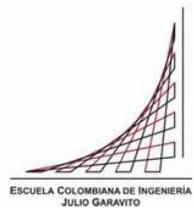


Maestría en Ingeniería Civil

Evaluación de residuos cerámicos y arcillas expandidas como agregados ligeros para curado interno del concreto

Jorge David Montenegro López

Bogotá, D.C., 15 de mayo de 2019



Evaluación de residuos cerámicos y arcillas expandidas como agregados ligeros para curado interno del concreto

**Tesis para optar al título de magíster en Ingeniería Civil, con
énfasis en ingeniería estructural**

**Director (a):
Ph.D. Nancy Torres Castellanos**

**Codirector (a):
Ph.D. Juan Fernando Arango Londoño**

Bogotá, D.C., 08 de Agosto de 2019



La tesis de maestría titulada “**Evaluación de residuos cerámicos y arcillas expandidas como agregados ligeros para curado interno del concreto**”,
presentada por Jorge David Montenegro López, cumple con los requisitos
establecidos para optar al título de Magíster en Ingeniería Civil con énfasis en
ingeniería estructural.

Director de la tesis

Nancy Torres Castellanos

Codirector de la tesis

Juan Fernando Arango Londoño

Jurado

Ricardo Matallana

Jurado

Álvaro Guzmán

Bogotá, D.C., 29 de Julio de 2019

Dedicatoria

Primero que todo a Dios por darme la oportunidad de estar aquí y ahora, a mi esposa Diana Lucia Castro Mora y nuestros dos hermosos hijos Violetta y Nicolás, quienes tuvieron la paciencia y colocaron todo su amor para que este camino que recorrimos juntos fuera una realidad.

Agradecimientos

A mi familia: Diana L., Elvia, Lorena, Daniela, Giselly, Mireya, Aleida, Antonio y Soneyda (QEPD); quienes me dieron todo su apoyo en los momentos cuando más los necesité.

Agradecimiento especial a Nancy Torres Castellanos por su paciencia y dedicación, por guiarme para lograr que este proyecto haya sido una realidad.

Igualmente, a Juan Fernando Arango Londoño, quien compartió su amplio conocimiento y experiencia en materiales cementantes, para el desarrollo de esta investigación.

A los laboratoristas del área de estructuras y geotecnia, los cuales siempre estuvieron dispuestos a ayudar para la elaboración de los ensayos.

A las facultades de ingeniería ambiental y microbiología por poner a disposición sus instrumentos de laboratorio para el montaje del ensayo de desorción.

A las empresas Sumicol Corona y constructora Conconcreto, por la donación de los agregados ligeros a base de arcillas expandidas y la financiación de la sesión de microscopía en la Universidad de Antioquía.

Resumen

El curado interno del concreto se define como la inclusión de reservas de agua en la mezcla de concreto, a través de materiales súper absorbentes previamente humedecidos, que pueden ser naturales o con alguna modificación en su composición mineralógica. Actúan liberando el agua absorbida a medida que la humedad relativa interna desciende, debido a las pérdidas inminentes de agua de la mezcla del concreto en su estado plástico al iniciarse la auto-deseccación.

El objetivo principal de este documento fue evaluar las propiedades físicas de ciertos agregados ligeros disponibles en el medio colombiano, con el fin de utilizarlos como agentes para curado interno del concreto.

Para abordar el tema fue necesario hacer un recorrido de las más recientes investigaciones con respecto al modo y uso que le han dado a esta tecnología, así como hacer un recorrido por el avance teórico que se han logrado desarrollar para darle una nueva alternativa de curado a los concretos.

Seguido se realizó un procedimiento experimental que inicialmente consistió en la caracterización de los agregados ligeros, siguiendo la metodología experimental de la ASTM-C330 y ASTM-C1761, donde se determinó las propiedades de absorción y desorción de los agregados ligeros, parámetros importantes para hallar la cantidad necesaria de reemplazo de los agregados naturales por el agregado ligero, para que el curado interno del concreto funcione adecuadamente.

Una vez completa la caracterización, fueron elaborados concretos de alta resistencia a la compresión, con inclusión de agregados ligeros, para determinar la eficiencia del curado interno. Este tipo de concretos presentan matrices muy

densas y superficies poco permeables, por lo que el curado externo es una práctica poco eficiente para estos concretos. De ahí que la participación del curado interno se vuelva una característica representativa y medible.

Finalmente, se realizaron las conclusiones y recomendaciones para los valores hallados, con el fin de permitir la articulación de posteriores investigaciones.

Abstract

The internal curing process of concrete is defined as the addition of water reserves into the concrete mix by means of pre-wetted super-absorbent materials, which may be either naturally made, or with somewhat modified mineralogical composition. These materials act to free up the absorbed water to the extent that the internal relative humidity gets lower due to the imminent loss of water in the concrete mix in its plastic state and to the start of the drying process.

The main objective of the present paper was to evaluate the physical properties of certain lightweight aggregates available in our environment, with the aim of using them as agents for the internal curing of concrete.

To address the issue it was necessary to review the most recent investigations with respect to how to use this technology, as well as the theoretical progress achieved, in order find new alternatives to the curing process of concrete.

Later an experimental procedure was implemented, which initially consisted of the characterization of the lightweight aggregates in accordance with ASTM-C330 and ASTM-C1761, where the absorption y desorption properties of the lightweight aggregates were determined, which are important parameters to find the quantity necessary for the replacement of common aggregates for the correct functioning of the internal curing of concrete.

Once the characterization was complete, high compression strength concrete samples were elaborated with inclusion of lightweight aggregates, to determine the efficiency of the resulting internal curing. This type of concrete is characterized by very dense matrices and low permeability surfaces, making the external curing a

very inefficient practice for this type of concrete, because of this the contribution of internal curing is notable and measurable.

Finally, conclusions and recommendations were drawn based on the resulting measurements, allowing for further argumentations and investigations.

Contenido

	PÁG.
RESUMEN	IX
ABSTRACT	XI
LISTA DE ILUSTRACIONES	XVI
LISTA DE TABLAS	XIX
LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS	XX
INTRODUCCIÓN	1
1. MARCO TEÓRICO	7
1.1 CURADO DEL CONCRETO: CURADO INTERNO Y EXTERNO	7
1.2 CURADO INTERNO: DEFINICIÓN	10
1.3 CURADO INTERNO EN LA TEORÍA	11
1.3.1 <i>Cantidad de LWA requerido para curado interno.</i>	15
1.4 CURADO INTERNO EN LA PRÁCTICA	17
1.5 AGREGADOS LIGEROS PARA CURADO INTERNO	21
1.5.1 <i>Arcillas expandidas térmicamente.</i>	24
1.5.2 <i>Residuos cerámicos.</i>	26
1.5.3 <i>Caracterización de los agregados ligeros.</i>	27
1.6 EFECTOS DEL CURADO INTERNO EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO	30
1.6.1 <i>Contracciones del concreto.</i>	30
1.6.2 <i>Resistencia a la compresión del concreto.</i>	33
1.6.3 <i>Resistencia a la contracción.</i>	36
1.7 ESTADO DEL ARTE	38
1.7.1 <i>Agregados ligeros para curado interno: Estudios experimentales.</i>	38
2. OBJETIVOS	47
2.1 OBJETIVO GENERAL	47
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	47
3. PROGRAMA EXPERIMENTAL	49
3.1 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	50

3.2	MATERIALES	52
3.2.1	<i>Agregados ligeros</i>	52
3.2.2	<i>Agregados de peso normal</i>	53
3.2.3	<i>Cemento</i>	53
3.2.4	<i>Aditivos</i>	54
3.3	VARIABLES DE ESTUDIO.....	54
3.3.1	<i>Nomenclatura utilizada</i>	55
3.4	ENSAYOS PARA EVALUAR LA ABSORCIÓN Y DESORCIÓN DE LOS LWA	56
3.4.1	<i>Absorción</i>	56
3.4.2	<i>Desorción</i>	61
3.5	PROPORCIONES Y AJUSTES DEL CONCRETO CON AGREGADOS LIGEROS PARA IC.	64
3.5.1	<i>Diseño de mezcla</i>	64
3.5.2	<i>Cantidad de agregado ligero para curado interno del concreto</i>	66
3.5.3	<i>Inclusión de agregados ligeros a la mezcla de concreto</i>	69
3.6	PREPARACIÓN DE LOS CONCRETOS	74
3.6.1	<i>Preparación de mezcla para concretos</i>	74
3.6.2	<i>Elaboración de los elementos experimentales</i>	75
3.6.3	<i>Ambientes de curado</i>	77
3.7	ENSAYOS PARA DETERMINAR EL EFECTO DEL CURADO INTERNO EN EL CONCRETO.....	79
3.7.1	<i>Velocidad de pulso ultrasónico (VPU)</i>	79
3.7.2	<i>Resistencia a la compresión</i>	80
3.7.3	<i>Módulo de elasticidad</i>	80
3.7.4	<i>Absorción en la superficie inicial (ISAT)</i>	81
3.7.5	<i>Ritmo de absorción de agua (sorptividad)</i>	82
3.7.6	<i>Densidad, absorción y vacíos</i>	83
3.7.7	<i>Cambio volumétrico del concreto</i>	83
3.7.8	<i>MICROSCOPÍA ELECTRÓNICA DE BARRIDO</i>	84
4.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	85
4.1	AGREGADOS LIGEROS	85
4.2	CONCRETO EN ESTADO PLÁSTICO	87
4.2.1	<i>Asentamiento del concreto (SLUMP)</i>	87
4.2.2	<i>Densidad en fresco y contenido de aire</i>	88
4.3	CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO	90

4.3.1	<i>Resistencia a la compresión.</i>	90
4.3.2	<i>Módulo de elasticidad del concreto.</i>	95
4.3.3	<i>Densidad aparente, absorción y porosidad permeable.</i>	97
4.3.4	<i>Velocidad de pulso ultrasónico (VPU)</i>	102
4.3.5	<i>Ritmo de absorción de agua (sorptividad)</i>	106
4.3.6	<i>Absorción en la superficie inicial (ISAT)</i>	109
4.3.7	<i>Cambio volumétrico del concreto.</i>	112
4.3.8	<i>Microscopía electrónica de barrido</i>	113
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	135
5.1	CONCLUSIONES	135
5.2	RECOMENDACIONES	140
	BIBLIOGRAFÍA	147

Lista de ilustraciones

	PÁG.
Ilustración 1 Curado externo	3
Ilustración 1-1 Métodos de curado interno y externo	9
Ilustración 1-2 Curado interno	10
Ilustración 1-3 Agua contenida en la pasta de cemento.....	11
Ilustración 1-4 Fase de distribución de la pasta de cemento $a/mc > 0,42$	13
Ilustración 1-5 Fase de distribución de la pasta de cemento $a/mc < 0,42$	14
Ilustración 1-6 Fase de distribución de la pasta de cemento $a/mc < 0,42$, con IC	14
Ilustración 1-7 Viaducto Buckner.....	18
Ilustración 1-8 Aplicación de concreto IC en autopista US 54.....	20
Ilustración 1-9 Plataforma Hibernia	20
Ilustración 1-10 Agregados ligeros de origen natural	22
Ilustración 1-11 concreto reciclado.....	23
Ilustración 1-12 SAP (seco y saturado).....	23
Ilustración 1-13 Acilla expandida.....	25
Ilustración 1-14 Residuos de ladrillo	26
Ilustración 1-15 Flujograma procedimiento ASTM-C330.....	28
Ilustración 1-16 Contracciones del concreto	30
Ilustración 1-17 Resistencia a la compresión con reemplazo de LWA y CCA.....	34
Ilustración 1-18 Separación de los LWAs y NWAs.....	35
Ilustración 1-19 Deformación por contracción de los concretos con LWA, CCA y SAP	37
Ilustración 1-20 Agregados ligeros y porcentaje de absorción.	39
Ilustración 1-21 LWA a base de concreto aireado en autoclave reciclado	41
Ilustración 1-22 Micro-fisuras a causa de la reacción álcali -sílice	42
Ilustración 1-23 Agregados a) grueso b) fino c) mampostería triturada	43
Ilustración 1-24 Contracción autógena.....	45
Ilustración 3-1 Derecha Ladrillo triturado. Izquierda Arcilla expandida térmicamente	52

Ilustración 3-2 Saturación y ensayo de SSS de los LWAs	57
Ilustración 3-3 Clasificación granulométrica de los LWAs.....	58
Ilustración 3-4 Ensayo de absorción según ASTM 1671	59
Ilustración 3-5 Ensayo de Absorción en función del tiempo.....	60
Ilustración 3-6 Ensayo de desorción según ASTM 1671.	62
Ilustración 3-7 Solución de Nitrato de Potasio	62
Ilustración 3-8 Temperatura y HR controlada del ensayo de desorción.....	63
Ilustración 3-9 Optimización de los agregados método Fuller-Thompson	65
Ilustración 3-10 Relación fcr vs a/mc	66
Ilustración 3-11 Gráficas para la obtención de cantidad de LWA.....	68
Ilustración 3-12 Combinación y separación de agregado común.....	70
Ilustración 3-13 Combinación óptima Fuller-Thompson de agregado combinado	71
Ilustración 3-14 Saturación de los agregados ligeros	74
Ilustración 3-15 Plastificante Plastol 3500 ultra.....	75
Ilustración 3-16 Losas de concreto	76
Ilustración 3-17 Extracción de los núcleos de concreto	76
Ilustración 3-18 Vigas de concreto.....	77
Ilustración 3-19 Ambientes de curado de losas	78
Ilustración 3-20 ambientes de curado de vigas.....	78
Ilustración 3-21 Ensayo de velocidad de pulso	79
Ilustración 3-22 Especímenes de ensayo a compresión.....	80
Ilustración 3-23 Compresómetro para ensayo de módulo de elasticidad.....	81
Ilustración 3-24 Montaje para ensayo ISAT	82
Ilustración 3-25 Ensayo de sorptividad	82
Ilustración 3-26 Muestras secadas al horno NTC 5653	83
Ilustración 3-27 Ensayo de variación volumétrica	84
Ilustración 3-28 Microscopio de barrido electrónico	84
Ilustración 4-1 Absorción en función del tiempo de los LWAs.....	86
Ilustración 4-2 Prueba de asentamiento	88
Ilustración 4-3 Masa unitaria y contenido de aire del concreto	89
Ilustración 4-4 Resistencia a la compresión de los concretos.....	90
Ilustración 4-5 Espécimen después del ensayo de compresión.....	93
Ilustración 4-6 Resistencia a la compresión de las muestras en función del tiempo.....	93
Ilustración 4-7 Módulo de elasticidad de los concretos.....	95
Ilustración 4-8 Módulo elástico en función de la resistencia a la compresión	96

Ilustración 4-9 Densidad aparente de las muestras de concreto.....	97
Ilustración 4-10 Porcentaje de absorción de los concretos	99
Ilustración 4-11 Porosidad permeable de las muestras de concreto.....	100
Ilustración 4-12 Resistencia a la compresión en función de la porosidad de los concretos ..	102
Ilustración 4-13 Diagrama de dispersión VPU vs $f'c$ para todas los núcleos de concreto.....	103
Ilustración 4-14 Variación de la sorptividad en función de la densidad aparente	106
Ilustración 4-15 Comparación de los valores de sorptividad en los concretos	107
Ilustración 4-16 Masa de agua absorbida por capilaridad	108
Ilustración 4-17 Tasa ISAT a los 10min	109
Ilustración 4-18 ISAT en función del tiempo.....	111
Ilustración 4-19 Contracción uniaxial en función del tiempo.....	112
Ilustración 4-20 Especímenes de concreto con mezcla de control.....	115
Ilustración 4-21 Especímenes de concreto con mezcla arcilla expandida.	123
Ilustración 4-22 Especímenes de concreto con mezcla ladrillo triturado.....	128

Lista de tablas

	PÁG.
Tabla 1-1 Valores de aceptación del LWA según ASTM C330.....	29
Tabla 3-1 Especificaciones técnicas. Caracterización de los agregados.....	51
Tabla 3-2 Especificaciones técnicas. Ensayos para los concretos.....	51
Tabla 3-3 Propiedades físicas de los agregados ligeros.....	52
Tabla 3-4 Caracterización de los agregados de peso normal.....	53
Tabla 3-5 Propiedades físicas del cemento UG, usado.....	54
Tabla 3-6 Absorción de los LWAs a 72h. ASTM 1671.....	59
Tabla 3-7 Absorción en función del tiempo de los LWAs.....	61
Tabla 3-8 Cantidad de agua liberada por desorción ASTM 1671.....	64
Tabla 3-9 Proporción de mezcla de concreto.....	66
Tabla 3-10 Cantidad de material requerido por m ³ de concreto.....	66
Tabla 3-11 Cantidad de agregados ligeros para curado interno.....	67
Tabla 3-12 Granulometría de los agregados comunes y ligeros.....	69
Tabla 3-13 Granulometría de agregado común separado tamiz 3/8".....	70
Tabla 3-14 Cantidades de los agregados comunes separados.....	71
Tabla 3-15 Cantidad porcentual de agregado ligero como reservorio de agua.....	72
Tabla 3-16 Densidad relativa de los agregados comunes separados tamiz 3/8".....	72
Tabla 3-17 Cantidades de materiales para los concretos.....	73
Tabla 3-18 Proporciones de mezcla.....	74
Tabla 4-1 Propiedades físicas de los agregados.....	85
Tabla 4-2 Propiedades físicas de los concretos.....	87
Tabla 4-3 Pérdida de densidad de estado fresco a endurecido.....	89
Tabla 4-4 Coeficientes de variación de los especímenes ensayados a compresión.....	94
Tabla 4-5 Calidad del concreto según la velocidad de pulso.....	103
Tabla 4-6 Correlación lineal de la dispersión de datos.....	104
Tabla 4-7 Correlación lineal discriminando el tipo de mezcla.....	105

Lista de Símbolos y abreviaturas

Abreviaturas

Abreviatura	Término
a/mc	Agua/material cementante
AAC	Concreto aireado en autoclave (por sus siglas en inglés <i>Autoclaved Aerated Concrete</i>)
ASR	Reacción álcali – sílice (Por sus siglas en inglés <i>Alkali – Silica Reaction</i>)
CCA	Agregado de concreto reciclado (por sus siglas en inglés <i>Crushed returned Concrete Aggregate</i>)
CLWA	Agregado ligero a base de arcillas expandidas (por sus siglas en inglés <i>Clay Lightweight Aggregate</i>)
IC	Curado interno (por sus siglas en inglés <i>Internal Curing</i>)
LWA	Agregado ligero (por sus siglas en inglés <i>Lightweight Aggregate</i>)
LWS	Agregado ligero a base de arena liviana (por sus siglas en inglés <i>Lightweight Sand</i>)
MLWA	Agregado ligero a base de mampostería triturada (por sus siglas en inglés <i>Masonry Lightweight Aggregate</i>)
NWA	Agregado de peso normal (por sus siglas en inglés <i>Normal Weight Aggregates</i>)
RCD	Residuos de Construcción y Demolición
SAP	Polímeros súper-absorbentes (por sus siglas en inglés <i>Superabsorbent Polymer</i>)

Abreviatura	Término
<i>UHPC</i>	Concreto de ultra alta resistencia (por sus siglas en inglés <i>ultra-high performance concrete</i>)
<i>VPU</i>	Velocidad de pulso ultrasónico

Introducción

La producción de concreto premezclado a nivel nacional, entre febrero 2018 y enero 2019, alcanzó los 6'671.100m³ (DANE, 2019). El concreto premezclado es considerado como un insumo importante en la construcción, reparación y remodelación de obras civiles que se realizan en Colombia, como carreteras, puentes, obras de contención, edificaciones entre otras; no obstante, es un material que requiere de cuidados adecuados en los primeros días de endurecimiento.

Uno de los problemas que presenta el concreto, cuando pasa de estado fresco ha endurecido, es la pérdida de humedad a edades temprana, o auto-deseccación, debido al gradiente térmico causado por la reacción química del cemento al entrar en contacto con el agua, por el asentamiento de la mezcla que rezume el agua a la superficie exponiéndola a pérdidas por el viento, la humedad relativa y la temperatura del aire; esto contribuye a la generación de micro-fisuras, causantes de la reducción en los valores de las propiedades mecánicas y afectando su durabilidad. Concretos con baja relación agua/material cementante (a/mc) son más propensos a presentar esta patología.

Con la exigencia de nuevas formas estructurales, tiempos de entrega e industrialización, es necesario contar con concretos de alta manejabilidad, alta durabilidad y alta resistencia final. En Colombia es posible producir dos tipos: concretos de alta resistencia ($\geq 42\text{MPa}$) y concretos convencionales ($< 42\text{MPa}$) (López, 2011).

Entre algunas de sus aplicaciones de concretos de alta resistencia se puede nombrar la instalación de pavimentos en concreto hidráulico para la Autopista Norte en Bogotá D.C. con $f'_{c_{max}} = 60\text{MPa}$ (Boita, 2017), concretos para edificaciones de

gran altura como BD Bacatá y Atrío en Bogotá D.C. con resistencia máxima de $f'_{c_{max}} = 84MPa$; entre otras construcciones.

Por otra parte, para lograr concretos convencionales, el Reglamento de Construcciones Sismo Resistentes NSR-10 especifica que debe usarse relaciones a/mc entre 0,40 – 0,45 dependiendo del tipo de exposición. Estas relaciones garantizan agua suficiente para que la mezcla sea manejable. Sin embargo, la relación a/mc óptima para la hidratación del cemento según las mediciones de Powers T.C. (RILEM technical Committee 196-ICC, 2007) es de 0,23, esto quiere decir que el exceso de agua se evapora con el tiempo dejando poros en su matriz; una de las principales causas de reducción de las propiedades mecánicas.

Teóricamente la densificación de la estructura interna del concreto al reducir la relación a/mc, puede producir concretos altamente resistentes al agrietamiento y la permeabilidad (Beyene, Munoz, Meininger, & Di Bella, 2017). Además, estos concretos son susceptibles a la auto-deseccación a temprana edad.

Para controlar la auto-deseccación en la etapa de endurecimiento del concreto, comúnmente se recurre a un curado externo, que consiste en “mantener las condiciones de humedad y temperatura en una mezcla con cemento hidráulico recién colocada, esto con el fin de, permitir la hidratación completa del cemento y favorecer las reacciones puzolánicas (si es aplicable), permitiendo el desarrollo de las propiedades potenciales de la mezcla” (ACI 308 and 213, 2014)

Básicamente existen dos métodos de curado externo que permite mantener cierto nivel de humedad en el concreto: i) aplicación continua de agua ii) y el uso de sellantes o de compuestos curadores líquidos.

Cual sea el método, lo importante es mantener hidratado el concreto los primeros días de endurecimiento y secado. No obstante, para concretos con alta densidad o de grandes espesores, el agua no alcanza a penetrar totalmente, limitándose a hidratar solo una pequeña parte de la capa superior, como se ve en la Ilustración 0. *“El curado externo tiene una eficacia limitada para cubrir toda la zona afectada,*

estimando que, el agua puede penetrar en el concreto en los primeros días entre 4 a 8mm” (ACI 308 and 213, 2014).

Esta ineficiencia, debido a la percolación, limita en mayor proporción a los concretos que tienen una relación a/mc baja. En la práctica, y en climas cálidos, el curado externo es a menudo difícil porque la baja humedad y las altas temperaturas ambientales conducen a la evaporación del agua de mezcla, y los vientos también aumentan la velocidad de evaporación (Khaliq & Javaid, 2017).

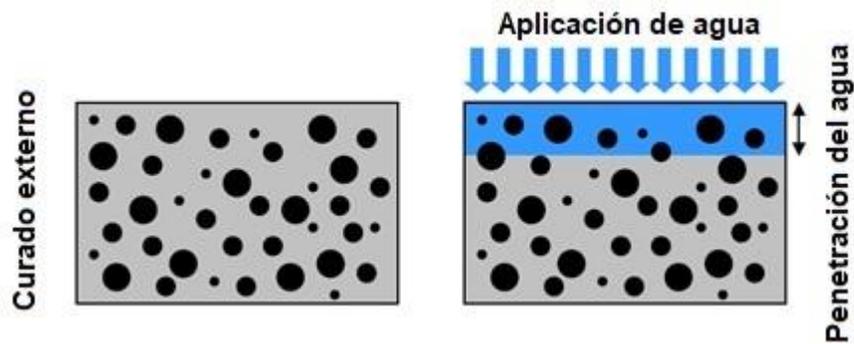


Ilustración 0 Curado externo

Fuente: Tomado de estado del arte (Bentz & Weiss, 2011)

Así fue como la tecnología del curado interno fue descubierta como alternativa, con el objetivo de hidratar directamente la matriz del concreto en los primeros días de colocación. Apunta a mejorar las propiedades mecánicas y con ello la construcción de estructuras más duraderas.

El curado interno del concreto se puede definir como la inclusión de reservas de agua en la mezcla de concreto, a través de materiales súper absorbentes previamente humedecidos, que pueden ser naturales o con alguna modificación en su composición mineralógica. Actúan, liberando el agua absorbida a medida que la humedad relativa interna desciende debido a las pérdidas inminentes de agua de la mezcla del concreto de su estado plástico al iniciarse la auto-deseccación. Los reservorios cubrirían la necesidad de mantener hidratado el cemento hidráulico en las primeras horas de fraguado.

El curado interno puede ofrecer grandes beneficios a los concretos como el mejoramiento en la disminución de las contracciones, resistencia a la compresión y durabilidad (Kyllästinen, 2015). Además, al contar con reservorios de agua que coadyuven con la hidratación del cemento es viable aumentar la densidad del concreto evitando así la penetración de cloruros y otras sustancias nocivas.

Las contracciones del concreto son fenómenos atribuidos a los cambios volumétricos que desarrollan en la etapa de endurecimiento del concreto, esfuerzos prematuros que el concreto aún no es capaz de resistir, y en consecuencia debilita la matriz provocándole micro-fisuras. Investigaciones han reportado que con el curado interno se ha logrado reducir y hasta eliminar los esfuerzos internos a causa de las contracciones (Bentz & Weiss, 2011).

Por otro lado, los reservorios de agua para curado interno fueron descubiertas por Paul Klieger, 1957., cuando afirmó que algunos agregados ligeros pre-saturados, aparentemente, pueden transferir agua a la pasta de cemento durante la hidratación.

Los agregados ligeros son materiales capaces de absorber gran cantidad de agua respecto su peso y tamaño. Además, poseen la capacidad de liberar por capilaridad la mayor cantidad de agua en condiciones altas de humedad relativa ($HR \geq 94\%$) (ASTM C1761, 2017). Estos agregados ligeros pueden ser de origen natural, o con alguna modificación morfológica. Los agregados de origen natural son materiales disponibles en la naturaleza que presentan una matriz con baja densidad y gran cantidad de vacíos; los segundos son materiales modificados por el hombre para lograr partículas lo suficientemente absorbentes.

Investigaciones como “*Características y permeabilidad al cloruro de concreto curado internamente*” (Kim, Wang, & Ji, 2018), “*Efecto del curado interno en las características del concreto autocompactante mediante el uso de agregados livianos finos y gruesos*” (Yang & Wang, 2017), “*Propiedades y curado interno del concreto que contiene como agregado reciclado el concreto aireado en autoclave*”

(Suwan & Wattanachai, 2017). han encontrado la eficiencia de estos agregados ligeros en el curado interno.

Sin embargo, hallaron que el tamaño de las partículas tiene una influencia significativa en las propiedades mecánicas de los concretos curados internamente. Los agregados ligeros finos ha demostrado mejores beneficios, debido a una mejor distribución en la mezcla de concreto, los cuales cuando inician la liberación del agua, logran humedecer una mayor porción de la mezcla (Nowasell & Kevern, 2015). Así fue como se abordó a la presente investigación, donde se analizó la eficiencia de dos tipos de agregados ligeros finos presentes en el país.

Los agregados ligeros finos como arcilla expandida térmicamente y residuos cerámicos, fueron caracterizados en la presente investigación y usados en el curado interno del concreto; enfocado en concretos de alta resistencia donde la relación agua cemento es baja y la densificación es alta. Es decir, donde realizar un curado completo desde la superficie es poco probable debido a la velocidad del flujo capilar.

Finalmente, la presente investigación está enfocada en caracterizar ciertos agregados ligeros presentes en la región y que puedan funcionar como reservas para curado interno, evaluando su efectividad en las propiedades físicas de concretos de alto resistencia. Todo esto con el ánimo de contribuir al desarrollo de la infraestructura de país, obteniendo estructuras durables.

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Curado del concreto: Curado interno y externo

El ACI define el curado del concreto como “*Acción tomada para mantener las condiciones de humedad y temperatura en una mezcla de cemento recién colocada para permitir la hidratación del cemento hidráulico y (si corresponde) que se produzcan reacciones puzolánicas para que se desarrollen las propiedades potenciales de la mezcla*”.(ACI, 2016).

Después de colocado el concreto en los moldes, se hace necesario mantener controlada la humedad y la temperatura de la mezcla, con el fin de evitar la evaporación del agua que promueve la auto-deseccación de la pasta de cemento. El curado tiene una gran influencia en las propiedades del concreto endurecido, como la durabilidad, la resistencia a la compresión, la permeabilidad, la resistencia a los cloruros, resistencia a los esfuerzos internos y a las contracciones (RILEM technical Committee 196-ICC, 2007).

Los métodos tradicionales se basan en el curado externo y se dividen en dos grupos: el curado con agua: aquellos que evitan la pérdida de agua del concreto al suministrar humedad adicional, y curado sellado (o sin agua), aquellos que solamente evitan la pérdida de humedad del concreto (Kovler & Jensen, 2005)

En la práctica el curado con agua en climas cálidos es a menudo difícil porque la baja humedad y las altas temperaturas ambientales conducen a la evaporación del agua de mezcla. Los vientos también aumentan la velocidad de evaporación, por esta razón a menudo se usa el curado sin agua con plásticos, membranas y

emulsiones acuosas. Además, cuando la relación a/mc es baja, el curado externo puede ser ineficaz debido a la percolación (Khaliq & Javaid, 2017).

Se cree que el curado con agua es más eficaz para el concreto de alta resistencia que el curado sellado o sin agua. En el caso del concreto ordinario, la acumulación de agua o la inmersión se consideran entre los mejores métodos de curado con agua (RILEM technical Committee 196-ICC, 2007).

El agua de curado también se puede suministrar desde una fuente interna, que se conoce como curado interno (IC por sus siglas en inglés *Internal Curing*). El IC implica la introducción de una reserva de agua en la mezcla de concreto que sirve como agente de curado. Este agente puede ser un nuevo componente (por ejemplo, agregado ligero) o un agregado normal introducido en la mezcla de concreto en una condición específica (por ejemplo, en un estado de saturación de agua) (Kovler & Jensen, 2005).

Resultados de diferentes investigaciones han demostrado que el curado interno promueve la hidratación continua del cemento evitando la autodesecación y como resultado, hay una mejoría en la formación de matrices más densas y la reducción de la Zona de Transición Interfacial (ITZ por sus siglas en inglés *Interfacial Transition Zone*).

Hay diversas formas y materiales para aplicar curado al concreto recién mezclado, en especial para el curado interno del concreto. En la Ilustración 1-1 se puede apreciar la variedad de medios y agentes usados para realizar un curado tanto externo como interno del concreto y la cantidad de agentes capaces de contener gran cantidad de agua y que pueden ser incluidos en las mezclas de concreto para realizar el curado interno.

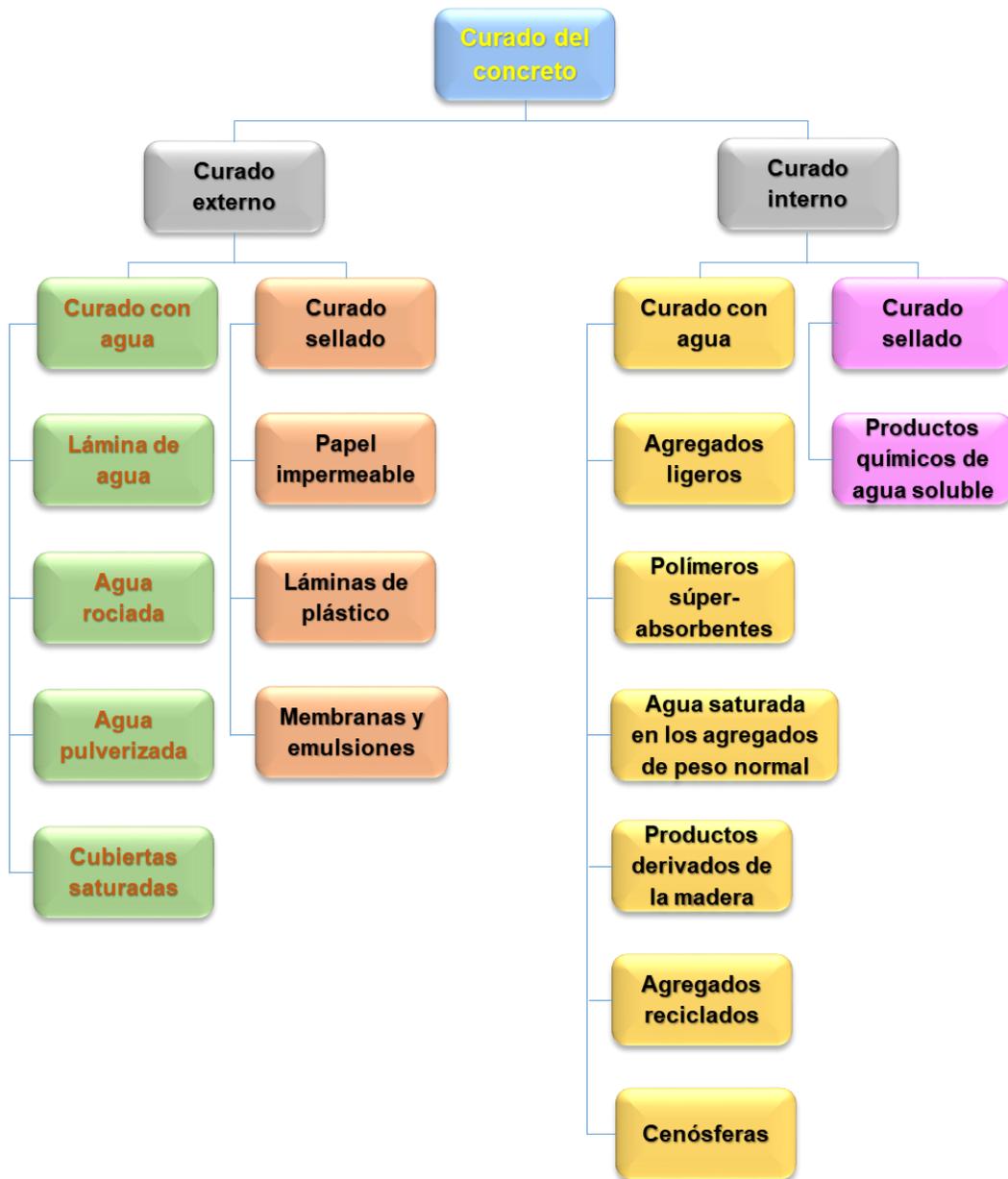


Ilustración 1-1 Métodos de curado interno y externo
 Fuente: Tomado de Reporte 041 (RILEM technical Committee 196-ICC, 2007)

Los agregados ligeros (LWA por sus siglas en inglés *Lightweight Aggregates*), han sido los más usados para IC, no obstante, hallarlos y caracterizarlos es una tarea dispendiosa que hay que hacerla con el fin de mejorar la calidad de los concretos y la infraestructura del país.

1.2 Curado interno: Definición

El curado interno del concreto se puede definir como la inclusión de reservas de agua en la mezcla de concreto, a través de materiales súper absorbentes previamente humedecidos, que pueden ser naturales o con alguna modificación en su composición mineralógica. Actúan liberando el agua absorbida, a medida que la humedad relativa interna desciende debido a las pérdidas inminentes de agua de la mezcla del concreto, en su estado plástico, al iniciar la auto-deseccación. Los reservorios cubrirían la necesidad de mantener hidratado el cemento hidráulico en la etapa de endurecimiento, como se puede ver en la Ilustración 1-2

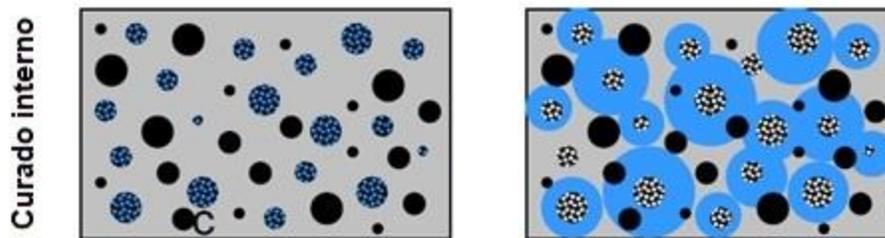


Ilustración 1-2 Curado interno

Fuente: Tomado de Estado del Arte (Bentz & Weiss, 2011)

Los concretos con relación a/mc (agua / material cementante) menores de 0,40 son propensos a presentar contracciones que debilitan su matriz y en consecuencia presentar fisuraciones en la etapa de endurecimiento. Estudios han revelado que la microestructura del concreto es más vulnerable durante las primeras 12 horas de realizada la mezcla. Durante este lapso de tiempo, la resistencia a la tracción del concreto es muy baja para resistir la propagación de fisuras causada por los esfuerzos de contracción (Wu, Farzadnia, Shi, Zhang, & Wang, 2017).

El aporte del IC puede beneficiar a los concretos de bajas relaciones a/mc , con una mayor hidratación del cemento, un mayor desarrollo de la resistencia a las fuerzas internas, reducción de la contracción y fisuración auto-inducida, disminución de la permeabilidad, y mejoras con la durabilidad, entre otros (Iffat, Manzur, Rahman, Noor, & Yazdani, 2017).

1.3 Curado interno en la teoría

La cantidad de agua necesaria de curado interno para evitar la auto-deseccación se puede calcular con el modelo de Powers T.C. (RILEM technical Committee 196-ICC, 2007).

El modelo de Powers se basa en un estudio exhaustivo de las isothermas de absorción de vapor de agua y el agua unida químicamente en la pasta de cemento. Según los estudios de Powers, parecía razonable clasificar el agua contenida en la pasta de cemento en tres fases: agua capilar (agua libre), agua adsorbida al gel (agua adherida físicamente), y agua de reacción química (agua no evaporable). Estas condiciones se muestran en la Ilustración 1-3.

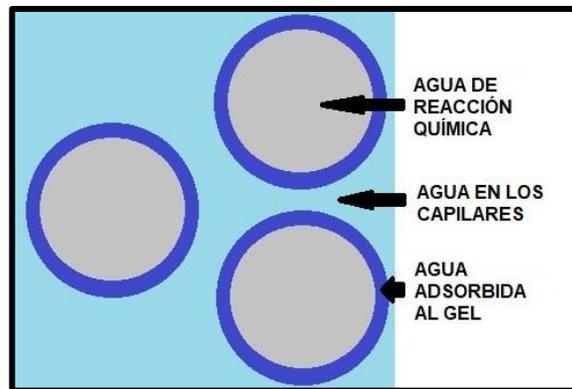


Ilustración 1-3 Agua contenida en la pasta de cemento

Agua de reacción química: es el agua que reacciona durante la hidratación con la partícula de cemento formando un gel o aglutinante y no es evaporable, ya que es parte integral de la estructura de la pasta de cemento. Las mediciones de Powers mostraron que, químicamente se unen aproximadamente 0,23g de agua por cada 1,0g de cemento.

Agua adsorbida al gel: es el agua que se adsorbe en la superficie del gel, y que equivale aproximadamente 0,19g de agua por cada 1,0g de cemento. No está disponible para la hidratación del cemento.

Agua en los capilares: es el agua que no está unida al gel y se encuentra presente en los poros capilares gruesos de la microestructura. Solo el agua capilar está disponible para la hidratación del cemento. Y se considera que está en equilibrio cuando la humedad relativa está al 100%.

Los productos resultantes de reacción formados durante la hidratación del cemento tienen un volumen menor que el cemento y el agua. Esta reducción de volumen fue medida experimentalmente y corresponde a 6,4 ml por 100 g aproximadamente de cemento reaccionado.

Como se mencionó anteriormente, solo el agua en los capilares está disponible para la hidratación del cemento. La hidratación se retrasa significativamente cuando el agua capilar se agota. Para lograr la hidratación completa, un gramo de cemento hidráulico debe recibir aproximadamente 0,23g de agua de reacción química y 0,19g de agua adsorbida al gel, es decir, solo es posible en proporciones de a/mc por encima de 0,42 ($= 0,23 + 0,19$).

Si una muestra de pasta de cemento se hidrata bajo el agua, la reducción de volumen será reemplazada por el agua disponible alrededor. A partir de entonces el agua estará disponible para la hidratación del cemento.

Para relaciones a/mc mayores a 0,42, la pasta de cemento totalmente hidratada contiene un exceso de agua en los capilares. Y por lo tanto el cemento puede hidratarse completamente; a medida que alcanza la hidratación, el cemento reacciona con el agua y forma un gel sólido.

La Ilustración 1-4 muestra las relaciones volumétricas calculadas con el modelo de Powers de una pasta de cemento en función del grado de hidratación α , para una relación $a/mc > 0,42$. El diagrama se aplica a un sistema cerrado, es decir, un sistema sin transporte de humedad hacia o desde la pasta de cemento. Debido a la alta relación a/mc, la pasta de cemento totalmente hidratada contiene un exceso de agua en los capilares. El cemento, por lo tanto, puede hidratarse completamente.

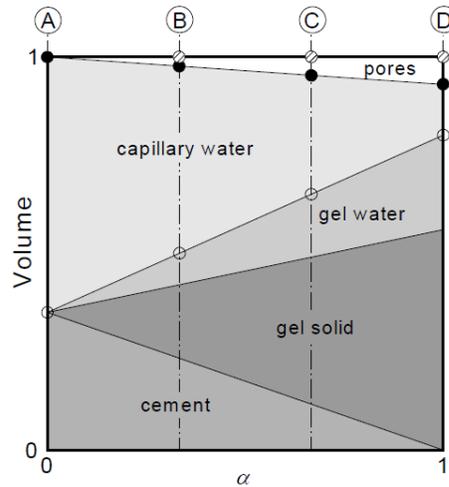


Ilustración 1-4 Fase de distribución de la pasta de cemento $a/mc > 0,42$.
Fuente: Tomado de Reporte 041 (RILEM technical Committee 196-ICC, 2007)

A medida que avanza la hidratación ($\alpha = 0 \rightarrow 1$), el cemento reacciona con el agua formando el gel sólido, además, en la Ilustración 1-4 se muestra la presencia del agua adsorbida al gel, que aumenta proporcionalmente con el volumen de este. Sin embargo, hay aparición de un volumen de poros que aumenta de tamaño en función de la hidratación.

El aumento de los poros en la pasta de cemento es producto del encogimiento del gel sólido, el cual ocupa menos espacio que el cemento y el agua de donde se forma, este fenómeno es llamado contracción química.

En la Ilustración 1-5, se observa las relaciones volumétricas calculadas con el modelo de Powers, en las mismas condiciones de anterior ilustración, solo que esta fue elaborada para una relación $a/mc < 0,42$, debido a la falta de agua disponible en los capilares el cemento no alcanza a hidratarse completamente.

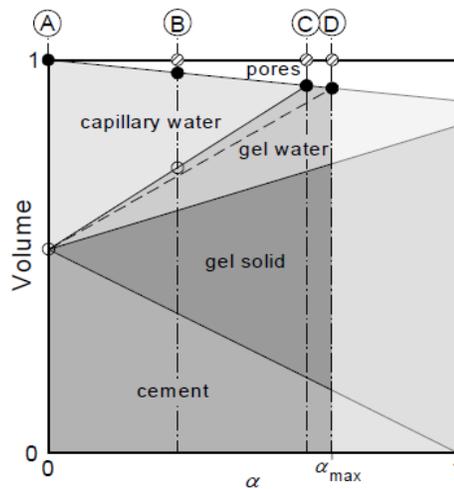


Ilustración 1-5 Fase de distribución de la pasta de cemento $a/mc < 0,42$.

Fuente: Tomado de Reporte 041 (RILEM technical Committee 196-ICC, 2007)

En la Ilustración 1-6 se muestra la distribución de fase de una pasta de cemento con una proporción $a/mc < 0,42$, con reservas de agua que se encuentra libre para la hidratación del cemento. Este suministro de agua permite que el cemento alcance un mayor grado de hidratación. Además, no se forman micro-poros llenos de gas dentro de la pasta de cemento.

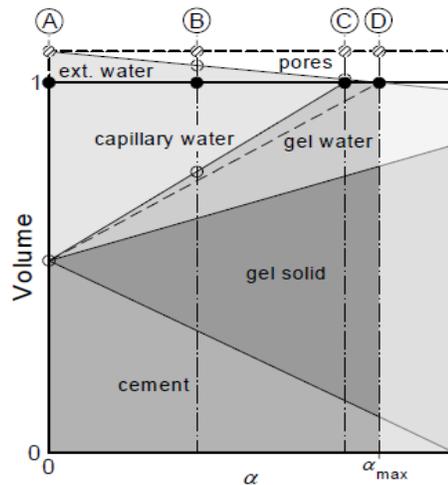


Ilustración 1-6 Fase de distribución de la pasta de cemento $a/mc < 0,42$, con IC

Fuente: Tomado de Reporte 041 (RILEM technical Committee 196-ICC, 2007)

El "agua externa" puede estar en forma de agua de curado interno en la pasta de cemento, lo que significa que el agua externa se puede disponer en la pasta de

cemento como una fase discontinua de macro-poros llenos de agua que generalmente se pueden obtener por medio de agregados ligeros. Durante la hidratación, estas inclusiones con la fase de agua de curado interno se vacían y terminan como macro poros llenos de gas.

Como los poros generalmente tienen una influencia negativa en las propiedades mecánicas de la pasta de cemento, solo debe agregarse la cantidad necesaria de agregados ligeros que contenga el agua suficiente para evitar la auto-desección.

1.3.1 Cantidad de LWA requerido para curado interno.

Basado en el modelo de Powers, es posible estimar cuánta agua de curado interno se necesita para prevenir la auto-desección. Powers presentó un procedimiento matemático que incluyen unas relaciones volumétricas de la pasta de cemento sin contenido de aire. Debido a las nuevas investigaciones que incluyen los agregados ligeros para mitigar la autodesecación, en este documento no se vio la necesidad presentar el procedimiento matemático de Powers; de ser necesario se puede consultar en el reporte 41 del Rilem página 23.

La metodología fue mejorada con la inclusión de la masa de los agregados ligeros que servirán como reservas al interior del concreto, El ACI 213 R-14 en el numeral 9.2, considera el uso de la ecuación de Bentz et al (2005), para obtener la proporción ideal de agregado ligero para curado interno del concreto.

$$C_f \times CS \times \alpha_{max} = S \times \phi_{LWA} \times M_{LWA} \quad \text{Ecuación 1-1}$$

De la Ecuación 1-1, las variables que se encuentran al lado izquierdo representa la cantidad de agua requerida para mitigar la auto desecación del concreto, y el lado derecho representa la cantidad de agua aportada de los reservorios internos de los LWA previamente humedecidos, (Bentz & Weiss, 2011).

Cantidad de cemento (C_f) : Corresponde a la cantidad de cemento del diseño de mezcla en unidades de $\frac{kg}{m^3}$.

