR Mpa	TIEMPO FRAGUADO DEL CONCRETO				RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (f'c)			
		HORA	MINUTO	NÚMERO				INICIO HORMIGONADO	FIN HORMIGONADO	INICIO CURADO	TIEMPO (HORAS)	7 DIAS	14 DIAS	21 DIAS	28 DIAS
11/05/2012	3	0	0	0.00	29	10.7		7:30:00	8:50:00	10:10	1:20	47.84	53.62	54.24	57.82
		0	30	0.50	35		47.84					53.62	54.24	57.82	
		1	0	1.00	44		47.84					53.62	54.24	57.82	
		1	30	1.50	58		47.84					53.62	54.24	57.82	
		2	0	2.00	60		47.84					53.62	54.24	57.82	
		2	30	2.50	62		47.84					53.62	54.24	57.82	
		3	0	3.00	63		47.84					53.62	54.24	57.82	
		3	30	3.50	65		47.84					53.62	54.24	57.82	
		4	0	4.00	64		11.58					47.84	53.62	54.24	57.82
		4	30	4.50	65		16.54					47.84	53.62	54.24	57.82
		5	0	5.00	64		19.15					47.84	53.62	54.24	57.82
		5	30	5.50	65		21.21					47.84	53.62	54.24	57.82
		6	0	6.00	63		22.35					47.84	53.62	54.24	57.82
		6	30	6.50	64		23.85					47.84	53.62	54.24	57.82
14/05/2012	2	0	0	0.00	20	10.7		7:42:00	8:58:00	10:30	1:32	50.16	55.32	56.21	58.45
		0	30	0.50	30		50.16					55.32	56.21	58.45	
		1	0	1.00	41		50.16					55.32	56.21	58.45	
		1	30	1.50	51		50.16					55.32	56.21	58.45	
		2	0	2.00	63		50.16					55.32	56.21	58.45	
		2	30	2.50	64		50.16					55.32	56.21	58.45	
		3	0	3.00	64		50.16					55.32	56.21	58.45	
		3	30	3.50	64		50.16					55.32	56.21	58.45	
		4	0	4.00	65		19.05					50.16	55.32	56.21	58.45
		4	30	4.50	65		21.24					50.16	55.32	56.21	58.45
		5	0	5.00	65		50.16					55.32	56.21	58.45	
		5	30	5.50	65		50.16					55.32	56.21	58.45	
		6	0	6.00	65		21.80					50.16	55.32	56.21	58.45
		6	30	6.50	65		25.01					50.16	55.32	56.21	58.45

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO															
TÍTULO DEL PROYECTO: "INVESTIGACIÓN DEL TIEMPO ÓPTIMO DE CURADO A VAPOR EN UN HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA PARA ELEMENTOS PREFABRICADOS EN PRODUCCIÓN MASIVA"															
FECHA	LINEA	TIEMPO CURADO			TEMPERATURA (°C)	HUMEDAD FINAL PROM (%)	RESISTENCIA EN CURADO A VAPOR Mpa	TIEMPO FRAGUADO DEL CONCRETO				RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (f'c)			
		HORA	MINUTO	NÚMERO				INICIO HORMIGONADO	FIN HORMIGONADO	INICIO CURADO	TIEMPO (HORAS)	7 DIAS	14 DIAS	21 DIAS	28 DIAS
23/05/2012	2	0	0	0.00	27	10.6	6:40:00	8:13:00	9:45	1:32	44.45	49.21	51.19	51.19	
		0	30	0.50	36						44.45	50.21	51.19	51.19	
		1	0	1.00	46						44.45	51.21	51.19	51.19	
		1	30	1.50	52						44.45	52.21	51.19	51.19	
		2	0	2.00	62						44.45	53.21	51.19	51.19	
		2	30	2.50	65						44.45	54.21	51.19	51.19	
		3	0	3.00	65						44.45	55.21	51.19	51.19	
		3	30	3.50	64						44.45	56.21	51.19	51.19	
		4	0	4.00	64						44.45	57.21	51.19	51.19	
		4	30	4.50	65						19.25	44.45	58.21	51.19	51.19
		5	0	5.00	63						44.45	59.21	51.19	51.19	
		5	15	5.25	64						24.35	44.45	60.21	51.19	51.19
24/05/2012	3	0	0	0.00	28						10.8	6:40:00	8:35:00	10:00	1:25
		0	30	0.50	35	49.49	51.23	62.98	63.59						
		1	0	1.00	45	49.49	51.23	62.98	63.59						
		1	30	1.50	55	49.49	51.23	62.98	63.59						
		2	0	2.00	61	49.49	51.23	62.98	63.59						
		2	30	2.50	63	49.49	51.23	62.98	63.59						
		3	0	3.00	65	49.49	51.23	62.98	63.59						
		3	30	3.50	67	49.49	51.23	62.98	63.59						
		4	0	4.00	68	12.39	49.49	51.23	62.98	63.59					
		4	30	4.50	65	49.49	51.23	62.98	63.59						
		5	0	5.00	66	16.61	49.49	51.23	62.98	63.59					
		5	30	5.50	67	49.49	51.23	62.98	63.59						
		6	0	6.00	66	21.24	49.49	51.23	62.98	63.59					
		6	30	6.50	64	49.49	51.23	62.98	63.59						
		7	0	7.00	65	23.31	49.49	51.23	62.98	63.59					
		7	20	7.33	64	24.11	49.49	51.23	62.98	63.59					

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO															
TÍTULO DEL PROYECTO: "INVESTIGACIÓN DEL TIEMPO ÓPTIMO DE CURADO A VAPOR EN UN HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA PARA ELEMENTOS PREFABRICADOS EN PRODUCCIÓN MASIVA"															
FECHA	LINEA	TIEMPO CURADO			TEMPERATURA (°C)	HUMEDAD FINAL PROM (%)	RESISTENCIA EN CURADO A VAPOR Mpa	TIEMPO FRAGUADO DEL CONCRETO				RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (f'c)			
		HORA	MINUTO	NÚMERO				INICIO HORMIGONADO	FIN HORMIGONADO	INICIO CURADO	TIEMPO (HORAS)	7 DIAS	14 DIAS	21 DIAS	28 DIAS
28/05/2012	2	0	0	0.00	21	10.7		7:16:00	9:11:00	10:20	1:09	49.01	51.04	53.01	55.20
		0	30	0.50	28		49.01					51.04	53.01	55.20	
		1	0	1.00	42		49.01					51.04	53.01	55.20	
		1	30	1.50	52		49.01					51.04	53.01	55.20	
		2	0	2.00	60		49.01					51.04	53.01	55.20	
		2	30	2.50	63		49.01					51.04	53.01	55.20	
		3	0	3.00	63		49.01					51.04	53.01	55.20	
		3	30	3.50	63		49.01					51.04	53.01	55.20	
		4	0	4.00	63		14.84					49.01	51.04	53.01	55.20
		4	30	4.50	63		17.81					49.01	51.04	53.01	55.20
		5	0	5.00	66		21.24					49.01	51.04	53.01	55.20
		5	30	5.50	66		25.37					49.01	51.04	53.01	55.20
		6	0	6.00	67							49.01	51.04	53.01	55.20
		6	30	6.50	68							49.01	51.04	53.01	55.20
29/05/2012	3	0	0	0.00	21	10.8		7:20:00	9:04:00	10:35	1:31	44.97	49.86	50.56	51.83
		0	30	0.50	28		44.97					49.86	50.56	51.83	
		1	0	1.00	37		44.97					49.86	50.56	51.83	
		1	30	1.50	49		44.97					49.86	50.56	51.83	
		2	0	2.00	60		44.97					49.86	50.56	51.83	
		2	30	2.50	65		44.97					49.86	50.56	51.83	
		3	0	3.00	66		44.97					49.86	50.56	51.83	
		3	30	3.50	66		44.97					49.86	50.56	51.83	
		4	0	4.00	68		9.79					44.97	49.86	50.56	51.83
		4	30	4.50	68		14.62					44.97	49.86	50.56	51.83
		5	0	5.00	67		19.46					44.97	49.86	50.56	51.83
		5	30	5.50	68		24.33					44.97	49.86	50.56	51.83
		6	0	6.00	69							44.97	49.86	50.56	51.83
		6	30	6.50	68							44.97	49.86	50.56	51.83
		6	50	6.83	69		44.97	49.86	50.56	51.83					

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO															
TÍTULO DEL PROYECTO: "INVESTIGACIÓN DEL TIEMPO ÓPTIMO DE CURADO A VAPOR EN UN HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA PARA ELEMENTOS PREFABRICADOS EN PRODUCCIÓN MASIVA"															
FECHA	LINEA	TIEMPO CURADO			TEMPERATURA	HUMEDAD	RESISTENCIA EN CURADO A VAPOR	TIEMPO FRAGUADO DEL CONCRETO				RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (f'c)			
		HORA	MINUTO	NÚMERO	(°C)	FINAL PROM (%)	Mpa	INICIO HORMIGONADO	FIN HORMIGONADO	INICIO CURADO	TIEMPO (HORAS)	7 DIAS	14 DIAS	21 DIAS	28 DIAS
30/05/2012	2	0	0	0.00	20	10.8		6:25:00	8:08:00	9:45	1:37	45.01	45.06	49.76	50.38
		0	30	0.50	35	10.8	45.01					45.06	49.76	50.38	
		1	0	1.00	42	10.8	45.01					45.06	49.76	50.38	
		1	30	1.50	54	10.8	45.01					45.06	49.76	50.38	
		2	0	2.00	60	10.8	45.01					45.06	49.76	50.38	
		2	30	2.50	60	10.8	45.01					45.06	49.76	50.38	
		3	0	3.00	62	10.8	45.01					45.06	49.76	50.38	
		3	30	3.50	63	10.8	45.01					45.06	49.76	50.38	
		4	0	4.00	64	10.8	12.88					45.01	45.06	49.76	50.38
		4	30	4.50	64	10.8	45.01					45.06	49.76	50.38	
		5	0	5.00	65	10.8	16.95					45.01	45.06	49.76	50.38
		5	30	5.50	65	10.8	45.01					45.06	49.76	50.38	
		5	45	5.75	65	10.8	18.60					45.01	45.06	49.76	50.38
		6	0	6.00	65	10.8	45.01					45.06	49.76	50.38	
6	30	6.50	65	10.8	45.01	45.06	49.76	50.38							
6	45	6.75	65	10.8	24.86	45.01	45.06	49.76	50.38						
31/05/2012	3	0	0	0.00	23	10.8		6:28:00	8:22:00	9:45	1:23	51.71	53.56	52.61	56.59
		0	30	0.50	30	10.8	51.71					53.56	52.61	56.59	
		1	0	1.00	41	10.8	51.71					53.56	52.61	56.59	
		1	30	1.50	52	10.8	51.71					53.56	52.61	56.59	
		2	0	2.00	64	10.8	51.71					53.56	52.61	56.59	
		2	30	2.50	65	10.8	51.71					53.56	52.61	56.59	
		3	0	3.00	65	10.8	51.71					53.56	52.61	56.59	
		3	30	3.50	65	10.8	51.71					53.56	52.61	56.59	
		4	0	4.00	65	10.8	11.60					51.71	53.56	52.61	56.59
		4	30	4.50	65	10.8	51.71					53.56	52.61	56.59	
		5	0	5.00	65	10.8	14.53					51.71	53.56	52.61	56.59
		5	30	5.50	65	10.8	51.71					53.56	52.61	56.59	
		6	0	6.00	65	10.8	19.62					51.71	53.56	52.61	56.59
		6	30	6.50	65	10.8	51.71					53.56	52.61	56.59	
7	0	7.00	65	10.8	26.39	51.71	53.56	52.61	56.59						

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO															
TÍTULO DEL PROYECTO: "INVESTIGACIÓN DEL TIEMPO ÓPTIMO DE CURADO A VAPOR EN UN HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA PARA ELEMENTOS PREFABRICADOS EN PRODUCCIÓN MASIVA"															
FECHA	LINEA	TIEMPO CURADO			TEMPERATURA °C	HUMEDAD FINAL PROM (%)	RESISTENCIA Mpa	TIEMPO FRAGUADO				RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (f'c)			
		HORA	MINUTO	NÚMERO				INICIO HORMIGONADO	FIN HORMIGONADO	INICIO CURADO	TIEMPO (HORAS)	7 DIAS	14 DIAS	21 DIAS	28 DIAS
01/06/2012	2	0	0	0.00	22	10.8		6:30:00	8:07:00	9:30	1:23	39.93	45.08	49.21	58.62
		0	30	0.50	31		39.93					45.08	49.21	58.62	
		1	0	1.00	43		39.93					45.08	49.21	58.62	
		1	30	1.50	54		39.93					45.08	49.21	58.62	
		2	0	2.00	61		39.93					45.08	49.21	58.62	
		2	30	2.50	66		39.93					45.08	49.21	58.62	
		3	0	3.00	68		39.93					45.08	49.21	58.62	
		3	30	3.50	68		39.93					45.08	49.21	58.62	
		4	0	4.00	62		11.01					39.93	45.08	49.21	58.62
		4	30	4.50	62		39.93					45.08	49.21	58.62	
		5	0	5.00	64		15.38					39.93	45.08	49.21	58.62
		5	30	5.50	65		39.93					45.08	49.21	58.62	
		6	0	6.00	66		18.91					39.93	45.08	49.21	58.62
		6	30	6.50	66		19.11					39.93	45.08	49.21	58.62
		7	0	7.00	67		22.95					39.93	45.08	49.21	58.62
7	30	7.50	68	23.89	39.93	45.08	49.21	58.62							
04/06/2012	3	0	0	0.00	29	10.6		7:37:00	9:21:00	11:45	2:24	49.72	52.01	54.01	57.56
		0	30	0.50	39		49.72					52.01	54.01	57.56	
		1	0	1.00	50		49.72					52.01	54.01	57.56	
		1	30	1.50	60		49.72					52.01	54.01	57.56	
		2	0	2.00	65		49.72					52.01	54.01	57.56	
		2	30	2.50	65		49.72					52.01	54.01	57.56	
		3	0	3.00	65		49.72					52.01	54.01	57.56	
		3	30	3.50	67		49.72					52.01	54.01	57.56	
		4	0	4.00	67		17.98					49.72	52.01	54.01	57.56
		4	30	4.50	68		49.72					52.01	54.01	57.56	
		4	45	4.75	68		19.57					49.72	52.01	54.01	57.56
		5	0	5.00	68		49.72					52.01	54.01	57.56	
		5	30	5.50	68		49.72					52.01	54.01	57.56	
		5	35	5.58	68		24.81					49.72	52.01	54.01	57.56

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO															
TÍTULO DEL PROYECTO: "INVESTIGACIÓN DEL TIEMPO ÓPTIMO DE CURADO A VAPOR EN UN HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA PARA ELEMENTOS PREFABRICADOS EN PRODUCCIÓN MASIVA"															
FECHA	LINEA	TIEMPO CURADO			TEMPERATURA	HUMEDAD	RESISTENCIA	TIEMPO FRAGUADO				RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (f'c)			
		HORA	MINUTO	NÚMERO	°C	FINAL PROM (%)	Mpa	INICIO HORMIGONADO	FIN HORMIGONADO	INICIO CURADO	TIEMPO (HORAS)	7 DIAS	14 DIAS	21 DIAS	28 DIAS
05/06/2012	2	0	0	0.00	29	10.7		6:26:00	8:05:00	10:00	1:55	40.85	45.73	46.49	50.23
		0	30	0.50	38							40.85	45.73	46.49	50.23
		1	0	1.00	50							40.85	45.73	46.49	50.23
		1	30	1.50	59							40.85	45.73	46.49	50.23
		2	0	2.00	63							40.85	45.73	46.49	50.23
		2	30	2.50	65							40.85	45.73	46.49	50.23
		3	0	3.00	66							40.85	45.73	46.49	50.23
		3	30	3.50	66							40.85	45.73	46.49	50.23
		4	0	4.00	68							16.08	45.73	46.49	50.23
		4	30	4.50	67							18.02	45.73	46.49	50.23
		5	0	5.00	68							19.64	45.73	46.49	50.23
		5	30	5.50	68							40.85	45.73	46.49	50.23
		5	45	5.75	68							22.22	45.73	46.49	50.23
		6	0	6.00	68							23.02	45.73	46.49	50.23
		6	30	6.50	68							23.97	45.73	46.49	50.23
26/06/2012	2	0	0	0.00	22		10.6						9:38:00	11:45:00	12:30
		0	30	0.50	32			40.85	45.73	46.49	50.23				
		1	0	1.00	45			40.85	45.73	46.49	50.23				
		1	30	1.50	54			40.85	45.73	46.49	50.23				
		2	0	2.00	62			40.85	45.73	46.49	50.23				
		2	30	2.50	63			40.85	45.73	46.49	50.23				
		3	0	3.00	62			40.85	45.73	46.49	50.23				
		3	30	3.50	62			40.85	45.73	46.49	50.23				
		4	0	4.00	62			18.18	45.73	46.49	50.23				
		4	30	4.50	62			19.56	45.73	46.49	50.23				
		5	0	5.00	62			22.80	45.73	46.49	50.23				
		5	25	5.42	63			24.32	45.73	46.49	50.23				

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO																				
TÍTULO DEL PROYECTO: "INVESTIGACIÓN DEL TIEMPO ÓPTIMO DE CURADO A VAPOR EN UN HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA PARA ELEMENTOS PREFABRICADOS EN PRODUCCIÓN MASIVA"																				
FECHA	LINEA	TIEMPO CURADO			TEMPERATURA	HUMEDAD	RESISTENCIA	TIEMPO FRAGUADO				RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (f'c)								
		HORA	MINUTO	NÚMERO	°C	FINAL PROM (%)	Mpa	INICIO HORMIGONADO	FIN HORMIGONADO	INICIO CURADO	TIEMPO (HORAS)	7 DIAS	14 DIAS	21 DIAS	28 DIAS					
26/06/2012	3	0	0	0.00	28	10.6		12:09:00	13:52:00	14:45	0:53	52.80	56.91	56.91	58.80					
		0	30	0.50	35												52.80	56.91	56.91	58.80
		1	0	1.00	47												52.80	56.91	56.91	58.80
		1	30	1.50	49												52.80	56.91	56.91	58.80
		2	0	2.00	60												52.80	56.91	56.91	58.80
		2	30	2.50	61												52.80	56.91	56.91	58.80
		3	0	3.00	61												52.80	56.91	56.91	58.80
		3	30	3.50	63												52.80	56.91	56.91	58.80
		4	0	4.00	65												52.80	56.91	56.91	58.80
		4	15	4.25	67							14.87					52.80	56.91	56.91	58.80
		4	30	4.50	67												52.80	56.91	56.91	58.80
		4	45	4.75	67							19.68					52.80	56.91	56.91	58.80
		5	0	5.00	68												52.80	56.91	56.91	58.80
		5	15	5.25	68							20.18					52.80	56.91	56.91	58.80
		5	30	5.50	68												52.80	56.91	56.91	58.80
		5	50	5.83	68		24.38					52.80	56.91	56.91	58.80					
27/06/2012	2	0	0	0.00	21	10.6		6:40:00	8:56:00	10:00	1:04	45.895	49.26	49.32	51.245					
		0	30	0.50	30												45.895	49.26	49.32	51.245
		1	0	1.00	43												45.895	49.26	49.32	51.245
		1	30	1.50	52												45.895	49.26	49.32	51.245
		2	0	2.00	62												45.895	49.26	49.32	51.245
		2	30	2.50	63												45.895	49.26	49.32	51.245
		3	0	3.00	63												45.895	49.26	49.32	51.245
		3	30	3.50	63												45.895	49.26	49.32	51.245
		4	0	4.00	63							17.09					45.895	49.26	49.32	51.245
		4	30	4.50	65							22.18					45.895	49.26	49.32	51.245
		5	0	5.00	66												45.895	49.26	49.32	51.245
		5	10	5.17	66							22.52					45.895	49.26	49.32	51.245
		5	20	5.33	65							23.20					45.895	49.26	49.32	51.245
		5	30	5.50	65							24.04					45.895	49.26	49.32	51.245

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO															
TÍTULO DEL PROYECTO: "INVESTIGACIÓN DEL TIEMPO ÓPTIMO DE CURADO A VAPOR EN UN HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA PARA ELEMENTOS PREFABRICADOS EN PRODUCCIÓN MASIVA"															
FECHA	LINEA	TIEMPO CURADO			TEMPERATURA °C	HUMEDAD FINAL PROM (%)	RESISTENCIA Mpa	TIEMPO FRAGUADO				RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (f'c)			
		HORA	MINUTO	NÚMERO				INICIO HORMIGONADO	FIN HORMIGONADO	INICIO CURADO	TIEMPO (HORAS)	7 DIAS	14 DIAS	21 DIAS	28 DIAS
27/06/2012	3	0	0	0.00	23	10.8	10:12:00	12:12:00	12:55	0:43	41.615	50.15	50.26	58.535	
		0	30	0.50	23						41.615	50.15	50.26	58.535	
		1	0	1.00	32						41.615	50.15	50.26	58.535	
		1	30	1.50	34						41.615	50.15	50.26	58.535	
		2	0	2.00	42						41.615	50.15	50.26	58.535	
		2	30	2.50	61						41.615	50.15	50.26	58.535	
		3	0	3.00	63						41.615	50.15	50.26	58.535	
		3	30	3.50	65						41.615	50.15	50.26	58.535	
		4	0	4.00	65						13.57	41.615	50.15	50.26	58.535
		4	30	4.50	65						15.95	41.615	50.15	50.26	58.535
		5	0	5.00	63						41.615	50.15	50.26	58.535	
		5	30	5.50	62						16.44	41.615	50.15	50.26	58.535
		6	0	6.00	63						41.615	50.15	50.26	58.535	
		6	15	6.25	65						20.48	41.615	50.15	50.26	58.535
		6	30	6.50	65						41.615	50.15	50.26	58.535	
		7	0	7.00	66						24.35	41.615	50.15	50.26	58.535
28/06/2012	3	0	0	0.00	21						10.6	9:26:00	11:31:00	12:35	1:04
		0	30	0.50	32	58.485	57.73	47.73	58.33						
		1	0	1.00	48	58.485	57.73	47.73	58.33						
		1	30	1.50	55	58.485	57.73	47.73	58.33						
		2	0	2.00	61	58.485	57.73	47.73	58.33						
		2	30	2.50	64	58.485	57.73	47.73	58.33						
		3	0	3.00	65	58.485	57.73	47.73	58.33						
		3	30	3.50	65	58.485	57.73	47.73	58.33						
		4	0	4.00	65	14.42	58.485	57.73	47.73	58.33					
		4	30	4.50	65	17.32	58.485	57.73	47.73	58.33					
		5	0	5.00	67	18.32	58.485	57.73	47.73	58.33					
		5	15	5.25	67	20.71	58.485	57.73	47.73	58.33					
		5	30	5.50	68	58.485	57.73	47.73	58.33						
		5	35	5.58	68	26.12	58.485	57.73	47.73	58.33					

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO																
TÍTULO DEL PROYECTO: "INVESTIGACIÓN DEL TIEMPO ÓPTIMO DE CURADO A VAPOR EN UN HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA PARA ELEMENTOS PREFABRICADOS EN PRODUCCIÓN MASIVA"																
FECHA	LINEA	TIEMPO CURADO			TEMPERATURA °C	HUMEDAD FINAL PROM (%)	RESISTENCIA Mpa	TIEMPO FRAGUADO				RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (f'c)				
		HORA	MINUTO	NÚMERO				INICIO HORMIGONADO	FIN HORMIGONADO	INICIO CURADO	TIEMPO (HORAS)	7 DIAS	14 DIAS	21 DIAS	28 DIAS	
28/06/2012	2	0	0	0.00	22	10.6		7:14:00	8:58:00	10:45	1:47	48.805	56.58	61.06	55.26	
		0	30	0.50	24							48.805	56.58	61.06	55.26	
		1	0	1.00	42							48.805	56.58	61.06	55.26	
		1	30	1.50	43							48.805	56.58	61.06	55.26	
		2	0	2.00	60							48.805	56.58	61.06	55.26	
		2	30	2.50	62							48.805	56.58	61.06	55.26	
		3	0	3.00	63							48.805	56.58	61.06	55.26	
		3	30	3.50	63							48.805	56.58	61.06	55.26	
		4	0	4.00	63							17.13	48.805	56.58	61.06	55.26
		4	30	4.50	65							19.58	48.805	56.58	61.06	55.26
		5	0	5.00	66							22.57	48.805	56.58	61.06	55.26
		5	30	5.50	65							24.36	48.805	56.58	61.06	55.26
29/06/2012	3	0	0	0.00	22	10.8		8:53:00	10:57:00	11:40	0:43	49.945	50.001	50.006	55.735	
		0	30	0.50	24							49.945	50.001	50.006	55.735	
		1	0	1.00	28							49.945	50.001	50.006	55.735	
		1	30	1.50	43							49.945	50.001	50.006	55.735	
		2	0	2.00	60							49.945	50.001	50.006	55.735	
		2	30	2.50	61							49.945	50.001	50.006	55.735	
		3	0	3.00	62							49.945	50.001	50.006	55.735	
		3	30	3.50	64							49.945	50.001	50.006	55.735	
		4	0	4.00	65							10.32	49.945	50.001	50.006	55.735
		4	30	4.50	65								49.945	50.001	50.006	55.735
		5	0	5.00	65							12.30	49.945	50.001	50.006	55.735
		5	30	5.50	66							13.68	49.945	50.001	50.006	55.735
		6	0	6.00	67							16.03	49.945	50.001	50.006	55.735
		6	30	6.50	68								49.945	50.001	50.006	55.735
		6	45	6.75	67							23.04	49.945	50.001	50.006	55.735
		7	0	7.00	67		24.08	49.945	50.001	50.006	55.735					

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO															
TÍTULO DEL PROYECTO: "INVESTIGACIÓN DEL TIEMPO ÓPTIMO DE CURADO A VAPOR EN UN HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA PARA ELEMENTOS PREFABRICADOS EN PRODUCCIÓN MASIVA"															
FECHA	LINEA	TIEMPO CURADO			TEMPERATURA	HUMEDAD	RESISTENCIA	TIEMPO FRAGUADO				RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (f'c)			
		HORA	MINUTO	NÚMERO	°C	FINAL PROM (%)	Mpa	INICIO HORMIGONADO	FIN HORMIGONADO	INICIO CURADO	TIEMPO (HORAS)	7 DIAS	14 DIAS	21 DIAS	28 DIAS
29/06/2012	2	0	0	0.00	21	10.7		6:38:00	8:28:00	9:40	1:12	47.14	52.01	52.61	49.24
		0	30	0.50	25							47.14	52.01	52.61	49.24
		1	0	1.00	33							47.14	52.01	52.61	49.24
		1	30	1.50	52							47.14	52.01	52.61	49.24
		2	0	2.00	60							47.14	52.01	52.61	49.24
		2	30	2.50	60							47.14	52.01	52.61	49.24
		3	0	3.00	60							47.14	52.01	52.61	49.24
		3	30	3.50	61							47.14	52.01	52.61	49.24
		4	0	4.00	62							47.14	52.01	52.61	49.24
		4	30	4.50	62							47.14	52.01	52.61	49.24
		5	0	5.00	62							47.14	52.01	52.61	49.24
		5	30	5.50	63							47.14	52.01	52.61	49.24
		5	45	5.75	65							47.14	52.01	52.61	49.24
		6	0	6.00	65							47.14	52.01	52.61	49.24
		6	15	6.25	64							47.14	52.01	52.61	49.24
		6	30	6.50	64							47.14	52.01	52.61	49.24

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO																				
TÍTULO DEL PROYECTO: "INVESTIGACIÓN DEL TIEMPO ÓPTIMO DE CURADO A VAPOR EN UN HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA PARA ELEMENTOS PREFABRICADOS EN PRODUCCIÓN MASIVA"																				
FECHA	LINEA	TIEMPO CURADO			TEMPERATURA °C	HUMEDAD FINAL PROM (%)	RESISTENCIA Mpa	TIEMPO FRAGUADO				RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (f'c)								
		HORA	MINUTO	NÚMERO				INICIO HORMIGONADO	FIN HORMIGONADO	INICIO CURADO	TIEMPO (HORAS)	7 DIAS	14 DIAS	21 DIAS	28 DIAS					
02/07/2012	2	0	0	0.00	28	10.7		7:40:00	9:40:00	10:40	1:00	39.60	43.58	52.90	49.55					
		0	30	0.50	35												39.60	43.58	52.90	49.55
		1	0	1.00	45												39.60	43.58	52.90	49.55
		1	30	1.50	55												39.60	43.58	52.90	49.55
		2	0	2.00	61												39.60	43.58	52.90	49.55
		2	30	2.50	64												39.60	43.58	52.90	49.55
		3	0	3.00	65												39.60	43.58	52.90	49.55
		3	30	3.50	65												39.60	43.58	52.90	49.55
		4	0	4.00	66												39.60	43.58	52.90	49.55
		4	30	4.50	65												39.60	43.58	52.90	49.55
		5	0	5.00	65												39.60	43.58	52.90	49.55
		5	30	5.50	66												39.60	43.58	52.90	49.55
		6	0	6.00	67												39.60	43.58	52.90	49.55
		6	30	6.50	67												39.60	43.58	52.90	49.55
02/07/2012	3	0	0	0.00	28	10.6		10:16:00	12:24:00	13:10	0:46	50.17	55.56	51.53	61.18					
		0	30	0.50	31												50.17	55.56	51.53	61.18
		1	0	1.00	48												50.17	55.56	51.53	61.18
		1	30	1.50	50												50.17	55.56	51.53	61.18
		2	0	2.00	52												50.17	55.56	51.53	61.18
		2	30	2.50	60												50.17	55.56	51.53	61.18
		3	0	3.00	63												50.17	55.56	51.53	61.18
		3	30	3.50	65												50.17	55.56	51.53	61.18
		4	0	4.00	65												50.17	55.56	51.53	61.18
		4	30	4.50	66												50.17	55.56	51.53	61.18
		5	0	5.00	66												50.17	55.56	51.53	61.18
		5	30	5.50	65												50.17	55.56	51.53	61.18

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO																
TÍTULO DEL PROYECTO: "INVESTIGACIÓN DEL TIEMPO ÓPTIMO DE CURADO A VAPOR EN UN HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA PARA ELEMENTOS PREFABRICADOS EN PRODUCCIÓN MASIVA"																
FECHA	LINEA	TIEMPO CURADO			TEMPERATURA	HUMEDAD	RESISTENCIA	TIEMPO FRAGUADO				RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (f'c)				
		HORA	MINUTO	NÚMERO	°C	FINAL PROM (%)	Mpa	INICIO HORMIGONADO	FIN HORMIGONADO	INICIO CURADO	TIEMPO (HORAS)	7 DIAS	14 DIAS	21 DIAS	28 DIAS	
04/07/2012	2	0	0	0.00	25	10.6		6:50:00	9:14:00	10:10	0:56	55.20	50.31	55.31	60.30	
		0	30	0.50	35							55.20	50.31	55.31	60.30	
		1	0	1.00	45							55.20	50.31	55.31	60.30	
		1	30	1.50	55							55.20	50.31	55.31	60.30	
		2	0	2.00	60							55.20	50.31	55.31	60.30	
		2	30	2.50	60							55.20	50.31	55.31	60.30	
		3	0	3.00	61							55.20	50.31	55.31	60.30	
		3	30	3.50	61							55.20	50.31	55.31	60.30	
		4	0	4.00	61							13.22	55.20	50.31	55.31	60.30
		4	30	4.50	63							55.20	50.31	55.31	60.30	
		5	0	5.00	64							19.44	55.20	50.31	55.31	60.30
		5	30	5.50	65							23.01	55.20	50.31	55.31	60.30
		5	50	5.83	66							24.54	55.20	50.31	55.31	60.30
05/07/2012	3	0	0	0.00	29							10.6		7:00:00	9:20:00	10:10
		0	30	0.50	35	47.64	59.60	52.85	52.08							
		1	0	1.00	45	47.64	59.60	52.85	52.08							
		1	30	1.50	52	47.64	59.60	52.85	52.08							
		2	0	2.00	63	47.64	59.60	52.85	52.08							
		2	30	2.50	64	47.64	59.60	52.85	52.08							
		3	0	3.00	65	47.64	59.60	52.85	52.08							
		3	30	3.50	66	47.64	59.60	52.85	52.08							
		4	0	4.00	66	11.12	47.64	59.60	52.85	52.08						
		4	30	4.50	64	47.64	59.60	52.85	52.08							
		5	0	5.00	65	18.45	47.64	59.60	52.85	52.08						
		5	30	5.50	66	23.57	47.64	59.60	52.85	52.08						
		5	40	5.67	66	24.63	47.64	59.60	52.85	52.08						

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO																				
TÍTULO DEL PROYECTO: "INVESTIGACIÓN DEL TIEMPO ÓPTIMO DE CURADO A VAPOR EN UN HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA PARA ELEMENTOS PREFABRICADOS EN PRODUCCIÓN MASIVA"																				
FECHA	LINEA	TIEMPO CURADO			TEMPERATURA	HUMEDAD	RESISTENCIA	TIEMPO FRAGUADO				RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (f'c)								
		HORA	MINUTO	NÚMERO	°C	FINAL PROM (%)	Mpa	INICIO HORMIGONADO	FIN HORMIGONADO	INICIO CURADO	TIEMPO (HORAS)	7 DIAS	14 DIAS	21 DIAS	28 DIAS					
06/07/2012	2	0	0	0.00	29	10.6		6:55:00	9:00:00	10:00	1:00	48.01	50.26	69.21	51.33					
		0	30	0.50	35							48.01	50.26	69.21	51.33					
		1	0	1.00	45							48.01	50.26	69.21	51.33					
		1	30	1.50	55							48.01	50.26	69.21	51.33					
		2	0	2.00	61							48.01	50.26	69.21	51.33					
		2	30	2.50	62							48.01	50.26	69.21	51.33					
		3	0	3.00	62							48.01	50.26	69.21	51.33					
		3	30	3.50	62							48.01	50.26	69.21	51.33					
		4	0	4.00	61							17.54	48.01	50.26	69.21	51.33				
		4	30	4.50	65							23.53	48.01	50.26	69.21	51.33				
		5	0	5.00	66							24.26	48.01	50.26	69.21	51.33				
		5	15	5.25	68								48.01	50.26	69.21	51.33				
09/07/2012	3	0	0	0.00	21		10.6						7:23:00	9:00:00	10:30	1:30	46.00	45.81	56.95	59.38
		0	30	0.50	32												46.00	45.81	56.95	59.38
		1	0	1.00	42			46.00	45.81	56.95	59.38									
		1	30	1.50	62			46.00	45.81	56.95	59.38									
		2	0	2.00	62			46.00	45.81	56.95	59.38									
		2	30	2.50	64			46.00	45.81	56.95	59.38									
		3	0	3.00	65			46.00	45.81	56.95	59.38									
		3	30	3.50	65			46.00	45.81	56.95	59.38									
		4	0	4.00	67			13.45	46.00	45.81	56.95	59.38								
		4	30	4.50	66			16.45	46.00	45.81	56.95	59.38								
		5	0	5.00	67			19.53	46.00	45.81	56.95	59.38								
		5	30	5.50	67			21.05	46.00	45.81	56.95	59.38								
		6	0	6.00	67			24.60	46.00	45.81	56.95	59.38								

