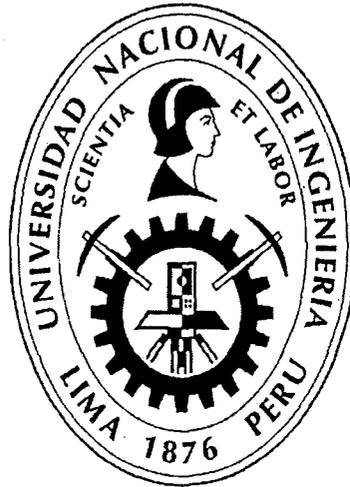


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



**IMPLEMENTACIÓN DE MÉTODOS DE ENSAYO PARA
MÓDULO DE ELASTICIDAD, CONTRACCIÓN Y
FLUENCIA EN EL CONCRETO**

TESIS

**Para optar el Título Profesional de:
INGENIERO CIVIL**

MARCIA STEFANY AGUIRRE CAMARA

Lima- Perú

2014

Digitalizado por:

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

Esta tesis se la dedico principalmente a mi madre, por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional.

A mi padre, que a pesar de la distancia por el trabajo, nunca fue impedimento para recibir sus buenos consejos; gracias a ellos pude llegar hasta este momento tan importante, a mi formación profesional.

	Pág.
RESUMEN.....	III
LISTA DE CUADROS.....	IV
LISTA DE FIGURAS.....	IV
LISTA DE GRÁFICOS.....	VI
INTRODUCCIÓN.....	VIII
CAPÍTULO I: REVISIÓN DE CONCEPTOS.....	1
1.1 MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO	1
1.1.1 Definición del Módulo de Elasticidad del concreto	1
1.1.2 Importancia del estudio del Módulo de Elasticidad del concreto.	2
1.1.3 Efecto del agregado grueso en el Módulo de Elasticidad del concreto.	2
1.1.4 Modelos matemáticos para la predicción del Módulo de Elasticidad del concreto.....	6
1.2 CONTRACCIÓN EN EL CONCRETO.....	8
1.2.1 Definición de contracción del concreto.....	8
1.2.2 Importancia del estudio de la contracción en el concreto	9
1.2.3 Efecto del agregado grueso en la contracción del Concreto.	9
1.2.4 Modelos matemáticos para la predicción de la contracción en el Concreto.....	13
1.3 FLUENCIA DEL CONCRETO	17
1.3.1 Definición de la fluencia del concreto.	17
1.3.2 Importancia del Estudio de la fluencia del Concreto.	18
1.3.3 Efecto del Agregado Grueso en la fluencia del Concreto.	19
1.3.4 Modelos matemáticos para predicción de la fluencia del Concreto.	21
CAPÍTULO II: DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS.....	26
2.1 IMPLEMENTACIÓN DEL LABORATORIO (LEM)	26
2.2 EQUIPOS PARA EL ENSAYO DE FLUENCIA.	27

2.3 EQUIPOS PARA EL ENSAYO DE CONTRACCIÓN.....	34
2.4 EQUIPOS PARA EL ENSAYO MÓDULO DE ELASTICIDAD	34
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE ENSAYO DE CONTRACCIÓN, FLUENCIA Y MÓDULO DE ELASTICIDAD.	36
3.1 ENSAYO DE FLUENCIA – ASTM C512	36
3.2 ENSAYO DE CONTRACCION – ASTM C878	51
3.3 ENSAYO DE MÓDULO DE ELASTICIDAD – ASTM C469	54
CAPÍTULO IV: PROGRAMAS EXPERIMENTALES	55
4.1 DISEÑO CARACTERÍSTICO DEL CONCRETO.....	55
4.2 GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS.....	56
4.3 ENSAYOS EN EL CONCRETO FRESCO.....	58
CAPÍTULO V: RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LOS ENSAYOS	59
5.1 RESULTADOS LABORATORIO FURNAS- BRASIL	59
5.1.1 Ensayo Resistencia a la Compresión y Módulo de Elasticidad	59
5.1.2 Ensayo de Contracción.....	67
5.1.3 Ensayo de Fluencia	74
5.2 RESULTADOS ASESOR NORTEAMERICANO HENRY RUSSELL	84
5.2.1 Ensayo Resistencia a la Compresión y Módulo de elasticidad	84
5.2.2 Ensayo de contracción y fluencia	94
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	105
6.1 CONCLUSIONES	105
6.2 RECOMENDACIONES.....	108

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

RESUMEN

El propósito de la presente tesis es estimar la deformación que sufre el concreto sometido a carga constante, para lo cual se implementó métodos de ensayo para la fluencia, contracción y módulo de elasticidad.

Para el desarrollo de los métodos se implementó una sala de ensayo totalmente equipado y acondicionado siguiendo los requerimientos y exigencias de las normas pero tratando de adecuarlas al Perú.

Por último se analizó la data obtenida en todo el proceso de implementación de los métodos de ensayo conllevando a resultados satisfactorios los cuales fueron empleados en el diseño estructural y construcción de los dos puentes segmentales: Puente sobre Rio Rímac y Puente sobre Vía Evitamiento.

LISTA DE CUADROS

Cuadro 4.1: Dosificación del diseño característico de mezcla por m ³	55
Cuadro 4.2: Características de diseño	55
Cuadro 4.3: Tolerancias y propiedades del concreto.....	55
Cuadro 4.4: Análisis granulométrico agregado fino.....	56
Cuadro 4.5: Análisis granulométrico agregado H67.....	57
Cuadro 4.6: Ensayos en el concreto fresco	58

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1.1: La representación de la relación esfuerzo - deformación para el concreto [A.M.Neville, 1996].	1
Fig. 1.2: Relación a/c= 0.5 y volumen de agregado grueso de 20 a 60% [A.F.Stock, D.J.Hannant and R.I.T.Williams, 1979].	3
Fig. 1.3: Relación Esfuerzo-Deformación para pastas de cemento, agregado y concreto [A.M.Neville, 1996].	4
Fig. 1.4: El módulo de elasticidad estático del concreto hecho de agregado de grava y arcilla expansiva, y probado en edades diferentes hasta un año [J.J.Shideler, 1957].	5
Fig. 1.5: Contracción del concreto con diferentes contenidos de cemento a una temperatura de curado de 68°F, 50% humedad relativa y velocidad de viento de 2.25 mph. [R.L'Hermite, 1960].	10
Fig. 1.6: Influencia del contenido de agregado grueso en el concreto.	11
Fig. 1.7: Efecto del contenido de agregado grueso en la contracción del Concreto.	11
Fig. 1.8: Contracción en el concreto de mezcla de proporción fija pero hecho con agregados diferentes y almacenado dentro de aire a 70 °F y humedad relativa de 50%.	13
Fig. 1.9: El gráfico típico deformación - tiempo de concreto bajo una carga sostenida y después de edición de carga.	17
Fig. 1.10: Fluencia de concreto con una mezcla de proporciones fijas pero con agregado diferente.	20
Fig. 2.1: Cuarto de curado en el Laboratorio de Ensayo de Materiales (LEM). ...	26
Fig. 2.2: Equipo para Ensayo de Fluencia.....	28
Fig. 2.3: Las posiciones de resortes en la placa de acero.	29
Fig. 2.4: Condiciones de límite usadas para el análisis del elemento.	30

Fig. 2.5: Pernos usados para las mediciones de deformación en el concreto...	31
Fig. 2.6 : Calibrador whitemore con sus accesorios.....	32
Fig. 2.7 : Gato hidráulico.....	33
Fig. 2.8 : Brazo de palanca, tanque lleno de hidrolina para impulsión hacia el gato hidráulico.	33
Fig. 2.9 : Instrumentos de medición de temperatura y humedad relativa (%). .	34
Fig. 2.10: Compresómetro.....	35
Fig. 3.1 : Nivel de burbuja usado para verificar nivelación de probetas.	36
Fig. 3.2 : Probetas después del vaciado.	36
Fig. 3.3 : Desmolde de probetas.....	37
Fig. 3.4: Orientación de los puntos de contacto 0°, 90° y 180°.....	37
Fig. 3.5: Verticalidad y alineación de los puntos de contacto	38
Fig. 3.6: Accesorio fijando los dos puntos de referencia a una distancia de 15.2 cm.....	39
Fig. 3.7: Perforación de tres pares de agujeros para puntos de contacto y separación entre ellos de 15.2 cm.	39
Fig. 3.8: Pernos embebidos en el concreto usando una goma y martillo	40
Fig. 3.9: Pesado de probetas, después del secado de puntos de contacto	40
Fig. 3.10: Sellado de probetas	41
Fig. 3.11: Capping de probetas selladas y no selladas.....	41
Fig. 3.12: Posicionamiento de gato hidráulico.....	42
Fig. 3.13: Marcos de carga posicionados (sellados y sin sellar).....	43
Fig. 3.14: Toma de medida inicial en los 3 puntos de pares guías a 0°, 90° y 180°	44
Fig. 3.15: Planta de UNICON.....	45
Fig. 3.16: Marcado de la posición de los puntos de contacto 0°, 120° y 270°	46
Fig. 3.17: Verificación de la distancia de 25.4 cm con el accesorio de fijación del whitemore.....	46
Fig. 3.18: Perforación de puntos de contacto usado un taladro manual	47
Fig. 3.19: Utilización de pegamento para los puntos de contacto	47
Fig. 3.20: Fijación de puntos de contacto.....	48
Fig. 3.21: Nivelación de las probetas.....	48
Fig. 3.22: Posición final de los marcos de carga alineados correctamente.....	49
Fig. 3.23: Foto izquierda: Verificación de presión y foto derecha: inicio de toma de mediciones en los 3 pares de puntos de cada probeta.	51

Fig. 3.24: Probetas para contracción.....	52
Fig. 3.25: Sellado en la parte superior e inferior de la probeta	53
Fig. 3.26: Inicio de toma de mediciones con el aparato whittemore.....	53
Fig. 3.27: Inicio de toma de mediciones con el aparato whittemore.....	54
Fig. 5.1: Módulo de elasticidad 1- 36 horas.....	61
Fig. 5.2: Módulo de elasticidad 2- 36 horas.....	62
Fig. 5.3: Módulo de elasticidad 1- 28 días.....	63
Fig. 5.4: Módulo de elasticidad 2- 28 días.....	64
Fig. 5.5: Módulo de elasticidad 1- 60 días.....	65
Fig. 5.6: Módulo de elasticidad 2- 60 días.....	66
Fig. 5.7: Módulo de elasticidad 1- 36 horas.....	85
Fig. 5.8: Módulo de elasticidad 2- 36 horas.....	86
Fig. 5.9: Módulo de elasticidad 3- 36 horas.....	87
Fig. 5.10: Módulo de elasticidad 1- 28 días	88
Fig. 5.11: Módulo de elasticidad 2- 28 días	89
Fig. 5.12: Módulo de elasticidad 3- 28 días	90
Fig. 5.13: Módulo de elasticidad 1- 60 días	91
Fig. 5.14: Módulo de elasticidad 2- 60 días	92
Fig. 5.15: Módulo de elasticidad 3- 60 días	93

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 4.1: Perfil granulométrico agregado fino.....	56
Gráfico 4.2: Perfil granulométrico agregado H67.....	57
Gráfico 5.1: Suma de deformaciones elástica, fluencia y contracción comparadas con la deformación solo por contracción (edad de carga 36 horas).....	94
Gráfico 5.2: Promedio de deformaciones elásticas, fluencia y contracción comparadas con el promedio de la deformación por contracción para cada probeta (edad de carga 36 horas).	95
Gráfico 5.3: Promedio de deformaciones elásticas, fluencia y contracción – deformación de fluencia y deformación elástica - deformación por contracción (edad de carga 36 horas).	95
Gráfico 5.4: Promedio de deformaciones de fluencia y contracción (edad de carga 36 horas).....	96

Gráfico 5.5: Gráfica del coeficiente de fluencia específica (deformación de fluencia (millonésima)/carga aplicada (psi))(edad de carga 36horas).	96
Gráfico 5.6: Comparación del coeficiente de fluencia utilizando la fluencia inicial vs el módulo de elasticidad (edad de carga 36 horas).....	97
Gráfico 5.7: Suma de deformaciones elástica, fluencia y contracción comparadas con la deformación solo por contracción (edad de carga 28 días).....	98
Gráfico 5.8: Promedio de deformaciones elásticas, fluencia y contracción comparadas con el promedio de la deformación por contracción para cada probeta (edad de carga 28 días).....	98
Gráfico 5.9: Promedio de deformaciones elásticas, fluencia y contracción – deformación de fluencia y deformación elástica - deformación por contracción (edad de carga 28 días).....	99
Gráfico 5.10: Promedio de deformaciones de fluencia y contracción (edad de carga 28 días).....	99
Gráfico 5.11: Gráfica del coeficiente de fluencia específica (deformación de fluencia (millonésima)/carga aplicada (psi)) (edad de carga 28 días).	100
Gráfico 5.12: Comparación del coeficiente de fluencia utilizando la fluencia inicial vs el módulo de elasticidad (edad de carga 28 días).....	100
Gráfico 5.13: Suma de deformaciones elástica, fluencia y contracción comparadas con la deformación solo por contracción (edad de carga 60 días).....	101
Gráfico 5.14: Promedio de deformaciones elásticas, fluencia y contracción comparadas con el promedio de la deformación por contracción para cada probeta (edad de carga 60 días).....	102
Gráfico 5.15: Promedio de deformaciones elásticas, fluencia y contracción – deformación de fluencia y deformación elástica - deformación por contracción (edad de carga 60 días).....	102
Gráfico 5.16: Promedio de deformaciones de fluencia y contracción (edad de carga 60 días).....	103
Gráfico 5.17: Gráfica del coeficiente de fluencia específica (deformación de fluencia (millonésima)/carga aplicada (psi)) (edad de carga 60 días).	103
Gráfico 5.18: Comparación del coeficiente de fluencia utilizando la fluencia inicial vs el módulo de elasticidad (edad de carga 60 días).....	104

INTRODUCCIÓN

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

Por lo tanto, hay una gran necesidad de conocer y determinar los procedimientos de prueba de laboratorio más efectivos y prácticos que nos permiten utilizar métodos para obtener las propiedades del Módulo de Elasticidad, fluencia y contracción de estructuras de concreto usadas en Perú.

En el Perú no existe ninguna investigación referido al ensayo de fluencia y contracción, es por ello que se implementó un laboratorio en las instalaciones del Laboratorio de ensayo de materiales (LEM) dirigidas únicamente para estos ensayos; esto se logró siguiendo la asesoría del laboratorio de Furnas (Brasil) y del profesor norteamericano Henry Rusell.

Toda la investigación que se realizó consta de seis capítulos, en el primero se hace la revisión de los conceptos, el segundo es la descripción de equipos, tercero la metodología de los ensayos, cuarto los programas experimentales, quinto el resultado y análisis de los ensayos y por último las conclusiones y recomendaciones.

Los datos experimentales que se obtuvieron fueron empleados en el diseño estructural y construcción de los 02 puentes segmentales construidos en los cruces con la vía de Evitamiento y el Río Rímac, los cuales forman parte del Tramo 2 de la Línea 1 del Metro de Lima.

CAPÍTULO I: REVISIÓN DE CONCEPTOS

1.1 MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO

1.1.1 Definición del Módulo de Elasticidad del concreto

El módulo de elasticidad es determinado como la pendiente de la curva esfuerzo-deformación dentro del límite proporcional de un material. Para un material de concreto, el módulo de elasticidad es determinado como la pendiente de la recta secante intersectada con la curva esfuerzo-deformación en el 40% de la resistencia de rotura. Éste es el valor comúnmente usado en el diseño estructural. Ninguna porción de la curva esfuerzo-deformación es una línea recta, el método usual de determinar el módulo de elasticidad es medir el módulo contiguo, que es definido como la pendiente de la tangente para la curva de esfuerzo-deformación en algún punto menor a la máxima resistencia a rotura del concreto. La Figura 1.1 muestra el gráfico de esfuerzo-deformación de un concreto cuando es cargado y descargado. De esta figura, podemos ver que el módulo secante es similar al módulo de tangente obtenido en algún porcentaje inferior de la máxima resistencia.

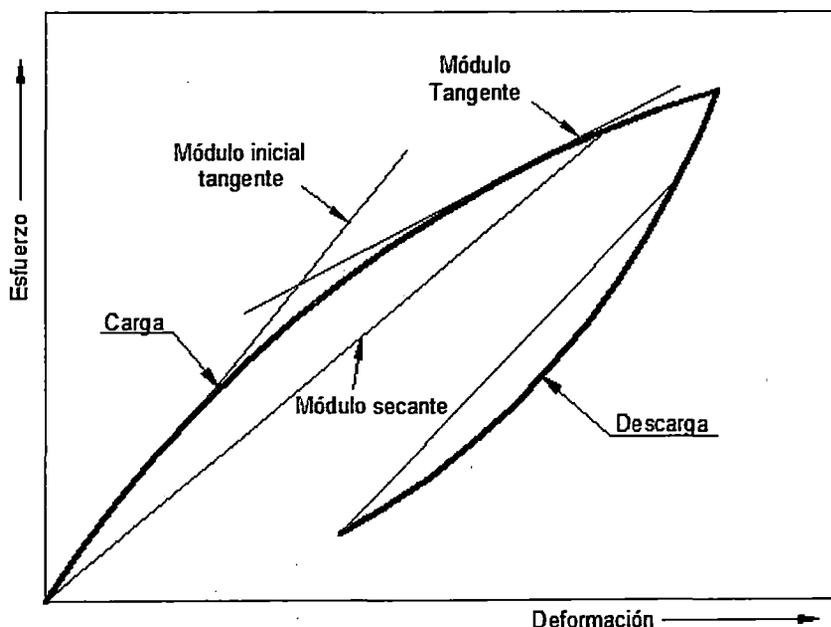


Fig. 1.1: Representación de la relación esfuerzo - deformación para el concreto
 [A.M.Neville, 1996]

1.1.2 Importancia del estudio del Módulo de Elasticidad del concreto.

El módulo de elasticidad del concreto es un parámetro mecánico de suma importancia, reflejando la habilidad del concreto para deformarse elásticamente. Por ejemplo, en las estructuras de concreto pretensado, el encogimiento elástico es uno de los principales factores que contribuyen a la pérdida de fuerza de pretensado. También, la pérdida de pretensado debido a la contracción elástica disminuirá la capacidad de una estructura de concreto, e incluso conducirla al colapso de la estructura. Además, para emplear al máximo el potencial de resistencia a la compresión, las estructuras que utilizan concreto de alta resistencia tienen la tendencia a ser más delgadas y requerir un módulo elástico más alto a fin de mantener su rigidez. Por consiguiente, el conocimiento del módulo de elasticidad de concretos de alta resistencia tiene mucha importancia evitando deformación excesiva, proveyendo funcionabilidad satisfactoria, y logrando la mayor parte de diseños eficientes para lograr reducir los costos.

1.1.3 Efecto del agregado grueso en el Módulo de Elasticidad del concreto.

Puesto que el concreto es un material multifásico, cualquier variación del contenido de agregado grueso, del tipo de agregado grueso o el diseño de la mezcla dará como resultado el cambio de módulo elástico del concreto. En las siguientes secciones se describirá los efectos de la influencia del contenido de agregado, del tipo de agregado y del diseño de mezcla en el módulo elástico del concreto.

- Efecto del contenido de agregado grueso en el Modulo de Elasticidad

En un estudio realizado por A.F.Stock, D.J.Hannant y R.I.T.Williams Stock Et Al, 1979, fue reportado que para concretos con una relación a/c fija de 0.5, pero diferenciando el volumen de agregado grueso de 20 a 60%, la resistencia a la compresión del concreto permaneció casi constante, como se muestra en la Figura 1.2. Este resultado es solo consistente con la ley de la relación a/c establecido por Duff Abrams en 1919. Es decir, para una proporción dada de la

mezcla, la resistencia a la compresión del concreto será determinada por su relación agua/cemento. Esto es especialmente cierto para concretos normales con resistencia a la compresión menores a 60 MPa (611 kg/cm^2). Sin embargo, el módulo elástico del concreto fue sustancialmente influenciado por los cambios en su contenido de agregado grueso. Como se muestra en la Figura 1.3, podemos ver que el módulo elástico de concreto es notablemente diferente al del cemento endurecido. También, A.M.Neville, 1996 señaló que, para un concreto de una resistencia dada, debido a que el agregado de peso normal tiene un módulo elástico más alto que el de la pasta hidratada de cemento, un contenido más alto del agregado da como resultado un mayor módulo de elasticidad del concreto.

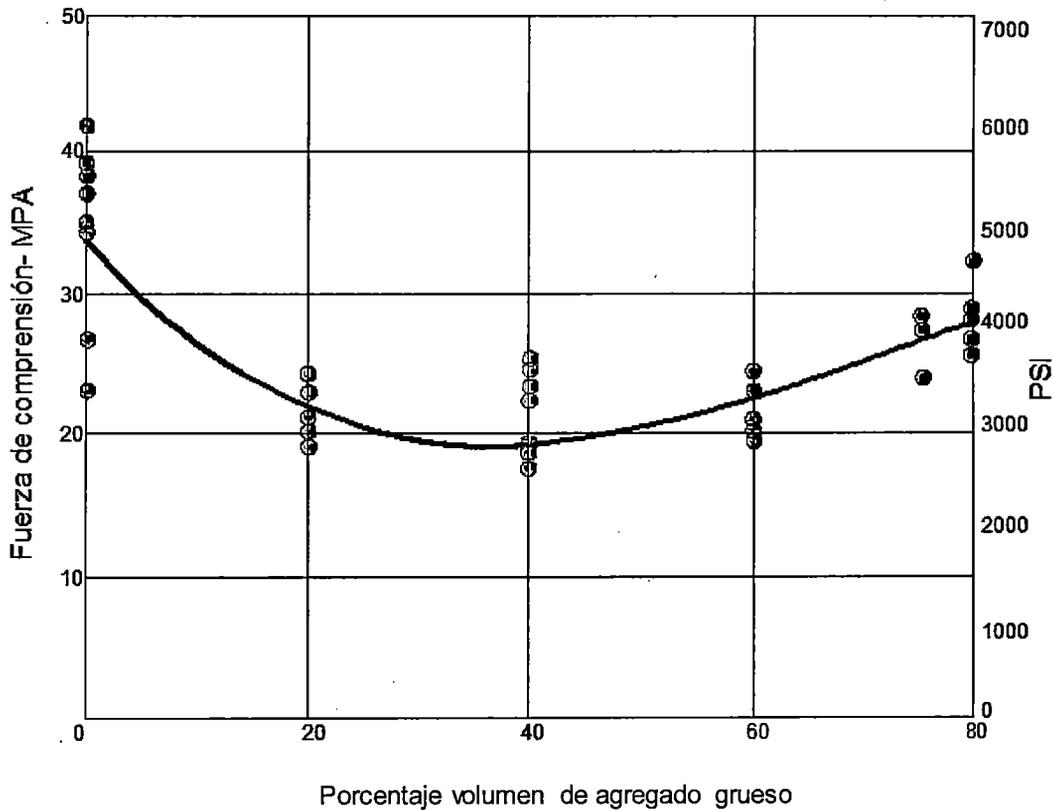


Fig. 1.2: Relación a/c= 0.5 y volumen de agregado grueso de 20 a 60%.

[A.F.Stock, D.J.Hannant and R.I.T.Williams, 1979]

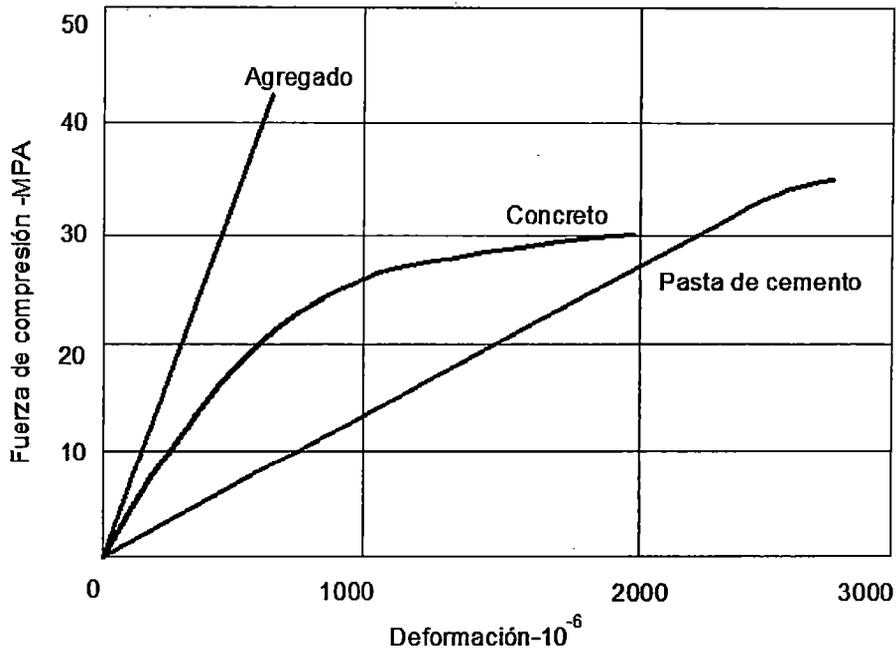


Fig. 1. 3: Relación Esfuerzo-Deformación para pastas de cemento, agregado y concreto
 [A.M.Neville, 1996]

En un estudio realizado por Bertil Persson [Persson, 2001], se dijo que el módulo elástico de concreto autocompactante fue igual que para el concreto normal siempre y cuando sus resistencias de compresión fueran las mismas. Sin embargo, en el estudio realizado por Jürg Schlumpf [Schlumpf, 2004], el módulo elástico del concreto autocompactante fue 20% menor que el de un concreto normal con resistencia similar. Además, las conclusiones del estudio realizado por J.M.Chi [Chi, 2003], indicaron que el porcentaje de agregado grueso en el concreto tuvo un efecto considerable en el módulo elástico del concreto.

- Los efectos del tipo de agregado grueso en el módulo elástico

El tipo de agregado grueso es otro factor muy importante afectando el módulo elástico del concreto endurecido. Los tipos diferentes de agregado pueden tener efectos realmente bien definidos en el módulo elástico. Hasta agregados gruesos del mismo tipo pero de lugares diferentes pueden tener propiedades sustancialmente diferentes. Los descubrimientos reportados por

F.P.Zhou, F.D.Lydon y B.I.G.Barr Zhou Et Al, 1995 muestran que el tipo de agregado grueso tiene una influencia considerable en el módulo elástico de concreto. En su estudio, los efectos de la arcilla expansiva, cenizas volantes, la piedra caliza, la grava, el vidrio y la fibra metálica influyeron en el módulo de elasticidad del concreto. La Figura 1.4 muestra que el gráfico del módulo de elasticidad versus la resistencia a la compresión de concretos hechos de tipos de agregados diferentes.

Además, el estudio resultante reportado por J.J.Shideler, 1957 en mezclas de concreto usando grava y arcilla expansiva como agregado, también indica la misma conclusión mostrada por F.P.Zhou, F.D.Lydon y B.I.G.Barr Zhou Et Al, 1995.

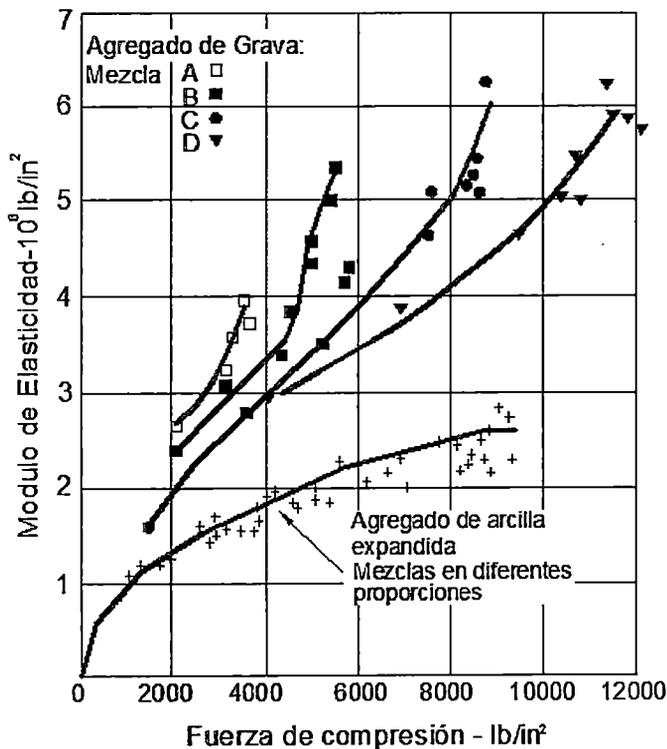


Fig. 1. 4: El módulo de elasticidad estático del concreto hecho de agregado de grava y arcilla expansiva, y probado en edades diferentes hasta un año [J.J.Shideler, 1957].

- Los efectos de la mezcla de diseño en el módulo elástico

Normalmente, la resistencia a la compresión del concreto es la única propiedad mecánica a ser considerada en el diseño de mezcla de un concreto. El módulo elástico del concreto es normalmente predicho por la ecuación recomendada por el ACI 318-11. Según la ecuación de predicción ACI (ver ecuación 1.3), una alta resistencia a la compresión dará un previsto alto módulo elástico. Sin embargo, en la Figura 1.4, puede verse que un concreto con una mayor resistencia a la compresión necesariamente no da un módulo elástico más alto que un concreto con una menor resistencia a la compresión. Por ejemplo, el módulo elástico de la mezcla C con una resistencia a la compresión de 8,000 psi es similar a la mezcla B con una resistencia a la compresión de 5,000 psi. Así, no sólo la resistencia de diseño sino que también los ingredientes de la mezcla tendrán una gran influencia en el módulo elástico del concreto.

1.1.4 Modelos matemáticos para la predicción del Módulo de Elasticidad del concreto.

Como se mencionó acerca de los factores que afectan el módulo elástico del concreto, para los agregados, aunque el módulo de elasticidad de concreto aumente con la resistencia del concreto para la misma mezcla, los factores que afectan el módulo de elasticidad del concreto no siempre tienen un efecto correspondiente en virtud del concreto. Así, no hay especificación universal que es posiblemente aplicada para relacionar resistencia a la compresión con el módulo de elasticidad del concreto.

Aunque, es todavía de ayuda usar modelos para predecir el módulo elástico del concreto, las siguientes secciones revisan algunos modelos matemáticos para la predicción de módulo elástico del concreto.

- Modelo Recomendado por Florida LRFD (Load and Resistance Factor Design) (2010)

Según esta especificación, a falta de datos más precisos, el módulo de elasticidad para concretos con pesos volumétricos entre 14.14 y 24.36 kN/m³, pueden ser estimados con la siguiente fórmula:

$$E_c = 209220.W_c^{1.5} \cdot \sqrt{f'_c} \quad (\text{Ecuación 1.1})$$

Donde:

E_c : Modulo de Elasticidad en kg/cm²

W_c : Peso Unitario del Concreto (KN/m³)

f'_c : Esfuerzo a Compresión del Concreto (kg/cm²)

- Las ecuaciones de predicción recomendadas por el ACI 209-2R:2008

Las ecuaciones de predicción recomendadas por ACI para estimar el módulo elástico de concreto son dadas como sigue:

$$E_c = 215439.7 \cdot \sqrt{f'_c} \quad (\text{Ecuación 1.2})$$

Donde:

E_c : Módulo de Elasticidad (kg/cm²)

f'_c : Esfuerzo a Compresión del Concreto (kg/cm²)

Esta siguiente ecuación recomendada por ACI 318-11 para el cálculo estructural es aplicable para concreto normal del peso:

$$10190E_c = 10.59 \cdot \sqrt{f'_c} + 6.9 \quad (\text{Ecuación 1.3})$$

Donde:

E_c : Modulo de Elasticidad (kg/cm²)

f'_c : Esfuerzo a Compresión del Concreto (kg/cm²)

La siguiente ecuación dada por ACI 363R 92 es aplicable para predecir el módulo elástico de concretos con resistencia de compresión de hasta 83 MPa (12000 psi).

$$E_c = 0.36 \cdot \sqrt{f'_c} \quad (\text{Ecuación 1.4})$$

Donde:

E_c : Modulo de Elasticidad (kg/cm²)

f'_c : Esfuerzo a Compresión del Concreto (kg/cm²)

- Modelo CEB-FIP (1990)

Modelo CEB-FIP (COMITE EURO-INTERNATIONAL DU BETON también las proposiciones del siguiente modelo para la predicción de tiempo - dependiente módulo de elasticidad. La ecuación es dada como sigue:

$$E_c = \left(\exp \left(s \cdot \left(1 - \left(\frac{28}{t/t_1} \right)^{0.5} \right) \right) \right)^{0.5} \cdot E_{ci} \quad (\text{Ecuación 1.5})$$

Donde:

s: Un coeficiente dependiente del tipo de cemento; S = 0.20 para fraguado rápido de cementos de alta resistencia, 0.25 para cementos normales y de fraguado rápido, y 0.38 para fraguado lento de cementos.

t: Edad del Concreto (días)

t₁: 1 día

E_{ci}: Módulo de Elasticidad del concreto a una edad de 28 días.

E_c: Módulo de Elasticidad del concreto corregido a una edad de 28 días.

1.2 CONTRACCIÓN EN EL CONCRETO

1.2.1 Definición de contracción del concreto.

Según los mecanismos de contracción del concreto, la contracción del concreto consiste en contracción plástica (encogimiento), contracción autógena (un proceso conocido como la auto-deseccación), contracción por secado, y la contracción de carbonatación. La contracción autógena es consecuencia de retiro de agua de los poros capilares por las partículas anhídras de cemento. La mayor parte de la contracción autógena se llevará a cabo en la edad temprana de humidificación de cemento.

Sin embargo, para mezclas de concreto con una proporción a/c muy baja, esta contracción autógena puede durar más tiempo ya que la humedad aún se encuentra. La contracción plástica y la contracción por secado son causadas por retiro de agua de concreto bajo la condición de gradiente de humedad entre la parte interna del concreto y el aire. Éstos son los dos principales factores que contribuyen a la fisuraciones del concreto en la edad temprana. La contracción por carbonatación es causada por carbonatación de hidróxido cálcico en el

concreto. Así, la contracción de carbonatación normalmente tiene lugar en la superficie de los miembros del concreto.

1.2.2 Importancia del estudio de la contracción en el concreto.

La contracción en el concreto es una propiedad de suma importancia que debe ser evaluado. La contracción excesiva del concreto producirá fisuraciones constantes. A la temprana edad el concreto, debido a la baja resistencia, se tensiona debido a la contracción por secado que puede causar fisuraciones en el concreto. Las fisuraciones por contracción en el concreto pueden conducir al fracaso prematuro de la estructura de concreto. La velocidad en la cual la corrosión ocurre y el tiempo para iniciar la corrosión son considerablemente bajo la influencia de las grietas en el concreto, que aumentan la permeabilidad. Para los concretos marinos o estructuras de concreto cerca de la región costera, la penetración de iones agresivos a través de grietas en la parte interior del concreto es un factor muy crítico para causar la corrosión del acero de refuerzo. Además, pues los elementos de concreto pretensado, no sólo da lugar a la contracción induciendo la velocidad de agrietamiento sobre la corrosión del refuerzo, la deformación por contracción es también uno de los principales factores que contribuyen a la pérdida del pretensado.

1.2.3 Efecto del agregado grueso en la contracción del Concreto.

Un incremento en el volumen del agregado en el concreto usualmente conducirá a una disminución en el contenido de cemento, que conduciría a reducir la contracción en el concreto. Sin embargo, una reducción en contenido de cemento no necesariamente causa una merma en la resistencia del concreto. A continuación se revisará la influencia del contenido de agregado, tipo de agregado y el tamaño del agregado en la contracción del concreto.

- Efecto del agregado grueso en la contracción del concreto

La contribución del agregado grueso para disminuir la contracción del concreto es atribuida a la disminución de volumen de pasta de cemento en la mezcla de concreto. La Figura 1.5 muestra la influencia de contenido de agregado grueso en la contracción de mezclas de concreto con la misma temperatura de curado, humedad relativa, y velocidad del viento.

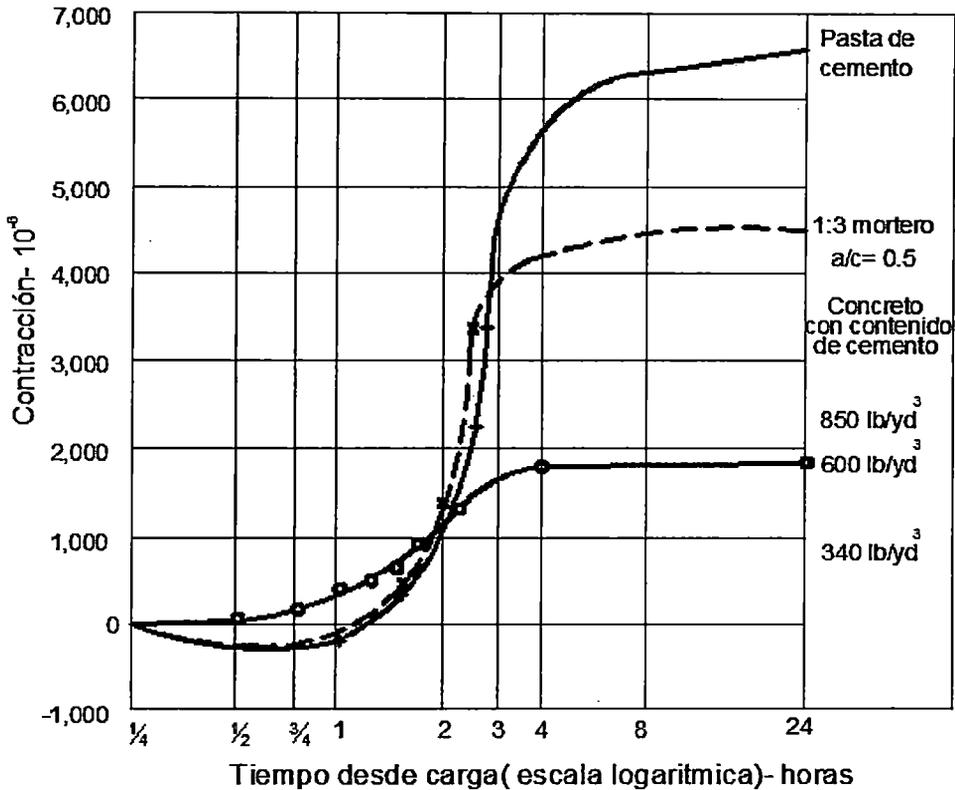


Fig. 1.5: Contracción del concreto con diferentes contenidos de cemento (a una temperatura de curado de 20°C, 50% humedad relativa y velocidad de viento de 2.25 mph) [R.L'Hermite, 1960].

En la Figura 1.5, podemos ver que, a temprana edad de concreto, la tensión de contracción del concreto con un contenido de cemento de 850 lb/yd³, es casi tres veces más alto que el de mezclas de concreto con un contenido de cemento de 340 lb/yd³.

La Figura 1.6 Muestra la influencia del contenido del agregado en el concreto sobre el porcentaje de contracción del concreto a la contracción de la pasta de cemento. El porcentaje de contracción se incrementa significativamente cuando

decrece el contenido del agregado. La razón posible para explicar los efectos de contenido del agregado grueso en la tensión de contracción del concreto es mostrada en la Figura 1.7. Para la mezcla de concretos pobres con un alto contenido de agregado grueso, las partículas gruesas del agregado tendrán contactos punto a punto o incluso contactos frontales entre sí. Así es que un concreto con tal estructura del agregado será muy efectivo resistiendo las tensiones causadas por la contracción de la pasta de cemento. Las partículas gruesas del agregado no pueden ser empujadas más cercanamente bajo la acción de tensión interior causado por la contracción.