Contracción química (CS) : La contracción química puede calcularse en función de las diferencias de volúmenes entre los reactivos iniciales / básicos (V_b) y la hidratación final / productos de reacción (V_r). La composición del gel $C-S-H$ se considera $C_{1,7}SH_4$ al iniciar la hidratación. Por ejemplo, la contracción química (V_{CS}) de C_3S (Silicato tricálcico) se define como la relación del volumen de la contracción química (V_S) y la masa inicial (M) del C_3S , como se describe en el siguiente ecuación (Zhang et al., 2013):

	$C_3S + 5,3H \longrightarrow C_{1,7}SH_4 + 1,3CH$			
Masa molar (g/mole)	228	95,4	227,2	96,2
Gravedad específica (g/cm ³)	3,15	1,0	2,12	2,24
Volumen molar (cm ³ /mole)	72,38	95,4	107,17	42,95

$$V_{CS} = \frac{V_S}{M} = \frac{(72,38 + 95,4) - (107,17 + 42,95)}{228} = 0,0775 \frac{ml}{g}$$

Zhang et al. 2013 en su investigación demostró que el valor experimental de la contracción química de un cemento ordinario, correspondía al valor teórico. De ahí que, valor típico recomendado es $0,07 \text{ ml/g}$ (Bentz & Weiss, 2011), y adoptado en la presente investigación.

$$CS = 0,07 \frac{ml}{g}$$

Grado máximo de hidratación del cemento (α_{max}) : Valor adimensional que representa la relación de a/mc de la mezcla de concreto en estudio y el valor experimental de $a/mc = 0,36$. En un sistema de cemento Portland puro, para una relación de masa $a/mc = 0,36$ o mayor, el grado máximo de hidratación esperado se puede establecer en 1,0 (Bentz & Weiss, 2011).

Debido a que se considera que la pasta de cemento se encuentra con suficiente agua para su hidratación. se tendrá:

Para valores de $a/mc \geq 0,36$ se considera 1,0.

Para valores de $a/mc < 0,36$ se usa la relación $\frac{a/mc}{0,36}$.

Grado de saturación del LWA. (S) : Porcentaje de saturación del agregado ligero, valor que debe estar en el intervalo de 0 – 1,0 (ACI 308 and 213, 2014).

Capacidad de liberar agua (ϕ_{LWA}) : Corresponde al valor de la cantidad de agua liberada a 94% HR en relación a la masa seca del material, obtenido del ensayo de desorción ASTM C1671.

Masa seca M_{LWA} : Masa seca del LWA en estudio por unidad de volumen necesario para curado interno del concreto $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$ (ACI 308 and 213, 2014).

La cantidad de agregado ligero necesario no es un adicional a los agregados de peso normal, más bien es un reemplazo porcentual en volumen de los agregados comunes por los agregados ligeros, y no en masa.

Las densidades relativas de los agregados ligeros son mucho menores que los agregados comunes, por esta razón hay que tener en cuenta el volumen de las partículas al momento de realizar el reemplazo. Esto quiere decir que al reemplazar en masa los dos agregados, muy probablemente el agregado ligero va a reemplazar gran parte del volumen del agregado común, viéndose afectado el porcentaje óptimo de la granulometría combinada.

1.4 Curado interno en la práctica

El IC, también conocido como concreto de auto curado, se usa cada vez más en el mercado de la construcción internacional especialmente en los Estados Unidos, aplicado en puentes y carreteras de concreto. Han hallado beneficios múltiples que

garantizan una vida útil más larga debido a la reducción de las contracciones y la mejoría en la protección del acero de refuerzo.

La capacidad de usar agregados ligeros como reservas de IC para la mezcla de concreto ha sido ventajosa en los proyectos de construcción modernos debido a la mayor demanda de concreto de alta resistencia (HSC por sus siglas en inglés *High Strength Concrete*) así lo reporta en sus estudios (Akhnoukh, 2018).

En la actualidad el IC del concreto ha sido empleado para muchas estructuras de concreto, especialmente en el sector vial como la construcción de puentes y pavimentos en concreto; dejando buenos resultados, tanto que algunas agencias estatales de los Estados Unidos adoptaron el curado interno, por ejemplo, los departamentos de transportes de Nueva York, Indiana y Kansas.(Kim & Wang, 2016).

El departamento de transporte de New York (NYSDOT) ha elaborado especificaciones técnicas para el IC de concretos de alto rendimiento, que pueden ser usados para la construcción y reparación de estructuras viales. Recientemente en el año 2017, se inició la reparación del viaducto Bruckner, tres puentes vehiculares ubicados en el Bronx, Kings, Queens, ocho puentes en Westchester County y varios más, ver Ilustración 1-7. Reemplazando las viejas losas de concreto con nuevas placas de concreto usando curado interno (NYSDOT, 2019).



Ilustración 1-7 Viaducto Bruckner

Fuente: Tomado de Bruckner Viaduct Deck Replacements (NYSDOT, 2019)

Por su parte el departamento de transporte de Indiana (INDOT), cuenta con especificaciones técnicas para la caracterización de agregados ligeros para IC, como la ITM 222-15T. En el año 2013 emitió cuatro contratos para puentes en concreto en la carretera interestatal I-69 con la incorporación de IC en los elementos de placa de rodadura y las vigas laterales. Los carriles hacia el norte sobre Little Black Creek en el condado de Grant están diseñados teniendo en cuenta las consideraciones de curado interno, mientras que los carriles hacia el sur están diseñados con concreto convencional.

La Universidad de Purdue trabaja con el Departamento de Transporte de Indiana en un programa de investigación de curado interno a largo plazo. El equipo de investigación de Purdue dirigido por el Dr. Jason Weiss está presente en cada colocación de concreto. El equipo calcula los niveles de humedad internos y externos del agregado fino liviano almacenado, y coordina con INDOT en el ajuste del agua del diseño de la mezcla. Junto con el personal de pruebas de INDOT en el proyecto, determinan los ensayos del concreto en estado plástico, y endurecido.

El programa de pruebas del IC de INDOT representa una de las investigaciones de campo más diligentes y meticulosamente coordinadas en Estados Unidos (Spaulding, 2019).

Por otro lado, el departamento de transporte de Kansas (KDOT), en el año 2014 seleccionó las carreteras autopista US 54 (Ilustración 1-8) y autopista US 169 para la aplicación del IC del concreto. Los resultados preliminares de concreto endurecido muestran que el pavimento de concreto curado internamente tiene una contracción ligeramente más baja, un módulo de elasticidad más bajo y una relación de Poisson más alta, todo lo cual podría llevar a una menor curvatura y alabeo y una vida útil más larga de estas vías importantes (Brown, 2019).



Ilustración 1-8 Aplicación de concreto IC en autopista US 54
Fuente: Tomado de Internal Curing of US 54 (Brown, 2019)

En Canadá fue construida la Plataforma de alta mar de Hibernia en Newfoundland (Ilustración 1-9), usando concreto con agregado ligero pre-humedecido, en un 50% de reemplazo del agregado grueso de peso normal. Los materiales de agregado ligero fueron lutitas expandidas, arcilla, y pizarras (Iffat et al., 2017)



Ilustración 1-9 Plataforma Hibernia
Fuente: disponible en www.cbc.ca

Existen muchas otras estructuras que han sido construidas en concreto con los beneficios del curado interno, esto nos indica que es una técnica prometedora para la elaboración de concretos resistentes, duraderos y sostenibles.

Para Colombia, es escasa la información con respecto al curado interno en los concretos, limitándose a dos investigaciones realizadas en la Escuela Colombiana de Ingeniería y lideradas por la Dra. Nancy Torres Castellanos Investigadora de la

Escuela Colombiana de Ingeniería; obteniendo resultados satisfactorios para el comportamiento mecánico de los concretos endurecidos. Estas investigaciones solo se encuentran a nivel experimental.

1.5 Agregados ligeros para curado interno

Se denomina agregados ligeros a los materiales con alta porosidad en su estructura y mayor absorción de agua que los agregados normales. Pueden originarse a partir de recursos naturales o elaborados por el hombre, los primeros por su composición morfológica presentan una matriz con baja densidad y gran cantidad de vacíos; los segundos, aunque su materia prima reside de la naturaleza son modificados por el hombre para lograr partículas lo suficientemente absorbentes.

Los LWA naturales, en su mayoría son de origen volcánico y por lo tanto solo se encuentra en algunos lugares del mundo. Como ejemplo esta la pumita, esta se origina a partir del enfriamiento repentino de la lava que contiene alta concentración de Óxido de silicio (SiO_2) (Chandra & Berntsson, 2002). Aunque hay rocas metamórficas poco densas como las pizarras y los esquistos, que tienen la capacidad de absorber y retener altas cantidades de agua en relación a su tamaño y peso.

Hay variedad de agregados de origen natural entre los más conocidos están las pizarras, pumitas, esquistos, lutitas, vermiculita, perlita y toba, ver Ilustración 1-10; materiales inorgánicos, porosos y poco densos. No obstante, su resistencia mecánica es muy baja con respecto a los agregados de peso común.

La única alteración realizada por el hombre para este tipo LWAs es la caracterización debido al tamaño, la cual puede obtenerse por medio de trituración de los materiales, lo que no ocasiona alteración en su mineralogía y por tanto siguen siendo de origen natural.



Pumita (Fuente: ©geology.com)



Pizarras (Fuente: ©geology.com)



Toba (Fuente: ©geology.com)



*Lutita
Fuente: disponible en www.uciencia.uma.es*

Ilustración 1-10 Agregados ligeros de origen natural

Por otra parte, están los LWAs artificiales o elaborados por el hombre. Se fabrican mediante procesos térmicos utilizando materiales naturales como la arcilla, pizarra, esquistos, perlita y vermiculita. Su producción es poco contaminante porque están hechos de materiales ricos en sílice que liberan cantidades muy modestas de CO₂.

Entre los agregados comerciales disponibles están: LWA a base de perlita muy común en Japón, LWA a base de vermiculita, LWA a base de arcilla expandida, LWA a base de pizarras. Estos materiales tienen algo en común y es la facilidad de expandirse ante el aumento de temperatura, su densidad disminuye considerablemente a medida que se encuentra expuesto a temperaturas altas que superan los 1.000°C (Chandra & Berntsson, 2002).

En este grupo también se pueden encontrar materiales para agregados ligeros fabricados mediante otro tipo de procesos como los agregados reciclados a base de concreto y cerámicas (Ilustración 1-11), polímeros súper absorbentes (SAP por sus siglas en inglés *Superabsorbent Polymer*) (Ilustración 1-12), polvos y fibras derivados de la madera, ceniza de cáscara de arroz, cascarilla de la palma de aceite, ceniza de fondo de carbón, Cenósferas, bio-LWA y la arcilla bentonita (J. Liu et al., 2017)



Ilustración 1-11 concreto reciclado
Fuente:(Suwan & Wattanachai, 2017)

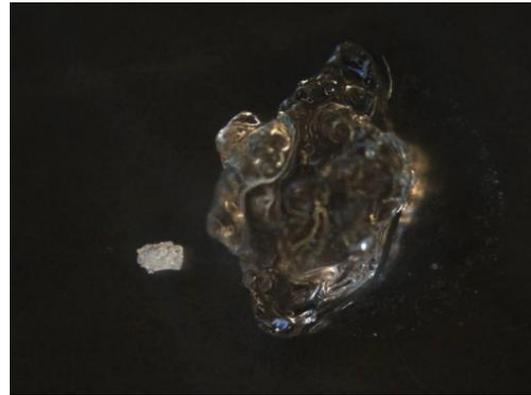


Ilustración 1-12 SAP (seco y saturado)
Fuente:(Mechtcherine & Reinhardt, 2012)

Como ya se mencionó, estos materiales poseen una alta porosidad y una elevada capacidad de absorción de agua con respecto a su peso. Sin embargo, para lograr que el agua este fácilmente disponible para el IC, el tamaño de los poros en los agregados ligeros debe ser lo más grande posible.

Además, la superficie rugosa y el contenido de poros gruesos en los agregados ligeros también pueden permitir que el gel sólido ingrese en estos poros y mejore la zona de transición entre la pasta de cemento y el agregado ligero (Suwan & Wattanachai, 2017).

Investigaciones han encontrado que el tamaño de los agregados influye considerablemente en los aportes favorables del curado interno en el concreto, demostrando que agregados ligeros con tamaños más pequeños pueden funcionar mejor que los agregados gruesos debido a una mejor distribución en la mezcla; es

así como, el agua de curado interno alcanzaría a cubrir mayor área de influencia, hidratando más pasta de cemento.

También F. Liu et al (2017) encontraron que al reducir del tamaño de la partícula para curado interno hasta $2,0mm$ puede mejorar la eficiencia de curado. Sin embargo, una mayor reducción de las partículas del agente de curado interno condujo a la reducción de la eficiencia del curado interno, en lugar de aumentar.

Zhutovsky et al (2011) explicaron que este fenómeno puede ser causado por dos mecanismos así: 1) distancias más estrechas entre agregados ligeros puede aumentar la eficiencia del curado interno, 2) los agregados ligeros muy finos tienen poros más pequeños y tienden a no desorber el agua, por tanto no estaría disponible para curado interno. Cuando el tamaño de la partícula es muy pequeña, el segundo mecanismo anula el primer mecanismo, lo que lleva a una reducción en la eficiencia del curado interno.

1.5.1 Arcillas expandidas térmicamente.

Las arcillas expandidas pueden ser usadas como agregados ligeros del concreto, provienen de tipos especiales de arcilla que se expanden durante el calentamiento debido al desarrollo de gases a partir de la materia orgánica, se fabrican mediante hornos a aproximadamente $1.200^{\circ}C$. Esto da como resultado partículas cerámicas con una cubierta dura que rodea un núcleo poroso, como se ve en la Ilustración 1-13.

La porosidad de estos LWAs puede llegar al 90% de su tamaño. Sin embargo, una gran parte de los poros están sellados y no están disponibles para la absorción de agua. Debido al tamaño de los poros, el agua absorbida puede considerarse libremente disponible (Jensen & Lura, 2006).



Ilustración 1-13 Acilla expandida

Fuente: Izquierda elaboración propia, derecha disponible en www.leca.com.

La producción de estos materiales se hace por medio de hornos rotatorio, hornos de sinterización con banda transportadora, hornos de eje vertical, reactor de lecho fluidizado. La característica principal de estos hornos es elevar la temperatura de las arcillas a valores superiores de los 1.000°C , momento en el que los gases minerales se expanden y acomodan la materia en una matriz porosa. Este procedimiento térmico también vitrifica la superficie dejando una capa dura. Los agregados gruesos son menos densos que los agregados finos

Por otra parte, no todas las arcillas tienen la capacidad de ser expandibles. Los minerales constituyentes de la arcilla que más contribuyen a esta expansión son la pirita, la hematita y la dolomita, así como su composición química en términos de alúmina, óxido de hierro y de sílice.

Este extraordinario producto, respetuoso con el medio ambiente, se usa ampliamente en una gran variedad de construcciones, donde sus propiedades de peso ligero, resistencia y durabilidad se adaptan idealmente tanto a los estrictos requisitos de ingeniería estructural como a las formas estéticas y artísticas (Holm & Ries, 2007).

1.5.2 Residuos cerámicos

Los agregados ligeros a base de residuos cerámicos, como los ladrillos de construcción, tienen la capacidad de absorber y retener agua en su microestructura porosa, y desorber el agua en condiciones de humedad y temperatura favorables. De ahí que, este tipo de agregado puede ser usado para curado interno del concreto, convirtiéndose en una alternativa de solución sostenible ofreciéndole valor a los materiales residuales de construcción.

Los Residuos de Construcción y Demolición (RCD) son materiales de desecho, generados en las actividades de construcción, demolición y reforma, de edificaciones, obra civil y espacio público. Por ejemplo, los ladrillos de construcción como se muestra Ilustración 1-14, los cuales son considerados inertes, no peligrosos y poseen alta susceptibilidad de ser aprovechados mediante transformación y reincorporación como materia prima de agregado en la fabricación de nuevos productos (Castaño et al., 2013).



Ilustración 1-14 Residuos de ladrillo

Los ladrillos de construcción son productos derivados de la quema controlada de las arcillas, elevando la temperatura a valores superiores de los 900°C para lograr la sinterización y las propiedades mecánicas. La materia prima químicamente está compuesta por Silice (Si), Aluminio (Al), Oxígeno (O), e Hidrógeno (H).

Tienen una estructura porosa capaz de absorber agua rápidamente. En la investigación de Iffat *et al* (2017) los agregados ligeros a base de mampostería

triturada lograron absorber el 28,6% de peso. No obstante, la capacidad de absorción no es suficiente para el curado interno, hay que medir la cantidad de agua que entrega en humedades relativamente altas. El método de ensayo ASTM C1761 en el apéndice X1.2, sugiere que un agregado ligero apto para curado interno debe desorber como mínimo el 85% del agua absorbida en las 72 horas de inmersión, y en las condiciones controladas de humedad relativa sugeridas en el método.

Iffat *et al* (2017), observaron que la capacidad de desorción de agregados ligeros de mampostería (MLWA por sus siglas en inglés *Masonry lightweight aggregate*) depende de la temperatura y la humedad relativa. Las condiciones de temperatura más alta (en el rango de 30 a 34 ° C) y de humedad relativa más baja (en el rango de 60 a 73%) son favorables para la desorción. Sin embargo, también se encuentra que los MLWA puede desorber una cantidad considerable de agua incluso a una humedad relativa mayor del 85% o más.

1.5.3 Caracterización de los agregados ligeros

Los agregados ligeros pueden ser caracterizados bajo la norma ASTM C330, aunque hay otras instituciones que cuentan con sus propios métodos de ensayo, como es el caso de los departamentos de transporte de Indiana y New York. Sin embargo, los métodos más usados en las investigaciones realizadas para agregados ligeros son las publicadas por el ASTM.

La especificación ASTM 330 (2017) trata sobre los agregados livianos a ser utilizados en concreto estructural en el cual la principal consideración es reducir la densidad del concreto manteniendo la resistencia a la compresión.

Esta especificación tiene como objetivo, evaluar los tipos de agregado ligero bajo unos parámetros mínimos de aceptación antes de ser usado en los concretos. En la Ilustración 1-15 se realiza un resumen de las normas técnicas aplicables para los agregados ligeros sugeridas por el método.

Tipo de agregado: la especificación técnica se limita a dos grupos de agregados ligeros dependiendo del origen, naturales o elaborados por el hombre. Entre los naturales están la escoria, la toba y la pumita; entre los elaborados por el hombre están productos a base de escoria, cenizas volantes, la diatomita y arcilla.

Composición química: Se refiere a las partículas impropias para la elaboración del concreto, como material orgánico, minerales y químicos que puedan reaccionar adversamente con el cemento.

Propiedades físicas: Indica los ensayos mínimos que deberán realizarse a los agregados ligeros para no afectar la resistencia mecánica del concreto endurecido.

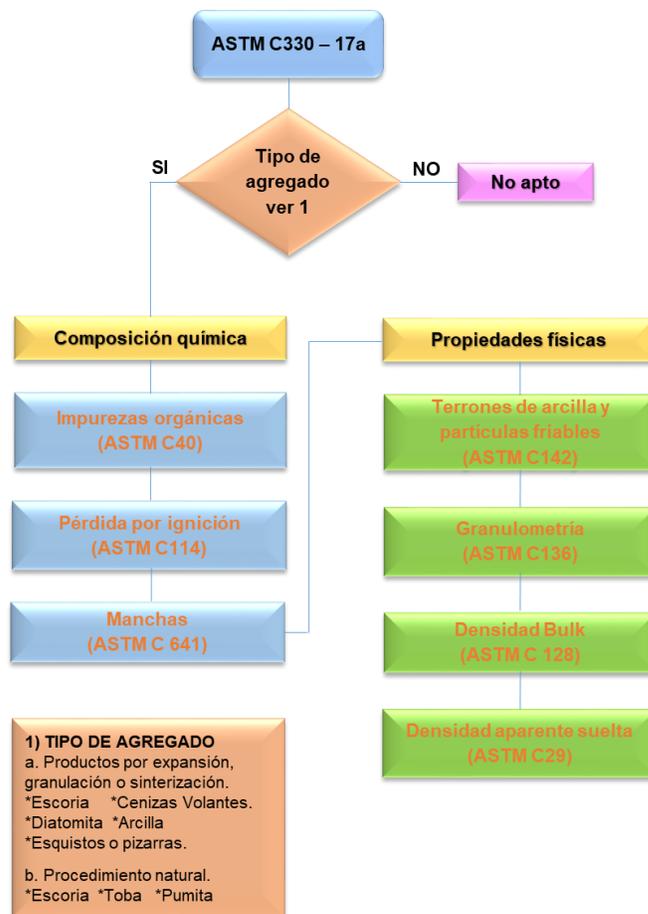


Ilustración 1-15 Flujo de procedimiento ASTM-C330

Las limitaciones de la ASTM C-330 para que el agregado ligero pueda ser aceptado son:

Tipo de ensayo	Limitación
Impurezas orgánicas	≤ Placa N° 3
Pérdida por ignición	≤ 5%
Manchas	≤ Índice 60
Terrones de arcilla y partículas friables	≤ 2% M _{SD}
Granulometría	Tabla 01 ASTM C330
Densidad Bulk	Tabla 02 ASTM C330

Tabla 1-1 Valores de aceptación del LWA según ASTM C330

Ahora bien, para la inclusión del agregado ligero como agente del curado interno, se deben evaluar con la especificación ASTM C1761 “Especificación normalizada de agregados ligeros para curado interno del concreto”. En la cual especifica el método de ensayo de absorción y desorción de los agregados ligeros.

En el apéndice X1.2 de la ASTM C1761 sugiere que la absorción de 72 h proporciona una indicación de la capacidad de agua del agregado liviano para el curado interno. Sin embargo, es crítico evaluar la facilidad con que esta agua absorbida se libera de los agregados ligeros a la matriz de cemento circundante durante el curado. El método de prueba de desorción se utiliza para determinar la cantidad de agua absorbida que se libera fácilmente y está disponible para mantener la saturación de los poros capilares en la pasta.

Esta norma, recomienda un ambiente de 94% de humedad relativa y una temperatura de $23,0 \pm 1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ [$73,5 \pm 1,5 \text{ }^{\circ}\text{F}$] para evaluar la capacidad de desorción. En esta especificación, se requiere que el agregado liviano libere al menos el 85% de agua absorbida en las 72h. (ASTM C1761, 2017)

1.6 Efectos del curado interno en las propiedades del concreto

1.6.1 Contracciones del concreto

La contracción del concreto puede ocurrir en dos etapas a temprana edad dentro de las primeras 24h de fraguado y las posteriores se refiere a la edad más allá de las 24h. La contracción en ambas etapas incluye principalmente la contracción autógena, contracción química, contracción por secado y contracción térmica, que tienen resultados superpuestos, pero con diferentes mecanismos. A largo plazo, también se agrega la contracción por carbonatación (CCC) que tiene un efecto acumulado.

Los concretos con altos contenidos de cemento como los de alto resistencia, son más susceptibles a esta patología.

En la investigación de Iffat *et al* (2017) se describieron las contracciones que se pueden presentar en los concretos, antes y después del fraguado. las cuales se observan en la Ilustración 1-16:

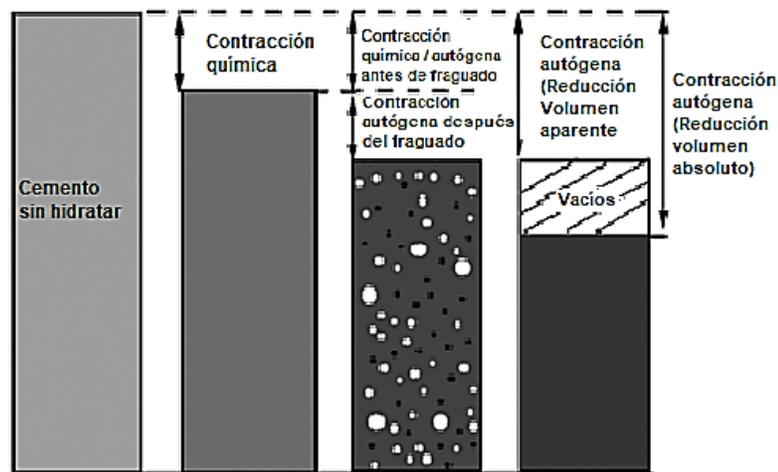


Ilustración 1-16 Contracciones del concreto
Fuente: Tomado de (Wu et al., 2017)

- *Contracción química*

Esta contracción está asociada al cambio de volumen a temprana edad de hidratación del cemento, se produce por la reducción del volumen de la pasta de cemento endurecida, es decir, el cemento hidratado tiene un volumen menor a los reactivos iniciales (agua y cemento). La contracción química como medida de reducción absoluta del volumen, se considera como la fuerza impulsora de la contracción autógena.

- *Contracción autógena*

Es una reducción macroscópica de la longitud a temperatura constante y sin ninguna migración de humedad hacia o desde el concreto. No incluye ningún cambio de volumen debido a la pérdida o ingreso de sustancias, la variación de la temperatura y la aplicación de fuerzas externas. También se la conoce como contracción por auto-desección.

Algunos estudios consideran que la influencia crítica de la contracción autógena se limita solo al concreto de alto y ultra alto rendimiento, en el que se aplica una gran cantidad de materiales cementosos y una baja cantidad de agua, permitiendo que la auto-desección se active en la pasa de cemento.

- *Contracción por secado*

La contracción por secado es causada por la evaporación interna del agua de la matriz debido a la baja humedad ambiental externa de los materiales a base de cemento. El desarrollo de la contracción por secado del concreto es prolongado en relación con la contracción autógena.

El valor de la contracción de secado medido por el método tradicional contiene parte de la contracción autógena, sin embargo, no es una superposición simple, ya que la condición de secado tiene un efecto grave en la hidratación del cemento.

- *Contracción térmica*

La contracción térmica indica la reducción del volumen desencadenado por un gradiente de temperatura excesivo entre las capas interna y externa o la temperatura descendente en la etapa temprana de endurecimiento del concreto.

La diferencia de temperatura se debe predominantemente al aumento de temperatura por encima de la temperatura ambiente inducida por la evolución del calor en el proceso de hidratación del cemento. El calor de hidratación puede afectar la contracción autógena ya que aumenta la auto-desección.

La experiencia de campo con mezclas de concreto de alta resistencia demostró que es propenso a agrietarse a una edad temprana debido a una alta contracción autógena y una alta contracción térmica.

- *Contracción por carbonatación*

Es causada por la carbonatación del concreto cuando se expone al dióxido de carbono (CO_2). La carbonatación puede ocurrir por la intrusión del CO_2 disponible en la atmósfera y su reacción con el hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), así como la desestabilización del silicato de calcio hidratado ($C - S - H$ por sus siglas en inglés *Calcium - Silicate - Hydrate*).

La disminución en la concentración de $\text{Ca}(\text{OH})_2$, la baja integridad de $C - S - H$ junto con la pérdida de humedad pueden desencadenar la contracción de la carbonatación. En edades posteriores del concreto (después de 24 h), la contracción de la carbonatación y la contracción autógena pueden ocurrir al mismo tiempo, sin embargo, la reducción de la carbonatación es baja en HSC.

Esta contracción puede aumentar el peso del concreto.

1.6.2 Resistencia a la compresión del concreto.

Se ha demostrado que el curado interno del concreto beneficia la resistencia a la compresión de los concretos, en especial para concretos con baja relación agua cemento. No obstante, la cantidad de agregados ligeros de reemplazo por los agregados de peso común debe ser óptima, de lo contrario es contraproducente para la capacidad.

La resistencia a la compresión del concreto disminuye a medida que se incrementa la cantidad de agregados ligeros. Kit *et al* (2018), presentaron un estudio experimental sobre las características físicas del concreto curado internamente, utilizando materiales orgánicos e inorgánicos para incluir reservas de agua en el interior de la mezcla; de ahí que, la principal consecuencia de la baja resistencia a la compresión es atribuida al tamaño de los poros de los agregados ligeros, a mayor tamaño de los poros, la microestructura del concreto será inadecuada para transferir cargas externas de compresión.

La investigación consistió en la preparación de mezclas de concreto de resistencia normal con LWA a base de lutitas y agregado de concreto reciclado (CCA por sus siglas en inglés *Crushed returned Concrete Aggregate*) como materiales inorgánicos y polímeros súper absorbentes como material orgánico. Observaron una reducción rápida de la resistencia a la compresión a medida que el reemplazo de los agregados ligeros por agregados comunes era mayor. Como se aprecia en la Ilustración 1-17, el reemplazo en masa se realizó de 0% hasta 75%. La disminución fue atribuida a la pésima distribución de los agregados ligeros en la mezcla y la formación de vacíos en la mezcla de concreto.

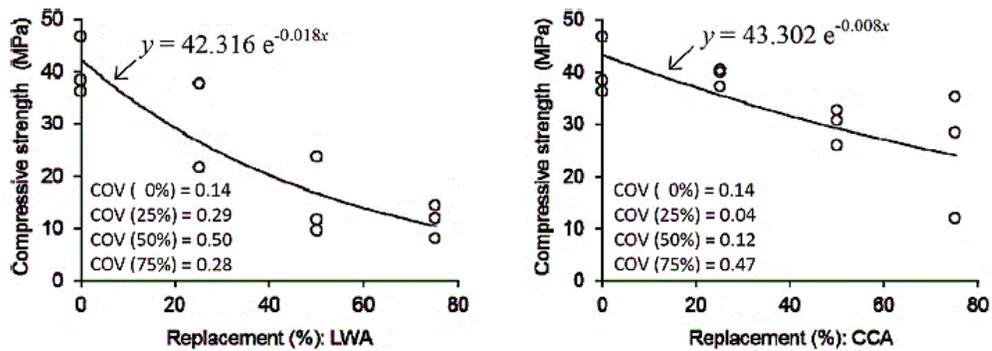


Ilustración 1-17 Resistencia a la compresión con reemplazo de LWA y CCA
Fuente: Tomado de (Kim et al., 2018)

Los concretos con agregados ligeros presentan el riesgo de segregación debido a la baja densidad y pueden flotar en el proceso de vibración, como se ve en Ilustración 1-18. Este problema de distribución de los agregados en el concreto fue estudiado (Yang & Wang, 2017), aplicando el concepto en concretos autocompactantes.

Prepararon concretos autocompactantes curados internamente con F-LWA y C-LWA (finos y gruesos respectivamente) a base de esquistos expandidos con reemplazos de 20% y 40% en volumen de los agregados de peso normal (NWA por sus siglas en inglés *Normal Weight Aggregate*). Y evaluaron cuantitativamente la flotación de los LWA con la prueba de segregación estática de concretos autocompactantes.

Demostraron que hubo una reducción en la resistencia a compresión cuando se presentaba mayor cantidad de agregados ligeros reemplazados por agregados de peso común, como también todas las mezclas de concreto revelaron resistencia a la compresión de 28 días más bajas que las muestras de control. El concreto curado internamente con C-LWA presentó la resistencia a la compresión más baja.

Esto se debió a que la introducción de LWA porosos causa efectos negativos significativos en el concreto debido a la menor resistencia de los LWA en comparación con los correspondientes NWA. Además, los C-LWA también pueden tener una menor eficiencia en comparación los F-LWA debido a la diferencia de distribución en la mezcla.

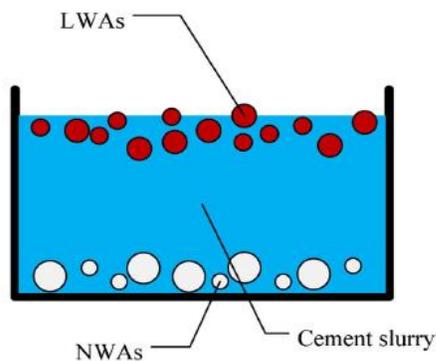


Ilustración 1-18 Separación de los LWAs y NWAs
Fuente: Tomado de (Yang & Wang, 2017)

Por su parte Meng *et Al* (2018) estudiaron el curado interno para concretos de ultra alto rendimiento, usando arena liviana (LWS por sus siglas en inglés *Lightweight Sand*) como agregados ligeros, concluyendo que la relación óptima de agregado ligero en reemplazo de agregado común es 25% para obtener mejores resultados de resistencia a la compresión en este tipo de concretos.

La investigación consistió en la elaboración de concretos de ultra alto rendimiento (UHPC por sus siglas en inglés *Ultra High Performance Concrete*) reemplazando gradualmente la arena de peso normal (NS por sus siglas en inglés *Normal Sand*), por la LWS en porcentajes de 0% a 25% con relación a su peso. El tamaño máximo de las partículas de LWS eran de 4,75mm (pasa tamiz #4), con capacidad de absorber el 15,6% de su peso en agua.

La resistencia a la compresión fue aumentando directamente proporcional a medida que iba aumentando el reemplazo hasta llegar al 25%, encontrando una mejor resistencia a la compresión del 15% a los 91 días.

Estos hechos indican que, aunque los agentes de curado internos pueden facilitar el proceso de hidratación del concreto, su uso debe determinarse adecuadamente para preservar la resistencia del concreto requerida

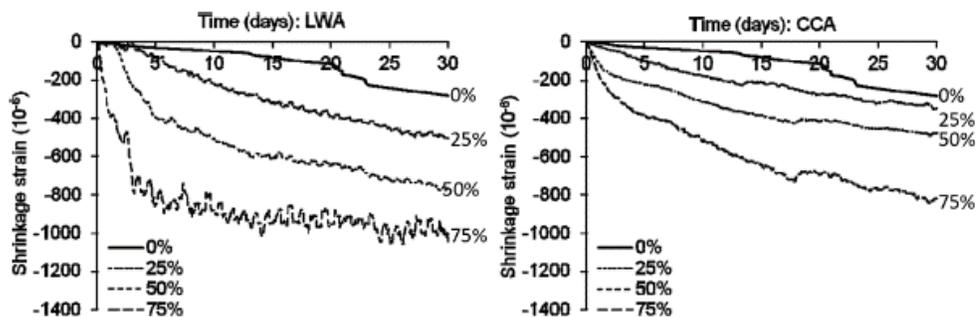
1.6.3 Resistencia a la contracción.

La contracción se vio reducida gracias a la inclusión de agentes pre-saturados para curado interno del concreto.

Kit *et al* (2018), hallaron una mejoría en la reducción por contracción en los concretos curados internamente con agregados ligeros a base de lutitas, concreto reciclado y polímeros súper absorbentes. Encontrando que a mayor cantidad de NW reemplazado por LWA, el comportamiento era mejor ante las contracciones de los concretos.

También, identificaron que a mayor capacidad de liberación del agua por desorción de los agregados ligeros se reduce considerablemente la deformación por contracción en el concreto. Para el caso en particular los SAP obtuvieron mejores resultados, seguido por los LWA a base de lutitas y los CCA, como se puede ver en Ilustración 1-19.

Concluyeron que las contracciones por secado de las mezclas de concreto se veían afectadas de forma directamente proporcional a la cantidad de agregados ligeros.



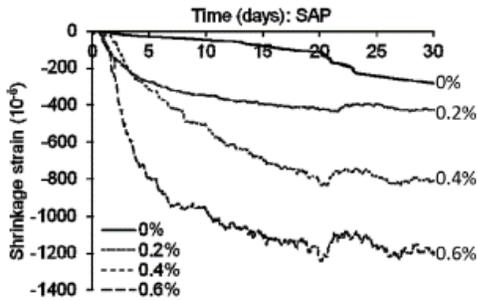


Ilustración 1-19 Deformación por contracción de los concretos con LWA, CCA y SAP
Fuente: Tomado de (Kim et al., 2018)

Por su parte, Yang *et al* (2017) demostraron que el tamaño de las partículas para curado interno del concreto influye en gran proporción en la mitigación de las deformaciones por contracción.

Evaluaron la contracción autógena del concreto curado internamente con F-LWA y C-LWA (finos y gruesos respectivamente) obteniendo una reducción para la mezcla con C-LWA de 35% en la contracción con respecto a la muestra patrón, y las mezclas con F-LWA de 70.3%.

La mezcla con C-LWA no pudo contrarrestar suficientemente la contracción autógena. Un aumento en C-LWA de 20 a 40% en volumen no causó una reducción adicional, dejando en visto la poca eficiencia de los agregados ligeros gruesos.

Ment *et al* (2018) encontraron que, al aumentar la adición de 0% a 25% de arena liviana (LWS) en reemplazo de la arena de peso normal de la mezcla para la elaboración de concreto de ultra alta resistencia (UHPC), la contracción autógena podría reducirse hasta en un 75% a los 28 días.

Esto indica que la adición de LWS puede reducir significativamente la auto-desecación debido al efecto del curado interno, lo que resulta en esfuerzos internos auto-inducidos proporcionalmente menores. Concluyendo que se puede reducir sustancialmente la contracción autógena al aumentar las relaciones de mc/s y LWS/NS en una proporción adecuada a/mc, lo que es un efecto positivo.

1.7 Estado del arte

1.7.1 Agregados ligeros para curado interno: Estudios experimentales.

En la investigación “*Características y permeabilidad al cloruro de concreto curado internamente*” se examinaron comparativamente las características físicas del concreto mezclado con agentes de curado interno orgánicos e inorgánicos y evaluaron la resistencia a la permeabilidad de los cloruros (Kim et al., 2018).

La investigación consistió en preparar mezclas de concreto de resistencia normal con LWA a base de lutitas y Agregado de Concreto Reciclado (CCA) como materiales inorgánicos y polímeros súper absorbentes (SAP) como material orgánico (Ilustración 1-20). Los agentes LWA y CCA reemplazaron el agregado fino común del concreto desde el 25% hasta el 75% en volumen, mientras que el agente SAP fue agregado desde un 0,2% hasta 0,6% de la masa de cemento.

Obtuvieron que al aumentar el porcentaje de LWA, de cualquier origen, se vio influenciada negativamente la resistencia a la compresión de los concretos para las tres mezclas, concluyendo que los agregados ligeros se dispersaban erráticamente. Sin embargo, influyó positivamente en la contracción por secado. Observaron micro-fisuras insignificantes en el concreto curado internamente.

Con respecto al ataque químico por cloruros, los agentes de curado interno mejoraron la unión de la matriz interna del concreto gracias a la mayor hidratación del cemento, dando como resultados concretos menos sensibles al daño mecánico en relación con el concreto de control.

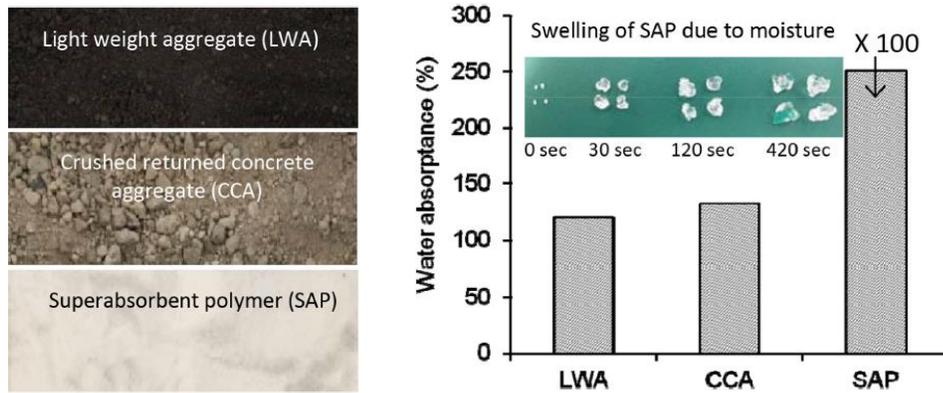


Ilustración 1-20 Agregados ligeros y porcentaje de absorción.
 Fuente: Tomado de (Kim et al., 2018)

Yang *et al* (2017) investigaron el comportamiento de los agregados ligeros como agentes de curado interno en concretos autocompactantes, debido al riesgo de segregación en el proceso de vibración a causa de la baja densidad de los agregados ligeros, del estudio experimental titulado “*Efecto del curado interno en las características del concreto autocompactante mediante el uso de agregados livianos finos y gruesos*” , y de allí fue seleccionada la siguiente información:

Prepararon concretos autocompactantes curados internamente con *F – LWA* y *C – LWA* agregados ligeros finos y gruesos respectivamente, estos *LWAs* fueron a base de esquistos expandidos. Los porcentajes de reemplazo fueron 20% y 40% en volumen de agregados de peso normal. Los especímenes de ensayo fueron losas de 380x380mm y altura de 100mm.

Los resultados mostraron que el curado interno es útil para reducir la contracción autógena del concreto autocompactante y no presentó segregación. También encontraron que los *F – LWA* mostraron un mejor desempeño en la reducción autógena que sus homólogos *C – LWA*.

Descubrieron que a mayor porcentaje de reemplazo de *F – LWA* pre-saturados del 20% al 40% disminuye significativamente la fluidez del concreto. Esto fue atribuido a la capacidad continua de absorción de agua de los *LWA* y a la distribución discontinua del tamaño de los agregados.

El F-LWA con 20% de reemplazo mostró mejor resistencia al paso de cloruros y una disminución de la sorptividad en comparación a la muestra patrón y las demás mezclas. Esto implica que hubo una distribución más uniforme de los agentes de curado interno.

Por su lado, Suwan et al (2017) estudiaron los agregados reciclados del concreto aireado en autoclave como agentes para curado interno del concreto, el artículo llamado "*Propiedades y curado interno del concreto que contiene como agregado reciclado el concreto aireado en autoclave*".

Los concretos aireados en autoclave (AAC por sus siglas en inglés *Autoclaved Aerated Concrete*) son materiales prefabricados muy porosos (Ilustración 1-21). De ahí que fueron escogidos para usarlos como agentes de curado interno del concreto. Tienen la capacidad de absorber agua entre el 28% y 30% de su peso.

Los agregados usados en esa investigación tenían una gravedad específica 1.06 y densidad suelta (*Bulk*) de $360\text{kg}/\text{m}^3$, y reemplazaron a los agregados de peso normal en 20%, 40% y 60% del volumen. Concluyeron que al aumentar la cantidad de AAC – LWA pre-saturado para una misma relación a/mc, la mezcla de concreto se tornó más fluida y por tanto aumentó el valor del asentamiento. El tamaño de las partículas también representó cambios en la resistencia del concreto, aduciendo que una granulometría abierta bien gradada entre tamices de 1" y 3/8", representó mejores resultados que su homologas que estuvieron entre 1" - 3/4", 3/4" – 1/2" y 1/2" – 3/8".

Al incluir los AAC – LWA en la mezcla mejoró la resistencia del concreto, debido a que al proporcionar una cantidad de agua adicional coadyuvo a la formación del C – S – H. Además, encontraron que la cantidad óptima de reemplazo estaba en el rango de 20% y 40%.



Ilustración 1-21 LWA a base de concreto aireado en autoclave reciclado
Fuente: Tomado de (Suwan & Wattanachai, 2017)

Igualmente Beyene et al (2017)., en la investigación “*Efecto del curado interno como mitigación al daño de la reacción alcalina-sílice*”, analizaron la hipótesis del uso de los *LWA* pre-saturados para curado interno, lo cual aumentaría el grado de hidratación del cemento, dando como resultado una pasta de cemento más densa, impidiendo la movilidad de los iones, como también ayudaría a reducir la velocidad de reacción álcali-sílice (*ASR* por sus siglas en inglés *Alkali – Silica Reaction*), dificultando la propagación de micro-fisuras desde el gel *ASR* hacia las áreas adyacentes.

El segundo objetivo de esa investigación fue investigar si los vacíos en la *LWA* contribuían a mitigar el daño por *ASR* al proporcionar alivio a través de la migración del gel de *ASR* a la estructura vacía del *LWA*, causando la reducción de la presión de expansión.

La *ASR* se conoce como una reacción química nociva entre los hidróxidos alcalinos de los poros del concreto y la sílice del agregado reactivo que resulta en la formación de un gel de *ASR* en el concreto. Se sabe que el inicio de la expansión tiene lugar dentro del agregado que contiene la sílice reactiva. Los daños pueden ser causado cuando el gel *ASR* en el agregado reactivo absorbe la humedad y causa una presión extrema de expansión, lo que puede generar el agrietamiento del agregado.

Prepararon concretos con reemplazo medidos y controlados de *LWA* a base de esquistos expandidos fabricados en planta térmica, las cantidades de reemplazo fueron obtenidas a partir de la ecuación de Bentz y Snyder (Ecuación 1-1), que se basa en la contracción química del cemento, el grado de saturación del cemento, los agregados y la desorción de los agregados ligeros.

Los resultados mostraron que el grado de fisuración a causa de la ASR fue mínimo y fue atribuible al reemplazo parcial de los agregados de peso normal por los *LWAs* pre-saturados, debido a la formación de una microestructura de pasta densa y menos permeable debido al aumento de la hidratación del curado interno. Ilustración 1-22.

No observaron migración del gel *ASR* en los poros de los *LWA* en el concreto, por lo tanto es poco probable que los poros en la *LWA* contribuyan a la reducción del daño del *ASR* en el concreto curado internamente.

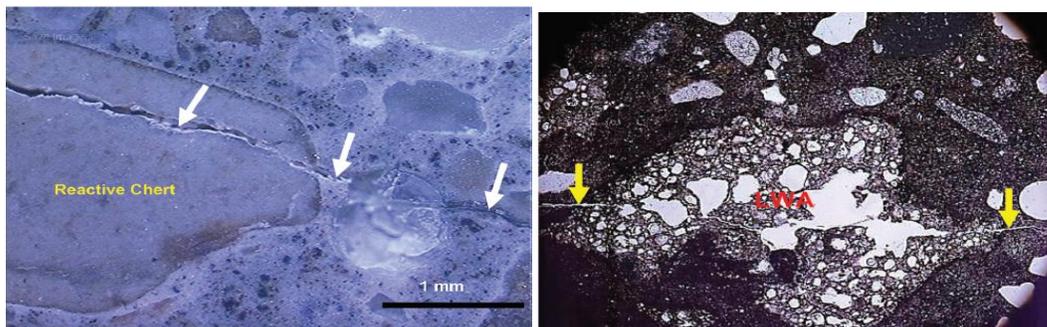


Ilustración 1-22 Micro-fisuras a causa de la reacción álcali -sílice
Fuente: Tomado de (Beyene et al., 2017)

Los investigadores Iffat et al (2017) realizaron un estudio del curado interno con mampostería triturada (*MLWA*) Ilustración 1-23, hallando propiedades favorables de absorción y desorción en los *MLWA*. El artículo se titula “*Proporción óptima para agregados de mampostería triturada para curado interno del concreto*”

Las características de los *MLWA* fueron, módulo de finura 6,37, gravedad específica 1.693 kg/m^3 y la densidad suelta 1.110 kg/m^3 con capacidad de

absorción del 28,6% de agua en términos del peso en horno seco. Observaron que la MLWA desorbía alrededor del 90% del agua a una HR del 60%.

Encontraron que el reemplazo del 20% agregado grueso con *MLWA* produjo un mejor desempeño tanto en términos de resistencia como de durabilidad. El rendimiento del concreto curado internamente con la proporción recomendada de *MLWA* es comparable a las muestras de control con curado externo. Incluso tienen un mejor desempeño que las muestras de control curadas bajo condiciones adversas similares, es decir sin curado. Las variables estudiadas fueron resistencia a la compresión, módulo de elasticidad y resistencia a la tracción.

La mayoría de las muestras curadas internamente mostraron una mayor permeabilidad. Sin embargo, se logró una permeabilidad al cloruro moderada a partir del reemplazo del 20% del *MLWA*. Esto significa que tal proporción de *MLWA* dentro del concreto desorbe suficiente agua para asegurar una hidratación adecuada que eventualmente produce un concreto con mejor desempeño sin requerir agua externa.