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO																					
TÍTULO DEL PROYECTO: "INVESTIGACIÓN DEL TIEMPO ÓPTIMO DE CURADO A VAPOR EN UN HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA PARA ELEMENTOS PREFABRICADOS EN PRODUCCIÓN MASIVA"																					
FECHA	LINEA	TIEMPO CURADO			TEMPERATURA	HUMEDAD	RESISTENCIA	TIEMPO FRAGUADO				RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (f'c)									
		HORA	MINUTO	NÚMERO	°C	FINAL PROM (%)	Mpa	INICIO HORMIGONADO	FIN HORMIGONADO	INICIO CURADO	TIEMPO (HORAS)	7 DIAS	14 DIAS	21 DIAS	28 DIAS						
11/07/2012	3	0	0	0.00	21	10.6		6:37:00	9:04:00	10:10	1:06	42.03	50.33	60.88	62.36						
		0	30	0.50	30							42.03	50.33	60.88	62.36						
		1	0	1.00	40							42.03	50.33	60.88	62.36						
		1	30	1.50	51							42.03	50.33	60.88	62.36						
		2	0	2.00	61							42.03	50.33	60.88	62.36						
		2	30	2.50	64							42.03	50.33	60.88	62.36						
		3	0	3.00	65							42.03	50.33	60.88	62.36						
		3	30	3.50	66							42.03	50.33	60.88	62.36						
		4	0	4.00	66							18.32	42.03	50.33	60.88	62.36					
		4	30	4.50	66							22.35	42.03	50.33	60.88	62.36					
		5	0	5.00	66							24.73	42.03	50.33	60.88	62.36					
12/07/2012	2	0	0	0.00	20							10.5		6:42:00	8:52:00	10:00	1:08	42.59	52.46	48.38	53.69
		0	30	0.50	31													42.59	52.46	48.38	53.69
		1	0	1.00	41	42.59	52.46	48.38	53.69												
		1	30	1.50	50	42.59	52.46	48.38	53.69												
		2	0	2.00	61	42.59	52.46	48.38	53.69												
		2	30	2.50	63	42.59	52.46	48.38	53.69												
		3	0	3.00	65	42.59	52.46	48.38	53.69												
		3	30	3.50	67	42.59	52.46	48.38	53.69												
		4	0	4.00	68	23.12	42.59	52.46	48.38	53.69											
		4	30	4.50	68	24.25	42.59	52.46	48.38	53.69											

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO																					
TÍTULO DEL PROYECTO: "INVESTIGACIÓN DEL TIEMPO ÓPTIMO DE CURADO A VAPOR EN UN HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA PARA ELEMENTOS PREFABRICADOS EN PRODUCCIÓN MASIVA"																					
FECHA	LINEA	TIEMPO CURADO			TEMPERATURA	HUMEDAD	RESISTENCIA	TIEMPO FRAGUADO				RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (f'c)									
		HORA	MINUTO	NÚMERO	°C	FINAL PROM (%)	Mpa	INICIO HORMIGONADO	FIN HORMIGONADO	INICIO CURADO	TIEMPO (HORAS)	7 DIAS	14 DIAS	21 DIAS	28 DIAS						
13/07/2012	2	0	0	0.00	25	10.6		6:41:00	8:45:00	10:00	1:15	58.95	53.02	55.90	63.36						
		0	30	0.50	35							58.95	53.02	55.90	63.36						
		1	0	1.00	45							58.95	53.02	55.90	63.36						
		1	30	1.50	56							58.95	53.02	55.90	63.36						
		2	0	2.00	61							58.95	53.02	55.90	63.36						
		2	30	2.50	62							58.95	53.02	55.90	63.36						
		3	0	3.00	63							58.95	53.02	55.90	63.36						
		3	30	3.50	64							58.95	53.02	55.90	63.36						
		4	0	4.00	65							20.29	58.95	53.02	55.90	63.36					
		4	30	4.50	66							21.57	58.95	53.02	55.90	63.36					
		5	0	5.00	68							26.14	58.95	53.02	55.90	63.36					
16/07/2012	3	0	0	0.00	27							10.6		7:30:00	10:27:00	11:10	0:43	49.65	53.00	62.87	69.00
		0	30	0.50	35													49.65	53.00	62.87	69.00
		1	0	1.00	45	49.65	53.00	62.87	69.00												
		1	30	1.50	55	49.65	53.00	62.87	69.00												
		2	0	2.00	61	49.65	53.00	62.87	69.00												
		2	30	2.50	60	49.65	53.00	62.87	69.00												
		3	0	3.00	61	49.65	53.00	62.87	69.00												
		3	30	3.50	60	49.65	53.00	62.87	69.00												
		4	0	4.00	61	19.52	49.65	53.00	62.87	69.00											
		4	30	4.50	61	22.74	49.65	53.00	62.87	69.00											
		4	50	4.83	62	24.38	49.65	53.00	62.87	69.00											

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO															
TÍTULO DEL PROYECTO: "INVESTIGACIÓN DEL TIEMPO ÓPTIMO DE CURADO A VAPOR EN UN HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA PARA ELEMENTOS PREFABRICADOS EN PRODUCCIÓN MASIVA"															
FECHA	LINEA	TIEMPO CURADO			TEMPERATURA °C	HUMEDAD FINAL PROM (%)	RESISTENCIA Mpa	TIEMPO FRAGUADO				RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (f'c)			
		HORA	MINUTO	NÚMERO				INICIO HORMIGONADO	FIN HORMIGONADO	INICIO CURADO	TIEMPO (HORAS)	7 DIAS	14 DIAS	21 DIAS	28 DIAS
17/07/2012	2	0	0	0.00	29	10.5	6:35:00	8:50:00	9:50	1:00	50.81	44.55	49.12	61.72	
		0	30	0.50	35						50.81	44.55	49.12	61.72	
		1	0	1.00	45						50.81	44.55	49.12	61.72	
		1	30	1.50	55						50.81	44.55	49.12	61.72	
		2	0	2.00	61						50.81	44.55	49.12	61.72	
		2	30	2.50	60						50.81	44.55	49.12	61.72	
		3	0	3.00	61						50.81	44.55	49.12	61.72	
		3	30	3.50	62						50.81	44.55	49.12	61.72	
		4	0	4.00	63						25.40	50.81	44.55	49.12	61.72
		4	30	4.50	63						26.70	50.81	44.55	49.12	61.72
18/07/2012	3	0	0	0.00	28	10.6	9:20:00	11:40:00	12:10	0:30	57.06	63.61	71.43	81.63	
		0	30	0.50	35						57.06	63.61	71.43	81.63	
		1	0	1.00	45						57.06	63.61	71.43	81.63	
		1	30	1.50	55						57.06	63.61	71.43	81.63	
		2	0	2.00	60						57.06	63.61	71.43	81.63	
		2	30	2.50	61						57.06	63.61	71.43	81.63	
		3	0	3.00	62						57.06	63.61	71.43	81.63	
		3	30	3.50	61						57.06	63.61	71.43	81.63	
		4	0	4.00	62						18.20	57.06	63.61	71.43	81.63
		4	30	4.50	61						23.09	57.06	63.61	71.43	81.63
		4	50	4.83	63	24.59	57.06	63.61	71.43	81.63					

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO																				
TÍTULO DEL PROYECTO: "INVESTIGACIÓN DEL TIEMPO ÓPTIMO DE CURADO A VAPOR EN UN HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA PARA ELEMENTOS PREFABRICADOS EN PRODUCCIÓN MASIVA"																				
FECHA	LINEA	TIEMPO CURADO			TEMPERATURA	HUMEDAD	RESISTENCIA	TIEMPO FRAGUADO				RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (f'c)								
		HORA	MINUTO	NÚMERO	°C	FINAL PROM (%)	Mpa	INICIO HORMIGONADO	FIN HORMIGONADO	INICIO CURADO	TIEMPO (HORAS)	7 DIAS	14 DIAS	21 DIAS	28 DIAS					
19/07/2012	2	0	0	0.00	29	10.6		6:40:00	8:41:00	10:05	1:24	48.77	54.15	45.42	59.47					
		0	30	0.50	35							48.77	54.15	45.42	59.47					
		1	0	1.00	45							48.77	54.15	45.42	59.47					
		1	30	1.50	55							48.77	54.15	45.42	59.47					
		2	0	2.00	61							48.77	54.15	45.42	59.47					
		2	30	2.50	64							48.77	54.15	45.42	59.47					
		3	0	3.00	63							48.77	54.15	45.42	59.47					
		3	30	3.50	63							48.77	54.15	45.42	59.47					
		4	0	4.00	64							19.88	54.15	45.42	59.47					
		4	30	4.50	63							23.69	54.15	45.42	59.47					
		4	55	4.92	64							24.40	54.15	45.42	59.47					
20/07/2012	3	0	0	0.00	29		10.7						7:26:00	9:36:00	10:10	0:34	45.11	48.67	53.83	64.87
		0	30	0.50	35												45.11	48.67	53.83	64.87
		1	0	1.00	45			45.11	48.67	53.83	64.87									
		1	30	1.50	55			45.11	48.67	53.83	64.87									
		2	0	2.00	61			45.11	48.67	53.83	64.87									
		2	30	2.50	63			45.11	48.67	53.83	64.87									
		3	0	3.00	63			45.11	48.67	53.83	64.87									
		3	30	3.50	64			45.11	48.67	53.83	64.87									
		4	0	4.00	64			13.84	48.67	53.83	64.87									
		4	30	4.50	65			16.03	48.67	53.83	64.87									
		5	0	5.00	64			18.07	48.67	53.83	64.87									
		5	30	5.50	65			22.01	48.67	53.83	64.87									
		6	0	6.00	64			24.50	48.67	53.83	64.87									

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO															
TÍTULO DEL PROYECTO: "INVESTIGACIÓN DEL TIEMPO ÓPTIMO DE CURADO A VAPOR EN UN HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA PARA ELEMENTOS PREFABRICADOS EN PRODUCCIÓN MASIVA"															
FECHA	LINEA	TIEMPO CURADO			TEMPERATURA °C	HUMEDAD FINAL PROM (%)	RESISTENCIA Mpa	TIEMPO FRAGUADO				RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (f'c)			
		HORA	MINUTO	NÚMERO				INICIO HORMIGONADO	FIN HORMIGONADO	INICIO CURADO	TIEMPO (HORAS)	7 DIAS	14 DIAS	21 DIAS	28 DIAS
24/07/2012	3	0	0	0.00	22	10.7		6:22:00	8:20:00	9:15	0:55	45.70	44.90	61.70	65.23
		0	30	0.50	30		45.70					44.90	61.70	65.23	
		1	0	1.00	41		45.70					44.90	61.70	65.23	
		1	30	1.50	50		45.70					44.90	61.70	65.23	
		2	0	2.00	61		45.70					44.90	61.70	65.23	
		2	30	2.50	64		45.70					44.90	61.70	65.23	
		3	0	3.00	66		45.70					44.90	61.70	65.23	
		3	30	3.50	65		45.70					44.90	61.70	65.23	
		4	0	4.00	66		11.71					45.70	44.90	61.70	65.23
		4	30	4.50	67		14.88					45.70	44.90	61.70	65.23
		5	0	5.00	66		18.34					45.70	44.90	61.70	65.23
		5	30	5.50	66		21.24					45.70	44.90	61.70	65.23
		6	0	6.00	66		24.30					45.70	44.90	61.70	65.23
25/07/2012	2	0	0	0.00	22		10.7						6:20:00	7:57:00	10:00
		0	30	0.50	30	43.82		44.62	50.59	54.54					
		1	0	1.00	40	43.82		44.62	50.59	54.54					
		1	30	1.50	51	43.82		44.62	50.59	54.54					
		2	0	2.00	60	43.82		44.62	50.59	54.54					
		2	30	2.50	61	43.82		44.62	50.59	54.54					
		3	0	3.00	62	43.82		44.62	50.59	54.54					
		3	30	3.50	62	43.82		44.62	50.59	54.54					
		4	0	4.00	62	17.20		43.82	44.62	50.59	54.54				
		4	30	4.50	63	16.87		43.82	44.62	50.59	54.54				
		4	45	4.75	62	19.44		43.82	44.62	50.59	54.54				
		5	0	5.00	63	43.82		44.62	50.59	54.54					
		5	30	5.50	63	21.63		43.82	44.62	50.59	54.54				
		6	0	6.00	63	24.33		43.82	44.62	50.59	54.54				

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO															
TÍTULO DEL PROYECTO: "INVESTIGACIÓN DEL TIEMPO ÓPTIMO DE CURADO A VAPOR EN UN HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA PARA ELEMENTOS PREFABRICADOS EN PRODUCCIÓN MASIVA"															
FECHA	LINEA	TIEMPO CURADO			TEMPERATURA °C	HUMEDAD FINAL PROM (%)	RESISTENCIA Mpa	TIEMPO FRAGUADO				RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (f'c)			
		HORA	MINUTO	NÚMERO				INICIO HORMIGONADO	FIN HORMIGONADO	INICIO CURADO	TIEMPO (HORAS)	7 DIAS	14 DIAS	21 DIAS	28 DIAS
26/07/2012	3	0	0	0.00	21	10.7	6:38:00	8:36:00	9:20	0:44	46.99	55.53	62.24	68.09	
		0	30	0.50	30						46.99	55.53	62.24	68.09	
		1	0	1.00	40						46.99	55.53	62.24	68.09	
		1	30	1.50	50						46.99	55.53	62.24	68.09	
		2	0	2.00	60						46.99	55.53	62.24	68.09	
		2	30	2.50	63						46.99	55.53	62.24	68.09	
		3	0	3.00	64						46.99	55.53	62.24	68.09	
		3	30	3.50	64						46.99	55.53	62.24	68.09	
		4	0	4.00	64						13.74	46.99	55.53	62.24	68.09
		4	30	4.50	64						16.02	46.99	55.53	62.24	68.09
		5	0	5.00	64						17.28	46.99	55.53	62.24	68.09
		5	30	5.50	65						22.80	46.99	55.53	62.24	68.09
		6	0	6.00	65						25.03	46.99	55.53	62.24	68.09
27/07/2012	2	0	0	0.00	20						10.7	6:25:00	8:15:00	9:50	1:35
		0	30	0.50	21	37.24	45.94	44.76	55.18						
		1	0	1.00	30	37.24	45.94	44.76	55.18						
		1	30	1.50	41	37.24	45.94	44.76	55.18						
		2	0	2.00	52	37.24	45.94	44.76	55.18						
		2	30	2.50	63	37.24	45.94	44.76	55.18						
		3	0	3.00	63	37.24	45.94	44.76	55.18						
		3	30	3.50	64	37.24	45.94	44.76	55.18						
		4	0	4.00	65	13.56	37.24	45.94	44.76	55.18					
		4	30	4.50	66	14.30	37.24	45.94	44.76	55.18					
		4	45	4.75	65	19.01	37.24	45.94	44.76	55.18					
		5	0	5.00	65	20.03	37.24	45.94	44.76	55.18					
		5	15	5.25	65	20.03	37.24	45.94	44.76	55.18					
		5	30	5.50	65	21.83	37.24	45.94	44.76	55.18					
		5	45	5.75	66	21.83	37.24	45.94	44.76	55.18					
		6	0	6.00	66	24.22	37.24	45.94	44.76	55.18					

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO																				
TÍTULO DEL PROYECTO: "INVESTIGACIÓN DEL TIEMPO ÓPTIMO DE CURADO A VAPOR EN UN HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA PARA ELEMENTOS PREFABRICADOS EN PRODUCCIÓN MASIVA"																				
FECHA	LINEA	TIEMPO CURADO			TEMPERATURA °C	HUMEDAD FINAL PROM (%)	RESISTENCIA Mpa	TIEMPO FRAGUADO				RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (f'c)								
		HORA	MINUTO	NÚMERO				INICIO HORMIGONADO	FIN HORMIGONADO	INICIO CURADO	TIEMPO (HORAS)	7 DIAS	14 DIAS	21 DIAS	28 DIAS					
06/08/2012	3	0	0	0.00	21	10.7		8:18:00	10:26:00	11:45	1:19	39.58	43.70	50.23	49.55					
		0	30	0.50	23												39.58	43.70	50.23	49.55
		1	0	1.00	32												39.58	43.70	50.23	49.55
		1	30	1.50	42												39.58	43.70	50.23	49.55
		2	0	2.00	51												39.58	43.70	50.23	49.55
		2	30	2.50	62												39.58	43.70	50.23	49.55
		3	0	3.00	63												39.58	43.70	50.23	49.55
		3	30	3.50	64												39.58	43.70	50.23	49.55
		4	0	4.00	65												39.58	43.70	50.23	49.55
		4	15	4.25	66												39.58	43.70	50.23	49.55
		4	30	4.50	66												39.58	43.70	50.23	49.55
		5	0	5.00	66												39.58	43.70	50.23	49.55
		5	15	5.25	66												39.58	43.70	50.23	49.55
		5	30	5.50	68												39.58	43.70	50.23	49.55
		6	0	6.00	68												39.58	43.70	50.23	49.55
07/08/2012	2	0	0	0.00	22	10.6		6:37:00	8:30:00	10:40	2:10	56.81	51.97	54.52	60.18					
		0	30	0.50	31												56.81	51.97	54.52	60.18
		1	0	1.00	41												56.81	51.97	54.52	60.18
		1	30	1.50	50												56.81	51.97	54.52	60.18
		2	0	2.00	60												56.81	51.97	54.52	60.18
		2	30	2.50	62												56.81	51.97	54.52	60.18
		3	0	3.00	63												56.81	51.97	54.52	60.18
		3	30	3.50	65												56.81	51.97	54.52	60.18
		4	0	4.00	66												56.81	51.97	54.52	60.18
		4	30	4.50	65												56.81	51.97	54.52	60.18
		5	0	5.00	65												56.81	51.97	54.52	60.18
		5	30	5.50	66												56.81	51.97	54.52	60.18

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO															
TÍTULO DEL PROYECTO: "INVESTIGACIÓN DEL TIEMPO ÓPTIMO DE CURADO A VAPOR EN UN HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA PARA ELEMENTOS PREFABRICADOS EN PRODUCCIÓN MASIVA"															
FECHA	LINEA	TIEMPO CURADO			TEMPERATURA	HUMEDAD	RESISTENCIA	TIEMPO FRAGUADO				RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (f'c)			
		HORA	MINUTO	NÚMERO	°C	FINAL PROM (%)	Mpa	INICIO HORMIGONADO	FIN HORMIGONADO	INICIO CURADO	TIEMPO (HORAS)	7 DIAS	14 DIAS	21 DIAS	28 DIAS
08/08/2012	3	0	0	0.00	22	10.6		6:18:00	8:15:00	10:30	2:15	49.00	51.30	53.60	57.43
		0	30	0.50	31		49.00					51.30	53.60	57.43	
		1	0	1.00	43		49.00					51.30	53.60	57.43	
		1	30	1.50	52		49.00					51.30	53.60	57.43	
		2	0	2.00	62		49.00					51.30	53.60	57.43	
		2	30	2.50	64		49.00					51.30	53.60	57.43	
		3	0	3.00	64		49.00					51.30	53.60	57.43	
		3	30	3.50	65		49.00					51.30	53.60	57.43	
		4	0	4.00	65		15.08					49.00	51.30	53.60	57.43
		4	30	4.50	65		17.01					49.00	51.30	53.60	57.43
		5	0	5.00	65		20.91					49.00	51.30	53.60	57.43
		5	30	5.50	65		24.05					49.00	51.30	53.60	57.43
		5	35	5.58	65		24.05					49.00	51.30	53.60	57.43
09/08/2012	2	0	0	0.00	21		10.6						6:36:00	8:25:00	10:50
		0	30	0.50	32	47.10		45.30	48.34	49.96					
		1	0	1.00	52	47.10		45.30	48.34	49.96					
		1	30	1.50	63	47.10		45.30	48.34	49.96					
		2	0	2.00	62	47.10		45.30	48.34	49.96					
		2	30	2.50	63	47.10		45.30	48.34	49.96					
		3	0	3.00	63	47.10		45.30	48.34	49.96					
		3	30	3.50	64	47.10		45.30	48.34	49.96					
		4	0	4.00	64	13.19		47.10	45.30	48.34	49.96				
		4	30	4.50	64	16.62		47.10	45.30	48.34	49.96				
		5	0	5.00	65	17.52		47.10	45.30	48.34	49.96				
		5	30	5.50	65	23.93		47.10	45.30	48.34	49.96				

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO																				
TÍTULO DEL PROYECTO: "INVESTIGACIÓN DEL TIEMPO ÓPTIMO DE CURADO A VAPOR EN UN HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA PARA ELEMENTOS PREFABRICADOS EN PRODUCCIÓN MASIVA"																				
FECHA	LINEA	TIEMPO CURADO			TEMPERATURA °C	HUMEDAD FINAL PROM (%)	RESISTENCIA Mpa	TIEMPO FRAGUADO				RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (f'c)								
		HORA	MINUTO	NÚMERO				INICIO HORMIGONADO	FIN HORMIGONADO	INICIO CURADO	TIEMPO (HORAS)	7 DIAS	14 DIAS	21 DIAS	28 DIAS					
13/08/2012	3	0	0	0.00	30	10.8		7:34:00	9:51:00	11:20	1:29	39.93	45.21	49.32	48.99					
		0	30	0.50	45												39.93	45.21	49.32	48.99
		1	0	1.00	56												39.93	45.21	49.32	48.99
		1	30	1.50	60												39.93	45.21	49.32	48.99
		2	0	2.00	62												39.93	45.21	49.32	48.99
		2	30	2.50	62												39.93	45.21	49.32	48.99
		3	0	3.00	62												39.93	45.21	49.32	48.99
		3	30	3.50	64												39.93	45.21	49.32	48.99
		4	0	4.00	65												39.93	45.21	49.32	48.99
		4	30	4.50	66												39.93	45.21	49.32	48.99
		5	0	5.00	64												39.93	45.21	49.32	48.99
		5	30	5.50	66												39.93	45.21	49.32	48.99
		6	0	6.00	66												39.93	45.21	49.32	48.99
		6	10	6.17	65												39.93	45.21	49.32	48.99
		6	30	6.50	65												39.93	45.21	49.32	48.99
		7	0	7.00	64												39.93	45.21	49.32	48.99
14/08/2012	2	0	0	0.00	30	10.7		6:32:00	8:30:00	9:20	0:50	39.17	45.60	49.27	53.21					
		0	30	0.50	45												39.17	45.60	49.27	53.21
		1	0	1.00	55												39.17	45.60	49.27	53.21
		1	30	1.50	58												39.17	45.60	49.27	53.21
		2	0	2.00	60												39.17	45.60	49.27	53.21
		2	30	2.50	61												39.17	45.60	49.27	53.21
		3	0	3.00	62												39.17	45.60	49.27	53.21
		3	30	3.50	63												39.17	45.60	49.27	53.21
		4	0	4.00	64												39.17	45.60	49.27	53.21
		4	30	4.50	65												39.17	45.60	49.27	53.21
		5	0	5.00	64												39.17	45.60	49.27	53.21
		5	30	5.50	65												39.17	45.60	49.27	53.21
		6	0	6.00	66												39.17	45.60	49.27	53.21
		6	30	6.50	66												39.17	45.60	49.27	53.21

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO															
TÍTULO DEL PROYECTO: "INVESTIGACIÓN DEL TIEMPO ÓPTIMO DE CURADO A VAPOR EN UN HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA PARA ELEMENTOS PREFABRICADOS EN PRODUCCIÓN MASIVA"															
FECHA	LINEA	TIEMPO CURADO			TEMPERATURA	HUMEDAD	RESISTENCIA	TIEMPO FRAGUADO				RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (f'c)			
		HORA	MINUTO	NÚMERO	°C	FINAL PROM (%)	Mpa	INICIO HORMIGONADO	FIN HORMIGONADO	INICIO CURADO	TIEMPO (HORAS)	7 DIAS	14 DIAS	21 DIAS	28 DIAS
15/08/2012	3	0	0	0.00	30	10.7		6:37:00	8:50:00	10:10	1:20	43.45	48.23	55.67	58.97
		0	30	0.50	31		43.45					48.23	55.67	58.97	
		1	0	1.00	42		43.45					48.23	55.67	58.97	
		1	30	1.50	53		43.45					48.23	55.67	58.97	
		2	0	2.00	62		43.45					48.23	55.67	58.97	
		2	30	2.50	65		43.45					48.23	55.67	58.97	
		3	0	3.00	64		43.45					48.23	55.67	58.97	
		3	30	3.50	64		43.45					48.23	55.67	58.97	
		4	0	4.00	65		11.00					43.45	48.23	55.67	58.97
		4	30	4.50	64		14.42					43.45	48.23	55.67	58.97
		5	0	5.00	65		17.01					43.45	48.23	55.67	58.97
		5	30	5.50	66		20.22					43.45	48.23	55.67	58.97
		6	0	6.00	65		24.01					43.45	48.23	55.67	58.97
		6	30	6.50	66							43.45	48.23	55.67	58.97
16/08/2012	2	0	0	0.00	31	10.6		7:01:00	8:46:00	9:35	0:49	40.66	47.95	54.55	55.08
		0	30	0.50	38		40.66					47.95	54.55	55.08	
		1	0	1.00	45		40.66					47.95	54.55	55.08	
		1	30	1.50	55		40.66					47.95	54.55	55.08	
		2	0	2.00	60		40.66					47.95	54.55	55.08	
		2	30	2.50	61		40.66					47.95	54.55	55.08	
		3	0	3.00	62		40.66					47.95	54.55	55.08	
		3	30	3.50	62		40.66					47.95	54.55	55.08	
		4	0	4.00	65		15.30					40.66	47.95	54.55	55.08
		4	30	4.50	65		18.22					40.66	47.95	54.55	55.08
		5	0	5.00	64		23.21					40.66	47.95	54.55	55.08
		5	15	5.25	64		23.76					40.66	47.95	54.55	55.08

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO																					
TÍTULO DEL PROYECTO: "INVESTIGACIÓN DEL TIEMPO ÓPTIMO DE CURADO A VAPOR EN UN HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA PARA ELEMENTOS PREFABRICADOS EN PRODUCCIÓN MASIVA"																					
FECHA	LINEA	TIEMPO CURADO			TEMPERATURA	HUMEDAD	RESISTENCIA	TIEMPO FRAGUADO				RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (f'c)									
		HORA	MINUTO	NÚMERO	°C	FINAL PROM (%)	Mpa	INICIO HORMIGONADO	FIN HORMIGONADO	INICIO CURADO	TIEMPO (HORAS)	7 DIAS	14 DIAS	21 DIAS	28 DIAS						
20/08/2012	2	0	0	0.00	22	10.6		7:40:00	9:23:00	10:50	1:27	53.80	48.08	50.36	57.42						
		0	30	0.50	30							53.80	48.08	50.36	57.42						
		1	0	1.00	41							53.80	48.08	50.36	57.42						
		1	30	1.50	52							53.80	48.08	50.36	57.42						
		2	0	2.00	62							53.80	48.08	50.36	57.42						
		2	30	2.50	65							53.80	48.08	50.36	57.42						
		3	0	3.00	65							53.80	48.08	50.36	57.42						
		3	30	3.50	65							53.80	48.08	50.36	57.42						
		4	0	4.00	65							16.22	53.80	48.08	50.36	57.42					
		4	30	4.50	65							20.26	53.80	48.08	50.36	57.42					
		5	0	5.00	65							22.32	53.80	48.08	50.36	57.42					
		5	30	5.50	65							24.19	53.80	48.08	50.36	57.42					
21/08/2012	3	0	0	0.00	21	10.5		6:37:00	8:33:00	9:45	1:12	56.13	56.18	64.08	62.91						
		0	30	0.50	30							56.13	56.18	64.08	62.91						
		1	0	1.00	42							56.13	56.18	64.08	62.91						
		1	30	1.50	51							56.13	56.18	64.08	62.91						
		2	0	2.00	61							56.13	56.18	64.08	62.91						
		2	30	2.50	63							56.13	56.18	64.08	62.91						
		3	0	3.00	63							56.13	56.18	64.08	62.91						
		3	30	3.50	64							56.13	56.18	64.08	62.91						
		4	0	4.00	65							19.59	56.13	56.18	64.08	62.91					
		4	30	4.50	65							24.54	56.13	56.18	64.08	62.91					

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO																				
TÍTULO DEL PROYECTO: "INVESTIGACIÓN DEL TIEMPO ÓPTIMO DE CURADO A VAPOR EN UN HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA PARA ELEMENTOS PREFABRICADOS EN PRODUCCIÓN MASIVA"																				
FECHA	LINEA	TIEMPO CURADO			TEMPERATURA	HUMEDAD	RESISTENCIA	TIEMPO FRAGUADO				RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (f'c)								
		HORA	MINUTO	NÚMERO	°C	FINAL PROM (%)	Mpa	INICIO HORMIGONADO	FIN HORMIGONADO	INICIO CURADO	TIEMPO (HORAS)	7 DIAS	14 DIAS	21 DIAS	28 DIAS					
22/08/2012	2	0	0	0.00	22	10.6		6:36:00	8:09:00	9:30	1:21	56.84	52.56	54.65	58.94					
		0	30	0.50	30		56.84					52.56	54.65	58.94						
		1	0	1.00	40		56.84					52.56	54.65	58.94						
		1	30	1.50	51		56.84					52.56	54.65	58.94						
		2	0	2.00	60		56.84					52.56	54.65	58.94						
		2	30	2.50	62		56.84					52.56	54.65	58.94						
		3	0	3.00	64		56.84					52.56	54.65	58.94						
		3	30	3.50	65		56.84					52.56	54.65	58.94						
		4	0	4.00	64		19.54					56.84	52.56	54.65	58.94					
		4	30	4.50	65		22.58					56.84	52.56	54.65	58.94					
		5	0	5.00	65		24.13					56.84	52.56	54.65	58.94					
23/08/2012	3	0	0	0.00	21		10.6						6:29:00	8:45:00	10:20	1:35	56.73	57.30	72.34	69.74
		0	30	0.50	30							56.73					57.30	72.34	69.74	
		1	0	1.00	41	56.73		57.30	72.34	69.74										
		1	30	1.50	50	56.73		57.30	72.34	69.74										
		2	0	2.00	61	56.73		57.30	72.34	69.74										
		2	30	2.50	65	56.73		57.30	72.34	69.74										
		3	0	3.00	64	56.73		57.30	72.34	69.74										
		3	30	3.50	64	56.73		57.30	72.34	69.74										
		4	0	4.00	64	18.95		56.73	57.30	72.34	69.74									
		4	30	4.50	65	22.30		56.73	57.30	72.34	69.74									
		5	0	5.00	65	24.35		56.73	57.30	72.34	69.74									

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO																
TÍTULO DEL PROYECTO: "INVESTIGACIÓN DEL TIEMPO ÓPTIMO DE CURADO A VAPOR EN UN HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA PARA ELEMENTOS PREFABRICADOS EN PRODUCCIÓN MASIVA"																
FECHA	LINEA	TIEMPO CURADO			TEMPERATURA	HUMEDAD	RESISTENCIA	TIEMPO FRAGUADO				RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (f'c)				
		HORA	MINUTO	NÚMERO	°C	FINAL PROM (%)	Mpa	INICIO HORMIGONADO	FIN HORMIGONADO	INICIO CURADO	TIEMPO (HORAS)	7 DIAS	14 DIAS	21 DIAS	28 DIAS	
28/08/2012	2	0	0	0.00	25	10.6		7:11:00	9:53:00	10:30	0:37	47.25	46.64	56.07	54.53	
		0	30	0.50	35							47.25	46.64	56.07	54.53	
		1	0	1.00	45							47.25	46.64	56.07	54.53	
		1	30	1.50	55							47.25	46.64	56.07	54.53	
		2	0	2.00	60							47.25	46.64	56.07	54.53	
		2	30	2.50	62							47.25	46.64	56.07	54.53	
		3	0	3.00	63							47.25	46.64	56.07	54.53	
		3	30	3.50	65							47.25	46.64	56.07	54.53	
		4	0	4.00	64							18.93	47.25	46.64	56.07	54.53
		4	30	4.50	63							47.25	46.64	56.07	54.53	
		4	45	4.75	65							21.34	47.25	46.64	56.07	54.53
		5	0	5.00	64							24.52	47.25	46.64	56.07	54.53

