

REFUERZO DE HORMIGÓN MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS
SINTÉTICAS PROVENIENTES DE RESIDUOS POST-CONSUMO DE FIBRA ÓPTICA
ESTUDIOS PRELIMINARES



TESINA

Docente Tutor: Dra. Arq. M. Esther Fernández Iglesias
Iracema Dávila Álvarez | María Victoria Saravia Sosa
Laboratorio de la Construcción Instituto de la Construcción
Facultad de Arquitectura Diseño y Urbanismo
Montevideo Uruguay 2017

TABLA DE CONTENIDOS

1	RESUMEN	3
2	INTRODUCCIÓN	5
1.1.	MARCO TEÓRICO	10
2.	OBJETIVOS.....	18
2.1.	OBJETIVO GENERAL	18
2.2.	OBJETIVOS SECUNDARIOS	18
3.	METODOLOGÍA	19
3.1.	MATERIALES	19
3.2.	EQUIPOS.....	20
3.3.	PROCEDIMIENTOS	26
3.3.1.	DOSIFICACIÓN.....	26
3.3.2.	ELABORACIÓN DEL HORMIGÓN.....	28
3.3.3.	DETERMINACION DE LA CONSISTENCIA MEDIANTE CONO DE ABRAMS.....	30
3.3.4.	LLENADO DE PROBETAS.....	31
3.3.5.	CURADO	32
3.3.6.	ENSAYOS.....	34
3.3.7.	DETERMINACIÓN DE LA DUREZA SUPERFICIAL MEDIANTE ESCLERÓMETRO DE RESORTE	35
3.3.8.	DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN DE PULSOS ULTRASÓNICOS.....	37
3.3.9.	DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A TRACCIÓN SIMPLE POR COMPRESIÓN DIAMETRAL.....	38
3.3.10.	DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN	40

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	42
4.1.1. DETERMINACION DE LA CONSISTENCIA MEDIANTE CONO DE ABRAMS.....	42
4.2. DETERMINACIÓN DE LA DUREZA SUPERFICIAL MEDIANTE ESCLERÓMETRO DE RESORTE	43
4.3. DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN DE PULSOS ULTRASÓNICOS.....	48
4.4. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A TRACCIÓN SIMPLE POR COMPRESIÓN DIAMETRAL.....	52
4.5. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN	54
5. CONCLUSIONES	59
6. REFERENCIAS.....	62
6.1. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	62
6.2. REFERENCIAS IMÁGENES.....	64
6.3. REFERENCIAS TABLAS	65
6.4. REFERENCIAS GRÁFICOS	66
7. ANEXOS.....	67

1 RESUMEN

En el siglo XXI, era de la revolución tecnológica, uno de los temas con mayor preocupación a nivel mundial es el tema de los desechos. Junto con el avance tecnológico se incrementa la producción de nuevos materiales y con ellos la sustitución y obsolescencia de otros. Debido al incremento de producción y generación de desechos se presenta la dificultad de disponer de recursos físicos y económicos para su disposición final.

En el campo de la ingeniería y la construcción el avance tecnológico trae consigo nuevos métodos de construir y nuevas materialidades. Se pueden encontrar diversas investigaciones sobre los aportes de fibras sintéticas, existiendo algunas cuyo resultado ha sido aprobado y su uso comercial se encuentra establecido en la industria de la construcción, como es el caso del polipropileno.

La presente investigación busca la valoración de residuos provenientes de los servicios de telecomunicaciones: fibra óptica (FO) y su funda protectora (FP) utilizadas como fibras de refuerzo en matrices cementicias. Los residuos son generados por la eliminación de cableado obsoleto o la sustitución del cableado por uno con mejores prestaciones, o tecnológicamente más avanzado.

Se realizaron ensayos de ultrasonido y esclerómetro a los 7,14 y 28 días; así como ensayos de resistencia a la compresión y tracción indirecta a los 28 días en probetas cilíndricas elaboradas para tal fin. Estos ensayos permitieron relacionar los valores obtenidos de 4 hormigones: tres hormigones fibro-reforzados (con fibras obtenidas de fibra óptica, con fibras obtenidas de la funda protectora y con fibras comerciales de polipropileno) y uno sin refuerzo (control), con igual dosificación que la matriz empleada en los anteriores.

Este trabajo apunta a resultados como:

- Mejorar las características de los materiales con matriz cementicia en cuanto a la resistencia a tracción, compresión y retracción superficial mediante un material de desecho.
- Promover un plan de recolección y reuso de materiales de desechos utilizados en ésta investigación que aún no tienen función luego de su vida útil.
- Promover la gestión del nuevo residuo urbano y generar nuevas fuentes de trabajo para su procesamiento.
- Implementar soluciones para el momento que el cableado de telecomunicaciones exija su sustitución y así genere un nuevo tipo de residuo urbano en Uruguay, tomando como antecedente la situación europea, incentivando la gestión y uso de este material.
- Plantear estudios preliminares de viabilidad de reutilización del desecho del cableado del servicio de telecomunicaciones: fibra óptica y su recubrimiento, para el uso en la industria de la construcción.

2 INTRODUCCIÓN

Desde las últimas décadas se han desarrollado nuevas tecnologías referentes a las telecomunicaciones logrando que éstas sean más eficientes, seguras y veloces. Sobre todo por la eminente cantidad de nuevos usuarios que en los últimos 20 años han aumentado un 40%. Las líneas telefónicas no lograron soportar la demanda y la necesidad de conexión e información inmediata característica de esta era, por lo tanto fueron sustituidas por la fibra óptica, para el transporte de datos pesados como vídeos, imágenes y todos los demás elementos que a diario circulan en la red.

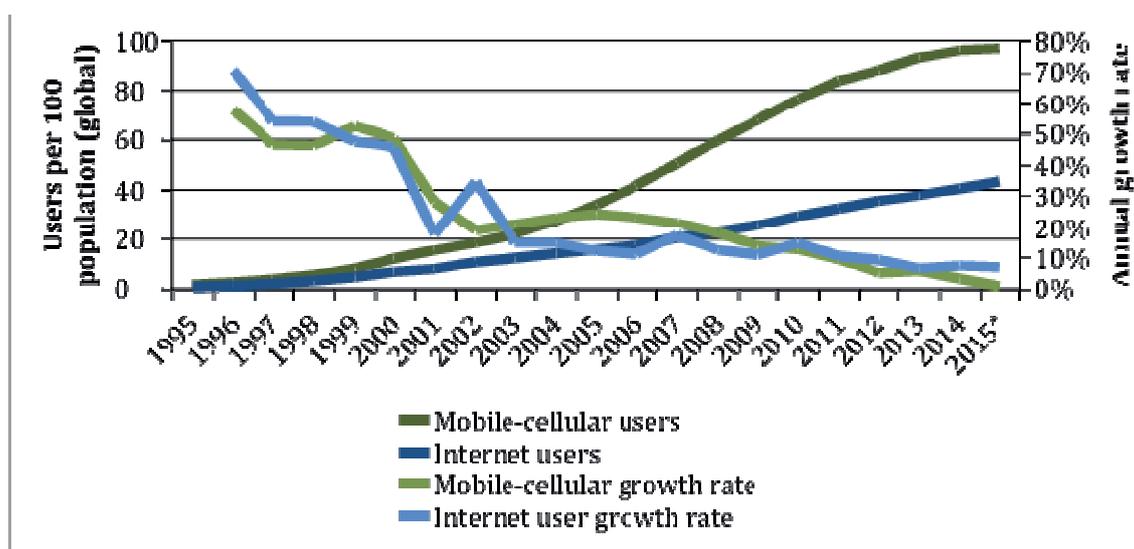


Imagen 1 _Crecimiento de los números de usuarios. Fuente: Smalltechtalk-Internet Society

Este incremento en la cantidad de usuarios así como las nuevas necesidades llevaron al desarrollo a nivel mundial de nuevas tecnologías. El cableado de cobre quedó obsoleto para el uso de transmisión de datos y ha sido reemplazado por materiales más eficientes y livianos como la Fibra Óptica que se define como:

"Un medio de transmisión, empleado habitualmente en redes de datos y telecomunicaciones, consiste en un hilo muy fino de material transparente, vidrio o materiales plásticos, por el que se envían pulsos de luz que representan los datos a transmitir. El haz de luz queda completamente

confinado y se propaga por el interior de la fibra con un ángulo de reflexión por encima del ángulo límite de reflexión total, en función de la ley de Snell. La fuente de luz puede provenir de un láser o un diodo led. Las fibras se utilizan ampliamente en telecomunicaciones, ya que permiten enviar gran cantidad de datos a una gran distancia, con velocidades similares a las de la radio y superiores a las de un cable convencional. Son el medio de transmisión por cable más avanzado, al ser inmune a las interferencias electromagnéticas, y también se utilizan para redes locales donde se necesite aprovechar las ventajas de la fibra óptica sobre otros medios de transmisión"[1].

En los países desarrollados este cambio se dio hace algunas décadas y en Uruguay, desde 1985 hasta la fecha, ANTEL ha instalado cables de fibra óptica en todo el territorio nacional. Las instalaciones comenzaron con el objetivo de enlazar las centrales telefónicas a consecuencia de la digitalización de la red metropolitana; hoy en día, todas las ciudades del Interior están unidas por una red nacional de fibra óptica, que constituye el núcleo (o "backbone") del sistema nacional de transmisión.

Pero recién a partir del año 2010, ANTEL comienza a trabajar en el Proyecto más importante y ambicioso de la historia de la empresa: instalar cables de fibra óptica en el acceso de los clientes a la red, sustituyendo paulatinamente los cables de cobre, y permitiendo un ancho de banda prácticamente ilimitado.

La Fibra Óptica es hoy el medio de transmisión de información de mayor capacidad disponible para las telecomunicaciones, que posibilita el acceso a Internet a las más altas velocidades.

Este proyecto permite que ANTEL continúe estando a la vanguardia, siendo referente regional y mundial en la incorporación de tecnologías de punta. En junio de 2012, ANTEL fue galardonada con el "Premio Carrier FTTH 2012" en América Latina por sus inversiones en fibra óptica para el acceso de esta tecnología de punta a todos los hogares del país y, en especial a las escuelas y liceos [2].

previsto como sobrante. Lo cual facilita las reparaciones porque no es necesario remover el tendido por completo. La empresa Equital está utilizando fibra óptica para todos los tendidos en el interior del país, utilizando un tipo de fibra importada desde China. La misma resulta 30% más económica que el cable coaxial de grosor 540 que utilizan para la distribución interior del servicio.

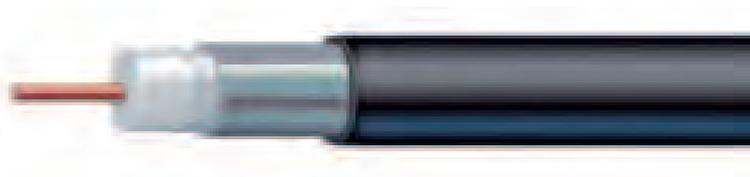


Imagen 3_Cable Coaxial .540

La empresa Equital S.A. no realiza ninguna gestión con los desechos de fibra óptica que retira, los mismos son considerados como residuos no reciclables, y simplemente se depositan en el vertedero.

A pesar que la instalación masiva de esta tecnología se está dando en Uruguay desde el 2010, en países como España la misma está siendo reemplazada. La fibra óptica es un nuevo residuo urbano no por el agotamiento de la vida útil si no por el continuo avance en la mejora de los conductores, que optimizan su eficiencia.

De la retirada de estas líneas, y los sobrantes de las instalaciones, se obtiene un gran volumen de fibra óptica en sí mismo e igual metraje lineal de la cubierta de protección exterior realizada en un material termoplástico de alto módulo de Young, (como puede ser polietileno de baja densidad o un compuesto de policloruro de vinilo especial) que tienen como destino final el vertedero, dado que su bajo costo no justifica el reciclaje del material para igual fin. Existen empresas de telecomunicaciones europeas que en el momento de renovar sus instalaciones optan por hacer el nuevo tendido sin retirarla fibra existente, en el caso de que las canalizaciones les permitan dejar ambos[3].

La generación de estos residuos urbanos, constituyen una agresión creciente al medio ambiente y a la salud pública. Por ello, en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (CNUMAD), que tuvo lugar en Río de Janeiro, Brasil, en 1992, dentro de los cinco documentos aprobados se encuentra la “Agenda XXI” donde se recomendó implantar prácticas de reducción de la generación de desechos, aumentar el reciclaje, la reutilización de los residuos y la disposición final de los mismos de forma ambientalmente segura [4]. Uno de los objetivos dentro de la Estrategia de Sostenibilidad Ambiental es reducir la generación de residuos y fomentar la reutilización y el reciclaje de los generados [5].

En lo que refiere a la industria de la construcción, tanto a nivel mundial como local, es cada vez más común el empleo de fibras sintéticas en hormigón. Es importante destacar que en elementos estructurales, las fibras no sustituyen las armaduras. Y que a nivel general, las principales características son la reducción del agrietamiento por contracción plástica en estado fresco y por temperatura en estado endurecido; mejora la resistencia a la abrasión y al impacto; incrementa la resistencia a la flexión; es químicamente inerte para el cemento y no es atacada por ácidos; no se oxida, y aporta al elemento un incremento de la tenacidad, durabilidad y cohesión[6].

El interés por esta investigación surge por un lado para anticipar una problemática que se está dando en los países desarrollados y que probablemente sucederá en Uruguay cuando esta fibra sea remplazada y pase a ser parte de los futuros residuos urbanos; y por otro lado para continuar el trabajo de la tesis doctoral :“Refuerzo de Matrices Cementicias mediante la Valorización de Fibras Sintéticas provenientes de Residuos Post-Consumo” [3] centrada en el contexto Español donde el estudio en profundidad de la fibra óptica quedó pendiente para futuras investigaciones.

1.1. MARCO TEÓRICO

En la actualidad las políticas aplicadas al problema ambiental son cada vez más urgentes y necesarias. El 13 de Mayo de 2016, el Ministerio de Vivienda y Ordenamiento Territorial (MVOTMA) anunció una Estrategia Nacional de Gestión de Residuos, lo cual incluye la creación de nuevos impuestos y un asesoramiento a las intendencias para mejorar su modo de trabajo, ya que para el director nacional de Medio Ambiente: Alejandro Nario, *"el trabajo que están haciendo hoy las Intendencias no es satisfactorio. La idea del MVOTMA es generar un proyecto de ley por el cual la gestión de envases y otras corrientes de residuos — como ser basura electrónica o bacteriológica — pase al sector privado y se prevé una tasa de valorización que se aplicará a los distintos residuos en el mercado. El MVOTMA anunció la incorporación de instrumentos económicos específicos para promover pautas de gestión de residuos, esto incluye tasas de reciclaje y un impuesto a la disposición final. El plan es que aquello que fruto de su actividad comercial genera una externalidad negativa —la contaminación— aporte para su solución, desde una planificación pública"*[7]. El director nacional de Medio Ambiente, explicó que con la ley *"se estará brindando asistencia técnica, a través de un convenio con la Oficina de Planeamiento Presupuestal (OPP), para todo lo que es la reingeniería, y se avanzará en el diseño de una tasa de impuesto a los residuos, que garantice un flujo de ingresos que le dé sostenibilidad"* [7]. Y añadió: *"Nosotros damos soporte y, como contraparte, exigimos que el sistema sea sostenible"* [7].

En el ámbito de los países de América Latina y el Caribe, el reciclaje formal, en plantas de separación, es casi inexistente, predominando el reciclaje informal del cual no se pueden establecer cantidades específicas [4]. Aún no comprendidos en las estadísticas, por ser un residuo de reciente aparición, dentro de los plásticos encontramos los procedentes de los servicios de

telecomunicaciones. La fibra óptica es un residuo incipiente, no tanto por el agotamiento de su vida útil sino por los avances en las telecomunicaciones que exigen conductores con mejores prestaciones o que, dada su mejor eficiencia, ocupen menos espacio.

La demanda de fibra óptica no ha parado de crecer y la expansión de este producto ha planteado la necesidad de buscar una solución para el tratamiento de los residuos relacionados con su fase de fin de vida, así como en sus fases de manufactura, instalación y mantenimiento. Dicho requerimiento fue el que dio origen al Proyecto Europeo L-FIRE (Long FibreRecycling), subvencionado por la Comisión Europea, el primero a este nivel dedicado al reciclaje de cables de fibra óptica, que tras dos años y medio de andadura y un presupuesto superior a 1,8 millones de euros, ha finalizado recientemente. El mayor logro de GAIKER-IK4 con el Proyecto L-FIRE es, sin duda, haber contribuido a la solución de un problema de reciclado a través de: Establecer la sistemática de desinstalación de cables de fibra óptica obsoletos que facilite su tratamiento. Definir las reglas de diseño para una nueva generación de cables de fibra óptica más ecológicos con una configuración y una composición que atenúen sus dificultades de reciclado. Asegurar un verdadero cierre de ciclo a través del hallazgo de aplicaciones para los materiales metálicos, plásticos y fibras individuales y para el material plástico mezcla[8].

Eurometal Recycling, una de las PYMES participantes, plantea en su página web que *“ha desarrollado un proceso industrial de separación hidrociclónica para el reciclado de mezclas complejas de plásticos procedentes del tratamiento de cable eléctrico, logrando la reciclabilidad para su reutilización de los residuos plásticos que hasta el momento no eran recuperados y tenían como destino final el vertedero”* [9]. Este centro tecnológico plantea que han logrado un método de separación de todos los componentes del cable de la fibra óptica: acoples metálicos, funda exterior termoplástica, fibras de aramida intermedias y fibra óptica en sí misma que es el núcleo interior. Por lo tanto, los productos elaborados por esta empresa son aún materia prima para la producción de nuevos elementos aún no especificados[3].

En cuanto a este residuo, el mismo se compone de tres materiales de características distintas. Por un lado la fibra de kevlar (aramida) que proporciona la resistencia solicitada por normativa, y de la cual existen aplicaciones en refuerzo de estructuras pero no se analizará en esta investigación. Otro de los componentes es la fibra óptica (FO) de sección cilíndrica, compuesto de un núcleo silíceo y una capa exterior, mezcla de silíceo con materiales plásticos, con un bajo índice de refracción que atenúa la pérdida en la transmisión. Por último la funda protectora (FP) - funda exterior de protección secundaria realizada en material termoplástico con forma de cilindro hueco o tubo [3].

En cuanto a los materiales fibroreforzados poseen formas de trabajo que responden a sus componentes pero además a la forma de trabajo conjunto entre estos. Por eso es fundamental el tipo y grado de adherencia entre ambos para que se comporten como un nuevo material. En lo referente a este trabajo la matriz a emplear es cementicia y las fibras son provenientes de residuos de fibra óptica (FO) y la funda protectora (FP) de polietileno de baja densidad por lo cual se hará énfasis en estos dos materiales, en cuanto a sus características particulares como a la formulación del material compuesto[3].

Matriz Cementicia

La matriz cementicia está conformada por un conglomerante hidráulico (en este caso cemento portland) y agua; los componentes de estos dos elementos y las reacciones químicas que se producen en el proceso de fraguado serán quienes caractericen la matriz. El cemento portland se forma, básicamente, por la molienda conjunta de una mezcla de caliza y arcilla cocida, denominado “clinker” y de un material regulador de fraguado que generalmente es yeso dihidrato. En el clinker están presentes distintos compuestos, se trata de una mezcla de silicatos, aluminato y ferrito aluminato de calcio o sea que en el material “crudo”, antes de la cocción, van a estar presentes óxidos de silicio, aluminio, hierro y calcio en proporciones muy concretas. Los silicatos forman entre

el 60% y el 80%, y son los responsables de las resistencias mecánicas del cemento. El silicato tricálcico (C_3S) o “alita” confiere altas resistencias iniciales al cemento con una elevación posterior lenta. Por su parte, el silicato bicálcico (C_2S) o “belita” aporta resistencias posteriores alcanzando al silicato tricálcico[10].

Generalmente en matrices cementicias, más fibras de menor tamaño nos garantizan una mejor distribución de tensiones en el material compuesto, pero nos dificultan más el proceso de mezclado con la matriz. La distribución al azar de las fibras es la más utilizada; la disposición discontinua y al azar hace que las fibras no sean tan eficientes para resistir las tracciones como las barras de acero, pero al estar más distribuidas en la sección permiten controlar mejor las tensiones de retracción[3].

Las diferencias en la concentración de tensiones con las barras de acero hacen que el uso de fibras sea más adecuado para algunos elementos constructivos. Particularmente en elementos de poco espesor donde las barras no tienen el espacio suficiente (placas, elementos de cubierta, etc.) o en aquellos donde existan tensiones locales muy elevadas como por ejemplo pilotes. Como refuerzo secundario, el fibrorefuerzo se emplea en elementos constructivos que, teniendo la resistencia de esfuerzos de tracción resuelto con barras de acero, se desee controlar la fisuración que producen los cambios de temperatura o humedad. Como ejemplo podemos mencionar su empleo en losas y pavimentos. Se plantean que esta forma de trabajo es la que se denomina fibrorefuerzo convencional y que las fibras en estas situaciones, donde existen barras de acero, no sustituyen su función sino que la complementan[11].

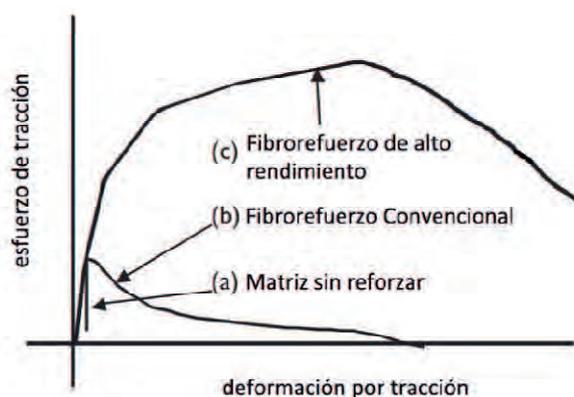


Imagen 4_Curva tensión deformación de una matriz con fibrorefuerzo. Fuente:[3]

Cuando actúan de esta manera, complementando a las barras de acero, las fibras no son empleadas para mejorar la resistencia a tracción del compuesto, aunque a veces igual lo hacen en una pequeña magnitud, sino que se busca mejorar el comportamiento del material después de que la matriz fisura. Mejora así la absorción de energía del material, obteniéndose mayor resistencia al impacto, a la abrasión y a la fatiga. Dependiendo de la matriz, tipo y proporción de fibra que se emplee se logrará que el comportamiento del compuesto sea de una u otra forma.

De los estudios realizados hasta el momento se han obtenido resultados favorables en el empleo de algunas fibras como fibrorefuerzo de matrices cementicias, actualmente en uso para la construcción de distintos elementos[3].

En una reciente investigación de Sebastián Sanabria sobre refuerzo de matrices cementicias, se llegó a la conclusión de que el hormigón con fibras de PET tiene un 20% más de resistencia a la tracción que un hormigón sin fibroreforzar; y por otro lado un 6% menos de resistencia a la compresión que un hormigón reforzado con fibras de polipropileno [12].

Fibras Comerciales de Polipropileno (S)

Las fibras de polipropileno son fibras sintéticas con bajo módulo elástico, son las más difundidas a nivel internacional por empresas que las comercializan y se fabrican en variedad de formas y tamaños según las prestaciones que se requieran. Se han desarrollado diferentes tipos con

variaciones de textura superficial para mejorar la adherencia. Desde el punto de vista de las diferentes características mecánicas entre fibras y matriz se demuestra que la adición de fibras de polipropileno mejora las resistencias mecánicas del hormigón[3].