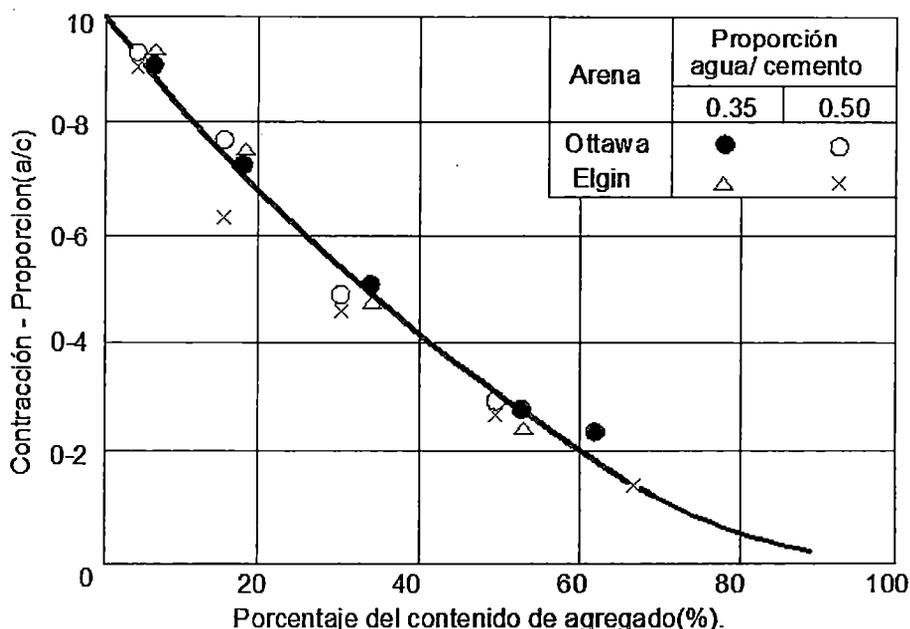
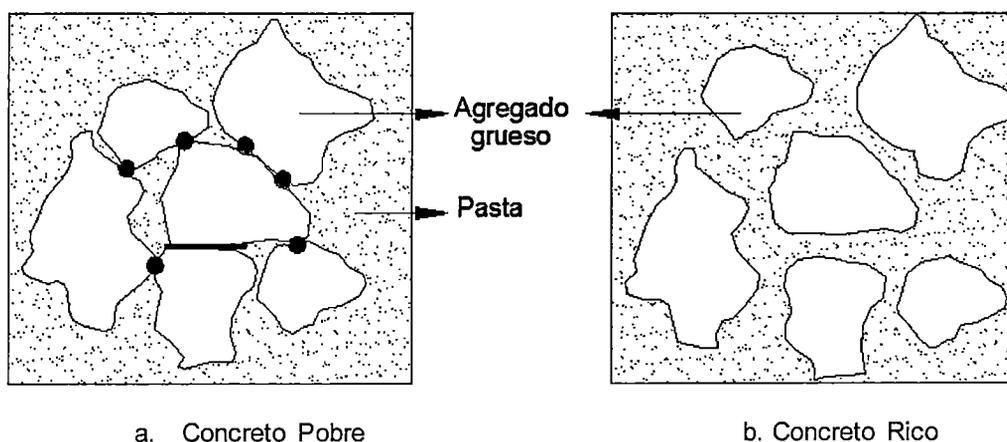


Fig. 1.6: Influencia del contenido de agregado grueso en el concreto [G.Pickett, 1954]



a. Concreto Pobre
b. Concreto Rico
b. Fig. 1.7: Efecto del contenido de agregado grueso en la contracción del Concreto.

Sin embargo, para mezclas de concreto ricas, existen mayores distancias entre las partículas gruesas de agregado. Esta condición le da al concreto menor resistencia al movimiento causado por contracción.

- Efectos del tipo de agregado grueso en la contracción del Concreto

El esqueleto de agregado grueso en un concreto puede restringir la contracción de la matriz de cemento. Si el esqueleto de agregado grueso en el concreto es más resistente, la tensión por contracción del concreto será menor. El módulo elástico del agregado determina la extensión de restringir acción a la contracción del concreto. Por ejemplo, la contracción de un concreto hecho con fibras metálicas será menor que uno hecho con un agregado normal. Análogamente, la contracción de un concreto hecho con agregado expansivo de pizarra será mayor que uno hecho con un agregado normal.

Como se muestra en la Figura 1.8, el estudio por G.E.Troxell, J.M.Raphael y R.E.Davis Troxell Et Al, 1958 muestra que, para una mezcla de proporción fija, hay una variación considerable en la tensión por contracción resultado de la tanda de concreto con agregado grueso de tipos diferentes. A este fenómeno se le debe muy probablemente para la diferencia en el módulo de elasticidad entre agregados de tipos diferentes. Generalmente, la característica elástica de agregado determina el grado de restricción para la matriz de cemento. Esta conclusión también ha estado confirmada por T.W. Reichard [Reichard, 1964].

Un agregado natural no está usualmente condicionado a contracción. Sin embargo, existen rocas que pueden encogerse hasta la misma magnitud que el concreto hecho con agregado que no posee una contracción considerable.

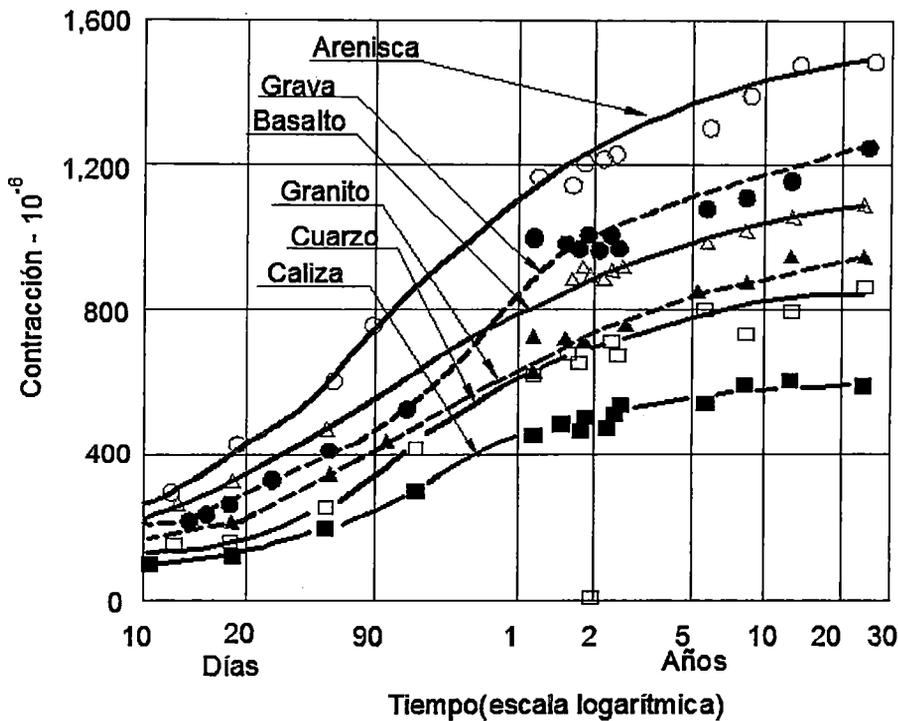


Fig. 1.8: Contracción en el concreto de mezcla de proporción fija pero hecho con agregados diferentes y almacenado dentro de aire a 21.1 °C y humedad relativa de 50% [G.E.Troxell, J.M.Raphael and R.E.Davis, 1958].

- Efectos del tamaño y forma del agregado grueso en la contracción del Concreto

El tamaño y la forma del agregado también afectan la contracción del concreto endurecido. Del estudio realizado por J.Bisschop, L.Pel, y J.G.M.van Mier [Bisschop, 2000] indican que la longitud total y la profundidad de las micro grietas causadas por la contracción del concreto aumentará con el aumento del tamaño del agregado.

1.2.4 Modelos matemáticos para la predicción de la contracción en el Concreto.

Los tres modelos de predicción de la contracción ofrecidos por las Instrucciones LRFD, el código de modelo CEB-FIP (1990) y ACI-209 (1992) son revisados en las siguientes secciones.

- La ecuación de predicción dada por LRFD Guidelines

Para concretos curados y húmedos que no poseen agregado propenso al encogimiento, basado en la ecuación recomendada por ACI 209 (1992) la fórmula modificada de predicción puede ser tomada:

$$\xi_{sh} = -k_s k_h \left(\frac{t}{35+t} \right) \cdot 0.51 \times 10^{-3} \quad (\text{Ecuación 1.6})$$

Donde:

ξ_{sh} – Tiempo – Contracción dependiente

t – tiempo de secado en días

k_s – Tamaño de factor; $k_s = 1.0$ para probetas de 6"x12"

k_h – Factor de humedad

- CEB-FIP Modelo para la predicción de esfuerzo de contracción

En este modelo, los efectos del tipo de cemento, humedad relativa ambiente, resistencia a la compresión de concreto, y el efecto del tamaño de espécimen en la tensión de contracción del concreto es tomado en cuenta. La tensión total de contracción puede ser estimada por la siguiente ecuación:

$$\xi_{cs}(t, t_s) = \xi_{cs0} \cdot \beta_s(t - t_s) \quad (\text{Ecuación 1.7})$$

Donde:

$\xi_{cs}(t, t_s)$ – Esfuerzo total de contracción dependiente del tiempo

ξ_{cs0} – Coeficiente Notacional de Contracción

$\beta_s(t - t_s)$ – El coeficiente para describir el desarrollo de contracción con el tiempo ξ_{cs0} puede ser estimado por la siguiente ecuación:

$$\xi_{cs0} = \left(160 + 10 \beta_{sc} \left(9 - \left(\frac{f_{cm}}{f_{cmo}} \right) \right) \right) \times 10^{-6} \beta_{RH} \quad (\text{Ecuación 1.8})$$

Donde:

β_{sc} –Un coeficiente que depende del tipo de cemento: $\beta_{sc} = 4$ para fraguado lento de cementos; 5 para cementos normales; 8 para fraguado rápido de cementos y alta resistencia.

f_{cm} –El promedio de la resistencia a la compresión del concreto a la edad de 28 días.

$$f_{cm0} = 1MPa$$

$$\beta_{RH} = -1.55\beta_{sRH} \text{ Para } 40\% \leq RH \leq 99\%$$

$$\beta_{RH} = 0.25 \text{ Para } RH \leq 99\%$$

Donde:

$$\beta_{sRH} = 1 - \left(\frac{RH}{RH_0} \right)^3$$

RH –La humedad relativa en el ambiente (%)

RH_0 –100%

$\beta_s(t-t_s)$

$$\beta_s(t-t_s) = \left(\frac{\frac{(t-t_s)}{t_1}}{350 \cdot \left(\frac{h}{h_0} \right)^2 + \frac{t-t_s}{t_1}} \right)^{0.5} \quad \text{(Ecuación 1.9)}$$

Donde:

$$h = \frac{2A_c}{u}$$

h_0 : 100 mm

t_1 : 1 día

- El modelo de predicción Recomendado por el Informe del ACI-209 (1992)

Es mostrado por la siguiente ecuación:

$$(\xi_{sh})_t = \frac{t}{35+t} (\xi_{sh})_u \quad (\text{Ecuación 1.10})$$

Donde:

$(\xi_{sh})_t$: Tensión de contracción dependiente del tiempo

$(\xi_{sh})_u$: Tensión última de contracción

t : Tiempo en días

Si no hay datos disponibles de contracción del concreto para ser evaluado, la tensión última de contracción, puede ser calculada:

$$(\xi_{sh})_u = 780 \cdot 10^{-6} \cdot \gamma_{sh} \quad (\text{Ecuación 1.11})$$

Donde:

γ_{sh} – Un producto de toda la corrección aplicable factorizado para las condiciones de prueba aparte de la condición estándar; $\gamma_{sh} = 1$ bajo condiciones estándar de ensayo.

$$\gamma_{sh} = \gamma_{cp} * \gamma_{\lambda} * \gamma_{vs} * \gamma_s * \gamma_{\psi} * \gamma_c * \gamma_{\alpha}$$

1- Los factores de Corrección para el efecto de curado húmedo inicial(γ_{cp})
El factor de corrección es igual a 1.0 para probetas de concreto y curados húmedos por 7 días, y 0.93 para curados húmedos por 14 días.

2- El factor de Corrección para el efecto de humedad relativa ambiente(γ_{α})
Las siguientes fórmulas son dadas para el uso en obtener el factor de corrección para la prueba de contracción realizado bajo la condición de humedad relativa ambiente mayores a 40%.

$$\gamma_{\lambda} = 1.40 - 0.0102\lambda, \text{ para } 40 \leq \lambda \leq 80$$

$$\gamma_{\lambda} = 3.00 - 0.030\lambda, \text{ para } 80 \leq \lambda \leq 100$$

3- Factor de corrección por efectos de tamaño del espécimen(γ_{vs})
El factor de corrección en consideración del efecto de tamaño del espécimen es dado por la siguiente ecuación:

$$\gamma_{vs} = 1.2 \exp\left(-0.12 \cdot \frac{V}{S}\right)$$

γ_{vs} – Factor de corrección por efectos de tamaño del espécimen.

$\frac{v}{s}$ – La proporción del área de la superficie de volumen del espécimen en pulgadas.

Y_s = factor corrector para la consistencia del hormigón.

Y_ψ = factor corrector para el contenido de árido fino.

Y_c = factor corrector para el contenido de cemento.

γ_a = factor corrector para el contenido de aire.

Las tablas para el cálculo de todos estos valores de factores de corrección se encuentran en la norma ACI 209.

1.3 FLUENCIA DEL CONCRETO

1.3.1 Definición de la fluencia del concreto.

El esfuerzo permanente que queda después que la carga ha sido quitada es llamado el esfuerzo de fluencia. El esfuerzo de fluencia consiste en dos componentes principales.

El primer componente es la fluencia verdadera o básica y ocurre bajo condiciones de humedad constante, es decir sin intercambio de humedad hacia o desde el medio ambiente. El segundo componente es la fluencia por secado, adicional al primero y ocurre por el secado junto con la retracción. Normalmente, la tensión de fluencia que es considerada en el diseño estructural es la suma de tensión básica de fluencia y la tensión secadora de fluencia. Debido a la dificultad para diferenciar el retardo de la tensión elástica y la tensión de contracción, la conveniencia de construir un modelo numérico para simular la curva tensión de contracción con la retardada deformación elástica incluida, la tensión total de contracción usualmente incluiría ambos a la deformación elástica retardada y la deformación permanente de fluencia. La aproximación es usualmente tomada desde que la tensión elástica retardada es usualmente muy pequeña comparada con la tensión total de fluencia.

La Figura 1.9 muestra un gráfico de esfuerzo versus el tiempo para un concreto que estaba cargado durante algún tiempo y luego es descargado.

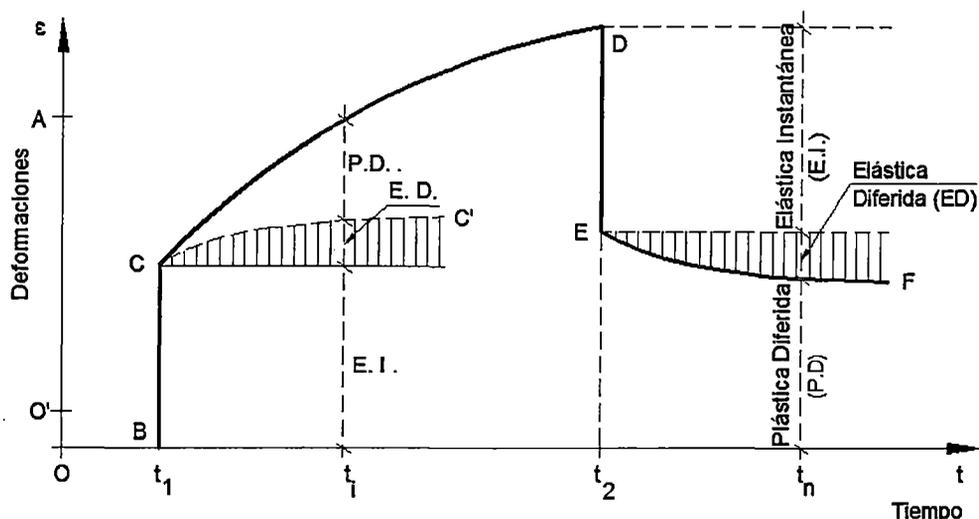


Fig.1. 9: El gráfico típico deformación - tiempo de concreto bajo una carga sostenida y después de adición de carga

1.3.2 Importancia del Estudio de la fluencia del Concreto.

La fluencia en el concreto puede tener efectos positivos así como también efectos desfavorables en la función de estructuras de concreto. En el lado positivo, la fluencia puede aliviar las concentraciones de esfuerzos inducidos por la contracción, el cambio de temperatura, o el movimiento de soportes.

Por ejemplo, en viga indeterminada con dos apoyos fijos, la deformación de fluencia sería de demasiada ayuda reduciendo esfuerzos de tensión causado por la contracción y la variación de temperatura.

Por otra parte, en algunas estructuras de concreto, la fluencia puede ocasionar efectos negativos a la seguridad de las estructuras. La fluencia puede conducir a una deflexión excesiva de integrantes estructurales, alabeo u otros problemas de funcionabilidad, especialmente en rascacielos, columnas cargadas excéntricamente y largos puentes. En concretos en masa, la contracción puede ser una causa de agrietamiento cuando una masa de concreto que no está libre de deformarse experimenta un ciclo de cambio de temperatura debido al desarrollo de calor de hidratación y posteriormente enfriamiento. El concreto pretensado le provee a las estructuras, como puentes complejos, conchas

pretensadas, o vigas maestras continuas, una contracción baja en el concreto ya que se generan tensiones internas producidas por el pretensado. Los miembros pesadamente pretensados y los largos integrantes son en particular susceptibles para los cambios volumétricos tremendos. Si un miembro pretensado está restringido en posición correcta antes de que la mayor parte del cambio volumétrico haya tenido lugar, los integrantes pretensados ejercerán fuerzas excesivas sobre sus conexiones y estructuras de soporte que podrían causar un colapso estructural.

1.3.3 Efecto del Agregado Grueso en la fluencia del Concreto.

Los agregados juegan un papel importante en la fluencia del concreto. El agregado grueso reduce deformación de fluencia reduciendo el contenido de pasta de cemento y restringiendo la pasta de cemento en contra de la contracción. Los concretos generalmente, hechos de un agregado, que es duro, denso, tiene una absorción baja y un alto módulo de elasticidad, son deseables cuando se necesita una tensión baja de fluencia.

K. M. Alexander y G. M. Bruere. Ivanusec estudió la influencia de 23 tipos de agregados en la deformación de fluencia del concreto [Alexander et al, 1980]. Las pruebas de fluencia fueron conducidas en un medio ambiente controlado 23°C y 60% de humedad relativa. Las pruebas de fluencia fueron conducidas por seis meses después de un periodo de 28 días de curado en agua saturada en cal para tomar en consideración efectos mínimos de hidratación. Las tensiones fueron medidas usando calibradores longitudinales en dos caras opuestas del prisma con una longitud de calibrador de 100 mm (4 in). La conclusión muestra que los agregados con una absorción más baja producirán concretos con una deformación más baja de fluencia. Se determinó adicionalmente que el agregado con un módulo elástico alto producirá un valor bajo de fluencia.

T.M.Collins [Collins, 1989] examinó las propiedades de fluencia del concreto de alta resistencia. Las pruebas de fluencia fueron realizadas según ASTM C 512. Los resultados demostraron que un concreto con un mayor tamaño de agregado y el contenido más bajo de pasta proveería una tensión por fluencia menor. También se muestra en la Figura 1.10, el estudio por G.E.Troxell, J.M.Raphael, y R.E.Davis [Troxell et al, 1958] indica que la tensión de fluencia de las mezclas

de concreto con tipos diferentes de agregado se comportará diferentemente. El valor más alto de fluencia es obtenido del concreto hecho con agregado de piedra arenisca, y el valor mínimo de fluencia es obtenido del concreto hecho de piedra caliza. Rüsç et al. [Rüsç, 1963] encontró una diferencia incluso mayor entre las tensiones de fluencia de concretos hechos de diferentes agregados. Luego de 18 meses bajo la carga en una humedad relativa de 65%, la máxima tensión de fluencia del concreto hecho de piedra arenisca fue cinco veces más alta que la tensión mínima de fluencia del concreto hecho de basalto.

Además, la conclusión en el efecto de contenido del agregado grueso en la fluencia del concreto es también confirmada por las pruebas en concreto con agregado ligero. El estudio por Mehmet Geso Lu, Turan Zturan y Erhan Güneyisi Geso Lu Et Al, 2004 muestra que los concretos que contienen mayor contenido de agregado grueso ligero tienen una tensión menor de fluencia.

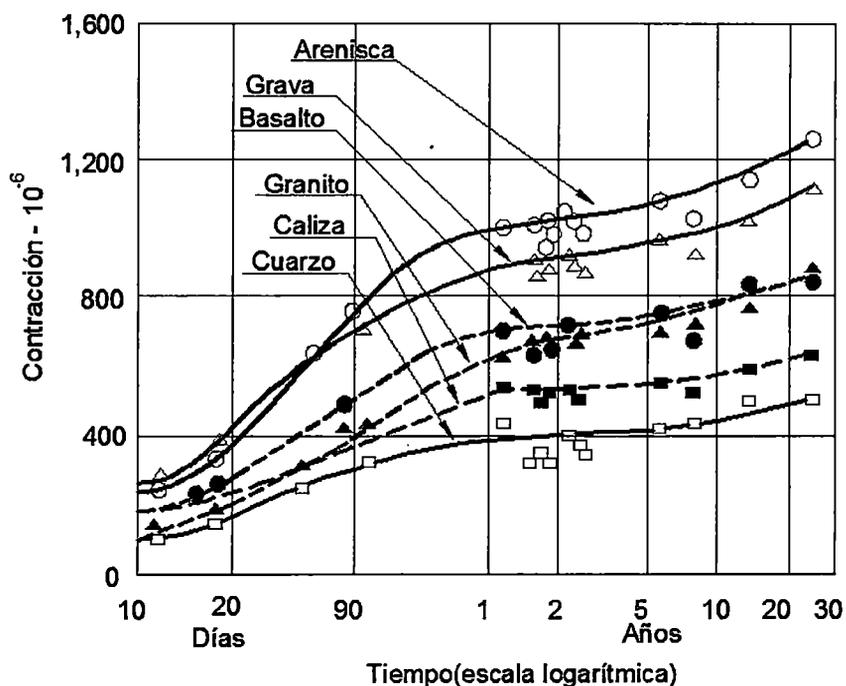


Fig. 1. 10: Fluencia de concreto con una mezcla de proporciones fijas pero con agregado diferente (Cargado a la edad de 28 días, y almacenado en aire en 21.11 °C y a la humedad relativa de 50%) [G.E.Troxell, J.M.Raphael, and R.E.Davis, 1958]

La prueba de fluencia hecho por Hua, C. [Hua, 1995] en pastas endurecidas puras de cemento y en un concreto de referencia (hecho con la misma pasta) también muestra que la fluencia es reducida por la presencia del agregado.

La fluencia de la pasta de cemento es la fuente principal de la tensión total de fluencia en el concreto. Así, disminuir el contenido de cemento en el concreto es una medida efectiva para reducir la tensión de fluencia del concreto.

1.3.4 Modelos matemáticos para predicción de la fluencia del Concreto.

Sin tener en cuenta que modelo de fluencia (ya sea el modelo reológico o modelo numérico), sirve para predecir la relación entre la tensión de fluencia y el tiempo, ninguno de ellos nos puede dar una predicción precisa ya que los efectos complicados de los componentes del concreto, así como también las condiciones ambientales hace que esto no sea imposible. Si bien algunos modelos estaban bien establecidos y correctos para predecir comportamiento de fluencia en algunos concretos, sólo pueden ser aplicados a los concretos con ciertas proporciones de mezclas previamente estudiados y analizados.

Sin embargo, cuando los datos de fluencia no están disponibles para un concreto específico y no hay condición para realizar la prueba de fluencia, los modelos pueden usarse para recibir algunas estimaciones del esfuerzo de fluencia.

Tres modelos matemáticos para la predicción de fluencia del concreto son revisados en las siguientes secciones.

- Ecuación dada por LRFD Guidelines (FDOT, 2002)

Este método de determinar la fluencia es tomado de Collins and Mitchell [1991]. Este método basado en la recomendación de ACI Comité 209 es modificado por datos adicionales recientemente publicados. Según este método, el coeficiente de fluencia puede ser tomado como:

$$\varphi(t, t_1) = 3.5k_c k_f \left(1.58 - \frac{H}{120} \right) t_1^{-0.118} \cdot \frac{(t - t_1)^{0.6}}{10.0 + (t - t_1)^{0.6}} \quad (\text{Ecuación 2.12})$$

Donde:

$$K_f = \frac{1}{0.67 + \left(\frac{f_c'}{9} \right)}$$

H – Humedad Relativa

k_o – Factor para el efecto del volumen de la porción de la superficie

k_f – Factor para el efecto de resistencia del concreto

t – Edad del concreto (días)

t_1 – Edad de concreto cuando la carga es inicialmente aplicada (días)

- Modelo del Código C.E.B-F.I.P (1990)

En este modelo, la tensión de fluencia puede estar prevista por la siguiente ecuación:

$$\varepsilon_{cr}(t, t_0) = \frac{\sigma_c(t_0)}{E_{ci}} \cdot \phi_{28}(t, t_0) \quad (\text{Ecuación 2.13})$$

Donde:

$\varepsilon_{cr}(t, t_0)$ – Esfuerzo de fluencia en el tiempo t

$\sigma_c(t_0)$ – Esfuerzo Aplicado

$\phi_{28}(t, t_0)$ – Coeficiente de fluencia

E_{ci} – Módulo de Elasticidad a la Edad de 28 días.

El módulo de elasticidad puede ser estimado por la siguiente ecuación:

$$E_{ci} = \alpha_E \cdot 10^4 \cdot \left(\frac{f_{ck} + \Delta f}{f_{cm0}} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (\text{Ecuación 2.14})$$

Donde:

f_{ck} – Característica de Esfuerzo del Concreto (en MPa)

$\Delta f = 8 \text{ MPa}$

$f_{cm0} = 10 \text{ MPa}$

$\alpha_E = 2.15 \times 10^4 \text{ MPa}$

$$\phi_{28}(t, t_0) = \phi_0 \cdot \beta_c(t - t_0) \quad (\text{Ecuación 2.15})$$

Donde:

ϕ_0 – Coeficiente Notacional de fluencia

β_c – El coeficiente para describir el desarrollo de fluencia con el tiempo después de cargar

t – Edad del Concreto en días

t_0 – Edad de concreto estando cargado en los días

El coeficiente del notacional de fluencia puede ser estimado como sigue:

$$\phi_0 = \phi_{RH} \cdot \beta(f_{cm}) \cdot \beta(t_0)$$

$$\phi_{RH} = 1 + \frac{1 - RH / RH_0}{0.46 \cdot (h / h_0)^{1/3}}$$

$$\beta(f_{cm}) = \frac{5.3}{\sqrt{f_{cm} / f_{cm0}}}$$

$$\beta(t_0) = \frac{1}{0.1 + (t_0 / t_1)^{0.2}}$$

Donde:

$$f_{cm} = f_{ck} + \Delta f,$$

h – El tamaño Notacional del miembro (en mm.)= $2A_c / u$.

A_c – (En mm²)

u – Perímetro del miembro en el contacto con la atmósfera (en mm.)

h_0 – 100 mm.

RH – Humedad relativa en el ambiente (en mm.)

RH_0 – 100 %

t_1 – 1 día

$$\beta(t - t_0) = \left[\frac{(t - t_0) / t_1}{\beta_H + (t - t_0) / t_1} \right]^{0.3}$$

$$\beta_H = 150 \cdot \left[1 + \left(1.2 \cdot \frac{RH}{RH_0} \right)^{18} \right] \cdot \frac{h}{h_0} + 250 \leq 1500$$

- Modelo del ACI 209 [ACI 209 Comité, 1992]

En el modelo del ACI 209 (1992), el coeficiente de fluencia es estimado como sigue:

$$\phi_{28}(t, t_0) = \phi_{\infty}(t_0) \cdot \frac{(t - t_0)^{0.6}}{10 + (t - t_0)^{0.6}} \quad (\text{Ecuación 2.16})$$

Donde:

$\phi_{28}(t, t_0)$ – Coeficiente de fluencia en el tiempo

$\phi_{\infty}(t_0)$ – Coeficiente Último de fluencia

t_0 – Tiempo de Carga

El coeficiente último de fluencia puede ser expresado como:

$$\phi_{\infty}(t_0) = \gamma_c \cdot \phi_{\infty} \quad (\text{Ecuación 2.17})$$

Donde:

La constante $\phi_{\infty} = 2.35$ es recomendada. El factor de corrección γ_c consiste en los siguientes términos:

$$\gamma_c = \gamma_{la} \cdot \gamma_{RH} \cdot \gamma_{at} \cdot \gamma_s \cdot \gamma_p \cdot \gamma_a$$

Donde:

γ_{la} – Factor de corrección por edad de carga. Para las edades de carga posteriores a 7 días y el curado húmedo concreto. $\gamma_{la} = 1.25 \cdot (t_0)^{-0.118}$. Para las edades después del primer y tercer día, y con curado del concreto a vapor, $\gamma_{la} = 1.13 \cdot (t_0)^{-0.094}$.

γ_{RH} – Factor de corrección de la humedad relativa ambiente. Para la humedad relativa del ambiente mayor a 40%, $\gamma_{RH} = 1.27 - 0.0067 \cdot RH$. (RH es la humedad relativa ambiente en %).

γ_s – Factor de corrección por Slump del concreto fresco.

$$\gamma_s = 0.82 + 0.00264 \cdot S_f \quad (S_f \text{ es el Slump en mm.})$$

γ_p – Factor de corrección por el porcentaje total de agregado fino.

$$\gamma_p = 0.88 + 0.0024 \cdot \rho_a \quad (\rho_a \text{ es el porcentaje total de agregado fino})$$

γ_a – Factor de corrección por contenido de aire. $\gamma_a = 0.46 + 0.09 \cdot a_a$ (a_a es el contenido de aire)

γ_{at} – Factor de corrección para el espesor de miembro. Cuando el volumen o espesor común para la proporción de la superficie de un miembro estructural difiere de 150 mm o 380 mm, respectivamente, dos métodos son ofrecidos para estimar el factor de tamaño del miembro γ_{at} :

(1) Método de espesor común.

Para un espesor común de un miembro más pequeño que 150 mm, los factores son dados por Informe ACI-209. Para un espesor común de un miembro más grande que 150 mm y hasta aproximadamente 300 para 380 mm, el factor de corrección para el espesor es dado como:

$$\gamma_{at} = 1.14 - 0.00092 \cdot h_a \quad \text{Durante el primer año luego de cargar}$$

$$\gamma_{at} = 1.10 - 0.00067 \cdot h_a \quad \text{Para valores últimos}$$

Donde:

h_a = Espesor común de un miembro en mm.

(2) el método de proporción de la superficie de volumen

$$\gamma_{at} = \frac{2}{3} \left[1 + 1.13 \cdot e^{-0.0213 \left(\frac{v}{s} \right)} \right]$$

Donde:

v = Volumen del elemento

s = área expuesta por donde evapora el agua

$\frac{v}{s}$ = Volumen para la proporción de la superficie en mm.

CAPÍTULO II: DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS

2.1 IMPLEMENTACIÓN DEL LABORATORIO (LEM)

En esta etapa preliminar se llevó a cabo la adecuación de un cuarto de curado (según norma ASTM C512) de concreto en un ambiente del laboratorio de ensayos de materiales (LEM) (ver figura 2.1) con características especiales de T°C y HR% con los siguientes equipos : Dos equipos de aire acondicionado, dos equipos de calefacción, dos equipos deshumedecedores, seis marcos de acero para el ensayo de fluencia cada uno equipado con gato hidráulico; todo este ambiente estará controlado por un termohigrómetro para medir las condiciones de T°C y HR%.



Fig. 2.1: Cuarto de curado en el Laboratorio de Ensayo de Materiales (LEM).

2.2 EQUIPOS PARA EL ENSAYO DE FLUENCIA.

a) Parámetros de diseño

El diseño para el aparato de prueba de fluencia mostrado en la Figura 2.2, en cada marco de ensayo, están colocados tres especímenes cilíndricos 6"x12" uno encima del otro con una perfecta nivelación entre ambas caras, para luego ser probados bajo la misma carga. La carga es aplicada por medio de un gato hidráulico (con una capacidad máxima de 70 ton) y monitoreada por un manómetro indicando la carga aplicada. Cuando la carga deseada es alcanzada, las tuercas de la plancha superior en las barras roscadas son ajustadas con el fin de que estén presionando en contra del gato hidráulico que se encuentra en la parte inferior.

Los resortes en el marco de fluencia ayudan a mantener la carga que es aplicada a los especímenes de concreto, hasta 9 resortes pueden ser usados en este marco experimental de ensayo. La Figura 2.3 muestra las posiciones de los resortes en el marco experimental.

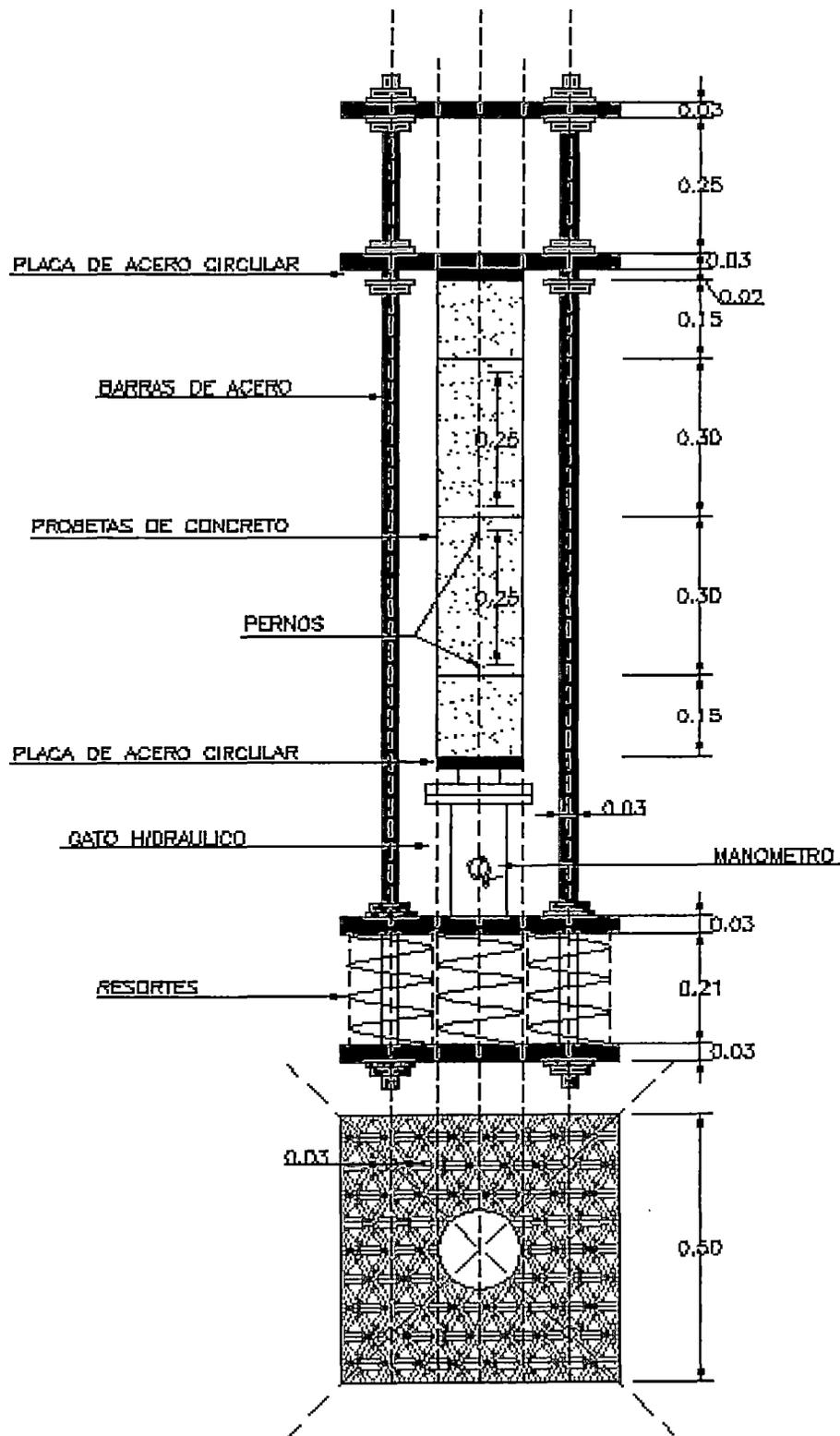


Fig. 2.2: Equipo para Ensayo de Fluencia.

b) Capacidad Máxima del Equipo para Ensayo de Fluencia

La constante del resorte "k" es 20,000 N/cm. La máxima deformación "S" para el resorte es 4.0 cm. Si son usados los nueve resortes, la máxima carga, F_{max} , que los resortes pueden tener aplicados puede ser calculada como:

$$F_{max} = 9 \times k \times S = 7.2 \times 10^5 \text{ N} = 73.44 \text{ ton. [Ecuación 1]}$$

Así, la capacidad máxima de este aparato de Fluencia es $7.2 \times 10^5 \text{ N}$. El esfuerzo máximo límite que puede ser aplicado a los especímenes cilíndricos de concreto de 6"x12" en el marco de Fluencia puede ser calculada como:

$$\sigma_{max} = F_{max} / (\pi \times 7.62^2) = 402.6 \text{ kg/cm}^2 \text{ [Ecuación 2]}$$

Considerando que los especímenes experimentales de concreto pueden ser cargados a 40% de su resistencia última a compresión en la prueba de fluencia, este aparato puede usarse para probar concretos con una resistencia máxima última a compresión de 1006.5 kg/cm^2 .

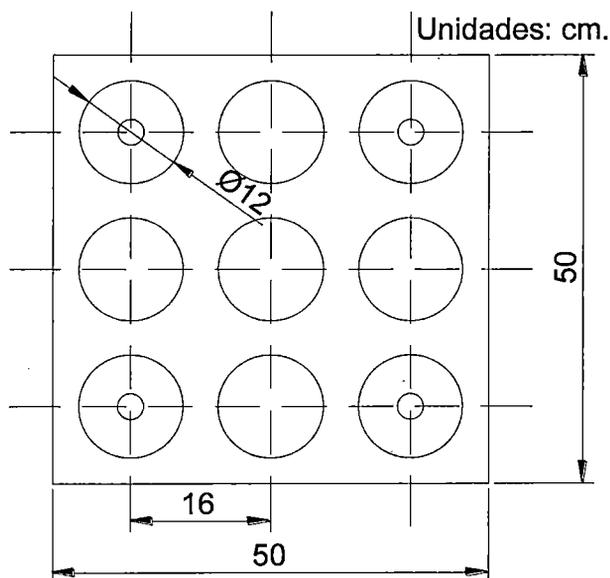


Fig. 2.3: Las posiciones de resortes en la placa de acero.

c) Diseño de Placa de Acero

Para aplicarle la carga uniformemente a los especímenes experimentales, la deflexión de la placa de acero no debería desviarse demasiado para un plano cuándo los especímenes están cargados. El espesor requerido de las placas de acero fue determinado usando un análisis de elementos finitos. La lámina de acero fue modelada como un material elástico isotrópico con un módulo elástico de 210,000 MPa y la proporción de Poisson de 0.30, que son las propiedades típicas del acero. La placa fue modelada como punto de rotación con respecto a los ejes X, Y y Z a lo largo de los cuatro huecos en la lámina de acero como se muestra en la Figura 2.4.

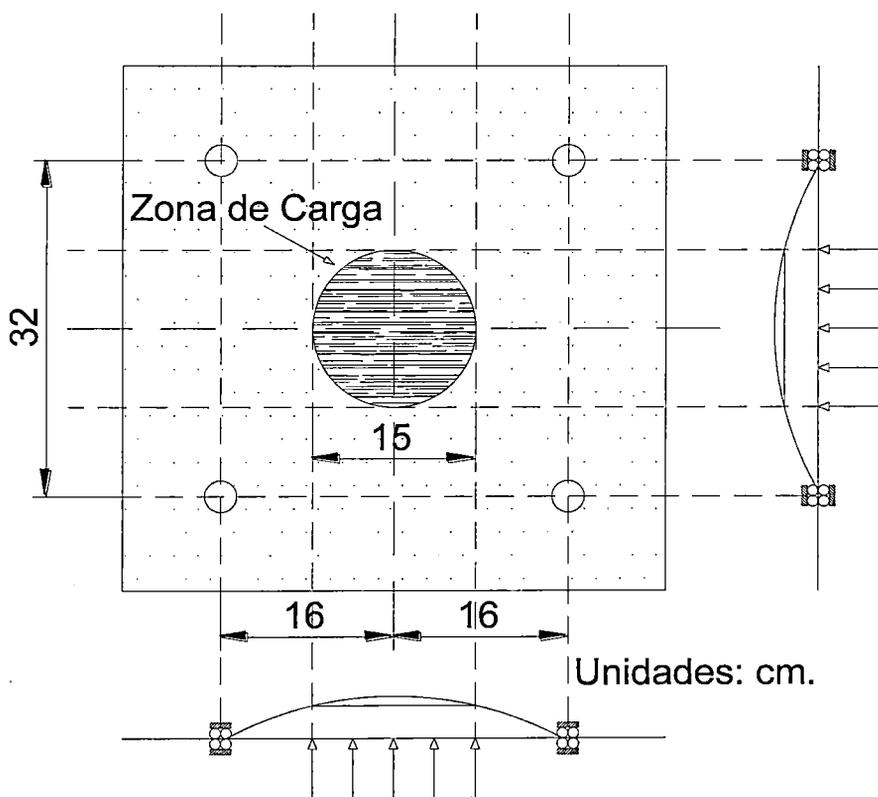


Fig. 2.4: Condiciones de límite usadas para el análisis del elemento

La zona de carga fue modelada como un área circular idéntica al área de una sección transversal de un cilindro de concreto de 6". La máxima carga usada en el análisis tuvo una presión de 402 kg/cm², que es un 40% de la máxima resistencia a la compresión.

d) Esfuerzos en las barras de Acero del Equipo para Ensayo de Fluencia

Cuando los especímenes de concreto están cargados en el marco de Fluencia, cada uno de las cuatro barras de acero llevará una cuarta parte de carga total. Las barras de acero tienen un diámetro de 3.8 cm. y están hechas de un acero de aleación con un límite de elasticidad de 2100 kg/cm². Si los especímenes de concreto fueran cargados a la capacidad máxima del equipo de Fluencia de 70 ton, el máximo esfuerzo en las barras aceradas sería igual a:

$$70,000 / (4 \times 1.90^2 \times \pi) = 1543,1 \text{ kg/cm}^2.$$

Esta máxima tensión posible en la barra de acero es menor que el límite de elasticidad del acero de 2100 kg/cm².

e) Pernos incrustados en las probetas

Tres pares de pernos separados 10 pulgadas deben estar colocado en cada espécimen de concreto.



