

**HORMIGÓN FIBRO-REFORZADO. FIBRAS
OBTENIDAS DE ENVASES POST-CONSUMO
vs FIBRAS SINTÉTICAS COMERCIALES.
ESTUDIO PRELIMINAR.**

Tesina Setiembre 2016

Tutora: Maria Esther Fernandez Iglesias
Alumno: Sebastián Andres Sanabria Chioino
Construcción III
Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo –
Udelar, Montevideo, Uruguay



**UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY**

Facultad de Arquitectura,
Diseño y Urbanismo, 2016

"Hay varias batallas que deben ser ganadas y varias fronteras que necesitan ser ampliadas con el fin de mejorar la calidad del entorno construido y en consecuencia la calidad de vida de las personas. Cada vez más y más personas en el planeta están en búsqueda de un lugar decente para vivir y las condiciones para lograrlo se están volviendo cada vez más difíciles. Cualquier intento de ir más allá de la norma encuentra gran resistencia en la inercia de la realidad y cualquier esfuerzo para abordar temas relevantes tiene que superar la creciente complejidad del mundo moderno",

Alejandro Aravena

INDICE

1. INTRODUCCIÓN	5
2. OBJETIVOS	12
2.1. OBJETIVO GENERAL	12
2.2. OBJETIVOS PARTICULARES	12
3. APLICACIÓN DE HORMIGÓN FIBRO-REFORZADO EN URUGUAY	13
4. MATERIALES Y EQUIPOS	16
4.1. MATERIALES	16
4.2. EQUIPOS	18
5. PROCEDIMIENTOS	21
5.1. DOSIFICACIÓN	21
5.2. PRODUCCIÓN DE FIBRAS	24
5.3. MOLDES	25
5.4. AMASADA	29
6. ENSAYOS	31
6.1. ENSAYO DE COMPRESIÓN:	31
6.2. ENSAYO DE MODULO DE ELASTICIDAD:	33
6.3. ENSAYO POR COMPRESIÓN DIAMETRAL:	36
7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	40
7.1 ENSAYOS DE COMPRESIÓN	41
7.2 ENSAYOS DE MODULO DE ELASTICIDAD:	43
7.3 ENSAYOS POR COMPRESIÓN DIAMETRAL:	44
8. CONCLUSIONES	45
9. TÉRMINOS Y DEFINICIONES	46
10. BIBLIOGRAFIA	48
ANEXO	49

1. INTRODUCCIÓN

Este trabajo consiste en el desarrollo de una investigación de la evaluación del desempeño de un nuevo material compuesto elaborado con hormigón reforzado con fibras obtenidas de residuos post-consumo (PET), a través de la revisión del estado del arte, el análisis normativo y la realización de ensayos mecánicos realizados en el Laboratorio del IC, Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo de la UDELAR.

Dicha evaluación se ha realizado a través de la comparación de las características resistentes de este material con hormigón reforzado con fibras comerciales de polipropileno (SikaFiber® ForcePP48) y hormigón tradicional (sin fibras).

El hormigón fibro-reforzado con fibras obtenidas de envases post-consumo es un material de construcción formado por el trabajo conjunto de dos materiales con propiedades diferentes, hormigón y fibras de residuos post-consumo PET.

Las fibras de PET poseen mayor resistencia a la tracción que la matriz cementicia. Por lo tanto, mediante la fabricación de un material compuesto surgido de la unión de ambos se tiene un material resistente a compresión y con mejora en la resistencia a tracción.

El material compuesto obtenido se caracteriza por sus buenas propiedades mecánicas, sin embargo las mismas pueden deteriorarse con el paso del tiempo y es por esto que más allá de este estudio preliminar se deberá profundizar sobre el tema y continuar con otro tipo de ensayos. Se ha investigado sobre la aplicación de aditivos como el Humo de Sílice, el metacolin, cenizas volantes y resinas acrílicas para disminuir la corrosión [1]. Aunque las alteraciones en la textura superficial son reales, estas pueden resultar beneficiosas para la adherencia entre los compuestos.

El hormigón con fibras obtenidas a partir de residuos post-consumo es un compuesto que además de buscar una mejora en las características resistentes del hormigón tradicional, permite colaborar con el tratamiento de residuos plásticos de difícil gestión, tanto por su volumen como por su lenta degradación, mediante el encapsulamiento del mismo.

El plástico es uno de los materiales predominantes en la recolección de residuos por parte de los clasificadores y este se convierte en uno de los componentes fundamentales para el desarrollo del compuesto, adquiriendo así valor agregado.

Por otro lado este sector de la población tiende a fabricar sus propias viviendas, por lo cual con la utilización del material compuesto en lugar del hormigón tradicional podrían mejorar la calidad constructiva de sus hogares.

Para la elaboración de las muestras de estos tres tipos de hormigón se emplearon probetas cilíndricas a las cuales se les realizaron ensayos de compresión, modulo de elasticidad y tracción indirecta. Estos ensayos permitieron comparar el desempeño de los tres hormigones obteniéndose como conclusiones preliminares la posible viabilidad de la utilización en la construcción del hormigón con fibras sintéticas obtenidas de residuos post consumo. Estos resultados deben ser corroborados y antes de la plena utilización es necesaria la realización de otros ensayos complementarios como ser su vida útil y durabilidad. Asimismo ofrecen un panorama muy prometedor para la utilización de las fibras obtenidas de envases plásticos post-consumo como opción de refuerzo de matrices cementicias.

Los plásticos son sustancias químicas sintéticas denominadas polímeros, de estructura macromolecular que puede ser moldeada mediante calor o presión y cuyo componente principal es el carbono. Estos polímeros son grandes agrupaciones de monómeros unidos mediante un proceso químico llamado polimerización.

De hecho, plástico se refiere a un estado del material, pero no al material en sí: los polímeros sintéticos habitualmente llamados plásticos, son en realidad materiales sintéticos que pueden alcanzar el estado plástico, esto es cuando el material se encuentra viscoso o fluido, y no tiene propiedades de resistencia a esfuerzos mecánicos[2].

Existe una gran variedad de plásticos; **PET** (Politileno Tereftalato), PEAD/ HDPE (Polietileno de alta densidad), PVC (Policloruro de vinilo), PEBD/ LDPE (Polietileno de baja densidad), PP (Polipropileno), PS (Poliestileno) y otros[2].

Actualmente existe gran utilización de estos plásticos, como envases o envolturas, y al desecharse sin control han generado basureros gigantes, como la llamada “sopa de plástico” (basureros marinos).



Figura 1: www.cromo.com.uy. Bahía del puerto de Montevideo, cerca de la refinería.

NADA SE PIERDE, TODO SE TRANSFORMA. Jorge Drexler

Los plásticos, al contrario que el papel y otros, por sus características moleculares (tipos de polímeros) no se degradan fácilmente por la acción del tiempo o de los microorganismos. Por lo general no son biodegradables, y si bien podrían ser reutilizados o reciclados en su gran mayoría, lo cierto es que hoy estos desechos son un problema de difícil solución (Figura 1) fundamentalmente en las grandes ciudades.

Según cálculos de las Naciones Unidas (ONU), cada kilómetro y medio cuadrado del océano contiene 46 mil pedazos de plástico flotantes. Se estima que cerca del 90% de la basura que ensucia los mares de todo el mundo está conformada por plástico.

Un estudio de la Dirección Nacional de Recursos Acuáticos (Dinara) en 2013, en el Río de la Plata y la Zona Pesquera común con Argentina, arrojó que más de la mitad de la basura marina era plástico y que este era predominante en las costas (70%) [3].

Durante 2012 la intendencia de Montevideo extrajo 31.148 toneladas de basura, plásticos y chatarra, entre otros, de arroyos y cañadas del departamento. Esta es solo una pequeña parte de lo que queda en el lugar o de lo que se vierte con el tiempo en el Río de la Plata [3].

Los restos de plástico en el agua no solo contaminan sino que perjudican a animales tan variados como moluscos, peces, tortugas marinas, mamíferos y aves, quienes confunden esta basura con alimentos o simplemente los comen de forma accidental. De esta forma, el plástico se convierte en la puerta de entrada de estos contaminantes a la cadena alimenticia. Por ende, cuando las personas se comen a ese animal marino, también estarán consumiendo los contaminantes [3].

Es un problema de difícil solución porque la recolección de estos es una tarea costosa y compleja para los municipios, ya que a la cantidad de envases se le debe sumar el volumen que representa.

Un claro ejemplo de esta difícil situación se dio en Montevideo semanas atrás. El jueves 31 de Diciembre del 2015 el Ejército de Uruguay comenzó a trabajar en la recolección de los residuos, retirando los basurales que se formaron en torno a los contenedores[4] (Figura 2).



Figura 2: Foto Leonardo Mainé

Existen diversas formas de gestión para este residuo, con diferentes consecuencias medioambientales y costos; incineración (posible emisión de gases tóxicos y costoso), reciclado de tipo mecánico (se usa en productos como piezas de coches o electrodomésticos), reciclado químico (se ha mejorado en los últimos años pero también es costoso)[5].

Por otro lado el empleo de fibras para mejorar las características resistentes de los materiales constructivos ha sido utilizado a lo largo de la historia. En el antiguo Egipto

se incluía paja en la argamasa de los adobes. En el hormigón armado, el hormigón tiene gran capacidad para resistir compresiones y se le incorpora el acero para resistir los esfuerzos de tracción.

La investigación iniciada en el año 2010 por la Dra. Arq. María Esther Fernández, tutora de la presente tesina, establece que fibras obtenidas a partir de PET proveniente de envases post-consumo mejoran las características mecánicas de matrices cementicias [6]. Esta se toma como punto de partida, y se busca complementar con el fin de lograr en un futuro próximo la implementación de estas fibras en la construcción nacional.

Por otro lado, este trabajo pretende complementar el lineamiento trazado por el PUC (Programa Uruguay Clasifica), por la Agenda XXI y por la Ley de Envases.

El PUC (Programa Uruguay Clasifica) es una apuesta a la construcción de una política pública nacional e integral hacia el sector clasificador desde que este fenómeno emergiera con fuerza como estrategia de supervivencia ante las reiteradas y persistentes crisis económicas de nuestro país [7].

En 2006 buscó la inclusión social a través de cambios en las formas de reciclaje y/o clasificación de residuos, entre ellos los envases post-consumo. Propuso pasar de circuitos sucios de clasificación, donde la misma se realizaba en la calle o vertederos, a circuitos limpios con trabajos decentes en los que se realiza la tarea en condiciones de higiene y no se permite la presencia de niños (Figura 3).



Figura 3: Esquema de circuitos limpios de clasificación

En 2007 la publicación “Tirando del Carro. Clasificadoras y Clasificadores: Viviendo de la Basura o Trabajando con residuos”, describe las condiciones de explotación económica disfrazada de actividad independiente en las que los trabajadores realizaban sus labores [8].

En términos internacionales se inscribe con los lineamientos trazados en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (CNUMAD), Río de Janeiro, 1992, especialmente con el documento aprobado “Agenda XXI”, donde se recomendó implantar prácticas de reducción de la generación de desechos, aumentar el reciclaje y la re-utilización de los residuos y la disposición final de los mismos de forma ambientalmente segura [9].

Además desde el punto de vista local, la investigación sigue también el ítem C del Art. 4 de la Ley de Envases: “contribuir a la inclusión social de los clasificadores, a través de la formalización de trabajo en los sistemas de recolección, clasificación y/o valorización de envases contemplando la realidad social de cada área geográfica” [10].

En resumen, la investigación que se desarrolla a continuación busca además de viabilizar un nuevo material constructivo, producir un marco para otorgar a los trabajadores de la basura el papel de “primeros agentes ecológicos” y así generar un modelo de trabajo alternativo, ambiental y socialmente sustentable, a partir de la valorización de los residuos plásticos por ellos recolectados.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Se busca demostrar a través de un método comparativo que las fibras obtenidas a partir de residuos plásticos (PET) post consumo pueden ser utilizadas como fibras de refuerzo para hormigones.

De este modo, los recolectores informales (hurgadores) podrían aprovechar un recurso (las botellas de PET) disponible para mejorar su calidad de vida, tanto por el uso de las fibras obtenidas a partir de este en sus construcciones como mediante la comercialización de las mismas.

2.2. Objetivos Particulares

Para alcanzar el objetivo general se plantearon los siguientes objetivos particulares:

- 1)** Analizar problemática de contaminación por residuos plásticos en Uruguay.
- 2)** Realizar revisión bibliográfica sobre el uso de fibras como refuerzos en matrices cementicias.
- 3)** Ajustar el procedimiento de producción de fibras de PET provenientes de residuos post-consumo.
- 4)** Diseñar el procedimiento de elaboración del material (dosificación, amasada, producción de molde, etc).
- 5)** Analizar el comportamiento mecánico del hormigón reforzado con fibras PET provenientes de residuos post-consumo, del hormigón reforzado con fibras comerciales de Polipropileno y del hormigón tradicional (sin fibras), a través de ensayos en el laboratorio del Instituto de la Construcción de la Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo.
- 6)** Evaluar los resultados a fin de extraer conclusiones.

3. APLICACIÓN DE HORMIGÓN FIBRO-REFORZADO EN URUGUAY

Los pavimentos de hormigón son estructuras propensas a la fisuración. El uso de fibras aparece como una de las mejores alternativas técnico - económicas para mejorar la performance de estos.

En Uruguay existe el caso de aplicación de hormigón reforzado con fibras de polipropileno en la reconstrucción de la Ruta 24, donde se observaron muy buenos resultados (Figura 4).



Figura 4: Extraídas de presentación del II Seminario Internacional de Pavimentos de Hormigón

La ruta 24 es una de las rutas nacionales de Uruguay. Atraviesa los departamentos de Río Negro y Paysandú, uniendo las rutas 2 y 3.

Actualmente esta ruta junto con la 21 constituye el principal corredor de acceso al puerto de Nueva Palmira sobre el litoral del río Uruguay. Es uno de los ejes por el cual circula gran parte de la producción nacional, transito forestal y granelero, y también recibe un flujo importante de los puentes internacionales de Paysandú y Fray Bentos.

Un punto clave para la implementación en este caso fue el uso de un dosificador automático para las macro fibras de polipropileno que posibilitó su distribución uniforme en el hormigón y evitó la formación de erizos.

Las siguientes precauciones fueron tenidas en la implementación del hormigón mencionado para la repavimentación de la ruta 24 de Uruguay.

“...el aumento de la esbeltez de las fibras y el empleo de altas dosificaciones conlleva un aumento de su eficiencia mecánica, pero puede provocar un descenso de la consistencia y un mayor riesgo de formación de bolas de fibras que se segregan del hormigón (erizos).”

“...el límite superior del contenido de fibras se fija en el 1,5% en volumen del hormigón.”

“...El amasado es una fase crítica de los hormigones con fibras por el riesgo de enredo de las fibras formando erizos. Este riesgo se reduce con una buena dosificación con suficiente contenido de árido fino.”

“...Debido a que el uso de fibras reduce la docilidad del hormigón, se necesitará una mayor energía de compactación.”

“...La compactación origina una orientación preferencial de las fibras. En general éstas tienden a colocarse paralelas a la superficie encofrada, especialmente si se aplica vibradores de superficie.”

“...El uso de vibradores internos puede generar zonas con exceso de pasta y pocas fibras en la zona donde se ha dispuesto el vibrador, así como cierta orientación en el sentido tangencial al diámetro externo del vibrador.”

En definitiva las fibras se pudieron distribuir homogéneamente gracias al uso del dosificador. También el uso de policarboxilato fue apropiado, pero merece resaltar dos aspectos esenciales. El común de la población no está acostumbrado a ver el aspecto que presenta este hormigón y en clima frío se podría generar un retardo del curado considerable, pero más allá de eso, hoy en día la Ruta 24 se encuentra habilitada y en perfectas condiciones (Figura 5).



Figura 5: Extraída de presentación del II Seminario Internacional de Pavimentos de Hormigón.

4. MATERIALES Y EQUIPOS

4.1. Materiales

Para realizar esta investigación se utilizaron materiales nacionales, y, en el caso de los componentes del hormigón, de un solo proveedor (Figura 6).



Figura 6: Materiales utilizados en el IC de la Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, Udelar

Cemento: Se ha utilizado cemento Portland gris de la marca ANCAP CPN-40, el cual se comercializa en envases de 25 Kg y cumple con las especificaciones de la norma UNIT 20 de Uruguay. Para asegurar una buena conservación el cemento envasado se estibó bajo techo, separado del piso y paredes, y protegido de la humedad.



Figura 7: Arena terciada

Árido fino: Se utilizó arena terciada (Figura 7).

Árido grueso: En la fabricación de los hormigones reforzados, se aconseja que la fibra tenga de longitud no menos de 2,5 a 3 veces el tamaño máximo de árido. Por eso usando fibras de 50 mm se limitó el árido a 15 mm máximo.

Agua: El agua utilizada es extraída de la red potable que suministra OSE al Laboratorio del IC de la Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo de la Udelar.

Aditivos: Los primeros ensayos de dosificación produjeron una mezcla seca. En primera instancia se resolvió la utilización de Sika Viscocrete-20 HE el cual es un aditivo superfluidificante para hormigón y mortero. Sin embargo este producto tiene alta energía incorporada por lo que finalmente se evito su empleo.

Fibras PET: se ha trabajado con fibras obtenidas a partir de botellas de agua de 2 lts de la empresa Salus® (Figura 8).

En los envases post-consumo de PET, provenientes de refrescos, se pueden encontrar dos grupos; aquellos que corresponden a bebidas carbonatadas o no. Por posibles diferencias de composición química y unificando criterios se utilizaron de agua con gas.

Para que las características de las fibras fueran más homogéneas se ha utilizado la parte de los envases que corresponde a una misma exposición al estiramiento en el momento de su fabricación.



Figura 8: Proceso de producción de las fibras de PET a partir de botellas de agua Salus®

SikaFiber® ForcePP48: Fibras comerciales producidas por la empresa Sika® la cual ha colaborado con la investigación, con materiales e información técnica [11]. Son macro-fibras sintéticas de poliolefina para hormigón estructural y hormigón proyectado que ofrecen un rendimiento óptimo en ambientes altamente corrosivos (Figura 9).

Dimensiones: 48 mm x 1,37 mm x 0,34 mm (espesor). Dosificación: Se utilizó 2,5 Kg/m³



Figura 9: Fibras SikaFiber® ForcePP48

4.2. Equipos

Agitador mecánico de tamices: Mueve los tamices de forma que los áridos vayan pasando entre las bandejas. Es importante realizar la agitación mecánica del conjunto durante un tiempo prolongado para permitir la separación y clasificación previa de los diferentes tamaños de grano de la muestra (Figura 7).

Cámara húmeda: La cámara húmeda es un armario que posee valores de temperatura y humedad controlada, esta temperatura debe mantenerse en $(20 \pm 1) ^\circ\text{C}$ y una humedad relativa mayor o igual al 90%. Según la norma UNIT 1081:2002. (Figura 10).

Calibre digital: Precisión de 0,1 mm (Figura 10).

Regla: Graduada cada 1 mm con una precisión de 0,5 mm (Figura 10).

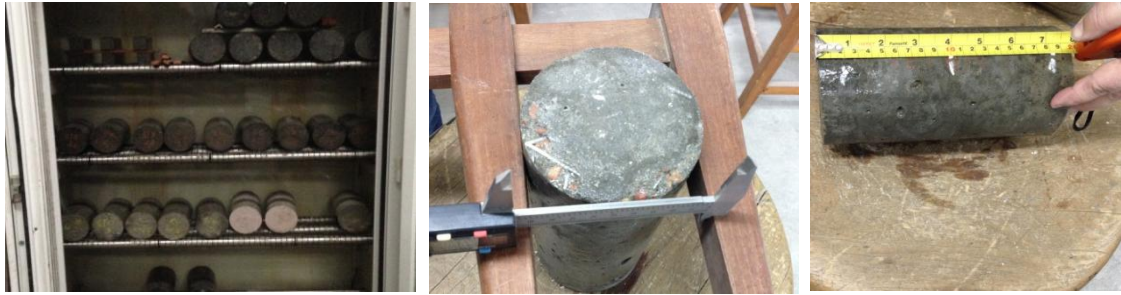


Figura 10: Cámara húmeda, calibre digital y regla

Balanza electrónica hasta 31 Kg: A&D GP-30K certificada por el LATU (Figura 11).

Balanza electrónica hasta 60 Kg: OHAUS® 2000 Series, precisión 0.01 Kg (Figura 11).

Prensa: En los ensayos mecánicos se ha utilizado una prensa CONTROLS, MCC MULTITEST, con velocidad y deformación controlada la cual consta de bastidores de 2000 k N y 100 kN de carga máxima (Figura 11).



Figura 11: Balanza electrónica de hasta 31 Kg y de hasta 60 Kg, prensa Controls®

Molde para probetas cilíndricas: Se realizaron conforme a la norma UNIT 1081:2002[12], probetas de diámetro de 10 cm y altura 20 cm. Se utilizaron moldes de PVC (Figura 12).

Las dimensiones de los moldes fueron cuatro veces mayor que el tamaño máximo nominal del agregado grueso del hormigón según lo indicado por la citada norma [12].

Como se mencionó anteriormente (ver 4.1. Materiales-Árido grueso) en la investigación se trabajo con tamaño máximo de árido de 15 mm, por lo cual una probeta de diámetro de 10 cm cumple con esta condición.



Figura 12: Probetas cilíndricas para los ensayos y fibras prensadas

Varilla de compactación: De acero, cilíndrica, con superficie lisa, de 16 mm de diámetro y 600 mm de largo, y con ambos extremos terminados en forma de semiesfera de diámetro igual al de la varilla [12].

Fibras prensadas: De acuerdo con la Norma UNIT-NM 8:1998, se han utilizado bandas de apoyo de fibras prensadas de densidad $> 900 \text{ kg/m}^3$ y dimensiones, ancho $(a) = (10 \pm 1) \text{ mm}$; espesor $(t) = (4 \pm 1) \text{ mm}$ y una longitud superior a la línea de contacto de la probeta (Figura 12).

Trituradora de papel/plástico: Cifer 722sb®, la cual produce tiras de 4 mm de ancho (Figura 13).



Figura 13: Tiras producidas por la trituradora Cifer 722sb®

Guillotina: Para el corte de las tiras producidas por la trituradora a 50 mm de longitud (Figura 15).

5. PROCEDIMIENTOS

La tesina fue tomada como un proceso retroactivo de aprendizaje donde el valor experimental, más allá de tener la base técnica, fue esencial para poder investigar sobre el nuevo material. Por esta razón en las siguientes líneas se explicita el proceso previo a la producción de las probetas que fueron ensayadas finalmente.

5.1. Dosificación

Se han realizado pruebas de diseño con distintas dosificaciones, para obtener un hormigón trabajable.

Para determinar la dosificación a utilizar se probó primero con un molde realizado con una botella de 2 Lts de agua Salus® (Figura 14).



Figura 14: Molde producido para ensayos de dosificación

Primera dosificación:

Partimos de la relación volumétrica comúnmente utilizada para la producción de hormigón 3:2:1, por lo tanto para generar el 1453 cm³ de hormigón en dosificación por peso se utilizó:

Pedregullo 1509,4 g
Arena 1011,5 g
CP 464 g
Agua 232 g (relación agua - cemento portland = 0,5)
Aditivo fluidificante (Viscocrete 20 He® - Sika) 27,8 g

Fibras 26,7 g

Esta dosificación no fue viable porque el hormigón producido quedó muy seco. Entonces se le agregó 80 g mas de agua, generando una relación agua-cemento=0,6.

Segunda dosificación:

Se cambió el cemento portland. Y se utilizó uno de los moldes de PVC producidos en el laboratorio del IC (1453 cm³). No se utilizó fluidificante, ni fibras.

Pedregullo 1458 g

Arena 1040 g

CP 278 g

Agua 166,8 g (relación agua-cemento portland=0,6)

A esta dosificación le faltó volumen de hormigón porque no se llenó la probeta.

Tercera dosificación:

La tercera prueba de dosificación se realizó con un 10% más de volumen de hormigón (1593 cm³) y se agregaron las fibras y fluidificante.

Dosificación para una probeta de 1453 cm³, con las variantes mencionadas anteriormente.

Pedregullo 1458 g

Arena 1040 g

CP 464 g

Agua 278 g (relación agua-cemento portland=0,6)

Aditivo 2,8 g

Fibras PET 25,5 g

De estos estudios previos se determinó que se podía utilizar dos variantes a la hora de la producción de la mezcla;

- 1) Relación agua-cemento portland 0,5 + aditivo fluidificante

2) Relación agua-cemento portland 0,6

Para este trabajo se ha optado por la segunda alternativa, ya que se busca seguir una línea lógica con bajo impacto ambiental y fácil apropiación por parte de los potenciales usuarios.

Cuarta dosificación:

Ha habido un error de cálculos con la cantidad de fibras a utilizar. En la tercera amasada se ha utilizado 25 kg/m³ de fibras. Se debe recordar que el máximo a utilizar según la ficha técnica de Sika® es 8 kg/m³. Por lo tanto las dosificaciones finales fueron:

Pedregullo 1458 g

Arena 1040 g

CP 464 g

Agua 278 g (relación agua-cemento portland=0,6)

Fibras PET 5,2 g

Fibras PP 3,6 g

	5 PROBETAS	3 PROBETAS	2 PROBETAS
volumen (cm³)	8718	5231	3488
pedregullo (g)	8747	5248	3500
arena (g)	6240	3744	2497
cemento (g)	2784	1670	1115
agua (r 0,55) (g)	1531	919	614
PP/PET(8 kg/m³) (g)	70	42/60	29

5.2. Producción de fibras

La producción de fibras tuvo su complejidad debido a la gran cantidad que se necesitó y la intención de producirlas mediante un método económico y sustentable que siguiera el lineamiento de la investigación.

Se realizó en tres etapas: corte manual - corte mecanizado - corte manual. Se utilizó como sistema mecánico una destructora de documentos que admite grapas; Cifer 722SB® y luego una guillotina. De esta forma se produjeron fibras de 4 mm por 50 mm de largo. Sin embargo este método no es el idóneo ya que demanda mucho tiempo, la destructora de documentos es costosa y con poca vida útil (Figura 15).



Figura 15: Destructor de documentos, guillotina y fibras de PET

A continuación se detalla el modo de producción.

- 1) Se seleccionaron botellas de Agua de 2Lts. Para la fase de investigación se utilizó solo el 60% descartando las demás partes, ya que, como se menciono anteriormente, por su proceso de fabricación, presentan propiedades no homogéneas (Figura 15).
- 2) Se cortó la franja central de la botella, desechando la parte superior e inferior.
- 3) Se cortó longitudinalmente la franja de forma de abrir el tubo obtenido, transformándolo en una lamina.
- 4) Se cortó transversalmente de forma de obtener dos franjas, las cuales se introdujeron al destructor de documentos Cifer modelo 722SB que tritura en tiras de 4 mm y es apto para plástico. Así se obtienen fibras de 4 mm por el ancho de la franja introducida.

- 5) Con guillotina con regla se cortó las tiras de forma que quedaron de 50 mm x 4 mm (Figura 8, Figura 13).

5.3. Moldes

En simultáneo se investigó como fabricar los moldes necesarios para la producción de las probetas cilíndricas.

El IC posee los moldes normalizados para la realización de las probetas, sin embargo estos tienen una altura de 30 cm y 15 cm de diámetro. Esto significaba que cada probeta iba a demandar una gran cantidad de mezcla (3488 cm³ de hormigón, lo que significa 29 g de fibras de PET).

El obstáculo principal para ello era la producción de las fibras que debía hacerse de forma manual y se iban a necesitar grandes cantidades. Sobre todo teniendo en cuenta que para lograr resultados confiables y sacar conclusiones significativas se necesitaba producir tres tipos de probetas para cada ensayo (testigo, con fibras comerciales y con fibras de residuo post-consumo), más los ensayos que fueran a realizarse a otras edades, ya que influye directamente en la resistencia.

La norma permite obtener resultados obtenidos con probetas de 20 cm de altura x 10 cm de diámetro [12], por lo que se optó por producir moldes de esas dimensiones y así reducir a la tercera parte la cantidad de fibras necesarias.

En primera instancia los moldes fueron producidos con caños cortados de PVC ϕ 10, apoyados sobre una base acrílica con un orificio central. La misma se pegó al caño de PVC con Sikabond® (Figura 16).



Figura 16: Moldes pegados con Sikabond® a base acrílica

.El resultado no fue favorable ya que en el proceso del desmolde mediante aire comprimido el caño y la tapa acrílica se separaron, debido a que la unión entre ambos era muy débil.

Como alternativa se utilizó de base las tapas de inspección que se colocan en los caños de bajada de desagüe. El resultado fue óptimo, cuando se colocó la pistola de aire comprimido y empezó a funcionar la tapa no se desprendió, saliendo la probeta de hormigón sin resistencia y manteniéndose intacto el molde para futuros usos (Figura 17).



Figura 17: Probetas con tapa de PVC y desmolde de las mismas con aire comprimido

A continuación se detalla el modo de producción de las probetas que luego fueron ensayadas a distintas edades:

- 1- Se cortó un caño de PVC $\Phi 10$ de 20 cm de altura.
- 2- Se tomó una tapa de rosca de PVC para caños de $\Phi 10$ de desagüe y se hizo un orificio central. El orificio central fue realizado para posteriormente colocar una pistola de aire comprimido que facilitó el desmolde (Figura 17).
- 3- Se puso pegamento en las paredes de la tapa (Sikabond®).
- 4- Se juntó el caño cortado y la tapa de forma que quedaron firmemente ensamblados.
- 5- Se cortó una circunferencia de 10 cm de diámetro en una lámina de PET.
- 6- En una de las caras de la lámina se pasó un pincel con aceite desmoldante.
- 7- La lámina de PET se colocó para cubrir el orificio. Si la misma no hubiera existido la pasta cementicia se hubiera escurrido por este.
- 8- Se lubricaron todas las paredes interiores del cilindro.
- 9- Se colocó el hormigón dentro de los moldes, mediante una cuchara de sección en U previo remezclado de la muestra a fin de lograr uniformidad.
- 10- El método de compactación utilizado fue por vibración a través de golpes en el molde porque el picado con varilla no es adecuado para un hormigón con fibras ya que puede arrastrarlas y orientarlas.
- 11- Cuando el método de compactación dejó huecos en la masa del hormigón después de finalizada la compactación se volvió a golpear levemente los costados del molde, hasta que se cerraron los huecos.
- 12- El colado de la última capa se hizo con hormigón en exceso, de manera que una vez que se encontró completo el volumen del molde y permitió mediante el enrase eliminar el sobrante.

13- Después del llenado, se colocaron los moldes sobre una superficie horizontal rígida, libre de vibraciones y de toda otra causa que pudiera perturbar al hormigón. Durante las primeras 24 hs, se almacenaron protegidos de la intemperie.

Inmediatamente después de las 24 hs, las probetas se almacenaron hasta el momento del ensayo en una cámara húmeda a la temperatura de (20 ± 2) °C y humedad relativa ambiente superior al 95% (Figura 10).

5.4. Amasada

Una vez obtenida la dosificación óptima se procedió a la amasada para producir las probetas cilíndricas. En forma sintética el procedimiento seguido consistió en:

- 1- Se secó al aire el árido grueso; el árido la barraca lo proporciona húmedo, por lo que se dejó en una batea para la pérdida al aire de la humedad (Figura 23).
- 2- Se tamizó el árido grueso (pedregullo); según la relación árido-fibra expresada anteriormente. No se pudo utilizar todo el pedregullo que se consiguió, ya que el máximo diámetro recomendable por norma es tres veces el largo de la fibra a utilizar (48 mm PP o 50 mm PET), por lo tanto se pudo usar los áridos con diámetro inferior a 15 mm (Figura 22)
- 3- Se pesó el árido grueso necesario.
- 4- Se secó el árido fino; ídem anterior.
- 5- Se pesó el árido fino necesario (Figura 23)
- 6- Se pesó el cemento portland necesario.
- 7- Se pesó el agua necesaria. Para realizarlo se utilizaron botellas cortadas. Previamente se colocó agua en ellas para humedecer las paredes interiores y se taró la balanza con ese recipiente. De esta forma nos aseguramos mayor precisión en la medida (Figura 23, Figura 24)
- 8- Se pesaron las fibras, tanto las comerciales como las obtenidas de los residuos de PET. Antes se debió tarar la balanza con el recipiente.
- 9- Antes de comenzar la amasada se mojó la batea, de esta manera evitamos una posible pérdida de agua de la mezcla.