La incorporación de fibras en los elementos con grandes superficies expuestas es cada vez más utilizado en la industria de la construcción en nuestro país. Un ejemplo es la reconstrucción de la Ruta Nacional 24 que une las Rutas 2 y 3. Dicha reconstrucción se hizo con fibras de polipropileno mediante un dosificador automático que posibilitó una distribución uniforme en la masa de hormigón[12]. La fisuración superficial en pavimentos de hormigón es una patología muy común ya que son más susceptibles a fisurar en las primeras horas del fraguado y endurecimiento. En una de las grandes obras que se están ejecutando actualmente en la ciudad de Montevideo, FORUM, el contrapiso del nivel de estacionamiento está construido con 10 cm de hormigón pobre y 10 cm de hormigón armado con fibras sintéticas de polipropileno para la retracción superficial.

En este trabajo se utilizaron fibras comerciales de polipropileno virgen, monofilamento de 12 milímetros de largo, diseñadas para controlar la fisuración en hormigones y morteros. Actúa como refuerzo tridimensional secundario en hormigones y morteros cementicios, y su uso está especialmente indicado en: losas, contrapisos, pavimentos, elementos prefabricados de hormigón y mortero proyectado así como revoques de fachadas. Su color es blanco y se comercializa en bolsa de 600 gramos. La densidad aparente es de aproximadamente 0,2 kg/l. El consumo sugerido es de 0,8 kg/m³ de mortero u hormigón. Se agrega directamente a la mezcla fresca, y una vez añadidas las fibras se debe prolongar el mezclado hasta obtener una mezcla uniforme[13].

Fibra óptica (FO)

La fibra óptica se caracteriza por un núcleo de sílice, cuarzo fundido o plástico (polimetilmetacrilato), en el cual se propagan las ondas ópticas. Existen distintos tipos de FO:

- Fibra monomodo: es la fibra que ofrece la mayor capacidad de transporte de información ya que los mayores flujos se consiguen con esta fibra, pero sólo pueden ser transmitidos los rayos que tienen una trayectoria que sigue el eje de la fibra, por lo que se la denomina "monomodo" (modo de propagación, o camino del haz luminoso, único). Son fibras que tienen el diámetro del núcleo en el mismo orden de magnitud que la longitud de onda de las señales ópticas que transmiten, es decir, de unos 5 a 8 μm . Si el núcleo está constituido de un material cuyo índice de refracción es muy diferente al de la cubierta, entonces se habla de fibras monomodo de índice escalonado. Los elevados flujos que se pueden alcanzar constituyen la principal ventaja de las fibras monomodo[14].
- Fibra multimodo: se basan en que el índice de refracción en el interior del núcleo no es único y decrece cuando se desplaza del núcleo hacia la cubierta. Los rayos luminosos se encuentran enfocados hacia el eje de la fibra, permiten reducir la dispersión entre los diferentes modos de propagación a través del núcleo de la fibra. Una fibra multimodo puede tener más de mil modos de propagación de luz. Las fibras multimodo están fabricadas a base de vidrio, o polimetilmetacrilato, el núcleo está constituido por un material uniforme cuyo índice de refracción es claramente superior al de la cubierta que lo rodea[14].

Fibra funda protectora de la fibra óptica (FP)

La funda de protección exterior de la fibra óptica que le confiere a la fibra una protección secundaria es realizada en material termoplástico de alto módulo de Young, generalmente polietileno de baja densidad (LDPE) o un compuesto de policloruro de vinilo (PVC), con forma de cilindro hueco o tubo [3].

Estudios preliminares de degradación de fibras obtenidas de residuos post-consumo demuestran que las que han resultado más resistentes a los ataques producidos por la pasta cementicia han sido las obtenidas de los residuos del cableado de fibra óptica, FO y FP. Los cuales presentan las

mejores resistencias a estas agresiones, particularmente la primera que se ha mostrado de forma casi invariable en los distintos períodos de tiempo y condiciones [3].

Interfaz

La interfaz es una capa entre dos diferentes fases de un material compuesto. La estructura y composición de esa capa, conocida como la zona de transición interfacial (ITZ "*interfacialtransitionzone*"), depende de las propiedades de los materiales y las condiciones de la mezcla, hidratación, endurecimiento y envejecimiento de los mismos[15].

La naturaleza y tamaño de esta zona ITZ depende del tipo de fibra y de la tecnología aplicada en la producción y puede, incluso, variar con el tiempo[16]. Las características de esta zona deben tenerse en cuenta, sobre todo, en lo que refiere a su influencia en la adherencia de la fibra con la matriz y en el efecto de puente que las fibras hacen cosiendo las fisuras, con su posterior efecto en la resistencia del compuesto. Uno de los parámetros que se estudian habitualmente, cuando se analiza una matriz cementicia fibroreforzada, es la resistencia química de las fibras en medios alcalinos que simulan el medio al que estarán expuestas. La matriz cementicia continúa activa, incluso después de los 28 primeros días de hidratación y puede influir en la naturaleza de la interacción mecánica entre fibra y matriz, generando cambios en el rendimiento del compuesto con el transcurso del tiempo[17].

Se cree que la ITZ interviene en la determinación de la permeabilidad global del material y por lo tanto influye en el comportamiento mecánico del material compuesto[15].

Las fibras de polietileno en una matriz cementicia, genera una adherencia interfacial madura mucho más rápido que en el resto de la matriz. Mientras que en la masa el desarrollo de estas propiedades se produce entre 14 y 28 días, en la interfaz se alcanza a los 7 días[18].

La interfaz es una zona compleja y puede llegar a ser la región más débil del material compuesto cuando está en carga. En matrices cementicias que contengan áridos y se encuentren fibroreforzadas, estas zonas de transición interfacial se dan en más de una situación: pasta cementicia/árido y pasta cementicia/fibra si solamente contara con árido fino (arena). En caso de contener árido grueso existiría una tercera ITZ a estudiar[3].

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

El objetivo general de este trabajo es realizar un estudio preliminar del desempeño de fibras obtenidas de residuos de servicios de telecomunicaciones con fibras de polipropileno comerciales utilizadas como fibrorefuerzo de un hormigón convencional.

2.2. OBJETIVOS SECUNDARIOS

- Determinar las características mecánicas del material compuesto a través de ensayos destructivos y no destructivos.
- Realizar ensayos de esclerómetro, ultrasonido, compresión y tracción indirecta permitiendo comparar hormigones fibroreforzados con fibra óptica, funda protectora y fibras comerciales de polipropileno; con los valores de un hormigón de iguales características sin refuerzo de

fibras. Analizar comparativamente el desempeño presentado por las fibras obtenidas de residuos con el de las fibras comerciales.

3. METODOLOGÍA

3.1. MATERIALES

Los materiales utilizados para esta investigación, que se detallarán más adelante, son de origen uruguayo, exceptuando dos de las tres fibras empleadas que son de origen español.

Cemento

Se utilizó cemento portland gris tipo CPN 40, suministrado por la marca ANCAP, proveniente de la fábrica de la ciudad de Paysandú, Uruguay.

Áridos Se utilizó “arena terciada” como árido fino, y también árido grueso “pedregullo”. El tamaño del árido grueso se empleó en función de la fibra de polipropileno, por recomendación normativa siendo un tercio de su longitud, trabajando común árido que pasa por el tamiz de 15mm.

Agua

El agua utilizada en esta investigación es proveniente de la red de agua potable de OSE.



Imagen 5_Materiales: árido grueso-árido fino-cemento-agua

Adiciones

Se utilizaron tres fibras como adición al hormigón. En todos los casos, el volumen a incorporar de fibras, se resta del volumen de áridos finos, ya que es el material que más se parece a su comportamiento. Las fibras de polipropileno de 48mm de longitud, SikaForce® PP-48, fueron suministradas por la empresa SIKA. Las fibras de reciclaje provenientes de residuos de servicio de telecomunicaciones de la empresa Telefónica España. Tanto la fibra óptica como la funda protectora utilizada son de origen español, optándose por un solo tipo comercial a los efectos de minimizar incertidumbres. El modelo elegido para ambas partes fue: “SIECOR OPTICAL CABLE – 10/96 – SMF – 28 FIBER – TB II – TYPE OFNR (UL) – TYPE OFN FT4 (CSA) 02120 FEET”.



Imagen 6 _Fibra óptica Siecor

3.2. EQUIPOS

Se utilizaron diferentes equipos tanto para la adaptación de materiales, como para el proceso de elaboración del hormigón y ensayos.

Preparación de Fibras

La fibra óptica fue cortada de 1m de largo, luego se separó la fibra de kevlar (aramida) descartando la misma, y manteniendo la fibra óptica y la funda protectora. El corte de cada fibra se realizó manualmente del mismo largo que las fibras comerciales, y a la funda protectora la cual previamente se dividió su sección en dos.

El corte transversal de las fibras se realizó con tijeras, para obtener el largo indicado. El corte longitudinal que se le realizó a la funda protectora, fue mediante un dispositivo de madera confeccionado especialmente para ello, con una cuchilla en el centro.



Imagen 7 _Dispositivo de corte longitudinal

Para determinar la masa de las fibras se utilizó una balanza digital y el almacenamiento de las mismas fue mediante bolsas de polipropileno transparente.

Por lo tanto los equipos utilizados en las tareas previas fueron:

- Tijeras
- Sistema manual de corte
- Balanza digital capacidad: 31 Kg, precisión 0,1 g
- Bolsas de polipropileno 20 x 30 cm

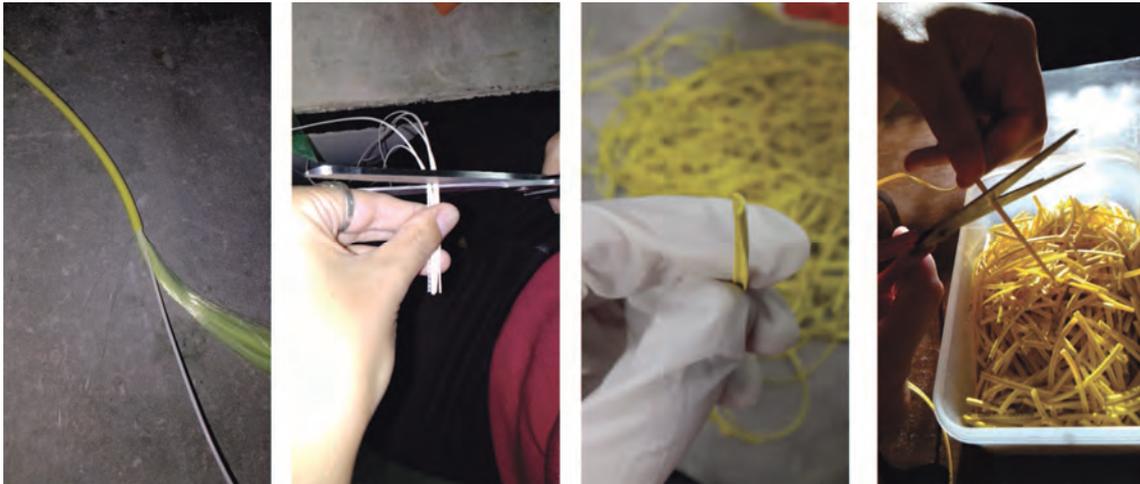


Imagen 8 _Elaboración de fibras: separación aramida, fibra, funda protectora y corte



Imagen 9 _Elaboración de fibras: pesado y empaquetado

Elaboración de hormigón

Se utilizó una balanza para determinar la masa de cada material y una cuchara metálica. Los áridos (arena terciada y pedregullo de 15 mm de tamaño máximo) previamente tamizados y secados se pesaron y se guardaron en bolsones de polipropileno. Si el cemento se pesa con mucha anterioridad, podría humedecerse fuera de su bolsa original y comenzar los procesos químicos de hidratación, y el agua podría evaporarse. Por eso tanto el agua como el cemento se pesaron minutos previos al amasado en baldes. Se utilizó una batea de hierro para realizar el amasado con pala.

- Balanza digital capacidad: 60 Kg, precisión 0,01 Kg
- Batea de hierro de 80 x 140 cm
- Pala ancha
- Cuchara “U”
- Balde negro “tipo albañil” de 7,5 lts.



Imagen 10_Equipos utilizados para la elaboración del hormigón

Elaboración de ejemplares

Para las probetas, se utilizaron moldes realizados con caños de PVC de 10 cm de diámetro y 20 cm altura para las probetas cilíndricas, los moldes se llenaron con cucharas metálicas, y se vibró con la varilla de acero.

- Moldes de PVC Ø100
- Moldes metálicos (10 x 10) cm
- Cuchara “de albañil”
- Cuchara “U”
- Varilla lisa de diámetro 16 mm y 60 cm de largo



Imagen 11_Moldes de PVC

Ensayos

Cono de Abrams, para este ensayo se utilizaron los siguientes equipos:

- Varilla lisa de diámetro 16 mm y 60 cm de largo
- Regla metálica
- Cono de Abrams normalizado 20 cm diámetro inferior, 10 cm diámetro superior, 30 cm altura.
- Batea de hierro de (80 x 140) cm

Esclerometría, para este ensayo se utilizaron los siguientes equipos:

- El equipo marca CONTROL con distancia de rebote marcada en este caso de 10 a 100.
- Prensa manual
- Madera de ajuste
- Platina de ajuste
- Piedra abrasiva
- Fenolftaleína al 0,1%
- Plantilla de PVC con 9 puntos equidistantes a 3 cm entre ellos según norma de referencia.
- Marcador permanente

Ultrasonido, para este ensayo se utilizaron los siguientes equipos:

- El equipo marca CONTROL, modelo 58E4800 que consta de: circuito generador-receptor, transductor-emisor, transductor-receptor, circuito medidor del tiempo, cables coaxiales y barra patrón.
- Acoplante: vaselina



Imagen 12_Equipo de ultrasonido

Determinación de la resistencia a Tracción simple por compresión diametral, para este ensayo se utilizaron los siguientes equipos:

- Prensa modelo CONTROL MCC8 Multitest con bastidor para compresión con carga máxima 2000 KN con control de velocidad de desplazamiento.
- Platina de ajuste
- Dos suplementos de mdf de 1,5 cm de ancho, longitud 20 cm y 3 mm de espesor.
- Cinta métrica

Determinación de la resistencia a Compresión, para este ensayo se utilizaron los siguientes equipos:

- Prensa modelo CONTROL MCC8 Multitest con bastidor para compresión con carga máxima 2000 KN con control de velocidad de desplazamiento.
- Platina de ajuste

- Cabezales de neopreno
- Cinta métrica



Imagen 13_Equipo para ensayos destructivos

3.3. PROCEDIMIENTOS

3.3.1. DOSIFICACIÓN

Se decidió trabajar con un hormigón común, con una dosificación 3:2:1 y una relación agua/cemento: 0,5. La fibra por ser plástica atrae el agua y para no utilizar aditivos fluidificantes se optó por quitar el volumen de arena correspondiente al volumen de fibra que se colocaba.

Para el cálculo de fibras, se siguió la recomendación de la empresa que comercializa las fibras, que en su ficha técnica sugiere de 2,0 a 8,0 Kg/m³[13]. Se decidió trabajar con un consumo intermedio a las recomendaciones de 5,0 kg/m³ de fibras comerciales, y su equivalente en volumen de fibras obtenidas de residuos, para poder relacionarlo con otras investigaciones como la Tesina de Sebastián Sanabria[12], que utilizó la misma dosificación con fibras sintéticas obtenidas de residuos postconsumo de PET.

Cálculo preliminar de fibras

Los valores de densidad de las fibras de polipropileno comerciales, se obtiene de la ficha técnica de SIKA, donde la gravedad específica (densidad) corresponde a 0,92g/cm³. Los valores de densidad de Fibra Óptica (FO) y Funda Protectora (FP) fueron tomados de la investigación de María Esther Fernández Iglesias. Los mismos son: FO: 1,10g/cm³, FP: 1,40 g/cm³.

El volumen para una probeta, se calcula siguiendo la siguiente ecuación:

$$V=r^2.\pi.h.1,20$$

Donde:

V – volumen

r – radio de la probeta

h – altura de la probeta

1,20 – equivale a 20 % de incremento para desperdicio

Dada la ecuación:

$$d=m/V$$

Dónde:

d – densidad

m - masa

V – volumen

En los ejemplares de FO y FP, es necesario mantener el mismo volumen que en los ejemplares S, con una dosificación de 5 kg/m³. Dada la igualdad necesaria para mantener el mismo volumen de una probeta: $V_1=V_2$; se obtiene: $m_1.d_1 = m_2.d_2$ Despejando $m_2= (m_1.d_2)/ d_1$ pudiendo mediante esta relación obtener la masa necesaria de cada fibra para las 3 probetas de cada tipo.

En la prueba de dosificación se utilizó 2/3 del material estimado, por lo cual se decidió reducir a un 80% el cálculo de materiales. La dosificación se puede apreciar en la tabla que se muestra a continuación.

	DOSIFICACIÓN	MATERIALES	Masa 1 probeta		Masa 3 probetas	
			Kg	g	Kg	g
control	3	pedregullo	2,43	2430	7,29	7288,8
	2	arena	1,73	1734	5,20	5200,8
	1	cemento	0,77	774	2,32	2320,8
	0,5	relación agua/cemento	0,39	386	1,16	1159,2

Tabla 1_ Cálculo de Dosificación: muestra control

Para el caso del hormigón fibroreforzado se sustituye una cantidad del árido fino por fibras, manteniendo el volumen para no alterar la dosificación. El peso de arena que se sustituye por fibras equivale a 51,98 g. La dosificación para los distintos tipos de hormigón con fibras se aprecia en la siguiente tabla.

	DOSIFICACIÓN	MATERIALES	Masa 3 probetas		SIKA	FO	FP
			Kg	g			
con fibras	3	pedregullo	7,29	7289			
	2	arena	5,15	5148,8	30,85	36,89	46,95
	1	cemento	2,32	2321			
	0,5	relación a/c	1,16	1159			

Tabla 2_ Cálculo de Dosificación: hormigón fibroreforzado

3.3.2. ELABORACIÓN DEL HORMIGÓN

Al realizar la muestra control (sin fibras) para poder comparar los resultados de un hormigón fibroreforzado con otro estándar, y con esta primera amasada sin fibras se verificó que la consistencia del hormigón fuera plástica determinándose mediante el ensayo de Cono de Abrams. Posteriormente se analizó mediante igual procedimiento la consistencia. El procedimiento utilizado para el amasado fue el siguiente:

- Se pesaron todos los materiales a utilizar según dosificación establecida.

- Sobre una batea de hierro previamente humedecida (para que no absorba agua de la mezcla), se colocó el pedregullo en forma piramidal.
- Se incorporó la arena y se mezcló con la pala estos dos materiales.
- Se incorporó suavemente el cemento en el centro de la pirámide y se mezcló bien los tres materiales en seco.
- Se preparó una vez más una pirámide con un hueco en el centro para recibir el agua.
- Se incorporó el agua suavemente y se mezcló de forma envolvente desde la base al centro para evitar perder el agua contenida.
- Una vez que el agua se dispersa, se mezcló de forma más rápida para asegurar una mezcla homogénea

Para el caso de las amasadas con fibras, luego de incorporar el cemento, se introdujeron las fibras, se mezclaron con los demás materiales en seco, luego se incorporó el agua y se amasó.



Imagen 14_Elaboración de hormigón



Imagen 15_Elaboración de hormigón: incorporación de fibras al amasado

3.3.3. DETERMINACION DE LA CONSISTENCIA MEDIANTE CONO DE ABRAMS

Se realizó el ensayo para todas las dosificaciones de hormigón establecidas, control (sin fibras) y luego con cada una de las fibras. En los cuatro casos se realizó según la NORMA UNIT-NM 67:98[19].

Este ensayo se realiza para asegurar que presente una consistencia adecuada a los requerimientos, en este caso plástica. En primer lugar se realizó una prueba de dosificación con un cono más pequeño para optimizar el uso del material, fundamentalmente de las fibras obtenidas de residuos. Por tal motivo existe una modificación en el número de capas de llenado y la cantidad de golpes a aplicar en cada una de ellas. Según la norma de referencia se debería realizar en 3 capas y emplear 25 golpes de varilla para compactar cada una. En este caso se realizó mediante dos capas y 15 golpes de varilla en cada una. Previo al llenado de las probetas, se volvió a realizar este ensayo con el equipo y procedimiento establecido en la norma de referencia, que se detalla a continuación:

- Se humedeció el cono y la varilla a utilizar.
- Se dispuso de un espacio junto al cono para poder retirarlo y colocarlo junto al hormigón.
- Se colocó el Cono y sujetó con los pies a ambos lados para que el empuje de la mezcla no pudiera levantarlo.
- Se llenó el cono hasta 1/3 de su altura y compactó con 25 golpes (dejando caer la varilla) en forma de espiral de afuera hacia el centro
- Se llenó la segunda capa del cono y se repitió el paso anterior asegurando de “coser” las dos capas, es decir que la varilla bajara hasta la primer capa.
- Se llenó la última capa con el mismo procedimiento.
- Se deslizó la varilla de forma horizontal para retirar el material que quedó por encima del cono.
- Se quitaron los pies que sujetaban el cono y se retiró éste, con movimiento vertical sin producir esfuerzos externos, colocándolo en el lugar previsto. Se colocó la varilla de forma

horizontal sobre el cono y se midió con una regla el descenso que tuvo la mezcla respecto a la altura del cono

- Se determinó la consistencia según tabla existente en norma UNIT 1050:2005.

El tiempo total del ensayo no superó los 150 segundos, estando dentro de lo establecido.



Imagen 16_ Ensayo Cono de Abrams

3.3.4. LLENADO DE PROBETAS

El procedimiento para el llenado de los moldes para las probetas cilíndricas de 10x20cm consistió en los siguientes pasos:

- Se colocó un acetato en el fondo de los moldes plásticos.
- Se pintó la superficie interior con desencofrante. En este caso se utilizó aceite.
- Se llenó la primera capa hasta la mitad del molde.

- Se aplicó un vibrado manual golpeando la varilla en el exterior del molde, girando este para asegurar una compactación de forma homogénea.
- Se llenó la segunda y última capa, dejando material por encima del límite del molde, para que al vibrar quedara completo.
- Se quitó el material sobrante mediante varilla colocándola de forma horizontal sobre el molde y haciéndola deslizar. Se enrazó con la cuchara de albañil para que la superficie quedara lisa.



Imagen 17 _Llenado de probetas

3.3.5. CURADO

Se dejó fraguar las primeras 24 horas a temperatura ambiente en zona protegida de inclemencias climáticas. El procedimiento para el desmolde fue mediante la aplicación de aire con un compresor de forma tal que la probeta salió del molde fácilmente sin necesidad de abrirlo. Se procedió al empleo de un código para identificar las probetas, que fue escrito sobre las mismas. El código es el siguiente:

C – probetas control

S – probetas con fibras comerciales de SIKA

FO – probetas con fibras de fibra óptica

FP – probetas con funda protectora de la fibra óptica

Se realizaron amasadas en dos días consecutivos, para las probetas amasadas el primer día se utilizó junto al código del tipo de probeta la numeración: 1,2 y 3. Para la amasada del segundo día: 4,5 y 6.

Luego de desmoldar, se trasladaron las probetas a zona controlada dentro de un recipiente plástico con agua donde se mantuvieron durante 24 horas. Los siguientes días de curado se realizaron en ésta zona, con temperatura de (20 ± 1) °C y humedad relativa del (50 ± 2) %. Se siguió el siguiente procedimiento:

- En el interior de la tarrina, sobre la base se dispusieron trozos de cerámica como listones, para que las probetas no apoyaran directamente sobre el recipiente.
- Se colocaron las probetas distantes entre sí para que asegurar que el agua estuviera en contacto la totalidad de la superficie de la probeta.
- En un balde se llenó con agua hasta $3/4$ de la capacidad del mismo y se le incorporó cal, mezclando con una varilla de madera hasta lograr una solución homogénea. La cal se coloca para saturar el agua del balde, de modo que al estar en contacto con las probetas, no se lixivie la portlandita perteneciente a los productos de hidratación del cemento.
- Se completó hasta 1cm por encima de la cara superior de las probetas, para asegurar que quedaran todas bien sumergidas.
- Se cubrió la superficie con film polimérico (nylon).
- Se dejaron 24 horas dentro del agua.
- Al retirar del agua, se secó y envolvieron individualmente en film de polietileno.