Fig. 2. 5: Pernos usados para las mediciones de deformación en el concreto.

f) Calibrador Whittemore

Dispositivo utilizado para la medición de la variación dimensional, está compuesto de una base en donde se tiene un punto fijo y otro móvil los cuales se ajustan a los puntos de referencia instalados en las paredes de las probetas. La variación dimensional es obtenida a través de la lectura de los valores en el indicador del reloj comparador el cual tiene una precisión de 0.0001”.

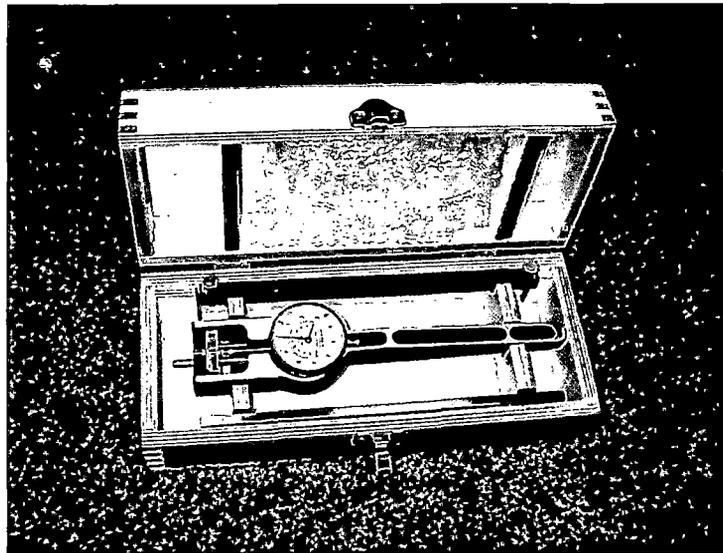


Fig. 2. 6: Calibrador whittemore con sus accesorios.

g) Gato hidráulico

Equipo utilizado en los marcos de carga para la aplicación de la carga a la que son sometidas las probetas; los seis gatos hidráulicos utilizados fueron calibrados previos al ensayo de Fluencia del concreto (ver anexo A y B).

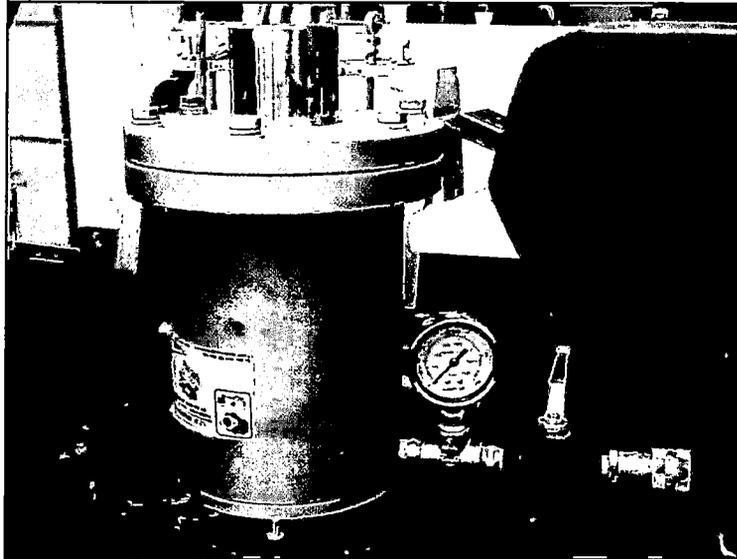


Fig. 2.7: Gato hidráulico

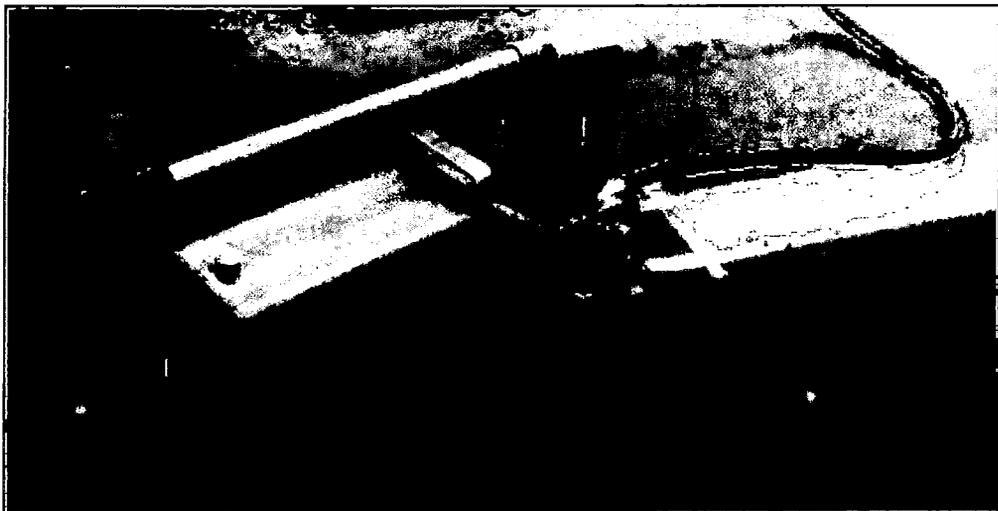


Fig. 2.8: Brazo de palanca, tanque lleno de hidrolina para impulsión hacia el gato hidráulico.

h) Termohigrómetro

Instrumento de medición para ejecutar el monitoreo de las condiciones ambientales en el cuarto de curado donde se ejecutaron los ensayos de fluencia.



Fig. 2. 9: Instrumentos de medición de temperatura y humedad relativa (%).

2.3 EQUIPOS ENSAYO DE CONTRACCION

Para la determinación de la contracción se utilizan los equipos indicados en la norma ASTM-C878.

2.4 EQUIPOS ENSAYO MÓDULO DE ELASTICIDAD

a) Compresómetro

Un compresómetro equipado con un dial de deformación (medición en pulgadas); se usó para medir la deformación del cilindro de concreto durante una prueba de compresión. Los datos de carga y de deformación fueron procesados en el formato mostrado en las páginas 61 y 85.

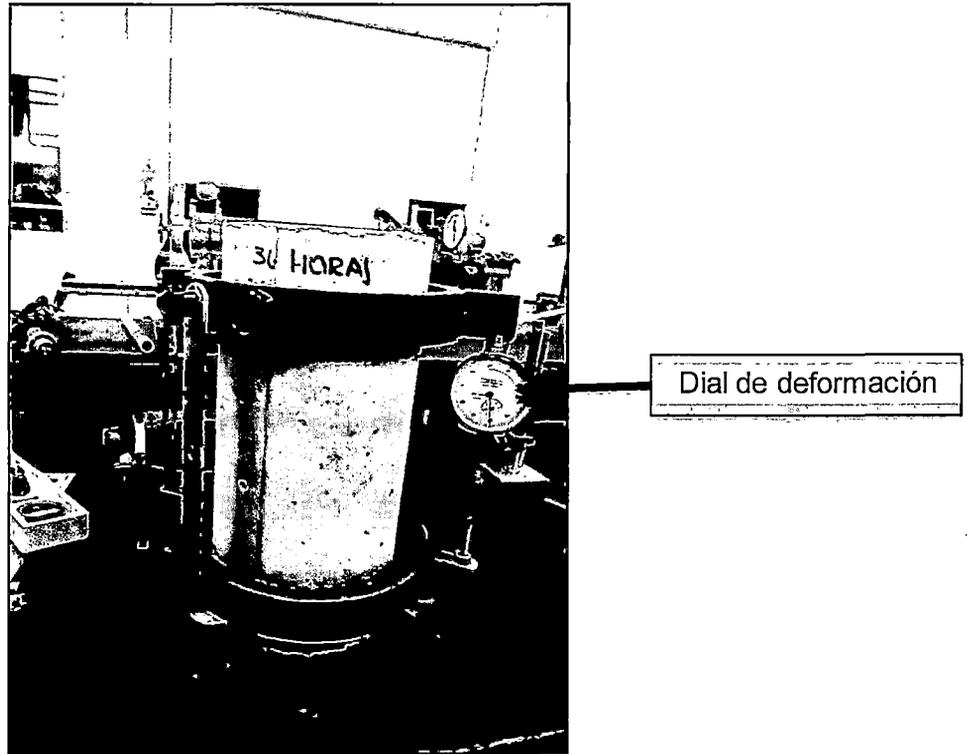


Fig. 2.10: Compresómetro.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE ENSAYO DE CONTRACCION, FLUENCIA Y MODULO DE ELASTICIDAD.

3.1 ENSAYO DE FLUENCIA – ASTM C512/C512M-10:2011

El ensayo de Fluencia se realizó siguiendo los lineamientos de la norma ASTM C512, con un curado de especímenes a una temperatura de 23.0°C (+/- 1.7°C) y 50% (+/- 4%) de humedad relativa, se establecieron dos procedimientos de ensayo; el primero con la asesoría del laboratorio de Furnas¹ (Brasil) y el segundo con la asesoría del especialista norteamericano Henry Russell².

a) Procedimiento ensayo (Laboratorio Furnas)

Se prepararon especímenes de concreto de 6" x 12" en el laboratorio de ensayo de materiales (LEM).

- Moldeo de probetas

Se deberá procurar que las superficies en donde sean moldeadas las probetas de concreto estén perfectamente niveladas para lo cual nos valdremos de un nivel de burbuja para comprobar dicha nivelación.



Fig. 3.1: Nivel de burbuja usado para verificar nivelación de probetas.

¹ Furnas es una empresa de generación y transmisión de energía, de economía mixta, subsidiaria de centrales hidroeléctricas Brasileiras S.A, domina modernas tecnologías asociadas con la transmisión de energía, sistemas de control, supervisión digital y telecomunicaciones.

² Henry Russell es un consultor de ingeniería con sede en Glenview, Ill. Es miembro del Instituto Americano de Concreto, Sociedad Americana de Pruebas y Materiales, Prefabricado / Pretensado Concrete Institute y American segmentaria Instituto Bridge. Actualmente es el presidente del subcomité de ACI en el alto rendimiento del concreto.

Para dar el acabado final a la superficie del concreto se deberá esperar de 3 a 4 horas, después del vaciado y antes del inicio de fragua, para pasar sobre ella una plancha de acero y lograr una mejor superficie, después se procede a rocear las probetas en la parte superior con el curador químico sika Antisol S y se tapan todas las probetas.



Fig. 3.2: Probetas después del vaciado.

- Desmolde

Se procederá a desmoldar pasadas las 24 horas, Inmediatamente después del desmolde se codificarán las probetas con plumón indeleble.



Fig. 3.3: Desmolde de probetas.

- Curado

Las probetas son llevadas al cuarto de curado dentro de las instalaciones del laboratorio hasta el día del ensayo.

- Instalación de Puntos de Contacto

En las probetas en donde se efectúen las mediciones de la deformación (Fluencia bajo carga constante y Contracción Autógena), se deberán instalar 3 pares de puntos de contacto, distribuidos en posiciones próximas a 0° , 90° y 180° alrededor del perímetro de las probetas.

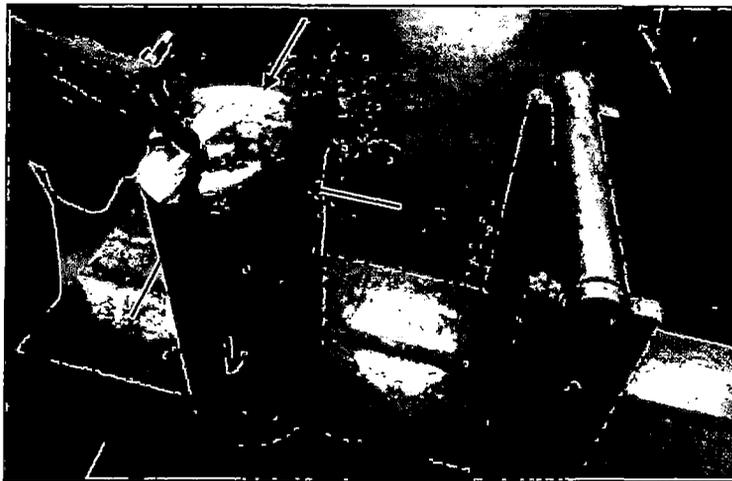


Fig. 3.4: Orientación de los puntos de contacto 0° , 90° y 180° .

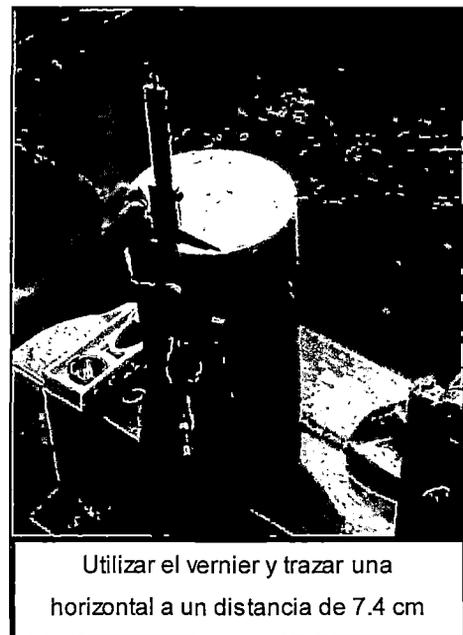


Fig. 3.5: Verticalidad y alineación de los puntos de contacto.

Cada par de puntos de contacto deberán estar alineados entre sí a una distancia aproximada de 152 mm; para fijar ésta medida en la superficie de la probeta usar el accesorio que acompaña al medidor Whittemore.

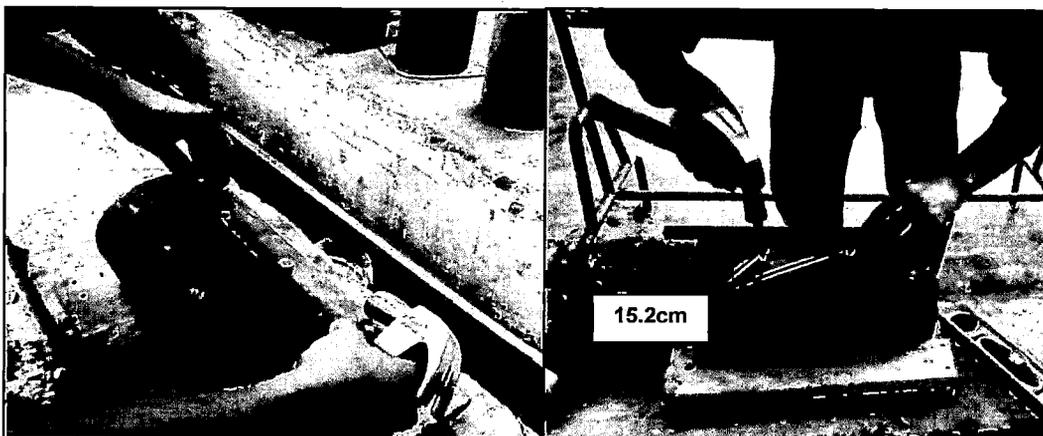


Fig. 3.6: Accesorio fijando los 2 puntos de referencia a una distancia de 15.2 cm.

Usando un taladro con broca de diámetro compatible con el diámetro de la base de apoyo de los puntos de contacto (broca de 6 mm), proceder con la perforación de la probeta (perforar aproximadamente 14 mm).

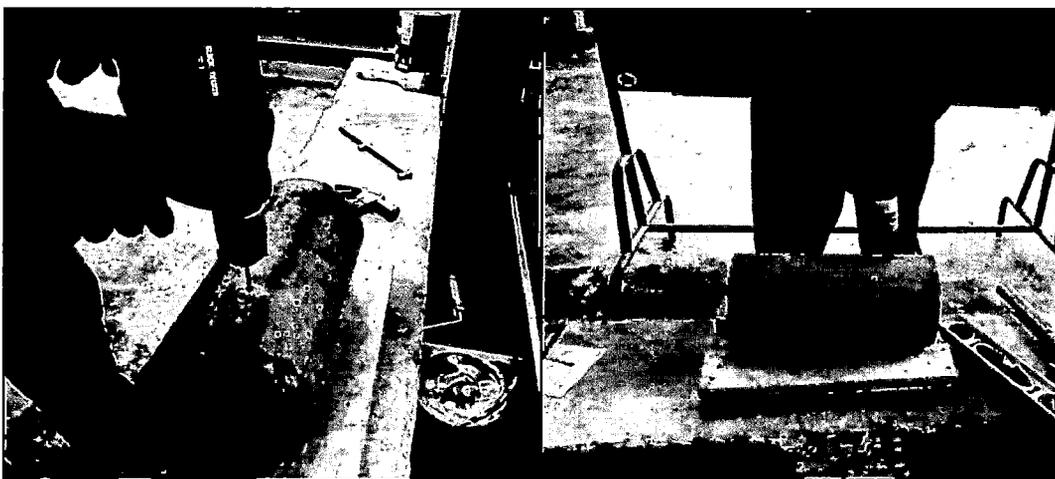


Fig. 3.7: Perforación de 3 pares de agujeros para puntos de contacto y separación entre ellos de 15.2 cm.

Luego de esto, instalar el punto de contacto que son pernos embebidos en un remache que se adhieren al concreto utilizando una goma adhesiva instantánea y martillo para su fijación como se observa en la Figura 3.8.



Fig. 3.8: Pernos embebidos en el concreto usando una goma y martillo.

Se deja secar aproximadamente 1 hora para luego ser pesadas.

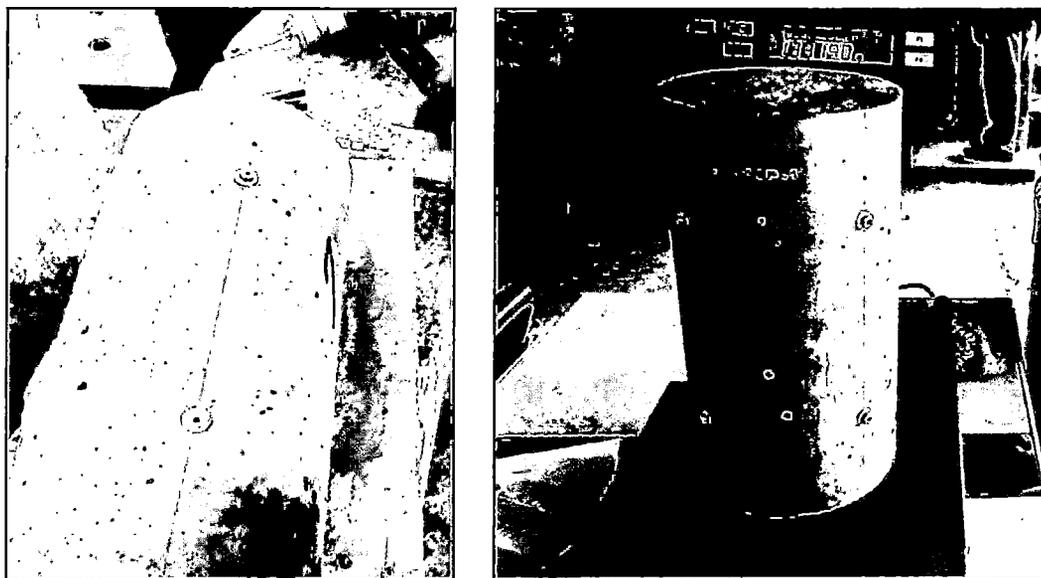


Fig. 3.9: Pesado de probetas, después del secado de puntos de contacto.

- Sellado de probetas y capping.

Se realizaron dos tipos de probetas unas no selladas y otras selladas, para minimizar la pérdida de agua durante los ensayos, se procederá al sellado de la probeta, envolviéndola con plástico; posteriormente recubriéndolas con cinta de embalaje y se dejara en la cámara de curado.

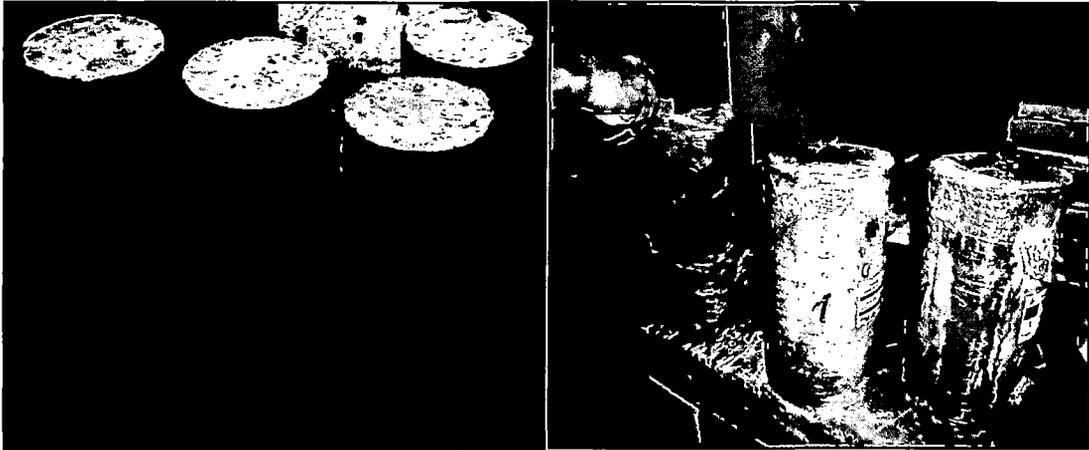


Fig. 3.10: Sellado de probetas.

Para corregir las fallas en cuanto la nivelación de las caras superior e inferior de las probetas de concreto, se utilizará una mezcla de azufre y bentonita, la cual será colocada según procedimiento estándar ASTM C617.



Fig. 3.11: Refrentado de probetas selladas y no selladas.

- Metodología de Ejecución del Ensayo de Fluencia del Concreto

Luego de preparadas las probetas se procederá con la siguiente metodología:

- Colocar el gato hidráulico, que debe ser calibrado previamente, sobre la plancha base de acero teniendo el cuidado de que el centro de la plancha coincida con el centro del émbolo del gato, de manera de garantizar la correcta aplicación del esfuerzo, utilizar una plomada.

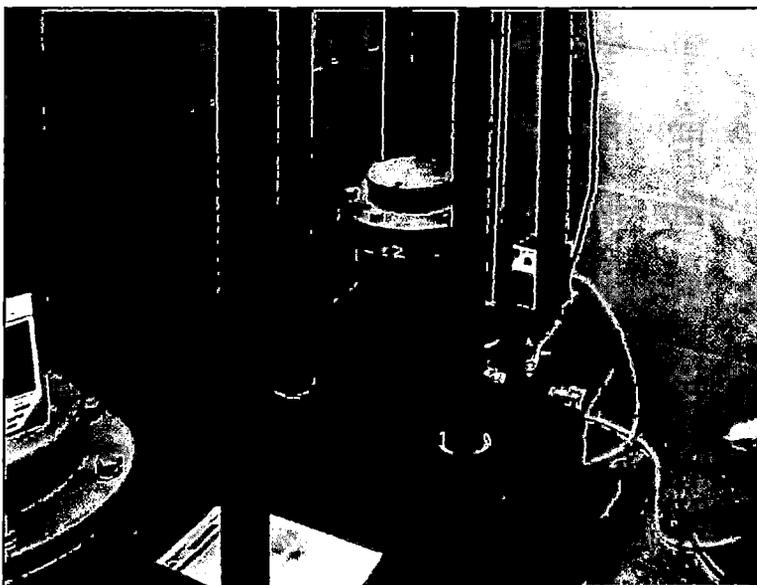


Fig. 3. 12: Posicionamiento de gato hidráulico.

- Instalar en el marco de carga las 4 probetas, teniendo cuidado de que sean posicionados de forma que se puedan hacer las lecturas sin restricción.



Fig. 3. 13: Marcos de carga posicionados (sellados y sin sellar).

- Ajustar y nivelar la plancha superior del marco de carga.
- Verificar que los puntos de contacto no estén obstruidos.
- Utilizando el medidor Whitemore, proceder con la lectura de la dimensión inicial (sin carga aplicada) entre los puntos de contacto. Estas medidas deben ser anotadas en el formato establecido.



Fig. 3. 14: Toma de medida inicial en los 3 puntos de pares guías a 0°, 90° y 180°.

- La aplicación de la carga inicial a cada edad, ascenderá a un valor cercano al 40% de la carga de ruptura obtenida en la edad correspondiente.
- Para el acomodo del conjunto probetas y marco de carga, se aplicarán dos ciclos de carga y descarga utilizando el sistema de aplicación de carga a una velocidad que permita alcanzar el valor del 40% de la carga de ruptura al final de un tiempo de 30 segundos. Recordar siempre descargar el sistema al final de cada serie.
- Aplicar por 3ra vez la carga de ensayo y dejar cargado hasta los 60 días como mínimo que dura el ensayo.
- Proceder a la lectura de la deformación instantánea después de 30 segundos de aplicada la carga.
- Luego de aplicada la carga y realizada la medición de la deformación instantánea, la lectura de la distancia entre los puntos de contacto deberá ser hecha, siguiendo los tiempos después de aplicada la carga inicial:
 - ✓ 2, 4, 7, 15, 20, 30, 40, 60 minutos;
 - ✓ 2, 4, 7, 10, 15, 24 horas;
 - ✓ 2 veces al día hasta el 4° día de ensayo;
 - ✓ 1 vez al día a partir del 4° día;
 - ✓ 1 vez por semana después del primer mes.

b) Procedimiento ensayo (Asesor Norteamericano Henry Russell)

- Moldeo de probetas

Las probetas fueron realizadas en la planta de UNICON, la cual se encuentra en el área de prefabricados donde se realiza la construcción masiva de elementos para el tren eléctrico.



Fig. 3.15: Planta de UNICON.

- Desmolde

Se procederá a desmoldar pasadas las 24 horas y las probetas son traídas al laboratorio de ensayo de materiales (LEM).

- Curado

Las probetas son llevadas a una poza de curado y sumergidas en agua hasta el día del ensayo (máximo 7 días de curado).

- Instalación de Puntos de Contacto

En las probetas en donde se efectúen las mediciones de la deformación (Fluencia bajo carga constante y Contracción Autógena), se deberán instalar 3

pares de puntos de contacto, distribuidos en posiciones próximas a 0° , 120° y 270° alrededor del perímetro de las probetas.

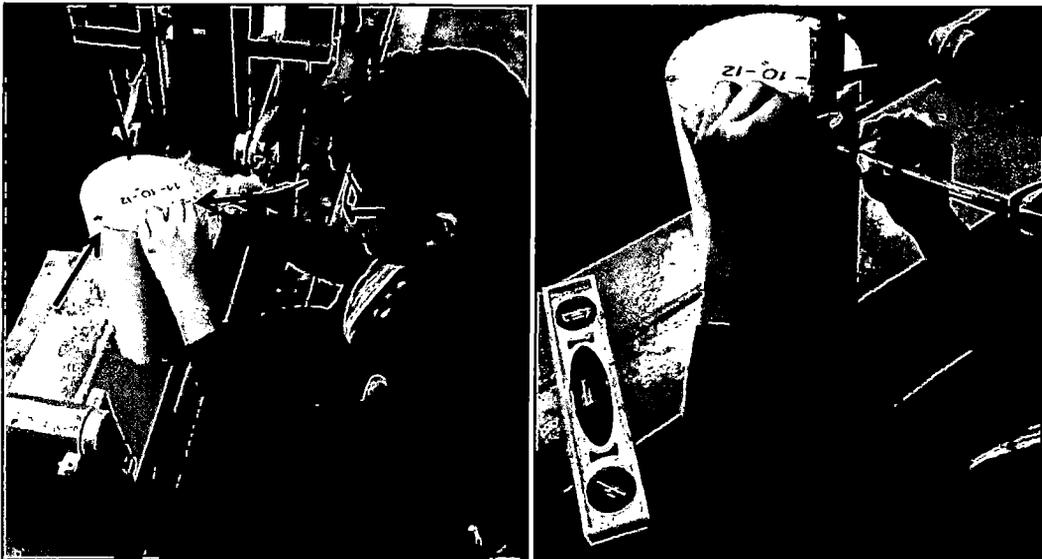


Fig. 3.16: Marcado de la posición de los puntos de contacto 0° , 120° y 270° y utilizando el vernier trazar una horizontal a una distancia de 2.54 cm.

Cada par de puntos de contacto deberán estar alineados entre sí a una distancia aproximada de 25,4 cm; para fijar ésta medida en la superficie de la probeta usar el accesorio que acompaña al medidor Whittemore.



Fig. 3.17: Verificación de la distancia de 25.4 cm con el accesorio de fijación del whittemore.

Usando un taladro con broca de diámetro compatible con el diámetro de la base de apoyo de los puntos de contacto (broca de 6 mm), proceder con la perforación de la probeta (perforar aproximadamente 10 mm) y, luego de esto, instalar el punto de contacto utilizando una goma adhesiva instantánea y martillo para su fijación.



Fig. 3.18: Perforación de puntos de contacto usado un taladro manual.

Para el pegamento se utilizó SOLDIMIX componente A y B el cual se mezcló en proporciones uniformes.

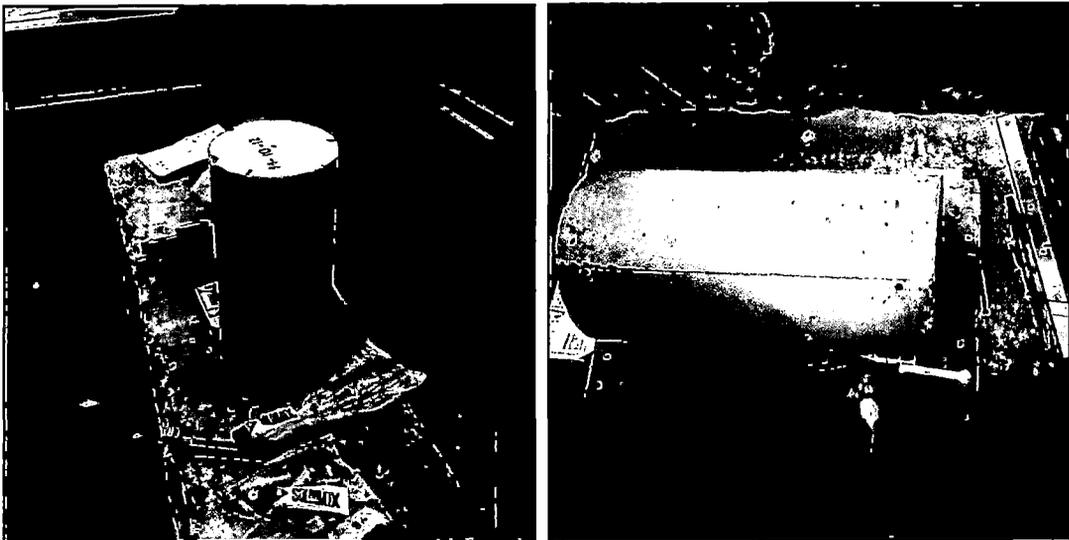


Fig. 3.19: Utilización de pegamento para los puntos de contacto.

Se muestra en la Figura 3.20 los pernos usados y la probeta con todos los puntos instalados, la probeta se deja reposar unos 50 min para luego proceder a la nivelación correspondiente.

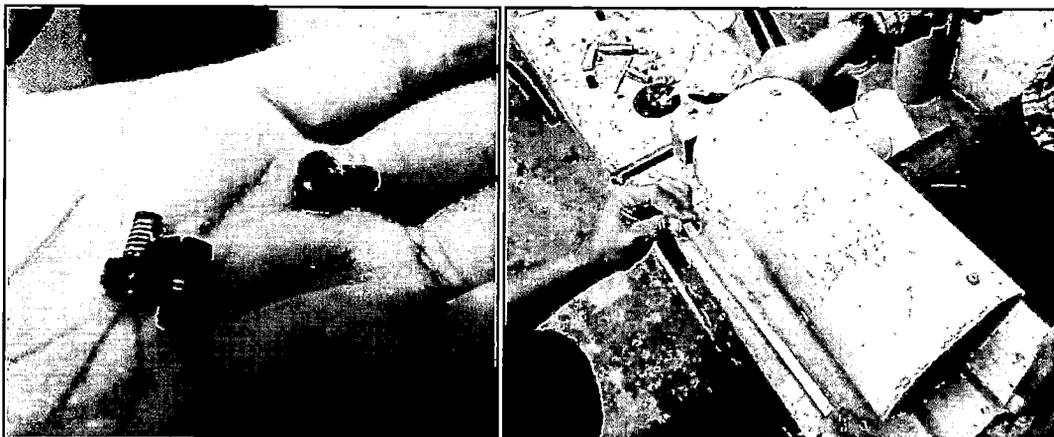


Fig. 3.20: Fijación de puntos de contacto.

- Nivelación de probetas

Las probetas deben tener una superficie de contacto perfectamente nivelada para que el esfuerzo transmitido del gato sea uniforme en toda el área de contacto y no afecte en la medida de las deformaciones.

Los instrumentos utilizados fueron una lija de mano para atenuar las imperfecciones que se presentan en las caras de las probetas.

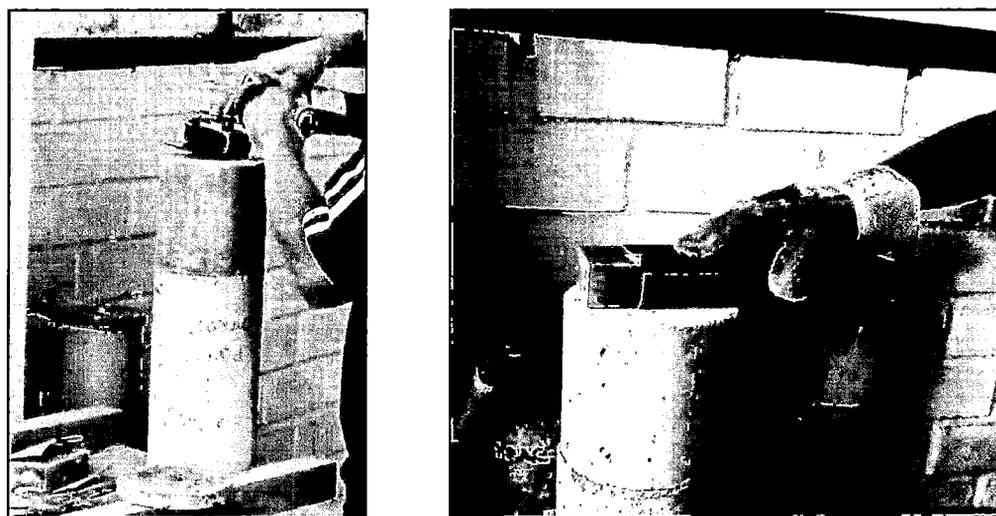


Fig. 3.21: Nivelación de las probetas.

- Metodología de Ejecución del Ensayo de Fluencia del Concreto

Luego de preparadas las probetas se procederá con la siguiente metodología:

- Colocar el gato hidráulico sobre la plancha base de acero, teniendo el cuidado de que el centro de la plancha coincida con el centro del émbolo del gato, de manera de garantizar la correcta aplicación del esfuerzo, utilizar una plomada.
- Instalar en el marco de carga las 2 probetas de fluencia y en los extremos la mitad de una probeta así disminuimos la esbeltez del marco y tendremos una aproximación más real de las deformaciones.

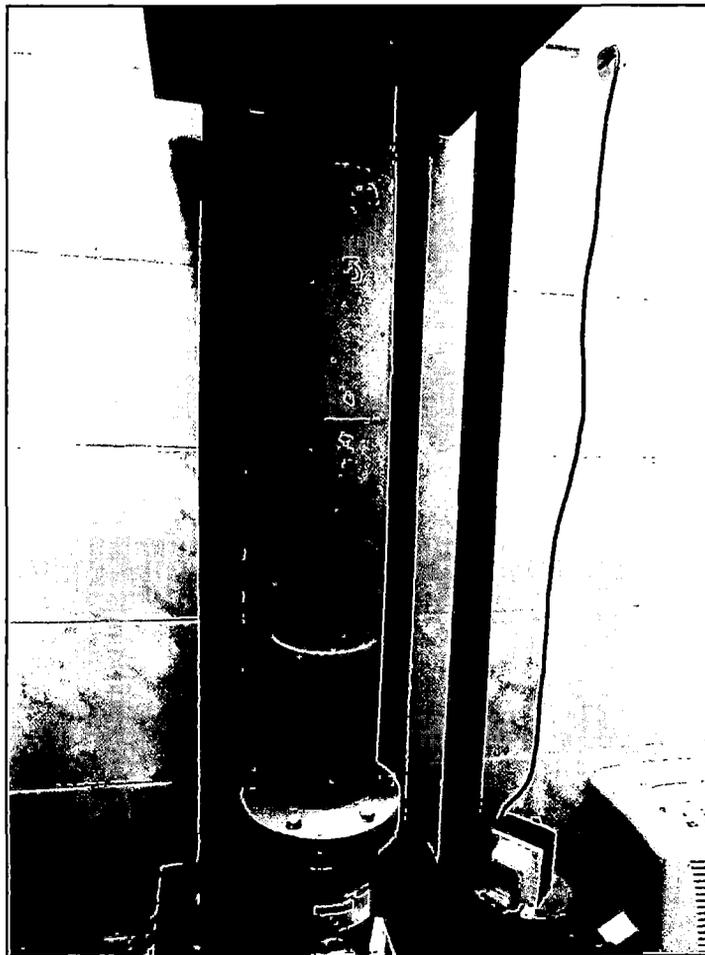


Fig. 3.22: Posición final de los marcos de carga alineados correctamente.

- Ajustar y nivelar la plancha superior del marco de carga.
- Verificar que los puntos de contacto no estén obstruidos.
- Utilizando el medidor Whittemore, proceder con la lectura de la dimensión inicial (sin carga aplicada) entre los puntos de contacto. Estas medidas deben ser anotadas en el formato establecido para toma de data.
- La aplicación de la carga inicial a cada edad, ascenderá a un valor menor al 40% de la carga de ruptura obtenida en la edad correspondiente.
- Para el acomodo del conjunto probetas y marco de carga, se aplicarán pre cargas (10%, 25%) para verificar en cada punto la deformación que se va obteniendo, si la desviación estándar en cada punto es aceptable se procede a cargar un valor menor al 40% de la carga de ruptura final.
- Proceder a la lectura de la deformación instantánea después de 30 segundos de aplicada la carga.
- Luego de aplicada la carga y realizada la medición de la deformación instantánea, la lectura de la distancia entre los puntos de contacto deberá ser hecha, siguiendo los tiempos después de aplicada la carga inicial:
 - ✓ 2 horas
 - ✓ 1 vez al día hasta los siete primeros días.
 - ✓ 1 vez por semana hasta completar los 90 días como mínimo.



Fig. 3.23: Foto izquierda: Verificación de presión y foto derecha: inicio de toma de mediciones en los 3 pares de puntos de cada probeta (sentido anti horario).

3.2 ENSAYO DE CONTRACCION – ASTM C878/C878M- 09:2011

El ensayo de contracción se realizó siguiendo los lineamientos de la norma ASTM C878, al igual que el ensayo de fluencia necesita una temperatura de curado de 23.0°C ($\pm 1.7^{\circ}\text{C}$) y 50% ($\pm 4\%$) de humedad relativa, se establecieron dos procedimientos de ensayo; el primero con la asesoría del laboratorio de Furnas (Brasil) y el segundo con la asesoría del especialista norteamericano (Henry Russell).

a) Procedimiento ensayo (Laboratorio Furnas)

El procedimiento de fabricación de las probetas es el mismo usado en el ensayo de fluencia, tanto para el moldeo de probetas, desmolde, curado, instalación de puntos de contacto y sellado.