Figura 24: Pesado del agua



Figura 23: Pesado áridos



Figura 22: Batea con árido grueso



Figura 21: Batea con árido grueso y fino



Figura 20: Batea con árido grueso, fino y cemento portland



Figura 19: Árido grueso, fino y cemento portland mezclado



Figura 18: Mezcla de áridos, cemento portland, agua y fibras de PET



Figura 25: Mezcla de áridos, cemento portland y agua con fibras homogéneamente distribuidas

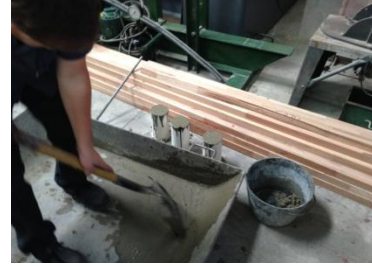


Figura 26: Colocación de mezcla en las probetas

Cuadro de probetas realizadas para cada ensayo

Ensayo	Número de probetas
Tracción indirecta	18
Compresión	35
Módulo elástico	35

6. ENSAYOS

Como se menciona anteriormente, el objetivo de este trabajo es demostrar la viabilidad del hormigón reforzado con fibras de residuos post-consumo para el uso en la construcción, a partir del estudio comparativo, entre este y dos tipos más de hormigones, determinando los valores de resistencia a distintas solicitaciones.

Para sacar conclusiones sobre la influencia de las mismas se realizaron ensayos de compresión, tracción indirecta y modulo de elasticidad. Estos fueron realizados sobre probetas cilíndricas elaboradas en el Laboratorio del IC de la Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, Montevideo, Uruguay.

Se han elaborado un total de 53 probetas, las cuales fueron ensayadas a 28 y 75 días de curado.

6.1. Ensayo de Compresión:

El ensayo de compresión es un ensayo técnico para determinar la resistencia máxima ante un esfuerzo de compresión.

Procedimiento para realizar el ensayo:

Según la norma UNIT-NM 101:98 [13]

- 1) Se registraron las características de cada probeta en la tabla que se muestra en el anexo (Tabla 1). Se midieron cuatro diámetros y dos alturas de cada probeta, con una precisión de 1 mm, a fin de extraer el promedio. Luego se pesó cada probeta y se obtuvo la masa. El pesado no se hizo en el laboratorio de temperatura controlada para que no se secaran.
- 2) Se corroboró que la superficie de los platos fuera por lo menos 3% mayor que el diámetro de la probeta.

- 3) En aquellos momentos que el ensayo no fue realizado enseguida que se sacó la probeta de la cámara de humedad, la misma fue cubierta con trapos húmedos hasta el momento del ensayo, a fin de evitar la evaporación (Figura 27).
- 4) Antes de iniciar cada ensayo se limpió cuidadosamente las superficies planas de contacto de los platos superior e inferior de la máquina y también ambas bases de cada probeta.
- 5) Se colocó la probeta en la máquina de ensayo, entre los dos platos de acero que comprimieron la probeta durante el ensayo. Se debió rectificar que la superficie de contacto fuera plana.
- 6) La máquina aplicó la carga de forma continua y sin choques bruscos, de manera que el aumento de la tensión media sobre la probeta fue de 0,25 MPa/s (valor medio del rango indicado en la norma de referencia).
- 7) La máquina aplicó la carga sin variación hasta que se produjo la rotura. En este momento se registró la carga máxima alcanzada (Figura 27).
- 8) La máquina calculó automáticamente la resistencia a la compresión de la probeta, aproximando al 0,1 MPa.

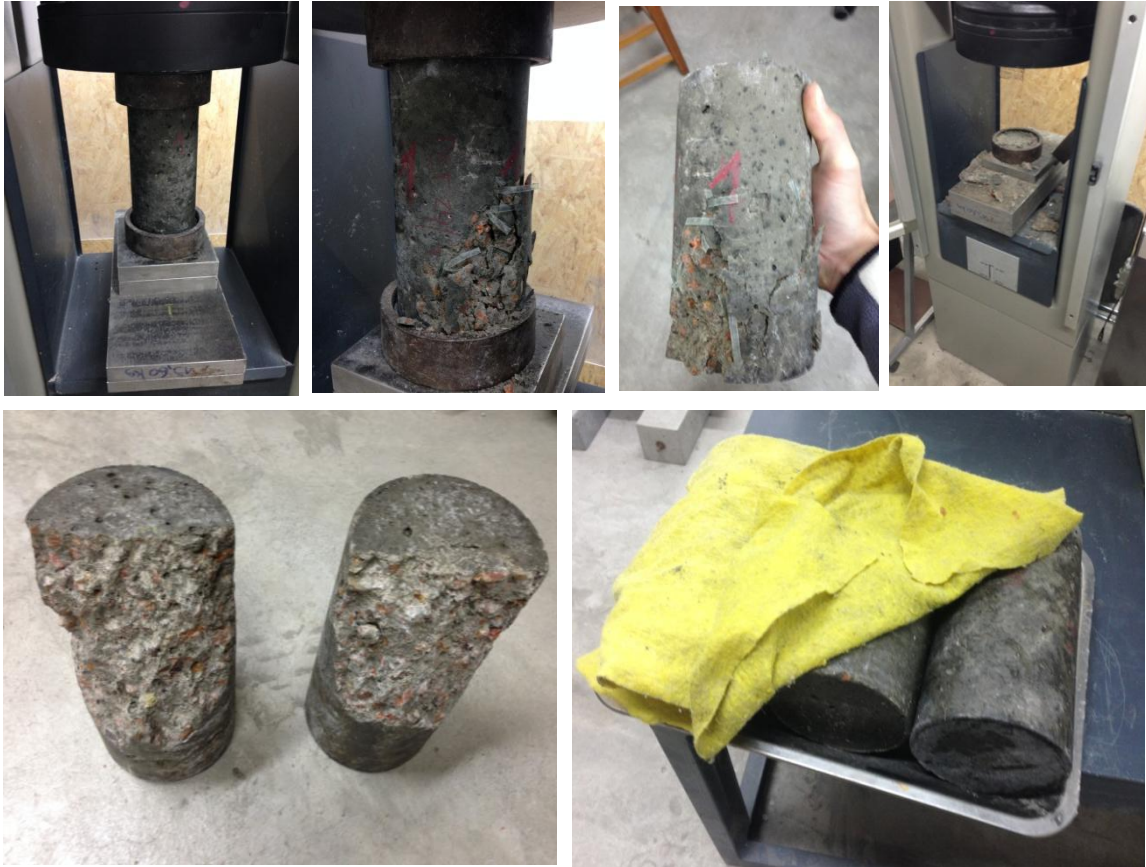


Figura 27: Probetas antes, durante y posterior al ensayo

6.2. Ensayo de Modulo de Elasticidad:

El ensayo de modulo elástico, nos permite obtener el módulo de elasticidad (módulo de Young). El módulo de elasticidad es la razón entre el incremento de esfuerzo y el cambio correspondiente a la deformación unitaria, siendo una constante independiente del esfuerzo siempre que no exceda de un valor máximo denominado límite elástico. El módulo elástico es distinto para los diversos materiales. El hecho de que la variación de deformación unitaria sea directamente proporcional a la variación de esfuerzo, siempre que no sobrepase el límite elástico, se conoce como ley de Hooke [14].

Procedimiento para realizar el ensayo, en busca de caracterizar la deformabilidad del hormigón según la norma UNIT 1088:2004 [15]

- 1) Las probetas fueron confeccionadas y almacenadas de acuerdo con la Norma UNIT 1081:2002 [12].
- 2) Se determinó la resistencia a la compresión del hormigón en dos probetas del mismo tamaño, forma, composición y preparadas y curadas en las mismas condiciones que las que fueron ensayadas. (Para cada uno de los hormigones).
- 3) Para determinar la resistencia a la compresión se utilizó el método especificado en la Norma UNIT-NM 101:98 [13].
- 4) De acuerdo al valor medio de la resistencia a la compresión obtenida, se determino los niveles de carga a ser aplicados.
- 5) Se registraron las características de cada probeta en la tabla que se muestra en el anexo (Tabla 1).
- 6) A partir del diámetro y la altura se obtuvo el área de cada probeta. Esta área fue ingresada en el software de la prensa utilizada.
- 7) Se colocaron tres sensores (trasductores) en el perímetro de la probeta (Figura 18).
- 8) Se traslado la probeta con los sensores a la prensa y se le conectaron cables a los trasductores, que serán los que lleven la información al software.
- 9) La probeta debidamente preparada e instrumentada se centro en los platos de la máquina.
- 10) Se aplicó la carga aumentando la deformación a razón de $(0,25 \pm 0,05)$ MPa/s, hasta que se alcanzó un valor de la tensión aproximadamente igual al 40% de la resistencia a la compresión del hormigón.
- 11) Este nivel de tensión se mantuvo durante 60 s. Inmediatamente después se redujo la carga a la misma razón del proceso de carga, hasta el nivel de la tensión básica. Se realizaron dos ciclos de precarga adicionales, obedeciendo

a las mismas razones de carga y descarga y manteniendo las tensiones extremas constantes, alteradamente, durante periodos de 60 s cada una. Se registraron las deformaciones a través de la prensa (Ilustración 1).

12) La máquina calculó automáticamente el módulo de elasticidad, E_{ci} , en GPa, mediante la siguiente fórmula:

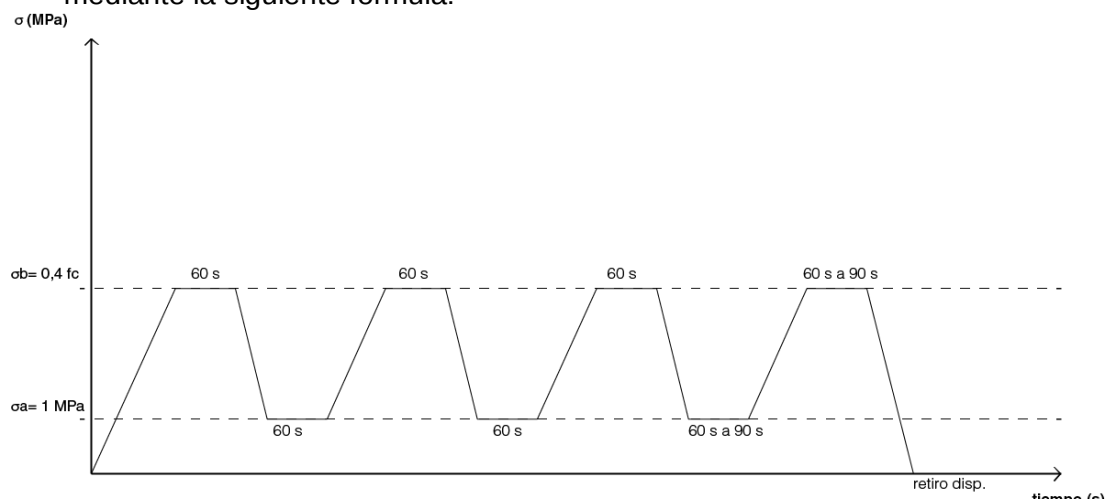


Ilustración 1: Representación esquemática de la carga para la determinación del módulo de elasticidad.

$$E_{ci} = \frac{\Delta \sigma}{\Delta \epsilon} \times 10^{-3} = \frac{\sigma_b - \sigma_a}{\epsilon_b - \epsilon_a} \times 10^{-3}$$

σ_b , es la tensión mayor, en megapascuales ($\sigma_b = 0,4 f_c$)

σ_a , es la tensión básica, en megapascuales ($\sigma_a = 1 \text{ MPa}$)

ϵ_b , es la deformación específica media de las probetas ensayadas bajo la tensión mayor.

ϵ_a , es la deformación específica media de las probetas ensayadas bajo la tensión básica.



Figura 28: Procedimiento para ensayo de módulo elástico

6.3. Ensayo por compresión diametral:

Por último el ensayo de compresión diametral arroja valores de resistencia a tracción. Este ensayo consiste en aplicar la fuerza de compresión a lo largo de una probeta cilíndrica hasta que esta falle por la longitud de su diámetro. Esta carga induce esfuerzos de tensión en el plano donde se aplica y esfuerzos de compresión en el área donde la carga es aplicada. Por lo tanto la falla de tracción ocurre antes que la falla de compresión debido a que las áreas de aplicación de la carga se encuentran en un estado de compresión triaxial a lo largo de toda la probeta, permitiendo de esta manera resistir a la probeta mucho mayor esfuerzo a la compresión que el obtenido por un esfuerzo a la compresión uniaxial dando paso a la falla por tracción a lo largo de la probeta[16].

Procedimiento para realizar el ensayo, para determinar la resistencia a tracción por compresión diametral de las probetas cilíndricas de hormigón se siguió el procedimiento de la norma UNIT-NM 8:1998 [17].

- 1) Se ha utilizado el instrumental definido en la Norma ISO 4012[18]. El contacto entre la probeta y los platos de la máquina debió ocurrir solamente a lo largo de dos generatrices diametralmente opuestas de la probeta.
- 2) El curado y moldeado se realizó de acuerdo con lo que se define en la Norma UNIT 1081 [12].
- 3) En aquellos momentos que el ensayo no fue realizado enseguida que se sacó la probeta de la cámara de humedad, la misma fue cubierta con paños húmedos hasta el momento del ensayo, a fin de evitar la evaporación (Figura 27).
- 4) Se determinaron las dimensiones de los cilindros antes del ensayo, con una aproximación de 1mm.

- 5) Los diámetros de cada cilindro se midieron a 20 mm de cada extremo y también en el punto medio de la longitud de la probeta calculándose la media de esas tres determinaciones (Tabla 1).
- 6) La longitud de la probeta se determinó promediando tres longitudes a cada lado del eje del cilindro, paralelas de éste y a igual distancia entre sí en el plano diametral definido por las bases de la probeta.
- 7) Se colocó la probeta de forma que quedó en reposo a lo largo de la generatriz sobre el plato de compresión (Ilustración 2).
- 8) Se colocó entre los platos y las probetas, dos tiras de chapa dura de fibra de madera, exentas de defectos, de longitud igual a la de la generatriz del cilindro y sección transversal con las dimensiones definidas. Las tiras de madera se usaron para una sola determinación (Figura 12).

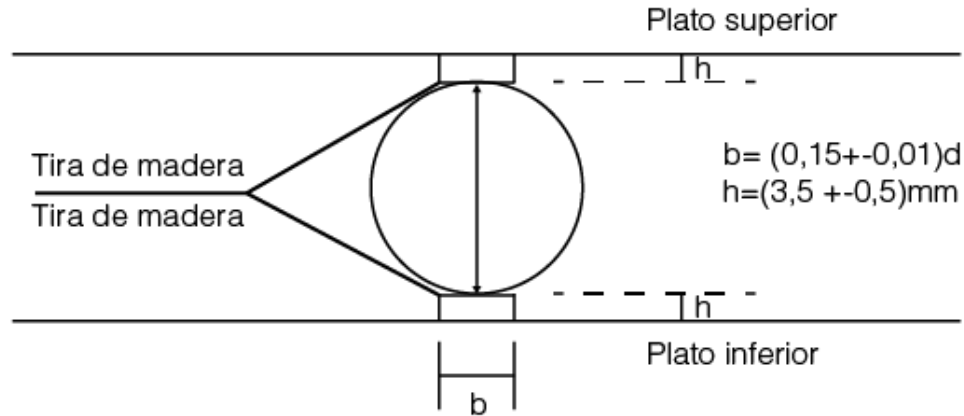


Ilustración 2: Esquema de colocación de probeta para ensayo a tracción.

- 9) Se ajustaron los platos de la máquina hasta que se obtuvo una compresión capaz de mantener en posición a la probeta.
- 10) La carga se aplicó continuamente, sin choques, con crecimiento constante de tensión de tracción, a una velocidad de $(0,05 \pm 0,02)$ MPa/s hasta la rotura de la probeta.
- 11) La resistencia a la tracción por compresión diametral se calculó con la expresión:

$$F_{l,d} = 2 \cdot F / d \cdot L$$

F_{ld}, Carga máxima obtenida en el ensayo en Newtons.

F, es la carga máxima obtenida en el ensayo, en newtons.

d, es el diámetro de la probeta, en milímetros.

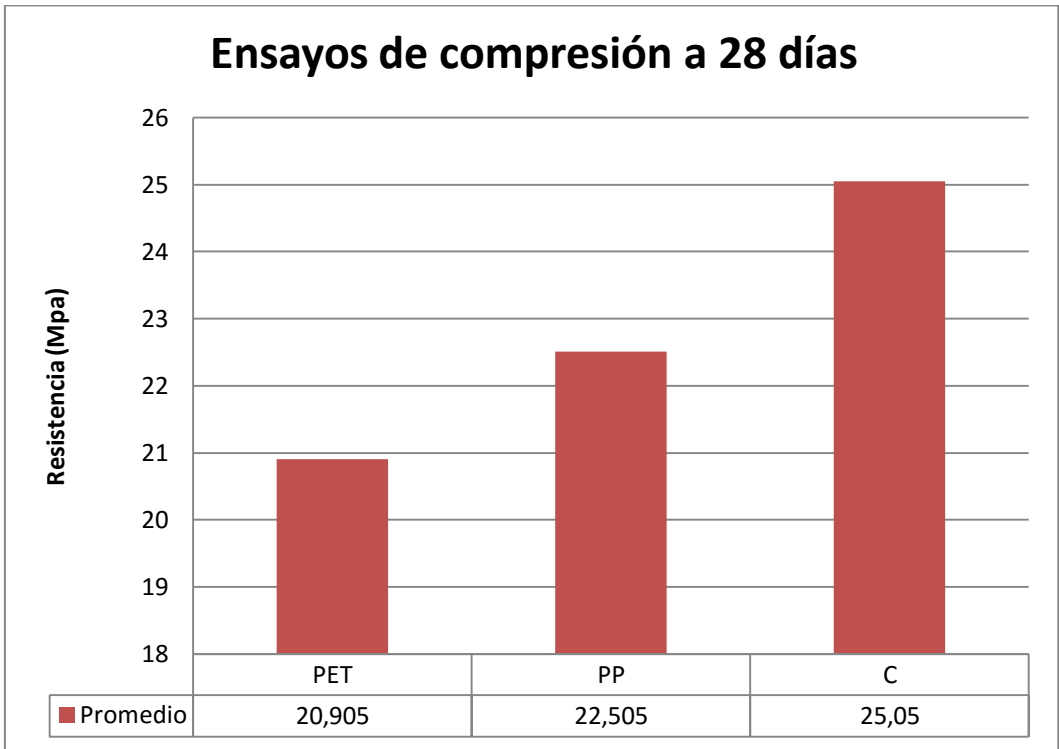
L, es la altura de la probeta, en milímetros.



Figura 29: Probetas durante y posterior al ensayo de compresión diametral

7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

7.1 Ensayos de Compresión



	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTANDAR	COF.DE VARIACIÓN
PET	20,905	1,464	7,00%
PP	22,505	0,205	0,91%
C	25,05	1,514	6,05%

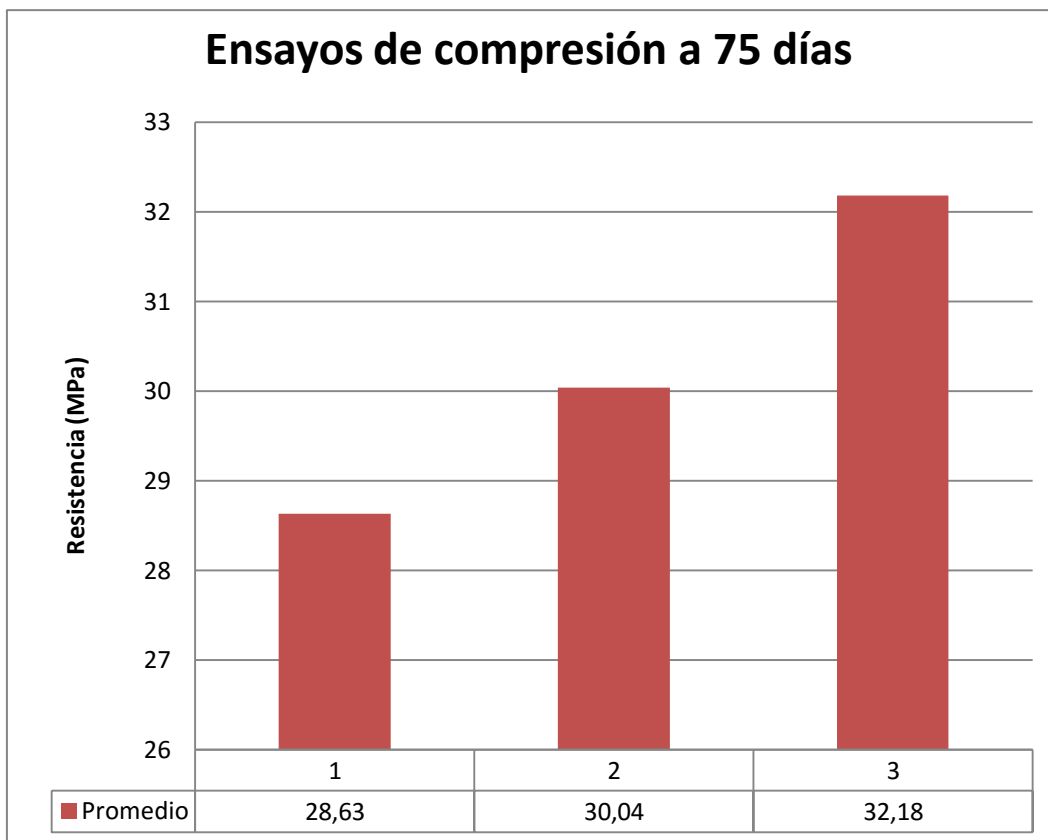


Ilustración 3: Gráficas de ensayos de compresión

	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTANDAR	COF.DE VARIACIÓN
PET	28,63	0,954	3,33%
PP	30,04	0,537	1,79%
C	32,18	1,872	5,82%

Las probetas de hormigón reforzadas con fibras de PP resisten en promedio mayor carga que aquellas reforzadas con fibras de PET antes de alcanzar la rotura. En ensayos a 28 días resisten un 8% mas y en ensayos a 75 días un 5% más.

Las probetas testigo, es decir, aquellas que no tienen refuerzo de fibras, son las que tuvieron mayor resistencia antes de alcanzar la rotura. A 28 días un 17% más que las reforzadas con fibras de PET y 11% que las reforzadas con fibras de PP. Mientras que a 75 días tuvieron un 12% más de resistencia que las de PET y 7% que las de PP.

7.2 Ensayos de Modulo de Elasticidad:

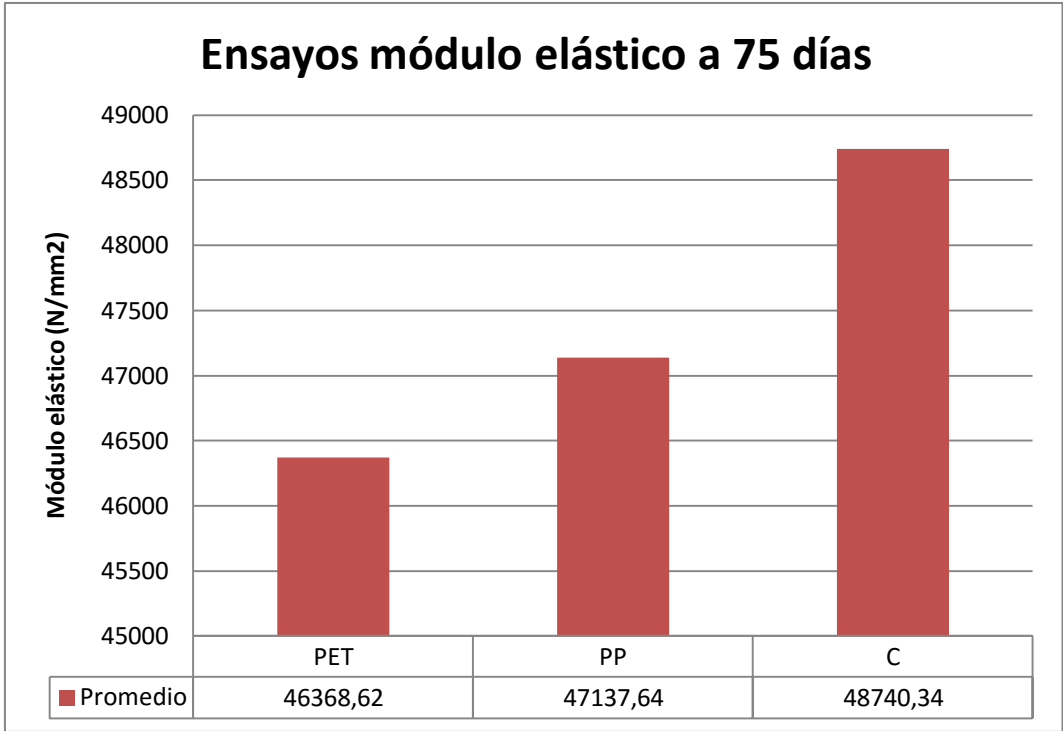


Ilustración 4: Gráficas de ensayos de módulo elástico

	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTANDAR	COF.DE VARIACIÓN
PET	46368,62	1969,12	4,25%
PP	47137,64	2174,30	4,61%
C	48740,34	1651,78	3,39%

Las probetas de hormigón sin fibras, probetas testigos, tienen 5% mas de modulo elástico que aquellas reforzadas con fibras de PET y 4% más que aquellas reforzadas con fibras de PP. Esto significa, como era de esperarse, que es un material más rígido.

Se observa que el material más elástico, en otras palabras, el material que más se deforma ante una carga impuesta es el hormigón reforzado con fibras de PET.

7.3 Ensayos por compresión diametral:

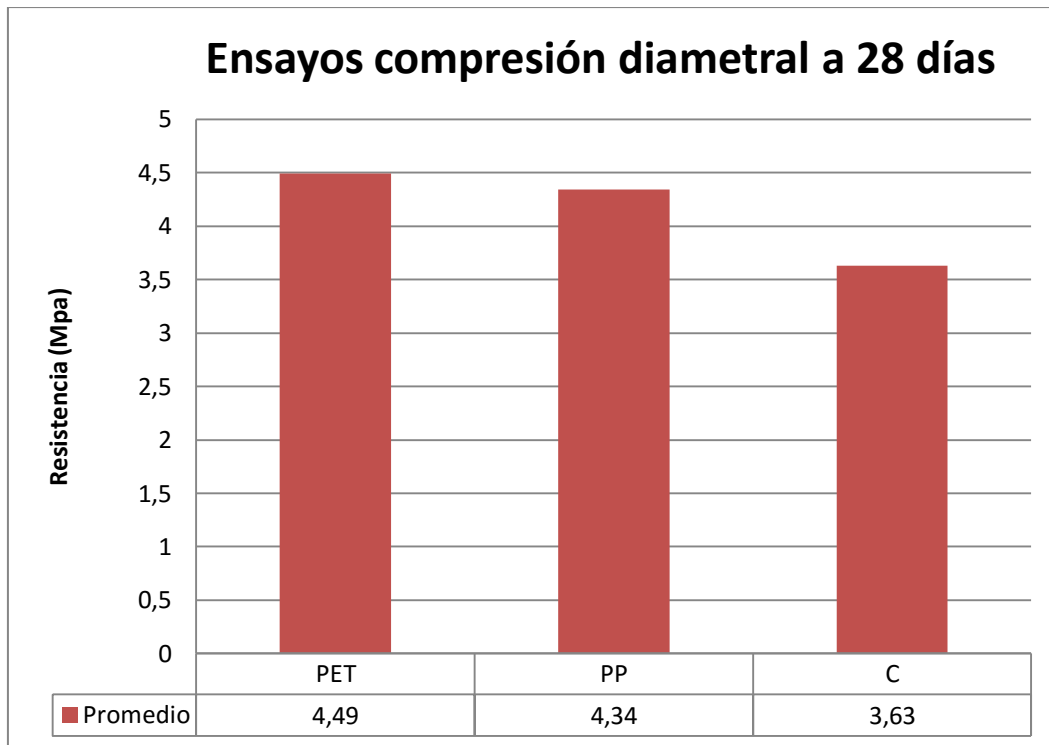


Ilustración 5: Gráficas de ensayos de compresión diametral

	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTANDAR	COF.DE VARIACIÓN
PET	4,49	0,108	2,41%
PP	4,34	0,035	0,81%
C	3,63	0,026	0,72%

Las probetas de hormigón reforzadas con fibras de PET resisten mejor a las sollicitaciones de tracción indirecta que aquellas reforzadas con fibras de PP, un 4% más, y un 20% más que aquellas probetas de hormigón sin fibras.

Las probetas testigo, es decir, aquellas que no tienen refuerzo de fibras, son las que tuvieron menor resistencia a los esfuerzos de tracción.

8. CONCLUSIONES

El hormigón reforzado con fibras de PET es el material menos rígido de los tres.

El hormigón reforzado con fibras de PET tiene un 20% más de resistencia a tracción que el hormigón sin fibras.

El hormigón reforzado con fibras de PET posee menor resistencia a los esfuerzos de compresión que el hormigón sin fibras (en promedio un 15% menos) y un 6% menos que el hormigón con fibras de polipropileno.

El hormigón reforzado con fibras de PET puede ser una alternativa constructiva (por ejemplo para tejas). Tiene buena resistencia a compresión, la más elevada resistencia a tracción y es el material más elástico. Además como valor agregado colabora con el tratamiento de un residuo de difícil gestión.

Estos datos se pueden deber a que tanto las fibras de PET como las de PP tienen menor resistencia a compresión que cualquiera de los áridos que se utilizan en un hormigón tradicional. Esto posiblemente genere zonas más débiles en los materiales. Sin embargo, el material más débil fue el hormigón con fibras de PET y solamente tiene un 17% menos de resistencia que el hormigón tradicional.

Las probetas de hormigón sin fibras luego de mayor tiempo de curado siguen teniendo mayor resistencia que aquellas reforzadas con fibras. Sin embargo, la diferencia es menor, lo cual podría dar a pensar que con el paso del tiempo se seguirán acercando los valores, habría que hacer nuevos ensayos a 90 días.

9. TÉRMINOS Y DEFINICIONES

Fibras: Son elementos de corta longitud y pequeña sección que se incorporan a la masa del hormigón a fin de conferirle ciertas propiedades específicas. Aquellas no estructurales suponen una mejora ante determinadas propiedades como por ejemplo el control de la fisuración por retracción, incremento de la resistencia al fuego, abrasión, impacto y otros.

Polímero: Los polímeros (del griego: poly: «muchos» y mero: «parte», «segmento») son macromoléculas (generalmente orgánicas) formadas por la unión de moléculas más pequeñas llamadas monómeros [19].

Monómero: Molécula de pequeña masa molecular que está unida a otra por medio de enlaces químicos, formando macromoléculas llamadas polímeros [20].

Fibras poliméricas: polímeros rectos o deformados extruido, orientado y cortado, apropiados para su mezcla homogénea con hormigón o mortero.

Hormigones reforzados con fibras (HRF): Son aquellos que incluyen en su composición micro o macro fibras, distribuidas en su masa. El empleo de fibras en el hormigón tiene finalidad estructural cuando se utiliza su contribución en los cálculos relativos a alguno de los estados límite últimos o de servicio y su empleo puede implicar la sustitución parcial o total de armadura (esto es válido para fibras metálicas). Se considerará que las fibras no tienen función estructural, cuando se incluyan fibras en el hormigón con otros objetivos como la mejora de la resistencia al fuego o el control de la fisuración.