Si bien se realizan ensayos no destructivos a los 7 y 14 días, luego de cada ensayo se volvió a envolver cada probeta en film de polietileno hasta los 28 días manteniéndose todo ese período en la zona controlada.



Imagen 18_Curado de Probetas

3.3.6. ENSAYOS

Para la caracterización mecánica de los hormigones elaborados se realizaron ensayos no destructivos (determinación de la dureza superficial mediante esclerómetro de resorte y medición de la velocidad de propagación de ultrasonido) relacionando los resultados entre sí y con los obtenidos mediante ensayos destructivos (resistencia a compresión y determinación de tracción mediante compresión diametral).

Según Normas de referencia se realizaron tres probetas de cada dosificación para cada ensayo, para así poder obtener valores medios. Por lo tanto de cada dosificación: C, S, FO, FP, resultaron 6 probetas de cada una obteniéndose un total de 24 probetas cilíndricas para ensayar.

3.3.7. DETERMINACIÓN DE LA DUREZA SUPERFICIAL MEDIANTE ESCLERÓMETRO DE RESORTE

Este ensayo se realizó según procedimiento establecido en la NORMA UNIT-NM 78:98[20]. Se optó por realizarlo a los 7, 14 y 28 días (ya que el aumento de resistencia a los 21 días no es significativo); se realizaron en las probetas correspondientes a la segunda amasada.

Para sujetar las probetas se las colocó en la prensa manual aplicándole una carga de aproximadamente el 30% de la carga que se estima resistirá a los 28 días, la misma nos permitió mantener fija la probeta. Éste ensayo permite obtener un valor de rebote de resorte de la superficie de la probeta. Este valor se puede relacionar con el aumento de resistencia a compresión a distintas edades en el caso de realizarse con la rotura de probetas en igual fecha. En el caso de una obra, permite conocer si el hormigón tiene igual características que el testigo que se tenga del mismo hormigón o la homogeneidad en varios elementos estructurales.

El procedimiento de este ensayo fue el siguiente:

- Se sujetó la probeta en una prensa manual a los efectos de que dejarla firme y no se produjeran desplazamientos con el impacto del pistón.
- Se eligió una superficie a ensayar que no fuera muy porosa.
- Se roció con fenolftaleína al 0,1% para verificar si la superficie estaba carbonatada. Cuando la misma quedaba de un rosado oscuro o fucsia indicaba que no existía carbonatación y se procedió a ensayar directamente. Si la superficie no tomaba color entonces indicaba que la superficie estaba carbonatada y se tuvo que raspar la superficie con una piedra abrasiva. Luego se volvió a rociar con la solución hasta que no aparecieron zonas carbonatadas y ahí se realizó el ensayo. La carbonatación indica reacciones químicas con el carbono del aire, y

puede alterar los valores ya que modifica la resistencia superficial del hormigón, por ello fue fundamental corroborar la superficie previo al ensayo.

- Se utilizó una plantilla de PVC con nueve perforaciones a 3cm de distancia entre ellas ubicados en una cuadrícula de tres filas por tres columnas.
- Se repasaron las perforaciones con marcador permanente de modo de traspasar esos puntos a la probeta y así tener dibujados los puntos donde presionar.
- Se colocó y presionó el pistón del esclerómetro en cada uno de los puntos registrándose los valores de rebote en una planilla. Se realizó el promedio de los 9 valores, verificando si todos los quedaban incluidos en un rango ± 5 del valor medio obtenido. Cuando alguno quedó fuera, se volvió a hacer el promedio sin ese valor repitiéndose el procedimiento hasta que todos los valores quedaron incluidos en el rango, verificando que no fueran menos de 5 puntos para establecer el promedio.



Imagen 19_ Rociamiento de probetas con Fenolftaleína y raspado con piedra abrasiva

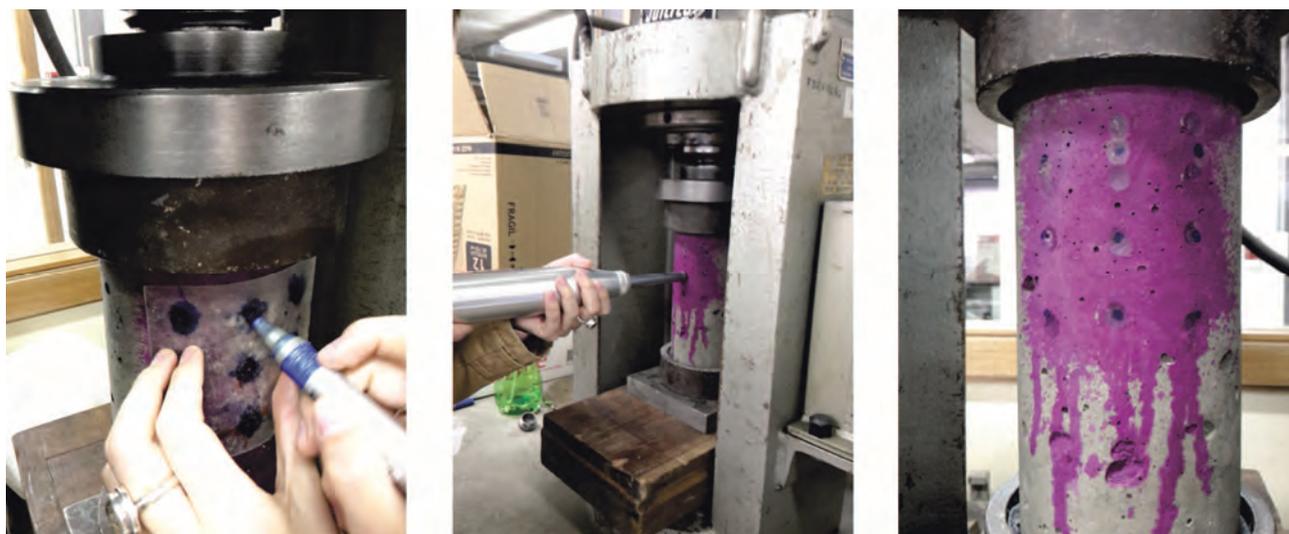


Imagen 20_ Ensayo esclerometría

3.3.8. DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN DE PULSOS ULTRASÓNICOS

Este ensayo se realizó según procedimiento establecido en la NORMA UNIT-NM 58:98[21]. Se decidió realizarlo a los 7, 14 y 28 días (ya que el aumento de resistencia a los 21 días no es significativo); se realizaron en las probetas correspondientes a la segunda amasada. El objetivo de este ensayo fue conocer la homogeneidad del material mediante un ensayo no destructivo y determinar la velocidad de propagación en las distintas dosificaciones. Al material a inspeccionar se lo hizo recorrer por ondas ultrasónicas, que permitieron detectar discontinuidades internas mediante la velocidad de propagación de las mismas al atravesar la probeta de hormigón. En los casos que se obtuvieron valores de resistencia de compresión a igual edad se pudo correlacionar esta velocidad con dicha resistencia.

El procedimiento utilizado para este ensayo fue el siguiente:

- Se calibró el equipo de ultrasonido con calibrador proporcionado por el fabricante. En este caso el mismo es de 58,7 μseg

- Se colocó la probeta seca y limpia horizontalmente sobre la mesada
- Se aplicó una fina capa de vaselina en los transductores
- Se colocó cada transductor en el centro de cada una de las caras planas de la probeta
- Se presionaron ambos transductores contra las superficies de las probetas
- Cuando el medidor se mantuvo estable en el mismo valor tras 5 impulsos, se registró dicho valor.
- Se limpiaron los restos de vaselina tanto en la probeta como en el equipo.

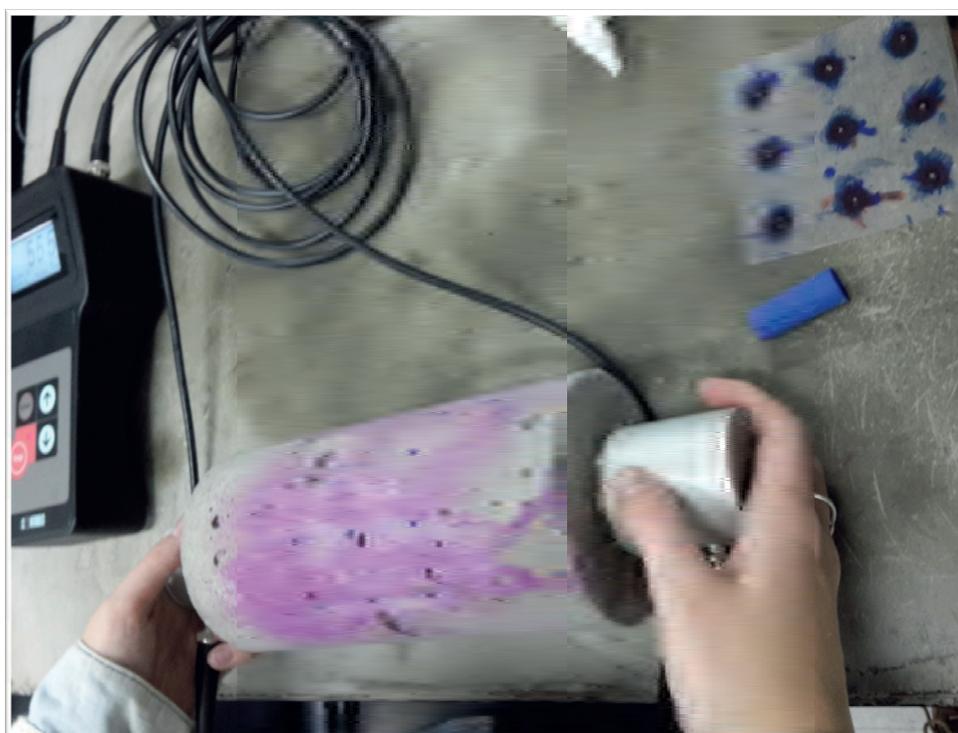


Imagen 21_Ensayo Ultrasonido

3.3.9. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A TRACCIÓN SIMPLE POR COMPRESIÓN DIAMETRAL

Este ensayo se realizó según el procedimiento establecido en la NORMA UNIT-NM 8:1998[22]. Se realizó a los 28 días, con las probetas correspondientes a la primera amasada. Se utilizó para conocer la resistencia a la tracción y obtener el valor de carga máxima a rotura. Se realizó mediante una sollicitación a compresión que ejerció a la probeta cilíndrica de forma diametral,

aplicando una carga uniforme sobre dos generatrices opuestas (arriba y abajo) hasta alcanzar la rotura.

El procedimiento de este ensayo fue el siguiente:

- Se pesó la probeta registrándose su masa en kg.
- Se determinó el diámetro superior e inferior de la probeta (en mm) con dos medidas perpendiculares por cara y se calculó el valor promedio.
- Se determinó la altura (en mm), midiendo dos generatrices opuestas y se calculó el promedio.
- Se determinó el área de la sección longitudinal media en mm².
- Se colocó una madera (mdf), de 3 mm de espesor, centrada en la platina inferior para evitar contacto directo entre el pistón de carga y la probeta.
- Se colocó la probeta de forma horizontal sobre el listón de madera.
- Se puso una cuña de madera para mantener estable la probeta e impedir que girara.
- Se colocó otro listón de madera, de iguales características que el anterior, sobre la generatriz ubicada en la posición superior.
- Se introdujeron los datos de la probeta en el ordenador que comanda la prensa.
- Se inició el ensayo en la prensa hidráulica y cuando ambas maderas estuvieron en contacto con el pistón, se retiró la cuña.
- Se observó el tipo de rotura y registró el valor de carga máxima obtenido en el momento de la misma, en kN, así como la tensión máxima en MPa.

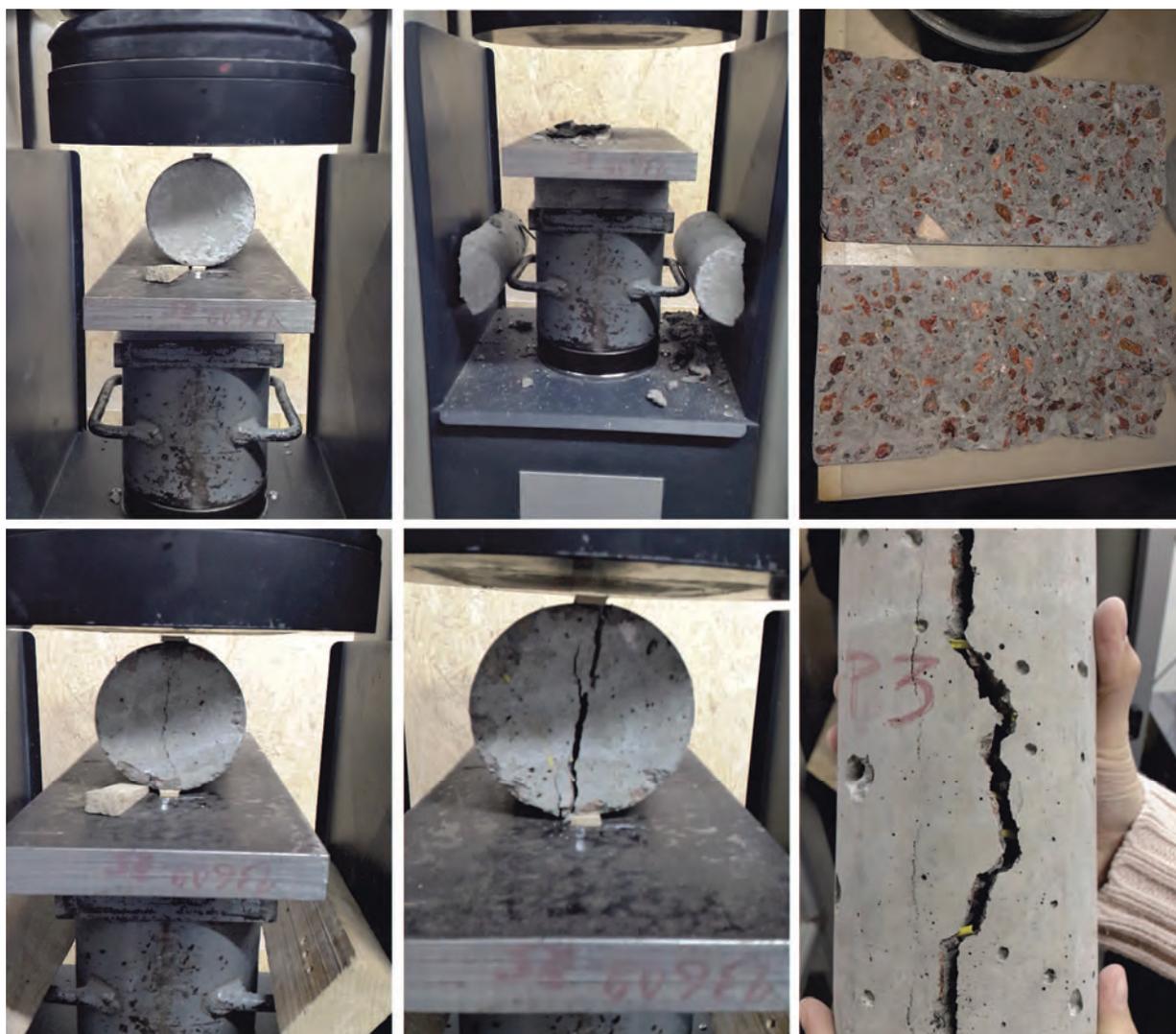


Imagen 22_Ensayo de tracción simple por compresión diametral

3.3.10. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN

Este ensayo se realizó según el procedimiento establecido en la norma española UNE 83507 [23] para ensayos de rotura por compresión de hormigones con fibra, ya que no contamos con normas nacionales para este tipo de hormigón. El ensayo a Compresión, se realizó a los 28 días, con las probetas correspondientes a la primera amasada. Se realizó para conocer la resistencia a la compresión, mediante una carga uniforme aplicada en el eje de la probeta. La resistencia del hormigón se obtuvo dividiendo la máxima carga soportada por la probeta entre el área promedio de la sección.

El procedimiento de este ensayo fue el siguiente:

- Se pesó la probeta y registró su masa en kg.
- Se determinó el diámetro superior e inferior de la probeta (en mm) con dos medidas perpendiculares por cara y se calculó el valor promedio.
- Se determinó la altura (en mm), midiendo dos generatrices opuestas y se calculó el promedio.
- Como encabezado se utilizaron discos de neopreno los cuales se colocaron en ambas caras circulares de las probeta y luego se centró el conjunto en el plato de la prensa.
- Se indicaron los parámetros de ensayo en el pc y se inició el ensayo en la prensa hidráulica.
- Se observó el tipo de rotura registrando el valor de carga máxima en el momento de la rotura.



Imagen 23_Ensayo resistencia a la compresión

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1.1. DETERMINACION DE LA CONSISTENCIA MEDIANTE CONO DE ABRAMS

Siguiendo el mismo procedimiento para los cuatro tipos de hormigón, el asentamiento obtenido fue distinto. Los resultados se observan en el siguiente gráfico.

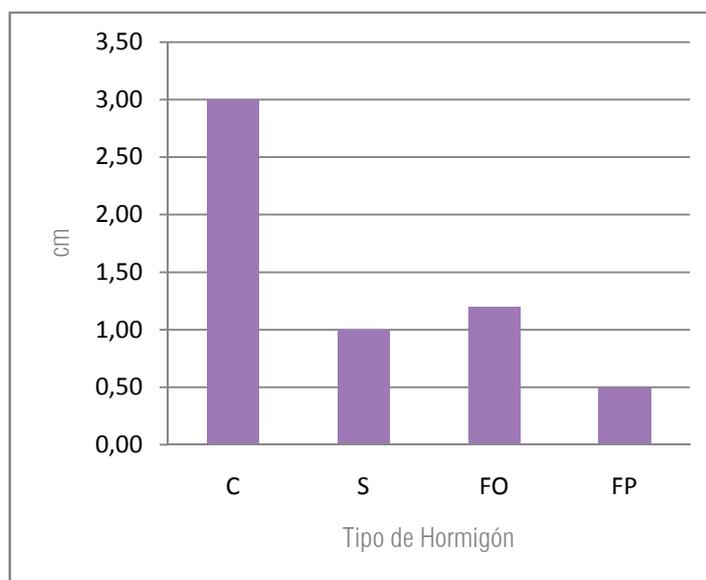


Gráfico 1 _Asentamiento del Cono de Abrams

- C _asentamiento: 3,00 cm
- S _asentamiento: 1,00 cm
- FO _asentamiento: 1,2 cm
- FP _asentamiento: 0,5 cm

Los resultados obtenidos se comparan con los valores de la tabla 3, presente en la Norma UNIT 1050:2005 [19] para relacionarlos con las distintas consistencias del hormigón. Los valores obtenidos en cada caso fueron:

- C: consistencia plástica por encontrarse el asentamiento entre 3 y 5 cm.
- S: consistencia seca por encontrarse el asentamiento entre 0 y 2 cm.
- FO: consistencia seca por encontrarse el asentamiento entre 0 y 2 cm.
- FP: consistencia seca por encontrarse entre 0 y 2 cm.

Tipo de Consistencia	Asiento en cm
Seca	0 – 2
Plástica	3 – 5
Blanda	6 – 9
Fluida	10 – 15

Tabla 3_ Consistencia de los hormigones frescos. Tabla 6 de la NORMA UNIT 1050:2005

Los valores de descenso obtenidos en los hormigones fibro-reforzados muestran una disminución respecto al control (sin fibras) quedando comprendidos entre el 16,7% y el 40% de los valores obtenidos en éste.

4.2. DETERMINACIÓN DE LA DUREZA SUPERFICIAL MEDIANTE ESCLERÓMETRO DE RESORTE

Como se mencionó anteriormente, al realizarse la medición a distintas edades se obtuvieron tres conjuntos de valores: 7 días, 14 días y 28 días.

En el ensayo realizado a los 7 días, ningún punto quedó fuera del rango, tal como se aprecia en la tabla 4, y se detectaron pocas áreas con indicios de carbonatación.

PROBETA	VALORES OBTENIDOS													
	NÚMERO DE REBOTES											PROMEDIO	MIN Admisible	MÁX Admisible
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9					
C4	12	15	15	13	13	12	15	14	16	13,9	8,9	18,9		
C5	9	9	9	12	11	13	12	14	12	11,2	6,2	16,2		
C6	12	14	14	16	16	10	12	12	9	12,8	7,8	17,8		
S4	9	10	10	12	11	14	13	11	11	11,2	6,2	16,2		
S5	11	12	11	12	12	13	10	9	15	11,7	6,7	16,7		
S6	13	14	11	17	16	15	11	12	10	13,2	8,2	18,2		
FO4	11	12	11	14	13	13	11	10	11	11,8	6,8	16,8		
FO5	11	12	12	13	15	14	14	11	11	12,6	7,6	17,6		
FO6	13	14	14	14	16	14	11	11	10	13,0	8,0	18,0		
FP4	11	10	9	12	13	13	9	12	13	11,3	6,3	16,3		
FP5	11	11	10	10	11	11	9	9	9	10,1	5,1	15,1		
FP6	9	11	10	14	12	11	14	11	12	11,6	6,6	16,6		

Tabla 4_ Ensayo de esclerometría: 7 días

En el ensayo realizado a los 14 días, se notó el incremento de zonas carbonatadas y 4 puntos quedaron fuera del rango, pero al recalcular el promedio todos los puntos quedaron comprendidos en el nuevo rango, tal como se aprecia en la tabla 5.

PROBETA	VALORES OBTENIDOS											
	ID	NÚMERO DE REBOTES									PROMEDIO	MINIMO
P1		P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9			
C4	12	14	14	16	13	17	14	16	14	14,4	9,4	19,4
C5	15	19	17	15	14	15	11	12	11	14,3	9,3	19,3
C6	13	12	13	11	14	12	10	15	9	12,1	7,1	17,1
S4	14	14	13	14	15	15	10	10	11	12,9	7,9	17,9
S5	12	9	13	14	16	15	14	15	15	13,7	8,7	18,7
S6	16	14	16	14	18	18	15	15	15	15,7	10,7	20,7
FO4	16	14	15	15	15	16	17	16	16	15,6	10,6	20,6
FO5	13	15	16	13	22	16	9	9	10	13,7	8,7	18,7
FO6	13	16	17	16	17	14	12	12	10	14,1	9,1	19,1
FP4	18	18	16	15	15	16	9	10	10	14,1	9,1	19,1
FP5	14	16	13	15	14	20	11	13	13	14,3	9,3	19,3
FP6	19	18	16	13	14	14	9	10	9	13,6	8,6	18,6
Ajustes:												
FO5	13	15	16	13	0	16	9	9	10	12,6	7,6	17,6
FP4	18	18	16	15	15	16	0	10	10	14,8	9,8	19,8
FP5	14	16	13	15	14	0	11	13	13	13,6	8,6	18,6
FP6	0	18	16	13	14	14	9	10	9	12,9	7,9	17,9

Tabla 5_ Ensayo de esclerometría: 14 días

En el ensayo realizado a los 28 días, 15 puntos quedaron fuera del rango, y al recalcular el promedio, sólo un punto de la muestra de fibras comerciales (S4) quedó fuera del nuevo rango, tal como se aprecia en la tabla 6. Se detectó carbonatación en todos los ejemplares procediéndose al retiro de esa capa según procedimiento indicado anteriormente.