Para cada ensayo de fluencia se consideraron 3 probetas de contracción

La toma de datos se inicia paralelamente con el ensayo de fluencia y se anotan datos inmediatamente de cargado el marco.

- ✓ 2, 4, 7, 15, 20, 30, 40, 60 minutos;
- ✓ 2, 4, 7, 10, 15, 24 horas;
- ✓ 2 veces al día hasta el 4° día de ensayo;
- ✓ 1 vez al día a partir del 4° día;
- ✓ 1 vez por semana después del primer mes.



Fig. 3.24: Probetas para contracción.

b) Procedimiento ensayo (Asesor Norteamericano Henry Russell)

El procedimiento de fabricación de las probetas es el mismo usado en el ensayo de fluencia, tanto para el moldeo de probetas, desmolde, curado e instalación de puntos de contacto.

El sellado es de una manera especial ya que solo se cubre la parte superior e inferior para poder equilibrar la pérdida de agua al momento de la toma de data.

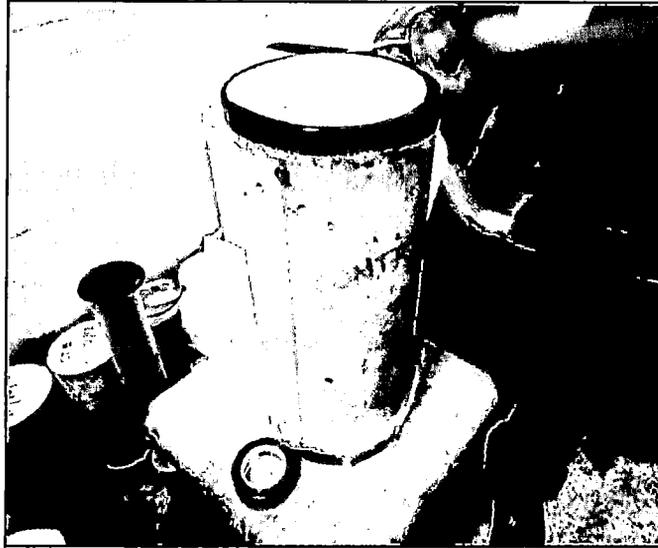


Fig. 3.25: Sellado en la parte superior e inferior de la probeta.

Para cada ensayo de fluencia se consideraron 3 probetas de contracción.
La toma de datos se inicia paralelamente con el ensayo de fluencia y se anotan
datos inmediatamente de cargado el marco.

- ✓ 2 horas
- ✓ 1 vez al día hasta los siete primeros días.
- ✓ 1 vez por semana hasta completar los 90 días como mínimo

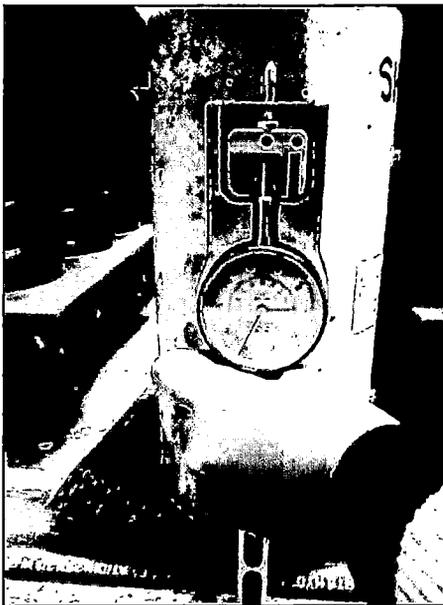


Fig. 3.26: Inicio de toma de mediciones con el aparato whittemore.

3.3 ENSAYO DE MÓDULO DE ELASTICIDAD – ASTM C469/C469-10:2011

Fue seguido el método de ensayo estándar ASTM C 469 para determinar el módulo elástico de los especímenes de concreto. En este método, el módulo de elasticidad de cilindros de concreto es determinado cuando una carga compresiva es aplicada en un cilindro de concreto en la dirección longitudinal.

Los cilindros para la prueba del módulo de elasticidad fueron cargados al 40% de su carga máxima de rotura y descargados, por tres veces consecutivas. Los datos del primer ciclo de carga fueron pasados por alto. El valor medio desde las últimas dos veces se grabó como el módulo elástico del concreto. Serán evaluados los módulos elásticos de concreto en las edades de 36 horas, 28 días y 60 días.



Fig. 3.27: Máquina compresora Toni Technik e inicio de toma de datos.

CAPÍTULO IV: PROGRAMAS EXPERIMENTALES

4.1 DISEÑO CARACTERÍSTICO DEL CONCRETO.

El diseño característico del concreto fue de 280 kg/cm² a las 36 horas, agregado huso 67, slump mayor a 8", cabe resaltar que la resistencia obtenida a edades tempranas es variable y dependiente del proceso de curado.

Cuadro 4.1. Dosificación del diseño característico de mezcla por m³

Insumos	Procedencia	DISEÑO		
		Unidad	Peso Seco	Peso SSS
Cemento Tipo I	UNACEM S.A.A	Kg/m3	490	490
Filler	UNACEM S.A.A	Kg/m3	122	122
Agregado Fino	Jicamarca	Kg/m3	750	765
Agregado Grueso(Huso 67)	Jicamarca	Kg/m3	829	845
Agua	Planta San Juan	l/m3	178	200
Polyheed 770 R	Basf	l/m3	1,84	1,84
Glenium 3800 SCM	Basf	l/m3	7,34	7,34

Cuadro 4.2. Características de diseño

Relación agua/cementante	0,29
Dosis de Polyheed 770R cc/Kg/m3 cemento	3
Dosis de Glenium 3800 SCM cc/Kg/m3 cemento	12

Cuadro 4.3. Tolerancias y propiedades del concreto

Propiedad	Tolerancia
Slump(pulg)	Slump de diseño > 4"
	± 1 1/2"(ASTM C-94)
Tiempo de vida útil comercial por perdida de trabajabilidad y desarrollo de fraguado inicial(horas)	2,5

4.2 GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS

Se efectuó el análisis granulométrico del agregado fino y H67.

- Análisis granulométrico de agregado fino, Jicamarca.

Cuadro 4.4. Análisis granulométrico agregado fino.

Malla N°	Fracción Retenida g	Fracción Retenida %	Acumulado Ret %	Acum. que pasa %
3/8"	0	0	0	100
N°4	5.6	2	2	98
N°8	44.5	12	14	86
N°16	85	23	37	63
N°30	79	21	58	42
N°50	67.6	18	76	24
N°100	45.9	12	89	11
N°200	22.9	6.2	95	4.8
Base	17.8	4.8	100	
Total	368.1	100		

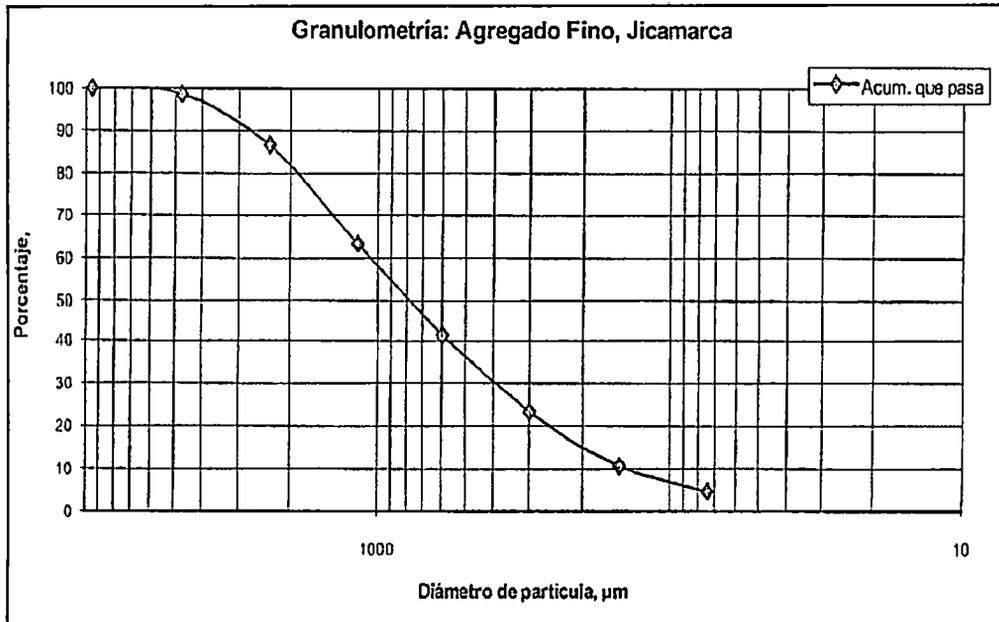


Gráfico 4.1. Perfil granulométrico agregado fino

- Análisis granulométrico de agregado grueso H67, Jicamarca.

Cuadro 4.5. Análisis granulométrico agregado H67.

Malla N°	Fracción Retenida g	Fracción Retenida %	Acumulado Ret %	Acum. que pasa %
3/4"	0	0	0	100
1/2"	2452.5	28	28	72
3/8"	2461.5	28	56	44
N°4	3450.5	39	95	5
N°8	239	3	98	2
N°16	49.3	1	98	2
N°30	24.8	0	99	1
N°50	17.5	0	99	1
N°100	17.3	0	99	1
N°200	21	0	99	0.7
Base	63	1	100	
Total	8796.3	100		

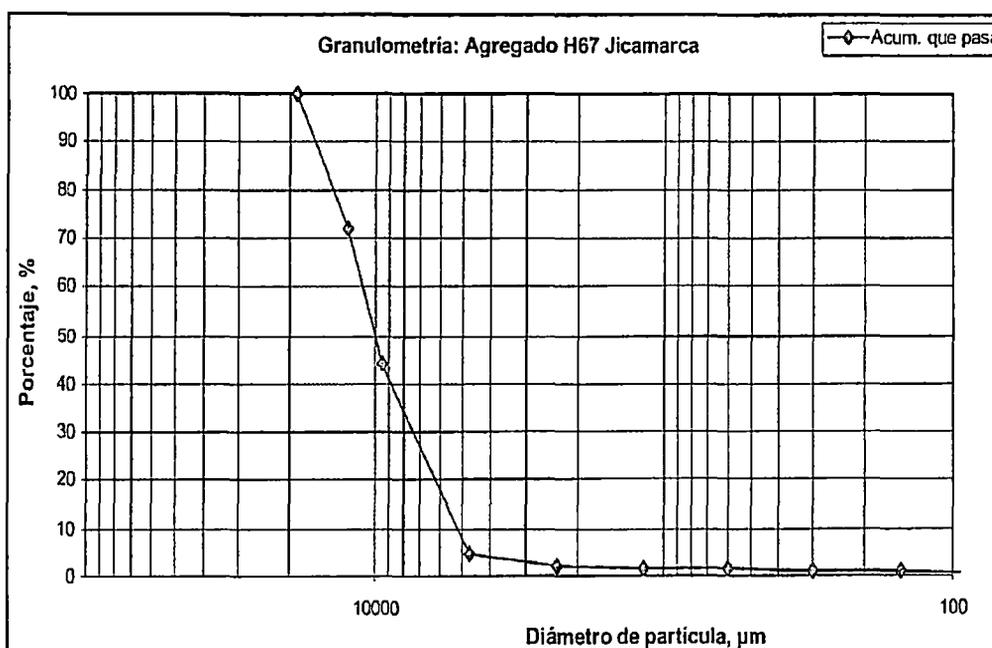


Gráfico 4.2. Perfil granulométrico agregado H67

4.3 ENSAYOS EN EL CONCRETO FRESCO.

Se realizaron ensayos para determinar las propiedades del concreto fresco.

Cuadro 4.6. Ensayos en el concreto fresco.

Ensayo	Norma ASTM	Unidad	DISEÑO f'c 280kg/cm2 a 36 horas
Determinación del asentamiento Inicial	C 143	pulg	9 3/4
Determinación del asentamiento 1 hora	C 143	pulg	9 1/4
Determinación del peso Unitario Real	C 138	kg/m3	2407
Determinación del contenido de aire real	C 231	%	2,3
Determinación de la temperatura ambiente inicial	C 1064	°C	22,7
Determinación de la temperatura del concreto inicial	C 1064	°C	19,4

CAPÍTULO V: RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LOS ENSAYOS

Se analizan resultados siguiendo los 2 procedimientos de ensayo (Laboratorio de Furnas y asesoría norteamericana), cada uno con un formato diferente de data; cabe resaltar que la data realizada con el laboratorio de Furnas no conlleva a buenos resultados, por lo que su descripción será a grandes rasgos y nos centraremos principalmente a la data tomada con la asesoría del Profesor Norteamericano Henry Russel.

5.1 RESULTADOS LABORATORIO FURNAS- BRASIL

5.1.1 Ensayo Resistencia a la Compresión y Módulo de elasticidad

a) Ensayo Resistencia a la Compresión

- 36 horas

ID	Diámetro(cm)	Carga Máxima de rotura(kg)
C-1	15,03	58000
C-2	15,27	58200
C-3	15,2	57400

Promedio de Resistencia: 320.23 kg/cm².

- 28 días

ID	Diámetro(cm)	Carga Máxima de rotura(kg)
C-1	15,00	74000
C-2	15.10	73325
C-3	15,20	71135

Promedio de resistencia: 406.72 kg/cm²

- 60 días

ID	Diámetro(cm)	Carga Máxima de rotura(kg)
C-1	15,00	99185
C-2	15.10	98315
C-3	15,20	98000

Promedio de resistencia: 550.11 kg/cm²

b) Módulo de elasticidad

Se toma el promedio de los dos ensayos realizados en cada una de las edades de carga 36 horas, 28 y 60 días, se muestra los resultados obtenidos a continuación.

- 36 horas

Diseño de Mezcla:	
Diámetro Especímen:	15,2
Longitud [cm]:	15,2
Area [cm ²]:	181,46
Densidad [kg/m ³]:	2362

$\sigma_{40\%} =$	112,07
$\epsilon_{40\%} =$	0,00030
$\sigma_1 =$	55,11
$\epsilon_1 =$	0,00005

Módulo Elástico Estático [kg/cm ²]	227692
--	--------

Carga [kg-f]	Lectura de Deformímetro				Def. Unit. [cm/cm]	Def. Unit. x 10E-4	Esfuerzo [kg/cm ²]
	Dial #1	Dial #2	Suma	Final			
0	0	0	0	0	0	0	0
8500	0	1,0	0,0001	0,0001	0,0000167	0,167	46,8
9000	0	2,0	0,0002	0,0002	0,0000333	0,333	49,6
9500	0	2,4	0,0002	0,0002	0,0000400	0,400	52,4
10000	0	3,0	0,0003	0,0003	0,0000500	0,500	55,1
10500	0	3,8	0,0004	0,0004	0,0000634	0,634	57,9
11000	0	4,5	0,0005	0,0005	0,0000750	0,750	60,6
12000	0	6,0	0,0006	0,0006	0,0001000	1,000	66,1
13000	0	7,5	0,0008	0,0008	0,0001250	1,250	71,6
14000	0	9,0	0,0009	0,0009	0,0001500	1,500	77,2
15000	0	10,4	0,0010	0,0010	0,0001734	1,734	82,7
16000	0	12,0	0,0012	0,0012	0,0002001	2,001	88,2
17000	0	13,0	0,0013	0,0013	0,0002167	2,167	93,7
18000	0	14,6	0,0015	0,0015	0,0002434	2,434	99,2
19000	0	16,0	0,0016	0,0016	0,0002668	2,668	104,7
20000	0	17,5	0,0018	0,0018	0,0002918	2,918	110,2
21000	0	19,0	0,0019	0,0019	0,0003168	3,168	115,7
22000	0	20,0	0,0020	0,0020	0,0003334	3,334	121,2

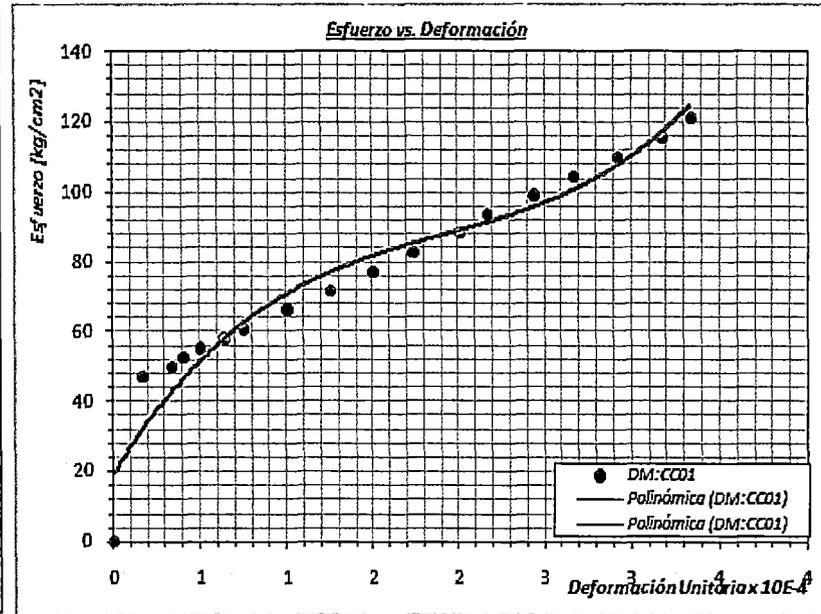


Fig. 5.1: Módulo de Elasticidad 1 - 36 horas: 227692 kg/cm²

Diseño de Mezcla:	
Diámetro Especimen:	15,2
Longitud [cm]:	15,2
Area [cm ²]:	181,46
Densidad [kg/m ³]:	2362

$\sigma_{40\%}$ =	112,07
$\epsilon_{40\%}$ =	0,00032
σ_1 =	49,68
ϵ_1 =	0,00005

Módulo Elástico Estático [kg/cm ²]	231331
--	--------

Carga [kg-f]	Lectura de Deformímetro				Def. Unit. [cm/cm]	Def. Unit. x 10E-4	Esfuerzo [kg/cm ²]
	Dial #1	Dial #2	Suma	Final			
6800	0	0	0	0	0	0	0
7500	0	1,0	0,0001	0,0001	0,0000167	0,167	41,3
10000	0	4,3	0,0004	0,0004	0,0000717	0,717	55,1
12500	0	8,0	0,0008	0,0008	0,0001334	1,334	68,9
15000	0	11,8	0,0012	0,0012	0,0001967	1,967	82,7
17500	0	15,0	0,0015	0,0015	0,0002501	2,501	96,4
20000	0	18,8	0,0019	0,0019	0,0003134	3,134	110,2
22500	0	21,6	0,0022	0,0022	0,0003601	3,601	124,0
25000	0	25,0	0,0025	0,0025	0,0004168	4,168	137,8

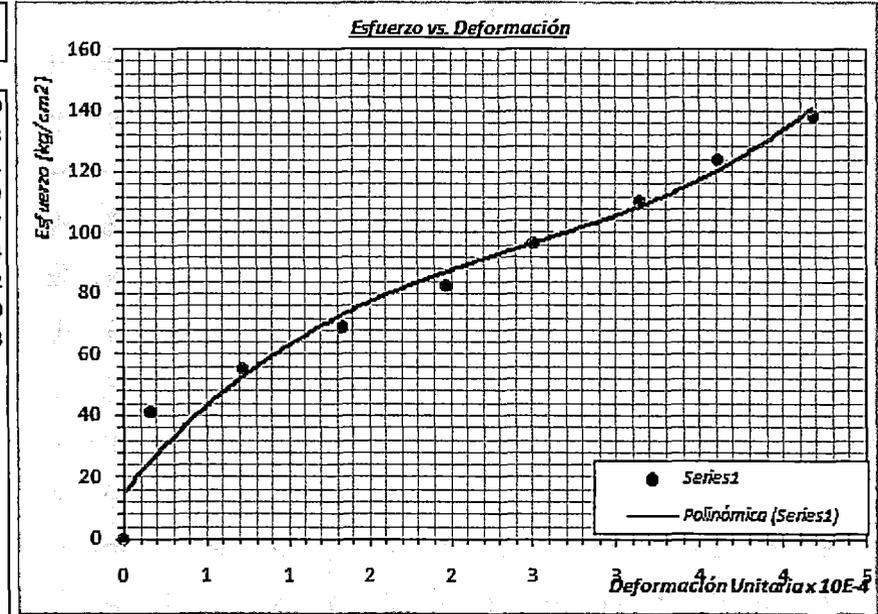


Fig. 5.2: Módulo de elasticidad 2 - 36 horas: 231 331 kg/cm²

Promedio de ensayo Módulo de Elasticidad
 36 horas: 226 512 Kg/cm²

- 28 días

Diámetro Especimen:	15,17
lectura patron:	3100
lectura sin carga .	3117
Longitud inicial [cm]:	15,204
Area [cm ²]:	180,74
Densidad [kg/m ³]:	2362

$\sigma_{40\%}$ =	142,35	Módulo	330312
$\epsilon_{40\%}$ =	0,00020	Elástico	
σ_1 =	93,34	Estático	
ϵ_1 =	0,00005	[kg/cm ²]	

Carga [kg-f]	Lectura de Deformímetro				Def. Unit. [cm/cm]	Def. Unit. x 10E-4	Esfuerzo [kg/cm ²]
	Dial #1	Dial #2	Suma	Final			
0	0	0	0	0	0	0	0
2500	0	0,0	0,0000	0,0000	0,0000000	0,000	13,8
5000	0	0,0	0,0000	0,0000	0,0000000	0,000	27,7
7500	0	0,0	0,0000	0,0000	0,0000000	0,000	41,5
10000	0	0,0	0,0000	0,0000	0,0000000	0,000	55,3
12500	0	0,0	0,0000	0,0000	0,0000000	0,000	69,2
15000	0	0,0	0,0000	0,0000	0,0000000	0,000	83,0
17500	0	4,0	0,0004	0,0004	0,0000668	0,668	96,8
20000	0	6,0	0,0006	0,0006	0,0001002	1,002	110,7
22500	0	8,0	0,0008	0,0008	0,0001336	1,336	124,5
25000	0	10,0	0,0010	0,0010	0,0001671	1,671	138,3
27500	0	14,0	0,0014	0,0014	0,0002339	2,339	152,1
30000	0	17,0	0,0017	0,0017	0,0002840	2,840	166,0
32500	0	20,0	0,0020	0,0020	0,0003341	3,341	179,8
35000	0	24,0	0,0024	0,0024	0,0004009	4,009	193,6
37500	0	27,0	0,0027	0,0027	0,0004511	4,511	207,5
40000	0	30,0	0,0030	0,0030	0,0005012	5,012	221,3

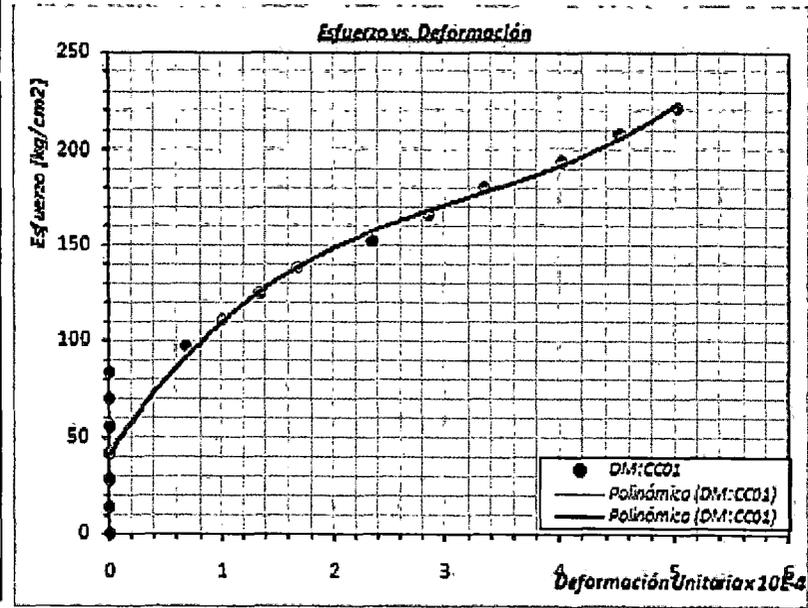


Fig. 5.3: Módulo de elasticidad 1 - 28 días: 330312 kg/cm²

Diámetro Especimen:	15,17
lectura patron:	3100
lectura sin carga .	3117
Longitud Inicial [cm]:	15,204
Area [cm2]:	180,74
Densidad [kg/m3]:	2362

$\sigma_{40\%}$ =	167,27
$\epsilon_{40\%}$ =	0,00031
σ_1 =	89,36
ϵ_1 =	0,00005

Módulo Elástico	303241
Estático [kg/cm2]	

Carga [kg-f]	Lectura de Deformímetro				Def. Unit. [cm/cm]	Def. Unit. x 10E-4	Esfuerzo [kg/cm2]
	Diat #1	Diat #2	Suma	Final			
0	0	0	0	0	0	0	0
2500	0	0,0	0,0000	0,0000	0,0000000	0,000	13,8
5000	0	0,0	0,0000	0,0000	0,0000000	0,000	27,7
7500	0	0,0	0,0000	0,0000	0,0000000	0,000	41,5
10000	0	0,0	0,0000	0,0000	0,0000000	0,000	55,3
12500	0	0,0	0,0000	0,0000	0,0000000	0,000	69,2
15000	0	0,0	0,0000	0,0000	0,0000000	0,000	83,0
17500	0	6,5	0,0007	0,0007	0,0001086	1,086	96,8
20000	0	7,0	0,0007	0,0007	0,0001169	1,169	110,7
22500	0	8,0	0,0008	0,0008	0,0001336	1,336	124,5
25000	0	11,0	0,0011	0,0011	0,0001838	1,838	138,3
27500	0	15,0	0,0015	0,0015	0,0002506	2,506	152,1
30000	0	18,0	0,0018	0,0018	0,0003007	3,007	166,0
32500	0	22,0	0,0022	0,0022	0,0003675	3,675	179,8
35000	0	24,0	0,0024	0,0024	0,0004009	4,009	193,6
37500	0	28,0	0,0028	0,0028	0,0004678	4,678	207,5
40000	0	29,0	0,0029	0,0029	0,0004845	4,845	221,3

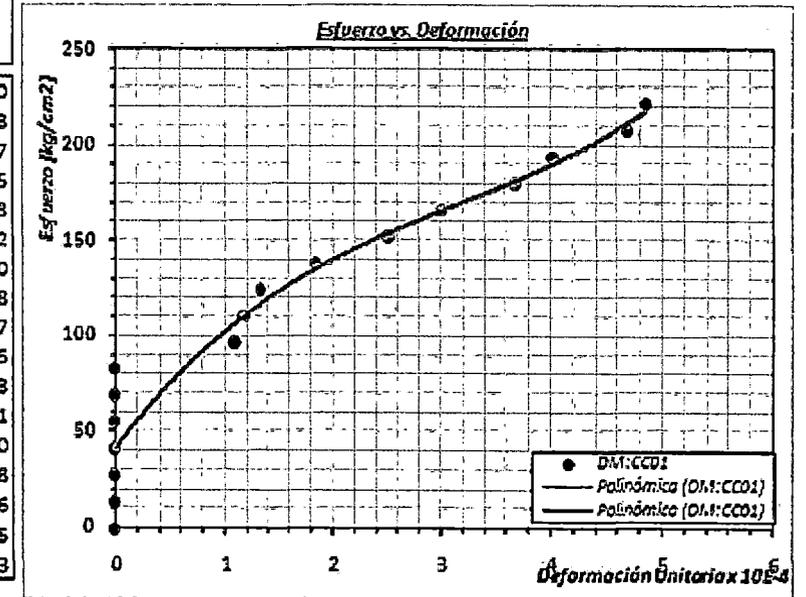


Fig. 5.4: Módulo de elasticidad 2 - 28 días: 303241 kg/cm²

Promedio de ensayo Módulo de Elasticidad
 28 días: 316776.5 Kg/cm2

- 60 días

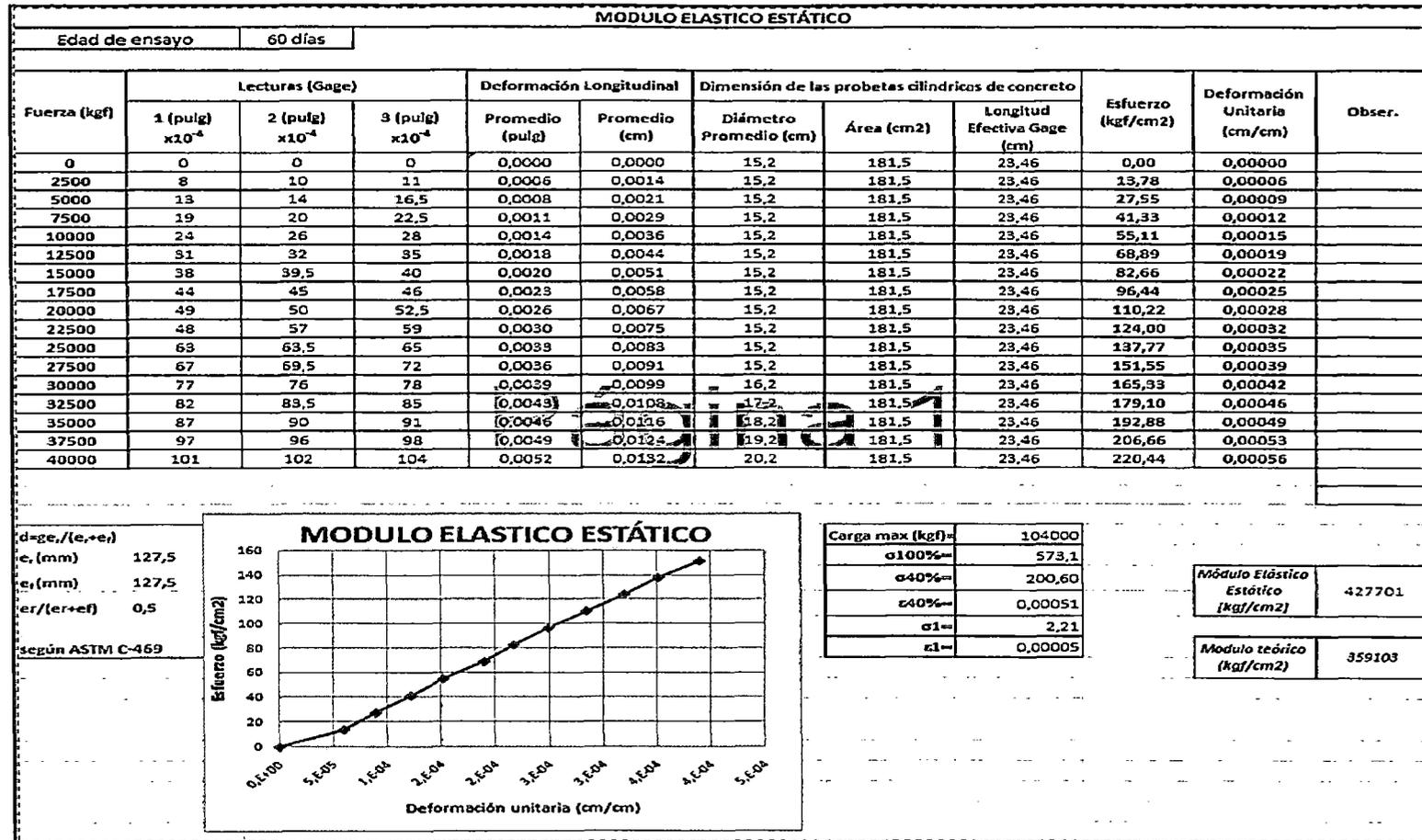


Fig. 5.5: Módulo de elasticidad 1 - 60 días: 427701 kg/cm²

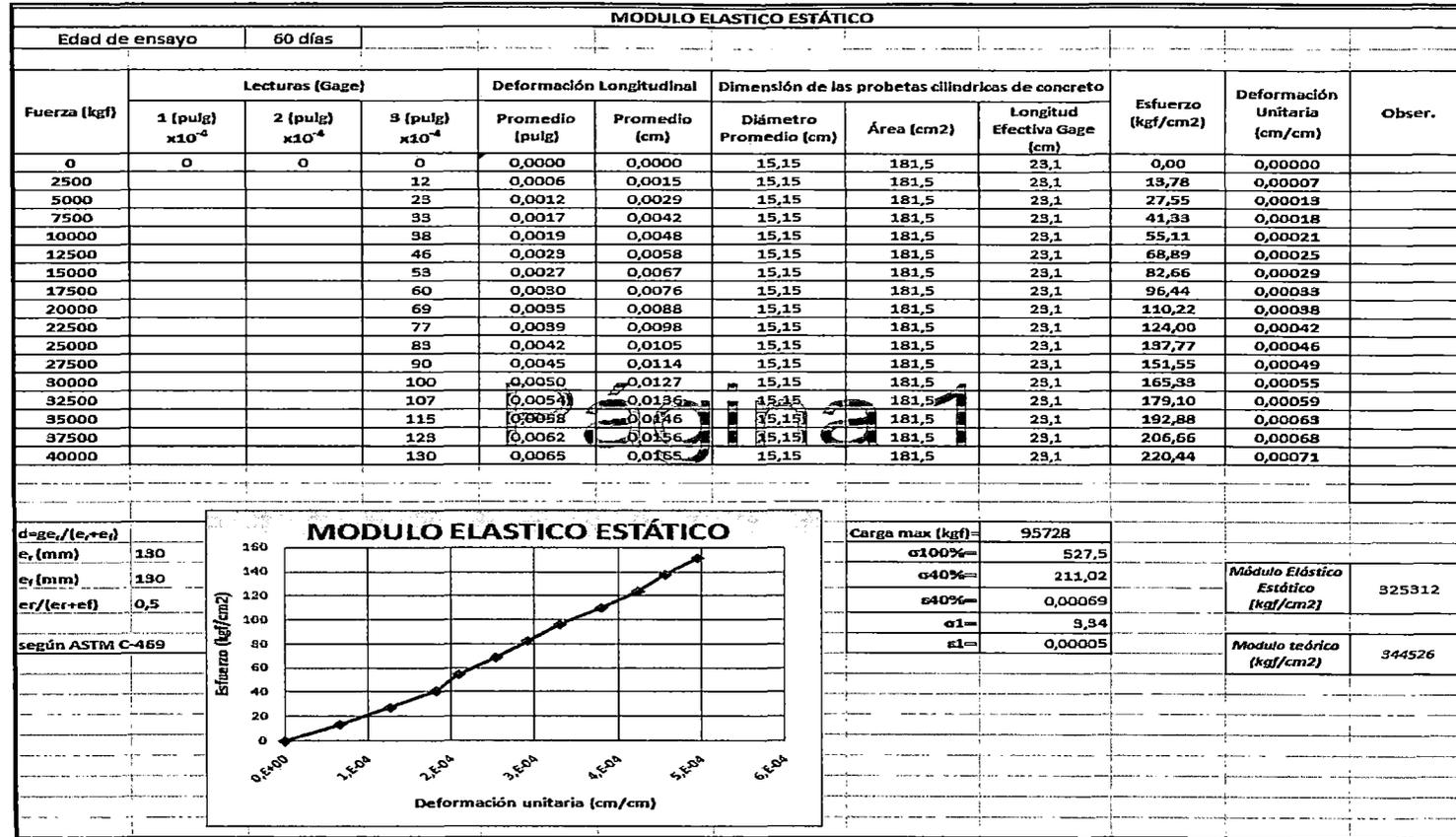


Fig. 5.6: Módulo de elasticidad 2 – 60 días: 325312 kg/cm²

Promedio de ensayo Módulo de Elasticidad
60 días: 316776.5 Kg/cm²

5.1.2 Ensayo de Contracción

a) Resultado de ensayo de contracción 36 horas

Dentro del ensayo de contracción se efectuaron probetas selladas y no selladas, se muestra a continuación la data tomada.