Longitud de la fibra: Es la distancia entre los extremos de la fibra

Módulo de elasticidad: es la razón entre el incremento de esfuerzo y el cambio correspondiente a la deformación unitaria, siendo una constante independiente del esfuerzo siempre que no exceda de un valor máximo denominado límite elástico [14].

Cemento Portland meteorizado: Se le denomina de esta forma, cuando el mismo pierde el valor hidráulico producto de una hidratación de las partículas, ocasionado muchas veces por la humedad. Esto genera una alteración en las propiedades del material, como puede ser la pérdida de las capacidades resistentes del mismo.

Cono de Abrams: Equipo que se emplea para determinar el asentamiento (consistencia) del hormigón en su estado fresco.

Tarar: Significa antes de pesar la muestra poner la lectura de la balanza en cero, con el contenedor incluido, de tal forma de no considerar el peso del recipiente.

Granulometría: Es la característica de un agregado definida por los porcentajes de partículas de diferente tamaño que lo componen. Se establecen dichos porcentajes, determinando el peso del material retenido por tamices normales UNIT [21].

10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] F. Puertas, T. Aamat, and T. Vazques, "Comportamiento de morteros de cementos alcalinos reforzados con fibras acrílicas y de polipropileno," vol. 50, no. c, 2000.
- [2] Wikipedia, "Plástico." [Online]. Available: <https://es.wikipedia.org/wiki/Pl%C3%A1stico>.
- [3] N. Gonzales, "La guerra contra el plástico en aguas uruguayas," 2014.
- [4] "Hasta el Lunes, el Ejército sigue los trabajos de recolección de basura," *D. El Pais*, 2016.
- [5] A. Mendez, "Residuos plásticos y el reciclaje." [Online]. Available: <http://quimica.laguia2000.com/quimica-ambiental/residuos-plasticos-y-el-reciclaje>.
- [6] M. E. Fernandez, "Refuerzo de Matrices Cementicias mediante la valorización de fibras sintéticas," vol. 53, p. 160, 2013.
- [7] MIDES - FOCEM, "Clasificar para incluir, incluir para reciclar. Programa Uruguay Clasifica."
- [8] MIDES, "Tirando del carro. Clasificadoras y clasificadores: Viviend de la basura o trabajando con residuos," p. 69, 2006.
- [9] Naciones Unidas, "Programa 21," p. 66, 1992.
- [10] reunidos en A. G. El Senado y la Cámara de Representantes de la República Oriental del Uruguay, "Ley N° 17.849. Uso de envases no retornables." 2004.
- [11] Sika®, "SikaFiber® Force PP-48. Macro fibras sintéticas de poliolefina para hormigón," pp. 2–4, 2015.
- [12] UNIT, "UNIT 1081:2002 Hormigón. Procedimiento para la preparación y el curado de probetas."
- [13] UNIT, "NM 101:98 Hormigón. Ensayo de compresión de probetas cilíndricas."
- [14] P. Martinez and M. Azuaga, "Medición del módulo de elasticidad de Young," 1997.
- [15] UNIT, "UNIT 1088:2004 Hormigón. Determinación del módulo estático de elasticidad y de deformación y de la curva tensión-Deformación.," 2004.
- [16] C. Huerta, "Civil geeks." [Online]. Available: <http://civilgeeks.com/2016/01/02/ensayo-a-la-traccion-por-compresion-diametral-de-probetas-de-concreto/>.
- [17] UNIT, "UNIT-NM 8:1998 Hormigón. Determinación de la resistencia a tracción simple por compresión diametral."
- [18] ISO, "ISO 4012 Hormigón. Determinación de fuerza compresiva de especímenes de prueba."
- [19] Wikipedia, "Polimero."
- [20] Wikipedia, "Monómero."
- [21] UNIT, "UNIT 82-1951 Granulometría de agregados finos para hormigones."

ANEXO

Tabla 1: Características de las probetas ensayadas

Ensayo	Id.Prob	Fecha Ensayo	DIMENSIONES (mm)							
			diámetro					altura		
			Superior		Inferior		Prom.	h1	h2	Prom.
C	PET1	DIA1	9,9	10	10	9,9	9,95	20,1	20	20,05
C	PET2	DIA1	9,9	10	9,7	9,8	9,85	20,2	20,3	20,25
C	PET3	DIA7	10	10	10	10	10	20	20	20
C	PET4	DIA7	10	10	10	10	10	20	20,1	20,05
C	PET5	DIA7	9,6	9,6	9,7	9,7	9,65	20,1	20	20,05
C	PP1	DIA7	10	10,1	9,9	10	10	20,1	20,1	20,1
C	PP2	DIA7	9,9	10	9,8	10	9,93	20,3	20,3	20,3
C	PP3	DIA7	9,9	10	10	9,9	9,95	20,2	20,2	20,2
C	PP4	DIA7	9,9	10	10	10	9,98	20,3	20,3	20,3
C	PP5	DIA7	10	9,9	10	10	9,98	20,1	20	20,05
C	C1	DIA6	10	10	10	10	10	20	19,8	19,9
C	C2	DIA6	10	10	9,9	9,9	9,95	19,8	20	19,9
C	C3	DIA8	10	10	10	10	10	20	20	20
C	C4	DIA8	10	10	10	10	10	20	20,1	20,05
C	C5	DIA8	9,6	9,6	9,7	9,7	9,65	20	20	20

Ensayos de compresión

Tabla 2: : Ensayos de compresión realizados a 28 días de curado - PET y PP

	Masa (Kg)	Carga de Rotura (Kn)	Resistencia (MPa)
PET 1	3.519	170.6	21.94
PET 2	3.539	151.4	19.87
Promedio	3.529	161	20.905
Desviación	0.014	13.58	1.464
Cof.desviación	0.40%	8.43%	7%
PP 1	3.519	176.6	22.71
PP 2	3.535	172.7	22.30
Promedio	3.527	175	22.505
Desviación	0.008	1.960	0.205
Cof.desviación	0.23%	1.12%	0.91%
C 1	3.585	205.7	26.19
C 2	3.585	187.8	23.91
Promedio	3.585	197	25.05
Desviación	0	12.66	2.121
Cof.desviación	0%	4.54%	6.05%

Tabla 3: Ensayos de compresión realizados a 75 días de curado

	Masa (Kg)	Carga de Rotura (Kn)	Resistencia (MPa)
PET 3	3.529	223.5	28.46
PET 4	3.511	234.6	29.87
PET 5	3.282	201.5	27.55
Promedio	3.440	219.9	28.63
Desviación	0.137	16.85	1.169
Cof.desviación	3.27%	6.26%	3.33%
PP 3	3.635	239.5	30.80
PP 4	3.549	231.6	29.61
PP 5	3.515	232.5	29.72
Promedio	3.570	234.5	30.04
Desviación	0.062	4.325	0.658
Cof.desviación	1.42%	1.51%	1.79%
C 3	3.552	223.9	29.09
C 4	3.569	256.2	33.49
C 5	3.563	240.7	30.95
Promedio	3.585	240.3	32.18
Desviación	0.009	16.15	2.209
Cof.desviación	0.38%	5.49%	5.82%

Ensayos de módulo elástico

Tabla 4: Ensayos de módulo elástico a 75 días.

	Modulo Elástico (N/mm ²)	Fecha del Ensayo	Edad de la probeta
PET 3	45602,71	DÍA7	75 días
PET 4	49070,24	DÍA7	75 días
PET 5	44432,92	DÍA7	75 días
Promedio	46368,62		
Desviación	2411.67		
Cof.desviación	4.25%		
PP 3	47625,70	DÍA7	75 días
PP 4	44264,41	DÍA7	75 días
PP 5	49522,82	DÍA7	75 días
Promedio	47137,64		
Desviación	2662.96		
Cof.desviación	4.61%		
C 1	51030,12	DÍA8	75 días
C 2	47995,73	DÍA8	75 días
C 3	47195,16	DÍA8	75 días
Promedio	48740.34		
Desviación	2023.01		
Cof.desviación	3.39%		

Ensayos de compresión diametral (tracción)

Tabla 5: Ensayos de compresión diametral

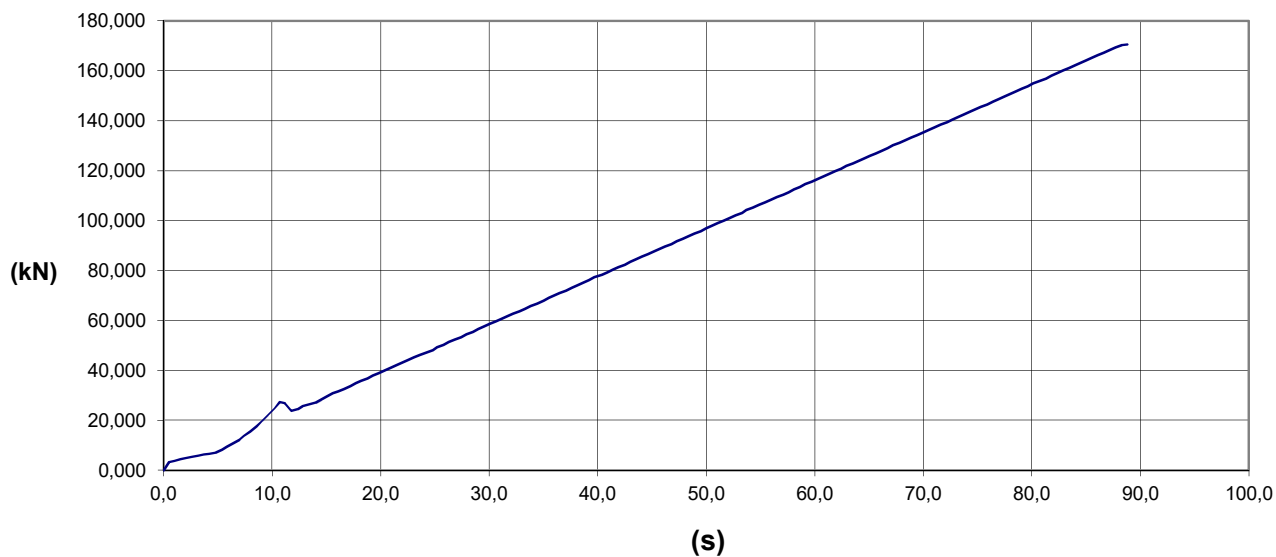
	Carga de Rotura (Kn)	Resistencia (MPa)
PET1	91.919	4.64
PET2	84.298	4.44
PET3	85.950	4.39
Promedio	87.389	4.49
Desviación	4.01	0.132
Cof.desviación	3.75%	2.41%
PP1	68.374	4.31
PP2	66.853	4.38
Promedio	67.613	4.34
Desviación	1.076	0.049
Cof.desviación	1.12%	0.81%
C1	71.774	3.62
C2	69.369	3.67
C3	70.818	3.61
Promedio	70.653	3.63
Desviación	1.211	0.032
Cof.desviación	1.40%	0.72%

ENSAYOS DE COMPRESION

28 DÍAS

Compression test on concrete : EN 12390-3

<i>Certificate number</i>	:		<i>Certificate date</i>	:	21/12/2009
<i>Testing apparatus</i>	:				
<i>Customer</i>	:				
<i>Contact</i>	:				
<i>Tipo de probeta</i>	:		<i>Cem.content kg/m³</i>	:	
<i>Cement type</i>	:		<i>Preparation date</i>	:	29/04/2015
<i>Specimen conditions:</i>	:				
<i>On receipt</i>	:		<i>At time of test</i>	:	
<i>Sampling location</i>	:		<i>Sampling date</i>	:	21/12/2009
<i>Specimen preparation</i>	:				
<i>Specimen ID.</i>	:	PET1			
Resultados de ensayo					
<i>Dimensiones</i>	:	d(mm) : 99.5 h(mm) : 200.5		<i>Masa (Kg)</i>	: 3.519
<i>Velocidad de carga(MPa)</i>	:	0.250		<i>Densidad (Kg/m³)</i>	: 2257.2
<i>Area (mm²)</i>	:	7775.6	<i>Edad</i>	:	
<i>Carga de rotura (kN)</i>	:	170.6		<i>Fecha de ensayo</i>	: 27/05/2015
<i>Failure appearance</i>	:	Satisfactoria		<i>Resistencia (MPa)</i>	: 21.94
<i>Notes</i>	:				



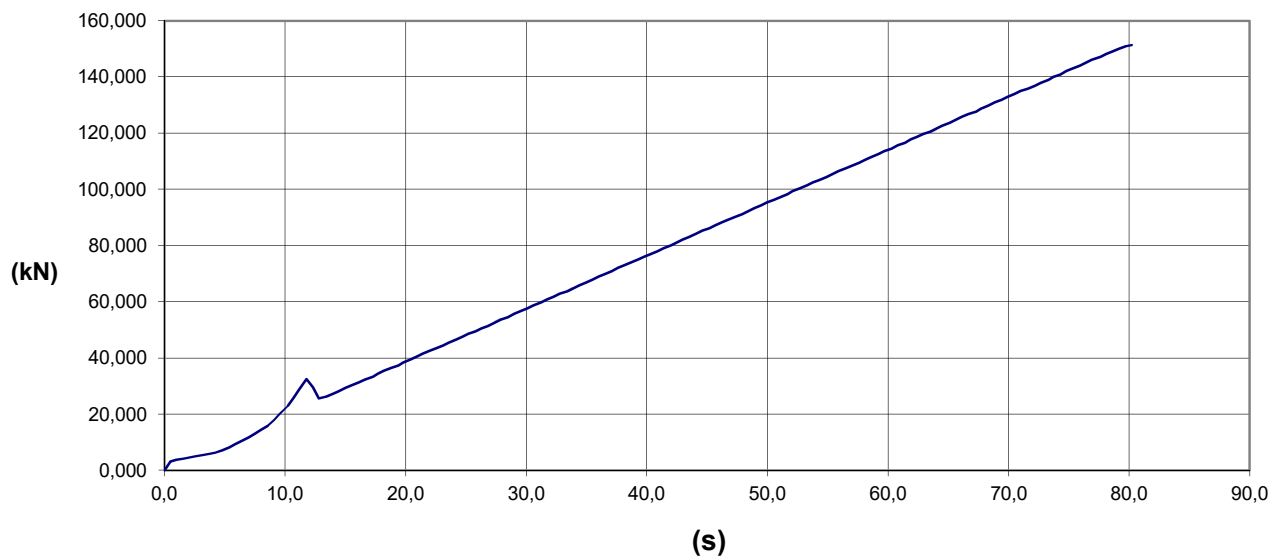
Operator

Compression test on concrete : EN 12390-3

Certificate number : *Certificate date* : 21/12/2009
Testing apparatus :
Customer :
Contact :

Tipo de probeta : *Cem.content kg/m³* :
Cement type : *Preparation date* : 29/04/2015
Specimen conditions: :
On receipt : *At time of test* :
Sampling location : *Sampling date* : 21/12/2009
Specimen preparation :
Specimen ID. : PET2 (*)
Resultados de ensayo
Dimensiones : d(mm) : 98.5 h(mm) : 202.5 *Masa (Kg)* : 3.539

Velocidad de carga(MPa/s) : 0.250 *Densidad (Kg/m³)* : 2293.5
Area (mm²) : 7620.1 *Edad* : *Fecha de ensayo* : 27/05/2015
Carga de rotura (kN) : 151.4 *Resistencia (MPa)* : 19.87
Failure appearance : Satisfactoria
Notes :



Operador

Compression test on concrete : EN 12390-3

Certificate number : Certificate date : 21/12/2009

Testing apparatus :

Customer :

Contact :

Tipo de probeta :

Cem.content kg/m³ :

Cement type :

Preparation date : 29/04/2015

Specimen conditions: :

On receipt :

At time of test :

Sampling location :

Sampling date : 21/12/2009

Specimen preparation :

Specimen ID. : PP1

Resultados de ensayo

Dimensiones : d(mm) : 99.5 h(mm) : 200.5

Masa (Kg) : 3.519

Velocidad de carga(MPa/s) : 0.250

Densidad (Kg/m³) : 2257.2

Area (mm²) : 7775.6

Edad :

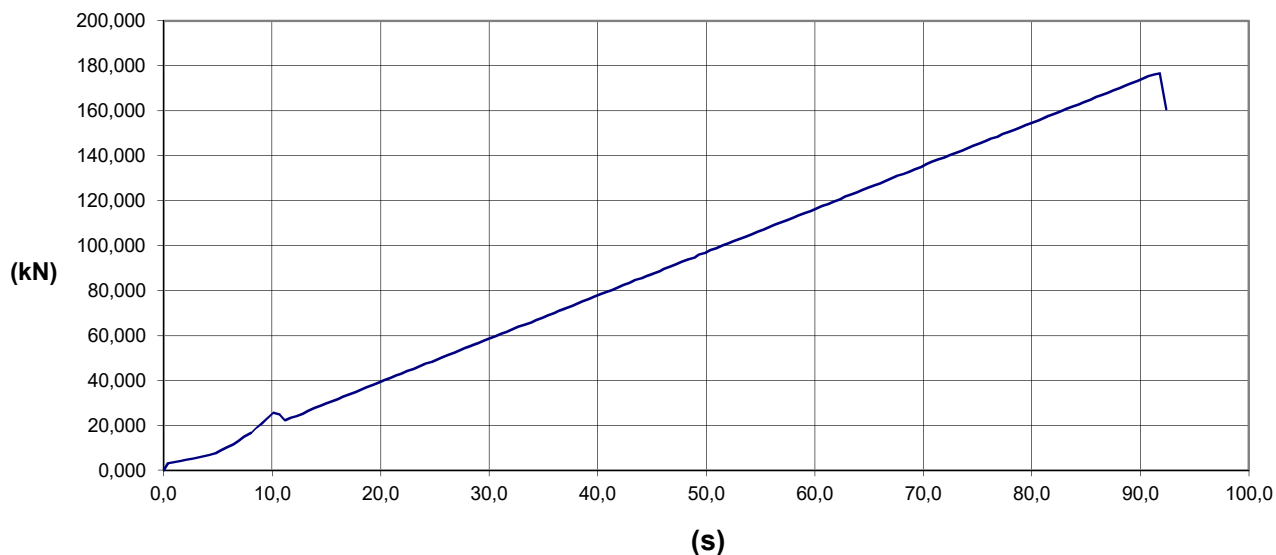
Fecha de ensayo : 27/05/2015

Carga de rotura (kN) : 176.6

Resistencia (MPa) : 22.71

Failure appearance Satisfactoria

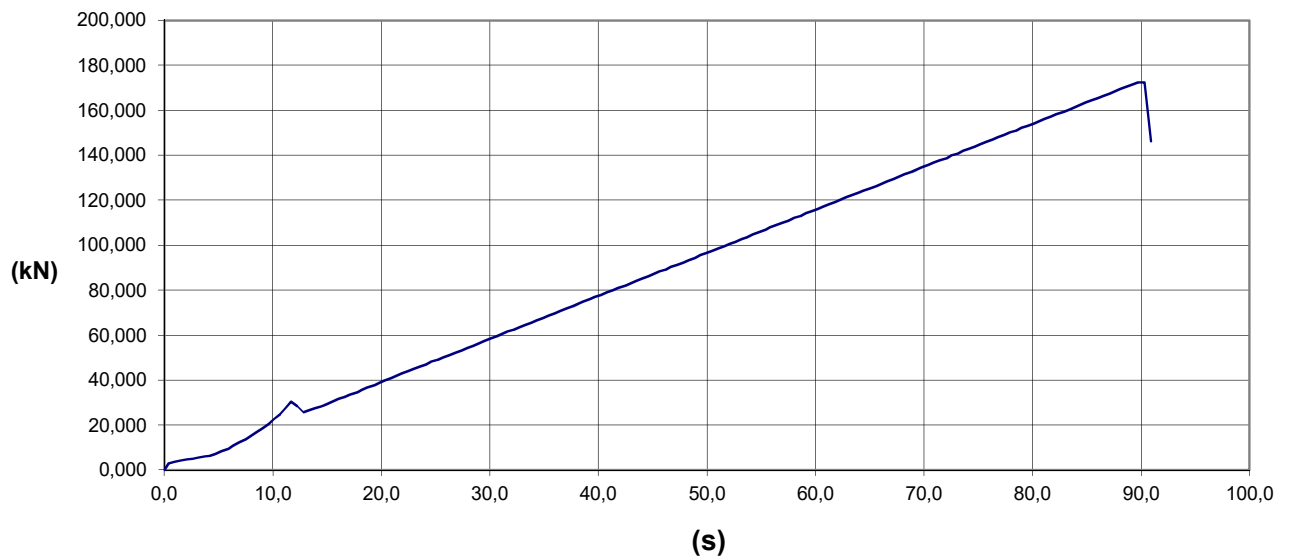
Notes :



Operador

Compression test on concrete : EN 12390-3

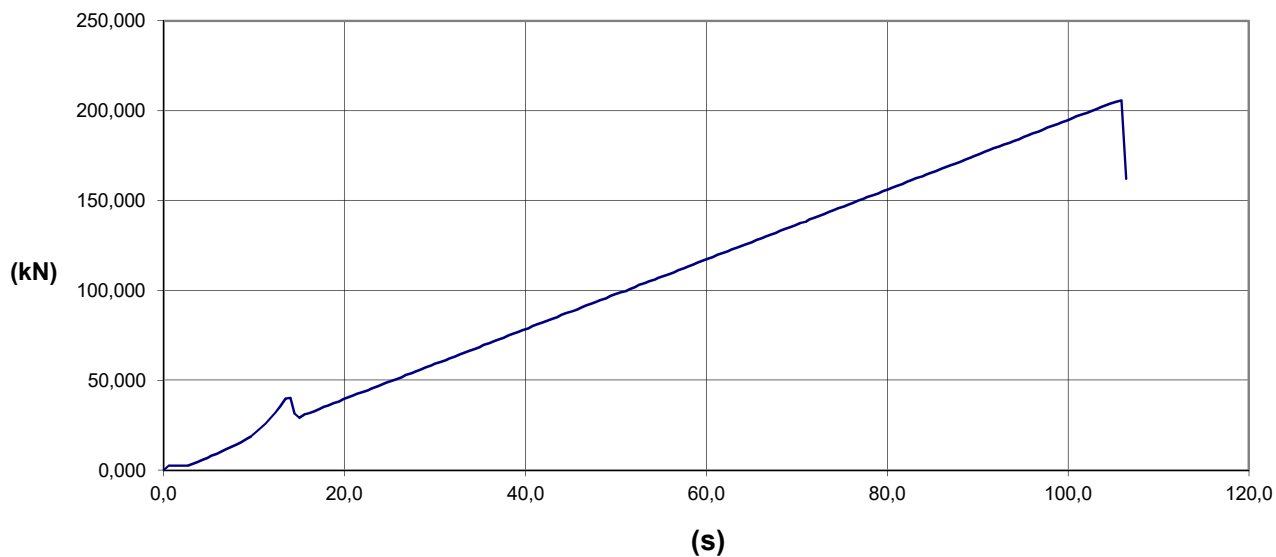
<i>Certificate number</i>	:		<i>Certificate date</i>	:	21/12/2009
<i>Testing apparatus</i>	:				
<i>Customer</i>	:				
<i>Contact</i>	:				
<i>Tipo de probeta</i>	:		<i>Cem.content kg/m³</i>	:	
<i>Cement type</i>	:		<i>Preparation date</i>	:	29/04/2015
<i>Specimen conditions:</i>	:				
<i>On receipt</i>	:		<i>At time of test</i>	:	
<i>Sampling location</i>	:		<i>Sampling date</i>	:	21/12/2009
<i>Specimen preparation</i>	:				
<i>Specimen ID.</i>	:	PP2 (*)			
Resultados de ensayo					
<i>Dimensiones</i>	:	d(mm) : 99.3 h(mm) : 203.0		<i>Masa (Kg)</i>	: 3.535
<i>Velocidad de carga(MPa)</i>	:	0.250		<i>Densidad (Kg/m³)</i>	: 2248.6
<i>Area (mm²)</i>	:	7744.4	<i>Edad</i>	:	
<i>Carga de rotura (kN)</i>	:	172.7		<i>Fecha de ensayo</i>	: 27/05/2015
<i>Failure appearance</i>	:	Satisfactoria		<i>Resistencia (MPa)</i>	: 22.30
<i>Notes</i>	:				



Operador

Compression test on concrete : EN 12390-3

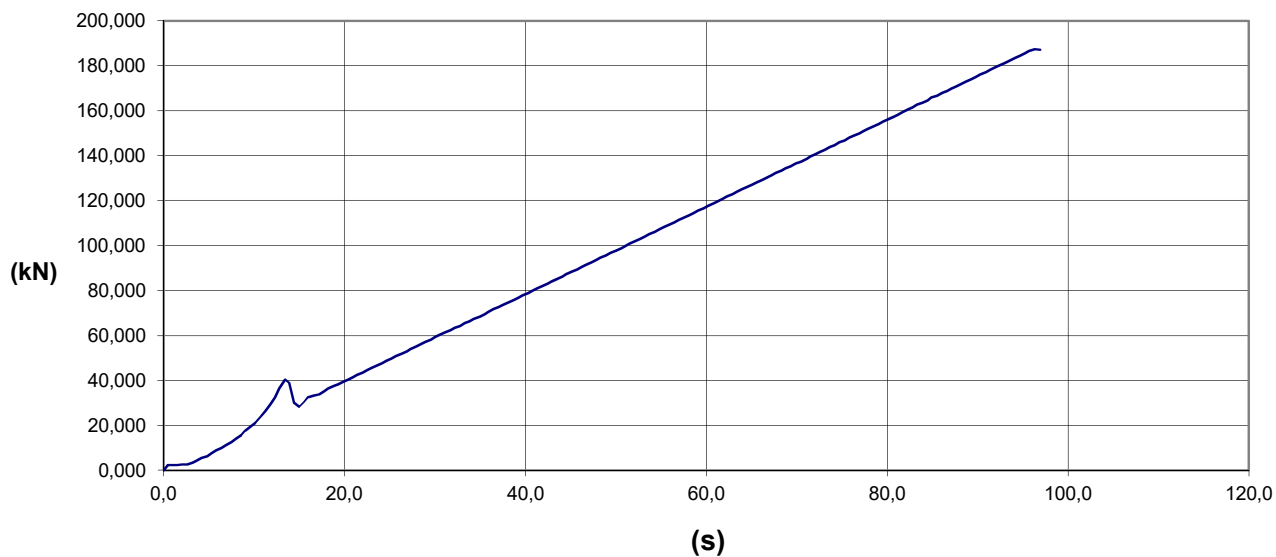
<i>Certificate number</i>	:		<i>Certificate date</i>	:	21/12/2009
<i>Testing apparatus</i>	:				
<i>Customer</i>	:				
<i>Contact</i>	:				
<i>Tipo de probeta</i>	:	cilindro 10 x 20	<i>Cem.content kg/m³</i>	:	
<i>Cement type</i>	:		<i>Preparation date</i>	:	20/05/2015
<i>Specimen conditions:</i>	:				
<i>On receipt</i>	:		<i>At time of test</i>	:	
<i>Sampling location</i>	:		<i>Sampling date</i>	:	21/12/2009
<i>Specimen preparation</i>	:				
<i>Specimen ID.</i>	:	C1			
Resultados de ensayo					
<i>Dimensiones</i>	:	d(mm) : 100.0 h(mm) : 199.0	<i>Masa (Kg)</i>	:	3.585
<i>Velocidad de carga(MPa)</i>	:	0.250	<i>Densidad (Kg/m³)</i>	:	2293.8
<i>Area (mm²)</i>	:	7854.0	<i>Edad</i>	:	
<i>Carga de rotura (kN)</i>	:	205.7	<i>Fecha de ensayo</i>	:	18/06/2015
<i>Failure appearance</i>	:	Satisfactoria	<i>Resistencia (MPa)</i>	:	26.19
<i>Notes</i>	:				



Operador

Compression test on concrete : EN 12390-3

<i>Certificate number</i>	:		<i>Certificate date</i>	:	21/12/2009
<i>Testing apparatus</i>	:				
<i>Customer</i>	:				
<i>Contact</i>	:				
<i>Tipo de probeta</i>	:	cilindro 10 x 20	<i>Cem.content kg/m³</i>	:	
<i>Cement type</i>	:		<i>Preparation date</i>	:	20/05/2015
<i>Specimen conditions:</i>	:				
<i>On receipt</i>	:		<i>At time of test</i>	:	
<i>Sampling location</i>	:		<i>Sampling date</i>	:	21/12/2009
<i>Specimen preparation</i>	:				
<i>Specimen ID.</i>	:	C1			
Resultados de ensayo					
<i>Dimensiones</i>	:	d(mm) : 100.0 h(mm) : 199.0	<i>Masa (Kg)</i>	:	3.585
<i>Velocidad de carga(MPa)</i>	:	0.250	<i>Densidad (Kg/m³)</i>	:	2293.8
<i>Area (mm²)</i>	:	7854.0	<i>Edad</i>	:	
<i>Carga de rotura (kN)</i>	:	187.8	<i>Fecha de ensayo</i>	:	18/06/2015
<i>Failure appearance</i>	:	Satisfactoria	<i>Resistencia (MPa)</i>	:	23.91
<i>Notes</i>	:				

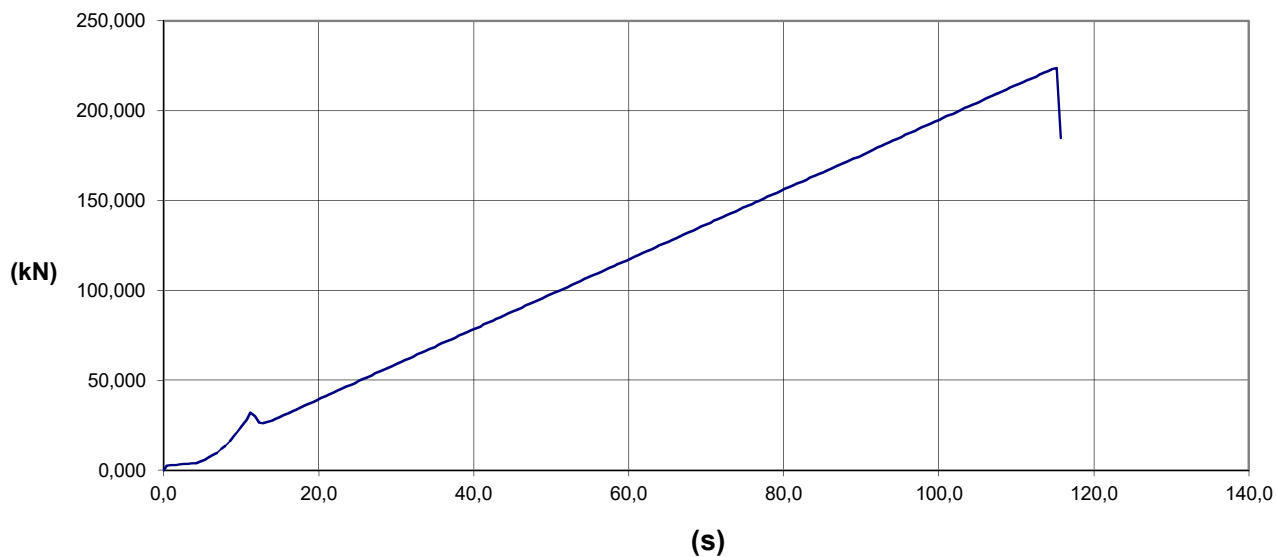


Operator

75 DÍAS

Compression test on concrete : EN 12390-3

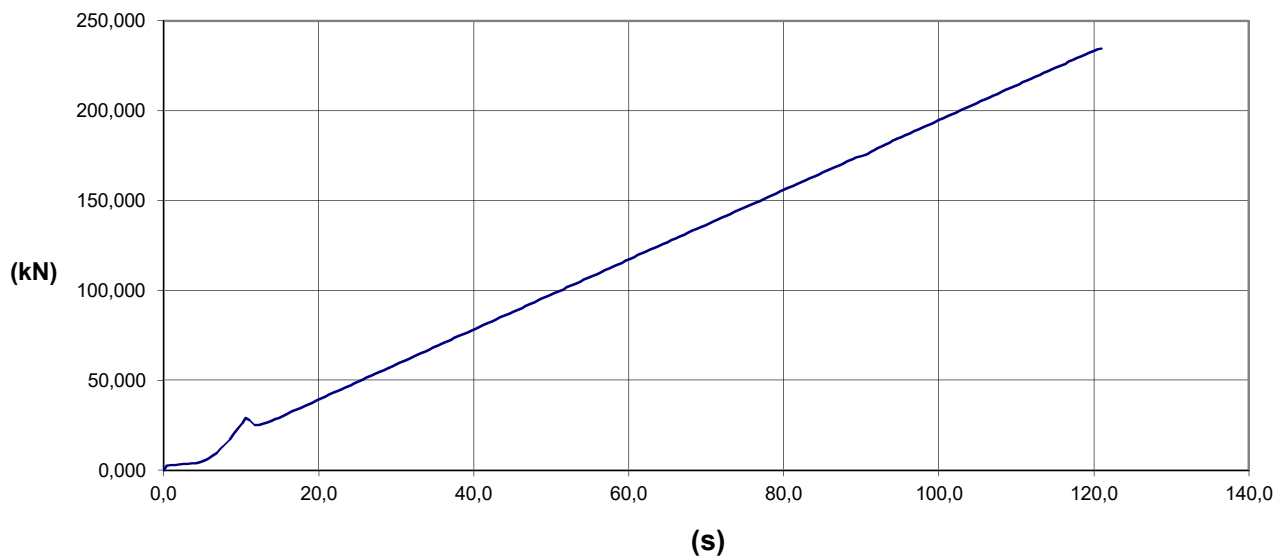
Certificate number	:	Certificate date	: 21/12/2009
Testing apparatus	:		
Customer	:		
Contact	:		
Tipo de probeta	:	CILINDRO	Cem.content kg/m ³ :
Cement type	:		Preparation date : 29/04/2015
Specimen conditions:	:		
On receipt	:		At time of test :
Sampling location	:		Sampling date : 21/12/2009
Specimen preparation	:		
Specimen ID.	:	PET3	
Resultados de ensayo			
Dimensiones	:	d(mm) : 100.0 h(mm) : 200.0	Masa (Kg) : 3.529
Velocidad de carga(MPa)	:	0.250	Densidad (Kg/m ³) : 2246.6
Area (mm ²)	:	7854.0	Edad :
Carga de rotura (kN)	:	223.5	Fecha de ensayo : 13/07/2015
Failure appearance	:	Satisfactoria	Resistencia (MPa) : 28.46
Notes	:		