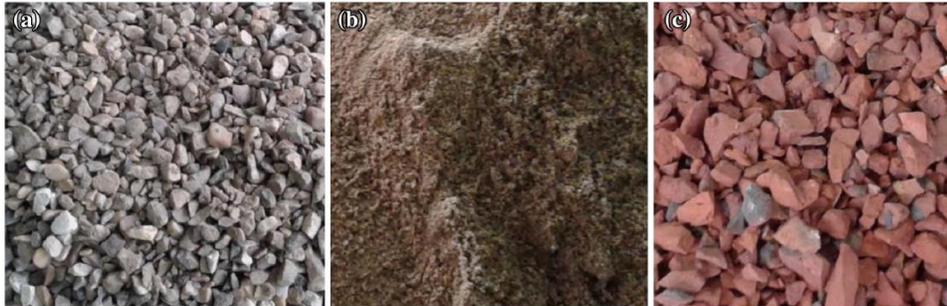


Ilustración 1-23 Agregados a) grueso b) fino c) mampostería triturada
Fuente: Tomado de (Iffat et al., 2017)

Por su parte, Meng et al (2018), investigaron el uso de arenas livianas como agentes de curado interno en la investigación titulada “*Diseño factorial y optimización de concreto de ultra alto rendimiento con arena liviana*”.

La mezcla de concreto de ultra alta resistencia *UHPC* fue elaborada incluyendo proporciones de *LWS* previamente saturada en sustitución del agregado de peso

normal, además tuvieron en cuenta las relaciones de a/mc y del material cementante/arena (mc/s), estas relaciones fueron factorizadas con todas las posibles combinaciones así: $LWS/NS = 0 - 25\%$, $a/mc = 0,17 - 0,23$ y $mc/s = 0,8 - 1,2$, iterando hasta encontrar la combinación óptima.

Usaron agregados ligeros a base de arena liviana con las siguientes características: tamaño máximo pasa tamiz #4, densidad Bulk 1,78, absorción 15,6% y módulo de finura 2,94.

Así fue como hallaron que, era posible lograr efectos de acoplamiento positivos significativos de a/mc y LWS/NS en la resistencia a la compresión a temprana edad, lo que indica que el efecto negativo de a/mc fue eliminado mediante el uso de LWS , resultado de un mayor grado de hidratación.

Como también las proporciones mc/s que fueron usadas también afectan negativamente sobre la resistencia del concreto, sin embargo, con la adición de los LWS pre-saturados mejoraron la resistencia a la compresión debido al mismo efecto de hidratación.

El parámetro de LWS/NS tuvo mayor influencia en la contracción autógena, como también la relación mc/s , esto quiere decir que, al aumento de los valores porcentuales de estas relaciones en el intervalo estudiado, colaboraron positivamente con la mitigación de la contracción autógena. Como se ve en Ilustración 1-24

Finalmente, encontraron que al reemplazar el 25% del NS con el LWS , la resistencia a la compresión aumentó hasta un 15% y la contracción autógena disminuyó hasta un 75%. Como también ayudó en la fluidez y la viscosidad plástica. Así que la mezcla óptima para lograr $UHPC$ con la sustitución de esa arena liviana fue de $a/mc = 0,23$, $LWS/NS = 0,25$ y $mc/s = 1,2$

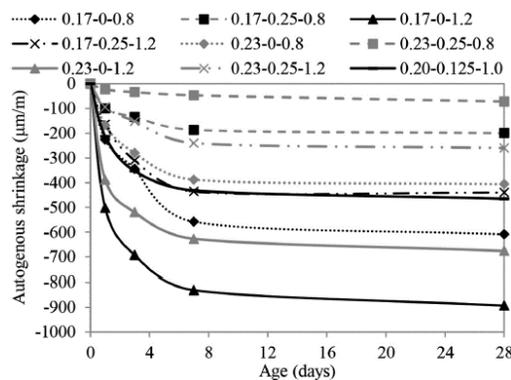


Ilustración 1-24 Contracción autógena
Fuente: Tomado de (Meng et al., 2018)

Concluyeron que el tamaño de los agregados ligeros favoreció el curado interno, gracias a que se pudo dispersar efectivamente en la mezcla y liberar progresivamente el agua a medida que la humedad relativa disminuyó después de fraguado el concreto.

Es así como el curado interno desde que fue concebido como una técnica para mejorar las propiedades mecánicas y durabilidad de los concretos, en especial los concretos de alta resistencia o baja relación a/mc, ha sido ampliamente estudiado con el fin de conocer el comportamiento ante una gran variabilidad de agregados ligeros, tanto orgánicos como inorgánicos, que funcionan como agentes retenedores de agua.

No obstante, el estudio del IC no solo se basa en desarrollar métodos de ensayo o investigar el comportamiento físico y químico del concreto o la pasta de cemento. Sino también, en la caracterización de los agregados ligeros antes de ser usados como reemplazo de los agregados comunes de la mezcla.

En lo particular, el ensayo de desorción en los agregados ligeros es fundamental para obtener la cantidad más aproximada de material a reemplazar y que funcione eficientemente.

Se puede decir que el IC es una técnica novedosa y práctica, que puede aportar positivamente en el desarrollo de la infraestructura del país.

2.OBJETIVOS.

2.1 Objetivo General

Evaluar las propiedades físicas de ciertos residuos cerámicos a base de ladrillos y arcillas expandidas, para ser usadas en curado interno del concreto, y el impacto que presentaría en algunas propiedades de concretos de alta resistencia.

2.2 Objetivos específicos.

Determinar por medio de ensayos de laboratorio las propiedades de absorción y desorción de algunos agregados ligeros a base de ladrillo y arcillas expandidas, para usarlos como reservorios de agua en el curado interno del concreto.

Analizar el comportamiento de los agregados ligeros en estudio cuando son usados para concretos de alta resistencia bajo dos ambientes de curado.

Evaluar el efecto de curado interno en algunas propiedades mecánicas de concretos de alta resistencia.

3. PROGRAMA EXPERIMENTAL

Se usaron dos tipos de agregados ligeros (LWA), a base de arcilla expandida y residuos cerámicos proveniente de ladrillos, como agentes del curado interno. Estos fueron caracterizados siguiendo las especificaciones técnicas ASTM C330 y ASTM C1761 con el fin de hallar la eficiencia ante el curado interno de concretos de alta resistencia (HSC).

Para obtener la cantidad óptima de LWA a reemplazar por los agregados de peso común (NWA), se usó la Ecuación 1-1 la cual está en función de dos variables, absorción y desorción de los LWAs.

Ahora bien, para lograr el desarrollo de los objetivos propuestos fue necesario implementar un programa de ensayos de absorción y desorción de los LWA según la ASTM C1761, con los equipos disponibles en los laboratorios de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

Una vez caracterizados los LWA, se elaboraron los HSC reemplazando en porcentaje los NWA por arcilla expandida térmicamente y ladrillo triturado como LWAs, según los valores hallados con la ecuación. El impacto del curado interno en el concreto fue comparado mediante especímenes colocados en dos ambientes de curado y la realización de ensayos de las propiedades mecánicas en sus dos estados, plástico y endurecido.

Los ensayos en estado plástico fueron asentamiento (slump), contenido de aire y densidad.

Para los ensayos en el estado endurecido los especímenes usados fueron núcleos cilíndricos extraídos de losas con superficie de 1200cm^2 , de los cuales se

realizaron los ensayos de resistencia a la compresión, módulo de elasticidad, sorptividad, ISAT, velocidad de pulso, y densidad.

Finalmente fueron realizadas unas vigas con longitud de 285mm, de las cuales se realizó el ensayo de cambio volumétrico del concreto, para determinar los cambios volumétricos a diferentes edades.

3.1 Especificaciones técnicas

En la presente investigación se usó de guía las siguientes normas técnicas de ensayo: la ASTM (*American Society for Testing and Materials*), NTC (Normas Técnicas Colombianas), BS (*British Standard*), INV (Instituto Nacional de Vías); las *New York State Department of Transportation Materials Bureau*. Cada una fue aplicada específicamente al tipo de ensayo en particular.

Para las prácticas experimentales de los materiales que fueron usados como agregados de peso común de los concretos se usaron las normas INV, las cuales representan una guía estandarizada en Colombia. Al igual que las NTC para los concretos en estado plástico y endurecido.

En la caracterización de los agregados normales y los ligeros se usó las siguientes normas:

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA LOS MATERIALES USADOS COMO AGREGADOS PARA LOS CONCRETOS

AGREGADOS LIGEROS

ASTM C-330	Especificación normalizada para agregados ligeros para Concreto Estructural.
ASTM C-1761	Especificación normalizada de agregados ligeros para curado interno del concreto.
NY 703-19 E	Contenido de humedad de los agregados ligeros finos.

AGREGADOS COMUNES

INV.E-122-07	Contenido de agua (humedad) del suelo, roca y mezclas de suelo-agregado.
INV.E-212-07	Presencia de impurezas orgánicas en arenas usadas en la preparación de morteros o concretos.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA LOS MATERIALES USADOS COMO AGREGADOS PARA LOS CONCRETOS	
INV.E-213-07	Análisis granulométrico de los agregados grueso y fino.
INV.E-217-07	Densidad Bulk y porcentaje de vacíos de los agregados en estado suelto y compacto.
INV.E-222-13	Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado fino.

Tabla 3-1 Especificaciones técnicas. Caracterización de los agregados

Las propiedades mecánicas de los concretos curados internamente fueron evaluadas y comparadas con los siguientes ensayos:

NORMAS DE ENSAYO PARA LOS CONCRETOS	
ACI 211	Diseño de mezcla
ESTADO FRESCO	
NTC 396	Método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto
NTC 1926	Determinación del Peso Unitario y contenido de aire por método Gravimétrico
ESTADO ENDURECIDO	
ASTM C642 - 13	Determinación de la densidad, absorción y vacíos en concretos endurecidos
NTC - 673	Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto.
ASTM C469 - 14	Determinación de módulo de elasticidad y relación de Poisson del concreto en compresión.
ASTM C1585 - 13	Determinación del ritmo de absorción de agua de los concretos de cemento hidráulico.
BS 1881 - Part 208 : 1996	Recomendaciones para determinar la absorción inicial en la superficie del concreto.
ASTM C490	Práctica estándar para el uso de aparatos para determinar el cambio de longitud de la pasta de cemento, mortero y concreto endurecido
NTC - 4325	Ensayo para determinación de la velocidad del pulso ultrasónico a través del concreto endurecido.

Tabla 3-2 Especificaciones técnicas. Ensayos para los concretos.

3.2 Materiales

3.2.1 Agregados ligeros

Los agregados ligeros utilizados como agentes del curado interno del concreto fueron a base de arcilla expandida térmicamente (CLWA por sus siglas en inglés *Clay lightweight aggregate*) producto suministrado por la empresa SUMICOL CORONA¹. Y ladrillo triturado (MLWA), producto proveniente de la ladrillera CERANOVA, triturado en la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, como se ven en la siguiente Ilustración 3-1, al igual se realizó los respectivos ensayos para las propiedades físicas basados en las normas antes mencionadas, ver Tabla 3-3.



Ilustración 3-1 Derecha Ladrillo triturado. Izquierda Arcilla expandida térmicamente

Agregado ligero	Módulo de finura ASTM C136	Densidad suelta Compactada ASTM C29	Densidad relativa secada al horno ASTM C128	Densidad relativa SSS ASTM C128	Densidad aparente relativa ASTM C128
CLWA	3,96	820 kg/m ³	1,36	1,55	1,69
MLWA	4,26	1210 kg/m ³	1,95	2,24	2,76

Tabla 3-3 Propiedades físicas de los agregados ligeros

¹ Véase ficha técnica en los anexos

3.2.2 Agregados de peso normal

Los materiales como agregados de peso normal provienen de minas ubicadas en el municipio de Subachoque, y fueron caracterizados en el laboratorio de suelos y pavimentos de la Escuela Colombiana de ingeniería Julio Garavito siguiendo las recomendaciones de la norma INVIAS. En la Tabla 3-4 se presenta la caracterización de estos agregados.

Agregado común	Módulo de finura ASTM C136	Densidad suelta Compactada ASTM C29	Densidad relativa secada al horno ASTM C128	Densidad relativa SSS ASTM C128	Densidad aparente relativa ASTM C128	Absorción ASTM C128	Humedad INV.E-122-07
Grava TM 1/2"	5,23	1820 kg/m ³	2,60	2,64	2,72	1,80%	1,70%
Arena	2,93	1690 kg/m ³	2,56	2,61	2,67	1,60%	4,60%

Tabla 3-4 Caracterización de los agregados de peso normal

3.2.3 Cemento

Fue utilizado cemento tipo UG – Uso General, fabricado bajo la norma NTC 121 y distribuido en bolsas de 50kg, Su caracterización física y química se presenta en la Tabla 3-5

Cemento tipo I Uso General(UG)	
Composición química	
CaO	61,01 %
SiO ₂	20,91 %
SO ₃	4,87
AL ₂ O ₃	4,78 %
Fe ₂ O ₃	3,63 %
K ₂ O	0,25 %
MgO	0,91 %

Cemento tipo I Uso General(UG)	
Composición química	
Na ₂ O	0,68 %
TiO ₂	0,31 %
P ₂ O ₅	0,30 %
Mn ₂ O ₃	0,27 %
Ba	0,09 %
SrO	0,08 %
Cl	0,07 %
ZnO	0,021 ppm
Pb	0,006 %
Rb	0,005 ppm
Y	0,005 ppm
Zr	0 %
Propiedades físicas	
Densidad	2,96 g/cm ³
Finura	4963 cm ² /g

Tabla 3-5 Propiedades físicas del cemento UG, usado.

3.2.4 Aditivos

Fue necesario usar un aditivo reductor de agua de alto rango para mejorar la manejabilidad de las mezclas elaboradas. El aditivo Plastol 3500 ultra a base de polycarboxilatos, formulado específicamente para aumentar el tiempo de trabajabilidad de los concretos plásticos, fue escogido para el desarrollo de las mezclas de concreto. La proporción recomendada por el fabricante fue del 0.5% del peso del cemento.

3.3 Variables de estudio.

Se realizaron los ensayos de absorción a 72 horas y desorción de los agregados ligeros según la especificación técnica ASTM C1761, con el fin de hallar la cantidad óptima de reemplazo *LWA/NWA* a incluir en los concretos.

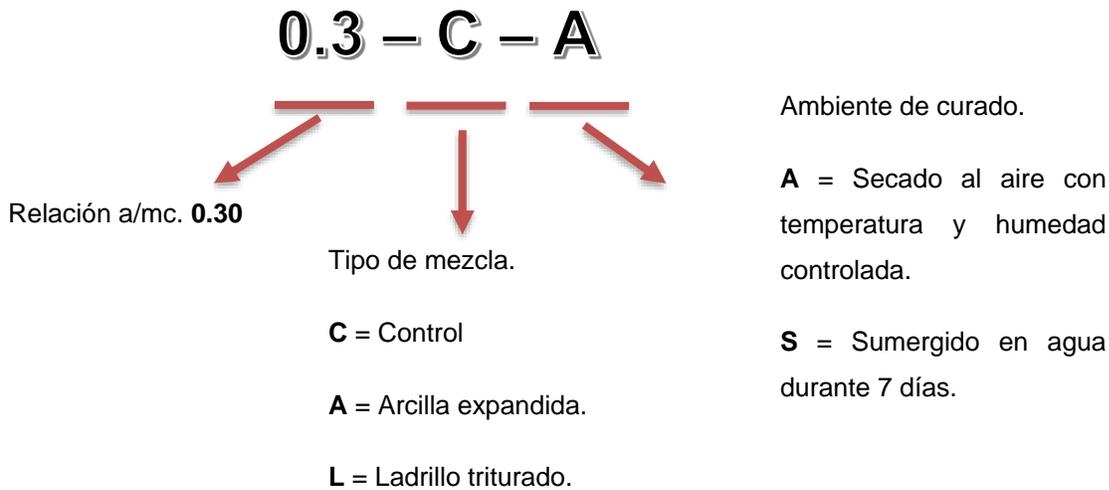
Posteriormente, se diseñó un concreto con relación $a/mc = 0,30$ para obtener una resistencia a la compresión de $f'c = 56MPa$, con tres mezclas diferentes, i) mezcla control con agregados de peso normal ii) mezcla con inclusión de agregados a base de arcilla expandida iii) mezcla con inclusión de agregados a base de ladrillo triturado.

Estos concretos fueron expuestos a dos ambientes de curado, i) curado al ambiente y ii) curado con agua sumergidos por 7 días y luego fueron llevados al curado ambiente, este criterio de curado se basó en la práctica común de curado en obra para concreto con cemento hidráulico.

Para evaluar el impacto de los agregados ligeros como agentes de curado interno en algunas propiedades mecánicas de los concretos de alta resistencia, fue necesario realizar ensayos a especímenes curados a los 7, 28 y 90 días, y compararlos entre sí.

3.3.1 Nomenclatura utilizada

La nomenclatura usada para identificar los elementos elaborados con las diferentes mezclas de concreto fue:



3.4 Ensayos para evaluar la absorción y desorción de los LWA

Para lograr la cantidad óptima de agregado ligero que reemplazará a un porcentaje del agregado de peso normal, fue empleada la Ecuación 1-1 de Bentz, Lura, & Roberts, la cual entre sus variables requiere los valores de absorción y desorción de los agregados ligeros a emplear como agentes del curado interno. Estos ensayos fueron desarrollados en los laboratorios de la ECI siguiendo la especificación ASTM C1761.

3.4.1 Absorción.

La especificación ASTM C1761 permite determinar el aumento de masa de una muestra LWA secada al horno debido a la penetración del agua en los poros de las partículas después de haber estado sumergido en agua por 72 horas. Valor expresado como porcentaje de masa seca al horno.

Procedimiento:

Inicialmente se calibró un picnómetro de capacidad 1,0L, para ello se llenó con agua hasta su capacidad máxima, asegurando que no queden burbujas de aire en las paredes. Se limpió la superficie del picnómetro eliminando cualquier material y se registró la masa al 0,1g como **M_{PW}**.

Luego se colocó una muestra de LWA aproximadamente 1.750g en un recipiente metálico y se llevó al horno a 110°C por 24 horas; una vez completado el tiempo se dejó que el material se enfriara y se sumergió en agua por 72 horas a una temperatura de $23 \pm 2^\circ\text{C}$.

Completado el tiempo de saturación, se decantó el exceso de agua y extendió la muestra en una superficie plana sobre unas toallas de papel, se colocó una corriente suave de aire con el fin de agilizar el proceso, el material fue movido con frecuencia y las toallas de papel fueron reemplazadas una vez saturadas hasta lograr que el material tenga la condición de Saturado Superficialmente Seco (SSS), Ilustración 3-2, de acuerdo al método NY-703-19 E.



Ilustración 3-2 Saturación y ensayo de SSS de los LWAs

Se tomaron muestras de 300g aproximadamente al 0,1g y se registró la masa como **M_{SD}**. La norma sugiere para agregados gruesos o combinados la muestra debe ser 1,500g y para agregados finos 300g. Según la tabla de gradación de la ASTM 1761 – 17, los materiales en estudio son clasificados como combinados.

Los agregados LWA tanto los de arcilla expandida y los de ladrillo triturado, clasifican como agregados de combinación fina y gruesa de tamaño máximo 9,5mm, ver Ilustración 3-3. Por tanto, debía usarse una muestra representativa de 1,500g, para lograr esta cantidad se tuvo que fraccionar la muestra, dado que se contaba solo con picnómetros de capacidad máxima de 1,0L, se decidió realizar cinco ensayos de 300g aproximadamente con el fin de obtener un valor promedio ponderado.

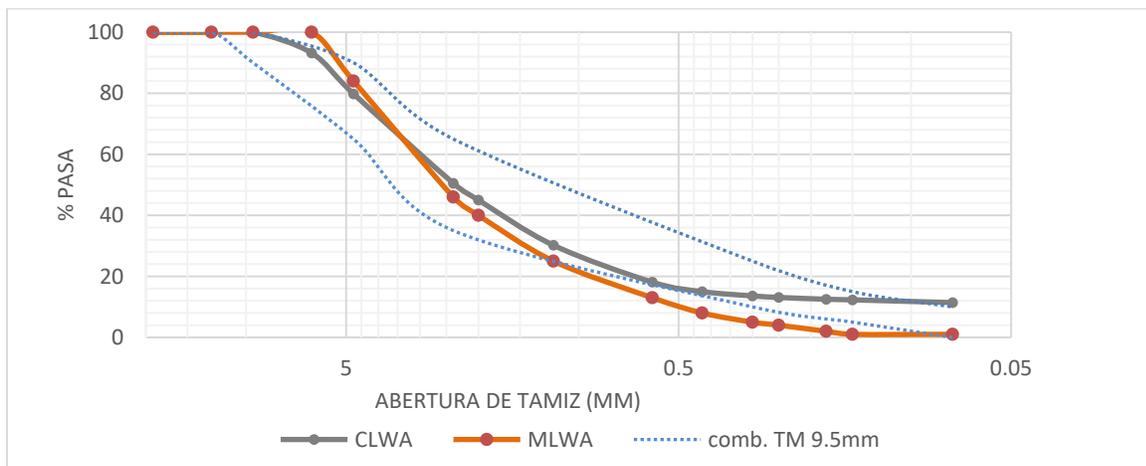


Ilustración 3-3 Clasificación granulométrica de los LWAs

Seguido se colocó agua en el picnómetro aproximadamente a 1/3 de su capacidad máxima, se adicionó la muestra M_{SD} en el picnómetro y finalmente se agregó agua hasta el 90% de la capacidad máxima (Ilustración 3-4), se agitó el picnómetro para eliminar las burbujas de aire y con la ayuda de una bomba de vacío se completó el procedimiento, normalmente se requiere entre 15 y 20 min, para eliminar todas las burbujas.

Una vez eliminadas las burbujas de aire, se llenó el picnómetro hasta su capacidad máxima, se limpió la superficie y registró la masa total al 0,1g como M_{Ps} .



Ilustración 3-4 Ensayo de absorción según ASTM 1671

Se colocó la masa M_{SD} en un recipiente metálico y se llevó al horno a una temperatura aproximada de $110^{\circ}C$ hasta obtener masa constante. Se registró la masa de la muestra como M_{OD} .

La absorción y la densidad relativa fueron calculados y reportados de acuerdo con la especificación ASTM C1671 – 15. Se realizaron dos ensayos de cinco muestras cada uno, en diferentes fechas obteniendo los siguientes promedios ponderados:

Descripción	Absorción A_{72}	Densidad relativa
CLWA	25,73%	1,11
MLWA	16,90%	1,88

Tabla 3-6 Absorción de los LWAs a 72h. ASTM 1671

Absorción en función del tiempo.

Por otra parte, se realizó una toma de datos del comportamiento de la absorción en función del tiempo de los LWA en estudio, procedimiento empírico desarrollado en la investigación de Castro et al (2011) titulada “Absorción y desorción como propiedades de los agregados finos y ligeros para aplicación en mezclas de concreto curadas internamente”.

Esta prueba experimental se realiza con el fin de tener un control aproximado del comportamiento de absorción de los agregados ligeros en función del tiempo, o sea, se puede estimar el porcentaje de absorción a edades diferentes y si es necesario recortar el tiempo de saturación, y lograr una eficiencia similar a la determinada en el tiempo exigido por las especificaciones involucradas.

La prueba consistió en llevar una muestra de aproximadamente 150g de cada material en estudio, al horno y dejarla secar a una temperatura de 110°C por 24 horas. Seguido se procede a calibrar los picnómetros, mismo procedimiento antes descrito.

Se agregó agua desmineralizada hasta 1/3 de la capacidad de los picnómetros y se añadió aproximadamente 100g de cada material secado al horno en distintos frascos (Ilustración 3-5); con agua desmineralizada se lleva hasta un 80% de la capacidad del recipiente y se agitó manualmente entre 2-3 minutos, con el fin de eliminar las burbujas atrapadas. Finalmente se llenó el picnómetro hasta la marca aforada y se registró la masa. **Mps**



Ilustración 3-5 Ensayo de Absorción en función del tiempo

Los agregados por sus características y morfología, van absorbiendo agua en función del tiempo. Por lo tanto, se agitó manualmente por 3 minutos para eliminar las burbujas, se llenaron los frascos hasta la marca de aforo, y se registró la masa,

este procedimiento fue realizado a los 10, 20, 30 minutos y luego a las 1, 2, 3, 4, 6, 24, 48 y 72 horas. ΔM_t

Después de haber tomado el último registro se extrajeron las burbujas con la ayuda de una bomba de vacíos, este procedimiento fue realizado por 20 minutos y se registra la masa. M_{Ps}

Descripción	0.5h	1h	3h	6h	24h	48h	72h	Vacío
CLWA	2,1%	5,3%	8,1%	10,0%	18,9%	23,4%	25,2%	29,8%
MLWA	2,6%	5,8%	10,0%	11,9%	16,1%	16,1%	16,2%	17,2%

Tabla 3-7 Absorción en función del tiempo de los LWAs.

3.4.2 Desorción.

La especificación ASTM C1761 permite determinar la disminución en masa del agregado ligero que inicialmente contenía agua absorbida, puesto que el agua deja los poros permeables a medida que la partícula alcanza el equilibrio de humedad al ambiente expuesto en condiciones de temperatura constante y humedad relativa inferior al 100%. La desorción estima un valor porcentual en relación con la cantidad de agua absorbida en un período de 72 horas.

Procedimiento:

Se usó muestras de 20g para cada LWA, en condición SSS a 72 horas de sumergido en agua (Ilustración 3-6), mismo procedimiento usado para determinar la absorción. Se registró la masa de la muestra como M_{SD} .



Ilustración 3-6 Ensayo de desorción según ASTM 1671.

Se debe disponer de una cámara ambiental capaz de controlar una humedad relativa de $94,0 \pm 0,5\%$ y una temperatura de $23,0 \pm 1,0 \text{ } ^\circ\text{C}$. De no contar con este equipo la norma ASTM C1761-17 da como alternativa el uso de nitrato de potasio que, al colocarlo en un recipiente hermético a una temperatura de 23°C , es capaz de lograr un ambiente con HR de 94% aproximadamente. Para la presente investigación se realizó el ensayo con la alternativa.

Para la preparación de la solución con Nitrato de Potasio (KNO_3), se usó 300g de KNO_3 por 100g de agua destilada; el agua fue llevada hasta los 83°C en baño de María y posteriormente se adicionó el KNO_3 , mezclando la solución hasta lograr disolver todo el soluto. Ilustración 3-7.



Ilustración 3-7 Solución de Nitrato de Potasio

La solución fue colocada en el fondo de un desecador de 4L directamente sobre el cristal, seguido se colocó la muestra en un crisol sobre la bandeja y se tapó, adicionalmente se aplicó silicona líquida al borde de la tapa para conseguir un ambiente hermético.

Para lograr una temperatura constante de 23°C, fue necesario usar una incubadora de laboratorio facilitada por el laboratorio de biología de la ECI (Ilustración 3-8); estabilizar la humedad relativa toma entre 15 y 20 min. Se registró la masa a las 2, 4, 8, 24 horas o hasta que haya alcanzado el equilibrio, en un período de 24 horas con una aproximación de 0,01g. Se registró la masa de la muestra como **M₉₄**.



Ilustración 3-8 Temperatura y HR controlada del ensayo de desorción

Después de lograr el equilibrio de la masa, se secó las muestras en el horno a 110°C hasta alcanzar una masa constante, usualmente se logra pasados las 24 horas. Se registró la masa de la muestra como **M₀₀**.

La desorción y la cantidad de agua liberada a 72h, fueron calculados y reportados de acuerdo con la especificación ASTM 1761 – 17. Se realizaron dos ensayos en diferentes fechas obteniendo los siguientes promedios ponderados:

Descripción	Desorción	W _{LWA}
CLWA	87,6%	0,225
MLWA	83,1%	0,141

Tabla 3-8 Cantidad de agua liberada por desorción ASTM 1671

Desorción: Valor porcentual en relación al agua absorbida en un período de 72 horas.

W_{LWA} = Cantidad de agua absorbida en un período de 72 horas, disponible a liberarse a una HR de 94%. (*Desorción* × A_{72})

3.5 Proporciones y ajustes del concreto con agregados ligeros para IC.

3.5.1 Diseño de mezcla

Se realizó el diseño de mezcla basado en el criterio de Fuller – Thompson, dado que las curvas granulométricas de los agregados comunes grava TM1/2" y arena son muy distintas, y requieren una combinación adecuada.

El porcentaje óptimo para la combinación de los agregados está dado por la siguiente ecuación de Fuller – Thompson :

$$P = 100 \times \sqrt{\frac{d}{D}}$$

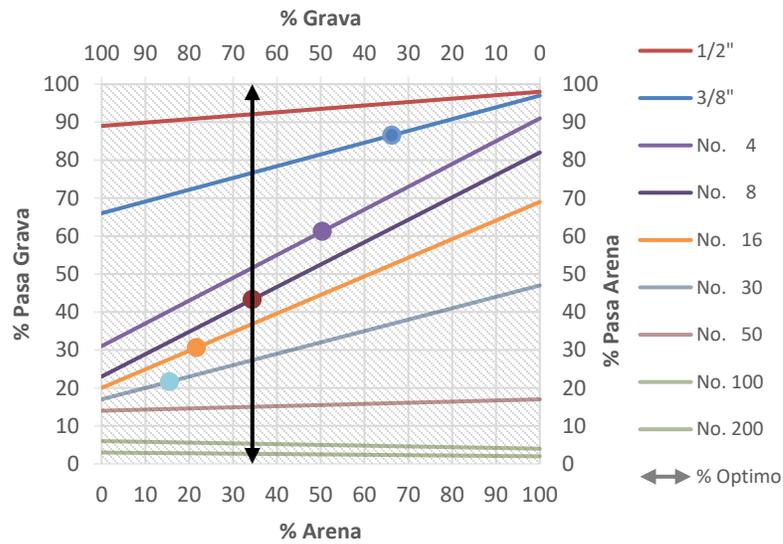
Ecuación 3-1

Dónde:

P = porcentaje de material que pasa por el tamiz de abertura d .

D = Tamaño máximo del agregado

Siguiendo la metodología, se procedió a realizar la gráfica y ubicar los porcentajes óptimos de Fuller – Thompson:



Agregado Grava	34,4%
Agregado Arena	65,6%

Ilustración 3-9 Optimización de los agregados método Fuller-Thompson

El asentamiento de la mezcla fue considerado de consistencia media es decir 5,0cm correspondiente a una mezcla semi-seca, el tamaño máximo del agregado fue escogido para una losa de 20cm de espesor sin refuerzo, y la cantidad aproximada de aire esperado atrapado naturalmente fue de 2.0%, resultando una cantidad de agua de $199kg/m^3$ aproximadamente.

La resistencia a la compresión requerida fue de 56MPa (8.000psi) correspondiente a un concreto de alto desempeño para nuestra región. Siendo así, se realizó una regresión exponencial en la gráfica f_{cr} vs a/mc donde fue escogida una relación a/mc de 0,30.

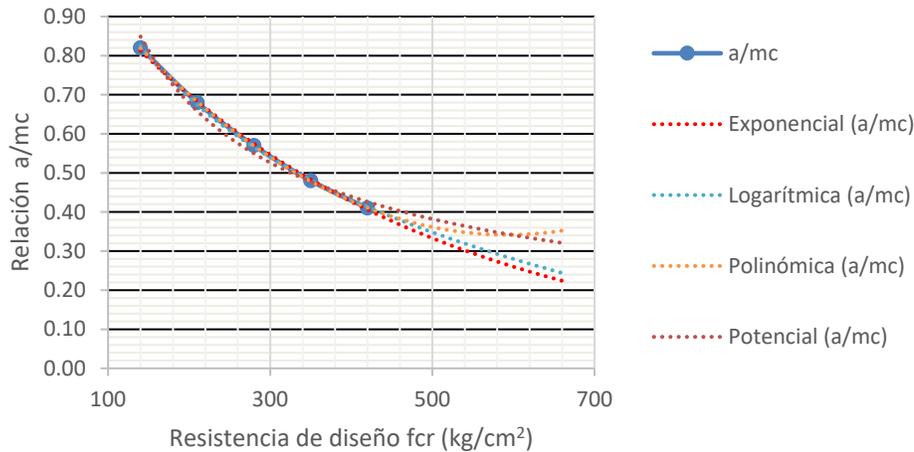


Ilustración 3-10 Relación fcr vs a/mc

De esta manera fue requerido 663kg de cemento por metro cubico.

PROPORCIONES DE MEZCLA				
Cemento	Grava	Arena	Agua	
1,00	1,48	0,78	0,30	

Tabla 3-9 Proporción de mezcla de concreto

Cantidad de material requerido por metro cúbico:

MATERIAL	Peso kg/m ³	γ g/cm ³	Vol abs l/m ³
Cemento	663	2,96	224,10
Agua	199	1,00	184,54
Grava	982	2,69	365,38
Arena	515		191,52
Total	2344		965,54

Tabla 3-10 Cantidad de material requerido por m³ de concreto

3.5.2 Cantidad de agregado ligero para curado interno del concreto.

El ACI 213 R-14 en el numeral 9.2, considera el uso de la Ecuación 1-1 de Bentz et al (2005), para obtener la proporción ideal de agregado ligero como reservorios de agua para el curado interno del agua.

$$C_f \times CS \times \alpha_{max} = S \times \phi_{LWA} \times M_{LWA} \quad \text{Ecuación 1-1}$$

C_f = Cantidad de cemento.

S =Grado de saturación del LWA.

CS = Contracción química.

ϕ_{LWA} =Capacidad de liberar agua.

α_{max} = Grado de hidratación del cemento.

M_{LWA} = Masa seca del LWA.

El grado de saturación se consideró 100%, puesto que los LWA estuvieron sumergidos en agua a temperatura ambiente por 72 horas, siguiendo lo sugerido por la especificación ASTM C1671

Aplicando la ecuación se tiene que:

	CLWA	MLWA	UN
C_f	663	663	kg/m^3
CS	0,07	0,07	ml/g
a/cm	0,30	0,30	
α_{max}	0,83	0,83	
S	1,00	1,00	
W_{LWA}	0,225	0,141	
M_{LWA}	172	275	kg/m^3

Tabla 3-11 Cantidad de agregados ligeros para curado interno

Se requiere de $172 \text{ kg}/m^3$ de arcilla expandida y $275 \text{ kg}/m^3$ de ladrillo triturado.

Los comités 308 y 213 en su reporte ACI (308-213) R-13 (2014) proponen una alternativa para la obtención de la cantidad aproximada de agregado ligero por medio de gráficas, M_{LWA} así:

GRÁFICA DE PROPORCIÓN DE LWA PARA IC.

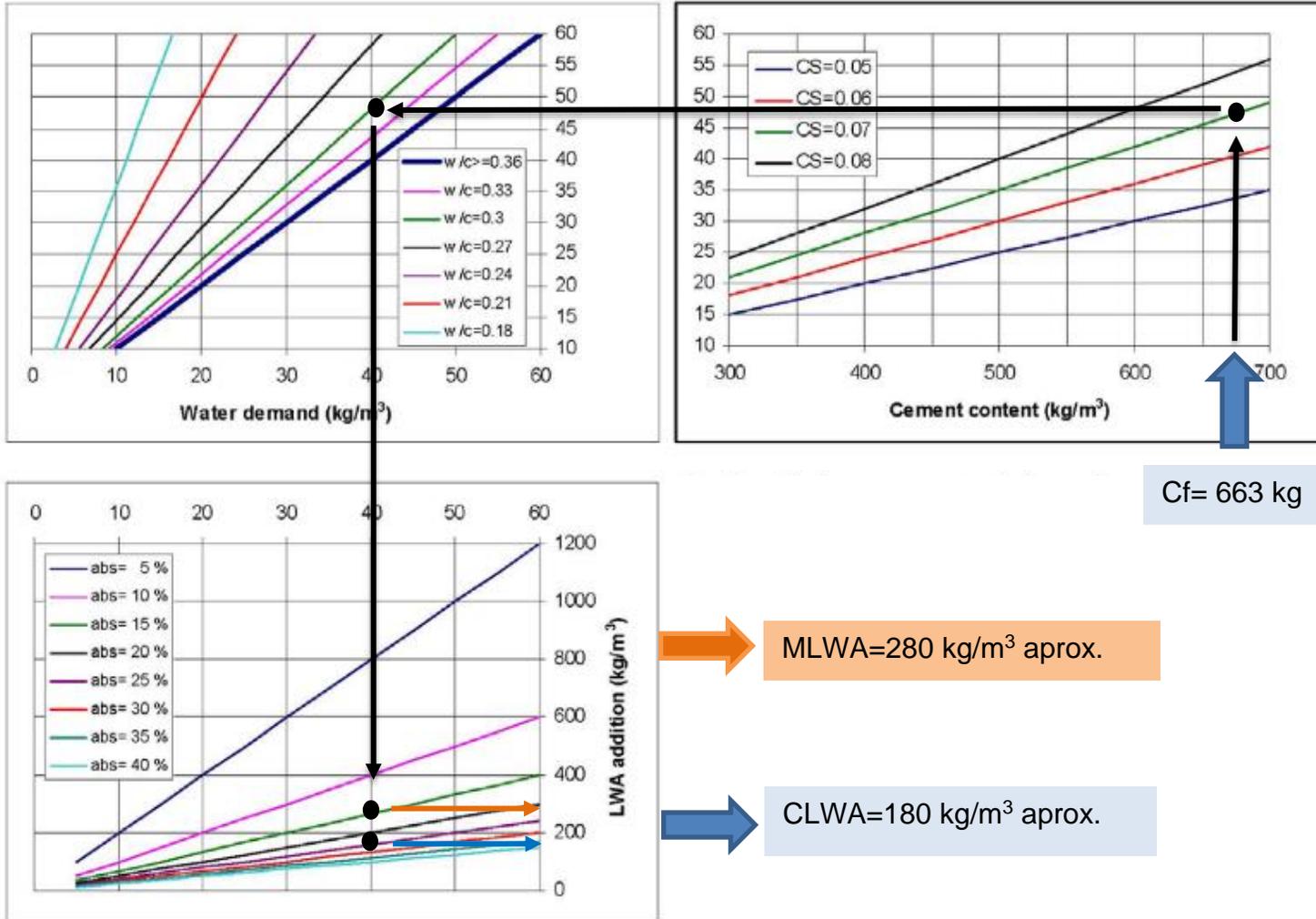


Ilustración 3-11 Gráficas para la obtención de cantidad de LWA

3.5.3 Inclusión de agregados ligeros a la mezcla de concreto.

Una vez hallada la cantidad de masa necesaria de LWA para curado interno del concreto, fue necesario realizar una relación de masa a volumen de los agregados de peso común que fueron reemplazados.

Tamiz	%pasa				
	CLWA	MLWA	Arena	Grava	Combinado Fuller - Thompson
3/4"	100	100	100	100	100,0
1/2"	100	100	98	89	92,1
3/8"	100	100	97	66	76,7
1/4"	93	100	94	43	60,5
Nº 4	80	84	91	31	51,6
Nº 8	51	46	82	23	43,3
Nº 16	30	25	69	20	36,9
Nº 30	18	13	47	17	27,3
Nº 50	14	5	17	14	15,0
Nº 100	12	1	4	6	5,3
Nº 200	11	1	2	3	2,7
Fondo	0	0	0	0	0

Tabla 3-12 Granulometría de los agregados comunes y ligeros

Para este caso en particular, los agregados ligeros tenían un tamaño de partícula máximo de 1/4" o sea retenidos por el tamiz 1/4", mientras que la grava y la arena tenían una combinación de finos y gruesos pasa tamiz 3/8", como se puede apreciar en la Tabla 3-12, así que para realizar un reemplazo directo en tamaño de los LWA por los agregados de peso común (NWA), se procedió a combinar los NWA de acuerdo a los porcentajes óptimos de Fuller-Thompson. Arena 34,4% y grava 65,6%, ver Ilustración 3-12.

Seguido, la combinación fue separada por el tamiz 3/8", los retenidos se consideraron gruesos y los que pasan como finos.



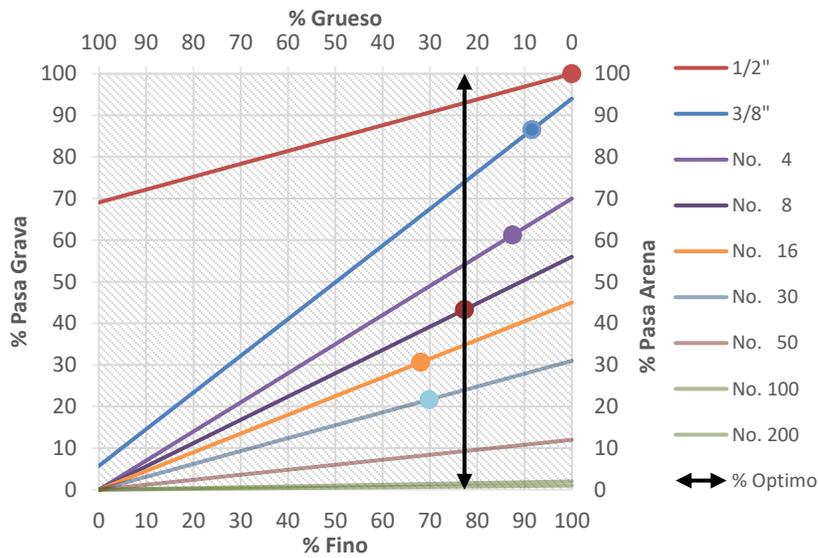
Ilustración 3-12 Combinación y separación de agregado común

Se realizó el ensayo de granulometría con la norma INV.E-213-07 a los agregados separados. Con el fin de verificar el porcentaje de variación con respecto a la combinación óptima de Fuller-Thompson ya realizada en el diseño de mezcla.

Tamiz	% Pasa	
	fino	grueso
3/4	100	100
1/2	100	69
3/8	94	6
1/4	82	0
Nº 4	70	0
Nº 8	56	0
Nº 16	45	0
Nº 30	31	0
Nº 50	12	0
Nº 100	3	0
Nº 200	1	0
Fondo	0	0

Tabla 3-13 Granulometría de agregado común separado tamiz 3/8"

Una vez obtenida la granulometría, se volvió a ingresar los datos en la curva de Fuller-Thompson (Ilustración 3-13), obtenido unos porcentajes de 22,7% de grava y 77,3% de arena; si se observa en la Tabla 3-12, el porcentaje del combinado pasa 3/8" es de 76,7%. Esto quiere decir que la variación es aproximadamente del 0,78%.



Grueso	22,7%
Fino	77,3%

Ilustración 3-13 Combinación óptima Fuller-Thompson de agregado combinado

Después de obtenido el agregado común fino con tamaño máximo similar a los agregados ligeros, el reemplazo fue realizado directamente. Esto fue posible realizarse una vez lograda la obtención del porcentaje de la masa de los LWA en relación con el reemplazo de volúmenes entre los agregados comunes y los ligeros en condición seca al horno, la cual se elaboró de la siguiente manera:

De acuerdo con la Tabla 3-10, donde se obtuvo del diseño de mezcla la cantidad de agregados comunes para los concretos, se trae los pesos necesarios para 1,0 m³

MATERIAL	Peso kg/m³	% Sep. kg/m³
Agregado grueso	982	340
Agregado fino	515	1.157
Total	1.496	1.496

Tabla 3-14 Cantidades de los agregados comunes separados

De la Tabla 3-14, la cantidad de material separado por tamiz 3/8", fue de 340kg para agregado grueso es decir 22,7% y de 1.157kg para agregado

fino o sea 77,3%, que fueron usados para volver a la mezcla optima de Fuller-Thompson, aunque para el agregado fino sirvió de reemplazo para los agregados ligeros en porcentajes de 29,2% para la mezcla con incorporación de arcilla expandida (CLWA) y de 32,3% para la mezcla con incorporación de ladrillo triturado (MLWA). Obtenidos así:

	CLWA	MLWA	UN
Dosificación de concreto para 1.0 m³			
Cemento	663	663	kg/m ³
Agregado fino	1.157	1.157	kg/m ³
Agregado grueso	340	340	kg/m ³
M _{LWA}	172	275	kg/m ³
Valor corregido de LWA			
ρ_{fino}	2.650	2.650	kg/m ³
ρ_{LWA}	1.350	1.950	kg/m ³
V _{fino}	0,437	0,437	m ³
V _{LWA}	0,127	0,141	m ³
ΔV	0,309	0,296	m ³
M _{fino}	819	783	kg
M _{fino} + M _{LWA}	991	1.058	kg
% LWA(en agregado fino)	29,2%	32,3%	
% LWA(en concreto)	22,6%	25,0%	

Tabla 3-15 Cantidad porcentual de agregado ligero como reservorio de agua

Fue necesario realizar el ensayo de gravedad específica a los agregados separados mediante las especificaciones INV.E-222-07 y INV.E-223-07. Con el fin de tener un volumen preciso para realizar el reemplazo de los agregados. Véase los valores en la Tabla 3-16.

Características	Agregado grueso	Agregado fino
Densidad relativa secada al horno	2,53	2,65
Densidad relativa en condición SSS	2,59	2,69
Densidad relativa aparente	2,66	2,74
Absorción	2,4%	1,3%

Tabla 3-16 Densidad relativa de los agregados comunes separados tamiz 3/8"

Para lograr el reemplazo directo de los agregados ligeros como reservas de agua, fue necesario descontar el volumen que este ocupa en el agregado

fino, dejando una masa de agregado fino M_{fino} . Se realiza la demostración para CLWA.

$$\Delta V = \frac{M_{fino}}{\rho_{fino}} - \frac{M_{LWA}}{\rho_{LWA}} = \frac{1157kg}{2650\frac{kg}{m^3}} - \frac{172kg}{1350\frac{kg}{m^3}} = 0,309m^3$$

$\Delta V = 0.309m^3$ sería el volumen neto de agregado fino una vez reemplazado por el agregado ligero, de ahí que:

$$M_{fino} = 0,309m^3 \times 2.650\frac{kg}{m^3} = 819kg$$

Peso de agregado fino con LWA incluido:

$$M_{fino+CLWA} = 819kg + 172kg = 991kg$$

Por tanto, la cantidad porcentual a reemplazar del agregado CLWA en relación con el volumen del agregado fino fue:

$$\%CLWA_{en\ agregado\ fino} = \frac{0,127\ m^3}{0,437\ m^3} \times 100 = 29,2\%$$

Y para $1,0m^3$ de concreto, teniendo en cuenta que el agregado fino representa el 77,3% de los agregados comunes según combinación optima (ver Ilustración 3-13). fue de:

$$\%CLWA_{en\ concreto} = 29,2\% \times 0,773 = 22,6\%$$

A manera de resumen se presenta la cantidad y proporción de materiales calculados para la elaboración del concreto con adición de LWA y sin adición:

MEZCLA	Agregados			LWA	Agua
	Cemento	Grueso	Fino		
	kg	kg	kg	kg	l
Patrón	663	340	1157	0	199
CLWA	663	340	819	172	199
MLWA	663	340	783	275	199

Tabla 3-17 Cantidades de materiales para los concretos

Mezcla	Proporciones de mezcla			
	Cemento	Grueso	Fino	LWA
Control	1	0,51	1,75	-
CLWA	1	0,51	1,24	0,26
MLWA	1	0,51	1,18	0,41

Tabla 3-18 Proporciones de mezcla

3.6 Preparación de los concretos

3.6.1 Preparación de mezcla para concretos

Para la preparación de la mezcla, los agregados ligeros fueron colocados en agua cruda a temperatura ambiente, por 72 horas, como se ve en la Ilustración 3-14. La cantidad de agua fue la obtenida en el diseño de mezcla y en proporción al volumen de concreto a mezclar. Con el fin de no alterar la relación a/mc.