- Probeta sellada :

CONTRACCIÓN DEL CONCRETO									
Proyecto		Metro de Lima		Dmáx (mm)			154	Dimensión de probetas 6" x 12"	
Código de Mezcla				Cantidad de pares de apoyo			3	Equipo utilizado para medición: Whittemore	
Fecha de Vaciado		07/07/2012		Longitud referencia (mm)			152	Edad: 36 Horas	
Fecha	Edad	Hora	Medición (10-4 pulgadas)				Temperatura	Humedad Relativa (%HR)	Operador
			Patrón	A	B	C	Ambiente (°C)		
11/7/12	36 h+	7:17	3100	4220	2824	3085	25,1	46	EIP
11/7/12	36 h+	14:54	3100	4221	2838	3086	24,9	51	EIP
11/7/12	36 h+	18:54	3100	4227	2850	3095	24,8	44	EIP
12/7/12	36h+	8:10	3100	4232	2855	3095	24,0	51	JBP
12/7/12	36 h+	12:00	3100	4227	2836	3093	23,3	51	JBP
12/7/12	36 h+	18:00	3100	4219	2824	3092	23,8	51	JBP
13/7/12	36h+	8:15	3100	4225	2831	3096	23,0	51	JBP
13/7/12	36 h+	12:13	3100	4227	2830	3095	22,9	51	JBP
13/7/12	36 h+	18:20	3100	4232	2835	3097	23,0	51	JBP
14/7/12	36 h+	8:22	3100	4231	2836	3098	23,2	51	JBP
14/7/12	36 h+	12:21	3100	4231	2833	3093	24,3	49	JBP
14/7/12	36 h+	16:20	3100	4231	2833	3092	24,1	52	JBP
15/7/12	36 h+	8:31	3100	4231	2834	3094	24,6	48	JBP
16/7/12	36 h+	8:44	3100	4230	2831	3094	23,5	48	JBP
17/7/12	36 h+	9:01	3100	4227	2835	3099	23,1	46	JBP

Fecha	Edad	Hora	Medición (10-4 pulgadas)				Temperatura	Humedad Relativa (%HR)	Operador
			Patrón	A	B	C	Ambiente (°C)		
18/7/12	36 h+	9:27	3100	4226	2839	3104	22,6	52	JBP
19/7/12	36 h+	9:36	3100	4228	2841	3105	22,8	51	MAC
20/7/12	36 h+	9:20	3100	4232	2842	3104	22,0	48	MAC
21/7/12	36 h+	9:20	3100	4232	2840	3102	23,6	50	MAC
22/7/12	36 h+	9:07	3100	4233	2841	3103	23,1	51	MAC
23/7/12	36 h+	9:35	3100	4233	2842	3103	24,1	52	MAC
24/7/12	36 h+	8:50	3100	4234	2844	3104	22,0	47	MAC
25/7/12	36 h+	9:15	3100	4236	2844	3104	23,3	51	MAC
26/7/12	36 h+	8:50	3100	4236	2846	3103	22,0	51	MAC
27/7/12	36 h+	9:40	3100	4237	2846	3105	22,9	51	MAC
28/7/12	36 h+	8:10	3100	4237	2847	3106	22,9	50	MAC
30/7/12	36 h+	9:10	3100	4237	2849	3107	22,8	50	MAC
31/7/12	36 h+	9:10	3100	4238	2850	3109	22,9	51	MAC
1/8/12	36 h+	8:40	3100	4240	2853	3111	22,5	51	MAC
2/8/12	36 h+	10:10	3100	4240	2853	3111	22,8	51	MAC
3/8/12	36 h+	9:40	3100	4240	2853	3112	23,0	50	MAC
4/8/12	36 h+	8:40	3100	4241	2854	3112	22,8	50	MAC
6/8/12	36 h+	9:07	3100	4241	2855	3113	21,4	50	MAC
7/8/12	36 h+	9:27	3100	4241	2856	3114	21,1	52	MAC
8/8/12	36 h+	9:46	3100	4241	2857	3114	21,0	51	MAC
9/8/12	36 h+	10:10	3100	4241	2857	3114	21,0	50	MAC
10/8/12	36 h+	10:10	3100	4242	2857	3115	22,8	51	MAC
11/8/12	36 h+	9:45	3100	4242	2858	3115	21,4	52	MAC
13/8/12	36 h+	3:05	3100	4243	2858	3115	22,3	51	MAC
14/8/12	36 h+	8:15	3100	4243	2858	3115	22,1	50	MAC
16/8/12	36 h+	8:15	3100	4244	2858	3116	22,8	50	MAC
17/8/12	36 h+	8:15	3100	4244	2859	3117	22,8	50	MAC
18/8/12	36 h+	9:10	3100	4243	2859	3117	22,6	50	MAC
20/8/12	36 h+	9:15	3100	4243	2840	3118	22,8	50	MAC
21/8/12	36 h+	12:05	3100	4244	2840	3119	21,9	51	MAC
22/8/12	36 h+	12:10	3100	4244	2844	3119	21,9	51	MAC
23/8/12	36 h+	12:10	3100	4244	2845	3119	21,9	50	MAC
24/8/12	36 h+	10:35	3100	4244	2845	3120	22,6	51	MAC
25/8/12	36 h+	10:02	3100	4244	2846	3121	22,9	50	MAC
27/8/12	36 h+	09:10	3100	4244	2846	3122	23,6	50	MAC

Fecha	Edad	Hora	Medición (10.4 pulgadas)				Temperatura	Humedad Relativa (%HR)	Operador
			Patrón	A	B	C	Ambiente (°C)		
28/8/12	36 h+	9:10	3100	4244	2846	3122	23,6	50	MAC
29/8/12	36 h+	9:10	3100	4244	2847	3123	23	50	MAC
30/8/12	36 h+	9:10	3100	4244	2847	3123	22,9	50	MAC
31/8/12	36 h+	9:10	3100	4244	2848	3124	23,4	50	MAC
1/9/12	36 h+	12:12	3100	4244	2848	3124	22,5	50	MAC
3/9/12	36 h+	10:38	3100	4244	2848	3124	22,9	50	MAC
4/9/12	36 h+	8:09	3100	4244	2848	3124	22,1	50	MAC
5/9/12	36 h+	11:25	3100	4244	2848	3125	23,4	50	MAC
6/9/12	36 h+	12:09	3100	4244	2849	3125	23,5	50	MAC
7/9/12	36 h+	3:05	3100	4244	2849	3125	23,5	50	MAC
8/9/12	36 h+	10:04	3100	4245	2849	3126	22,1	50	MAC
10/9/12	36 h+	12:09	3100	4245	2849	3126	22,1	50	MAC

- Probeta no sellada

CONTRACCIÓN DEL CONCRETO										
Proyecto		Metro de Lima		Dmáx (mm)			153		Dimensión de probetas 6" x 12"	
Código de Mezcla		Cantidad de pares de apoyo			3			Equipo utilizado para medición: Whittemore		
Fecha de Vaciado		07/07/2012		Distancia nominal de contactos (mm)			152		Edad: 36 Horas	
Fecha	Edad	Hora	Medición (10.4 pulgadas)				Temperatura	Humedad Relativa (%HR)	Operador	
			Patrón	A	B	C	Ambiente (°C)			
11/7/12	36 h+	7:08	3100	4018	3683	4103	24,9	50	EIP	
11/7/12	36 h+	14:50	3100	4022	3639	4105	24,9	51	EIP	
11/7/12	36 h+	18:40	3100	4030	3682	4106	24,2	43	EIP	
12/7/12	36h+	8:15	3100	4040	3694	4116	24,1	52	JBP	
12/7/12	36 h+	12:10	3100	4036	3683	4111	24,4	48	JBP	
12/7/12	36 h+	18:10	3100	4025	3678	4096	24,4	48	JBP	
13/7/12	36h+	8:20	3100	4035	3679	4110	23,6	50	JBP	
13/7/12	36 h+	12:16	3100	4039	3683	4103	23,4	50	JBP	

Fecha	Edad	Hora	Medición (10 ⁻⁴ pulgadas)				Temperatura	Humedad	Operador
			Patrón	A	B	C	Ambiente (°C)	Relativa (%HR)	
13/7/12	36 h+	18:20	3100	4040	3685	4106	23,0	50	JBP
14/7/12	36h+	8:25	3100	4042	3689	4109	23,0	49	JBP
14/7/12	36 h+	12:37	3100	4041	3691	4111	24,0	51	JBP
14/7/12	36 h+	16:10	3100	4041	3689	4111	24,0	50	JBP
15/7/12	36 h+	8:59	3100	4041	3690	4111	23,9	53	JBP
16/7/12	36 h+	8:58	3100	4042	3693	4111	22,9	47	JBP
17/7/12	36 h+	9:14	3100	4044	3693	4112	22,9	49	JBP
18/7/12	36 h+	9:18	3100	4040	3690	4113	22,9	50	MAC
19/7/12	36 h+	9:33	3100	4055	3694	4125	23,0	51	MAC
20/7/12	36 h+	9:25	3100	4056	3695	4126	23,8	51	MAC
21/7/12	36 h+	9:23	3100	4056	3697	4128	22,9	50	MAC
22/7/12	36 h+	9:12	3100	4057	3698	4127	22,9	51	MAC
23/7/12	36 h+	9:30	3100	4057	3698	4128	23,0	50	MAC
24/7/12	36 h+	8:55	3100	4060	3700	4130	23,0	54	MAC
25/7/12	36 h+	9:18	3100	4060	3703	4132	23,0	52	MAC
26/7/12	36 h+	8:53	3100	4065	3704	4134	22,6	52	MAC
27/7/12	36 h+	9:42	3100	4066	3705	4136	22,5	51	MAC
28/7/12	36 h+	8:12	3100	4066	3706	4137	22,4	50	MAC
30/7/12	36 h+	9:12	3100	4066	3708	4137	22,5	52	MAC
31/7/12	36 h+	9:12	3100	4067	3709	4138	22,8	51	MAC
1/8/12	36 h+	8:43	3100	4067	3711	4141	21,9	52	MAC
2/8/12	36 h+	10:15	3100	4068	3712	4140	21,8	52	MAC
3/8/12	36 h+	9:43	3100	4071	3713	4141	21,5	52	MAC
4/8/12	36 h+	8:37	3100	4071	3715	4143	22,8	51	MAC
6/8/12	36 h+	9:03	3100	4074	3716	4146	21,2	51	MAC
7/8/12	36 h+	9:35	3100	4075	3717	4148	21,3	51	MAC
8/8/12	36 h+	9:40	3100	4077	3717	4151	21,0	51	MAC
9/8/12	36 h+	10:13	3100	4077	3717	4151	22,8	50	MAC
10/8/12	36 h+	10:13	3100	4079	3717	4150	22,9	50	MAC
11/8/12	36 h+	9:48	3100	4079	3717	4151	21,8	51	MAC
13/8/12	36 h+	3:08	3100	4080	3717	4153	22,0	50	MAC
14/8/12	36 h+	8:18	3100	4081	3718	4154	22,0	51	MAC
16/8/12	36 h+	8:18	3100	4083	3718	4154	22,8	50	MAC
17/8/12	36 h+	8:18	3100	4085	3718	4154	22,8	50	MAC
18/8/12	36 h+	9:15	3100	4085	3719	4155	22,6	51	MAC

Fecha	Edad	Hora	Medición (10 ⁻⁴ pulgadas)				Temperatura	Humedad	Operador
			Patrón	A	B	C	Ambiente (°C)	Relativa (%HR)	
20/8/12	36 h+	9:18	3100	4085	3719	4155	22,8	51	MAC
21/8/12	36 h+	12:10	3100	4086	3719	4156	21,9	49	MAC
22/8/12	36 h+	12:13	3100	4085	3719	4154	21,9	51	MAC
23/8/12	36 h+	12:13	3100	4085	3720	4155	21,9	50	MAC
24/8/12	36 h+	10:38	3100	4085	3720	5456	22,9	50	MAC
25/8/12	36 h+	10:05	3100	4086	3721	4156	21,6	51	MAC
27/8/12	36 h+	9:13	3100	4086	3722	4157	23,6	50	MAC
28/8/12	36 h+	9:13	3100	4086	3722	4157	23,6	50	MAC
29/8/12	36 h+	9:13	3100	4086	3722	4157	23,0	50	MAC
30/8/12	36 h+	9:13	3100	4086	3723	4158	22,9	50	MAC
31/8/12	36 h+	9:13	3100	4086	3724	4158	23,4	50	MAC
1/9/12	36 h+	12:15	3100	4086	3724	4158	22,5	50	MAC
3/9/12	36 h+	10:41	3100	4086	3724	4158	22,9	50	MAC
4/9/12	36 h+	8:12	3100	4086	3724	4158	22,1	50	MAC
5/9/12	36 h+	11:28	3100	4086	3724	4159	23,4	50	MAC
6/9/12	36 h+	12:12	3100	4087	3724	4159	23,5	50	MAC
7/9/12	36 h+	3:09	3100	4087	3724	4159	23,5	50	MAC
8/9/12	36 h+	10:07	3100	4087	3724	4160	22,1	50	MAC
10/9/12	36 h+	12:12	3100	4088	3725	4160	22,1	50	MAC

b) Resultado de ensayo de contracción 28 días.

- Probeta sellada

CONTRACCIÓN DEL CONCRETO				
Proyecto	Metro de Lima	D _{máx} (mm)	150	Dimensión de probetas 6" x 12"
Código de Mezcla		Cantidad de pares de apoyo	3	Equipo utilizado para medición: Whittemore.
Fecha de Vaciado	09/07/12	Distancia nominal de contactos (mm)	152	Edad: 36 Horas

Fecha	Edad	Hora	Medición (10 ⁻⁴ pulgadas)				Temperatura	Humedad Relativa (%HR)	Operador
			Patrón	A	B	C	Ambiente (°C)		
6/8/12	28 días	16:15	3100	2889	2851	3097	21,6	52	MAC
6/8/12	28 días	17:48	3100	2889	2851	3097	21,9	50	MAC
7/8/12	28 días	11:45	3100	2889	2850	3098	21,0	50	MAC
7/8/12	28 días	17:48	3100	2889	2851	3100	21,5	50	MAC
8/8/12	28 días	9:38	3100	2890	2853	3102	21,0	51	MAC
8/8/12	28 días	18:24	3100	2890	2853	3103	21,0	51	MAC
9/8/12	28 días	10:05	3100	2893	2853	3105	22,6	50	MAC
9/8/12	28 días	12:05	3100	2893	2853	3104	22,6	50	MAC
9/8/12	28 días	17:36	3100	2895	2854	3104	22,6	50	MAC
10/8/12	28 días	10:23	3100	2897	2855	3106	22,6	50	MAC
11/8/12	28 días	10:00	3100	2897	2855	3107	22,8	51	MAC
13/8/12	28 días	3:20	3100	2899	2856	3108	22,9	51	MAC
14/8/12	28 días	8:30	3100	2899	2856	3109	22,8	50	MAC
16/8/12	28 días	8:30	3100	2900	2858	3111	22,8	50	MAC
17/8/12	28 días	8:30	3100	2900	2859	3112	22,8	50	MAC
18/8/12	28 días	9:27	3100	2901	2860	3112	22,9	50	MAC
20/8/12	28 días	9:30	3100	2902	2860	3113	22,8	50	MAC
21/8/12	28 días	12:20	3100	2903	2862	3114	21,9	49	MAC
22/8/12	28 días	12:25	3100	2900	2862	3114	21,9	51	MAC
23/8/12	28 días	12:25	3100	2900	2862	3115	21,9	51	MAC
24/8/12	28 días	10:53	3100	2900	2862	3115	22,9	51	MAC
25/8/12	28 días	10:15	3100	2900	2862	3115	22,6	50	MAC
27/8/12	28 días	9:22	3100	2900	2861	3115	23,9	50	MAC
28/8/12	28 días	9:22	3100	2900	2861	3115	23,6	50	MAC
29/8/12	28 días	9:22	3100	2900	2861	3115	23,0	50	MAC
30/8/12	28 días	9:22	3100	2900	2862	3115	22,9	50	MAC
31/8/12	28 días	9:22	3100	2900	2862	3115	23,4	50	MAC
1/9/12	28 días	12:24	3100	2900	2862	3115	22,5	50	MAC
3/9/12	28 días	10:50	3100	2900	2862	3115	22,9	50	MAC
4/9/12	28 días	8:21	3100	2901	2862	3115	22,1	50	MAC
5/9/12	28 días	11:37	3100	2901	2862	3115	23,4	50	MAC
6/9/12	28 días	12:21	3100	2901	2863	3115	23,5	50	MAC
7/9/12	28 días	3:18	3100	2902	2863	3115	23,5	50	MAC
8/9/12	28 días	10:17	3100	2902	2863	3116	22,1	50	MAC

c) Resultado de ensayo de contracción 60 días

- Probeta sellada.

CONTRACCIÓN DEL CONCRETO									
Proyecto		Metro de Lima		Dmáx (mm)		151		Dimensión de probetas 6" x 12"	
Código de Mezcla				Cantidad de pares de apoyo		3		Equipo utilizado para medición: Whittemore	
Fecha de Vaciado		09/07/2012		Distancia nominal de contactos (mm)		152		Edad: 36 Horas	
Fecha	Edad	Hora	Medición (10-4 pulgadas)				Temperatura	Humedad Relativa (%HR)	Operador
			Patrón	A	B	C	Ambiente (°C)		
7/9/12	60 días	4:00	3100	2964	2867	3200	23,4	50	MAC
8/9/12	60 días	6:00	3100	2965	2868	3203	22,1	50	MAC
9/9/12	60 días	8:05	3100	2965	2868	3203	22,1	50	MAC
9/9/12	60 días	12:04	3100	2966	2868	3203	22,1	50	MAC
9/9/12	60 días	18:05	3100	2966	2868	3203	22,1	50	MAC
10/9/12	60 días	8:50	3100	2967	2869	3204	24,0	50	MAC
11/9/12	60 días	9:15	3100	2968	2870	3205	24,0	50	MAC
12/9/12	60 días	8:50	3100	2968	2870	3205	23,9	50	MAC
13/9/12	60 días	9:40	3100	2969	2871	3206	22,9	50	MAC
14/9/12	60 días	8:10	3100	2970	2872	3207	22,9	51	MAC
15/9/12	60 días	9:10	3100	2971	2873	3208	22,9	51	MAC
16/9/12	60 días	9:10	3100	2972	2874	3209	23,0	50	MAC
17/9/12	60 días	8:40	3100	2972	2874	3209	23,8	50	MAC
18/9/12	60 días	10:10	3100	2973	2875	3210	22,9	50	MAC
19/9/12	60 días	9:40	3100	2974	2876	3211	22,9	50	MAC
20/9/12	60 días	8:40	3100	2974	2876	3211	23,0	50	MAC
21/9/12	60 días	9:07	3100	2975	2877	3212	23,0	49	MAC
22/9/12	60 días	9:27	3100	2976	2878	3213	23,0	51	MAC
23/9/12	60 días	9:46	3100	2977	2879	3214	22,6	51	MAC
24/9/12	60 días	10:10	3100	2978	2880	3215	22,5	51	MAC

Fecha	Edad	Hora	Medición (10-4.pulgadas)				Temperatura	Humedad	Operador
			Patrón	A	B	C	Ambiente (°C)	Relativa (%HR)	
25/9/12	60 días	10:10	3100	2978	2880	3215	22,4	50	MAC
26/9/12	60 días	9:45	3100	2979	2881	3216	22,5	50	MAC
27/9/12	60 días	3:05	3100	2980	2882	3217	22,8	50	MAC
28/9/12	60 días	8:15	3100	2981	2883	3218	21,9	50	MAC
29/9/12	60 días	8:15	3100	2982	2884	3219	21,8	50	MAC
30/9/12	60 días	8:15	3100	2983	2885	3220	21,5	51	MAC
1/10/12	60 días	9:10	3100	2983	2885	3220	22,8	51	MAC
2/10/12	60 días	9:15	3100	2984	2886	3221	21,2	52	MAC
3/10/12	60 días	12:05	3100	2985	2887	3222	21,3	51	MAC
4/10/12	60 días	12:10	3100	2986	2888	3223	21,0	50	MAC
5/10/12	60 días	12:10	3100	2987	2889	3224	22,8	50	MAC

5.1.3 Ensayo de Fluencia

Se realizaron toma de datos de probetas selladas y no selladas para las edades de carga 36 horas, 28 días y 60 días.

Las calibraciones de los gatos hidráulicos que se utilizaron se pueden ver en el anexo A.

a) Resultados de ensayo de fluencia 36 horas

- Probetas selladas

FLUENCIA DEL CONCRETO EN COMPRESIÓN (ASTM C 512)						Marco
						C-001
Programa de estudios	Metro de Lima	D _{máx} (mm)	152	Dimensión de Probeta	6" x 12"	
Código de Diseño		f _{ck} 28 (MPa)	42,0	Edad de Ensayo	36 horas	
Retracción autógena	R-001	Vol. de pasta (L/m³)	366	Lectura inicial (pulg) x 10 ⁻⁴	3100	
N° de Gata:	1	Carga aplicada (kgf/cm²)	106	Carga en manómetro (kg/m²)	150	
				Condición de probetas	Selladas	
Marco # 1	Distancia en pulgadas entre los puntos de contacto; precisión de la lectura: 4 dígitos después de punto decimal.					Condición ambiental

Fecha	Edad	Probeta P1					Probeta P2					HR %	T (C°)
		Hora	Tipo de ensayo	0°	90°	180°	Hora	Tipo de ensayo	0°	90°	180°		
11/7/12	36 h+	13:20	sin carga	2472	2828	2668	9:39	sin carga	1422	2385	2233	45	24,8
11/7/12	36 h+	13:20	con carga	2567	2905	2696	9:39	con carga	1542	2454	2245	-	-
11/7/12	2 min	13:22		2564	2892	2672	9:41		1525	2453	2245	-	-
11/7/12	4 min	13:24		2569	2881	2677	9:43		1535	2452	2244	46	24,9
11/7/12	7 min	13:27		2565	2903	2672	9:46		1541	2462	2257	-	-
11/7/12	15 min	13:35		2575	2885	2675	9:54		1538	2473	2258	48	25,1
11/7/12	20 min	13:40		2594	2936	2710	9:59		1535	2463	2250	-	-
11/7/12	30 min	13:50		2576	2903	2688	10:09		1534	2465	2250	45	23,4
11/7/12	40 min	14:00		2571	2891	2680	10:19		1522	2451	2249	50	25,0
11/7/12	60 min	14:20		2569	2890	2674	10:39		1521	2461	2250	51	24,6
11/7/12	2 hrs	15:20		2590	2895	2675	11:39		1530	2470	2256	51	24,7
11/7/12	4 hrs	17:20		2585	2905	2683	13:39		1530	2470	2253	46	25,1
11/7/12	7 hrs	20:20		2586	2919	2690	16:39		1533	2474	2258	41	22,1
12/7/12	24 hrs	8:35		2584	2935	2690	8:35		1535	2496	2262	50	21,9
12/7/12	28 hrs	12:35		2585	2932	2692	12:35		1544	2480	2260	51	22
12/7/12	1 día	18:35		2600	2932	2689	18:35		1530	2472	2256	49	23,5
13/7/12	2 días	8:35		2605	2929	2672	8:35		1542	2483	2291	51	23,1
13/7/12	2 días	12:35		2605	2929	2673	12:35		1542	2488	2265	50	23,9
13/7/12	2 días	18:35		2607	2930	2675	18:35		1546	2489	2268	51	23,1
14/7/12	3 días	8:35		2610	2930	2679	8:35		1547	2491	2269	51	23,9
14/7/12	3 días	12:35		2611	2931	2680	12:35		1548	2496	2272	51	24,4
14/7/12	3 días	16:35		2612	2933	2681	16:35		1549	2497	2273	54	24,1
15/7/12	4 días	8:28		2614	2935	2682	8:28		1550	2497	2275	52	23,6
16/7/12	5 días	8:35		2616	2939	2685	8:35		1555	2504	2277	49	23,1
17/7/12	6 días	18:00		2617	2940	2687	18:00		1558	2506	2279	52	23,1
17/7/12	7 días	8:50		2617	2952	2704	8:50		1565	2507	2279	50	22,6
18/7/12	8 días	9:08		2618	2962	2707	9:08		1567	2507	2284	51	22,5
19/7/12	9 días	9:10		2626	2966	2714	9:10		1569	2514	2291	51	22,4
20/7/12	10 días	9:05		2635	2968	2723	9:05		1574	2516	2292	51	23
21/7/12	11 días	8:35		2636	2969	2725	8:35		1575	2517	2293	50	22,9
22/7/12	12 días	8:35		2639	2971	2725	8:35		1580	2519	2294	51	22,8
23/7/12	13 días	9:35		2640	2972	2730	9:35		1583	2522	2295	51	22,9
24/7/12	14 días	8:35		2642	2975	2733	8:35		1585	2529	2296	51	23,1
25/7/12	15 días	8:35		2645	2983	2736	8:35		1587	2534	2297	51	23
26/7/12	16 días	8:35		2646	2990	2739	8:35		1589	2539	2300	51	23

Fecha	Edad	Probeta P1					Probeta P2					HR %	T (C°)
		Hora	Tipo de ensayo	0°	90°	180°	Hora	Tipo de ensayo	0°	90°	180°		
27/7/12	17días	9:35		2647	2991	2741	9:35		1592	2539	2302	51	22,6
28/7/12	18días	8:05		2648	2995	2742	8:05		1597	2541	2303	50	22,9
30/7/12	20días	9:05		2650	3000	2743	9:05		1600	2544	2305	52	22,4
31/7/12	21días	9:05		2656	3003	2750	9:05		1603	2547	2310	50	22,4
1/8/12	22días	8:35		2659	3006	2756	8:35		1609	2550	2314	51	22,9
2/8/12	23días	10:05		2661	3007	2758	10:05		1611	2552	2319	50	22
3/8/12	24días	9:35		2662	3007	2760	9:35		1615	2554	2320	49	22
4/8/12	25días	8:35		2663	3009	2765	8:35		1618	2555	2323	50	22,9
6/8/12	26días	8:44		2668	3011	2765	8:44		1622	2558	2325	51	21
7/8/12	27días	9:20		2672	3014	2769	9:20		1624	2560	2327	50	21,4
8/8/12	28días	9:23		2675	3017	2772	9:23		1627	2565	2332	51	20,8
9/8/12	30días	10:05		2676	3018	2772	10:05		1630	2565	2333	51	22,9
10/8/12	31días	10:05		2678	3021	2774	10:05		1630	2567	2335	51	22,9
11/8/12	33días	9:35		2678	3021	2774	9:35		1630	2569	2334	51	22,9
13/8/12	35días	2:55		2680	3024	2775	2:55		1633	2574	2337	50	21,9
14/8/12	36días	8:05		2683	3028	2777	8:05		1636	2576	2338	50	21,8
16/8/12	38días	8:05		2685	3028	2782	8:05		1641	2579	2340	50	21,9
17/8/12	38días	8:05		2686	3029	2783	8:00		1643	2581	2342	50	21,9
18/8/12	39días	8:40		2688	3030	2784	9:00		1644	2582	2345	50	21,9
20/8/12	42días	9:05		2690	3033	2790	9:05		1645	2583	2346	50	21,9

- Probetas no selladas

FLUENCIA DEL CONCRETO EN COMPRESIÓN (ASTM C 512)					Marco	
					C-002	
Proyecto	Metro de Lima	Dmáx (mm)	153	Dimensión de Probeta	6" x 12"	
Código de Mezcla		fck 28 (MPa)	42,0	Edad de Ensayo	36 horas	
Retracción autógena		Vol. de pasta (L/m³)	366	Lectura inicial (pulg) x 10 ⁻⁴	3100	
N° de Gata:	2	Carga aplicada (kgf/cm²)	132,26	Carga en manómetro (kg/m²)	150	
					Condición de probetas	Sin sello
Marco # 2	Distancia en pulgadas entre los puntos de contacto; precisión de la lectura: 4 dígitos después de punto decimal.				Condición ambiental	

Fecha	Edad	Hora	Probeta P3			Probeta P4			HR %	T (C°)			
			Tipo de ensayo	0°	90°	180°	Hora	Tipo de ensayo			0°	90°	180°
21/7/12	36 h+	12:05	sin carga	3586	1649	2508	12:05	sin carga		3637	2599	48	25,1
21/7/12	36 h+	12:05	con carga	3588	1662	2512	12:05	con carga		3648	2626	53	24,9
21/7/12	2 min	12:07		3594	1663	2514	12:07			3650	2626	50	23,9
21/7/12	4 min	12:09		3597	1665	2516	12:09			3650	2632	51	24,1
21/7/12	7 min	12:12		3601	1667	2517	12:12			3652	2633	48	23,4
21/7/12	15 min	12:20		3602	1667	2518	12:20			3653	2635	51	23,5
21/7/12	20 min	12:25		3603	1668	2518	12:25			3655	2636	48	22,9
21/7/12	30 min	12:35		3604	1668	2519	12:35			3657	2637	50	22,9
21/7/12	40 min	12:45		3605	1668	2521	12:45			3659	2638	50	23,0
21/7/12	60 min	13:05		3605	1668	2524	13:05			3661	2639	50	23,9
21/7/12	2 hrs	14:05		3606	1669	2527	14:05			3665	2643	50	23,8
21/7/12	4 hrs	16:05		3609	1670	2529	16:05			3667	2646	50	23,9
21/7/12	7 hrs	19:05		3615	1679	2537	19:05			3675	2656	48	23,5
22/7/12	20 hrs	9:05		3621	1681	2538	9:05			3675	2659	49	23,0
22/7/12	24 hrs	12:00		3625	1687	2540	12:00			3675	2662	51	22,4
22/7/12	1 día	18:00		3627	1690	2542	18:00			3677	2669	48	23,4
23/7/12	2 días	9:30		3630	1698	2545	9:30			3678	2672	51	23,5
23/7/12	2 días	12:00		3631	1696	2548	12:00			3676	2675	50	23,5
23/7/12	2 días	18:00		3632	1697	2547	18:00			3677	2677	50	23,2
24/7/12	3 días	8:00		3634	1698	2548	8:00			3679	2684	51	23,0
24/7/12	3 días	12:00		3637	1698	2549	12:00			3679	2685	52	22,9
24/7/12	3 días	18:00		3638	1701	2550	18:00			3681	2688	51	23,0
25/7/12	4 días	9:00		3640	1706	2553	9:00			3685	2691	50	22,6
25/7/12	4 días	12:00		3642	1706	2555	12:00			3687	2693	51	23,0
25/7/12	4 días	18:00		3643	1706	2557	18:00			3688	2695	52	22,9
26/7/12	5 días	8:45		3645	1707	2560	8:45			3689	2702	52	22,0
27/7/12	6 días	9:30		3648	1709	2564	9:30			3690	2705	51	22,8
28/7/12	7 días	8:00		3655	1710	2566	8:00			3690	2712	50	23,0
30/7/12	8 días	9:00		3664	1717	2574	9:00			3691	2717	51	22,9
31/7/12	9 días	9:00		3669	1720	2580	9:00			3692	2723	51	22,1
1/8/12	10 días	8:30		3673	1723	2586	8:30			3692	2726	51	21,9
2/8/12	11 días	10:00		3675	1725	2588	10:00			3693	2728	49	21,9
3/8/12	12 días	9:30		3685	1730	2589	9:30			3693	2730	50	21,3
4/8/12	13 días	8:00		3687	1732	2590	8:00			3694	2732	50	21,3

Fecha	Edad	Hora	Probeta P3			Probeta P4			HR %	T (C°)			
			Tipo de ensayo	0°	90°	180°	Hora	Tipo de ensayo			0°	90°	180°
6/8/12	15 días	8:35		3692	1733	2600	8:35			3695	2739	51	22,9
7/8/12	16 días	9:15		3695	1739	2607	9:15			3697	2740	51	21,0
8/8/12	17 días	9:16		3697	1742	2612	9:16			3699	2741	51	21,0
9/8/12	18 días	10:00		3697	1745	2618	10:00			3701	2742	51	23,0
10/8/12	19 días	10:00		3698	1745	2624	10:00			3702	2743	52	22,1
11/8/12	20 días	9:30		3699	1747	2629	9:50			3703	2745	51	21,4
13/8/12	22 días	14:50		3703	1750	2634	14:50			3704	2750	51	21,6
14/8/12	23 días	10:12		3706	1753	2640	10:12			3704	2754	50	22,0
16/8/12	25 días	8:00		3708	1756	2645	8:00			3705	2760	50	21,9
17/8/12	26 días	8:00		3709	1757	2648	8:00			3705	2762	51	22,8
18/8/12	27 días	8:30		3709	1758	2649	8:30			3706	2765	50	22,9
20/8/12	29 días	9:00		3710	1759	2652	9:00			3709	2770	50	22,9
21/8/12	30 días	12:00		3710	1759	2660	12:00			3710	2776	51	21,9
22/8/12	31 días	12:00		3715	1759	2664	12:00			3713	2778	50	21,9
23/8/12	32 días	12:00		3718	1757	2664	12:00			3717	2777	50	22,1
24/8/12	33 días	10:27		3720	1757	2665	10:27			3718	2778	51	22,9
25/8/12	34 días	9:00		3721	1757	2665	9:00			3719	2778	50	21,9
27/8/12	36 días	9:00		3720	1757	2666	9:00			3720	2777	51	22,9
28/8/12	37 días	9:00		3721	1757	2665	9:00			3722	2777	50	23,6
29/8/12	38 días	9:00		3722	1757	2666	9:00			3723	2778	50	23,0
30/8/12	39 días	9:00		3724	1757	2668	9:00			3724	2778	50	22,9
31/8/12	40 días	9:00		3725	1757	2668	9:00			3725	2779	50	22,8
1/9/12	41 días	12:00		3726	1757	2669	12:00			3725	2780	49	22,9
3/9/12	43 días	10:29		3727	1757	2669	10:29			3725	2781	50	23,0
4/9/12	44 días	8:00		3727	1757	2671	8:00			3726	2782	50	22,9
5/9/12	45 días	11:22		3727	1758	2672	11:22			3726	2783	50	23,1
6/9/12	46 días	12:00		3728	1758	2674	12:00			3728	2784	50	23,1
7/9/12	47 días	15:10		3729	1758	2676	15:10			3730	2784	50	23,8
8/9/12	48 días	12:00		3730	1759	2676	12:00			3731	2784	50	22,1
10/9/12	50 días	12:00		3731	1760	2677	12:00			3733	2785	50	22,1

b) Resultados de ensayos de fluencia 28 días.

- Probetas selladas

FLUENCIA DEL CONCRETO EN COMPRESIÓN (ASTM C 512)													Marco	
													C-003	
Proyecto	Metro de Lima	Dmáx (mm)	151			Dimensión de Probeta			6" x 12"					
Código de Mezcla		fck 28 (kgf/cm ²)	406,8			Edad de Ensayo			28 días					
Retracción autógena	R-006	Vol. de pasta (L/m ³)	366			Lectura inicial (pulg) x 10 ⁻⁴			3100					
N° de Gata:	3	Carga aplicada (kgf/cm ²)	143,68			Carga en manómetro (kg/m ²)			200					
											Condición de probetas		Selladas	
Marco # 3		Distancia en pulgadas entre los puntos de contacto; precisión de la lectura: 4 dígitos después de punto decimal.										Condición ambiental		
		Probeta P5					Probeta P6							
Fecha	Edad	Hora	Tipo de ensayo	0°	90°	180°	Hora	Tipo de ensayo	0°	90°	180°	HR %	T (C°)	
6/8/12	28 días	15:05	sin carga	2987	2034	3058	15:05	sin carga	3677	3042	3170	52	21,4	
6/8/12	28 días	15:38	con carga	3036	2098	3150	15:38	con carga	3729	3082	3230	51	21,4	
6/8/12	2 min	15:40		3037	2098	3152	15:40		3730	3083	3231	50	22,3	
6/8/12	4 min	15:42		3037	2099	3153	15:42		3731	3084	3232	50	22,3	
6/8/12	7 min	15:45		3039	2101	3155	15:45		3732	3086	3234	50	22,3	
6/8/12	15 min	15:53		3042	2103	3158	15:53		3734	3089	3237	50	22,3	
6/8/12	20 min	15:58		3045	2106	3160	15:58		3736	3092	3239	51	22,1	
6/8/12	30 min	16:08		3048	2108	3163	16:08		3738	3094	3241	51	21,8	
6/8/12	40 min	16:18		3051	2110	3166	16:18		3742	3096	3242	51	21,4	
6/8/12	60 min	16:38		3055	2113	3168	16:38		3745	3098	3245	52	21,3	
6/8/12	2 hrs	17:38		3059	2117	3172	17:38		3751	3106	3247	52	21,4	
7/8/12	18 hrs	9:25		3063	2120	3188	11:38		3757	3110	3255	50	21,0	
7/8/12	1 día	17:38		3067	2125	3194	17:38		3760	3110	3258	51	21,0	
8/8/12	2 días	9:30		3071	2128	3195	9:30		3765	3112	3260	51	21,0	
8/8/12	2 días	12:13		3072	2128	3196	12:13		3766	3113	3262	51	21,9	
8/8/12	2 días	18:17		3072	2129	3197	18:17		3767	3115	3262	51	21,9	
9/8/12	3 días	10:10		3073	2130	3198	9:57		3772	3116	3262	51	22,9	
9/8/12	3 días	12:00		3074	2131	3198	12:00		3775	3118	3262	51	22,6	
9/8/12	3 días	17:30		3074	2133	3199	18:00		3777	3118	3262	50	22,8	
10/8/12	4 días	10:10		3075	2135	3201	10:10		3778	3121	3262	51	22,8	
10/8/12	4 días	12:00		3075	2135	3201	12:00		3779	3121	3262	50	22,9	
10/8/12	4 días	18:00		3076	2136	3202	18:00		3780	3121	3262	51	22,8	
11/8/12	5 días	9:40		3076	2140	3202	9:40		3781	3121	3262	52	21,4	
13/8/12	7 días	3:00		3076	2142	3204	3:00		3783	3127	3262	50	21,6	
14/8/12	8 días	8:10		3076	2144	3206	8:10		3787	3129	3263	51	21,9	

		Probeta P5					Probeta P6						
Fecha	Edad	Hora	Tipo de ensayo	0°	90°	180°	Hora	Tipo de ensayo	0°	90°	180°	HR %	T (C°)
16/8/12	11 días	8:10		3080	2148	3210	8:10		3793	3132	3265	50	22,1
17/8/12	12 días	8:10		3082	2149	3211	8:05		3794	3133	3266	51	22,6
18/8/12	13 días	8:45		3083	2150	3213	9:05		3795	3135	3268	50	22,8
20/8/12	15 días	9:10		3084	2152	3214	9:10		3797	3136	3269	50	22,8

- Probetas no selladas

FLUENCIA DEL CONCRETO EN COMPRESIÓN (ASTM C 512)												Marco			
												C-004			
Proyecto		Metro de Lima		Dmáx (mm)			153		Dimensión de Probeta			6" x 12"			
Código de Mezcla		fck 28 (kgf/cm ²)			406,8		Edad de Ensayo			28 días					
Retracción autógena		Vol. de pasta (L/m ³)			366		Lectura inicial (pulg) x 10 ⁻⁴			3100					
N° de Gata:		4		Carga aplicada (kgf/cm ²)			143,68		Carga en manómetro (kg/m ²)			170			
												Condición de probetas.		Sin sello	
Marco # 4		Distancia en pulgadas entre los puntos de contacto; precisión de la lectura: 4 dígitos después de punto decimal.										Condición Ambiental			
		Probeta P7					Probeta P8								
Fecha	Edad	Hora	Tipo de ensayo	0°	90°	180°	Hora	Tipo de ensayo	0°	90°	180°	HR%	T (C°)		
16/8/12	28 días	12:00	sin carga	3601	2489	1531	12:00	sin carga	3192	2932	2783	52	23,3		
16/8/12	28 días	12:00	con carga	3604	2491	1538	12:00	con carga	3207	2935	2791	51	22,9		
16/8/12	2 min	12:02		3607	2494	1540	12:02		3211	2937	2792	50	22,8		
16/8/12	4 min	12:04		3610	2500	1543	12:04		3214	2942	2794	51	21,9		
16/8/12	7 min	12:07		3613	2504	1545	12:07		3218	2945	2800	50	22,8		
16/8/12	15 min	12:15		3615	2507	1549	12:15		3222	2947	2803	51	23,4		
16/8/12	20 min	12:20		3619	2510	1550	12:20		3224	2950	2806	50	23,1		
16/8/12	30 min	12:30		3621	2513	1552	12:30		3226	2953	2810	51	22,9		
16/8/12	40 min	12:40		3625	2517	1554	12:40		3229	2955	2813	52	22,8		
16/8/12	60 min	13:00		3628	2520	1557	13:00		3232	2957	2816	51	22,7		
16/8/12	2 hrs	14:00		3631	2522	1559	14:00		3235	2959	2820	50	22,8		
16/8/12	4 hrs	16:00		3633	2524	1564	16:00		3239	2963	2822	51	21,9		

Fecha	Edad	Probeta P7					Probeta P8					HR%	T(C°)
		Hora	Tipo de ensayo	0°	90°	180°	Hora	Tipo de ensayo	0°	90°	180°		
16/8/12	7 hrs	19:00		3636	2526	1566	19:00		3240	2964	2825	51	22,8
17/8/12	24 hrs	12:00		3640	2530	1572	12:00		3248	2966	2830	51	22,7
18/8/12	2 días	9:00		3644	2536	1578	9:00		3254	2970	2835	49	22,4
18/8/12	2 días	12:00		3644	2536	1579	12:00		3255	2971	2835	50	22,8
18/8/12	2 días	18:00		3650	2539	1583	18:00		3257	2971	2838	50	22,8
19/8/12	3 días	8:00		3656	2542	1587	8:00		3259	2973	2842	50	22,7
19/8/12	3 días	12:00		3660	2544	1590	12:00		3261	2974	2844	51	21,9
19/8/12	3 días	6:00		3663	2546	1592	6:00		3262	2975	2854	50	21,9
20/8/12	4 días	8:00		3665	2547	1592	8:00		3264	2976	2855	50	21,9
20/8/12	4 días	12:00		3670	2549	1593	12:00		3267	2976	2862	50	22,3
20/8/12	4 días	6:00		3675	2553	1595	6:00		3269	2980	2865	50	21,9
21/8/12	5 días	12:00		3681	2557	1601	12:00		3274	2983	2873	50	22,1
22/8/12	6 días	12:05		3683	2560	1603	10:22		3282	2984	2880	51	22,4
23/8/12	7 días	12:05		3690	2561	1605	11:24		3285	2984	2883	50	22,9
24/8/12	8 días	10:30		3692	2565	1506	10:30		3287	2984	2884	50	22,6
25/8/12	9 días	9:06		3696	2570	1608	9:06		3290	2984	2889	50	23,5
27/8/12	11 días	9:06		3700	2569	1611	9:06		3292	2985	2888	50	23,4
28/8/12	12 días	9:05		3702	2570	1613	9:05		3295	2986	2889	50	23,6
29/8/12	13 días	9:05		3703	2571	1615	9:05		3297	2987	2889	50	23,0
30/8/12	14 días	9:05		3704	2572	1616	9:05		3298	2987	2890	50	22,9
31/8/12	15 días	9:05		3705	2572	1617	9:05		3298	2988	2892	50	23,4
1/9/12	16 días	12:09		3705	2572	1618	12:09		3299	2989	2893	50	22,9
3/9/12	18 días	10:33		3709	2576	1619	10:33		3300	2990	2894	50	22,9
4/9/12	19 días	8:04		3711	2578	1620	8:04		3303	2991	2897	50	22,1
5/9/12	20 días	11:20		3713	2580	1621	11:20		3305	2993	2903	50	23,4
6/9/12	21 días	12:05		3716	2583	1621	12:05		3307	2994	2905	50	23,5
7/9/12	22 días	3:00		3720	2585	1624	3:00		3310	2995	2906	50	23,5
8/9/12	23 días	10:00		3722	2586	1625	10:00		3312	2996	2907	50	22,1
10/9/12	24 días	12:05		3724	2588	1627	12:05		3315	2998	2909	50	22,1

c) Resultados de ensayos de fluencia 60 días.

