



**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL**

**ESTUDIO COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO EN CREEP DE
HORMIGONES H30 Y H70 EN EDADES TEMPRANAS**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

IGNACIO MARCOS GONZÁLEZ HEVIA

**PROFESOR GUIA:
FEDERICO DELFIN ARIZTÍA**

**MIEMBROS DE LA COMISION:
DAVID CAMPUSANO BROWN
VÍCTOR ÁGUILA OLAVE**

**SANTIAGO DE CHILE
MARZO 2008**

**RESUMEN DE LA MEMORIA
PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL
POR: IGNACIO GONZÁLEZ HEVIA
FECHA: ENERO 2008-01-02
PROF. GUÍA: SR. FEDERICO DELFÍN**

**ESTUDIO COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO EN CREEP DE
HORMIGONES H30 Y H70 EN EDADES TEMPRANAS**

Las deformaciones por creep en estructuras son actualmente consideradas junto a la retracción de secado como las únicas de interés para el estado límite de servicio de estructuras, por otro lado, estas deformaciones provocan redistribución de tensiones en estructuras de hormigón reforzado y más aún pérdidas de tensión en estructuras de hormigón pretensado.

En este estudio se compara el desarrollo de creep básico en dos hormigones los cuales representan al hormigón convencional actualmente utilizado en Chile (H30) y a un hormigón de alta resistencia (H70).

Las mediciones se realizaron mediante probetas prismáticas selladas, que se postensan para obtener la carga de compresión y se mantienen en condiciones ambientales controladas durante todo el periodo de mediciones.

Definido el método se procedió a estudiar el comportamiento de un hormigón de alta resistencia (H70) variando la edad al momento de aplicar la carga (1, 3 y 7 días), el nivel de la tensión aplicada se mantuvo en un 20% de la resistencia última del hormigón al momento de aplicar la carga. Este comportamiento fue comparado con el del hormigón convencional H30, bajo las mismas condiciones de ensayo.

Se concluyó que ambos hormigones presentaban deformaciones de creep básico similares en edades tempranas, para relaciones carga aplicada-resistencia equivalentes, y que estas son predecibles de mejor manera con el modelo para hormigones de alta resistencia de Dilger et al.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco en primera instancia a mis padres por el constante apoyo, la guía y los valores que me han entregado y me acompañan día a día.

De la misma manera quisiera hacer explícita mi gratitud a mi profesor guía don Federico Delfín el ofrecimiento del tema, por su dedicación y ayuda en el desarrollo de este trabajo de título, y especialmente por el apoyo entregado en los momentos claves sin el cual no se hubiese podido llevar a término.

Se agradece también al Instituto de Investigación y Ensayos de Materiales, por todas las facilidades entregadas para el desarrollo de este trabajo, especialmente a la sección de Hormigones quien financió el proyecto, y a la sección de Estructuras la que facilitó los equipos necesarios para esta investigación.

ÍNDICE DE LA MEMORIA

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN	4
1.1 OBJETIVOS:	5
1.2 DISCUSIÓN BIBLIOGRÁFICA	6
1.2.1 <i>Viscoelasticidad</i>	6
1.2.2 <i>Factores que afectan el creep en el concreto</i>	11
1.2.3 <i>Marco experimental</i>	13
1.3 METODOLOGÍA	14
1.3.1 <i>Disponibilidad de equipo</i>	14
1.3.2 <i>Metodología de ensayo</i>	15
1.3.3 <i>Procesamiento de la información</i>	15
CAPITULO II: PROGRAMA EXPERIMENTAL	16
2.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES	16
2.1.1 <i>Áridos</i>	16
2.1.2 <i>Agua</i>	17
2.1.3 <i>Cemento</i>	17
2.1.4 <i>Aditivos</i>	18
2.2 ENSAYOS DE CREEP	18
2.3 PROGRAMA DE ENSAYOS:	19
2.3.1 <i>Resistencia a los 28 días:</i>	19
2.3.2 <i>Resistencia a los 1, 3 y 7 días.</i>	19
2.3.3 <i>Retracción en función del tiempo</i>	19
2.3.4 <i>Ensayos de Creep</i>	19
2.4 PROBETAS.....	20
2.5 MODO DE ENSAYO INICIALMENTE PROPUESTO.....	21
2.6 DISEÑO DEL EQUIPO DE ENSAYO	22
2.7 INSTRUMENTACIÓN.....	23
2.8 MODO DE ENSAYO	27
2.8.1 <i>Aplicación de la carga</i>	27
2.8.2 <i>Lecturas de deformaciones</i>	28
2.9 DOSIFICACIONES.....	29
2.10 PROCEDIMIENTO PARA LA CREACIÓN DE LAS PROBETAS.....	30
CAPITULO III: RESULTADOS DE ENSAYOS Y ANÁLISIS	32
3.1 PROPIEDADES DEL HORMIGÓN FRESCO	32

3.2 RETRACCIÓN	33
3.3 ENSAYOS DE CREEP	34
3.3.1 Modelo Logarítmico.....	34
3.3.2 Modelo hiperbólico.....	36
3.3.3 Edad al momento de aplicación de la carga.....	38
3.3.5 Efecto de la resistencia (tipo de hormigón).....	39
3.4 COMPARACIÓN CON MODELOS TEÓRICOS	40
3.4.1 Modelo B3 (hormigón H30).....	41
3.4.2 Modelo para hormigones de alta resistencia (hormigón H70).....	43
CAPITULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	46
4.1 CONCLUSIONES.....	46
4.2 RECOMENDACIONES	48
CAPITULO V: BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS.....	49
APÉNDICES.....	51
APÉNDICE A: CURVAS DE CREEP H30	52
APÉNDICE B: CURVAS H30 MODELO LOGARÍTMICO.	55
APÉNDICE C: CURVAS H30 MODELO HIPERBÓLICO	58
APÉNDICE D: CURVAS DE CREEP H70	61
APÉNDICE E: CURVAS H70 MODELO LOGARÍTMICO.	64
APÉNDICE F: CURVAS H70 MODELO HIPERBÓLICO.....	67
APÉNDICE G: DATOS DE ENSAYOS DE RESISTENCIA	70
APÉNDICE H: PLANOS	72

INDICE DE TABLAS Y FIGURAS

FIGURA 1.1.1 PROBETAS CARGADAS DURANTE LOS ENSAYOS	5
FIGURA 1.2.1.1 FENÓMENOS VISCOELÁSTICOS.....	6
FIGURA 1.2.1.2 REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LOS DISTINTOS FENÓMENOS QUE PRODUCEN DEFORMACIONES EN EL TIEMPO EN EL HORMIGÓN	7
FIGURA 1.2.1.3: MODELOS REOLÓGICOS ESTÁNDAR	8
TABLA 1.2.2.1.1, EFECTO DE VARIAS ADICIONES EN EL CREEP TOTAL Y BÁSICO	12
FIGURA 1.2.3.1 MARCO UTILIZADO POR ASTM 512	13
FIGURA 1.2.3.2 MÉTODO UTILIZADO EN KOCHI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY	14
TABLA 2.1.1.1 GRANULOMETRÍAS DE LOS ÁRIDOS SIN MEZCLAR.....	16
FIGURA 2.1.1.2: GRANULOMETRÍA ÁRIDOS SIN MEZCLAR	17
TABLA 2.1.3.1 PROPIEDADES DEL CEMENTO MELÓN SÚPER.	17
FIGURA 2.4.1: GEOMETRÍA DE LAS PROBETAS PRISMÁTICAS	20
FIGURA 2.4.2 TOPES METÁLICOS.....	20
FIGURA 2.4.3 EXTENSÓMETRO.....	21
FIGURA 2.5.1 ENSAYO INICIALMENTE PROPUESTO	21
TABLA 2.6.1 NIVEL DE TENSIÓN EN LAS DISTINTAS SECCIONES DE LA BARRA	22
FIGURA 2.6.2 CURVA TENSIÓN-DEFORMACIÓN UNITARIA DE ACERO SAE 4340.....	23
FIGURA 2.7.1 CUARTO DE PUENTE CON 2 ESTAMPILLAS	24
FIGURA 2.7.2 CUARTO DE PUENTE CON 1 ESTAMPILLA	25
TABLA 2.7.3 USO CANALES DEL INDICADOR DE DEFORMACIÓN	26
FIGURA 2.7.4 INDICADOR DE DEFORMACIÓN.....	26
FIGURA 2.8.1 DISPOSICIÓN DE LOS EQUIPOS.....	27
TABLA 2.8.1.1, REGISTRO DE PÉRDIDAS DE TENSIÓN	28
TABLA 2.9.1: GRANULOMETRÍAS DE LOS ÁRIDOS COMBINADOS.....	29
FIGURA 2.9.2 REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LOS ÁRIDOS UTILIZADOS EN AMBAS DOSIFICACIONES.....	29
TABLA 2.9.3 DOSIFICACIONES.....	29
TABLA 2.9.4 PROPIEDADES DEL HORMIGÓN FRESCO EN CADA	30
FIGURA 2.10.1 MOLDE UTILIZADO	30
FIGURA 2.10.1 PROCEDIMIENTO PARA LA CONFECCIÓN DE LAS PROBETAS.....	31
TABLA 3.1.1 PROPIEDADES DEL HORMIGÓN FRESCO.....	32
FIGURA 3.1.2 CURVAS DE DESARROLLO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LOS HORMIGONES.....	32
FIGURA 3.2.1 RETRACCIÓN POR SECADO DE HORMIGONES EN ESTUDIO.....	33
FIGURA 3.3.1. REGRESIÓN LINEAL DE DATOS DE CREEP SEGÚN MODELO LOGARÍTMICO.....	35
TABLA 3.3.1.2 DATOS CREEP MODELO LOGARÍTMICO DOSIFICACIÓN H30.....	35
TABLA 3.3.1.3 DATOS CREEP MODELO LOGARÍTMICO DOSIFICACIÓN H70.....	35
FIGURA 3.3.2.1 REGRESIÓN LINEAL DE DATOS DE CREEP SEGÚN MODELO HIPERBÓLICO.....	36
TABLA 3.3.1.2 PARÁMETROS MODELO HIPERBÓLICO PARA ENSAYOS DE CREEP, HORMIGÓN H30.....	37
TABLA 3.3.1.2 PARÁMETROS MODELO HIPERBÓLICO PARA ENSAYOS DE CREEP, HORMIGÓN H70.....	37
FIGURA 3.3.3.1 CURVAS H30.....	38
FIGURA 3.3.3.2 CURVAS H70.....	38
FIGURA 3.3.5.1 CREEP A EDAD DE 1 DÍA.....	39
FIGURA 3.3.5.2 CREEP A EDAD DE 3 DÍAS.....	39
FIGURA 3.3.5.3 CREEP A EDAD DE 7 DÍAS.....	40
FIGURA 3.4.1.1, COMPARACIÓN DATOS H30 CARGADO EL A UN DÍA CON RESULTADO DEL MODELO B3.....	42
FIGURA 3.4.1.2 COMPARACIÓN DATOS H30 CARGADO AL TERCER DÍA CON RESULTADOS DEL MODELO B3.....	42
FIGURA 3.4.1.3 COMPARACIÓN DATOS H30 CARGADO AL SÉTIMO DÍA CON RESULTADOS DEL MODELO B3.....	43
FIGURA 3.4.2.1 COMPARACIÓN DATOS H70 CARGADO AL PRIMER DÍA CON RESULTADOS DEL MODELO DE DILGER Y WANG.....	44
FIGURA 3.4.2.2 COMPARACIÓN DATOS H70 CARGADO AL TERCER DÍA CON RESULTADOS DEL MODELO DE DILGER Y WANG.....	45

FIGURA 3.4.2.3 COMPARACIÓN DATOS H70 CARGADO AL SÉTIMO DÍA CON RESULTADOS DEL MODELO DE DILGER Y WANG.....	45
--	----

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

El hormigón es un material visco-elástico complejo cuyas propiedades mecánicas evolucionan en el tiempo (desarrollo de resistencia y pérdida de humedad) según leyes que dependen de su composición y condiciones de borde externas impuestas.

Bajo carga sostenida los elementos de una estructura de hormigón armado experimentan deformaciones que dependen del nivel tensional aplicado y la duración de esta acción fenómeno conocido como fluencia lenta o creep. La respuesta en deformación es no-lineal y varía significativamente con la composición y propiedades del hormigón.

El efecto del creep en estructuras de hormigón condiciona los estados tensionales y las deformaciones de las estructuras. En el caso de elementos de hormigón tanto pretensado como póstensado, el creep junto con el efecto de la retracción de secado del hormigón son determinantes en el proceso de pérdida de carga que experimentan los cables que ejercen las tensiones aplicadas a ese tipo de estructuras.

Para corregir estos efectos se hace necesario estimar la magnitud de las deformaciones que sufrirán los elementos sometidos a estados tensionales permanentes en el tiempo.

Por otro lado la tecnología del hormigón en los últimos 20 años ha experimentado un notable desarrollo, permitiendo la obtención de hormigones de alta resistencia en forma industrial.

El hormigón estándar, ampliamente utilizado en Chile es el que corresponde a la clasificación H30 de la norma NCh 170, sin embargo en algunos casos se están especificando hormigones de alta resistencia superiores a H50 y actualmente en edificios de gran altura, hormigones H70.

Dados los significativos cambios que se introducen en la composición y propiedades del hormigón para alcanzar esos niveles de resistencia, se hace necesario disponer de un método

de ensayo y de una base de datos, que permita comparar los comportamientos de estos hormigones ante sollicitaciones sostenidas en el tiempo.

1.1 Objetivos:

- Poner a punto un método de ensayo de laboratorio para evaluar el comportamiento en creep a edades tempranas, tanto de hormigones convencionales como de hormigones de alta resistencia.
- Desarrollar un programa experimental para comparar el comportamiento de hormigones de alta resistencia bajo condiciones de carga controladas y humedad constante, con las del hormigón convencional:
 1. Estado de carga: 20% de la resistencia a compresión al momento de la aplicación de la carga.
 2. Edades del hormigón al momento de aplicar la carga 1, 3 y 7 días.
 3. Duración del ensayo: 7 días.



Figura 1.1.1 Probetas cargadas durante los ensayos.

1.2 Discusión Bibliográfica

Con el objetivo de tener los conocimientos necesarios para desarrollar el trabajo de título propuesto se han revisado una serie de publicaciones que representan el estado del arte en esta disciplina.

1.2.1 Viscoelasticidad

Existen diferentes fenómenos que interactúan produciendo los cambios de tensiones y deformaciones del hormigón en el tiempo, entre los que se cuentan el creep, la relajación y la retracción, los que se pueden ver en la figura 1.2.1.1. [1]

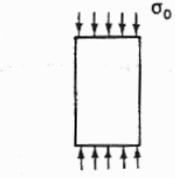
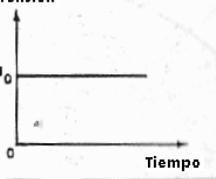
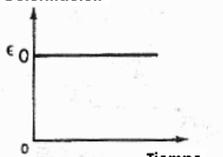
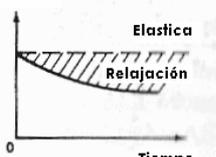
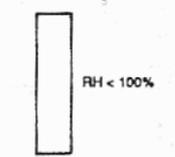
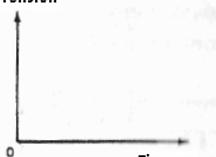
Mecanismo	Diagrama	Deformación v/s tiempo	Tensión v/s tiempo
Creep Básico			
Relajación de tensión			
Retracción de secado (sin restringir)			

Figura 1.2.1.1 Fenómenos viscoelásticos que producen cambios de tensiones y deformaciones en el hormigón.

Estos comportamientos normalmente se presentan como fenómenos asociados como se puede ver en la figura 1.2.1.2. El comportamiento visco-elástico o creep del hormigón usualmente se asocia con el fenómeno de retracción de secado del mismo ya que ambos ocurren simultáneamente, en este trabajo de título se estudia el efecto visco-elástico analizando las deformaciones del hormigón bajo tensión constante, controlando las deformaciones propias de la retracción de secado.

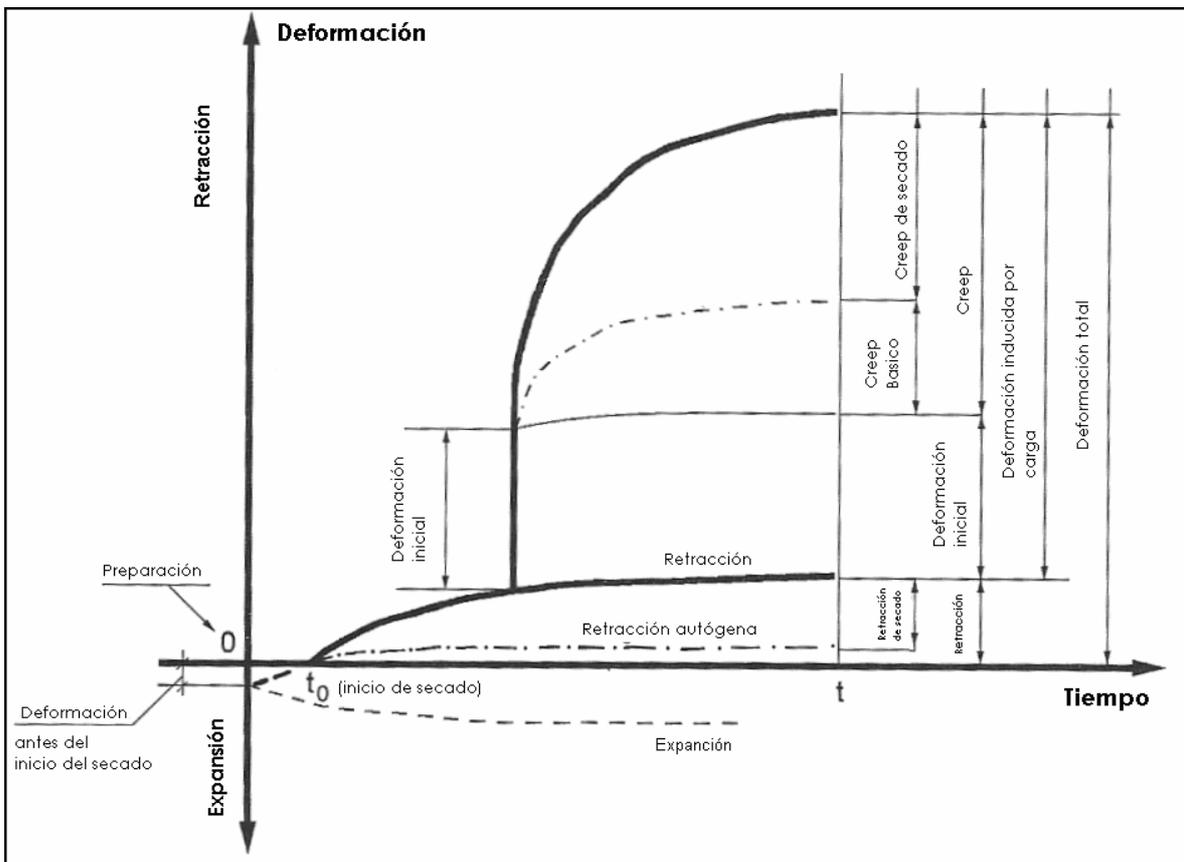


Figura 1.2.1.2 Representación gráfica de los distintos fenómenos que producen deformaciones en el tiempo en el hormigón, en este estudio se busca encontrar el creep básico (ACI Comité 209 2005).

Inicialmente se generaron distintos modelos para caracterizar el comportamiento reológico de materiales [1], así tenemos los modelos de Maxwell y Kelvin utilizando resortes y émbolos hidráulicos en serie y en paralelo respectivamente para modelar un sólido, ambos modelos son limitados ya que el modelo de Maxwell presenta una deformación constante al mantener la tensión constante, y el modelo de Kelvin requiere de una compresión infinita para lograr una

deformación instantánea, lo que tampoco se ajusta al comportamiento de los sólidos, para ello se creó el modelo del sólido estándar, el cual se comporta de manera adecuada con la mayoría de los sólidos. Sin embargo estos modelos probaron ser insuficientes en este caso ya que las propiedades del hormigón cambian durante el proceso de hidratación por lo mismo no son muy exitosos al modelar el hormigón.

Nombre	Representación	Creep	Relajación
(a) Resorte			
(b) Émbolo			
(c) Maxwell			
(d) Kelvin			
(e) Sólido estándar			

Figura 1.2.1.3: modelos reológicos estándar, aquí se puede ver como mediante la superposición de modelos simples de comportamiento se puede lograr una caracterización del comportamiento de los sólidos (Metha y Monteiro 1986).

Para estudiar el creep, tal como lo establecen los distintos métodos de ensayo se deben mantener probetas no cargadas, en las mismas condiciones ambientales para descontar el efecto del proceso de pérdida de humedad o retracción como lo establecen las normas [2].

La formulación básica de la deformación por creep se representa como [1]:

$$\Phi(t, \tau) = 1/E(\tau) + C(t, \tau)$$

Donde:

$\Phi(t, \tau)$: deformación por creep, en el tiempo t para la unidad de tensión aplicada desde el tiempo τ .

t : tiempo.

τ : edad de carga.

$E(\tau)$: módulo elástico a la edad de carga.

$C(t, \tau)$: función de creep.

Entonces se tiene que la función de creep $C(t, \tau)$:

$$C(t, \tau) = F(\tau) \cdot f(t - \tau)$$

En el que $F(\tau)$ representa la función que depende de la edad de carga y $f(t - \tau)$ es la función que modela el incremento de deformaciones dependiente del tiempo de carga.

Para ambos términos de esta ecuación existen distintas formulaciones matemáticas, que tienen mejor o peor desempeño dependiendo del caso modelado:

1.2.1.1 Expresiones para $f(t - \tau)$

- Expresión logarítmica, esta es la que utiliza el ASTM en sus cálculos, tiene el defecto de no tener un máximo, lo que permite que para periodos de tiempo muy largos se sobreestime el efecto del creep.

$$f(t - \tau) = a + b \cdot \log(1 + (t - \tau))$$

- Expresión potencial, esta formulación entrega buenos resultados en edades tempranas, sin embargo, tiene el mismo problema que la expresión logarítmica en el sentido de no entregar un valor final para la deformación por creep.

$$f(t - \tau) = a \cdot (t - \tau)^m$$

- Expresión hiperbólica, esta es la expresión utilizada por el código ACI, y a diferencia de las 2 formulaciones anteriores, en este caso el creep está limitado por 1/b, usualmente subestima el valor del creep en edades tempranas, pero entrega buenas aproximaciones para el creep en rangos normales de medición.

$$f(t - \tau) = \frac{(t - \tau)}{a + b \cdot (t - \tau)}$$

- Expresión exponencial

$$f(t - \tau) = a \cdot (1 - e^{-b \cdot (t - \tau)})$$

1.2.1.2 Expresiones para $F(\tau)$

- Expresión Potencial

$$F(\tau) = a + b \cdot \tau^{-c}$$

- Expresión Exponencial

$$F(\tau) = a + b \cdot e^{-c \cdot \tau}$$

Para representar el comportamiento viscoelástico del hormigón existe una serie de modelos para caracterizar el comportamiento en creep del hormigón [1] y [3]. El modelo CEB-FIP (1990) es el más referenciado en la bibliografía [1], [3], [4], sin embargo cuando éste fue publicado existía poca información experimental sobre creep de hormigones con resistencias superiores a 50MPa, por lo que a pesar que su rango de validez se extiende a los 80MPa, debe ser usado con precaución sobre los 50MPa [3].

El ACI 209 [5] usa un modelo generado por Branson y Kripanarayanan el que ocupa una relación hiperbólica para la deformación por creep dependiente del tiempo, el modelo de Bazant-Panula [1] utiliza una expresión potencial y modelo que propone ASTM una formulación logarítmica.

Para este trabajo se utilizaron dos de estas formulaciones, se utilizó la hiperbólica por que en general en Chile se siguen las disposiciones del ACI por lo que al presentar los resultados de esta forma, permiten su fácil utilización. Por otro lado también se utilizó la formulación logarítmica, para permitir su comparación con otros test, ya que en otros ensayos realizados en Chile, se ha seguido la norma ASTM 512 la que presenta sus resultados de esta manera.

1.2.2 Factores que afectan el creep en el concreto

Existen numerosos factores que afectan el desarrollo de creep en estructuras de concreto, el ACI[12] los separa según su origen en:

- i. factores propios de la mezcla.
- ii. factores provenientes del ambiente.

1.2.2.1 Factores propios del hormigón:

- a) *Cantidad de agregado*, en general esta variable no permite cambios drásticos, sin embargo se ha mostrado como un incremento en el volumen de agregado puede resultar en una disminución del creep básico.
- b) *Tamaño, granulometría y forma del agregado*, existía la creencia de que estos afectan de manera directa el comportamiento del creep básico y de secado, sin embargo, hoy se piensa que es más importante el volumen total del mismo, por otro lado existe una relación entre el tamaño y la adherencia entre la pasta y el agregado, y también afecta la concentración de tensiones y la generación de microgrietas.
- c) *Propiedades mecánicas del agregado*, estas afectan de gran manera el creep del hormigón, puesto que agregados más blandos son más susceptibles de deformarse cuando hay cambios dimensionales en la pasta de cemento, por otro lado agregados porosos suelen también sufrir de mayor manera el efecto del creep, que agregados no porosos.
- d) *Contenido de agua, contenido de cemento y viscosidad (cono de Abrams)*, generalmente para la misma cantidad de cemento a mayor cantidad de agua, serán mayores los efectos del creep, por otro lado la comparación directa de hormigones con distintas cantidades de cemento es difícil puesto que el creep depende en gran medida del nivel de carga aplicado al momento de iniciar la carga. Por otro lado el aumentar el contenido de agua o de agua y cemento aumentará la viscosidad, por lo mismo esta propiedad no es un indicador de creep.

- e) *Contenido de aire*, a mayor contenido de aire se obtienen mayores valores en el creep, pero no es un efecto fácil de cuantificar dado que afecta otras propiedades como la resistencia y el módulo elástico.
- f) *Aditivos*, los aditivos pueden generar distintos efectos en el creep dependiendo del tipo de aditivos que sean, cemento al que sean aplicados, cantidad usada, etc. Es por eso que dada la complejidad del problema se recomienda su evaluación en laboratorio, mediante ensayos. Brooks [13] estudió los efectos de algunos de estos aditivos generando como resultado la tabla 1.2.2.1.1

Ingrediente	Creep manteniendo constante la relación carga-resistencia	
	Básico	Total
Reductores de agua, y reductores de agua de alto rango	Aumenta en 20% a la misma relación A/C (agua-cemento).	Aumenta en 20% a la misma relación A/C (agua-cemento).
Escoria básica granulada de alto horno	Disminuye al aumentar el reemplazo.	No hay cambio.
Ceniza volante	Disminuye al aumentar el reemplazo.	Disminución cuando hay niveles de reemplazo mayores del 10%.
Silica fume (pozzolana) con reemplazos menores del 7,5%	Aumento.	Aumento.

Tabla 1.2.2.1.1, Efecto de varias adiciones en el creep total y básico (Brooks 1989) .

1.2.2.2 Factores ambientales:

- a) *Humedad relativa*, el creep, particularmente el de secado es significativamente afectado por la humedad relativa, el hormigón sumergido en agua o en condiciones que no permitan su secado, puede ser un 75% menor aquel experimentado por el concreto no sujeto a esas condiciones.
- b) *Ciclos de humedad*, se han realizado ensayos que muestran como probetas guardadas a una humedad constante desarrollan menos creep que probetas cuyas condiciones de humedad varían manteniendo como promedio la misma humedad.
- c) *Temperatura*, existen variados estudios con respecto a este tópico, principalmente relacionados con la generación de electricidad, existe consenso general en que una estructura, al mantenerse expuesta a mayor temperatura sufrirá de deformaciones mayores que una que se encuentra a temperatura ambiente. El modelo CEB-FIP, introducido en 1990 presenta ecuaciones para corregir estos efectos, tanto en el tiempo como en el coeficiente de creep.

1.2.3 Marco experimental

Durante el proceso de definición del método de ensayo, se revisaron distintas metodologías de ensayo, entre las cuales se cuenta el método estándar de ensayo diseñado por la ASTM (American Society for Testing and Materials) [2] el cual utiliza un marco de reacción rígido y un sistema de mantención de carga sobre las probetas a compresión como se muestra en la siguiente figura 1.2.3.1.

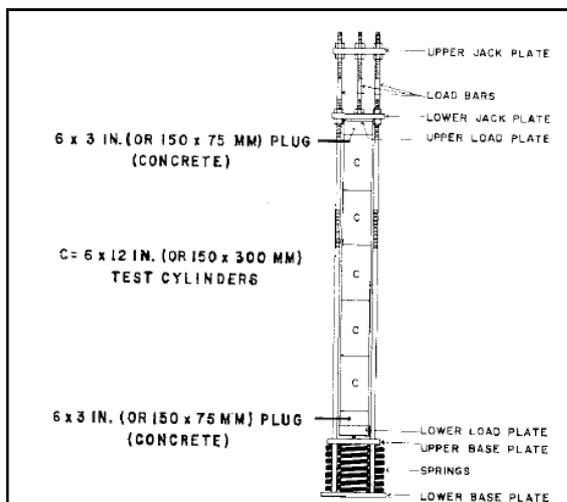


Figura 1.2.3.1 Marco utilizado por ASTM 512, en este marco se utilizan resortes para mantener la compresión en las probetas (ASTM 1994).