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO															
TÍTULO DEL PROYECTO: "INVESTIGACIÓN DEL TIEMPO ÓPTIMO DE CURADO A VAPOR EN UN HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA PARA ELEMENTOS PREFABRICADOS EN PRODUCCIÓN MASIVA"															
FECHA	LINEA	TIEMPO CURADO			TEMPERATURA °C	HUMEDAD FINAL PROM (%)	RESISTENCIA Mpa	TIEMPO FRAGUADO				RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (f'c)			
		HORA	MINUTO	NÚMERO				INICIO HORMIGONADO	FIN HORMIGONADO	INICIO CURADO	TIEMPO (HORAS)	7 DIAS	14 DIAS	21 DIAS	28 DIAS
03/09/2012	2	0	0	0.00	22	10.7		8:16:00	10:30:00	12:10	1:40	45.82	53.40	50.10	51.00
		0	30	0.50	30							45.82	53.40	50.10	51.00
		1	0	1.00	40							45.82	53.40	50.10	51.00
		1	30	1.50	50							45.82	53.40	50.10	51.00
		2	0	2.00	58							45.82	53.40	50.10	51.00
		2	30	2.50	61							45.82	53.40	50.10	51.00
		3	0	3.00	62							45.82	53.40	50.10	51.00
		3	30	3.50	62							45.82	53.40	50.10	51.00
		4	0	4.00	63							12.01	53.40	50.10	51.00
		4	30	4.50	63							14.83	53.40	50.10	51.00
		5	0	5.00	65							16.98	53.40	50.10	51.00
		5	30	5.50	65							22.07	53.40	50.10	51.00
		6	0	6.00	66							23.01	53.40	50.10	51.00
		6	30	6.50	68							24.12	53.40	50.10	51.00
		6	50	6.83	68			53.40	50.10	51.00					
04/09/2012	2	0	0	0.00	21	10.6		7:05:00	9:50:00	12:00	2:10	43.95	45.88	45.61	50.75
		0	30	0.50	30							43.95	45.88	45.61	50.75
		1	0	1.00	40							43.95	45.88	45.61	50.75
		1	30	1.50	50							43.95	45.88	45.61	50.75
		2	0	2.00	60							43.95	45.88	45.61	50.75
		2	30	2.50	62							43.95	45.88	45.61	50.75
		3	0	3.00	62							43.95	45.88	45.61	50.75
		3	30	3.50	65							43.95	45.88	45.61	50.75
		4	0	4.00	65							16.47	45.88	45.61	50.75
		4	30	4.50	65							23.01	45.88	45.61	50.75
		5	0	5.00	66							24.83	45.88	45.61	50.75
													45.88	45.61	50.75
														45.61	50.75

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO															
TÍTULO DEL PROYECTO: "INVESTIGACIÓN DEL TIEMPO ÓPTIMO DE CURADO A VAPOR EN UN HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA PARA ELEMENTOS PREFABRICADOS EN PRODUCCIÓN MASIVA"															
FECHA	LINEA	TIEMPO CURADO			TEMPERATURA	HUMEDAD	RESISTENCIA	TIEMPO FRAGUADO				RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (f'c)			
		HORA	MINUTO	NÚMERO	°C	FINAL PROM (%)	Mpa	INICIO HORMIGONADO	FIN HORMIGONADO	INICIO CURADO	TIEMPO (HORAS)	7 DIAS	14 DIAS	21 DIAS	28 DIAS
05/09/2012	2	0	0	0.00	20	10.7		6:35	8:44	10:30	1:46	48.68	50.21	51.27	50.89
		0	30	0.50	30							48.68	50.21	51.27	50.89
		1	0	1.00	40							48.68	50.21	51.27	50.89
		1	30	1.50	51							48.68	50.21	51.27	50.89
		2	0	2.00	60							48.68	50.21	51.27	50.89
		2	30	2.50	61							48.68	50.21	51.27	50.89
		3	0	3.00	62							48.68	50.21	51.27	50.89
		3	30	3.50	63							48.68	50.21	51.27	50.89
		4	0	4.00	65							14.80	50.21	51.27	50.89
		4	30	4.50	65							16.07	50.21	51.27	50.89
		5	0	5.00	65							18.30	50.21	51.27	50.89
		5	30	5.50	65							22.22	50.21	51.27	50.89
		6	0	6.00	65							23.01	50.21	51.27	50.89
		6	10	6.17	65							24.85	50.21	51.27	50.89
05/09/2012	3	0	0	0.00	28		10.7						10:59	12:55	15:00
		0	30	0.50	35			41.89	55.80	55.01	55.69				
		1	0	1.00	41			41.89	55.80	55.01	55.69				
		1	30	1.50	51			41.89	55.80	55.01	55.69				
		2	0	2.00	60			41.89	55.80	55.01	55.69				
		2	30	2.50	62			41.89	55.80	55.01	55.69				
		3	0	3.00	63			41.89	55.80	55.01	55.69				
		3	30	3.50	64			41.89	55.80	55.01	55.69				
		4	0	4.00	65			14.34	55.80	55.01	55.69				
		4	30	4.50	66			18.52	55.80	55.01	55.69				
		5	0	5.00	67			20.58	55.80	55.01	55.69				
		5	30	5.50	68			41.89	55.80	55.01	55.69				
		6	0	6.00	68			41.89	55.80	55.01	55.69				
		6	20	6.33	68			24.36	55.80	55.01	55.69				

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO																				
TÍTULO DEL PROYECTO: "INVESTIGACIÓN DEL TIEMPO ÓPTIMO DE CURADO A VAPOR EN UN HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA PARA ELEMENTOS PREFABRICADOS EN PRODUCCIÓN MASIVA"																				
FECHA	LINEA	TIEMPO CURADO			TEMPERATURA	HUMEDAD	RESISTENCIA	TIEMPO FRAGUADO				RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (f'c)								
		HORA	MINUTO	NÚMERO	°C	FINAL PROM (%)	Mpa	INICIO HORMIGONADO	FIN HORMIGONADO	INICIO CURADO	TIEMPO (HORAS)	7 DIAS	14 DIAS	21 DIAS	28 DIAS					
07/09/2012	2	0	0	0.00	20	10.7		7:05	9:12	10:30	1:18	39.85	45.23	45.98	49.19					
		0	30	0.50	31												39.85	45.23	45.98	49.19
		1	0	1.00	40												39.85	45.23	45.98	49.19
		1	30	1.50	50												39.85	45.23	45.98	49.19
		2	0	2.00	60												39.85	45.23	45.98	49.19
		2	30	2.50	61												39.85	45.23	45.98	49.19
		3	0	3.00	62												39.85	45.23	45.98	49.19
		3	30	3.50	62												39.85	45.23	45.98	49.19
		4	0	4.00	63												39.85	45.23	45.98	49.19
		4	30	4.50	64												39.85	45.23	45.98	49.19
		5	0	5.00	64												39.85	45.23	45.98	49.19
		5	30	5.50	65												39.85	45.23	45.98	49.19
		6	0	6.00	67												39.85	45.23	45.98	49.19
		6	20	6.33	67												39.85	45.23	45.98	49.19
10/09/2012	2	0	0	0.00	35	10.6		7:28	9:23	10:25	1:02	42.75	57.39	43.34	49.76					
		0	30	0.50	45												42.75	57.39	43.34	49.76
		1	0	1.00	50												42.75	57.39	43.34	49.76
		1	30	1.50	55												42.75	57.39	43.34	49.76
		2	0	2.00	61												42.75	57.39	43.34	49.76
		2	30	2.50	63												42.75	57.39	43.34	49.76
		3	0	3.00	64												42.75	57.39	43.34	49.76
		3	30	3.50	65												42.75	57.39	43.34	49.76
		4	0	4.00	66												42.75	57.39	43.34	49.76
		4	30	4.50	65												42.75	57.39	43.34	49.76
		5	0	5.00	66												42.75	57.39	43.34	49.76

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO																				
TÍTULO DEL PROYECTO: "INVESTIGACIÓN DEL TIEMPO ÓPTIMO DE CURADO A VAPOR EN UN HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA PARA ELEMENTOS PREFABRICADOS EN PRODUCCIÓN MASIVA"																				
FECHA	LINEA	TIEMPO CURADO			TEMPERATURA °C	HUMEDAD FINAL PROM (%)	RESISTENCIA Mpa	TIEMPO FRAGUADO				RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (f'c)								
		HORA	MINUTO	NÚMERO				INICIO HORMIGONADO	FIN HORMIGONADO	INICIO CURADO	TIEMPO (HORAS)	7 DIAS	14 DIAS	21 DIAS	28 DIAS					
10/09/2012	3	0	0	0.00	21	10.6		9:45	14:24	14:50	0:26	47.91	50.41	74.74	80.80					
		0	30	0.50	23												47.91	50.41	74.74	80.80
		1	0	1.00	30												47.91	50.41	74.74	80.80
		1	30	1.50	42												47.91	50.41	74.74	80.80
		2	0	2.00	62												47.91	50.41	74.74	80.80
		2	30	2.50	64												47.91	50.41	74.74	80.80
		3	0	3.00	65												47.91	50.41	74.74	80.80
		3	30	3.50	64												47.91	50.41	74.74	80.80
		4	0	4.00	66												47.91	50.41	74.74	80.80
		4	30	4.50	66							21.17					47.91	50.41	74.74	80.80
		4	47	4.78	66							24.64					47.91	50.41	74.74	80.80
11/09/2012	2	0	0	0.00	25	10.6		8:11	10:19	10:50	0:31	45.21	47.86	59.18	63.37					
		0	30	0.50	30												45.21	47.86	59.18	63.37
		1	0	1.00	39												45.21	47.86	59.18	63.37
		1	30	1.50	44												45.21	47.86	59.18	63.37
		2	0	2.00	48												45.21	47.86	59.18	63.37
		2	30	2.50	56												45.21	47.86	59.18	63.37
		3	0	3.00	67												45.21	47.86	59.18	63.37
		3	30	3.50	67												45.21	47.86	59.18	63.37
		4	0	4.00	65												45.21	47.86	59.18	63.37
		4	30	4.50	65							21.04					45.21	47.86	59.18	63.37
		5	0	5.00	64							22.61					45.21	47.86	59.18	63.37
												24.36					45.21	47.86	59.18	63.37

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO																				
TÍTULO DEL PROYECTO: "INVESTIGACIÓN DEL TIEMPO ÓPTIMO DE CURADO A VAPOR EN UN HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA PARA ELEMENTOS PREFABRICADOS EN PRODUCCIÓN MASIVA"																				
FECHA	LINEA	TIEMPO CURADO			TEMPERATURA	HUMEDAD	RESISTENCIA	TIEMPO FRAGUADO				RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (f'c)								
		HORA	MINUTO	NÚMERO	°C	FINAL PROM (%)	Mpa	INICIO HORMIGONADO	FIN HORMIGONADO	INICIO CURADO	TIEMPO (HORAS)	7 DIAS	14 DIAS	21 DIAS	28 DIAS					
12/09/2012	2	0	0	0.00	22	10.7		6:59	9:05	9:35	0:30	39.06	43.38	42.14	49.57					
		0	30	0.50	25												39.06	43.38	42.14	49.57
		1	0	1.00	32												39.06	43.38	42.14	49.57
		1	30	1.50	48												39.06	43.38	42.14	49.57
		2	0	2.00	60												39.06	43.38	42.14	49.57
		2	30	2.50	65												39.06	43.38	42.14	49.57
		3	0	3.00	68												39.06	43.38	42.14	49.57
		3	30	3.50	68												39.06	43.38	42.14	49.57
		4	0	4.00	68												39.06	43.38	42.14	49.57
		4	30	4.50	66							14.39					39.06	43.38	42.14	49.57
		5	0	5.00	67							19.82					39.06	43.38	42.14	49.57
		5	15	5.25	66							21.02					39.06	43.38	42.14	49.57
		5	30	5.50	65							21.73					39.06	43.38	42.14	49.57
		6	0	6.00	65							24.01					39.06	43.38	42.14	49.57
13/09/2012	2	0	0	0.00	24		10.6						6:48	8:54	9:50	0:56	42.84	46.53	51.31	54.51
		0	30	0.50	29															
		1	0	1.00	45												42.84	46.53	51.31	54.51
		1	30	1.50	48												42.84	46.53	51.31	54.51
		2	0	2.00	50												42.84	46.53	51.31	54.51
		2	30	2.50	60												42.84	46.53	51.31	54.51
		3	0	3.00	61												42.84	46.53	51.31	54.51
		3	30	3.50	63												42.84	46.53	51.31	54.51
		4	0	4.00	64												42.84	46.53	51.31	54.51
		4	30	4.50	63			15.13									42.84	46.53	51.31	54.51
		5	0	5.00	63			18.69									42.84	46.53	51.31	54.51
		5	10	5.17	63			24.45									42.84	46.53	51.31	54.51

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO																				
TÍTULO DEL PROYECTO: "INVESTIGACIÓN DEL TIEMPO ÓPTIMO DE CURADO A VAPOR EN UN HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA PARA ELEMENTOS PREFABRICADOS EN PRODUCCIÓN MASIVA"																				
FECHA	LINEA	TIEMPO CURADO			TEMPERATURA	HUMEDAD	RESISTENCIA	TIEMPO FRAGUADO				RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (f'c)								
		HORA	MINUTO	NÚMERO	°C	FINAL PROM (%)	Mpa	INICIO HORMIGONADO	FIN HORMIGONADO	INICIO CURADO	TIEMPO (HORAS)	7 DIAS	14 DIAS	21 DIAS	28 DIAS					
14/09/2012	2	0	0	0.00	21	10.6		6:53	8:49	10:15	1:26	43.34	44.10	49.10	53.34					
		0	30	0.50	33							43.34	44.10	49.10	53.34					
		1	0	1.00	45							43.34	44.10	49.10	53.34					
		1	30	1.50	48							43.34	44.10	49.10	53.34					
		2	0	2.00	60							43.34	44.10	49.10	53.34					
		2	30	2.50	60							43.34	44.10	49.10	53.34					
		3	0	3.00	65							43.34	44.10	49.10	53.34					
		3	30	3.50	64							43.34	44.10	49.10	53.34					
		4	0	4.00	64							13.94	44.10	49.10	53.34					
		4	30	4.50	64							17.77	44.10	49.10	53.34					
		5	0	5.00	66							24.20	44.10	49.10	53.34					
26/09/2012	2	0	0	0.00	28		10.6						6:50	9:00	10:30	1:30	46.04	50.52	54.38	55.22
		0	30	0.50	38												46.04	50.52	54.38	55.22
		1	0	1.00	45			46.04	50.52	54.38	55.22									
		1	30	1.50	50			46.04	50.52	54.38	55.22									
		2	0	2.00	55			46.04	50.52	54.38	55.22									
		2	30	2.50	60			46.04	50.52	54.38	55.22									
		3	0	3.00	63			46.04	50.52	54.38	55.22									
		3	30	3.50	65			46.04	50.52	54.38	55.22									
		4	0	4.00	66			15.80	50.52	54.38	55.22									
		4	30	4.50	66			17.36	50.52	54.38	55.22									
		5	0	5.00	65			21.40	50.52	54.38	55.22									
		5	30	5.50	64			24.32	50.52	54.38	55.22									

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

Como se puede observar en la tabla anterior la humedad final promedio se la realiza de tal forma que durante el hormigonado se estabiliza y es una constante más bien en lugar de variable y no interviene específicamente en el proceso de curado. En la tabla a continuación se observa que antes y a partir de las 4 horas de curado la humedad sigue siendo la misma hasta que termina el proceso:

Tabla 12.- Resultado de la media aritmética de la humedad final según el Hidro - Control

MEDIA ARITMÉTICA DE LA HUMEDAD FINAL SEGÚN EL HIDRO-CONTROL										
TIEMPO DE CURADO (h)	4.00	4.25	4.50	4.75	5.00	5.17	5.25	5.33	5.42	
HUMEDAD FINAL PARA EL PRECURADO (%) DESDE ABRIL /2012 HASTA SEPTIEMBRE/2012	20-04-12	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6
	23-04-12	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5
	26-04-12	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6
	23-05-12	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6
	29-05-12	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8
	30-05-12	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8
	05-06-12	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
	26-06-12	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6
	27-06-12	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6
	29-06-12	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
	02-07-12	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
	05-07-12	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6
	06-07-12	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6
	12-07-12	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5
	25-07-12	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
	27-07-12	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
	06-08-12	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
	09-08-12	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6
	13-08-12	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8
	14-08-12	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
	16-08-12	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6
	28-08-12	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6
	03-09-12	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
	04-09-12	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6
	05-09-12	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
	05-09-12	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
07-09-12	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	
10-09-12	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	
12-09-12	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	
13-09-12	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	
14-09-12	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	
26-09-12	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	
Media ar. H (%)	10.65	10.65	10.65	10.65	10.65	10.65	10.65	10.65	10.65	10.65

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

Tabla 13.- Media aritmética del tiempo de fraguado

MEDIA ARITMÉTICA DEL TIEMPO DE FRAGUADO A PARTIR DE LAS 4 HORAS DE CURADO										
TIEMPO DE CURADO (h)	4.00	4.25	4.50	4.75	5.00	5.17	5.25	5.33	5.42	
TIEMPO DE FRAGUADO DEL HORMIGÓN (tf) DESDE ABRIL /2012 HASTA SEPTIEMBRE/2012	20-04-12	1:09	1:09	1:09	1:09	1:09	1:09	1:09	1:09	1:09
	23-04-12	1:47	1:47	1:47	1:47	1:47	1:47	1:47	1:47	1:47
	26-04-12	1:15	1:15	1:15	1:15	1:15	1:15	1:15	1:15	1:15
	23-05-12	1:32	1:32	1:32	1:32	1:32	1:32	1:32	1:32	1:32
	29-05-12	1:31	1:31	1:31	1:31	1:31	1:31	1:31	1:31	1:31
	30-05-12	1:37	1:37	1:37	1:37	1:37	1:37	1:37	1:37	1:37
	05-06-12	1:55	1:55	1:55	1:55	1:55	1:55	1:55	1:55	1:55
	26-06-12	0:45	0:45	0:45	0:45	0:45	0:45	0:45	0:45	0:45
	27-06-12	1:04	1:04	1:04	1:04	1:04	1:04	1:04	1:04	1:04
	29-06-12	1:12	1:12	1:12	1:12	1:12	1:12	1:12	1:12	1:12
	02-07-12	1:00	1:00	1:00	1:00	1:00	1:00	1:00	1:00	1:00
	05-07-12	0:50	0:50	0:50	0:50	0:50	0:50	0:50	0:50	0:50
	06-07-12	1:00	1:00	1:00	1:00	1:00	1:00	1:00	1:00	1:00
	12-07-12	1:08	1:08	1:08	1:08	1:08	1:08	1:08	1:08	1:08
	25-07-12	2:03	2:03	2:03	2:03	2:03	2:03	2:03	2:03	2:03
	27-07-12	1:35	1:35	1:35	1:35	1:35	1:35	1:35	1:35	1:35
	06-08-12	1:19	1:19	1:19	1:19	1:19	1:19	1:19	1:19	1:19
	09-08-12	2:25	2:25	2:25	2:25	2:25	2:25	2:25	2:25	2:25
	13-08-12	1:29	1:29	1:29	1:29	1:29	1:29	1:29	1:29	1:29
	14-08-12	0:50	0:50	0:50	0:50	0:50	0:50	0:50	0:50	0:50
16-08-12	0:49	0:49	0:49	0:49	0:49	0:49	0:49	0:49	0:49	
28-08-12	0:37	0:37	0:37	0:37	0:37	0:37	0:37	0:37	0:37	
03-09-12	1:40	1:40	1:40	1:40	1:40	1:40	1:40	1:40	1:40	
04-09-12	2:10	2:10	2:10	2:10	2:10	2:10	2:10	2:10	2:10	
05-09-12	1:46	1:46	1:46	1:46	1:46	1:46	1:46	1:46	1:46	
05-09-12	2:05	2:05	2:05	2:05	2:05	2:05	2:05	2:05	2:05	
07-09-12	1:18	1:18	1:18	1:18	1:18	1:18	1:18	1:18	1:18	
10-09-12	1:02	1:02	1:02	1:02	1:02	1:02	1:02	1:02	1:02	
12-09-12	0:30	0:30	0:30	0:30	0:30	0:30	0:30	0:30	0:30	
13-09-12	0:56	0:56	0:56	0:56	0:56	0:56	0:56	0:56	0:56	
14-09-12	1:26	1:26	1:26	1:26	1:26	1:26	1:26	1:26	1:26	
26-09-12	1:30	1:30	1:30	1:30	1:30	1:30	1:30	1:30	1:30	
TIEMPO DE FRAGUADO tf (°C)	1:21:06	1:21:06	1:21:06	1:21:06	1:21:06	1:21:06	1:21:06	1:21:06	1:21:06	1:21:06

TIEMPO DE CURADO (h)	5.75	6.00	6.17	6.25	6.33	6.50	6.75	6.83	7.00	
TIEMPO DE FRAGUADO DEL HORMIGÓN (tf) DESDE ABRIL /2012 HASTA SEPTIEMBRE/2012	20-04-12	1:09	1:09	1:09	1:09	1:09	1:09	1:09	1:09	1:09
	23-04-12	1:47	1:47	1:47	1:47	1:47	1:47	1:47	1:47	1:47
	26-04-12	1:15	1:15	1:15	1:15	1:15	1:15	1:15	1:15	1:15
	23-05-12	1:32	1:32	1:32	1:32	1:32	1:32	1:32	1:32	1:32
	29-05-12	1:31	1:31	1:31	1:31	1:31	1:31	1:31	1:31	1:31
	30-05-12	1:37	1:37	1:37	1:37	1:37	1:37	1:37	1:37	1:37
	05-06-12	1:55	1:55	1:55	1:55	1:55	1:55	1:55	1:55	1:55
	26-06-12	0:45	0:45	0:45	0:45	0:45	0:45	0:45	0:45	0:45
	27-06-12	1:04	1:04	1:04	1:04	1:04	1:04	1:04	1:04	1:04
	29-06-12	1:12	1:12	1:12	1:12	1:12	1:12	1:12	1:12	1:12
	02-07-12	1:00	1:00	1:00	1:00	1:00	1:00	1:00	1:00	1:00
	05-07-12	0:50	0:50	0:50	0:50	0:50	0:50	0:50	0:50	0:50
	06-07-12	1:00	1:00	1:00	1:00	1:00	1:00	1:00	1:00	1:00
	12-07-12	1:08	1:08	1:08	1:08	1:08	1:08	1:08	1:08	1:08
	25-07-12	2:03	2:03	2:03	2:03	2:03	2:03	2:03	2:03	2:03
	27-07-12	1:35	1:35	1:35	1:35	1:35	1:35	1:35	1:35	1:35
	06-08-12	1:19	1:19	1:19	1:19	1:19	1:19	1:19	1:19	1:19
	09-08-12	2:25	2:25	2:25	2:25	2:25	2:25	2:25	2:25	2:25
	13-08-12	1:29	1:29	1:29	1:29	1:29	1:29	1:29	1:29	1:29
	14-08-12	0:50	0:50	0:50	0:50	0:50	0:50	0:50	0:50	0:50
16-08-12	0:49	0:49	0:49	0:49	0:49	0:49	0:49	0:49	0:49	
28-08-12	0:37	0:37	0:37	0:37	0:37	0:37	0:37	0:37	0:37	
03-09-12	1:40	1:40	1:40	1:40	1:40	1:40	1:40	1:40	1:40	
04-09-12	2:10	2:10	2:10	2:10	2:10	2:10	2:10	2:10	2:10	
05-09-12	1:46	1:46	1:46	1:46	1:46	1:46	1:46	1:46	1:46	
05-09-12	2:05	2:05	2:05	2:05	2:05	2:05	2:05	2:05	2:05	
07-09-12	1:18	1:18	1:18	1:18	1:18	1:18	1:18	1:18	1:18	
10-09-12	1:02	1:02	1:02	1:02	1:02	1:02	1:02	1:02	1:02	
12-09-12	0:30	0:30	0:30	0:30	0:30	0:30	0:30	0:30	0:30	
13-09-12	0:56	0:56	0:56	0:56	0:56	0:56	0:56	0:56	0:56	
14-09-12	1:26	1:26	1:26	1:26	1:26	1:26	1:26	1:26	1:26	
26-09-12	1:30	1:30	1:30	1:30	1:30	1:30	1:30	1:30	1:30	
TIEMPO DE FRAGUADO tf (°C)	1:21:00	1:21:06	1:21:06	1:21:06	1:21:06	1:21:06	1:21:06	1:21:06	1:21:06	1:21:06

Para graficar la función en cualquier modelo matemático no se necesita de la constante humedad y el tiempo de fraguado.

Se llega a la conclusión que la resistencia durante el tiempo de curado debe ser mínimo $f'c = 24$ MPa, esto a partir de cientos de ensayos realizados a compresión del hormigón de los elementos prefabricados desde el mes de Abril hasta Septiembre del 2012.

Además se debe buscar una correlación entre las variables expuestas que intervienen directamente en el proceso netamente de curado a vapor, estas son:

- Resistencia en el tiempo de curado a vapor.
- Tiempo de curado a vapor del hormigón.
- Temperatura durante el tiempo de curado.

Siendo de éstas la segunda; tiempo de curado denominada como t_c la variable dependiente la misma que se pretende optimizar.

La resistencia en el tiempo de curado a vapor denominada f'_{cc} y la temperatura durante este mismo tiempo denominada T serán las variables independientes, las mismas que nos servirán para realizar un modelo matemático el cual se ajuste de la mejor manera a una nube de puntos, ya sea esta lineal o no lineal.

Para ello se escoge un modelo matemático; en este caso para la relación entre temperatura T y tiempo de curado t_c es:

Modelo Lineal

De la forma $y = a + b.x$;

En el caso de las variables del proyecto se define de la siguiente manera:

$$t_c = a + b.T$$

donde:

t_c = tiempo de curado (vapor).

T = temperatura (durante el curado).

Mediante una hoja de cálculo en Excel posteriormente se calcula la media aritmética de la temperatura cada 30 minutos, antes y después de las cuatro horas de curado.

Tabla 14. Media aritmética de la temperatura hasta las 4 horas de curado

MEDIA ARITMÉTICA DE LA TEMPERATURA HASTA LAS 4 HORAS DE CURADO										
TIEMPO DE CURADO (h)	0.00	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	
TEMPERATURA HASTA LAS 4 HORAS DE CURADO (°C) DESDE ABRIL /2012 HASTA SEPTIEMBRE/2012	20-04-12	22	31	41	51	62	64	65	65	64
	23-04-12	21	32	41	50	60	66	65	63	63
	26-04-12	28	38	45	49	56	60	61	63	62
	23-05-12	27	36	46	52	62	65	65	64	64
	29-05-12	21	28	37	49	60	65	66	66	68
	30-05-12	20	35	42	54	60	60	62	63	64
	05-06-12	29	38	50	59	63	65	66	66	68
	26-06-12	22	32	45	54	62	63	62	62	62
	27-06-12	21	30	43	52	62	63	63	63	63
	29-06-12	21	25	33	52	60	60	60	61	62
	02-07-12	28	35	45	55	61	64	65	65	66
	05-07-12	29	35	45	52	63	64	65	66	66
	06-07-12	29	35	45	55	61	62	62	62	61
	12-07-12	20	31	41	50	61	63	65	67	68
	25-07-12	22	30	40	51	60	61	62	62	62
	27-07-12	20	21	30	41	52	63	63	64	65
	06-08-12	21	23	32	42	51	62	63	64	65
	09-08-12	21	32	52	63	62	63	63	64	64
	13-08-12	30	45	56	60	62	62	62	64	65
	14-08-12	30	45	55	58	60	61	62	63	64
	16-08-12	31	38	45	55	60	61	62	62	65
	28-08-12	25	35	45	55	60	62	63	65	64
	03-09-12	22	30	40	50	58	61	62	62	63
	04-09-12	21	30	40	50	60	62	62	65	65
	05-09-12	20	30	40	51	60	61	62	63	65
	05-09-12	28	35	41	51	60	62	63	64	65
07-09-12	20	31	40	50	60	61	62	62	63	
10-09-12	35	45	50	55	61	63	64	65	66	
12-09-12	22	25	32	48	60	65	68	68	68	
13-09-12	24	29	45	48	50	60	61	63	64	
14-09-12	21	33	45	48	60	60	65	64	64	
26-09-12	28	38	45	50	55	60	63	65	66	
Tmedia (°C)	24.34	33.00	42.88	51.88	59.50	62.31	63.25	63.91	64.50	

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

Tabla 15. Media aritmética de la temperatura a partir de las 4 horas de curado

MEDIA ARITMÉTICA DE LA TEMPERATURA A PARTIR DE LAS 4 HORAS DE CURADO																					
TIEMPO DE CURADO (h)	4.00	4.25	4.50	4.75	5.00	5.17	5.25	5.33	5.42	5.50	5.67	5.75	6.00	6.17	6.25	6.33	6.50	6.75	6.83	7.00	
TEMP (°C) DURANTE LAS HORAS DE CURADO ABRIL - SEPT / 2012	20-04-12	64		64		63				64	64	64									
	23-04-12	63		60																	
	26-04-12	62		62		61															
	23-05-12	64		65		63		64													
	29-05-12	68		68		67				68			69				68		69		
	30-05-12	64		64		65				65		65	65				65	65			
	05-06-12	68		67		68				68		68	68				68				
	26-06-12	62		62		62			63												
	27-06-12	63		65		66	66		65		65										
	29-06-12	62		62		62					63		65	65		64		64			
	02-07-12	66		65		65					66			67				67			
	05-07-12	66		64		65					66	66									
	06-07-12	61		65		66		68													
	12-07-12	68		68																	
	25-07-12	62		63	62	63					63			63							
	27-07-12	65		66	65	65		65			65		66	66							
	06-08-12	65	66	66		66		66			68			68							
	09-08-12	64		64		65					65										
	13-08-12	65		66		64					66			66	65			65			64
	14-08-12	64		65		64					65			66				66			
	16-08-12	65		65		64		64													
	28-08-12	64		63	65	64															
	03-09-12	63		63		65					65		66					68		68	
	04-09-12	65		65		66															
05-09-12	65		65		65					65			65	65							
05-09-12	65		66		67					68			68			68					
07-09-12	63		64		64					65			67			67					
10-09-12	66		65		66																
12-09-12	68		66		67		66			65			65								
13-09-12	64		63		63	63															
14-09-12	64		64		64																
26-09-12	66		66		65					64											
T media (°C)	64.50	66.00	64.56	64.00	64.67	64.50	65.50	65.00	63.00	65.45	65.00	65.67	66.29	65.00	64.00	67.50	66.38	65.00	68.50	64.00	

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

3.1.- MODELO MATEMATICO A PARTIR DE LAS 4 HORAS DE CURADO tc vs T

Con los datos expuestos se realiza la siguiente tabla en la que intervienen los promedios de T y tc hasta las 4 horas de curado.

Tabla 16. Tabla general de las variables Temperatura y tiempo de curado hasta las 4 horas de curado

TABLA GENERAL	
X	Y
TEMPERATURA	TIEMPO DE CURADO
T(°C)	tc(horas)
24,34	0,00
33,00	0,50
42,88	1,00
51,88	1,50
59,50	2,00
62,31	2,50
63,25	3,00
63,91	3,50
64,50	4,00

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

En la figura que se muestra se detallan los puntos de intersección del tiempo de curado en función de la temperatura.

TIEMPO DE CURADO VS TEMPERATURA

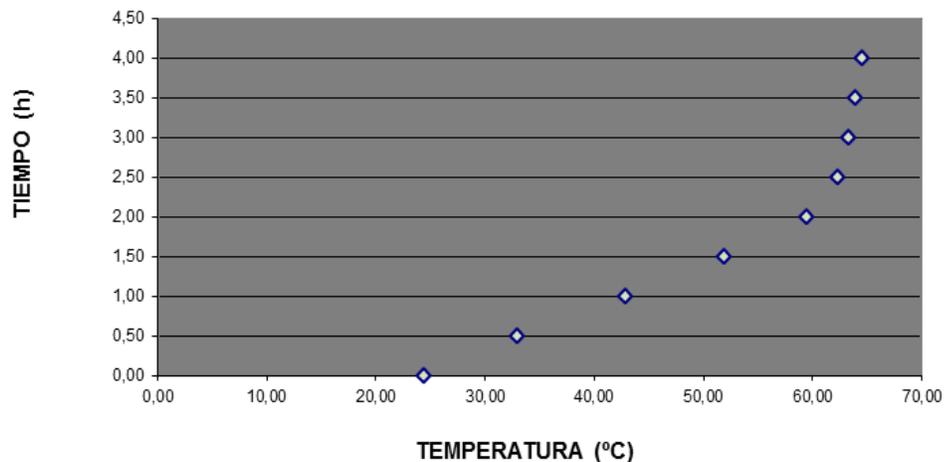


Figura 43. - Puntos de intersección de la curva Tiempo de curado vs Temperatura

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

Para realizar el modelo matemático tenemos las siguientes fórmulas de regresión lineal y no lineal entre dos variables:

$$t_c = a + b.T \quad (\text{Lineal})$$

$$t_c = a + b.T + c.T^2 \quad (\text{Cuadrática})$$

$$t_c = a + b.T + c.T^2 + d.T^3 \quad (\text{Cúbica})$$

Luego de forma matricial calculamos los coeficientes a, b, c, d con ayuda del lenguaje de programación Matlab 6.5 de las fórmulas anteriormente indicadas:

3.1.1.- CÁLCULO MATRICIAL EN MATLAB 6.5

a) LINEAL

```

1 disp('Curva: Tiempo de curado vs Temperatura')
2 %Ingreso de datos
3 tc=[0.0;0.5;1;1.5;2;2.5;3;3.5;4]
4 T=[1 24.34;1 33.00;1 42.88;1 51.88;1 59.50;1 62.31;1 63.25;1 63.91;1 64.50]
5 A=inv(T'*T)*(T'*tc)
6 tc1=-2.3863+0.084792.*T
7 plot(T,tc,'-',T,tc1,'--')

```

Figura 44. - Cálculo matricial en Matlab 6.5 de regresión lineal tc vs T
Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
 Carlos I. Mosquera P.