PROBETA	VALORES OBTENIDOS											
ID	NÚMERO DE REBOTES									PROMEDIO	MINIMO	MÁXIMO
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9			
C4	20	19	19	29	21	20	14	14	12	18,7	13,7	23,7
C5	22	20	22	20	20	21	10	12	13	17,8	12,8	22,8
C6	19	17	16	18	19	21	17	16	18	17,9	12,9	22,9
S4	18	19	15	15	19	19	10	11	10	15,1	10,1	20,1
S5	19	21	18	18	20	20	13	14	14	17,4	12,4	22,4
S6	21	22	17	19	19	18	14	14	16	17,8	12,8	22,8
FO4	23	22	20	18	21	20	12	18	16	18,9	13,9	23,9
FO5	18	19	20	20	18	18	25	15	18	19,0	14,0	24,0
FO6	20	20	22	20	19	19	18	18	16	19,1	14,1	24,1
FP4	26	24	22	18	17	18	11	12	12	17,8	12,8	22,8
FP5	17	17	20	17	19	16	10	16	10	15,8	10,8	20,8
FP6	16	17	18	20	22	22	17	20	18	18,9	13,9	23,9
Ajustes:												
C4	20	19	19	0	21	20	14	14	0	18,1	13,1	23,1
C5	22	20	22	20	20	21	0	0	13	19,7	14,7	24,7
S4	18	19	15	15	19	19	0	11	0	16,6	11,6	21,6
FO4	23	22	20	18	21	20	0	18	16	19,8	14,8	24,8
FO5	18	19	20	20	18	18	0	15	18	18,3	13,3	23,3
FP4	0	0	22	18	17	18	0	0	0	18,8	13,8	23,8
FP5	17	17	20	17	19	16	0	16	0	17,4	12,4	22,4
Ajustes 2:												
S4	18	19	15	15	19	19	0	0	0	17,5	12,5	22,5

Tabla 6_Ensayo de esclerometría: 28 días

A continuación se presentan los resultados obtenidos con los valores medios de los distintos tipos de hormigón.

ID	MEDIA	DESVIACION ESTANDAR	COEF. DE VARIACION
	Nº REBOTE	Nº REBOTE	(%)
C	13	1,3	11%
S	12	1,1	9%
FO	12	0,6	5%
FP	11	0,8	7%

Tabla 7_Proceso de datos ensayo de esclerometría: 7 días

ID	MEDIA	DESVIACION ESTANDAR	COEF. DE VARIACION
	Nº REBOTE	Nº REBOTE	(%)
C	14	1,32	10%
S	14	1,43	10%
FO	14	0,99	7%
FP	14	0,40	3%

Tabla 8_ Proceso de datos ensayo de esclerometría: 14 días

ID	MEDIA	DESVIACION ESTANDAR	COEF. DE VARIACION
	Nº REBOTE	Nº REBOTE	(%)
C	18	0,48	3%
S	17	1,45	9%
FO	19	0,11	1%
FP	17	1,58	9%

Tabla 9_ Proceso de datos ensayo de esclerometría: 28 días

Algunos autores plantean que los materiales de construcción pueden alcanzar coeficientes de variación de hasta el 20%. En el ensayo a 7 días el coeficiente de variación oscila entre 5% y 11% , a los 14 días entre 3% y 10% y a los 28 días entre 1% y 9%. Por lo tanto determinamos que los valores de los resultados obtenidos en los ensayos son medianamente fiables.

A continuación se grafica simultáneamente los distintos valores de dureza superficial de los 4 tipos de hormigón analizados en las tres edades mediante el ensayo de esclerómetro.

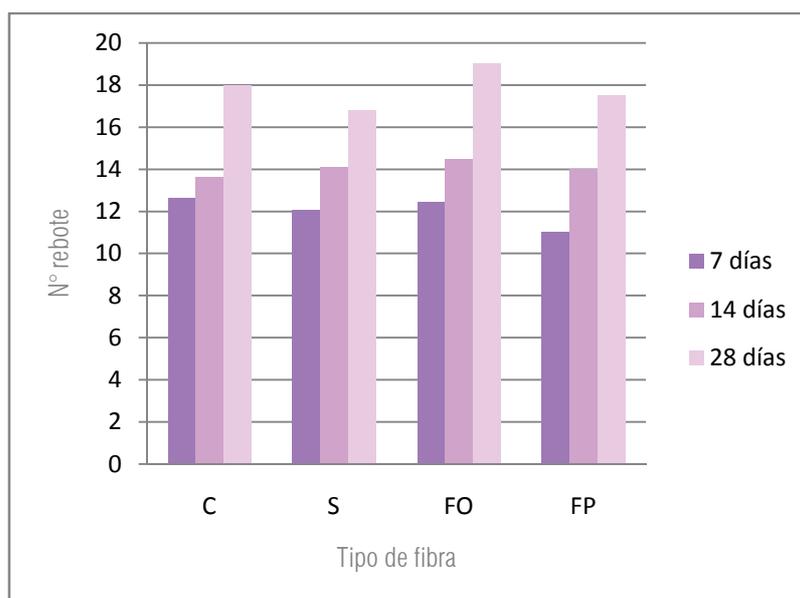


Gráfico 2_Esclerometría

Tal como era de esperar y se observa en el gráfico, en todos los casos la resistencia superficial del hormigón, tuvo su mayor incremento en los primeros 7 días, registrando valores entre el 63,2% y 72,2% de la resistencia que alcanzó a los 28 días; en todos los casos continuó aumentando con la edad del mismo.

Para la muestra control a los 7 días alcanzó un 72,2% del valor de la resistencia que alcanzó a los 28 días. El aumento entre los 7 y 14 días fue de 5,5% y entre los 14 y 28 días de 22,3%.

Para la muestra S a los 7 días alcanzó un 70,6% del valor de la resistencia que alcanzó a los 28 días. El aumento entre los 7 y 14 días fue de 11,7% y entre los 14 y 28 días de 17,7%.

Para la muestra FO a los 7 días alcanzó un 63,2% del valor de la resistencia que alcanzó a los 28 días. El aumento entre los 7 y 14 días fue de 10,53% y entre los 14 y 28 días de 26,3%.

Para la muestra FP a los 7 días alcanzó un 64,7% del valor de la resistencia que alcanzó a los 28 días. El aumento entre los 7 y 14 días fue de 17,6% y entre los 14 y 28 días de 17,7%.

A partir del gráfico podemos observar que los hormigones fibroreforzados no presentan resultados tan dispares de la muestra control por lo que la incorporación de fibras, no incide significativamente

en la resistencia superficial. Sin embargo se obtuvieron los mayores resultados en los ejemplares de hormigón reforzado con fibra óptica.

4.3. DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN DE PULSOS ULTRASÓNICOS

En este ensayo se determinaron los valores de propagación de onda ultrasónica en diferentes edades del hormigón: 7 días, 14 días y 28 días, tal como se aprecia en las siguientes tablas:

ID	ALTURA			VALORES OBTENIDOS	VELOCIDAD
	h1	h2	Prom.	μ segundos	m/s
C4	200	200	200,00	58,2	3436,4
C5	202	198	200,00	65,5	3053,4
C6	200	199	199,50	80,0	2493,8
S4	203	199	201,00	66,7	3013,5
S5	200	200	200,00	65,0	3076,9
S6	203	203	203,00	60,0	3383,3
FO4	201	204	202,50	60,8	3330,6
FO5	200	200	200,00	63,5	3149,6
FO6	201	202	201,50	59,2	3403,7
FP4	199	199	199,00	60,0	3316,7
FP5	197	198	197,50	59,5	3319,3
FP6	199	199	199,00	63,2	3148,7

Tabla 10_Ensayo de ultrasonido: 7 días

ID	ALTURA			VALORES OBTENIDOS	VELOCIDAD
	h1	h2	Prom.	μ segundos	m/s
C4	200	200	200,00	56,3	3552,4
C5	202	198	200,00	59,8	3344,5
C6	200	199	199,50	60,3	3308,5
S4	203	199	201,00	60,7	3311,4
S5	200	200	200,00	62,3	3210,3
S6	203	203	203,00	58,5	3470,1
FO4	201	204	202,50	53,4	3792,1
FO5	200	200	200,00	58,8	3401,4
FO6	201	202	201,50	56,5	3566,4
FP4	199	199	199,00	57,0	3491,2
FP5	197	198	197,50	60,2	3280,7
FP6	199	199	199,00	59,7	3333,3

Tabla 11_Ensayo de ultrasonido: 14 días

ID	ALTURA			VALORES OBTENIDOS	VELOCIDAD
	h1	h2	Prom.	μ segundos	m/s
C4	200	200	200,00	55,5	3603,6
C5	202	198	200,00	58,2	3436,4
C6	200	199	199,50	61,7	3233,4
S4	203	199	201,00	59,8	3361,2
S5	200	200	200,00	59,3	3372,7
S6	203	203	203,00	57,8	3512,1
FO4	201	204	202,50	59,2	3420,6
FO5	200	200	200,00	58,0	3448,3
FO6	201	202	201,50	56,8	3547,5
FP4	199	199	199,00	57,2	3479,0
FP5	197	198	197,50	57,5	3434,8
FP6	199	199	199,00	61,0	3262,3

Tabla 12_ Ensayo de ultrasonido: 28 días

A continuación se presentan los resultados obtenidos con los valores medios de velocidad de propagación según las distintas dosificaciones.

ID	VELOCIDAD	DESVIACION ESTANDAR	COEF. DE VARIACION
	m/s	m/s	(%)
C	2994,5	474,09	16%
S	3157,9	197,78	6%
FO	3294,6	130,81	4%
FP	3261,6	97,73	3%

Tabla 13_Proceso de datos ensayo ultrasonido: 7 días

ID	VELOCIDAD	DESVIACION ESTANDAR	COEF. DE VARIACION
	m/s	m/s	(%)
C	3401,8	131,68	4%
S	3330,6	130,97	4%
FO	3586,6	196,17	5%
FP	3368,4	109,55	3%

Tabla 14_Proceso de datos ensayo ultrasonido: 14 días

ID	VELOCIDAD	DESVIACION ESTANDAR	COEF. DE VARIACION
	m/s	m/s	(%)
C	3424,5	185,40	5%
S	3415,3	84,01	2%
FO	3472,1	66,74	2%
FP	3392,0	114,51	3%

Tabla 15_Proceso de datos ensayo de ultrasonido: 28 días

Los valores de velocidad media en las distintas dosificaciones y sus variaciones en el transcurso del tiempo se pueden apreciar en la siguiente gráfica:

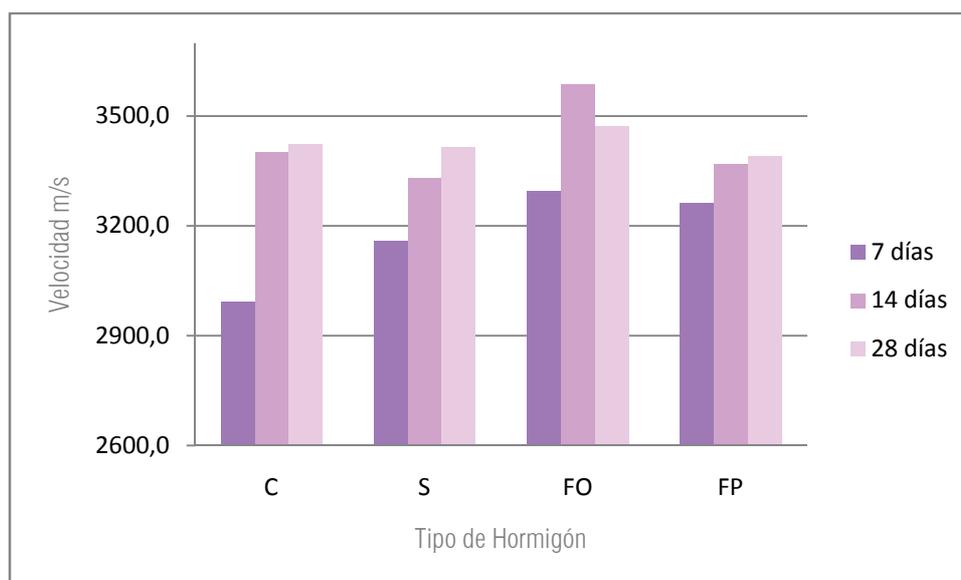


Gráfico 3_ Ultrasonido

Sobre los resultados arrojados por el ensayo de ultrasonido; comparando los valores de una misma probeta analizada en las tres distintas edades (7,14 y 28 días) detectamos lo siguiente:

En general los valores aumentan a medida que avanza la edad de la probeta.

- C: A los 28 días se obtiene el valor máximo 3424,5 m/s. A los 14 días el valor aumenta 13,6% y a los 7 días el resultado aumenta 14,4% respecto al valor de los 7 días.
- S: A los 28 días se obtiene el valor máximo 3415,3 m/s. A los 14 días el valor aumenta 5,5% y a los 7 días aumenta 8,2% respecto a los valores de los 7 días.
- FO: A los 14 días se obtiene el valor máximo 3586,6 m/s. A los 7 días el valor aumenta 8,9% y a los 28 días los resultados aumentan 5,4% respecto a los valores de los 7 días. Éste es el único caso en el que a los 14 días se presenta el valor máximo obtenido, disminuyendo hacia los 28 días.
- FP: A los 28 días se obtiene el valor máximo 3392,0 m/s. A los 14 días el valor aumenta 3,3% y a los 7 días aumenta 3,9% respecto a los valores de los 7 días.
- Analizando comparativamente los resultados a los 28 días entre los distintos tipos de hormigón, se observó que FO es la que presenta el mayor valor de velocidad, le sigue la muestra C, luego S y el menor valor de velocidad es 3393 m/s de FP.

4.4. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A TRACCIÓN SIMPLE POR COMPRESIÓN DIAMETRAL

Este ensayo fue realizado a los 28 días, para determinar la resistencia a la tracción por compresión diametral de los ejemplares de hormigón fibroreforzado y control. El ensayo de las muestras se realizó con una velocidad de carga 0,05MPa/seg y un pico de sensibilidad de 15kN. Los valores obtenidos se observan en la siguiente tabla.

ID	MASA (Kg)	DIMENSIONES (mm)									LECTURA DE CARGA	
		DIAMETRO					ALTURA			ÁREA	(kN)	(MPa)
		Superior	Inferior	Prom.	h1	h2	Prom.	cm2				
C1	3,49	98	99	99	99	98,8	200	198	199,0	19651	98,5	3,20
C2	3,42	100	100	99	99	99,5	200	199	199,5	19850	85,0	2,75
C3	3,46	99	100	99	99	99,3	200	198	199,0	19751	86,9	2,80
S1	3,50	100	99	99	100	99,5	230	200	215,0	21393	107,6	3,00
S2	3,52	100	100	99	99	99,5	240	250	245,0	24378	111,1	3,05
S3	3,46	98	100	99	100	99,3	190	210	200,0	19850	103,2	2,75
FO1	3,47	99	99	99	99	99,0	210	220	215,0	21285	100,8	2,70
FO2	3,22	96	96	96	96	96,0	198	190	194,0	18624	89,3	3,10
FO3	3,49	100	100	98	99	99,3	220	220	220,0	21835	94,9	2,75
FP1	3,51	99	99	99	100	99,3	220	240	230,0	22828	96,9	3,20
FP2	3,45	98	100	99	99	99,0	198	199	198,5	19652	96,0	2,90
FP3	3,24	100	96	96	96	97,0	250	195	222,5	21583	92,7	3,30

Tabla 16_ Ensayo de Tracción Simple por compresión diametral: 28 días

La tensión se obtiene mediante la siguiente fórmula que relaciona la dimensión de la probeta con la fuerza:

$$F_{ct} = \frac{2 \cdot F}{\pi \cdot L \cdot d}$$

Dónde:

F es la fuerza máxima, L la altura de la probeta, d el diámetro de la probeta

El valor medio de la tensión máxima soportada por cada tipo de hormigón se observa en la siguiente tabla, así como los coeficientes de variación.

ID	CARGA	d .L	Tensión	MEDIA	DESVIACION ESTANDAR	COEF. DE VARIACION
	(N)	(mm ²)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(%)
C	98500	19661	3,20	2,92	0,25	8,5%
	85000	19850	2,75			
	86900	19761	2,80			
S	100800	21285	3,00	2,93	0,16	5,5%
	89300	18624	3,05			
	94900	21846	2,75			
FO	96900	22839	2,70	2,85	0,22	7,6%
	96000	19652	3,10			
	92700	21583	2,75			
FP	107600	21393	3,20	3,13	0,21	6,6%
	111100	24378	2,90			
	103200	19860	3,30			

Tabla 17 _Proceso de datos ensayo tracción simple por compresión diametral: 28 días

En el siguiente gráfico se puede observar comparativamente los valores medios de resistencia obtenidos para cada tipo de hormigón.

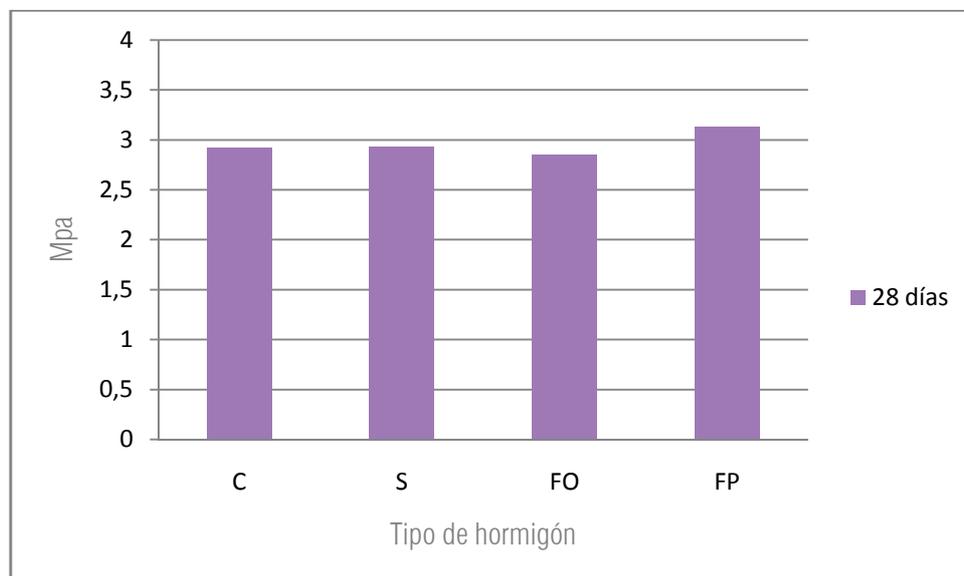


Gráfico 4_ Tracción simple por compresión diametral

En esta gráfica se puede observar que los valores medios se encuentran entre 2,85MPa y 3,13MPa. El hormigón fibroreforzado con fibras de polipropileno (S) es el que presenta una mayor resistencia ante las sollicitaciones de tracción mostrando un incremento del 8% respecto al hormigón control (C). Se detectó que el hormigón con fibra óptica (FO), si bien resistió 6,7% menos que S,

incrementó la resistencia respecto al hormigón sin fibras (C) en un 1,3%. La muestra con (FP) disminuye la resistencia en 2% respecto a la muestra (C).

4.5. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN

Este ensayo se realizó a la edad de 28 días para determinar la resistencia a la compresión de las probetas cilíndricas. El ensayo de las muestras se realizó con una velocidad de carga 0,25MPa/seg y un pico de sensibilidad de 15kN. Los valores obtenidos se observan en la siguiente tabla.

ID	MASA (Kg)	DIMENSIONES (mm)								LECTURA DE CARGA	
		DIAMETRO					ALTURA			(kN)	(MPa)
		Superior	Inferior	Prom.	h1	h2	Prom.				
C4	3,48	100	100	99	100	99,75	200	200	200,00	213,90	27,34
C5	3,46	100	99	98	99	99,00	202	198	200,00	206,40	26,81
C6	3,42	100	100	98	99	99,25	200	199	199,50	191,60	24,74
S4	3,27	97	107	95	96	98,75	203	199	201,00	176,50	23,02
S5	3,46	98	104	99	100	100,25	200	200	200,00	192,80	24,40
S6	3,50	98	100	99	100	99,25	203	203	203,00	208,00	26,85
FO4	3,48	99	101	98	100	99,50	201	204	202,50	216,80	27,88
FO5	3,47	100	100	99	99	99,50	200	200	200,00	211,40	27,19
FO6	3,47	98	100	99	99	99,00	201	202	201,50	233,90	30,39
FP4	3,43	100	102	99	100	100,25	199	199	199,00	202,90	25,68
FP5	3,20	96	96	96	98	96,50	197	198	197,50	184,00	25,16
FP6	3,44	98	100	99	100	99,25	199	199	199,00	196,30	25,35

Tabla 18_ Ensayo Resistencia a la Compresión: 28 días

El valor medio de la tensión máxima soportada por cada tipo de hormigón se observa en la siguiente tabla, así como los coeficientes de variación.

ID	MEDIA	DESVIACION ESTANDAR	COEF. DE VARIACION
	(MPa)	(MPa)	(%)
C	26,30	1,37	5%
S	24,76	1,94	8%
FO	28,49	1,68	6%
FP	25,40	0,26	1%

Tabla 19_Proceso de datos ensayo de resistencia a la compresión: 28 días

En el siguiente gráfico se puede observar y comparar los valores medios de resistencia obtenidos para cada tipo de hormigón.

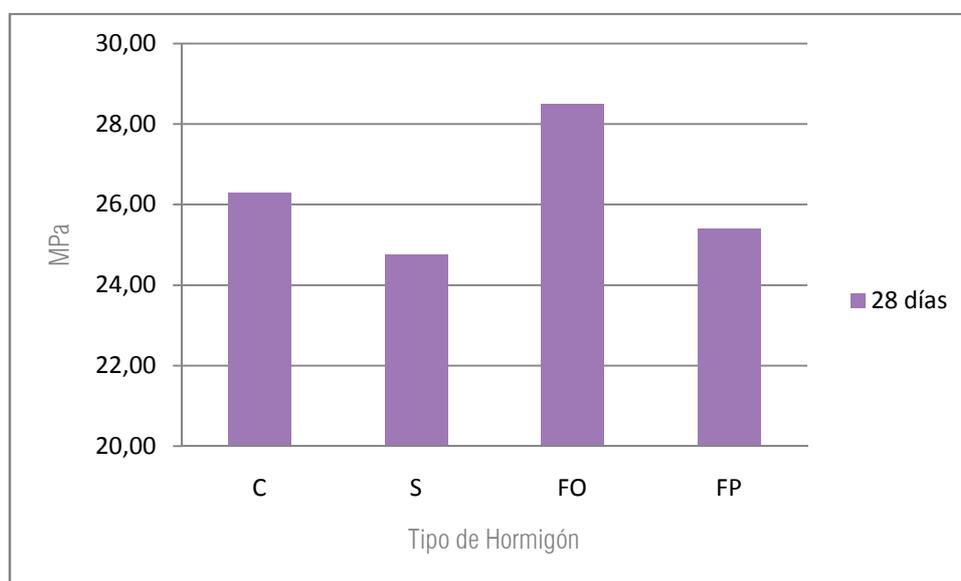


Gráfico 5_ Resistencia a la compresión

Se observa que los ejemplares de fibra óptica (FO) resisten 15% más que aquellos reforzados con fibras comerciales (S) los cuales presentaron los valores más bajos. Los ejemplares de FO, resisten 8,3% más que el hormigón sin fibrorefuerzo (C) y 11% más que aquellos reforzados con (FP). Resulta interesante comparar los valores de resistencia a la compresión, con la densidad

aparente de cada una de las probetas. El cálculo de la densidad aparente para los distintos tipos de hormigón se aprecia en la siguiente tabla.