Existen otros sistemas de ensayo, entre los cuales se encuentra el propuesto por la Kochi University of Technology, el cual ha sido aplicado con éxito en estudios de creep a edades tempranas, por Krittiya [8] y por Kangvanpanich[9]. En ambos casos se utilizó el mismo método en que se reemplaza el marco de acero en tracción por una barra o cable traccionado al interior de la probeta. En este caso la mantención de la carga se asegura mediante un gato hidráulico de pretensado operado manual o automáticamente según la información entregada por una celda de carga.

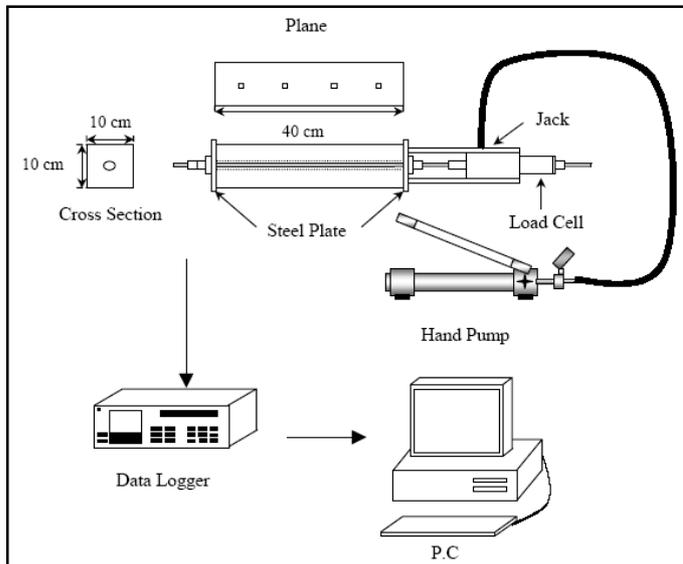


Figura 1.2.3.2 Método utilizado en Kochi University of Technology, donde se puede ver el uso de un sistema póstensado de aplicación de la carga de compresión (Kaewmanee 2001).

Para la medición de las deformaciones se utilizó un extensómetro de lectura directa para medir la distancia entre dos insertos metálicos colocados en la dirección de la aplicación de la carga. Para este método se requiere que los insertos se encuentren en el molde al momento de verter el hormigón o que se inserten antes de comenzar las mediciones. En este caso se pueden seguir las recomendaciones que entrega el ASTM [10] para materializar los insertos.

1.3 Metodología

1.3.1 Disponibilidad de equipo

La sección de Hormigones de IDIEM, prestó sus instalaciones para realizar los ensayos de caracterización de los hormigones (resistencia a compresión, retracción y creep). Además se puso a disposición de los experimentos una cámara de ambiente controlado del Laboratorio de Hormigones para asegurar condiciones ambientales estables durante el desarrollo de los ensayos.

La sección de Estructuras de IDIEM puso a disposición los equipos de carga y extensiométricos necesarios para la realización de los experimentos.

1.3.2 Metodología de ensayo

La descripción del modo y cantidad de ensayos se describe en el capítulo 2, junto con la planificación de la etapa experimental del estudio.

1.3.3 Procesamiento de la información.

Durante la etapa experimental las mediciones se realizaron a lo largo de los 7 primeros días posteriores a la aplicación de la carga, de esta forma se logra el objetivo de comparar comportamientos de distintos hormigones controlando los parámetros relevantes a edades tempranas, obteniéndose información válida para ajustar modelos teóricos de comportamiento a los hormigones estudiados..

Con esa información se determinaron las curvas de regresión correspondientes, ajustando tanto a:

- a) un modelo logarítmico, ya que este tipo de modelos son ampliamente aplicados en estudios de creep.
- b) un modelo hiperbólico ya que suele ajustar de muy buena manera los datos experimentales, además de ser el utilizado en el ACI.

CAPITULO II: PROGRAMA EXPERIMENTAL

2.1 Caracterización de los materiales

Es necesario incluir una caracterización de las materias primas a utilizar en los ensayos: las arenas, las gravas, los aditivos y los cementos. Se deben incluir las granulometrías de los áridos y toda la información pertinente a los hormigones considerados en el estudio entre los que se cuentan los siguientes:

- Resistencia a los 28 días, mediante el ensayo de compresión estándar.
- En condición sellada (sin pérdida de humedad):
 - Las curvas de retracción en función del tiempo, en condiciones ambientales equivalentes a los ensayos de creep.
 - Las curvas de resistencia – edad a compresión, para los hormigones en estudio.

2.1.1 Áridos

Se utilizaron dos áridos compatibles con la norma NCh163 de tamaños máximos 1cm. y 2 cm, las granulometrías se pueden ver en la tabla 2.1.1.1 y en la figura 2.1.1.2.

Mallas		Porcentaje no retenido	
ASTM	mm	Gravilla	Arena
3"	80	100	100
1 1/2 "	40	100	100
3/2"	20	99	100
3/8"	10	23	100
Nº4	5	3	93
Nº8	2,5		71
Nº16	1,25		54
Nº30	0,6		37
Nº50	0,3		18
Nº100	0,15		7

Tabla 2.1.1.1 Granulometrías de los áridos sin mezclar, muestra los porcentajes de árido que pasan a través de los distintos tamices.

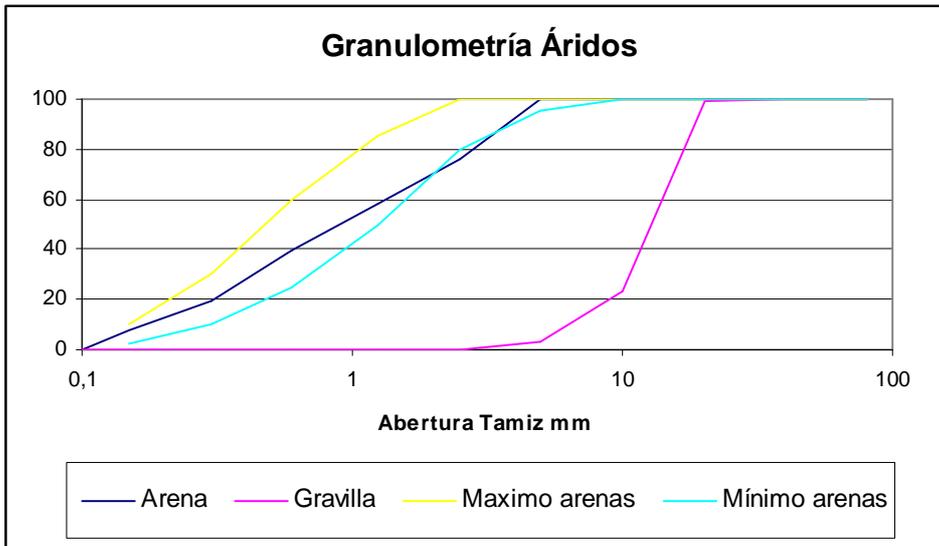


Figura 2.1.1.2: Granulometría áridos sin mezclar, muestra gráficamente la granulometría de los áridos utilizados.

Las arenas salen de los límites granulométricos establecidos por la norma NCh 136, sin embargo en el punto 5.2.3 esta establece que se permite su uso en caso que las muestras preparadas cumplan con los requisitos de la obra, en este caso los ensayos de laboratorio, los que permiten esta pequeña desviación.

2.1.2 Agua

Se utilizó agua de la red pública de la ciudad de Santiago a temperatura de 20 ± 3 °C

2.1.3 Cemento

Se utilizó el cemento melón súper es un cemento Pórtland grado alta resistencia según la norma NCh 148 , para lograr hormigones de gran fluidez y alta resistencia, tanto inicial como final, sus propiedades se pueden ver en la Tabla 2.1.3.1:

Propiedad	Cantidad	Unidades
Fraguado inicial	95	minutos
Fraguado final	150	minutos
Superficie Especifica	4400	cm ² /gr
Densidad real	3,0	gr/cm ³

Tabla 2.1.3.1 Propiedades del cemento Melón Súper.

2.1.4 Aditivos

Para lograr las resistencias esperadas con un alta trabajabilidad se decidió el uso de aditivos, los aditivos utilizados se muestran a continuación:

2.1.4.1 Polyheed 710, corresponde a un aditivo reductor de agua de rango medio con especial aplicación en hormigones bombeado y shootcrete.

2.1.4.2 Glenium C330, es un aditivo súper plastificante desarrollado especialmente para hormigón premezclado y la fabricación de piezas prefabricadas, además mantiene por mayor tiempo la trabajabilidad del hormigón sin retardar el fraguado.

2.1.4.3 Rheomac NS 650 , es un aditivo formulado para evitar la segregación del hormigón, es especialmente usado en estructuras submarinas y en hormigones bombeados o de alta trabajabilidad.

2.2 Ensayos de Creep

Se definieron las series de ensayos considerando las siguientes variables condicionantes:

- Tipo de hormigón: H30, H70, según norma NCh 170
- Edades de aplicación de la carga: 1 día, 3 días y 7 días, dado que este es un estudio en edades tempranas no se realizaron ensayos con colocación de carga posterior a 7 días, por otro lado se decidió partir con una edad de 1 día ya que esta permite el desmolde seguro de las probetas.
- Nivel de tensión aplicada con respecto a la resistencia al momento de la aplicación de la carga: 20%, esta relación tensión-resistencia, corresponde al 50% del máximo donde el ACI asegura linealidad entre la carga aplicada y la deformación por creep producida.
- Duración del ensayo: 7 días, esta duración se estableció siguiendo lo desarrollado por autores extranjeros, tanto en el ensayo definido por los autores japoneses, como estudios realizados por el ACI.

Se ensayaron 2 probetas compañeras por serie.

2.3 Programa de ensayos:

En primer lugar se deben separar los ensayos que corresponden a la caracterización de los hormigones en estudio que comprenden fundamentalmente los de resistencia a compresión y los de retracción por secado.

2.3.1 Resistencia a los 28 días:

Se moldearon probetas cúbicas de 15cm. Para ensayarlas a compresión a los 28 días, se ensayaron tres probetas por cada hormigón.

2.3.2 Resistencia a los 1, 3 y 7 días.

Se moldearon probetas cúbicas de 15cm para ensayarlos a compresión a las edades de 1,3 y 7 días. Son tres probetas por edad y tipo de hormigón. Este ensayo permite conocer el valor de la carga que se debe aplicar en los ensayos de creep contemplados en este estudio.

2.3.3 Retracción en función del tiempo.

Para obtener esta componente de deformación que se superpone a la deformación por creep se requiere que las probetas tengan la misma condición geométrica de las utilizada en esos ensayos, por lo tanto se ensayaron probetas de 10x10x40cm con perforación central de 2.5cm según el eje longitudinal. Estas probetas cuentan con insertos para monitorear la longitud base de medición en tres de sus caras

Este ensayo permite conocer el comportamiento de retracción por secado que se acopla a la deformación por creep Es por eso que las probetas que se utilizaron se mantuvieron en las mismas condiciones de sellado y ambientales que las entregadas a las probetas para el ensayo de creep.

2.3.4 Ensayos de Creep

Se ensayaron probetas de 10x10x40cm con perforación central de 2.5cm según eje longitudinal, durante 7 días (1 semana), partiendo desde 3 edades distintas, con 2

dosificaciones. Las probetas se mantuvieron en cámara seca ($23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, HR $50\% \pm 4\%$), selladas con película impermeable.

Se ensayaron un total de 12 probetas para cubrir las variables consideradas en el estudio:

- Tipos de hormigón H30 y H70
- Edad de aplicación de la carga 1, 3 y 7 días.

Se ensayaron probetas compañeras.

2.4 Probetas

Para los ensayos de creep y retracción se utilizaron probetas prismáticas de 10x10x40cm, con perforación central de 2,5 cm. de diámetro según eje longitudinal.

Se instalaron en las caras laterales y la cara de fondo de las probetas topes metálicos de acero inoxidable mediante resina epóxica para materializar la longitud base de medición de 10'' según eje longitudinal en cada una de las caras.

Para caracterizar las propiedades de los hormigones ensayados se utilizarán cubos de 15cm.

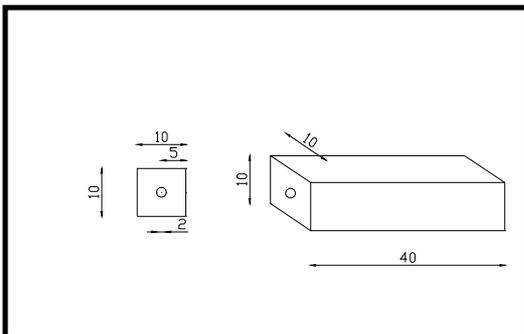


Figura 2.4.1: Geometría de las probetas prismáticas con perforación central de 2,5 cm, utilizadas para la medición del creep básico y la retracción.



Figura 2.4.2 Topes metálicos, con dimensiones de 5mm de altura y 8mm de diámetro, estos son colocados en tres de las caras de las probetas separados por 10''.



Figura 2.4.3 Extensómetro, de arriba hacia abajo se pueden ver: equipo de medición, barra patrón de lectura y herramientas de colocación de los topes metálicos.

2.5 Modo de ensayo inicialmente propuesto.

El equipo inicialmente propuesto en base a los antecedentes bibliográficos consiste básicamente en someter a compresión la probeta de hormigón a través de un cable de acero como se observa en la figura 2.5.1. Se utiliza un cilindro hidráulico para aplicar la tracción manteniendo la tensión constante. La deformación en las probetas se mide en forma directa a través de la variación de la longitud entre los insertos metálicos colocados en las caras laterales de la probeta (bases de medición).

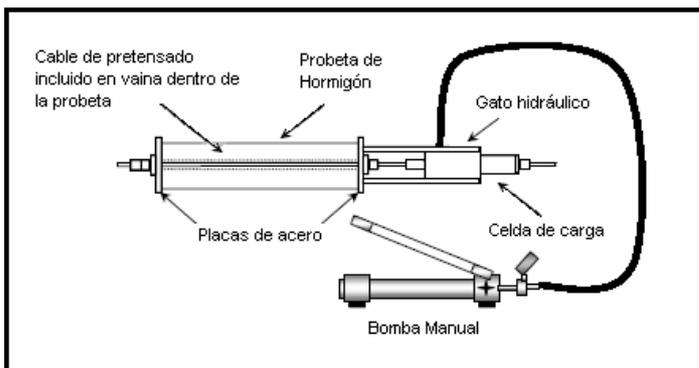


Figura 2.5.1 Ensayo inicialmente propuesto, es la primera aproximación realizada a un método que permitiera mantener la carga en las probetas de hormigón.

2.6 Diseño del equipo de ensayo

Durante una primera etapa se procedió a diseñar el equipo de ensayo. Esta consiste en un conjunto de piezas que componen el sistema de mantención de carga y el sistema de aplicación de carga.

El equipo fue concebido de modo de permitir el almacenamiento de las probetas cargadas en un espacio lo más reducido posible y poder además con un solo gato mantener varias probetas cargadas simultáneamente.

Adicionalmente se decidió cambiar el cable inicialmente propuesto por una barra de acero, lo cual permitiría independizar el sistema de mantención de carga del de aplicación. Además logra incorporar instrumentación para la medición de la tensión efectiva actuante.

Luego se realizó una estimación sobre la capacidad mínima necesaria de las barras de acero sometidas a tracción, para poder realizar los ensayos con seguridad. Para un diámetro interior de la perforación axial centrada de las probetas de 25mm, considerando el hormigón H70 trabajando a un 40% de la carga de rotura, y asumiendo que al séptimo día el hormigón solo ha logrado un 70% de su resistencia a los 28 días, se obtuvo una carga de diseño $T = 19\text{Tonf}$.

Los diámetros nominales usuales de las barras disponibles se encuentran en pulgadas y la que mejor se ajusta a los requerimientos geométricos de este caso sería la de 7/8", sin embargo considerando el rebaje central requerido para la instalación de los strain gauges se limita el diámetro a 20mm, con lo que las tensiones aplicadas se muestran en la tabla 2.6.1:

Tensiones	[MPA]
Tensión barra	493
Tensión con adelgazamiento	593
Tensión con hilo grueso	625
Tensión con hilo fino	568

Tabla 2.6.1 Nivel de tensión en las distintas secciones de la barra.

Se ensayaron dos tipos de acero para las barras el SAE 1045 y el SAE 4340 para verificar su utilidad en este estudio, siendo el acero SAE 4340 el que permite tomar las tensiones de trabajo con seguridad, es decir utilizando solo en 70% de su capacidad como se puede ver en la figura 2.6.2.

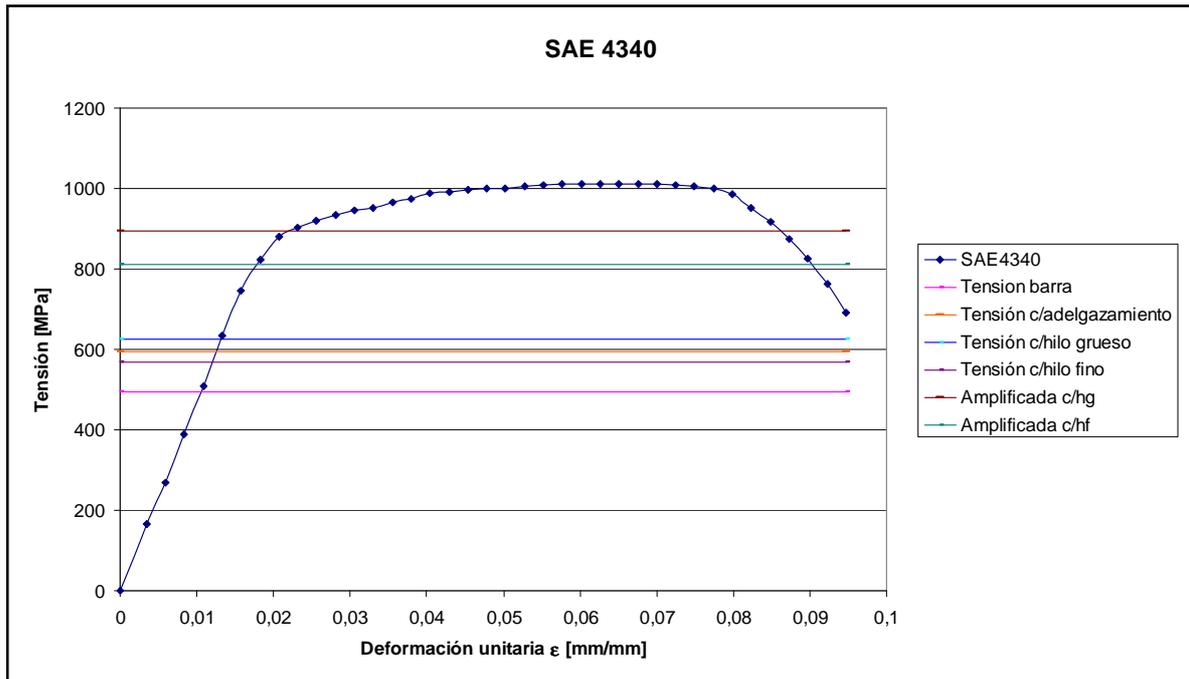


Figura 2.6.2 Curva tensión-deformación unitaria de acero SAE 4340, donde además se incluyen los niveles de tensión de trabajo para 2 de los hilos más usuales y la sección adelgazada.

Las dimensiones de las piezas diseñadas se encuentran en anexos planos de este trabajo de título.

2.7 Instrumentación

Para la medición de la carga se hizo necesario instrumentar algunas de las barras a utilizar en los ensayos, para así obtener las cargas aplicadas e información para calibrar el procedimiento de ensayo.

Con este fin se decidió utilizar “strain gauges” los que se instalan en el tramo central rebajado de las barras tractoras y en la pieza que se diseñó para servir como celda de carga calibrada.

Para este efecto TML recomienda conectar los strain gauges según la configuración cuarto de puente con doble estampilla colocadas en lados opuestos del eje con el objetivo de obtener una lectura promedio de la pieza, la conexión se realiza como se muestra en la figura 2.7.1:

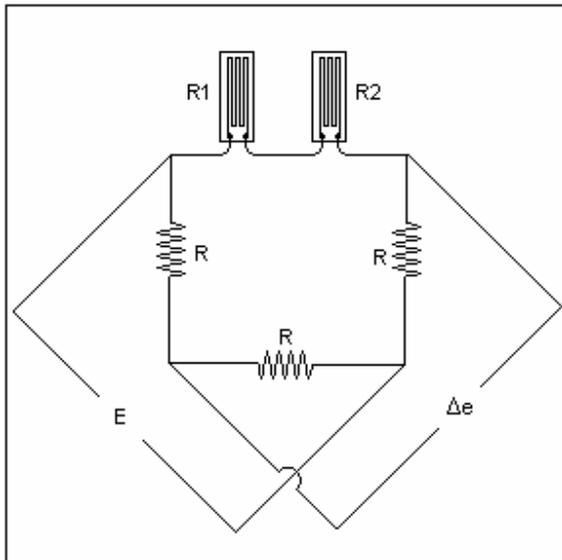


Figura 2.7.1 Cuarto de puente con 2 estampillas, se puede ver que para lograr el comportamiento deseado se requiere que las estampillas se encuentren conectadas en serie, el resto del circuito es parte del equipo lector.

Donde

E: es el voltaje de excitación.

e: es el voltaje de salida.

Δe : es el voltaje de salida debido a la deformación.

e_0 : es el voltaje de salida antes de la deformación.

R_0 : resistencia antes de la deformación.

ΔR : cambio de resistencia debido a la deformación.

ϵ : Deformación.

K: Gauge factor.

Esta configuración implica:

$$R = R1 + R2$$

Con lo que finalmente:

$$\Delta e = \frac{E}{4} \cdot K \cdot \varepsilon$$

El equipo disponible para la experimentación era de estampilla simple, por lo cual se consideró usar un diseño diferente con 10 canales en cuarto de puente de la siguiente forma:

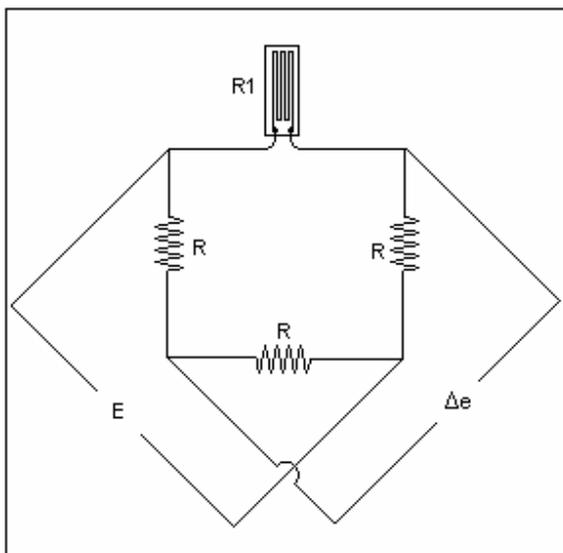


Figura 2.7.2 Cuarto de puente con 1 estampilla.

En este caso:

$$R = R1$$

La deformación, al igual que en el caso anterior, es determinada mediante la siguiente ecuación:

$$\Delta e = \frac{E}{4} \cdot K \cdot \varepsilon$$

La instrumentación se debe colocar tanto en las barras que entregan la fuerza de compresión al hormigón como en la celda de carga, utilizada para determinar la fuerza aplicada mediante el cilindro hidráulico.

Los 10 canales disponibles del indicador de deformación se utilizaron para medir los distintos strain gauges como se muestra en la tabla 2.7.3:

Canal	Uso
1	Strain Gauge 1 barra 1
2	Strain Gauge 2 barra 1
3	Strain Gauge 1 barra 2
4	Strain Gauge 2 barra 2
5	Strain Gauge 1 barra 3
6	Strain Gauge 2 barra 3
7	Strain Gauge 1 barra 4
8	Strain Gauge 2 barra 4
9	Strain Gauge 1 Celda carga
10	Strain Gauge 1 Celda carga

Tabla 2.7.3 Uso Canales del Indicador de deformación, se usaron 2 Strain gauges por variable de medición, colocándose dos en cada una de las barras traccionadas y 2 en la celda de carga.

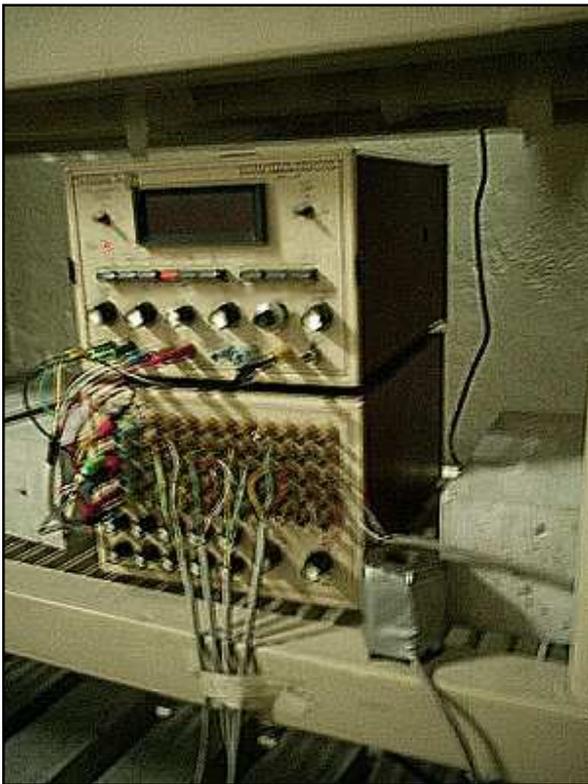


Figura 2.7.4 indicador de deformación.

2.8 Modo de ensayo

Una vez instrumentadas y calibradas tanto las barras como la celda de carga, se realizaron pruebas preliminares con el sistema armado como se muestra en la figura 2.8.1.

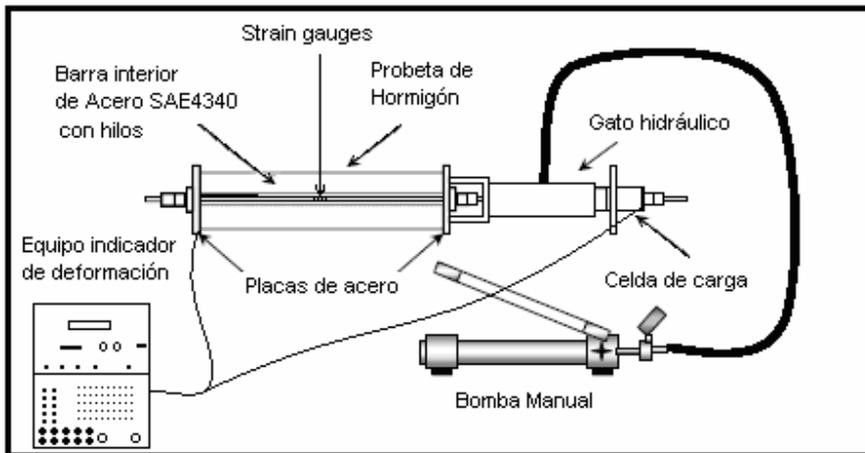


Figura 2.8.1 Disposición de los equipos.

2.8.1 Aplicación de la carga.

Para entregar la carga requerida a las probetas primero que nada se toma nota del estado de todos los strain gauges, luego se separa la probeta a cargar de las demás y se parte por instalar la pieza de unión de ejes, luego se coloca la silla de carga y el eje de carga atravesando la silla de carga se une a la pieza de unión.

Posteriormente se adosa el cilindro hidráulico hueco alrededor del eje de carga, no sin antes verificar que exista espacio entre las piezas dentro de la silla de carga para desplazarse horizontalmente.

Finalmente se coloca una placa de acero con una perforación muy cercana al diámetro de la barra, una golilla, la celda de carga, otra golilla y 2 tuercas asegurando dejando entre 5mm y 1 cm de espacio para que el cilindro sea capaz de liberar su pistón.

Se verifica que los canales de la celda de carga se encuentren en cero y se comienza la aplicación de carga hasta el 20% de la carga de rotura, llegado a este límite se toman datos de los strain gauges del eje de la probeta, luego se llega al 22% de la carga, se aseguran las tuercas que mantienen la carga y luego se libera la carga hidráulica.

Una vez liberada la carga hidráulica se verifica que la deformación marcada por los strain gauges no esté por debajo de la marcada al encontrarse en 20% de la carga de rotura.

Se repite el proceso con las otras probetas.