- Probetas selladas

FLUENCIA DEL CONCRETO EN COMPRESIÓN (ASTM C 512)												Marco			
												C-005			
Proyecto	Metro de Lima	Dmáx (mm)	152			Dimensión de Probeta			6" x 12"						
Código de Mezcla		fck 28 (kgf/cm ²)				Edad de Ensayo			60 días						
Retracción autógena	R-002 @ R-005	Vol. de pasta (L/m ³)	366			Lectura inicial (pulg) x 10 ⁻⁴			3100						
N° de Gata:	5	Carga aplicada (kgf/cm ²)	220.04			Carga en manómetro (kg/m ²)			260.34						
												Condición de probetas		Selladas	
Marco # 5		Distancia en pulgadas entre los puntos de contacto; precisión de la lectura: 4 dígitos después de punto decimal.										Condición Ambiental			
				Probeta P9			Probeta P10								
Fecha	Edad	Hora	Tipo de ensayo	A	B	C	Hora	Tipo de ensayo	A	B	C	HR (%)	T (°C)		
7/9/12	60 días	15:07	sin carga	2890	3250	3325	15:07	sin carga	3692	3471	3240	50	23,5		
7/9/12	60 días	15:07	con carga	2942	3281	3355	15:07	con carga	3755	3500	3290	50	22,1		
7/9/12	2 min	15:09		2957	3283	3356	15:09		3756	3503	3294	50	22,1		
7/9/12	4 min	15:11		2958	3284	3357	15:11		3757	3505	3295	50	22,1		
7/9/12	7 min	15:14		2959	3285	3357	15:14		3759	3506	3296	50	22,1		
7/9/12	15 min	15:22		2960	3286	3358	15:22		3760	3506	3296	50	22,1		
7/9/12	20 min	15:27		2961	3288	3359	15:27		3761	3507	3298	50	22,1		
7/9/12	30 min	15:37		2962	3289	3361	15:37		3762	3509	3300	50	22,1		
7/9/12	40 min	15:47		2962	3290	3362	15:47		3763	3510	3301	50	22,1		
7/9/12	60 min	16:07		2964	3292	3362	16:07		3764	3511	3303	50	22,1		
7/9/12	2 hrs	17:07		2964	3295	3362	17:07		3765	3511	3305	50	22,1		
7/9/12	4 hrs	19:07		2964	3296	3363	19:07		3765	3511	3305	50	22,1		
8/9/12	24 hrs	12:00		2964	3298	3363	12:00		3765	3512	3306	50	22,1		
9/9/12	2 días	8:00		2964	3304	3364	8:00		3765	3513	3307	50	22,1		
9/9/12	2 días	12:00		2965	3305	3364	12:00		3766	3513	3307	50	22,1		
9/9/12	2 días	18:00		2965	3305	3364	18:00		3766	3514	3308	50	22,1		

- Probetas no selladas

FLUENCIA DEL CONCRETO EN COMPRESIÓN (ASTM C 512)												Marco	
												C-006	
Proyecto	Metro de Lima		D _{máx} (mm)			153		Dimensión de Probeta			6" x 12"		
Código de Mezcla			fck 28 (kgf/cm ²)					Edad de Ensayo			60 días		
Retracción autógena	R-002 @ R-005		Vól. de pasta (L/m ³)			366		Lectura inicial (pulg) x 10 ⁻⁴			3100		
Nº de Gata:	6		Carga aplicada (kgf/cm ²)			220.04		Carga en manómetro (kg/m ²)			260.34		
Condición de probetas												Sin Sello	
Marco # 6		Distancia en pulgadas entre los puntos de contacto; precisión de la lectura: 4 dígitos después de punto decimal.										Condición Ambiental	
			Probeta P11				Probeta P12						
Fecha	Edad	Hora	Tipo de ensayo	A	B	C	Hora	Tipo de ensayo	A	B	C	HR (%)	T (°C)
17/9/12	60 días	13:50	sin carga	3030	2955	3522	15:07	sin carga	4099	2857	4080	51	23,5
17/9/12	60 días	14:00	con carga	3080	3010	3550	15:07	con carga	4150	2927	4138	51	23,0
17/9/12	2 min	14:02		3082	3013	3550	15:09		4151	2930	4139	51	24,0
17/9/12	4 min	14:04		3084	3014	3551	15:11		4152	2932	4139	51	24,3
17/9/12	7 min	14:07		3085	3015	3551	15:14		4154	2933	4141	50	24,3
17/9/12	15 min	14:15		3086	3017	3552	15:22		4155	2934	4142	51	24,0
17/9/12	20 min	14:20		3087	3018	3552	15:27		4156	2935	4144	51	23,5
17/9/12	30 min	14:30		3087	3019	3553	15:37		4157	2936	4145	51	23,5
17/9/12	40 min	14:40		3088	3019	3554	15:47		4158	2937	4146	51	23,3
17/9/12	60 min	15:00		3088	3020	3554	16:07		4158	2938	4148	51	23,5
17/9/12	2 hrs	16:00		3091	3021	3555	17:07		4159	2939	4148	51	23,5
17/9/12	4 hrs	18:00		3091	3022	3555	19:07		4160	2939	4149	50	23,0
18/9/12	24 hrs	8:00		3092	3023	3555	12:00		4161	2940	4150	50	23,1
19/9/12	2 días	12:00		3092	3024	3555	8:00		4162	2941	4151	50	23,1

5.2 RESULTADOS ASESOR NORTEAMERICANO HENRY RUSSELL

5.2.1 Ensayo Resistencia a la Compresión y Módulo de elasticidad

a) Resistencia a la compresión

- 36 horas

Nº	ID	FECHA DE OBTENCIÓN	FECHA DE ENSAYO	AREA (CM2)	CARGA DE ROTURA (KG)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (KG/CM2)
1	C-1	10/10/2012	12/10/2012	180	40100	222.7
2	C-2	10/10/2012	12/10/2012	180	39000	217
3	C-3	10/10/2012	12/10/2012	181,5	42325	233

PROMEDIO (Kg/cm2)	224.2
-------------------	-------

- 28 días

Nº	ID	FECHA DE OBTENCIÓN	FECHA DE ENSAYO	AREA (cm2)	CARGA DE ROTURA (kg)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Kg/cm2)
1	C-1	10/10/2012	07/11/2012	181,9	83284	458
2	C-2	10/10/2012	07/11/2012	180	81386	452
3	C-3	10/10/2012	07/11/2012	180,3	82215	456

PROMEDIO (Kg/cm2)	455
-------------------	-----

- 60 días

Nº	ID	FECHA DE OBTENCIÓN	FECHA DE ENSAYO	AREA (cm2)	CARGA DE ROTURA (kg)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Kg/cm2)
1	C-1	10/10/2012	10/12/2012	181,4	87917	485
2	C-2	10/10/2012	10/12/2012	180,2	85207	473.37
3	C-3	10/10/2012	10/12/2012	179,0	87747	490.2

PROMEDIO (Kg/cm2)	482
-------------------	-----

Los datos de resistencias a la compresión usados en el cálculo del ensayo de fluencia a las 36 horas, 28 y 60 días fueron realizados en el sistema internacional de unidades (ver anexo B).

b) Módulo de elasticidad

- 36 horas

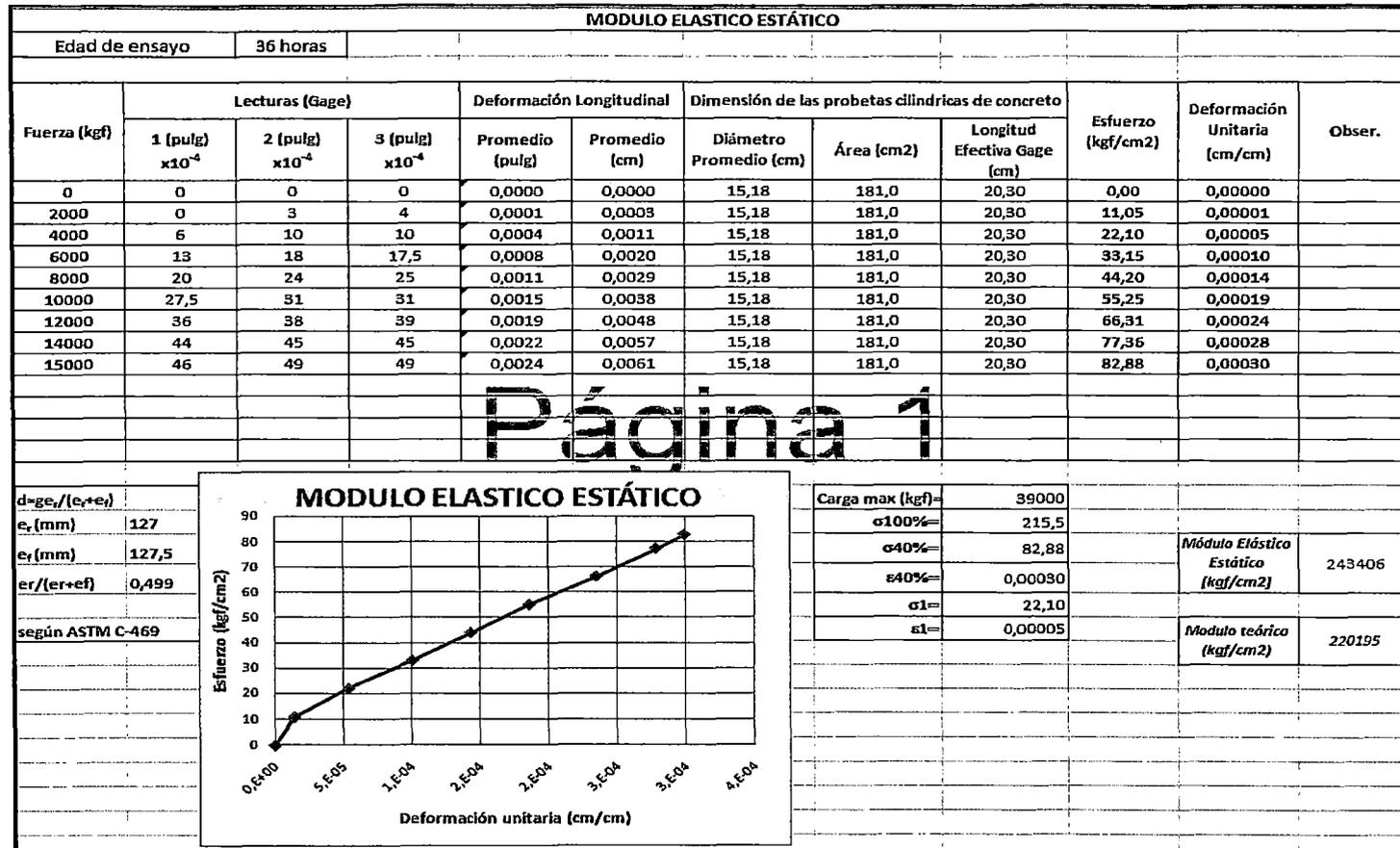


Fig. 5.7: Módulo de elasticidad 1 - 36 horas: 243 406 kg/cm²

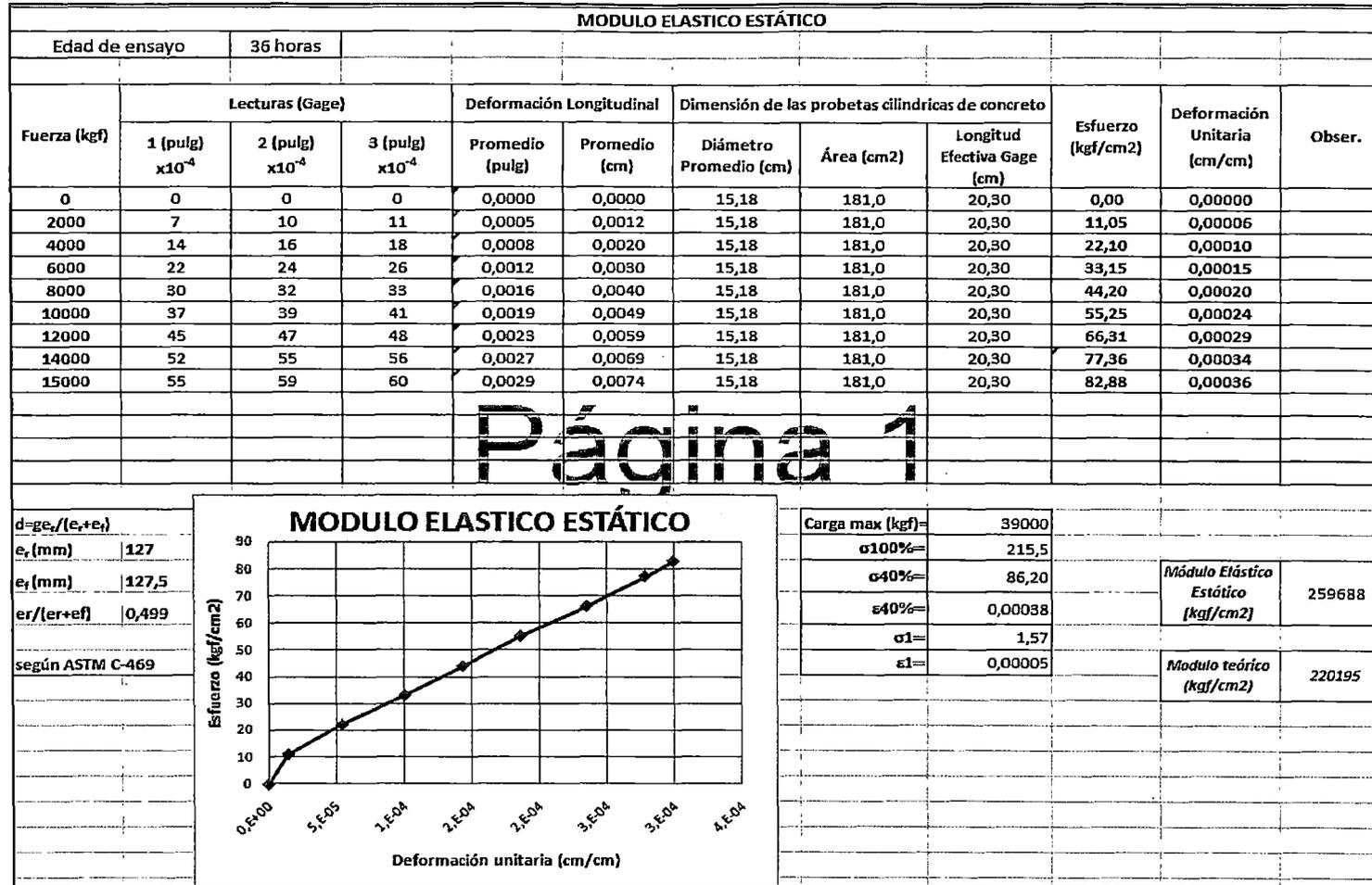


Fig. 5.8: Módulo de elasticidad 2 - 36 horas: 259 688 kg/cm²

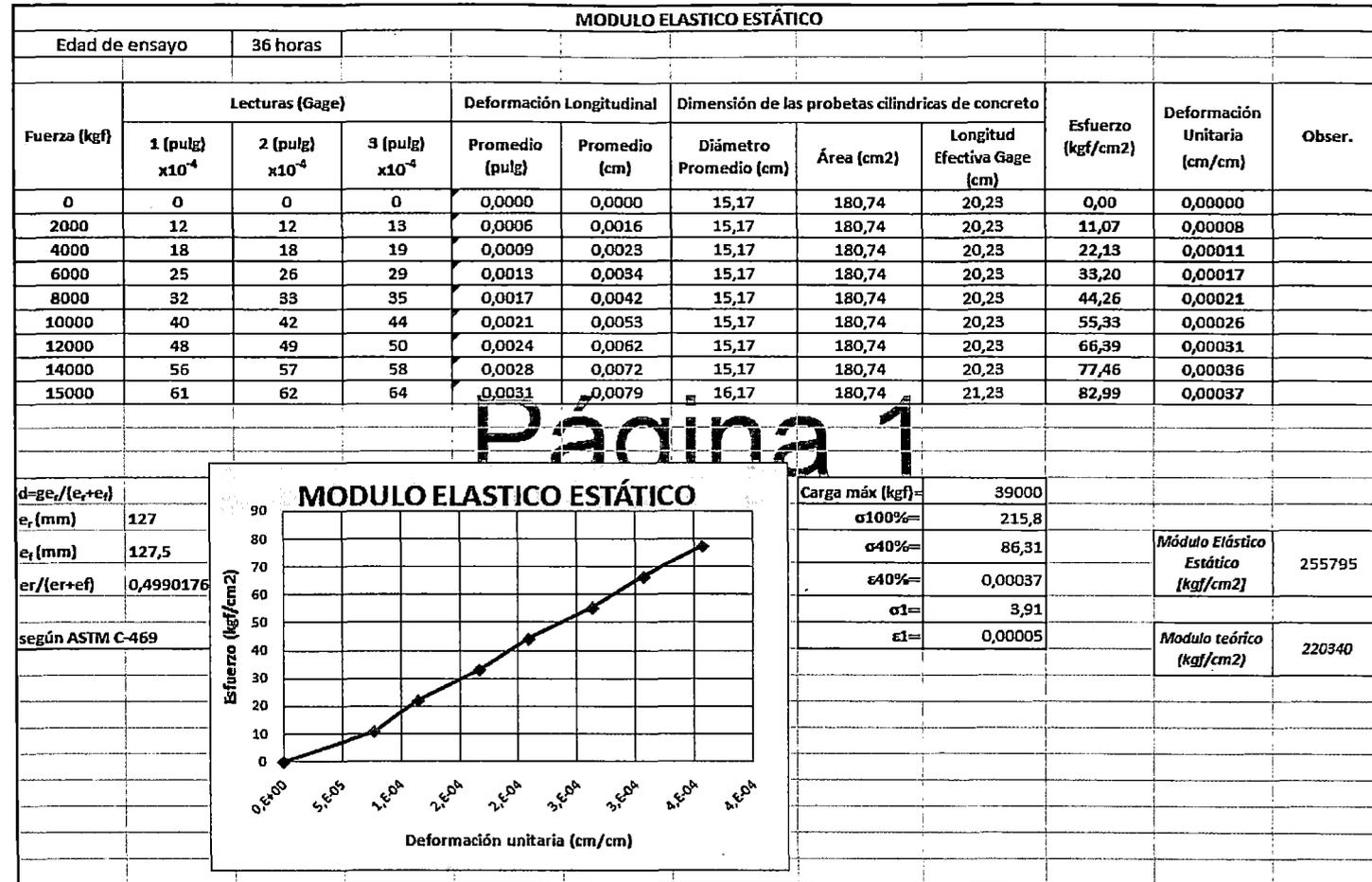


Fig. 5.9: Módulo de elasticidad 3 - 36 horas: 255 795 kg/cm²

Promedio de ensayo Módulo de Elasticidad
36 horas: 252 963 Kg/cm² = 3.6 Msi

- 28 días

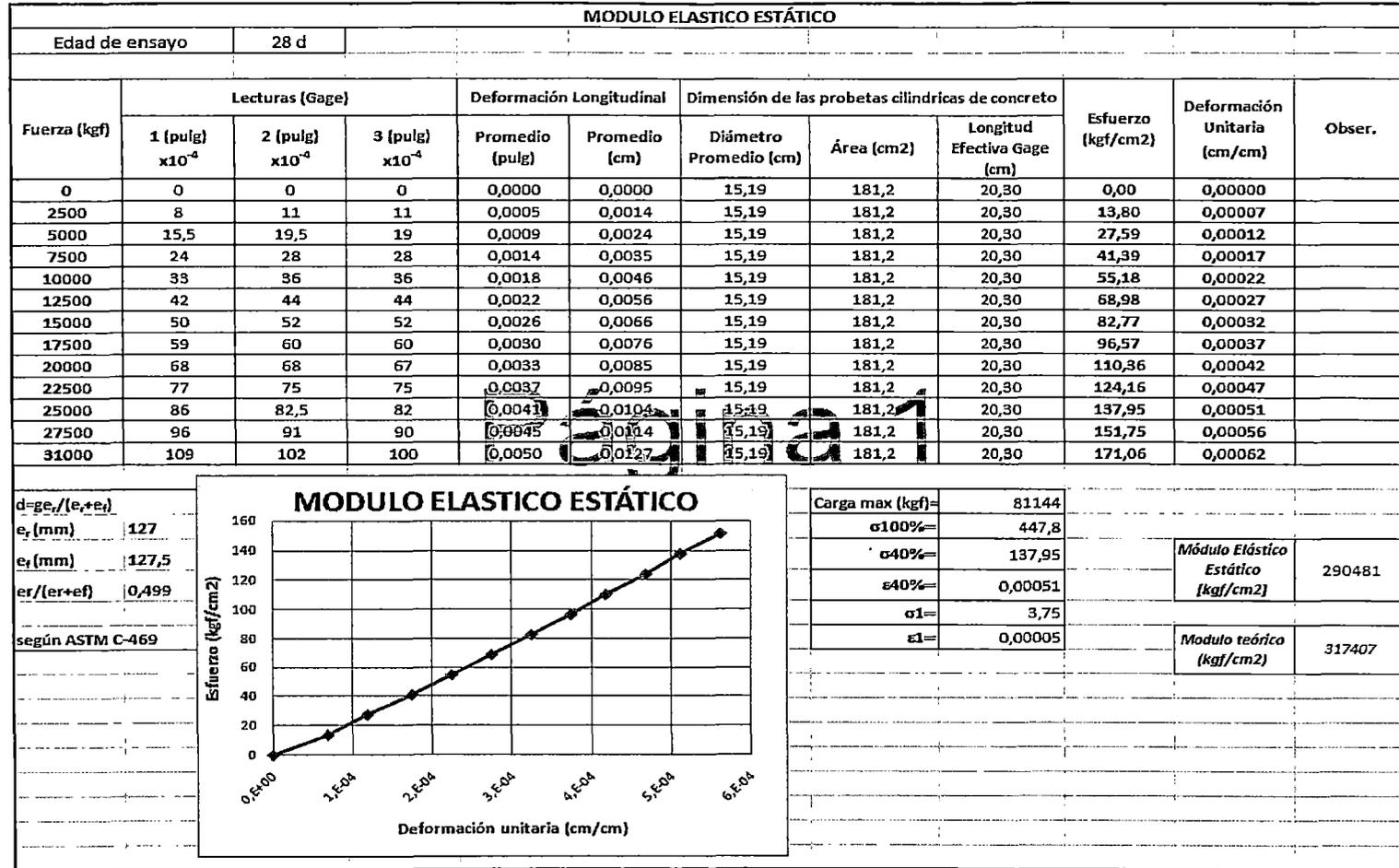


Fig. 5.10: Módulo de elasticidad 1 - 28 días: 290 481 kg/cm²

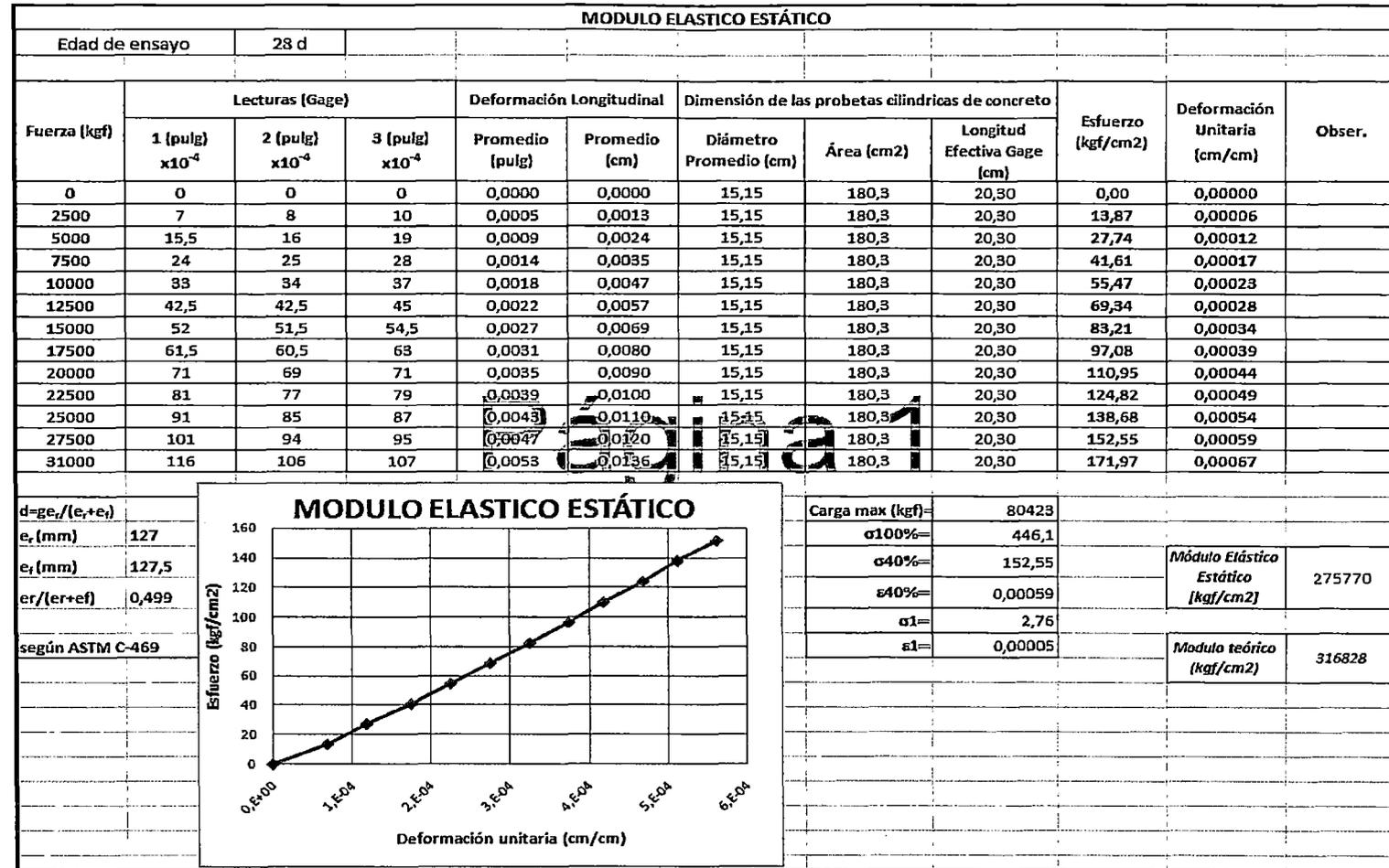


Fig. 5.11: Módulo de elasticidad 2 - 28 días: 275 770 kg/cm²

MODULO ELASTICO ESTÁTICO											
Edad de ensayo		28 d									
Fuerza (kgf)	Lecturas (Gage)			Deformación Longitudinal		Dimensión de las probetas cilíndricas de concreto			Esfuerzo (kgf/cm ²)	Deformación Unitaria (cm/cm)	Obser.
	1 (pulg) x10 ⁻⁴	2 (pulg) x10 ⁻⁴	3 (pulg) x10 ⁻⁴	Promedio (pulg)	Promedio (cm)	Diámetro Promedio (cm)	Área (cm ²)	Longitud Efectiva Gage (cm)			
0	0	0	0	0,0000	0,0000	15,16	180,50	20,3	0,00	0,00000	
2500	7	8	10	0,0005	0,0013	15,16	180,50	20,3	13,85	0,00006	
5000	15,5	16	16,5	0,0008	0,0021	15,16	180,50	20,3	27,70	0,00010	
7500	24	24,5	25	0,0012	0,0032	15,16	180,50	20,3	41,55	0,00016	
10000	33	33	33,5	0,0017	0,0042	15,16	180,50	20,3	55,40	0,00021	
12500	41	41	41	0,0020	0,0052	15,16	180,50	20,3	69,25	0,00026	
15000	49,5	49	49	0,0024	0,0062	15,16	180,50	20,3	83,10	0,00031	
17500	58,5	57	57	0,0028	0,0072	15,16	180,50	20,3	96,95	0,00036	
20000	67,5	65	64,5	0,0032	0,0082	15,16	180,50	20,3	110,80	0,00040	
22500	76	73	73	0,0036	0,0093	15,16	180,50	20,3	124,65	0,00046	
25000	86	80,5	81	0,0040	0,0103	15,16	180,50	20,3	138,50	0,00051	
27500	96	88	88	0,0044	0,0112	15,16	180,50	20,3	152,35	0,00055	
31000	109	100	99	0,0049	0,0125	15,16	180,50	20,3	171,74	0,00062	

$d = g_e / (e_r + e_f)$		Carga máx (kgf) =	80345	Módulo Elástico Estático [kgf/cm ²]	297840
e_r (mm)	127	$\sigma_{100\%}$ =	445,1		
e_f (mm)	127,5	$\sigma_{40\%}$ =	138,50	Módulo teórico (kgf/cm ²)	316466
$e_r / (e_r + e_f)$	0,4990176	$\epsilon_{40\%}$ =	0,00051		
según ASTM C-469		σ_1 =	2,76		
		ϵ_1 =	0,00005		

Fig. 5.12: Módulo de elasticidad 3 - 28 días: 297 840 kg/cm²

Promedio de ensayo Módulo de Elasticidad
 28 días: 288 030 Kg/cm² = 4.10 Msi

- 60 días

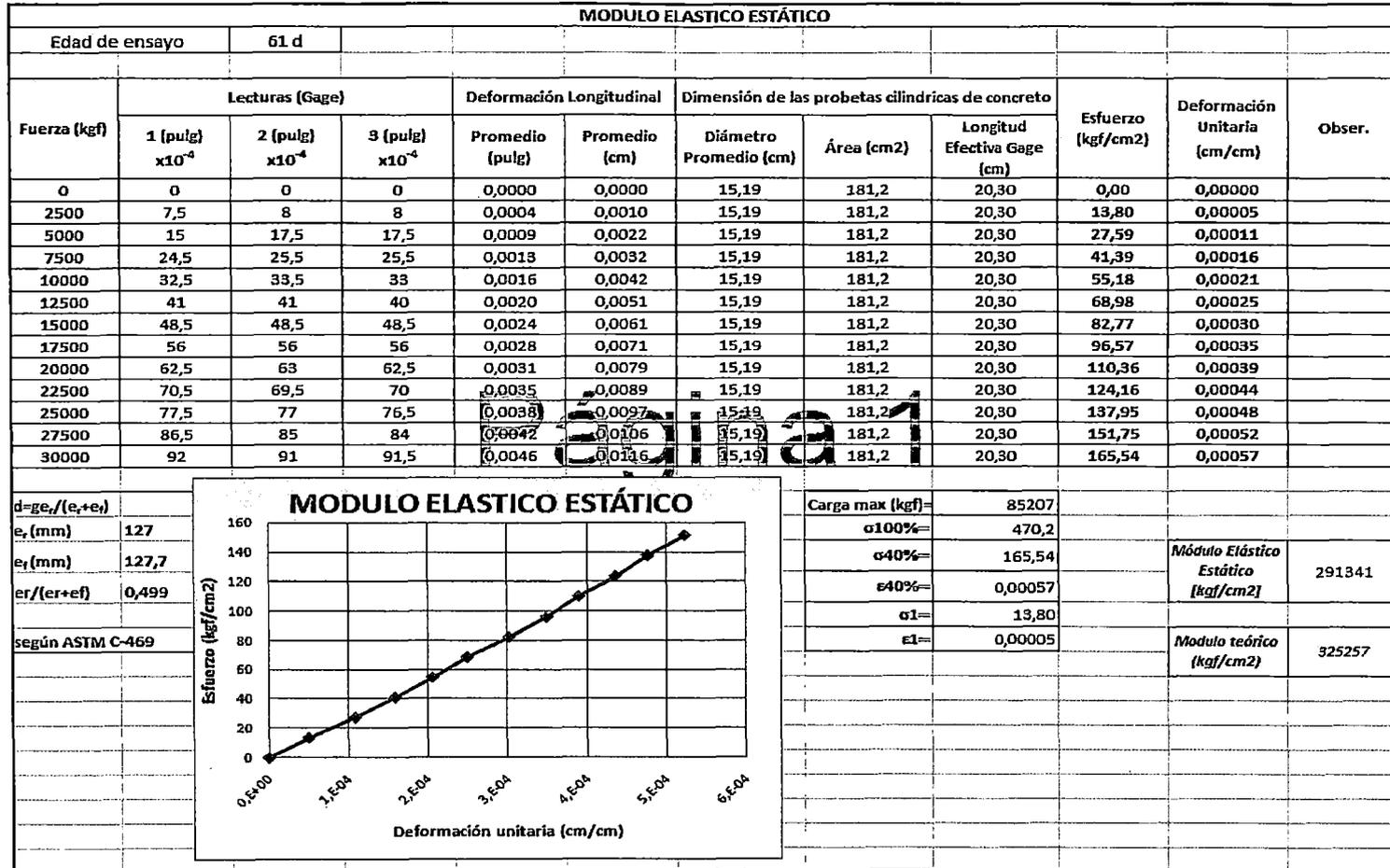


Fig. 5.13: Módulo de elasticidad 1 - 60 días: 291341 kg/cm²

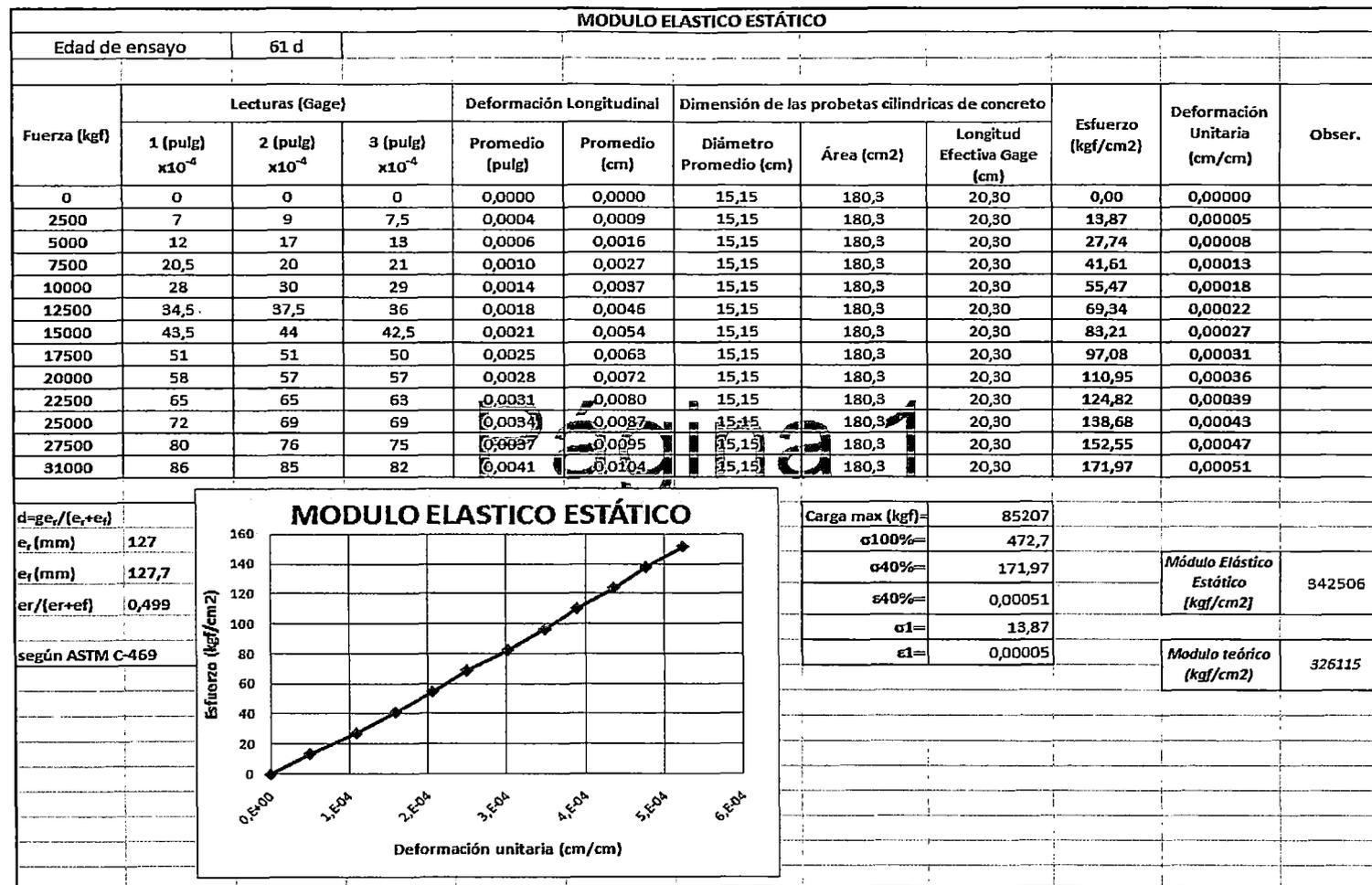


Fig. 5.14: Módulo de elasticidad 2 - 60 días: 342 506 kg/cm²

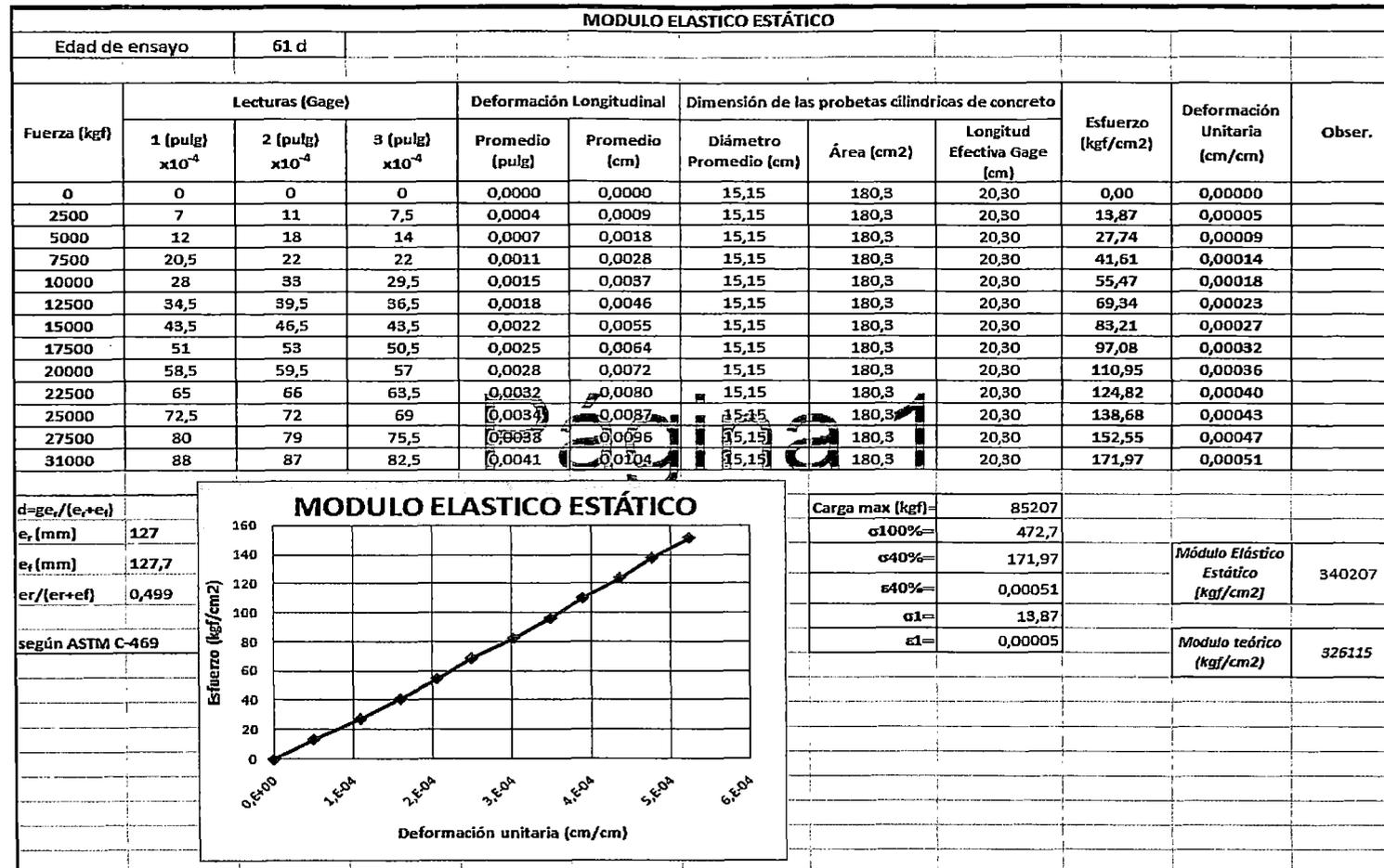


Fig. 5.15: Módulo de elasticidad 3 - 60 días: 340 207 kg/cm²

Promedio de ensayo Módulo de Elasticidad
60 días: 324 684 Kg/cm² = 4.61 Msi

5.2.2 Ensayo de contracción y fluencia

Las calibraciones de los gatos hidráulicos que se utilizaron en el ensayo de fluencia se pueden ver en el anexo B, por cada marco se usaron dos probetas cada una con 3 lecturas.

Las notaciones usadas son las siguientes:

NOTACION:
E= ELASTICA
CR= FLUENCIA
SH= CONTRACCION

a) Resultado de ensayo de contracción y fluencia 36 horas (ver anexo C).