ID	MASA (Kg)	DIMENSIONES (mm)									VOLUMEN m ³	DENSIDAD Kg/m ³	
		DIAMETRO (mm)					RADIO	ALTURA (mm)					h.Prom.
		Superior	Inferior	Prom.	(m)	h1	h2	Prom.	(m)				
C1	3,49	98	99	99	99	98,75	0,05	200	198	199,00	0,20	0,0015	2295,62
C2	3,42	100	100	99	99	99,50	0,05	200	199	199,50	0,20	0,0015	2207,45
C3	3,46	99	100	99	99	99,25	0,05	200	198	199,00	0,20	0,0015	2253,01
S1	3,50	100	99	99	100	99,50	0,05	230	200	215,00	0,21	0,0016	2169,27
S2	3,52	100	100	99	99	99,50	0,05	240	250	245,00	0,25	0,0019	1829,07
S3	3,46	98	100	99	100	99,25	0,05	190	210	200,00	0,21	0,0016	2181,58
FO1	3,47	99	99	99	99	99,00	0,05	210	220	215,00	0,22	0,0017	2072,57
FO2	3,22	96	96	96	96	96,00	0,05	198	190	194,00	0,19	0,0014	2316,97
FO3	3,49	100	100	98	99	99,25	0,05	220	220	220,00	0,22	0,0017	2050,46
FP1	3,51	99	99	99	100	99,25	0,05	220	240	230,00	0,24	0,0018	1930,58
FP2	3,45	98	100	99	99	99,00	0,05	198	199	198,50	0,20	0,0015	2255,02
FP3	3,24	100	96	96	96	97,00	0,05	250	195	222,50	0,21	0,0015	2100,31

Tabla 20_Densidad Aparente

ID	MEDIA	DESVIACION ESTANDAR	COEF. DE VARIACION
	Kg/m ³	Kg/m ³	(%)
C	2252,0	44,0932	2%
S	2060,0	200,0604	10%
FO	2146,7	147,9045	7%
FP	2095,3	162,2798	8%

Tabla 21_Proceso de datos densidad aparente

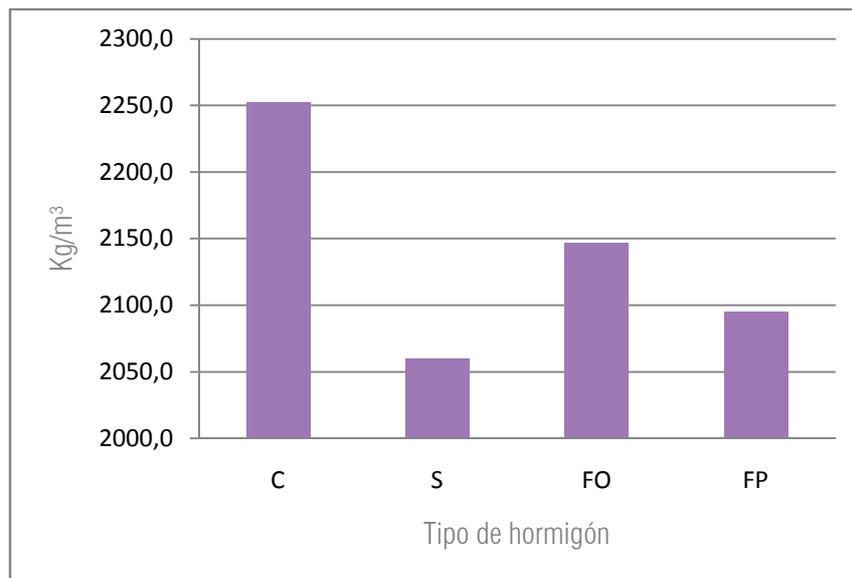


Gráfico 6_Densidad aparente

Se observa que en los hormigones fibroreforzados, disminuye la densidad aparente respecto al hormigón sin fibras (C). A su vez dentro de las muestras con fibras, la que presenta mayor densidad es (FO), con un 4,7% menos que (C), (FP) presenta 6,9% menos que (C) y la muestra que presentó el menor valor de densidad aparente (S): 2060 Kg/m³ con un 8,5% menos que (C).



Imagen 24_Dimensionado de probetas

Analizando comparativamente los resultados obtenidos del ensayo de Ultrasonido y Resistencia a la Compresión se observa con el ensayo del Ultrasonido no se puede estimar la resistencia que tendrá la probeta a los 28 días, como se observa en el gráfico a continuación.

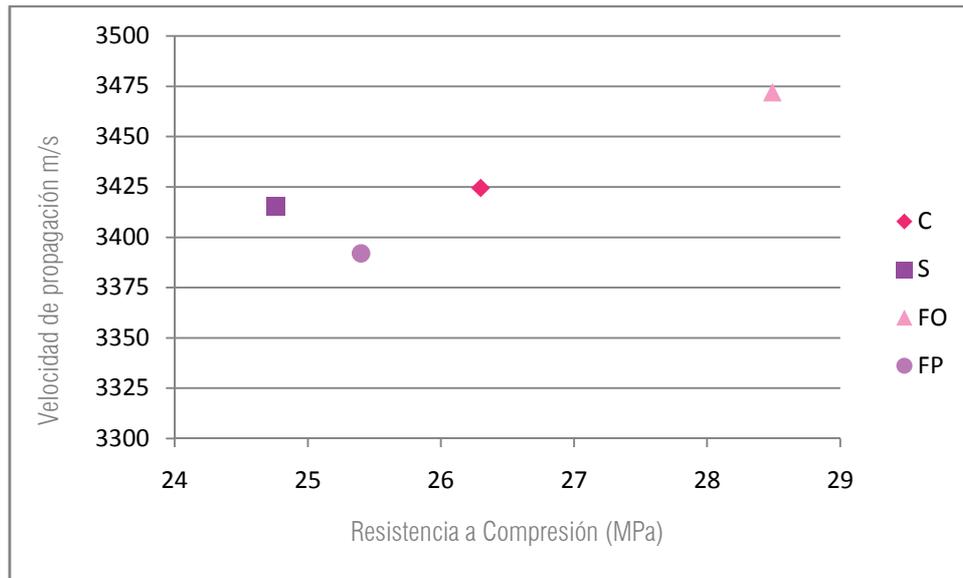


Gráfico 7 _Dispersión Ensayo Ultrasonido y Resistencia a la Compresión: 28 días

Analizando comparativamente los resultados obtenidos del ensayo de Compresión y la densidad aparente se observa que no hay una relación entre ambos, ya que el mayor valor de densidad corresponde a la muestra (C), mientras que en el ensayo de resistencia a la Compresión el mayor valor registrado fue de la muestra (FO).

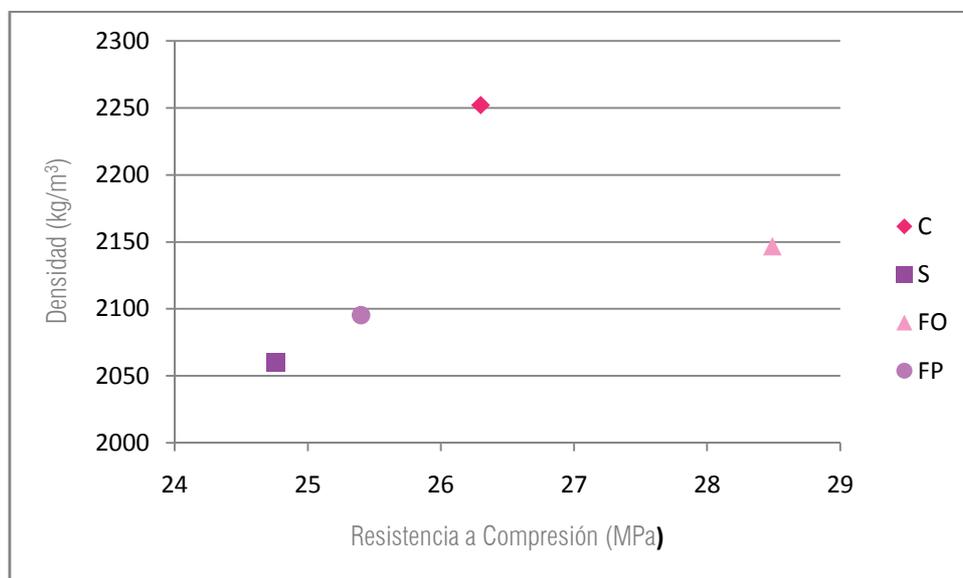


Gráfico 8 _Dispersión Densidad aparente y Resistencia a la Compresión: 28 días

5. CONCLUSIONES

Del punto de vista de la resistencia mecánica, es viable el empleo de fibras proveniente de residuos de cableados de telecomunicaciones para su uso en matrices cementicias. La valoración del uso de fibras es un aporte ambiental para la disminución de residuos urbanos.

El hormigón fibroreforzado, con todos los tipos de fibras estudiadas, presenta consistencia más seca que el hormigón sin fibras, y dado que el volumen de fibra es el mismo que el volumen de arena sustituido por ellas, esto puede ocurrir por la atracción electrostática que produce el polímero con el agua de la matriz. El hormigón con menor asentamiento fue el (FP) con 83,3% menos que la muestra control (C).

Como las fibras presentan menor resistencia que la matriz y áridos empleados se suponía que los resultados de esclerometría en hormigones sin fibras presentarían valores mayores de resistencia; en este caso se pudo observar que esta hipótesis no se cumple dado que de los hormigones ensayados las muestras que aportan mayor dureza superficial, son las de fibra óptica (FO), pudiéndose dar porque el ensayo se realiza superficialmente y si en la zona de ensayo no había presencia de fibras en realidad se estaba realizando en iguales condiciones que el hormigón control (sin fibras).

Según los resultados analizados en el ensayo de ultrasonido la presencia de las fibras genera un aumento en la velocidad de propagación. Debido a que es un ensayo no destructivo, es preciso analizarlo conjuntamente con los resultados del ensayo de resistencia a la compresión para determinar si efectivamente se estima el valor de dicha resistencia. Al comparar los resultados obtenidos del ensayo de ultrasonido con el de resistencia a la compresión, observamos que no hay una relación directa entre ambos, por lo que el ultrasonido en hormigones fibroreforzados no aporta datos fehacientes sobre la resistencia que alcanzará el hormigón.

Se podría avanzar en la construcción de una norma nacional de ultrasonido para hormigones con fibras para lo cual se requiere mucha investigación para validar los resultados.

El aumento de velocidad de la onda ultrasónica en una misma probeta con el pasar del tiempo, puede deberse a la pérdida de humedad en las mismas, ya que la presencia de humedad disminuye la velocidad del pulso. Según la norma UNIT-NM 58:98, una disminución mayor al 1% de humedad modifica la velocidad.

De la comparación del ensayo de ultrasonido y resistencia a la compresión, concluimos que a través de un ensayo no destructivo no podemos estimar la resistencia ni la tendencia del comportamiento entre los distintos tipos de hormigón frente a sollicitaciones de compresión.

Pudimos detectar mediante el ensayo de tracción indirecta que el aporte de fibras impide una fractura frágil de las piezas en el momento de la rotura.

Los hormigones fibroreforzados con (S) y con (FP) presentan mayor resistencia a la tracción que el hormigón sin fibroreforzar, por lo cual existe un aporte de estas fibras ante este tipo de sollicitación. Comparando la resistencia a la tracción entre los diferentes tipos de fibras, la mayor resistencia alcanzada es de las muestras con fibras de funda protectora (FP), con un 9,8% superior respecto a la muestra con (FO). Las muestras con (S) presentan un 2,8% más de resistencia que los hormigones con fibra óptica, esto puede justificarse debido a la superficie rugosa que presentan las fibras comerciales que permite mayor adherencia. Asimismo, las fibras obtenidas de la fibra óptica (FO) presentan una resistencia menor al control, lo cual se puede adjudicar a la falta de adherencia suficiente entre la fibra y la matriz, lo cual habría que verificar a través de ensayos específicos.

El hormigón fibroreforzado con fibra óptica presenta mayor resistencia a la compresión que el hormigón sin fibroreforzar. Asimismo, comparando los hormigones fibroreforzados con los diferentes tipos de fibra, concluimos que el hormigón con fibra óptica es más resistente que aquellos reforzados con fibras comerciales.

A partir de la relación de la densidad aparente con la resistencia a la compresión, concluimos que no hay relación, dado que los mayores valores de resistencia son de (FO), y la mayor densidad corresponde a (C).

Dado que, ante el esfuerzo de tracción existe similitud cuando se utilizan fibras comerciales y fibras provenientes de residuos de fibra óptica, es de suponer que también serán similar su desempeño a flexión, lo cual se deberá demostrar en futuras investigaciones.

6. REFERENCIAS

6.1. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Wikipedia. (2004, marzo) Wikipedia. [Online]. https://es.wikipedia.org/wiki/Fibra_%C3%B3ptica
- [2] ANTEL. [Online]. <http://www.antel.com.uy/antel/personas-y-hogares/internet/fibra-optica/que-es-fibra-optica/que-es-fibra-optica>
- [3] M. E. Fernández Iglesias, "Refuerzo de Matrices Cementicias mediante la Valoración de Fibras Sintéticas provenientes de Residuos Post-Consumo," Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España, Tesis Doctoral 2013.
- [4] V., Kuklik, P. Kolar, F., Kopecky, L., Nemecek, J. y Svitilova, J. Machovic, *Application of Raman Microscopy to evaluation of aging effect.*, 2008.
- [5] A.M.y Silva, D.A. Betioli, *Evaluation of Durability of PET Fibers Under Diverse*. Lyon, Francia, 2005.
- [6] L. Segura, *Algunas tendencias actuales en el diseño, control y aplicaciones del hormigón con fibras desarrolladas en Barcelona*. Montevideo, 2012.
- [7] EL PAIS. EL PAIS. [Online]. <http://www.elpais.com.uy/informacion/gobierno-estudia-impuesto-residuos.html>
- [8] GAIKER. [Online]. <http://www.gaiker.es/cas/noticias/gaiker-ik4-solucion-a-el-problema-de-reciclado-de-la-fibra-optica.aspx?id=d033f73c-0abc-454d-b9c3-04a65e97466c&pagina=13&origen=noticias>
- [9] M. y Alonso Lavarni, J.M. Gener Rizo, *The influence of natural pozzolana mineralogical composition in the properties of blended cement.*, 2002.
- [10] F. García-Díaz, I. Barba, A. Gazulla, M.F. Palacios, M. Gómez, M.P. y Martínez-Ramírez, S. Puertas, *Ceramic waste as alternative raw materials for Portland Cement Clinker Production.*, 2008.

- [11] S.B. Yi, N.H. Kim, H.Y. Kim, J.H.J. y Song, I.Ch. Kim, *Material and structural performance evaluation of recycled PET fibre on the mechanical properties of PET fibre reinforced with PET strips.*, 2010.
- [12] S. Sanabria, *Fibras obtenidas de envases post-consumo vs fibras sintéticas comerciales. Estudio Preliminar.* Montevideo, Uruguay, 2016.
- [13] SIKA, "Fibras Sintéticas para Hormigón y Mortero," SIKA, Montevideo, Uruguay, Ficha Técnica 195, 2014.
- [14] Y. Rodriguez, *Fibra óptica.* [Online].
<http://www.monografias.com/trabajos13/fibropt/fibropt.shtml#ixzz4NDEWHXUO>
- [15] Brandt A., "Cement Bases Composites," Taylor & Francis, 2009.
- [16] A., Mindess, S. Bentur, "Fibre Reinforced Cementitious Composites," Taylor & Francis, 2006.
- [17] A. Bentur, "Role of interfaces in controlling durability of fiber-reinforced cements," in *Journal of materials in civil engineering.*, 2000, pp. 2-7.
- [18] Y.W. y Li, V.C. Chan, "Age effect on the characteristics of fibre/cement interfacial properties," in *32, Journal of materials science.*, 1997, pp. 5287-5292.
- [19] UNIT, "Hormigón_Determinación de la consistencia mediante el asentamiento del tronco de cono," NORMA UNIT NM-67:98, 1998.
- [20] UNIT, "Hormigón Endurecido_Evaluación de la dureza superficial mediante el esclerómetro de resorte," NORMA UNIT-NM 78:98, 1998.
- [21] UNIT, "Hormigón endurecido_Determinación de la velocidad de propagación de pulsos ultrasónicos," NORMA UNIT-NM 58:98, 1998.
- [22] UNIT, "Hormigón_Determinación de la resistencia a tracción simple por compresión diametral," NORMA UNT-NM 8:1998, 1998.
- [23] UNE, "Hormigones con fibras_Rotura por Compresión," NORMA UNE 83507, 2004.

6.2. REFERENCIAS IMÁGENES

Imagen 1_Crecimiento de los números de usuarios. Fuente: Smalltechtalk-Internet Society	5
Imagen 2_Fibra óptica en zona metropolitana. Fuente: ANTEL	7
Imagen 3_Cable Coaxial .540.....	8
Imagen 4_Curva tensión deformación de una matriz con fibrorefuerzo. Fuente:[3].....	14
Imagen 5_Materiales: árido grueso-árido fino-cemento-agua	19
Imagen 6_Fibra óptica Siecor	20
Imagen 7_Dispositivo de corte longitudinal.....	21
Imagen 8_Elaboración de fibras: separación aramida, fibra, funda protectora y corte	22
Imagen 9_Elaboración de fibras: pesado y empaquetado.....	22
Imagen 10_Equipos utilizados para la elaboración del hormigón.....	23
Imagen 11_Moldes de PVC	24
Imagen 12_Equipo de ultrasonido	25
Imagen 13_Equipo para ensayos destructivos.....	26
Imagen 14_Elaboración de hormigón	29
Imagen 15_Elaboración de hormigón: incorporación de fibras al amasado.....	29
Imagen 16_Ensayo Cono de Abrams	31
Imagen 17_Llenado de probetas	32
Imagen 18_Curado de Probetas	34
Imagen 19_Rociamiento de probetas con Fenolftaleína y raspado con piedra abrasiva	36
Imagen 20_Ensayo esclerometría.....	37
Imagen 21_Ensayo Ultrasonido	38
Imagen 22_Ensayo de tracción simple por compresión diametral.....	40
Imagen 23_Ensayo resistencia a la compresión	41
Imagen 24_Dimensionado de probetas	57

6.3. REFERENCIAS TABLAS

Tabla 1_Cálculo de Dosificación: muestra control.....	28
Tabla 2_Cálculo de Dosificación: hormigón fibroreforzado	28
Tabla 3_Consistencia de los hormigones frescos. Tabla 6 de la NORMA UNIT 1050:2005	43
Tabla 4_Ensayo de esclerometría: 7 días	43
Tabla 5_Ensayo de esclerometría: 14 días	44
Tabla 6_Ensayo de esclerometría: 28 días	45
Tabla 7_Proceso de datos ensayo de esclerometría: 7 días	45
Tabla 8_Proceso de datos ensayo de esclerometría: 14 días	46
Tabla 9_Proceso de datos ensayo de esclerometría: 28 días	46
Tabla 10_Ensayo de ultrasonido: 7 días	48
Tabla 11_Ensayo de ultrasonido: 14 días	48
Tabla 12_Ensayo de ultrasonido: 28 días	49
Tabla 13_Proceso de datos ensayo ultrasonido: 7 días	49
Tabla 14_Proceso de datos ensayo ultrasonido: 14 días	50
Tabla 15_Proceso de datos ensayo de ultrasonido: 28 días	50
Tabla 16_Ensayo de Tracción Simple por compresión diametral: 28 días	52
Tabla 17_Proceso de datos ensayo tracción simple por compresión diametral: 28 días	53
Tabla 18_Ensayo Resistencia a la Compresión: 28 días	54
Tabla 19_Proceso de datos ensayo de resistencia a la compresión: 28 días	55
Tabla 20_Densidad Aparente	56
Tabla 21_Proceso de datos densidad aparente	56

6.4. REFERENCIAS GRÁFICOS

Gráfico 1_ Asentamiento del Cono de Abrams	42
Gráfico 2_ Esclerometría	47
Gráfico 3_ Ultrasonido	51
Gráfico 4_ Tracción simple por compresión diametral.....	53
Gráfico 5_ Resistencia a la compresión	55
Gráfico 6_ Densidad aparente	57
Gráfico 7_ Dispersión Ensayo Ultrasonido y Resistencia a la Compresión: 28 días.....	58
Gráfico 8_ Dispersión Densidad aparente y Resistencia a la Compresión: 28 días	58

7. ANEXOS

ID-VS

Compression test on concrete : EN 12390-3

Certificate number : Certificate date : 21/12/2009
Testing apparatus :
Customer :
Contact :
Tipo de probeta : cilindro 10x20 Cem.content kg/m³ :
Cement type : Preparation date : 17/08/2016
Specimen conditions:
On receipt : At time of test :
Sampling location : Sampling date : 21/12/2009
Specimen preparation :
Specimen ID. : C4

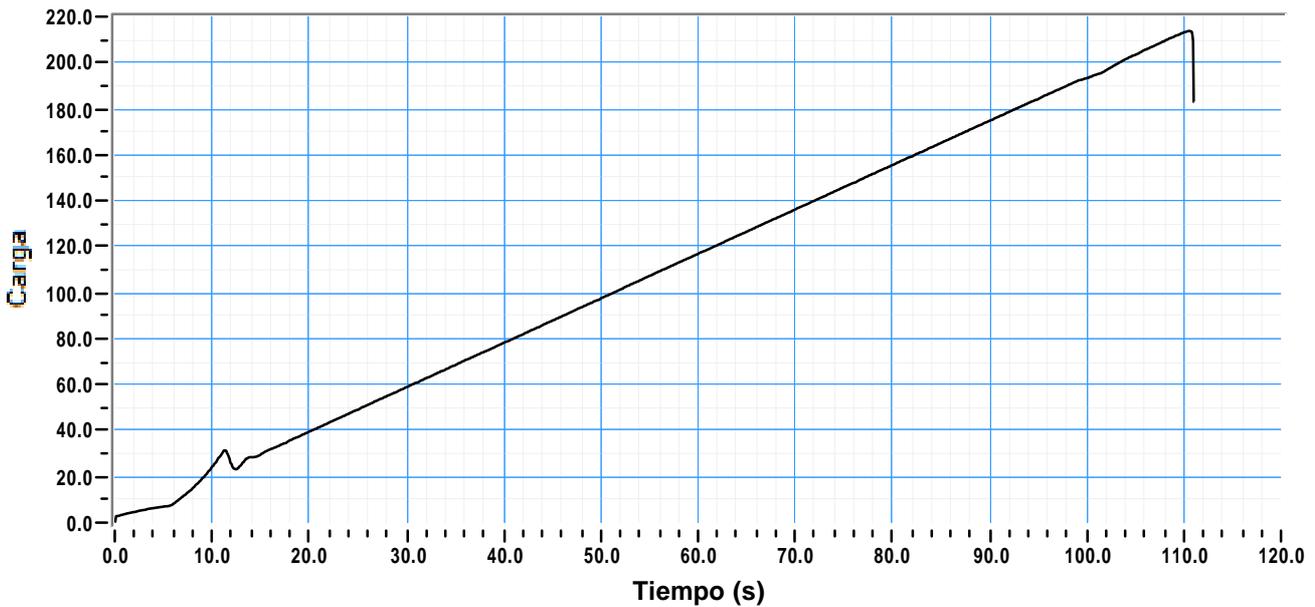
Resultados de ensayo

Dimensiones d(mm) 99.8 h(mm) 200.0 Masa (Kg) : 3.480

Densidad (Kg/m³) : 2224.3 Velocidad de carga MPa/s : 0.250
Area (mm²) : 7822.6 Edad : 28 Fecha de ensayo : 14/09/2016
Carga de rotura (kN) : 213.9 Resistencia (MPa) : 27.34
Failure appearance : Satisfactoria



Notes :



Operador

ID-VS

Compression test on concrete : EN 12390-3

Certificate number : Certificate date : 21/12/2009
Testing apparatus :
Customer :
Contact :
Tipo de probeta : cilindro 10x20 Cem.content kg/m³ :
Cement type : Preparation date : 17/08/2016
Specimen conditions:
On receipt : At time of test :
Sampling location : Sampling date : 21/12/2009
Specimen preparation :
Specimen ID. : C5