El proceso de pérdida de carga es directamente dependiente del nivel de carga al que se encuentra sometida la probeta y el creep que esta desarrolla entre reposiciones de carga, esto hace que las pérdidas más grandes se encuentren en las primeras horas de medición, en la tabla 2.8.1.1 se muestran las 2 pérdidas más altas que se registraron durante las mediciones.

	Carga	Pérdidas	
	Tonf	%	%
H30E1	3,22	26	15
H30E3	6,27	20	15
H30E7	8,85	15	12
H70E1	8,98	15	10
H70E3	13,75	11	7
H70E7	17,36	8	4

Tabla 2.8.1.1, Registro de pérdidas de tensión, en esta tabla se registran las dos mayores pérdidas registradas en los intervalos de tiempo entre colocaciones de carga.

2.8.2 Lecturas de deformaciones.

Las deformaciones se midieron utilizando un extensómetro y el procedimiento fue el siguiente:

1. Se separa la probeta que se desea medir.
2. Se coloca la cara A en dirección hacia arriba.
3. Se mide la barra patrón.
4. Se mide la distancia entre los topes de acero inoxidable de la cara A.
5. Se gira la probeta para dejar la cara B en dirección hacia arriba
6. Se mide la barra patrón.
7. Se mide la distancia entre los topes de acero inoxidable de la cara B
8. Se gira la probeta para dejar la cara C en dirección hacia arriba
9. Se mide la barra patrón.
10. Se mide la distancia entre los topes de acero inoxidable de la cara C
11. Se guarda la probeta teniendo cuidado de dejar la cara B en dirección hacia arriba.

La cara B corresponde a la cara de fondo del molde, para mantener la regularidad de los ensayos se mantienen las probetas siempre con esa cara hacia arriba, excepto durante las mediciones.

2.9 Dosificaciones.

Las dosificaciones utilizadas para los hormigones en estudio fueron obtenidos según los procedimientos normales que utiliza la Sección de Hormigones de IDIEM. Se utilizó cemento Melón Súper, que es un cemento especial para lograr hormigones de alta resistencia inicial y final.

Mallas		Porcentaje no retenido	
ASTM	mm	Áridos H30	Áridos H70
3"	80	100	100
1 1/2 "	40	100	100
3/2"	20	100	99
3/8"	10	66	58
Nº4	5	54	44
Nº8	2,5	40	32
Nº16	1,25	30	25
Nº30	0,6	21	17
Nº50	0,3	10	8
Nº100	0,15	4	3

Tabla 2.9.1: granulometrías de los áridos combinados.

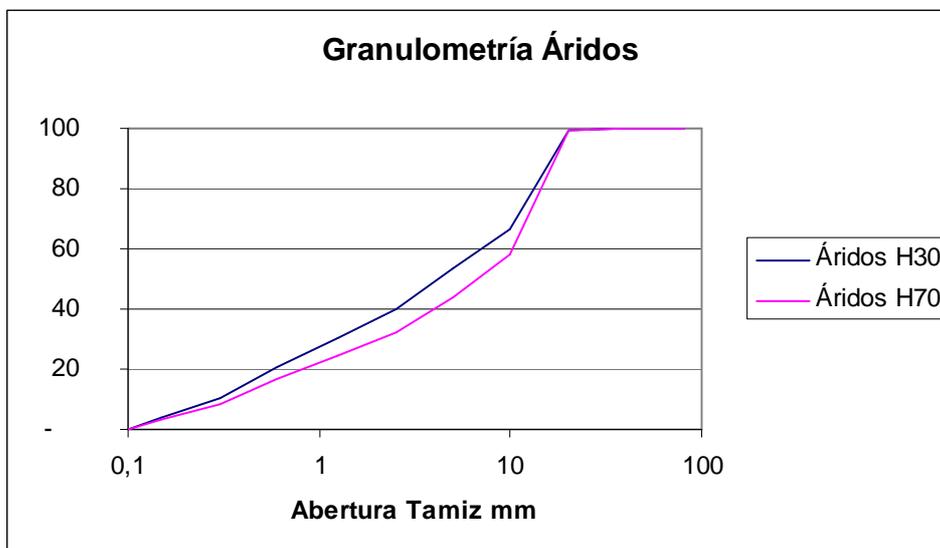


Figura 2.9.2 Representación gráfica de los áridos utilizados en ambas dosificaciones.

	Cemento	Gravilla	Arena	Agua	Polyheed 710	Glenium	Rheomac
Hormigón	Kg.	Kg.	Kg.	lt.	gr	gr	gr
H30	310	814	1043	209	1500	800	0
H70	430	975	814	172,94	1720	2000	2070

Tabla 2.9.3 Dosificaciones.

	Aire	Densidad	Cono
	[%]	[Kg./lt]	[cm]
H30	2,43	2,40	12
H70	2,10	2,44	15

Tabla 2.9.4 Propiedades del hormigón fresco en cada .

2.10 Procedimiento para la creación de las probetas.

El procedimiento de creación de las probetas se inicia retirando del molde metálico el eje de 25mm, luego se extiende una capa de 40 cm. de longitud de film plástico sobre una superficie limpia y seca, posteriormente se coloca aceite sobre el film plástico y se procede a enrollar el eje en el film, finalmente se retira el film que puede haber quedado en los bordes para asegurar que el eje pueda caber nuevamente en su lugar dentro del molde.



Figura 2.10.1 Molde utilizado, este es uno de los moldes utilizados para la confección de las probetas, en esta foto se puede ver como la forma del mismo y la ubicación del eje.

Este procedimiento se repite dos veces con lo que se asegura que una vez endurecido el hormigón será posible retirar el eje de su interior, posteriormente se procede a insertar el eje ya cubierto en el molde metálico.

Finalmente se utiliza un aceite desmoldante en todas las caras interiores y piezas móviles del molde y se deja reposar a este durante un día en posición invertida.

Para la confección del hormigón se utilizó el procedimiento mostrado en la figura 2.10.1:

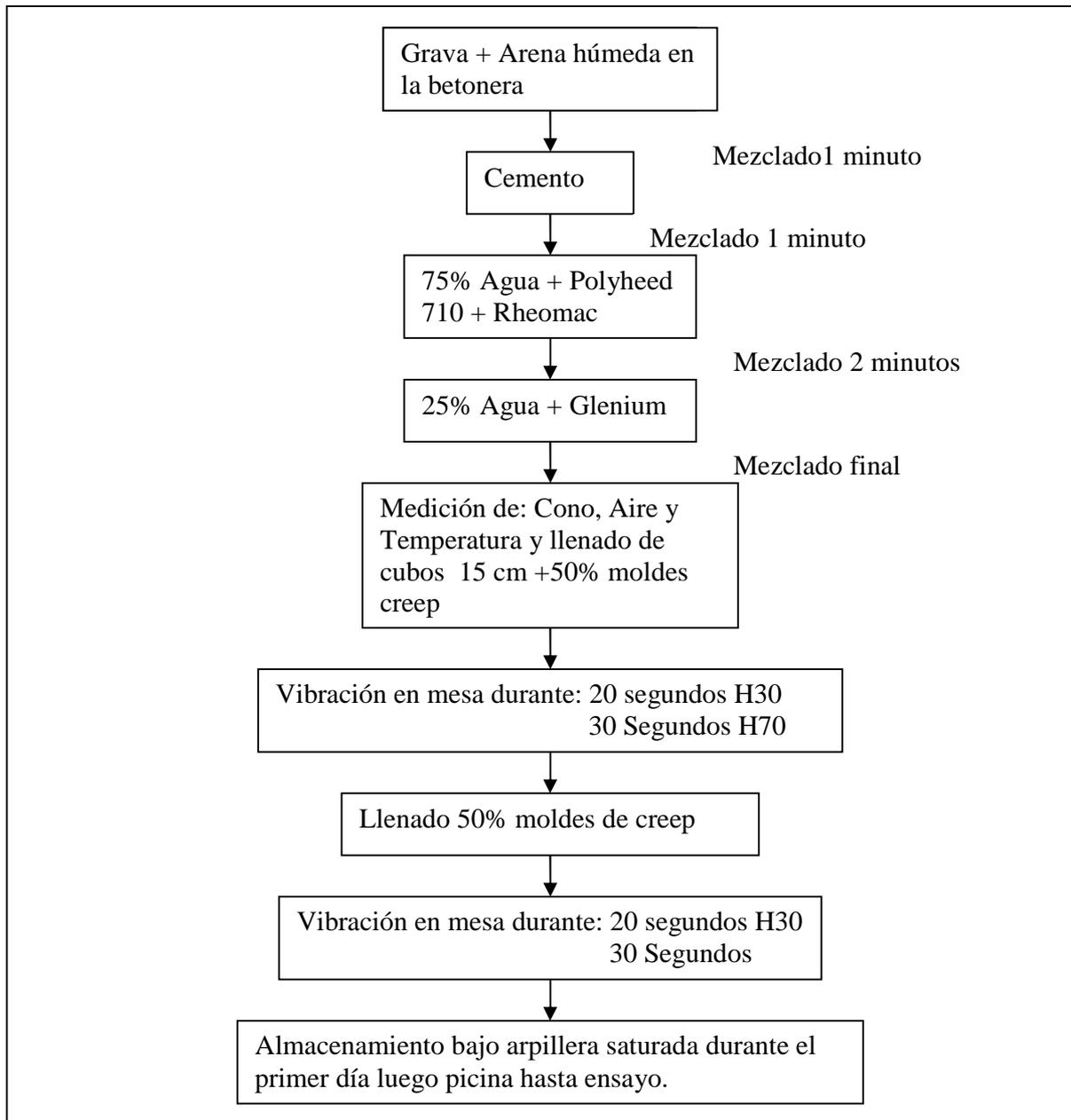


Figura 2.10.1 Procedimiento para la confección de las probetas.

CAPITULO III: RESULTADOS DE ENSAYOS Y ANÁLISIS

3.1 Propiedades del hormigón fresco.

Durante la elección del hormigón se midieron ciertas características en el hormigón fresco para verificar su conformidad con los parámetros de diseño de la mezcla. Estas propiedades se pueden ver en la tabla 3.1.1.

	Aire	Densidad	Cono
	%	Kg./l	cm
H30Ret	2,6	2,382	10,5
H30E1	2,4	2,377	12
H30E3	2,6	2,391	10
H30E7	2,1	2,376	11
H70Ret	2,2	2,430	14
H70E1	2,2	2,449	15
H70E3	2,2	2,434	15
H70E7	1,8	2,460	15

Tabla 3.1.1 Propiedades del hormigón fresco.

En la figura 3.1.2 se grafican los resultados de resistencias versus las edades de los hormigones en estudio.

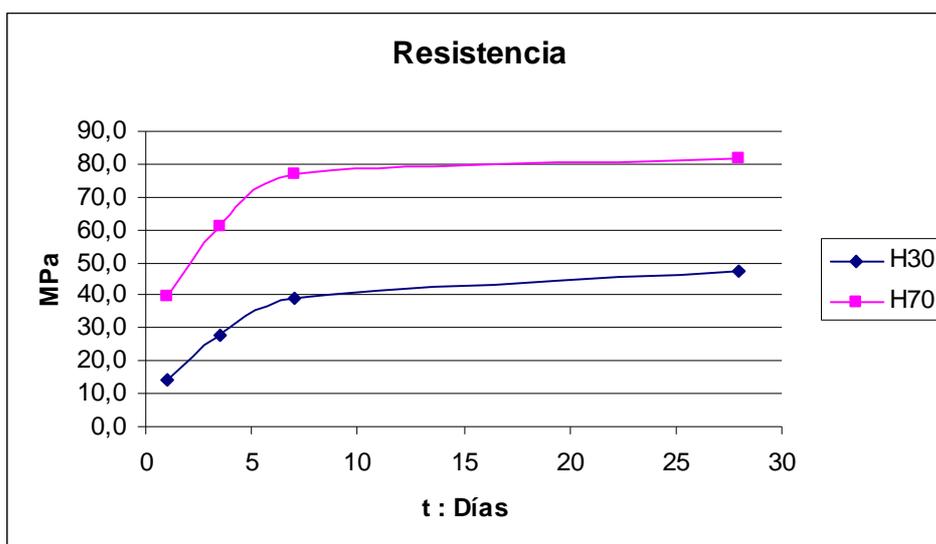


Figura 3.1.2 Curvas de desarrollo de resistencia a compresión de los hormigones.

Se observa que las resistencias obtenidas en ambos casos superan a lo originalmente propuesto, 30 y 70 MPa, correspondiendo en efecto a hormigones de calidad H45 y H80 respectivamente.

3.2 Retracción.

Para poder obtener las deformaciones debidas al creep se requiere desacoplar el efecto de retracción por secado del hormigón, para lo cual es necesario obtener antes una estimación adecuada de la componente de retracción libre que sufran las probetas durante la experimentación. Para ello que se realizó una medición sin carga, en las mismas condiciones de exposición a las que posteriormente quedarían expuestas las probetas sometidas al ensayo de creep.

Una buena manera de representar estas deformaciones es mediante un gráfico deformación versus $\text{Log}(t+1)$, con lo que se obtiene un modelo de tipo logarítmico que se ajusta a los valores de deformación por retracción, como se muestra en la figura 3.2.1.

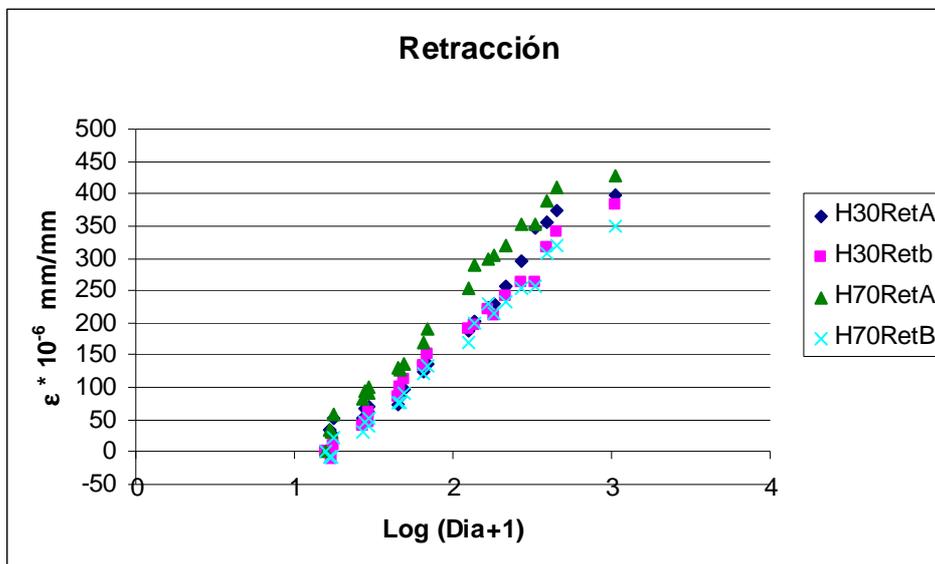


Figura 3.2.1 Retracción por secado de hormigones en estudio.

Mediante regresión lineal de estos datos se obtienen los modelos que permiten estimar la retracción propia del secado que debe utilizarse para corregir las deformaciones que se obtienen en los ensayos de creep.

a) Hormigón normal.

$$\varepsilon_{rh30} = 224,855 \cdot \text{Log}(t + 1) - 271,220$$

b) Hormigón de alta resistencia.

$$\varepsilon_{rh70} = 231,325 \cdot \text{Log}(t + 1) - 268,305$$

3.3 Ensayos de Creep

Existen varios modelos de expresiones según los cuales se pueden presentar los resultados de experimentos de ensayos de creep, sin embargo los más usados son los modelos logarítmico e hiperbólico, por lo que se ajustarán los parámetros para estos casos.

3.3.1 Modelo Logarítmico.

La hipótesis básica de este modelo se basa en que la tasa de incremento del creep es inversamente proporcional al tiempo, con lo que se tiene[14].

$$\frac{dc}{dt} = \frac{K}{t + A}$$

Donde:

c: es la deformación debida al creep.

t: es el tiempo desde la aplicación de la carga.

K: es una constante a determinar experimentalmente.

A: es un factor de escala temporal.

La solución general de esta ecuación es de la siguiente forma:

$$c(t) = C + K \cdot \text{LN}\left(\frac{t}{A} + 1\right)$$

Si $A \neq 0$, dado que A es solo un factor de escala y como no se quieren agregar distorsiones al modelo se toma $A=1$, con lo que se tiene:

$$c(t) = C + K \cdot LN(t + 1)$$

Con esto se pueden obtener los parámetros de creep del ensayo realizando una regresión lineal de los datos graficados como se ve en la figura 3.3.1.1

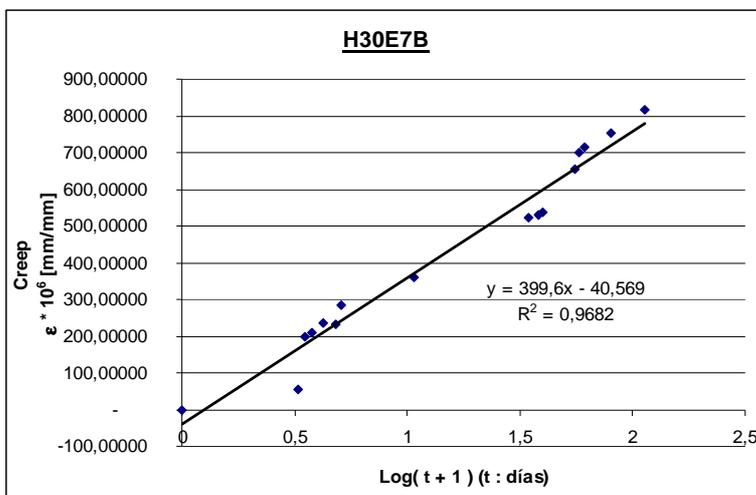


Figura 3.3.1. Regresión lineal de datos de creep según modelo logarítmico, correspondientes al hormigón convencional, cargado al séptimo día muestra B.

En las Tablas 3.3.1.2 y 3.3.1.3 se presentan los parámetros de ajuste que se obtienen para las distintas probetas ensayadas y su coeficiente de correlación.

	H30E1A	H30E1B	H30E3A	H30E3B	H30E7A	H30E7B
K	195,32	156,00	324,95	306,33	353,49	404,32
C	-30,35	-6,48	101,65	83,69	-43,39	-22,62
R	0,984	0,984	0,96	0,89	0,97	0,97

Tabla 3.3.1.2 Datos creep modelo logarítmico dosificación H30.

	H70E1A	H70E1B	H70E3A	H70E3B	H70E7A	H70E7B
K	233,63	210,05	282,44	299,06	320,08	334,52
C	40,92	28,99	93,33	53,61	20,54	-2,06
R	0,99	0,99	0,93	0,99	0,94	0,97

Tabla 3.3.1.3 Datos creep modelo logarítmico dosificación H70.

3.3.2 Modelo hiperbólico

Los modelos hiperbólicos usualmente dan resultados más precisos para el comportamiento del creep en el largo plazo, luego para predecir el creep en el largo plazo se requiere su ajuste a los valores obtenidos en la etapa experimental para los hormigones en estudio.

Los modelos hiperbólicos para la deformación de creep se expresan según la ecuación siguiente [14]:

$$c(t) = \frac{t}{A + B \cdot t}$$

Donde:

$c(t)$: es la deformación debida al creep.

t : es el tiempo.

A, B: son constantes a determinar experimentalmente

Los parámetros A y B se pueden obtener directamente a partir de los datos, mediante regresión lineal en un grafico $t/c(t)$ versus t , como se puede ver en la figura 3.3.2.1

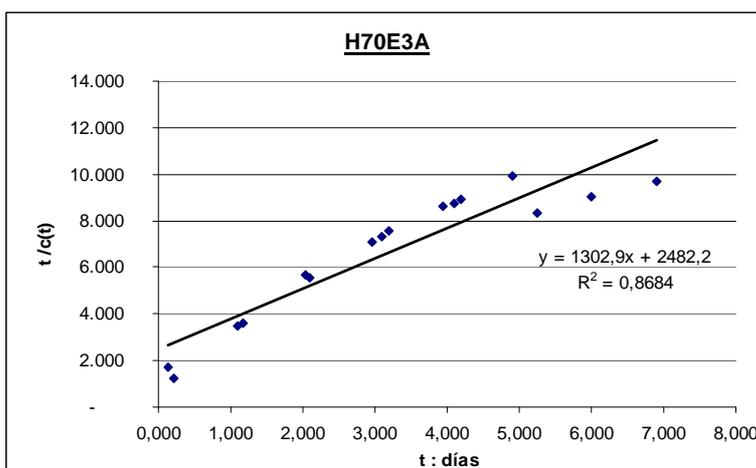


Figura 3.3.2.1 Regresión lineal de datos de creep según modelo hiperbólico.

En las tablas 3.3.2.2 y 3.3.2.3 se presentan los valores de los parámetros A y B del modelo hiperbólico para las series de probetas sometidas a creep.

	H30E1A	H30E1B	H30E3A	H30E3B	H30E7A	H30E7B
A	8217,4	8006,9	1496,6	1503,4	4334,6	3300,4
B	1982,5	1511,2	1312,9	1186,6	816,49	812,64
R	0,99	0,95	0,93	0,89	0,89	0,92

Tabla 3.3.1.2 Parámetros modelo hiperbólico para ensayos de creep, hormigón H30.

	H70E1A	H70E1B	H70E3A	H70E3B	H70E7A	H70E7B
A	2922,8	3602,8	2482,2	1670,0	2459,0	2941,8
B	1626,3	1779,3	1302,9	1278,5	1209,2	1092,4
R	0,99	0,98	0,87	0,95	0,99	0,99

Tabla 3.3.1.2 Parámetros modelo hiperbólico para ensayos de creep, hormigón H70.

3.3.3 Edad al momento de aplicación de la carga

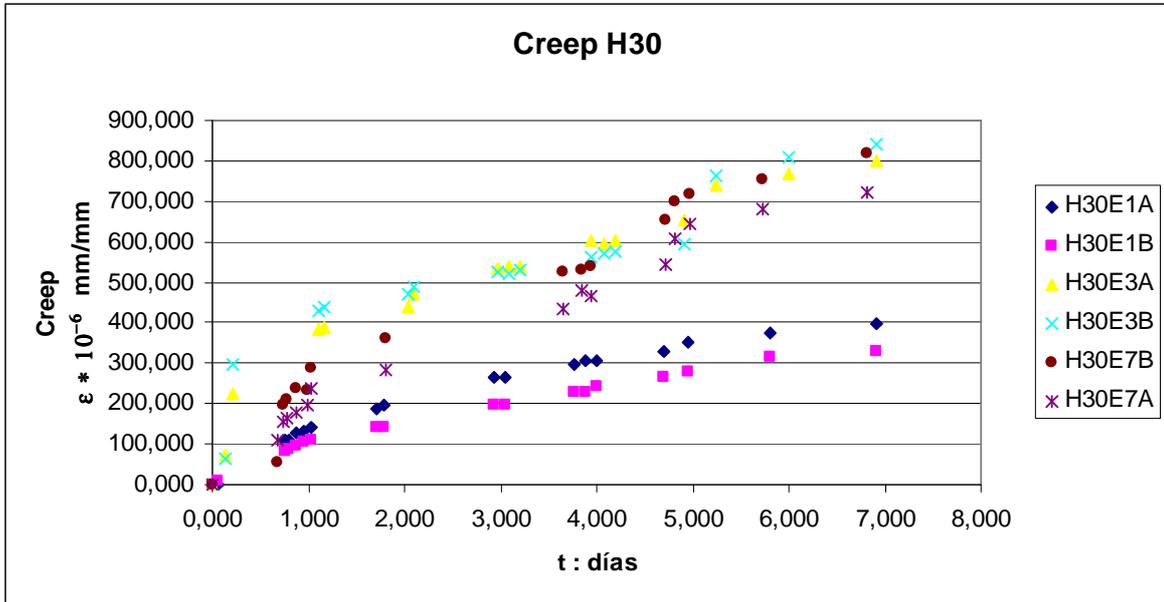


Figura 3.3.3.1 Curvas H30

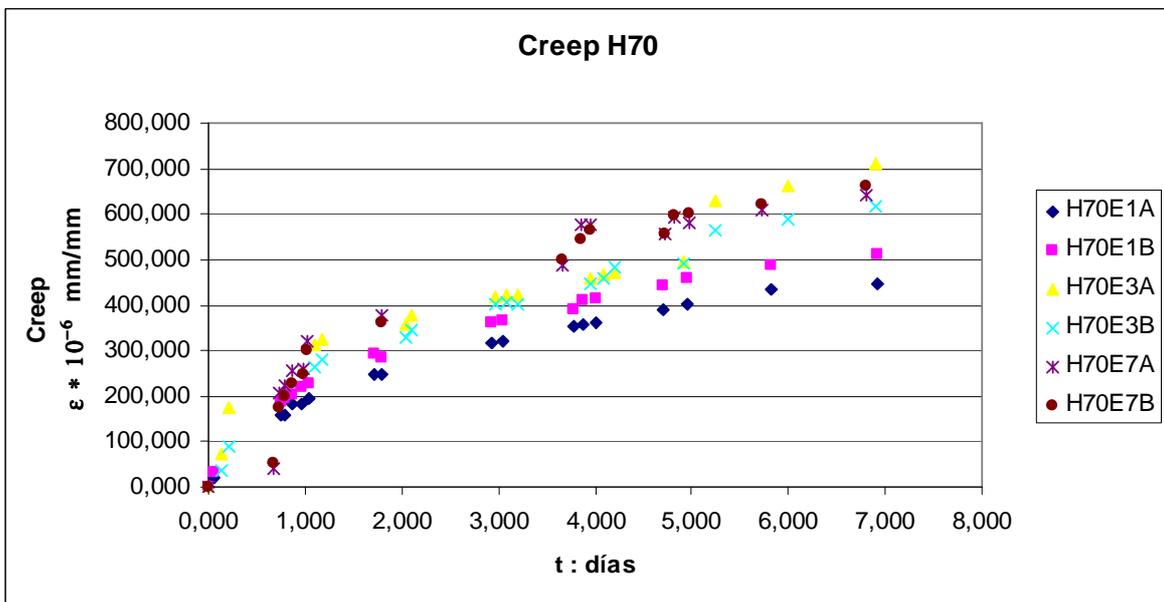


Figura 3.3.3.2 Curvas H70

Al graficar las curvas en conjunto se puede ver como al aumentar la edad se incrementa el efecto del creep dado que la relación resistencia/carga aplicada es más estable.

Dado que el hormigón no tiene una resistencia estática en el tiempo, y el cambio de esta resistencia se da intensivamente en los primeros días después de su preparación. Ambos hormigones presentaron el mismo efecto experimental de presentar mayor creep en las probetas de mayor edad.

3.3.5 Efecto de la resistencia (tipo de hormigón)

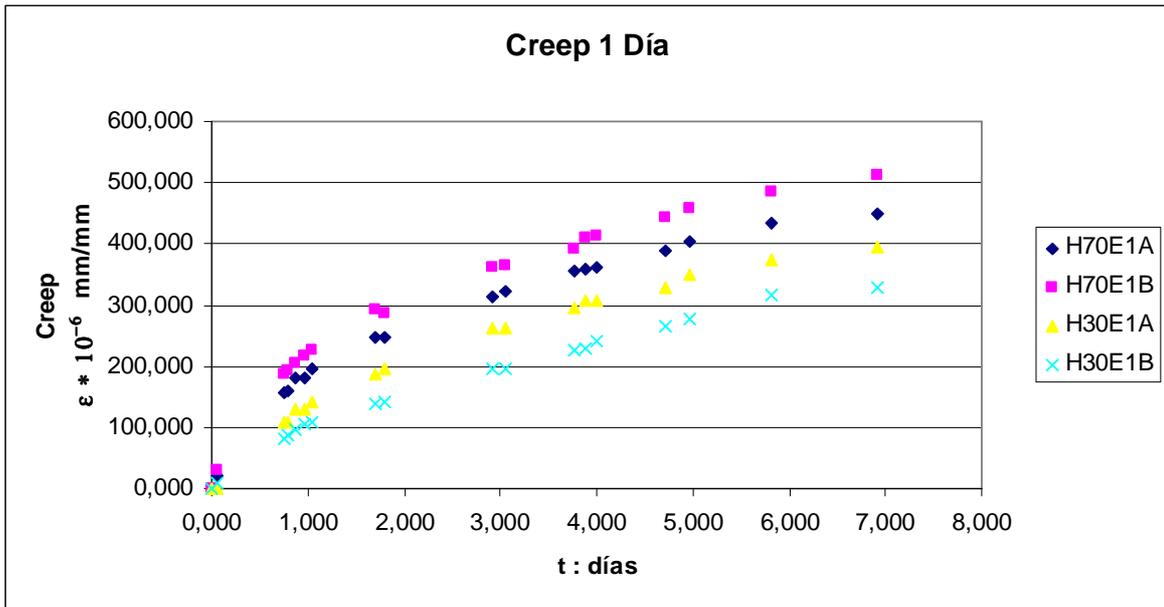


Figura 3.3.5.1 Creep a edad de 1 día.