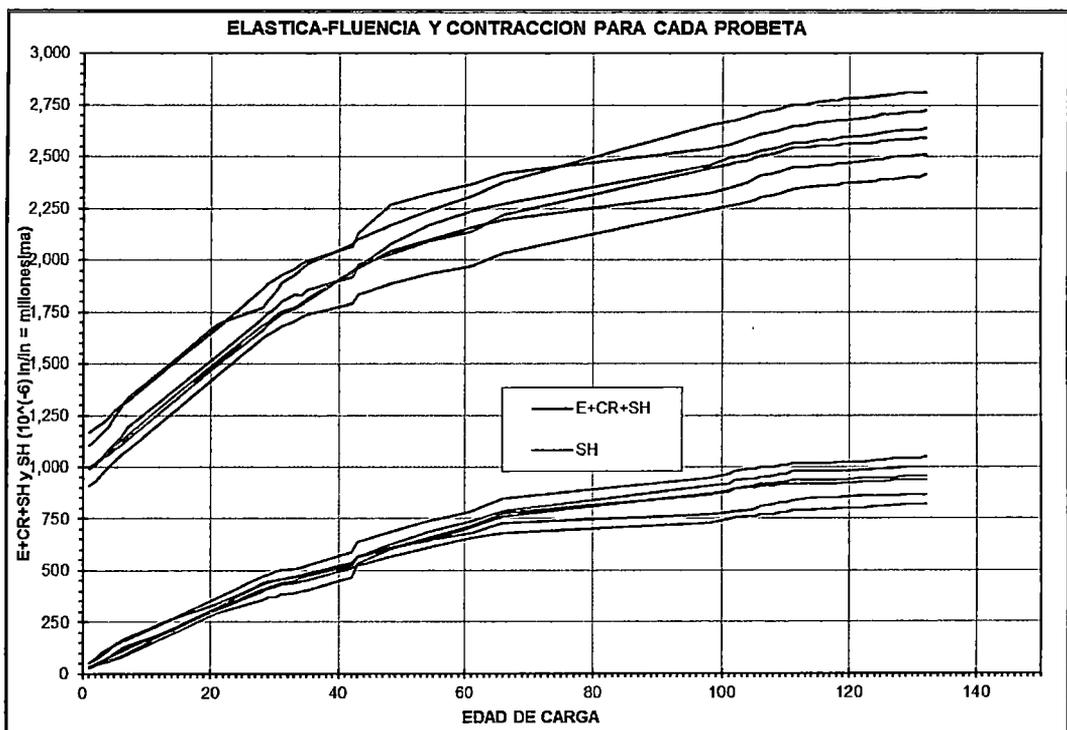


Gráfico 5.1: Suma de deformaciones elástica, fluencia y contracción comparadas con la deformación por contracción (edad de carga 36 horas).

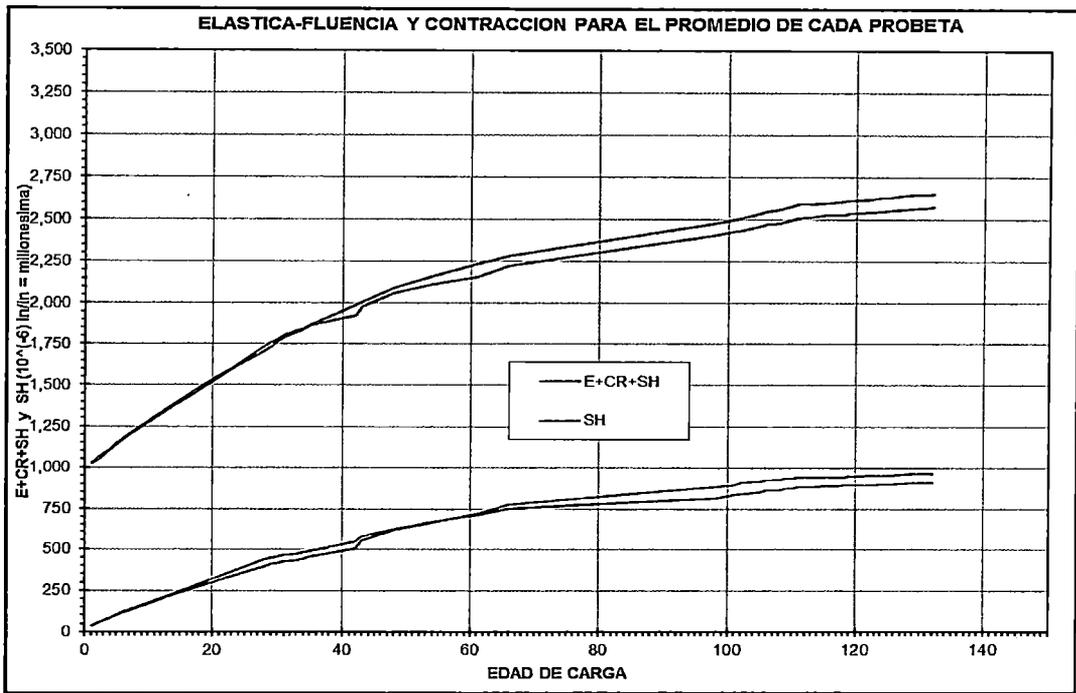


Gráfico 5.2: Promedio de deformaciones elásticas, fluencia y contracción comparadas con el promedio de la deformación por contracción para cada probeta (edad de carga 36 horas).

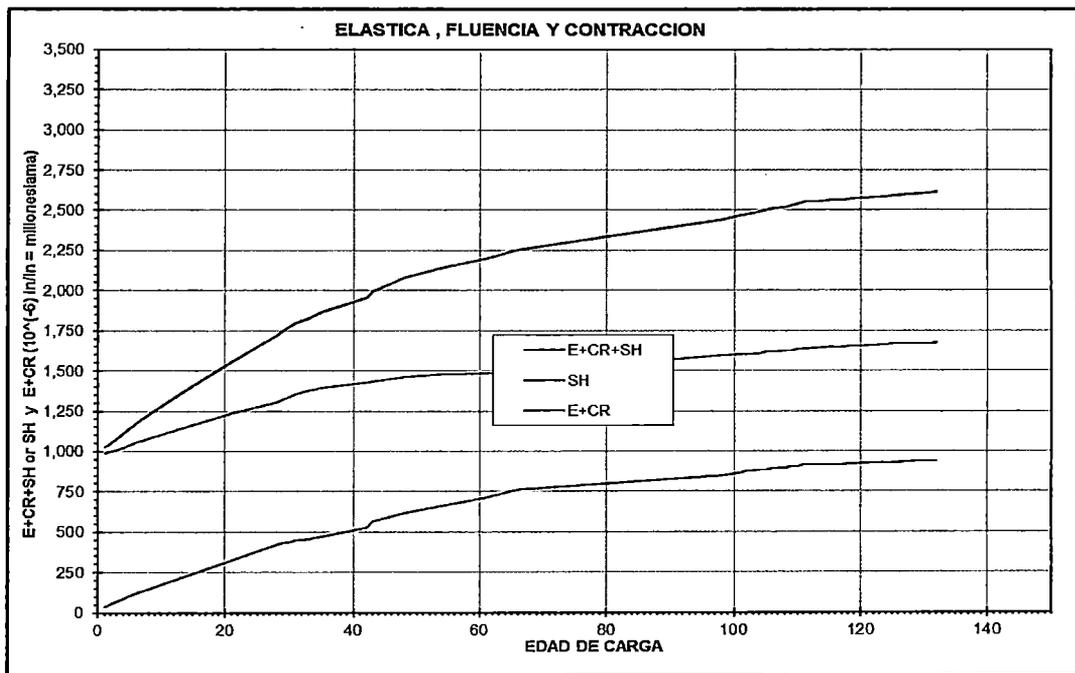


Gráfico 5.3: Promedio de deformaciones elásticas, fluencia y contracción - deformación de fluencia y deformación elástica - deformación por contracción (edad de carga 36 horas).

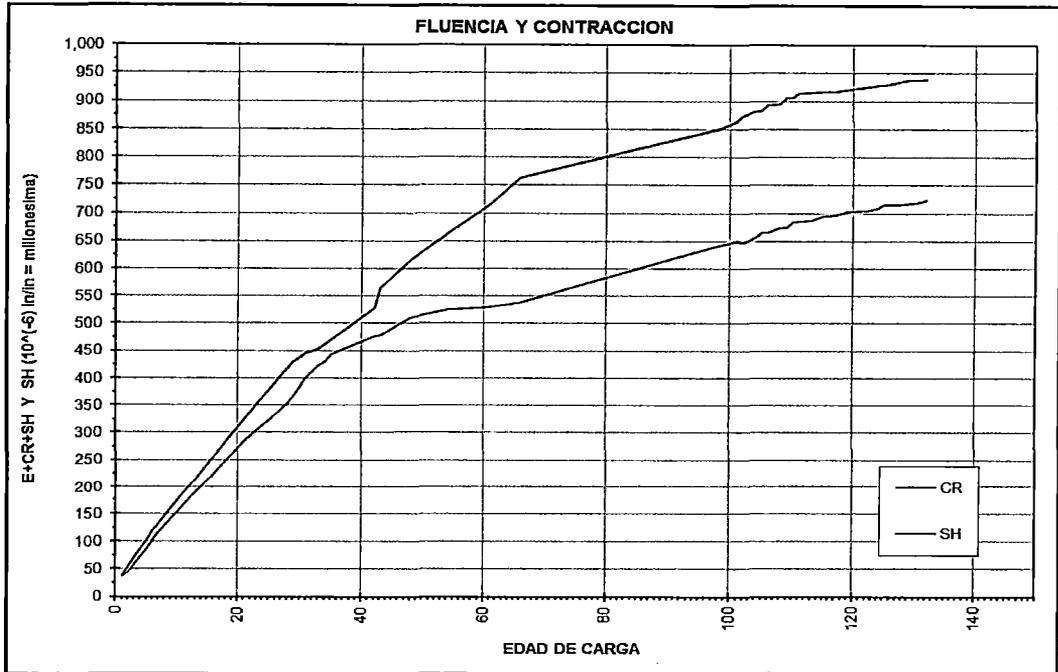


Gráfico 5.4: Promedio de deformaciones de fluencia y contracción (edad de carga 36 horas).

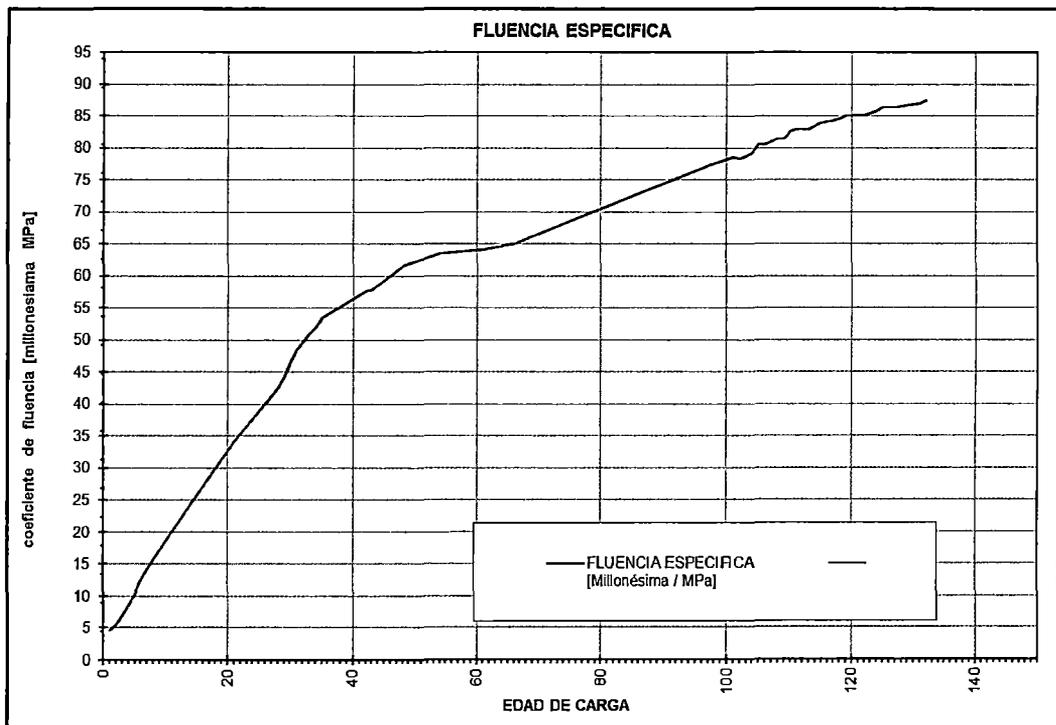


Gráfico 5.5: Gráfica del coeficiente de fluencia específica (deformación de fluencia (millonésima)/carga aplicada (psi)) (edad de carga 36 horas).

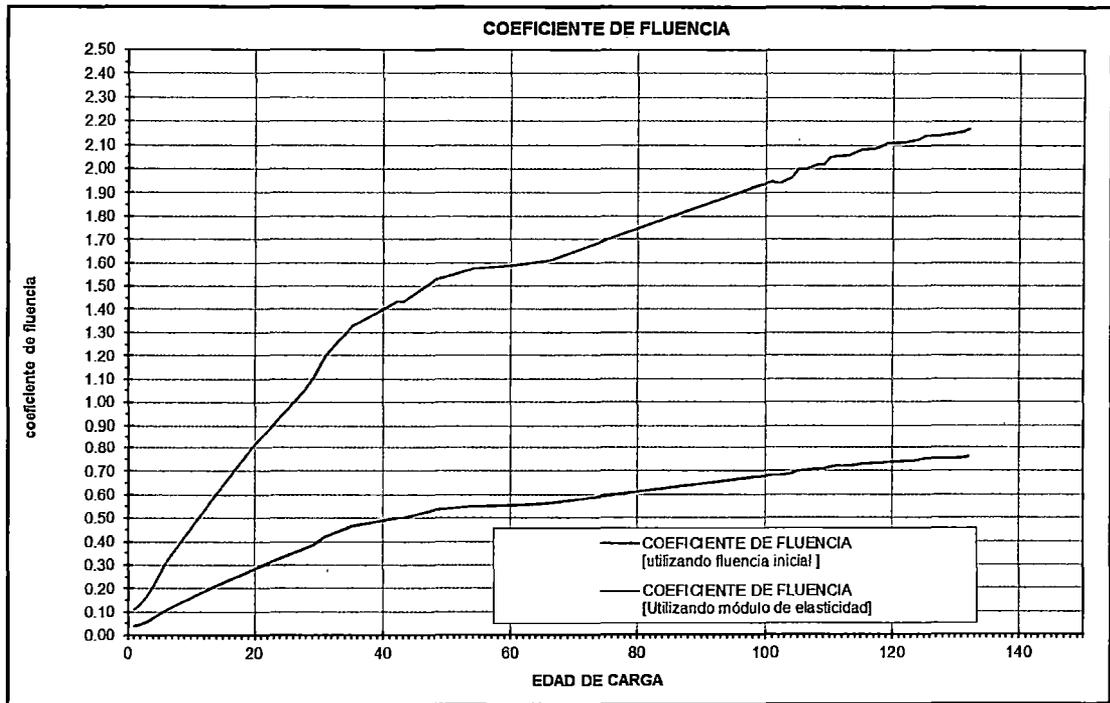


Gráfico 5.6: Comparación del coeficiente de fluencia utilizando la fluencia inicial vs el módulo de elasticidad (edad de carga 36 horas).

COEFICIENTE DE FLUENCIA (Utilizando fluencia inicial)

$$= \text{Fluencia (Millonésima)} / \text{Elástica} + \text{Fluencia} + \text{contracción (Millonésima)}$$

COEFICIENTE DE FLUENCIA (Utilizando módulo de elasticidad)

$$= \text{Fluencia específica (Millonésima / psi)} / \text{Carga (psi)}$$

Por lo tanto los coeficientes de fluencia finales a los 132 días de carga son:

Días	COEFICIENTE DE FLUENCIA [utilizando fluencia inicial]	COEFICIENTE DE FLUENCIA [Utilizando módulo de elasticidad]
132	0.759	2.169

b) Resultado de ensayo de contracción y fluencia 28 días (ver anexo D).

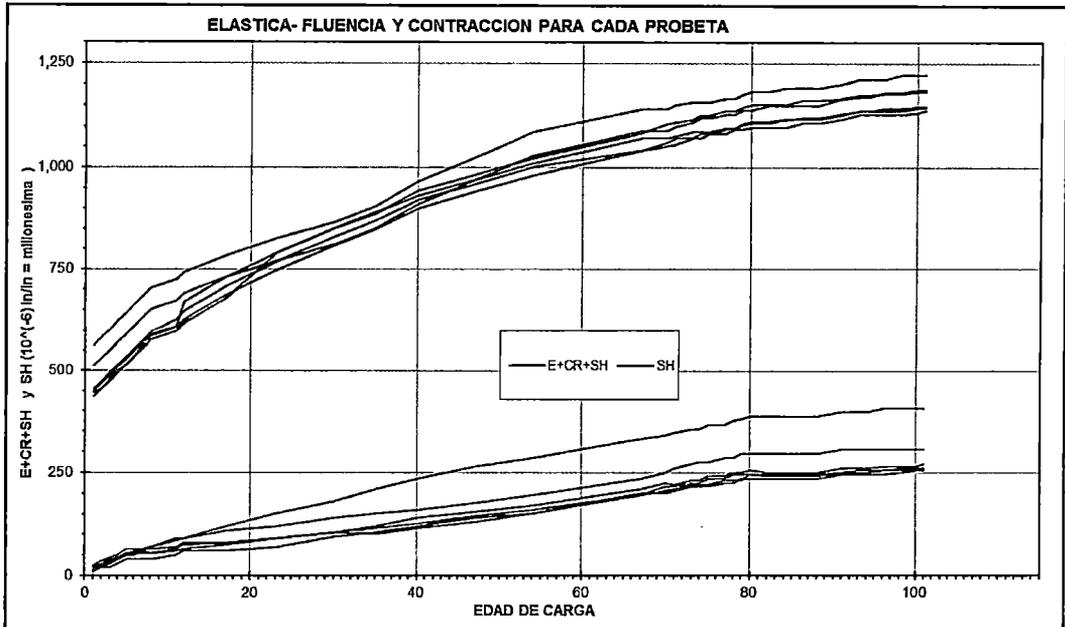


Gráfico 5.7: Suma de deformaciones elástica, fluencia y contracción comparadas con la deformación por contracción (edad de carga 28 días).

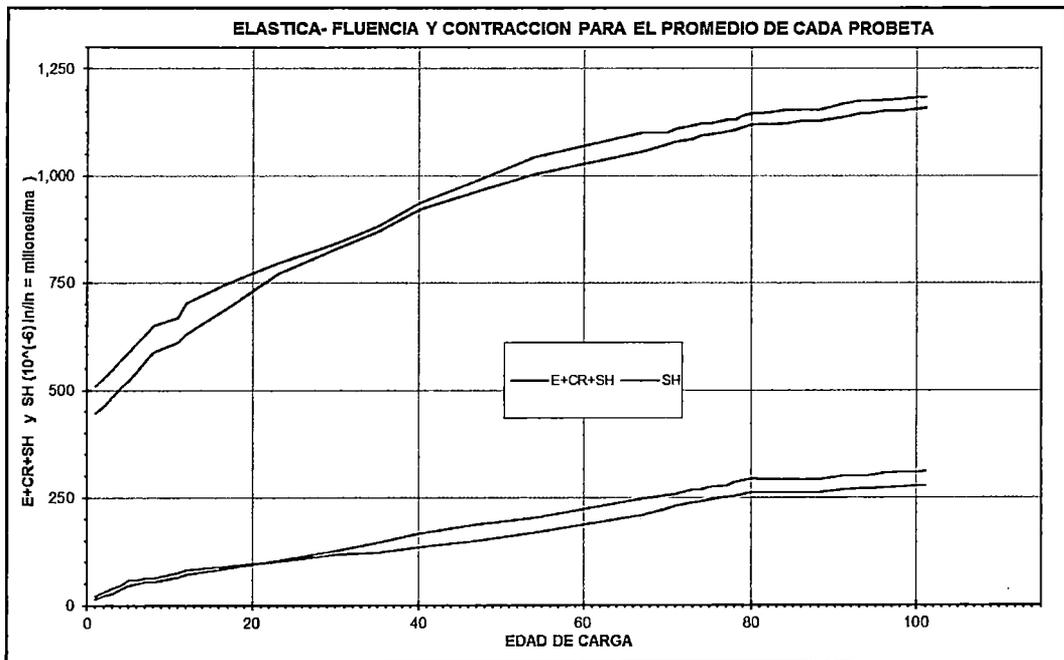


Gráfico 5.8: Promedio de deformaciones elásticas, fluencia y contracción comparadas con el promedio de la deformación por contracción para cada probeta (edad de carga 28 días).

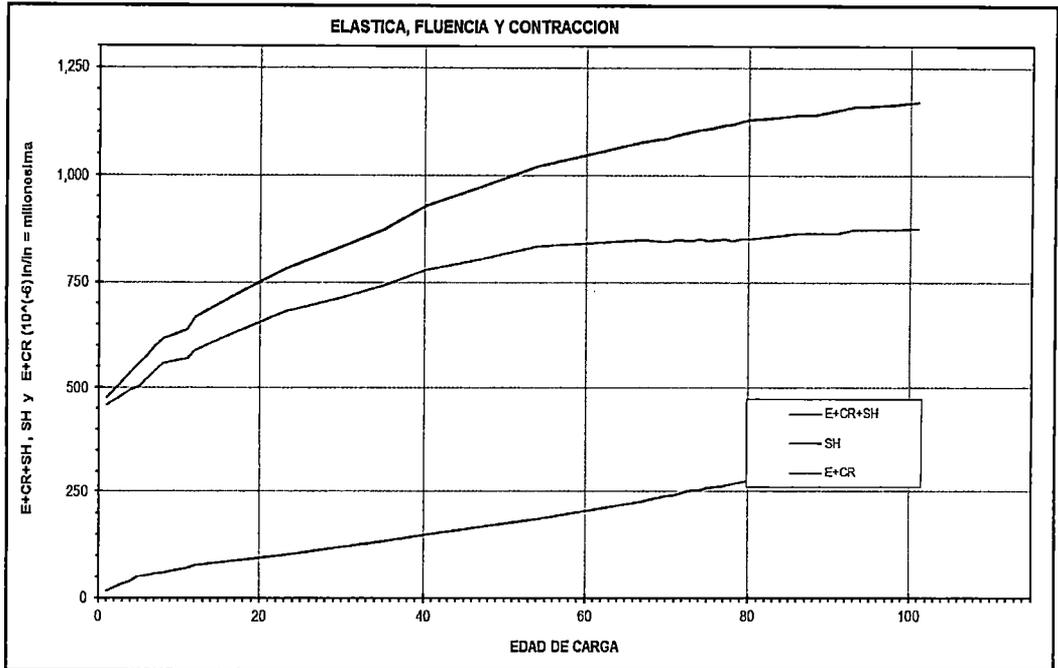


Gráfico 5.9: Promedio de deformaciones elásticas, fluencia y contracción – deformación de fluencia y deformación elástica - deformación por contracción (edad de carga 28 días).

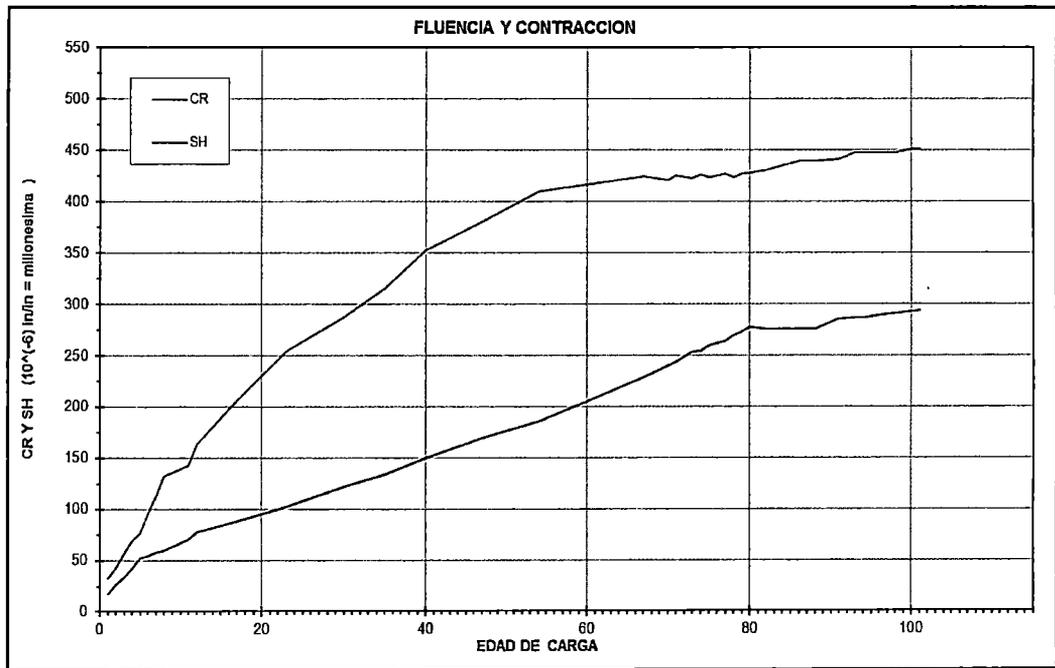


Gráfico 5.10: Promedio de deformaciones de fluencia y contracción (edad de carga 28 días).

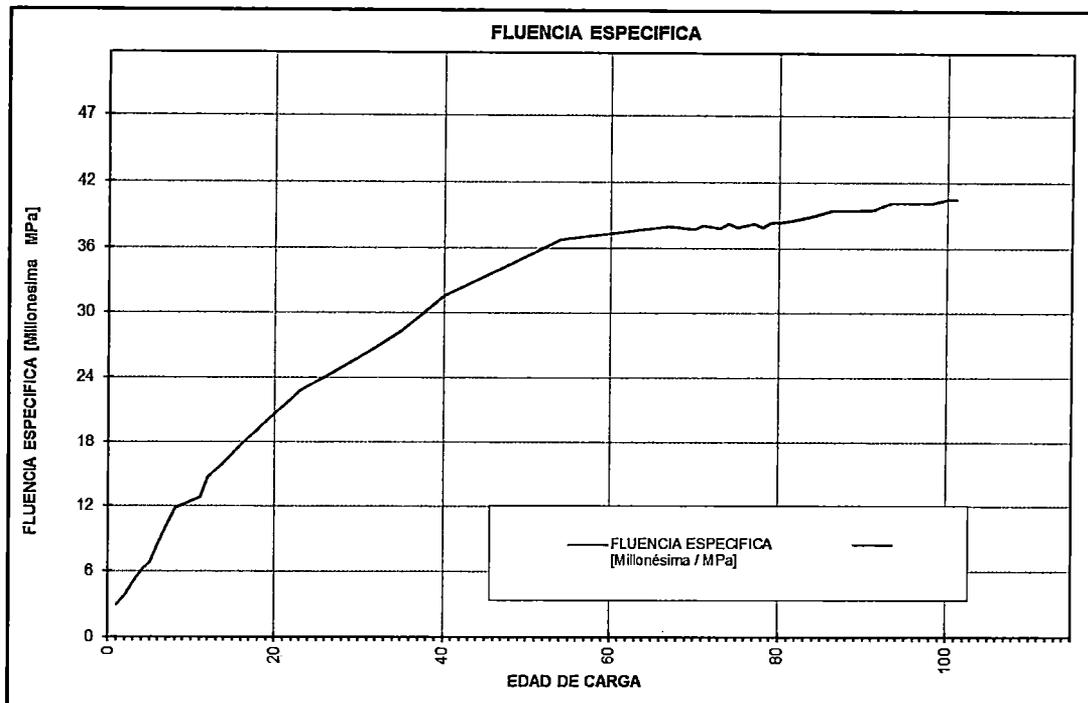


Gráfico 5.11: Gráfica del coeficiente de fluencia específica (deformación de fluencia (millonésima)/carga aplicada (psi)) (edad de carga 28 días).

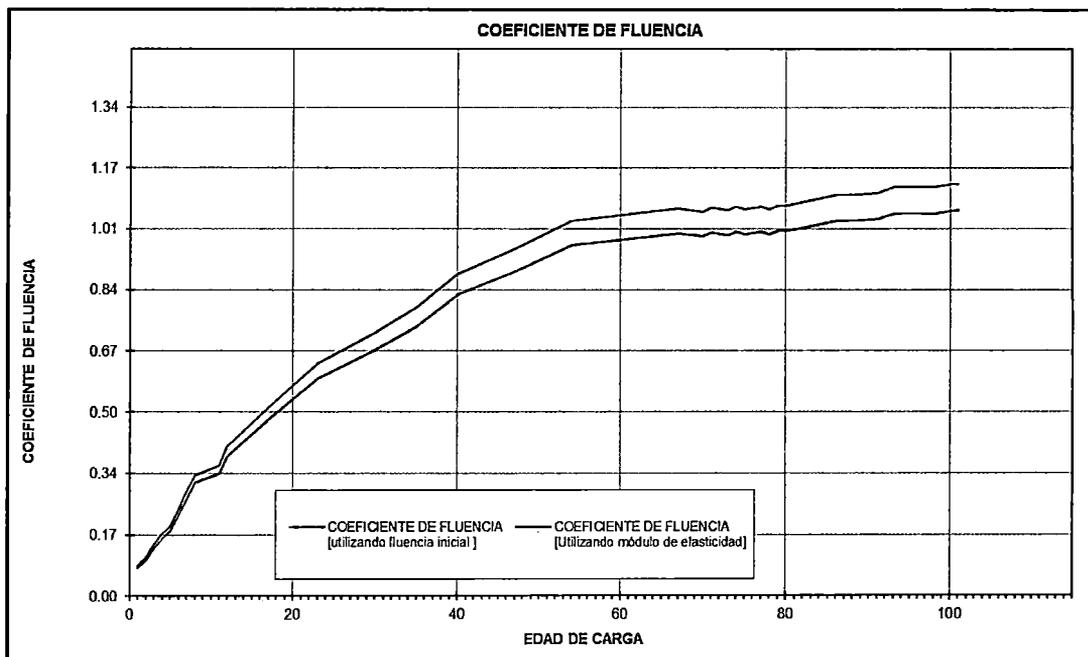


Gráfico 5.12: Comparación del coeficiente de fluencia utilizando la fluencia inicial vs el módulo de elasticidad (edad de carga 28 días).

Por lo tanto los coeficientes de fluencia finales a los 101 días de carga son:

Días	COEFICIENTE DE FLUENCIA [utilizando fluencia inicial]	COEFICIENTE DE FLUENCIA [Utilizando módulo de elasticidad]
101	1.056	1.129

c) Resultado de ensayo de contracción y fluencia 60 días (ver anexo E).

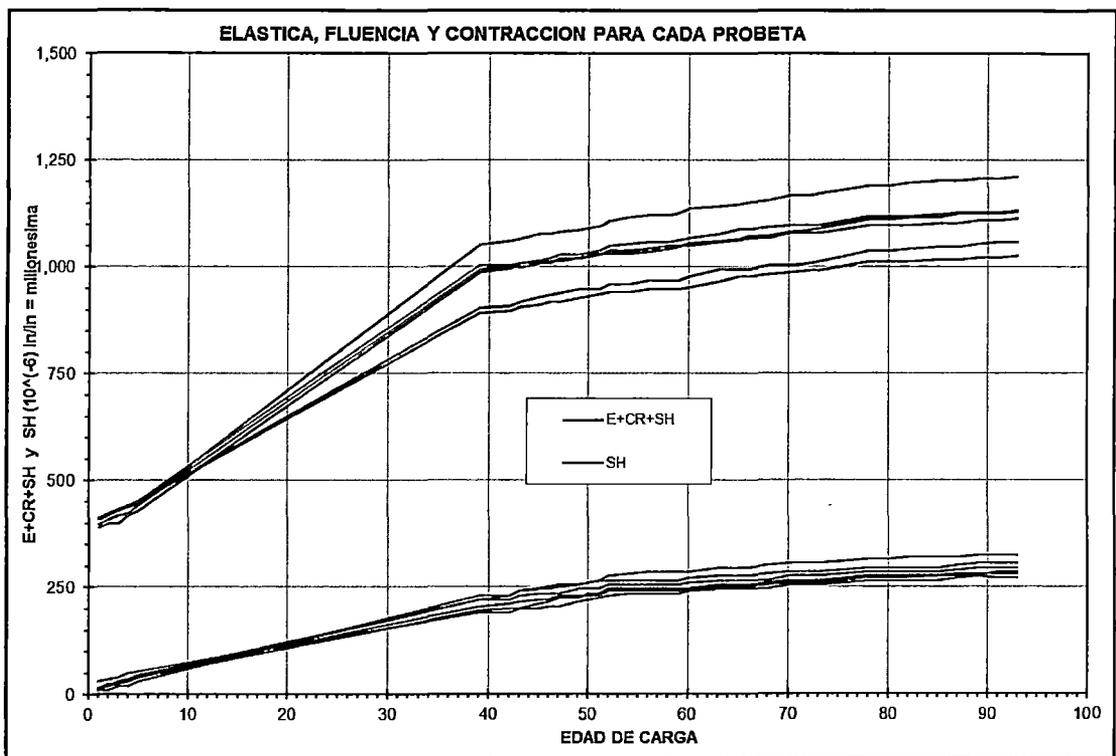


Gráfico 5.13: Suma de deformaciones elástica, fluencia y contracción comparadas con la deformación por contracción (edad de carga 60 días).

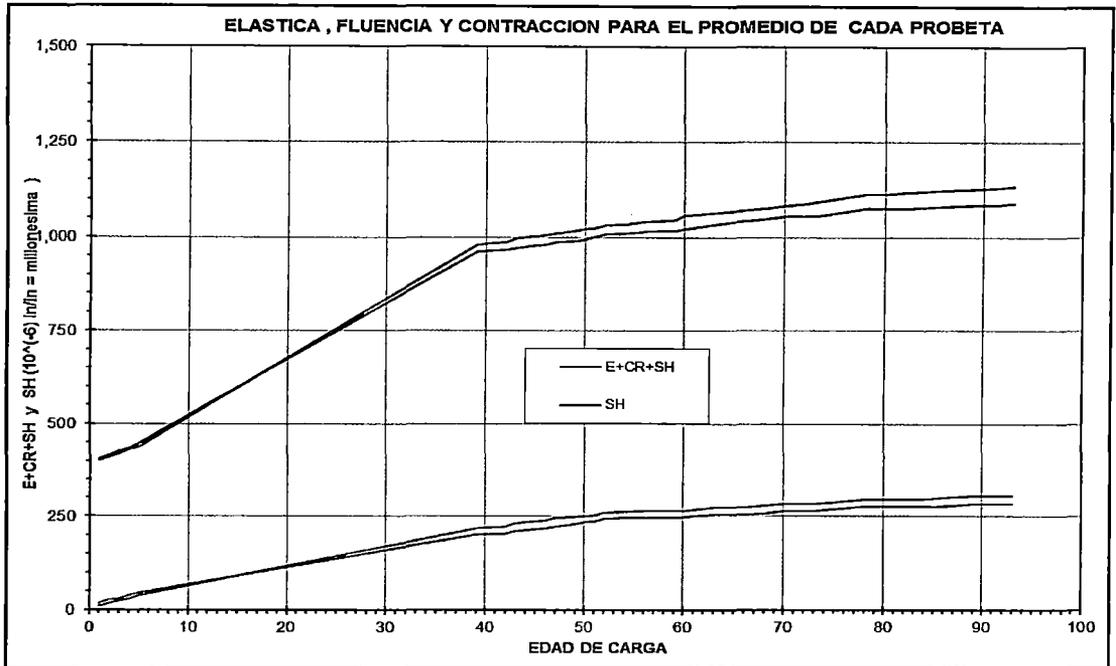


Gráfico 5.14: Promedio de deformaciones elásticas, fluencia y contracción comparadas con el promedio de la deformación por contracción para cada probeta (edad de carga 60 días).

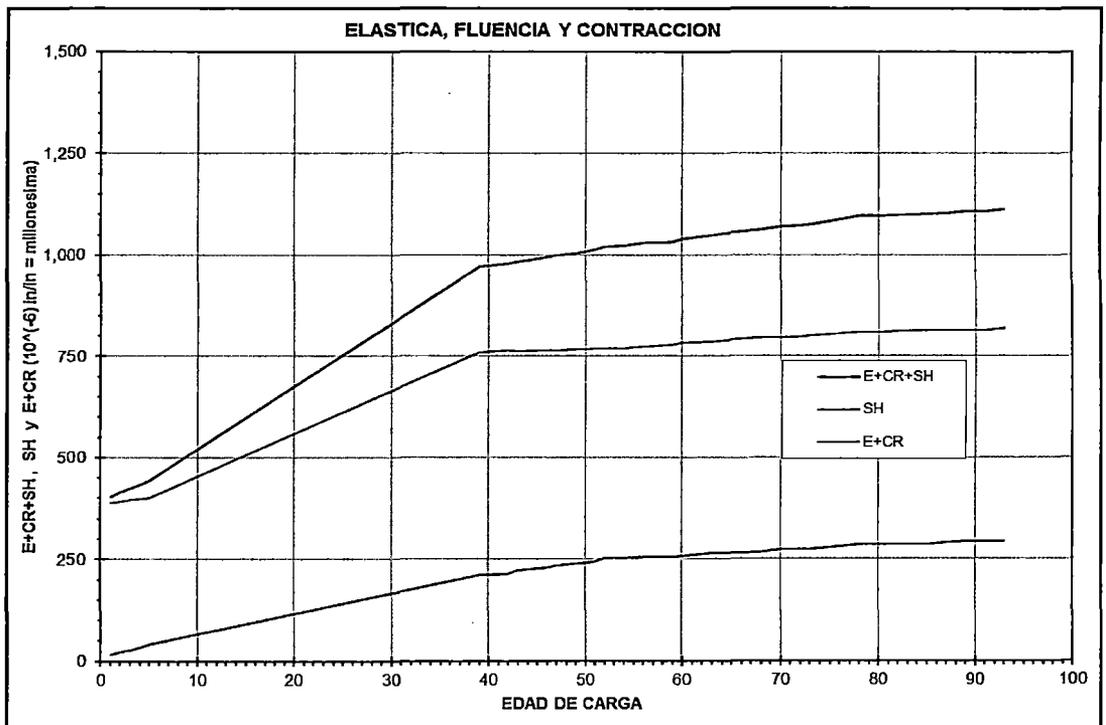


Gráfico 5.15: Promedio de deformaciones elásticas, fluencia y contracción – deformación de fluencia y deformación elástica - deformación por contracción (edad de carga 60 días).

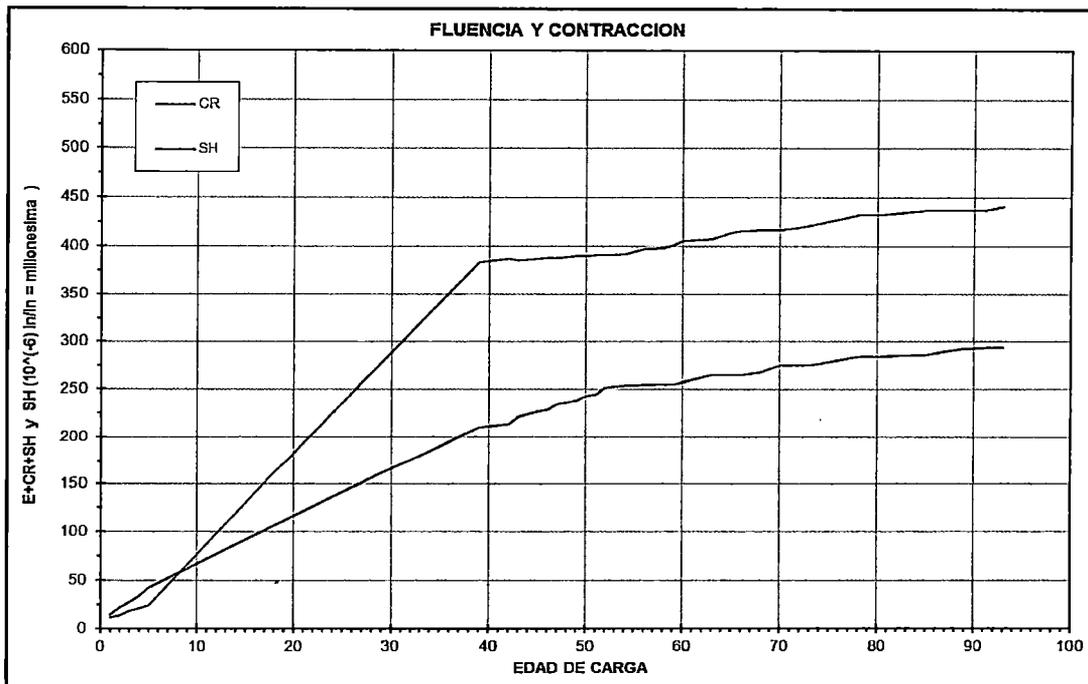


Gráfico 5.16: Promedio de deformaciones de fluencia y contracción (edad de carga 60 días).