Reemplazando, por lo tanto la fórmula se resume:

$$t_c = -2.3863 + 0.085 * T \quad (\text{Lineal})$$

b) CUADRÁTICA

```

1 disp('Curva Tiempo de curado vs Temperatura cuadratica')
2 %Ingreso de datos
3 tc=[0.0;0.5;1;1.5;2;2.5;3;3.5;4]
4 T=[1 24.34 592.62 14426.55;1 33.00 1089.00 35937.00;1 42.88 1838.27 78815.64;1 51.
5 A=inv(T'*T)*(T'*tc)
6 tc1=1.7664-0.11833.*T+0.0022101.*(T.^2)
7 plot(T,tc,'-',T,tc1,'--')

```

Figura 45. - Cálculo matricial en Matlab 6.5 de regresión no lineal cuadrática tc vs T
Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
 Carlos I. Mosquera P.

Reemplazando, por lo tanto la fórmula se resume:

$$t_c = 1.7664 - 0.11833 * T + 0.00221 * T^2 \quad (\text{Cuadrática})$$

c) CÚBICA

```

1 disp('Curva Tiempo de curado vs Temperatura cubica')
2 %Ingreso de datos
3 tc=[0.0;0.5;1;1.5;2;2.5;3;3.5;4]
4 T=[1 24.34 592.62 14426.55;1 33.00 1089.00 35937.00;1 42.88 1838.27 78815.64;1 51.
5 A=inv(T'*T)*(T'*tc)
6 tc1=-12.106+0.94043.*T-0.022899.*(T.^2)+0.00018735.*(T.^3)
7 plot(T,tc,'-o',T,tc1,'--')

```

Figura 46.- Cálculo matricial en Matlab 6.5 de regresión no lineal cúbica t_c vs T

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

Reemplazando, por lo tanto la fórmula se resume:

$$t_c = -12.106 + 0.94043.T - 0.022899.T^2 + 0.000187.T^3 \quad (\text{Cúbica})$$

Los coeficientes calculados para cada fórmula son las siguientes:

Tabla 67.- Coeficientes para las fórmulas de regresión lineal y no lineal t_c vs T hasta las 4 horas de curado

COEFICIENTES	LINEAL	CUADRÁTICA	CÚBICA
a	-2,39	1,7664	-12,106
b	0,08	-0,11833	0,94043
c		0,0022101	-0,022899
d			0,00018735

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

3.1.2 GRÁFICAS EN MATLAB DE REGRESIONES LINEALES Y NO LINEALES DE t_c vs T HASTA LAS 4 HORAS DE CURADO.

d) Modelo lineal.

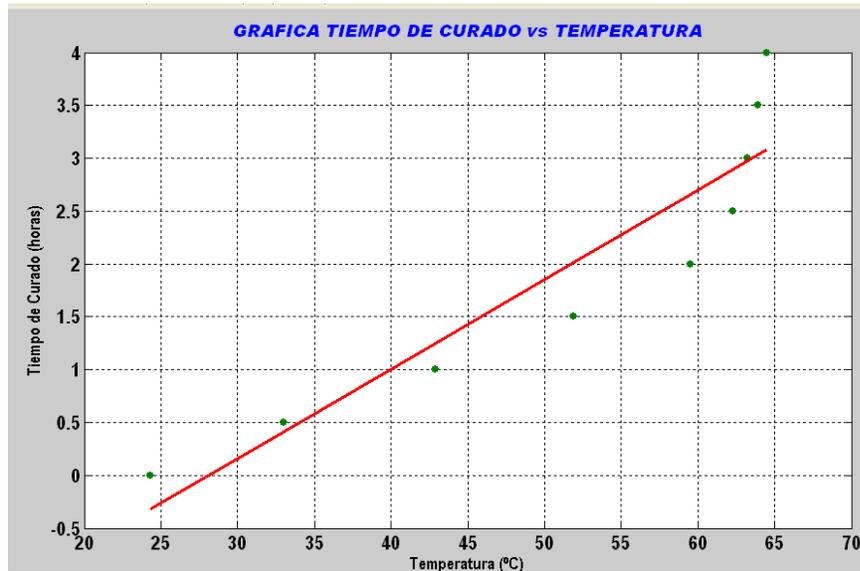


Figura 47.- Curva lineal de regresión ajustada t_c vs T

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

e) Modelo cuadrático.

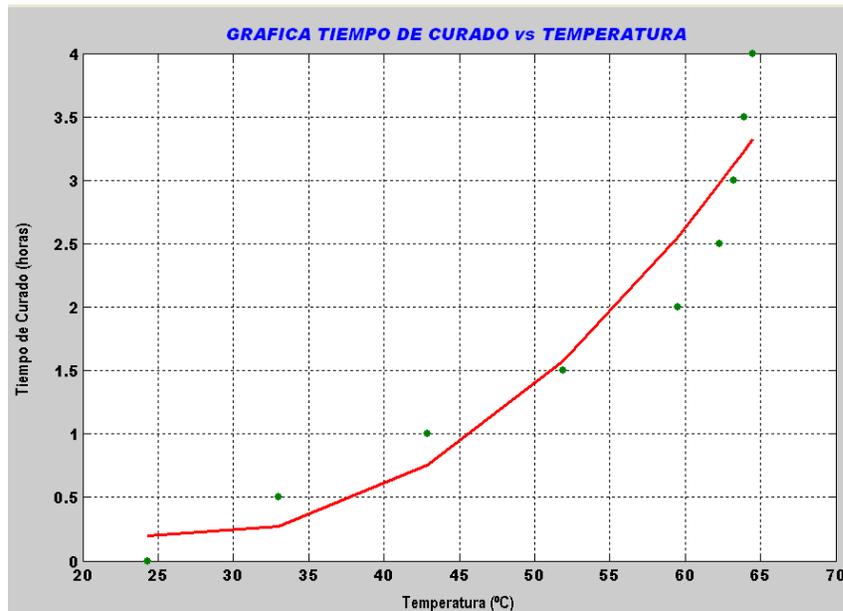


Figura 48.- Curva cuadrática de regresión ajustada t_c vs T

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

f) Modelo cúbico.

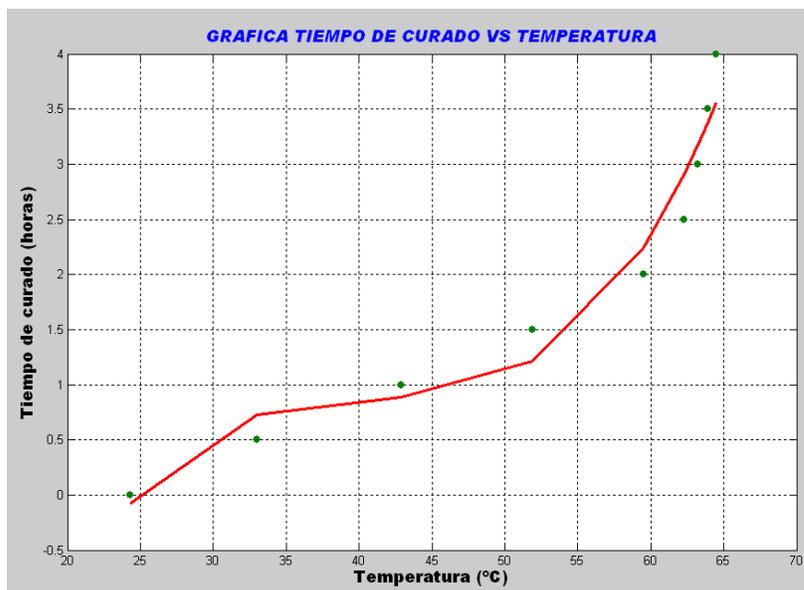


Figura 49. - Curva cúbica de regresión ajustada t_c vs T
 Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
 Carlos I. Mosquera P.

Finalmente, con el modelo cúbico tenemos los siguientes resultados:

$$t_c = -12.106 + 0.94043.T - 0.022899.T^2 + 0.000187.T^3 \quad (\text{Cúbica})$$

Tabla 78.- Resultados de la ecuación de regresión no lineal de tercer grado

TEMPERATURA	TIEMPO DE CURADO	HORA	MINUTO
T(°C)	tc(horas)		
24,34	0,00	0.00	0.00
33,00	0,72	0.00	43.44
42,88	0,89	0.00	53.20
51,88	1,21	1.00	12.00
59,50	2,25	2.00	13.00
62,31	2,91	2.00	55.00
63,25	3,17	3.00	10.00
63,91	3,37	3.00	22.00
64,50	3,56	3.00	34.00

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
 Carlos I. Mosquera P.

Modelación tc VS T

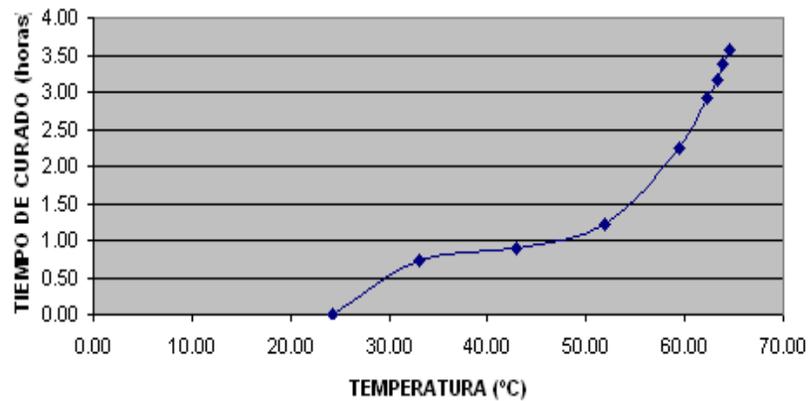


Figura 50. Curva optimizada tc vs T
Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
 Carlos I. Mosquera P.

Esta tabla de valores y su gráfica correspondiente son las que me indican el trabajo óptimo que se debe realizar en cuanto a la temperatura y el tiempo de curado hasta las 4 horas.

3.2 MODELO MATEMATICO A PARTIR DE LAS 4 HORAS DE CURADO tc vs T

Tabla 89. Tabla general de las variables Temperatura y tiempo de curado a partir de las 4 horas de curado

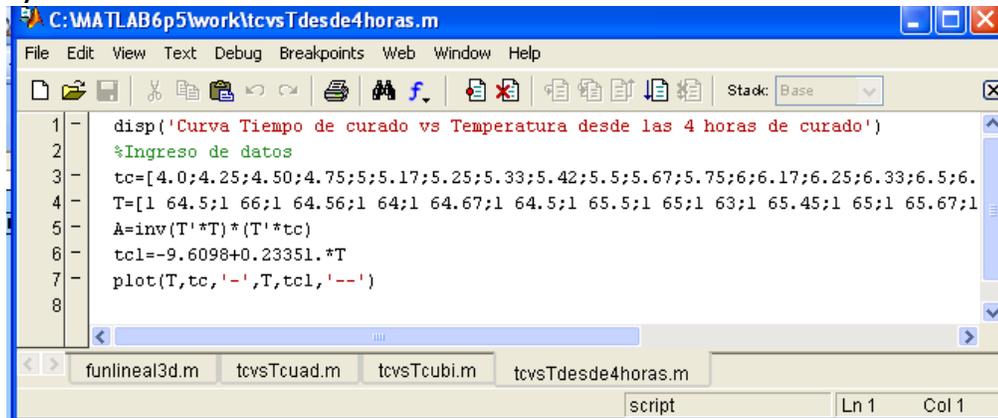
TABLA GENERAL

X	y
TEMPERATURA	TIEMPO DE CURADO
T()	tc(horas)
64,50	4,00
66,00	4,25
64,56	4,50
64,00	4,75
64,67	5,00
64,50	5,17
65,50	5,25
65,00	5,33
63,00	5,42
65,45	5,50
65,00	5,67
65,67	5,75
66,29	6,00
65,00	6,17
64,00	6,25
67,50	6,33
66,38	6,50
65,00	6,75
68,50	6,83
64,00	7,00

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
 Carlos I. Mosquera P.

3.2.1.- CALCULO MATRICIAL EN MATLAB 6.5.

b) LINEAL.



```
C:\MATLAB6p5\work\tcvsTdesde4horas.m
File Edit View Text Debug Breakpoints Web Window Help
Stack: Base
1 disp('Curva Tiempo de curado vs Temperatura desde las 4 horas de curado')
2 %Ingreso de datos
3 tc=[4.0;4.25;4.50;4.75;5;5.17;5.25;5.33;5.42;5.5;5.67;5.75;6;6.17;6.25;6.33;6.5;6.
4 T=[1 64.5;1 66;1 64.56;1 64;1 64.67;1 64.5;1 65.5;1 65;1 63;1 65.45;1 65;1 65.67;1
5 A=inv(T'*T)*(T'*tc)
6 tcl=-9.6098+0.23351.*T
7 plot(T,tc,'-',T,tcl,'--')
8
funlineal3d.m tcvsTcuad.m tcvsTcubi.m tcvsTdesde4horas.m
script Ln 1 Col 1
```

Figura 51. Cálculo matricial en Matlab 6.5 de regresión lineal tc vs T a partir de 4 horas de curado

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

Reemplazando, por lo tanto la fórmula se resume:

$$t_c = -2.3863 + 0.085 * T \quad (\text{Lineal})$$

3.2.2.- Gráfica en Matlab

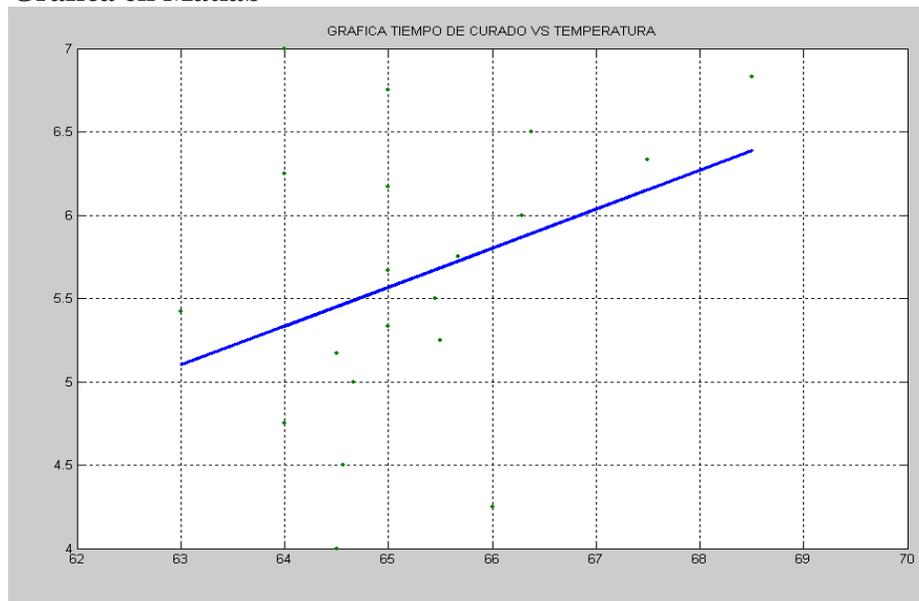


Figura 52. Curva lineal de regresión ajustada tc vs T a partir de las 4 horas de curado

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

Como se observa en la figura 49 es poco probable encontrar un modelo matemático que se ajuste a la nube de puntos por la aleatoriedad de los resultados experimentales de temperatura que varía entre 60° y 70° aproximadamente, por lo tanto se considera una media aritmética para este caso.

Con estas consideraciones se realizarán los mismos modelos para las variables t_c (tiempo de curado) y f'_{cc} (Resistencia en curado).

Así tenemos:

3.3.- REGRESIONES LINEALES Y NO LINEALES DE t_c vs f'_{cc} A PARTIR DE LAS 4 HORAS DE CURADO.

Mediante una hoja de cálculo en Excel posteriormente se calcula la media aritmética de la resistencia a partir de las 4 horas de curado con su respectiva tabla a continuación:

Tabla 20.- Tabla general de las variables Resistencia y Tiempo de curado a partir de las 4 horas de curado

MEDIA ARITMÉTICA DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARTIR DE LAS 4 HORAS DE CURADO																				
TIEMPO DE CURADO (h)	4,00	4,25	4,50	4,75	5,00	5,17	5,25	5,33	5,42	5,50	5,67	5,75	6,00	6,17	6,25	6,33	6,50	6,75	6,83	7,00
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DURANTE LAS HORAS DE CURADO (f _{cc}) DESDE ABRIL /2012 HASTA SEPTIEMBRE/2012	20-04-12	14,6				20,2				22,5		24,2								
	23-04-12	14,6		25																
	26-04-12	18,3				21,5														
	23-05-12			19,3			24,4													
	29-05-12	9,79				14,6														24,3
	30-05-12	12,9				17													24,9	
	05-06-12	16,1		18		19,6							22,2	23			24			
	26-06-12	18,2		19,6		22,8			24,3											
	27-06-12	17,1		22,2			22,5	23,2		24,1										
	29-06-12	11,5				15									25		24,1			
	02-07-12	12				14,6								20,1			24			
	05-07-12	11,1				18,5					23,6	24,6								
	06-07-12	17,5				23,5		24,3												
	12-07-12	23,1		24,3																
	25-07-12	17,2		16,9	19,4						21,6			24,3						
	27-07-12	13,6		14,3	19			20					21,8	24,2						
	06-08-12	10,8	14,5			16								24,1						
	09-08-12	13,2		16,6		17,5					23,9									
	13-08-12	12,4		15,5		17,3														23,48
	14-08-12	11		14														24,6		
	16-08-12	15,3		18,2		23,2		23,8												
	28-08-12	18,9			21,3	24,5														
	03-09-12	12		14,8		17							23					24,1		
	04-09-12	16,5		23		24,8														
	05-09-12	14,8		16,1		18,3					22,2			23	24,9					
	05-09-12	14,3		18,5		20,6											24,4			
07-09-12	13,7		15,2		20,4											24,1				
10-09-12	20,5		22,4		24,1															
12-09-12	14,4		19,8		21		21,7						24							
13-09-12	15,1		18,7			24,5														
14-09-12	13,9		17,8		24,2															
26-09-12	15,8		17,4		21,4					24,3										
Resistencia (f_{cc})	14,84	14,53	18,52	19,93	19,90	23,49	22,83	23,20	24,32	23,17	24,63	22,80	23,26	24,85	24,98	24,24	24,15	24,86	24,33	23,48

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

Tabla 21. Tabla general de las variables Resistencia y tiempo de curado a partir de las 4 horas de curado

TABLA GENERAL	
RESISTENCIA	TIEMPO DE CURADO
f _{cc} (MPa)	t _c (horas)
14,84	4,00
14,53	4,25
18,52	4,50
19,93	4,75
19,90	5,00
23,49	5,17
22,83	5,25
23,20	5,33
24,32	5,42
23,17	5,50
24,63	5,67
22,80	5,75
23,26	6,00
24,85	6,17
24,98	6,25
24,24	6,33
24,15	6,50
24,86	6,75
24,33	6,83
23,48	7,00

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

3.3.1.- CALCULO MATRICIAL EN MATLAB 6.5.

a) LINEAL

```

1 disp('Curva Tiempo de curado vs Resistencia desde las 4 horas de curado')
2 %Ingreso de datos
3 tc=[4.0;4.25;4.50;4.75;5.17;5.25;5.33;5.42;5.5;5.67;5.75;6.17;6.25;6.33;6.5;6.
4 R=[1 14.84;1 14.53;1 18.52;1 19.93;1 19.90;1 23.49;1 22.83;1 23.20;1 24.32;1 23.17
5 A=inv(R'*R)*(R'*tc)
6 tc1=0.57579+0.22609.*R
7 plot(R,tc,'-',R,tc1,'--')
8

```

Figura 53.- Cálculo matricial en Matlab 6.5 de regresión lineal tc vs R

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

Reemplazando, por lo tanto la fórmula se resume:

$$t_c = 0.57579 + 0.22609 * R \quad (\text{Lineal})$$

b) CUADRÁTICA

```

1 - disp('Curva Tiempo de curado vs Resistencia desde las 4 horas de curado')
2 - %Ingreso de datos
3 - tc=[4.0;4.25;4.50;4.75;5;5.17;5.25;5.33;5.42;5.5;5.67;5.75;6;6.17;6.25;6.33;6.5;6.
4 - R=[1 14.84 220.37;1 14.53 211.12;1 18.52 342.91;1 19.93 397.20;1 19.90 396.11;1 23
5 - A=inv(R'*R)*(R'*tc)
6 - tc1=7.2424-0.46627.*R+0.017311.*R^2
7 - plot(R,tc,'-',R,tc1,'--')

```

Figura 54. Cálculo matricial en Matlab 6.5 de regresión no lineal cuadrática t_c vs R
Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
 Carlos I. Mosquera P.

Reemplazando, por lo tanto la fórmula se resume:

$$t_c = 7.2424 - 0.46627 * R + 0.017311 * R^2 \quad (\text{Cuadrática})$$

c) CÚBICA

```

1 - disp('Curva Tiempo de curado vs Resistencia desde las 4 horas de curado')
2 - %Ingreso de datos
3 - tc=[4.0;4.25;4.50;4.75;5;5.17;5.25;5.33;5.42;5.5;5.67;5.75;6;6.17;6.25;6.33;6.5;6.
4 - R=[1 14.84 220.37 3271.35;1 14.53 211.12 3067.59;1 18.52 342.91 6349.84;1 19.93 39
5 - A=inv(R'*R)*(R'*tc)
6 - tc1=17.786-2.1189.*R+0.10171.*(R^2)-0.0014092.*(R^3)
7 - plot(R,tc,'-',R,tc1,'--')

```

Figura 55.- Cálculo matricial en Matlab 6.5 de regresión no lineal cúbica t_c vs R
Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
 Carlos I. Mosquera P.

Reemplazando, por lo tanto la fórmula se resume:

$$t_c = 17.786 - 2.1189.R + 0.10171.R^2 - 0.0014092.R^3 \quad (\text{Cúbica})$$

Los coeficientes calculados para cada fórmula son las siguientes:

Tabla 22.- Coeficientes para las fórmulas de regresión lineal y no lineal t_c vs R a partir de las 4 horas de curado

COEFICIENTES	LINEAL	CUADRÁTICA	CÚBICA
a	0,57579	7,2424	17,786
b	0,22609	-0,46627	-2,1189
c		0,017311	0,10171
d			-0,0014092

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

3.3.2. Gráfica en Matlab

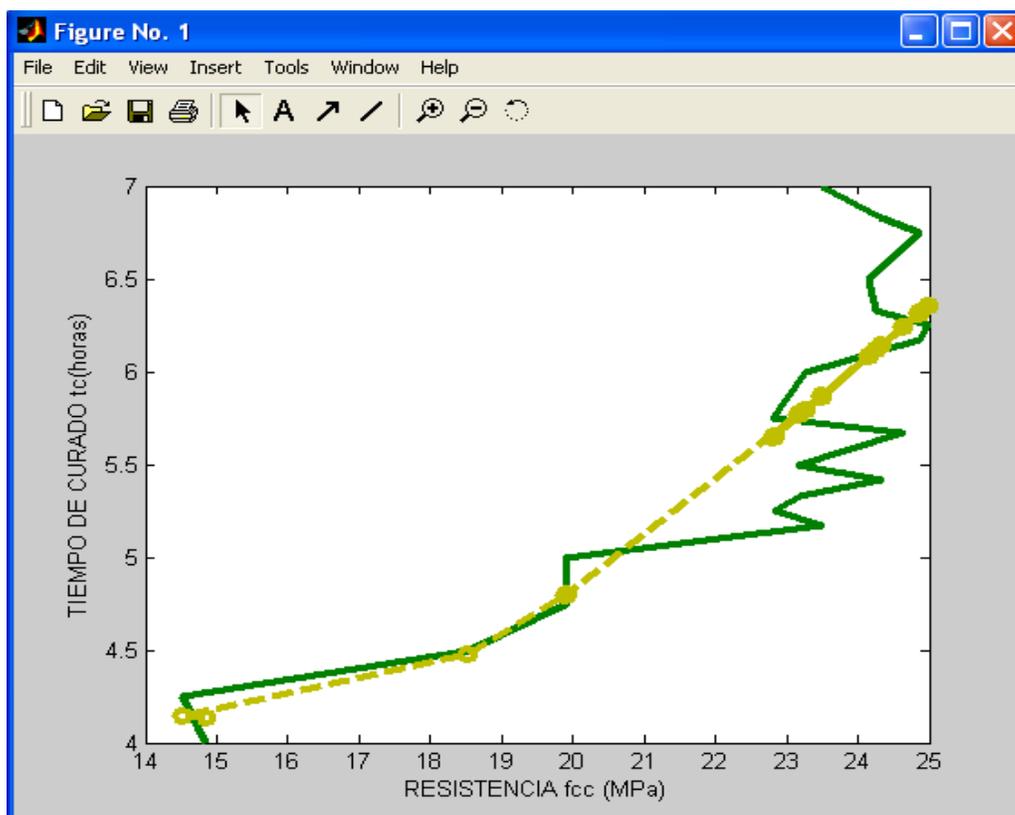


Figura 56. Curva no lineal de regresión ajustada t_c vs f'_{cc} a partir de las 4 horas de curado

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

3.4.- RESULTADOS GENERALES DEL MODELO MATEMÁTICO AJUSTADO.

3.4.1.- Influencia de la temperatura a partir de las 4 horas de curado.

Tabla 23.- Influencia del tiempo de curado a partir de la temperatura a partir de 4 horas de curado

TEMPERATURA	TIEMPO DE CURADO
T(°C)	tc(horas)
64,50	4,00
66,00	4,25
64,56	4,50
64,00	4,75
64,67	5,00
64,50	5,17
65,50	5,25
65,00	5,33
63,00	5,42
65,45	5,50
65,00	5,67
65,67	5,75
66,29	6,00
65,00	6,17
64,00	6,25
67,50	6,33
66,38	6,50
65,00	6,75
68,50	6,83
64,00	7,00

PROMEDIO = **65,23**

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

Se toma como óptimo el promedio de la temperatura después de las 4 horas de curado ya que en el tramo de 4 a 7 horas tenemos datos aleatorios los cuales no se ajustan a un modelo matemático.

3.4.2.- Fórmula para tiempo de curado vs Temperatura hasta las 4 horas de curado.

$$t_c = -12.106 + 0.94043.T - 0.022899.T^2 + 0.000187.T^3$$

RESULTADO.

Tabla 24.- Influencia del tiempo de curado a partir de la temperatura hasta las 4 horas de curado

TEMPERATURA	TIEMPO DE CURADO
T(°C)	tc(horas)
24,34	0,00
33,00	0,72
42,88	0,89
51,88	1,21
59,50	2,25
62,31	2,91
63,25	3,17
63,91	3,37
64,50	3,56

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

3.4.3.- Fórmula para tiempo de curado vs Resistencia a partir de las 4 horas de curado.

$$t_c = 17.786 - 2.1189.R + 0.10171.R^2 - 0.0014092.R^3$$

RESULTADO.

Tabla 25.- Influencia del tiempo de curado a partir de la resistencia a partir de las 4 horas de curado

RESISTENCIA	TIEMPO DE CURADO
f'cc (MPa)	tc(horas)
14,84	3,93
14,53	3,86
18,52	4,76
19,93	5,08
19,90	5,08
23,49	5,89
22,83	5,74
23,20	5,82
24,32	6,07
23,17	5,81
24,63	6,14
22,80	5,73
23,26	5,84
24,85	6,19
24,98	6,22
24,24	6,06

24,15	6,04
24,86	6,20
24,33	6,08
23,48	5,88

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

3.5.- DATOS EXPERIMENTALES DEL CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA ($f^c = 50 \text{ Mpa}$) PARA ELEMENTOS PREFABRICADOS

Se ha realizado tabulaciones en una hoja de cálculo en Excel a partir de datos experimentales, con ello se han obtenido los siguientes resultados del concreto en los distintos tipos de curado y sin curado:

3.5.1.- RESULTADOS DEL HORMIGÓN (CURVA RESISTENCIA VS TIEMPO) EN ELEMENTOS PREFABRICADOS DE CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA CURADO A VAPOR (Ver anexo 5).

Como se puede mostrar en el Anexo 5 existen diversos ensayos realizados a compresión durante las horas de curado a vapor.

Cabe indicar que este tipo de curado es acelerado, por ello se realizan estas pruebas compresivas del hormigón a muy temprana edad ya que es importante en este método las altas temperaturas que permiten el endurecimiento del mismo y su continua hidratación, en este caso con el cemento tipo 10P y sus características mostradas en el fundamento teórico.

3.5.2.- RESULTADOS DEL HORMIGÓN (CURVA RESISTENCIA VS TIEMPO) EN ELEMENTOS PREFABRICADOS DE CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA SIN CURADO.

Se presenta un cuadro de resultados en los reportes de actividades de Laboratorio y C. C de Ecuatoriana de Prefabricados.

En la primera tabla se aprecian las muestras que se toma en esa línea de producción de elementos prefabricados de hormigón pretensado, con su respectivo ensayo de asentamiento, además el inicio de curado y ensayos compresivos durante y después del proceso de curado para obtener así una curva de maduración del hormigón detallada más adelante. Estos ensayos se realizaron en el mes de Julio del 2012:

Tabla 26.- Reporte de actividades de laboratorio en Ecuatoriana de Prefabricados



ECUATORIANA DE PREFABRICADOS

REPORTE DE ACTIVIDADES – LABORATORIO

RESPONSABLE:	GABRIEL E. ANDRADER	FECHA:	06/08/2012
			07/08/2012
		TURNO:	18:00 - 06:00

ELABORACIÓN DE ESPECIMENES DE HORMIGÓN

DATOS ESPECIMEN						
LÍNEA	FECHA	HORA	As (cm)	MOLDE	DIAS	OBSERVACIONES
3	06-ago					INICIO: 20:15
		20:50	22	27	4 H	
		20:50	22	70	5 H	
		20:50	22	77	6 H	
		20:50	22	10	7 H	
		21:23	21	2	7 días	
		21:23	21	7	7 días	
		21:23	21	11	28 días	
21:23	21	15	28 días			

AD = FINAL

INICIO DE CURADO	
LÍNEA 1	
LÍNEA 2	
LÍNEA 3	1:30

ENSAYO DE COMPRESIÓN DURANTE EL CURADO

MOLDE	CODIGO	FECHA	HORA DE TOMA	HORA ENSAYO	D (mm)	CARGA (KN)	RESISTENCIA (Mpa)	TIEMPO CURADO (H)	EDAD ESPECIMEN (H)	
15	L2 06/08	06-ago		17:30	100	94,37	12,015		17:30	17:30
0	L2 06/08			18:30	100	129,74	16,519		18:30	18:30
9	L2 06/08			19:30	100	156,19	19,887		19:30	19:30
3	L2 06/08			20:45	100	199,95	25,459		20:45	20:45
16	L2 06/08	07-ago		0:10	100	174,40	22,205		0:10	0:10
12	L2 06/08			1:10	100	185,75	23,650		1:10	1:10
19	L2 06/08			1:30	100	197,76	25,180		1:30	1:30
27	L2 06/08	07-ago		5:30	100	80,82	10,290		5:30	5:30

ENSAYO DE COMPRESIÓN PARA 7, 14, 21, 28 DIAS

MOLDE	CODIGO	FECHA	HORA DE TOMA	HORA ENSAYO	D (mm)	CARGA (KN)	RESISTENCIA (Mpa)	EDAD PROBETA	TIPO DE CURADO
19	L1 31/01	07-ago	1:00	2:00	100	64,64	8,230	1 DIAS	SIN CURAR
27	L1 31/01		1:00	2:30	100	59,69	7,600	1 DIAS	SIN CURAR
0	L1 31/01		19:58	2:45	100	128,41	16,350	3 DIAS	SIN CURAR
12	L1 31/01		19:58	2:49	100	148,83	18,950	3 DIAS	SIN CURAR
2	L1 31/01		19:58	2:53	100	315,97	40,230	7 DIAS	SIN CURAR
3	L1 31/01		19:58	2:57	100	302,85	38,560	7 DIAS	SIN CURAR
5	L1 31/01		19:58	3:01	100	353,43	45,000	14 DIAS	SIN CURAR
8	L1 31/01		19:58	3:05	100	355,24	45,230	14 DIAS	SIN CURAR
54	L1 31/01		19:58	3:09	100	368,98	46,980	21 DIAS	SIN CURAR
4	L1 31/01		19:58	3:13	100	371,97	47,360	21 DIAS	SIN CURAR
6	L1 31/01		19:58	3:17	100	394,74	50,260	28 DIAS	SIN CURAR
9	L1 31/01		19:58	3:21	100	407,15	51,840	28 DIAS	SIN CURAR

Nota:

Gabriel E. Andrade R.