Ilustración 3-14 Saturación de los agregados ligeros

Fue necesario realizar un ajuste por humedad a los agregados comunes momentos antes de iniciar la mezcla, después de completado el tiempo de saturación de los agregados ligeros, se preparó la mezcla de concreto de acuerdo con las proporciones obtenidas, la mezcla fue realizada en una mezcladora giratoria de transmisión mecánica.

Para una mejor manejabilidad de la mezcla con relación $a/mc = 0,30$ fue necesario usar un plastificante, Plastol 3500 ultra de Toxement, las dosificación manejada fue del 0.5 del peso del cemento, valor recomendado por el fabricante.



Ilustración 3-15 Plastificante Plastol 3500 ultra

3.6.2 Elaboración de los elementos experimentales.

- *Losas de ensayo.*

Fueron elaboradas 18 losas de concreto con los tres tipos de mezcla, correspondiendo a 6 losas sin agregado ligero (control), 6 losas con incorporación de arcilla expandida y 6 losas con incorporación de ladrillo triturado. Las dimensiones fueron de $400 \times 300mm$ y espesor de $200mm$, con el fin de lograr una mejor distribución de los agregados ligeros en la mezcla y así evaluar el comportamiento del curado interno por medio de núcleos extraídos mecánicamente (Ilustración 3-16).

El tamaño máximo nominal de los agregados usados para las correspondientes mezclas fue de $\frac{1}{2}$ ", así que el diámetro mínimo de los núcleos debía ser tres veces el tamaño máximo de los agregados es decir $38,1mm$, según NTC – 3658.

Las dimensiones de la losa fueron preconcebidas para lograr la extracción de 6 cilindros con diámetro de $\emptyset 100mm$ cumpliendo NTC-3658, con separación entre

núcleos y a los bordes de la losa de 25mm. Evitando así de no alterar las propiedades mecánicas y físicas de las muestras adyacentes.



Ilustración 3-16 Losas de concreto

▪ Extracción de especímenes cilíndricos

Los núcleos fueron extraídos de las losas siguiendo el procedimiento de la norma NTC-3658, por medio de un taladro de núcleos de perforación perpendicular, el diámetro de la broca de punta fue de $\varnothing 100mm$ y la longitud correspondía al espesor de la losa o sea 200mm. Para el corte del concreto fue necesario adicionar agua con el fin de no recalentar la broca, recomendación dada por el fabricante para el buen funcionamiento del equipo de extracción de núcleos (Ilustración 3-17). El agua adicionada fue la mínima posible con el fin de no alterar el comportamiento el curado interno, posteriormente los especímenes fueron colocados al ambiente para inducir el secado.



Ilustración 3-17 Extracción de los núcleos de concreto

La dimensión de los núcleos extraídos fue de $L = 200\text{mm}$ y $\varnothing = 96\text{mm}$, de ahí que la relación longitud/diámetro fue de 2,08, valor aceptable en el rango de la NTC-3658 (entre 1,94 – 2,10). Por consiguiente, no requirieron de corrección.

Especímenes usados para realizar los ensayos de resistencia a la compresión, módulo de elasticidad, sorptividad, ISAT, velocidad de pulso, y densidad.

▪ *Vigas de ensayo.*

Se construyeron 18 vigas de concreto con los tres tipos de mezcla, correspondiendo a 6 vigas sin agregado ligero (control), 6 vigas con incorporación de arcilla expandida y 6 vigas con incorporación de ladrillo triturado (Ilustración 3-18). El concreto colocado fue de la misma bachada usada para la elaboración de las losas. Las dimensiones fueron de $50 \times 50\text{mm}$ y 285mm de longitud.



Ilustración 3-18 Vigas de concreto

Fueron elaboradas con el fin de lograr el ensayo de contracción volumétrica, para determinar las variaciones volumétricas del concreto.

3.6.3 Ambientes de curado

Una vez desencofradas las losas fueron divididas en dos grupos y llevadas a dos ambientes de curado, 1) Un grupo fue colocado al aire bajo techo a temperatura y humedad ambiente, 2) y el segundo grupo fue sumergido en agua durante 7 días,

luego fueron extraídos y llevados al mismo ambiente del primer grupo. Ilustración 3-19 e Ilustración 3-20.

Se escogieron estos dos ambientes de curado con el fin de simular las condiciones a las que pueden estar expuestos los concreto en una obra convencional, y así evaluar la capacidad de hidratación interna del cemento que genera los reservorios pre-humedecidos.

De igual manera fueron curadas las vigas de ensayo, divididas en dos grupos y en los ambientes antes descritos, solo que estas fueron secadas al aire en un ambiente de humedad y temperatura controlada.



Ilustración 3-19 Ambientes de curado de losas



Ilustración 3-20 ambientes de curado de vigas

3.7 Ensayos para determinar el efecto del curado interno en el concreto

3.7.1 Velocidad de pulso ultrasónico (VPU)

La Velocidad del Pulso Ultrasónico (VPU) es un ensayo no destructivo que está asociado a las propiedades físicas y mecánicas del concreto, por lo tanto, permite predecir el estado de calidad de este en estado endurecido.

Las propiedades físicas que influyen en la velocidad de pulso son la densidad, el módulo de elasticidad y la relación dinámica de Poisson. Así pues, se puede correlacionar directamente la velocidad de pulso y la resistencia a la compresión.

Este método de ensayo consiste en determinar la velocidad de pulso ultrasónico a partir de la generación de pulsos de ondas longitudinales emitidas por un transductor electro acústico que se mantiene en contacto con la superficie del concreto bajo prueba (Ilustración 3-21). Después de recorrer la muestra de concreto, estos pulsos son recibidos y convertidos en energía eléctrica por un segundo transductor situado a una distancia de la transmisión del primer transductor. El método de ensayo se realizó según lo estipulado en la NTC – 4325.



Ilustración 3-21 Ensayo de velocidad de pulso

El método de velocidad de pulso ultrasónico se aplicó a los 7, 28 y 90 días en los núcleos, utilizando los transductores de onda longitudinal de 54 kHz colocados en una matriz directa, es decir, en los extremos de los cilindros.

3.7.2 Resistencia a la compresión.

Consiste en determinar la resistencia a los esfuerzos de compresión aplicados a especímenes cilíndricos elaborados en concreto, la NTC – 673 cubre la metodología para cilindros moldeados y núcleos perforados. Los especímenes después de extraídos y secados, fueron refrentados con azufre líquido de acuerdo con lo especificado en la NTC - 504



Ilustración 3-22 Especímenes de ensayo a compresión

3.7.3 Módulo de elasticidad

Es una propiedad mecánica del concreto endurecido definido por la relación entre el esfuerzo aplicado por cargas externas y la deformación uniaxial generada. Los valores fueron obtenidos por medio de compresómetros que no estaban unidos al espécimen, el ensayo fue realizado junto con la prueba de compresión. Procedimiento desarrollado de acuerdo con la NTC- 4025.



Ilustración 3-23 Compresómetro para ensayo de módulo de elasticidad

3.7.4 Absorción en la superficie inicial (ISAT)

Se define como la tasa de flujo de agua (bajo una presión y temperatura aplicadas constantes) en el concreto por área a intervalos de tiempo establecidos desde el inicio de la prueba. La teoría se basa en la suposición de que el concreto seco absorbe el agua por acción capilar a un ritmo que inicialmente es alto, pero disminuye a medida que aumenta el volumen de capilares se llenan de agua. Su valor está definido así:

$$ISAT = \frac{F}{\theta}$$

Donde:

F =Tasa de flujo (ml/s)

θ =Área bajo el capilar (m²)

Este ensayo consiste en determinar la absorción inicial de la superficie de concretos secados al horno, no secados al horno y los de sitio, según la especificación BS 1881 : Part 208 : 1996. El método de prueba consiste en aplicar una columna de agua de 200mm sobre la superficie del concreto por un período de tiempo conocido (Ilustración 3-24). Los resultados se pueden considerar relacionados con la calidad del acabado y la durabilidad de la superficie bajo los efectos de la intemperie natural.

Los resultados son de poca relevancia para el comportamiento bajo presiones de agua más altas, y no se pueden utilizar para evaluar la permeabilidad de un cuerpo de concreto.



Ilustración 3-24 Montaje para ensayo ISAT

3.7.5 Ritmo de absorción de agua (sorptividad)

Este método de ensayo se utiliza para determinar el ritmo de absorción de agua (sorptividad) en el concreto de cemento hidráulico, midiendo el incremento de la masa de una probeta como resultado de la absorción de agua en función del tiempo cuando solo se expone una superficie de la probeta.

La superficie expuesta se sumerge en agua, instante donde el ritmo de absorción inicia el proceso en el concreto no saturado debido a la succión capilar.

Procedimiento elaborado según ASTM C1585. Ilustración 3-25



Ilustración 3-25 Ensayo de sorptividad

3.7.6 Densidad, absorción y vacíos.

La especificación técnica NTC 5653 cubre el ensayo para la determinación de la densidad aparente, el porcentaje de absorción y porcentaje de vacíos del concreto endurecido, por medio de muestras de concreto con peso mínimo 800g. El procedimiento fue realizado en cuatro etapas: Masa seca al horno, masa saturada después de inmersión, masa saturada después de hervida y masa sumergida.



Ilustración 3-26 Muestras secadas al horno NTC 5653

3.7.7 Cambio volumétrico del concreto.

Este método de ensayo cubre la determinación de los cambios de longitud que se producen por causas distintas a las fuerzas aplicadas externamente y los cambios de temperatura en muestras de mortero y concreto endurecidas, fabricadas en el laboratorio y expuestas a condiciones controladas de temperatura y humedad. Método de laboratorio elaborado según ASTM C157.



Ilustración 3-27 Ensayo de variación volumétrica

3.7.8 Microscopía electrónica de barrido.

La microscopía electrónica de barrido (SEM por sus siglas en inglés *Scanning Electron Microscopy*). Es una técnica de investigación que permite identificar los minerales formadores de un compuesto como el concreto, mediante el uso de un microscopio de barrido de Electrones retrodispersados (BSE por sus siglas en inglés Backscattered Electron), como se ve en la Ilustración 3-28, que utiliza un haz de electrones acelerados como fuente de iluminación, logrando hacer visible la estructura de objetos muy pequeños de la materia. En la presente investigación se realizó esta técnica en la sede de investigación de la universidad de Antioquía.



Ilustración 3-28 Microscopio de barrido electrónico
Fuente: Disponible en <http://www.reporteroindustrial.com>

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Agregados ligeros

Descripción	% Absorción 24h	% Absorción 72h	% Desorción	% W _{LWA}	Densidad relativa (SH)	MF
CLWA	14,50	25,73	87,60	22,54	1,11	3,96
MLWA	15,00	16,90	83,10	14,04	1,88	4,26
Agregado grueso	1,80	-	-	-	2,60	5,23
Agregado fino	1,60	-	-	-	2,56	2,93

Tabla 4-1 Propiedades físicas de los agregados

Es evidente el mayor porcentaje de absorción que los LWAs poseen, respecto a los agregados de peso normal; la capacidad de absorber agua está en la estructura interna, que gracias al proceso térmico de fabricación su microestructura es consolidada con una matriz porosa y permeable. El ritmo de absorción para los dos LWA a las 24h es casi similar. Sin embargo, el ladrillo triturado por tener una densidad mayor o sea una menor cantidad de poros en comparación con la arcilla expandida se satura en menor tiempo.

En la Ilustración 4-1, se puede ver el ritmo de absorción en función del tiempo para los agregados ligeros en estudio, el ladrillo triturado alcanza su saturación completa cercano a las 24h de estar sumergido en agua, mientras que la arcilla expandida continua su absorción con tendencia progresiva en el tiempo, este comportamiento se debe a que hay poros internos que no están interconectados directamente con los superficiales dificultando el transporte del agua.

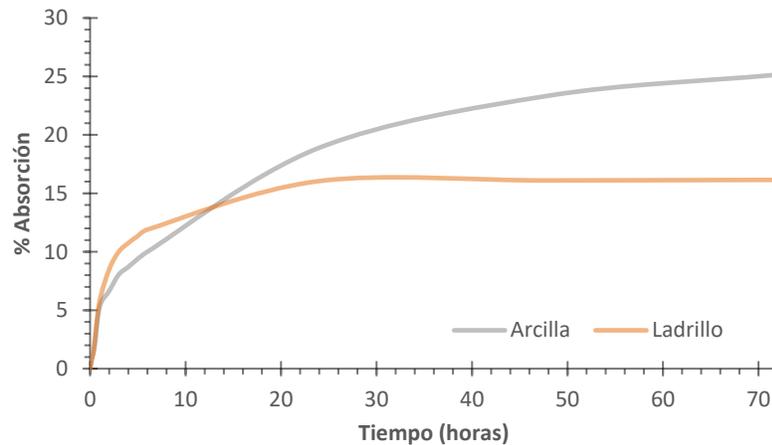


Ilustración 4-1 Absorción en función del tiempo de los LWAs.

El ACI 213R-14 indica que pueden existir un sistema de poros distribuidos uniformemente en la microestructura interna de los LWA con un rango de tamaño aproximadamente de 5 a 300 μm , los cuales no están fácilmente disponibles para la absorción, debido que en el proceso térmico de fabricación son cubiertos por una capa vítrea continua sin grietas, o sea no interconectados.

Los poros cerca de la superficie son fácilmente permeables y se llenan con agua dentro de unas pocas horas o días de exposición a la humedad. Sin embargo, los poros interiores, se llenan extremadamente lento y requieren muchos meses de inmersión para acercarse a la saturación. Una pequeña fracción de los poros interiores son esencialmente no interconectados y permanecen vacíos después de años de inmersión (ACI 308 and 213, 2014).

Por otro lado, el porcentaje de desorción al 94% de humedad relativa, para las arcillas expandidas logra superar el mínimo permitido por la ASTM 1761 del 85%, mientras que para el LWA a base de ladrillo expandido se encuentra por debajo con 83,1%. No obstante, es un valor cercano con una diferencia de 2,35% al permitido. En esta investigación se continuó su desarrollo con la elaboración de concretos con este último, ya que el objetivo era obtener datos de comparación en la eficiencia de los LWAs para curado interno del concreto.

4.2 Concreto en estado plástico

Se tomaron muestras de los concretos en estado plástico para determinar el asentamiento, contenido de aire y la densidad como se ve en la Tabla 4-2. Además, la densidad en estado endurecido seca y aparente fue incluida en la tabla a manera de comparación.

Mezcla	Asentamiento (mm)	Contenido de aire %	Densidad (kg/m ³)		
			Fresca	Seca	Aparente
0.3-C-S	95	4,12	2.303	1.870	2.225
0.3-C-A				1.821	2.185
0.3-L-S	65	3,82	2.265	1.880	2.194
0.3-L-A				1.838	2.167
0.3-A-S	65	1,57	2.148	1.800	2.070
0.3-A-A				1.844	2.101

Tabla 4-2 Propiedades físicas de los concretos

Para obtener la densidad del concreto en estado plástico (fresca) fue usado el método NTC 1926, la densidad seca y aparente el método NTC 5653, a los 28 días de curado.

4.2.1 Asentamiento del concreto (SLUMP).

La trabajabilidad de las mezclas de concreto elaboradas en esta investigación se pueden ver en la Tabla 4-2, fueron tomadas utilizando la prueba del asentamiento del concreto NTC-396. Los resultados de la prueba indican que los concretos con agregados ligeros mostraron menor valor de asentamiento 65mm inmediatamente después de mezclado. Esto indica que el agua de mezclado fue reducida y reservada en los LWA, para una posterior desorción.



Ilustración 4-2 Slump. Concreto estándar (izquierda) y concreto con LWA (derecha)

4.2.2 Densidad en fresco y contenido de aire.

Para la obtención de la densidad en fresco y contenido de aire en estado plástico del concreto, se usó el método gravimétrico del concreto según la especificación NTC 1926. Ilustración 4-3.

En esta investigación, las densidades de todas las mezclas fueron tomadas en estado fresco y endurecido, en la Tabla 4-2 las densidades indicaron que las mezclas elaboradas con LWA mostraron menores valores que la densidad de las muestras patrón, esto es apenas obvio ya que, al incluir agregados ligeros en reemplazo de agregados comunes, el peso del conjunto tiende a disminuir.

Sin embargo, la diferencia de los valores de la densidad entre la muestra patrón y las muestras con inclusión de LWA es pequeña debido a la baja inclusión en la mezcla de estos últimos.

Por otro lado, se puede observar en la Tabla 4-3, una ligera diferencia en la pérdida de densidad entre la muestra 0.3 – A – A con respecto a las demás muestras, esto puede atribuirse a un mejor aprovechamiento del agua de mezcla por parte del cemento, permitiendo una mejoría en la hidratación del cemento y con ello la reducción en las contracciones tempranas.

Mezcla	Densidad (kg/m^3)		
	Fresca	Seca	Pérdida
0.3-C-S	2.303	1.870	18,8%
0.3-C-A		1.821	20,9%
0.3-L-S	2.265	1.880	17,9%
0.3-L-A		1.838	18,9%
0.3-A-S	2.148	1.800	16,2%
0.3-A-A		1.844	14,1%

Tabla 4-3 Pérdida de densidad de estado fresco a endurecido

Esta mezcla no clasifica como un concreto liviano, ya que la NSR-10 prescribe que son considerados como concreto liviano los que cuenten con una densidad aparente menor a 1.840kg/m^3 , Así pues, el porcentaje reemplazado de LWA por NWA no es excesivo.



Ilustración 4-3 Masa unitaria y contenido de aire del concreto

4.3 Concreto en estado endurecido

4.3.1 Resistencia a la compresión.

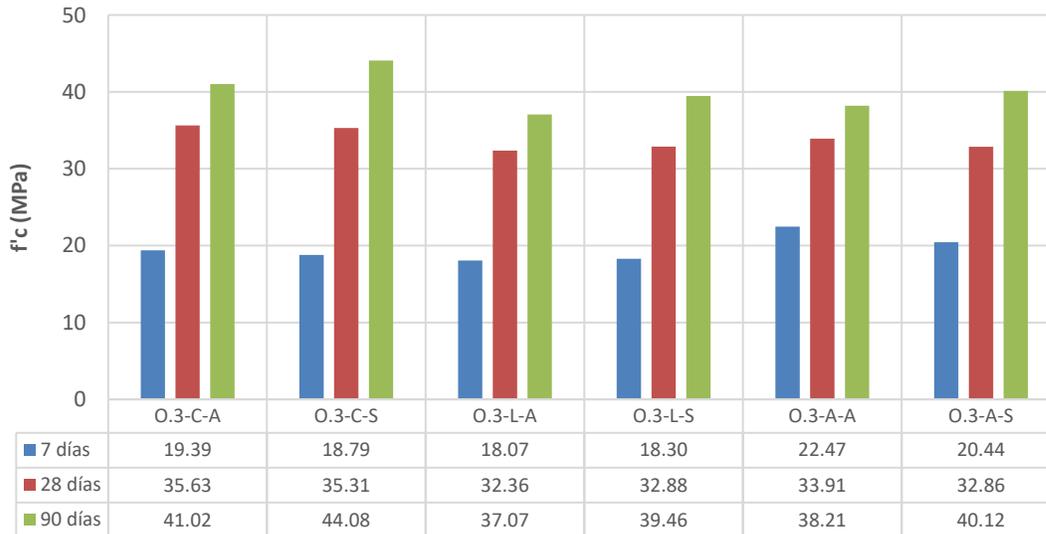


Ilustración 4-4 Resistencia a la compresión de los concretos

De la resistencia a la compresión para las diferentes mezclas y ambientes de curado se muestran en Ilustración 4-4, se puede observar el mejor desempeño a compresión que tuvo el concreto 03 – A – A, en los primeros 7 días de endurecimiento, con respecto a la muestra de control, y a sus homólogos. Las cuales presentaron un promedio de 22,47 MPa, aunque su resistencia no superó lo esperado para el tiempo de fraguado con 40,1% de la resistencia de diseño de mezcla, se puede decir que es prometedor porque supera el valor de las muestras de control (0.3 – C – A y 0.3 – C – S).

También se puede ver que los especímenes sumergidos en agua por un período de 7 días no tuvieron mayor influencia, en la muestra 0.3 – C – S, con un valor a los 7 días de tan solo 18,79MPa, menor a la 0.3 – C – A y lo mismo sucedió en el concreto con agregados a base de arcilla expandida, donde 0.3 – A – A con 22,47 MPa superó al 0.3 – A – S.

Situación paralela ocurrió con los especímenes con LWA a base de ladrillo triturado, donde 0.3 – L – S supera por mínima diferencia al 0.3 – L – S con tan solo 0,23 MPa.

Este comportamiento atípico para los concretos comunes, puede atribuirse a la cantidad de cemento que densifica el concreto endurecido impidiendo la absorción de agua para el curado hacia el interior de la matriz.

Al completar la edad de los 28 días de endurecimiento del concreto, se obtuvieron un máximo de 35,63 MPa y un mínimo de 32,36 MPa de la resistencia a la compresión para todas las muestras ensayadas, correspondiente a 0.3 – C – A y 0.3 – L – A; respectivamente.

La muestra 03 – A – A, sufrió un estancamiento en la adquisición de resistencia a la compresión, llegando a 33,91MPa o sea 60,5% de la resistencia de diseño, mientras que la muestra 0.3 – C – A de la misma edad logró el máximo valor con 35,63MPa es decir 66,4%, respecto a la resistencia de diseño.

Del comportamiento de la mezcla con ladrillo triturado como LWA, se puede decir que es similar a la de control, debido a la evolución de resistencia en función del tiempo donde se observa una tendencia porcentual paralela en los dos tipos de mezcla y de curado con la premisa que su resistencia final fue menor.

Esta pobre evolución de la resistencia a la compresión de los concretos, se puede decir que el cemento no logro su hidratación optima, la relación $a/mc = 0,30$ es muy baja para lograr una hidratación satisfactoria, según Powers el valor para la hidratación completa del cemento hidráulico deberá ser como mínimo del $a/mc = 0,42$, donde 0,23 será para la reacción química del cemento y 0,19 la adsorbida al gel hidratado y no disponible para hidratar el cemento.

Así pues, los concretos ensayados pudieron haber caído en la autodesecación que generalmente desarrolla esfuerzos de tracción en la microestructura y posteriormente la micro-fisuración; fenómeno llamado contracción autógena del

concreto. Sin embargo, los concretos con LWAs en reemplazo porcentual de los NWA, fueron capaces de mantener un esfuerzo de compresión muy cerca al concreto de control.

Los LWAs pre-humedecidos, probablemente lograron entregar el agua absorbida a medida que el cemento fue necesitando de agua extra para su hidratación, dejando así mejor conectada la matriz y llevando a un aumento de la resistencia ante la aplicación de esfuerzos a compresión. Esta apreciación se puede explicar con la simple razón que los concretos dependen su resistencia a los agregados que lo componen. Así que, los LWAs al tener una microestructura porosa pueden ser menos resistentes a los agregados comunes, pero aun así lograron aumentar la resistencia a la compresión del concreto.

Se puede observar en la Ilustración 4-5 una muestra de concreto con inclusión de LWA a base de arcilla expandida después del ensayo a compresión, la falla fue catalogada como tipo 2 según NTC-673, con cono bien formado en un extremo y con fisuras verticales. Se aprecia que la fuerza a compresión generó falla de corte directa en los LWAs. Caso similar fue visto en las muestras con agregados con inclusión de ladrillo triturado.

Al llegar a los 90 días de fundidas las muestras $0.3 - C - A$, $0.3 - C - S$, $0.3 - L - S$ y $0.3 - A - S$ alcanzaron valores superiores al 70% de la resistencia deseada, las muestras de control obtuvieron los mayores valores de resistencia a la compresión. No obstante, esta capacidad debió haberse logrado mucho antes.



Ilustración 4-5 Espécimen después del ensayo de compresión

La preparación de este concreto de alta resistencia es de mucho cuidado; la cantidad de cemento, la relación a/mc, el espesor y la densificación del concreto juegan un papel muy importante que debe ser mitigado con los diferentes métodos de curado. Para las mezclas con LWA como agentes de curado interno, se puede ver que cumple su función al lograr mantener una resistencia a la compresión similar con la muestra de control para sus tres tiempos de prueba. Es decir que hay una hidratación interna gracias a la inclusión de las reservas de agua.

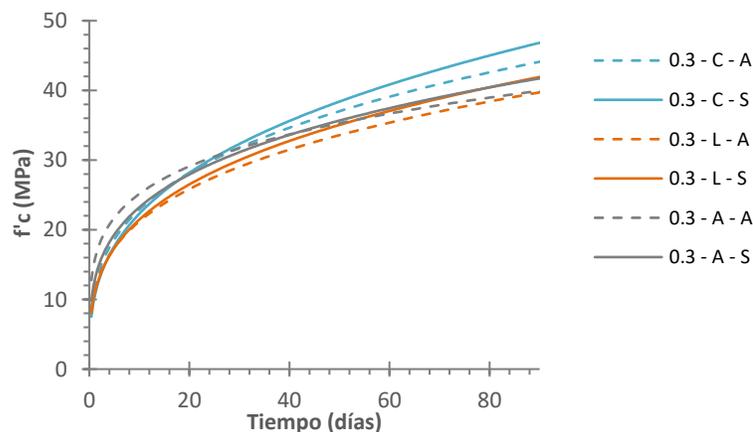


Ilustración 4-6 Resistencia a la compresión de las muestras en función del tiempo

De acuerdo a la Ilustración 4-6 donde se trazó unas proyecciones tendenciales tipo regresión potencial a la dispersión de datos de los esfuerzos a compresión

obtenidos en condiciones controladas, se puede apreciar el dominio del valor a la resistencia a compresión de la mezcla 0.3 – A – A en los primeros 20 días de endurecimiento. Sin embargo, su tendencia progresiva disminuyó drásticamente.

En la especificación técnica NTC – 693, la resistencia media de muestras preparadas de la misma mezcla de concreto, se espera que el coeficiente de variación no exceda el 10,6%

Coeficiente de variación de los especímenes ensayados a compresión						
	O.3-C-A	O.3-C-S	O.3-L-A	O.3-L-S	O.3-A-A	O.3-A-S
7 días	3,00%	2,59%	5,50%	3,62%	1,92%	3,52%
28 días	2,58%	0,96%	1,59%	5,63%	2,83%	2,47%
90 días	2,98%	1,93%	4,63%	1,27%	0,45%	0,60%

Tabla 4-4 Coeficientes de variación de los especímenes ensayados a compresión

La precisión del ensayo de compresión se encuentra dentro del rango aceptable de resistencia de cilindros individuales de 3 cilindros por la NTC – 693. No obstante, las muestras con LWA en especial las de agregados a base de ladrillo, presenta valores altos de variación, esto quiere decir que la unión heterogénea de la mezcla de concreto presenta una ligera variabilidad con este tipo de agregado.

Esta variación puede verse influenciada en la acomodación errática o segregación de los agregados al momento de realizar la mezcla y en el proceso de vibrado, esto se puede atribuir al tamaño de la partícula y/o a la densidad suelta de los LWAs.

Finalmente, se puede decir que la inclusión de LWAs como agentes para curado interno del concreto es aprovechable si se realiza el adecuado porcentaje de reemplazo, una mayor cantidad de LWAs, puede reducir la capacidad de resistencia a la compresión de los concretos, debido a las propiedades mecánicas bajas con las que cuentan los LWAs.

La inclusión del agregado a base de ladrillo triturado tuvo un comportamiento menor a las otras mezclas, la cantidad de agua absorbida en relación con el porcentaje de

agregado a incluir en la mezcla es poco eficiente, se usó porcentaje del 25% de reemplazo del NWA, y aun así no superó a las muestras de control.

Las muestras con arcilla expandida como agregado ligero, presentó un comportamiento algo mejor que las muestras con ladrillo triturado. Sin embargo, la resistencia final no superó a las muestras de control.

4.3.2 Módulo de elasticidad del concreto.

El módulo de elasticidad es definido como la pendiente de la secante trazada desde un esfuerzo nulo hasta el 40% del esfuerzo de compresión (NSR-10, 2010), valor importante para el cálculo de la rigidez de elementos estructurales en concreto.

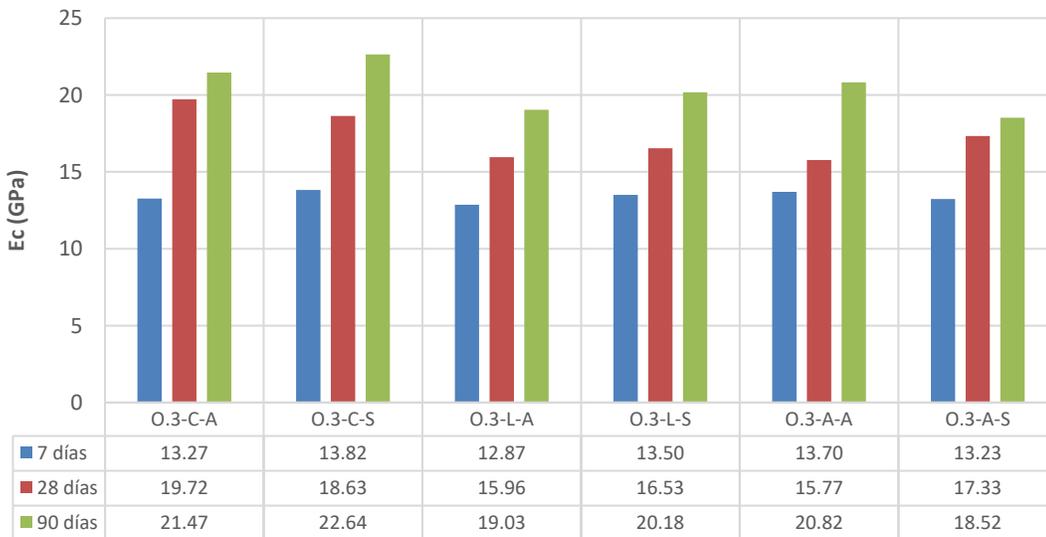


Ilustración 4-7 Módulo de elasticidad de los concretos

En la Ilustración 4-7 se puede observar los valores encontrados del módulo de elasticidad a compresión de todos los concretos para las diferentes mezclas y ambientes de curado analizados en sus tres edades ensayo. Se observa que en los primeros 7 días las muestras alcanzaron valores muy cercanos, mientras que a los 28 y 90 días los valores del módulo fueron dominados por las muestras de control.

El valor máximo de módulo de elasticidad para los 28 días fue alcanzado por las muestras 0.3 – C – A con un valor de 19.72 GPa , mientras que el mínimo fue de las muestras 0.3 – A – A con valor promedio de 15,77 GPa , una diferencia de aproximadamente el 20% importante en cuestiones prácticas para el comportamiento elástico de las estructuras. Sin embargo, las muestras 0.3 – A – A logran recuperarse para los 90 días llegando muy cerca de la muestra patrón, superponiéndose sobre la 0.3 – A – S.

Sucede también para las muestras con ladrillo triturado, hay ganancia importante del módulo de elasticidad de los 28 a los 90 días. Este comportamiento a largo plazo tampoco es favorable para las estructuras.

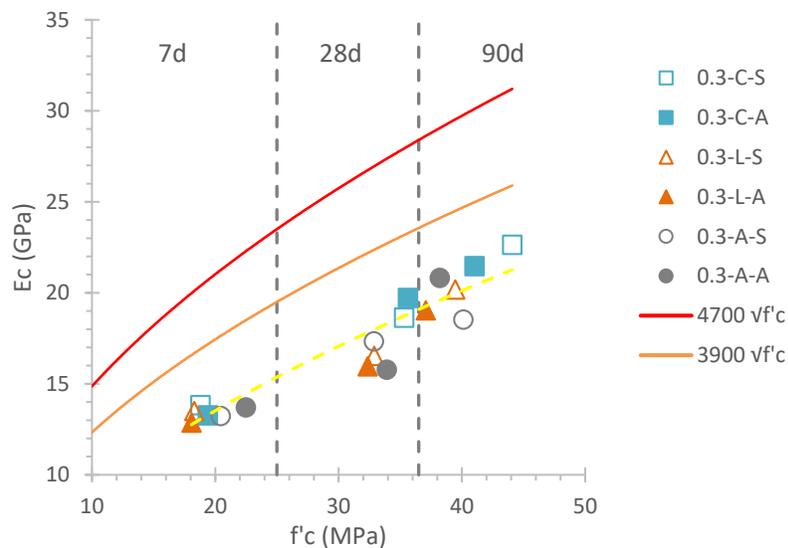


Ilustración 4-8 Módulo elástico en función de la resistencia a la compresión

En la Ilustración 4-8, se puede apreciar la dispersión de datos obtenido en las tres fechas de ensayos y la relación con los datos teóricos de la NSR-10, como también la tendencia grupal con una regresión exponencial, datos promediados de todas las muestras ensayadas.

El comportamiento progresivo para el módulo de elasticidad en función de la resistencia a la compresión, es apenas obvio. Donde lideran las muestras de control para los 28 y 90 días. Por el contrario, se ve claramente el rezago en el

módulo de las muestras con LWA a los 28 días, las cuales se encuentran debajo de la media.

Este rezago se puede atribuir a la menor rigidez de los agregados ligeros, debido que el módulo de elasticidad del concreto es sensible al módulo de elasticidad del agregado.

Además, en la gráfica fueron trazados los valores calculados con las ecuaciones dadas en el código NSR-10; se puede ver una importante diferencia en la dispersión de datos en relación con la ecuación $E_c = 4700\sqrt{f'_c}$ para todas las muestras. Es decir que los concretos presentan deformaciones muy altas ante el incremento de cargas a compresión. A modo de comparación y así lo permite el código, fue trazada la ecuación $E_c = 3900\sqrt{f'_c}$ la cual funciona como valor medio para toda la información experimental nacional, sin distinguir por tipo de agregado.

4.3.3 Densidad aparente, absorción y porosidad permeable.

- *Densidad aparente.*

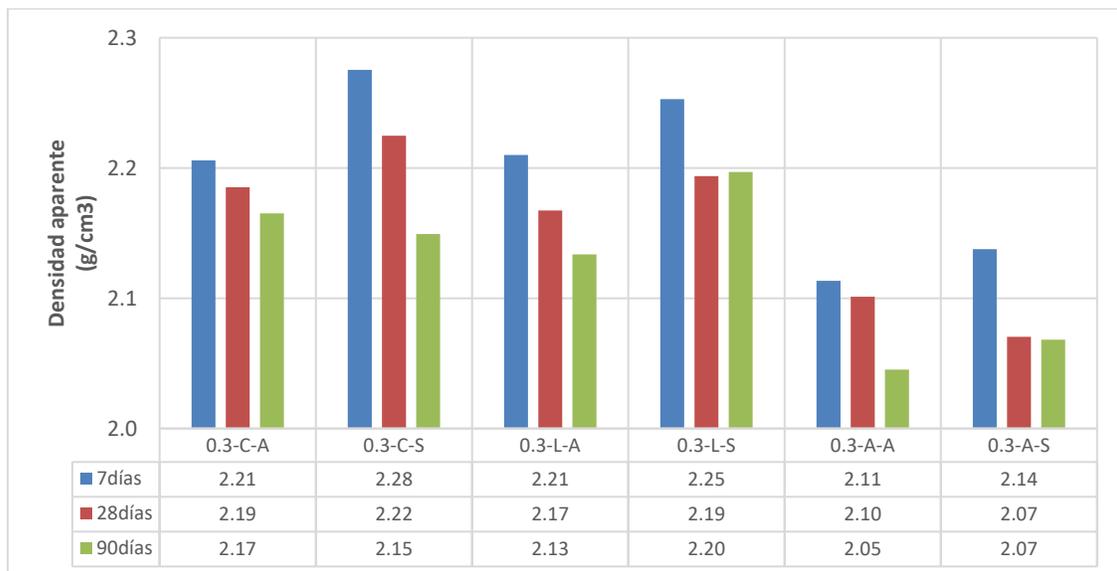


Ilustración 4-9 Densidad aparente de las muestras de concreto

La densidad aparente de los concretos ensayados fueron medidos de acuerdo con la NTC-5653 y consignados en la Ilustración 4-9. Allí se puede apreciar la baja densidad aparente de las muestras con LWA a base de arcilla expandida en proporción a las muestras adyacentes. Mientras tanto, los concretos con LWA a base de ladrillo triturado mantiene el valor muy cerca de la muestra patrón. El comportamiento de las mezclas ante la exposición de los dos tipos de ambiente no presenta mayores cambios.

La baja densidad aparente de los concretos $0.3 - A - A$ y $0.3 - A - S$, se debe a la estructura porosa de los LWA y al porcentaje de reemplazo usado para la mezcla. No obstante, para las muestras $0.3 - L - A$ y $0.3 - L - S$, la densidad se mantiene con valores muy similares a la muestra patrón, esto puede significar que la cantidad de agregado reemplazado fue bajo y que la densidad del MLWA es cercana a los agregados normales.

Por otro lado, la variación en función del tiempo de la densidad de las muestras curadas en los dos ambientes saturadas y no saturadas con curado interno, se puede apreciar en la Ilustración 4-9, donde la reducción en el período de los 7 a los 28 días puede atribuirse al mantenimiento sólido de la matriz con una fuerte conexión del gel y los agregados, esto probablemente fue posible gracias a la inclusión de agua adicional en la microestructura.

Mientras que para los días subsecuentes el aumento de la densidad aparente se pudo presentar debido a la micro-fisuración y con ello la conexión de los vacíos de la estructura interna del concreto.

Al observar la tendencia continua de reducción en la densidad aparente de las muestras $0.3 - C - A$ para los tres tiempos de ensayo y al no tener ningún tipo de curado, se puede decir que hubo una micro-fisuración sin control ocasionadas por la contracción autógena.

▪ *Absorción.*

Según la NTC-5653 la absorción es la cantidad de agua que ocupa los poros disponibles en los concretos bajo dos modos de ensayo, sumergidos en agua y hervidos. Los resultados de los ensayos realizados a las muestras con diferentes agregados se pueden ver en la Ilustración 4-10. Se muestra que los concretos con LWAs cuentan con mayor capacidad de absorción en los primeros días que el concreto de control, además los especímenes con LWA a base de ladrillo triturado cuenta con mayor absorción que su homologó a base de arcilla expandida. También se aprecia que el comportamiento de las muestras para los dos ambientes de curado, fueron muy idénticos.

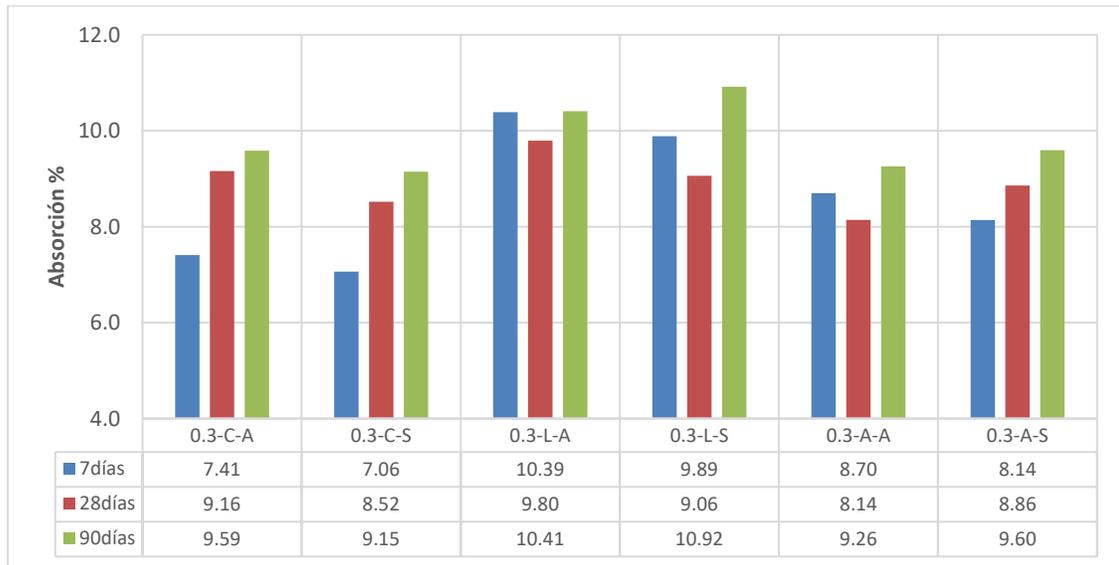


Ilustración 4-10 Porcentaje de absorción de los concretos

Los concretos con agregados LWAs presenta mayor absorción que el concreto de control en los primeros 7 días de endurecimiento, esto puede suceder debido a la porosidad adicional que aportan los agregados ligeros. Sin embargo, se observa un aumento importante del 20% en el período de los 7 a los 28 días para las muestras de control. Este comportamiento puede ser atribuido a la micro-fisuración que causa exposición de los poros que anteriormente no eran accesibles.

De esta forma se puede decir que los concretos con LWAs presentaron un mejor comportamiento que los concretos de control, debido que el incremento de la porosidad para los tres períodos de ensayo fue mínimo, deduciendo así que la porosidad interna del concreto y de los LWA no se interconectaron.

Por su parte, los concretos con LWA a base de ladrillo triturado presentaron una mayor absorción y es atribuido a la mayor cantidad de LWA reemplazado, en relación con las muestras con arcilla expandida.

▪ Porosidad permeable

Los resultados promedio de la prueba de porosidad de las muestras en estudio y de sus diferentes edades de ensayo, se presentan en la gráfica Ilustración 4-11. Donde se puede observar que los concretos con agregados de arcilla expandida obtuvieron menor porcentaje de porosidad que sus homólogos para los 28 y 90 días. Mientras que los especímenes con agregados de ladrillo triturado, fueron los que mayor cantidad de porosidad presentaron. Además, se puede ver en los concretos 0.3 – C – A y 0.3 – C – S como incrementa de manera importante la porosidad en el intervalo de los 7 a los 28 días y continua hasta los 90 días con tendencia ascendente.

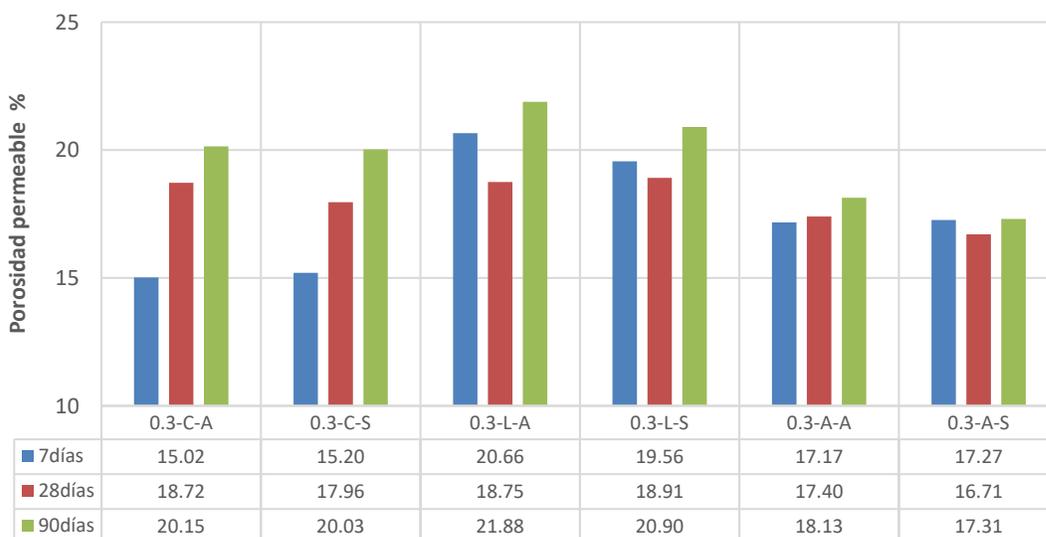


Ilustración 4-11 Porosidad permeable de las muestras de concreto

Las muestras $0.3 - A - A$ y $0.3 - A - S$, lograron mantener una porosidad permeable menores a las muestra de control y a las mezclas LWA a base de ladrillo triturado, con valores de 18.13% y 17.31% a los 90 días; respectivamente. Este comportamiento se puede atribuir a la hidratación interna que ofreció estos LWA pre-saturados, permitiendo la hidratación en la pasta de cemento antes de iniciar la autodesecación. O sea, la hidratación adicional al cemento pudo reducir la contracción autógena evitando así la interconexión de los poros.

Por el contrario, las mezclas $0.3 - L - A$ y $0.3 - L - S$, fueron los que más porosidad permeable presentaron, con un promedio del 21.39% para los dos grupos de muestras. Se puede decir que el ladrillo como agente retenedor de agua jugó un papel contraproducente para la porosidad de los concretos. Asumiendo que, el porcentaje propio de poros de estos LWA pudieron funcionar como vía para la interconexión de los poros del concreto.

Los concretos de control sufrieron un aumento significativo en la porosidad de los 7 a los 28 días, con un incremento del 20% y crecimiento leve y continuo hasta los 90 días. Este comportamiento se puede explicar con el hecho de que al contar con una relación a/mc baja, la autodesecación fácilmente pudo aparecer generando tensiones de contracción e incitando la micro-fisuración, conectado así los poros. El incremento es mayor en los primeros días de endurecimiento debido a la baja resistencia del concreto.

El curado externo controlado por inmersión en agua durante 7 días no tuvo gran relevancia, como se vio en la Ilustración 4-11 el comportamiento de las muestras curadas externamente fue similar a las de curado ambiente.

De la Ilustración 4-12 se puede observar fácilmente el comportamiento de la resistencia a la compresión en función de la porosidad permeable; la tendencia es inversa a lo normalmente hallado para lo concretos de alta resistencia. Bhutta et al, investigaron el comportamiento de concretos porosos, los cuales tienden a

presentar mejoría en la resistencia a medida que la porosidad reduce (Bhutta, Tsuruta, & Mirza, 2012).

Sin embargo, la resistencia a la compresión es proporcional a la porosidad con valores muy pequeños y puede ser atribuido a la fuerte conexión entre la pasta de cemento y los agregados de la mezcla.

Brevemente, se puede decir que los concretos con inclusión de LWAs logran de cierto modo mantener la porosidad en función del tiempo, en especial los agregados a base de arcilla expandida, de la Ilustración 4-12 se puede ver como mantiene una tendencia casi vertical para las tres fechas de ensayos.

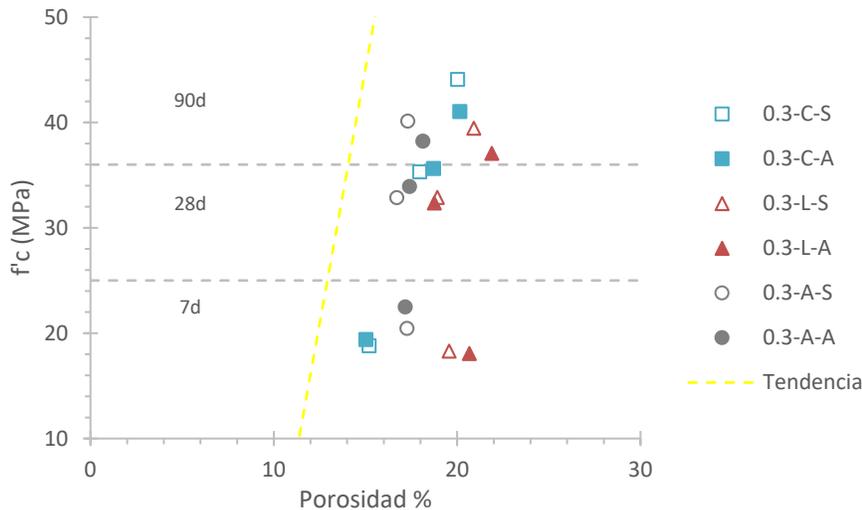


Ilustración 4-12 Resistencia a la compresión en función de la porosidad de los concretos

4.3.4 Velocidad de pulso ultrasónico (VPU)

La velocidad del pulso ultrasónico tomado en transmisión directa a los especímenes resultó estar en un rango de 3,38 y 3,90 km/s , para todas las muestras en los diferentes tiempos de curado, tomados de una población de tres mezclas que incluyen en total 54 núcleos.