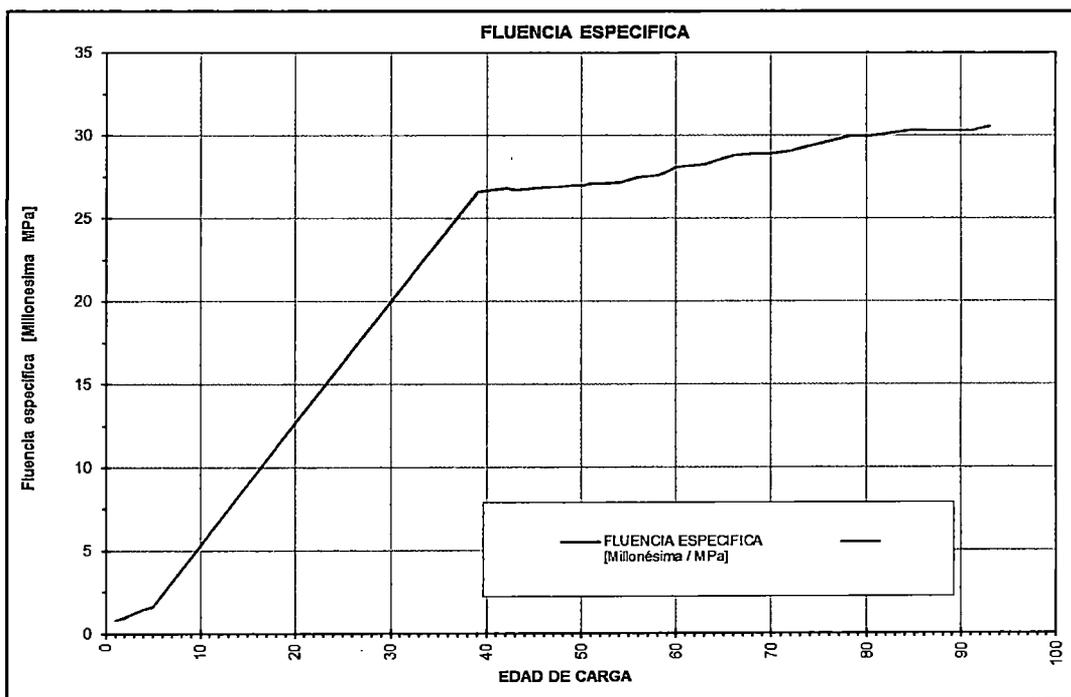


Gráfico 5.17: Gráfica del coeficiente de fluencia específica (deformación de fluencia (millonésima)/carga aplicada (psi)) (edad de carga 60 días).

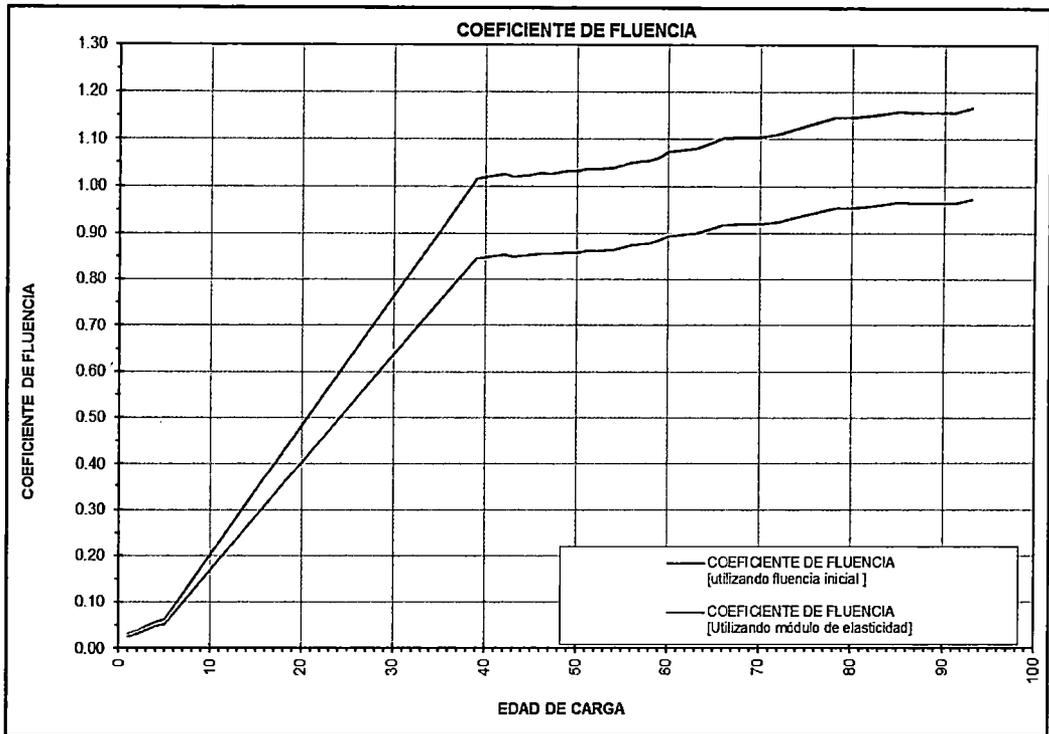


Gráfico 5.18: Comparación del coeficiente de fluencia utilizando la fluencia inicial vs el módulo de elasticidad (edad de carga 60 días).

Por lo tanto los coeficientes de fluencia finales a los 93 días de carga son:

Días	COEFICIENTE DE FLUENCIA [utilizando fluencia inicial]	COEFICIENTE DE FLUENCIA [Utilizando módulo de elasticidad]
93	1.168	0.973

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se estableció un método de ensayo el cual conlleva a buenos resultados en la comparación de las deformaciones propias del concreto sometido a carga constante.

6.1 CONCLUSIONES

- **LABORATORIO FURNAS (BRASIL)**
 - Las condiciones de curado para las probetas no fueron recomendables ya que se procedieron a sellar todas las probetas a las 36 horas y colocadas en el cuarto de curado hasta la fecha de ensayo, por lo cual el agua se quedó retenida modificando la fluencia básica y de secado.
 - La orientación de los pernos incrustados en las probetas para el ensayo de fluencia y contracción fue de 0°, 90° y 180 ° con lo cual no se puede obtener deformaciones en toda el área de la probeta.
 - Los ensayos de fluencia y contracción a la edad de carga de 36 horas, 28 y 60 días se realizaron con las probetas selladas para que no pierdan humedad; también se utilizó el refrentado o capping para mantener la una superficie plana.
 - La data obtenida siguiendo la asesoría del laboratorio Furnas, no conlleva a un resultado favorable ya que las deformaciones registradas en las probetas no se aproximaban entre si e inclusive en la toma de data se pueden observar que pasado un tiempo las deformaciones tenían cambios abruptos de valor.

- **ASESORÍA NORTEAMERICANA (PROF. HENRY RUSSELL)**
 - La causa del bajo valor en el ensayo de resistencia a la compresión se debe al proceso de curado de los especímenes y al traslado de las probetas a edad temprana (18 horas).

- El Módulo de Elasticidad resultante en el ensayo fue variable dependiendo de las edades de las probetas, pero para el ensayo de 36 horas no tan certero ya que es una edad muy temprana del concreto y susceptible a variaciones en su valor.
- La orientación de los pernos incrustados en las probetas para el ensayo de fluencia y contracción fue de 0° , 120° y 240° lo cual ayuda a medir las deformaciones en toda el área de las probetas.
- Al analizar el procedimiento de ensayo de fluencia con el asesor Norteamericano Henry Russell se determinó que una de las causas que provocaría el cambio abrupto de deformaciones podría ser el modo de contacto entre probetas, por lo cual ya no se usó el refrentado o capping (mezcla de azufre con bentonita) sino se procedió a nivelar la parte superior e inferior de las probetas para lograr una superficie lisa, las probetas tampoco fueron selladas.
- Los ciclos de carga de los marco se realizaron comprimiendo al 10%, 15% y 20% de la resistencia a la compresión en edades de ensayo requerido (36 horas, 28 días y 60 días); esto se realizó para verificar las deformaciones en cada par de punto de contacto ya que si se incrementa la carga también incrementa la deformación en cada probeta.
- El coeficiente de fluencia obtenido en el ensayo a los 132 días a una edad de carga de 36 horas no fue aceptable ya que el coeficiente de fluencia utilizando fluencia inicial es 0.759 y usando módulo de elasticidad es 2.169, esto se sustenta en que a edades tempranas del concreto es casi improbable determinar el comportamiento que posee, incluso el módulo de elasticidad puede variar de un día a otro y presentarse cambios abruptos.

- El coeficiente de fluencia obtenido en el ensayo a los 101 días a una edad de carga de 28 días es aceptable ya que el coeficiente de fluencia utilizando fluencia inicial es 1.056 y usando módulo de elasticidad es 1.129, es decir la variación es mínima y para fines de cálculo se puede considerar el promedio que es igual 1.09.
- El coeficiente de fluencia obtenido en el ensayo a los 93 días a una edad de carga de 60 días es aceptable ya que el coeficiente de fluencia utilizando fluencia inicial es 1.168 y usando módulo de elasticidad es 0.973, es decir la variación es mínima y para fines de cálculo se puede considerar el promedio que es igual 1.07.
- AASHTO LRFD Bridge Construction Specifications - 2007 Interim Revisions” AASHTO, 2007; especifica que para el diseño de superestructuras continuas, la vigas maestra I de concreto pretensado, el máximo coeficiente creep debería ser 2.0 y fluencia lenta bajo cargas permanentes está comprendido entre 1,5 y 4,0 veces el acortamiento elástico inicial por lo tanto estamos dentro de los parámetros de la norma pero demostrando los coeficientes de fluencia reales para un concreto de 280 kg/cm² a las 36 horas.
- La fluencia depende de la composición del concreto. Lo único que experimenta fluencia es la pasta de cemento, los agregados no experimentan fluencia. Por lo tanto a mayor contenido de pasta mayor fluencia. La fluencia depende también del contenido de aire en el concreto y del contenido de finos en el concreto.
- La fluencia depende de la humedad relativa promedio del ambiente, a mayor humedad menor fluencia ya que una parte de la fluencia (fluencia por Secado) se debe a la migración de agua libre en los poros hacia el exterior del concreto.

- Para el ensayo de contracción se procedió a sellar solo la parte superior de las caras de las probetas para igualar la pérdida de agua de las probetas de fluencia colocadas en los marcos.

6.2 RECOMENDACIONES

Para garantizar datos confiables en el ensayo se debe tener en cuenta los siguientes puntos:

- Nivelación: Garantizar la planicidad y nivelación de las superficies de las probetas.
- Pérdida de carga: Monitorear la carga aplicada y corregir siempre que sea detectada una variación en la misma (verificar en el manómetro), sobretodo antes de ejecutar una medición.
- Instrucción Previa: Debido a la minuciosidad del ensayo se necesita capacitación para el manejo de los equipos, en especial para el medidor Whittemore ya que es un aparato sensible al movimiento.
- Error en la lectura: Tener cuidado durante la ejecución de la lectura del medidor Whittemore, por lo cual se recomienda tener un solo operador que inicie el ensayo y lo finalice, para no tener variaciones de lectura durante el tiempo de ensayo.
- Error de anotación de la lectura: Observar la correcta anotación de la lectura por lo cual se debe nuevamente incidir en un adecuado entrenamiento previo.
- Error de digitación: Después de la digitación, imprimir la planilla digitada y proceder a la confirmación de los datos corrigiendo cuando fuese necesario.

BIBLIOGRAFÍA

1. ACI 209R-92, "Prediction of Creep, Shrinkage and Temperature Effects in Concrete Structures" (1997).
2. González Hevia Ignacio Marcos, "Estudio comparativo del comportamiento en creep de hormigones h30 y h70 en edades tempranas", Universidad de Chile, 2008.
3. NEVILLE, A.M, "Creep of concrete: Plain, Reinforced, and Prestressed", North-Holland publishing company, Amsterdam, 1996.
4. Pickett, G. Effect of Aggregate on Shrinkage of Concrete and a Hypothesis Concerning Shrinkage. *Journal of the American Concrete Institute*, 10. (1954).
5. ASTM C 469 – 94 Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression (2010).
6. ASTM- C512/C512M- 10, "Standard Test Method for Creep of Concrete in Compression"(2010).
7. ASTM-C878 – 95a, "Standard Test Method for Restrained Expansion of Shrinkage Compensating Concrete" (2010).
8. Tia Mang, Liu Yanjun y Brown Danny, "Final Report modulus of elasticity, creep and Shrinkage of concrete – Phase II", Department of Civil & Coastal Engineering, University of Florida, Gainesville Florida, October 2005.

ANEXO A

Calibración de manómetros de gatas - Procedimiento FURNAS



CONVENIO CTE /UNI

Validación de la Gata



Fabricante: HIDROFEM S.A.C

Gata: G-01

Mánometro:

Fabricante: Kompass

Identificação:

Faixa Nominal: 250 kgf/cm² (437.9 kN)

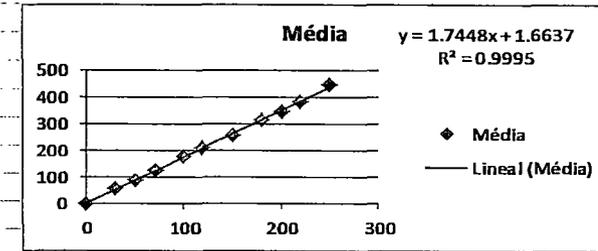
Valor de 01 divisão: 10 kgf/cm² 19.12 kN 17.544

Rastreabilidade:

Prensa, capacidade: 3000 kN, modelo: 2091, Fabricante: Toni Technik

Local: Laboratório de Ensaio de Materiales - UNI - Universidad Nacional de Ingeniería - Lima - PERU

Execução: Equipe CONVENIO CTE/UNI



Manômetro		Prensa (kN)			Erros (%)		
(kN)	kgf/cm ²	1º Cíclo	2º Cíclo	3º Cíclo	Média	Exatidão	Repetitividade
0	0	0	0	0	0	0	0
57.36	30	58.86	58.86	58.86	58.86	2.5	0.0
95.60	50	90.252	90.252	90.252	90.26	-5.9	0.0
114.72	70	123.606	123.606	123.606	123.61	7.2	0.0
172.08	100	176.58	176.58	176.58	176.58	2.5	0.0
210.32	120	211.896	207.972	209.934	209.94	-0.2	1.9
267.68	150	257.022	257.022	258.984	257.68	-3.9	0.8
325.04	180	313.92	313.92	313.92	313.92	-3.5	0.0
344.16	200	347.274	349.236	349.236	348.59	1.3	0.6
382.40	220	384.552	384.552	386.514	385.21	0.7	0.5
439.76	250	443.412	445.374	443.412	444.07	1.0	0.4

52.632	n = 11	y = ax + b
87.72	Sx = 1370	x = indicação del manômetro em kgf/cm ²
122.808	Sx ² = 238500	y = fuerza aplicada em kN
175.44	Sy = 2408.72	
210.528	Sxy = 418421.6	a = 1.744832
263.16		b = 1.663713
315.792	DET =	
350.88	11 1370	= 746600
385.968	1370 238500	
438.6	DET _A =	
	11 2408.72	= 1302691
	1370 418421.6	
	DET _B =	
	2408.72 1370	= 1242128
	418421.6 238500	



CONVENIO CTE /UNI

Validación de la Gata



Fabricante: HIDROFEM S.A.C

Gata: G-02

Mãnometro:

Fabricante: Kompass

Identificação:

Faixa Nominal: 250 kgf/cm² (441 kN)

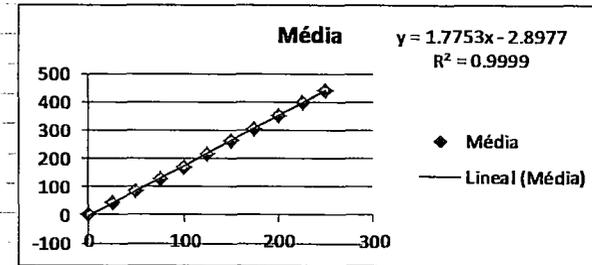
Valor de 01 divisão: 10 kgf/cm² 14.86 kN

Rastreabilidade:

Prensa, capacidade: 3000 kN, modelo: 2091, Fabricante: Toni Technik

Local: Laboratório de Ensaios de Materiales - UNI - Universidad Nacional de Ingeniería - Lima - PERU

Execução: Equipe CONVENIO CTE/UNI



Manômetro		Prensa (kN)				Erros (%)	
(kN)	kgf/cm ²	1º Cido	2º Cido	3º Cido	Média	Exatidão	Repetitividade
	0	0	0	0	0	0	0
44.58	25	42.60	42.35	42.30	42.42	-5.1	0.7
89.16	50	85.07	86.60	86.40	86.03	-3.6	1.8
133.74	75	128.00	128.70	129.00	128.57	-4.0	0.8
178.32	100	172.00	172.00	172.00	172.00	-3.7	0.0
222.90	125	218.00	217.60	216.20	217.27	-2.6	0.8
267.48	150	262.00	262.40	261.60	262.00	-2.1	0.3
312.06	175	308.00	308.80	307.80	308.20	-1.3	0.3
356.64	200	352.00	352.90	353.00	352.64	-1.1	0.3
401.22	225	396.00	398.40	397.60	397.34	-1.0	0.6
445.80	250	442.82	442.50	442.60	442.64	-0.7	0.1
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-

n = 11
 $S_x = 1375$
 $S_x^2 = 240625$
 $S_y = 2409.11$
 $S_{xy} = 423188$

$y = ax + b$
 $x =$ indicação do manômetro em kgf/cm²
 $y =$ força aplicada em kN
 $a = 1.775262$
 $b = -2.89773$

$DET = \begin{vmatrix} 11 & 1375 \\ 1375 & 240625 \end{vmatrix} = 756250$

$DET_A = \begin{vmatrix} 11 & 2409.11 \\ 1375 & 423188 \end{vmatrix} = 1342542$

$DET_B = \begin{vmatrix} 2409.11 & 1375 \\ 423188 & 240625 \end{vmatrix} = -2191406$



CONVENIO CTE /UNI

Validación de la Gata



Fabricante: HIDROFEM S.A.C

Gata: G-03

Mánometro:

Fabricante: Kompass

Identificação:

Faixa Nominal: 250 kgf/cm² (453.7 kN)

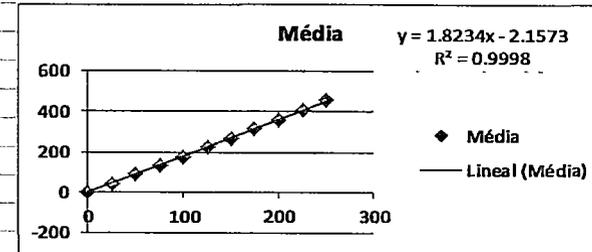
Valor de 01 divisão: 10 kgf/cm² 16.08 kN

Rastreabilidade:

Prensa, capacidade: 3000 kN, modelo: 2091, Fabricante: Toni Technik

Local: Laboratório de Ensaios de Materiales - UNI - Universidad Nacional de Ingeniería - Lima - PERU

Execucion: Equipe CONVENIO CTE/UNI



Manômetro		Prensa (kN)			Erros (%)		
(kN)	kgf/cm ²	1º Cido	2º Cido	3º Cido	Média	Exatidão	Repetitividade
0	0	0	0	0	0	0	0
48.24	25	44.7	45.3	45.9	45.30	-6.5	2.6
96.48	50	89.6	90.66	91.4	90.56	-6.5	2.0
128.64	75	133	133.8	132.14	132.98	3.3	1.2
176.88	100	177.6	176.92	177.58	177.37	0.3	0.4
225.12	125	222.48	222.17	223.8	222.82	-1.0	0.7
273.36	150	270.1	269.04	268.9	269.35	-1.5	0.4
321.60	175	316.42	315.69	315.98	316.03	-1.8	0.2
369.84	200	364	362.8	362.87	363.23	-1.8	0.3
402.00	225	409.67	409.45	409.6	409.58	1.9	0.1
450.24	250	455.12	456.98	456.58	456.23	1.3	0.4
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-

$n = 11$
 $Sx = 1375$
 $Sx^2 = 240625$
 $Sy = 2483.45$
 $Sxy = 435790.3$

$y = ax + b$
 $x = \text{indicacion del manómetro em kgf/cm}^2$
 $y = \text{fuerza aplicada em kN}$
 $a = 1.823404$
 $b = -2.15727$

$DET = \begin{vmatrix} 11 & 1375 \\ 1375 & 240625 \end{vmatrix} = 756250$

$DET_A = \begin{vmatrix} 11 & 2483.45 \\ 1375 & 435790.3 \end{vmatrix} = 1378949$

$DET_B = \begin{vmatrix} 2483.45 & 1375 \\ 435790.3 & 240625 \end{vmatrix} = -1631438$



CONVENIO CTE /UNI

Validación de la Gata



Fabricante: HIDROFEMS.A.C

Gata: G-04

Mánometro:

Fabricante: Kompass

Identificação:

Faixa Nominal: 350 kgf/cm² (589.7 kN)

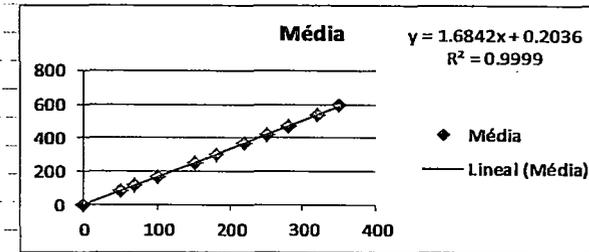
Valor de 01 divisão: 10 kgf/cm² 17.05 kN

Rastreabilidade:

Prensa, capacidade: 3000 kN, modelo: 2091, Fabricante: Toni Technik

Local: Laboratório de Ensaios de Materiales - UNI - Universidad Nacional de Ingeniería - Lima - PERU

Execução: Equipe CONVENIO CTE/UNI



Manômetro		Prensa (kN)			Erros (%)		
(kN)	kgf/cm ²	1º Cido	2º Cido	3º Cido	Média	Exatidão	Repetitividade
0	0	0	0	0	0	0	0
85.25	50	89	87.2	86.2	87.47	2.5	3.2
119.35	70	119.6	119.5	118.3	119.14	-0.2	1.1
170.50	100	170.9	168.7	168.4	169.34	-0.7	1.5
255.75	150	253.6	251.4	250.9	251.97	-1.5	1.1
306.90	180	301.4	300	299.7	300.37	-2.2	0.6
375.10	220	368.1	367.2	366.9	367.40	-2.1	0.3
426.25	250	421.7	419.6	418.8	420.04	-1.5	0.7
477.40	280	471.7	469.7	470.1	470.50	-1.5	0.4
545.60	320	540.9	539.2	539.1	539.74	-1.1	0.3
596.75	350	594.61	593.8	594.3	594.24	-0.4	0.1
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-

$n = 11$
 $S_x = 1970$
 $S_x^2 = 486500$
 $S_y = 3320.21$
 $S_{xy} = 819788.2$

$y = ax + b$
 $x = \text{Indicacion del manómetro em kgf/cm}^2$
 $y = \text{fuerza aplicada em kN}$

$a = 1.684249$
 $b = 0.203598$

$$DET = \begin{vmatrix} 11 & 1970 \\ 1970 & 486500 \end{vmatrix} = 1470600$$

$$DET_A = \begin{vmatrix} 11 & 3320.21 \\ 1970 & 819788.2 \end{vmatrix} = 2476857$$

$$DET_B = \begin{vmatrix} 3320.21 & 1970 \\ 819788.2 & 486500 \end{vmatrix} = 299411$$



CONVENIO CTE /UNI Validación de la Gata



Fabricante: HIDROFEM S.A.C

Gata: G-05

Manómetro:

Fabricante: Kompass

Identificação:

Faixa Nominal: 350 kgf/cm² (619 kN)

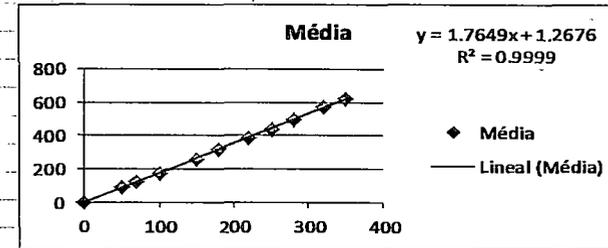
Valor de 01 divisão: 10 kgf/cm² 18.92 kN

Rastreabilidade:

Prensa, capacidade: 3000 kN, modelo: 2091, Fabricante: Toni Technik

Local: Laboratório de Ensaios de Materiales - UNI - Universidad Nacional de Ingeniería - Lima - PERU

Execucion: Equipe CONVENIO CTE/UNI



Manômetro (kN)	kgf/cm ²	Prensa (kN)			Erros (%)		
		1° Ciclo	2° Ciclo	3° Ciclo	Média	Exatidão	Repetitividade
0	0	0	0	0	0	0	0
94.60	50	95.2	92.6	92.4	93.40	-1.3	3.0
132.44	70	126.5	125.8	126.3	126.20	-4.9	0.6
170.28	100	179.2	178.1	178.1	178.47	4.6	0.6
264.88	150	266.1	263.6	262.9	264.20	-0.3	1.2
321.64	180	317.6	314.7	314.3	315.54	-1.9	1.0
397.32	220	389.3	387.5	385	387.27	-2.6	1.1
435.16	250	442.3	440.2	440	440.84	1.3	0.5
491.92	280	497.8	496.5	494.3	496.20	0.9	0.7
567.60	320	569.9	568.8	566.2	568.30	0.1	0.7
624.36	350	617.49	622	621.9	620.47	-0.6	0.7
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-

n = 11
Sx = 1970
Sx² = 486500
Sy = 3490.89
Sxy = 861144.1

$y = ax + b$
x = indicacion del manómetro em kgf/cm²
y = fuerza aplicada em kN

a = 1.764948
b = 1.267583

$$DET = \begin{vmatrix} 11 & 1970 \\ 1970 & 486500 \end{vmatrix} = 1470600$$

$$DET_A = \begin{vmatrix} 11 & 3490.89 \\ 1970 & 861144.1 \end{vmatrix} = 2595532$$

$$DET_B = \begin{vmatrix} 3490.89 & 1970 \\ 861144.1 & 486500 \end{vmatrix} = 1864108$$

ANEXO B

Calibración de manómetros de gatas y carga aplicada a marco de Fluencia - Procedimiento Asesor Henry Russell



CONVENIO CTE /UNI

Validación de la Gata



Fabricante: HIDROFEM S.A.C

Gata: G-01

Mánometro:

Fabricante: Kompass

Identificação:

Faixa Nominal: 200 kgf/cm² (344.8 kN)

Valor de 01 divisão: 20 kgf/cm² 27.56 kN

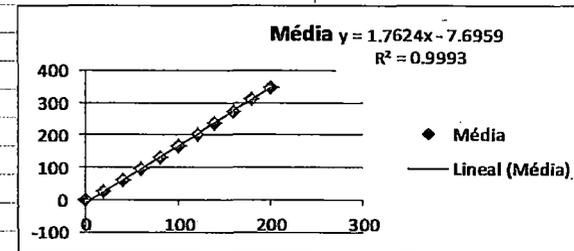
35.088

Rastreabilidade:

Prensa, capacidade: 3000 kN, modelo: 2091, Fabricante: Toni Technik

Local: Laboratório de Ensaio de Materiales - UNI - Universidad Nacional de Ingeniería - Lima - PERU

Execucion: Equipe CONVENIO CTE/UNI



Manômetro		Prensa (kN)				Erros (%)	
(kN)	kgf/cm ²	1º Ciclo	2º Ciclo	3º Ciclo	Média	Exatidão	Repetitividade
0	0	0	0	0	0	0	0
27.56	20	20	28	29	25.67	-7.4	35.1
55.12	40	53	63	63	59.67	7.6	16.8
110.24	60	89	100	99	96.00	-14.8	11.5
137.80	80	124	136	136	132.00	-4.4	9.1
165.36	100	159	171	171	167.00	1.0	7.2
192.92	120	195	206	207	202.67	4.8	5.9
248.04	140	231	242	243	238.67	-3.9	5.0
275.60	160	267	277	278	274.00	-0.6	4.0
303.16	180	304	314	314	310.67	2.4	3.2
358.28	200	341	351	351	347.67	-3.1	2.9
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-

0:			
35.088:			
70.176:	n = 11		y = ax + b
105.264:	S _x = 1100		x = indicacion del manômetro em kgf/cm ²
140.352:	S _x ² = 154000		y = fuerza aplicada em kN
175.44:	S _y = 1854.02		
210.528:	S _{xy} = 262949	a = 1.762432	
245.616:		b = -7.69591	
280.704:			
315.792:			
350.88:	DET =	$\begin{vmatrix} 11 & 1100 \\ 1100 & 154000 \end{vmatrix}$	= 484000
	DET _A =	$\begin{vmatrix} 11 & 1854.02 \\ 1100 & 262949 \end{vmatrix}$	= 853017
	DET _B =	$\begin{vmatrix} 1854.02 & 1100 \\ 262949 & 154000 \end{vmatrix}$	= -3724820

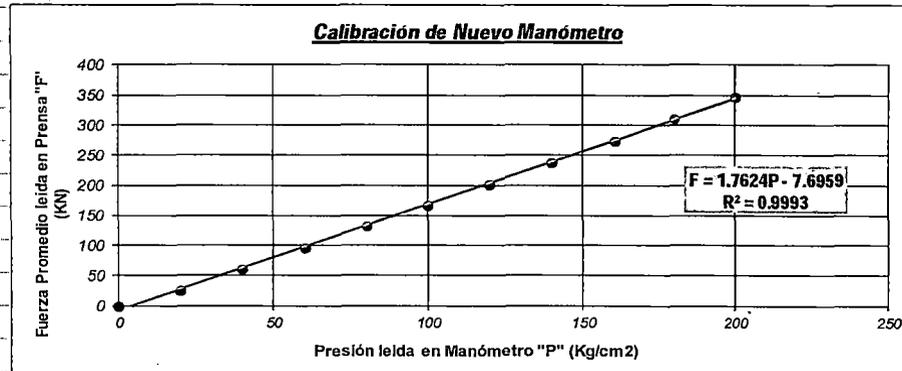
CALIBRACIÓN DE MANÓMETRO Y CARGA APLICADA EN MARCO DE FLUENCIA

Las tres fuerzas de rotura fueron las siguientes:

F_{rot1}	=	40100 Kg
F_{rot2}	=	39000 Kg
F_{rot3}	=	42325 Kg

Fuerza Rotura :	F_{rot}	=	39000 Kg	(Fuerza de rotura a emplear en ensayo de fluencia, tomada como la menor de los 3 ensayos de resistencia a las 36 horas)
			382.590 KN	
Fuerza Fluencia * :	F_{creep}	=	15600 Kg	(Fuerza máxima a aplicar para ensayo de Fluencia)
Fuerza Fluencia :	F_{creep}	=	15000 Kg	(Fuerza a aplicar para ensayo de Fluencia)
			147.2 KN	

Presión Manómetro (Kg/cm ²)	Fuerza en Prensa (kN)			
	1° Ciclo	2° Ciclo	3° Ciclo	Promedio
0	0	0	0	0
20	20	28	29	25.67
40	53	63	63	59.67
60	89	100	99	96.00
80	124	136	136	132.00
100	159	171	171	167.00
120	195	206	207	202.67
140	231	242	243	238.67
160	267	277	278	274.00
180	304	314	314	310.67
200	341	351	351	347.67



$$F \text{ (KN)} = 1.7624 \cdot P \text{ (Kg/cm}^2) - 7.6959$$

F	=	147.2 KN	Fuerza a aplicar en ensayo de Fluencia
P	=	87.89 Kg/cm ²	Presión a leer en manómetro en ensayo de Fluencia

P	=	90.00 Kg/cm ²	Presión actual leída en manómetro
F	=	150.920 KN	Fuerza real aplicada en marco de carga
F/F _{rot}	=	39.4 %	Porcentaje de fuerza aplicada respecto a la de rotura

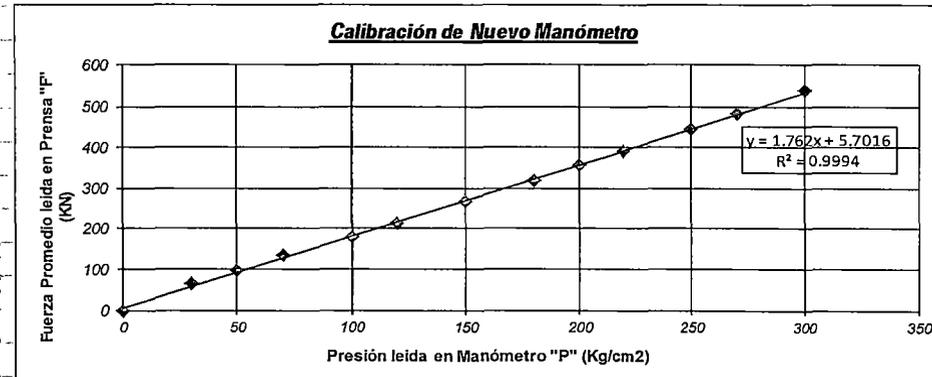
CALIBRACIÓN DE MANÓMETRO Y CARGA APLICADA EN MARCO DE FLUENCIA

Las tres fuerzas de rotura fueron las siguientes:

$F_{rot\ 1}$	=	83284 Kg
$F_{rot\ 2}$	=	81386.34 Kg
$F_{rot\ 3}$	=	82215 Kg

Fuerza Rotura : F_{rot}	=	81386.34 Kg	(Fuerza de rotura a emplear en ensayo de fluencia, tomada como la menor de los 3 ensayos de resistencia a las 28 días)
		798.40 KN	
Fuerza Fluencia* F_{creep}	=	32554.536 Kg	(Fuerza máxima a aplicar para ensayo de Fluencia)
Fuerza Fluencia F_{creep}	=	24415.902 Kg	(Fuerza a aplicar para ensayo de Fluencia)
		240 KN	

PM (Kg/cm ²)	Fuerza en Prensa (kN)			
	1° Ciclo	2° Ciclo	3° Ciclo	Promedio
0	0	0	0	0
30	64.72	64.72	62.76	64.07
50	98.07	96.11	96.11	96.77
70	137.29	131.41	139.25	135.99
100	174.56	182.4	182.4	179.79
120	215.75	213.78	214.5	214.68
150	270.66	268.7	266.74	268.70
180	321.66	311.85	317.74	317.09
200	358.92	355	355	356.31
220	387.36	392.27	392.27	390.64
250	445.22	447.18	445.22	445.88
270	484.45	484.45	480.53	483.15
300	541.33	539.37	537.4	539.37



$$F \text{ (KN)} = 1.762 P \text{ (Kg/cm}^2\text{)} + 5.70162$$

F	=	236 KN	Fuerza a aplicar en ensayo de Fluencia
P	=	130.70 Kg/cm ²	Presión a leer en manómetro en ensayo de Fluencia

P	=	120.00 Kg/cm ²	Presión actual leída en manómetro
F	=	205.738 KN	Fuerza real aplicada en marco de carga
F/F_{rot}	=	25.8 %	Porcentaje de fuerza aplicada respecto a la de rotura



CONVENIO CTE /UNI

Validación de la Gata



Fabricante: HIDROFEM S.A.C

Gata: G-03

Mánometro:

Fabricante: Kompass | Identificação:

Faixa Nominal: 350 kgf/cm² | (622.5 kN)

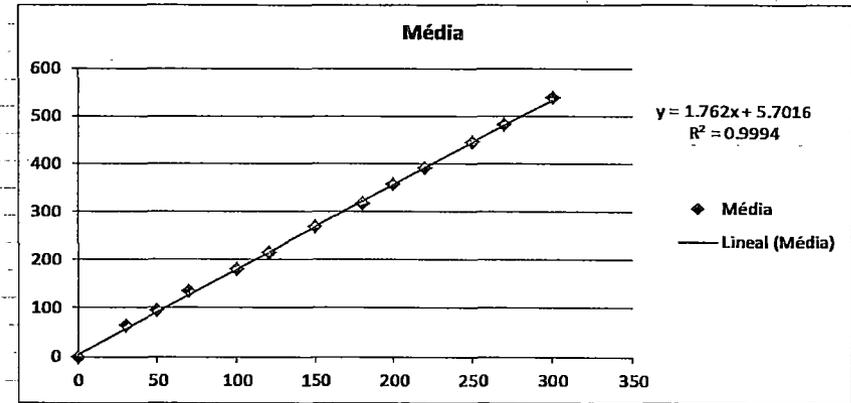
Valor de 01 divisão: 10 kgf/cm² 23.33 kN

Rastreabilidade:

Prensa, capacidade: 3000 kN, modelo: 2091, Fabricante: Toni Technik

Local: Laboratório de Ensaios de Materiales - UNI - Universidad Nacional de Ingeniería - Lima - PERU

Execução: Equipe CONVENIO CTE/UNI



Manômetro		Prensa (kN)			Erros (%)		
(kN)	kgf/cm ²	1° Ciclo	2° Ciclo	3° Ciclo	Média	Exatidão	Repetitividade
0	0	0	0	0	0	0	0
69.99	30	64.72	64.72	62.76	64.07	-9.2	3.1
93.32	50	98.07	96.11	96.11	96.77	3.6	2.0
139.98	70	137.29	131.41	139.25	135.99	-2.9	5.8
186.64	100	174.56	182.4	182.4	179.79	-3.8	4.4
209.97	120	215.75	213.78	214.5	214.68	2.2	0.9
279.96	150	270.66	268.7	266.74	268.70	-4.2	1.5
326.62	180	321.66	311.85	317.74	317.09	-3.0	3.1
349.95	200	358.92	355	355	356.31	1.8	1.1
396.61	220	387.36	392.27	392.27	390.64	-1.5	1.3
443.27	250	445.22	447.18	445.22	445.88	0.6	0.4
489.93	270	484.45	484.45	480.53	483.15	-1.4	0.8
536.59	300	541.33	539.37	537.4	539.37	0.5	0.7
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-

n = 13
 $S_x = 1940$
 $S_x^2 = 401400$
 $S_y = 3492.44$
 $S_{xy} = 718336$

$y = ax + b$
 x = indicação del manômetro em kgf/cm²
 y = fuerza aplicada em kN

a = 1.76202
 b = 5.70162

$DET = \begin{vmatrix} 13 & 1940 \\ 1940 & 401400 \end{vmatrix} = 1454600$

$DET_A = \begin{vmatrix} 13 & 3492.44 \\ 1940 & 718336 \end{vmatrix} = 2563034$

$DET_B = \begin{vmatrix} 3492.44 & 1940 \\ 718336 & 401400 \end{vmatrix} = 8293576$

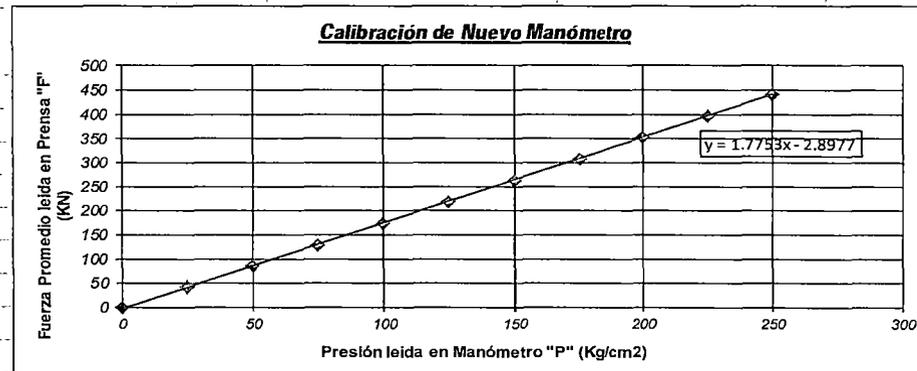
CALIBRACIÓN DE MANÓMETRO Y CARGA APLICADA EN MARCO DE FLUENCIA

Las tres fuerzas de rotura fueron las siguientes:

$F_{rot\ 1}$	=	87917 Kg
$F_{rot\ 2}$	=	85207.95 Kg
$F_{rot\ 3}$	=	86747 Kg

Fuerza Rotura : F_{rot}	=	85207.95 Kg	(Fuerza de rotura a emplear en ensayo de fluencia, tomada como la menor de los 3 ensayos de resistencia a las 60 días)
		835.89 KN	
Fuerza Fluencia* F_{creep}	=	34083.18 Kg	(Fuerza máxima a aplicar para ensayo de Fluencia)
Fuerza Fluencia F_{creep}	=	27436.96 Kg	(Fuerza a aplicar para ensayo de Fluencia)
		269 KN	

PM (Kg/cm ²)	Fuerza en Prensa (kN)			
	1° Ciclo	2° Ciclo	3° Ciclo	Promedio
0	0	0	0	0
25	42.6	42.35	42.3	42.42
50	85.07	86.6	86.4	86.03
75	128	128.7	129	128.57
100	172	172	172	172.00
125	218	217.6	216.2	217.27
150	262	262.4	261.6	262.00
175	308	308.8	307.8	308.20
200	352	352.9	353	352.64
225	396	398.4	397.6	397.34
250	442.82	442.5	442.6	442.64



$$F \text{ (KN)} = 1.7753 P \text{ (Kg/cm}^2\text{)} - 2.8977$$

F	=	269 KN	Fuerza a aplicar en ensayo de Fluencia;
P	=	149.98 Kg/cm ²	Presión a leer en manómetro en ensayo de Fluencia

P	=	149.98 Kg/cm ²	Presión actual leída en manómetro
F	=	263.361 KN	Fuerza real aplicada en marco de carga
F/F_{rot}	=	31.5 %	Porcentaje de fuerza aplicada respecto a la de rotura

ANEXO C

Resultado Ensayo de fluencia y contracción 36 horas.