GABRIEL E. ANDRADE R

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

Tabla 27.- Reporte de ensayos de compresión sin curado

 ECUATORIANA DE PREFABRICADOS REPORTE DE ACTIVIDADES – LABORATORIO										
RESPONSABLE:		GABRIEL E. ANDRADER.				FECHA:		02/07/2012		
						TURNO:		18:00 - 06:00		
ENSAYO DE COMPRESIÓN PARA 7, 14, 21, 28 DIAS										
MOLDE	CODIGO	FECHA	HORA DE TOMA	HORA ENSAYO	D (mm)	CARGA (KN)	RESISTENCIA (Mpa)	EDAD PROBETA	TIPO DE CURADO	
19	L1 04/06	02-jul	1:00	0:00	100	64,64	8,230	1 DIAS	SIN CURAR	
27	L1 04/06		1:00	0:15	100	59,69	7,600	1 DIAS	SIN CURAR	
0	L1 04/06		19:58	0:30	100	128,41	16,350	3 DIAS	SIN CURAR	
12	L1 04/06		19:58	0:45	100	148,83	18,950	3 DIAS	SIN CURAR	
2	L1 04/06		19:58	1:00	100	315,97	40,230	7 DIAS	SIN CURAR	
3	L1 04/06		19:58	1:15	100	302,85	38,560	7 DIAS	SIN CURAR	
5	L1 04/06		19:58	1:30	100	353,43	45,000	14 DIAS	SIN CURAR	
8	L1 04/06		19:58	1:45	100	355,24	45,230	14 DIAS	SIN CURAR	
54	L1 04/06		19:58	2:00	100	368,98	46,980	21 DIAS	SIN CURAR	
4	L1 04/06		19:58	2:15	100	371,97	47,360	21 DIAS	SIN CURAR	
6	L1 04/06		19:58	2:30	100	394,74	50,260	28 DIAS	SIN CURAR	
9	L1 04/06		19:58	2:45	100	407,15	51,840	28 DIAS	SIN CURAR	
Nota:										
 GABRIEL E. ANDRADE R										

 ECUATORIANA DE PREFABRICADOS REPORTE DE ACTIVIDADES – LABORATORIO										
RESPONSABLE:		GABRIEL E. ANDRADER.				FECHA:		03/07/2012		
						TURNO:		18:00 - 06:00		
ENSAYO DE COMPRESIÓN PARA 7, 14, 21, 28 DIAS										
MOLDE	CODIGO	FECHA	HORA DE TOMA	HORA ENSAYO	D (mm)	CARGA (KN)	RESISTENCIA (Mpa)	EDAD PROBETA	TIPO DE CURADO	
1	L1 05/06	03-jul	1:00	2:00	100	62,83	8,000	1 DIAS	SIN CURAR	
2	L1 05/06		1:00	2:30	100	64,06	8,156	1 DIAS	SIN CURAR	
3	L1 05/06		19:58	2:45	100	145,93	18,580	3 DIAS	SIN CURAR	
4	L1 05/06		19:58	2:49	100	145,30	18,500	3 DIAS	SIN CURAR	
5	L1 05/06		19:58	2:53	100	311,65	39,680	7 DIAS	SIN CURAR	
6	L1 05/06		19:58	2:57	100	328,69	41,850	7 DIAS	SIN CURAR	
7	L1 05/06		19:58	3:01	100	363,64	46,300	14 DIAS	SIN CURAR	
8	L1 05/06		19:58	3:05	100	355,24	45,230	14 DIAS	SIN CURAR	
9	L1 05/06		19:58	3:09	100	376,83	47,980	21 DIAS	SIN CURAR	
10	L1 05/06		19:58	3:13	100	384,61	48,970	21 DIAS	SIN CURAR	
11	L1 05/06		19:58	3:17	100	397,73	50,640	28 DIAS	SIN CURAR	
12	L1 05/06		19:58	3:21	100	409,19	52,100	28 DIAS	SIN CURAR	
Nota:										
 GABRIEL E. ANDRADE R										

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.



ECUATORIANA DE PREFABRICADOS
REPORTE DE ACTIVIDADES – LABORATORIO

RESPONSABLE: GABRIEL E. ANDRADE R. FECHA: 08/07/2012
TURNO: 18:00 - 06:00

ENSAYO DE COMPRESIÓN PARA 7, 14, 21, 28 DIAS

MOLDE	CODIGO	FECHA	HORA DE TOMA	HORA ENSAYO	D (mm)	CARGA (KN)	RESISTENCIA (Mpa)	EDAD PROBETA	TIPO DE CURADO
1	L1 10/06	08-jul	1:00	0:00	100	61,89	7,880	1 DIAS	SIN CURAR
2	L1 10/06		1:00	0:15	100	62,54	7,963	1 DIAS	SIN CURAR
3	L1 10/06		19:58	0:30	100	146,01	18,590	3 DIAS	SIN CURAR
4	L1 10/06		19:58	0:45	100	143,26	18,240	3 DIAS	SIN CURAR
5	L1 10/06		19:58	1:00	100	314,16	40,000	7 DIAS	SIN CURAR
6	L1 10/06		19:58	1:15	100	310,77	39,569	7 DIAS	SIN CURAR
7	L1 10/06		19:58	1:30	100	350,13	44,580	14 DIAS	SIN CURAR
8	L1 10/06		19:58	1:45	100	364,03	46,350	14 DIAS	SIN CURAR
9	L1 10/06		19:58	2:00	100	385,79	49,120	21 DIAS	SIN CURAR
10	L1 10/06		19:58	2:15	100	377,78	48,100	21 DIAS	SIN CURAR
11	L1 10/06		19:58	2:30	100	402,60	51,260	28 DIAS	SIN CURAR
12	L1 10/06		19:58	2:45	100	379,82	48,360	28 DIAS	SIN CURAR

Nota:

GABRIEL E. ANDRADE R



ECUATORIANA DE PREFABRICADOS
REPORTE DE ACTIVIDADES – LABORATORIO

RESPONSABLE: GABRIEL E. ANDRADE R. FECHA: 12/07/2012
TURNO: 18:00 - 06:00

ENSAYO DE COMPRESIÓN PARA 7, 14, 21, 28 DIAS

MOLDE	CODIGO	FECHA	HORA DE TOMA	HORA ENSAYO	D (mm)	CARGA (KN)	RESISTENCIA (Mpa)	EDAD PROBETA	TIPO DE CURADO
1	L1 14/06	12-jul	1:00	0:00	100	54,88	6,987	1 DIAS	SIN CURAR
2	L1 14/06		1:00	0:15	100	75,82	9,654	1 DIAS	SIN CURAR
3	L1 14/06		19:58	0:30	100	145,85	18,570	3 DIAS	SIN CURAR
4	L1 14/06		19:58	0:45	100	143,23	18,236	3 DIAS	SIN CURAR
5	L1 14/06		19:58	1:00	100	311,41	39,650	7 DIAS	SIN CURAR
6	L1 14/06		19:58	1:15	100	309,53	39,410	7 DIAS	SIN CURAR
7	L1 14/06		19:58	1:30	100	358,69	45,670	14 DIAS	SIN CURAR
8	L1 14/06		19:58	1:45	100	363,80	46,320	14 DIAS	SIN CURAR
9	L1 14/06		19:58	2:00	100	380,92	48,500	21 DIAS	SIN CURAR
10	L1 14/06		19:58	2:15	100	370,71	47,200	21 DIAS	SIN CURAR
11	L1 14/06		19:58	2:30	100	389,56	49,600	28 DIAS	SIN CURAR
12	L1 14/06		19:58	2:45	100	398,98	50,800	28 DIAS	SIN CURAR

Nota:

GABRIEL E. ANDRADE R



ECUATORIANA DE PREFABRICADOS
REPORTE DE ACTIVIDADES – LABORATORIO

RESPONSABLE: GABRIEL E. ANDRADE R. FECHA: 16/07/2012
TURNO: 18:00 - 06:00

ENSAYO DE COMPRESIÓN PARA 7, 14, 21, 28 DIAS

MOLDE	CODIGO	FECHA	HORA DE TOMA	HORA ENSAYO	D (mm)	CARGA (KN)	RESISTENCIA (Mpa)	EDAD PROBETA	TIPO DE CURADO
1	L1 18/06	16-jul	1:00	0:00	100	67,39	8,580	1 DIAS	SIN CURAR
2	L1 18/06		1:00	0:15	100	59,53	7,580	1 DIAS	SIN CURAR
3	L1 18/06		19:58	0:30	100	119,77	15,250	3 DIAS	SIN CURAR
4	L1 18/06		19:58	0:45	100	146,48	18,650	3 DIAS	SIN CURAR
5	L1 18/06		19:58	1:00	100	315,97	40,230	7 DIAS	SIN CURAR
6	L1 18/06		19:58	1:15	100	299,39	38,120	7 DIAS	SIN CURAR
7	L1 18/06		19:58	1:30	100	353,43	45,000	14 DIAS	SIN CURAR
8	L1 18/06		19:58	1:45	100	353,43	45,000	14 DIAS	SIN CURAR
9	L1 18/06		19:58	2:00	100	384,06	48,900	21 DIAS	SIN CURAR
10	L1 18/06		19:58	2:15	100	378,80	48,230	21 DIAS	SIN CURAR
11	L1 18/06		19:58	2:30	100	394,90	50,280	28 DIAS	SIN CURAR
12	L1 18/06		19:58	2:45	100	393,67	50,124	28 DIAS	SIN CURAR

Nota:

GABRIEL E. ANDRADE R

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.



ECUATORIANA DE PREFABRICADOS
REPORTE DE ACTIVIDADES – LABORATORIO

RESPONSABLE: GABRIEL E. ANDRADER. FECHA: 18/07/2012
TURNO: 18:00 - 06:00

ENSAYO DE COMPRESIÓN PARA 7, 14, 21, 28 DIAS

MOLDE	CODIGO	FECHA	HORA DE TOMA	HORA ENSAYO	D (mm)	CARGA (KN)	RESISTENCIA (Mpa)	EDAD PROBETA	TIPO DE CURADO
1	L1 20/06	18-jul	1:00	0:00	100	64,64	8,230	1 DIAS	SIN CURAR
2	L1 20/06		1:00	0:15	100	59,69	7,600	1 DIAS	SIN CURAR
3	L1 20/06		19:58	0:30	100	128,41	16,350	3 DIAS	SIN CURAR
4	L1 20/06		19:58	0:45	100	148,83	18,950	3 DIAS	SIN CURAR
5	L1 20/06		19:58	1:00	100	315,97	40,230	7 DIAS	SIN CURAR
6	L1 20/06		19:58	1:15	100	302,85	38,560	7 DIAS	SIN CURAR
7	L1 20/06		19:58	1:30	100	353,43	45,000	14 DIAS	SIN CURAR
8	L1 20/06		19:58	1:45	100	355,24	45,230	14 DIAS	SIN CURAR
9	L1 20/06		19:58	2:00	100	368,98	46,980	21 DIAS	SIN CURAR
10	L1 20/06		19:58	2:15	100	371,97	47,360	21 DIAS	SIN CURAR
11	L1 20/06		19:58	2:30	100	394,74	50,260	28 DIAS	SIN CURAR
12	L1 20/06		19:58	2:45	100	395,21	50,320	28 DIAS	SIN CURAR

Nota:

GABRIEL E. ANDRADE R



ECUATORIANA DE PREFABRICADOS
REPORTE DE ACTIVIDADES – LABORATORIO

RESPONSABLE: GABRIEL E. ANDRADER. FECHA: 21/07/2012
TURNO: 18:00 - 06:00

ENSAYO DE COMPRESIÓN PARA 7, 14, 21, 28 DIAS

MOLDE	CODIGO	FECHA	HORA DE TOMA	HORA ENSAYO	D (mm)	CARGA (KN)	RESISTENCIA (Mpa)	EDAD PROBETA	TIPO DE CURADO
1	L1 23/06	21-jul	1:00	0:00	100	64,64	8,230	1 DIAS	SIN CURAR
2	L1 23/06		1:00	0:15	100	59,69	7,600	1 DIAS	SIN CURAR
3	L1 23/06		19:58	0:30	100	128,41	16,350	3 DIAS	SIN CURAR
4	L1 23/06		19:58	0:45	100	148,83	18,950	3 DIAS	SIN CURAR
5	L1 23/06		19:58	1:00	100	315,97	40,230	7 DIAS	SIN CURAR
6	L1 23/06		19:58	1:15	100	302,85	38,560	7 DIAS	SIN CURAR
7	L1 23/06		19:58	1:30	100	353,43	45,000	14 DIAS	SIN CURAR
8	L1 23/06		19:58	1:45	100	355,24	45,230	14 DIAS	SIN CURAR
9	L1 23/06		19:58	2:00	100	368,98	46,980	21 DIAS	SIN CURAR
10	L1 23/06		19:58	2:15	100	371,97	47,360	21 DIAS	SIN CURAR
11	L1 23/06		19:58	2:30	100	394,74	50,260	28 DIAS	SIN CURAR
12	L1 23/06		19:58	2:45	100	407,15	51,840	28 DIAS	SIN CURAR

Nota:

GABRIEL E. ANDRADE R



ECUATORIANA DE PREFABRICADOS
REPORTE DE ACTIVIDADES – LABORATORIO

RESPONSABLE: GABRIEL E. ANDRADER. FECHA: 23/07/2012
TURNO: 18:00 - 06:00

ENSAYO DE COMPRESIÓN PARA 7, 14, 21, 28 DIAS

MOLDE	CODIGO	FECHA	HORA DE TOMA	HORA ENSAYO	D (mm)	CARGA (KN)	RESISTENCIA (Mpa)	EDAD PROBETA	TIPO DE CURADO
1	L1 25/06	23-jul	1:00	0:00	100	54,88	6,987	1 DIAS	SIN CURAR
2	L1 25/06		1:00	0:15	100	75,82	9,654	1 DIAS	SIN CURAR
3	L1 25/06		19:58	0:30	100	145,85	18,570	3 DIAS	SIN CURAR
4	L1 25/06		19:58	0:45	100	143,23	18,236	3 DIAS	SIN CURAR
5	L1 25/06		19:58	1:00	100	311,41	39,650	7 DIAS	SIN CURAR
6	L1 25/06		19:58	1:15	100	309,53	39,410	7 DIAS	SIN CURAR
7	L1 25/06		19:58	1:30	100	358,69	45,670	14 DIAS	SIN CURAR
8	L1 25/06		19:58	1:45	100	365,37	46,520	14 DIAS	SIN CURAR
9	L1 25/06		19:58	2:00	100	380,92	48,500	21 DIAS	SIN CURAR
10	L1 25/06		19:58	2:15	100	375,81	47,850	21 DIAS	SIN CURAR
11	L1 25/06		19:58	2:30	100	389,56	49,600	28 DIAS	SIN CURAR
12	L1 25/06		19:58	2:45	100	411,08	52,340	28 DIAS	SIN CURAR

Nota:

GABRIEL E. ANDRADE R

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

 ECUATORIANA DE PREFABRICADOS REPORTE DE ACTIVIDADES – LABORATORIO										
RESPONSABLE:		GABRIEL E. ANDRADER R.				FECHA:		26/07/2012		
						TURNO:		18:00 - 06:00		
ENSAYO DE COMPRESIÓN PARA 7, 14, 21, 28 DIAS										
MOLDE	CODIGO	FECHA	HORA DE TOMA	HORA ENSAYO	D (mm)	CARGA (KN)	RESISTENCIA (Mpa)	EDAD PROBETA	TIPO DE CURADO	
1	L1 28/06	26-jul	1:00	0:00	100	67,23	8,560	1 DIAS	SIN CURAR	
2	L1 28/06		1:00	0:15	100	75,82	9,654	1 DIAS	SIN CURAR	
3	L1 28/06		19:58	0:30	100	137,45	17,500	3 DIAS	SIN CURAR	
4	L1 28/06		19:58	0:45	100	143,23	18,236	3 DIAS	SIN CURAR	
5	L1 28/06		19:58	1:00	100	311,41	39,650	7 DIAS	SIN CURAR	
6	L1 28/06		19:58	1:15	100	309,53	39,410	7 DIAS	SIN CURAR	
7	L1 28/06		19:58	1:30	100	355,00	45,200	14 DIAS	SIN CURAR	
8	L1 28/06		19:58	1:45	100	363,80	46,320	14 DIAS	SIN CURAR	
9	L1 28/06		19:58	2:00	100	380,92	48,500	21 DIAS	SIN CURAR	
10	L1 28/06		19:58	2:15	100	370,71	47,200	21 DIAS	SIN CURAR	
11	L1 28/06		19:58	2:30	100	389,56	49,600	28 DIAS	SIN CURAR	
12	L1 28/06		19:58	2:45	100	398,98	50,800	28 DIAS	SIN CURAR	
Nota:										
 GABRIEL E. ANDRADE R.										

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

Como resumen de los resultados obtenido con una media aritmética tenemos:

Tabla 28.- Cuadro de resumen de Resistencia a la compresión sin curado $f'c = 50$ Mpa

SIN CURAR	
RESISTENCIA	TIEMPO
$f'cc$ (MPa)	t(días)
8,00	1,00
18,00	3,00
39,00	7,00
45,00	14,00
48,00	21,00
50,00	28,00

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

3.5.3.- RESULTADOS DEL HORMIGÓN (CURVA RESISTENCIA VS TIEMPO) EN ELEMENTOS PREFABRICADOS DE CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA CURADO EN AGUA.

Los resultados de ensayos a compresión con $f'_c = 50$ Mpa curados con agua son los siguientes durante el mes de Julio del 2012:



ECUATORIANA DE PREFABRICADOS
REPORTE DE ACTIVIDADES – LABORATORIO

RESPONSABLE: GABRIEL E. ANDRADE R. FECHA: 21/07/2012
TURNO: 18:00 - 06:00

ENSAYO DE COMPRESIÓN PARA 7, 14, 21, 28 DIAS

MOLDE	CODIGO	FECHA	HORA DE TOMA	HORA ENSAYO	D (mm)	CARGA (KN)	RESISTENCIA (Mpa)	EDAD PROBETA	TIPO DE CURADO
1	L1 23/06	21-jul	1:00	0:00	100	192,42	24,500	1 DIAS	AGUA
2	L1 23/06		1:00	0:15	100	188,57	24,010	1 DIAS	AGUA
3	L1 23/06		19:58	0:30	100	237,58	30,250	3 DIAS	AGUA
4	L1 23/06		19:58	0:45	100	240,18	30,580	3 DIAS	AGUA
5	L1 23/06		19:58	1:00	100	382,96	48,760	7 DIAS	AGUA
6	L1 23/06		19:58	1:15	100	390,97	49,780	7 DIAS	AGUA
7	L1 23/06		19:58	1:30	100	434,80	55,360	14 DIAS	AGUA
8	L1 23/06		19:58	1:45	100	437,47	55,700	14 DIAS	AGUA
9	L1 23/06		19:58	2:00	100	479,88	61,100	21 DIAS	AGUA
10	L1 23/06		19:58	2:15	100	489,70	62,350	21 DIAS	AGUA
11	L1 23/06		19:58	2:30	100	522,97	66,587	28 DIAS	AGUA
12	L1 23/06		19:58	2:45	100	489,73	62,354	28 DIAS	AGUA

Nota:

GABRIEL E. ANDRADE R



ECUATORIANA DE PREFABRICADOS
REPORTE DE ACTIVIDADES – LABORATORIO

RESPONSABLE: GABRIEL E. ANDRADE R. FECHA: 23/07/2012
TURNO: 18:00 - 06:00

ENSAYO DE COMPRESIÓN PARA 7, 14, 21, 28 DIAS

MOLDE	CODIGO	FECHA	HORA DE TOMA	HORA ENSAYO	D (mm)	CARGA (KN)	RESISTENCIA (Mpa)	EDAD PROBETA	TIPO DE CURADO
1	L1 25/06	23-jul	1:00	0:00	100	183,78	23,400	1 DIAS	AGUA
2	L1 25/06		1:00	0:15	100	184,88	23,540	1 DIAS	AGUA
3	L1 25/06		19:58	0:30	100	237,27	30,210	3 DIAS	AGUA
4	L1 25/06		19:58	0:45	100	247,72	31,540	3 DIAS	AGUA
5	L1 25/06		19:58	1:00	100	382,25	48,670	7 DIAS	AGUA
6	L1 25/06		19:58	1:15	100	381,63	48,590	7 DIAS	AGUA
7	L1 25/06		19:58	1:30	100	433,93	55,250	14 DIAS	AGUA
8	L1 25/06		19:58	1:45	100	434,80	55,360	14 DIAS	AGUA
9	L1 25/06		19:58	2:00	100	489,70	62,350	21 DIAS	AGUA
10	L1 25/06		19:58	2:15	100	475,48	60,540	21 DIAS	AGUA
11	L1 25/06		19:58	2:30	100	513,45	65,374	28 DIAS	AGUA
12	L1 25/06		19:58	2:45	100	491,50	62,580	28 DIAS	AGUA

Nota:

GABRIEL E. ANDRADE R



ECUATORIANA DE PREFABRICADOS
REPORTE DE ACTIVIDADES – LABORATORIO

RESPONSABLE: GABRIEL E. ANDRADE R. FECHA: 26/07/2012
TURNO: 18:00 - 06:00

ENSAYO DE COMPRESIÓN PARA 7, 14, 21, 28 DIAS

MOLDE	CODIGO	FECHA	HORA DE TOMA	HORA ENSAYO	D (mm)	CARGA (KN)	RESISTENCIA (Mpa)	EDAD PROBETA	TIPO DE CURADO
1	L1 28/06	26-jul	1:00	0:00	100	188,59	24,012	1 DIAS	AGUA
2	L1 28/06		1:00	0:15	100	191,29	24,356	1 DIAS	AGUA
3	L1 28/06		19:58	0:30	100	234,68	29,880	3 DIAS	AGUA
4	L1 28/06		19:58	0:45	100	235,31	29,960	3 DIAS	AGUA
5	L1 28/06		19:58	1:00	100	373,54	47,560	7 DIAS	AGUA
6	L1 28/06		19:58	1:15	100	386,50	49,210	7 DIAS	AGUA
7	L1 28/06		19:58	1:30	100	395,51	50,358	14 DIAS	AGUA
8	L1 28/06		19:58	1:45	100	458,16	58,334	14 DIAS	AGUA
9	L1 28/06		19:58	2:00	100	471,24	60,000	21 DIAS	AGUA
10	L1 28/06		19:58	2:15	100	481,09	61,254	21 DIAS	AGUA
11	L1 28/06		19:58	2:30	100	499,16	63,555	28 DIAS	AGUA
12	L1 28/06		19:58	2:45	100	523,34	66,633	28 DIAS	AGUA

Nota:

GABRIEL E. ANDRADE R

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P

Tabla 30.- Cuadro de resumen de Resistencia a la compresión curado en agua $f'c = 50$ Mpa

CURADO EN AGUA	
RESISTENCIA	TIEMPO
f'_{cc} (MPa)	t(días)
24,00	1,00
30,00	3,00
48,00	7,00
55,00	14,00
61,00	21,00
65,00	28,00

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P

3.6.- RESUMEN DE RESULTADOS Y RELACIÓN ENTRE LOS DISTINTOS MÉTODOS DE CURADO.

Tabla 31.- Resultados de resistencia a la compresión en un hormigón $f'c = 50$ MPa curados en agua, a vapor y sin curar.

RESULTADOS PROMEDIO EXPERIMENTALES DE LOS DIFERENTES TIPOS DE CURADO DEL HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA $f'c = 50$ Mpa					
CURADO A VAPOR		CURADO EN AGUA		SIN CURAR	
RESISTENCIA	TIEMPO	RESISTENCIA	TIEMPO	RESISTENCIA	TIEMPO
f'_{cc} (MPa)	t(días)	f'_{cc} (MPa)	t(días)	f'_{cc} (MPa)	t(días)
35,00	1,00	24,00	1,00	8,00	1,00
37,00	3,00	30,00	3,00	18,00	3,00
40,00	7,00	48,00	7,00	39,00	7,00
47,00	14,00	55,00	14,00	45,00	14,00
50,00	21,00	61,00	21,00	48,00	21,00

52,00	28,00	65,00	28,00	50,00	28,00
-------	-------	-------	-------	-------	-------

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

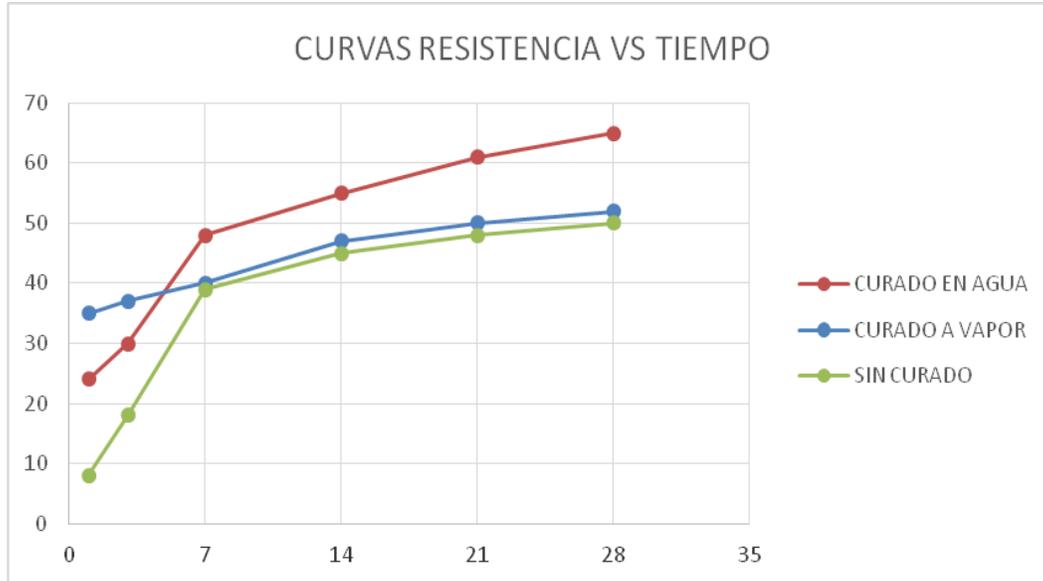


Figura 57.- Diferentes tipos de curado en elementos prefabricados

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

Se observa en el gráfico que las altas resistencias tempranas son las que predominan en el curado a vapor marcado en la fig. 59 con color azul.

Cuando el hormigón tiene una maduración de 5 días aproximadamente el curado en agua alcanza mayores resistencias que el curado a vapor.

El curado en agua alcanza resistencias mayores a la especificada a los 28 días, esto quiere decir que la humectación continua durante los 28 días de maduración del hormigón aumenta drásticamente la resistencia a la compresión y el curado en agua es el más apropiado cuando se necesita por ejemplo desencofrar en obra los elementos estructurales de hormigón sean estos columnas, vigas, losas, bordillos, etc.

CAPITULO IV

4. DISCUSIÓN

Durante el curado a vapor se discute sobre las constantes y variables que intervienen en el mismo como son la humedad final de mezcla, la temperatura y presión de vapor en curado, así como la resistencia antes y después de este proceso.

4.1.- DISCUSION DE LA HUMEDAD FINAL DE LA MEZCLA.

Es importante para obtener la resistencia final $f'c = 50$ MPa (NTE INEN 1 578) (*Anexo 2*), mantener en lo posible la relación agua-cemento, en caso de corregir el agua por humedad aumentar el cemento aunque no se necesite muchas correcciones de este tipo ya que el porcentaje de aditivo y la reducción de agua son altas, por tanto existe trabajabilidad en el hormigón alrededor de 10 minutos, en este lapso de tiempo ya se lo debe vibrar, caso contrario comienza un fraguado inicial en el mismo que al momento de la vibración dejaría espacios vacíos que afectan la calidad del concreto y tendrá mayor riesgo de fisuración.

Para ello se tiene que el Hidro- Control V posee una programación en la cual me indica el porcentaje de humedad la cual se debe mantener en lo posible constante para que todos los elementos prefabricados tengan la misma calidad en producto terminado, no exceder esta relación de agua-materiales cementicios entre 0.4 y 0.45, es decir en la dosificación inicial entre 200 y 225 lts. de agua por 500 kg. de cemento tipo 10 P.

Como el aditivo que se utiliza es un superplastificante – reductor de agua está relación baja hasta un promedio de 0.35 a 0.40 para asegurar la resistencia final especificada $f'c$, es decir que se debe establecer el agua entre 175 y 200 lts. de agua, el aditivo acelera el fraguado y se mantiene la humedad final de la mezcla entre 10.6% y 10.7% calculado en el programa del mixer Hidro – Control V, ya que estos resultados son experimentales y tienen validez con relación a las resistencias a la compresión en 7 y 28 días.

4.2.- DISCUSION DE LA TEMPERATURA DE CURADO.

Se discute la temperatura de curado del presente proyecto con varios resultados experimentales en elementos prefabricados de hormigón pretensado, no existen normas de calidad en cuanto a la temperatura de curado que se debe establecer durante este proceso.

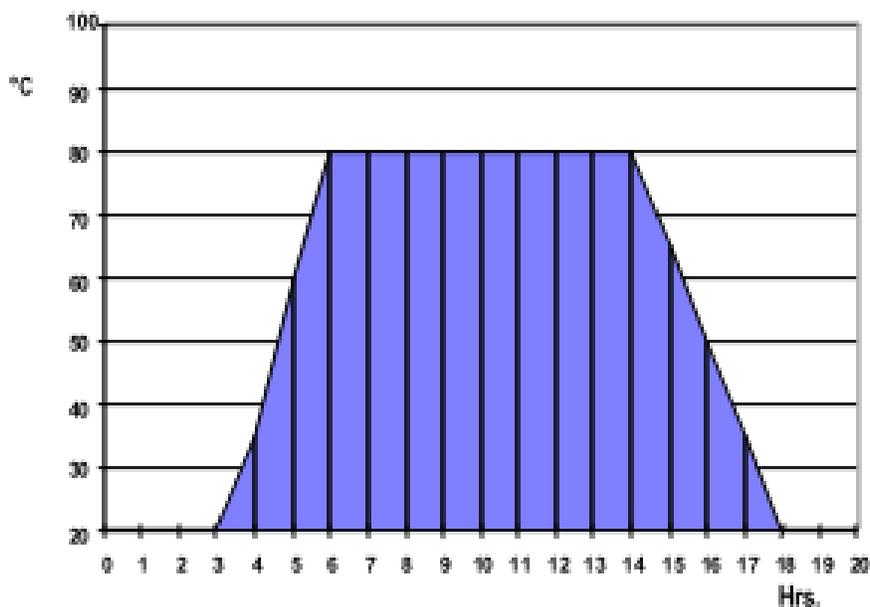


Figura 58.- Proceso de curado a vapor

Fuente: <http://www.anippac.org.mx/capitulo06.pdf>

Como se indica en la figura la curva de temperatura en función de tiempo de curado es una curva aproximada de datos experimentales en elementos prefabricados, y la diferencia con el proceso en Ecuatoriana de Prefabricados para un hormigón de alta resistencia $f'c = 50$ MPa es:

4.2.1- DIFERENCIAS EN LA CURVA TEMPERATURA EN FUNCIÓN DEL TIEMPO SEGÚN DATOS BIBLIOGRÁFICOS Y EXPERIMENTALES.

El proceso que se realiza para el efecto de estudio en cuanto a la temperatura de curado

es el siguiente:

- Después del colado se debe esperar de 1 a 2 horas hasta que el concreto alcance su fraguado inicial, protegiéndolo con una carpa o cobertor para evitar la deshidratación de la superficie, aquí se mantiene en una temperatura ambiente.
- Se eleva la temperatura hasta 60° ó 65° C durante dos horas.
- El proceso de vaporizado durará de 3 a 5 horas manteniendo la temperatura entre 60° y 70° C.
- Seguirá un período de enfriamiento gradual cubriendo al elemento para lograr que el enfriamiento sea más lento y uniforme.
- La duración total del proceso es de 7 a 8 horas aproximadamente tomando el enfriamiento entre 30 minutos y una hora.

Todo este proceso se lo analiza según datos experimentales, las curvas tienen el siguiente comportamiento:

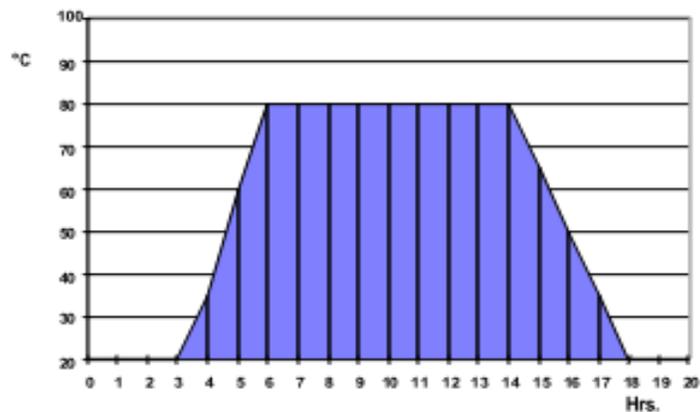


Figura 58.- Proceso de curado a vapor

Fuente: <http://www.anippac.org.mx/capitulo06.pdf>

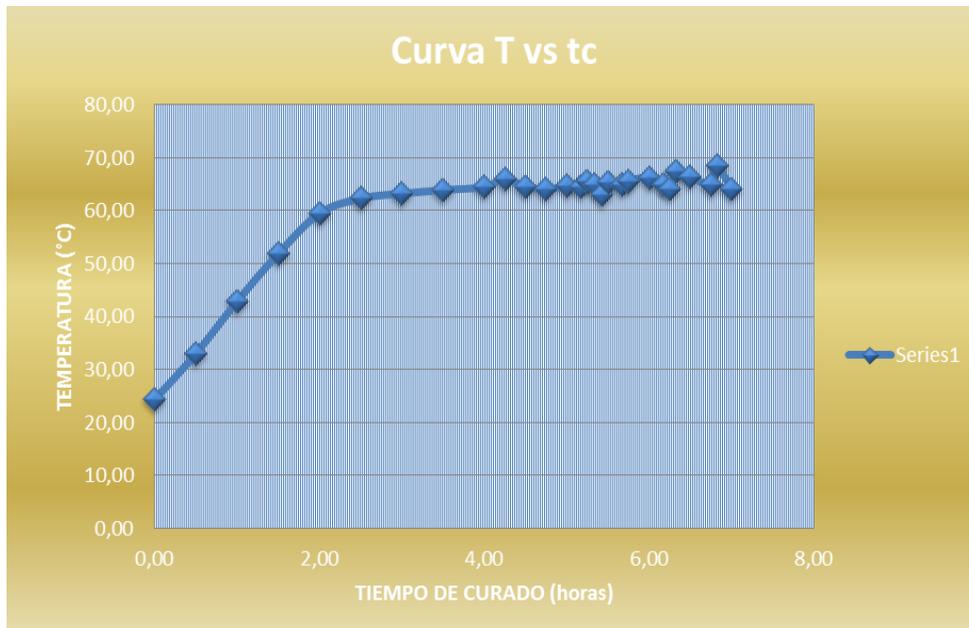


Figura 59.- Proceso de curado a vapor curva Temperatura vs tiempo de curado

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

Comparando estas 2 gráficas con datos experimentales se puede observar una reducción considerable en el tiempo y gráficamente observamos que:

1. Un proceso que estima un tiempo de 14 horas de curado se reduce en el presente proyecto drásticamente a 7 horas aproximadamente, es decir el 50% menos en tiempo, lo que aumentaría el número de elementos prefabricados en producción masiva.
2. En la figura 54 la temperatura tiende a crecer linealmente hasta un tiempo de 6 horas alrededor de 20° C por cada hora, lo cual no pasa con la figura 55 que crece hasta un tiempo de 2 horas aproximadamente a razón igual de 20°C por cada hora.
3. La temperatura máxima de curado es de 80°C en el primer proceso, en el segundo llega entre 60°C y 70°C.
4. En este proyecto se alcanza la máxima temperatura de curado 4 horas antes que datos experimentales de prefabricados antes realizados.