Operador

Compression test on concrete : EN 12390-3

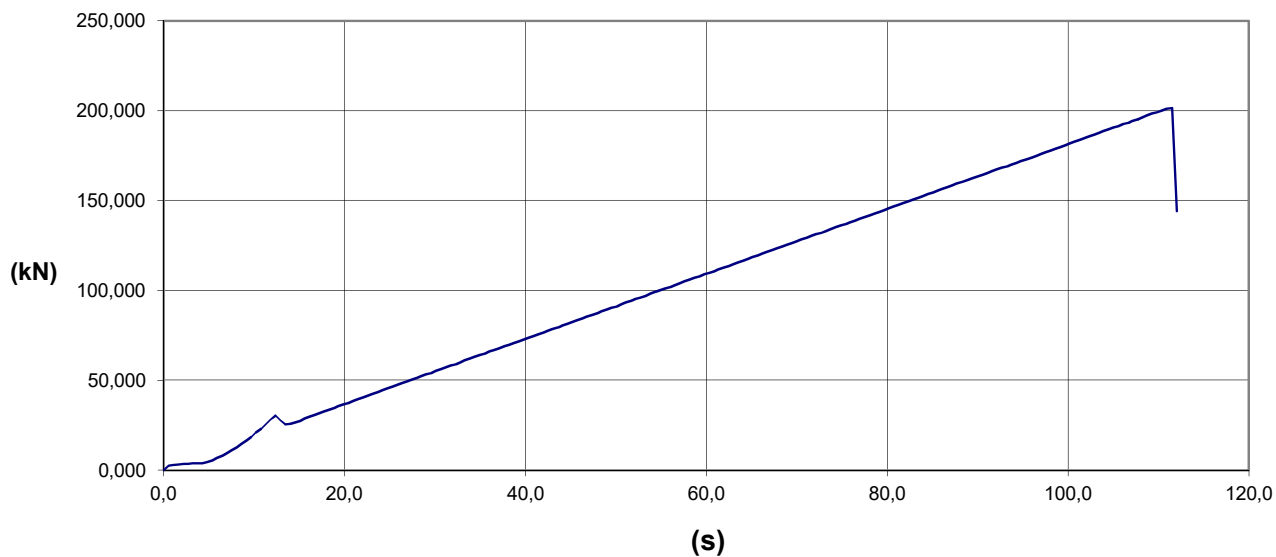
<i>Certificate number</i>	:		<i>Certificate date</i>	:	21/12/2009
<i>Testing apparatus</i>	:				
<i>Customer</i>	:				
<i>Contact</i>	:				
<i>Tipo de probeta</i>	:	CILINDRO	<i>Cem.content kg/m³</i>	:	
<i>Cement type</i>	:		<i>Preparation date</i>	:	29/04/2015
<i>Specimen conditions:</i>	:				
<i>On receipt</i>	:		<i>At time of test</i>	:	
<i>Sampling location</i>	:		<i>Sampling date</i>	:	21/12/2009
<i>Specimen preparation</i>	:				
<i>Specimen ID.</i>	:	PET4			
Resultados de ensayo					
<i>Dimensiones</i>	:	d(mm) : 100.0 h(mm) : 200.5	<i>Masa (Kg)</i>	:	3.511
<i>Velocidad de carga(MPa)</i>	:	0.250	<i>Densidad (Kg/m³)</i>	:	2229.6
<i>Area (mm²)</i>	:	7854.0	<i>Edad</i>	:	
<i>Carga de rotura (kN)</i>	:	234.6	<i>Fecha de ensayo</i>	:	13/07/2015
<i>Failure appearance</i>	:	Satisfactoria	<i>Resistencia (MPa)</i>	:	29.87
<i>Notes</i>	:				



Operador

Compression test on concrete : EN 12390-3

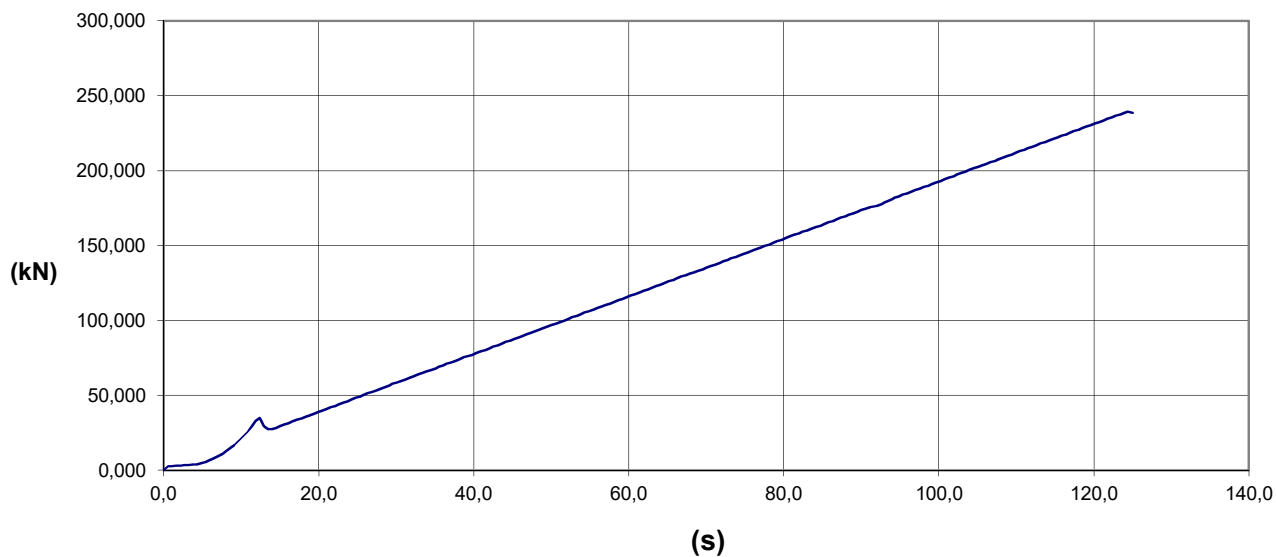
<i>Certificate number</i>	:		<i>Certificate date</i>	:	21/12/2009
<i>Testing apparatus</i>	:				
<i>Customer</i>	:				
<i>Contact</i>	:				
<i>Tipo de probeta</i>	:	CILINDRO	<i>Cem.content kg/m³</i>	:	
<i>Cement type</i>	:		<i>Preparation date</i>	:	29/04/2015
<i>Specimen conditions:</i>	:				
<i>On receipt</i>	:		<i>At time of test</i>	:	
<i>Sampling location</i>	:		<i>Sampling date</i>	:	21/12/2009
<i>Specimen preparation</i>	:				
<i>Specimen ID.</i>	:	PET5 CG			
Resultados de ensayo					
<i>Dimensiones</i>	:	d(mm) : 96.5 h(mm) : 200.5	<i>Masa (Kg)</i>	:	3.282
<i>Velocidad de carga(MPa)</i>	:	0.250	<i>Densidad (Kg/m³)</i>	:	2238.1
<i>Area (mm²)</i>	:	7313.8	<i>Edad</i>	:	
<i>Carga de rotura (kN)</i>	:	201.5	<i>Fecha de ensayo</i>	:	13/07/2015
<i>Failure appearance</i>	:	Satisfactoria	<i>Resistencia (MPa)</i>	:	27.55
<i>Notes</i>	:				



Operator

Compression test on concrete : EN 12390-3

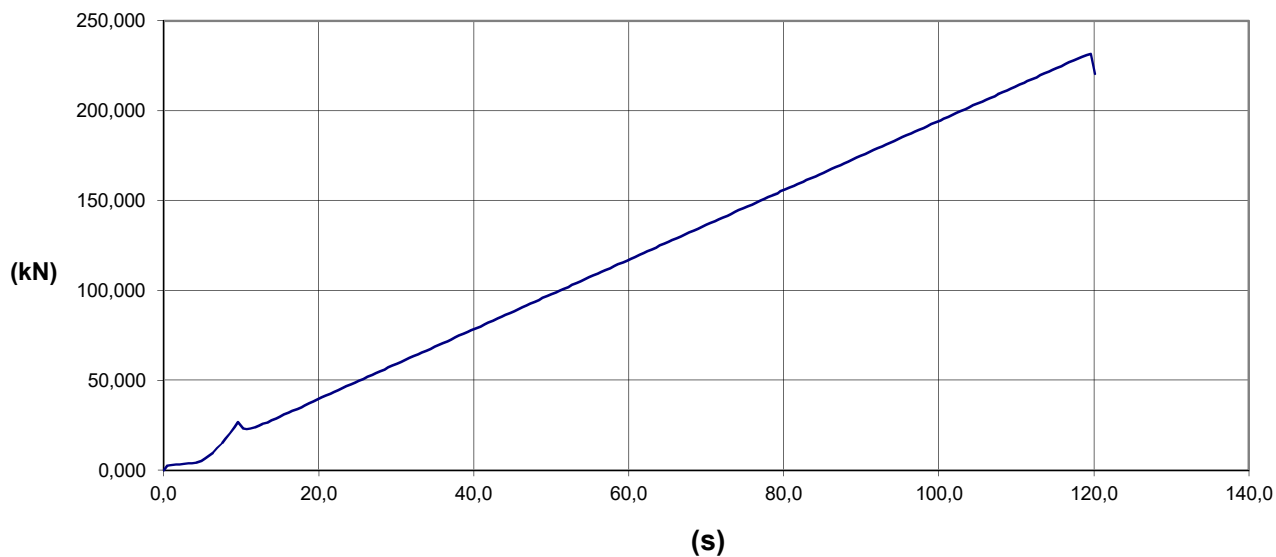
<i>Certificate number</i>	:		<i>Certificate date</i>	:	21/12/2009
<i>Testing apparatus</i>	:				
<i>Customer</i>	:				
<i>Contact</i>	:				
<i>Tipo de probeta</i>	:	CILINDRO	<i>Cem.content kg/m³</i>	:	
<i>Cement type</i>	:		<i>Preparation date</i>	:	29/04/2015
<i>Specimen conditions:</i>	:				
<i>On receipt</i>	:		<i>At time of test</i>	:	
<i>Sampling location</i>	:		<i>Sampling date</i>	:	21/12/2009
<i>Specimen preparation</i>	:				
<i>Specimen ID.</i>	:	PP3			
Resultados de ensayo					
<i>Dimensiones</i>	:	d(mm) : 99.5 h(mm) : 202.0	<i>Masa (Kg)</i>	:	3.635
<i>Velocidad de carga(MPa)</i>	:	0.250	<i>Densidad (Kg/m³)</i>	:	2314.3
<i>Area (mm²)</i>	:	7775.6	<i>Edad</i>	:	
<i>Carga de rotura (kN)</i>	:	239.5	<i>Fecha de ensayo</i>	:	13/07/2015
<i>Failure appearance</i>	:	Satisfactoria	<i>Resistencia (MPa)</i>	:	30.80
<i>Notes</i>	:				



Operador

Compression test on concrete : EN 12390-3

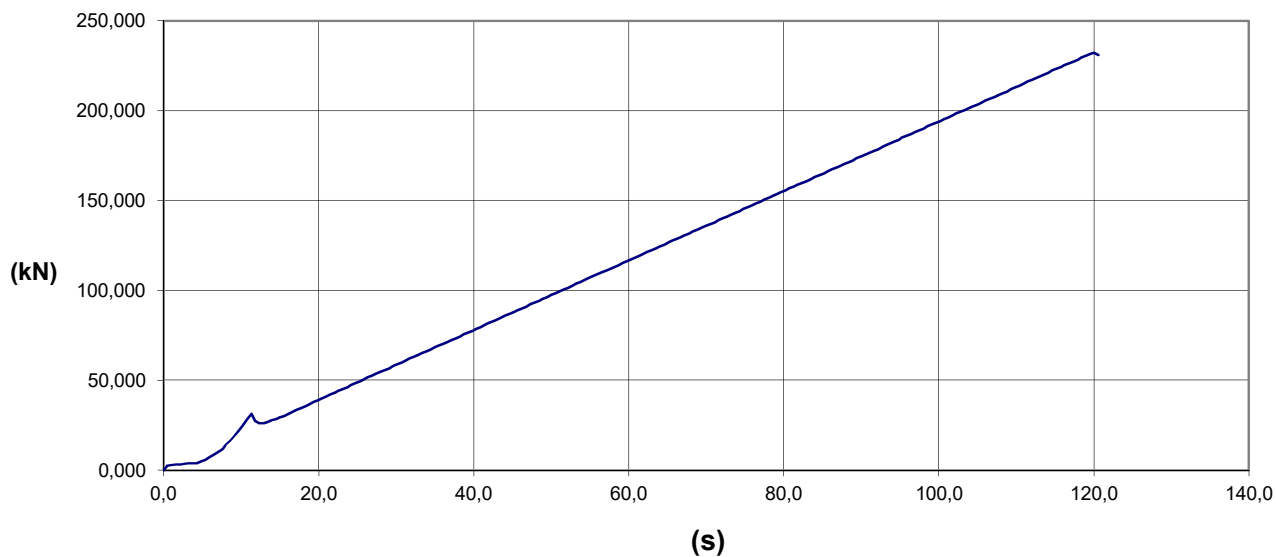
Certificate number	:	Certificate date	: 21/12/2009
Testing apparatus	:		
Customer	:		
Contact	:		
Tipo de probeta	:	CILINDRO	Cem.content kg/m ³ :
Cement type	:		Preparation date : 29/04/2015
Specimen conditions:	:		
On receipt	:		At time of test :
Sampling location	:		Sampling date : 21/12/2009
Specimen preparation	:		
Specimen ID.	:	PP4	
Resultados de ensayo			
Dimensiones	:	d(mm) : 99.8 h(mm) : 203.0	Masa (Kg) : 3.549
Velocidad de carga(MPa)	:	0.250	Densidad (Kg/m ³) : 2234.9
Area (mm ²)	:	7822.6	Edad :
Carga de rotura (kN)	:	231.6	Fecha de ensayo : 13/07/2015
Failure appearance	:	Satisfactoria	Resistencia (MPa) : 29.61
Notes	:		



Operador

Compression test on concrete : EN 12390-3

<i>Certificate number</i>	:		<i>Certificate date</i>	:	21/12/2009
<i>Testing apparatus</i>	:				
<i>Customer</i>	:				
<i>Contact</i>	:				
<i>Tipo de probeta</i>	:	CILINDRO	<i>Cem.content kg/m³</i>	:	
<i>Cement type</i>	:		<i>Preparation date</i>	:	29/04/2015
<i>Specimen conditions:</i>	:		<i>At time of test</i>	:	
<i>On receipt</i>	:		<i>Sampling date</i>	:	21/12/2009
<i>Sampling location</i>	:				
<i>Specimen preparation</i>	:				
<i>Specimen ID.</i>	:	PP5 CG			
Resultados de ensayo					
<i>Dimensiones</i>	:	d(mm) : 99.8 h(mm) : 200.5	<i>Masa (Kg)</i>	:	3.515
<i>Velocidad de carga(MPa)</i>	:	0.250	<i>Densidad (Kg/m³)</i>	:	2241.1
<i>Area (mm²)</i>	:	7822.6	<i>Edad</i>	:	
<i>Carga de rotura (kN)</i>	:	232.5	<i>Fecha de ensayo</i>	:	13/07/2015
<i>Failure appearance</i>	:	Satisfactoria	<i>Resistencia (MPa)</i>	:	29.72
<i>Notes</i>	:				

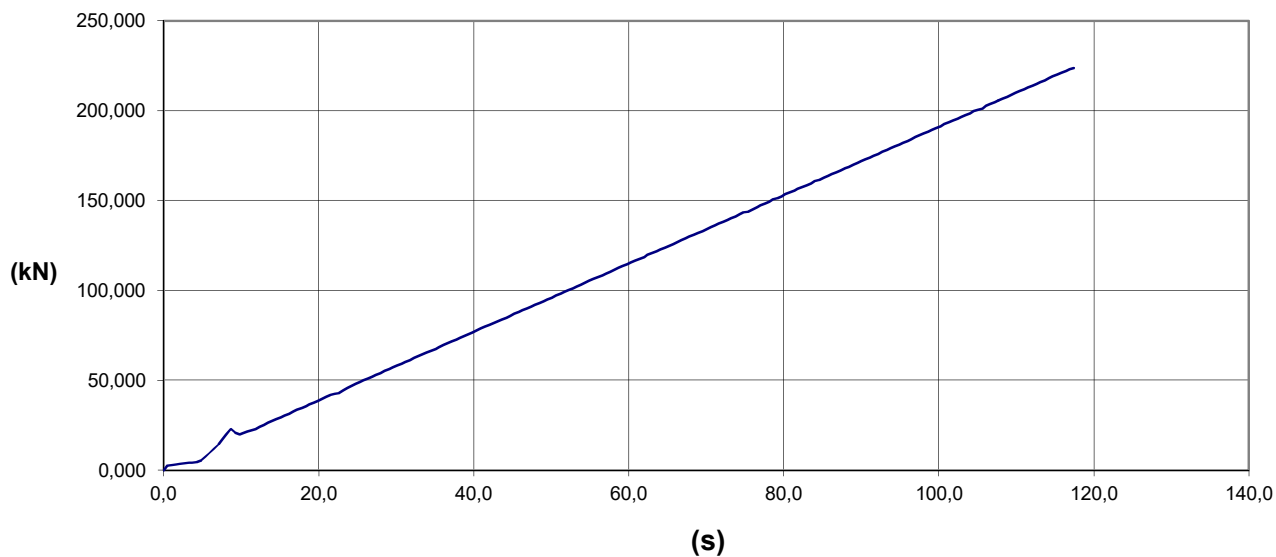


Operador

Compression test on concrete : EN 12390-3

Certificate number	:	Certificate date	: 21/12/2009
Testing apparatus	:		
Customer	:		
Contact	:		
Tipo de probeta	:	CILINDRO	
Cement type	:		
Specimen conditions:	:		
On receipt	:		
Sampling location	:		
Specimen preparation	:		
Specimen ID.	:	C1 75d	
Resultados de ensayo			
Dimensiones	:	d(mm) : 99.0 h(mm) : 201.0	Masa (Kg) : 3.552
Velocidad de carga(MPa)	:	0.250	
Area (mm ²)	:	7697.7	
Carga de rotura (kN)	:	223.9	
Failure appearance	:	Satisfactoria	
Notes	:		

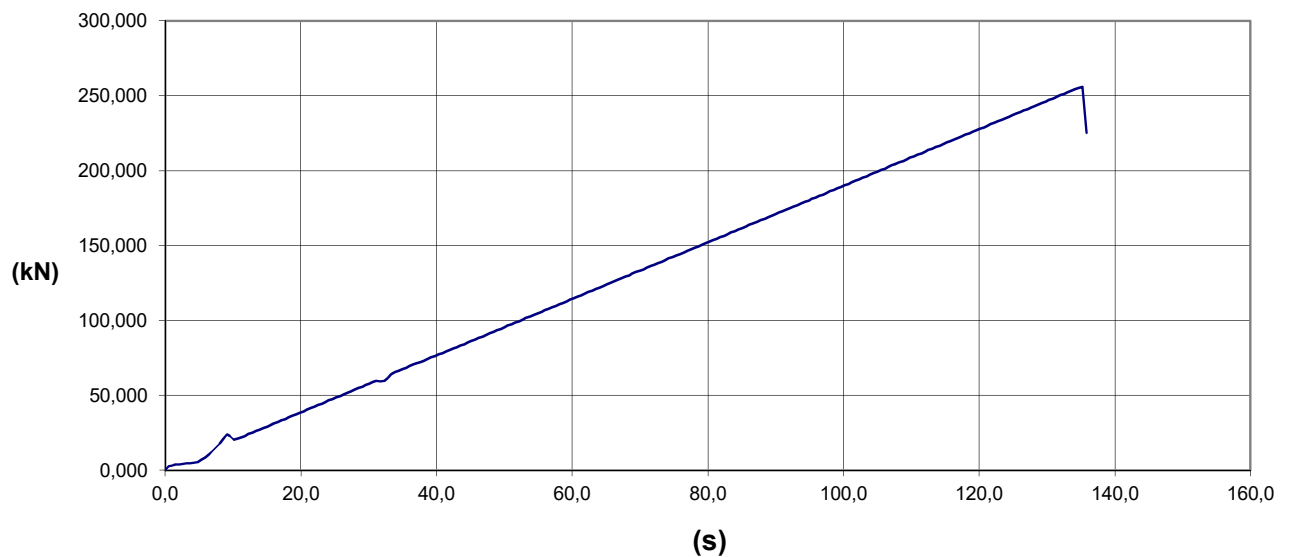
Cem.content kg/m ³	:		
Preparation date	:	20/05/2015	
At time of test	:		
Sampling date	:	21/12/2009	
Densidad (Kg/m ³)	:	2295.7	
Fecha de ensayo	:	03/08/2015	
Resistencia (MPa)	:	29.09	
Edad	:		



Operador

Compression test on concrete : EN 12390-3

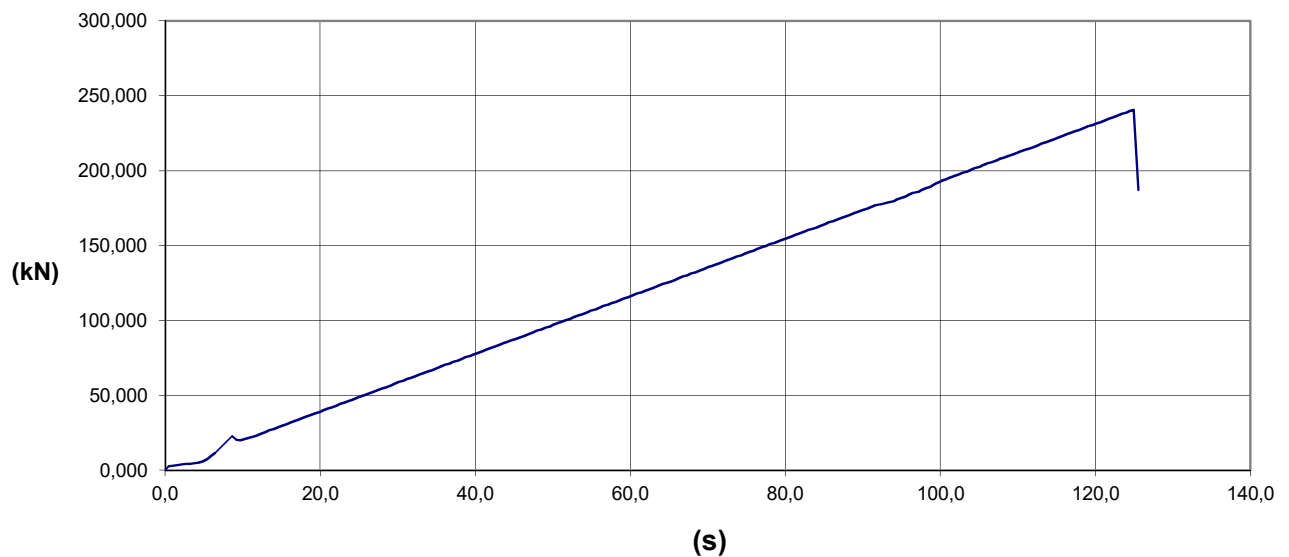
<i>Certificate number</i>	:		<i>Certificate date</i>	:	21/12/2009
<i>Testing apparatus</i>	:				
<i>Customer</i>	:				
<i>Contact</i>	:				
<i>Tipo de probeta</i>	:	CILINDRO	<i>Cem.content kg/m³</i>	:	
<i>Cement type</i>	:		<i>Preparation date</i>	:	20/05/2015
<i>Specimen conditions:</i>	:				
<i>On receipt</i>	:		<i>At time of test</i>	:	
<i>Sampling location</i>	:		<i>Sampling date</i>	:	21/12/2009
<i>Specimen preparation</i>	:				
<i>Specimen ID.</i>	:	C2 75d			
Resultados de ensayo					
<i>Dimensiones</i>	:	d(mm) : 98.7 h(mm) : 201.5	<i>Masa (Kg)</i>	:	3.569
<i>Velocidad de carga(MPa/</i>	:	0.250	<i>Densidad (Kg/m³)</i>	:	2315.0
<i>Area (mm²)</i>	:	7651.1	<i>Edad</i>	:	
<i>Carga de rotura (kN)</i>	:	256.2	<i>Fecha de ensayo</i>	:	03/08/2015
<i>Failure appearance</i>	:	Satisfactoria	<i>Resistencia (MPa)</i>	:	33.49
<i>Notes</i>	:				



Operador

Compression test on concrete : EN 12390-3

<i>Certificate number</i>	:		<i>Certificate date</i>	:	21/12/2009
<i>Testing apparatus</i>	:				
<i>Customer</i>	:				
<i>Contact</i>	:				
<i>Tipo de probeta</i>	:	CILINDRO	<i>Cem.content kg/m³</i>	:	
<i>Cement type</i>	:		<i>Preparation date</i>	:	20/05/2015
<i>Specimen conditions:</i>	:				
<i>On receipt</i>	:		<i>At time of test</i>	:	
<i>Sampling location</i>	:		<i>Sampling date</i>	:	21/12/2009
<i>Specimen preparation</i>	:				
<i>Specimen ID.</i>	:	C3 75d			
Resultados de ensayo					
<i>Dimensiones</i>	:	d(mm) : 99.5 h(mm) : 201.0	<i>Masa (Kg)</i>	:	3.563
<i>Velocidad de carga(MPa/)</i>	:	0.250	<i>Densidad (Kg/m³)</i>	:	2279.7
<i>Area (mm²)</i>	:	7775.6	<i>Edad</i>	:	
<i>Carga de rotura (kN)</i>	:	240.7	<i>Fecha de ensayo</i>	:	03/08/2015
<i>Failure appearance</i>	:	Satisfactoria	<i>Resistencia (MPa)</i>	:	30.95
<i>Notes</i>	:				



Operador

ENSAYOS MODULO DE ELASTICIDAD
75 DÍAS

Determinacion modulo elastico a compresion -

Cliente : Sebastian Sanabria

Número de identificación :

Fecha de ensayo : 13/07/2015

Descripción probeta

Tipo de probeta : PET3 75d

Dimensiones (mm) : 100 x 200

Area mm : 7854.0

edad : 75

Masa (Kg) : 3.529

Base de medida (mm) :

Tipo extensimetro :

Numero extensimetri :

Fecha muestra : 29/04/2015

RISULTADOS ENSAYO

Valores de referencia para calculo modulo elastico :

$\sigma_I = 1.13$ N/mm² $\sigma_{II} = 8.26$ N/mm²

$\epsilon_I = -4.4$ μe $\epsilon_{II} = 151.8$ μe Modulo elastico (N/mm²) : 45602.71

Descriptions :

Notas :

Número :

Fecha : 01/01/1904

Aparato de ensayo :

Notas :

Nombre

Cargo :