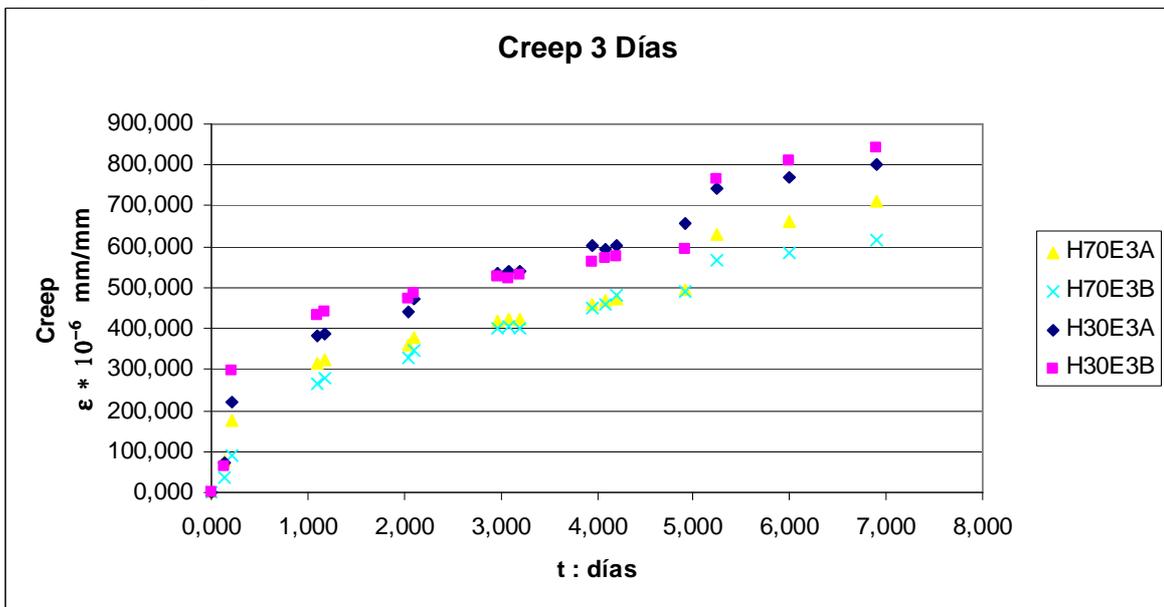


Figura 3.3.5.2 Creep a edad de 3 días.

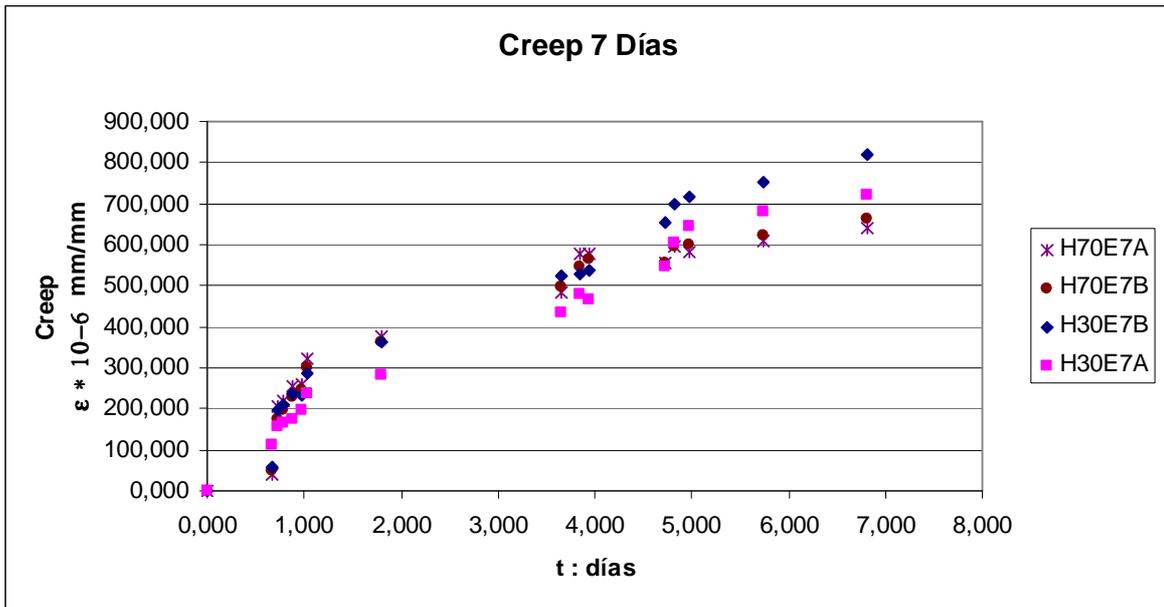


Figura 3.3.5.3 Creep a edad de 7 días.

A excepción del caso de creep a 1 día se da una tendencia a disminuir el creep cuando se usa un hormigón de mayor resistencia.

La anomalía que se da en el caso de 1 día puede deberse a que al momento de definirse la carga de las probetas la dosificación H70 ya contaba con cerca de la mitad de su resistencia final, en cambio el hormigón H30 solo contaba con alrededor de un cuarto, esto provocó que durante la mantención de la carga el hormigón H30 mejoró en mayor proporción su relación resistencia/carga lo que desembocó en una menor influencia del efecto del creep.

3.4 Comparación con modelos teóricos

Existen en la actualidad multiplicidad de modelos teóricos para predecir el comportamiento en creep de hormigones, en este caso se utilizarán 2 modelos ya que el comportamiento de los hormigones con relaciones A/C bajas es conveniente tratarlo por separado.

3.4.1 Modelo B3 (hormigón H30)

Este modelo expresa la deformación por creep de la siguiente forma [16]:

$$\varepsilon(t) = \sigma \cdot J(t, t') + \varepsilon^0(t)$$

Donde $\varepsilon^0(t)$ es la deformación inelástica independiente de la tensión y $J(t, t')$ se puede expresar:

$$J(t, t') = q_1 + C_0(t, t') + C_d(t, t', t_0)$$

De estos términos solo el segundo nos es de interés ya que este es el que predice el creep básico, siguiendo la siguiente fórmula:

$$C_0(t, t') = q_0 \cdot \ln(1 + \psi[(t')^{-m} + \alpha] \cdot (t - t')^n)$$

Donde

$$m=0.5, n=0.1, \alpha=0.001, \Psi=0.3$$

$$q_0 = 2408 / \sqrt{f'_c} ; q_1 = 0,6 \times 10^{-6} / E_{28} ; E_{28} = 4734 \cdot \sqrt{f'_c}$$

Aplicando este modelo se pueden generar curvas y su comparación con los resultados obtenidos por el hormigón H30 se pueden ver en las figuras 3.4.1.1, 3.4.1.2 y 3.4.1.3.

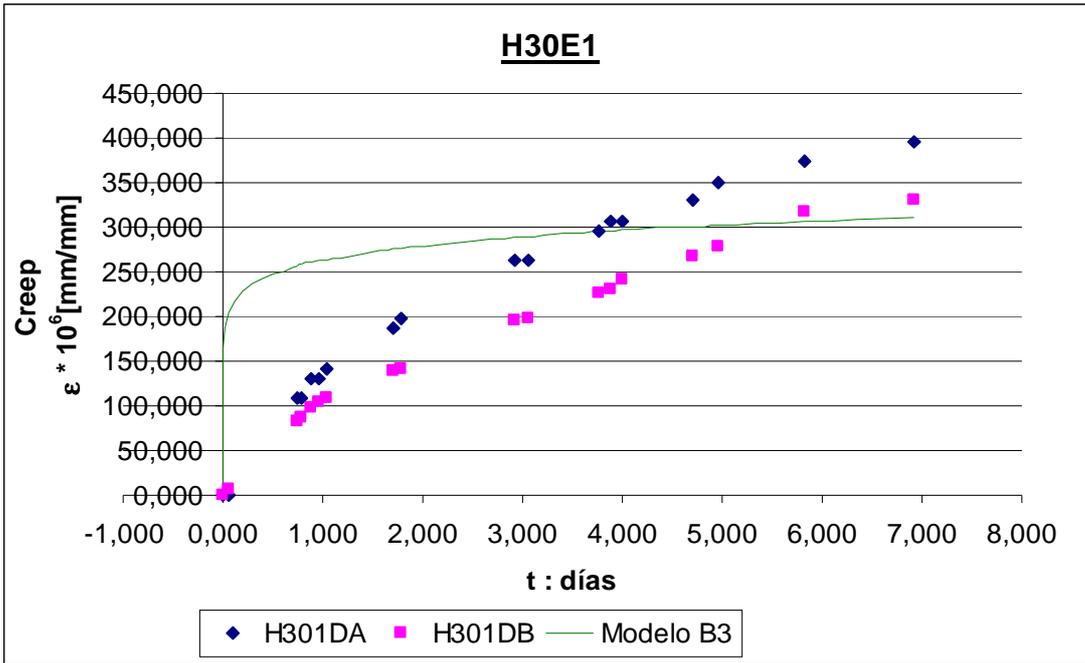


Figura 3.4.1.1, Comparación datos H30 cargado el a un día con resultado del modelo B3.

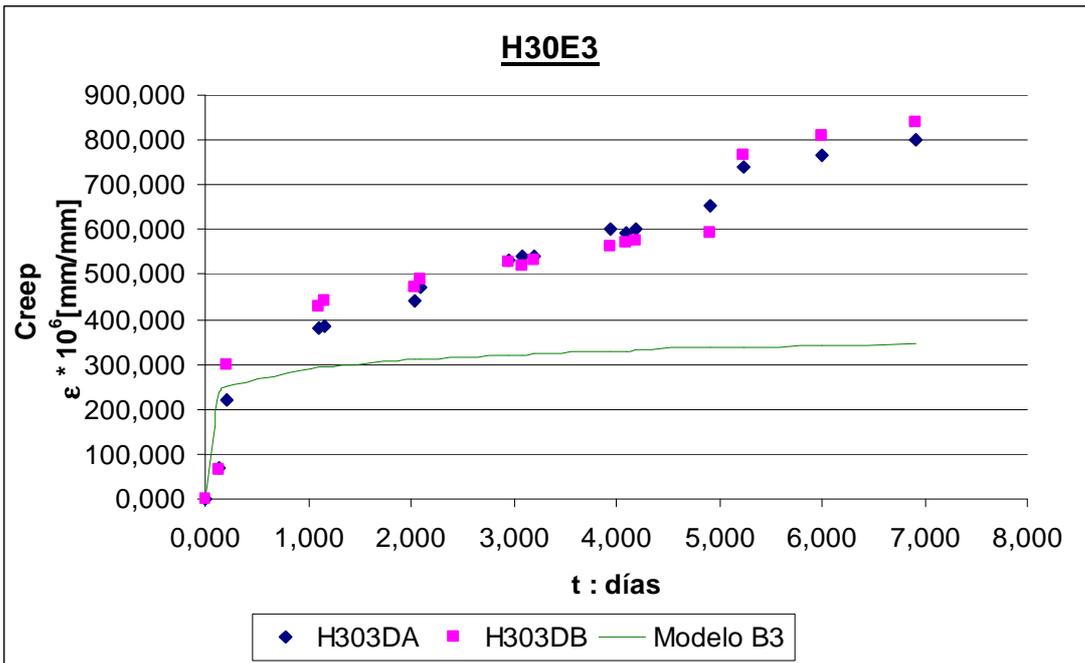


Figura 3.4.1.2 Comparación datos H30 cargado al tercer día con resultados del modelo B3.

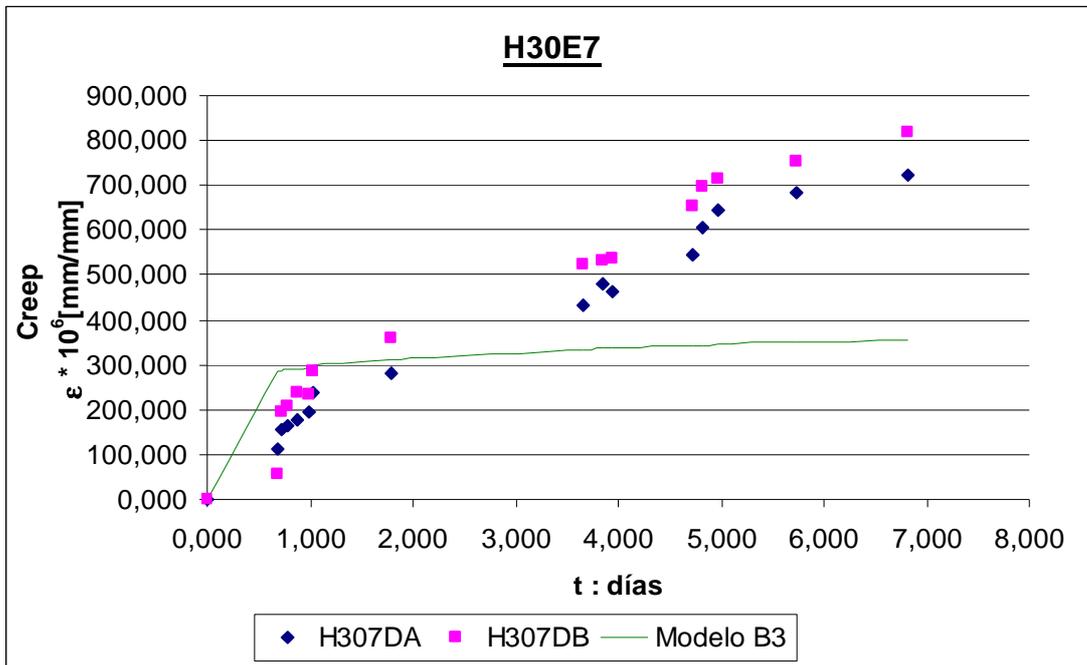


Figura 3.4.1.3 Comparación datos H30 cargado al sétimo día con resultados del modelo B3.

3.4.2 Modelo para hormigones de alta resistencia (hormigón H70)

W.H. Dilger y C. Wang [17] presentaron un modelo especial para hormigones de alta resistencia, dado que estos presentan comportamientos diferentes a los mostrados por hormigones convencionales, su modelo para creep básico se muestra a continuación.

$$\varepsilon_{\sigma}(t, t_s) = \sigma(t_0) \cdot \frac{1}{E_c(t_0)} \cdot [1 + \phi_c(t, t_0)]$$

Esta es la ecuación de la deformación total, con lo que para solo tener la deformación por creep, hay que sustraer la deformación elástica lo que se logra dejando la expresión anterior como sigue:

$$\varepsilon_{creep}(t, t_s) = \sigma(t_0) \cdot \frac{1}{E_c(t_0)} \cdot [\phi_c(t, t_0)]$$

término $E_c(t_0)$ se puede calcular mediante la siguiente expresión

$$E_c(t_0) = 10000 \cdot \alpha_E \cdot [f_c(t)]^{1/3}$$

En el que el creep se separa en 2 componentes de la siguiente forma:

$$\phi_c(t, t_0) = \phi_{bc}(t, t_0) + \phi_{dc}(t, t_0)$$

De estas componentes el término $\phi_{bc}(t, t_0)$ corresponde al modelo de creep básico que se modela de la siguiente manera:

$$\phi_{bs}(t, t_0) = \phi_{bco} \cdot \beta_{bc}(t, t_0)$$

$$\phi_{bco} = 0,74 \cdot (1 + t_0^{-0,4})$$

Con la siguiente función del tiempo:

$$\beta(t, t_0) = \frac{(t - t_0)}{\gamma_{bc} \cdot (t - t_0)}$$

$$\gamma_{bc} = 0,29 + 0,5 \cdot t_0^{0,7}$$

La comparación de los resultados obtenidos experimentalmente con el modelo se pueden ver a en los gráficos 3.4.2.1 , 3.4.2.2 y 3.4.2.3:

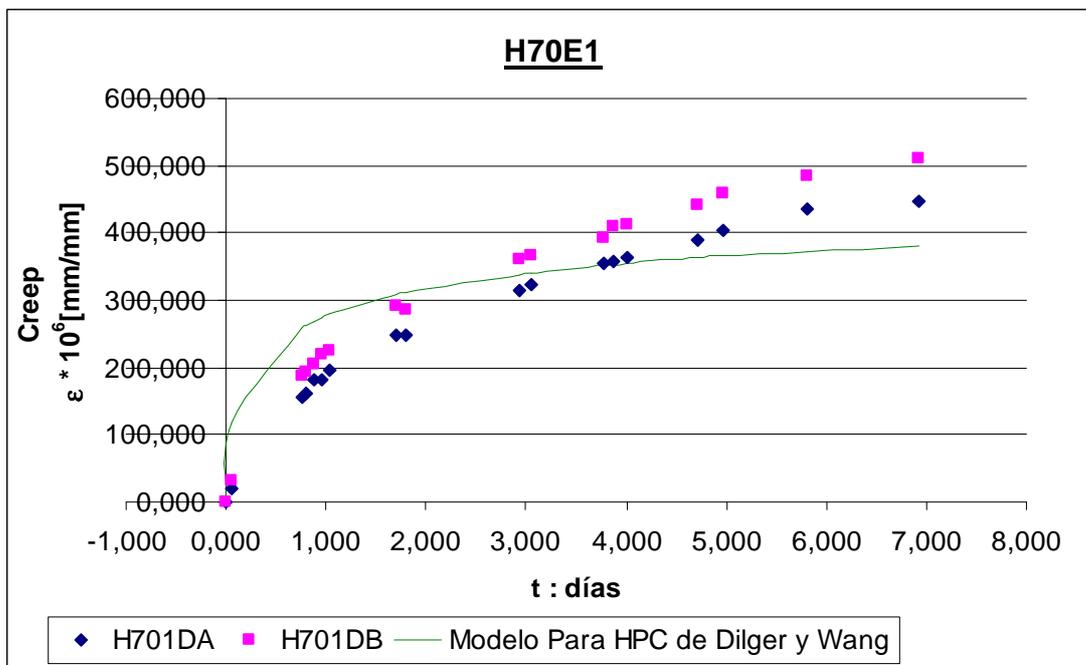


Figura 3.4.2.1 Comparación datos H70 cargado al primer día con resultados del modelo de Dilger y Wang.

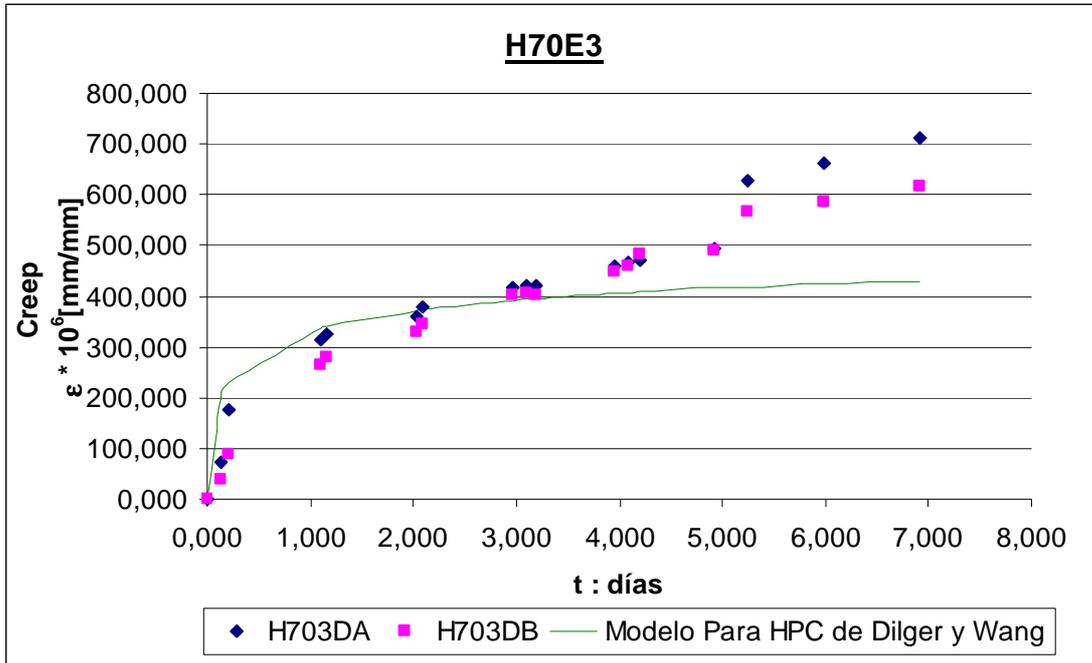


Figura 3.4.2.2 Comparación datos H70 cargado al tercer día con resultados del modelo de Dilger y Wang.

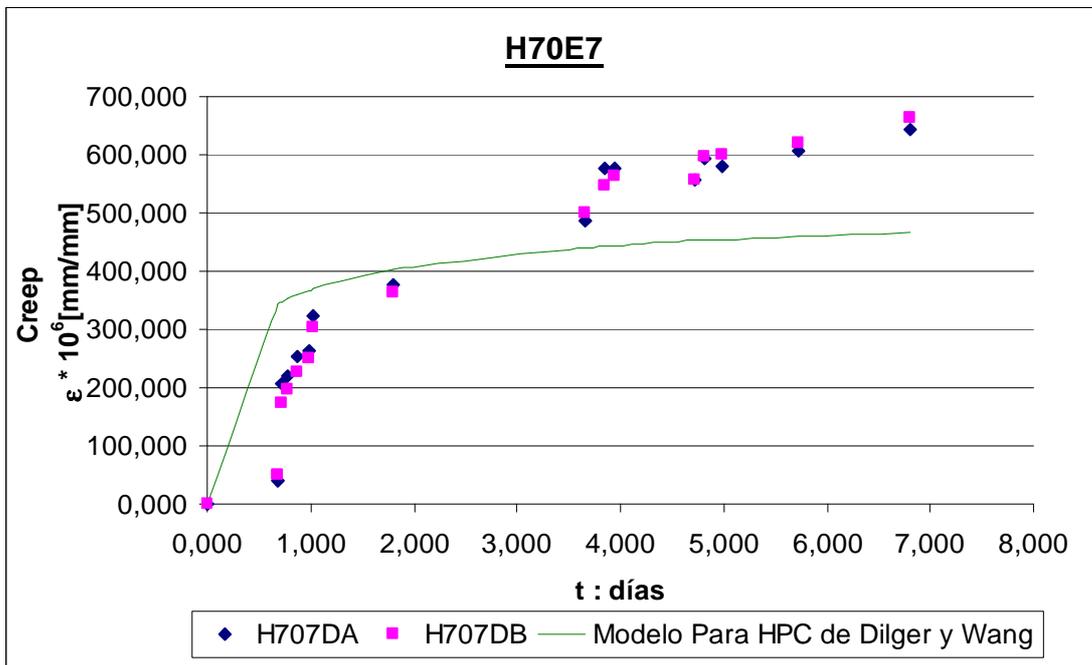


Figura 3.4.2.3 Comparación datos H70 cargado al séptimo día con resultados del modelo de Dilger y Wang.

CAPITULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

Las principales conclusiones que se derivan de este trabajo son las siguientes:

- El sistema de mantención de carga entrega aproximadamente un 10% de pérdida instantánea. Adicionalmente, las cargas en el tiempo presentaron perdidas superiores al 20% durante el primer día de medición (para el caso de hormigones H30 de edades tres días como un día). Estas pérdidas de carga son más significativas para las cargas menores.
- El sistema de medición de deformación empleado entrega resultados dentro de los rangos normales por lo que la precisión de los equipos de medición de deformaciones es adecuada para mediciones tanto creep como de retracción.
- La retracción por secado a temprana edad (dos semanas) presentó valores muy similares para ambos hormigones, H30 y H70, tanto así que se puede concluir que la retracción sufrida por todas las probetas, es prácticamente igual para ambos hormigones.
- El creep a edades tempranas está influenciado por la relación entre la resistencia del hormigón y el nivel de la carga aplicada. Esta relación en edades tempranas no se puede considerar como constante a menos que la carga aplicada sea incrementada junto a la resistencia. En definitiva los modelos que no toman en consideración el crecimiento de la resistencia en el tiempo pueden entregar información incompleta o errónea cuando se habla de edades tempranas.
- El modelo logarítmico presenta mejores aproximaciones para edades tempranas que el modelo hiperbólico, lo que se puede ver en las desviaciones estándar obtenidas. Sin embargo estas diferencias son pequeñas y son compensadas por la mayor cantidad de información que entrega el modelo hiperbólico. El modelo hiperbólico permite comparar las deformaciones por creep básico finales de ambos hormigones.

- Para ambos hormigones se concluyó que al aumentar la edad de carga la deformación final esperada disminuye, lo que es consistente con la literatura. Por otro lado se puede ver como en las edades de 3 y 7 días se observa que la deformación final esperada para el H30 es menor que la deformación final para el H70, lo que no es consistente con lo esperado.
- Según la teoría al mejorar la resistencia disminuyen los efectos del creep, aun cuando para el creep básico los resultados no debieran variar mucho. Esto se vio reflejado en los resultados, en los que en las edades de 3 y 7 días se pudo que el valor real de esta diferencia no fue significativa.
- Al comparar los resultados obtenidos con los modelos teóricos se puede ver como el modelo de Dilger y Wang se acercó de mejor manera a los resultados obtenidos. Las desviaciones con el modelo pueden ser explicadas por el uso de súper plastificantes, que a igual relación A/C incrementan en hasta un 20% las deformaciones del creep básico (Brooks)
- El modelo B3 no fue adecuado para edades tempranas. Presentó deformaciones mucho menores que las realmente sufridas por el hormigón H30, las deformaciones por creep básico prácticamente duplicaron las entregadas por el modelo al cargar a 3 y 7 días. Estas discrepancias no se pueden explicar por las perdidas durante la experimentación ya que de haber sido así las deformaciones serían menores y no mayores a lo esperado.

4.2 Recomendaciones

- Sería conveniente hacer estudios sobre la incorporación de resortes al sistema de mantención de carga para mejorar la estabilidad de esta, ya que aunque las variaciones de carga en los días finales no son muy grandes, en el primer día si lo son. Esto permitiría la experimentación con mayores cantidades de probetas por que se reduciría o eliminaría la necesidad de volver a aplicar la carga, además de mejorar la confiabilidad del ensayo.
- Se propone realizar estudios en paralelo usando el marco normal ajustado a la norma ASTM 512 y con el sistema de póstensado empleado en esta memoria, a fin de comparar los resultados que entregan ambos métodos lo que permitirá desacoplar efectos de tipo de probeta, deformaciones y pérdidas por la menor rigidez del marco.
- Dado que la mayoría de los cementos chilenos utilizan puzolanas como adiciones en distintas proporciones, sería interesante estudiar detalladamente el comportamiento de creep, tanto básico como de secado, de estos cementos, y compararlos con los cementos Portland.

CAPITULO V: BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

- (1) Kumar Metha P., J. M. Monteiro Paulo (1986) “*Concrete, Structure, Proprieties, and Materials*”, Prentice Hall, Second Edition.
- (2) ASTM (1994) C512 ”*Standard Test Method for Creep of concrete in compression*”.
- (3) Peter F. Takács (2002) “*Deformations in Concrete Cantilever Bridges Observations and Theoretical Modeling*”, Doctoral Thesis, Norwegian University of Science and Technology.
- (4) H.S. Muller “*New Prediction Models for Creep and Shrinkage of Concrete*” pp1-18 in ACI Committee 209 (1992) ”*SP- 135 Creep and Shrinkage of Concrete: effect of materials and environment*”, Marwan A. Daye C.C. FU Editors.
- (5) Nilson (1987) “*Pretensed Concrete*”, John Wiley & Sons , 2ª Edición.
- (6) ACI committee 209 “*Report on factors affecting shrinkage and creep of hardened Concrete*”, American concrete institute 2005.
- (7) J.J Brooks “*Elasticity, Creep, and shrinkage of Concrete containing admixtures*” in “*The Adam Neville Symposium: Creep and Shrinkage- Structural Design Efects*”, Akthem Al-Manaseer 2000
- (8) Kaewmanee Krittiya (2001) ”*A new testing method for creep behaviour of self-compacting concrete at early age*”, Dissertation submitted in partial fulfilment of the requirements for Master degree, Kochi University of Technology.
- (9) Krit Kangvanpanich (2002) “*Early age creep of self-compacting concrete using low heat cement at different Stress/Strength ratios*”, Dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for The Degree of Master of Engineering, Kochi University of Technology.
- (10) ASTM (1999) C157 ”*Length Change of hardened Hydraulic-Cement Mortar and Concrete*”.
- (11) Nilson (1987) “*Diseño de estructuras de concreto*”, Mc Graw Hill , 12ª Edición
- (12) Lafarge (2007), “*Construcción profesional: productos Melón Súper*”
<http://www.melon.cl/html_construc_prof/m_super.html> [consulta 10 Octubre 2007]
- (13) TML (2007) “*Strain Gauges*”, Tokio Sokki Kenkyujo Co.
- (14) A. M. Neville “*Creep of concrete: Plain Reinforced and prestressed*”, North-Holland Publishing Company.