4.3.- DISCUSIÓN SOBRE EL TIEMPO DE FRAGUADO DEL HORMIGÓN PARA EXTRACCIÓN DE SEPARADORES.

El tiempo de fraguado en este proyecto oscila entre 1 y 2 horas después de colar y vibrar el hormigón, por parte experimental y de campo podemos decir que mientras el fraguado sea más acelerado (inclusión de aditivo acelerante) el curado empezará en un tiempo más corto, lo que aumentaría aún más la producción de estos elementos de alta resistencia.

Lo ideal para este proyecto es manejarse con una temperatura constante optimizando el tiempo de curado.

4.4.- DISCUSIÓN SOBRE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DURANTE EL PROCESO DE CURADO A VAPOR CON EL TIEMPO DE CURADO SEGÚN RESULTADOS EXPERIMENTALES.



Figura 60.- Ensayo de Resistencia a la compresión Carga vs Tiempo

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

La resistencia durante el curado a vapor varía con el tiempo, esta resistencia aumenta a medida que la temperatura se estabilice y sea lo más constante posible, este tiempo debe ser capaz de cumplir los requerimientos de resistencia a la compresión y mediante el modelo matemático buscar el momento propicio para detener este proceso de curado.

De los resultados obtenidos el tiempo que más se ajusta a un modelo matemático es el siguiente:

$$t_c = 17.786 - 2.1189.R + 0.10171.R^2 - 0.0014092.R^3$$

Este modelo de regresión lineal nos muestra que la resistencia aproximada de 23 MPa que se toma como mínima resistencia para detener el proceso se encuentra en el rango de 5.73 MPa hasta 6.22 MPa (tabla 24), lo cual indica que en 6 horas se asegura parar el proceso alcanzando la calidad de hormigón necesaria para estos elementos prefabricados.

Tabla 32.- Influencia del tiempo de curado a partir de la resistencia

RESISTENCIA	TIEMPO DE CURADO
f'cc (MPa)	tc(horas)
14,84	3,93
14,53	3,86
18,52	4,76
19,93	5,08
19,90	5,08
23,49	5,89
22,83	5,74
23,20	5,82
24,32	6,07
23,17	5,81
24,63	6,14
22,80	5,73
23,26	5,84
24,85	6,19
24,98	6,22
24,24	6,06
24,15	6,04
24,86	6,20
24,33	6,08
23,48	5,88

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

4.5.- DISCUSIÓN ENTRE LOS DISTINTOS MÉTODOS DE CURADO

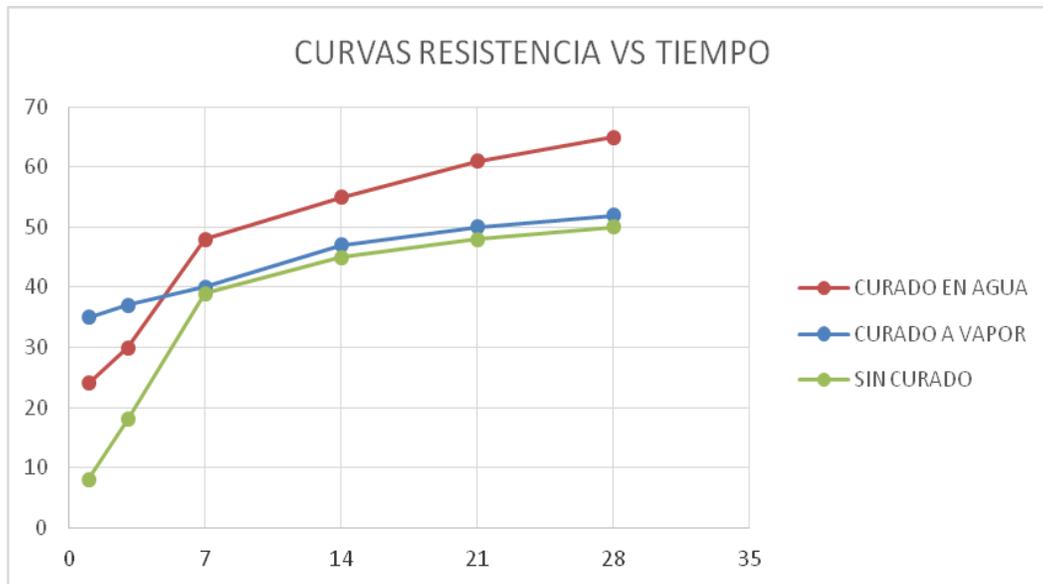


Figura 61.- Relación entre los distintos tipos de curado para elementos prefabricados

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

Se observa en el gráfico que las altas resistencias tempranas son las que predominan en el curado a vapor marcado en la fig. 59 con color azul.

Cuando el hormigón tiene una maduración de 5 días aproximadamente el curado en agua alcanza mayores resistencias que el curado a vapor.

El curado en agua alcanza resistencias mayores a la especificada a los 28 días, esto quiere decir que la humectación continua durante los 28 días de maduración del hormigón aumenta drásticamente la resistencia a la compresión y el curado en agua es el más apropiado cuando se necesita por ejemplo desencofrar en obra los elementos estructurales de hormigón sean estos columnas, vigas, losas, bordillos, etc.

4.6.- DISCUSIÓN SOBRE LOS BENEFICIOS DE LA INVESTIGACIÓN

En cuanto a los beneficios que existen de la presente investigación en el sector de la construcción se puede mencionar el alto grado de importancia que brinda el curado a vapor

en elementos prefabricados de hormigón, entre estos se discute los siguientes:

- *Fabricación de durmientes de hormigón pretensado.*- Son el motivo de estudio y análisis en esta investigación, se utiliza un aditivo acelerante superplastificante (Ergomix 5500), que permite trabajabilidad en el hormigón con asentamientos hasta de 23 cm, máximo que muestra la norma para ensayo de Cono de Abrams durante un tiempo de 10 min. aproximadamente después de finalizar la mezcla de hormigón.

Además se utiliza un cemento especial para este tipo de elementos en producción masiva ya que tipo 10 P el cual acelera el fraguado, la temperatura alta y la humectación continua del hormigón permite el excelente acabado o terminado de su superficie, el riesgo está en el cambio brusco de temperatura que producirá al final un choque térmico que provoca fisuras en el hormigón.

- *Vigas, columnas y paneles prefabricados de hormigón pretensado.*- Para este tipo de elementos en producción masiva se necesita de este tipo de curado ya que cumplen una función similar a los durmientes de hormigón pretensado. Son también elementos en que se debe controlar su calidad sometidos a esfuerzos de compresión y flexión.
- *Fabricación de adoquines y bordillos.*- Para los primeros se debe tomar muy en cuenta que la mezcla que se produce es generalmente seca, se puede utilizar el mismo tipo de cemento especial con las características presentadas en esta investigación, para el tipo de curado dependerá del número de elementos de fabricación y el rendimiento de las máquinas adoquineras, por ejemplo: Si se produce a razón de 500 elementos por hora hablaríamos de una producción continua de 12000 adoquines en el día, esto si permitiría que el curado sea a vapor realizando un estudio en el tema de costos de producción, caso contrario se optaría por un curado en piscinas de agua lo que comprometería más al almacenamiento de dicho producto. Para la fabricación de bordillos es algo similar a lo expuesto anteriormente.

CAPITULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se hace hincapié en las conclusiones del presente proyecto que responden al cumplimiento de los objetivos principales que han guiado el desarrollo de la investigación.

Además el trabajo realizado ha sido en un porcentaje más alto experimental y productivo, estableciendo sugerencias y recomendaciones para el futuro en la producción de elementos prefabricados de hormigón de alta resistencia.

5.1.- CONCLUSIONES:

Después de obtener los resultados experimentales entre tiempo de curado, temperatura, resistencia, tiempo de fraguado y humedad final de la mezcla de hormigón se ha llegado a optimizar resultados.

Los modelos matemáticos adoptados para optimizar el proceso se cristalizan mediante las siguientes fórmulas:

$$t_c = 17.786 - 2.1189.R + 0.10171.R^2 - 0.0014092.R^3 \quad (1)$$

$$t_c = -12.106 + 0.94043.T - 0.022899.T^2 + 0.000187.T^3 \quad (2)$$

Los resultados optimizados encontrados se detallan a continuación:

- La humedad óptima final promedio es 10.65%.
- El tiempo de fraguado óptimo promedio es de 1 hora con 21 minutos.
- La resistencia a la compresión oscila entre 23 y 25 MPa, modelo de regresión lineal nos muestra que la resistencia aproximada de 23 MPa que se toma

como mínima resistencia para detener el proceso se encuentra en el rango de 5.73 MPa hasta 6.22 MPa.

- El dato óptimo de resistencia se toma como el mínimo valor de tiempo de curado de 5.73 horas con una resistencia a la compresión durante el curado $f'_{cc} = 22.80$ utilizando la fórmula 1 llegando a cumplir con requerimientos de calidad a los 28 días del hormigón.

5.2.- RECOMENDACIONES

Poner mayor énfasis en el curado del hormigón que es la base fundamental de su calidad y del producto terminado.

Implementar un estricto control en las variables y constantes del proceso de curado para que cumplan con los requerimientos de calidad y rendimiento.

Realizar diversas pruebas de hormigones de alta resistencia con este tipo de aditivos acelerantes, superplastificantes y reductores de agua.

Se recomienda aplicar este tipo de curado en otros elementos prefabricados de producción masiva.

CAPITULO VI

6. PROPUESTA

6.1 TITULO DE LA PROPUESTA

Incremento de la producción de elementos prefabricados de resistencia a la compresión $f^c = 50$ MPa con la optimización del tiempo de curado a vapor.

6.2 INTRODUCCIÓN

El estudio que se desarrolla en el presente trabajo tiene su campo de acción en elementos prefabricados de hormigón.

Los elementos prefabricados es en la actualidad uno de los más importantes recursos en la rama de la Ingeniería, su propósito es reducir el tiempo de construcción, optimizando costos, además su precisión geométrica, el empleo de maquinarias de producción permite una buena calidad probada y constante de los materiales que son determinados, dosificados y controlados, reducción en los plazos de ejecución, reducción de equipos de obra (andamios, encofrados, etc.), secciones con mayor resistencia, mano de obra especializada, economía y en cuanto a la posibilidad de aplicar técnicas de pretensado, curado acelerado, que es motivo de la presente investigación.

El tipo de curado utilizado en la fabricación de estos elementos es acelerado a vapor, aunque no existe en realidad suficiente información experimental y científica de este tema en el proceso de prefabricación, sino más bien ha empleado el vapor de agua que es el más utilizado, éste no sólo es una fuente de calor efectiva, sino que pone a disposición la humedad necesaria para la hidratación.

El proceso del cual depende la productividad es el curado.

6.3 OBJETIVOS.

6.3.1.- General.

- Incrementar la producción de elementos prefabricados de resistencia a la compresión $f^c = 50$ MPa con la optimización del tiempo de curado a vapor.

6.3.2.- Específicos.

- Escoger un tiempo de curado a vapor que permita aumentar la producción de elementos prefabricados de hormigón de alta resistencia.
- Verificar los tiempos de producción actuales en Ecuatoriana de Prefabricados con los datos experimentales.
- Considerar el tiempo de curado a vapor para optimizar la producción.
- Realizar un plan de Control de Calidad para dar un seguimiento al proceso de curado a vapor.

6.4 FUNDAMENTACION CIENTIFICA - TÉCNICA:

6.4.1.- CURADO A VAPOR EN ELEMENTOS PREFABRICADOS.

De los métodos de curado, el empleo de vapor de agua es el más utilizado en la industria de los prefabricados ya que el vapor de agua no sólo es una fuente de calor efectiva, sino que brinda la humedad necesaria para la hidratación y desarrollar una resistencia temprana al hormigón. Antes de comenzar a aplicar vapor de agua debe tener lugar la fase de asentamiento, ya que con una aplicación demasiado temprana de calor, puede echarse a perder el desarrollo de la resistencia.

La resistencia a la compresión de un concreto curado con vapor no es tan alta como la de un concreto semejante curado continuamente en condiciones de humedad con temperaturas moderadas.

El procedimiento de curado a vapor debe poseer una atención muy cuidadosa para obtener resultados uniformes y satisfactorios, en este caso se debe evitar pérdida de humedad durante este proceso.

6.4.2.- FRAGUADO DEL HORMIGÓN.

Cuando el cemento y el agua entran en contacto, se inicia una reacción química exotérmica que determina el paulatino endurecimiento de la mezcla. Dentro del proceso general de endurecimiento se presenta un estado en que la mezcla pierde apreciablemente su plasticidad y se vuelve difícil de manejar; tal estado corresponde al fraguado inicial de la mezcla. A medida que se produce el endurecimiento normal de la mezcla, se presenta un nuevo estado en el cual la consistencia ha alcanzado un valor muy apreciable; este estado se denomina fraguado final.

6.4.3.- CALIDAD DEL HORMIGÓN.

La calidad del hormigón depende fundamentalmente de su resistencia a la compresión, durabilidad y estabilidad volumétrica.

Su aceptabilidad se mide en su resistencia a la rotura por compresión f'_c mediante pruebas en cilindros normalizados (NTE INEN 1 573). En este caso los cilindros tienen un diámetro de 100 mm y una altura de 200 mm los mismos que se someten a esfuerzos de compresión en la prensa hasta conseguir su rotura.

6.4.4.- TIEMPOS EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE ELEMENTOS PREFABRICADOS $F'_c=50$ MPa.

Tabla 33.- PROCESO DE PRODUCCIÓN DE UNA LÍNEA DE ELEMENTOS PREFABRICADOS

PROCESO DE PRODUCCIÓN DE UNA LÍNEA DE ELEMENTOS PREFABRICADOS		
N°	PROCESO	TIEMPO EMPLEADO PROMEDIO
1	LIMPIEZA DE MOLDES	2,00
2	COLOCACIÓN SEPARADORES	0,50
3	COLOCACIÓN DESMOLDANTE	0,50
4	TENDIDO DE CABLES	1,00
5	TENSADO DE CABLES	0,50
6	HORMIGONADO	2,00
7	FRAGUADO	1,50
8	CURADO	6,00
9	POST-CURADO	1,00
10	DESMOLDE	2,00
TOTAL TIEMPO EMPLEADO :		17,00

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

Tabla 34.- MODELO DE PROCESO PROPUESTO DE PRODUCCIÓN DE UNA LÍNEA DE ELEMENTOS PREFABRICADOS

MODELO DE PROCESO PROPUESTO DE PRODUCCIÓN DE UNA LÍNEA DE ELEMENTOS PREFABRICADOS		
N°	PROCESO	TIEMPO EMPLEADO PROMEDIO
1	LIMPIEZA DE MOLDES	2,00
2	COLOCACIÓN SEPARADORES	0,50
3	COLOCACIÓN DESMOLDANTE	0,50
4	TENDIDO DE CABLES	1,00
5	TENSADO DE CABLES	0,50
6	HORMIGONADO	2,00
7	FRAGUADO	1,35
8	CURADO	5,73
9	POST-CURADO	0,50
10	DESMOLDE	2,00
TOTAL TIEMPO EMPLEADO :		16,08

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

Estos son datos aproximados de tiempos de producción en una línea de 320 elementos

prefabricados de hormigón pretensado.

6.5 DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA

En el día se ejecutan actualmente hasta 2 líneas diarias durante estas 17 horas, haciendo un cálculo del aumento de la producción tenemos:

Tabla 35.- PORCENTAJE DE AUMENTO DE LA PRODUCCIÓN DE ELEMENTOS PREFABRICADOS.

LÍNEA	N° ELEMENTOS	TIEMPO EMPLEADO	NÚMERO DE ELEMENTOS PRODUCIDOS			AUMENTO DE ELEMENTOS PRODUCIDOS	PORCENTAJE DE AUMENTO DE PRODUCCIÓN
		HORAS	DÍA	MES	AÑO		
1	320	17	451,76	13552,94	162635,29	9305,00439	5.72
2	320	16,08	477,61	14328,36	171940,30		

El porcentaje aproximado de aumento de elementos prefabricados en beneficio de la Cemento Chimborazo C.A. sería del 5.72%.

6.6. DISEÑO ORGANIZACIONAL

La institución donde se realizó el tema de investigación es Cemento Chimborazo, la

misma que está interesada en nuestra propuesta con los resultados obtenidos.

La estructura orgánica y funcional que ejecutará la propuesta se conforma de:

ORGANIGRAMA GENERAL DE LA PLANTA DE PREFABRICADOS

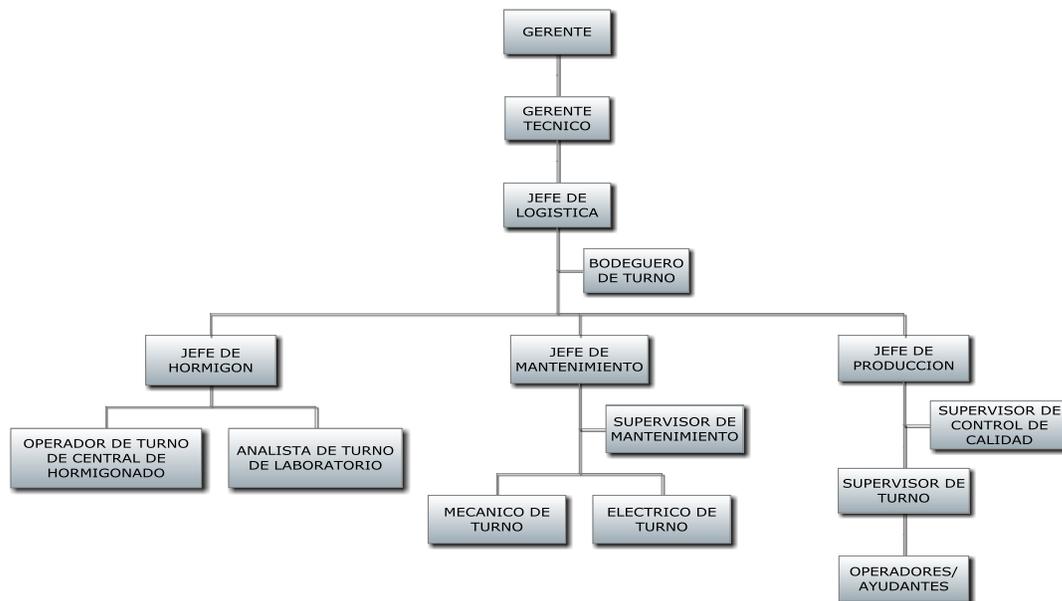


Figura 61.- ORGANIGRAMA GENERAL DE LA PLANTA DE PREFABRICADOS

Elaborado por: Gabriel E. Andrade R.
Carlos I. Mosquera P.

6.7.- MONITOREO Y EVALUACION DEL PROYECTO.

Los beneficios y ventajas de utilizar los métodos aplicados de optimización en este proyecto considerando como la variable dependiente al tiempo de curado es el aumento de producción.

El control de la calidad del hormigón de alta resistencia optimizando su curado beneficia para evitar el sobredimensionamiento de elementos prefabricados.

6.8.- PROPUESTAS FUTURAS Y BENEFICIOS DE LA INVESTIGACIÓN

En cuanto a los beneficios que existen de la presente investigación en el sector de la construcción se puede mencionar el alto grado de importancia que brinda el curado a vapor en elementos prefabricados de hormigón, entre estos se discute los siguientes:

- *Fabricación de durmientes de hormigón pretensado.*- Son el motivo de estudio y análisis en esta investigación, se utiliza un aditivo acelerante superplastificante (Ergomix 5500), que permite trabajabilidad en el hormigón con asentamientos hasta de 23 cm, máximo que muestra la norma para ensayo de Cono de Abrams durante un tiempo de 10 min. aproximadamente después de finalizar la mezcla de hormigón.

Además se utiliza un cemento especial para este tipo de elementos en producción masiva ya que tipo 10 P el cual acelera el fraguado, la temperatura alta y la humectación continua del hormigón permite el excelente acabado o terminado de su superficie, el riesgo está en el cambio brusco de temperatura que producirá al final un choque térmico que provoca fisuras en el hormigón.

- *Vigas, columnas y paneles prefabricados de hormigón pretensado.*- Para este tipo de elementos en producción masiva se necesita de este tipo de curado ya que cumplen una función similar a los durmientes de hormigón pretensado. Son también elementos en que se debe controlar su calidad sometidos a esfuerzos de compresión y flexión.
- *Fabricación de adoquines y bordillos.*- Para los primeros se debe tomar muy en cuenta que la mezcla que se produce es generalmente seca, se puede utilizar el mismo tipo de cemento especial con las características presentadas en esta investigación, para el tipo de curado dependerá del número de elementos de fabricación y el rendimiento de las máquinas adoquineras, por ejemplo: Si se produce a razón de 500 elementos por hora hablaríamos de una producción continua de 12000 adoquines en el día, esto si permitiría que el curado sea a vapor realizando un estudio en el tema de costos de producción, caso contrario se optaría por un curado en piscinas de agua lo que comprometería más al almacenamiento de dicho producto. Para la fabricación de bordillos es algo similar a lo expuesto anteriormente.

Con estos estudios realizados se puede proponer que se realice un curado a vapor en otros

elementos prefabricados como bordillos, adoquines, paneles, vigas y columnas siempre y cuando la resistencia a la compresión sea de $f'c=50$ Mpa y la producción sea masiva controlando los costos en la producción y la dosificación tenga las mismas características de la presente investigación.

CAPITULO VII

7.- BIBLIOGRAFÍA

- 1) ACI International. CERTIFICACIÓN DEL ACI. TÉCNICO Y EL ACABADOR DE SUPERFICIES PLANAS DE CONCRETO. Quinta Edición. 2002
- 2) Suárez Chacón Vinicio. Elaboración Y Curado En Obra De Especímenes De Hormigón Para Pruebas De Compresión. NORMA ASTM C 31., pp59-65.
- 3) Comité de los programa de certificación ACI. Manual del artesano. 2002. Apéndice. Definiciones. Pp.111-112. A17.
- 4) Comité de los programa de certificación ACI. Manual del artesano 2002. Curado y protección del concreto. Pp.88-96.
- 5) Comité ACI 318. Requisitos De Reglamento Para Concreto Estructural. ACI318-05. Curado a vapor. Cap.5.
- 6) http://construestruconcreto.webpin.com/785751_4-5-Curado-del-concreto.html
- 7) <http://www.arqui.com/images/ARTICU20.html>
- 8) <http://www.buenastareas.com/ensayos/Curado-a-Vapor/2384111.html>
- 9) <http://www.construmatica.com/construpedia/Ventajas>
- 10) <http://www.arqhys.com/construccion/los-prefabricados.html>
- 11) <http://www.arqhys.com/construccion/concreto-fraguado.html>
- 12) HORMIGÓN ARMADO. José Camposano Luque. 2008.
- 13) Arias Cabezas José María. Maza Sáez Idelfonso. Programación lineal. Álgebra 5. Editorial Bruño.

14) Norma NTE INEN 1 573:2010. Hormigón de Cemento Hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico.

15) Norma NTE INEN 1 576:2010. Hormigón de Cemento Hidráulico. Elaboración y curado en obra de especímenes para ensayo.

16) Norma NTE INEN 1 578:2010. Hormigón de Cemento Hidráulico. Determinación del Asentamiento.

17) Norma ASTM C32. Elaboración y Curado en obra de especímenes de hormigón hidráulico.

CAPITULO VIII

8.- ANEXOS

ANEXO 1

“NORMA ACI 318-05 CAP. 5.11”

ANEXO 2

**“CARACTERÍSTICAS DEL CEMENTO
TIPO 10P PARA ELEMENTOS DE
HORMIGÓN PREFABRICADOS”**

ANEXO 3. PARTE 1

“NTE INEN 1 578:2010, HORMIGÓN
DE CEMENTO HIDRAÚLICO.
DETERMINACIÓN DEL
ASENTAMIENTO”

“RESUMEN ASTM C 143.
ASENTAMIENTO DEL HORMIGÓN
FRESCO”

ANEXO 3. PARTE 2

**“NTE INEN 1 576:2011. HORMIGÓN
DE CEMENTO HIDRAÚLICO.**

ELABORACIÓN Y CURADO EN
OBRA DE ESPECÍMENES PARA
ENSAYO”

ANEXO 3. PARTE 3

“NTE INEN 1 573:2010.
DETERMINACIÓN DE LA
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN
DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE
HORMIGÓN DE CEMENTO
HIDRAÚLICO”

ANEXO 4

“DESIGNACIÓN ASTM: C31/C 31M -03^a. PREPARACIÓN Y CURADO EN OBRA DE LAS PROBETAS PARA ENSAYO DEL HORMIGÓN”

Designación ASTM : C 31/C 31M – 03a

Práctica Normalizada para la preparación y curado en obra de las probetas para ensayo del hormigón¹

Esta norma ha sido editada con la designación C 31/C 31M El número que sigue inmediatamente a la designación indica el año de adopción original o, en caso de revisión, el año de la última revisión. Un número entre paréntesis indica el año de la última aprobación. Una epsilon en superíndice (ϵ) señala un cambio editorial desde la última revisión o aprobación.

Esta norma ha sido aprobada para su uso por el Departamento de Defensa.

1. Alcances

1.1 Esta norma explica los procedimientos para elaborar y curar las probetas cilíndricas y vigas,

utilizando muestras representativas de hormigón fresco para la construcción de un proyecto.

1.2 El hormigón empleado para confeccionar las probetas moldeadas debe tener las mismas características del hormigón que está siendo colocado en la obra en cuanto a la dosificación de la mezcla, incluida la adición de agua de amasado y los aditivos. Esta norma no es adecuada para elaborar probetas con hormigón que no tiene un descenso de cono medible o que requiera otra forma y tamaño de probeta.

1.3 Los valores establecidos ya sea en unidades pulgada-libra o en el Sistema Internacional (SI) deben considerarse, por separado, como norma. Las unidades en el Sistema Internacional se muestran entre paréntesis. Los valores establecidos en cada sistema pueden no ser exactos en su equivalencia; por esto cada sistema debe utilizarse de manera independiente. Combinar los valores de ambas unidades puede provocar una no-conformidad.

1.4 *Este método no pretende solucionar todos los problemas de seguridad que puedan estar asociados con su uso. Es responsabilidad del usuario de esta norma establecer las medidas de seguridad e higiene, y determinar la aplicabilidad de restricciones reglamentarias antes de usarlo.*

1.5 El texto de esta norma menciona notas que proporcionan únicamente material informativo. Estas notas no deben considerarse como requerimientos de la norma.

2. Documentos de referencia

2.1 Normas ASTM

C 125 Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates.²

C 138/C 138M Método de ensayo normalizado para determinar la densidad (peso unitario), volumen producido y contenido de aire del hormigón (Método Gravimétrico).²

C 143/C 143M Método de ensayo normalizado para determinar el descenso de cono del hormigón elaborado con cemento hidráulico.²

C 172 Práctica normalizada para determinar el muestreo de la mezcla de hormigón fresco.²

C 173/C 173M Método de ensayo normalizado para determinar el contenido de aire del hormigón fresco por el método volumétrico.²

C 192/C 192M Práctica normalizada para la preparación y curado de las muestras de ensayo de hormigón en el laboratorio.²

C 231 Método de ensayo normalizado para determinar el contenido de aire del hormigón fresco por el método de presión.²

C 330 Specification for Lightweight Aggregate for Structural Concrete.²

C 403/C 403M Test Method for Time of Setting of Concrete Mixtures by Penetration Resistance.²

¹ Este método de prueba cae bajo la jurisdicción del Comité C-09 Hormigón y Áridos para Hormigón de la ASTM y es responsabilidad directa del Subcomité C09.61 en Ensayos de Resistencia.

La presente edición fue aprobada el 10 de febrero de 2003. Publicada en abril de 2003. Originalmente aprobada en 1920. La anterior edición fue aprobada en 2003 como C31/C 31M - 03.

² Anuario de Normas de la ASTM, Vol. 04.02.

³ Anuario de Normas de la ASTM, Vol. 04.01.

⁴ Disponible en el American Concrete Institute, P.O.Box 9094, Farmington Hills, MI 48333-9094.

C 470/C 470M Especificaciones normalizadas para la fabricación de los moldes para ensayos de hormigón.²

C 511 Specification for Moist Cabinets, Moist Rooms, and Water Storage Tanks Used in the Testing of Hydraulic Cements and Concretes.³

C 617 Procedimiento normalizado para refrentar las probetas cilíndricas de hormigón.²

C 1064/C 1064M Método de ensayo normalizado para determinar la temperatura del hormigón fresco de cemento portland.²

2.2 *Publicación del American Concrete Institute*⁴

CP-1 Concrete Field Testing Technician, Grade 1.

309R Guide for Consolidation of Concrete.

3. Terminología

3.1 Para las definiciones de esta práctica, refiérase a Terminología C 125.

4. Significado y Uso

4.1 Esta práctica proporciona los requerimientos normalizados para preparar, curar, proteger y transportar las probetas de ensayo de hormigón, bajo condiciones de obra.

4.2 Si las probetas son elaboradas y curadas de manera estandarizada, como lo establece esta práctica, los resultados de los ensayos de resistencia podrán utilizarse para los siguientes fines:

4.2.1 Aceptación de los ensayos para una resistencia especificada.

4.2.2 Verificar las proporciones de la mezcla para alcanzar una resistencia, y

4.2.3 Control de Calidad.

4.3 Si las probetas son elaboradas y curadas en la obra, como lo establece esta práctica, los resultados podrán utilizarse para los siguientes propósitos:

4.3.1 Determinación del tiempo que requiere una estructura para ser puesta en servicio,

4.3.2 Comparación con los resultados de los ensayos de probetas curadas de manera estandarizada o con los resultados de varios métodos de ensayos en obra.

4.3.3 Determinar adecuadamente el curado y la protección al hormigón en la estructura, o

4.3.4 Determinar el tiempo requerido para la remoción de los moldajes o puntales.

5. Aparatos

5.1 *Moldes, Generalidades* - Los moldes para preparar las probetas o las abrazaderas de los moldes que estén en contacto con el hormigón deben estar hechos de acero, hierro forjado o cualquier otro material no absorbente, no reactivo con el hormigón elaborado con cemento Portland u otros cementos hidráulicos. Los moldes deben conservar sus dimensiones y forma bajo cualquier condición de uso.

Los moldes deben ser estancos durante su uso, verificándose por su capacidad para retener el agua que les sea vertida en su interior. Las condiciones para los ensayos de estanqueidad están dadas por los Métodos de Ensayo de las Especificaciones C 470/C 470M para Elongación, Absorción y Estanqueidad. Donde sea necesario, debe usarse un sellador adecuado tal como la grasa viscosa, arcilla para moldear o cera microcristalina, para evitar la fuga en las uniones. Deben proporcionarse los medios adecuados para sujetar firmemente las placas base a los moldes. Antes de usarse, los moldes reutilizables

deben estar ligeramente cubiertos con aceite mineral o con un desmoldante no reactivo.

5.2 *Moldes Cilíndricos* - Los moldes para preparar las probetas de ensayo de hormigón deben satisfacer los requerimientos de la Especificación C 470/C 470M.

5.3 *Moldes para Vigas* - Los moldes para vigas deben tener la forma y dimensiones requeridas para producir las probetas estipuladas en la Sección 6.2. Los costados, el fondo y los extremos deben ser perpendiculares entre sí, rectos, suaves y libres de alabeo. La máxima variación de la sección transversal nominal no debe exceder de 1/8 pulg (3 mm) para moldes con altura o ancho de 6 pulg (150 mm) o más. Los moldes deben producir probetas no menores en 1/16 pulg (2 mm) de la longitud requerida en 6.2.

5.4 *Pisón* - Una barra de acero redonda, recta, con las dimensiones estipuladas en la Tabla 1, con al menos un extremo redondeado en forma de semiesfera del mismo diámetro que la barra.

9 (225)	5/8 (16)	26 (650)

^A Tolerancia del pisón: ± 4 pulg (100 mm) en el largo y $\pm 1/16$ pulg (2 mm) en el diámetro

5.5 *Vibradores* - Se deben emplear vibradores internos, con una frecuencia de vibración de al menos 7000 vibraciones por minuto (150Hz) mientras se encuentre funcionando dentro del hormigón. El diámetro de un vibrador redondo no debe ser superior a una cuarta parte del diámetro del molde del cilindro o una cuarta parte del ancho del molde para viga. Los vibradores con otras formas deben tener un perímetro equivalente a la circunferencia de un vibrador redondo adecuado. La longitud total, considerando el eje y el elemento vibrador, debe exceder la profundidad máxima de la sección que se esté vibrando por lo menos en 3 pulgadas (75 mm). La frecuencia de vibración debe verificarse periódicamente.

Nota 1 - Consulte el ACI 309 para más información sobre el tamaño, frecuencia de los diferentes vibradores y sobre un método para verificar la frecuencia del vibrador.

5.6 *Mazo* - Se debe utilizar un mazo con cabeza de caucho o cuero que pese $1,25 \pm 0,50$ lb ($0,6 \pm 0,2$ kg).

5.7 *Herramientas pequeñas* - Se deben suministrar palas, llanas manuales, poruñas y un tacómetro con escala adecuada.

5.8 *Aparato para el Descenso de cono* - El equipo para medir el descenso de cono debe satisfacer los requerimientos del Método de Ensayo C 143/C 143M.

5.9 *Recipiente para Muestreo* - El recipiente adecuado debe ser una tina de lámina metálica gruesa, carretilla o superficie plana, limpia, no

Tabla 1 - Requisitos para el pisón

Diámetro del cilindro o ancho de la viga, pulg (mm)	Dimensiones de la varilla ^A	
	Diámetro del pisón, pulg (mm)	Longitud del pisón, pulg (mm)
< 6 (150)	3/8 (10)	12 (300)
6 (150)	5/8 (16)	20 (500)

absorbente, de capacidad suficiente para permitir el mezclado fácil de la muestra completa con una pala o llana.

5.10 *Equipo para medir el Contenido de Aire* - El equipo para medir el contenido de aire debe satisfacer los requerimientos de los Métodos de Ensayo C 173/C 173M ó C 231.