Velocidad de pulso (m/s)	Clasificación del concreto
$VPU > 4575$	Excelente
$4575 > VPU > 3660$	Bueno
$3660 > VPU > 3050$	Cuestionable
$3050 > VPU > 2135$	Pobre
$VPU < 2135$	Muy pobre

Tabla 4-5 Calidad del concreto según la velocidad de pulso
Fuente: tomado de (Malhotra & Carino, 2003)

De acuerdo con la clasificación del concreto basado en la velocidad de pulso ultrasónico de Malhotra V. (Tabla 4-5). La calidad del concreto es directamente proporcional a la VPU debido a la influencia de la densidad, es decir una matriz más densa permite que el pulso viaje con mayor velocidad. Los valores de VPU de las muestras de concreto ensayadas fueron ubicados de acuerdo con esta clasificación, quedando en el intervalo entre bueno y cuestionable.

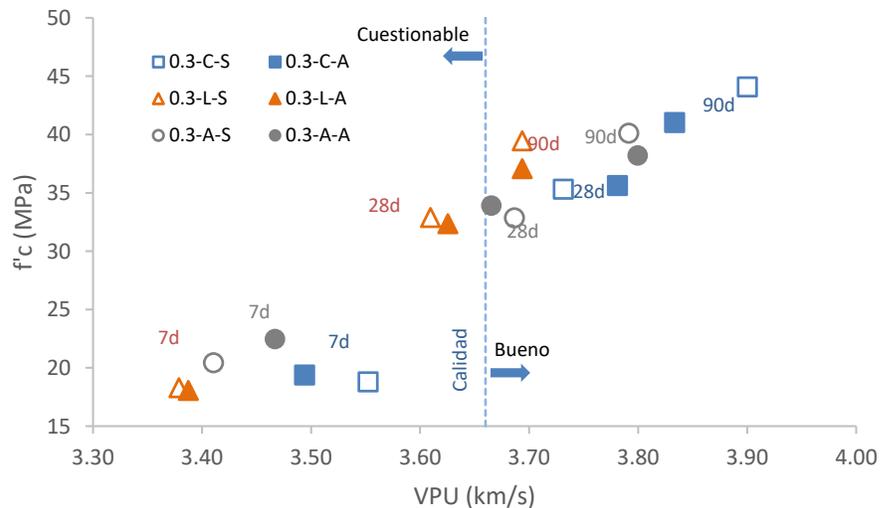


Ilustración 4-13 Diagrama de dispersión VPU vs $f'c$ para todas los núcleos de concreto

En la Ilustración 4-13, se presenta la dispersión de datos consolidados por tipo de muestra en sus tres tiempos de curado, se discriminó la calidad de los concretos por la VPU de Malhotra V., se aprecia como el concreto con agentes a base de ladrillo triturado (0.3-L-S y 0.3-L-A) representa valores similares de resistencia a la compresión pero con velocidades menores de VPU, respecto a sus homólogas.

Para los 28 días de curado las mezclas 0.3-L-S y 0.3-L-A se encuentran en el rango cuestionable, esto significa que los concretos poseen muchos vacíos en la estructura interna del concreto, reduciendo la densidad y por consiguiente la VPU. No obstante, la resistencia a la compresión del concreto se mantiene cerca de las muestras de control. Al completar los 90 días de curado la VPU aumentó hasta lograr colocarse en el rango de calidad bueno, esto no quiere decir que los vacíos disminuyeron, solo que la conexión de la matriz es más sólida y funciona mejor para la transmisión el pulso.

El comportamiento de los concretos 0.3-A-S y 0.3-A-A, también muestran un aumento en la cantidad de vacíos de su estructura mientras mantiene más cerca la resistencia a la compresión con relación a la muestra de control.

De lo anterior se puede considerar que el curado interno pudo estar involucrado en el aumento de la resistencia de la matriz interna del concreto con mayor cantidad de vacíos, al permitir valores iguales de resistencia a la compresión con respecto a las muestras de control.

Por otra parte, se realizó una regresión exponencial, con la dispersión de puntos entre la velocidad de pulso ultrasónico (VPU) y la resistencia a compresión del concreto ($f'c$), obteniendo los siguientes coeficientes de correlación:

Curado	Correlación	Regresión
7 días	0,15	$f'c = 12.474e^{0.12VPU}$
28 días	0,76	$f'c = 4.8102e^{0.53VPU}$
90 días	0,73	$f'c = 6.7551e^{0.47VPU}$

Tabla 4-6 Correlación lineal de la dispersión de datos

Se puede apreciar de la Tabla 4-6 que la correlación lineal para los tres tiempos de curado es de 0,15, 0,76 y 0,73 para un mismo diseño de mezcla. Se observa que la correlación del curado a 7 días presenta una dispersión significativa alta, lo que conlleva a una incertidumbre en el comportamiento de los concretos con respecto a la medición de la resistencia a compresión por medio de este ensayo. Para

verificar el porqué de este comportamiento se realizó un análisis más detallado por tipo de mezcla. Encontrando así que los datos con mayor varianza están en las mezclas con LWA.

En la Tabla 4-7 se muestra como es la correlación de los concretos con LWA como agentes para curado interno con relación al espécimen de control; la dispersión de datos para la muestra 0.3 – C tiene un comportamiento cuasi lineal, mientras que los concretos 0.3 – L y 0.3 – A tienen una fuerte dispersión aleatoria.

Mezcla	Correlación lineal		
	7 días	28 días	90 días
0.3 - C - S	-0,76	0,68	0,71
0.3 - C - A			
0.3 - L - S	-0,18	0,15	0,40
0.3 - L - A			
0.3 - A - S	0,39	0,29	-0,21
0.3 - A - A			

Tabla 4-7 Correlación lineal discriminando el tipo de mezcla

Finalmente, se puede decir que hay un alto grado de incertidumbre en la medición de los concretos con inclusión de LWA con este método de ensayo.

4.3.5 Ritmo de absorción de agua (sorptividad)

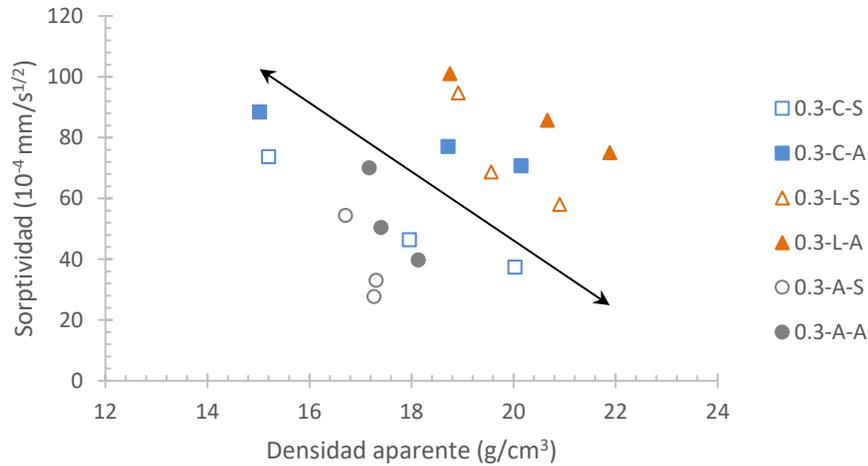


Ilustración 4-14 Variación de la sorptividad en función de la densidad aparente

La sorptividad es una propiedad física de los materiales que estima el ritmo de sorción de agua por capilaridad y matemáticamente está definida por la pendiente de la regresión lineal de una dispersión de puntos entre la capacidad de absorción capilar y la raíz del tiempo, se estima que cuando menor sea el valor de sorptividad mayor serán la durabilidad, vida útil y las propiedades mecánicas del concreto.

Los valores de la sorptividad tienen una relación directa con la densidad aparente, en la Ilustración 4-14 se puede observar la tendencia general a disminuir la sorptividad para una mayor densidad aparente en cada conjunto de mezclas.

Se pudo apreciar que las mezclas con ladrillo triturado presentan mayor ritmo de absorción y las muestras con arcilla expandida, el menor. Este comportamiento se logró ver mejor en la siguiente ilustración:

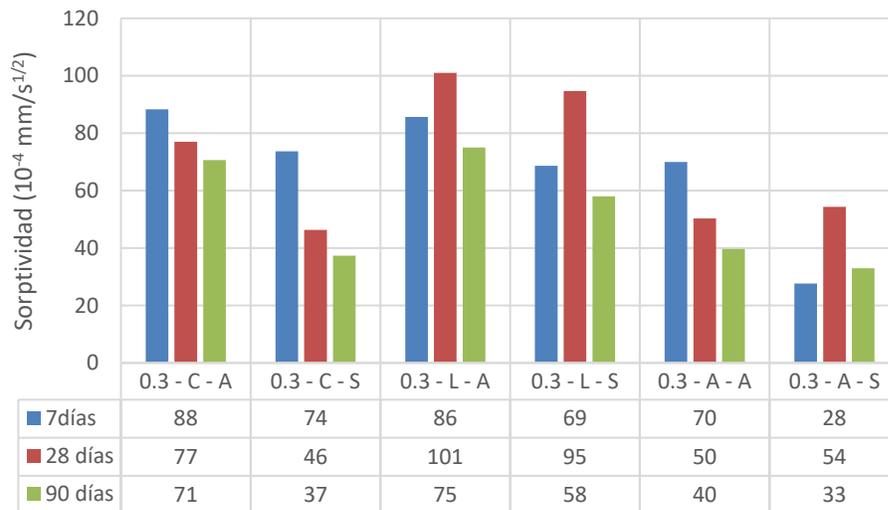


Ilustración 4-15 Comparación de los valores de sorptividad en los concretos

Los valores de sorptividad analizados en las muestras de los concretos se pueden ver en la Ilustración 4-15, donde las muestras con reemplazo del agregado por arcilla expandidas presentan el menor ritmo de absorción y los concretos con LWA a base de ladrillo triturado el mayor valor de sorptividad. Además, se puede ver una disminución de la sorptividad entre los dos ambientes de curado.

Las muestras 0.3 – A – A Y 0.3 – A – S, el ritmo fue menor para los tres períodos ensayados, para las muestras secadas al aire y ensayadas a los 7 y 28 días presentaron valores de 70 y $50 \times 10^{-4} \frac{mm}{s^{0.5}}$, mientras que los sumergidos por 7 días tuvieron menores valores de 28 y $54 \times 10^{-4} \frac{mm}{s^{0.5}}$,

Los especímenes 0.3 – L – A y 0.3 – L – S, permitieron los mayores ritmos a los 7 y 28 días, las muestras secas al aire alcanzaron valores de 86 y $101 \times 10^{-4} \frac{mm}{s^{0.5}}$, y los que permanecieron inmersos por 7 días arrojaron valores de 69 y $95 \times 10^{-4} \frac{mm}{s^{0.5}}$.

Estas observaciones tienden a indicar que, los concretos con arcilla expandida al presentar menor ritmo de absorción, probablemente posee menor cantidad de micro-fisuras que conectan la porosidad del concreto y los agregados, los cuales son la vía para el ascenso del agua debido a las presiones capilares.

Además, se observa que hay una variación con tendencia a disminuir la sorptividad entre los dos ambientes de curado, presentado favorabilidad para los que estuvieron sumergidos por 7 días.

Por otro lado, se estimó la capacidad de absorción capilar de agua en función del tiempo, en la Ilustración 4-16 se puede ver que la muestra 0.3 – L – A es la que más absorción presenta para los 28 y 90 días, seguido por las muestras 0.3 – C – A.

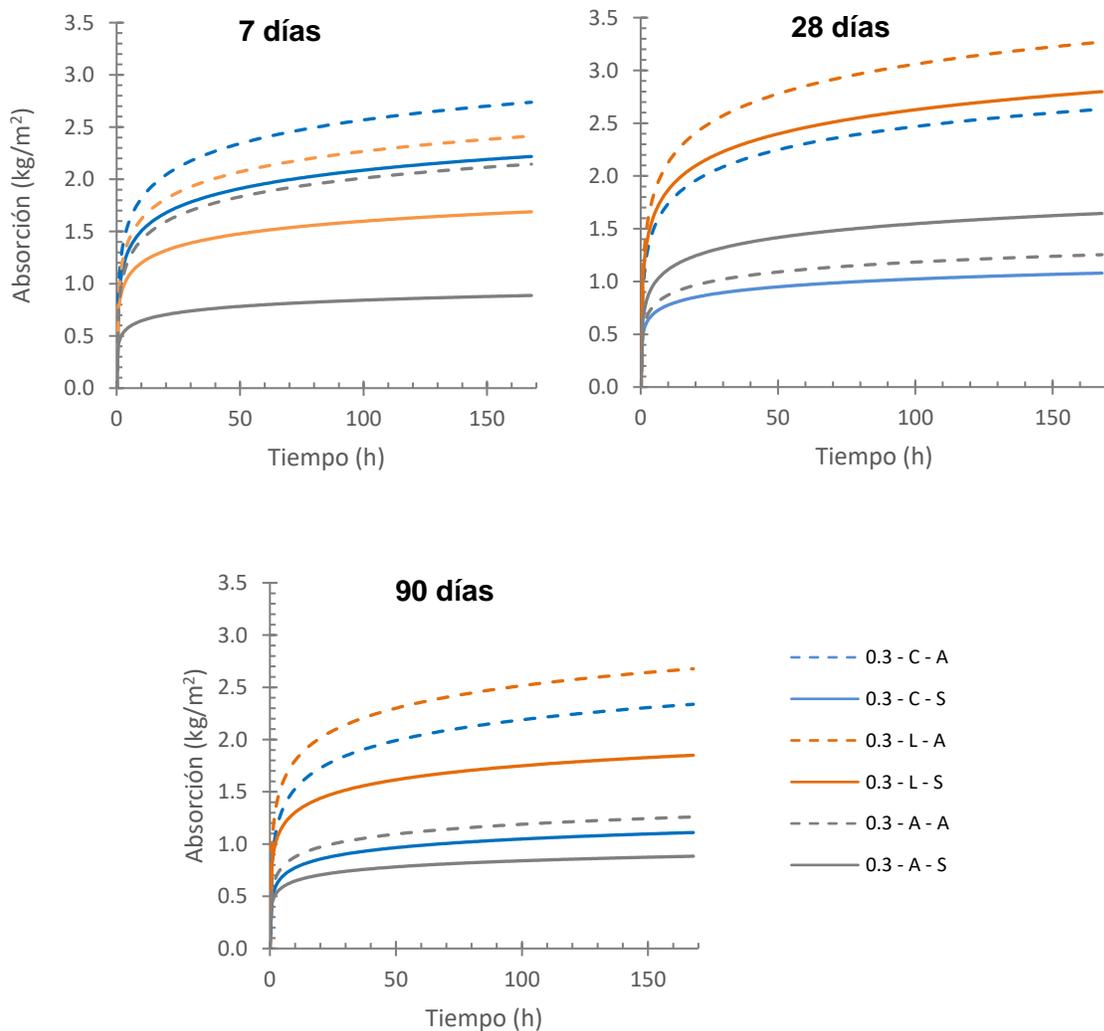


Ilustración 4-16 Masa de agua absorbida por capilaridad

Esto da una idea del comportamiento del curado interno y la capacidad de desorción de los LWA. El flujo de agua al interior de la matriz se debe en gran parte a la conexión de los capilares que permite que el agua desarrolle la tensión suficientemente mayor al peso propio y pueda moverse hacia el interior del concreto. Estas vías en forma de micro-fisuras pueden ser generadas por las tensiones internas a causa de la auto-dsecación.

Mientras que, en las muestras con arcilla expandida se puede observar que presenta los valores más bajos de absorción. Esto quiere decir, que probablemente hubo una mejor hidratación debido a la capacidad de desorción a tiempo.

4.3.6 Absorción en la superficie inicial (ISAT)

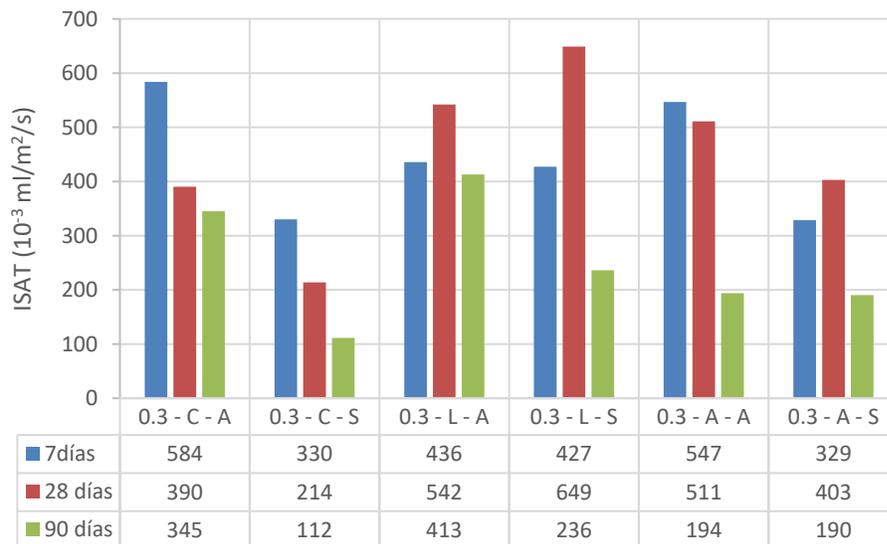


Ilustración 4-17 Tasa ISAT a los 10min

El deterioro del concreto usualmente involucra el movimiento de gases y líquidos agresivos del ambiente circundante al concreto, generando reacciones físicas dentro de la microestructura, lo que posiblemente conduce a daños irreversibles. Así pues, la permeabilidad en lugar de las propiedades mecánicas, son factores importantes para la durabilidad de los concretos.

A continuación, se evalúa la capacidad de absorción superficial de los concretos ensayados.

En la Ilustración 4-17, se muestra los datos experimentales para los 10min de absorción superficial de los concretos en las tres fechas de ensayo, se encontró que el menor valor de ISAT fue obtenido por las muestras de control saturado y el mayor para las muestras con ladrillo triturado. Además, en los ensayos a los 7 días, las muestras de control y de arcilla expandida, que estuvieron sumergidos presentan menor ISAT, mientras que los especímenes de control y arcilla expandida que no estuvieron saturados presentan los mayores valores de ISAT.

La absorción superficial de las muestras de control y en especial 0.3 – C – S , presentó el mejor comportamiento con un valor de $112 \times 10^{-3} \frac{ml}{m^2s}$, por otro lado, la muestra menos eficiente fue 0.3 – L – S con $649 \times 10^{-3} \frac{ml}{m^2s}$. Esto demuestra que las muestras con ladrillo triturado absorben agua de la superficie a una tasa superior al concreto común, esto se puede atribuir a que los ladrillos después de haber liberado el agua en el proceso de curado interno, los poros pueden quedar abiertos y permeables. Y se intensifica la capacidad de absorción cuando la superficie inicial de las muestras presenta algún tipo de fisuración que permita transportar el agua hasta los agregados ligeros.

Además, se puede observar en los ensayos realizados a los 7 días de fraguado, que los especímenes que se mantuvieron sumergidos en agua presentan menor ISAT que las muestras que estuvieron en ambiente seco, esto se puede atribuir a que los concretos sumergidos alcanzaron a desarrollar una superficie menos permeable, debido a una buena hidratación del cemento la cual evita la generación de tensiones por cambios volumétricos que generan micro-fisuras en la matriz.

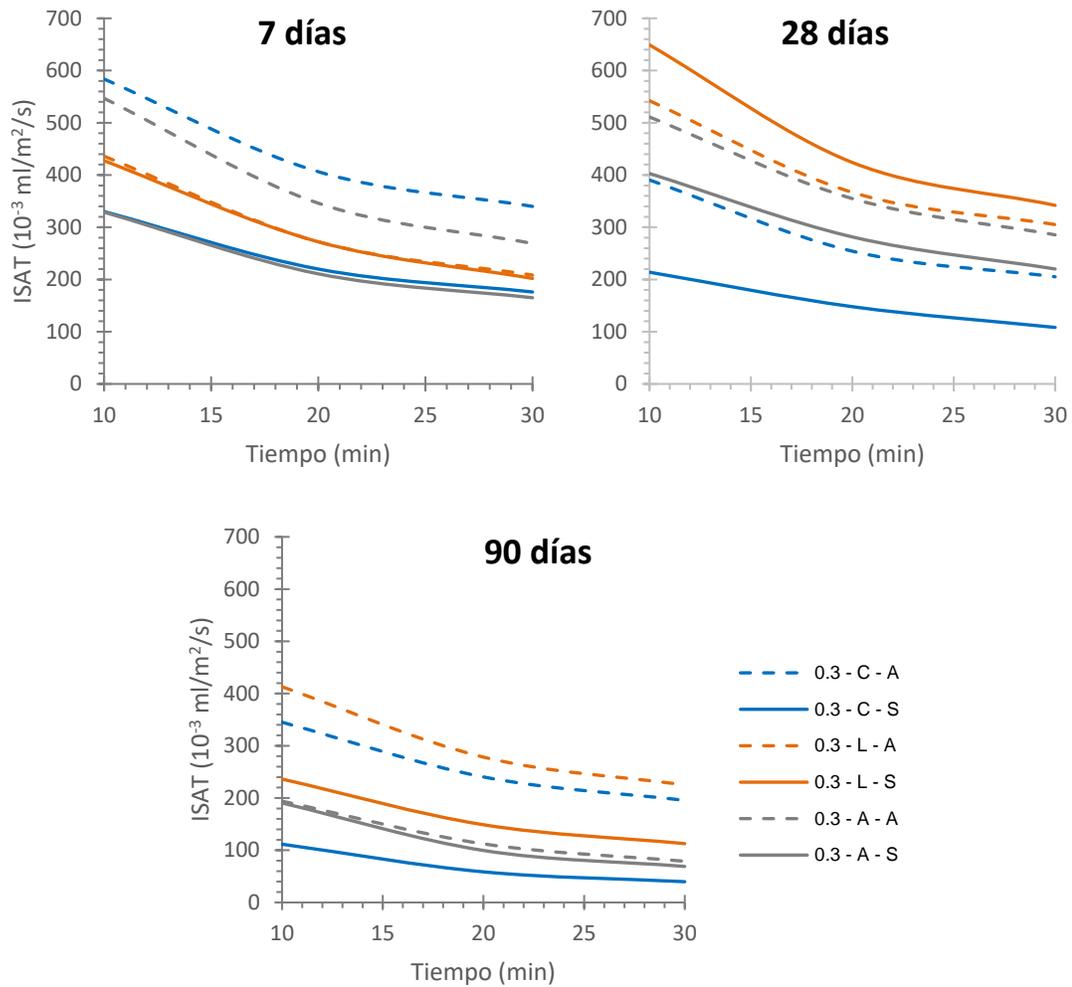


Ilustración 4-18 ISAT en función del tiempo

De la Ilustración 4-18, se muestra la capacidad de absorción superficial discriminado por tipo de mezcla, para los 7 días los concretos con inclusión de LWAs demuestran una mejoría ante el concreto patrón sin curado. Para los 28 días la situación es diferente, estos concretos pierden capacidad de evitar el transporte del flujo de agua y finalmente para los 90 días, el concreto con arcilla expansible presente menores valores de ISAT que su homologo, y se acerca al 0.3 – C – S. Esto indica que los LWA a base de arcilla expandida, probablemente intervino en la reducción de la fisuración en la superficie inicial y la desarticulación de sus poros con los vacíos del concreto.

4.3.7 Cambio volumétrico del concreto.

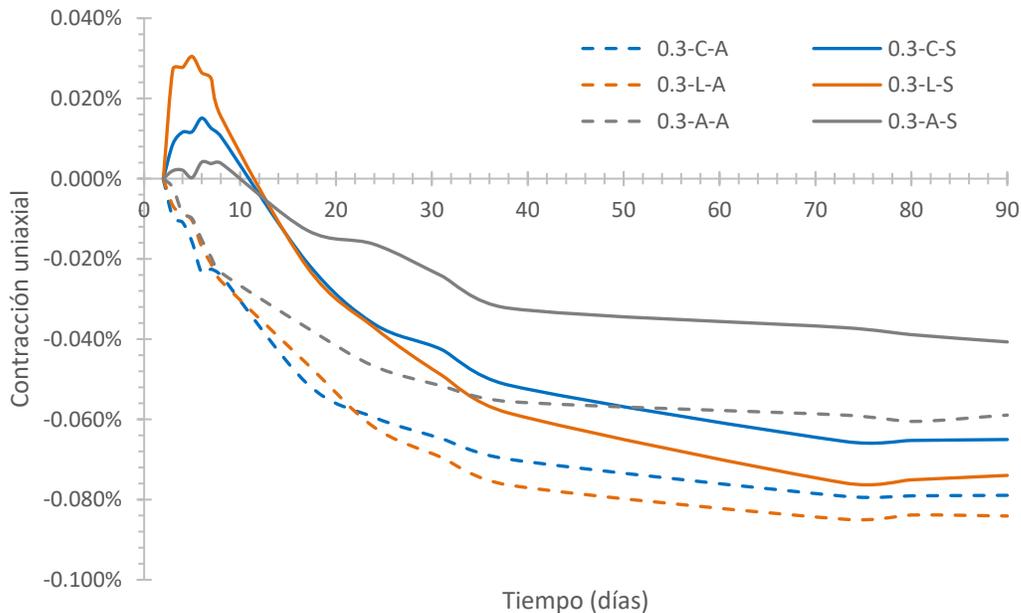


Ilustración 4-19 Contracción uniaxial en función del tiempo

Se puede apreciar en Ilustración 4-19 que la contracción volumétrica tiene una mayor participación en los primeros días de endurecimiento de la mezcla, aproximadamente hasta los 28 días, a partir de ahí el concreto tiende a estabilizar el cambio volumétrico. Hay un patrón singular para las muestras que tuvieron saturadas por 7 días que se muestra en los primeros días de fraguado del concreto, donde presenta expansión del volumen del concreto, siendo más importante para la mezcla 0.3 – L – S, la cual alcanzó 0,030% de su dimensión longitudinal.

Los especímenes saturados por 7 días presentaron una menor contracción durante los 90 días ensayados, que las muestras no saturadas, o sea sin ningún tipo de curado externo.

Para las muestras con LWA a base de arcilla expandida, se observa que la contracción volumétrica tiene un menor porcentaje en relación con la muestra de control, la cual se hace más notable en la muestra 0.3 – A – S. Esto indica que la

inclusión de reservas de agua fue favorable para disminuir la autodesecación que causa cambios volumétricos importantes en los concretos.

Las muestras con ladrillo triturado presentaron una contracción similar a la muestra patrón, demostrando una irrelevancia en la asignación de las reservas de agua. No obstante, hay una expansión volumétrica del concreto mayor a la muestra de control, ocurrida en las muestras con curado externo en los primeros días de endurecimiento del concreto. Este comportamiento se puede atribuir a la cantidad de agua que se acomodó en los capilares los cuales por presión separa el gel y aumenta la variación longitudinal. A medida que el agua es absorbida por el cemento los capilares quedan vacíos permitiendo que las partículas se reacomoden y es ahí cuando inicia la contracción volumétrica que se observa en la Ilustración 4-19 a partir de los 7 días.

El curado interno, exhibe una ligera mejoría en relación con la prueba de contracción, en especial para los concretos con arcilla expandida. Sin embargo, para los concretos con ladrillo triturado el caso fue contrario, y puede deberse en la forma y el momento de entregar el agua para hidratar el cemento (Desorción).

4.3.8 Microscopía electrónica de barrido

Se realizó el ensayo de microscopía con el microscopio electrónico de barrido, para lo cual se realizó unas fichas de microscopía con las observaciones vistas en la superficie de las muestras fisuradas del concreto.

FICHAS DE MICROSCOPIA DEL CONCRETO.

Fueron tomadas dos muestras de los núcleos de concreto extraídos, estas fueron cuidadosamente elaboradas para cumplir con las exigencias del método de ensayo. Inicialmente se muestra unas fotografías tomadas con lupa hasta un acercamiento de X16 y posteriormente se presenta las fichas de microscopía del concreto.

Concreto con mezcla de control 03 – C – A, curado en ambiente.

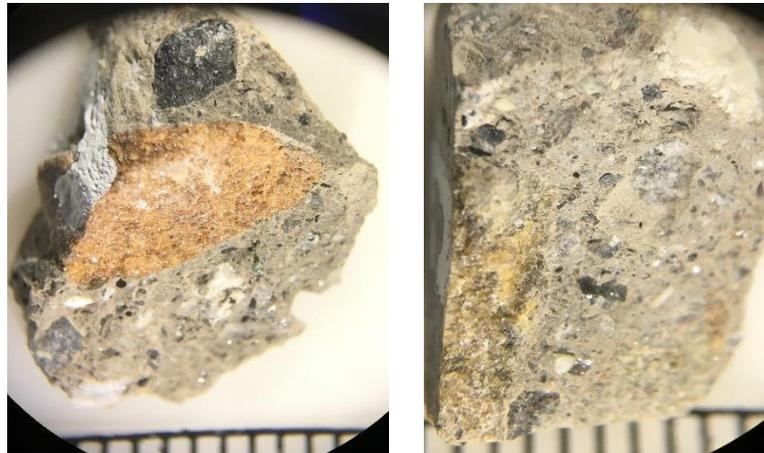
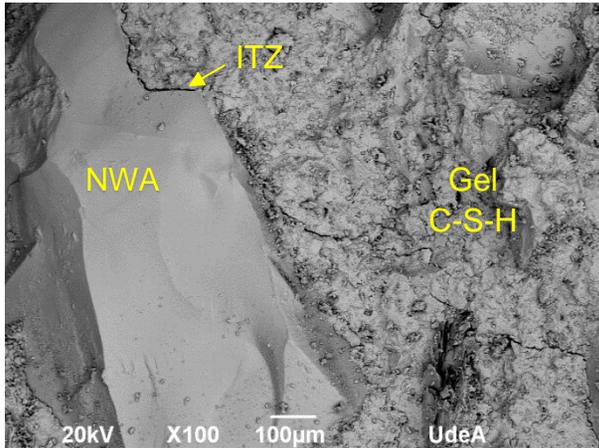


Ilustración 4-20 Especímenes de concreto con mezcla de control.

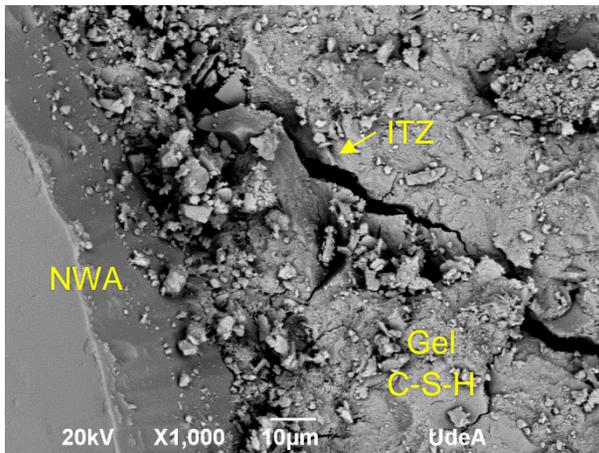


Identificación: **03 – C – A**

Técnica de muestro: **BSE/SEM X100**

Descripción:

Se puede observar a la izquierda de la foto un agregado de densidad normal (NWA), unido con pasta de cemento gel C-S-H en la zona derecha. Nótese una fisura entre esta unión, es la denominada ITZ, la cual cubre y mantiene unidos los materiales mediante una matriz.

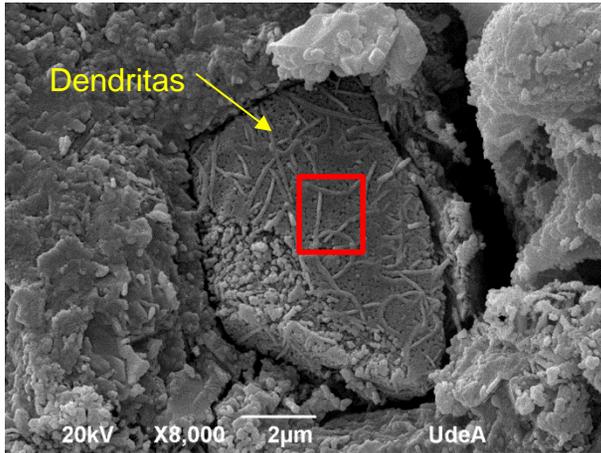


Identificación: **03 – C – A**

Técnica de muestro: **BSE/SEM X1.000**

Descripción:

Se realizó un acercamiento a la fotografía, donde se aprecia mejor la ITZ. Se pueden ver partículas blancas dispersas en la microestructura, las cuales no correspondieron a cemento no hidratado. Fueron identificadas como escombros de pulido proveniente del elemento en la preparación de la muestra.



Identificación: **03 – C – A**

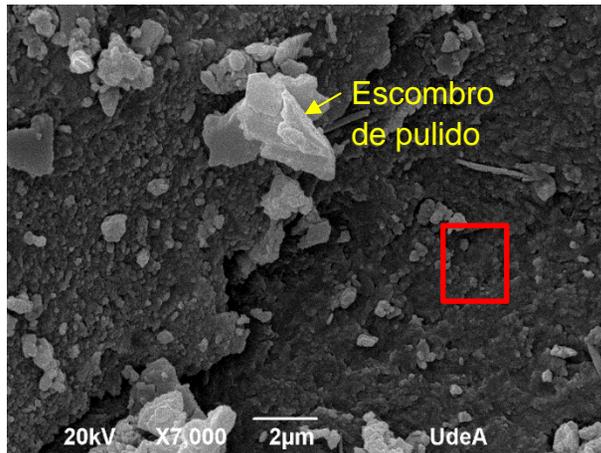
Técnica de muestro: **BSE/SEM X8.000**

Descripción:

Se observó una partícula con dendritas en la superficie localizada en la pasta de cemento. Realizado el análisis químico arrojó que tiene Mg y Mn compatible con escoria (Slag) cementante sin hidratar. Lo que sugiere que el cemento utilizado contiene una adición de escoria.

Resultado de análisis químico

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
C K	2.29	0.3464	21.75	2.25	39.83
O K	1.18	0.3132	12.40	2.19	17.05
Mg K	0.50	0.8131	2.04	0.34	1.84
Al K	1.78	0.8898	6.57	0.44	5.35
Si K	5.78	0.8866	21.45	0.93	16.79
Ca K	9.77	0.9944	32.33	1.31	17.74
Mn K	0.83	0.7896	3.46	0.58	1.39
Totals			100.00		



Identificación: **03 – C – A**

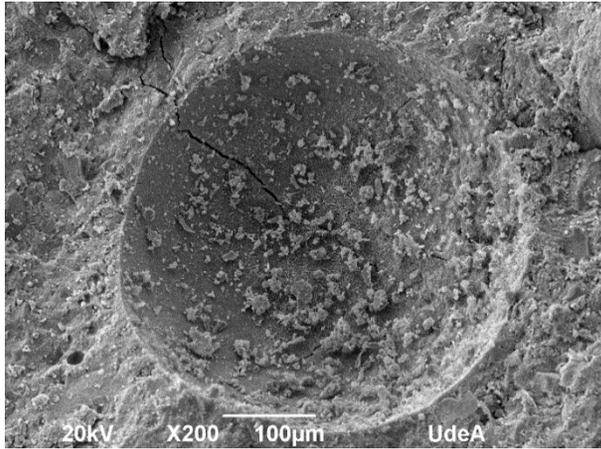
Técnica de muestro: **BSE/SEM X7.000**

Descripción:

Se realizó un acercamiento a la morfología del gel en la pasta, encontrando ausencia de estructuras fibrosas del *C – S – H*. Ausencia de etringita tipo I y de portlandita. Realizado el análisis químico se halló Mn, lo que sugiere un gel de C-S-H modificado respecto a un portland por escoria.

Resultado de análisis químico

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
C K	1.99	0.4353	22.34	2.49	39.50
O K	1.22	0.3135	19.14	2.80	25.40
Al K	0.55	0.8690	3.10	0.44	2.44
Si K	3.17	0.9136	17.04	0.96	12.89
Ca K	7.08	1.0076	34.46	1.69	18.26
Mn K	0.63	0.7860	3.91	0.75	1.51
Totals			100.00		



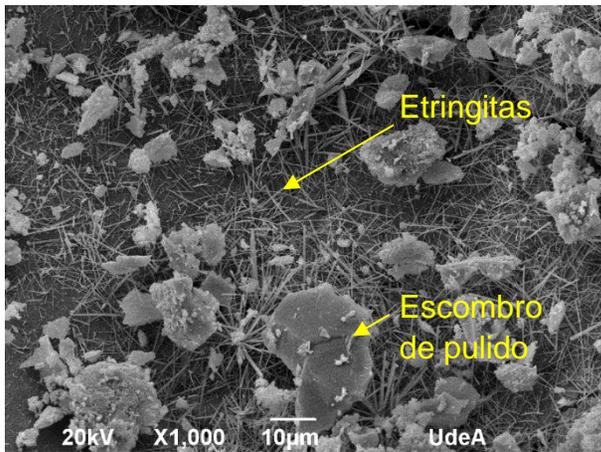
Identificación: **03 – C – A**

Técnica de muestro: **BSE/SEM x 100**

Descripción:

Se identificó un poro en la estructura del concreto, el cual se encuentra cubierto con escombros por el pulido. Al realizar un acercamiento se observó la formación de etringitas tipo II.

También, se puede observar una fisura la cual fue atribuida a un falla por preparación del espécimen o por procesos de retracción.



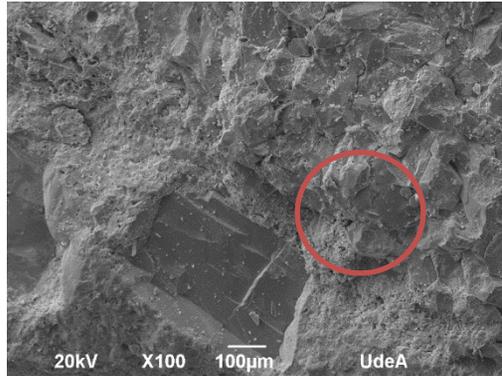
Identificación: **03 – C – A**

Técnica de muestro: **BSE/SEM X1.000**

Descripción:

En un acercamiento más detallado del poro anterior se pudieron apreciar etringitas tipo II rodeado por residuos varios de la preparación de la muestra.

La presencia de etringitas es común en los cementos hidratados como consecuencia de la reacción del aluminato de calcio con el sulfato de calcio.



Identificación: **03 – C – A**

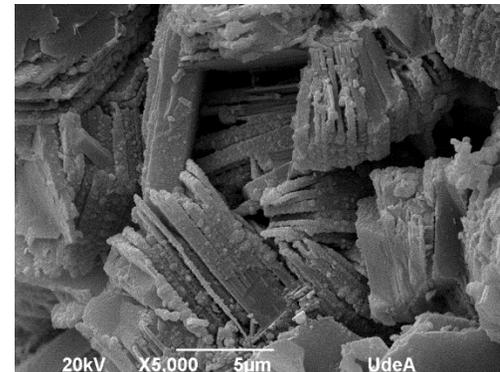
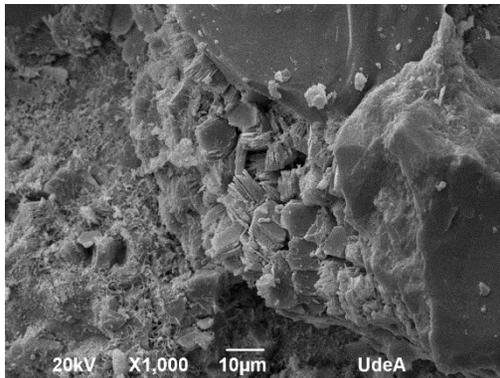
Técnica de muestro: **BSE/SEM X100, X1.000, X5000**

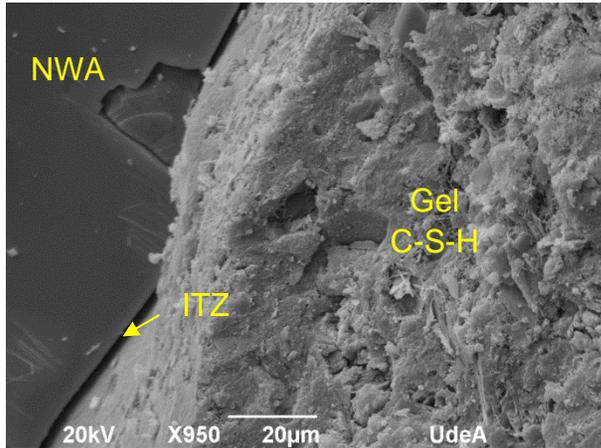
Descripción:

Se observó una estructura amorfa en la pasta de cemento. Fue identificada como material de contaminación, el cual puede provenir de una contaminación accidental del material usado para la mezcla de concreto.

La composición química es:

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
C K	4.12	0.2962	48.23	2.21	65.48
O K	1.47	0.4332	11.77	1.54	12.00
Al K	4.12	1.0062	14.21	0.71	8.59
Si K	5.42	0.8488	22.15	1.04	12.86
Fe K	0.85	0.8062	3.64	0.55	1.06
Totals			100.00		



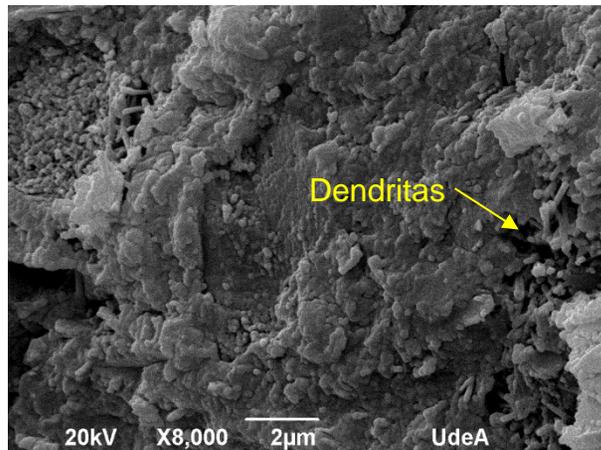


Identificación: **03 – C – A**

Técnica de muestro: **BSE/SEM x 950**

Descripción:

Se observó un agregado de peso normal tipo cuarzo, y un gel masivo de C-S-H. De este angulo la ITZ es claramente visible.

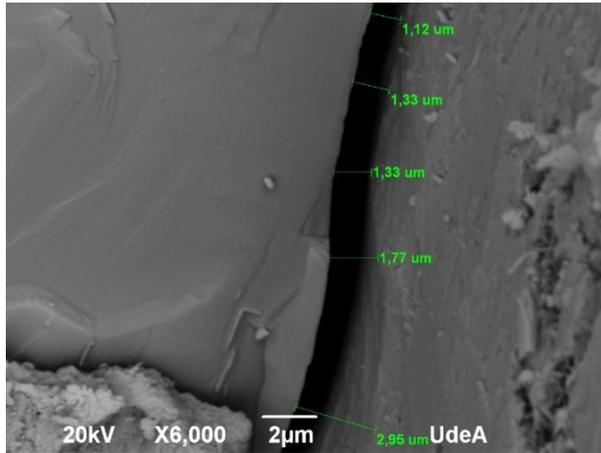


Identificación: **03 – C – A**

Técnica de muestro: **BSE/SEM x 8.000**

Descripción:

Al realizar un acercamiento en la pasta de cemento de la anterior ilustración, se pudo ver una textura de gel con dendritas.



Identificación: **03 – C – A**

Técnica de muestro: **BSE/SEM x 6.000**

Descripción:

Se tomó la apertura de la fisura en la ITZ, la cual dio un promedio de $1,70\mu m$. De aquí se puede observar que el cemento no se adhiere a los agregados, más bien funciona como una capa de recubrimiento sobre los agregados formando una matriz envolvente, así que ante una carga aplicada sobre el elemento de concreto los esfuerzos de Poisson son los actuantes para lograr la interacción pasta - agregado.

Concreto con mezcla de arcilla expandida 03 – A – A, curado en ambiente.

Imágenes tomadas a X16.

Se puede observar en la Ilustración 4-21, la distribución de los agregados ligeros y los de peso normal, esto con el fin de revisar la interacción de los dos ante la matriz formada por la pasta de cemento.

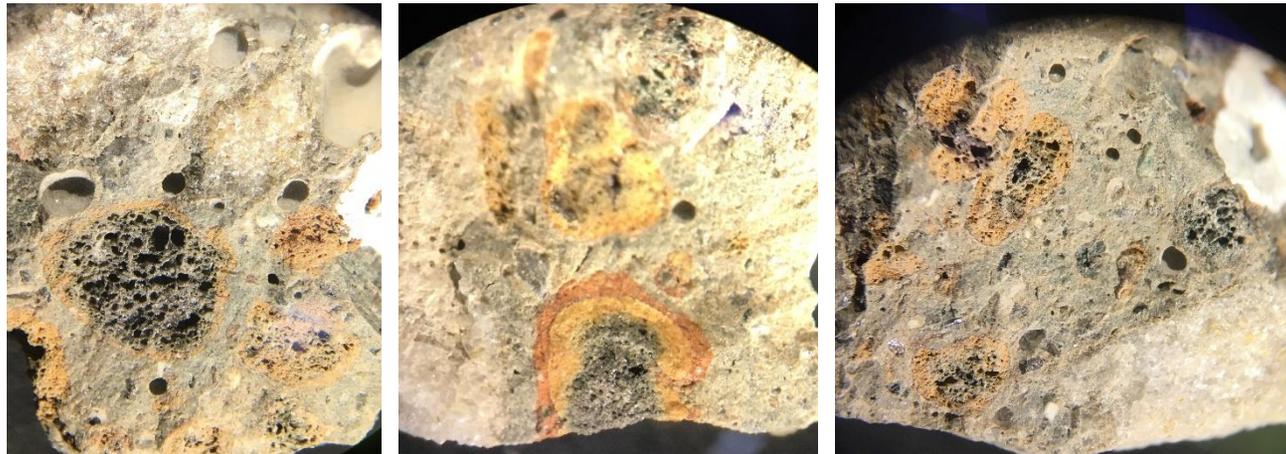
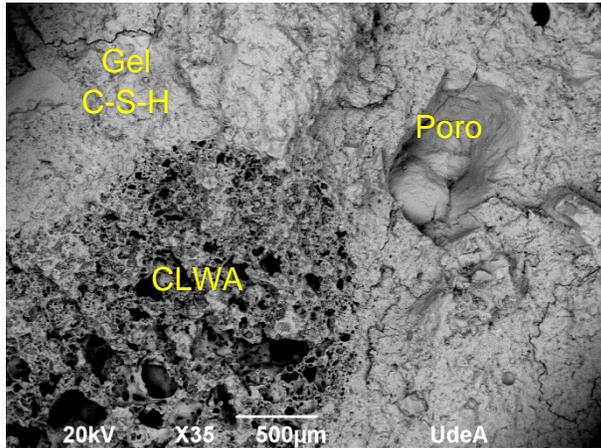


Ilustración 4-21 Especímenes de concreto con mezcla arcilla expandida.