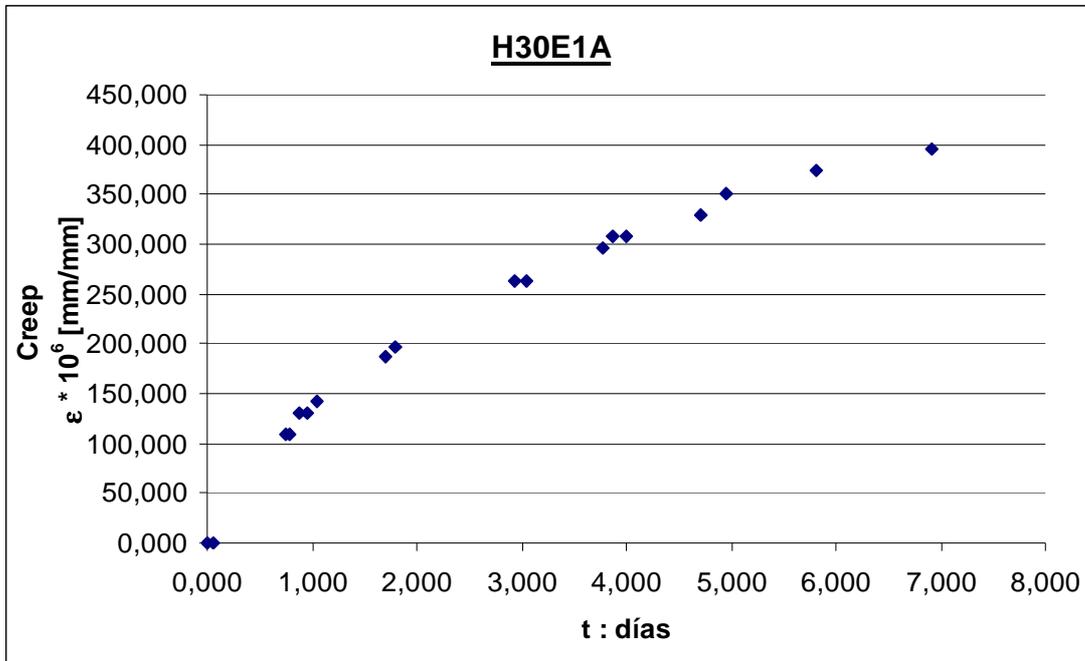
(15)C. D. Pomeroy “Experimental Techniques and Results” in “Creep and Shrinkage in structures”, John Wiley and Sons ltd 1982.

(16)Z.P. Bažant y S. Baweja “Creep and shrinkage Prediction Model for Análisis and Design of Concrete Structures: Model B3” in “The Adam Neville Symposium: Creep and Shrinkage-Structural Design Effects”, Akthem Al-Manaseer 2000.

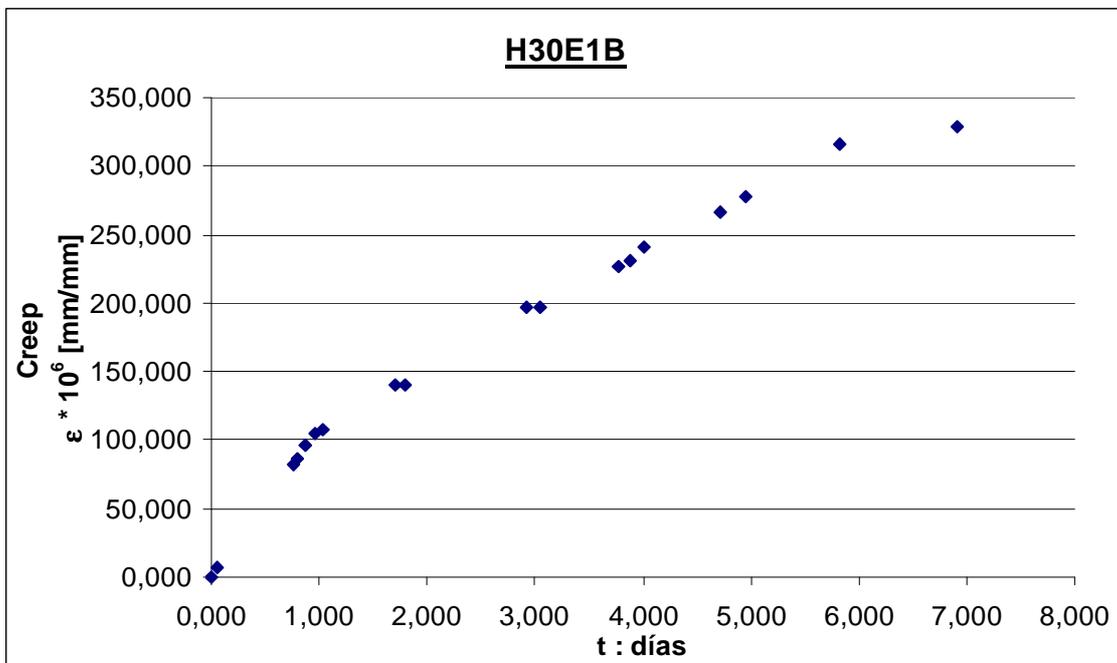
(17)W.H. Dilger y C. Wang “Creep and shrinkage of High-Performance Concrete” in “The Adam Neville Symposium: Creep and Shrinkage - Structural Design Effects”, Akthem Al-Manaseer 2000.

APÉNDICES

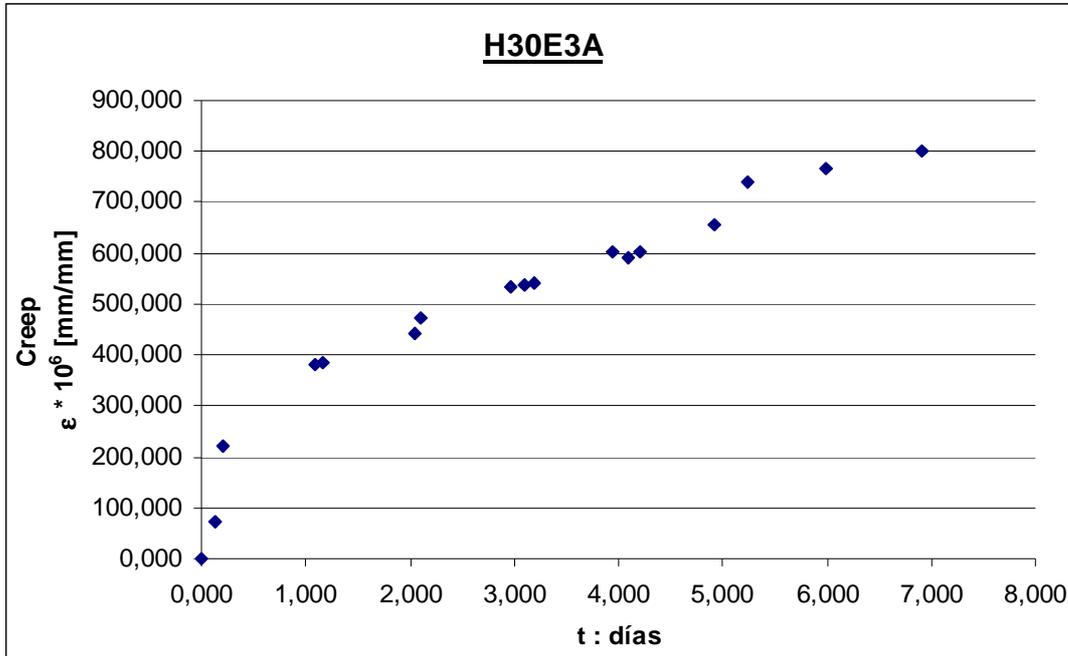
Apéndice A: Curvas de creep H30



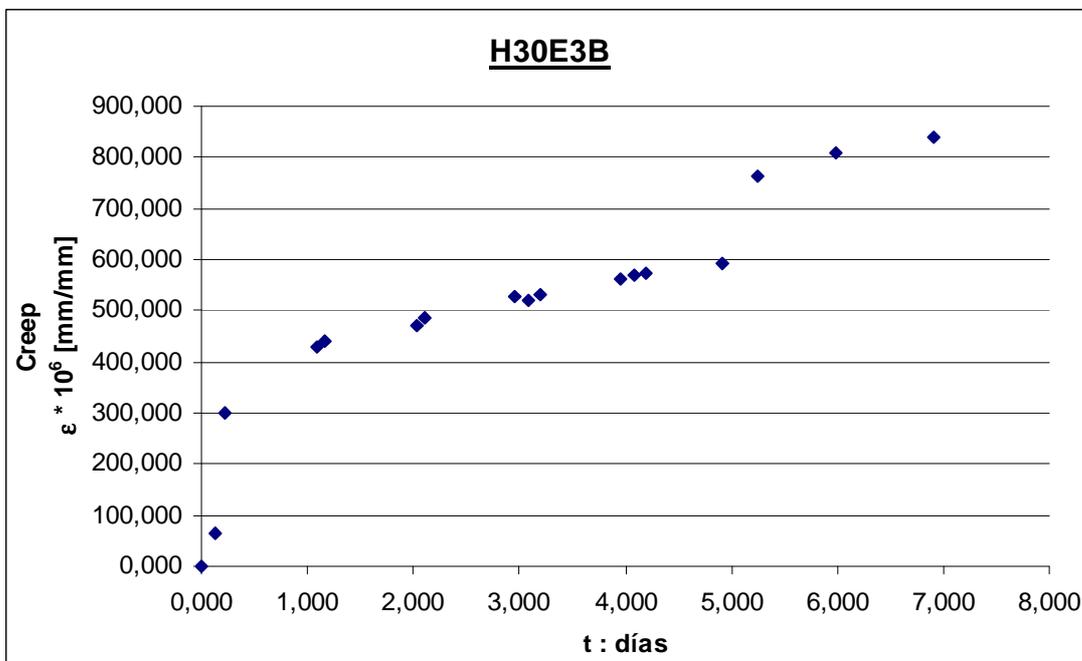
Datos recogidos de una probeta de H30 cargada a una edad de 1 día con un 20% de la carga de rotura, en condición sellada



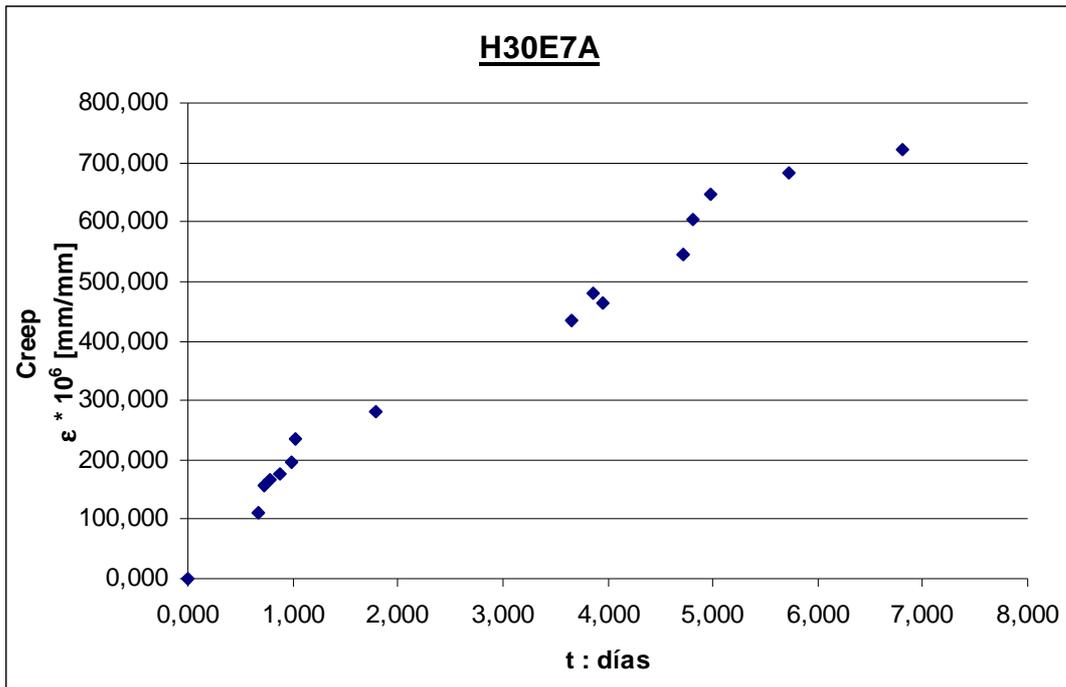
Datos recogidos de una probeta de H30 cargada a una edad de 1 día con un 20% de la carga de rotura, en condición sellada



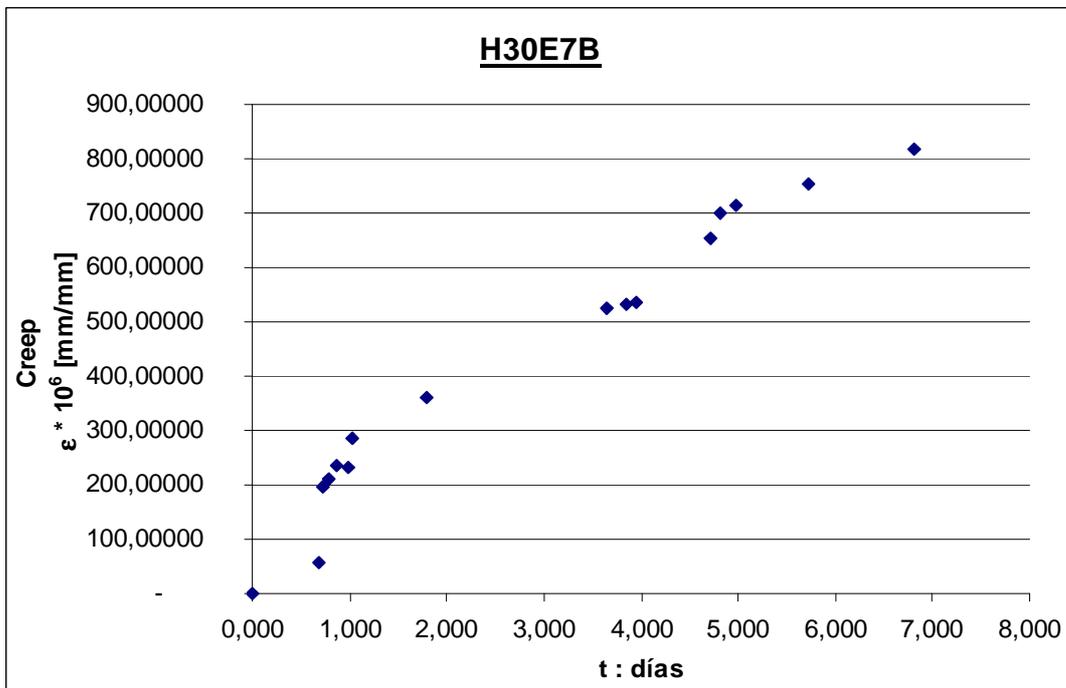
Datos recogidos de una probeta de H30 cargada a una edad de tres días con un 20% de la carga de rotura, en condición sellada



Datos recogidos de una probeta de H30 cargada a una edad de tres días con un 20% de la carga de rotura, en condición sellada



Datos recogidos de una probeta de H30 cargada a una edad de siete días con un 20% de la carga de rotura, en condición sellada



Datos recogidos de una probeta de H30 cargada a una edad de siete días con un 20% de la carga de rotura, en condición sellada

Apéndice B: Curvas H30 modelo logarítmico.

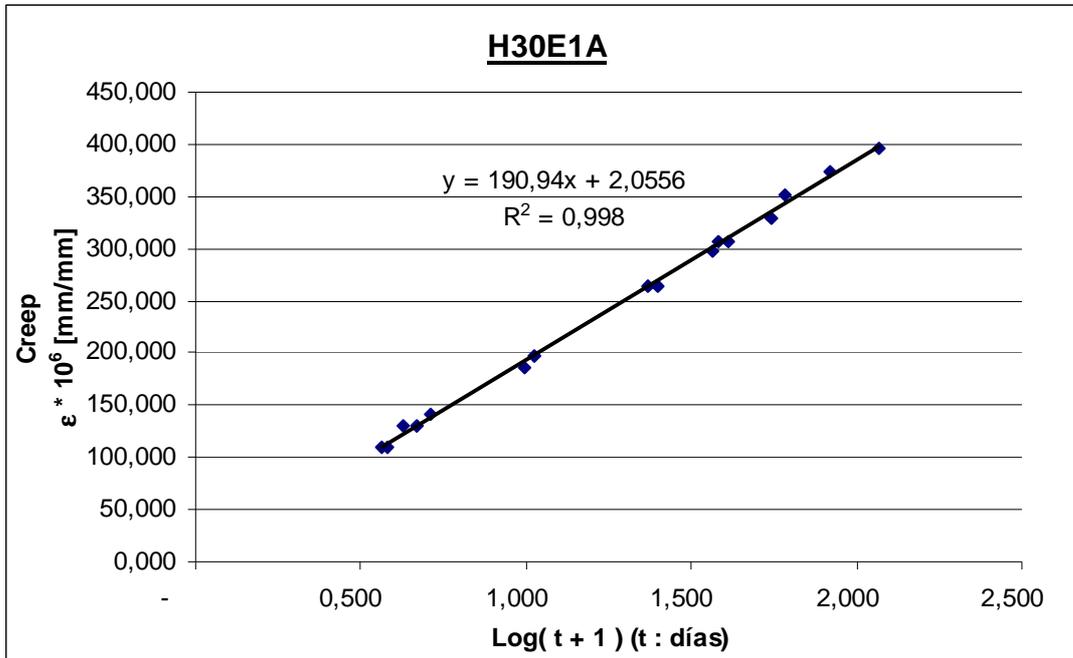


Gráfico necesario para obtener el modelo logarítmico aplicado a una de las probetas H30 cargadas al día, y mantenidas en condición sellada.

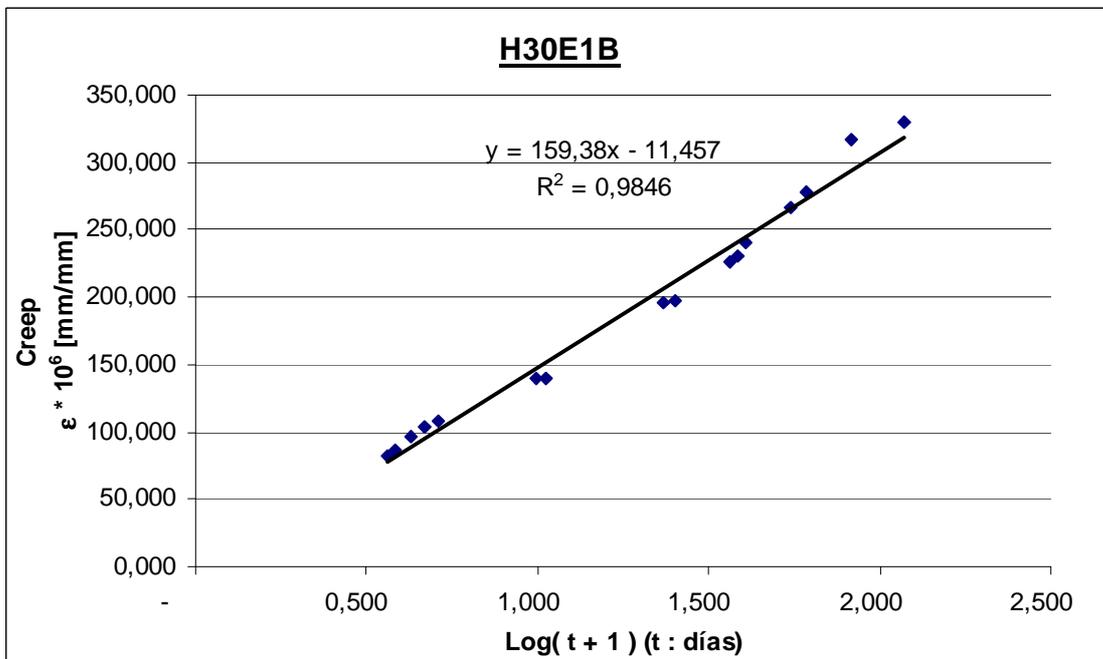


Gráfico necesario para obtener el modelo logarítmico aplicado a una de las probetas H30 cargadas al día, y mantenidas en condición sellada.

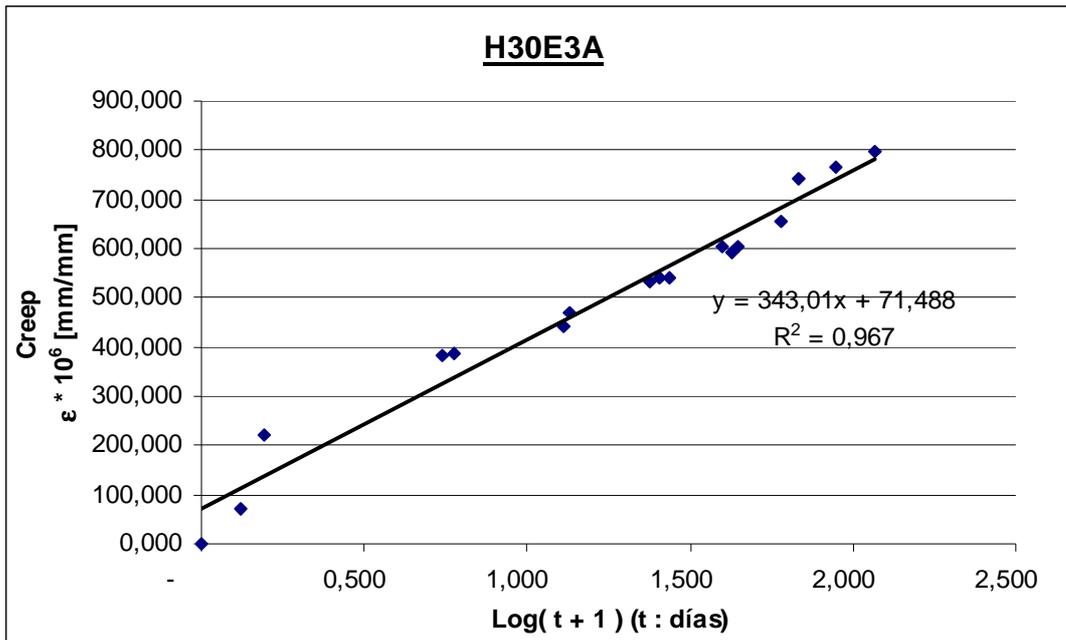


Gráfico necesario para obtener el modelo logarítmico aplicado a una de las probetas H30 cargadas a los tres días, y mantenidas en condición sellada.

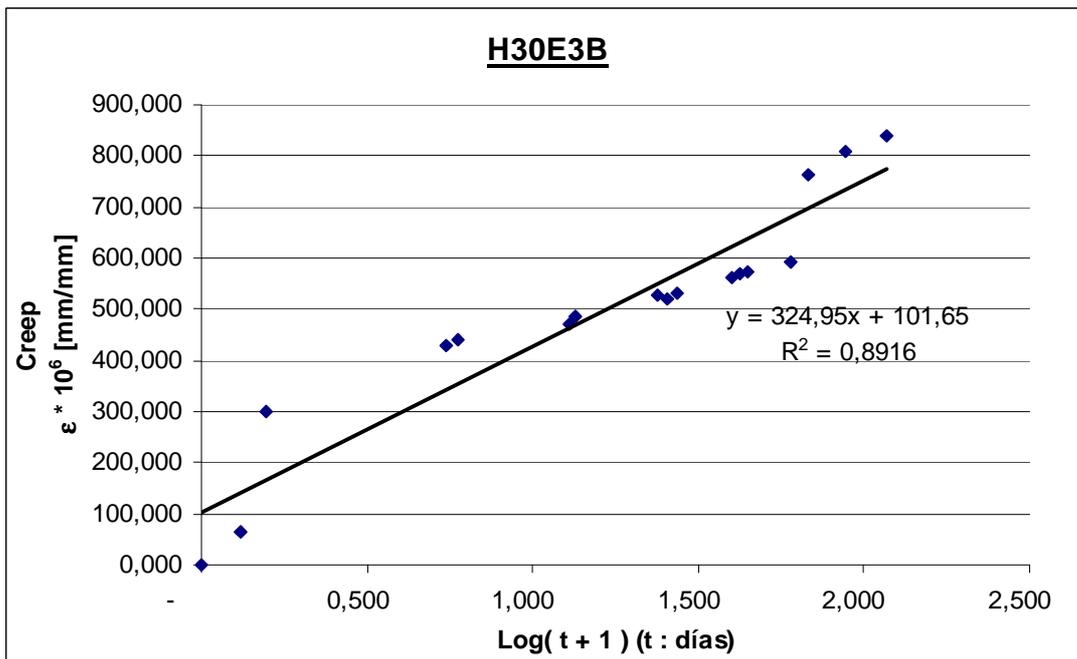


Gráfico necesario para obtener el modelo logarítmico aplicado a una de las probetas H30 cargadas a los tres días, y mantenidas en condición sellada.

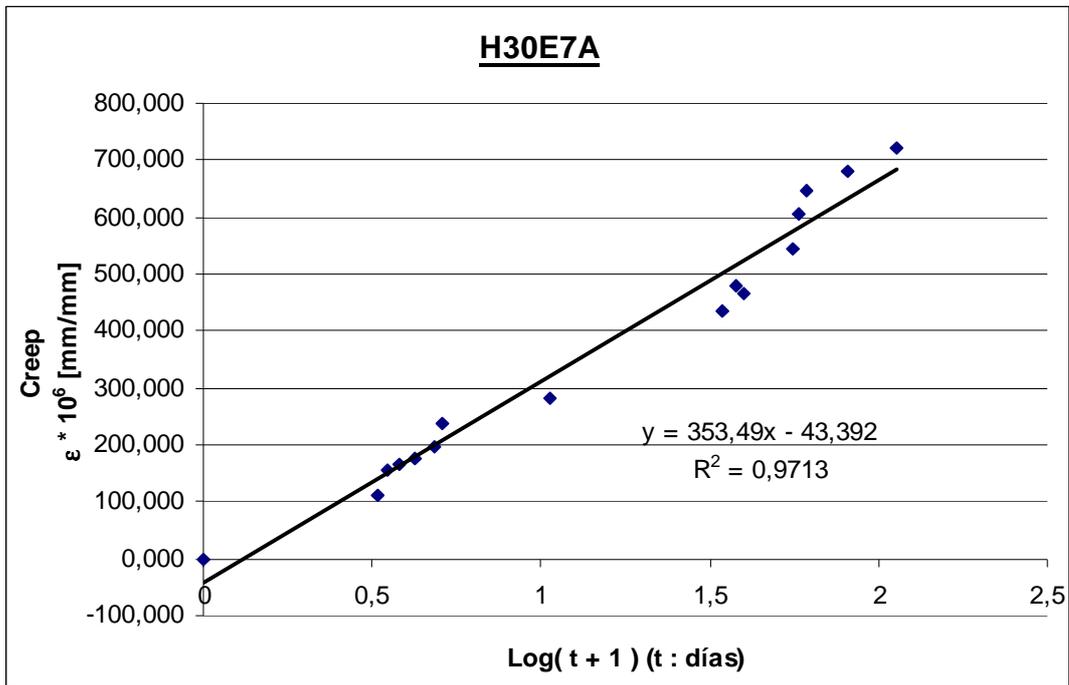


Gráfico necesario para obtener el modelo logarítmico aplicado a una de las probetas H30 cargadas a los siete días, y mantenidas en condición sellada.

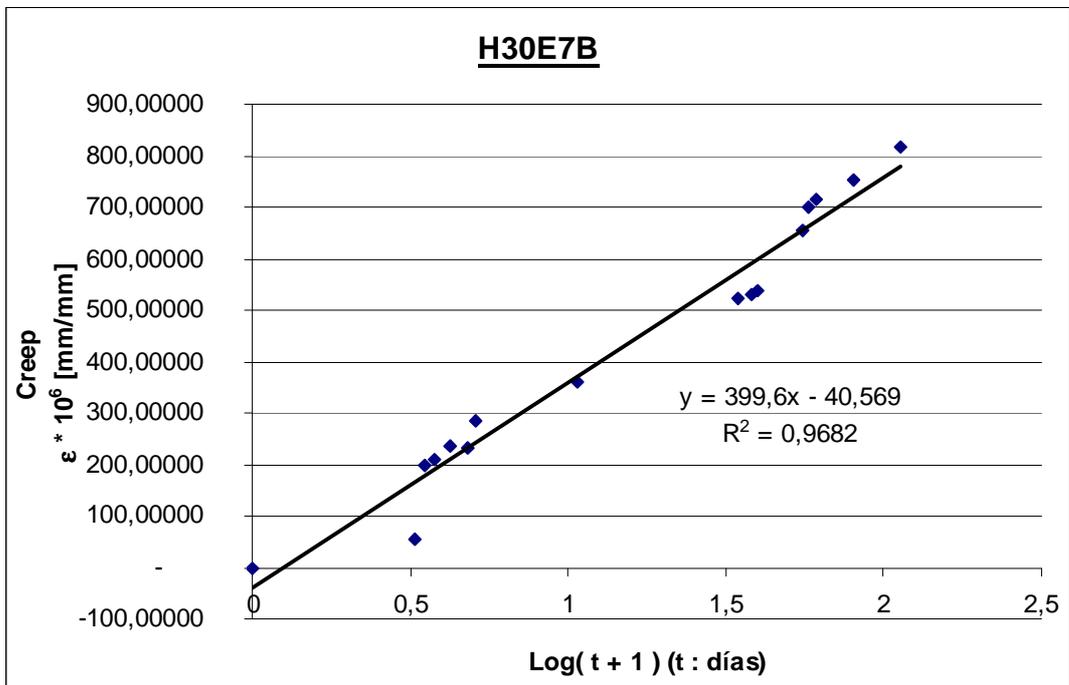


Gráfico necesario para obtener el modelo logarítmico aplicado a una de las probetas H30 cargadas a los siete días, y mantenidas en condición sellada.