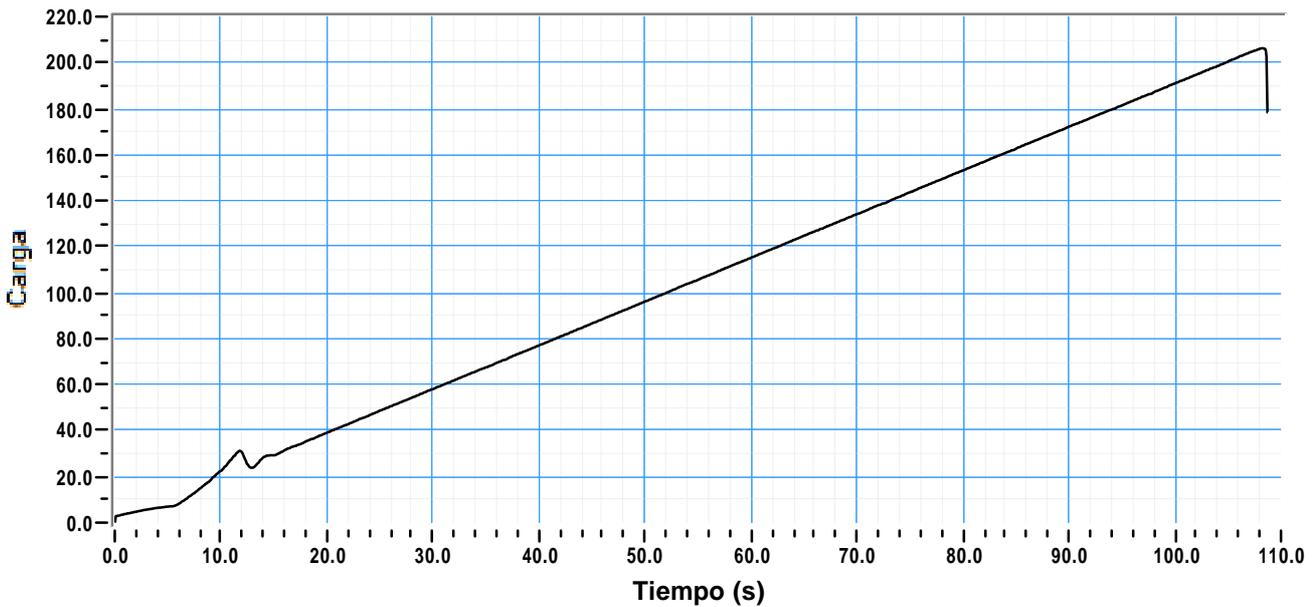
Resultados de ensayo

Dimensiones d(mm) 99.0 h(mm) 200.0 Masa (Kg) : 3.460

Densidad (Kg/m³) : 2247.4 Velocidad de carga MPa/s : 0.250
Area (mm²) : 7697.7 Edad : 28 Fecha de ensayo : 14/09/2016
Carga de rotura (kN) : 206.4 Resistencia (MPa) : 26.81
Failure appearance : Satisfactoria



Notes :



Operador

ID-VS

Compression test on concrete : EN 12390-3

Certificate number : Certificate date : 21/12/2009
Testing apparatus :
Customer :
Contact :
Tipo de probeta : cilindro 10x20 Cem.content kg/m³ :
Cement type : Preparation date : 17/08/2016
Specimen conditions:
On receipt : At time of test :
Sampling location : Sampling date : 21/12/2009
Specimen preparation :
Specimen ID. : C6

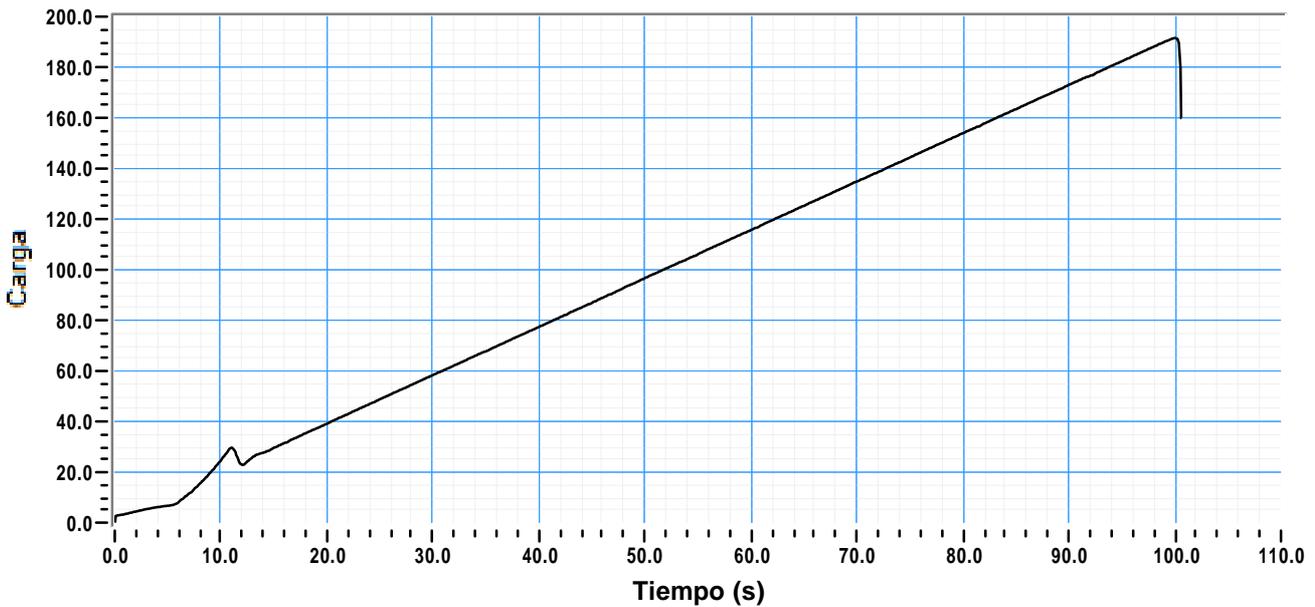
Resultados de ensayo

Dimensiones d(mm) 99.3 h(mm) 199.5 Masa (Kg) : 3.420

Densidad (Kg/m³) : 2213.6 Velocidad de carga MPa/s : 0.250
Area (mm²) : 7744.4 Edad : 28 Fecha de ensayo : 14/09/2016
Carga de rotura (kN) : 191.6 Resistencia (MPa) : 24.74
Failure appearance : Satisfactoria



Notes :



Operador

ID-VS

Compression test on concrete : EN 12390-3

Certificate number : Certificate date : 21/12/2009
Testing apparatus :
Customer :
Contact :
Tipo de probeta : cilindro 10x20 Cem.content kg/m³ :
Cement type : Preparation date : 17/08/2016
Specimen conditions:
On receipt : At time of test :
Sampling location : Sampling date : 21/12/2009
Specimen preparation :
Specimen ID. : FO4

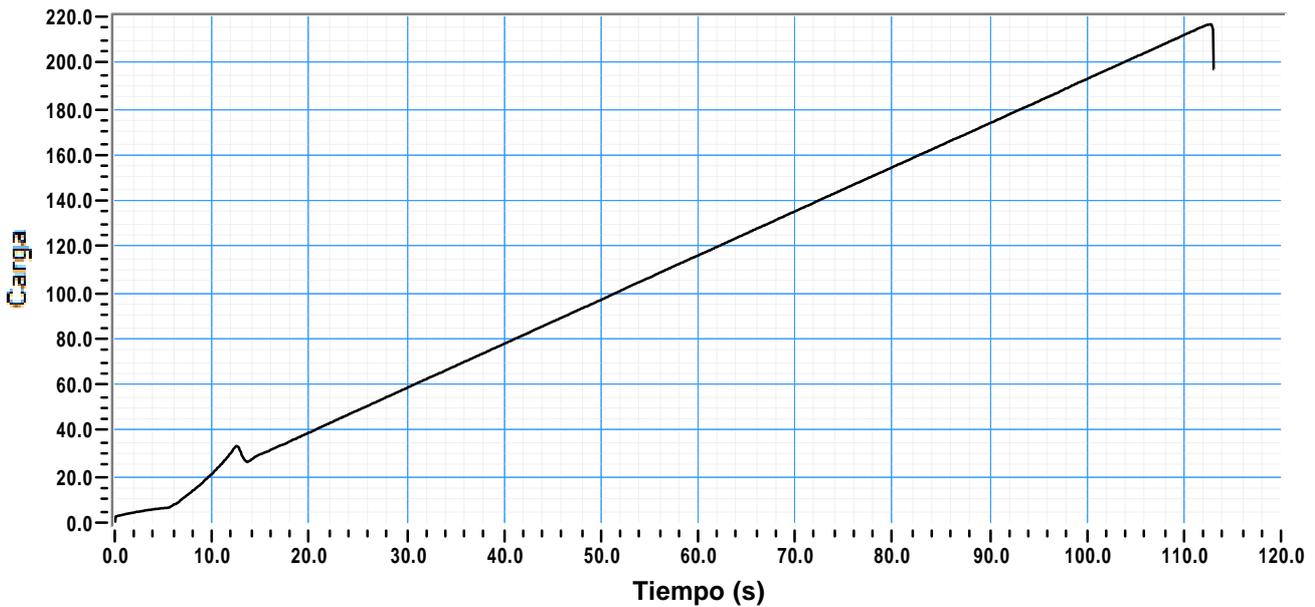
Resultados de ensayo

Dimensiones d(mm) 99.5 h(mm) 202.5 Masa (Kg) : 3.480

Densidad (Kg/m³) : 2210.1 Velocidad de carga MPa/s : 0.250
Area (mm²) : 7775.6 Edad : 28 Fecha de ensayo : 14/09/2016
Carga de rotura (kN) : 216.8 Resistencia (MPa) : 27.88
Failure appearance : Satisfactoria



Notes :



Operador

ID-VS

Compression test on concrete : EN 12390-3

Certificate number : Certificate date : 21/12/2009
Testing apparatus :
Customer :
Contact :
Tipo de probeta : cilindro 10x20 Cem.content kg/m³ :
Cement type : Preparation date : 17/08/2016
Specimen conditions:
On receipt : At time of test :
Sampling location : Sampling date : 21/12/2009
Specimen preparation :
Specimen ID. : FO5

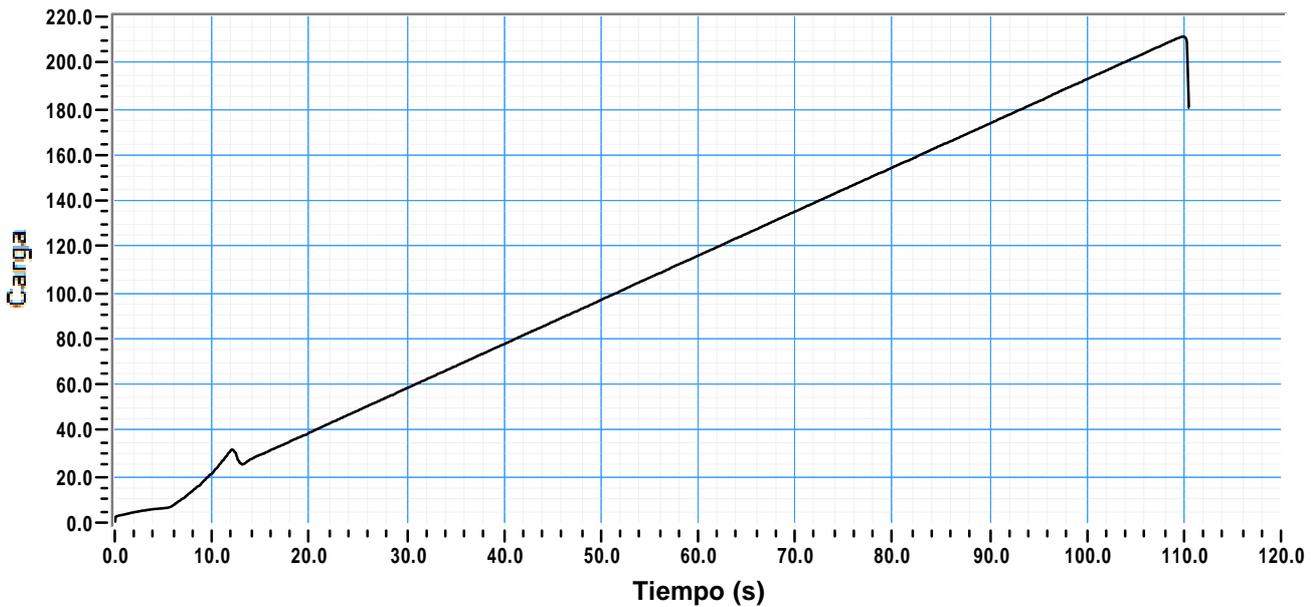
Resultados de ensayo

Dimensiones d(mm) 99.5 h(mm) 200.0 Masa (Kg) : 3.470

Densidad (Kg/m³) : 2231.3 Velocidad de carga MPa/s : 0.250
Area (mm²) : 7775.6 Edad : 28 Fecha de ensayo : 14/09/2016
Carga de rotura (kN) : 211.4 Resistencia (MPa) : 27.19
Failure appearance : Satisfactoria



Notes :



Operador

ID-VS

Compression test on concrete : EN 12390-3

Certificate number : Certificate date : 21/12/2009
Testing apparatus :
Customer :
Contact :
Tipo de probeta : cilindro 10x20 Cem.content kg/m³ :
Cement type : Preparation date : 17/08/2016
Specimen conditions:
On receipt : At time of test :
Sampling location : Sampling date : 21/12/2009
Specimen preparation :
Specimen ID. : FO6

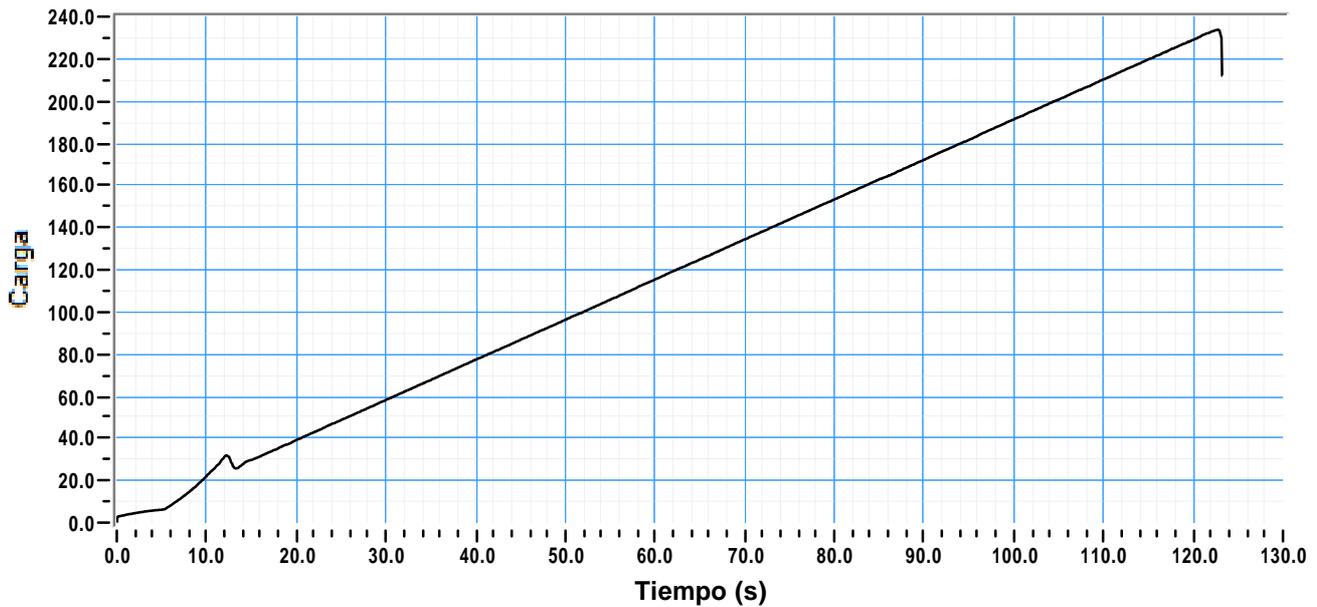
Resultados de ensayo

Dimensiones d(mm) 99.0 h(mm) 201.5 Masa (Kg) : 3.470

Densidad (Kg/m³) : 2237.1 Velocidad de carga MPa/s : 0.250
Area (mm²) : 7697.7 Edad : 28 Fecha de ensayo : 14/09/2016
Carga de rotura (kN) : 233.9 Resistencia (MPa) : 30.39
Failure appearance : Satisfactoria



Notes :



Operador

ID-VS

Compression test on concrete : EN 12390-3

Certificate number : Certificate date : 21/12/2009
Testing apparatus :
Customer :
Contact :
Tipo de probeta : cilindro 10x20 Cem.content kg/m³ :
Cement type : Preparation date : 17/08/2016
Specimen conditions:
On receipt : At time of test :
Sampling location : Sampling date : 21/12/2009
Specimen preparation :
Specimen ID. : FP4

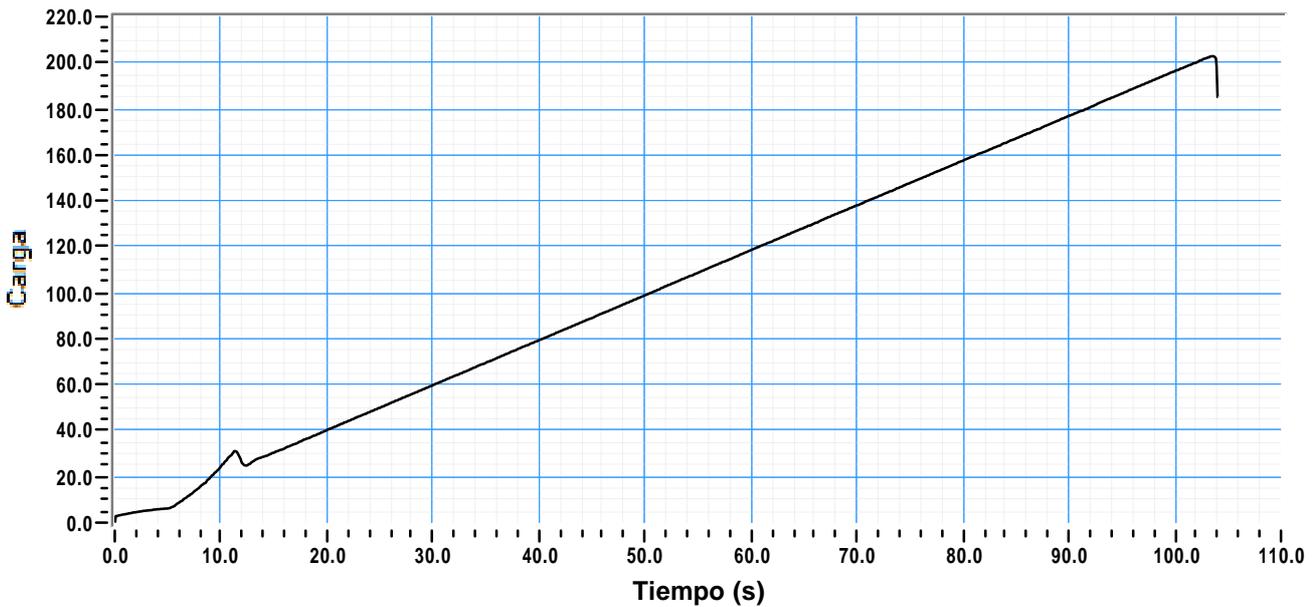
Resultados de ensayo

Dimensiones d(mm) 100.3 h(mm) 199.0 Masa (Kg) : 3.430

Densidad (Kg/m³) : 2181.5 Velocidad de carga MPa/s : 0.250
Area (mm²) : 7901.2 Edad : 28 Fecha de ensayo : 14/09/2016
Carga de rotura (kN) : 202.9 Resistencia (MPa) : 25.68
Failure appearance : Satisfactoria



Notes :



Operador

ID-VS

Compression test on concrete : EN 12390-3

Certificate number : Certificate date : 21/12/2009
Testing apparatus :
Customer :
Contact :
Tipo de probeta : cilindro 10x20 Cem.content kg/m³ :
Cement type : Preparation date : 17/08/2016
Specimen conditions:
On receipt : At time of test :
Sampling location : Sampling date : 21/12/2009
Specimen preparation :
Specimen ID. : FP5

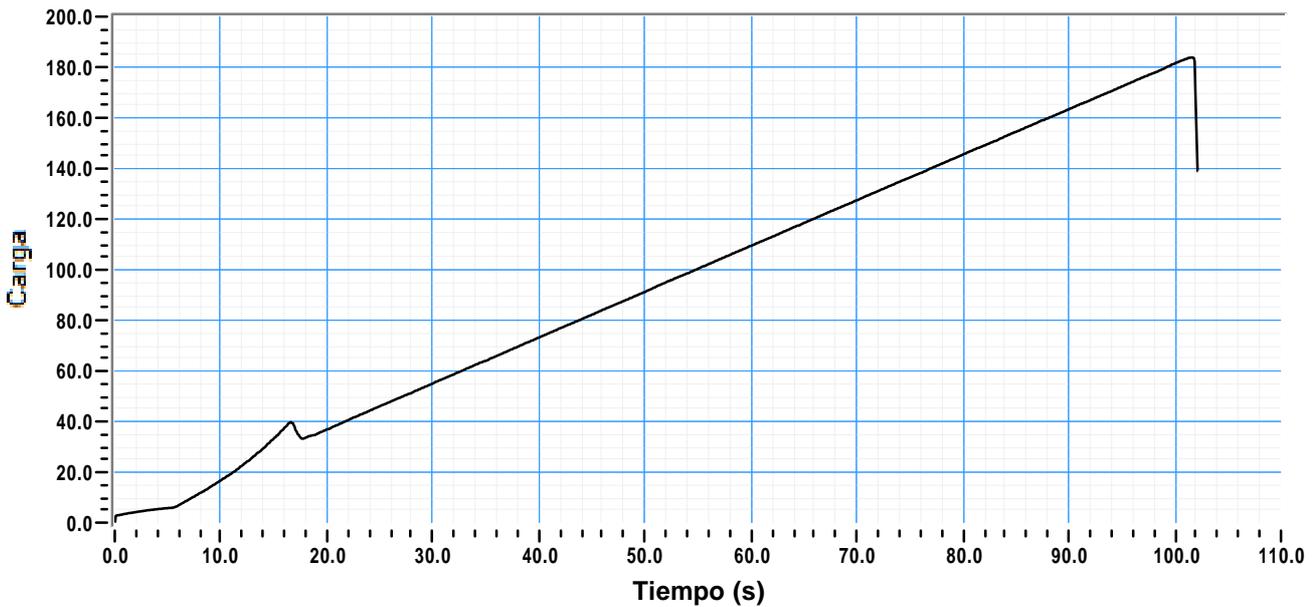
Resultados de ensayo

Dimensiones d(mm) 96.5 h(mm) 197.5 Masa (Kg) : 3.200

Densidad (Kg/m³) : 2215.3 Velocidad de carga MPa/s : 0.250
Area (mm²) : 7313.8 Edad : 28 Fecha de ensayo : 14/09/2016
Carga de rotura (kN) : 184.0 Resistencia (MPa) : 25.16
Failure appearance : Satisfactoria



Notes :



Operador

ID-VS

Compression test on concrete : EN 12390-3

Certificate number : Certificate date : 21/12/2009
Testing apparatus :
Customer :
Contact :
Tipo de probeta : cilindro 10x20 Cem.content kg/m³ :
Cement type : Preparation date : 17/08/2016
Specimen conditions:
On receipt : At time of test :
Sampling location : Sampling date : 21/12/2009
Specimen preparation :
Specimen ID. : FP6