Grafico RESISTENCIA / TIEMPO

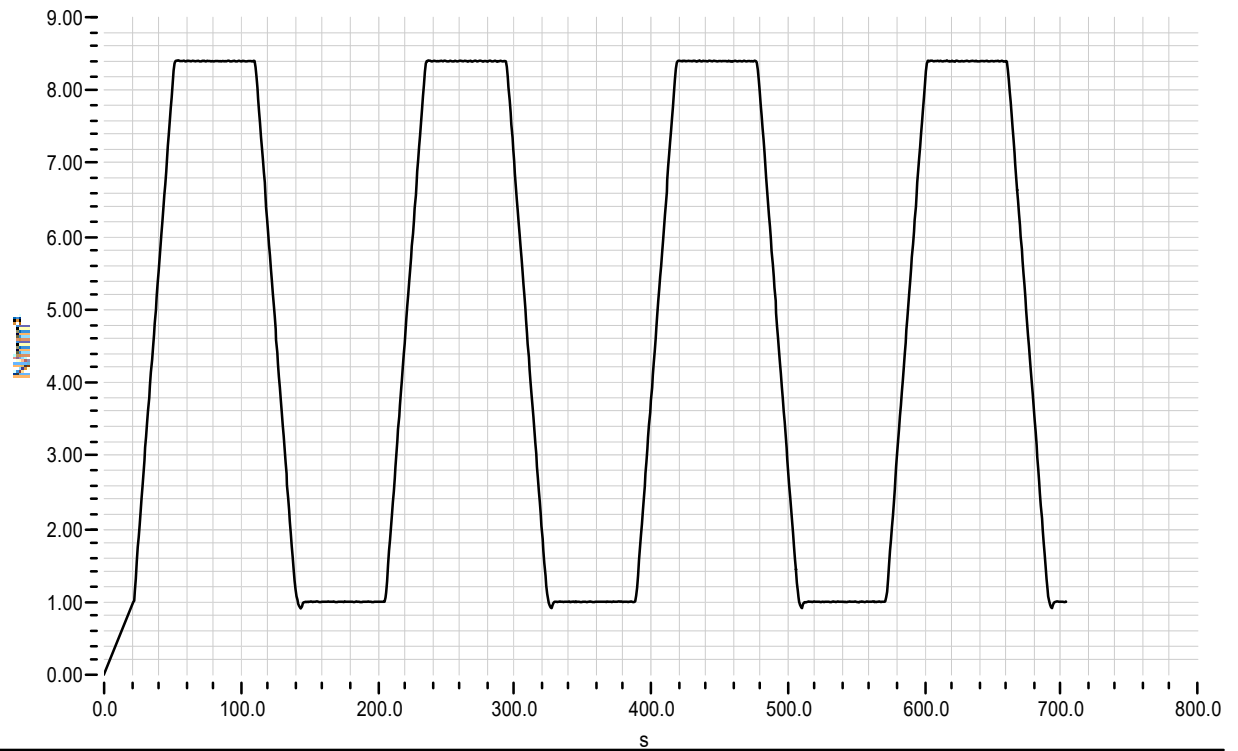
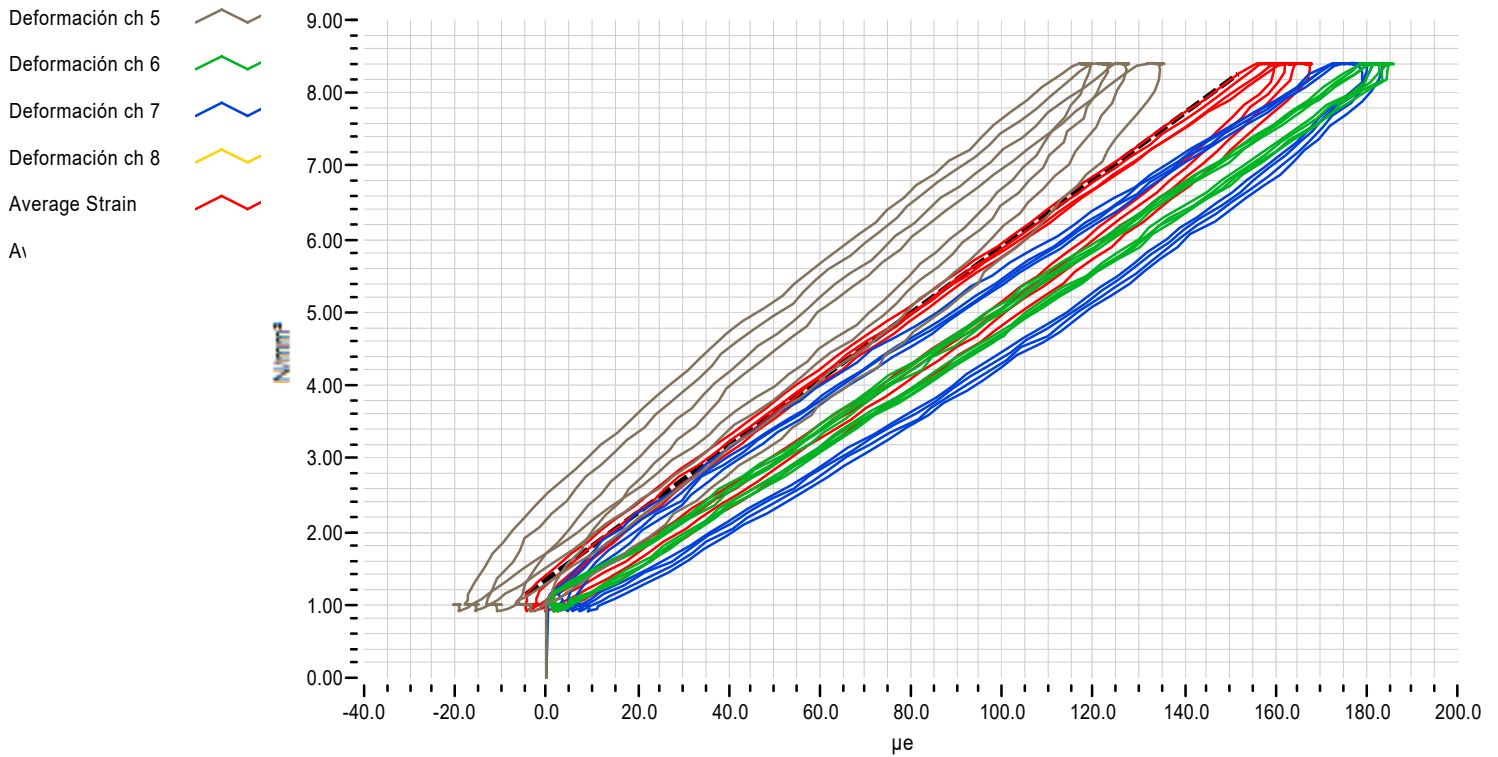


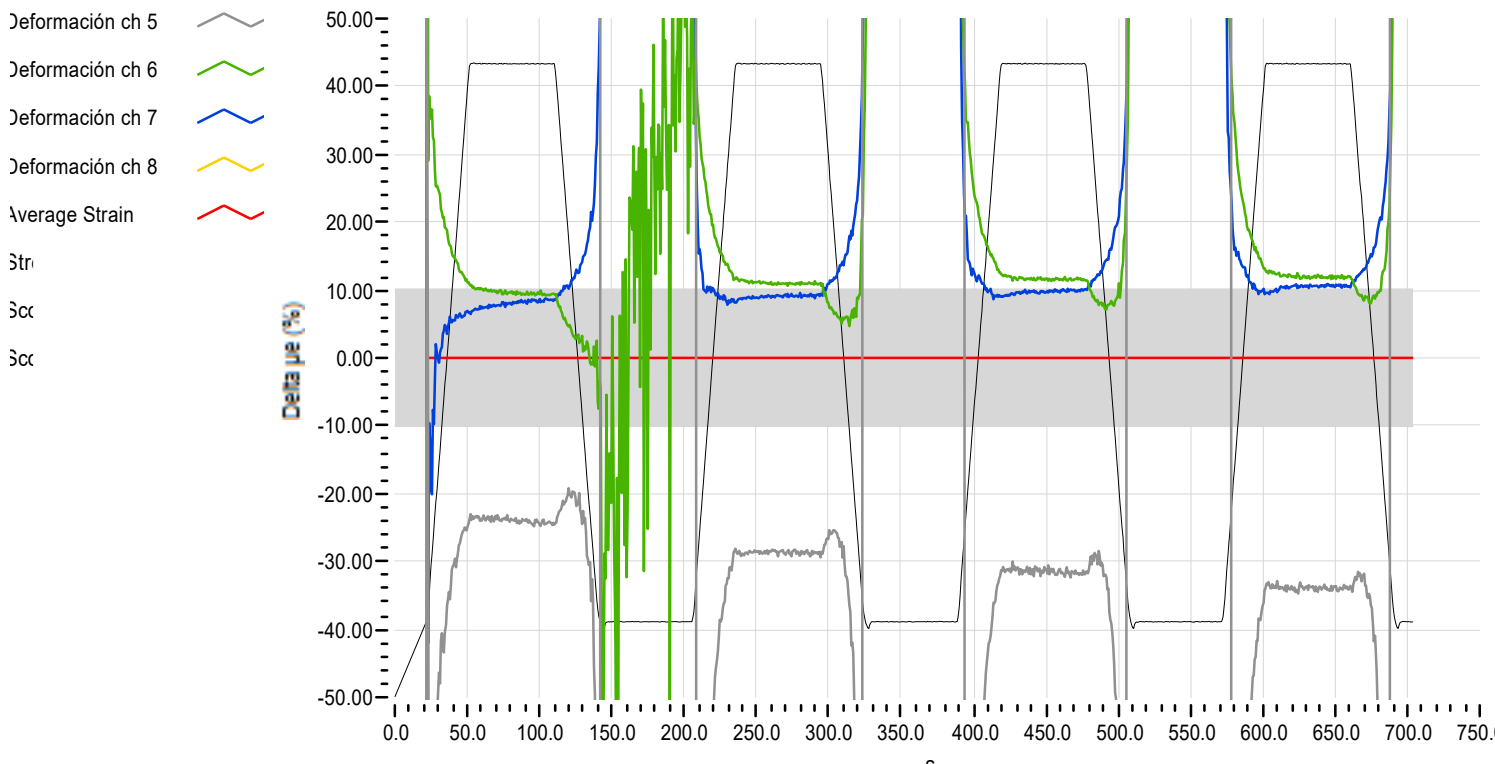
Grafico Resistencia / Strain



Número : Fecha : 01/01/1904
Aparato de ensayo :
Notas :

Nombre Cargo :

DEVIATIONS (%) / TIME diagram



Cumulated deviations (%) for selected steps

[illegible]

Limites (%) 10.0

Número : Fecha : 01/01/1904

Aparato de ensayo :

Notas :

Nombre	Cargo :
--------	---------

Determinacion modulo elastico a compresion -

Cliente : Sebastian Sanabria

Número de identificación :

Fecha de ensayo : 13/07/2015

Descripción probeta

Tipo de probeta : PET4 75d

Dimensiones (mm) : 100 x 200.5

Area mm : 7854.0

edad : 75

Masa (Kg) : 3.511

Base de medida (mm) :

Tipo extensimetro :

Numero extensimetri :

Fecha muestra : 29/04/2015

RISULTADOS ENSAYO

Valores de referencia para calculo modulo elastico :

$\sigma_I = 1.17$ N/mm² $\sigma_{II} = 8.27$ N/mm²

$\epsilon_I = -16.2$ μe $\epsilon_{II} = 128.5$ μe Modulo elastico (N/mm²) : 49070.24

Descriptions :

Notas :

Número :

Fecha : 01/01/1904

Aparato de ensayo :

Notas :

Nombre

Cargo :

Grafico RESISTENCIA / TIEMPO

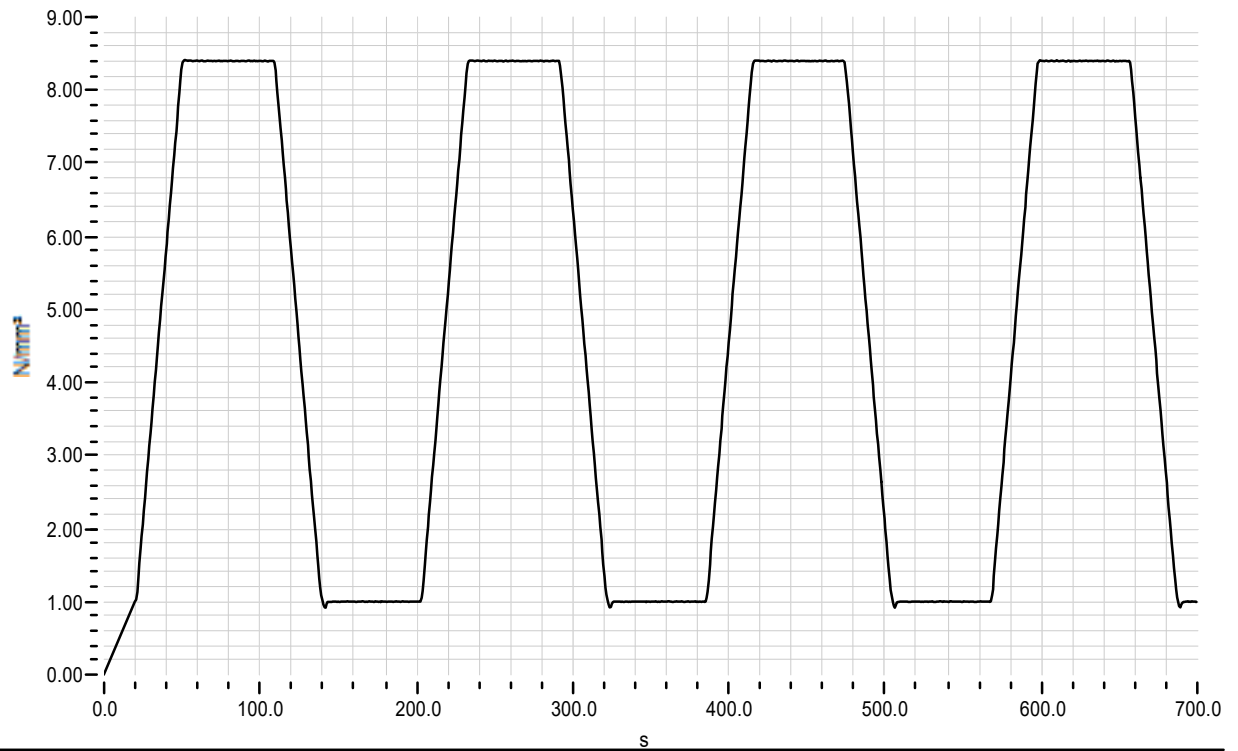
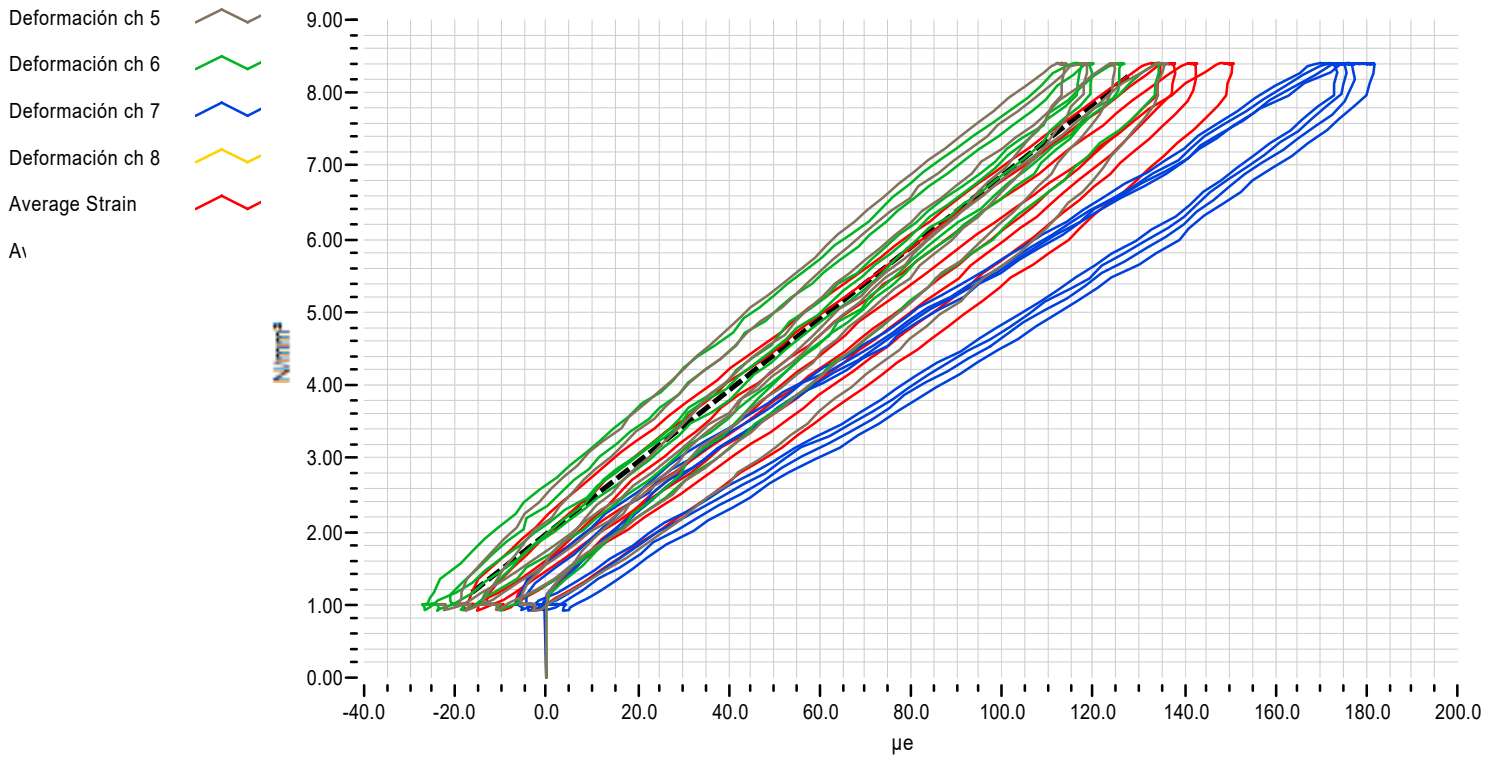


Grafico Resistencia / Strain



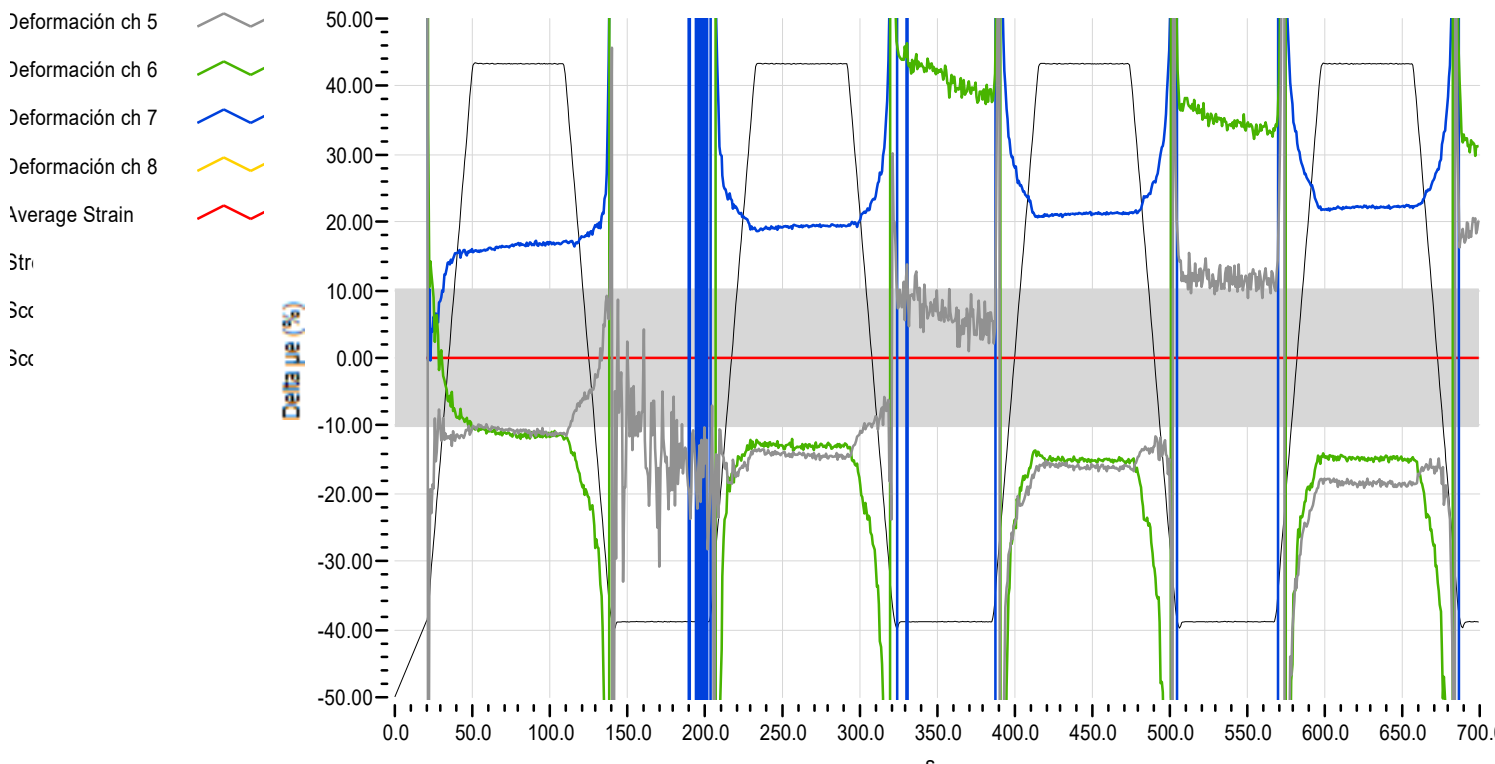
Número : Fecha : 01/01/1904

Aparato de ensayo :

Notas :

Nombre Cargo :

DEVIATIONS (%) / TIME diagram



Cumulated deviations (%) for selected steps

[illegible]

Limites (%) 10.0

Número : Fecha : 01/01/1904

Aparato de ensayo :

Notas :

Nombre

Cargo :

Determinacion modulo elastico a compresion -

Cliente : Sebastian Sanabria

Número de identificación :

Fecha de ensayo : 13/07/2015

Descripción probeta

Tipo de probeta : PET5 75d CG

Dimensiones (mm) : 96.5 x 200.5 Area mm : 7854.0

edad : 75 Masa (Kg) : 3.282

Base de medida (mm) :

Tipo extensimetro : Numero extensimetri :

Fecha muestra : 29/04/2015

RISULTADOS ENSAYO

Valores de referencia para calculo modulo elastico :

$\sigma_I = 1.28$ N/mm² $\sigma_{II} = 8.11$ N/mm²

$\epsilon_I = -5.8$ μe $\epsilon_{II} = 147.7$ μe Modulo elastico (N/mm²) : 44432.92

Descriptions :

Notas :

Número : Fecha : 01/01/1904

Aparato de ensayo :

Notas :

Nombre

Cargo :

Grafico RESISTENCIA / TIEMPO

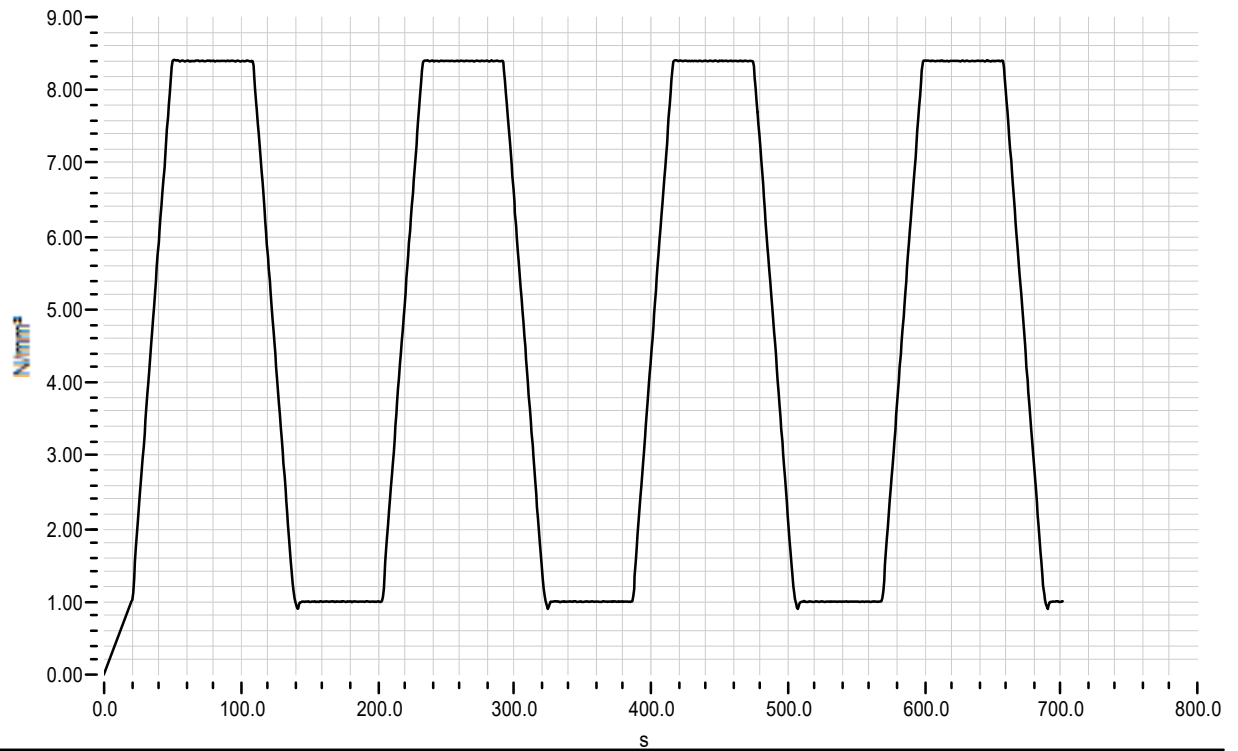
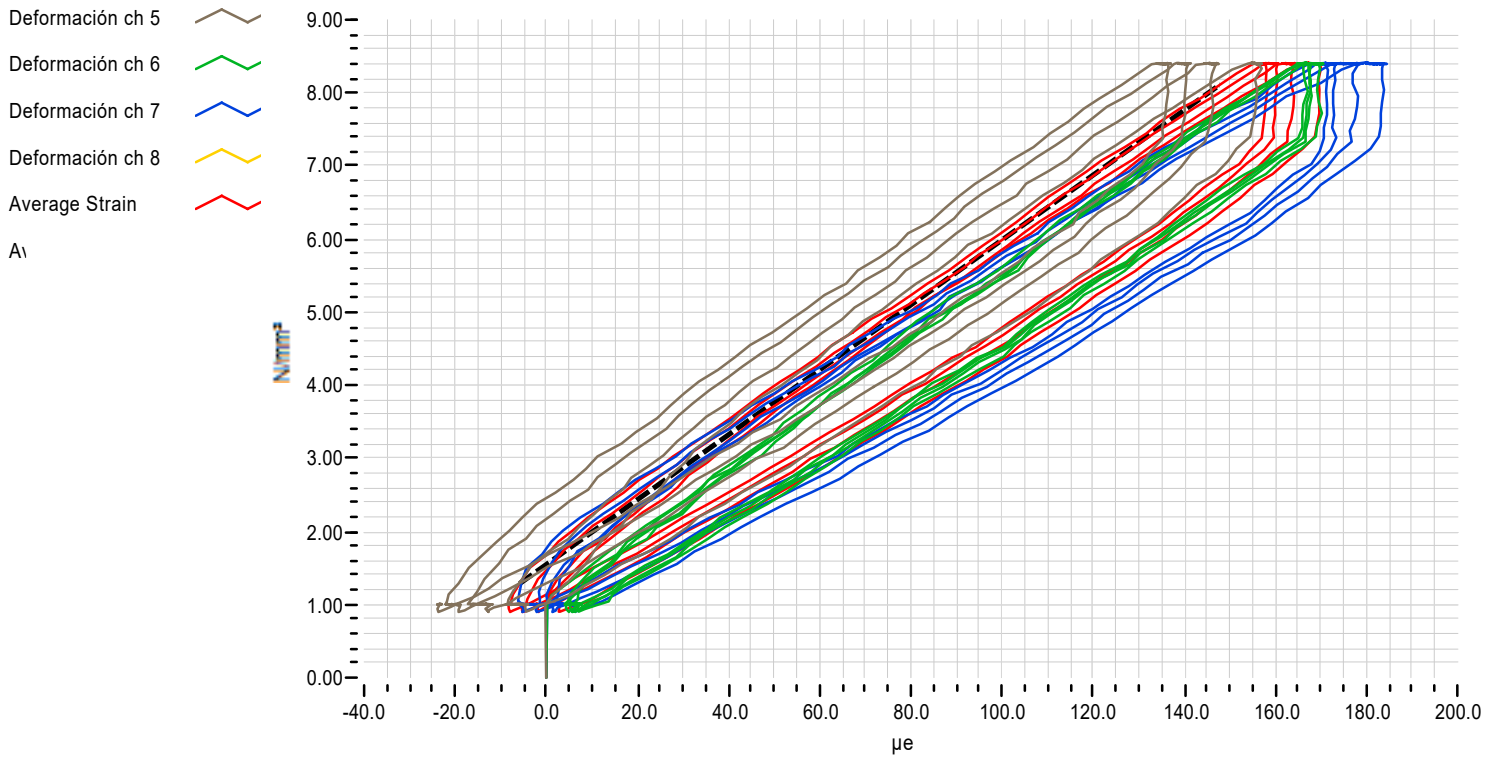


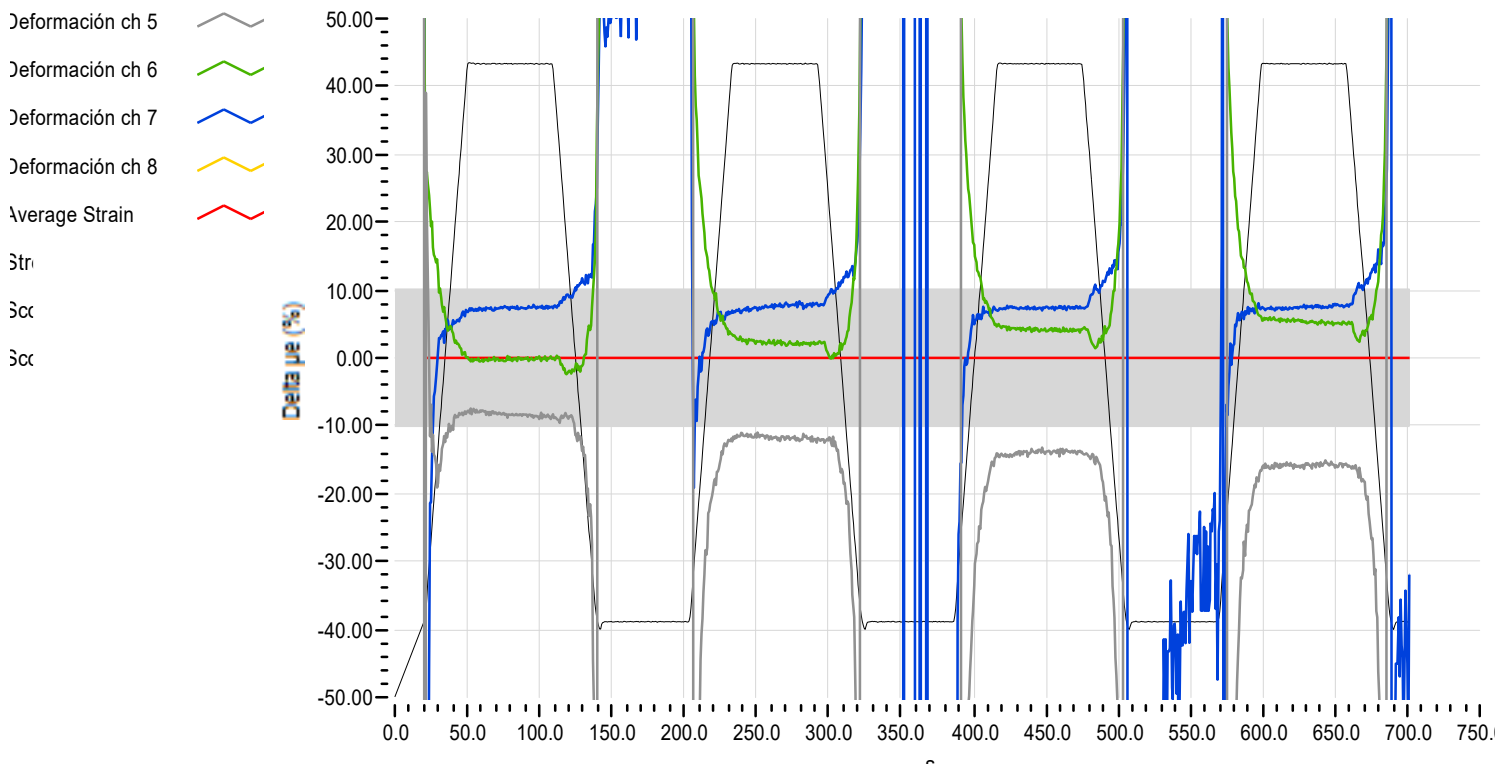
Grafico Resistencia / Strain



Número : Fecha : 01/01/1904
Aparato de ensayo :
Notas :

Nombre Cargo :

DEVIATIONS (%) / TIME diagram



Cumulated deviations (%) for selected steps

[illegible]

Limites (%) 10.0

Número : Fecha : 01/01/1904

Aparato de ensayo :

Notas :

Nombre	Cargo :
--------	---------

Determinacion modulo elastico a compresion -

Cliente : Sebastian Sanabria

Número de identificación :

Fecha de ensayo : 13/07/2015

Descripción probeta

Tipo de probeta : PP3 75d

Dimensiones (mm) : 99.5 x 202.0

Area mm : 7854.0

edad : 75

Masa (Kg) : 3.535

Base de medida (mm) :

Tipo extensímetro :

Numero extensimetri :

Fecha muestra : 29/04/2015

RISULTADOS ENSAYO

Valores de referencia para calculo modulo elastico :

$\sigma_I = 1.35$ N/mm² $\sigma_{II} = 8.65$ N/mm²

$\epsilon_I = -1.5$ μe $\epsilon_{II} = 151.7$ μe Modulo elastico (N/mm²) : 47625.70