Apéndice C: Curvas H30 modelo hiperbólico.

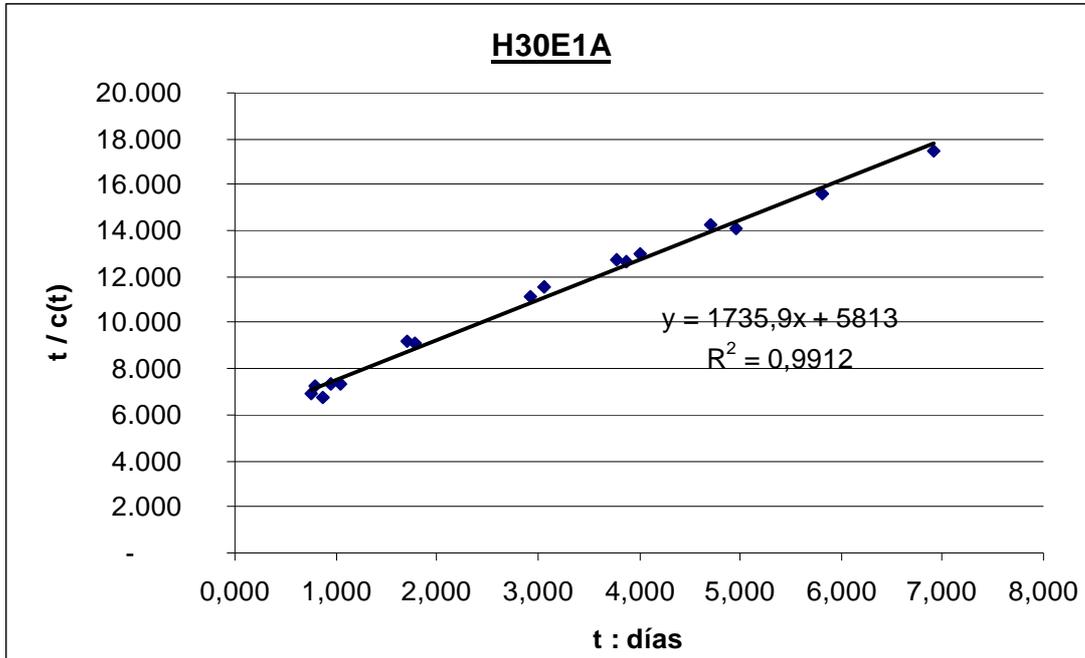


Gráfico necesario para obtener el modelo hiperbólico aplicado a una de las probetas H30 cargadas a un día y mantenidas en condición sellada.

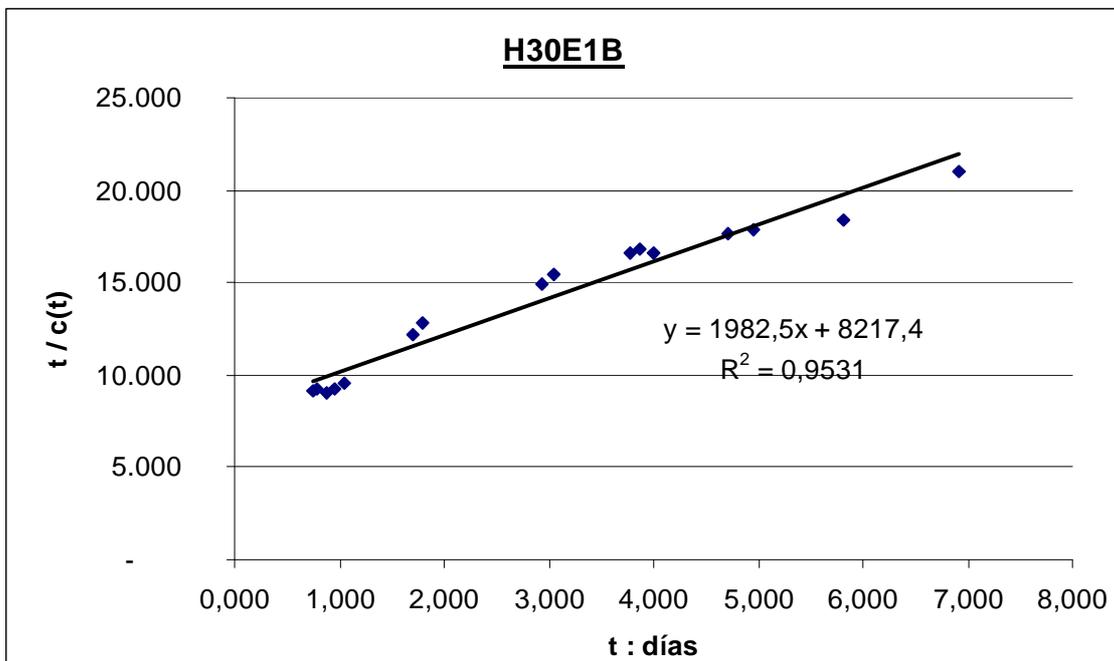


Gráfico necesario para obtener el modelo hiperbólico aplicado a una de las probetas H30 cargadas a un día y mantenidas en condición sellada.

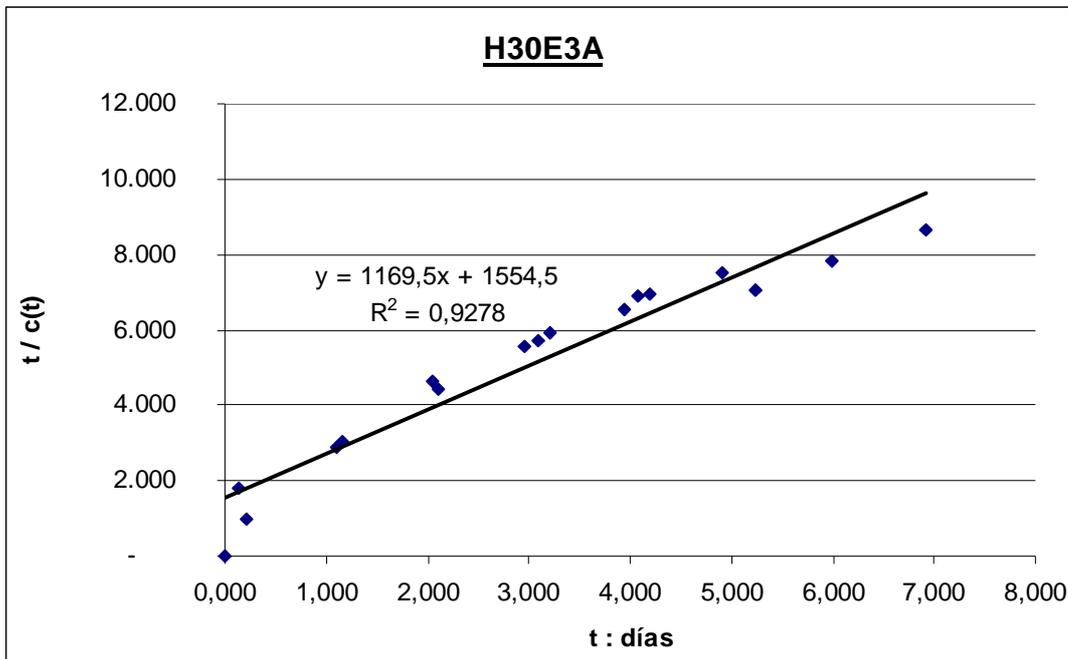


Gráfico necesario para obtener el modelo hiperbólico aplicado a una de las probetas H30 cargadas a los tres días y mantenidas en condición sellada.

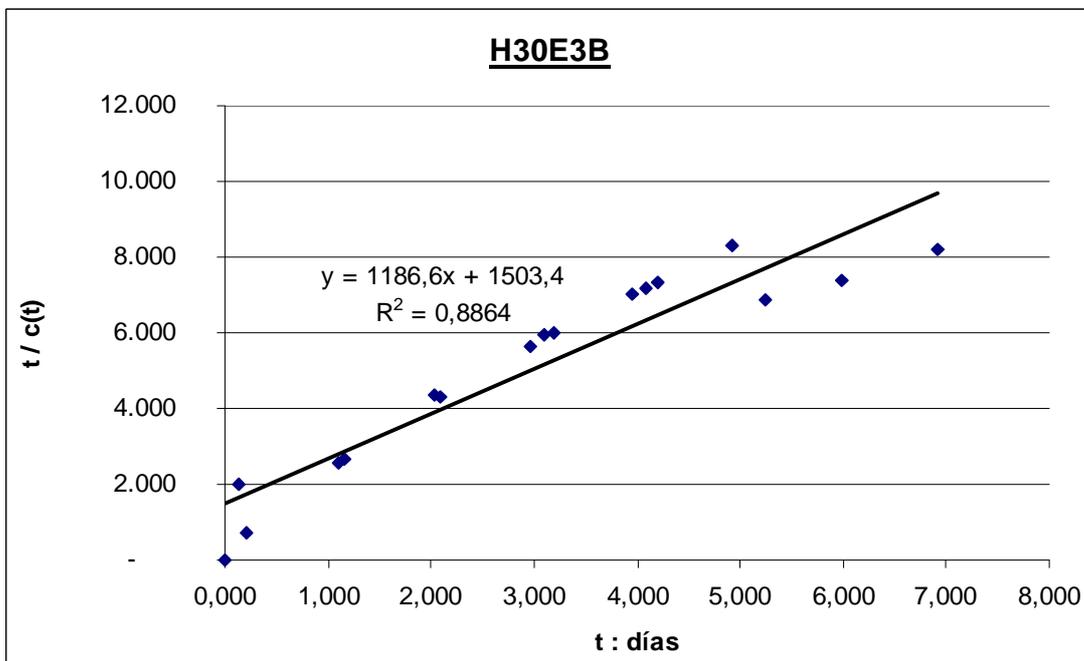


Gráfico necesario para obtener el modelo hiperbólico aplicado a una de las probetas H30 cargadas a los tres días y mantenidas en condición sellada.

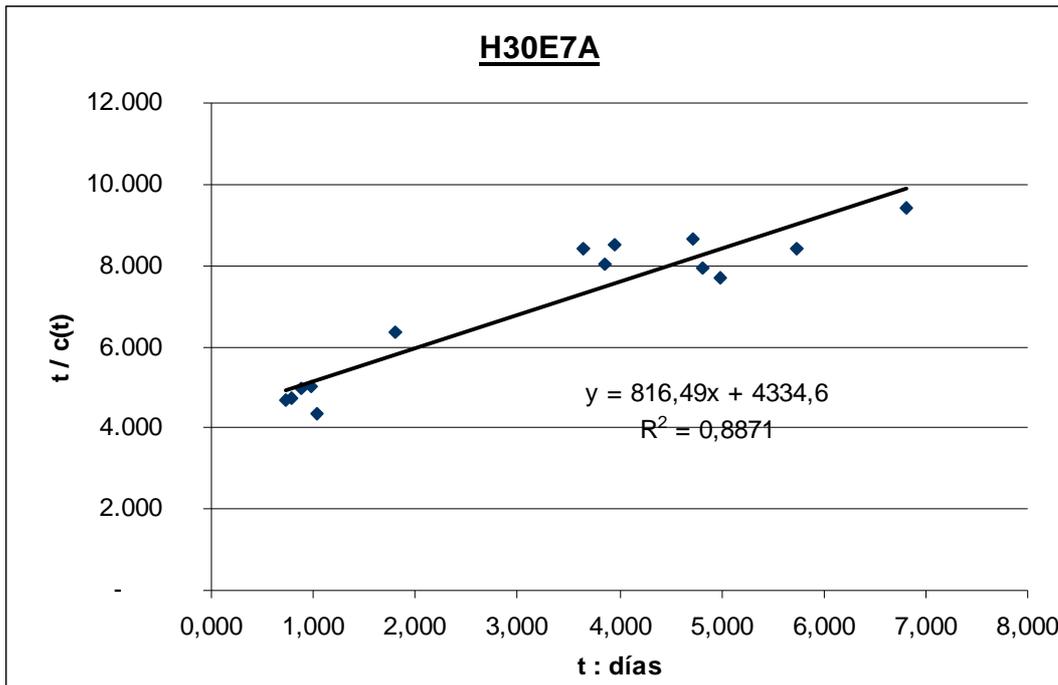


Gráfico necesario para obtener el modelo hiperbólico aplicado a una de las probetas H30 cargadas a los siete días, y mantenidas en condición sellada.

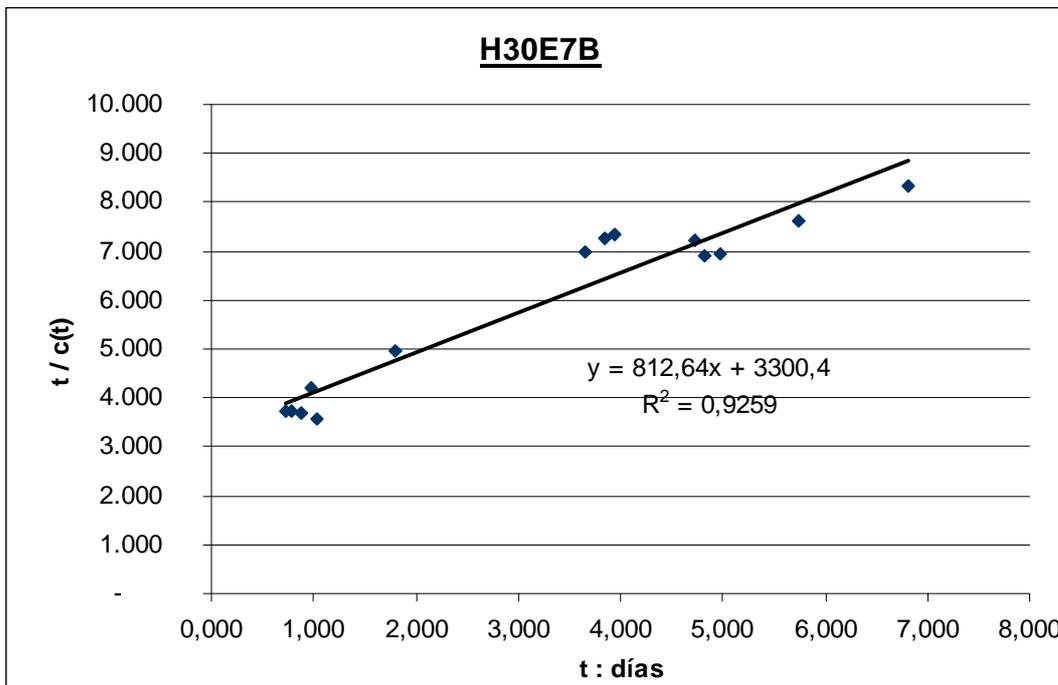
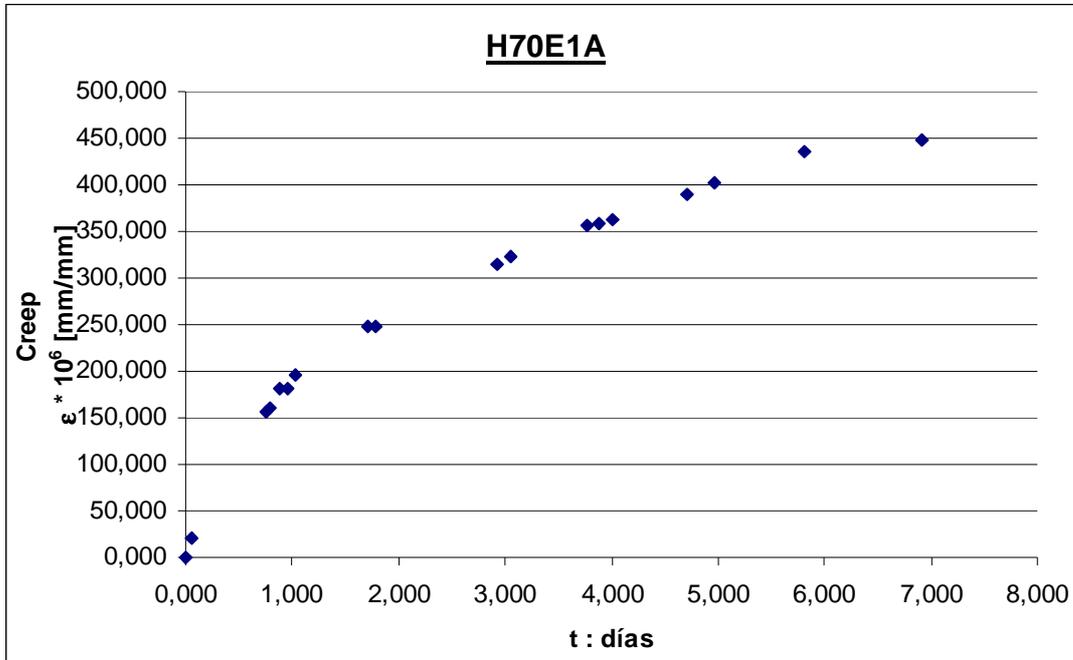
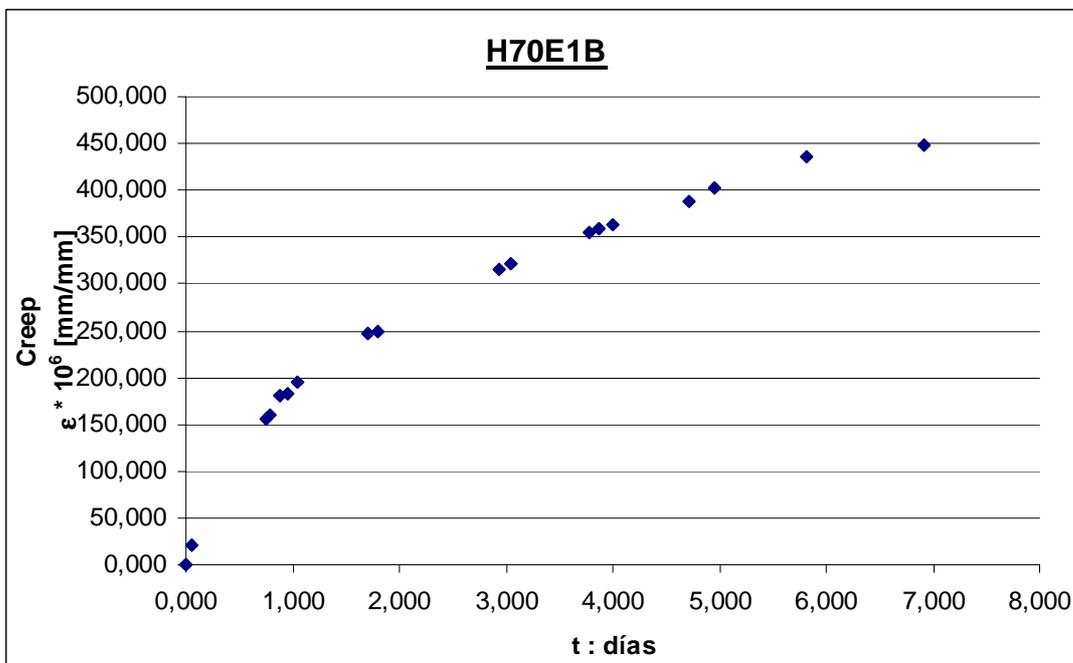


Gráfico necesario para obtener el modelo hiperbólico aplicado a una de las probetas H30 cargadas a los siete días, y mantenidas en condición sellada.

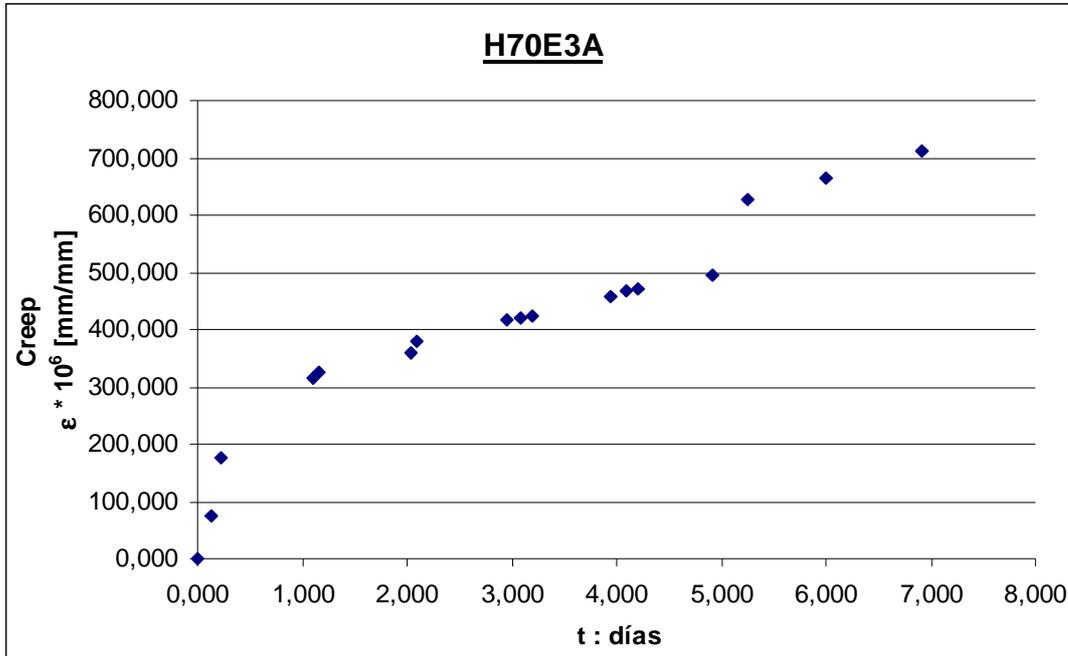
Apéndice D: Curvas de creep H70



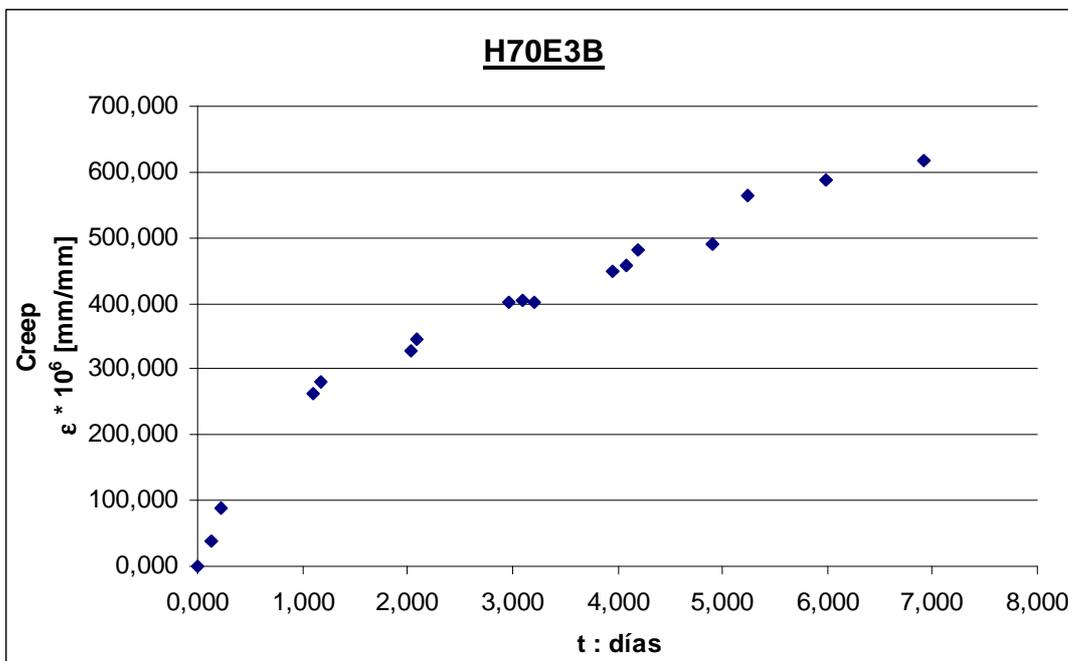
Datos recogidos de una probeta de H70 cargada a una edad de un día con un 20% de la carga de rotura, en condición sellada.



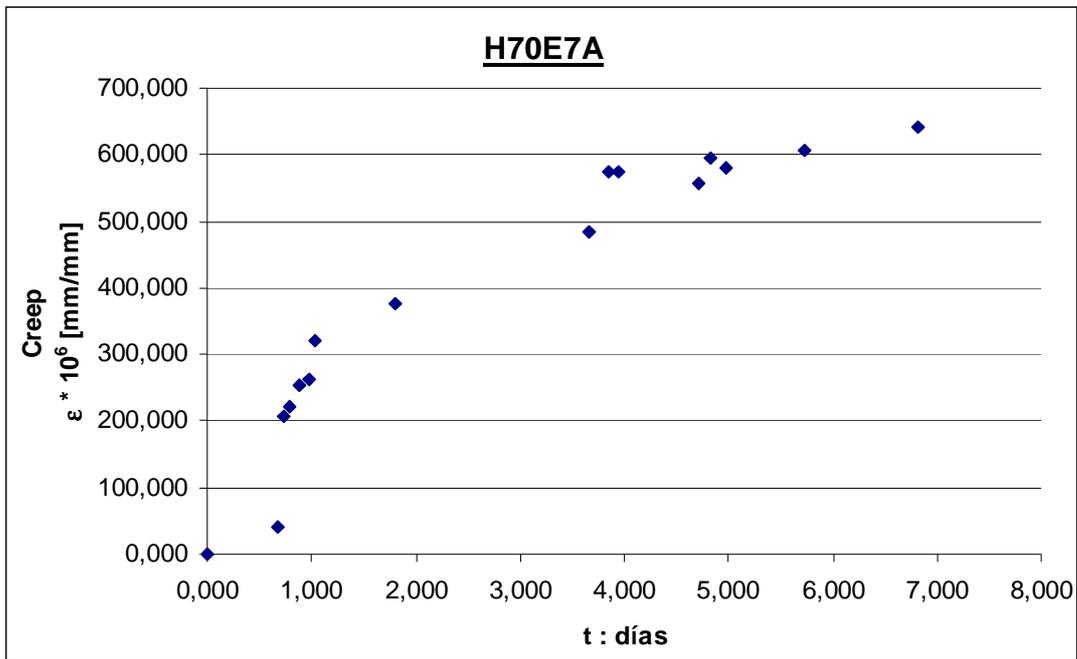
Datos recogidos de una probeta de 70 cargada a una edad de un día con un 20% de la carga de rotura, en condición sellada.



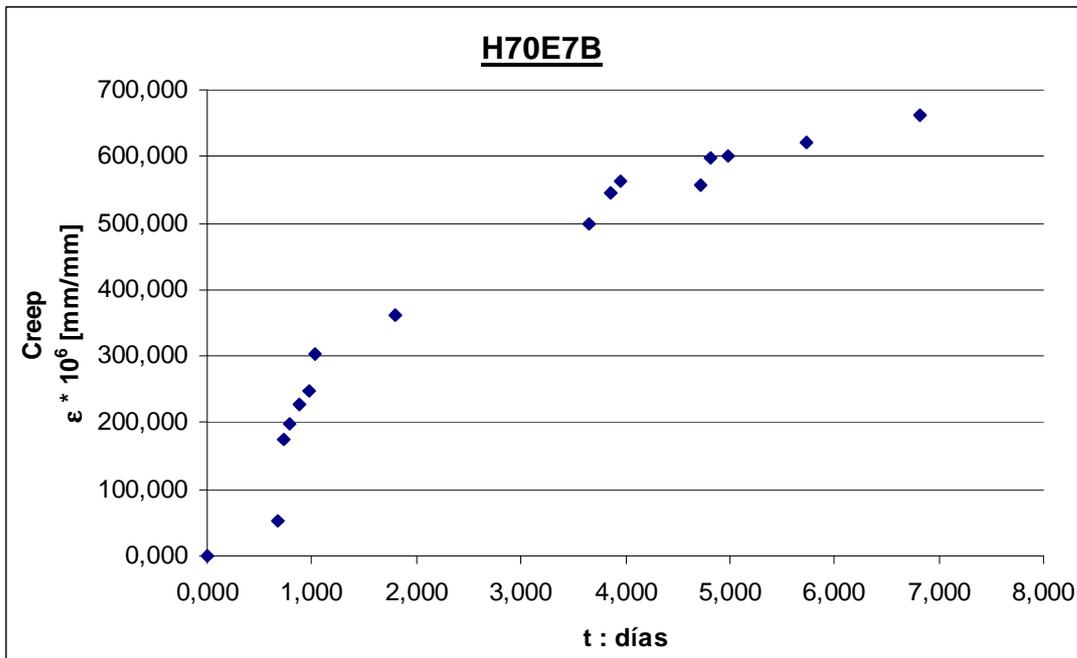
Datos recogidos de una probeta de H70 cargada a una edad de tres días con un 20% de la carga de rotura, en condición sellada.