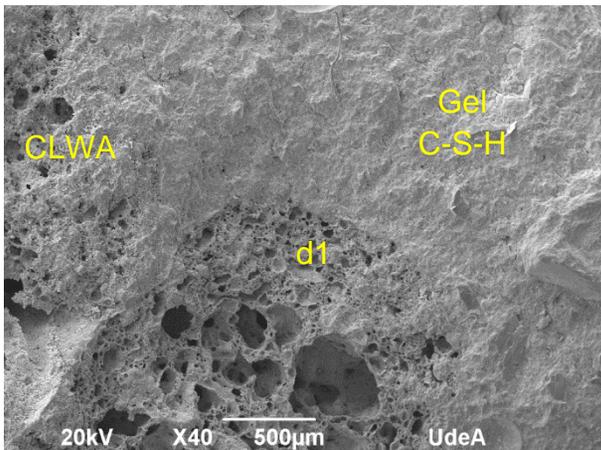


Identificación: **03 – A – A**

Técnica de muestro: **BSE/SEM X35**

Descripción:

Se observó que el CLWA, al lado izquierdo inferior de la fotografía, es fácil distinguir por su estructura amorfa y espumosa. Alrededor se puede apreciar una estructura más densa, la cual corresponde al gel de C-S-H. También es fácil distinguir un poro formado en el gel de CSH.

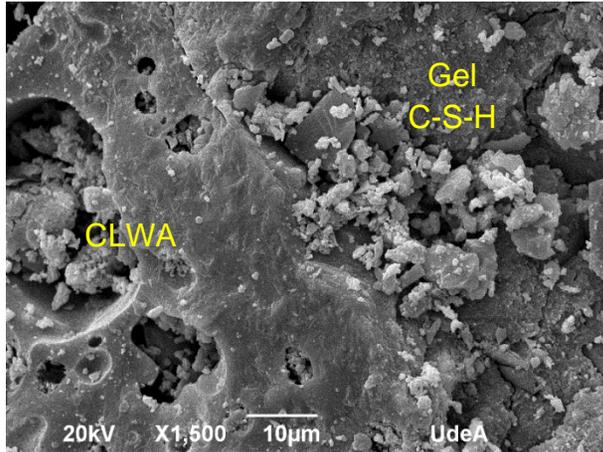


Identificación: **03 – A – A**

Técnica de muestro: **BSE/SEM X40**

Descripción:

En un acercamiento a la imagen, se observan las dos densidades de poros del CLWA, una interna con poros grandes y una externa con poros pequeños. Esto se debe a su proceso de fabricación. No se logra diferenciar fisura en la ITZ entre el CLWA y la pasta de cemento.



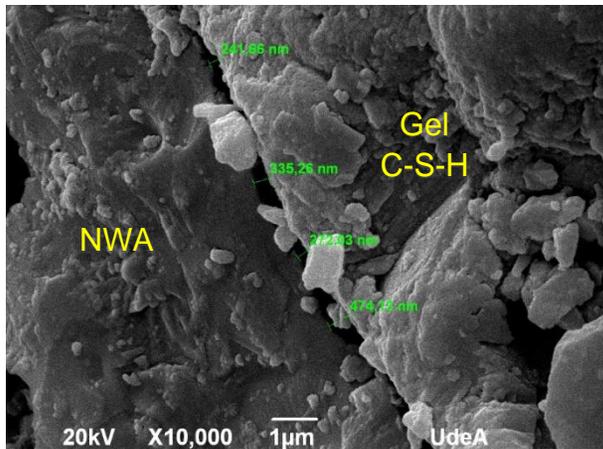
Identificación: **03 – A – A**

Técnica de muestro: **BSE/SEM X1.500**

Descripción:

En una aproximación mayor, aún no es fácilmente identificable la estructura de la ITZ. Se ve el cambio de desidades de los materiales pero no hay fisura en la zona de transición. Hay particulas blancas atribuidas a polvo de la preparación de la muestra.

Los masivos del gel de CSH siguen con la misma tendencia a la muestra de control, con poca morfología en los productos de hidratación.

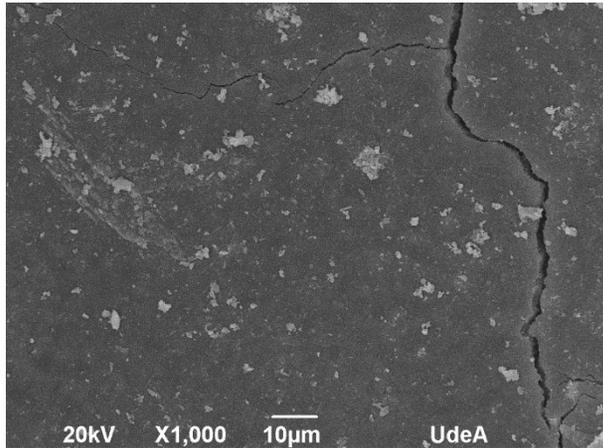


Identificación: **03 – A – A**

Técnica de muestro: **BSE/SEM x 10.000**

Descripción:

Se tomó la medida de la ITZ de la union entre un agregado normal y la pasta de cemento, dando un ancho promedio de **330nm**

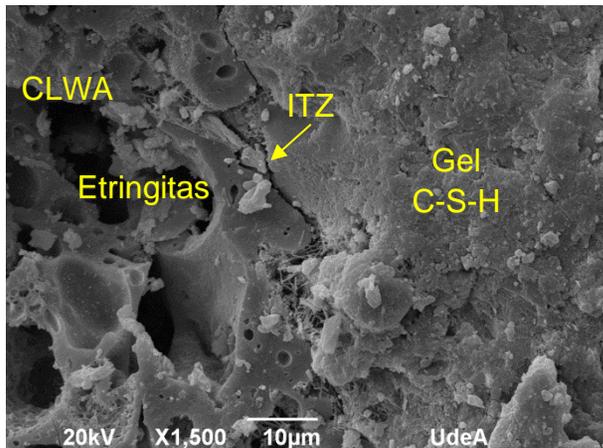


Identificación: **03 – A – A**

Técnica de muestro: **BSE/SEM x 1.000**

Descripción:

Se observó el interior de un poro en la pasta de cemento. Se ve solo con residuos de la fractura. Se aprecia una estructura densa sin texturas para el C-S-H, y es evidente la ausencia de etringita. La fisura que atraviesa el poro probablemente es debido a esfuerzos producidos por preparación de la muestra o procesos de retracción del concreto..

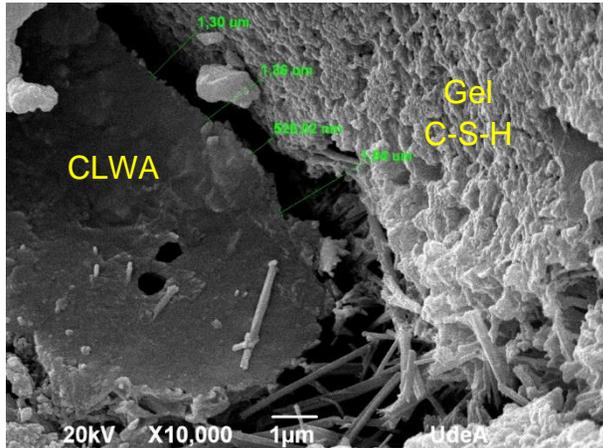


Identificación: **03 – A – A**

Técnica de muestro: **BSE/SEM x 1.500**

Descripción:

Se logra diferenciar en la ITZ una fisura entre el CLWA y la pasta de cemento. En ella se ve una formación de etringita que es parte de los proceso de hidratación normal del cemento. Al estar formada en la fisura, probablemente se formó en la transición de agua desde el CLWA a la pasta de cemento por IC.

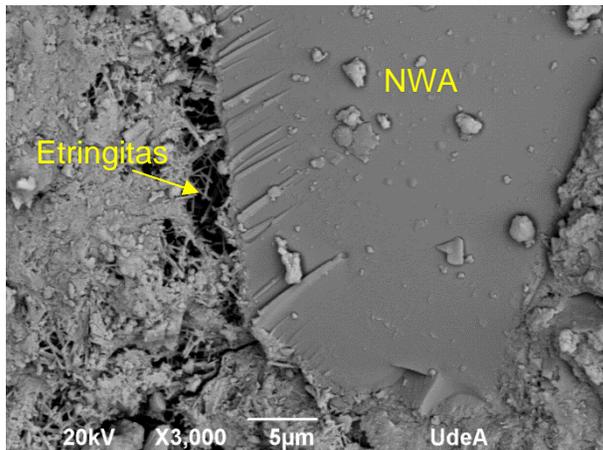


Identificación: **03 – A – A**

Técnica de muestro: **BSE/SEM x 10.000**

Descripción:

En esta imagen se tomó las medidas de la ITZ dando un promedio de **1.15 μm**. La etringita visible corresponde a una tipo I y en la fisura Tipo II. LA tipo les formada en a temprana edad y se consideran normales. A la derecha se puede observa la densidad y textura del gel de CSH.



Identificación: **03 – A – A**

Técnica de muestro: **BSE/SEM x 3.000**

Descripción:

En otra ITZ entre NWA y la pasta de cemento también se logra ver la formación de etringitas tipo II en la fisura. La formación de este mineral se puede explicar por presencia de agua en la fisura luego de los procesos de contracción de la pasta.

Concreto con mezcla de ladrillo triturado 03 – L – A, curado en ambiente

En la Ilustración 4-22 se puede apreciar las muestras preparadas para el ensayo de barrido electrónico, se ve una buena distribución del MLWA.

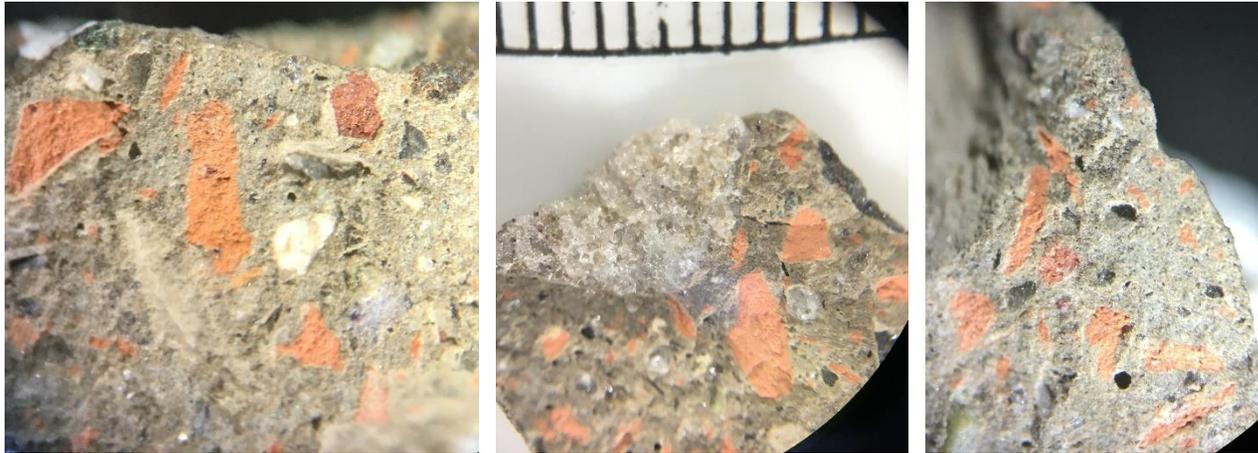
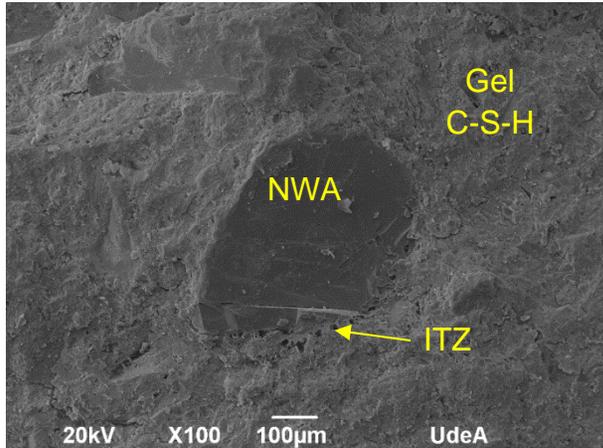


Ilustración 4-22 Especímenes de concreto con mezcla ladrillo triturado

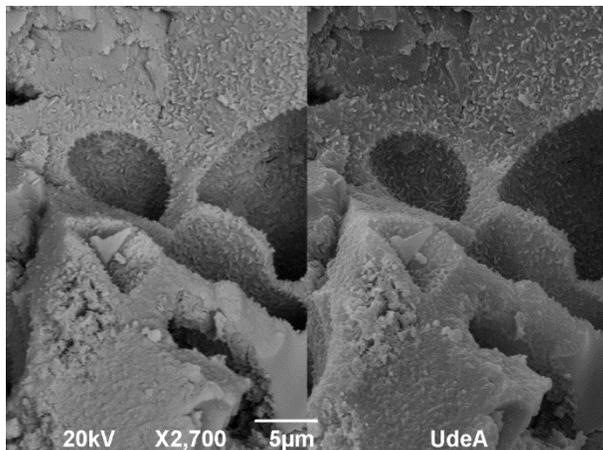


Identificación: **03 – L – A**

Técnica de muestro: **BSE/SEM X100**

Descripción:

Se observó un agregado de peso normal cubierto por gel de CSH. Se alcanza ver una estructura amorfa en la ITZ, formada por el gel de CSH.

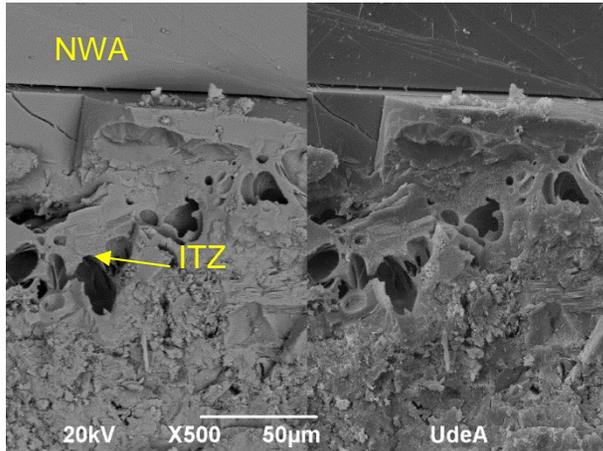


Identificación: **03 – L – A**

Técnica de muestro: **BSE/SEI X2.700**

Descripción:

Al realizar un acercamiento en la ITZ se puede apreciar una estructura C-S-H fibrosa, acompañada con dendritas en su superficie.



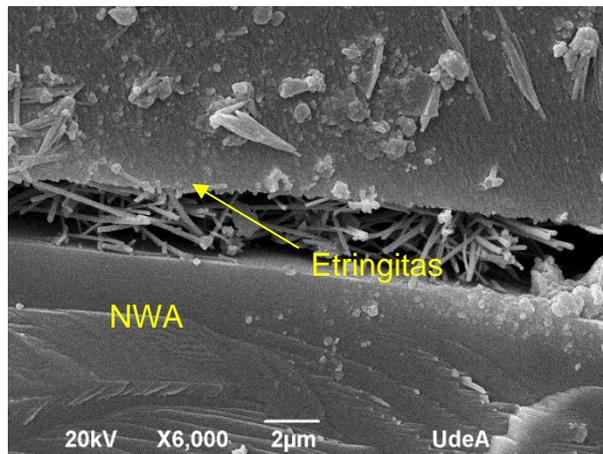
Identificación: **03 – L – A**

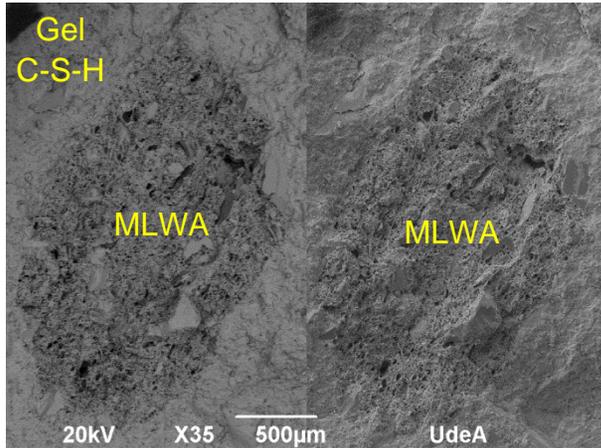
Técnica de muestro: **BSE/SEI X500**

Descripción:

La malformación de la ITZ con poros importantes, se puede atribuir a que la acumulación de agua en esta zona fue rápidamente extraída para la hidratación del cemento y antes de que se pudiera concebir formaciones importantes de etringitas.

Sin embargo, algo inusual se presentó en la fisura del NWA, donde se apreció la presencia de etringitas tipo II en la fisura en la ITZ, que son evidencia de que se formaron luego de la contracción del gel de CSH.



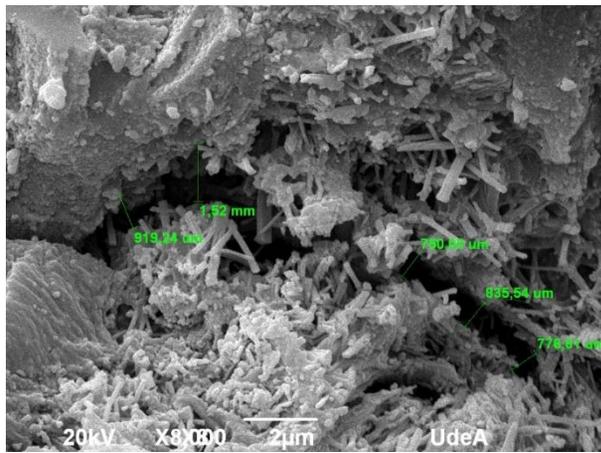


Identificación: **03 – L – A**

Técnica de muestro: **BSE/SEI X35**

Descripción:

Se puede observa por las dos técnicas de barrido electrónico (BSE y SEI), que la estructura interna del ladrillo, cuenta con una distribución uniforme en el tamaño de los poros. Esto puede ocasionar que la velocidad de desorción del agua es diferente a la arcilla expandida.

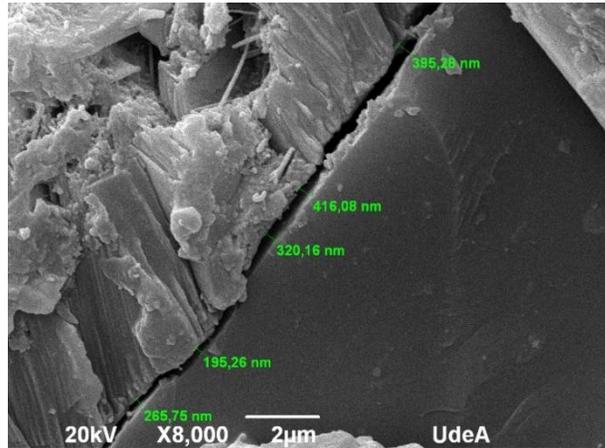


Identificación: **03 – L – A**

Técnica de muestro: **BSE/SEM X8.000**

Descripción:

Medida de la fisura en la ITZ entre MLWA y la pasta de cemento. Se puede apreciar por las dimensiones que es más grande que las otras ITZ de las muestras homólogas. En promedio tiene $820\mu m$

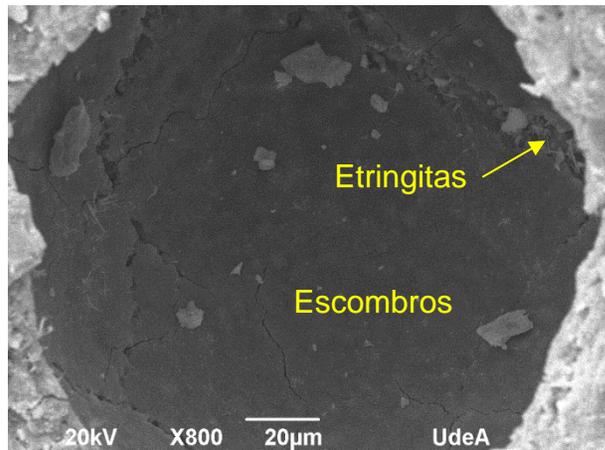


Identificación: **03 – L – A**

Técnica de muestro: **BSE/SEM X8.000**

Descripción:

Medida del espesor de la ITZ entre un NWA y la pasta de cemento. La longitud promedio fue de 318nm



Identificación: **03 – L – A**

Técnica de muestro: **BSE/SEM X800**

Descripción:

Se puede observar un poro limpio en su interior con pequeñas formaciones de etringitas secundarias y una superficie del gel lisa. Además, hay presencia de escombros por la fractura.

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

De la Ecuación 1-1 de Bentz, Lura, & Roberts, se obtiene resultados de cantidades inversamente proporcionales a la absorción, es decir entre mayor sea el porcentaje de absorción menor será la cantidad de agregado ligero que ingrese a la microestructura del concreto. Así pues, investigaciones han definido intervalos donde los agregados ligeros son eficientes para curado interno del concreto. Este rango está medido entre [15% – 30%]

Se observó que la absorción típica para un período de 72 h de los dos tipos de agregados de peso ligero, alcanzaron valores promedio de 16,9% y 25,7% para los agregados ligeros a base de ladrillo triturado y arcillas expandidas, respectivamente. Esto demuestra una porosidad alta en los agregados, que puede ser contraproducente para las propiedades mecánicas de los concretos sino son cuidadosamente tratadas.

El ritmo de absorción de los agregados ligeros a base de ladrillo triturado, es suficientemente rápido para lograr la saturación completa, lo que significa que su microestructura porosa se encuentra interconectada. Sin embargo, los LWA de arcilla expandida presentaron un comportamiento de absorción diferente con tendencia progresiva en el tiempo, esto fue atribuible a que los poros interiores fueron recubiertos por una capa vítrea continua en el proceso térmico de fabricación y son esencialmente no interconectados, permaneciendo vacíos durante todo el tiempo de inmersión.

Los agregados ligeros a base de ladrillo triturado y arcilla expandida, presentaron un buen comportamiento de desorción ante condición de humedad relativa alta, con valores de 83,1% y 87,6% respectivamente. Esto significa que los agregados son capaces de devolver ese porcentaje de agua absorbida en un ambiente con HR del 94%.

Los tamaños de las partículas fueron designados según los requerimientos de la ASTM 1761, como material combinado fino y grueso, con tamaño máximo de 9,5mm. y el módulo de finura obtenido fue de 3,96. Este tamaño no favoreció al momento de reemplazar, debido que afectaba directamente a los dos tamaños de los agregados comunes, los grueso y finos. Lo que resultó en una separación de los agregados de peso común para ajustar la granulometría de los agregados comunes y así realizar el reemplazo directo.

De acuerdo a investigaciones consultadas en el estado del arte, se encontró que el tamaño de las partículas influye sobre las propiedades mecánicas de los concretos, entre menor sea el módulo de finura, habrá mejor distribución de los reservorios y cobertura del curado interno del concreto.

Teóricamente el curado interno se puede considerar como un método prometedor de curado para los concretos de alta resistencia. Sin embargo, la aplicación práctica presenta variables que pueden ser contraproducentes si no son bien definidas, como es el caso de la cantidad óptima de agregados ligeros a reemplazar por los agregados comunes de la mezcla.

Los resultados de resistencia a la compresión de los concretos con agregados ligeros, presentaron un comportamiento similar a la muestra patrón. Esto significa que el curado interno dejó mejor conectada la matriz, debido que los agregados al ser materiales con gran cantidad de poros, la resistencia a la compresión de estos LWAs es menor que los agregados de peso común; y transfiere esta debilidad a concreto. Y aun así su comportamiento ante cargas axiales externas fue favorable igualando su resistencia con la muestra patrón.

En relación con el módulo de elasticidad, este sufrió una reducción en sus valores para los concretos con agregados ligeros, esto puede atribuirse a la menor rigidez de los agregados ligeros, debido que el módulo de elasticidad del concreto es sensible al módulo de elasticidad de los agregados.

En los ensayos de absorción y porosidad permeable, se logró observar como lo concretos con LWA lograron mantener unos valores promedios similares para las tres fechas de ensayos, esto quiere decir que su microestructura presentó pequeñas variaciones en función del tiempo. No obstante, los concretos con LWA a base de arcilla expandida presentaron menor porosidad y absorción que las muestras con ladrillo triturado. Esto se debe a dos variables: i) al contar con mayor porcentaje de absorción fue requerido menor cantidad de reemplazo por NWA, ii) al poseer una desorción elevada logró hidratar mejor el cemento, evitando así que la humedad relativa a temprana edad disminuyera tanto como para controlar la micro-fisuración generada por la contracción autógena, que interconecta la porosidad permeable.

La velocidad de pulso se vio reducida debido a la porosidad presente en la estructura interna de las muestras con agregados ligeros, mientras que marcaba resistencias a la compresión similares a los concretos de control. Además, la correlación de los datos de VPU para los concretos con LWA, presentaron una fuerte dispersión aleatoria, concluyendo que estos concretos con LWA presentan un alto grado de incertidumbre frente a la medición con VPU.

En cuanto al ritmo de absorción de agua por capilaridad, las muestras con LWA a base de ladrillo triturado presentaron mayores ritmos que sus homólogos, esto fue atribuido a una posible interconexión entre la porosidad del concreto y los poros de los LWA.

Por otro lado, los concretos con LWA a base de arcilla expandida presentaron menor sorptividad, siendo más notable para las muestras que estuvieron sumergidas en agua por 7 días. La hidratación continua permite mantener una

humedad relativa alta en el ambiente, mitigando la contracción autógena y la interconexión de los poros permeables con los internos.

Situación similar se presentó con la absorción en la superficie inicial, donde los concretos que estuvieron sumergidos logran desarrollar una superficie menos permeable, debido a la hidratación continua del cemento. Además, los concretos con inclusión de arcilla expandida como agregado ligero, resultó comportarse mejor en comparación a los de ladrillo triturado.

En la prueba de cambio volumétrico del concreto, se observó que los especímenes con inclusión de arcilla expandida redujeron la variación en un mayor porcentaje que la muestra patrón y la de inclusión de ladrillo triturado, esto fue atribuido al curado interno que, gracias a sus reservas de agua y la desorción se vio reducida la autodesecación.

Con la técnica de microscopía electrónica de barrido, no se logró ver las partículas de cemento sin hidratar, esto fue atribuido al tipo de cemento utilizado en las mezclas, ya que, por su alta concentración de impurezas, se hace difícil la diferencia con el gel de C-S-H. Por otra parte, también fue atribuido a la técnica de microscopía utilizada.

En la ITZ de la mezcla de concreto con arcilla expandida se encontró la presencia de etringitas tipo II, formadas luego de los procesos de retracción, lo que sugiere que el sistema tuvo aporte posterior de agua para su formación, que, a diferencia del concreto de densidad normal, fue entregada por el CLWA

Las muestras con LWA redujeron el espesor de la ITZ en especial para arcilla expandida.

Finalmente, el curado interno resultó aportar a las propiedades mecánicas y físicas de concreto, gracias a la inclusión de reservas de agua por medio de agregados ligeros, los cuales, aunque en esta investigación no superaron por mucho las

propiedades del concreto patrón, se puede decir que es una técnica prometedora que requiere ser investigada hasta lograr su dominio.

En cuanto a los agregados ligeros usados, los LWA a base de arcilla expandida presentaron mejor comportamiento gracias a sus propiedades físicas de absorción y desorción, sin embargo, el tamaño de las partículas no favoreció al momento de realizar la mezcla. Por su parte, el ladrillo triturado evaluado fue de un solo origen, así que los resultados pueden unificarse, mientras que al masificar la técnica con este tipo de agregado de origen reciclado el grado de incertidumbre sería mayor.

5.2 Recomendaciones

- El curado interno es una tecnología favorable para los concretos de alto resistencia, sin embargo, se debe tener especial cuidado en la preparación de la mezcla. Para aplicar correctamente el método, es necesario ingresar agua adicional y pre-saturada en los LWAs, es decir el agua de mezcla obtenida en el diseño de mezcla debe ingresar completamente a la mezcla, mientras que los LWA ingresan con una cantidad de agua adicional y absorbida según sus propiedades físicas.
- Para aproximar en campo la cantidad de agua calculada que debe ingresar a la mezcla para curado interno, los agregados ligeros deben estar pre-humedecidos en condiciones SSS, para lograr esto, se puede seguir lo descrito por Amin K. Akhnoukh (2018), Donde explica que la condición SSS en campo, se puede lograr extendiendo los agregados ligeros pre-humedecidos sobre una arpillera (tela de yute) y dejarlos secar al ambiente por 30min aproximadamente o hasta que se alcance a ver que los agregados ya perdieron el brillo.
- La técnica del curado interno ha sido ampliamente estudiada, y para lograr un mejor desempeño, el ACI 213 R-14 sugiere usar la Ecuación 1-1 de Bentz et al., (2005), la cual entre sus variables se encuentra los valores de desorción de los agregados. Así pues, es necesario mejorar la prueba experimental de desorción en los laboratorios de la Escuela Colombiana de Ingeniería, con el fin de lograr una metodología efectiva y muy aproximada a lo que el curado interno concierne.
- Desarrollar una programación computacional donde se midan los valores de humedad relativa y la variación de la masa de los agregados ligeros en la prueba de desorción; facilitaría conocer el comportamiento físico de los agregados ligeros y mejorar la estimación en cuanto a cantidades y comportamiento como reserva de agua para curado interno.

- Se hace necesario realizar pruebas de resistencia mecánica a los agregados ligeros para tener una comparación con los agregados comunes, con el fin de estimar el comportamiento como agregado en los concretos ante esfuerzos de compresión.
- El tamaño pequeño de los agregados ligeros tiene una mejor distribución en la mezcla de concreto, cubriendo mejor la mezcla con curado interno; de acuerdo a la literatura. Así que, se recomienda usar agregados finos pasa tamiz #4 los cuales pueden ser reemplazados directamente con el agregado normal fino, y no incurrir en proporcionar los tamaños de los agregados para su posterior reemplazo con los LWA.
- No se recomienda realizar concretos con cementos de Uso General para evaluar el comportamiento experimental ante curado interno, los cuales, por su contenido con escoria e impurezas de fabricación, reduce la visualización del cemento no hidratado por medio de la técnica de microscopía de barrido, haciéndose más difícil la cuantificación de las partículas sin reaccionar.

A. Anexo: Caracterización de los agregados ligeros y comunes

B. Anexo: Procesamiento de datos para los ensayos de concreto.

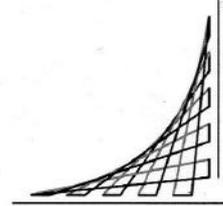
Bibliografía

- ACI. (2016). ACI CT-16 ACI Concrete Terminology. *Aci Ct-16*, 78.
- ACI 308 and 213. (2014). *ACI (308-213)R-14 Report on Internally Cured Concrete Using Prewetted Absorptive Lightweight Aggregate*. 1–12.
- Akhnoukh, A. K. (2018). Internal curing of concrete using lightweight aggregates. *Particulate Science and Technology*, 36(3), 362–367. <https://doi.org/10.1080/02726351.2016.1256360>
- ASTM C1761. (2017). Standard specification for lightweight aggregate for internal curing of concrete. *Annual Book of ASTM Standards*, West Conshohocken, PA. <https://doi.org/10.1520/C1761>
- ASTM C330. (2017). ASTM C330-17a. Standard Specification for Lightweight Aggregates for Structural Concrete. *Annual Book of ASTM Standards*, 552(18), 4.
- Bentz, D. P., Lura, P., & Roberts, J. W. (2005). Mixture proportioning for internal curing. *Concrete International*, 27(2), 35–40. Retrieved from <http://concrete.nist.gov/~bentz/Mixpropfin/CI2702Bentz.pdf>
- Bentz, D. P., & Weiss, W. J. (2011). Internal Curing: A 2010 State-of-the- Art Review. *National Institute of Standards and Technology (NIST) Report 7765*, 82.
- Beyene, M. A., Munoz, J. F., Meininger, R. C., & Di Bella, C. (2017). Effect of internal curing as mitigation to minimize alkali-silica reaction damage. *ACI Structural Journal*, 114(3), 417–428. <https://doi.org/10.14359/51689562>
- Bhutta, M. A. R., Tsuruta, K., & Mirza, J. (2012). Evaluation of high-performance porous concrete properties. *Construction and Building Materials*, 31, 67–73. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.12.024>
- Boita, L. M. (2017). *Diseño del pavimento rígido de la extensión troncal Américas desde puente Aranda hasta la NQS*. (Universidad Militar Nueva Granada). Retrieved from <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/16610/BOTIARODRIGUEZLINAMARIA.2017.pdf>
- Brown, D. (2019). Internal Curing of US 54. Retrieved from ESCSI website: <https://www.escsi.org/e-newsletter/internal-curing-of-us-54/>
- Castaño, J. O., Rodrigo, /, Rodríguez, M., Lasso, L. A., Adriana, /, Cabrera, G., ... Cabrera, A. G. (2013). Gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) en Bogotá: perspectivas y limitantes Gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) en Bogotá: perspectivas y limitantes. *Tecnura*, 17(38), 121–129. Retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/tecn/v17n38/v17n38a10.pdf>
- Castro, J., Keiser, L., Golias, M., & Weiss, J. (2011). Absorption and desorption properties of fine lightweight aggregate for application to internally cured concrete mixtures. *Cement and Concrete Composites*, 33(10), 1001–1008. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2011.07.006>
- Chandra, S., & Berntsson, L. (2002). *Lightweight aggregate concrete*. New York: Noyes Publications.
- DANE. (2019). Estadísticas de Concreto Premezclado. *Departamento Administrativo*

- Nacional de Estadística, 15.
- Holm, T., & Ries, J. (2007). *Reference Manual for the Properties and Applications of Expanded Shale, Clay and Slate Lightweight Aggregate* (Vol. 84117). Retrieved from www.escsi.org
- Iffat, S., Manzur, T., Rahman, S., Noor, M. A., & Yazdani, N. (2017). Optimum Proportion of Masonry Chip Aggregate for Internally Cured Concrete. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 11(3), 513–524. <https://doi.org/10.1007/s40069-017-0196-5>
- Jensen, O. M., & Lura, P. (2006). Techniques and materials for internal water curing of concrete. *Materials and Structures/Materiaux et Constructions*, 39(293), 817–825. <https://doi.org/10.1617/s11527-006-9136-6>
- Khaliq, W., & Javaid, W. (2017). *Efficiency Comparison of Conventional and Unconventional Curing Methods in Concrete*. (114). <https://doi.org/10.14359/51689564>
- Kim, Y. J., & Wang, J. (2016). Interfacial behavior of glass fiber-reinforced polymer bars embedded in concrete with internal curing agents. *ACI Structural Journal*, 113(3), 595–604. <https://doi.org/10.14359/51688068>
- Kim, Y. J., Wang, J., & Ji, Y. (2018). Characteristics and chloride permeability of internally cured concrete. *ACI Materials Journal*, 115(1), 139–147. <https://doi.org/10.14359/51701098>
- Kovler, B. Y. K., & Jensen, O. L. E. M. (2005). Novel Techniques for Concrete Curing. *Concrete International*, (September), 39–42.
- Kyllästinen, K. (2015). *Internal curing of concrete*. AALTO UNIVERSITY.
- Liu, F., Wang, J., Qian, X., & Hollingsworth, J. (2017). Internal curing of high performance concrete using cenospheres. *Cement and Concrete Research*, 95, 39–46. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2017.02.023>
- Liu, J., Shi, C., Ma, X., Khayat, K. H., Zhang, J., & Wang, D. (2017). An overview on the effect of internal curing on shrinkage of high performance cement-based materials. *Construction and Building Materials*, 146, 702–712. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.04.154>
- López, L. (2011). *Influencia del porcentaje de adición de la microsilice y del tipo de curado en la penetración del ion cloruro en el concreto de alto desempeño* (Universidad Nacional de Colombia). Retrieved from <http://bdigital.unal.edu.co/3893/1/294490.2011.pdf>
- Malhotra, V., & Carino, N. (2003). *Testing Hardened Concrete: Nondestructive Methods*. (2nd edit). Boca Raton, FL: Taylor & Francis Group.
- Mechtcherine, V., & Reinhardt, H.-W. (2012). *Application of Superabsorbent Polymers (SAP) in Concrete Construction*.
- Meng, W., Samaranayake, V. A., & Khayat, K. H. (2018). *Factorial Design and Optimization of Ultra-High-Performance Concrete with Lightweight Sand*. (115). <https://doi.org/10.14359/51700995>
- Nowasell, Q. C., & Kevern, J. T. (2015). Using drinking water treatment waste as low-cost internal curing agent for concrete. *ACI Materials Journal*, 112(1), 69–77. <https://doi.org/10.14359/51686980>
- NSR-10. (2010). *Título C Concreto estructural*.
- NYS DOT. (2019). www.dot.ny.gov.
- RILEM technical Committee 196-ICC. (2007). *Internal Curing of Concrete - State-of-the-Art*

- Report of RILEM Technical Committee 196-ICC. In *RILEM Report 41*.
- Spaulding, J. (2019). Researching Internal Curing In Indiana. Retrieved from Expanded Shale, Clay and Slate Institute website: www.escsi.org
- Suwan, T., & Wattanachai, P. (2017). Properties and Internal Curing of Concrete Containing Recycled Autoclaved Aerated Lightweight Concrete as Aggregate. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2017, 1–11. <https://doi.org/10.1155/2017/2394641>
- Wu, L., Farzadnia, N., Shi, C., Zhang, Z., & Wang, H. (2017). Autogenous shrinkage of high performance concrete: A review. *Construction and Building Materials*, 149, 62–75. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.05.064>
- Yang, S., & Wang, L. (2017). Effect of Internal Curing on Characteristics of Self-Compacting Concrete by Using Fine and Coarse Lightweight Aggregates. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 29(10), 04017186. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)mt.1943-5533.0002044](https://doi.org/10.1061/(asce)mt.1943-5533.0002044)
- Zhang, T., Gao, P., Luo, R., Guo, Y., Wei, J., & Yu, Q. (2013). Measurement of chemical shrinkage of cement paste: Comparison study of ASTM C 1608 and an improved method. *Construction and Building Materials*, 48, 662–669. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.07.086>
- Zhutovsky, S., Kovler, K., & Bentur, A. (2011). Revisiting the protected paste volume concept for internal curing of high-strength concretes. *Cement and Concrete Research*, 41(9), 981–986. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2011.05.007>

A. Anexo: Caracterización de los agregados ligeros y de peso normal



Bogotá D.C., Noviembre 01 de 2018

Ingeniera
NANCY TORRES CASTELLANOS
Jefe del Laboratorio de Estructuras y Materiales
Escuela Colombiana de Ingeniería
Ciudad

Anexo a la presente estamos entregando el informe IG – 034 – 18, correspondiente a los resultados de los ensayos de Granulometría, Masas Unitarias, Densidad y absorción, colorimetría, y humedad natural, solicitados por usted al Laboratorio de Suelos y Pavimentos de la Escuela Colombiana de Ingeniería, el pasado 12 de octubre de 2018.

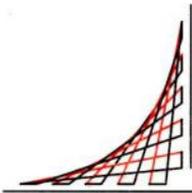
El material recibido y sometido a ensayos, de acuerdo con la identificación dada por usted, fue el siguiente:

- Muestra N° 1: Ladrillo triturado No4.
- Muestra N° 1: Grava de T_{max} 1/2"
- Muestra N° 1: Arena de Rio.

Atenderemos con gusto cualquier aclaración al respecto.



Ing. Sandra Ximena Campagnoli Martínez
Laboratorio de Suelos y Pavimentos

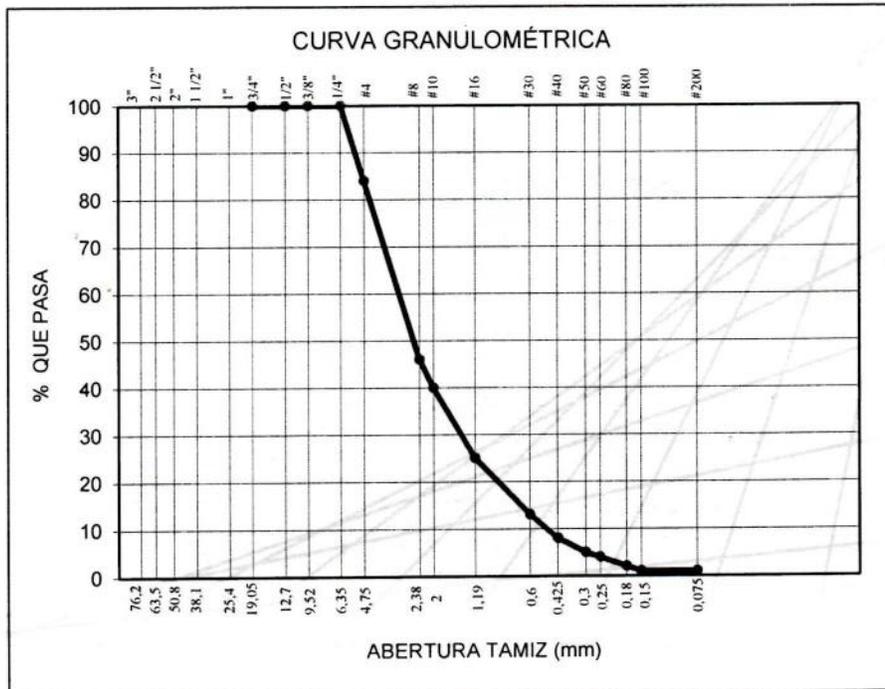


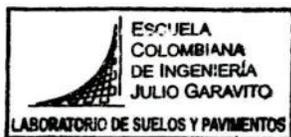
1. MUESTRA N° 1
Ladrillo triturado pasa tamiz #4

1.1 GRANULOMETRIA
Norma INV - E 213

TAMIZ	% PASA
3/4"	100
1/2"	100
3/8"	100
1/4"	100
N° 4	84
N° 8	46
N° 10	40
N° 16	25
N° 30	13
N° 40	8
N° 50	5
N° 60	4
N° 80	2
No. 100	1
No. 200*	1,0
Fondo	0

*Nota: El % pasa del tamiz N° 200 se ha obtenido por lavado, utilizando el procedimiento "A" establecido en la norma INV E -214-13





IG-034-18
Hoja 2 de 8
1 Noviembre de 2018

MUESTRA N° 1
Ladrillo triturado pasa tamiz #4

1.2 PESO UNITARIO
Norma INV - E 217 - 13

Procedimiento:

Densidad suelta por paladas y densidad compacta por Punzonamiento con barra.

Resultado:

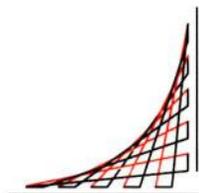
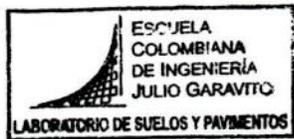
Densidad Bulk Suelta por Paladas =	1030 kg/m ³
Vacios en los agregados sueltos =	62 %
Densidad Bulk Compactada por Apisonado =	1210 kg/m ³
Vacios en los agregados compactado por apisonado =	56 %

1.3 GRAVEDAD ESPECÍFICA
Norma INV - E 222 - 13

1.3.1 Resultados material Pasa tamiz #4:

Densidad Relativa (Gravedad específica)*	
Densidad Relativa Secada al Horno (SH)	1,95
Densidad Relativa en Condición SSS	2,24
Densidad Relativa Aparente	2,76
Densidad	
Densidad en Condición Seca al Horno	1950 Kg/m ³
Densidad en Condición SSS	2240 Kg/m ³
Densidad Aparente	2750 Kg/m ³
Absorción %	15 %

*Nota: Sin secado previo del material



IG-034-18
Hoja 3 de 8
1 Noviembre de 2018

1.3 GRAVEDAD ESPECÍFICA (Continuación)
Norma INV - E 222 - 13

1.3.2 Resultados material Retenido tamiz #4:

Densidad Relativa (Gravedad específica)*

Densidad Relativa Secada al Horno (SH)	1,90
Densidad Relativa en Condición SSS	2,20
Densidad Relativa Aparente	2,71

Densidad

Densidad en Condición Seca al Horno	1900 Kg/m ³
Densidad en Condición SSS	2190 Kg/m ³
Densidad Aparente	2710 Kg/m ³

Absorcion % 15,8 %

*Nota: Sin secado previo del material

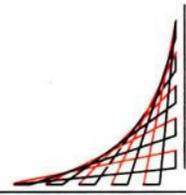
1.3.3 Resultados de densidad relativa y absorción promedio

Densidad Relativa promedio Secada al Horno (SH)	1,94
Densidad Relativa promedio en Condición SSS	2,24
Densidad Relativa promedio Aparente	2,75
Absorcion promedio	15,1 %

1.4 MATERIA ORGÁNICA
INV - E 212 - 13

Resultado:

Número de placa orgánica 1

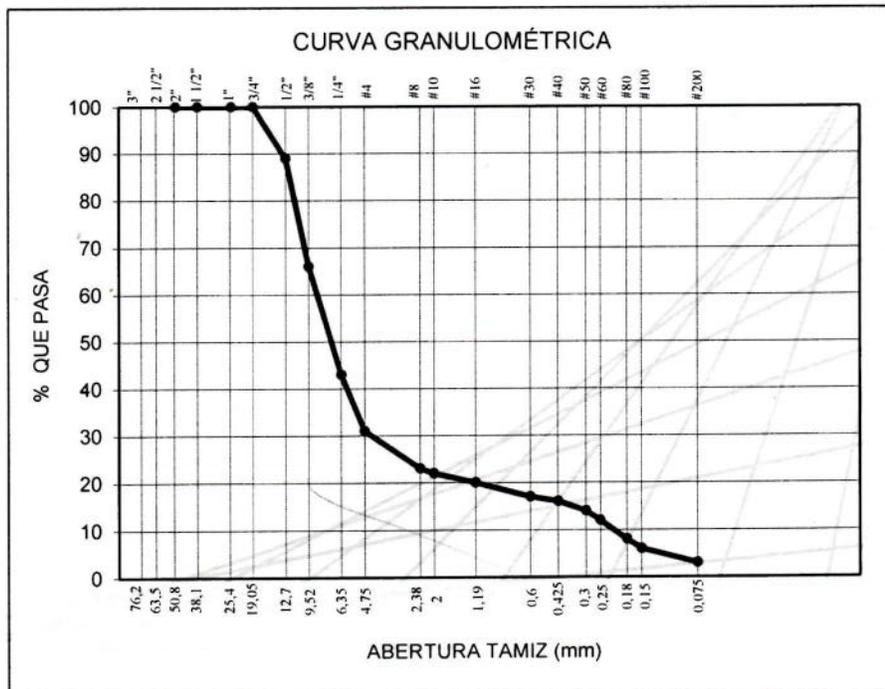


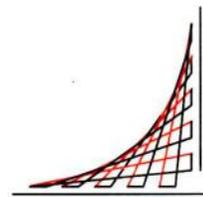
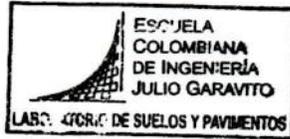
2. MUESTRA N° 2
Grava de Tmax 1/2"

2.1 GRANULOMETRIA
Norma INV - E 213

TAMIZ	% PASA
3/4"	100
1/2"	89
3/8"	66
1/4"	43
N° 4	31
N° 8	23
N° 10	22
N° 16	20
N° 30	17
N° 40	16
N° 50	14
N° 60	12
N° 80	8
No. 100	6
No. 200*	3,0
Fondo	0

*Nota: El % pasa del tamiz N° 200 se ha obtenido por lavado, utilizando el procedimiento "A" establecido en la norma INV E -214-13





IG-034-18
Hoja 5 de 8
1 Noviembre de 2018

MUESTRA N° 2
Grava de Tmax 1/2"

2.2 CONTENIDO DE HUMEDAD
INV - E 122 - 13

Resultado:

Contenido de Humedad 1,7 %

2.3 PESO UNITARIO
Norma INV - E 217 - 13

Procedimiento:

Densidad suelta por paladas y densidad compacta por Punzonamiento con barra.