Descriptions :

Notas :

Número :

Fecha : 01/01/1904

Aparato de ensayo :

Notas :

Nombre

Cargo :

Grafico RESISTENCIA / TIEMPO

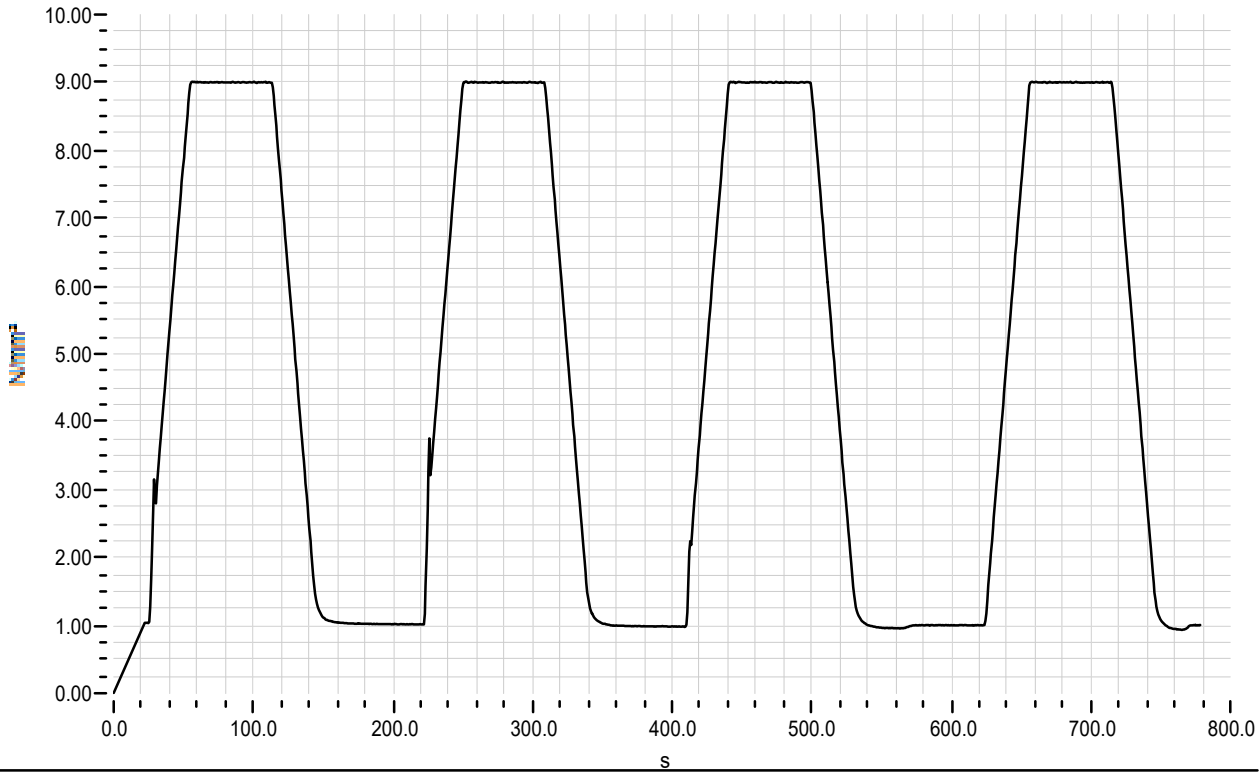
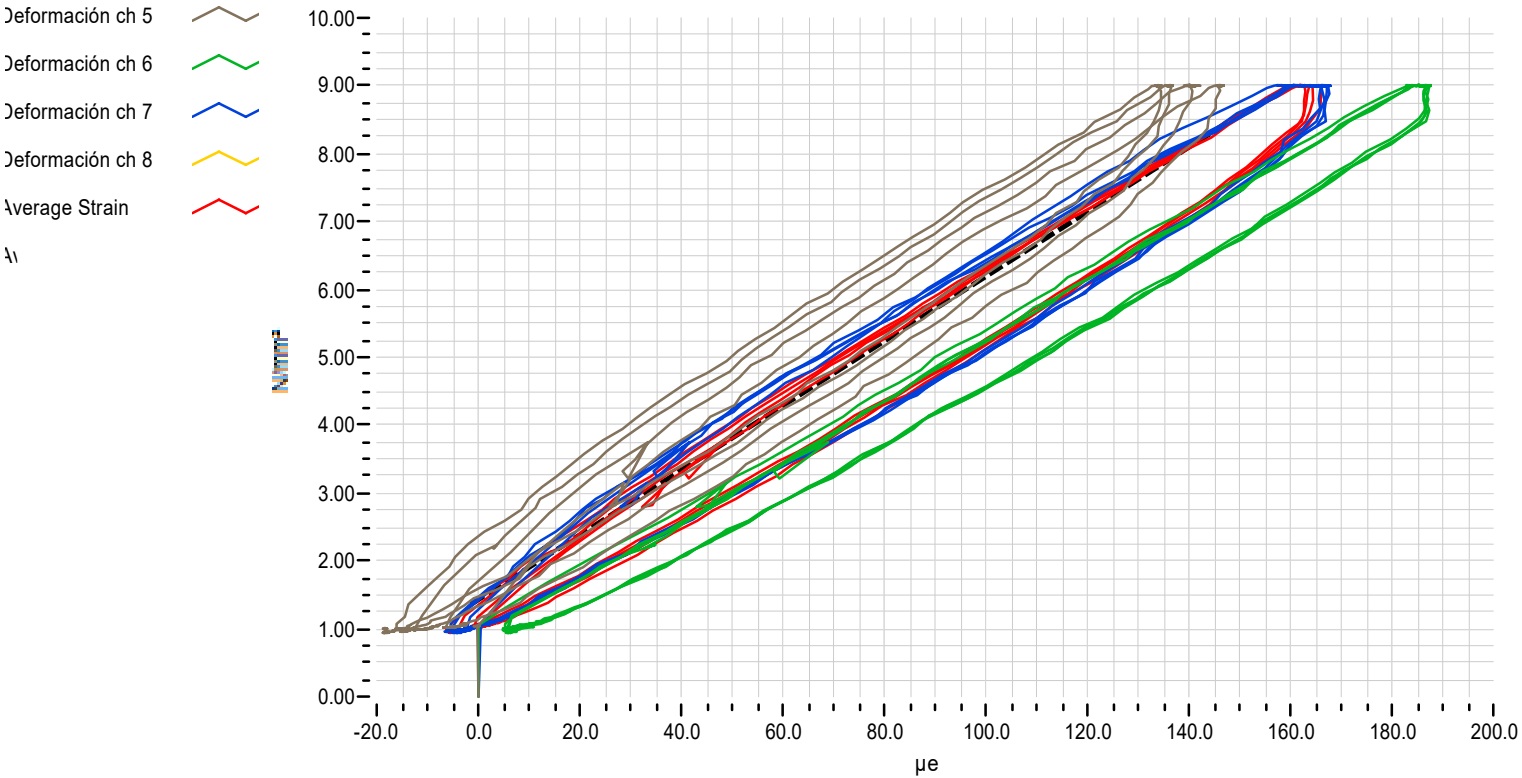


Grafico Resistencia / Strain



Número : Fecha : 01/01/1904
Aparato de ensayo :
Notas :

Nombre Cargo :

Determinacion modulo elastico a compresion -

Cliente : Sebastian Sanabria

Número de identificación :

Fecha de ensayo : 13/07/2015

Descripción probeta

Tipo de probeta : PET5 75d CG

Dimensiones (mm) : 96.5 x 200.5 Area mm : 7854.0

edad : 75 Masa (Kg) : 3.282

Base de medida (mm) :

Tipo extensimetro : Numero extensimetri :

Fecha muestra : 29/04/2015

RISULTADOS ENSAYO

Valores de referencia para calculo modulo elastico :

$\sigma_I = 1.28$ N/mm² $\sigma_{II} = 8.11$ N/mm²

$\epsilon_I = -5.8$ μe $\epsilon_{II} = 147.7$ μe Modulo Elastico (N/mm²) : 44432.92

Descriptions :

Notas :

Número : Fecha : 01/01/1904

Aparato de ensayo :

Notas :

Nombre

Cargo :

Determinacion modulo elastico a compresion -

Cliente : Sebastian Sanabria

Número de identificación :

Fecha de ensayo : 13/07/2015

Descripción probeta

Tipo de probeta : PET5 75d CG

Dimensiones (mm) : 96.5 x 200.5 Area mm : 7854.0

edad : 75 Masa (Kg) : 3.282

Base de medida (mm) :

Tipo extensimetro : Numero extensimetri :

Fecha muestra : 29/04/2015

RISULTADOS ENSAYO

Valores de referencia para calculo modulo elastico :

$\sigma_I = 1.28$ N/mm² $\sigma_{II} = 8.11$ N/mm²

$\epsilon_I = -5.8$ μe $\epsilon_{II} = 147.7$ μe Modulo elastico (N/mm²) : 44432.92

Descriptions :

Notas :

Número : Fecha : 01/01/1904

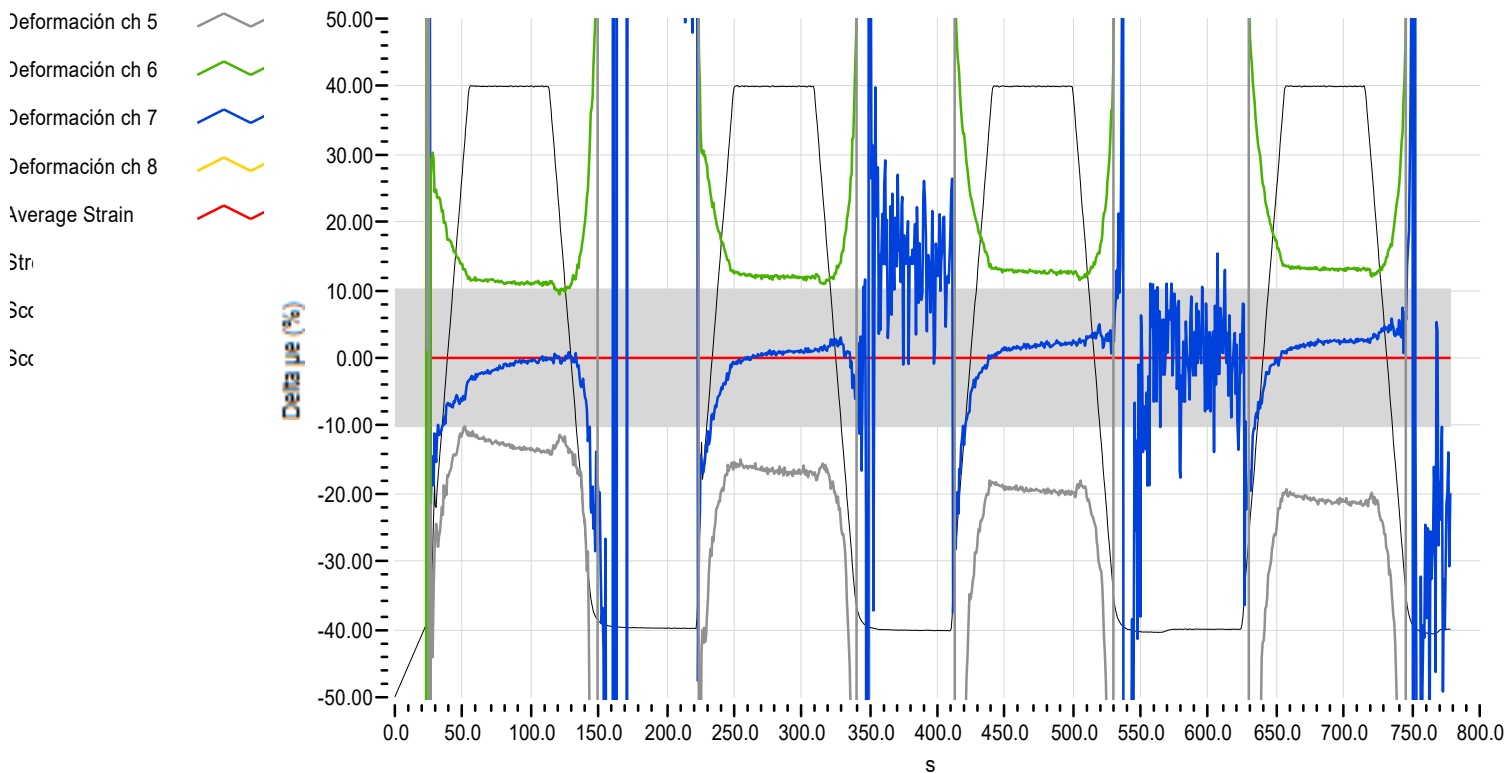
Aparato de ensayo :

Notas :

Nombre

Cargo :

DEVIATIONS (%) / TIME diagram



Cumulated deviations (%) for selected steps

[illegible]

Límites (%) 10.0

Número : Fecha : 01/01/1904

Aparato de ensayo :

Notas :

Nombre	Cargo :
--------	---------

Determinacion modulo elastico a compresion -

Cliente : Sebastian Sanabria

Número de identificación :

Fecha de ensayo : 13/07/2015

Descripción probeta

Tipo de probeta : PP5 75d

Dimensiones (mm) : 99.8 x 203.0

Area mm : 7854.0

edad : 75

Masa (Kg) : 3.549

Base de medida (mm) :

Tipo extensimetro :

Numero extensimetri :

Fecha muestra : 29/04/2015

RISULTADOS ENSAYO

Valores de referencia para calculo modulo elastico :

$\sigma_I = 1.30$ N/mm² $\sigma_{II} = 8.80$ N/mm²

$\epsilon_I = 0.4$ μe $\epsilon_{II} = 169.7$ μe Modulo elastico (N/mm²) : 44264.41

Descriptions :

Notas :

Número :

Fecha : 01/01/1904

Aparato de ensayo :

Notas :

Nombre

Cargo :

Grafico RESISTENCIA / TIEMPO

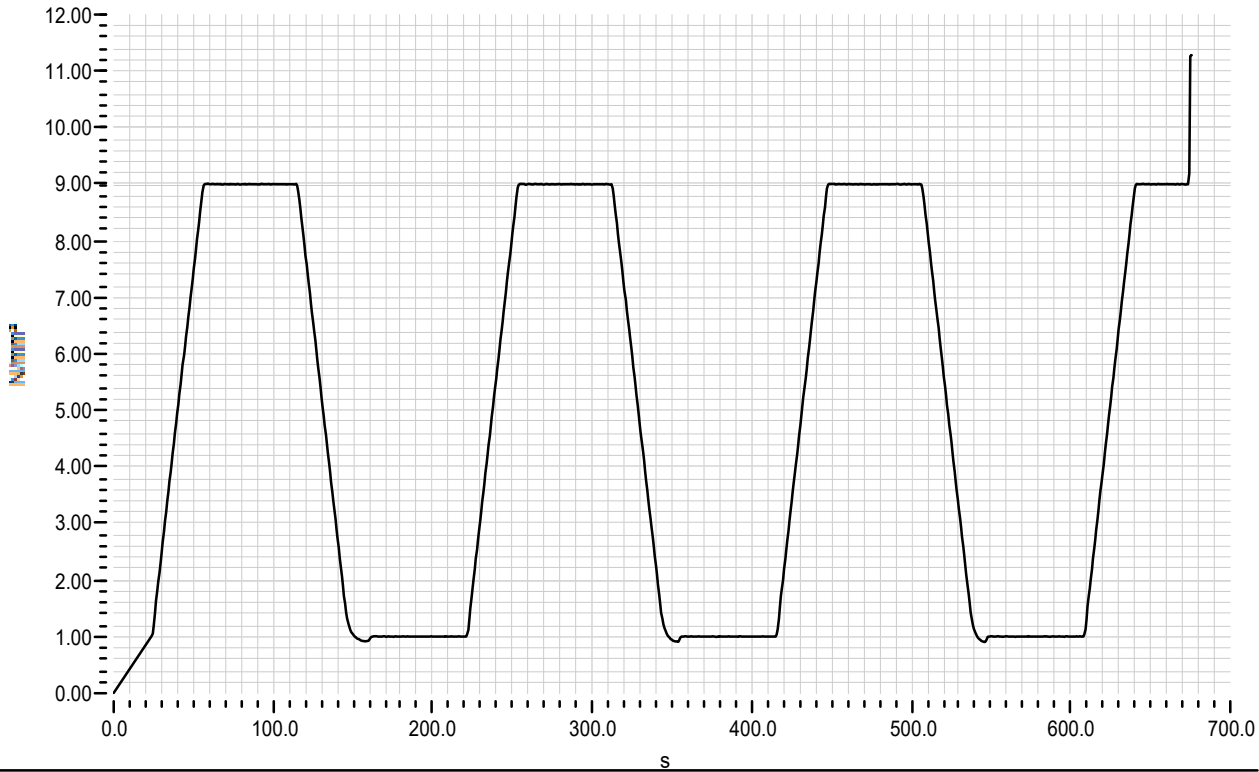
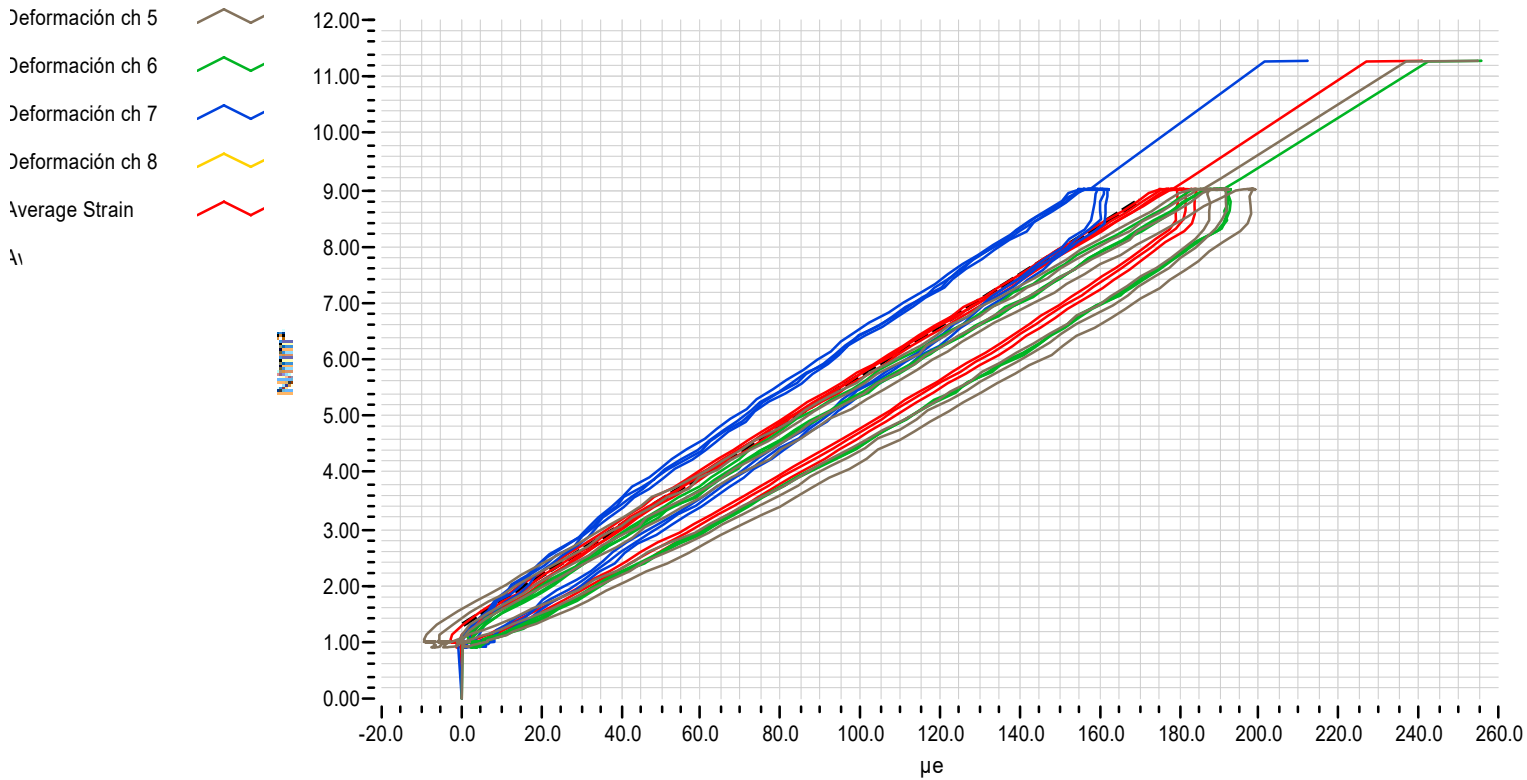


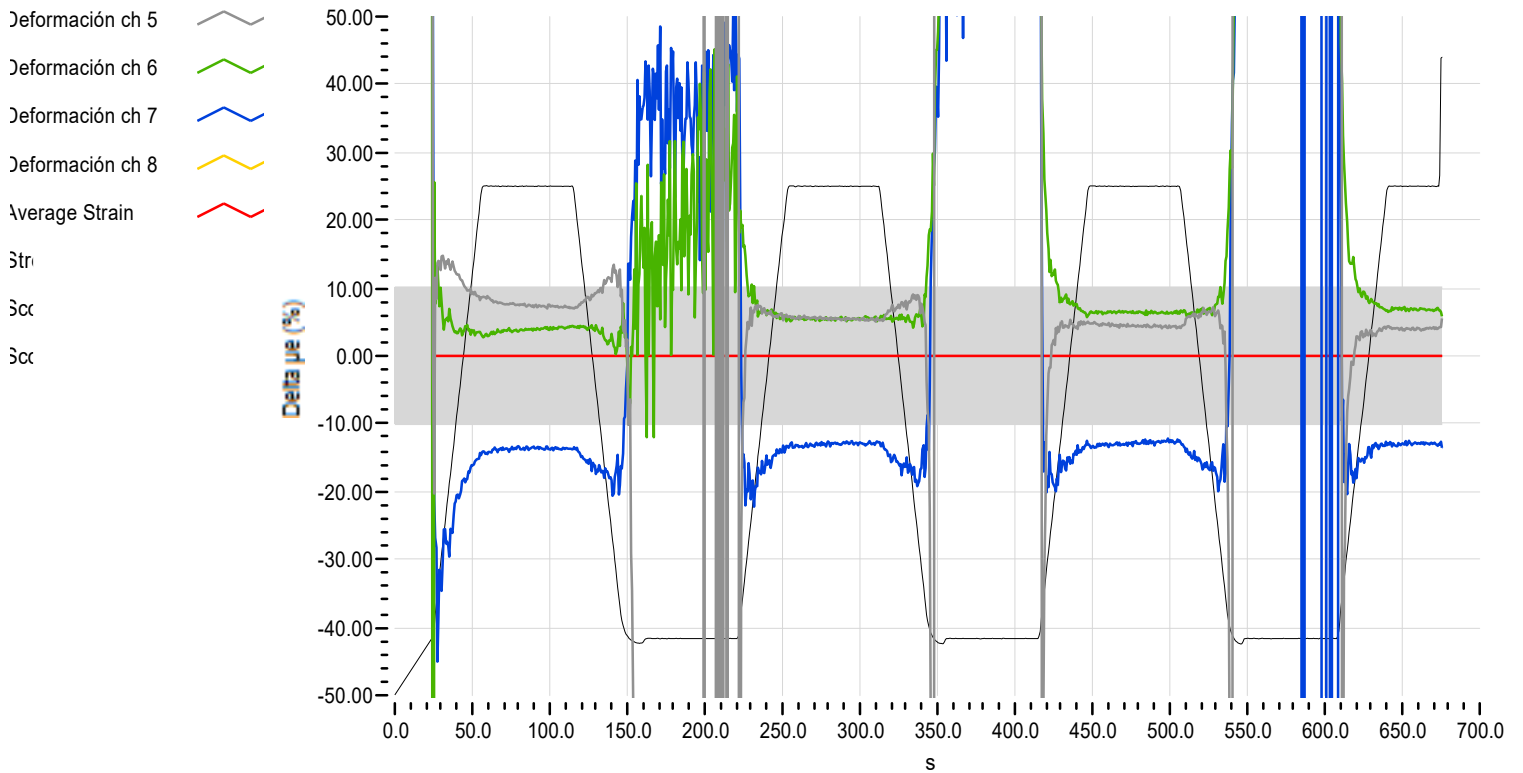
Grafico Resistencia / Strain



Número : Fecha : 01/01/1904
Aparato de ensayo :
Notas :

Nombre Cargo :

DEVIATIONS (%) / TIME diagram



Cumulated deviations (%) for selected steps

[illegible]

Límites (%) 10.0

Número : Fecha : 01/01/1904

Aparato de ensayo :

Notas :

Nombre _____ Cargo : _____

Determinacion modulo elastico a compresion -

Cliente : Sebastian Sanabria

Número de identificación :

Fecha de ensayo : 13/07/2015

Descripción probeta

Tipo de probeta : PP5 75d cg

Dimensiones (mm) : 99.8 x 200.5

Area mm : 7854.0

edad : 75

Masa (Kg) : 3.515

Base de medida (mm) :

Tipo extensimetro :

Numero extensimetri :

Fecha muestra : 29/04/2015

RISULTADOS ENSAYO

Valores de referencia para calculo modulo elastico :

$\sigma_I = 1.18$ N/mm² $\sigma_{II} = 8.76$ N/mm²

$\epsilon_I = -2.5$ μe $\epsilon_{II} = 150.5$ μe Modulo elastico (N/mm²) : 49522.82

Descriptions :

Notas :

Número :

Fecha : 01/01/1904

Aparato de ensayo :

Notas :

Nombre

Cargo :

Grafico RESISTENCIA / TIEMPO

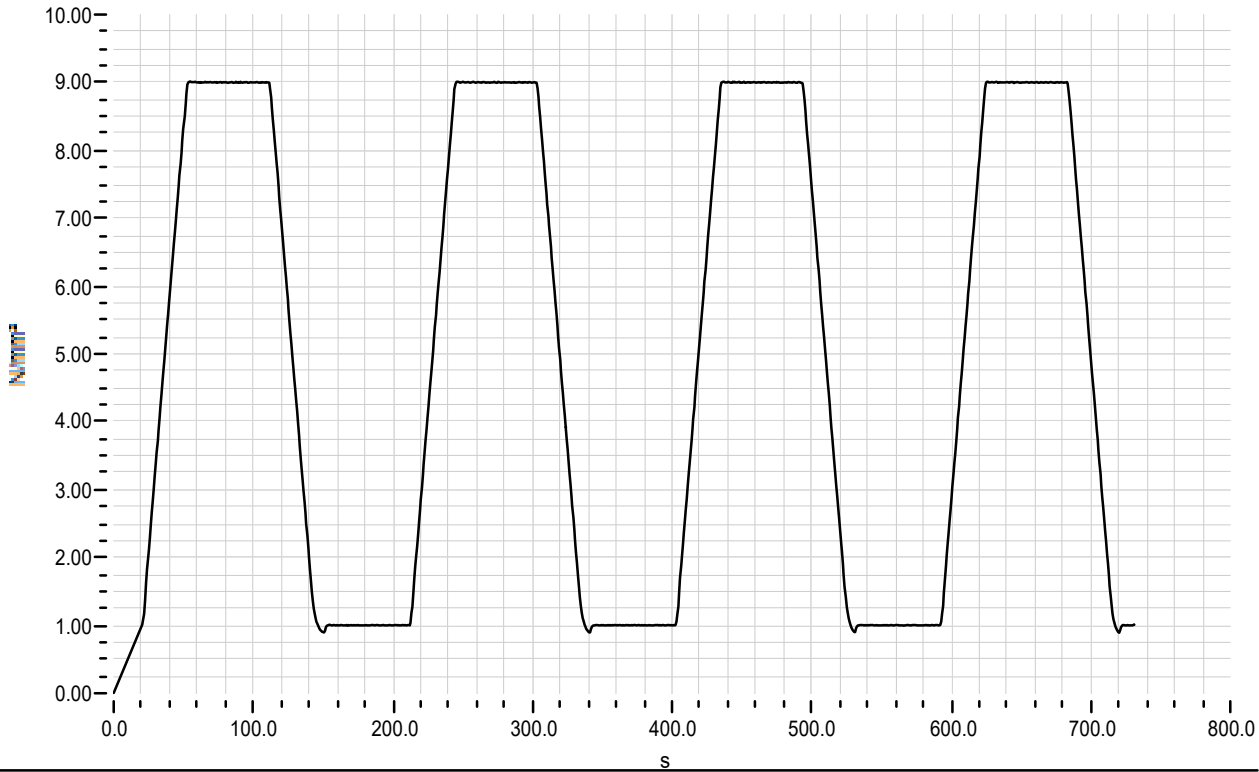
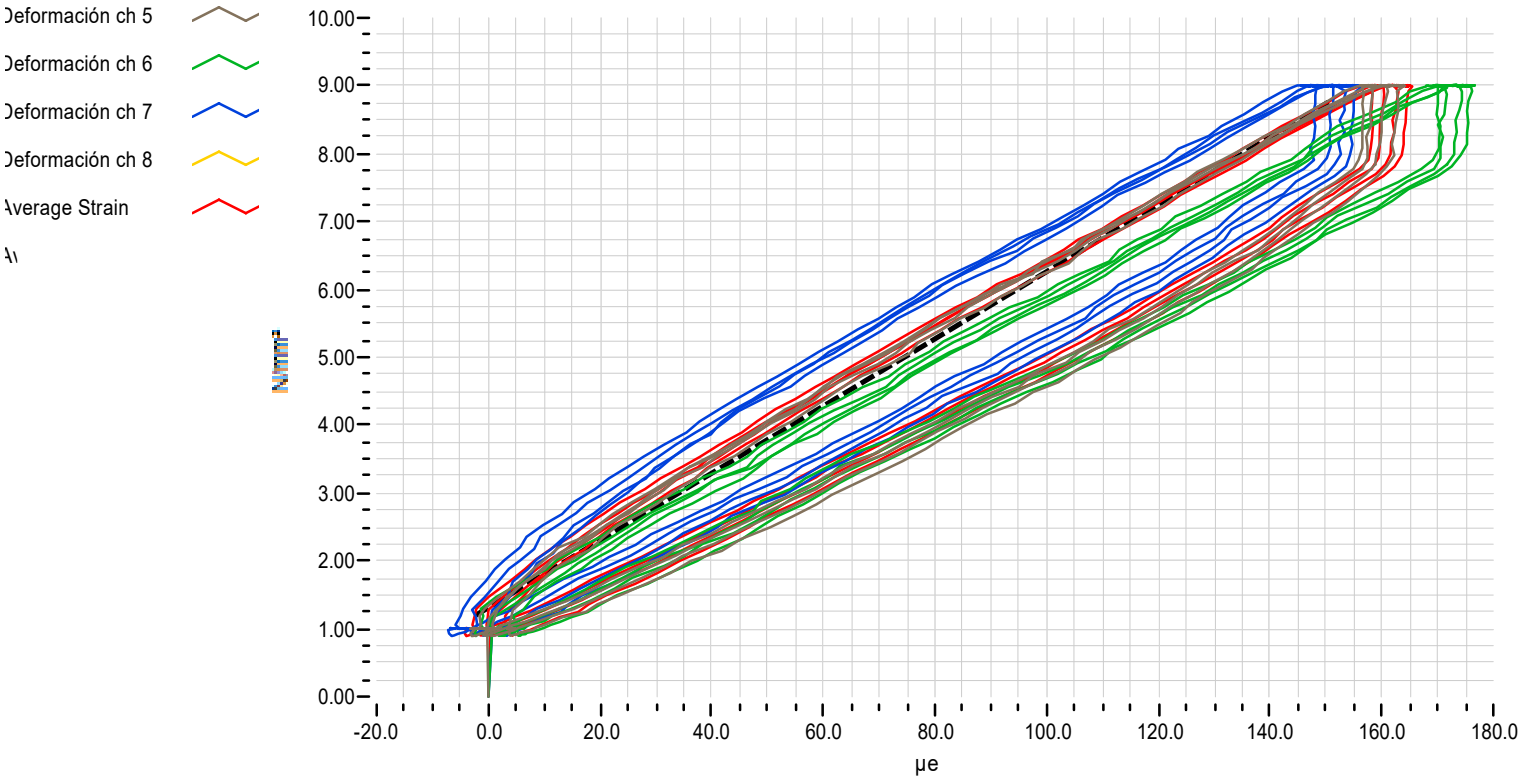