5.11 *Equipos para medir la temperatura* - Estos aparatos deben cumplir con los requerimientos del Método de Ensayo C 1064/C 1064M.

6. Requisitos de Ensayo

6.1 *Probetas cilíndricas* - Las probetas para determinar la resistencia a la compresión o a la tracción por hendimiento, deben ser cilindros moldeados y fraguados en posición vertical, con una longitud igual a dos veces el diámetro. **El diámetro del cilindro debe ser de al menos 3 veces el tamaño máximo nominal del árido grueso.** Si el tamaño máximo nominal del árido es mayor a 2 pulg (50 mm), la muestra de hormigón se tamiza en húmedo tal como se describe en la Práctica C 172. **Para los ensayos de aceptación de la resistencia especificada a la compresión, deben utilizarse probetas cilíndricas de 6 x 12 pulg (150 x 300 mm) o de 4 x 8 pulg (100 x 200 mm) cuando se especifique (Nota 2).**

Nota 2 - Cuando se requieren moldes con dimensiones en Sistema Internacional y no estén disponibles, se permite usar moldes equivalentes en sistema pulgada-libra.

6.2 *Probetas en forma de Vigas* - Las probetas para determinar la resistencia a la flexión del hormigón deben ser vigas moldeadas y fraguadas en posición horizontal. La longitud debe ser por lo menos 2 pulg (50 mm) mayor que tres veces el alto en la posición de ensaye. La relación entre el ancho y el alto, en la posición en que se moldean, no debe exceder de 1.5. La viga estándar debe ser de 6 x 6 pulg (150 x 150 mm) en su sección

transversal, y debe utilizarse para hormigón con árido grueso cuyo tamaño máximo nominal no exceda las 2 pulg (50 mm). Cuando el tamaño máximo nominal del árido grueso exceda las 2 pulg (50 mm), la menor dimensión de la sección transversal de la viga debe ser de por lo menos tres veces el tamaño máximo nominal de los áridos gruesos. A menos que las especificaciones del proyecto lo requieran, las vigas elaboradas en obra no deben tener un ancho o alto menor de 6 pulg (150 mm).

6.3 *Técnico de obra* - Los técnicos de obra que elaboren y curen las probetas para los ensayos de aceptación, deben estar certificados por el ACI mediante el programa "Técnicos en Ensayos de Hormigón Fresco en Obra - Grado I" o equivalente. Los programas equivalentes para la certificación del personal deben incluir un examen teórico y práctico, como lo indica la publicación ACI CP-1.

7. Muestreo del Hormigón

7.1 Las muestras utilizadas para elaborar las probetas de ensayo bajo esta norma, deben obtenerse de acuerdo con la Práctica C 172, a menos que se haya aprobado un procedimiento alternativo.

7.2 Registre la identificación de la muestra con respecto a la localización del hormigón muestreado y la hora de colocación.

8. Descenso de cono, Contenido de Aire y Temperatura

8.1 *Descenso de cono* - Mida y registre el descenso de cono de cada amasada de hormigón con la que se elaboran las probetas, inmediatamente después de remezclar en el recipiente, como se indica en el Método de Ensayo C 143/C 143M.

8.2 *Contenido de Aire* - Determine y registre el contenido de aire de acuerdo con los Métodos de Ensayo C 173/C 173M ó C 231. El hormigón utilizado en la determinación del contenido de aire no debe emplearse en la elaboración de probetas de ensayo.

8.3 *Temperatura* - Determine y registre la temperatura de acuerdo con el Método de Ensayo C 1064/C 1064M.

Nota 3 - Algunas especificaciones pueden requerir la medición del peso unitario del hormigón. El volumen de hormigón producido por cada amasada puede ser requerido en algunos proyectos. También puede ser deseable información adicional de las mediciones del contenido de aire. El Método de Ensayo C 138/C 138M es utilizado para medir el peso unitario, volumen producido y contenido de aire por el método gravimétrico en mezclas de hormigón fresco.

9. Moldeo de las probetas

9.1 *Lugar para el moldeo* - El moldeo de las probetas debe realizarse lo más rápido posible, sobre una superficie rígida y nivelada, sin vibraciones y otras perturbaciones, en un sitio lo más cercano posible del lugar donde se almacenarán.

9.2 *Moldeo de los cilindros* - Seleccione el pisón adecuado en el punto 5.4 y Tabla 1 o el vibrador adecuado en el punto 5.5. Con la Tabla 2 determine el método de compactación, a menos que se especifique otro método. Si el método de consolidación es por apisonado, determine los requisitos de moldeo con la Tabla 3. Si la consolidación es por vibración, determine los requisitos de moldeo con la Tabla 4. Elija una herramienta pequeña, de forma y tamaño suficiente para asegurar que cada porción de hormigón, tomada del recipiente con la muestra, sea representativa y lo suficientemente pequeña para no derramar hormigón al colocarlo en el molde. Mientras se coloca el hormigón en el

molde, mueva la herramienta alrededor del perímetro de la abertura del molde para asegurar una distribución uniforme del hormigón y minimizar la segregación. Cada capa de hormigón debe consolidarse según se requiera. Al colocar la última capa, agregue una cantidad de hormigón que permita mantener lleno el molde después de la compactación.

Tabla 2 - Especificaciones para el Método de Compactación

Descenso de cono, pulg (mm)	Método de compactación
≥ 1 (25)	Apisonado o vibrado
< 1 (25)	vibrado

Tabla 3 - Requisitos para el moldeo por apisonado

Tipo y tamaño de la probeta	Nº de capas de aprox. igual altura	Nº de golpes de pisón por capa
Cilindros:		
Diámetro, pulg (mm)		
4 (100)	2	25
6 (150)	3	25
9 (225)	4	50
Vigas:		

Ancho, pulg (mm)		
6 (150) a 8 (200)	2	Ver 9.3
> 8 (200)	3 ó más de igual altura, cada una no debe exceder de 6 pulg (150mm)	Ver 9.3

9.3 *Moldeo de Vigas* – Seleccione el pisón adecuado en el punto 5.4 y Tabla 1 o el vibrador adecuado en el punto 5.5. Con la Tabla 2, determine el método de compactación, a menos que se especifique otro método. Si el método de consolidación es por apisonado, determine los requisitos del moldeo con la Tabla 3. Si el método de consolidación es por vibración, determine los requisitos de moldeo con la Tabla 4. Determine el número de penetraciones por capa considerando una penetración por cada 2 pulgadas² (14 cm²) del área de la superficie de la viga. Elija la herramienta menor, tal como cucharón, llana o pala de forma y tamaño suficiente para asegurar que cada porción de hormigón, tomada del recipiente para la muestra, sea representativa y en pequeña cantidad para no derramar hormigón al colocarlo en el molde. Cada capa de hormigón debe consolidarse según se requiera. Al colocar la última capa, agregue una cantidad de hormigón que permita mantener lleno el molde después de la compactación. Coloque el hormigón de manera uniforme en cada capa con un mínimo de segregación.

9.4 *Compactación* - Los métodos de compactación utilizados en esta norma son el apisonado y la vibración interna.

9.4.1 *Apisonado* - Coloque el hormigón en el molde con el número especificado de capas de aproximadamente igual volumen. Apisone cada capa con el extremo redondeado del pisón de

acuerdo al número de penetraciones especificadas. Apisone la capa inferior en todo su espesor. Distribuya las penetraciones uniformemente sobre la sección transversal del molde. Para cada capa superior permita que el pisón penetre aproximadamente 1 pulg (25 mm) en la capa anterior. Después de que cada capa haya sido apisonada, golpee ligeramente con el mazo el exterior del molde de 10 a 15 veces para cerrar cualquier orificio dejado durante el apisonado y para liberar las burbujas grandes de aire que hayan sido atrapadas. Utilice la palma de la mano para golpear ligeramente los moldes cilíndricos desechables que son susceptibles a dañarse si se golpean con el mazo. Después de golpear el molde, elimine el excedente de hormigón en los lados y extremos del molde en forma de viga con una llana u otra herramienta adecuada. Los moldes que no fueron llenados completamente, deben ajustarse con hormigón representativo durante la compactación de la última capa. Debe retirarse el exceso de los moldes sobre llenados.

9.4.2 *Vibración* - Mantenga un periodo uniforme de vibrado para cada tipo de hormigón, vibrador y tipo de probeta. La duración de la vibración requerida depende de la trabajabilidad del hormigón y de la efectividad del vibrador. Usualmente, se ha vibrado lo suficiente cuando la superficie del hormigón comienza a volverse suave y dejan de salir grandes burbujas de aire hacia la superficie. Vibre el hormigón sólo lo suficiente para lograr una compactación adecuada (véase **Nota 4**). Llene los moldes y víbrellos en el número requerido de capas aproximadamente iguales. Vierta todo el hormigón de cada capa en el molde antes de comenzar el vibrado de esa capa. Durante la compactación, inserte suavemente el vibrador y no permita que el vibrador toque el fondo o las paredes del molde. Retire cuidadosamente el vibrador para evitar que queden burbujas de aire dentro de la muestra. Cuando se vierta la última capa, evite sobrellenar el molde más de 1/4 pulg (6 mm).

Nota 4

- En general, no se requieren más de 5 segundos de vibración en cada inmersión para compactar adecuadamente el hormigón con descenso de cono mayor de 3 pulg (75 mm). Se puede requerir más tiempo para el hormigón con menor descenso de cono, pero el tiempo de vibración rara vez excede de 10 segundos por inserción.

9.4.2.1 *Cilindros* - El número de inserciones está estipulado en la Tabla 4. Cuando se requiere más de una inserción por capa, distribuya la inserción uniformemente en cada capa. Deje que el vibrador penetre en todo el espesor de la capa a vibrar y se introduzca en la capa anterior aproximadamente 1 pulg (25 mm). Después de que cada capa ha sido vibrada, golpee ligeramente el exterior del molde unas 10 veces con el mazo, para cerrar cualquier orificio dejado por el vibrador y liberar cualquier burbuja de aire que pudiera haber quedado atrapada. Utilice la palma de la mano para golpear ligeramente los moldes desechables y de cartón que pueden dañarse al ser golpeados con el mazo.

9.4.2.2 *Vigas* - Inserte el vibrador en intervalos que no excedan de 6 pulg (150 mm) a lo largo de una línea central en la dimensión mayor de la probeta. Para probetas con ancho mayor a 6 pulg (150 mm) realice inserciones alternadas a lo largo de dos líneas. Permita que la sonda del vibrador penetre en la capa inferior aproximadamente 1 pulg (25 mm). Después de vibrar cada capa, golpee suavemente el exterior del molde unas 10 veces con el mazo para cerrar huecos que hayan quedado al vibrar y para liberar burbujas de aire atrapadas.

9.5 *Acabado* - Después de la compactación, enrase la superficie retirando el exceso de hormigón con una llana o platacho. Realice el acabado con la manipulación mínima necesaria para producir una superficie plana y nivelada con

el borde del molde y sin depresiones o promontorios mayores de 1/8 pulg (3,3 mm).

9.5.1 *Cilindros* - Después de la compactación, termine la superficie quitando de ella el sobrante de hormigón con el pisón de compactación hasta donde la consistencia del hormigón lo permita, o con un enrasador o llana de madera. Si se desea puede refrentarse el cilindro recién elaborado con una capa delgada de pasta de cemento Portland, aceptándose que fragüe y cure con la probeta. Véase la sección de Materiales para refrentado en la Práctica C 617.

9.5.2 *Vigas* - Después de la compactación del hormigón, enrase la superficie con una llana hasta la tolerancia requerida, para producir una superficie plana y nivelada.

9.6 *Identificación* - Marque las probetas para identificar las probetas y el hormigón al que representan. Utilice un procedimiento que no afecte la superficie superior del hormigón. No marque las tapas removibles. Al desmoldar, marque las probetas de ensayo para conservar sus identidades.

10. Curado

10.1 *Curado estándar* – El curado estándar es el método de curado utilizado cuando las probetas son elaboradas y curadas para los propósitos indicados en 4.2.

10.1.1 *Almacenaje* – En caso de que las probetas no pudieran moldearse en el lugar donde recibirán el curado inicial, inmediatamente después del acabado, mueva las probetas al lugar de almacenaje para el curado inicial. La superficie de apoyo sobre la que se almacenarán las probetas debe estar nivelada con una tolerancia de 1/4 pulg por pie (20 mm por metro). Si se mueven los cilindros elaborados con moldes desechables, levante y sostenga el cilindro por la

parte baja del molde, con una llana grande o con algún otro dispositivo similar. Si se daña la superficie superior de la probeta durante el traslado al lugar de almacenaje inicial, se deben arreglar de inmediato los daños.

10.1.2 Curado inicial – Después del moldeo y del acabado, las probetas deben almacenarse durante un periodo de hasta 48 horas, en un rango de temperatura entre 60 y 80 °F (16 a 27 °C) y en un ambiente húmedo para prevenir cualquier pérdida de humedad. Para las mezclas de hormigón con una resistencia especificada de 6000 psi (40 MPa) o más, la temperatura inicial de curado debe encontrarse entre 68 y 78 °F (20 y 26 °C). Se pueden emplear diversos procedimientos para mantener las condiciones de humedad y temperatura. En la **Nota 5**, se puede encontrar un procedimiento adecuado o combinación de procedimientos que pueden ser usados. Proteja todas las probetas contra el sol directo y de las fuentes de calor radiante, en caso de que se usen. La temperatura de almacenamiento debe ser controlada mediante aparatos de refrigeración o calefactores si fuera necesario. Anote la temperatura, usando un termómetro de máximas y mínimas. Si los moldes son de cartón, proteja la superficie externa de manera que no quede en contacto con la arpillera húmeda u otras fuentes de agua.

Nota 5 - Se puede crear un ambiente húmedo satisfactorio para el curado inicial de las probetas usando uno o más de los siguientes procedimientos: (1) Las probetas con tapas plásticas pueden ser sumergidas inmediatamente en agua saturada con hidróxido de calcio; (2) almacenarse en estructuras o cajas de madera adecuadas; (3) colocarse en pozos de arena húmeda; (4) cubrirse con tapas plásticas removibles; (5) colocarse dentro de bolsas de polietileno o (6) cubrirse con láminas de plástico o placas no absorbentes,

si se toman las precauciones para evitar el secado y se emplean arpilleras húmedas, la arpillera no debe estar en contacto con las superficies de hormigón. La temperatura del ambiente puede controlarse satisfactoriamente durante el curado inicial de las probetas mediante uno o más de los siguientes procedimientos: (1) ventilación; (2) uso de hielo; (3) uso de aparatos con termostatos para frío y calor, o (4) uso de calefactores como estufas o ampolletas. Se pueden emplear otros métodos adecuados siempre que se cumplan los requisitos de humedad y temperatura de almacenamiento. Para las mezclas de hormigón con una resistencia especificada de 6000 psi (40 MPa) o más, el calor generado durante las primeras edades puede subir sobre la temperatura de almacenamiento requerida. La inmersión en agua saturada con hidróxido de calcio puede ser el método más fácil para mantener la temperatura adecuada de almacenamiento. Cuando las probetas deben ser sumergidas en agua saturada con hidróxido de calcio, no deben emplearse moldes de cartón u otros moldes que puedan expandirse al ser sumergidos en agua. Los resultados de los ensayos de resistencia a temprana edad pueden ser menores si se almacenan a 60°F (16°C) y mayores si se almacenan a 80°F (27°C). Por otra parte, a edades mayores, los resultados pueden ser menores para temperaturas más altas de almacenamiento inicial.

10.1.3 Curado final:

10.1.3.1 Cilindros – Al finalizar el curado inicial y dentro de los 30 minutos siguientes a la remoción de los moldes, las probetas deben curarse manteniendo agua libre en las superficies del cilindro, durante todo el tiempo, a una temperatura de 73 ± 3 °F (23 ± 2 °C) usando el agua almacenada en los estanques o cuartos húmedos, que cumplan con los requisitos de la Especificación C 511, excepto cuando se refrenta con mortero de azufre e inmediatamente antes del ensayo. Cuando se refrenta con un compuesto de mortero de azufre, los extremos del cilindro deben estar lo suficientemente secos para evitar la formación de bolsas de vapor o espuma de más de 1/4 pulg (6 mm) bajo o en el refrentado, como lo describe la Práctica C 617. Durante un periodo que no exceda de 3 horas inmediatamente antes del ensayo, no se requiere de una temperatura estándar de curado, siempre que se mantenga la humedad libre en los cilindros y la temperatura ambiente se encuentre entre 68 y 86 °F (20 y 30 °C).

10.1.3.2 *Vigas* – Las vigas se deben curar de la misma forma que los cilindros (ver 10.1.3.1), con la excepción de que deben almacenarse en agua saturada con hidróxido de calcio a una temperatura de 73 ± 3 °F (23 ± 2 °C) durante por lo menos 20 horas antes del ensayo. Debe evitarse el secado de las superficies de la viga durante el lapso que se tiene entre el retiro del almacenamiento en agua y el término del ensayo.

Nota 6 - Cantidades relativamente pequeñas de superficie seca en las probetas para ensayos de flexión, pueden inducir esfuerzos de tracción en las fibras extremas, que reducirán significativamente el valor de la resistencia a la flexión.

10.2 *Curado en obra* – El curado en obra es el método de curado utilizado para las probetas moldeadas y curadas como se indica en 4.3.

10.2.1 *Cilindros* – Los cilindros deben almacenarse en o sobre la estructura, tan cerca como sea posible del punto donde fue depositado el hormigón al que representa. Proteja todas las superficies de los cilindros del ambiente de la misma forma o lo más parecido posible al hormigón contenido en los moldajes. Mantenga los cilindros en las mismas condiciones de humedad y temperatura, como las que prevalecen en la estructura de la obra. Ensaye las probetas en las condiciones de humedad señaladas por el tratamiento de curado especificado. Para cumplir con estas condiciones, las probetas elaboradas para determinar el tiempo en el que una estructura puede ser puesta en servicio, deben retirarse del molde al mismo tiempo que se retiren los moldajes de la obra.

10.2.2 *Vigas* – Tan pronto como sea posible, cure las vigas de la misma forma que el hormigón de la estructura. Transcurridas 48 ± 4 h después del moldeo, traslade las probetas a su lugar de almacenamiento y desmolde. Almacene las probetas representativas de las losas de pavimento colocándolas sobre el suelo, en la posición como fueron moldeadas, con su cara superior hacia arriba. Cubra los lados y los extremos de las probetas con tierra o arena que debe mantenerse húmeda, dejando la cara superior expuesta al tratamiento de curado especificado. Almacene las probetas representativas del hormigón de una estructura tan cerca como sea posible del elemento o elementos que representa, y proporciónese la misma protección contra la temperatura y humedad ambiente de las probetas en el lugar, expuestas a la intemperie al igual que la estructura. Al final del periodo de curado deje las probetas en su lugar expuestas al medio ambiente en igual forma que las estructuras. Retire todas las probetas-viga almacenadas en obra e introdúzcalas en agua saturada con hidróxido de calcio, a una temperatura de 73 ± 3 °F (23 ± 2 °C) por un periodo de 24 ± 4 h previo a la hora de ensaye, para asegurar condiciones uniformes de humedad de probeta a probeta. Observe las precauciones dadas en 10.1.3.2 para evitar el secado entre el curado y el momento de remoción de las probetas para el ensayo.

9.3 *Curado del hormigón estructural liviano* - Cure los cilindros de hormigón estructural liviano de acuerdo con la Especificación C 330.

11. Transporte de las probetas al laboratorio

11.1 Antes de su transporte, las probetas deben curarse y protegerse como se especifica en la Sección 10. Las probetas no deben ser trasladadas hasta mínimo unas 8 h después del fraguado inicial. (Véase Nota 7). Durante su traslado, las probetas deben estar protegidas con un material acojinado y adecuado, que evite daños por las sacudidas. Durante el tiempo frío,

proteja las probetas del congelamiento usando un material aislante adecuado. La pérdida excesiva de humedad puede prevenirse envolviendo las probetas en plástico, arpillera húmeda o rodeándolas con arena húmeda, o bien, ajustando tapas plásticas a los moldes plásticos. El tiempo de traslado no debe exceder de 4 h.

Nota 7 - El tiempo de fraguado puede medirse con el Método de Ensayo C 403.

13.1 Vigas; muestras moldeadas; hormigón; curado; cilindros; ensayos.

12. Informe

12.1 Entregue la siguiente información al laboratorio que ensayará las probetas:

12.1.1 Número de identificación.

12.1.2 Ubicación del hormigón representado por las muestras.

12.1.3 Día, hora y nombre del técnico que elaboró las probetas.

12.1.4 Descenso de cono, contenido de aire y temperatura del hormigón; resultados de los ensayos y de cualquier otro ensayo realizado al hormigón fresco, así como cualquier desviación de los métodos de ensayo normalizado de referencia, y

12.1.5 Método de curado. Para el método de curado normalizado, informe el método de curado inicial, con las temperaturas máximas y mínimas, y el método de curado final. Para el método de curado en obra, informe la ubicación del lugar de almacenamiento, forma de protección, temperatura y humedad del ambiente y tiempo de desmolde.

13. Palabras clave

Tabla 4 Requisitos de moldeo por vibración			
Tipo y tamaño de probeta	Número de capas	Nº inserciones del vibrador por capa	Espesor aprox. de la capa, pulg (mm)
Cilindros:			
Diám, pulg (mm)			
4 (100)	2	1	mitad de la profundidad de la probeta
6 (150)	2	2	mitad de la profundidad de la probeta
9 (225)	2	4	mitad de la profundidad de la probeta
Vigas:			
Ancho, pulg (mm)			
6 (150) a 8 (200)	1	Ver 9.4.2	Profundidad de la probeta
> 8 (200)	2 ó más	Ver 9.4.2	8 (200) lo más cerca posible

La American International Society for Testing and Materials no tiene ninguna posición frente a la validez de cualquier derecho de patente relacionado con cualquiera de los puntos mencionados en esta norma. A los usuarios de esta norma se les advierte expresamente que la determinación de la validez de cualquiera de esos derechos patentados, y el riesgo de infringir esos derechos, son de su entera responsabilidad.

Esta norma podrá ser sometida a revisión en cualquier momento por el comité técnico responsable y deberá ser revisada cada cinco años y, en caso de no ser revisada, será reprobada o revocada. La ASTM le invita a expresar sus comentarios ya sea para la revisión de esta norma o para otras normas adicionales, los que deberán dirigirse a las Oficinas Centrales de la ASTM International. Sus comentarios serán estudiados cuidadosamente durante una reunión del comité técnico responsable, a la que usted podrá asistir. En caso de que usted encuentre que sus comentarios no fueron atendidos adecuadamente, puede presentar sus consideraciones al Comité de Normas de la ASTM, en la dirección señalada más adelante.

Los derechos de esta norma se encuentran reservados por la ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Se puede obtener reimpresiones (copias únicas o múltiples) de esta norma en la dirección mencionada o en el fono 610-832-9285, en el fax 610-832-9555, en el e-mail service@astm.org o bien el sitio web de la ASTM (www.astm.org).

ANEXO 5

**“REPORTES DE ENSAYO A COMPRESIÓN
DE ESPECÍMENES DE HORMIGÓN DEL
OBJETO DE ESTUDIO”**

ANEXO 6

“REGISTRO EN HOJAS DE CAMPO DE
TIEMPO Y TEMPERATURA DURANTE
EL PROCESO DE CURADO A VAPOR”

ANEXO 7

**“RESULTADO DE ENSAYOS DEL
MATERIAL PÉTREO UTILIZADO PARA
EL HORMIGÓN DE ALTA
RESISTENCIA”**

ANEXO 8

**“OFICIO EMITIDO POR LA EMPRESA
DONDE SE ELABORÓ EL PROYECTO”**

ANEXO 9

“NTE INEN 490:2011. CEMENTOS
HIDRAÚLICOS COMPUESTOS.
REQUISITOS”



INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN

Quito - Ecuador

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA

NTE INEN 490:2011
Quinta revisión

CEMENTOS HIDRÁULICOS COMPUESTOS. REQUISITOS.

Primera Edición

BLENDEN HYDRAULIC CEMENTS. REQUIREMENTS.

First Edition

DESCRIPTORES: Materiales de construcción, cemento hidráulico compuesto, requisitos.

CO 02.02-403

CDU: 666.944

CIIU: 3692

ICS: 91.100.10

Norma Técnica Ecuatoriana Voluntaria	CEMENTOS HIDRÁULICOS COMPUESTOS. REQUISITOS.	NTE INEN 490:2011 Quinta revisión 2011-01
---	---	--

Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN – Casilla 17-01-3999 – Baquerizo Moreno E8-29 y Almagro – Quito-Ecuador – Prohibida la reproducción

1. OBJETO

1.1 Esta norma establece los requisitos que deben cumplir los cementos hidráulicos compuestos.

2. ALCANCE

2.1 Esta norma se aplica a los cementos hidráulicos compuestos, que se emplean en aplicaciones generales y especiales, utilizando cemento portland o clinker de cemento portland, con escoria o puzolana, o ambas; o escoria con cal (ver nota 1).

2.2 El texto de esta norma cita notas que proveen material explicativo. Estas notas, excluyendo aquellas en tablas y figuras, no son requisitos de la norma.

3. DEFINICIONES

3.1 Para los efectos de esta norma, se adoptan las definiciones contempladas en la NTE INEN 151 y además las siguientes:

3.1.1 *Cemento compuesto binario*. Cemento hidráulico compuesto, que consiste en cemento portland con cemento de escoria o con una puzolana.

3.1.2 *Cemento compuesto ternario*. Cemento hidráulico compuesto, que consiste en cemento portland con una combinación de dos puzolanas diferentes o con cemento de escoria y una puzolana.

4. CLASIFICACIÓN

4.1 Esta norma se aplica para los siguientes tipos de cementos hidráulicos compuestos que generalmente están destinados para los usos indicados.

4.1.1 Cemento hidráulico compuesto para uso en hormigón para construcción en general.

4.1.1.1 *Tipo IS*. Cemento portland de escoria de altos hornos.

4.1.1.2 *Tipo IP*. Cemento portland puzolánico.

4.1.1.3 *Tipo IT*. Cemento compuesto ternario.

4.2 Informe

4.2.1 La práctica a seguir para la nomenclatura de cementos compuestos debe ser agregar el sufijo (X) a la designación de tipo indicado en el numeral 4.1.1, donde (X) es igual al porcentaje utilizado de escoria o puzolana en el producto expresado como un número entero en masa del producto compuesto final, dentro de la variación admisible como se indica en el numeral 10.3.

4.2.2 La práctica a seguir para la nomenclatura de cementos compuestos ternarios debe ser agregar los sufijos (AX) y (BY) a la designación del Tipo IT indicado en el numeral 4.1.1.

NOTA 1. Esta norma prescribe componentes y proporciones, con algunos requisitos de desempeño mientras que la norma de Desempeño NTE INEN 2 380 es una norma para cementos hidráulicos, en la cual solo el criterio de desempeño gobierna los productos y su aceptación.

(Continúa)

DESCRIPTORES: Materiales de construcción, cemento hidráulico compuesto, requisitos.

Donde:

A es: "S" para cemento de escoria o "P" para puzolana, la que esté presente en mayor cantidad en masa,

X es el porcentaje en masa utilizado del constituyente A,

B es: "S" para cemento de escoria o "P" para puzolana, y

Y es el porcentaje en masa utilizado del constituyente B (ver nota 2).

Ambos valores "X" y "Y" están expresados como un número entero en masa del producto compuesto final, dentro de las variaciones establecidas en el numeral 10.3. Si "X" y "Y" son iguales, expresar primero el contenido de puzolana.

4.2.3 En esta norma se utiliza una nomenclatura simplificada por claridad y sentido práctico, cuando se refiere a los requisitos específicos para cementos compuestos binarios y ternarios que se aplican a un rango de productos o en cementos compuestos ternarios, cuando los requisitos son aplicables solamente a uno de los constituyentes dentro de un rango específico (% en masa) (ver nota 3).

4.3 Propiedades especiales (ver nota 4).

4.3.1 Cuando el comprador requiera cemento con incorporador de aire, debe especificarlo añadiendo el sufijo (A) a cualquiera de los tipos antes indicados. La opción de incorporación de aire, es especificada en combinación con cualquiera de las otras propiedades especiales.

4.3.2 Cuando el comprador requiera cemento con moderada resistencia a sulfatos o moderado calor de hidratación o ambos, debe especificarlo añadiendo el sufijo (MS) o (MH) respectivamente, al tipo designado en el numeral 4.1.1.

4.3.3 Cuando el comprador requiera cemento con alta resistencia a los sulfatos, debe especificarlo añadiendo el sufijo (HS) al tipo designado en el numeral 4.1.1, (ver nota 5).

4.3.4 Cuando el comprador requiera cemento con bajo calor de hidratación, debe especificarlo añadiendo el sufijo (LH) al tipo designado en el numeral 4.1.1.

NOTA 2. A continuación se muestran ejemplos de la nomenclatura, de acuerdo a los numerales 4.2.1 y 4.2.2 (todos los porcentajes en masa):

- 1) Cemento compuesto binario, con 80% de cemento portland y 20% de cemento de escoria = IS(20).
- 2) Cemento compuesto binario, con 85% de cemento portland y 15% de puzolana = IP(15)
- 3) Cemento compuesto ternario, con 70% de cemento portland, 20% de cemento de escoria y 10% de puzolana = IT(S20)(P10)
- 4) Cemento compuesto ternario, con 65% de cemento portland, 25% de una puzolana y 10% de otra puzolana = IT(P25)(P10)
- 5) Cemento compuesto ternario, con 60% de cemento portland, 20% de cemento de escoria y 20% de puzolana = IT(P20)(S20)

NOTA 3. A continuación se muestran ejemplos de la nomenclatura simplificada, de acuerdo al numeral 4.2.3:

- 1) Cuando los requisitos son aplicables al rango de productos que se indican en la tabla 1, donde el contenido máximo de SO₃ de 3% se aplica a: cementos compuestos binarios con contenidos de cemento de escoria <70%, se indica como IS(<70); cementos compuestos ternarios con un contenido de puzolana menor que el contenido de cemento de escoria y el contenido de cemento de escoria es inferior a 70%, se indica como IT(P<S<70).
- 2) Cuando los requisitos son aplicables solamente a uno de los constituyentes, dentro de un rango específico de aquel constituyente (% en masa) que, puede encontrarse en el numeral 7.1.2.2, donde se requiere ensayar solamente cuando el contenido de cemento de escoria es <25%. Debido a que el requisito se basa únicamente en el contenido de cemento de escoria, sin ninguna relación con el contenido de puzolana, se emplea la nomenclatura simplificada y el rango de cementos compuestos ternarios se indican como Tipo IT(S<25).

NOTA 4. Una masa dada de cemento compuesto tiene un volumen absoluto mayor que la misma masa de cemento portland. Esto debe ser tomado en cuenta al comprar cementos y al dosificar mezclas de hormigón.

NOTA 5. Las características especiales atribuibles a la escoria o a la puzolana variarán en base a las cantidades contenidas dentro de los cementos compuestos.

(Continúa)

5. DISPOSICIONES GENERALES

5.1 Información de la orden de compra. Los pedidos de cemento, los cuales se describen en esta norma deben incluir lo siguiente:

5.1.1 Número de la norma.

5.1.2 Tipo o tipos requeridos.

5.1.3 Si se requiere, indicar los porcentajes admisibles máximo o mínimo, o ambos de escoria o puzolana.

5.1.4 Propiedades especiales opcionales requeridas (ver numeral 4.3 y nota 6).

- a) (MS) moderada resistencia a los sulfatos;
- b) (HS) alta resistencia a los sulfatos;
- c) (MH) moderado calor de hidratación;
- d) (LH) bajo calor de hidratación;
- e) (A) incorporador de aire;
- f) Adición acelerante;
- g) Adición retardante;
- h) Adición reductora de agua;
- i) Adición reductora de agua y acelerante, y
- j) Adición reductora de agua y retardante,

5.1.5 Certificación, si se desea (ver numeral 10)

6. DISPOSICIONES ESPECÍFICAS

6.1 Materiales y fabricación

6.1.1 Escoria de altos hornos. La escoria de altos hornos debe ser el producto no metálico, consistente esencialmente de silicatos y alumino-silicatos de calcio y otras bases, como resultante del proceso de fundición de mineral de hierro en altos hornos.

6.1.2 Escoria granulada de altos hornos. La escoria granulada de altos hornos debe ser el material granular vítreo, que se forma cuando la escoria de altos hornos fundida es rápidamente enfriada, por ejemplo, por inmersión en agua.

6.1.3 Cemento de escoria. Ver la definición en la NTE INEN 151.

6.1.4 Cemento portland. Ver la definición en la NTE INEN 151. Para los propósitos de esta norma, el cemento portland que cumple con los requisitos de la NTE INEN 152 o de la NTE INEN 2 380 es adecuado. El cemento portland u otros materiales hidráulicos, o ambos, con alto contenido de cal libre pueden ser utilizados mientras se cumplan los límites del ensayo en autoclave para el cemento compuesto.

6.1.5 Clinker de cemento portland. El clinker de cemento portland debe ser clinker parcialmente fundido compuesto básicamente por silicatos de calcio hidráulicos.

6.1.6 Puzolana. La puzolana debe ser un material silíceo o sílico-aluminoso, el cual por sí mismo posee muy poco o ningún valor cementante pero que, en forma finamente dividida y en presencia de humedad, reacciona químicamente con el hidróxido de calcio a temperatura ambiente para formar compuestos que poseen propiedades cementantes.

6.1.7 Cal hidratada. La cal hidratada utilizada como parte de un cemento compuesto debe cumplir los requisitos de la norma ASTM C 821, excepto que cuando es molida en conjunto en el proceso de producción no habrá un requisito de finura mínima.

NOTA 6. Es importante verificar la disponibilidad de las varias opciones. Algunas opciones múltiples son mutuamente incompatibles o inalcanzables.

(Continúa)

6.1.8 Adición incorporadora de aire. Cuando se especifica cemento con incorporador de aire, se debe utilizar un aditivo que cumpla los requisitos de la norma ASTM C 226.