Datos recogidos de una probeta de H70 cargada a una edad de tres días con un 20% de la carga de rotura, en condición sellada.



Datos recogidos de una probeta de H70 cargada a una edad de siete días con un 20% de la carga de rotura, en condición sellada.



Datos recogidos de una probeta de H70 cargada a una edad de siete días con un 20% de la carga de rotura, en condición sellada.

Apéndice E: Curvas H70 modelo logarítmico.

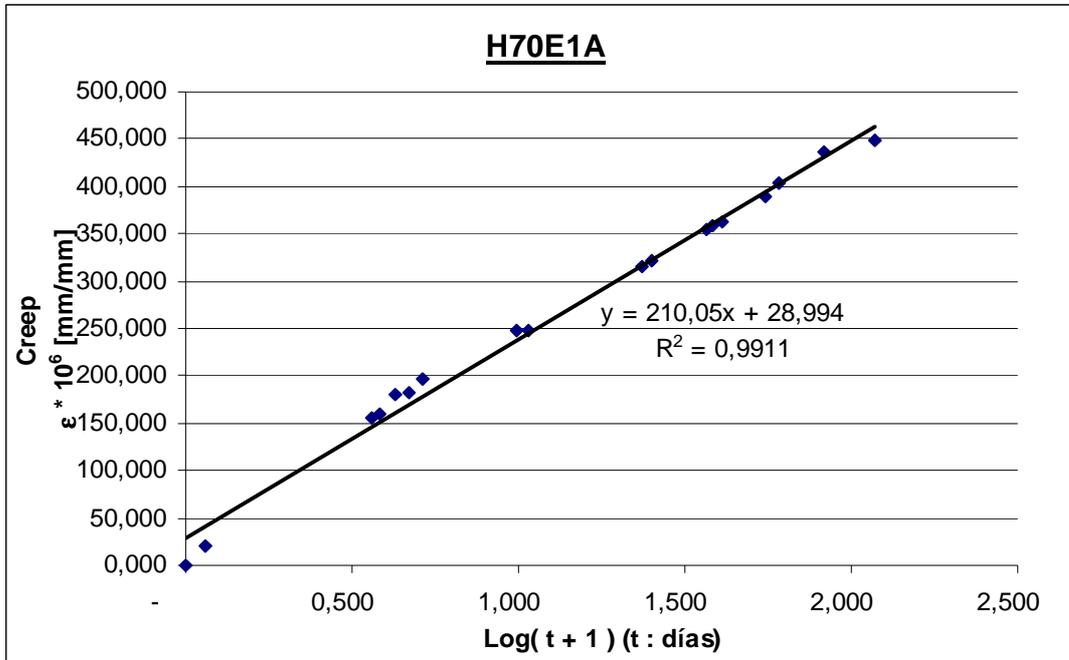


Gráfico necesario para obtener el modelo logarítmico aplicado a una de las probetas H70 cargadas al día, y mantenidas en condición sellada.

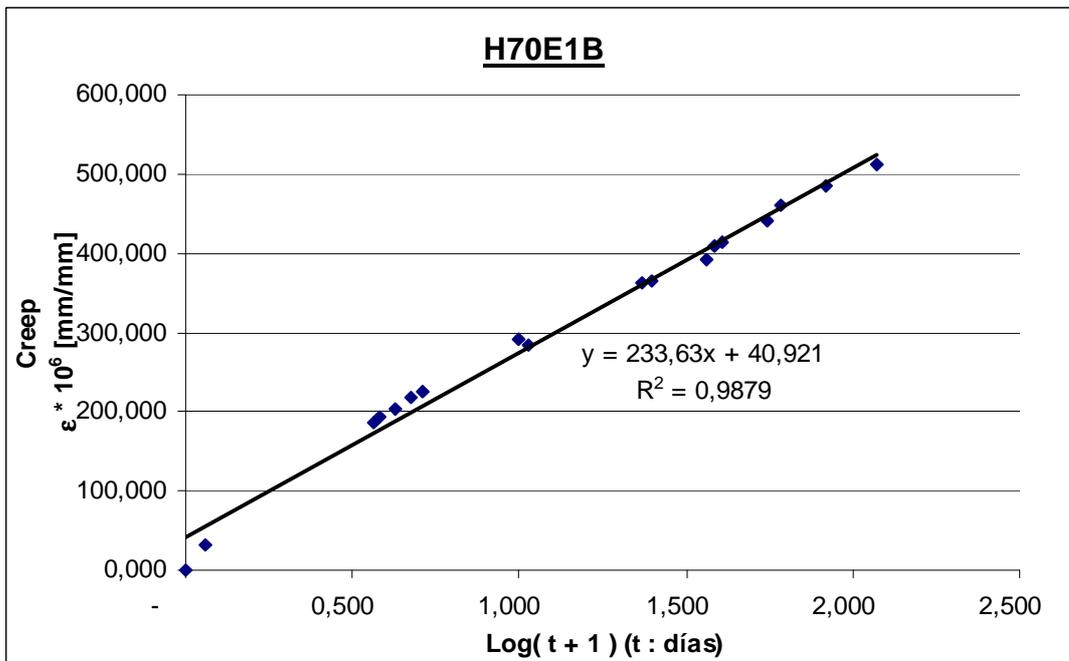


Gráfico necesario para obtener el modelo logarítmico aplicado a una de las probetas H70 cargadas al día, y mantenidas en condición sellada.

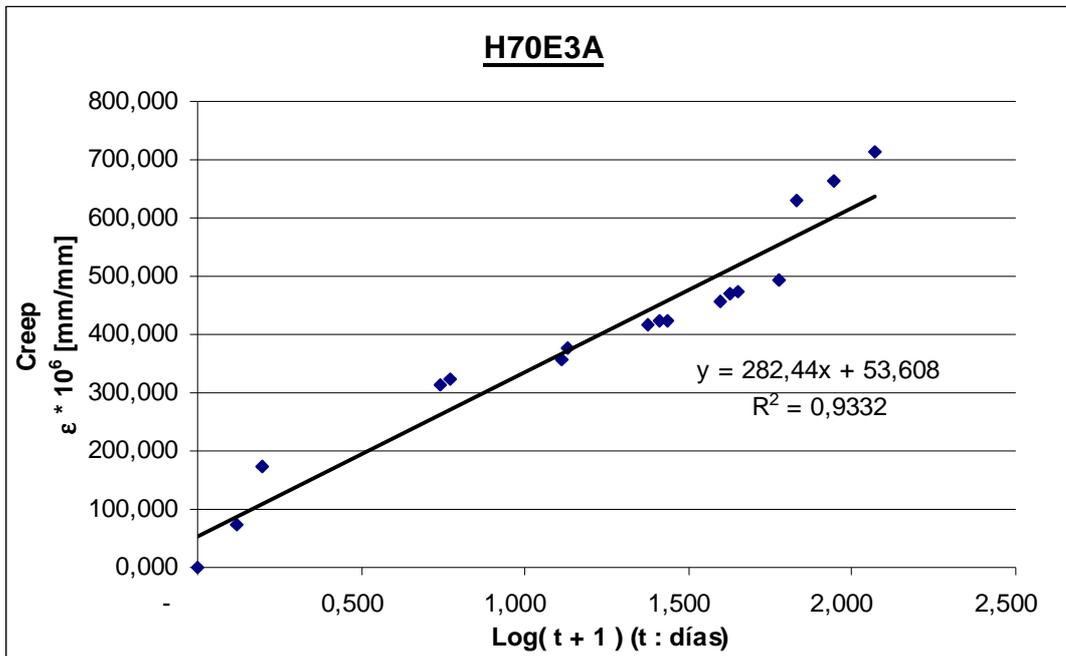


Gráfico necesario para obtener el modelo logarítmico aplicado a una de las probetas H70 cargadas a los tres días, y mantenidas en condición sellada.

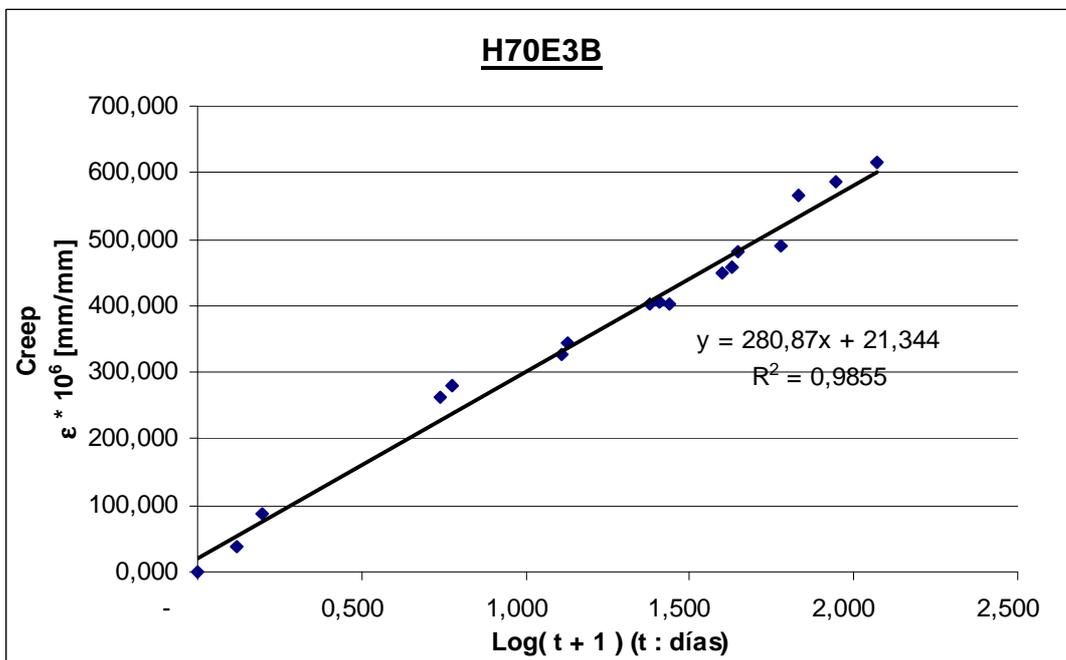


Gráfico necesario para obtener el modelo logarítmico aplicado a una de las probetas H70 cargadas a los tres días, y mantenidas en condición sellada.

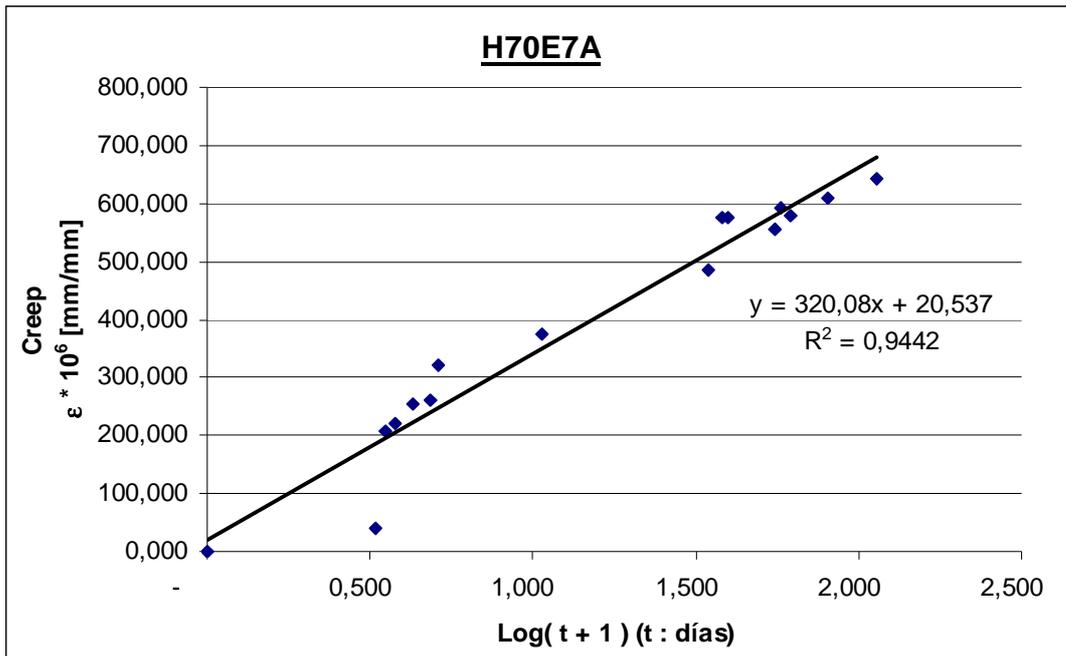


Gráfico necesario para obtener el modelo logarítmico aplicado a una de las probetas H70 cargadas a los siete días, y mantenidas en condición sellada.

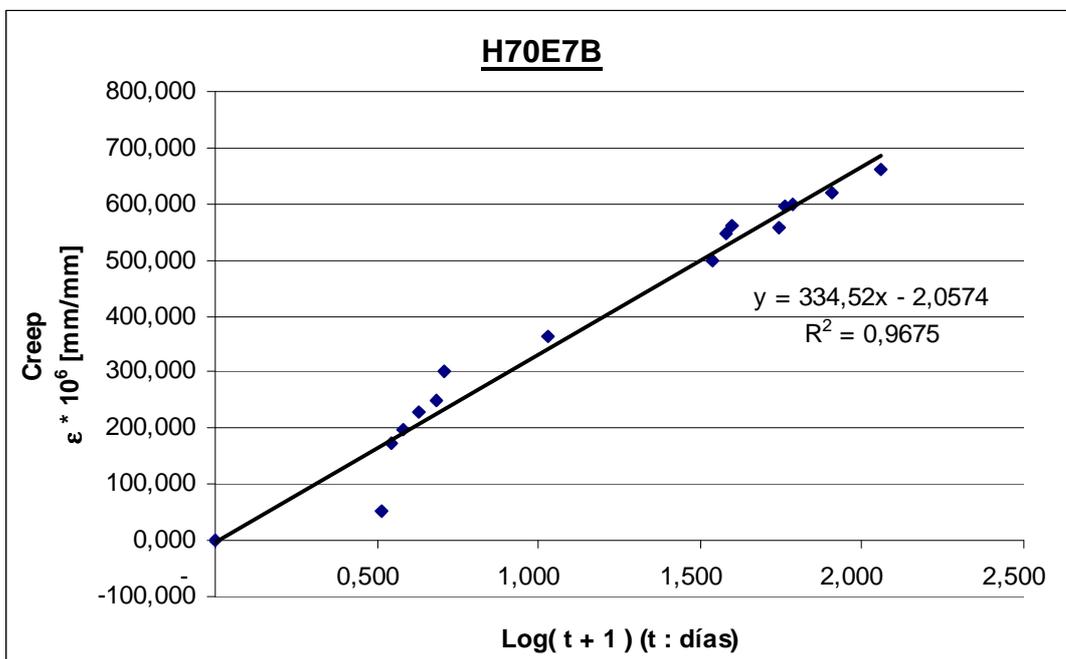


Gráfico necesario para obtener el modelo logarítmico aplicado a una de las probetas H70 cargadas a los siete días, y mantenidas en condición sellada.

Apéndice F: Curvas H70 modelo hiperbólico.

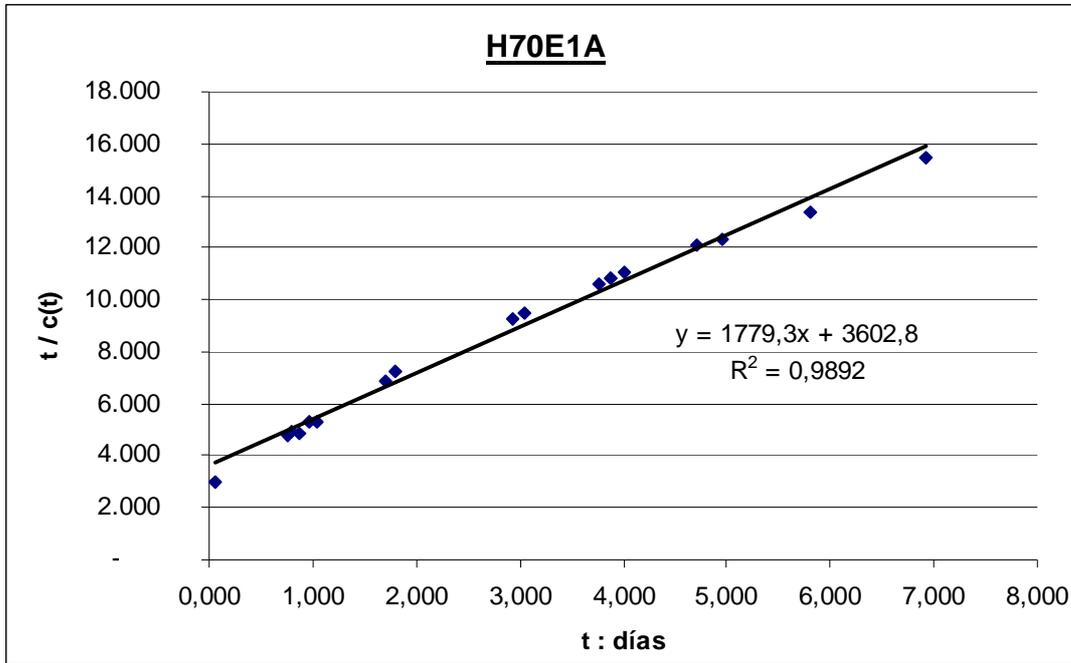


Gráfico necesario para obtener el modelo hiperbólico aplicado a una de las probetas H70 cargadas a un día, y mantenidas en condición sellada.

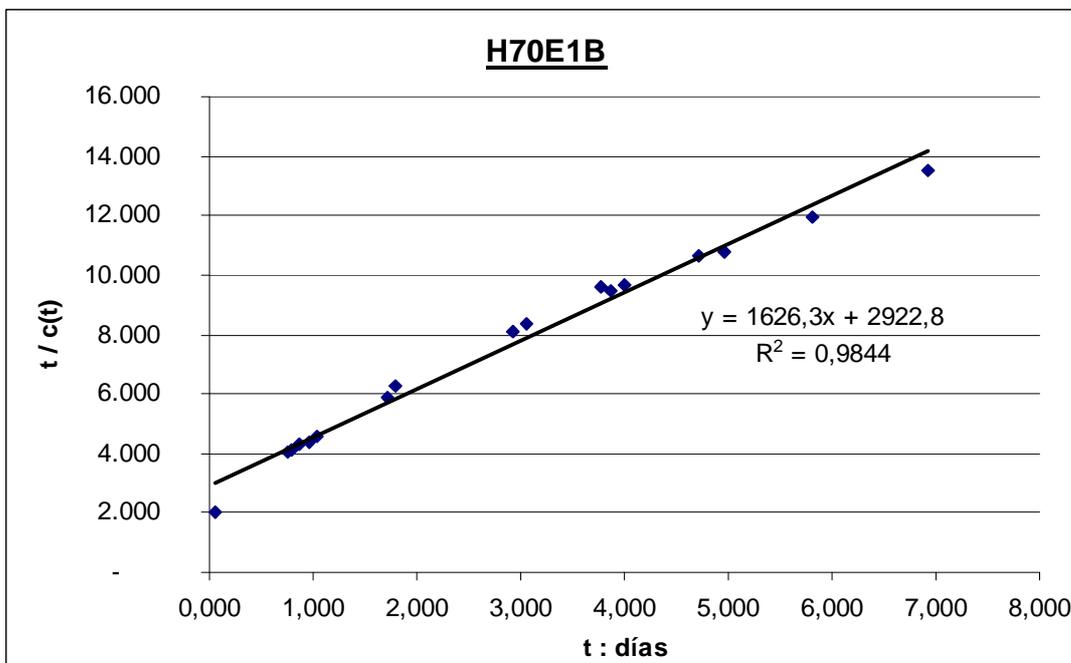


Gráfico necesario para obtener el modelo hiperbólico aplicado a una de las probetas H70 cargadas a un día, y mantenidas en condición sellada.

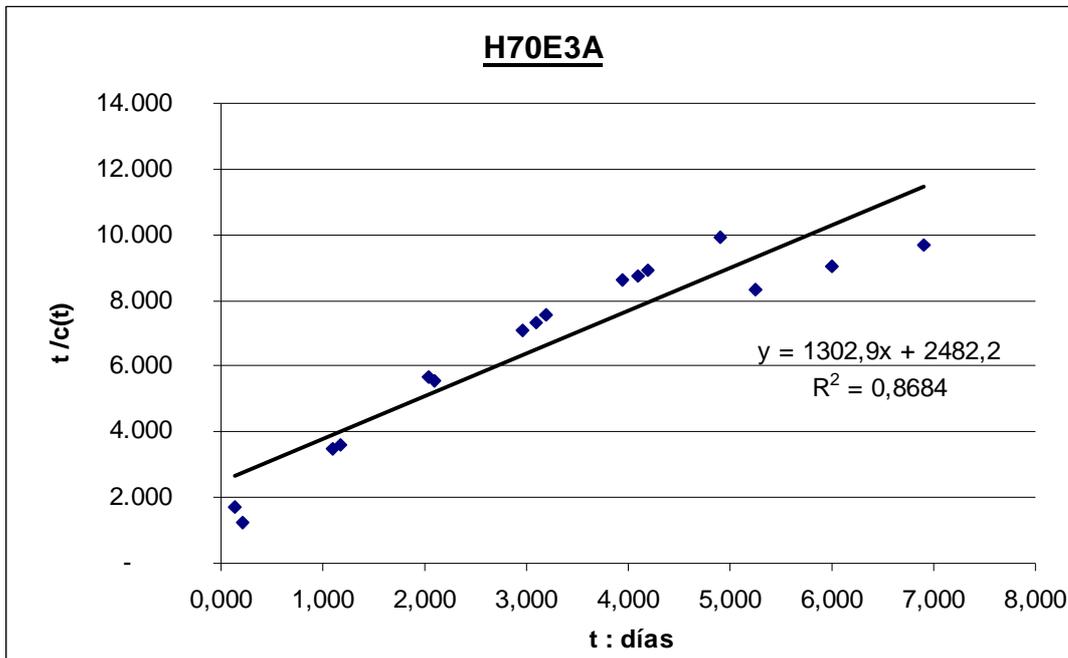


Gráfico necesario para obtener el modelo hiperbólico aplicado a una de las probetas H70 cargadas a tres días, y mantenidas en condición sellada.

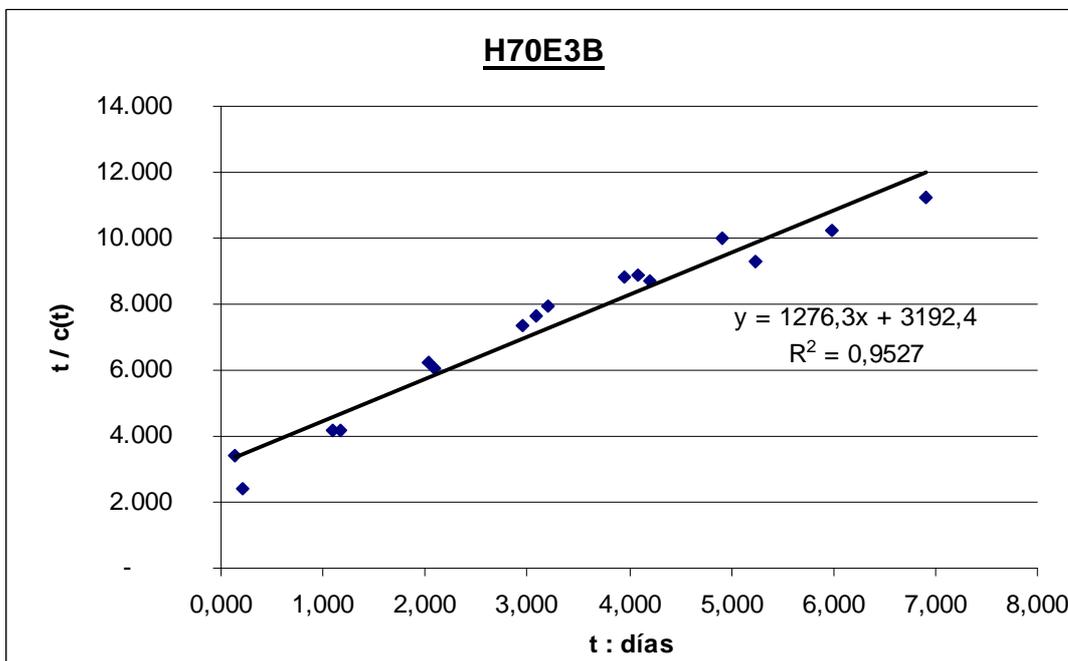


Gráfico necesario para obtener el modelo hiperbólico aplicado a una de las probetas H70 cargadas a tres días, y mantenidas en condición sellada.

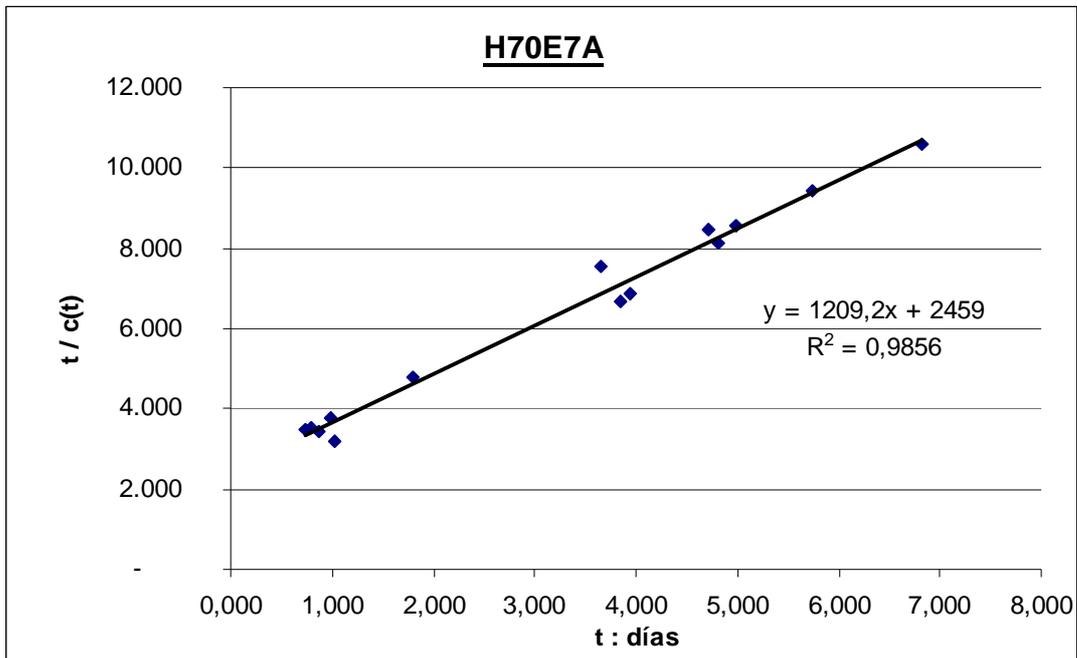


Gráfico necesario para obtener el modelo hiperbólico aplicado a una de las probetas H70 cargadas a siete días, y mantenidas en condición sellada.

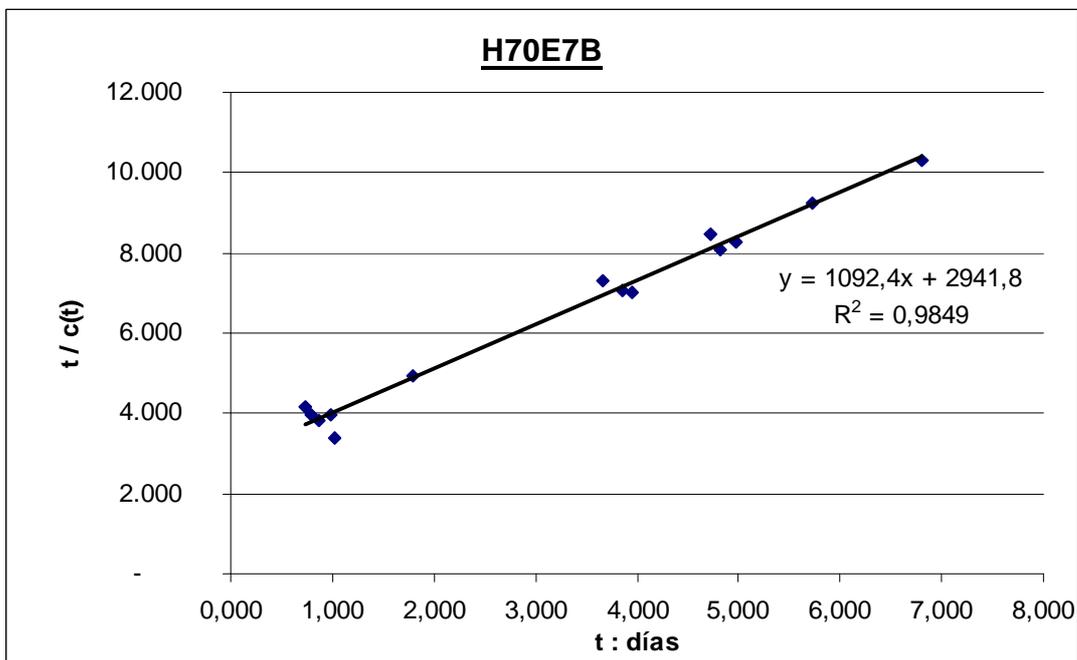


Gráfico necesario para obtener el modelo hiperbólico aplicado a una de las probetas H70 cargadas a siete días, y mantenidas en condición sellada.