Resultado:

Densidad Bulk Suelta por Paladas = 1660 kg/m³
Vacíos en los agregados sueltos = 39 %
Densidad Bulk Compactada por Apisonado = 1820 kg/m³
Vacíos en los agregados compactado por apisonado = 33 %

2.4 GRAVEDAD ESPECÍFICA
Norma INV - E 222 - 13

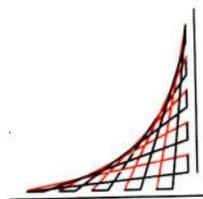
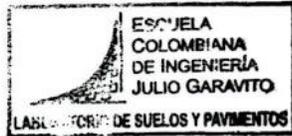
2.4.1 Resultados material Pasa tamiz #4:

Densidad Relativa (Gravedad específica)*
Densidad Relativa Secada al Horno (SH) 2,66
Densidad Relativa en Condición SSS 2,68
Densidad Relativa Aparente 2,72

Densidad
Densidad en Condición Seca al Horno 2660 Kg/m³
Densidad en Condición SSS 2680 Kg/m³
Densidad Aparente 2710 Kg/m³

Absorción % 0,8 %

*Nota: Sin secado previo del material



2.4 GRAVEDAD ESPECÍFICA (Continuación)
Norma INV - E 222 - 13

2.4.2 Resultados material Retenido tamiz #4:

Densidad Relativa (Gravedad específica)*	2,57
Densidad Relativa Secada al Horno (SH)	2,63
Densidad Relativa en Condición SSS	2,72
Densidad Relativa Aparente	
Densidad	
Densidad en Condición Seca al Horno	2560 Kg/m ³
Densidad en Condición SSS	2620 Kg/m ³
Densidad Aparente	2720 Kg/m ³
Absorción %	2,2 %

*Nota: Sin secado previo del material

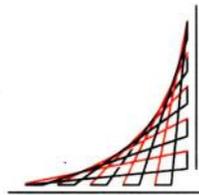
2.4.3 Resultados de densidad relativa y absorción promedio

Densidad Relativa promedio Secada al Horno (SH)	2,60
Densidad Relativa promedio en Condición SSS	2,64
Densidad Relativa promedio Aparente	2,72
Absorción promedio	1,8 %

2.5 MATERIA ORGÁNICA
INV - E 212 - 13

Resultado:

Número de placa orgánica 1

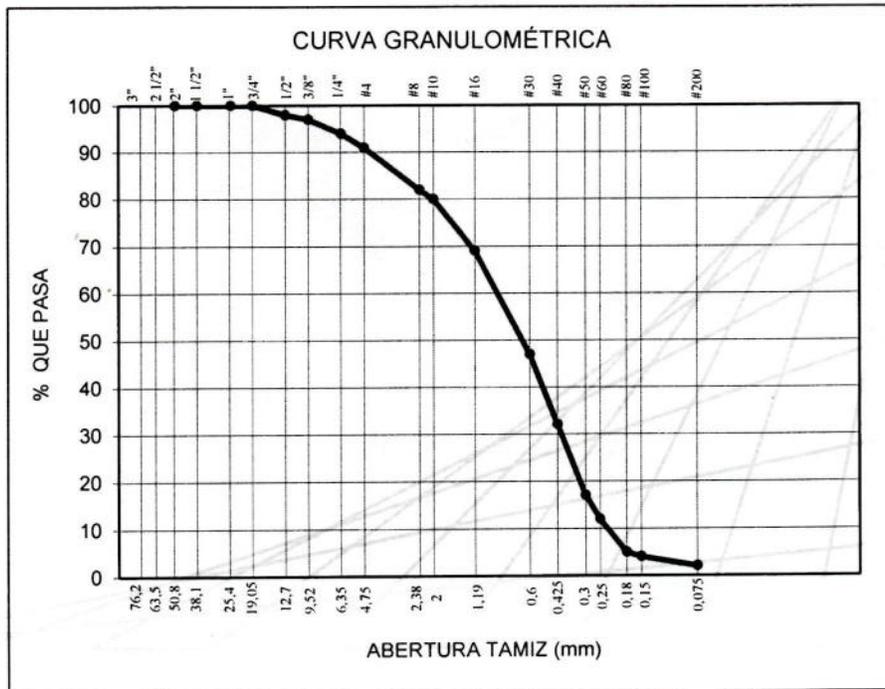


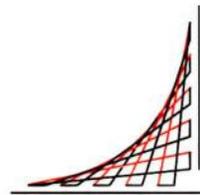
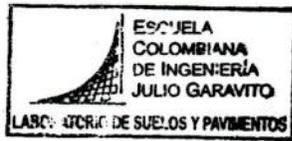
3. MUESTRA N° 3
Arena de río

3.1 GRANULOMETRIA
Norma INV - E 213

TAMIZ	% PASA
3/4"	100
1/2"	98
3/8"	97
1/4"	94
N° 4	91
N° 8	82
N° 10	80
N° 16	69
N° 30	47
N° 40	32
N° 50	17
N° 60	12
N° 80	5
No. 100	4
No. 200*	2,0
Fondo	0

*Nota: El % pasa del tamiz N° 200 se ha obtenido por lavado, utilizando el procedimiento "A" establecido en la norma INV E -214-13





IG-034-18
Hoja 8 de 8
1 Noviembre de 2018

MUESTRA N° 3
Grava de Tmax 1/2"

3.2 CONTENIDO DE HUMEDAD
INV - E 122 - 13

Resultado:

Contenido de Humedad 4,6 %

3.3 PESO UNITARIO
Norma INV - E 217 - 13

Procedimiento:

Densidad suelta por paladas y densidad compacta por Punzonamiento con barra.

Resultado:

Densidad Bulk Suelta por Paladas = 1550 kg/m³
Vacíos en los agregados sueltos = 42 %
Densidad Bulk Compactada por Apisonado = 1690 kg/m³
Vacíos en los agregados compactado por apisonado = 37 %

3.4 GRAVEDAD ESPECÍFICA
Norma INV - E 223 - 13

Densidad Relativa (Gravedad específica)*

Densidad Relativa Secada al Horno (SH) 2,56
Densidad Relativa en Condición SSS 2,61
Densidad Relativa Aparente 2,67

Densidad

Densidad en Condición Seca al Horno 2560 Kg/m³
Densidad en Condición SSS 2600 Kg/m³
Densidad Aparente 2670 Kg/m³

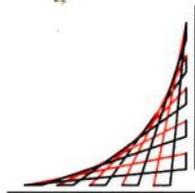
Absorción % 1,6 %

*Nota: Sin secado previo del material

3.5 MATERIA ORGÁNICA
INV - E 212 - 13

Resultado:

Número de placa orgánica 1



ESCUELA
COLOMBIANA
DE INGENIERÍA
JULIO GARAVITO

Bogotá D.C., julio 10 de 2018

Ingeniera
NANCY TORRES CASTELLANOS
Jefe del Laboratorio de Estructuras y Materiales
Escuela Colombiana de Ingeniería
Ciudad

Anexo a la presente estamos entregando el informe IG – 027 – 18, correspondiente a los resultados de los ensayos de Granulometría, Densidad, Porcentaje de Absorción y Masa Unitaria, solicitados por usted al Laboratorio de Suelos y Pavimentos de la Escuela Colombiana de Ingeniería, el pasado 29 de junio de 2018.

El material recibido y sometido a ensayos, de acuerdo con la identificación dada por usted, fue el siguiente:

- Muestra N° 1: Arcilla expandida térmicamente.

Atenderemos con gusto cualquier aclaración al respecto.



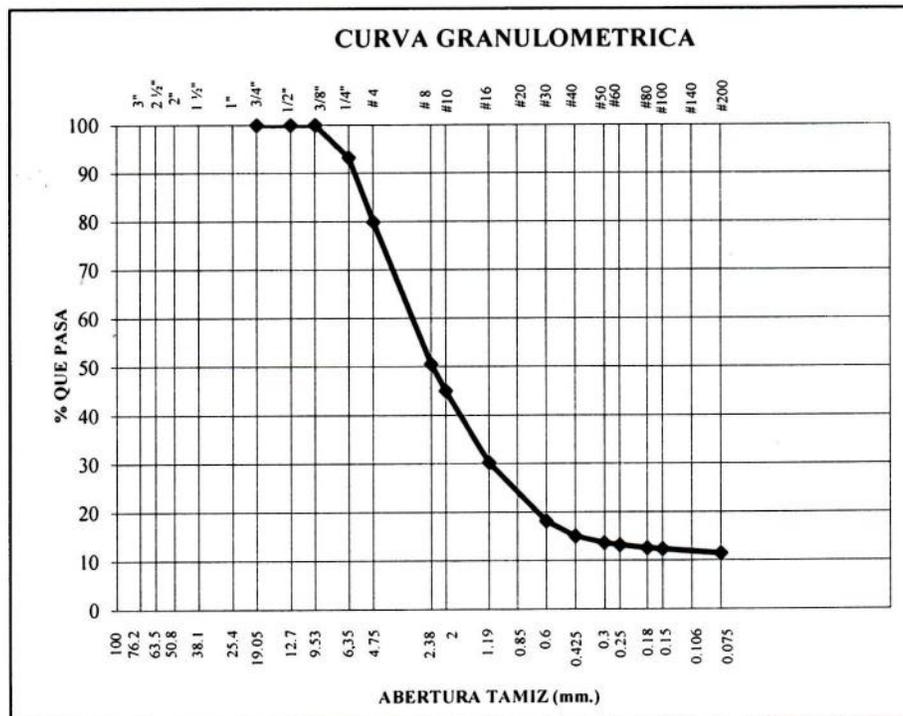
Ing. Sandra Ximena Campagnoli Martínez
Laboratorio de Suelos y Pavimentos

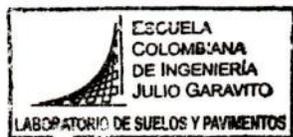
Ing. Dairo Stevens Puentes Penagos
Laboratorio de Suelos y Pavimentos

1. MUESTRA N° 1
 Arcilla expandida termicamente

1.1 GRANULOMETRIA
 Norma INV - E 213 -13

TAMIZ	% RETENIDO (corregido)	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA
3/8"	0.0	0.0	100
1/4"	6.8	6.8	93
N° 4	13.4	20.2	80
N° 8	29.3	49.4	51
N° 10	5.5	55.0	45
N° 16	14.8	69.8	30
N° 30	12.1	81.9	18
N° 40	3.1	85.0	15
N° 50	1.4	86.4	14
N° 60	0.5	86.8	13
N° 80	0.6	87.5	13
No. 100	0.2	87.7	12
No. 200	0.9	88.6	11.4
Fondo	11.3	99.8	0





IG-027-18
Hoja 2 de 2
10 de julio de 2018

1. MUESTRA N° 1
Arcilla expandida termicamente

1.2 PESO UNITARIO
Norma INV - E 217 - 13

Procedimiento:

Densidad suelta por paladas y densidad compacta por
Punzonamiento con barra.

Resultado:

Densidad Bulk Suelta por Paladas =	720 kg/m ³
Vacíos en los agregados sueltos=	47 %
Densidad Bulk Compactada por Apisonado =	820 kg/m ³
Vacíos en los agregados compactado por apisonado=	39 %

1.3 DENSIDAD Y ABSORCIÓN
Norma INV - E 222 - 13

Resultados:

Densidad Relativa

Densidad Relativa Secada al Horno (SH)	1.36 g/cm ³
Densidad Relativa en Condición SSS	1.55 g/cm ³
Densidad Relativa Aparente	1.69 g/cm ³

Densidad

Densidad en Condición Seca al Horno	1350 Kg/m ³
Densidad en Condición SSS	1550 Kg/m ³
Densidad Aparente	1680 Kg/m ³

Absorción 14.50 %

Nota: Condición SSS se refiere a saturada y superficialmente seca

1.4 MATERIA ORGÁNICA
INV - E 212 - 13

Resultado:

Placa orgánica No 1

ASTM C1761
Especificación estándar de agregados livianos para curado interno del concreto.

Absorción y desorción de agregados livianos

Ensayo 01	ABSORCIÓN
Tipo de material	<u>ARCILLA EXPANDIDA</u>
Responsable	<u>JORGE DAVID MONTENEGRO</u>
Fecha de inicio:	<u>4/10/2018</u>
Fecha de terminación:	<u>10/10/2018</u>

Datos de laboratorio:

Variables	M1 #6	M2 #7	M3 #6	M4 #7	M5 #6
M_{PW} (Masa picnómetro + agua)	1248.7	1299.3	1248.7	1299.3	1248.7
M_{SD} (Masa SSS)	288.4	300.0	301.7	305.2	306.1
M_{PS} (Masa picnómetro + agua + LWA) sin vacíos	1323.1	1388.0	1336.6	1385.9	1330.8
M_{OD} (Masa seca del material)	228.1	238.2	239.1	241.6	240.6

Resultados:

	M1	M2	M3	M4	M5	Prom.
A_{72} (Porcentaje de absorción en 72h)	26.44%	25.94%	26.18%	26.32%	27.22%	26.42%
G_{OD} (Densidad relativa)	1.07	1.13	1.12	1.11	1.07	1.10

$$A_{72} = \frac{M_{SD} - M_{OD}}{M_{OD}} \times 100$$

$$G_{OD} = \frac{M_{OD}}{M_{SD} + M_{PW} - M_{PS}}$$

Observaciones:

Para el procedimiento de SSS (saturado superficialmente seco) se usó el método de la toallas.

Se obtuvo los datos de una misma muestra saturada a 72 horas

ASTM C1761
Especificación estandar de agregados livianos para curado inteno del concreto.

Absorción y desorción de agregados livianos

Ensayo 02	ABSORCIÓN
Tipo de material	<u>ARCILLA EXPANDIDA</u>
Responsable	<u>JORGE DAVID MONTENEGRO</u>
Fecha de inicio:	<u>18/10/2018</u>
Fecha de terminación:	<u>24/10/2018</u>

Datos de laboratorio:

Variables	M1 #6	M2 #7	M3 #6	M4 #7	M5 #6
M_{PW} (Masa picnómetro + agua)	1247.2	1300.9	1247.2	1300.9	1247.2
M_{SD} (Masa SSS)	300.0	301.5	306.8	303.6	302.1
M_{PS} (Masa picnómetro + agua + LWA) sin vacios	1335.6	1380.2	1338.2	1391.1	1334.5
M_{OD} (Masa seca del material)	240.1	238.7	246.4	239.6	246.1

Resultados:

	M1	M2	M3	M4	M5	Prom.
A_{72} (Porcentaje de absorción en 72h)	24.95%	26.31%	24.51%	26.71%	22.75%	25.05%
G_{OD} (Densidad relativa)	1.13	1.07	1.14	1.12	1.15	1.12

$$A_{72} = \frac{M_{SD} - M_{OD}}{M_{OD}} \times 100$$

$$G_{OD} = \frac{M_{OD}}{M_{SD} + M_{PW} - M_{PS}}$$

Observaciones:

Para el procedimiento de SSS (saturado superficialmente seco) se usó el método de la toallas.

Se obtuvo los datos de una misma muestra saturada a 72horas

ASTM C1761
Especificación estandar de agregados livianos para curado inteno del concreto.

Absorción y desorción de agregados livianos

Ensayo 01**ABSORCIÓN**

Tipo de material	<u>LADRILLO TRITURADO</u>
Responsable	<u>JORGE DAVID MONTENEGRO</u>
Fecha de inicio:	<u>6/10/2018</u>
Fecha de terminación:	<u>12/10/2018</u>

Datos de laboratorio:

Variables	M1 #6	M2 #5	M3 #6	M4 #5	M5 #6
M _{PW} (Masa picnómetro + agua)	1248.3	1302.9	1248.3	1302.9	1248.3
M _{SD} (Masa SSS)	301.5	301.9	302.1	302.5	300.3
M _{PS} (Masa picnómetro + agua + LWA) sin vacios	1409.6	1474.3	1404.8	1470.6	1404.2
M _{OD} (Masa seca del material)	256.7	255.5	260.3	258.5	254.4

Resultados:

	M1	M2	M3	M4	M5	Prom.
A ₇₂ (Porcentaje de absorción en 72h)	17.45%	18.16%	16.06%	17.02%	18.04%	17.35%
G _{OD} (Densidad relativa)	1.83	1.96	1.79	1.92	1.76	1.85

$$A_{72} = \frac{M_{SD} - M_{OD}}{M_{OD}} \times 100$$

$$G_{OD} = \frac{M_{OD}}{M_{SD} + M_{PW} - M_{PS}}$$

Observaciones:

Para el procedimiento de SSS (saturado superficialmente seco) se usó el método de la toallas.

Se obtuvo los datos de una misma muestra saturada a 72horas

ASTM C1761
Especificación estandar de agregados livianos para curado inteno del concreto.

Absorción y desorción de agregados livianos

Ensayo 02**ABSORCIÓN**

Tipo de material	<u>LADRILLO TRITURADO</u>
Responsable	<u>JORGE DAVID MONTENEGRO</u>
Fecha de inicio:	<u>20/10/2018</u>
Fecha de terminación:	<u>26/10/2018</u>

Datos de laboratorio:

Variables	M1 #6	M2 #7	M3 #6	M4 #7	M5 #6
M_{PW} (Masa picnómetro + agua)	1249.2	1301.5	1249.2	1301.5	1248.7
M_{SD} (Masa SSS)	302.3	293.4	303.1	301.6	300.7
M_{PS} (Masa picnómetro + agua + LWA) sin vacios	1421.3	1459.1	1420.7	1460.4	1410.5
M_{OD} (Masa seca del material)	257.1	252.5	262.2	259.0	258.3

Resultados:

	M1	M2	M3	M4	M5	Prom.
A_{72} (Porcentaje de absorción en 72h)	17.58%	16.20%	15.60%	16.45%	16.42%	16.45%
G_{OD} (Densidad relativa)	1.97	1.86	1.99	1.81	1.86	1.90

$$A_{72} = \frac{M_{SD} - M_{OD}}{M_{OD}} \times 100$$

$$G_{OD} = \frac{M_{OD}}{M_{SD} + M_{PW} - M_{PS}}$$

Observaciones:

Para el procedimiento de SSS (saturado superficialmente seco) se usó el método de la toallas.

Se obtuvo los datos de una misma muestra saturada a 72horas

ABSORCIÓN EN FUNCIÓN DEL TIEMPO (método empírico)

Precedimiento de la investigación "Absorption and desorption properties of fine
lightweight aggregate for application to internally cured concrete mixtures
(ELSEVIER)"

Ensayo 01	ABSORCIÓN
Tipo de material	ARCILLA EXPANDIDA
Responsable	JORGE DAVID MONTENEGRO
Fecha de inicio:	8/10/2018
Fecha de terminación:	12/10/2018

Datos de laboratorio:

M_{OD} (Masa seca del material)	100.0	g.
M_{PS} (Masa inicial picnómetro + agua + LWA)	365.3	g.
M_{PS} (Masa picnómetro + agua + LWA) sin vacíos	396.0	g.

Variación de la masa en función del tiempo ΔM_t (g)

HORA	Masa	%abs
10 min	366.7	1.40
20 min	367.5	2.20
30 min	367.9	2.60
1 hora	369.7	4.40
2 horas	371.1	5.80
3 horas	372.1	6.80
4 horas	372.9	7.60
5 horas	373.7	8.40
6 horas	374.4	9.10
24 horas	382.3	17.00
48 horas	386.7	21.40
72 horas	388.8	23.50
Vacio	396.0	30.70

ABSORCIÓN EN FUNCIÓN DEL TIEMPO (método empírico)

Precedimiento de la investigación "Absorption and desorption properties of fine
lightweight aggregate for application to internally cured concrete mixtures
(ELSEVIER)"

Ensayo 01	ABSORCIÓN
Tipo de material	ARCILLA EXPANDIDA
Responsable	JORGE DAVID MONTENEGRO
Fecha de inicio:	22/10/2018
Fecha de terminación:	26/10/2018

Datos de laboratorio:

M_{OD} (Masa seca del material)	100.0 g.
M_{PS} (Masa inicial picnómetro + agua + LWA)	367.7 g.
M_{PS} (Masa picnómetro + agua + LWA) sin vacíos	396.6 g.

Variación de la masa en función del tiempo ΔM_t (g)

HORA	Masa	%abs
10 min	367.9	0.20
20 min	368.2	0.50
30 min	369.2	1.50
1 hora	373.9	6.20
2 horas	375.2	7.50
3 horas	377	9.30
4 horas	377.5	9.80
5 horas	378.1	10.40
6 horas	378.6	10.90
24 horas	388.5	20.80
48 horas	393	25.30
72 horas	394.5	26.80
Vacio	396.6	28.90

ABSORCIÓN EN FUNCIÓN DEL TIEMPO (método empírico)

Precedimiento de la investigación "Absorption and desorption properties of fine
lightweight aggregate for application to internally cured concrete mixtures
(ELSEVIER)"

Ensayo 01	ABSORCIÓN
Tipo de material	ARCILLA EXPANDIDA
Responsable	JORGE DAVID MONTENEGRO
Fecha de inicio:	8/10/2018
Fecha de terminación:	12/10/2018

Datos de laboratorio:

M_{OD} (Masa seca del material)	100.0 g.
M_{PS} (Masa inicial picnómetro + agua + LWA)	399.1 g.
M_{PS} (Masa picnómetro + agua + LWA) sin vacíos	415.9 g.

Variación de la masa en función del tiempo ΔM_t (g)

HORA	Masa	%abs
10 min	400.5	1.40
20 min	401.2	2.10
30 min	401.9	2.80
1 hora	403.7	4.60
2 horas	405	5.90
3 horas	405.8	6.70
4 horas	406.2	7.10
5 horas	407	7.90
6 horas	407.6	8.50
24 horas	414.6	15.50
48 horas	414.6	15.50
72 horas	414.6	15.50
Vacio	415.9	16.80

ABSORCIÓN EN FUNCIÓN DEL TIEMPO (método empírico)

Precedimiento de la investigación "Absorption and desorption properties of fine
lightweight aggregate for application to internally cured concrete mixtures
(ELSEVIER)"

Ensayo 01	ABSORCIÓN
Tipo de material	ARCILLA EXPANDIDA
Responsable	JORGE DAVID MONTENEGRO
Fecha de inicio:	22/10/2018
Fecha de terminación:	26/10/2018

Datos de laboratorio:

M_{OD} (Masa seca del material)	100.0	g.
M_{PS} (Masa inicial picnómetro + agua + LWA)	405.1	g.
M_{PS} (Masa picnómetro + agua + LWA) sin vacíos	422.7	g.

Variación de la masa en función del tiempo ΔM_t (g)

HORA	Masa	%abs
10 min	405.3	0.20
20 min	405.6	0.50
30 min	407.5	2.40
1 hora	412.1	7.00
2 horas	416.2	11.10
3 horas	418.4	13.30
4 horas	419.5	14.40
5 horas	419.9	14.80
6 horas	420.4	15.30
24 horas	421.7	16.60
48 horas	421.8	16.70
72 horas	421.9	16.80
Vacio	422.7	17.60

ASTM C1761
especificación estándar de agregados livianos para curado interno del concreto

Absorción y desorción de agregados livianos

Ensayo 01	Desorción
Tipo de material	ARCILLA EXPANDIDA
Responsable	JORGE DAVID MONTENEGRO
Fecha de inicio:	4/10/2018
Fecha de terminación:	10/10/2018

Datos de laboratorio:

M_{SD} (Masa de la muestra SSS)	20.23 g.
M_{OD} (Masa seca del material)	16.17 g.
A_{72} (Porcentaje de absorción en 72h)	26.42%
M_{94} (Masa de la muestra a 94% HR)	

Tiempo (h)	M_{94} (g)	W_{LWA}	D
0	20.23	0.000	0.00%
2	19.63	0.037	14.04%
4	18.11	0.131	49.62%
8	16.92	0.205	77.47%
24	16.45	0.234	88.47%
26	16.43	0.235	88.94%

$$W_{LWA} = \frac{M_{SD} - M_{94}}{M_{OD}} \quad D = \left(\frac{W_{LWA}}{A_{72}/100} \right) \times 100$$

Resultados:

W_{LWA} (Cantidad de agua liberada a 94% HR en relación a la masa seca del material) **0.234**

D (Desorción en relación A_{72}) **88.47%**

Observaciones:

La muestra fue obtenida de los LWA en condición SSS del ensayo de absorción A_{72}

ASTM C1761
especificación estándar de agregados livianos para curado interno del concreto

Absorción y desorción de agregados livianos

Ensayo 02	Desorción
Tipo de material	ARCILLA EXPANDIDA
Responsable	JORGE DAVID MONTENEGRO
Fecha de inicio:	18/10/2018
Fecha de terminación:	24/10/2018

Datos de laboratorio:

M_{SD} (Masa de la muestra SSS)	20.53 g.
M_{OD} (Masa seca del material)	16.49 g.
A_{72} (Porcentaje de absorción en 72h)	25.05%
M_{94} (Masa de la muestra a 94% HR)	

Tiempo (h)	M_{94} (g)	W_{LWA}	D
0	20.53	0.000	0.00%
2	19.51	0.062	24.80%
4	18.23	0.139	55.69%
8	17.47	0.186	74.09%
24	16.95	0.217	86.68%
26	16.90	0.220	87.89%

$$W_{LWA} = \frac{M_{SD} - M_{94}}{M_{OD}} \quad D = \left(\frac{W_{LWA}}{A_{72}/100} \right) \times 100$$

Resultados:

W_{LWA} (Cantidad de agua liberada a 94% HR en relación a la masa seca del material) **0.217**

D (Desorción en relación A_{72}) **86.68%**

Observaciones:

La muestra fue obtenida de los LWA en condición SSS del ensayo de absorción A_{72}

ASTM C1761
especificación estandar de agregados livianos para curado inteno del concre

Absorción y desorción de agregados livianos

Ensayo 01	Desorción
Tipo de material	LADRILLO TRITURADO
Responsable	JORGE DAVID MONTENEGRO
Fecha de inicio:	6/10/2018
Fecha de terminación:	12/10/2018

Datos de laboratorio:

M_{SD} (Masa de la muestra SSS)	21.34 g.
M_{OD} (Masa seca del material)	18.38 g.
A_{72} (Porcentaje de absorción en 72h)	17.35%
M_{94} (Masa de la muestra a 94% HR)	

Tiempo (h)	M_{94} (g)	W_{LWA}	D
0	21.34	0.000	0.00%
2	20.39	0.052	29.80%
4	20.06	0.070	40.15%
8	19.56	0.097	55.83%
24	18.65	0.146	84.37%
26	18.60	0.149	85.94%

$$W_{LWA} = \frac{M_{SD} - M_{94}}{M_{OD}} \quad D = \left(\frac{W_{LWA}}{A_{72}/100} \right) \times 100$$

Resultados:

W_{LWA} (Cantidad de agua liberada a 94% HR en relación a la masa seca del material) **0.146**

D (Desorción en relación A_{72}) **84.37%**

Observaciones:

La muestra fue obtenida de los LWA en condición SSS del ensayo de absorción A_{72}

ASTM C1761
especificación estándar de agregados livianos para curado interno del concreto

Absorción y desorción de agregados livianos

Ensayo 02	Desorción
Tipo de material	LADRILLO TRITURADO
Responsable	JORGE DAVID MONTENEGRO
Fecha de inicio:	20/10/2018
Fecha de terminación:	26/10/2018

Datos de laboratorio:

M_{SD} (Masa de la muestra SSS)	20.09 g.
M_{OD} (Masa seca del material)	17.44 g.
A_{72} (Porcentaje de absorción en 72h)	16.45%
M_{94} (Masa de la muestra a 94% HR)	

Tiempo (h)	M_{94} (g)	W_{LWA}	D
0	20.09	0.000	0.00%
2	19.39	0.040	24.40%
4	18.77	0.076	46.02%
8	18.30	0.103	62.40%
24	17.74	0.135	81.92%
26	17.70	0.137	83.32%

$$W_{LWA} = \frac{M_{SD} - M_{94}}{M_{OD}} \quad D = \left(\frac{W_{LWA}}{A_{72}/100} \right) \times 100$$

Resultados:

W_{LWA} (Cantidad de agua liberada a 94% HR en relación a la masa seca del material) **0.135**

D (Desorción en relación A_{72}) **81.92%**

Observaciones:

La muestra fue obtenida de los LWA en condición SSS del ensayo de absorción A_{72}

B. Anexo: Procesamiento de datos para los ensayos de concreto.

DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETOS

1 Asentamiento de la mezcla

Consistencia media 5,0 cm

Tabla 4.1. Asentamientos recomendados para diversos tipos de construcción

Tipos de Construcción	Asentamiento (cm)	
	Mínimo	Máximo
Muros de contención y zapatas reforzadas.	2.5	7.5
Cimientos corridos y muros de subestructura.	2.5	7.5
Vigas y muros reforzados.	2.5	10.0
Columnas para edificios.	2.5	10.0
Pavimentos y losas.	2.5	7.5
Concreto masivo.	2.5	7.5

Fuente: Tabla 6.3.1 ACI 211.

Tabla 4.2. Asentamientos recomendados para varios tipos de construcción, sistemas de colocación y compactación.

Consistencia	Asentamiento (cm)	Tipo de Construcción	Sistema de Colocación	Sistema de Compactación
Muy Seca	0.0 – 2.0	Prefabricados de alta resistencia, revestimiento de pantallas de cimentación.	Con vibradores de formaleta; concretos de proyección neumática (lanzados).	Secciones sujetas a vibración extrema, puede requerirse presión.
Seca	2.0 – 3.5	Pavimentos.	Pavimentadoras con terminadora vibratoria.	Secciones sujetas a vibración intensa.
Semi-Seca	3.5 – 5.0	Pavimentos, fundaciones en concreto simple y losas poco reforzadas.	Colocación con máquinas operadas manualmente.	Secciones simplemente reforzadas con vibración.
Media	5.0 – 10.0	Pavimentos compactados manualmente, losas, muros, columnas, vigas y cimentaciones.	Colocación Manual.	Secciones medianamente reforzadas sin vibración.
Húmeda	10.0 – 15.0	Elementos estructurales esbeltos o muy reforzados.	Bombeo.	Secciones bastante reforzadas sin vibración.
Muy Húmeda	15.0 – 20.0	Elementos esbeltos, pilotes fundidos "in situ".	Tubo-embudo Tremie.	Secciones altamente reforzadas sin vibración.
Súper Fluida	Más de 20.0	Elementos muy esbeltos.	Autonivelante y autocompactante.	Secciones altamente reforzadas sin vibración y normalmente no adecuadas para vibrarse.

Fuente: Sánchez de Guzmán, D., Tecnología del concreto y del mortero

2 Tamaño máximo del agregado

Descripción	L (m)	B (m)	h/e (m)	Agregado TM (pulg)
Losa	0,4	0,3	0,2	
1/3 espesor de la losa				66,67 mm
1/5 menor dimensión de la sección estructural				60,00 mm
3/4 espaciamiento mínimo entre varillas				N/A

Se opta TM 1/2

DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETOS

3 Contenido de aire

Tabla 4.3. Cantidad aproximada de aire esperado en concreto sin aire incluido y niveles de aire incluido para diferentes tamaños máximos de agregados.

Tamaño Máximo Nominal del Agregado		Contenido de Aire (Volumen)			
		Naturalmente Atrapado	Exposición Ligera	Exposición Moderada	Exposición Severa
mm.	pulg.				
9.5	3/8"	3.0 %	4.5 %	6.0 %	7.5 %
12.5	1/2"	2.5 %	4.0 %	5.5 %	7.0 %
19	3/4"	2.0 %	3.5 %	5.0 %	6.0 %
25	1"	1.5 %	3.0 %	4.5 %	6.0 %
38	1 1/2"	1.0 %	2.5 %	4.5 %	5.5 %
50	2"	0.5 %	2.0 %	4.0 %	5.0 %
75	3"	0.3 %	1.5 %	3.5 %	4.5 %
150	6"	0.2 %	1.0 %	3.0 %	4.0 %

Fuente: Tabla 6.3.3 ACI 211

Agregado	contenido de aire
TM 1/2	2,0% Atrapado naturalmente

4 Contenido de agua

Tabla 4.4. Requisitos Aproximados de Agua de Mezclado para diferentes Asentamientos y Tamaños Máximos Nominales.

Asentamiento (cm)	Agua de Mezclado (kg/m ³) para el Concreto según el Tamaño Máximo Nominal del Agregado (mm)							
	9.5	12.5	19.0	25.0	38.0	50.0	75	150
CONCRETO SIN AIRE INCLUIDO								
2.5 – 5.0	207	199	190	179	166	154	130	113
7.5 – 10.0	228	216	205	193	181	169	145	124
15.0 – 17.5	243	228	216	202	190	178	160	---
CONCRETO CON AIRE INCLUIDO								
2.5 – 5.0	181	175	168	160	150	142	122	107
7.5 – 10.0	202	193	184	175	165	157	133	119
15.0 – 17.5	216	205	197	174	174	166	154	---

Fuente: Tabla 6.3.3 ACI 211

Asentamiento	5,0 cm
Agregado	TM 1/2 pulg 12,7 mm
Cantidad de agua	199 kg/m ³ sin aire incluido

5 Resistencia de diseño

Tabla 4.5. Resistencia promedio a la compresión requerida f'_{cr} cuando no hay datos disponibles para establecer una desviación estándar de la muestra.

Resistencia a Compresión f'_c	Resistencia a Compresión Requerida f'_{cr}
$f'_c < 210 \text{ kg/cm}^2$	$f'_{cr} = f'_c + 70 \text{ kg/cm}^2$
$210 \text{ kg/cm}^2 \leq f'_c \leq 350 \text{ kg/cm}^2$	$f'_{cr} = f'_c + 85 \text{ kg/cm}^2$
$f'_c \geq 350 \text{ kg/cm}^2$	$f'_{cr} = 1.10f'_c + 50 \text{ kg/cm}^2$

Fuente: Tabla 5.3.2.2 ACI 318

Resistencia a la compresión requerida	f'_c	560 kg/cm ²
Resistencia de diseño para $f_{cr} > 350 \text{ kg/cm}^2$	f_{cr}	666 kg/cm ²

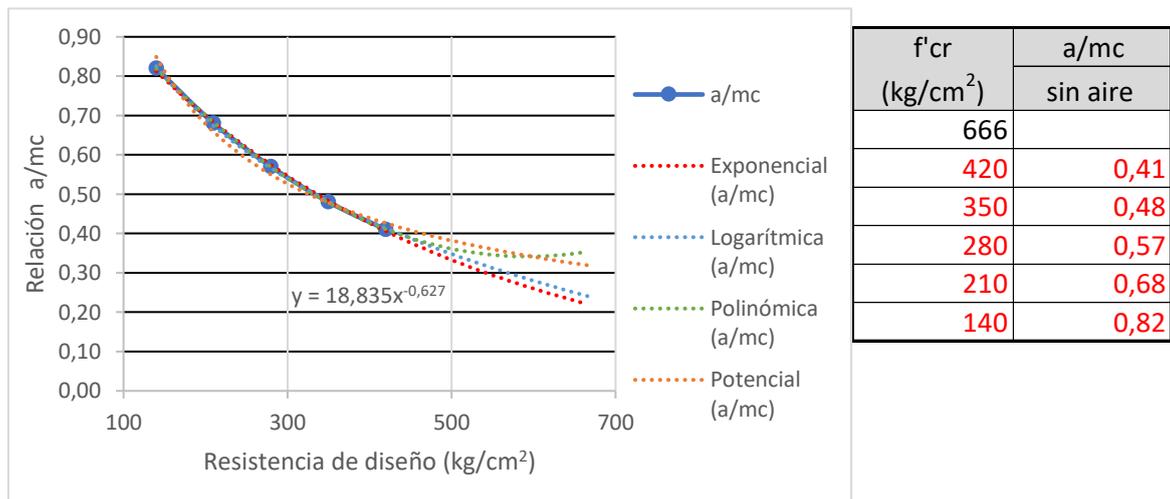
DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETOS

6 Relación agua - cemento

Tabla 4.6. Equivalencia entre la relación agua-cemento y la resistencia a la compresión del concreto.

Resistencia a la Compresión a los 28 Días (kg/cm ²)	Relación Agua-Cemento (a/c) por Peso	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
420	0.41	---
350	0.48	0.40
280	0.57	0.48
210	0.68	0.59
140	0.82	0.74

Fuente: Tabla 6.3.4 (a) ACI 211



a/mc _(exponencial)	0,300
-------------------------------	-------

7 Cantidad de cemento requerido por m³

Cemento	663 kg
---------	--------

8 Propiedades de los agregados y materiales de mezcla

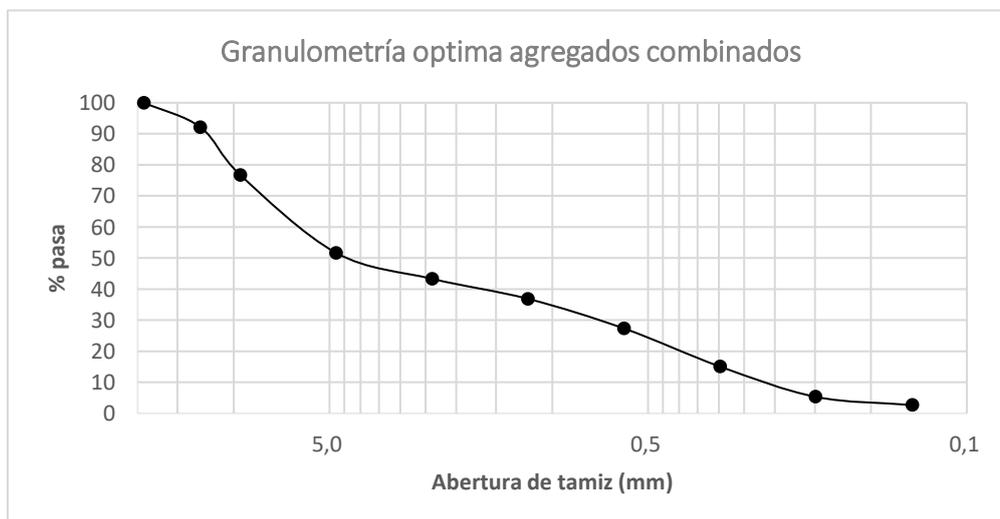
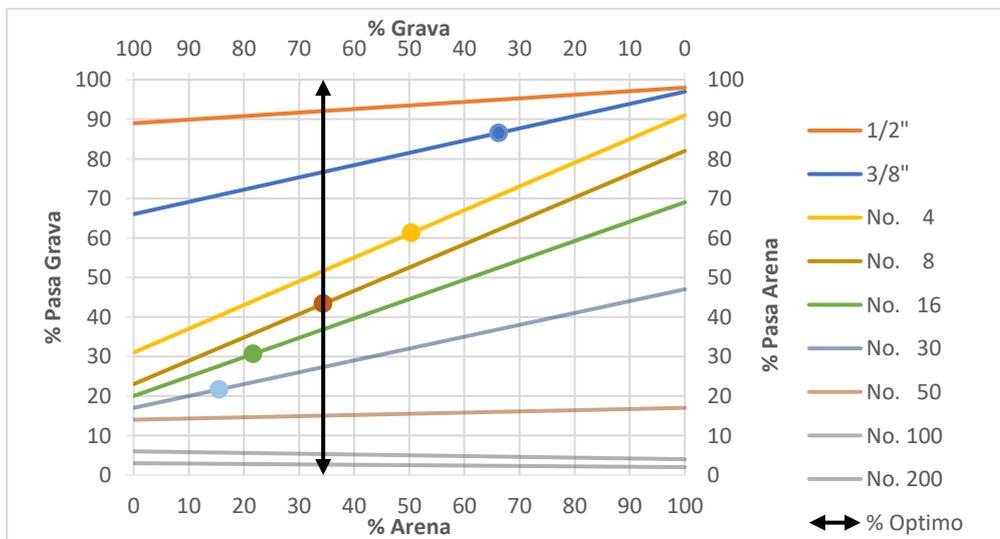
Descripción	Densidad	UN
Cemento	2,96	g/cm ³
Agregado grueso		
Densidad relativa aparente	2,72	g/cm ³
Absorción	1,8	%
Humedad natural	1,7	%
Agregado fino		
Densidad relativa aparente	2,67	g/cm ³
Absorción	1,6	%
Humedad natural	4,6	%

DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETOS

8 Proporciones relativas de los agregados Fuller - Thompson

CALCULO DE LA GRANULOMETRIA OPTIMA DE FULLER					
Tamiz		Grava	Arena	Fuller	Combinado
mm	pulg	%Pasa	%Pasa	% Pasa	% Pasa
19,1	3/4"	100	100	100%	100
12,7	1/2"	89	98	100%	92
9,51	3/8"	66	97	87%	77
4,76	No. 4	31	91	61%	52
2,38	No. 8	23	82	43%	43
1,19	No. 16	20	69	31%	37
0,595	No. 30	17	47	22%	27
0,297	No. 50	14	17	15%	15
0,149	No. 100	6	4	11%	5
0,074	No. 200	3	2	8%	3

Grava	65,6%
Arena	34,4%



DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETOS

9 Propiedades de agregados combinados.

* Volumen absoluto total de los agregados.