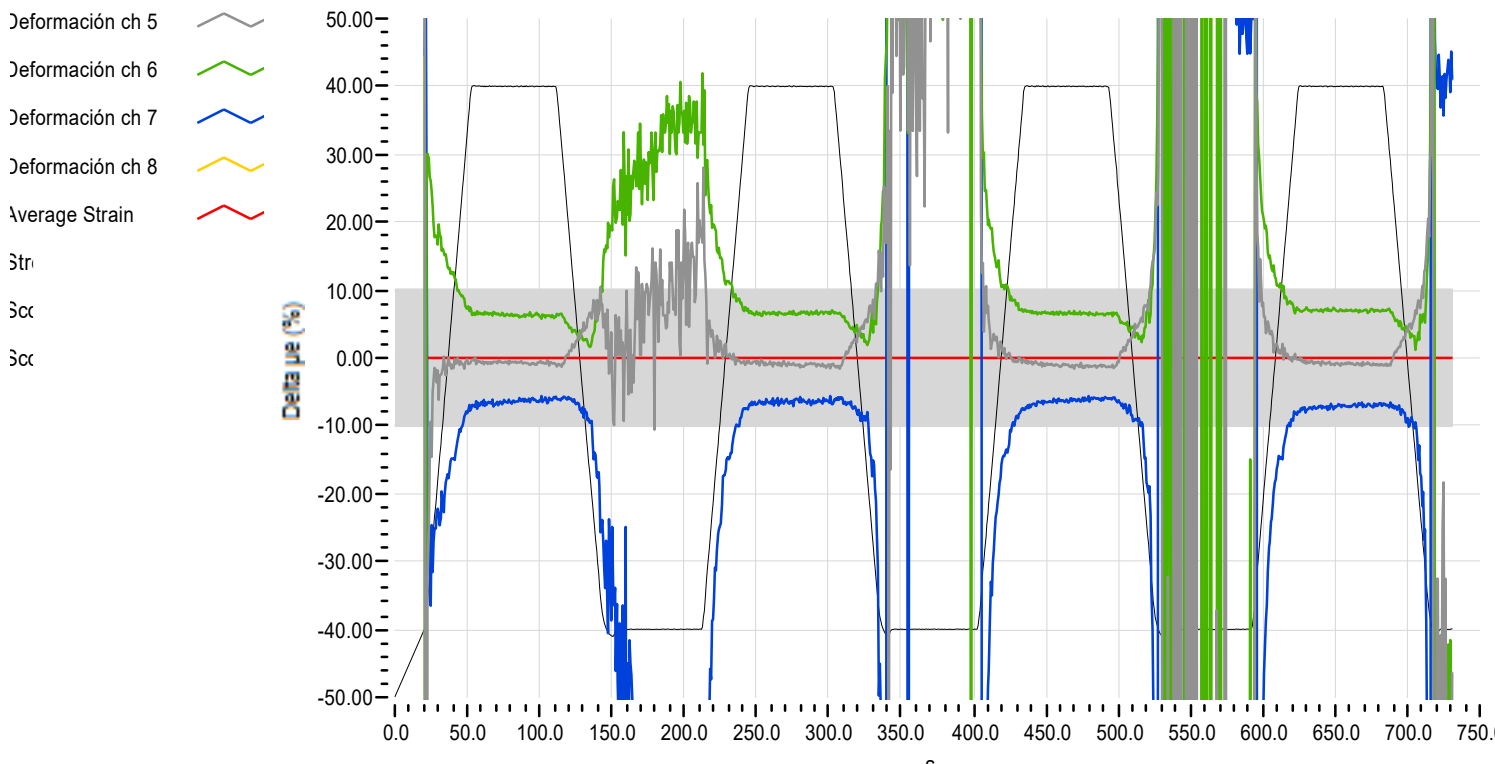
Grafico Resistencia / Strain



Número : Fecha : 01/01/1904
Aparato de ensayo :
Notas :

Nombre Cargo :

DEVIATIONS (%) / TIME diagram



Cumulated deviations (%) for selected steps

[illegible]

Limites (%) 10.0

Número : Fecha : 01/01/1904

Aparato de ensayo :

Notas :

Nombre	Cargo :
--------	---------

Determinacion modulo elastico a compresion -

Cliente : Sebastian Sanabria

Número de identificación :

Fecha de ensayo : 03/08/2015

Descripción probeta

Tipo de probeta : C 75d

Dimensiones (mm) : 98.7x201.5

Area mm : 7854.0

edad : 75

Masa (Kg) : 3.569

Base de medida (mm) :

Tipo extensimetro :

Numero extensimetri :

Fecha muestra : 20/05/2015

RISULTADOS ENSAYO

Valores de referencia para calculo modulo elastico :

$\sigma_I = 1.17$ N/mm² $\sigma_{II} = 9.71$ N/mm²

$\epsilon_I = -11.6$ μe $\epsilon_{II} = 155.9$ μe Modulo elastico (N/mm²) : 51030.12

Descriptions :

Notas :

Número :

Fecha : 01/01/1904

Aparato de ensayo :

Notas :

Nombre

Cargo :

Grafico RESISTENCIA / TIEMPO

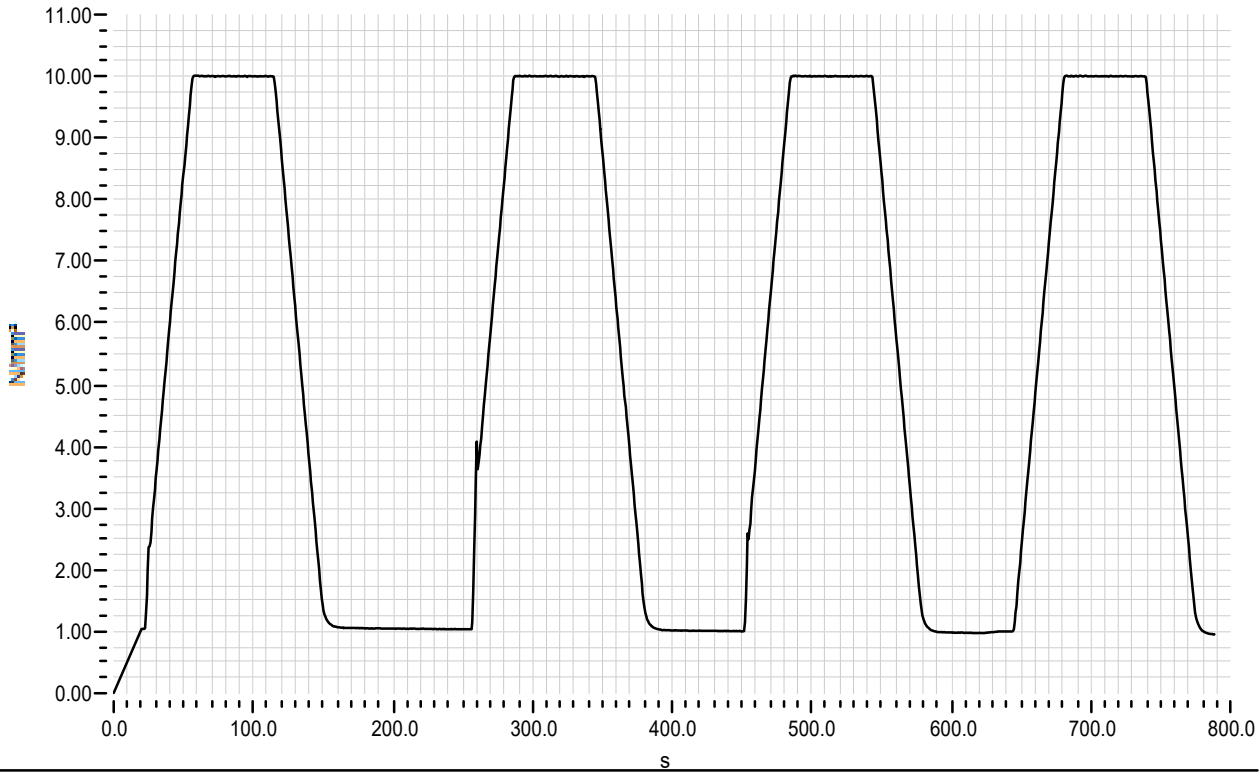
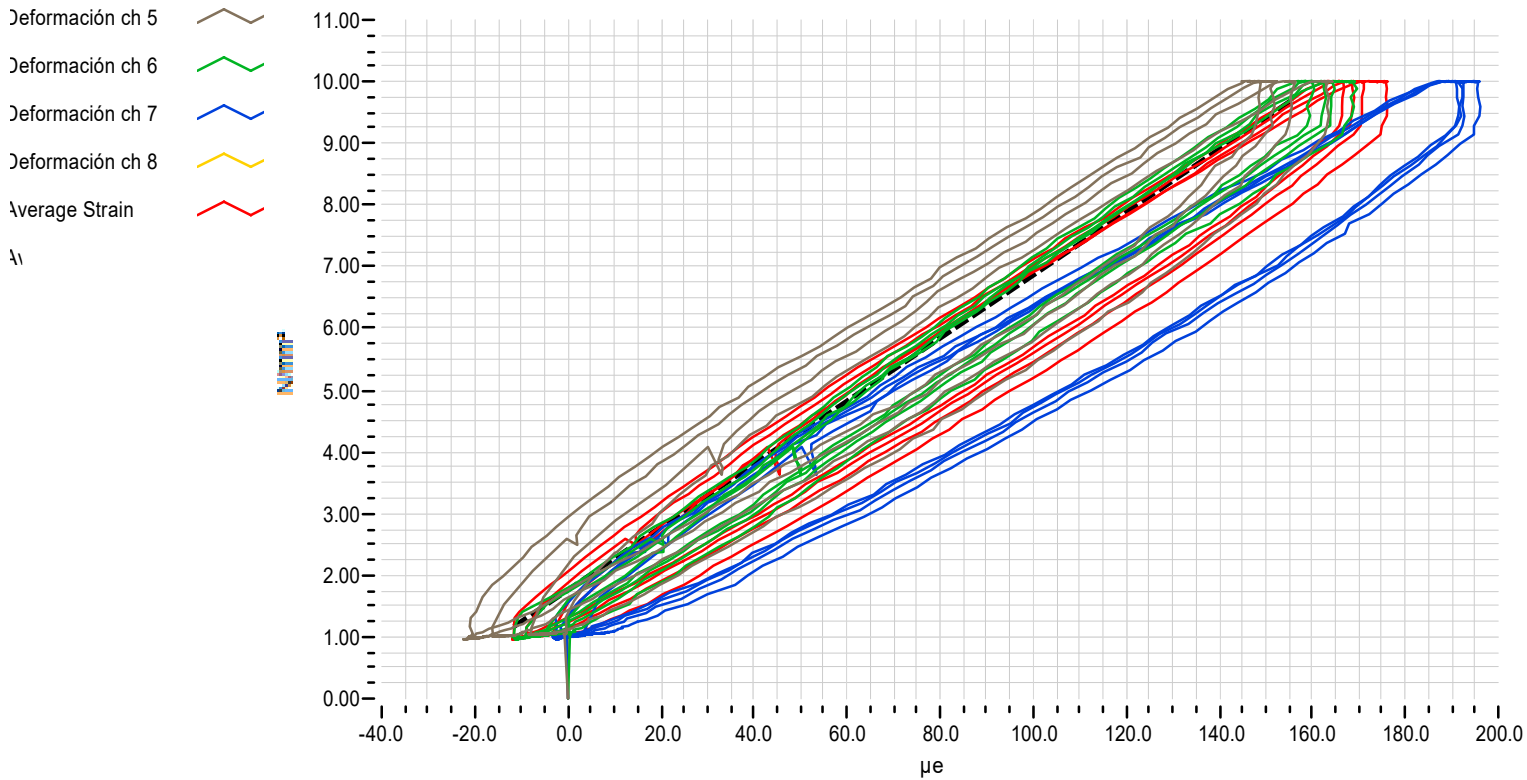


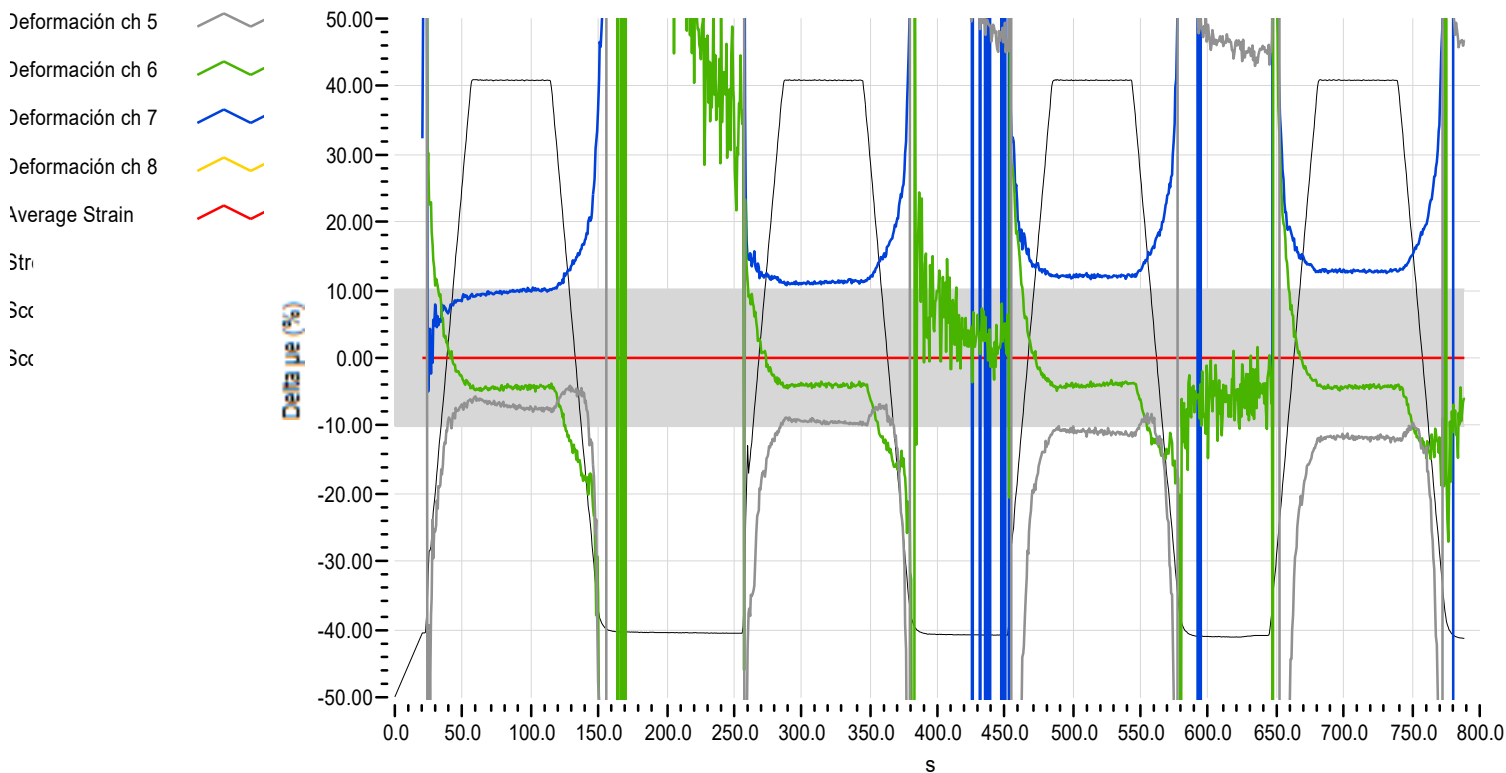
Grafico Resistencia / Strain



Número : Fecha : 01/01/1904
Aparato de ensayo :
Notas :

Nombre Cargo :

DEVIATIONS (%) / TIME diagram



Cumulated deviations (%) for selected steps

[illegible]

Limites (%) 10.0

Número : Fecha : 01/01/1904

Aparato de ensayo :

Notas :

Nombre _____ Cargo : _____

Determinacion modulo elastico a compresion -

Cliente : Sebastian Sanabria

Número de identificación :

Fecha de ensayo : 03/08/2015

Descripción probeta

Tipo de probeta : C 75d

Dimensiones (mm) : 98.7x201.5

Area mm : 7854.0

edad : 75

Masa (Kg) : 3.569

Base de medida (mm) :

Tipo extensimetro :

Numero extensimetri :

Fecha muestra : 20/05/2015

RISULTADOS ENSAYO

Valores de referencia para calculo modulo elastico :

$\sigma_I = 1.20$ N/mm² $\sigma_{II} = 9.79$ N/mm²

$\epsilon_I = -6.5$ μe $\epsilon_{II} = 172.4$ μe Modulo elastico (N/mm²) : 47995.73

Descriptions :

Notas :

Número :

Fecha : 01/01/1904

Aparato de ensayo :

Notas :

Nombre

Cargo :

Grafico RESISTENCIA / TIEMPO

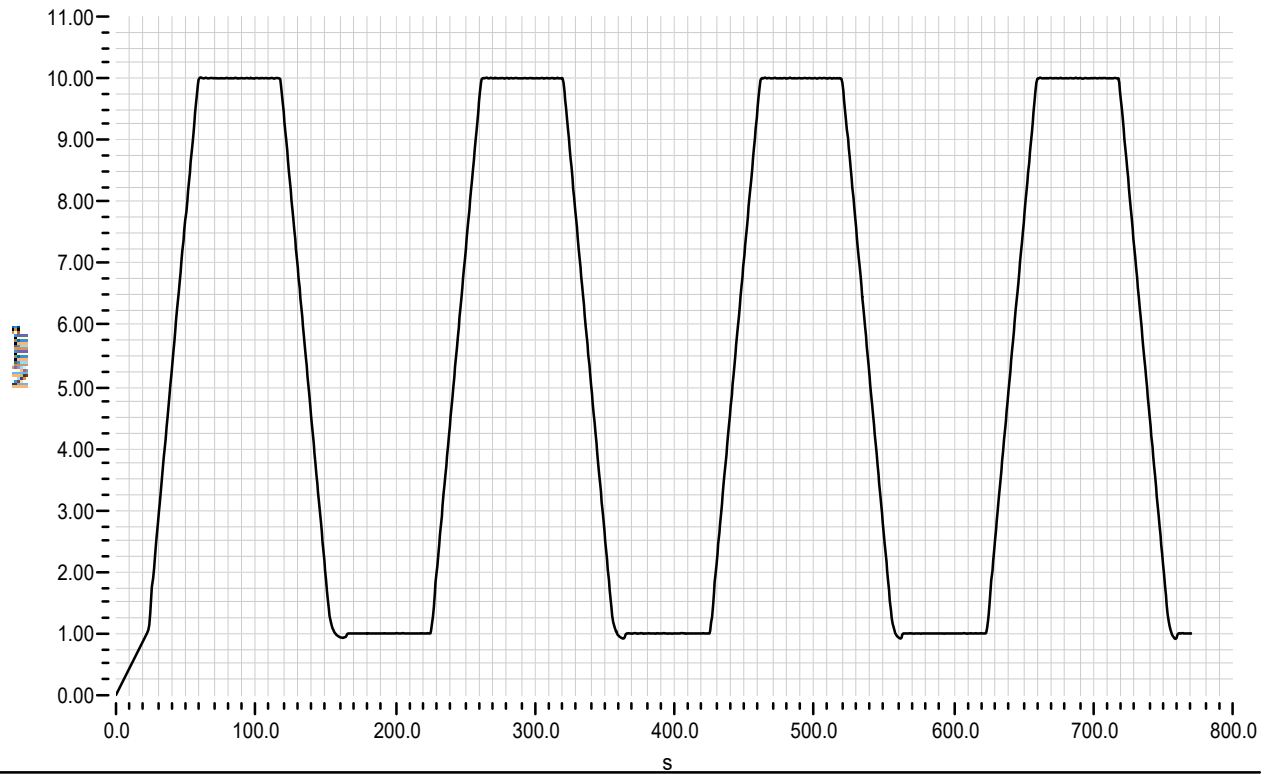
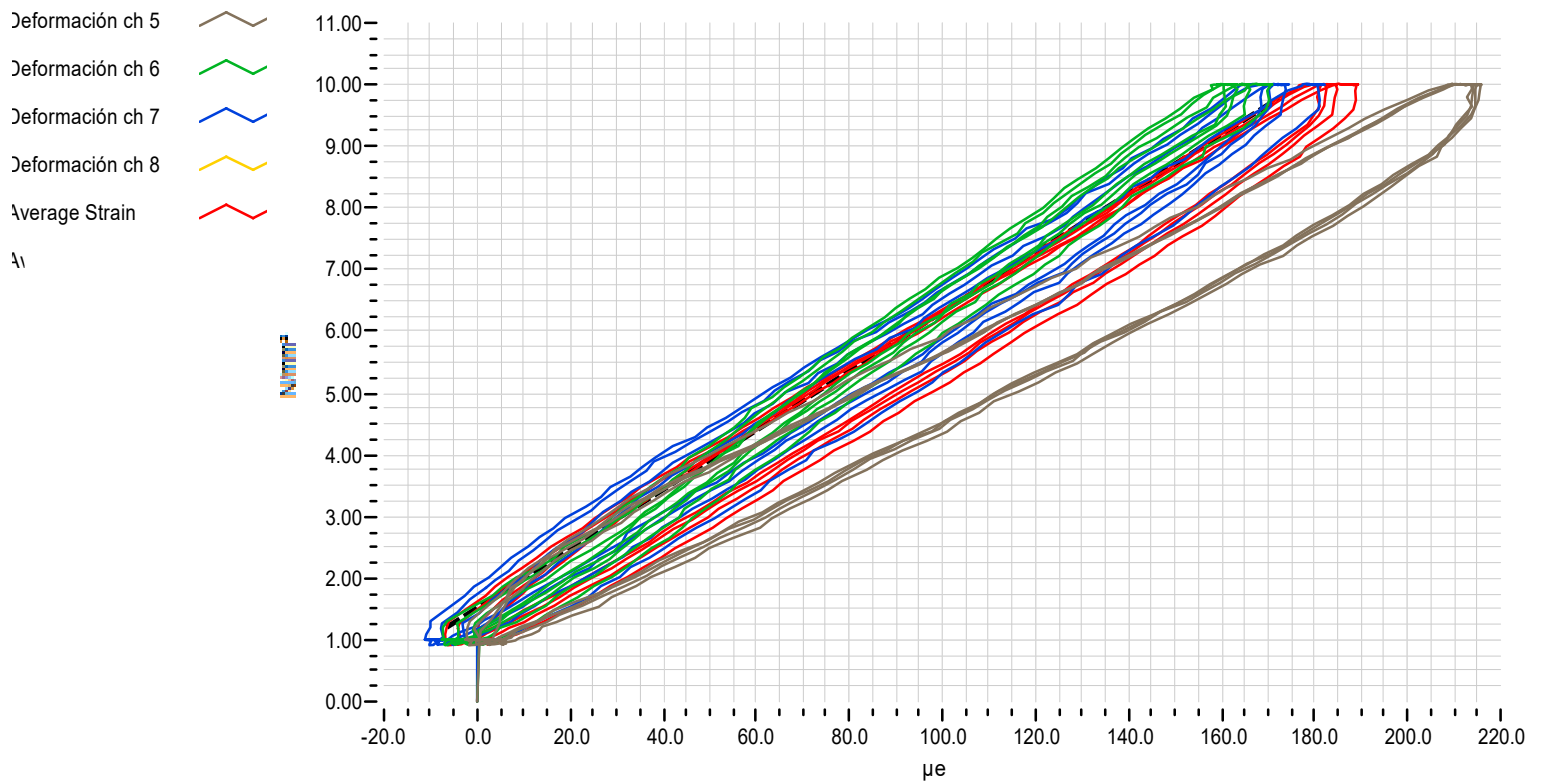


Grafico Resistencia / Strain



Número :

Fecha : 01/01/1904

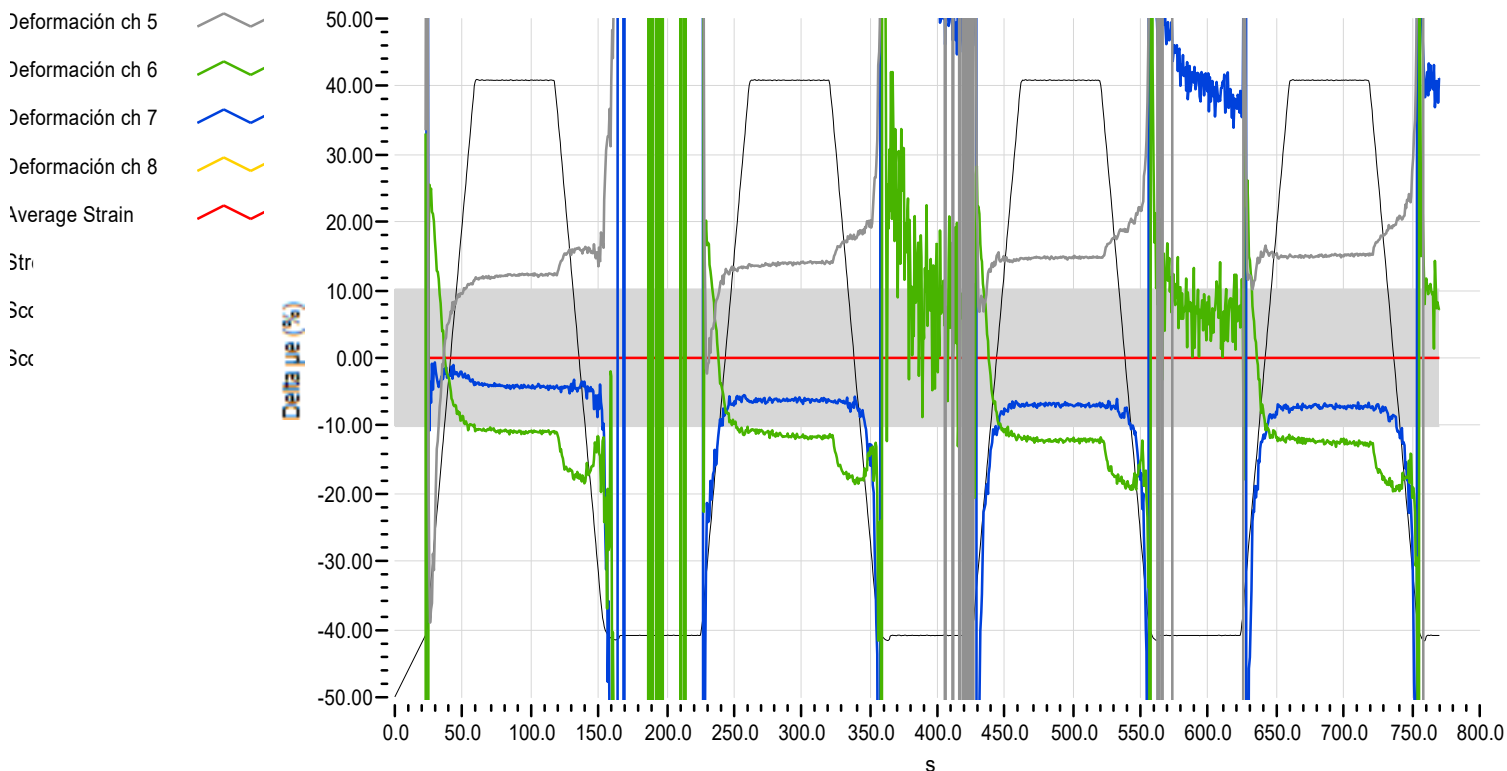
Aparato de ensayo :

Notas :

Nombre

Cargo :

DEVIATIONS (%) / TIME diagram



Cumulated deviations (%) for selected steps

[illegible]

Limites (%) 10.0

Número : Fecha : 01/01/1904

Aparato de ensayo :

Notas :

Nombre _____ Cargo : _____

Determinacion modulo elastico a compresion -

Cliente : Sebastian Sanabria

Número de identificación :

Fecha de ensayo : 03/08/2015

Descripción probeta

Tipo de probeta : C 75d

Dimensiones (mm) : 99.5x201

Area mm : 7854.0

edad : 75

Masa (Kg) : 3.563

Base de medida (mm) :

Tipo extensimetro :

Numero extensimetri :

Fecha muestra : 20/05/2015

RISULTADOS ENSAYO

Valores de referencia para calculo modulo elastico :

$\sigma_I = 1.15$ N/mm² $\sigma_{II} = 9.86$ N/mm²

$\epsilon_I = -0.9$ μe $\epsilon_{II} = 183.7$ μe Modulo Elastico (N/mm²) : 47195.16

Descriptions :

Notas :

Número :

Fecha : 01/01/1904

Aparato de ensayo :

Notas :

Nombre

Cargo :