Apéndice G: Datos de ensayos de resistencia

Geometría

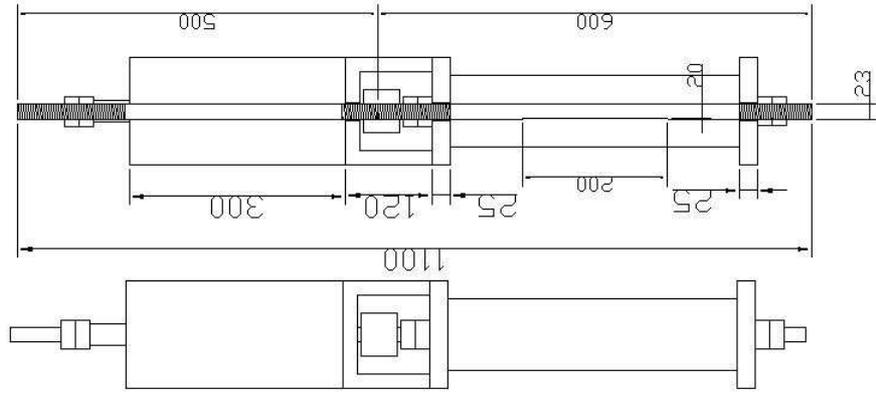
	a1	a2	b1	b2	h1	h2	h3	h4	Peso
	mm	Kg.							
Carga									
H30E1A	150	150	150	152	150	150	150	150	8,18
H30E1B	150	150	149	151	150	150	150	150	8,14
H30E1C	150	150	150	149	150	150	150	150	8,14
H30E3A	150	151	150	150	151	150	150	149	8,08
H30E3B	151	151	150	150	150	150	150	150	8,08
H30E3C	150	151	150	151	149	150	150	149	8,02
H30E7A	150	150	150	151	149	150	150	150	8,06
H30E7B	150	150	150	150	150	150	150	150	8,06
H30E7C	150	150	150	150	150	150	150	150	8,06
28 Días									
H30E1A	150	150	152	150	150	150	150	150	8,20
H30E1B	150	150	152	151	150	150	150	150	8,16
H30E1C	150	150	151	152	150	150	150	150	8,22
H30E3A	150	150	153	152	150	150	150	150	8,24
H30E3B	151	150	151	151	149	150	150	150	8,22
H30E3C	150	150	153	152	150	150	150	150	8,28
H30E7A	150	150	149	143	150	150	150	150	8,24
H30E7B	150	150	151	150	150	150	150	150	8,18
H30E7C	150	150	151	150	150	150	150	150	8,20
Carga									
H70E1A	150	150	150	151	151	150	150	150	3,38
H70E1B	150	150	150	151	150	150	150	150	8,34
H70E1C	150	150	150	151	150	150	150	150	8,36
H70E3A	150	149	150	150	150	150	150	151	8,26
H70E3B	151	150	150	151	150	150	149	150	8,36
H70E3C	150	150	150	150	151	151	150	151	8,40
H70E7A	150	150	150	150	149	150	150	150	8,34
H70E7B	150	150	152	148	150	150	150	150	8,36
H70E7C	150	150	150	152	150	150	150	150	8,38
28 Días									
H70E1A	150	150	151	150	150	150	150	150	8,44
H70E1B	150	150	151	151	150	150	150	150	8,44
H70E1C	150	150	150	150	150	150	150	150	8,38
H70E3A	150	150	151	151	150	150	150	151	8,40
H70E3B	150	150	150	151	150	150	150	150	8,42
H70E3C	150	150	151	151	150	150	150	150	8,38
H70E7A	150	150	150	151	150	150	150	150	8,34
H70E7B	150	150	148	156	150	150	150	150	8,46
H70E7C	150	150	150	148	150	150	150	150	8,34
Retracción									
H30RetA	150	150	153	149	150	150	150	150	8,20
H30RetB	150	150	152	149	150	150	150	151	8,11
H30RetC	150	150	151	151	150	150	150	150	8,22
H70RetA	150	150	150	150	150	150	150	150	8,30
H70RetB	150	150	150	150	150	150	150	150	8,30
H70RetC	150	150	149	149	150	150	150	150	8,16

Resistencias

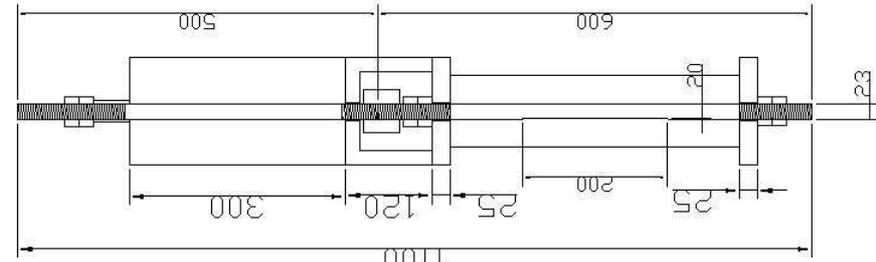
	Carga Máx.	Resistencia	Res. Cubo20
Carga Creep	KN	MPA	MPA
H30E1A	337	15	14,3
H30E1B	340	15,1	14,3
H30E1C	342	15,2	14,4
H30E3A	684	30,4	28,9
H30E3B	658	29,2	27,7
H30E3C	642	28,5	27,1
H30E7A	956	42,5	40,4
H30E7B	909	40,4	38,4
H30E7C	932	41,4	39,3
28 Días	KN	MPA	MPA
H30E1A	1082	48,1	45,7
H30E1B	1088	48,4	46,0
H30E1C	1089	48,4	46,0
H30E3A	1076	47,8	45,4
H30E3B	1129	50,2	47,7
H30E3C	1196	53,1	50,4
H30E7A	1185	52,7	50,1
H30E7B	1153	51,2	48,6
H30E7C	1147	51	48,5
Carga Creep	KN	MPA	MPA
H70E1A	929	41,3	39,2
H70E1B	943	41,9	39,8
H70E1C	966	42,9	40,8
H70E3A	1432	63,6	60,4
H70E3B	1444	64,2	61,0
H70E3C	1470	65,3	62,0
H70E7A	1788	79,5	75,5
H70E7B	1871	83,2	79,0
H70E7C	1827	81,2	77,1
28 Días	KN	MPA	MPA
H70E1A	1933	85,9	81,6
H70E1B	1922	85,4	81,1
H70E1C	1932	85,9	81,6
H70E3A	1932	85,9	81,6
H70E3B	1867	83,0	78,9
H70E3C	1621	72,1	68,5
H70E7A	2121	94,3	89,6
H70E7B	2017	89,6	85,1
H70E7C	2098	93,2	88,5
Retracción	KN	MPA	MPA
H30RetA	1136	50,5	48,0
H30RetB	1106	49,2	46,7
H30RetC	1133	50,3	47,8
H70RetA	1548	68,8	65,4
H70RetB	1774	78,8	74,9
H70RetC	1717	76,3	72,5

Apéndice H: Planos

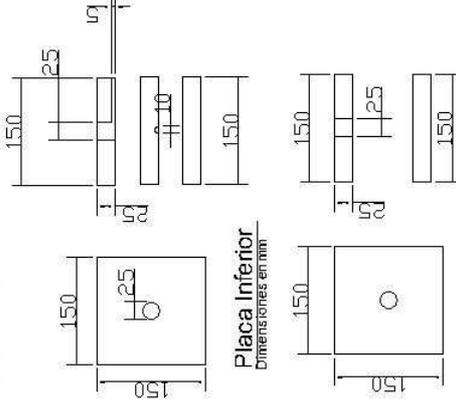
Visia general
Dimensiones en mm



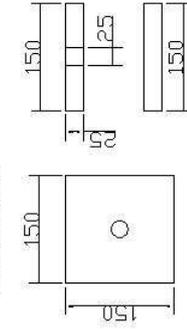
Corte general
Dimensiones en mm



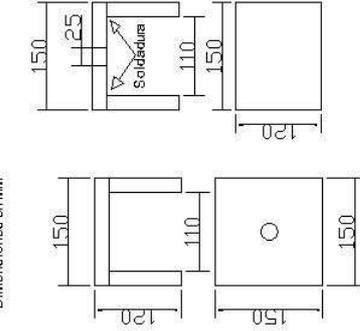
Placa Superior
Dimensiones en mm



Placa Inferior
Dimensiones en mm

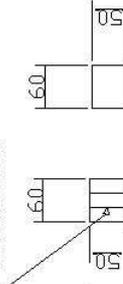


Silla de carga
Dimensiones en mm

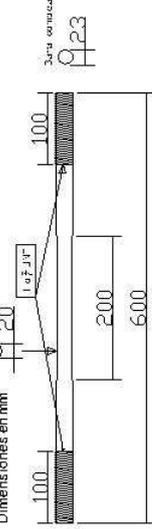


Hilo interior coincidente con los hilos en los extremos de los ejes.

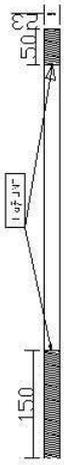
Pieza de unión de ejes
Dimensiones en mm



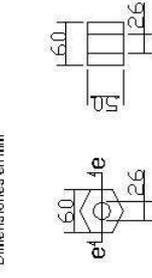
Eje Probeta
Dimensiones en mm



Eje Gato
Dimensiones en mm



Pieza de unión de ejes
Dimensiones en mm



Tipo de pieza	nº
Placa superior	4
Placa inferior	4
Silla de carga	1
Eje Probeta	4
Eje Gato	1
Pieza de Unión	1
Tuercas	18



Proyecto:
Maquinaria para medición del Creep

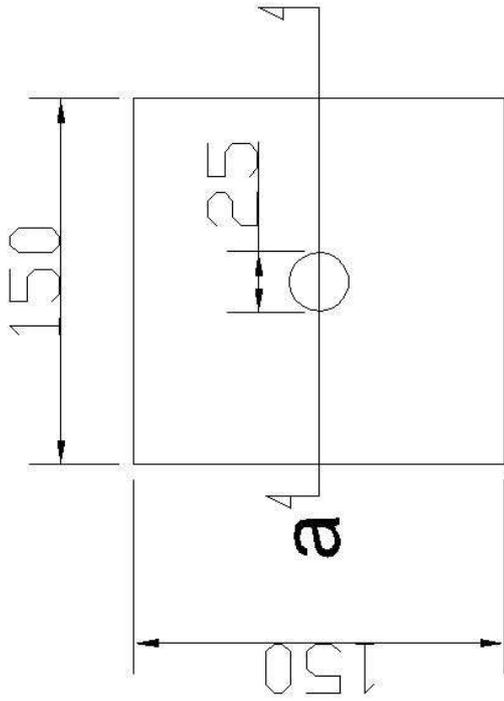
Profesor guía:
Federico Delfin A.
Alumno memorista:
Ignacio González H.

Emitido _____ Revisado _____
Escala: 1:10

General **G1**

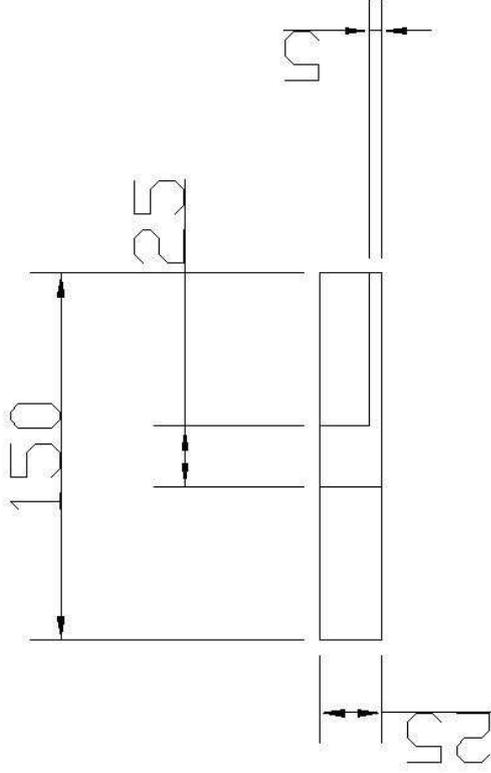
Planta

Dimensiones en mm



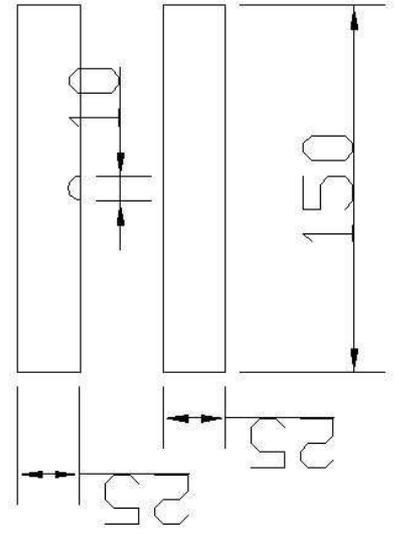
Corte a-a

Dimensiones en mm



Vistas laterales

Dimensiones en mm



Proyecto:

Maquinaria para
medición del

Creep

Profesor guía:

Federico Deifin A.

Alumno memorista:

Ignacio González H.

Emitido

Revisado

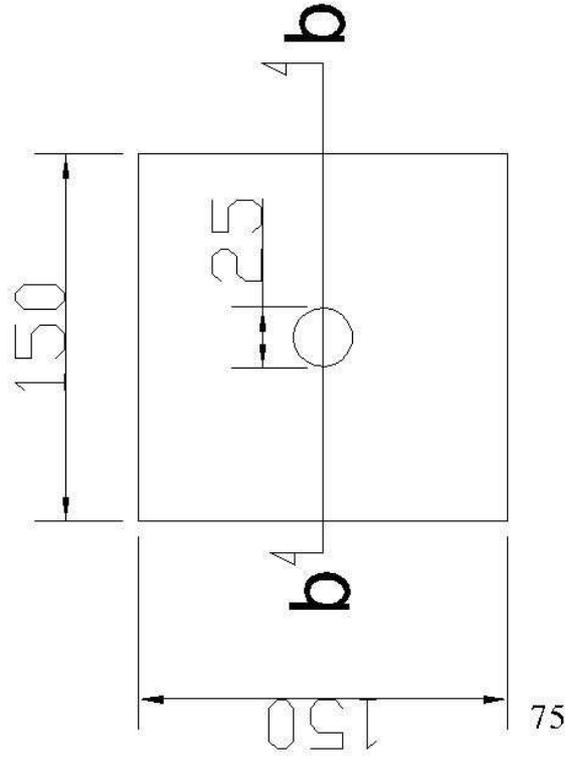
Escala: 1:3

Placa Superior

D1

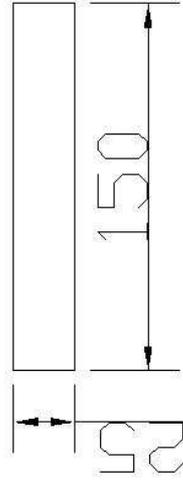
Planta

Dimensiones en mm



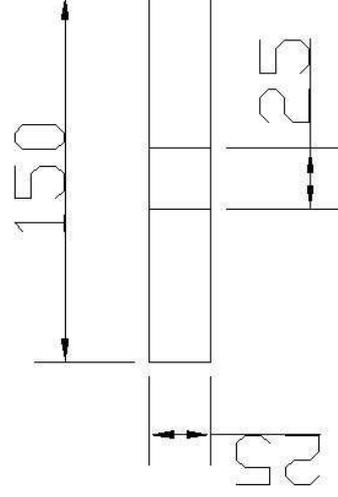
Vista lateral

Dimensiones en mm



Corte b-b

Dimensiones en mm



Proyecto:
Maquinaria para
medición del
Creep

Profesor guía:
Federico Delfin A.
Alumno memorista:
Ignacio González H.

Emitido _____ Revisado _____

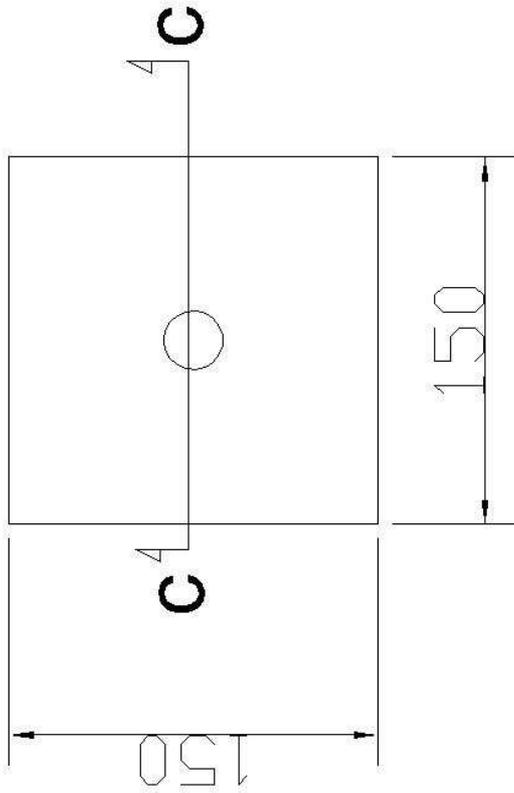
Escala: 1:3

Placa Inferior

D2

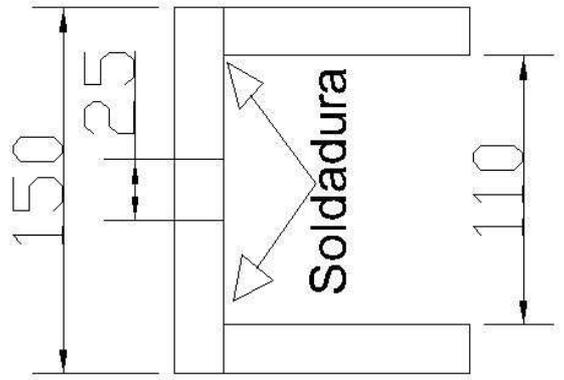
Planta

Dimensiones en mm



Corte C-C

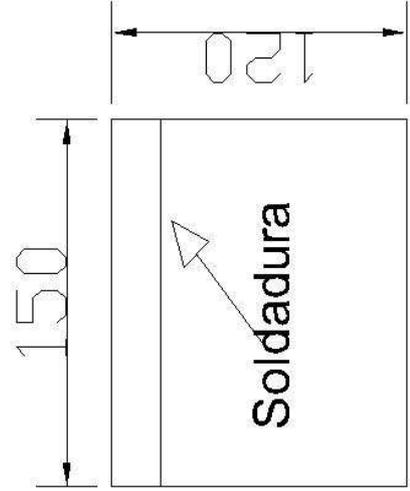
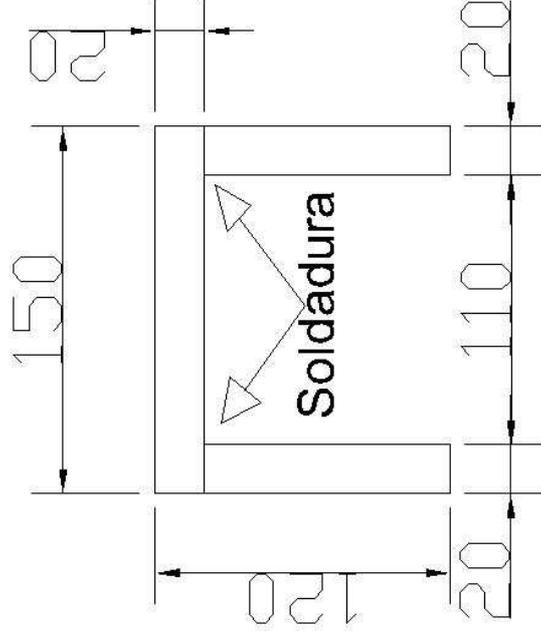
Dimensiones en mm



Vistas

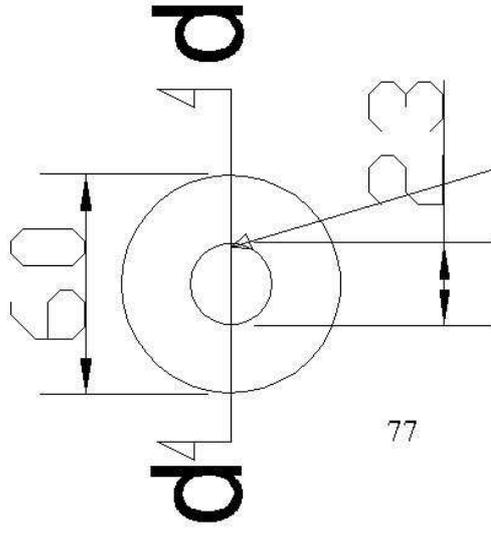
Laterales

Dimensiones en mm



Planta

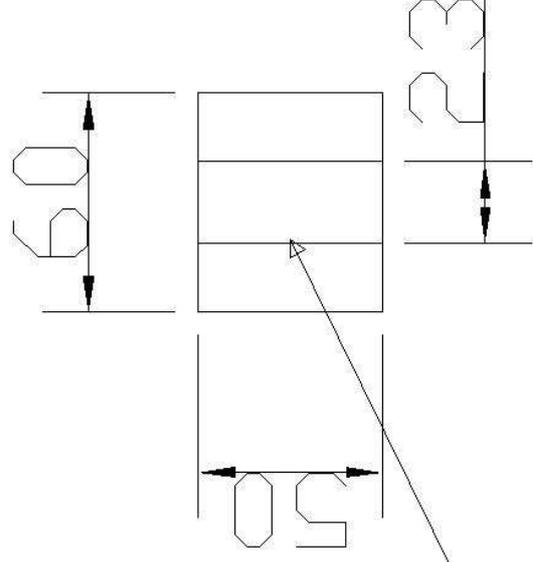
Dimensiones en mm



Hilo interior
coincidente con
los hilos en los
extremos de los
ejes (Plano D5).

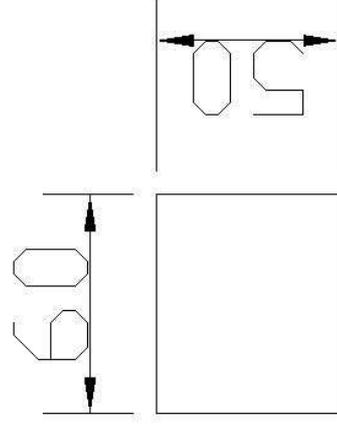
Corte d-d

Dimensiones en mm



Vista lat.

Dimensiones en mm



Esta pieza
requiere
acero de alta
resistencia
SAE4340



Proyecto:
Maquinaria para
medición del
Creep

Profesor guía:
Federico Delfin A.
Alumno memorista:
Ignacio González H.

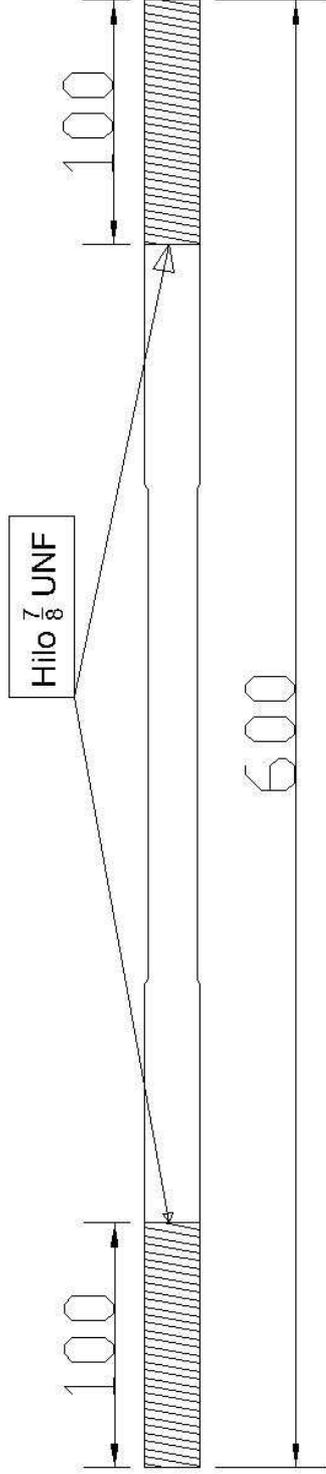
Emitido _____ Revisado _____
Escala: 1:2

Pieza de unión de
ejes

D4

Eje Probeta

Dimensiones en mm

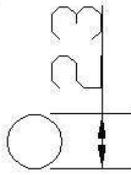


Hilo $\frac{7}{8}$ UNF

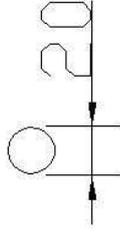
600

100

Barra completa



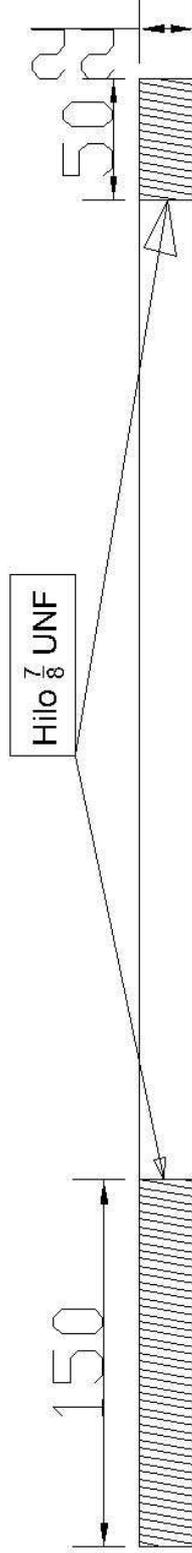
Barra adelgazamiento



78

Eje Gato

Dimensiones en mm



Hilo $\frac{7}{8}$ UNF

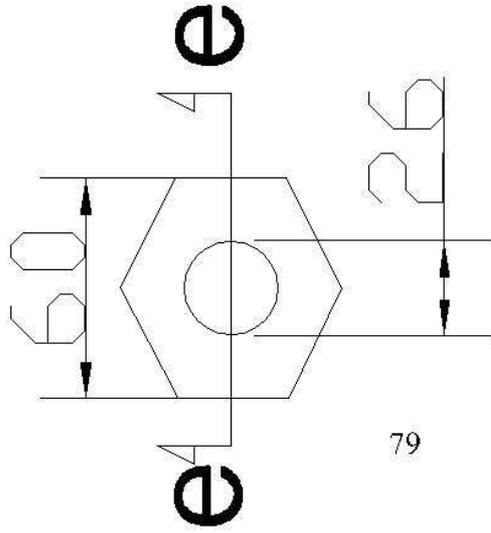
150

150

Todos los hilos iguales y coincidentes con el hilo interior de la pieza de unión (Plano D4)

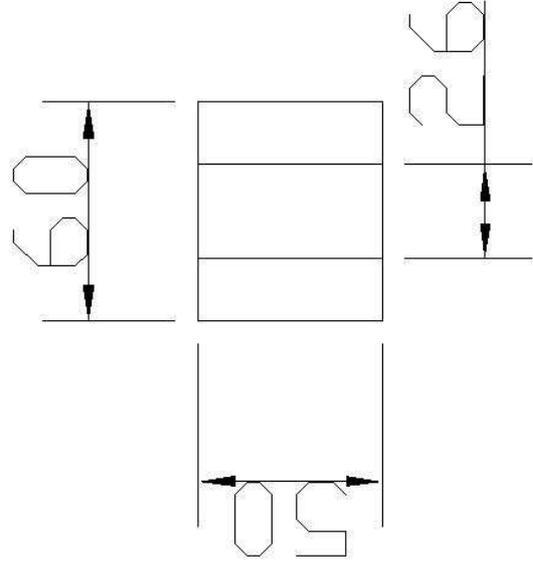
Planta

Dimensiones en mm



Corte e-e

Dimensiones en mm



79

Esta pieza requiere acero de alta resistencia SAE4340



Proyecto:
Maquinaria para
medición del
Creep

Profesor guía:
Federico Delfin A.
Alumno memorista:
Ignacio González H.

Emitido _____ Revisado _____
Escala: 1:2

Pieza base celda
de carga

D6

Vista lat.

Dimensiones en mm