6.1.9 Cuando se utilicen adiciones de proceso en la fabricación del cemento debe comprobarse que ellas cumplan los requisitos de la NTE INEN 1 504, en las cantidades usadas o mayores (ver numeral 10.2).

6.1.10 Cuando se utilicen adiciones funcionales por decisión del comprador, debe comprobarse que éstas cumplan los requisitos de la norma ASTM C 688, cuando sean ensayadas con el cemento a ser utilizado en la cantidad a emplearse o mayor (ver numeral 10.2).

6.1.11 Otras adiciones. El cemento comprendido en esta norma no debe contener adiciones excepto las que se han indicado anteriormente; sin embargo, si se añade agua o sulfato de calcio (ver NTE INEN 151) o ambos, deben serlo en cantidades tales que no excedan los límites mostrados en la tabla 1 para sulfato, reportado como SO_3 y para pérdida por calcinación.

6.1.12 Cemento compuesto binario. El cemento compuesto binario debe ser un cemento hidráulico que consista en una mezcla íntima y uniforme (ver nota 7), producido por molienda conjunta de clinker de cemento portland con puzolana o con una escoria granulada de altos hornos o con un cemento de escoria o por la mezcla de cemento portland con una puzolana o con un cemento de escoria o con una combinación de molienda y mezcla. Para los componentes deben aplicarse los requisitos de los numerales 6.1.14 y 6.1.16.

6.1.13 Cemento compuesto ternario. El cemento compuesto ternario debe ser un cemento hidráulico que consista en una mezcla íntima y uniforme (ver nota 7), producido por 1) molienda conjunta de clinker de cemento portland con a) dos puzolanas diferentes, b) escoria granulada de altos hornos o cemento de escoria y una puzolana; o 2) por mezcla de cemento portland con a) dos puzolanas diferentes, b) cemento de escoria y una puzolana o 3) una combinación de molienda conjunta y mezcla de esos componentes. El cemento ternario Tipo IT($P \geq S$) y Tipo IT($P < S < 70$) debe tener un contenido máximo de puzolana del 40% en masa del cemento compuesto y el contenido total de puzolana y de escoria granulada de altos hornos o cemento de escoria debe ser menor a 70% en masa del cemento compuesto.

6.1.14 Cemento portland de escoria de altos hornos. El cemento portland de escoria de altos hornos debe ser un cemento hidráulico en el cual el constituyente de cemento de escoria se encuentra hasta el 95% de la masa del cemento compuesto. Está permitido que el cemento compuesto binario o ternario, con un contenido de cemento de escoria igual o mayor al 70% en masa, contenga cal hidratada.

6.1.15 Cemento portland de escoria de altos hornos con aire incorporado. El cemento portland de escoria de altos hornos con aire incorporado debe ser cemento portland de escoria de altos hornos al cual se ha añadido suficiente adición incorporadora de aire de manera que el producto resultante cumpla con los requisitos de contenido de aire en el mortero.

6.1.16 Cemento portland puzolánico. El cemento portland puzolánico debe ser un cemento hidráulico, en el cual el constituyente puzolana se encuentra hasta el 40% en masa del cemento compuesto.

6.1.17 Cemento portland puzolánico con incorporador de aire. El cemento portland puzolánico con incorporador de aire debe ser cemento portland puzolánico al cual se le ha añadido suficiente adición incorporadora de aire de modo que el producto resultante cumpla con los requisitos de contenido de aire en el mortero.

NOTA 7. La obtención de una mezcla íntima y uniforme de dos o más tipos de materiales finos es difícil. En consecuencia, el fabricante debe proporcionar el equipo y los controles adecuados. Los compradores deben asegurarse por sí mismos de la idoneidad de la operación de mezclado.

(Continúa)

7. REQUISITOS

7.1 Requisitos específicos

7.1.1 Composición química

7.1.1.1 El cemento del tipo especificado debe estar conforme con los requisitos químicos aplicables, indicados en la tabla 1.

TABLA 1. Requisitos químicos

TIPO DE CEMENTO ^A	Método de ensayo aplicable	IS (< 70), IT(P<S<70)	IS (≥ 70), IT(S≥70)	IP, IT(P≥S)
Oxido de magnesio (MgO), % máximo	INEN 160	--	--	6,0
Sulfato, reportado como (SO ₃), % máximo ^B	INEN 160	3,0	4,0	4,0
Sulfuro, reportado como S ²⁻ , % máximo	INEN 160	2,0	2,0	--
Residuo insoluble, % máximo	INEN 160	1,0	1,0	--
Pérdida por calcinación, % máximo	INEN 160	3,0	4,0	5,0

^A Los requisitos químicos en esta tabla son aplicables a todos los cementos con incorporador de aire, equivalentes.

^B Cuando se haya demostrado con el ensayo de la NTE INEN 1 505 que el SO₃ óptimo excede a un valor 0,5% menor del límite de la especificación, es permisible una cantidad adicional de SO₃ a condición de que, cuando el cemento con el sulfato de calcio adicional sea ensayado por el método de ensayo de la NTE INEN 2 501, el sulfato de calcio en el mortero hidratado a las 24 horas ± 15 minutos, expresado como SO₃, no exceda de 0,50 g/l. Cuando el fabricante suministre cemento bajo esta disposición, él, bajo pedido; debe proporcionar datos de soporte al comprador.

7.1.1.2 Si el comprador ha pedido al fabricante establecer por escrito la composición del cemento compuesto adquirido, la composición del cemento suministrado debe cumplir con lo indicado en el documento dentro de las siguientes tolerancias (ver nota 8).

Tolerancia, ± %

Dióxido de silicio (SiO ₂)	3
Oxido de aluminio (Al ₂ O ₃)	2
Oxido de calcio (CaO)	3

7.1.2 Propiedades físicas

7.1.2.1 *Cemento compuesto.* El cemento compuesto del tipo especificado debe cumplir con los requisitos físicos aplicables prescritos en la tabla 2.

NOTA 8. Esto significa que si el informe del fabricante sobre la composición dice "SiO₂:32%" el cemento, cuando sea analizado, debe contener entre 29% y 35% de SiO₂.

(Continúa)

TABLA 2. Requisitos físicos

TIPO DE CEMENTO ^A	NORMA APLICABLE	IS (<70), IT(P<S<70), IP, IT(P≥S)	IS (<70) (MS), IT(P<S<70) (MS), IP(MS), IT(P≥S) (MS)	IS (<70) (HS), IT(P<S<70) (MS), IP(HS), IT(P≥S) (HS)	IS (≥70), IT(S≥70)	IP (LH) ^B , IT(P≥S) (LH) ^B
Finura	NTE INEN 196, NTE INEN 957	C	C	C	C	C
Expansión en autoclave, % máximo	NTE INEN 200	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Contracción en autoclave, % máximo ^D	NTE INEN 200	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Tiempo de fraguado, Ensayo de Vicat: ^E	NTE INEN 158					
Fraguado, minutos, no menor a		45	45	45	45	45
Fraguado, horas, no mayor a		7	7	7	7	7
Contenido de aire en el mortero, volumen % máximo ^A	NTE INEN 195	12	12	12	12	12
Resistencia a la compresión, mínimo ^A , MPa	NTE INEN 488					
3 días		13,0	11,0	11,0	--	--
7 días		20,0	18,0	18,0	5,0	11,0
28 días		25,0	25,0	25,0	11,0	21,0
Calor de hidratación máximo: ^F	NTE INEN 199					
7 días, kJ/kg		290	290	290	--	250
(cal/g)		(70)	(70)	(70)	--	(60)
28 días, kJ/kg		330	330	330	--	290
(cal/g)		(80)	(80)	(80)	--	(70)
Requerimiento de agua, % máximo, en peso del cemento,	NTE INEN 488	--	--	--	--	64
Contracción por secado, % máximo.	NTE INEN 2 504	--	--	--	--	0,15
Expansión en mortero, % máximo: ^G	NTE INEN 867					
14 días		0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
8 semanas		0,060	0,060	0,060	0,060	0,060
Resistencia a los sulfatos, % máximo: ^H	NTE INEN 2 503					
Expansión a 180 días		(0,10) ^I	0,10	0,05	--	(0,10) ^I
Expansión a 1 año		--	--	0,10	--	--

^A Cementos con incorporador de aire, deben tener un contenido de aire en el mortero de 19% ± 3% en volumen y la resistencia a compresión mínima no debe ser menor que 80% de la resistencia del tipo de cemento sin incorporación de aire comparable.

^B Aplicable solamente cuando se necesita bajo calor de hidratación o no se requiere altas resistencias a edades tempranas.

^C En todos los informes del fabricante requeridos, según se indica en el numeral 10.4, se debe informar la cantidad retenida al tamizar en húmedo en el tamiz de 45 µm (No. 325) y la superficie específica medida con el aparato de permeabilidad al aire, m²/kg.

^D Los especímenes a ser sometidos al ensayo de expansión en autoclave se deben mostrar firmes y duros y no deben mostrar signos de distorsión, roturas, fisuras, picaduras o desintegración.

^E El tiempo de fraguado se refiere al tiempo inicial de fraguado en la NTE INEN 158. El tiempo de fraguado de cementos que contengan una adición funcional acelerante o retardante solicitada por el usuario no requiere cumplir con los límites de esta tabla, pero debe ser establecido por el fabricante.

^F Aplicable solo cuando se especifica moderado (MH) o bajo (LH) calor de hidratación, en cuyo caso los requisitos de resistencia deben ser el 80% de los valores indicados en la tabla.

^G El ensayo de expansión en el mortero es un requisito opcional a ser aplicado solo a pedido del comprador y no se requiere a menos que el cemento vaya a ser utilizado con áridos reactivos con los álcalis.

^H En los ensayos para un cemento Tipo (HS); el ensayo a un año ya no es necesario cuando el cemento cumple con el límite a los 180 días. Un cemento (HS) que no cumpla el límite a 180 días no debe ser rechazado a menos que no cumpla con el límite a un año.

^I Criterio opcional de resistencia a los sulfatos, aplicable solamente cuando se especifica.

(Continúa)

7.1.2.2 Puzolana o escoria. La puzolana o la escoria granulada de altos hornos o el cemento de escoria que va a ser mezclado con el cemento deben ser ensayados en el mismo estado de finura que aquel en el cual va a ser mezclado. La puzolana debe cumplir con los requisitos de finura y del índice de actividad de la tabla 3. El cemento de escoria que va a ser utilizado para cementos portland de escoria de altos hornos Tipo IS(<25) o cementos compuestos ternarios Tipo IT(S<25), debe cumplir con el requisito de índice de actividad de la tabla 3. Tal puzolana o escoria granulada de altos hornos o cemento de escoria que va a ser molido conjuntamente con el clinker de cemento portland, antes de ensayarse para determinar el cumplimiento de los requisitos de la tabla 3, deben ser molidos en el laboratorio hasta una finura como la que se cree que estará presente en el cemento acabado. Es responsabilidad del fabricante decidir sobre la finura a la cual los ensayos deben realizarse y a pedido de un comprador, proporcionar la información sobre la cual se ha basado su decisión.

7.1.2.3 La puzolana para utilizarse en la fabricación de cemento portland puzolánico, Tipo IP(<15) y IP(<15)-(A) o cementos compuestos ternarios Tipo IT(P<15) y IT(P<15)-(A), debe cumplir con los requisitos de la tabla 3 cuando sea ensayada para determinar la expansión del mortero de puzolana como se describe en el numeral 8.1.13. Si el contenido de álcalis del clinker, a utilizarse para los lotes de producción, cambia en más del 0,2% total como equivalente de Na₂O, calculado como Na₂O + 0,658 K₂O, respecto del clinker con el cual se realizaron los ensayos de aceptación, la puzolana debe ser ensayada nuevamente para demostrar el cumplimiento con los requisitos de la tabla 3.

TABLA 3. Requisitos para puzolana para uso en cementos compuestos y para escoria para uso en cementos portland con escoria de altos hornos Tipo IS(<25) y cementos compuestos ternarios Tipo IT(S<25)

PUZOLANA Y ESCORIA, SEGÚN SEA APLICABLE	NORMA APLICABLE	
Finura: Cantidad retenida en el tamiz de 45 µm (No. 325) mediante el tamizado húmedo, % máximo	INEN 957	20,0
Reactividad alcalina de la puzolana: Para uso en cementos de Tipo IP(<15), IT(P<15) y IP(<15) – (A), IT(P<15) – (A); seis ensayos, expansión de la barra de mortero a 91 días, % máximo.	INEN 867	0,05
Índice de actividad con cemento portland, a 28 días, % mínimo	(Ver anexo A1)	75

7.2 Requisitos complementarios

7.2.1 Almacenamiento: El cemento debe ser almacenado de tal manera que permita un fácil acceso para una apropiada inspección e identificación de cada lote, en una edificación adecuada que proteja de la intemperie, de la humedad y minimice el fraguado de almacenamiento.

8. MÉTODOS DE ENSAYO

8.1 Determinar las propiedades aplicables enumeradas en esta norma de acuerdo con los siguientes métodos de ensayo, en caso de que las NTE INEN, listadas no estén actualizadas, debe regirse a las normas ASTM correspondientes.

8.1.1 Análisis químico. NTE INEN 160, con las condiciones especiales anotadas allí aplicables al análisis de cementos compuestos.

8.1.2 Finura por tamizado. NTE INEN 957.

8.1.3 Finura por el aparato de permeabilidad al aire. NTE INEN 196.

8.1.4 Expansión en autoclave. NTE INEN 200, excepto que en el caso de cemento portland de escoria de altos hornos IS(≥70) o cementos compuestos ternarios IT(S≥70), los especímenes de ensayo deben permanecer en la cámara de humedad por un período de 48 horas antes de medir su longitud y el cemento puro (pasta de cemento) debe ser mezclado por no menos de 3 minutos, ni más de 3 minutos 30 segundos.

(Continúa)

8.1.5 *Tiempo de fraguado.* NTE INEN 158.

8.1.6 *Contenido de aire del mortero.* NTE INEN 195. Para calcular el contenido de aire, utilizar la gravedad específica verdadera del cemento, si ésta difiere de 3,15 en más de 0,05.

8.1.7 *Resistencia a la compresión.* NTE INEN 488.

8.1.8 *Calor de hidratación.* NTE INEN 199.

8.1.9 *Consistencia normal.* NTE INEN 157, excepto en el caso de cemento portland de escoria de altos hornos IS(≥ 70) o cementos compuestos ternarios IT(S ≥ 70), la pasta debe ser mezclada por no menos de 3 minutos, ni más de 3 minutos 30 segundos.

8.1.10 *Densidad.* NTE INEN 156.

8.1.11 *Requerimiento de agua.* La masa del agua de mezclado añadida en la amasada de seis cubos, en concordancia con la NTE INEN 488, como un porcentaje de los ingredientes cementantes totales.

8.1.12 *Expansión del mortero de cemento compuesto.* NTE INEN 867, utilizando vidrio Pyrex triturado No. 7 740 como árido (ver nota 9) y la granulometría dispuesta en la tabla 4.

TABLA 4. Requisitos de granulometría de áridos para el ensayo de expansión de morteros

TAMAÑO DEL TAMIZ		MASA %
PASA	RETIENE EN	
4,75 - mm (No. 4)	2,36 - mm (No. 8)	10
2,36 - mm (No. 8)	1,18 - mm (No. 16)	25
1,18 - mm (No. 16)	600 - μm (No. 30)	25
600 - μm (No. 30)	300 - μm (No. 50)	25
300 - μm (No. 50)	150 - μm (No. 100)	15

8.1.13 *Expansión del mortero de puzolana para uso en cementos portland puzolánicos Tipos IP(<15) y IP(<15)-(A) o cementos compuestos ternarios Tipos IT(P<15) y IT(P<15)-(A).* Utilizando la puzolana y el clinker o cemento que van a ser utilizados juntos en la producción del cemento compuesto, preparar cementos portland puzolánicos Tipos IP(<15) y IP(<15)-(A) o cementos compuestos ternarios Tipos IT(P<15) y IT(P<15)-(A), conteniendo 2,5%; 5%; 7,5%; 10%; 12,5% y 15% de puzolana en masa. Estas mezclas deben ser ensayadas de acuerdo con el método de ensayo de la NTE INEN 867 utilizando una arena que se juzgue que no es reactiva mediante el ensayo de la barra de mortero de la NTE INEN 867. La expansión de las barras de mortero debe ser medida a los 91 días y las seis mezclas deben cumplir con los requisitos de expansión de la tabla 3.

8.1.14 *Retracción por secado.* NTE INEN 2 504. Preparar tres especímenes utilizando la proporción de materiales secos de 1 parte de cemento por 2,75 partes de arena de Ottawa graduada, según la NTE INEN 488. Utilizar un período de curado de 6 días y un período de almacenamiento al aire de 28 días. Reportar la contracción lineal durante el almacenamiento al aire basado en una medida inicial después de un período de 6 días de curado en agua.

8.1.15 *Índice de actividad con cemento portland.* Ensayo de acuerdo al Anexo A.

8.1.16 *Resistencia a los sulfatos.* NTE INEN 2 503.

8.2 Requisitos de tiempos para ensayos. Se deben permitir los siguientes períodos, desde la fecha de muestreo, para la terminación de los ensayos:

NOTA 9. El vidrio Pyrex No. 7 740 está disponible como vidrio de deshecho en terrones en Cornign Glass Works, Corning, NY; esta es la única fuente de provisión conocida por el comité ASTM en este momento. Si usted conoce proveedores alternativos, por favor proporcione esta información a las oficinas de ASTM Internacional. Sus comentarios recibirán una cuidadosa consideración en una reunión del comité técnico responsable, a la que usted puede asistir.

(Continúa)

ensayo a 3 días	8 días
ensayo a 7 días	12 días
ensayo a 14 días	19 días
ensayo a 28 días	33 días
ensayo a 8 semanas	61 días

9. INSPECCIÓN

9.1 Inspección

9.1.1 Se deben proporcionar al comprador instalaciones para realizar una inspección y muestreo cuidadosos del cemento terminado. La inspección y el muestreo del cemento deben realizarse en la fábrica o en el sitio de distribución controlado por el fabricante o en cualquier otra ubicación como sea acordado entre el comprador y el vendedor.

9.1.2 El fabricante debe proveer instalaciones adecuadas para permitir al inspector controlar las masas relativas de los constituyentes utilizados y las operaciones de molienda conjunta o de mezclado en la fábrica, para producir el cemento. Las instalaciones en planta, para molienda conjunta o mezclado y la inspección, deben ser adecuadas para asegurar el cumplimiento con las disposiciones de esta norma.

9.2 Muestreo. Tomar las muestras de los materiales en concordancia con los siguientes métodos:

9.2.1 *Muestreo de cementos compuestos.* NTE INEN 153.

9.2.1.1 Cuando el comprador desee que el cemento sea muestreado y ensayado para verificar el cumplimiento con esta norma, realizar el muestreo y los ensayos de acuerdo a la NTE INEN 153.

9.2.1.2 La NTE INEN 153 no está diseñada para control de calidad en la fabricación y no se requiere para la certificación del fabricante.

9.2.2 *Muestreo de puzolana.* Se debe tomar una muestra de 2 kg, aproximadamente cada 360 Mg (toneladas métricas) de puzolana, según la NTE INEN 1 501.

9.3 Aceptación o rechazo

9.3.1 Como opción del comprador, el cemento puede ser rechazado si no cumple alguno de los requisitos de esta norma aplicables al cemento. Para un requisito opcional, el rechazo debe aplicarse, solo si esta opción ha sido solicitada para el cemento a ser ensayado.

9.3.2 Cuando el comprador lo requiera, el cemento en almacenamiento a granel durante un período mayor de 6 meses debe ser muestreado nuevamente y reensayado y, como opción del comprador, puede ser rechazado si no cumple alguno de los requisitos aplicables de esta norma. El cemento así rechazado debe ser responsabilidad del propietario del producto al momento del muestreo para reensayo.

9.3.3 Cuando el comprador lo requiera, los sacos que tengan más de 2% por debajo de la masa marcada en los mismos pueden ser rechazados; o si la masa media de los sacos en cualquier cargamento, como se demuestra por la determinación de la masa de 50 sacos tomados al azar, es menor que la marcada en los sacos, el cargamento completo, a opción del comprador, puede ser rechazado.

10. CERTIFICACIÓN

10.1 A pedido del comprador, el fabricante debe establecer por escrito el origen, cantidad, y composición de los componentes esenciales utilizados en la fabricación del cemento terminado y la composición del cemento compuesto comprado.

(Continúa)

10.2 A pedido del comprador, el fabricante debe establecer por escrito la naturaleza, cantidad e identidad de cualquier adición de proceso, funcional o incorporadora de aire utilizada; y también, si es requerido, debe suministrar datos de ensayos que demuestren el cumplimiento de tal adición de proceso, con los requisitos de la NTE INEN 1 504, de cualquier adición funcional con los requisitos de la norma ASTM C 688 y de cualquier adición incorporadora de aire con los requisitos de la norma ASTM C 226.

10.3 A pedido del comprador, el fabricante también debe declarar por escrito que la cantidad de puzolana o escoria en el cemento terminado no variará en más de $\pm 5,0\%$ en masa del cemento terminado de lote a lote o dentro de un mismo lote.

10.4 A pedido del comprador en el contrato u orden de compra, el fabricante debe suministrar un certificado que indique que el material fue ensayado durante la producción o transferencia, de acuerdo con esta norma y que cumple con ella. Al momento del despacho debe presentar un informe con los resultados de los ensayos que incluya la cantidad retenida sobre el tamiz de 45 μm (No. 325) y la superficie específica por el método de permeabilidad al aire.

11. ENVASADO Y ETIQUETADO

11.1 Cuando se entrega cemento en sacos, se debe cumplir todas las condiciones establecidas en la NTE INEN 1 902, entre ellas, marcar con claridad en cada saco el nombre del producto, "Cemento Portland de Escoria de Altos Hornos", "Cemento Portland Puzolánico" o "Cemento Compuesto Ternario", según sea el caso, el tipo de cemento, el nombre y la marca del fabricante y el contenido neto del cemento en masa. Cuando el cemento contenga una adición funcional listada en el numeral 5.1.4, literales e al j, el tipo de adición funcional debe ser claramente marcado en cada saco. Información similar debe proporcionarse en los documentos de despacho que acompañen los envíos de cemento envasado o al granel. Todos los sacos deben estar en buena condición al momento de la inspección.

(Continúa)

ANEXO A (Información obligatoria)

ÍNDICE DE ACTIVIDAD CON CEMENTO PORTLAND

A.1 Preparación de los especímenes. Moldear, curar y ensayar los especímenes de una mezcla de control y de una mezcla de ensayo de acuerdo con la NTE INEN 488. El cemento portland empleado en la mezcla de control debe cumplir los requisitos de la NTE INEN 152 y debe ser del tipo y, si hay disponible, de la marca de cemento a ser empleado en la obra. Fabricar amasadas para tres cubos como sigue: (Para amasadas para seis o nueve cubos, duplicar o triplicar, respectivamente, las cantidades de los ingredientes secos).

A.1.1 Mezcla de control:

250 g de cemento portland
 687,5 g de arena de Ottawa graduada
 X cm³ de agua requerida para obtener un flujo de 100 a 115

A.1.2 Mezcla de ensayo de puzolana:

162,5 g de cemento portland

$$\text{puzolana} = 87,5 \times \frac{\text{gravedad específica de la muestra}}{\text{gravedad específica del cemento portland}} \text{ (gramos)}$$

687,5 g de arena de Ottawa graduada
 Y cm³ de agua requerida para obtener un flujo de 100 a 115

A.1.3 Mezcla de ensayo de escoria:

75 g de cemento portland

$$\text{escoria} = 175 \times \frac{\text{gravedad específica de la escoria}}{\text{gravedad específica del cemento portland}} \text{ (gramos)}$$

687,5 g de arena de Ottawa graduada
 Z cm³ de agua requerida para obtener un flujo de 100 a 115

A.2 Almacenamiento de los especímenes. Después de moldearlos, colocar los especímenes en los moldes (sobre sus placas de base) en la cámara de curado, a 23,0 °C ± 2,0 °C durante 20 a 24 horas. Mientras se encuentren en la cámara de curado, proteger la superficie de los especímenes de goteo de agua. Retirar los moldes de la cámara de curado y extraer los cubos de los moldes. Colocar los cubos en recipientes de metal o vidrio de ajuste perfecto (ver nota A.1), sellar los recipientes herméticamente y almacenarlos a 38,0 °C ± 2,0 °C durante 27 días. Dejar enfriar las muestras hasta 23,0 °C ± 2,0 °C antes de ensayarlas.

A.3 Ensayos de resistencia a la compresión. Determinar la resistencia a la compresión de los tres especímenes de la mezcla de control y de la mezcla de ensayo a una edad de 28 días en concordancia con el método de ensayo de la NTE INEN 488.

NOTA A.1. Utilizar cualquier recipiente metálico que tenga capacidad para tres cubos si puede ser sellado herméticamente. Se han encontrado satisfactorios recipientes de lámina metálica con estaño liviano, con dimensiones interiores de 52 mm por 52 mm por 160 mm. Se han encontrado satisfactorias botellas Mason de boca ancha de 1 litro de capacidad a condición de que se tomen precauciones para prevenir su rotura. (Advertencia: Las mezclas de cemento hidráulico frescas son cáusticas y pueden causar quemaduras químicas a la piel y tejidos en exposiciones prolongadas).

(Continúa)

A.4 Cálculos. Calcular el índice de actividad con cemento portland como sigue:

$$\text{Índice de actividad con cemento portland} = (A/B) \times 100 \quad (\text{A.1})$$

donde:

A = resistencia a la compresión promedio de los cubos de la mezcla de ensayo, MPa y

B = resistencia a la compresión promedio de los cubos de la mezcla de control, MPa

A.5 Precisión y desviación

A.5.1 Precisión. La precisión para un solo operador, sobre cementos compuestos, utilizando ceniza volante, es esencialmente la misma que sobre mezclas: ceniza volante/cementos compuestos del reporte de investigación C 09 – 1 001 (ver nota A.2) y se encontró que tiene un coeficiente de variación de 3,8% (1s%). Esto significa que los resultados de dos ensayos apropiadamente realizados por el mismo operador no deben diferir en más del 10,7% (d2s) del promedio de los dos resultados. Debido a que el ensayo se realiza solamente con propósitos de certificación del fabricante ninguna precisión multilaboratorio sobre la calidad de la materia prima, es aplicable.

A.5.2 Desviación. Ya que no hay material normalizado de referencia, la desviación no puede ser determinada.

NOTA A.2. Los datos de respaldo constan en el informe de investigación RR: C09-1001 que está archivado en la sede de ASTM International y puede ser solicitado.

(Continúa)

APÉNDICE Y RESUMEN

DE CAMBIOS

Y.1 En este apéndice se recogen los cambios efectuados en esta actualización de NTE INEN, con respecto de la cuarta revisión de esta norma.

Y.1.1 Se incluyeron los numerales 3.1.1, 3.1.2, 4.1.1.3, 4.2.2, 4.2.3, 6.1.3, 6.1.12, 6.1.13 y se renumeraron los subsiguientes numerales.

Y.1.2 Se incluyeron las notas 2 y 3 y se renumeraron las subsiguientes notas.

Y.1.3 Se eliminaron las antiguas notas 5 y 10.

Y.1.4 Se incluyeron las notas 7 y A.2.

Y.1.5 Se cambió la ubicación de la sección “Métodos de ensayo”, para que esté antes de la sección “Inspección”

Y.1.6 Se actualizaron los numerales 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 y 11.

Y.1.7 Se actualizaron los literales A.1, A.2 y A.5

Y.1.8 Se actualizaron las notas 1, 4, 5, 8 y 9.

Y.1.9 Se actualizaron las tablas 1, 2 y 3.

(Continúa)

APÉNDICE Z

Z.1 DOCUMENTOS NORMATIVOS A CONSULTAR

Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 151	<i>Cemento hidráulico. Definición de términos.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 152	<i>Cemento portland. Requisitos.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 153	<i>Cemento hidráulico. Muestreo y ensayos.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 156	<i>Cemento hidráulico. Determinación de la densidad.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 157	<i>Cemento hidráulico. Determinación de la consistencia normal. Método de Vicat.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 158	<i>Cemento hidráulico. Determinación del tiempo de fraguado. Método de Vicat.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 160	<i>Cemento hidráulico. Métodos de ensayo para el análisis químico</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 195	<i>Cemento hidráulico. Determinación del contenido de aire en morteros.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 196	<i>Cemento hidráulico. Determinación de la finura mediante el aparato de permeabilidad al aire.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 199	<i>Cemento hidráulico. Determinación del calor de hidratación.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 200	<i>Cemento hidráulico. Determinación de la expansión en autoclave.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 488	<i>Cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de morteros en cubos de 50 mm de arista.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 867	<i>Áridos para hormigón. Determinación de la reactividad alcalina potencial de combinaciones árido-cemento (Método de la barra de mortero).</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 957	<i>Cemento hidráulico. Determinación de la finura mediante el tamiz de 45 µm (No. 325).</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1 501	<i>Hormigón de cemento portland. Ceniza volante o puzolana natural para su uso en el hormigón de cemento portland. Muestreo y ensayos</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1 504	<i>Cementos hidráulicos. Aditivos de proceso. Requisitos.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1 505	<i>Cemento hidráulico. Determinación del SO₃ óptimo aproximado, usando la resistencia a la compresión.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1 902	<i>Cementos. Rotulado de fundas.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 380	<i>Cementos hidráulicos. Requisitos de desempeño.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 501	<i>Cemento hidráulico. Determinación del sulfato que se puede extraer con agua del mortero de cemento hidráulico hidratado.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 503	<i>Cemento hidráulico. Determinación del cambio de longitud en morteros expuestos a una solución de sulfato</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 504	<i>Cemento hidráulico. Determinación del cambio de longitud del mortero y del hormigón endurecidos.</i>
Norma ASTM C 226	<i>Especificaciones para adiciones incorporadoras de aire para uso en la fabricación de cemento hidráulico con incorporación de aire.</i>
Norma ASTM C 688	<i>Especificaciones para las adiciones funcionales para uso en el cemento hidráulico.</i>
Norma ASTM C 821	<i>Especificación para cal para uso con puzolanas.</i>

Z.2 BASE DE ESTUDIO

ASTM C 595 – 10. *Standard Specification for Blended Hydraulic Cements.* American Society for Testing and Materials. Philadelphia, 2010.

INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

Documento: NTE INEN 490
TÍTULO: CEMENTOS HIDRÁULICOS COMPUESTOS. **Código:** CO 02.02-403
REQUISITOS
Quinta revisión

ORIGINAL: Fecha de iniciación del estudio:	REVISIÓN: Fecha de aprobación anterior del Consejo Directivo 2009-08-14 Oficialización con el Carácter de OBLIGATORIA por Resolución No. 067-2009 de 2009-10-13 publicado en el Registro Oficial No. 64 de 2009-11-11 Fecha de iniciación del estudio: 2010-07-21
---	--

Fechas de consulta pública: de _____ a _____

Subcomité Técnico: **Cementos**
Fecha de iniciación: 2010-08-03
Integrantes del Subcomité Técnico:

Fecha de aprobación: 2010-08-20

NOMBRES:	INSTITUCIÓN REPRESENTADA:
Ing. Raúl Camaniero (Presidente)	FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
Ing. Jaime Salvador (Vicepresidente)	INSTITUTO ECUATORIANO DEL CEMENTO Y DEL HORMIGÓN. INECYC
Ing. Hugo Egüez	HOLCIM ECUADOR S. A. (AGREGADOS)
Ing. Carlos Ronquillo	HOLCIM ECUADOR S. A. (CEMENTOS)
Sr. Carlos Aulestia	LAFARGE CEMENTOS S. A.
Ing. Patricio Ruiz	INDUSTRIAS GUAPÁN S. A.
Ing. Guillermo Realpe	FACULTAD DE INGENIERÍA. PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
Lcda. Evelyn Gutiérrez	FACULTAD DE INGENIERÍA. PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
Ing. Raúl Ávila	HORMIGONES HÉRCULES S. A.
Ing. Washington Benavides	FACULTAD DE INGENIERÍA. UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
Ing. Carlos González	INTACO ECUADOR S. A.
Ing. Verónica Miranda	CONCRETOS V.M.
Ing. Carlos Castillo (Prosecretario Técnico)	INSTITUTO ECUATORIANO DEL CEMENTO Y DEL HORMIGÓN. INECYC.

Otros trámites: ♦⁹ La NTE INEN 490:2009 (Cuarta Revisión) sin ningún cambio en su contenido fue **DESREGULARIZADA**, pasando de **OBLIGATORIA a VOLUNTARIA**, según Resolución No. 009-2010 de 2010-03-05, publicado en el Registro Oficial No. 152 del 2010-03-17.

Esta NTE INEN 490:2011 (Quinta Revisión), reemplaza a la NTE INEN 490:2009 (Cuarta Revisión)
El Directorio del INEN aprobó este proyecto de norma en sesión de 2010-11-26

Oficializada como: Voluntaria
Registro Oficial No. 366 de 2011-01-19

Por Resolución No. 141-2010 de 2010-12-23

**Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN - Baquerizo Moreno E8-29 y Av. 6 de
Diciembre
Casilla 17-01-3999 - Telfs: (593 2)2 501885 al 2 501891 - Fax: (593 2) 2
567815
Dirección General: E-
Mail: direccion@inen.gob.ec
Área Técnica de Normalización: E-
Mail: normalizacion@inen.gob.ec Área Técnica de**

Certificación: E-Mail:certificacion@inen.gob.ec Área Técnica
de Verificación: E-Mail:verificacion@inen.gob.ec
Área Técnica de Servicios Tecnológicos: E-
Mail:inencati@inen.gob.ec
Regional Guayas: E-Mail:inguayas@inen.gob.ec
Regional Azuay: E-Mail:inencuenca@inen.gob.ec
Regional Chimborazo: E-
Mail:inenriobamba@inen.gob.ec
URL:www.inen.gob.ec

ANEXO 10

**“ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL
CONTRATO DE DURMIENTES DE
HORMIGÓN PRETENSADO”**