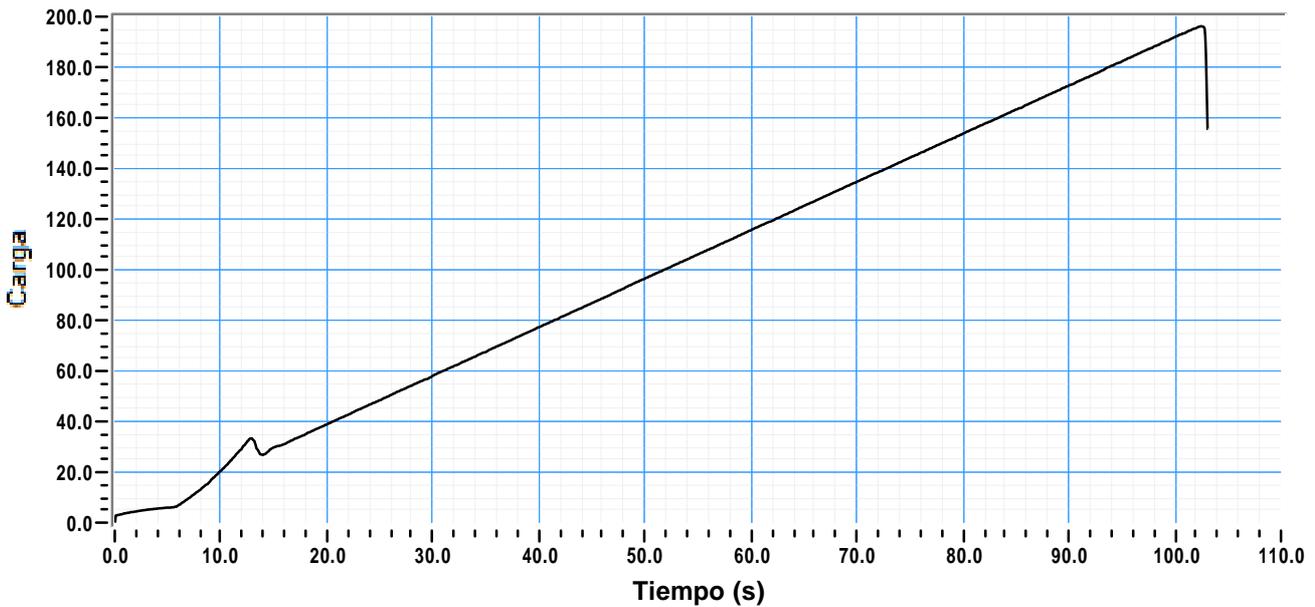
Resultados de ensayo

Dimensiones d(mm) 99.3 h(mm) 199.0 Masa (Kg) : 3.440

Densidad (Kg/m³) : 2232.1 Velocidad de carga MPa/s : 0.250
Area (mm²) : 7744.4 Edad : 28 Fecha de ensayo : 14/09/2016
Carga de rotura (kN) : 196.3 Resistencia (MPa) : 25.35
Failure appearance : Satisfactoria



Notes :



Operador

ID-VS

Compression test on concrete : EN 12390-3

Certificate number : Certificate date : 21/12/2009
Testing apparatus :
Customer :
Contact :
Tipo de probeta : cilindro 10x20 Cem.content kg/m³ :
Cement type : Preparation date : 17/08/2016
Specimen conditions:
On receipt : At time of test :
Sampling location : Sampling date : 21/12/2009
Specimen preparation :
Specimen ID. : S4

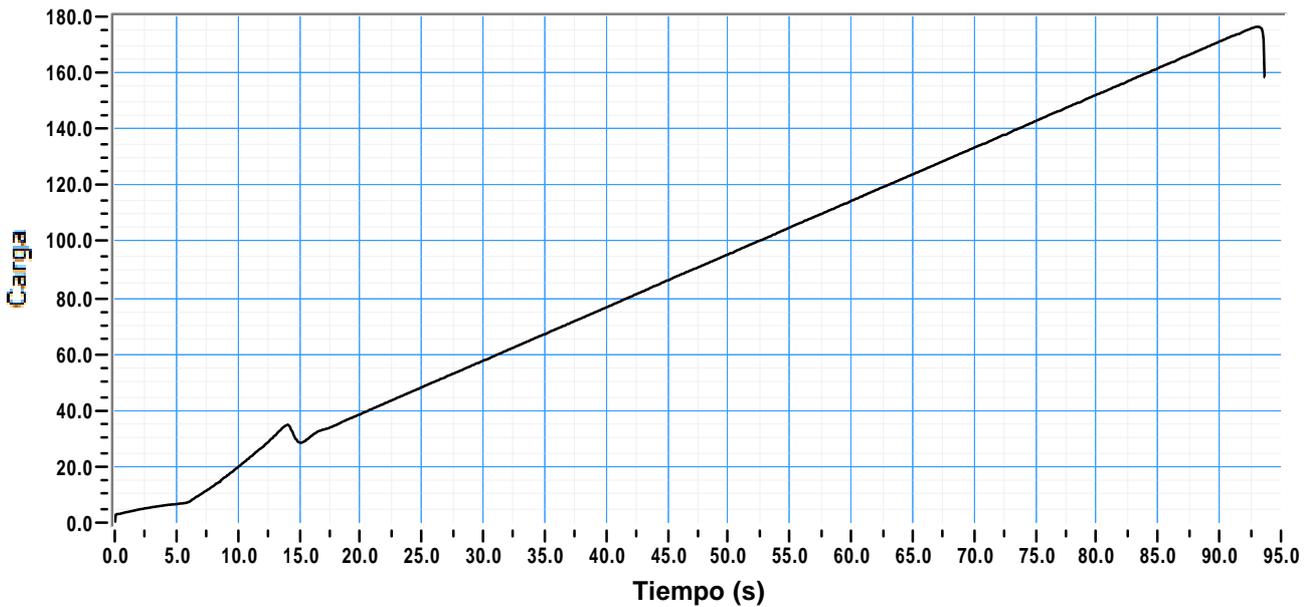
Resultados de ensayo

Dimensiones d(mm) 98.8 h(mm) 201.0 Masa (Kg) : 3.270

Densidad (Kg/m³) : 2122.0 Velocidad de carga MPa/s : 0.250
Area (mm²) : 7666.6 Edad : 28 Fecha de ensayo : 14/09/2016
Carga de rotura (kN) : 176.5 Resistencia (MPa) : 23.02
Failure appearance : Satisfactoria



Notes :



Operador

ID-VS

Compression test on concrete : EN 12390-3

Certificate number : Certificate date : 21/12/2009
Testing apparatus :
Customer :
Contact :
Tipo de probeta : cilindro 10x20 Cem.content kg/m³ :
Cement type : Preparation date : 17/08/2016
Specimen conditions:
On receipt : At time of test :
Sampling location : Sampling date : 21/12/2009
Specimen preparation :
Specimen ID. : S6

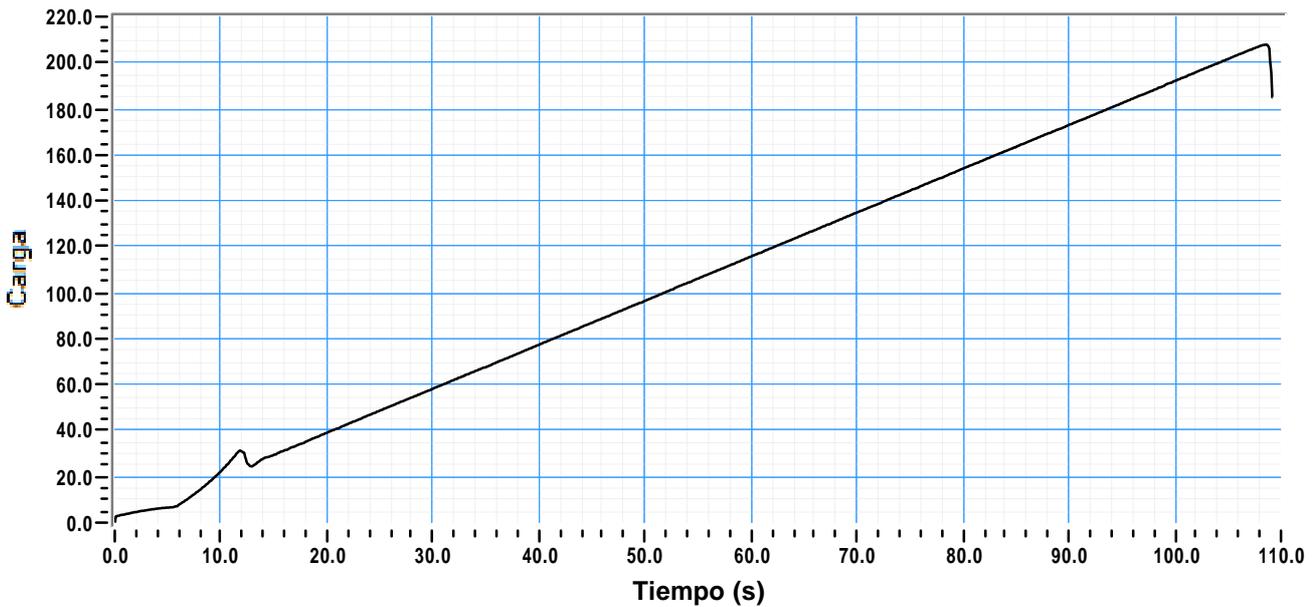
Resultados de ensayo

Dimensiones d(mm) 99.3 h(mm) 203.0 Masa (Kg) : 3.500

Densidad (Kg/m³) : 2226.3 Velocidad de carga MPa/s : 0.250
Area (mm²) : 7744.4 Edad : 28 Fecha de ensayo : 14/09/2016
Carga de rotura (kN) : 208.0 Resistencia (MPa) : 26.85
Failure appearance : Satisfactoria



Notes :



Operador

ID-VS

Compression test on concrete : EN 12390-3

Certificate number : Certificate date : 21/12/2009
Testing apparatus :
Customer :
Contact :
Tipo de probeta : cilindro 10x20 Cem.content kg/m³ :
Cement type : Preparation date : 16/08/2016
Specimen conditions:
On receipt : At time of test :
Sampling location : Sampling date : 21/12/2009
Specimen preparation :
Specimen ID. : C1

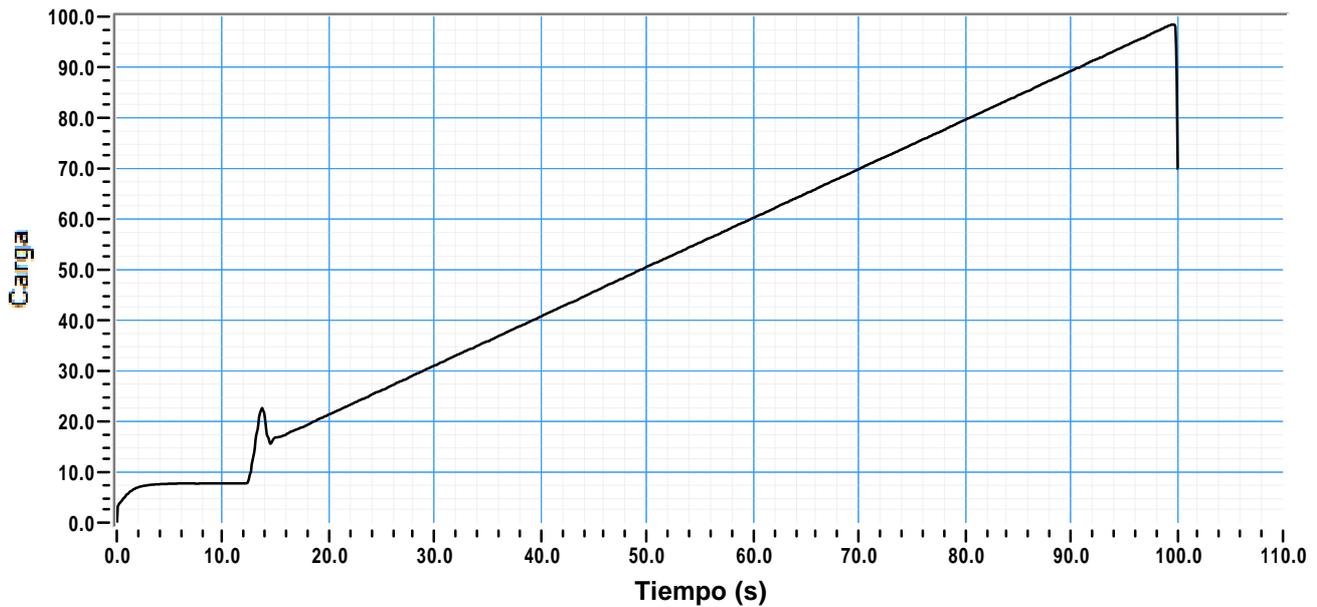
Resultados de ensayo

Masa (Kg) : 0.000

Velocidad de carga MPa/s : 0.050

Area eq. (mm²) : 19661.0 Edad : 28 Fecha de ensayo : 13/09/2016
Carga de rotura (kN) : 98.5 Resistencia (MPa) : 5.01

Notes :



Operador

ID-VS

Compression test on concrete : EN 12390-3

Certificate number : Certificate date : 21/12/2009
Testing apparatus :
Customer :
Contact :
Tipo de probeta : cilindro 10x20 Cem.content kg/m³ :
Cement type : Preparation date : 16/08/2016
Specimen conditions:
On receipt : At time of test :
Sampling location : Sampling date : 21/12/2009
Specimen preparation :
Specimen ID. : C2

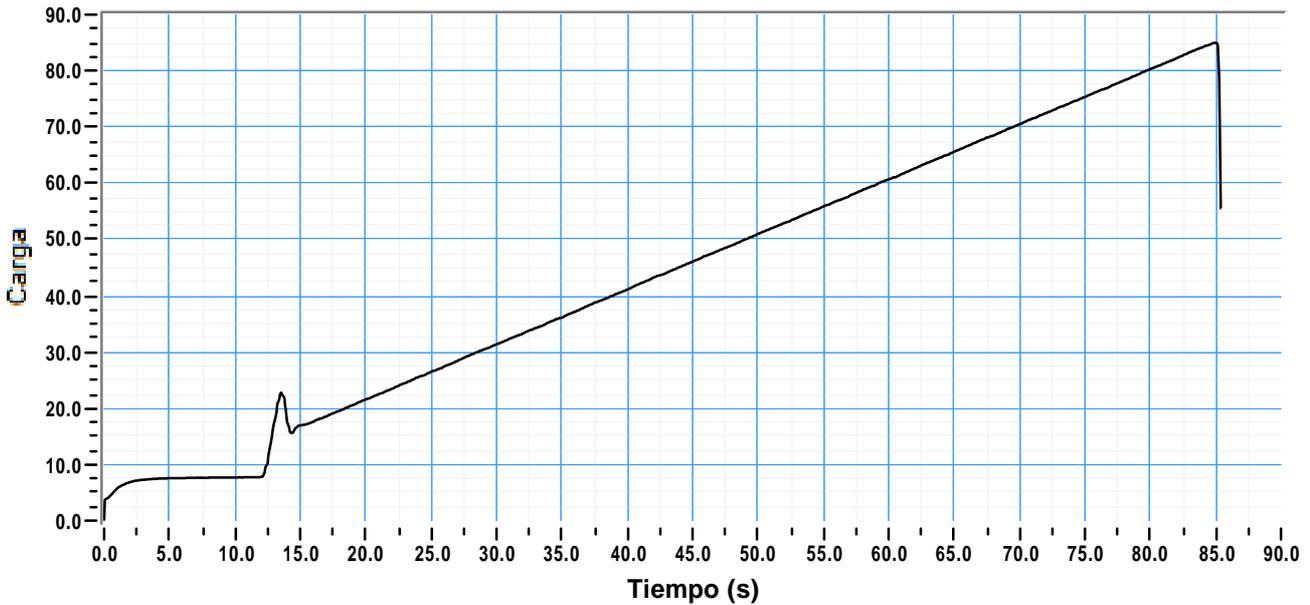
Resultados de ensayo

Masa (Kg) : 0.000

Velocidad de carga MPa/s : 0.050

Area eq. (mm²) : 19850.0 Edad : 28 Fecha de ensayo : 13/09/2016
Carga de rotura (kN) : 85.0 Resistencia (MPa) : 4.28

Notes :



Operador

ID-VS

Compression test on concrete : EN 12390-3

Certificate number : Certificate date : 21/12/2009
Testing apparatus :
Customer :
Contact :
Tipo de probeta : cilindro 10x20 Cem.content kg/m³ :
Cement type : Preparation date : 16/08/2016
Specimen conditions:
On receipt : At time of test :
Sampling location : Sampling date : 21/12/2009
Specimen preparation :
Specimen ID. : C3

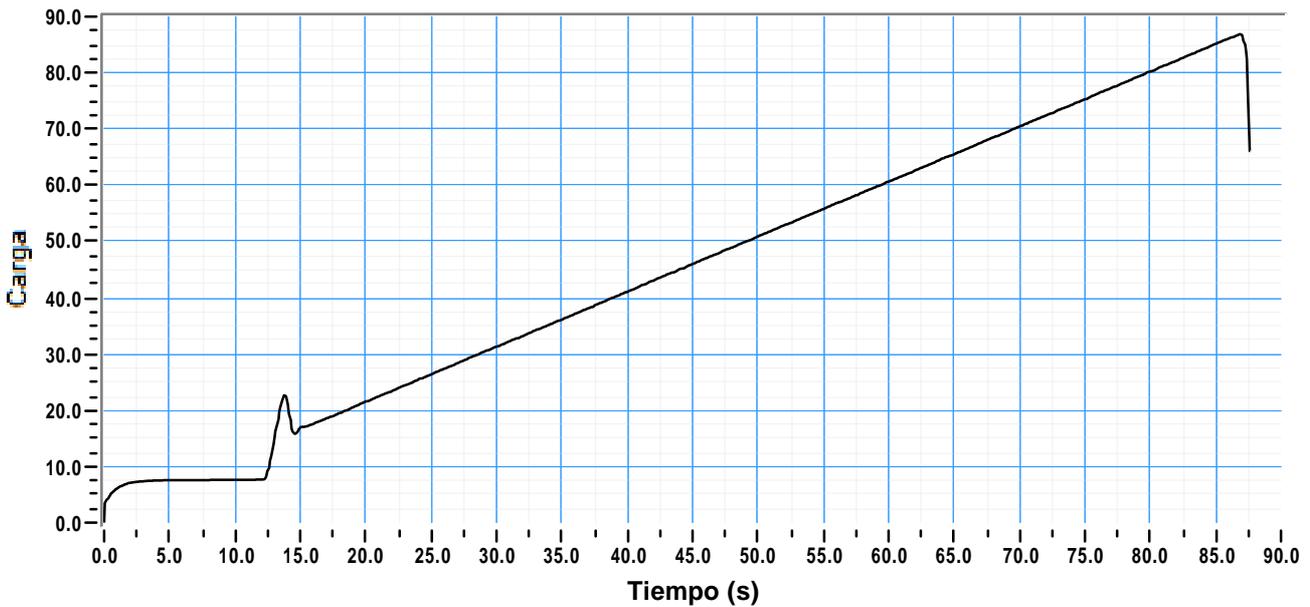
Resultados de ensayo

Masa (Kg) : 0.000

Velocidad de carga MPa/s : 0.050

Area eq. (mm²) : 19761.0 Edad : 28 Fecha de ensayo : 13/09/2016
Carga de rotura (kN) : 86.9 Resistencia (MPa) : 4.40

Notes :



Operador

ID-VS

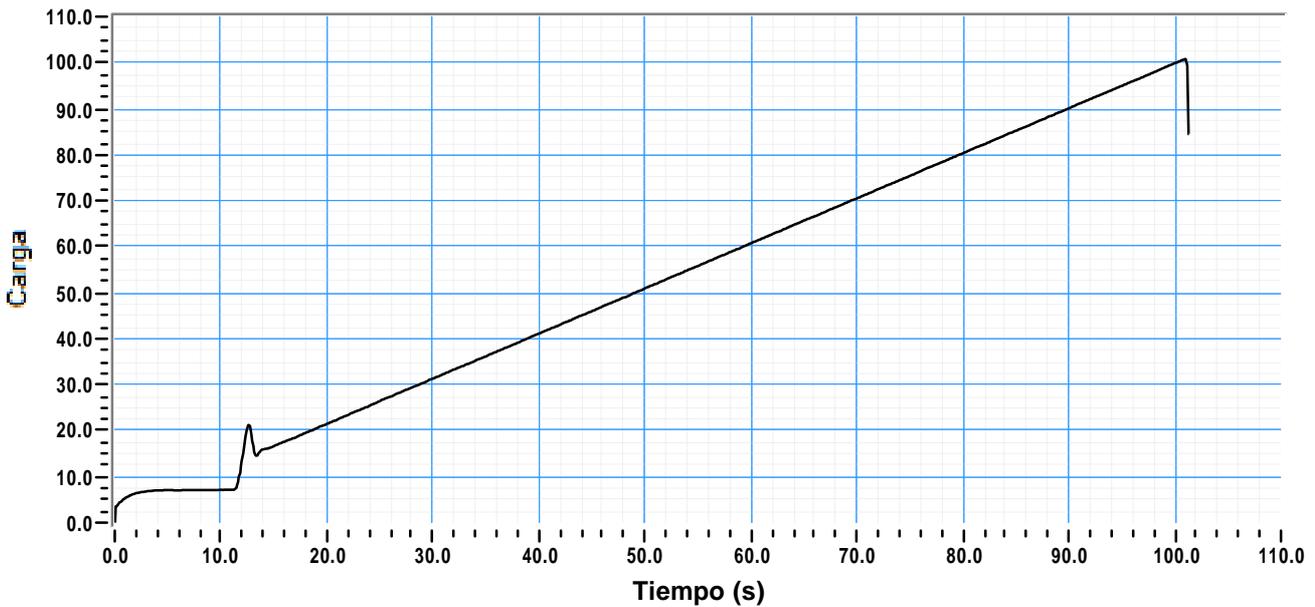
Compression test on concrete : EN 12390-3

Certificate number : Certificate date : 21/12/2009
Testing apparatus :
Customer :
Contact :
Tipo de probeta : cilindro 10x20 Cem.content kg/m³ :
Cement type : Preparation date : 16/08/2016
Specimen conditions:
On receipt : At time of test :
Sampling location : Sampling date : 21/12/2009
Specimen preparation :
Specimen ID. : FO1

Resultados de ensayo

Masa (Kg) : 0.000
Velocidad de carga MPa/s : 0.050
Area eq. (mm²) : 21285.0 Edad : 28 Fecha de ensayo : 13/09/2016
Carga de rotura (kN) : 100.8 Resistencia (MPa) : 4.74

Notes :



Operador

ID-VS

Compression test on concrete : EN 12390-3

Certificate number : Certificate date : 21/12/2009
Testing apparatus :
Customer :
Contact :
Tipo de probeta : cilindro 10x20 Cem.content kg/m³ :
Cement type : Preparation date : 16/08/2016
Specimen conditions:
On receipt : At time of test :
Sampling location : Sampling date : 21/12/2009
Specimen preparation :
Specimen ID. : FO2

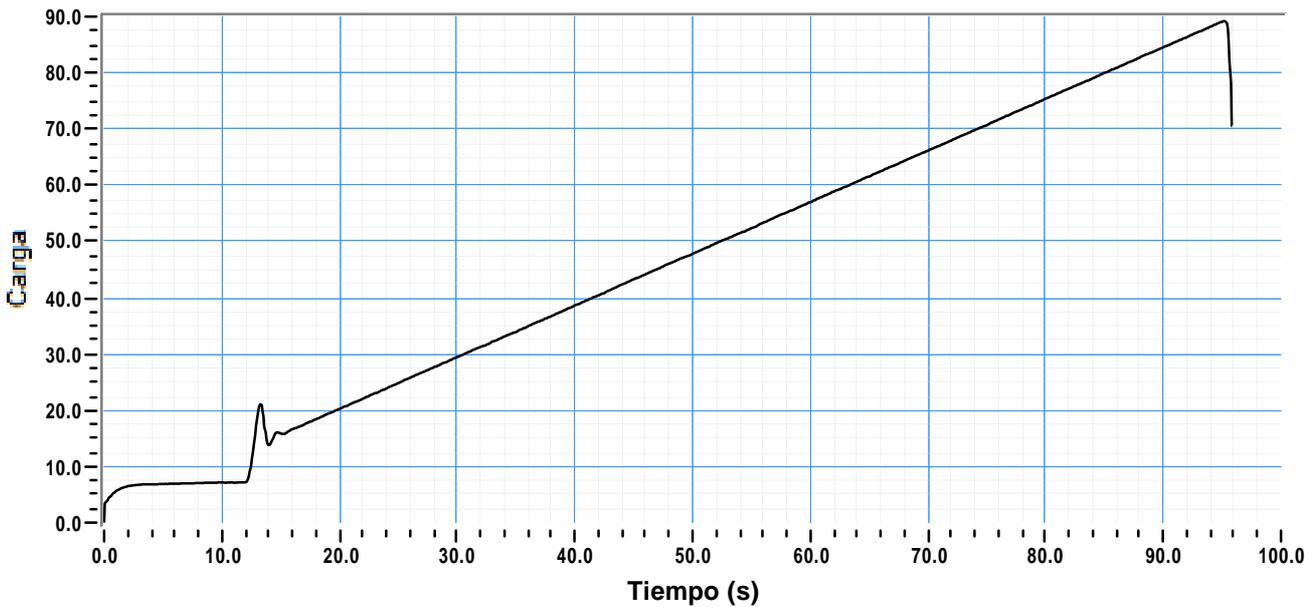
Resultados de ensayo

Masa (Kg) : 0.000

Velocidad de carga MPa/s : 0.050

Area eq. (mm²) : 18624.0 Edad : 28 Fecha de ensayo : 13/09/2016
Carga de rotura (kN) : 89.3 Resistencia (MPa) : 4.79