Grafico RESISTENCIA / TIEMPO

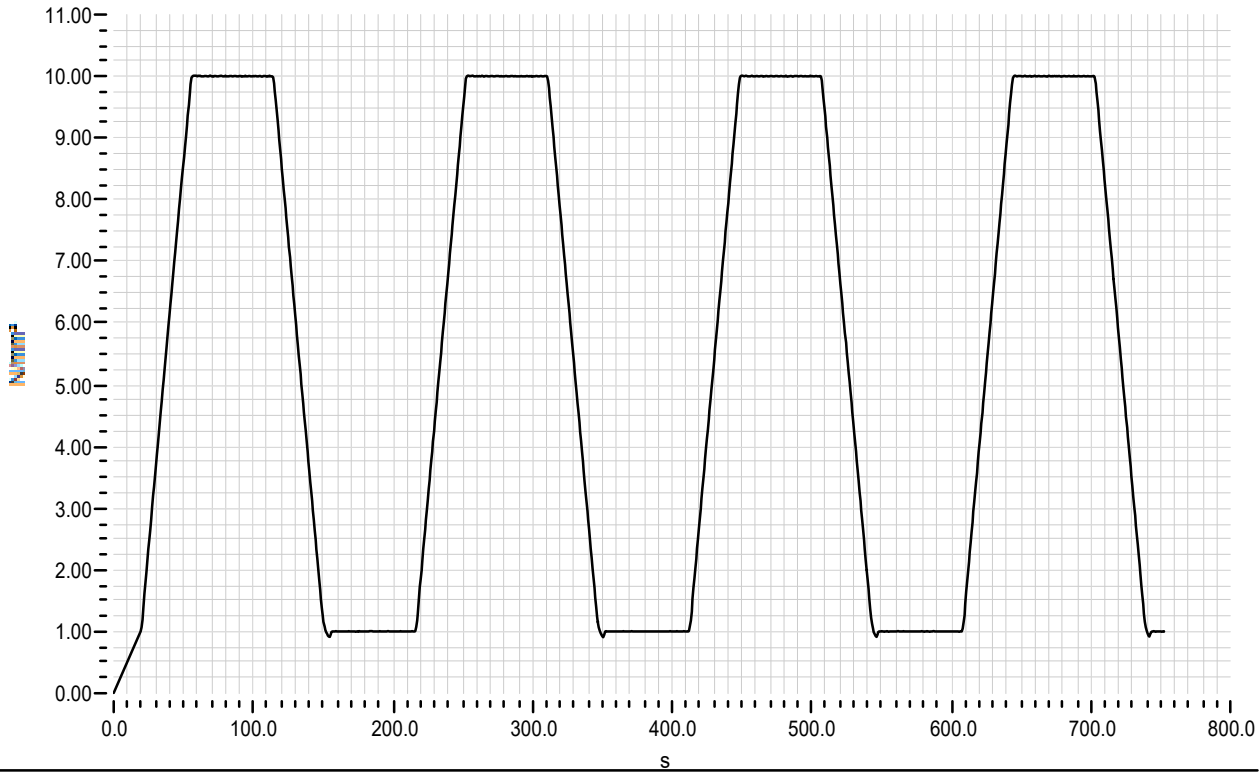
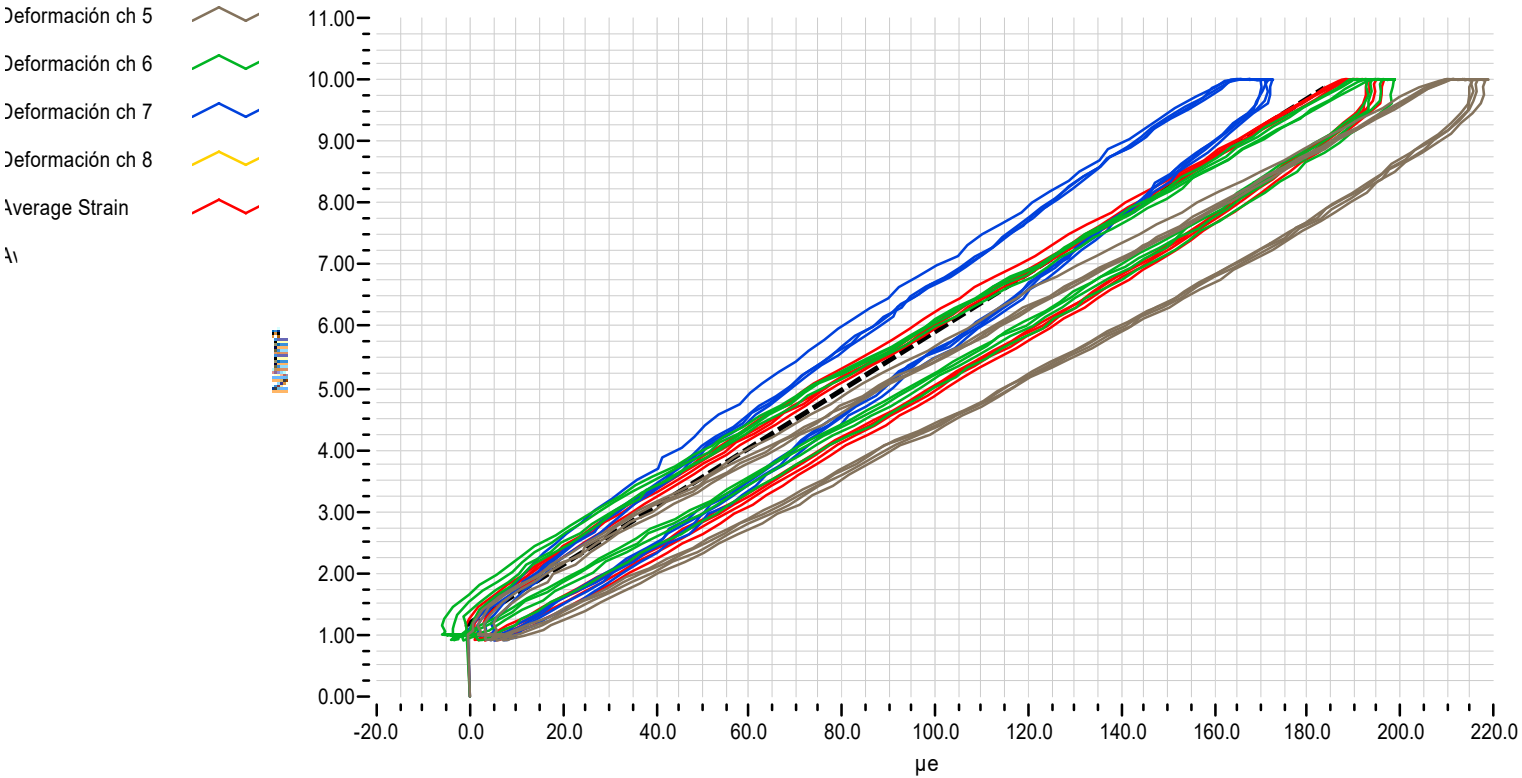


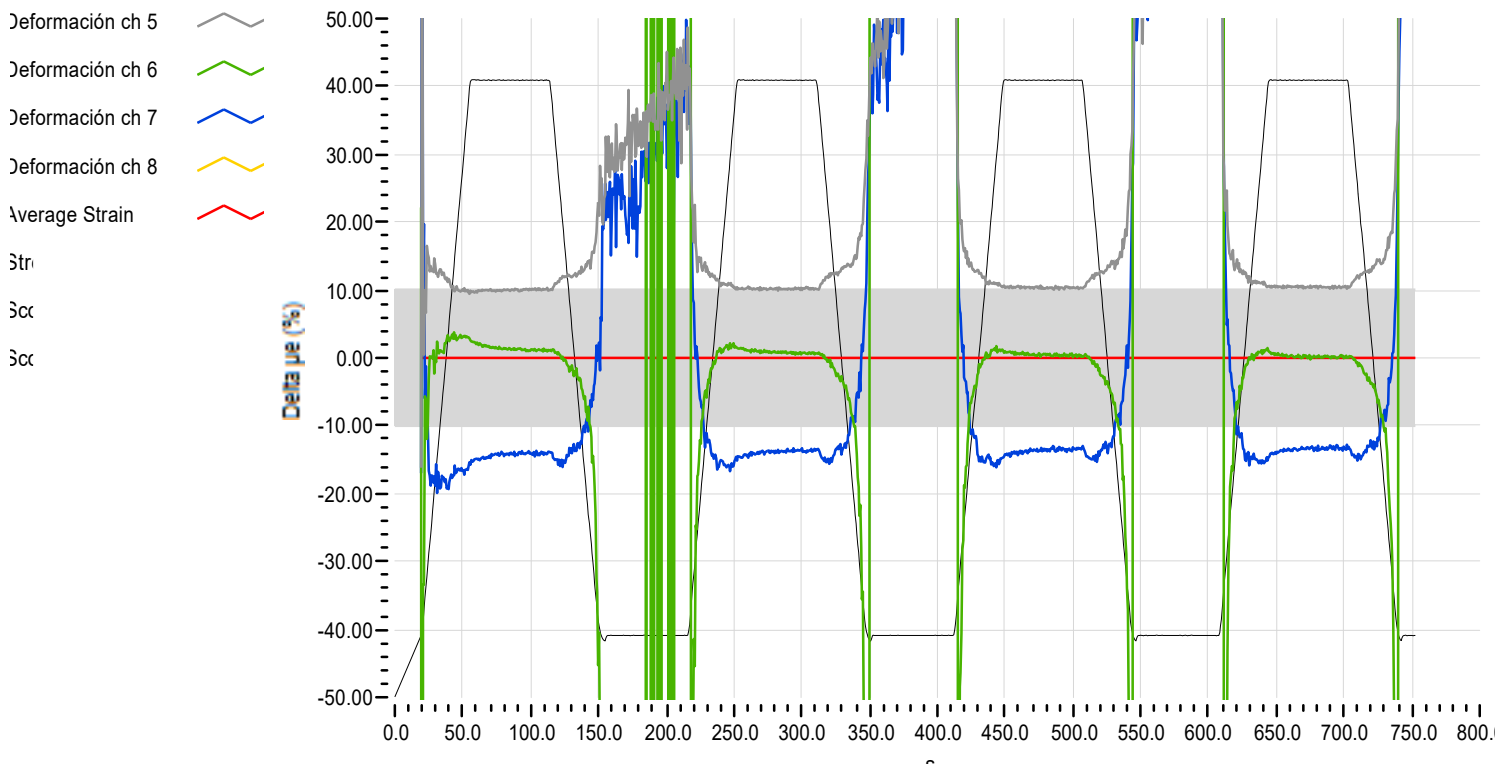
Grafico Resistencia / Strain



Número : Fecha : 01/01/1904
Aparato de ensayo :
Notas :

Nombre Cargo :

DEVIATIONS (%) / TIME diagram



Cumulated deviations (%) for selected steps

[illegible]

Limites (%) 10.0

Número : Fecha : 01/01/1904

Aparato de ensayo :

Notas :

Nombre _____ Cargo : _____

ENSAYOS DE TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL
28 DÍAS

Compression test on blocks : EN 772-1

Certificate number : Certificate date : 21/12/2009

Testing apparatus :

Customer :

Contact :

Tipo de probeta : cilindro 10 x 20

Cem.content kg/m³ :

Cement type :

Preparation date : 06/05/2015

Specimen conditions: :

On receipt :

At time of test :

Sampling location :

Sampling date : 25/05/2015

Specimen preparation :

Specimen ID. : Ti PET1 28d

Resultados de ensayo

Masa (Kg) : 0.000

Velocidad de carga(MPa: 0.050

:

Area eq. (mm²) : 19809.7

Edad :

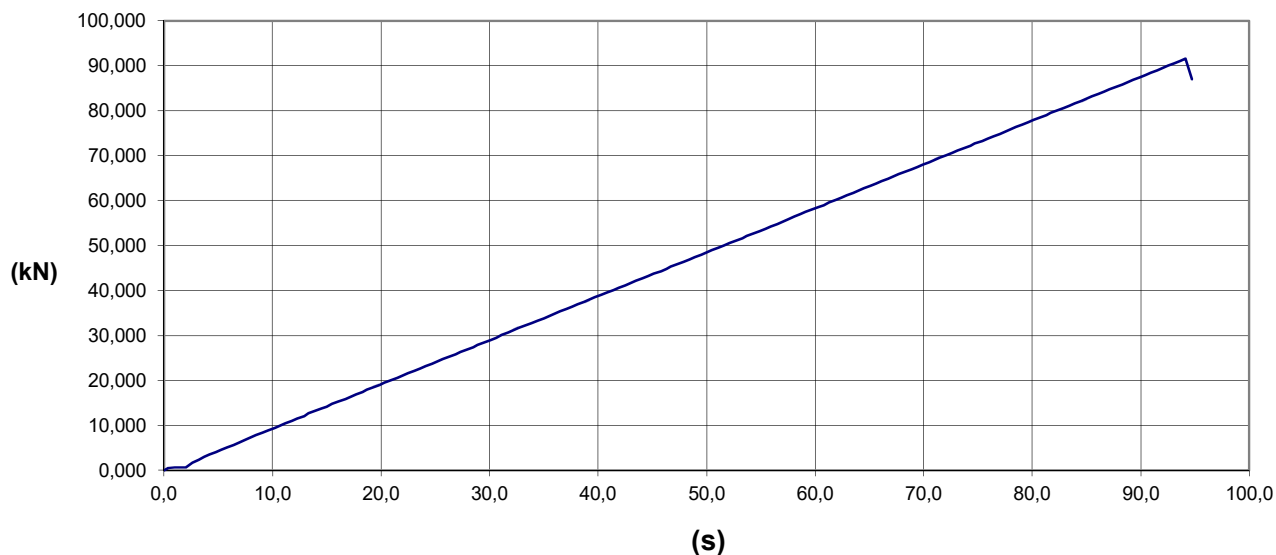
Fecha de ensayo : 03/06/2015

Carga de rotura (kN) : 91.919

Resistencia (MPa) : 4.64

Resistencia normalizada 0.00

Notes :



Operador

Compression test on blocks : EN 772-1

Certificate number : Certificate date : 21/12/2009

Testing apparatus :

Customer :

Contact :

Tipo de probeta : cilindro 10 x 20

Cem.content kg/m³ :

Cement type :

Preparation date : 06/05/2015

Specimen conditions: :

On receipt :

At time of test :

Sampling location :

Sampling date : 25/05/2015

Specimen preparation :

Specimen ID. : Ti PET2 28d

Resultados de ensayo

Masa (Kg) : 0.000

Velocidad de carga(MPa) : 0.050

:

Area eq. (mm²) : 18975.8

Edad :

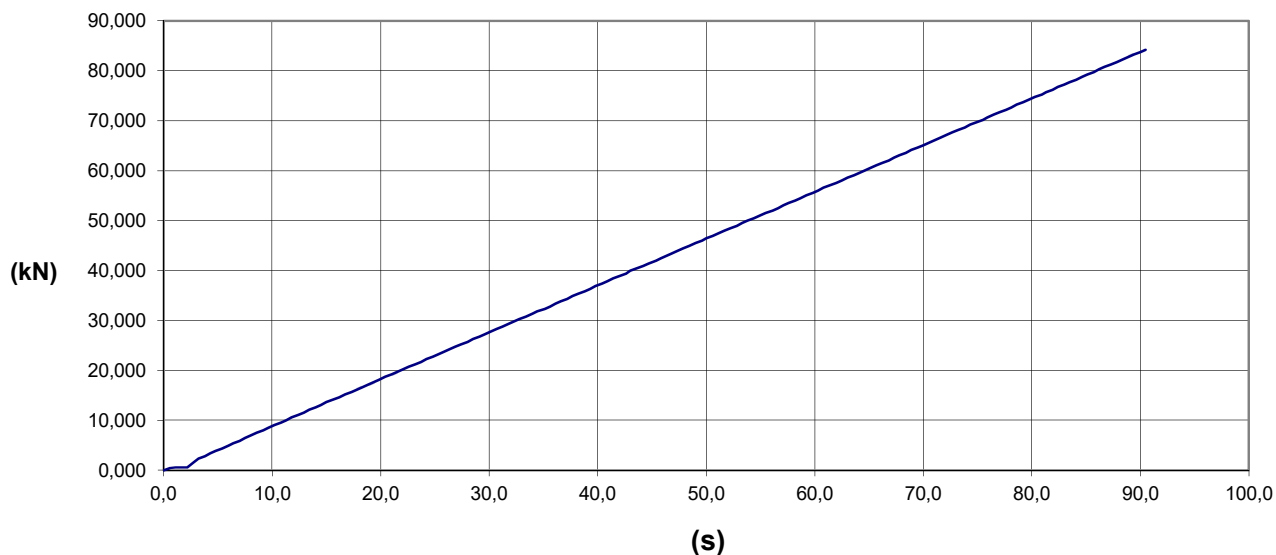
Fecha de ensayo : 03/06/2015

Carga de rotura (kN) : 84.298

Resistencia (MPa) : 4.44

Resistencia normalizada 0.00

Notes :



Operador

Compression test on blocks : EN 772-1

Certificate number :
Testing apparatus :
Customer :
Contact :

Certificate date : 21/12/2009

Tipo de probeta : cilindro 10 x 20
Cement type :
Specimen conditions: :
On receipt :
Sampling location :
Specimen preparation :
Specimen ID. : Ti PET3 28d

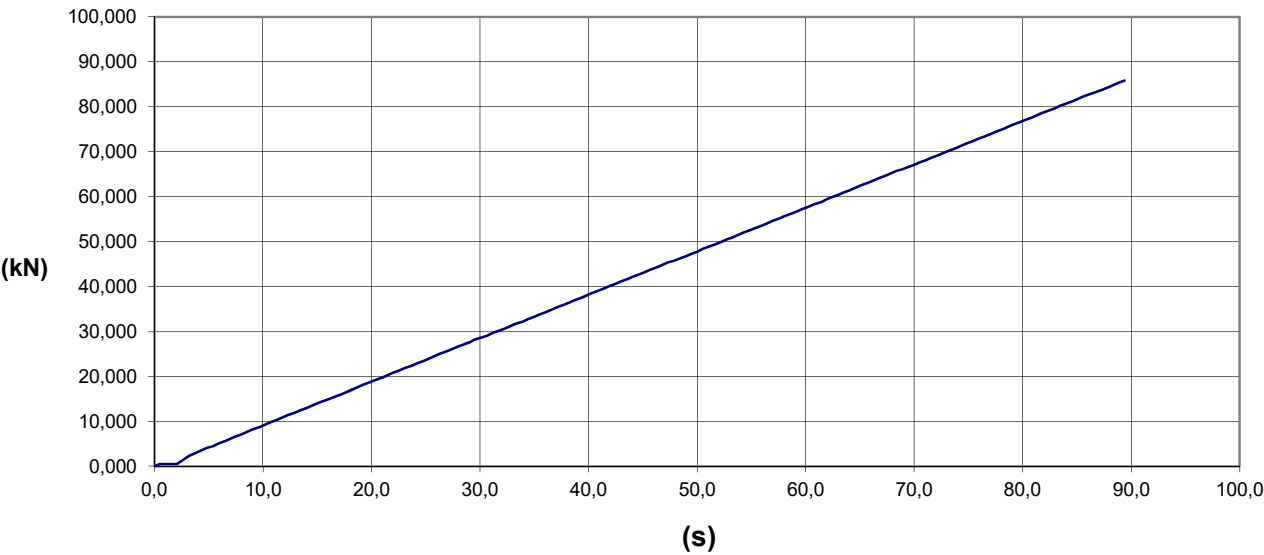
Cem.content kg/m³ :
Preparation date : 06/05/2015
At time of test :
Sampling date : 25/05/2015

Resultados de ensayo

Masa (Kg) : 0.000

Velocidad de carga(MPa/ : 0.050
Area eq. (mm2) : 19571.9
Carga de rotura (kN) : 85.950
Resistencia normalizada 0.00
Notes :

Edad :
Fecha de ensayo : 03/06/2015
Resistencia (MPa) : 4.39



Operator

Compression test on blocks : EN 772-1

Certificate number : Certificate date : 21/12/2009

Testing apparatus :

Customer :

Contact :

Tipo de probeta : cilindro 10 x 20

Cem.content kg/m³ :

Cement type :

Preparation date : 06/05/2015

Specimen conditions: :

On receipt :

At time of test :

Sampling location :

Sampling date : 25/05/2015

Specimen preparation :

Specimen ID. : Ti PP1 28d

Resultados de ensayo

Masa (Kg) : 0.000

Velocidad de carga(MPa) : 0.050

:

Area eq. (mm²) : 19276.8

Edad :

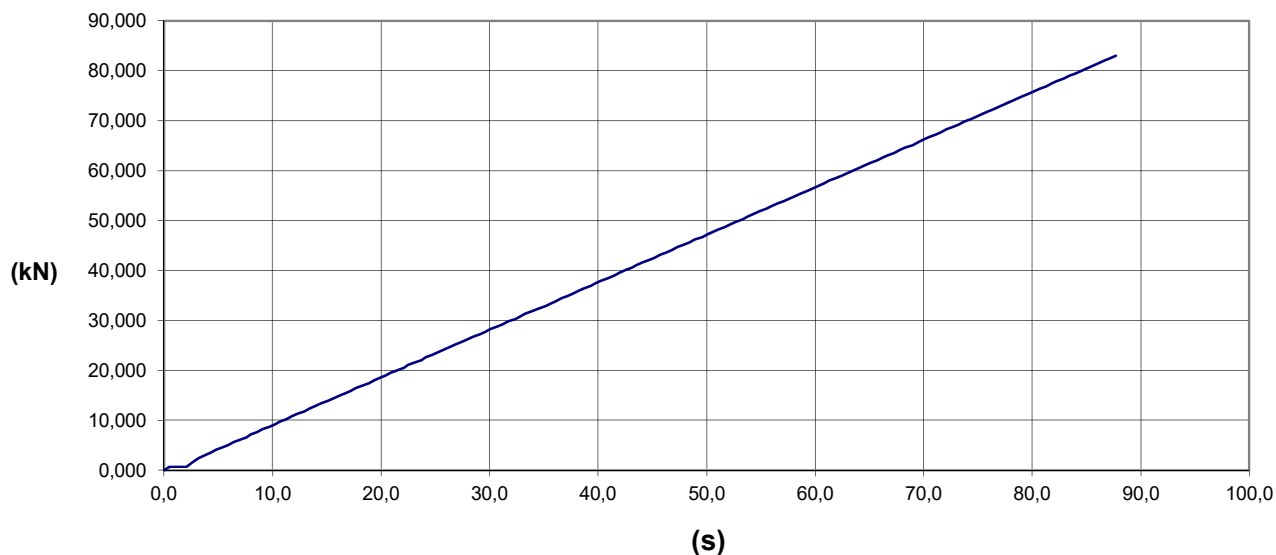
Fecha de ensayo : 03/06/2015

Carga de rotura (kN) : 83.132

Resistencia (MPa) : 4.31

Resistencia normalizada 0.00

Notes :



Operador

Compression test on blocks : EN 772-1

Certificate number :
Testing apparatus :
Customer :
Contact :

Certificate date : 21/12/2009

Tipo de probeta : cilindro 10 x 20
Cement type :
Specimen conditions: :
On receipt :
Sampling location :
Specimen preparation :
Specimen ID. : Ti PP2 28d

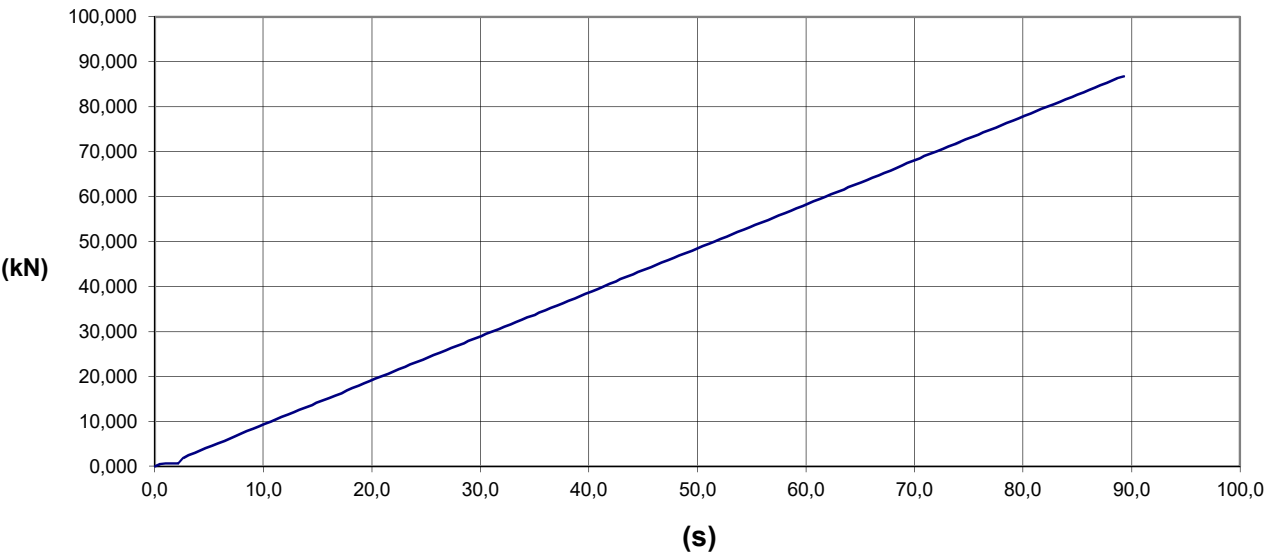
Cem.content kg/m³ :
Preparation date : 06/05/2015
At time of test :
Sampling date : 25/05/2015

Resultados de ensayo

Masa (Kg) : 0.000

Velocidad de carga(MPa/ : 0.050
Area eq. (mm2) : 19809.7
Carga de rotura (kN) : 86.715
Resistencia normalizada 0.00
Notes :

Edad :
Fecha de ensayo : 03/06/2015
Resistencia (MPa) : 4.38



Operator

Compression test on blocks : EN 772-1

Certificate number : Certificate date : 21/12/2009

Testing apparatus :

Customer :

Contact :

Tipo de probeta : cilindro 10 x 20

Cem.content kg/m³ :

Cement type :

Preparation date : 06/05/2015

Specimen conditions: :

On receipt :

At time of test :

Sampling location :

Sampling date : 25/05/2015

Specimen preparation :

Specimen ID. : Ti C1 28d

Resultados de ensayo

Masa (Kg) : 0.000

Velocidad de carga(MPa) : 0.050

:

Area eq. (mm²) : 19809.0

Edad :

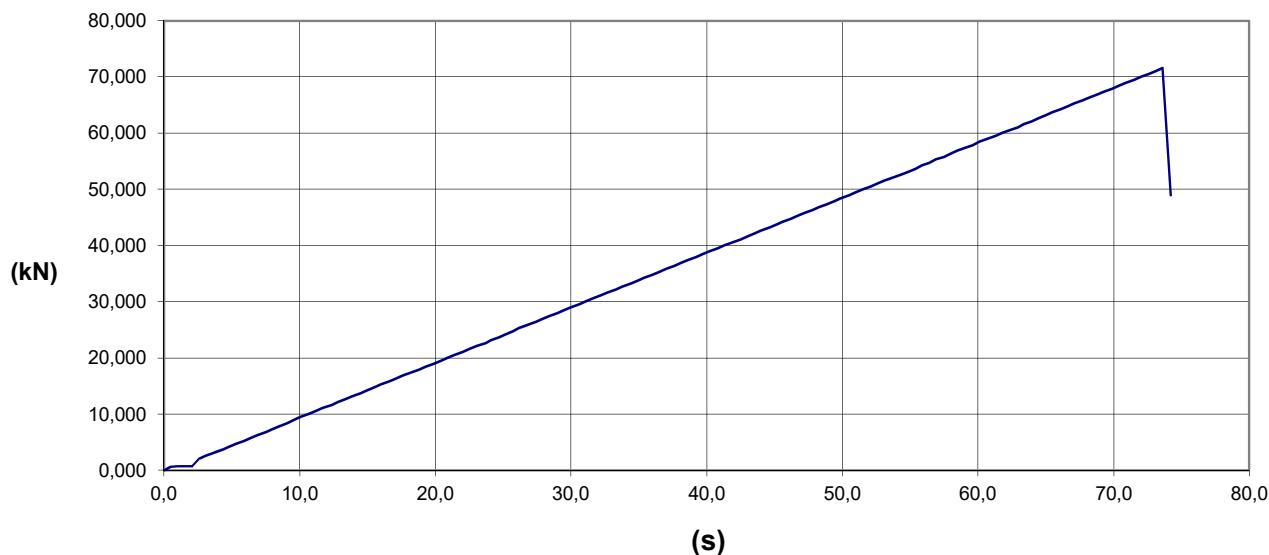
Fecha de ensayo : 03/06/2015

Carga de rotura (kN) : 71.774

Resistencia (MPa) : 3.62

Resistencia normalizada 0.00

Notes :



Operador

Compression test on blocks : EN 772-1

Certificate number : Certificate date : 21/12/2009

Testing apparatus :

Customer :

Contact :

Tipo de probeta : cilindro 10 x 20

Cem.content kg/m³ :

Cement type :

Preparation date : 06/05/2015

Specimen conditions: :

On receipt :

At time of test :

Sampling location :

Sampling date : 25/05/2015

Specimen preparation :

Specimen ID. : Ti C2 28d

Resultados de ensayo

Masa (Kg) : 0.000

Velocidad de carga(MPa) : 0.050

Area eq. (mm²) : 18876.2

Edad :

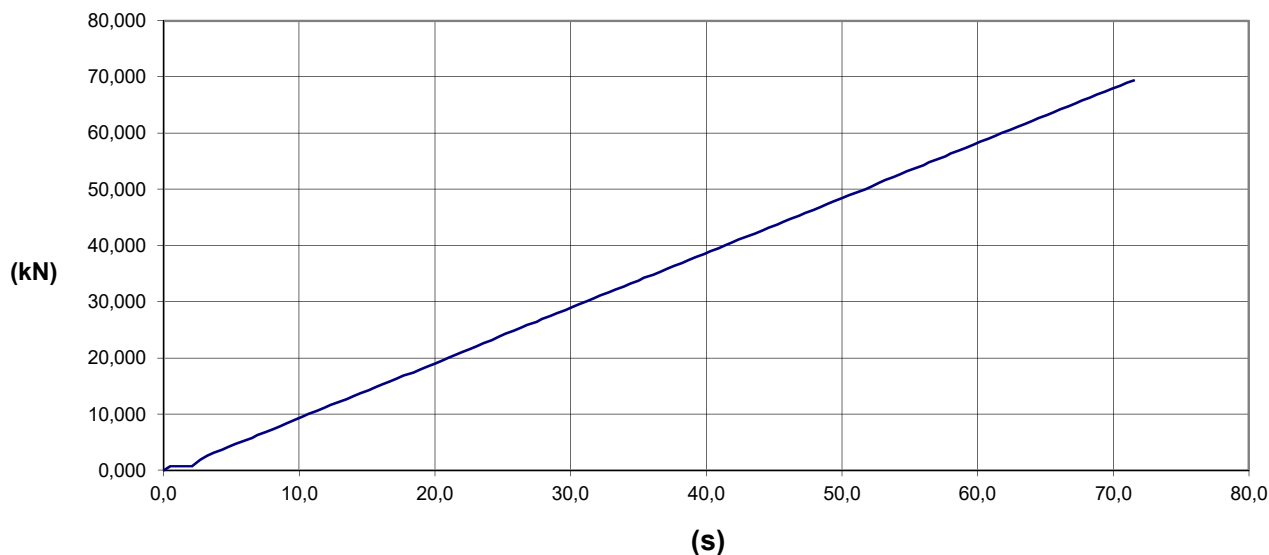
Fecha de ensayo : 03/06/2015

Carga de rotura (kN) : 69.369

Resistencia (MPa) : 3.67

Resistencia normalizada 0.00

Notes :



Operador

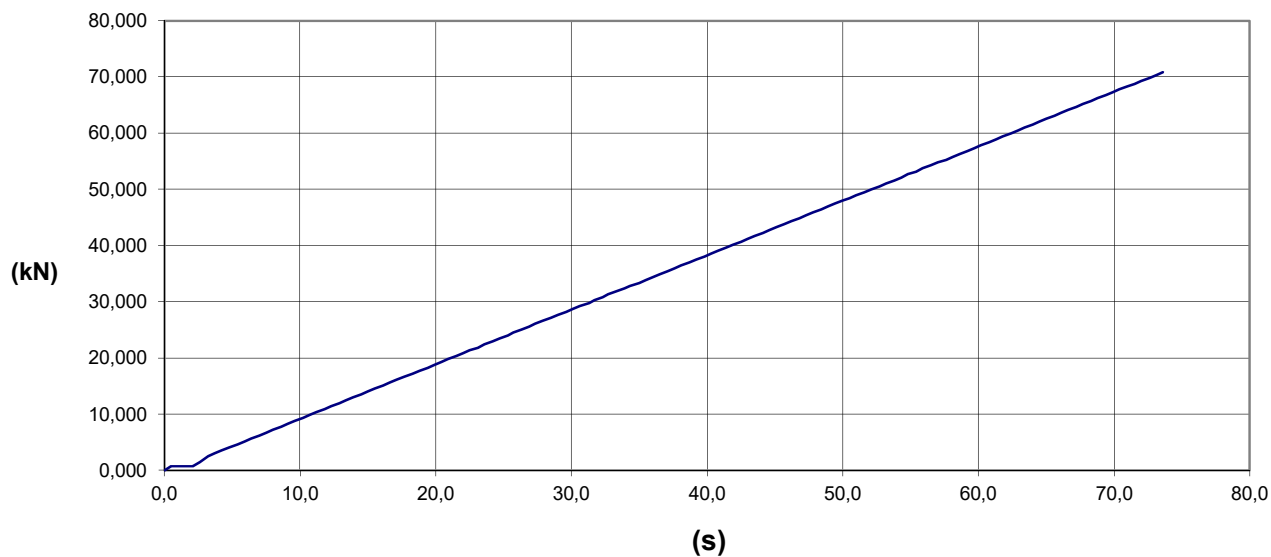
Compression test on blocks : EN 772-1

Certificate number : Certificate date : 21/12/2009
 Testing apparatus :
 Customer :
 Contact :

Tipo de probeta : cilindro 10 x 20 Cem.content kg/m³ :
 Cement type : Preparation date : 06/05/2015
 Specimen conditions: :
 On receipt : At time of test :
 Sampling location : Sampling date : 25/05/2015
 Specimen preparation :
 Specimen ID. : Ti C3 28d
 Resultados de ensayo

Masa (Kg) : 0.000

Velocidad de carga(MPa/s) : 0.050 :
 Area eq. (mm²) : 19631.6 Edad : Fecha de ensayo : 03/06/2015
 Carga de rotura (kN) : 70.818 Resistencia (MPa) : 3.61
 Resistencia normalizada 0.00
 Notes :



Operador