Notes :



Operador

ID-VS

Compression test on concrete : EN 12390-3

Certificate number : Certificate date : 21/12/2009
Testing apparatus :
Customer :
Contact :
Tipo de probeta : cilindro 10x20 Cem.content kg/m³ :
Cement type : Preparation date : 16/08/2016
Specimen conditions:
On receipt : At time of test :
Sampling location : Sampling date : 21/12/2009
Specimen preparation :
Specimen ID. : FO3

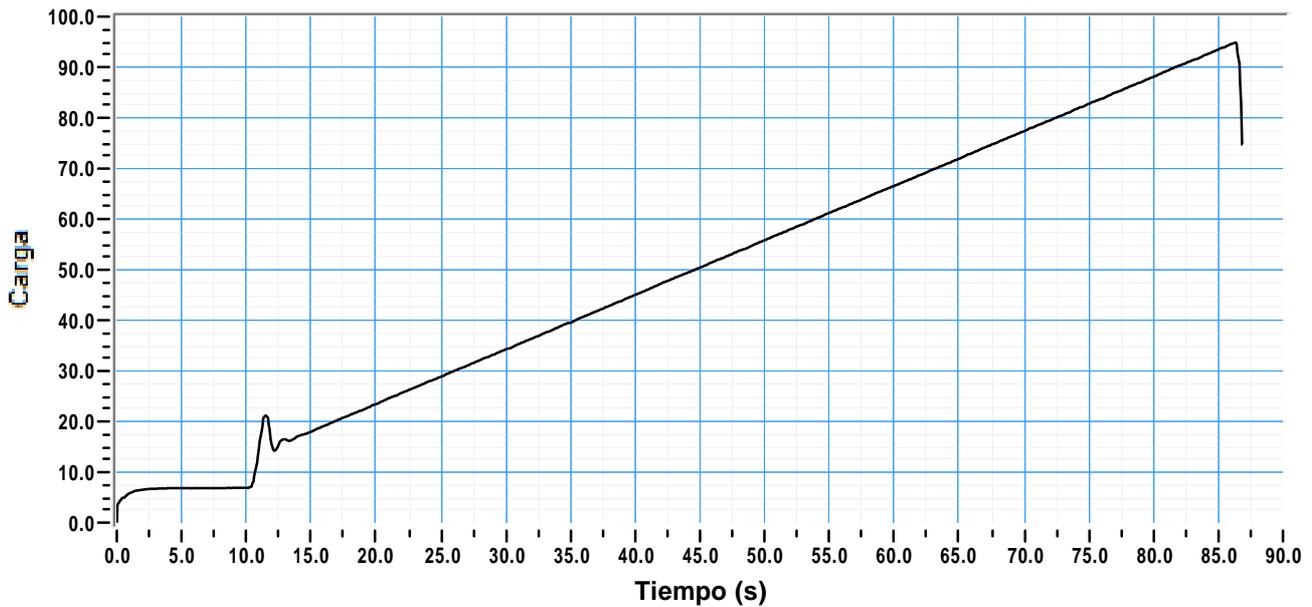
Resultados de ensayo

Masa (Kg) : 0.000

Velocidad de carga MPa/s : 0.050

Area eq. (mm²) : 21846.0 Edad : 28 Fecha de ensayo : 13/09/2016
Carga de rotura (kN) : 94.9 Resistencia (MPa) : 4.34

Notes :



Operador

ID-VS

Compression test on concrete : EN 12390-3

Certificate number : Certificate date : 21/12/2009
Testing apparatus :
Customer :
Contact :
Tipo de probeta : cilindro 10x20 Cem.content kg/m³ :
Cement type : Preparation date : 16/08/2016
Specimen conditions:
On receipt : At time of test :
Sampling location : Sampling date : 21/12/2009
Specimen preparation :
Specimen ID. : FP1

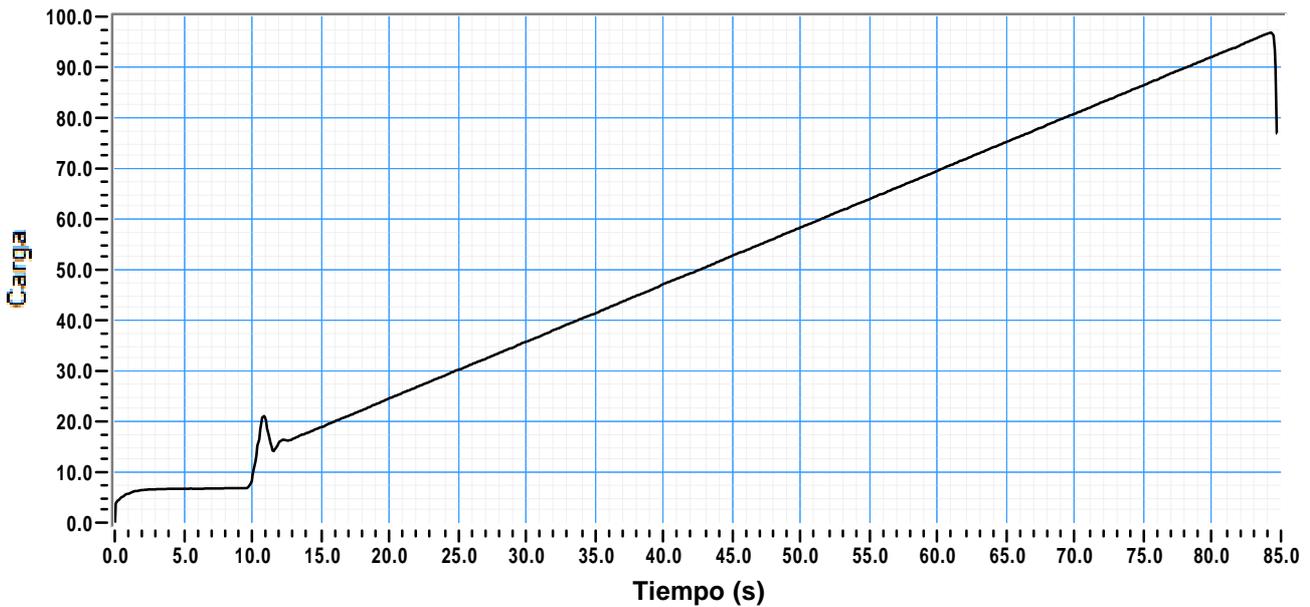
Resultados de ensayo

Masa (Kg) : 0.000

Velocidad de carga MPa/s : 0.050

Area eq. (mm²) : 22839.0 Edad : 28 Fecha de ensayo : 13/09/2016
Carga de rotura (kN) : 96.9 Resistencia (MPa) : 4.24

Notes :



Operador

ID-VS

Compression test on concrete : EN 12390-3

Certificate number : Certificate date : 21/12/2009
Testing apparatus :
Customer :
Contact :
Tipo de probeta : cilindro 10x20 Cem.content kg/m³ :
Cement type : Preparation date : 16/08/2016
Specimen conditions:
On receipt : At time of test :
Sampling location : Sampling date : 21/12/2009
Specimen preparation :
Specimen ID. : FP2

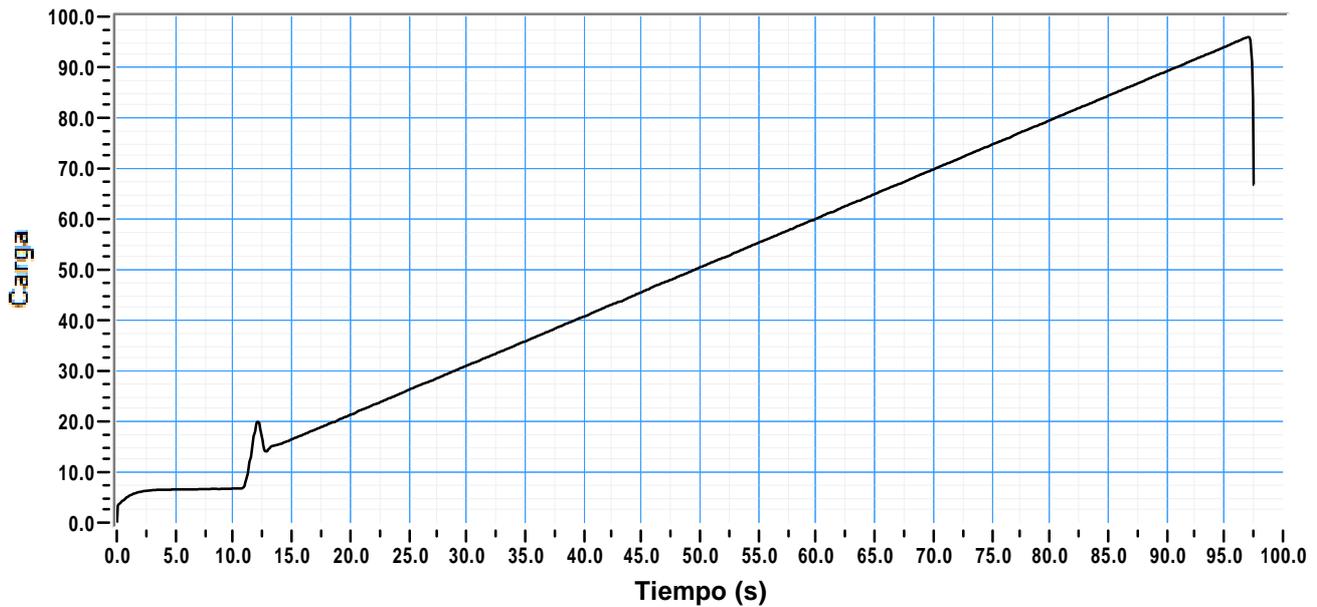
Resultados de ensayo

Masa (Kg) : 0.000

Velocidad de carga MPa/s : 0.050

Area eq. (mm²) : 19652.0 Edad : 28 Fecha de ensayo : 13/09/2016
Carga de rotura (kN) : 96.0 Resistencia (MPa) : 4.89

Notes :



Operador

ID-VS

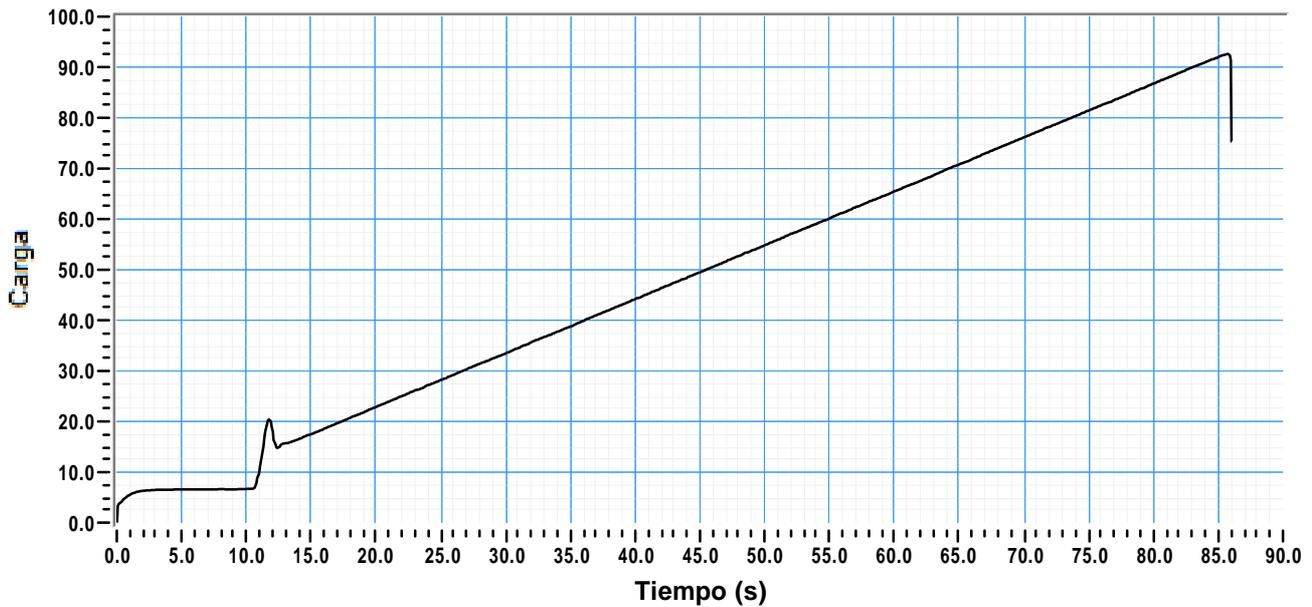
Compression test on concrete : EN 12390-3

Certificate number : Certificate date : 21/12/2009
Testing apparatus :
Customer :
Contact :
Tipo de probeta : cilindro 10x20 Cem.content kg/m³ :
Cement type : Preparation date : 16/08/2016
Specimen conditions:
On receipt : At time of test :
Sampling location : Sampling date : 21/12/2009
Specimen preparation :
Specimen ID. : FP3

Resultados de ensayo

Masa (Kg) : 0.000
Velocidad de carga MPa/s : 0.050
Area eq. (mm²) : 21583.0 Edad : 28 Fecha de ensayo : 13/09/2016
Carga de rotura (kN) : 92.7 Resistencia (MPa) : 4.29

Notes :



Operador

ID-VS

Compression test on concrete : EN 12390-3

Certificate number : Certificate date : 21/12/2009
Testing apparatus :
Customer :
Contact :
Tipo de probeta : cilindro 10x20 Cem.content kg/m³ :
Cement type : Preparation date : 16/08/2016
Specimen conditions:
On receipt : At time of test :
Sampling location : Sampling date : 21/12/2009
Specimen preparation :
Specimen ID. : S1

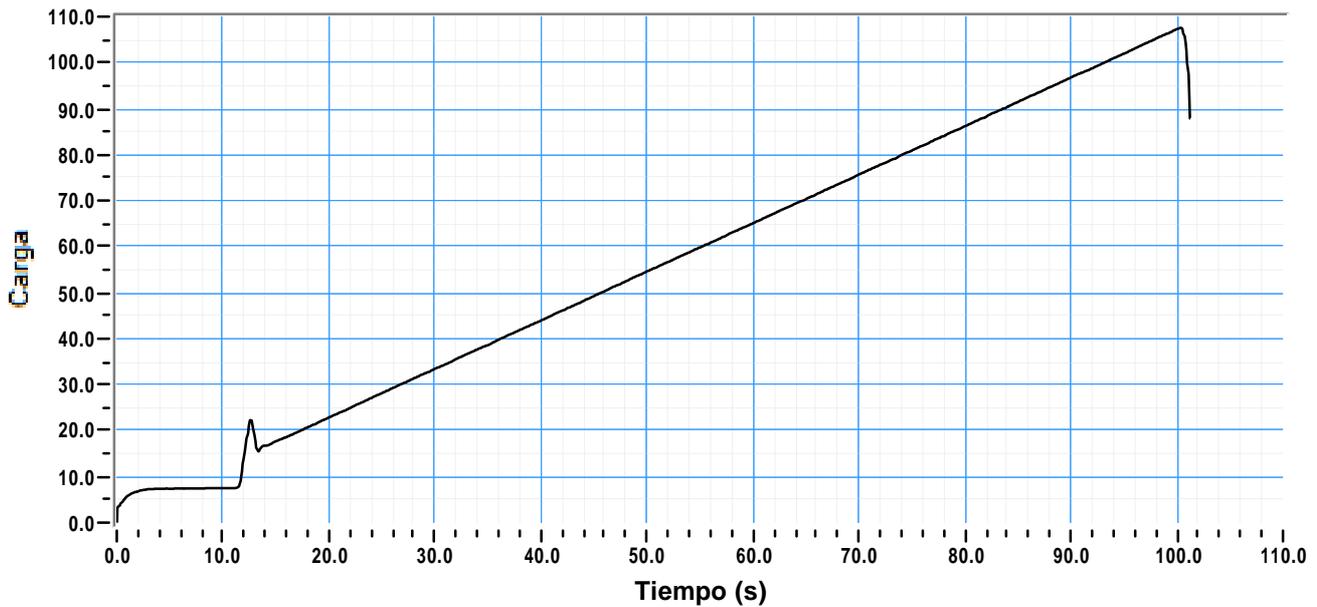
Resultados de ensayo

Masa (Kg) : 0.000

Velocidad de carga MPa/s : 0.050

Area eq. (mm²) : 21393.0 Edad : 28 Fecha de ensayo : 13/09/2016
Carga de rotura (kN) : 107.6 Resistencia (MPa) : 5.03

Notes :



Operador

ID-VS

Compression test on concrete : EN 12390-3

Certificate number : Certificate date : 21/12/2009
Testing apparatus :
Customer :
Contact :
Tipo de probeta : cilindro 10x20 Cem.content kg/m³ :
Cement type : Preparation date : 16/08/2016
Specimen conditions:
On receipt : At time of test :
Sampling location : Sampling date : 21/12/2009
Specimen preparation :
Specimen ID. : S2

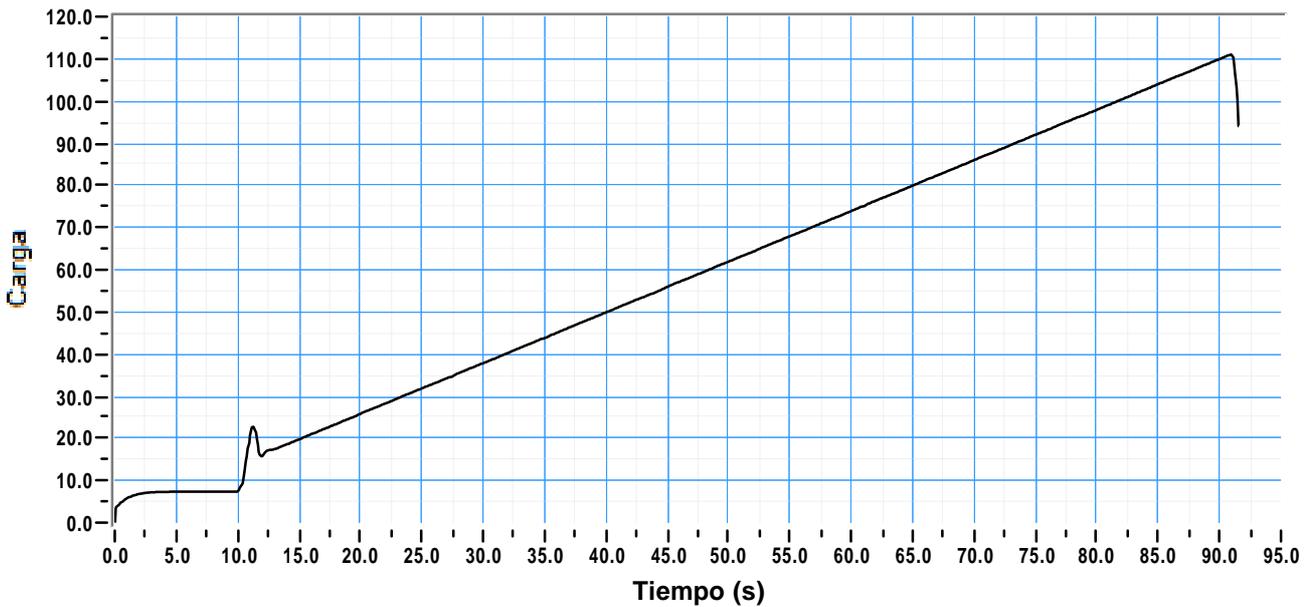
Resultados de ensayo

Masa (Kg) : 0.000

Velocidad de carga MPa/s : 0.050

Area eq. (mm²) : 24378.0 Edad : 28 Fecha de ensayo : 13/09/2016
Carga de rotura (kN) : 111.1 Resistencia (MPa) : 4.56

Notes :



Operador

ID-VS

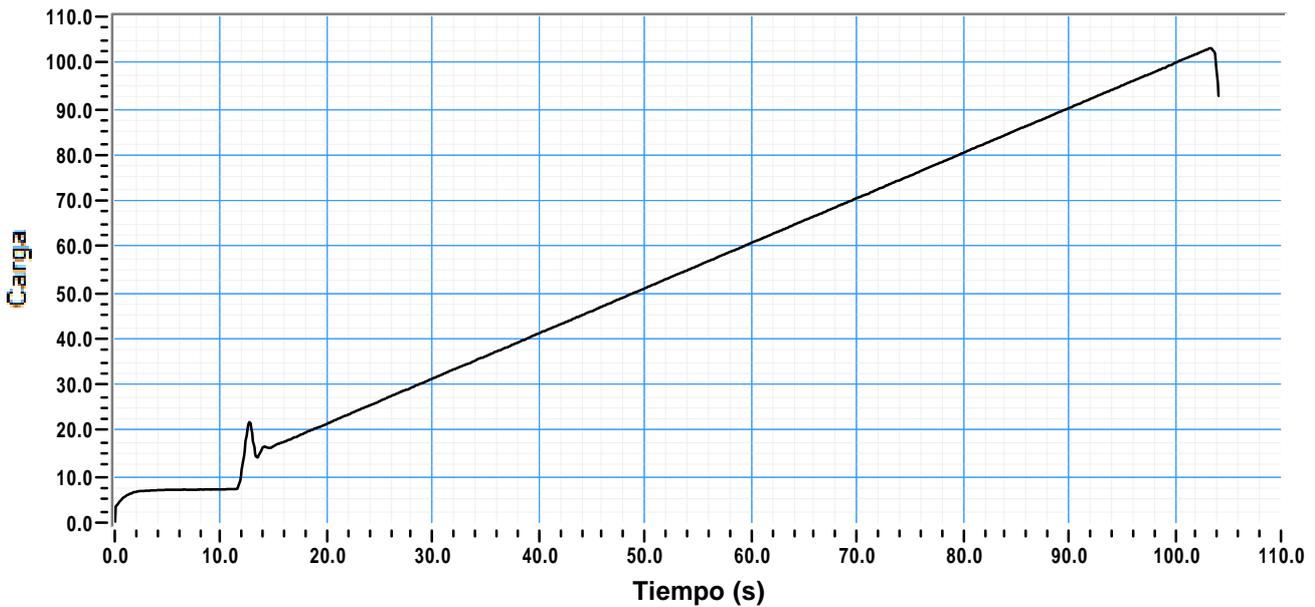
Compression test on concrete : EN 12390-3

Certificate number : Certificate date : 21/12/2009
Testing apparatus :
Customer :
Contact :
Tipo de probeta : cilindro 10x20 Cem.content kg/m³ :
Cement type : Preparation date : 16/08/2016
Specimen conditions:
On receipt : At time of test :
Sampling location : Sampling date : 21/12/2009
Specimen preparation :
Specimen ID. : S3

Resultados de ensayo

Masa (Kg) : 0.000
Velocidad de carga MPa/s : 0.050
Area eq. (mm²) : 19860.0 Edad : 28 Fecha de ensayo : 13/09/2016
Carga de rotura (kN) : 103.2 Resistencia (MPa) : 5.20

Notes :



Operador