V_t	556,90	l/m^3	
V_c	224,10	l/m^3	Volumen absoluto del cemento
V_a	199,00	l/m^3	Volumen absoluto del agua
A	20,00	l/m^3	Volumen absoluto del contenido de aire

* Densidad relativa aparente de la mezcla para los dos agregados

G_a	2,69	g/cm^3	
G_{ag}	2,72	g/cm^3	Densidad relativa aparente agregado grueso
G_{af}	2,67	g/cm^3	Densidad relativa aparente agregado fino

P_t	1496	kg/m^3	Peso seco de los agregados combinados
P_{ag}	982	kg/m^3	Peso seco de agregado grueso
P_{af}	515	kg/m^3	Peso seco de agregado fino

MATERIAL	Peso	χ	Vol abs
	kg	g/cm^3	l
Cemento	663	2,96	224,10
Agua	199	1,00	199,00
Aire	0	0	0
Agregado grueso	982	2,69	365,38
Agregado fino	515		191,52
Total	2359		980,00

9 Corrección por humedad

Cantidad de agua por corrección	A_a	-14,46	kg/m^3
Peso seco de agregado grueso	P_{ag}	982	kg/m^3
Peso seco de agregado fino	P_{af}	515	kg/m^3
Absorción agregado grueso	A_{ag}	1,80	%
Absorción agregado fino	A_{af}	1,60	%
Humedad natural agregado grueso	HN_{ag}	1,70	%
Humedad natural agregado fino	HN_{af}	4,60	%

DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETOS

MATERIAL	Peso	γ	Vol abs
	kg	g/cm ³	l
Cemento	663	2,96	224,10
Agua	185	1,00	184,54
Aire	0	0	0
Agregado grueso	982	2,69	365,38
Agregado fino	515		191,52
Total	2344		965,54

Proporciones de mezcla			
Cemento	Grava	Arena	Agua
1,00	1,48	0,78	0,28

Relación por bulto			
Cemento	Grava	Arena	Agua
kg	kg	kg	kg
50,0	74,0	38,8	13,9

DENSIDAD Y CONTENIDO DE AIRE DEL CONCRETO EN ESTADO PLÁSTICO

Método gravimétrico del concreto NTC 1926

Ensayo 01

Tipo de material ARCILLA EXPANDIDA

Responsable JORGE DAVID MONTENEGRO

Fecha de inicio: 12/11/2018

MASA UNITARIA

RECIPIENTE					
Ø	20,5	cm	$M_R + M_c$	18,792	kg
H	21,5	cm	M_c	15,242	kg
V	7096	cm ³	M	2.148	kg/m³
M_R	3,55	kg			

$$M = \frac{M_c}{V}$$

CONTENIDO DE AIRE

Caracterización de agregados

Agregado	% optimo	$G_{aparente}$
Grueso	22,70%	2,66
Fino	77,30%	2,74

Diseño de mezcla

MATERIAL	Masa
	kg
Cemento	663
Agua	199
Agregado grueso	340
Agregado fino + LWA	991
Total	2193

$$\gamma = \frac{G_{ag} \times G_{af}}{G_{ag} \times \%_{grueso} + G_{af} \times \%_{finos}}$$

$$A = \frac{T - M}{T} \times 100$$

V	982	L	Volumen mezcla de control
T	2233	kg/m ³	Masa unitaria teórica
M	2148	kg/m ³	Masa unitaria experimental
A	3,82%		Contenido de aire

Observaciones:



DENSIDAD Y CONTENIDO DE AIRE DEL CONCRETO EN ESTADO PLÁSTICO
Método gravimétrico del concreto NTC 1926

Ensayo 01Tipo de material MEZCLA DE CONTROLResponsable JORGE DAVID MONTENEGROFecha de inicio: 10/11/2018

MASA UNITARIA					
RECIPIENTE					
Ø	20,5	cm		M _R + M _c	19,894 kg
H	21,5	cm		M _c	16,344 kg
V	7096	cm ³		M	2.303 kg/m³
M _R	3,55	kg			

$$M = \frac{M_c}{V}$$

CONTENIDO DE AIRE**Caracterización de agregados**

Agregado	% optimo	G _{aparente}
Grueso	22,70%	2,66
Fino	77,30%	2,74

Diseño de mezcla

MATERIAL	Masa	γ	Vol abs
	kg	g/cm ³	l
Cemento	663	2,96	224,0
Agua	199	1,00	199,0
Agregado grueso	340	2,68	127,0
Agregado fino	1157		432,1
Total	2359		982,0

$$\gamma = \frac{G_{ag} \times G_{af}}{G_{ag} \times \%grueso + G_{af} \times \%finos}$$

$$A = \frac{T - M}{T} \times 100$$

T	2402	kg/m ³	Masa unitaria teórica
M	2303	kg/m ³	Masa unitaria experimental
A	4,12%		Contenido de aire

Observaciones:

DENSIDAD Y CONTENIDO DE AIRE DEL CONCRETO EN ESTADO PLÁSTICO
Método gravimétrico del concreto NTC 1926

Ensayo 01

Tipo de material LADRILLO TRITURADO

Responsable JORGE DAVID MONTENEGRO

Fecha de inicio: 11/11/2018

MASA UNITARIA

RECIPIENTE					
Ø	20,5 cm		M _R + M _c	19,624 kg	
H	21,5 cm		M _c	16,074 kg	
V	7096 cm ³		M	2.265 kg/m³	
M _R	3,55 kg				

$$M = \frac{M_c}{V}$$

CONTENIDO DE AIRE

Caracterización de agregados

Agregado	% optimo	G _{aparente}
Grueso	22,70%	2,66
Fino	77,30%	2,74

Diseño de mezcla

MATERIAL	Masa
	kg
Cemento	663
Agua	199
Agregado grueso	340
Agregado fino + LWA	1058
Total	2260

$$\gamma = \frac{G_{ag} \times G_{af}}{G_{ag} \times \%_{grueso} + G_{af} \times \%_{finos}}$$

$$A = \frac{T - M}{T} \times 100$$

V	982	L	Volumen mezcla de control
T	2301	kg/m ³	Masa unitaria teórica
M	2265	kg/m ³	Masa unitaria experimental
A	1,57%		Contenido de aire

Observaciones:



**GRAVEDAD ESPECIFICA, ABSORCION Y
VACÍOS EN EL CONCRETO ENDURECIDO
NTC 5653**

Fundición 10-nov-18
Ensayo 21-nov-18
Edad 11 días

Especímen	#	A (g)	B (g)	C (g)	D (g)
0.3 - C - A	1	1216,15	1286,21	1305,73	600,60
	2	1160,69	1234,94	1244,07	667,00
	3	1139,70	1207,95	1227,33	654,80
0.3 - C - S	1	1164,94	1241,73	1247,47	652,90
	2	1161,74	1241,95	1248,25	650,90
	3	1233,99	1310,73	1316,48	692,00
0.3 - L - A	1	1158,06	1265,79	1275,64	637,40
	2	1177,89	1290,59	1300,37	644,30
	3	1106,94	1214,49	1224,49	603,30
0.3 - L - S	1	1135,69	1238,33	1248,72	630,00
	2	1127,67	1228,75	1238,74	625,40
	3	1190,01	1297,18	1307,30	665,10
0.3 - A - A	1	1079,67	1164,84	1173,23	564,00
	2	1109,58	1194,22	1202,51	587,40
	3	1084,58	1174,26	1182,95	573,30
0.3 - A - S	1	1062,19	1141,61	1150,59	563,90
	2	1084,15	1161,71	1170,46	578,20
	3	1089,69	1169,82	1178,34	580,10

Especímen	Densidades (g/cm ³)			
	Seca (g ₁)	Inmersión	Hervido	Aparente (g ₂)
0.3 - C - A	1,90	2,01	2,04	2,21
0.3 - C - S	1,96	2,09	2,10	2,28
0.3 - L - A	1,80	1,97	1,98	2,21
0.3 - L - S	1,84	2,01	2,02	2,25
0.3 - A - A	1,79	1,93	1,94	2,11
0.3 - A - S	1,82	1,95	1,97	2,14

Especímen	Absorción		Porosidad
	Inmersión	Hervido	
0.3 - C - A	6,0%	7,4%	14,1%
0.3 - C - S	6,6%	7,1%	13,8%
0.3 - L - A	9,5%	10,4%	18,7%
0.3 - L - S	9,0%	9,9%	18,2%
0.3 - A - A	7,9%	8,7%	15,5%
0.3 - A - S	7,3%	8,1%	14,8%

A = Masa seca al horno (g)

B = Masa SSS después de 48h de inmersión (g)

C = Masa SSS después de inmersión y hervido (g)

D = Masa de la muestra sumergida después de inmersión y hervido (g)

**GRAVEDAD ESPECIFICA, ABSORCION Y
VACÍOS EN EL CONCRETO ENDURECIDO
NTC 5653**

Fundición 10-nov-18
Ensayo 10-dic-18
Edad 30 días

Especímen	#	A (g)	B (g)	C (g)	D (g)
0.3 - C - A	1	1358,38	1472,59	1484,12	737,00
	2	1364,40	1477,29	1489,10	740,20
	3	1355,18	1466,53	1478,28	734,60
0.3 - C - S	1	1568,54	1686,20	1703,40	862,00
	2	1570,52	1682,36	1699,94	866,10
	3	1560,83	1679,63	1697,06	859,30
0.3 - L - A	1	1405,90	1537,06	1551,66	761,10
	2	1407,32	1513,76	1528,78	751,30
	3	1376,06	1504,98	1519,19	744,00
0.3 - L - S	1	1426,96	1539,71	1554,71	772,70
	2	1391,55	1507,03	1522,41	768,20
	3	1408,42	1517,02	1532,79	759,20
0.3 - A - A	1	1326,42	1423,78	1434,91	697,40
	2	1303,81	1396,35	1408,20	682,70
	3	1325,19	1422,69	1434,37	692,80
0.3 - A - S	1	1348,25	1448,23	1463,72	699,40
	2	1328,00	1425,75	1440,72	687,10
	3	1315,49	1412,69	1440,90	677,20

Especímen	Densidades (g/cm ³)			
	Seca (g ₁)	Inmersión	Hervido	Aparente (g ₂)
0.3 - C - A	1,82	1,97	1,99	2,19
0.3 - C - S	1,87	2,01	2,03	2,22
0.3 - L - A	1,84	1,94	1,96	2,17
0.3 - L - S	1,88	1,98	2,00	2,19
0.3 - A - A	1,84	1,92	1,94	2,10
0.3 - A - S	1,80	1,88	1,90	2,07

Especímen	Absorción		Porosidad
	Inmersión	Hervido	
0.3 - C - A	8,3%	9,2%	16,7%
0.3 - C - S	7,4%	8,5%	15,9%
0.3 - L - A	8,7%	9,8%	15,2%
0.3 - L - S	8,0%	9,1%	14,3%
0.3 - A - A	7,3%	8,1%	12,2%
0.3 - A - S	7,4%	8,9%	13,1%

A = Masa seca al horno (g)

B = Masa SSS después de 48h de inmersión (g)

C = Masa SSS después de inmersión y hervido (g)

D = Masa de la muestra sumergida después de inmersión y hervido (g)

**GRAVEDAD ESPECIFICA, ABSORCION Y
VACÍOS EN EL CONCRETO ENDURECIDO
NTC 5653**

Fundición 10-nov-18
Ensayo 11-feb-19
Edad 93 días

Especímen	#	A (g)	B (g)	C (g)	D (g)
0.3 - C - A	1	1422,23	1537,65	1553,19	767,33
	2	1392,75	1513,92	1528,84	747,98
	3	1404,05	1517,12	1541,44	755,09
0.3 - C - S	1	1456,77	1576,65	1587,28	779,33
	2	1468,05	1592,12	1602,44	787,09
	3	1425,75	1548,92	1558,84	759,98
0.3 - L - A	1	1385,05	1515,88	1528,44	734,09
	2	1390,77	1524,65	1537,28	738,33
	3	1393,75	1525,92	1537,84	742,98
0.3 - L - S	1	1369,75	1506,92	1514,84	743,98
	2	1375,05	1514,88	1523,44	749,09
	3	1339,77	1483,65	1492,28	732,33
0.3 - A - A	1	1307,24	1415,07	1424,84	668,31
	2	1290,77	1401,65	1412,28	656,33
	3	1350,05	1465,88	1476,44	693,09
0.3 - A - S	1	1249,77	1356,65	1368,28	639,33
	2	1306,24	1420,07	1430,84	674,31
	3	1358,13	1479,88	1490,59	707,91

Especímen	Densidades (g/cm ³)			
	Seca (g ₁)	Inmersión	Hervido	Aparente (g ₂)
0.3 - C - A	1,79	1,94	1,96	2,17
0.3 - C - S	1,80	1,95	1,96	2,15
0.3 - L - A	1,75	1,91	1,93	2,13
0.3 - L - S	1,77	1,95	1,97	2,20
0.3 - A - A	1,72	1,87	1,88	2,05
0.3 - A - S	1,73	1,88	1,89	2,07

Especímen	Absorción		Porosidad
	Inmersión	Hervido	
0.3 - C - A	8,3%	9,6%	17,2%
0.3 - C - S	8,4%	9,1%	16,4%
0.3 - L - A	9,5%	10,4%	18,2%
0.3 - L - S	10,3%	10,9%	19,3%
0.3 - A - A	8,5%	9,3%	15,9%
0.3 - A - S	8,7%	9,6%	16,6%

A = Masa seca al horno (g)

B = Masa SSS después de 48h de inmersión (g)

C = Masa SSS después de inmersión y hervido (g)

D = Masa de la muestra sumergida después de inmersión y hervido (g)

COMPRESIÓN Y MÓDULO ELASTICIDAD												
Fecha fundición	12-nov-18											
Fecha ensayo	19-nov-18											
Especímen	Arcilla expandida											
∅	9,6 cm											
L	20 cm											
Area	72,38 cm ²											
Propiedades												
f ^c diseño	56 MPa											
Edad	7 días											
Dimensiones de ajuste	Identificación de la muestra											
	O.3-A-A #1	O.3-A-A #2	O.3-A-A #3	O.3-A-S #1	O.3-A-S #2	O.3-A-S #3						
D1 (cm)	5,9	5,6	5,9	5,7	5,8	5,6						
D2 (cm)	5,5	5,6	5,6	5,4	5,5	5,4						
H1 (cm)	10,4	10,4	10,5	10,5	10,6	10,4						
H2 (cm)	10,3	10,3	10,6	10,7	10,6	10,3						
Carga (kg)	Deformación (0.001 in)											
1000	0,80	0,70	0,90	0,80	0,60	1,00						
2000	1,50	1,20	1,60	1,60	1,50	1,80						
3000	2,20	2,00	2,50	2,50	2,30	2,60						
4000	3,00	3,00	3,50	3,50	3,50	3,50						
5000	4,00	4,00	4,70	4,60	4,20	4,50						
6000	5,00	5,00	5,70	5,80	5,50	5,50						
7000	6,10	6,10	6,80	7,00	6,80	6,80						
8000	7,20	7,30	8,00	8,20	8,00	8,00						
9000	8,70	8,80	9,20	9,80	9,70	9,50						
10000	10,10	10,10	11,00	11,50	11,20	11,10						
11000	12,00	12,00	12,50	13,50	13,20	13,20						
12000	14,00	14,00	14,50	16,00	15,50	15,50						
13000	17,00	16,00	17,00	19,50	18,80	19,20						
14000	21,80	18,50	20,30	21,70	20,90	22,20						
15000	23,10	22,00	22,20	23,10								
16000	24,90	23,90										
MÁXIMO ESFUERZOS A COMPRESIÓN ALCANZADO												
P _{max} (kg)	16.540	16.336	15.926	15.386	14.606	14.398						
σ _{max} (MPa)	22,85	22,57	22,00	21,26	20,18	19,89						
%σ _{alcanzado}	40,8%	40,3%	39,3%	38,0%	36,0%	35,5%						
	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">CV</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A-A</td> <td>1,92%</td> </tr> <tr> <td>A-S</td> <td>3,52%</td> </tr> </tbody> </table>						CV		A-A	1,92%	A-S	3,52%
CV												
A-A	1,92%											
A-S	3,52%											

DIAGRAMA DE ESFUERZO VS DEFORMACIÓN UNITARIA						
Dimesiones de ajsute	O.3-A-A #1	O.3-A-A #2	O.3-A-A #3	O.3-A-S #1	O.3-A-S #2	O.3-A-S #3
	cm	cm	cm	cm	cm	cm
L	21	20,8	21,1	20,7	20,9	20,6
L1	10,3	10,4	10,4	10,2	10,3	10,2
H _{prom.}	10,35	10,35	10,55	10,6	10,6	10,35
Esfuerzo (MPa)	Deformación unitaria					
0,00	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0
1,38	9,6 E-5	8,6 E-5	1,1 E-4	9,4 E-5	7,1 E-5	1,2 E-4
2,76	1,8 E-4	1,5 E-4	1,9 E-4	1,9 E-4	1,8 E-4	2,2 E-4
4,14	2,6 E-4	2,5 E-4	3,0 E-4	3,0 E-4	2,7 E-4	3,2 E-4
5,53	3,6 E-4	3,7 E-4	4,2 E-4	4,1 E-4	4,1 E-4	4,3 E-4
6,91	4,8 E-4	4,9 E-4	5,6 E-4	5,4 E-4	5,0 E-4	5,5 E-4
8,29	6,0 E-4	6,1 E-4	6,8 E-4	6,8 E-4	6,5 E-4	6,7 E-4
9,67	7,3 E-4	7,5 E-4	8,1 E-4	8,3 E-4	8,0 E-4	8,3 E-4
11,05	8,7 E-4	9,0 E-4	9,5 E-4	9,7 E-4	9,4 E-4	9,7 E-4
12,43	1,0 E-3	1,1 E-3	1,1 E-3	1,2 E-3	1,1 E-3	1,2 E-3
13,82	1,2 E-3	1,2 E-3	1,3 E-3	1,4 E-3	1,3 E-3	1,3 E-3
15,20	1,4 E-3	1,5 E-3	1,5 E-3	1,6 E-3	1,6 E-3	1,6 E-3
16,58	1,7 E-3	1,7 E-3	1,7 E-3	1,9 E-3	1,8 E-3	1,9 E-3
17,96	2,0 E-3	2,0 E-3	2,0 E-3	2,3 E-3	2,2 E-3	2,3 E-3
19,34	2,6 E-3	2,3 E-3	2,4 E-3	2,6 E-3	2,5 E-3	2,7 E-3
20,72	2,8 E-3	2,7 E-3	2,6 E-3	2,7 E-3	0,0 E+0	0,0 E+0
22,10	3,0 E-3	2,9 E-3	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0



MÁXIMO MÓDULO DE ELASTICIDAD ALCANZADO					
Muestra					
0.3-A-A					
Ecuación polinómica					
$\sigma = -3,00E+06 \epsilon^2 + 14667 \epsilon + 0,2671$					
	0.3-A-A #1	0.3-A-A #2	0.3-A-A #3	Promedio	
$\sigma_{40\%}$ (MPa)	9,14	9,03	8,80	8,990	
					0.3-A-A
σ_{prom} (MPa)					22,47
Esfuerzos al 50E-5 de la deformación (ϵ) alcanzada					
ϵ_{50}	0,00050			E_{50} (MPa)	13701
$\sigma_{\epsilon 50}$ (MPa)	6,851			K	2890
					E_{NSR10} (MPa) 22.281
Esfuerzos al 40% del esfuerzo (σ) alcanzado					
$\epsilon_{\sigma 40\%}$	0,00064				
$\sigma_{40\%}$ (MPa)	8,454				
Muestra					
0.3-A-S					
Ecuación polinómica					
$\sigma = -3,00E+06 \epsilon^2 + 14534 \epsilon + 0,0981$					
	0.3-A-S #1	0.3-A-S #2	0.3-A-S #3	Promedio	
$\sigma_{40\%}$ (MPa)	8,50	8,07	7,96	8,177	
					0.3-A-S
σ_{prom} (MPa)					20,44
Esfuerzos al 50E-5 de la deformación (ϵ) alcanzada					
ϵ_{50}	0,00050			E_{50} (MPa)	13230
$\sigma_{\epsilon 50}$ (MPa)	6,615			K	2926
					E_{NSR10} (MPa) 21.250
Esfuerzos al 40% del esfuerzo (σ) alcanzado					
$\epsilon_{\sigma 40\%}$	0,00060				
$\sigma_{40\%}$ (MPa)	7,760				

COMPRESIÓN Y MÓDULO ELASTICIDAD									
Fecha fundición	12-nov-18								
Fecha ensayo	7-dic-18								
Especímen	Arcilla expandida								
∅	9,6 cm								
L	20 cm								
Area	72,38 cm ²								
Propiedades									
f ^c diseño	56 MPa								
Edad	25 días								
Dimensiones de ajuste	Identificación de la muestra								
	O.3-A-A #1	O.3-A-A #2	O.3-A-A #3	O.3-A-S #1	O.3-A-S #2	O.3-A-S #3			
D1 (cm)	5,6	5,6	5,6	5,7	5,6	5,6			
D2 (cm)	5,4	5,4	5,4	5,5	5,3	5,5			
H1 (cm)	10,4	10,4	10,4	10,4	10,5	10,4			
H2 (cm)	10,4	10,3	10,5	10,3	10,4	10,5			
Carga (kg)	Deformación (0.001 in)								
2000	1,30	1,50	1,50	1,20	1,30	1,00			
4000	3,00	3,00	3,00	2,80	3,00	2,20			
6000	4,10	4,80	5,10	4,50	4,50	4,20			
8000	5,80	6,10	7,00	6,20	6,00	6,00			
10000	7,10	8,00	9,00	7,30	7,50	8,00			
12000	9,50	9,50	10,50	8,90	9,10	9,50			
14000	11,00	11,30	13,00	10,20	10,50	11,10			
16000	13,00	13,50	14,50	12,50	12,80	13,00			
18000	15,50	15,50	17,00	14,20	15,00	15,20			
20000	18,00	18,00	19,00	16,80	17,50	17,50			
22000	20,10	21,20	23,00	22,10	21,60	20,80			
24000		24,50	26,10	24,90					
26000									
28000									
30000									
32000									
MÁXIMO ESFUERZOS A COMPRESIÓN ALCANZADO									
P _{max} (kg)	23.850	25.240	24.550	24.400	23.230	23.730			
σ _{max} (MPa)	32,95	34,87	33,92	33,71	32,09	32,78			
%σ _{alcanzado}	58,8%	62,3%	60,6%	60,2%	57,3%	58,5%			
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>CV</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A-A 2,83%</td> </tr> <tr> <td>A-S 2,47%</td> </tr> </tbody> </table>						CV	A-A 2,83%	A-S 2,47%
CV									
A-A 2,83%									
A-S 2,47%									

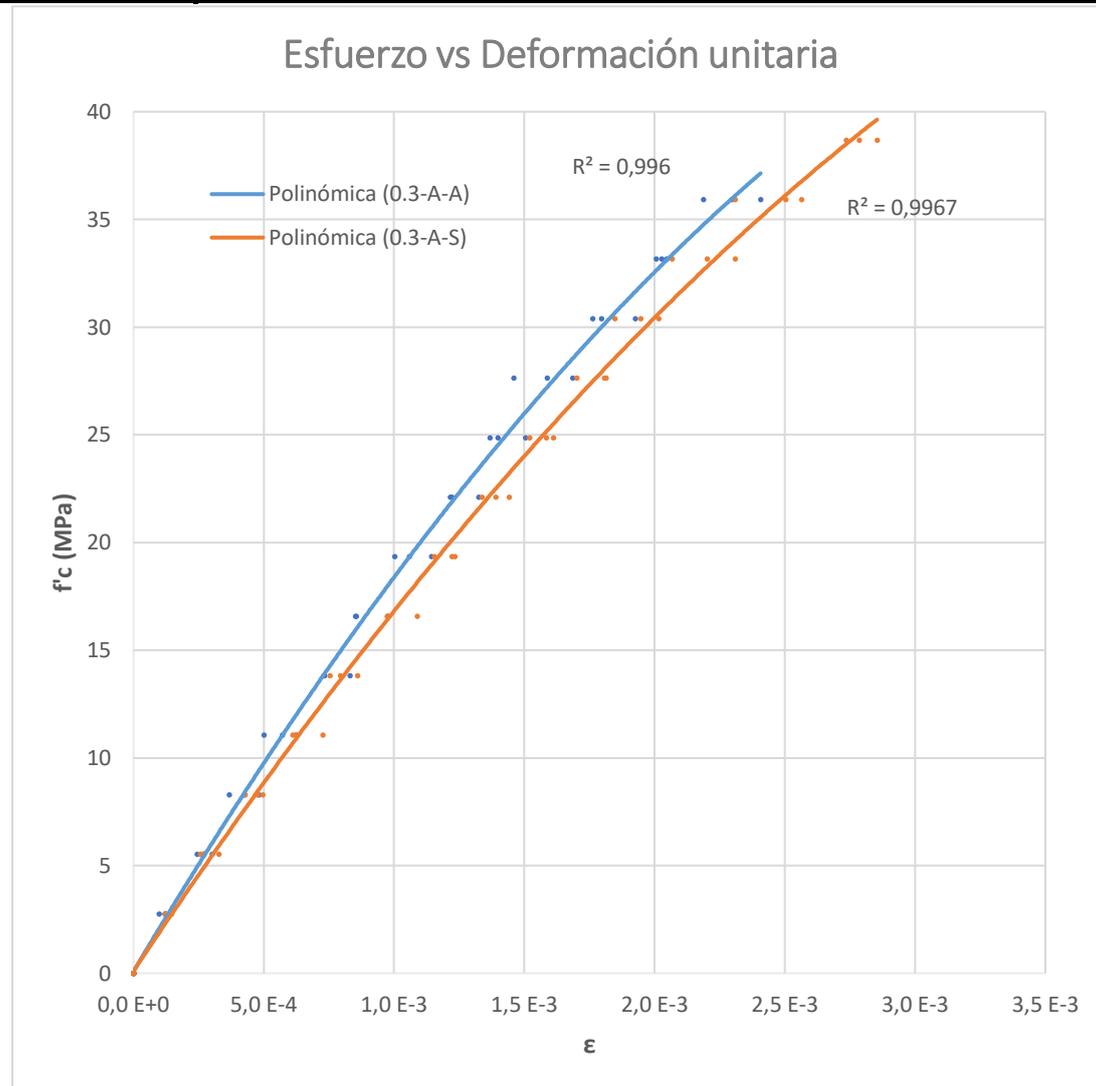
DIAGRAMA DE ESFUERZO VS DEFORMACIÓN UNITARIA						
Dimesiones de ajsute	O.3-A-A #1	O.3-A-A #2	O.3-A-A #3	O.3-A-S #1	O.3-A-S #2	O.3-A-S #3
	cm	cm	cm	cm	cm	cm
L	20,6	20,6	20,6	20,8	20,5	20,7
L1	10,2	10,2	10,2	10,3	10,1	10,3
H _{prom.}	10,4	10,35	10,45	10,35	10,45	10,45
Esfuerzo (MPa)	Deformación unitaria					
0,00	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0
2,76	1,6 E-4	1,8 E-4	1,8 E-4	1,5 E-4	1,6 E-4	1,2 E-4
5,53	3,6 E-4	3,6 E-4	3,6 E-4	3,4 E-4	3,6 E-4	2,7 E-4
8,29	5,0 E-4	5,8 E-4	6,1 E-4	5,5 E-4	5,4 E-4	5,1 E-4
11,05	7,0 E-4	7,4 E-4	8,4 E-4	7,5 E-4	7,2 E-4	7,3 E-4
13,82	8,6 E-4	9,7 E-4	1,1 E-3	8,9 E-4	9,0 E-4	9,7 E-4
16,58	1,1 E-3	1,2 E-3	1,3 E-3	1,1 E-3	1,1 E-3	1,1 E-3
19,34	1,3 E-3	1,4 E-3	1,6 E-3	1,2 E-3	1,3 E-3	1,3 E-3
22,10	1,6 E-3	1,6 E-3	1,7 E-3	1,5 E-3	1,5 E-3	1,6 E-3
24,87	1,9 E-3	1,9 E-3	2,0 E-3	1,7 E-3	1,8 E-3	1,8 E-3
27,63	2,2 E-3	2,2 E-3	2,3 E-3	2,0 E-3	2,1 E-3	2,1 E-3
30,39	2,4 E-3	2,6 E-3	2,8 E-3	2,7 E-3	2,6 E-3	2,5 E-3
33,16	0,0 E+0	3,0 E-3	3,1 E-3	3,0 E-3	0,0 E+0	0,0 E+0
35,92	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0
38,68	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0
41,45	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0
44,21	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0



MÁXIMO MÓDULO DE ELASTICIDAD ALCANZADO					
Muestra					
0.3-A-A					
Ecuación polinómica					
$\sigma = -2,00E+06 \epsilon^2 + 16813 \epsilon + -0,0221$					
	0.3-A-A #1	0.3-A-A #2	0.3-A-A #3	Promedio	
$\sigma_{40\%}$ (MPa)	13,18	13,95	13,57	13,565	
					0.3-A-A
σ_{prom} (MPa)					33,91
Esfuerzos al 50E-5 de la deformación (ϵ) alcanzada					
ϵ_{50}	0,00050			E_{50} (MPa)	15769
$\sigma_{\epsilon 50}$ (MPa)	7,884			K	2708
					E_{NSR10} (MPa) 27.370
Esfuerzos al 40% del esfuerzo (σ) alcanzado					
$\epsilon_{\sigma 40\%}$	0,00086				
$\sigma_{40\%}$ (MPa)	12,996				
Muestra					
0.3-A-S					
Ecuación polinómica					
$\sigma = -2,00E+06 \epsilon^2 + 18402 \epsilon + -0,0355$					
	0.3-A-S #1	0.3-A-S #2	0.3-A-S #3	Promedio	
$\sigma_{40\%}$ (MPa)	13,48	12,84	13,11	13,145	
					0.3-A-S
σ_{prom} (MPa)					32,86
Esfuerzos al 50E-5 de la deformación (ϵ) alcanzada					
ϵ_{50}	0,00050			E_{50} (MPa)	17331
$\sigma_{\epsilon 50}$ (MPa)	8,666			K	3023
					E_{NSR10} (MPa) 26.943
Esfuerzos al 40% del esfuerzo (σ) alcanzado					
$\epsilon_{\sigma 40\%}$	0,00078				
$\sigma_{40\%}$ (MPa)	13,152				

COMPRESIÓN Y MÓDULO ELASTICIDAD									
Fecha fundición	12-nov-18								
Fecha ensayo	13-feb-19								
Especímen	Arcilla expandida								
∅	9,6 cm								
L	20 cm								
Area	72,38 cm ²								
Propiedades									
f ^c diseño	56 MPa								
Edad	93 días								
Dimensiones de ajuste	Identificación de la muestra								
	O.3-A-A #1	O.3-A-A #2	O.3-A-A #3	O.3-A-S #1	O.3-A-S #2	O.3-A-S #3			
D1 (cm)	5,6	5,6	5,6	5,7	5,5	5,6			
D2 (cm)	5,5	5,5	5,4	5,4	5,5	5,5			
H1 (cm)	10,4	10,4	10,5	10,5	10,5	10,4			
H2 (cm)	10,4	10,3	10,4	10,2	10,4	10,3			
Carga (kg)	Deformación (0.001 in)								
2000	1,00	0,80	1,00	1,20	1,00	1,00			
4000	2,20	2,00	2,50	2,70	2,20	2,10			
6000	3,50	3,00	4,00	4,10	3,90	3,50			
8000	4,70	4,10	5,20	6,00	5,10	5,00			
10000	6,00	6,00	6,90	7,10	6,20	6,50			
12000	7,00	7,00	8,10	9,00	8,00	8,00			
14000	8,70	8,20	9,50	10,10	9,50	10,10			
16000	10,00	10,00	11,00	11,50	11,00	11,80			
18000	11,50	11,20	12,50	13,10	12,50	13,20			
20000	12,00	13,00	14,00	15,00	14,00	14,80			
22000	14,50	14,70	16,00	16,10	15,20	16,50			
24000	16,50	16,60	17,00	18,20	17,00	18,90			
26000	18,00	18,80	20,00	21,20	19,00	20,50			
28000				23,60	22,50	22,80			
30000									
32000									
MÁXIMO ESFUERZOS A COMPRESIÓN ALCANZADO									
P _{max} (kg)	27.520	27.690	27.760	29.240	28.930	28.946			
σ _{max} (MPa)	38,02	38,26	38,35	40,40	39,97	39,99			
%σ _{alcanzado}	67,9%	68,3%	68,5%	72,1%	71,4%	71,4%			
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>CV</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A-A 0,45%</td> </tr> <tr> <td>A-S 0,60%</td> </tr> </tbody> </table>						CV	A-A 0,45%	A-S 0,60%
CV									
A-A 0,45%									
A-S 0,60%									

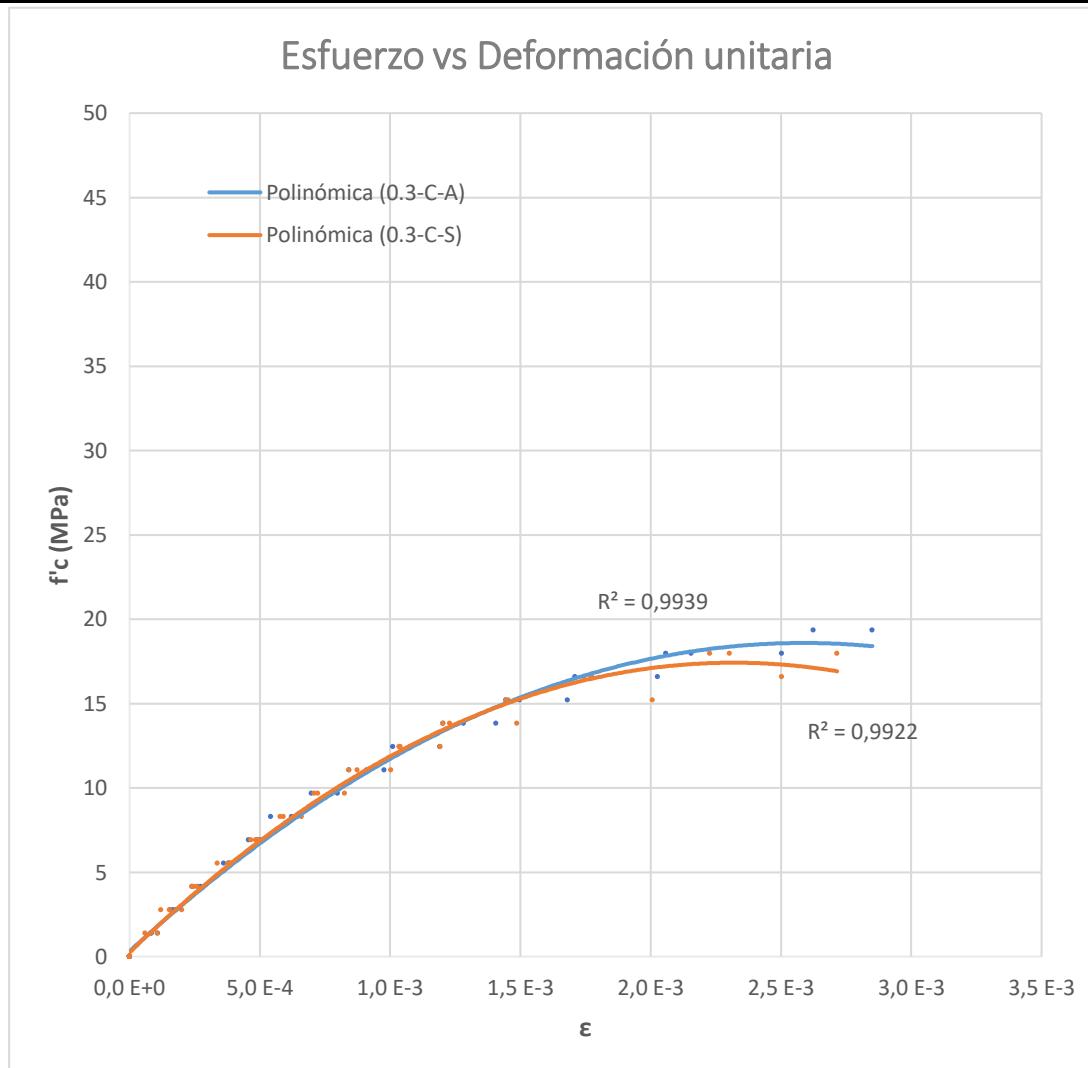
DIAGRAMA DE ESFUERZO VS DEFORMACIÓN UNITARIA						
Dimesiones de ajsute	O.3-A-A #1	O.3-A-A #2	O.3-A-A #3	O.3-A-S #1	O.3-A-S #2	O.3-A-S #3
	cm	cm	cm	cm	cm	cm
L	20,7	20,7	20,6	20,7	20,6	20,7
L1	10,3	10,3	10,2	10,2	10,3	10,3
H _{prom.}	10,4	10,35	10,45	10,35	10,45	10,35
Esfuerzo (MPa)	Deformación unitaria					
0,00	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0
2,76	1,2 E-4	9,8 E-5	1,2 E-4	1,5 E-4	1,2 E-4	1,2 E-4
5,53	2,7 E-4	2,4 E-4	3,0 E-4	3,3 E-4	2,7 E-4	2,6 E-4
8,29	4,3 E-4	3,7 E-4	4,8 E-4	5,0 E-4	4,7 E-4	4,3 E-4
11,05	5,7 E-4	5,0 E-4	6,3 E-4	7,3 E-4	6,2 E-4	6,1 E-4
13,82	7,3 E-4	7,3 E-4	8,3 E-4	8,6 E-4	7,5 E-4	7,9 E-4
16,58	8,5 E-4	8,5 E-4	9,7 E-4	1,1 E-3	9,7 E-4	9,8 E-4
19,34	1,1 E-3	1,0 E-3	1,1 E-3	1,2 E-3	1,2 E-3	1,2 E-3
22,10	1,2 E-3	1,2 E-3	1,3 E-3	1,4 E-3	1,3 E-3	1,4 E-3
24,87	1,4 E-3	1,4 E-3	1,5 E-3	1,6 E-3	1,5 E-3	1,6 E-3
27,63	1,5 E-3	1,6 E-3	1,7 E-3	1,8 E-3	1,7 E-3	1,8 E-3
30,39	1,8 E-3	1,8 E-3	1,9 E-3	1,9 E-3	1,8 E-3	2,0 E-3
33,16	2,0 E-3	2,0 E-3	2,0 E-3	2,2 E-3	2,1 E-3	2,3 E-3
35,92	2,2 E-3	2,3 E-3	2,4 E-3	2,6 E-3	2,3 E-3	2,5 E-3
38,68	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0	2,9 E-3	2,7 E-3	2,8 E-3
41,45	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0
44,21	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0



MÁXIMO MÓDULO DE ELASTICIDAD ALCANZADO						
Muestra						
0.3-A-A						
Ecuación polinómica						
$\sigma = -2,00E+06 \epsilon^2 + 21632 \epsilon + 0,0915$						
	0.3-A-A #1	0.3-A-A #2	0.3-A-A #3	Promedio		
$\sigma_{40\%}$ (MPa)	15,21	15,30	15,34	15,284		
					0.3-A-A	
σ_{prom} (MPa)					38,21	
Esfuerzos al 50E-5 de la deformación (ϵ) alcanzada						
ϵ_{50}	0,00050			E_{50} (MPa)	20815	
$\sigma_{\epsilon 50}$ (MPa)	10,408			K	3367	
					E_{NSR10} (MPa)	29.052
Esfuerzos al 40% del esfuerzo (σ) alcanzado						
$\epsilon_{\sigma 40\%}$	0,00079					
$\sigma_{40\%}$ (MPa)	15,970					
Muestra						
0.3-A-S						
Ecuación polinómica						
$\sigma = -1,00E+06 \epsilon^2 + 18764 \epsilon + 0,1293$						
	0.3-A-S #1	0.3-A-S #2	0.3-A-S #3	Promedio		
$\sigma_{40\%}$ (MPa)	16,16	15,99	16,00	16,047		
					0.3-A-S	
σ_{prom} (MPa)					40,12	
Esfuerzos al 50E-5 de la deformación (ϵ) alcanzada						
ϵ_{50}	0,00050			E_{50} (MPa)	18523	
$\sigma_{\epsilon 50}$ (MPa)	9,261			K	2924	
					E_{NSR10} (MPa)	29.769
Esfuerzos al 40% del esfuerzo (σ) alcanzado						
$\epsilon_{\sigma 40\%}$	0,00087					
$\sigma_{40\%}$ (MPa)	15,623					

COMPRESIÓN Y MÓDULO ELASTICIDAD												
Fecha fundición	10-nov-18											
Fecha ensayo	17-nov-18											
Especímen	Patrón											
∅	9,6 cm											
L	20 cm											
Area	72,38 cm ²											
Propiedades												
f' _c diseño	56 MPa											
Edad	7 días											
Dimensiones de ajuste	Identificación de la muestra											
	O.3-C-A #1	O.3-C-A #2	O.3-C-A #3	O.3-C-S #1	O.3-C-S #2	O.3-C-S #3						
D1 (cm)	5,8	5,8	5,8	5,8	5,7	5,7						
D2 (cm)	5,4	5,5	5,5	5,4	5,6	5,6						
H1 (cm)	10,4	10,5	10,5	10,6	10,6	10,6						
H2 (cm)	10,5	10,3	10,4	10,5	10,8	10,4						
Carga (kg)	Deformación (0.001 in)											
1000	0,70	0,70	0,90	0,70	0,90	0,50						
2000	1,50	1,30	1,40	1,30	1,70	1,00						
3000	2,30	2,00	2,20	2,10	2,20	2,00						
4000	3,20	3,00	3,20	3,20	3,30	2,80						
5000	4,20	3,80	4,10	4,20	4,10	3,88						
6000	5,40	4,50	5,20	5,60	5,00	4,80						
7000	6,70	5,80	6,50	7,00	6,00	6,00						
8000	8,20	7,00	7,60	8,50	7,40	7,00						
9000	10,00	8,40	9,00	10,10	8,80	8,60						
10000	11,80	10,00	10,70	12,60	10,40	10,00						
11000	14,10	12,00	12,50	17,00	12,30	12,00						
12000	17,00	14,20	14,80	21,20	15,00	14,50						
13000	21,00	17,10	18,00	23,00	19,50	18,50						
14000		21,80	23,80									
15000												
16000												
MÁXIMO ESFUERZOS A COMPRESIÓN ALCANZADO												
P _{max} (kg)	13.552	14.336	14.210	13.548	13.980	13.282						
σ _{max} (MPa)	18,72	19,81	19,63	18,72	19,31	18,35						
%σ _{alcanzado}	33,4%	35,4%	35,1%	33,4%	34,5%	32,8%						
	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">CV</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>C-A</td> <td>3,00%</td> </tr> <tr> <td>C-S</td> <td>2,59%</td> </tr> </tbody> </table>						CV		C-A	3,00%	C-S	2,59%
CV												
C-A	3,00%											
C-S	2,59%											

DIAGRAMA DE ESFUERZO VS DEFORMACIÓN UNITARIA						
Dimesiones de ajuste	O.3-C-A #1	O.3-C-A #2	O.3-C-A #3	O.3-C-S #1	O.3-C-S #2	O.3-C-S #3
	cm	cm	cm	cm	cm	cm
L	20,8	20,9	20,9	20,8	20,9	20,9
L1	10,2	10,3	10,3	10,2	10,4	10,4
H _{prom.}	10,45	10,4	10,45	10,55	10,7	10,5
Esfuerzo (MPa)	Deformación unitaria					
0,00	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0
1,38	8,3 E-5	8,4 E-5	1,1 E-4	8,3 E-5	1,1 E-4	6,0 E-5
2,76	1,8 E-4	1,6 E-4	1,7 E-4	1,5 E-4	2,0 E-4	1,2 E-4
4,14	2,7 E-4	2,4 E-4	2,6 E-4	2,5 E-4	2,6 E-4	2,4 E-4
5,53	3,8 E-4	3,6 E-4	3,8 E-4	3,8 E-4	3,9 E-4	3,4 E-4
6,91	5,0 E-4	4,6 E-4	4,9 E-4	5,0 E-4	4,8 E-4	4,7 E-4
8,29	6,4 E-4	5,4 E-4	6,2 E-4	6,6 E-4	5,9 E-4	5,8 E-4
9,67	8,0 E-4	7,0 E-4	7,8 E-4	8,3 E-4	7,1 E-4	7,2 E-4
11,05	9,8 E-4	8,4 E-4	9,1 E-4	1,0 E-3	8,7 E-4	8,4 E-4
12,43	1,2 E-3	1,0 E-3	1,1 E-3	1,2 E-3	1,0 E-3	1,0 E-3
13,82	1,4 E-3	1,2 E-3	1,3 E-3	1,5 E-3	1,2 E-3	1,2 E-3
15,20	1,7 E-3	1,4 E-3	1,5 E-3	2,0 E-3	1,5 E-3	1,4 E-3
16,58	2,0 E-3	1,7 E-3	1,8 E-3	2,5 E-3	1,8 E-3	1,7 E-3
17,96	2,5 E-3	2,1 E-3	2,2 E-3	2,7 E-3	2,3 E-3	2,2 E-3
19,34	0,0 E+0	2,6 E-3	2,9 E-3	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0
20,72	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0
22,10	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0



MÁXIMO MÓDULO DE ELASTICIDAD ALCANZADO

Muestra

0.3-C-A

Ecuación polinómica

$$\sigma = -3,00E+06 \epsilon^2 + 14127 \epsilon + 0,3205$$

	O.3-C-A #1	O.3-C-A #2	O.3-C-A #3	Promedio
$\sigma_{40\%}$ (MPa)	7,49	7,92	7,85	7,755

0.3-C-A	
σ_{prom} (MPa)	19,39

Esfuerzos al 50E-5 de la deformación (ϵ) alcanzada

ϵ_{50}	0,00050
$\sigma_{\epsilon 50}$ (MPa)	6,634

E_{50} (MPa)	13268
K	3013

E_{NSR10} (MPa)	20.694
-------------------	--------

Esfuerzos al 40% del esfuerzo (σ) alcanzado

$\epsilon_{\sigma 40\%}$	0,00059
$\sigma_{40\%}$ (MPa)	7,636

Muestra

0.3-C-S

Ecuación polinómica

$$\sigma = -3,00E+06 \epsilon^2 + 14819 \epsilon + 0,2503$$

	O.3-C-S #1	O.3-C-S #2	O.3-C-S #3	Promedio
$\sigma_{40\%}$ (MPa)	7,49	7,73	7,34	7,517

0.3-C-S	
σ_{prom} (MPa)	18,79

Esfuerzos al 50E-5 de la deformación (ϵ) alcanzada

ϵ_{50}	0,00050
$\sigma_{\epsilon 50}$ (MPa)	6,910

E_{50} (MPa)	13820
K	3188

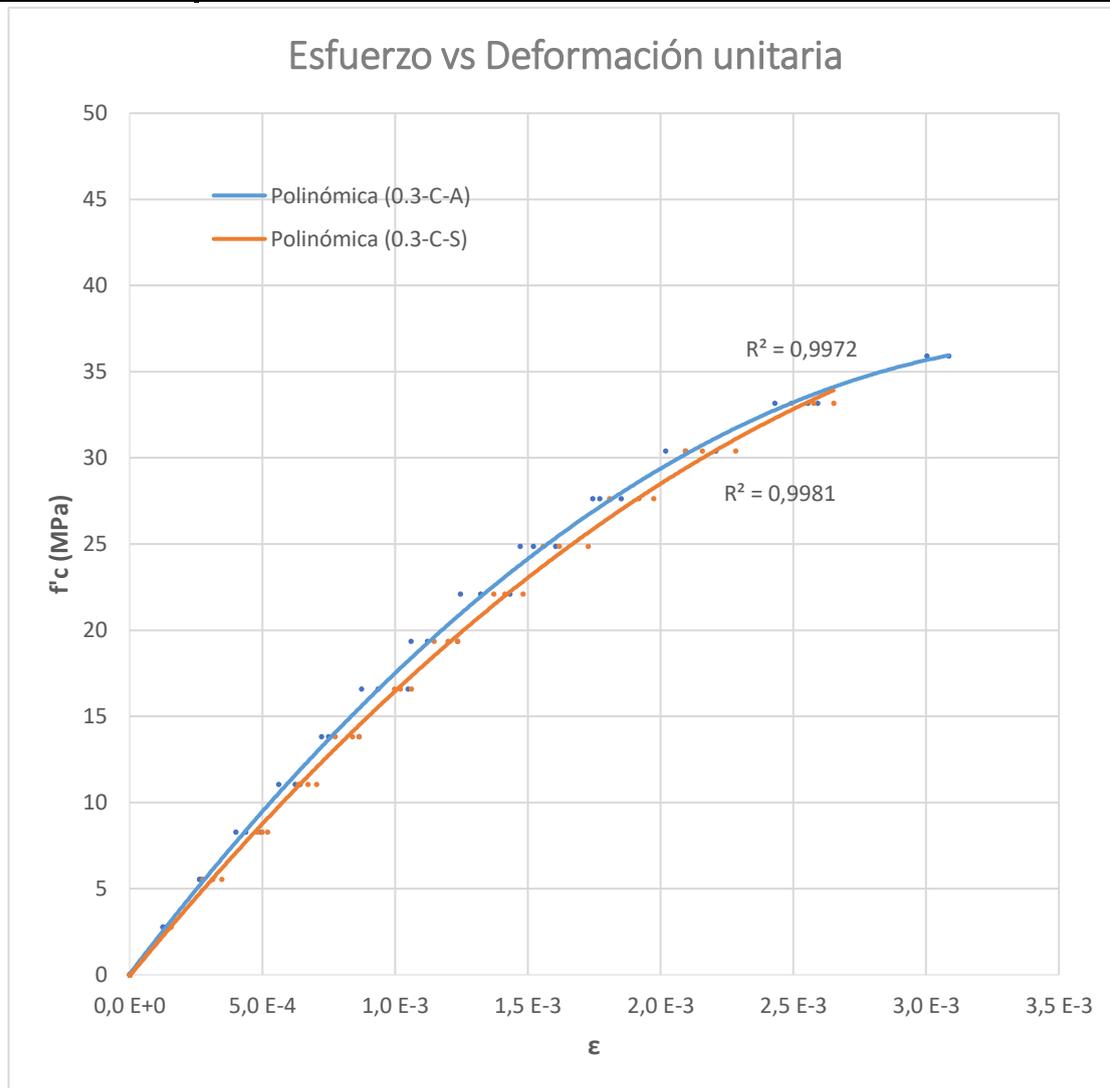
E_{NSR10} (MPa)	20.375
-------------------	--------

Esfuerzos al 40% del esfuerzo (σ) alcanzado

$\epsilon_{\sigma 40\%}$	0,00052
$\sigma_{40\%}$ (MPa)	7,167

COMPRESIÓN Y MÓDULO ELASTICIDAD									
Fecha fundición	10-nov-18								
Fecha ensayo	7-dic-18								
Especímen	Patrón								
∅	9,6 cm								
L	20 cm								
Area	72,38 cm ²								
Propiedades									
f' _C diseño	56 MPa								
Edad	27 días								
Dimensiones de ajuste	Identificación de la muestra								
	O.3-C-A #1	O.3-C-A #2	O.3-C-A #3	O.3-C-S #1	O.3-C-S #2	O.3-C-S #3			
D1 (cm)	5,8	5,8	5,6	5,7	5,7	5,7			
D2 (cm)	5,4	5,5	5,5	5,5	5,5	5,3			
H1 (cm)	10,1	10,1	10,2	10	10,2	10,3			
H2 (cm)	10,1	10	10,1	10,2	10,2	10,5			
Carga (kg)	Deformación (0.001 in)								
2000	1,00	1,00	1,10	1,20	1,20	1,30			
4000	2,20	2,10	2,10	2,20	2,80	2,60			
6000	4,00	3,50	3,20	4,00	4,20	4,00			
8000	5,20	5,00	4,50	5,10	5,70	5,60			
10000	7,00	6,00	5,80	6,20	7,00	7,00			
12000	8,50	7,50	7,00	8,00	8,60	8,50			
14000	10,00	9,00	8,50	9,20	10,00	10,00			
16000	11,60	10,60	10,00	11,00	12,00	11,80			
18000	13,00	12,20	11,80	12,50	14,00	13,50			
20000	15,00	14,20	14,00	14,50	16,00	16,00			
22000	17,90	16,80	16,20	16,80	18,50	18,00			
24000	21,00	19,50	20,50	20,00	21,50	21,50			
26000	25,00	24,10							
28000									
30000									
32000									
MÁXIMO ESFUERZOS A COMPRESIÓN ALCANZADO									
P _{max} (kg)	26.150	26.190	25.020	25.430	25.840	25.400			
σ _{max} (MPa)	36,13	36,18	34,57	35,13	35,70	35,09			
%σ _{alcanzado}	64,5%	64,6%	61,7%	62,7%	63,7%	62,7%			
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>CV</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>C-A 2,58%</td> </tr> <tr> <td>C-S 0,96%</td> </tr> </tbody> </table>						CV	C-A 2,58%	C-S 0,96%
CV									
C-A 2,58%									
C-S 0,96%									

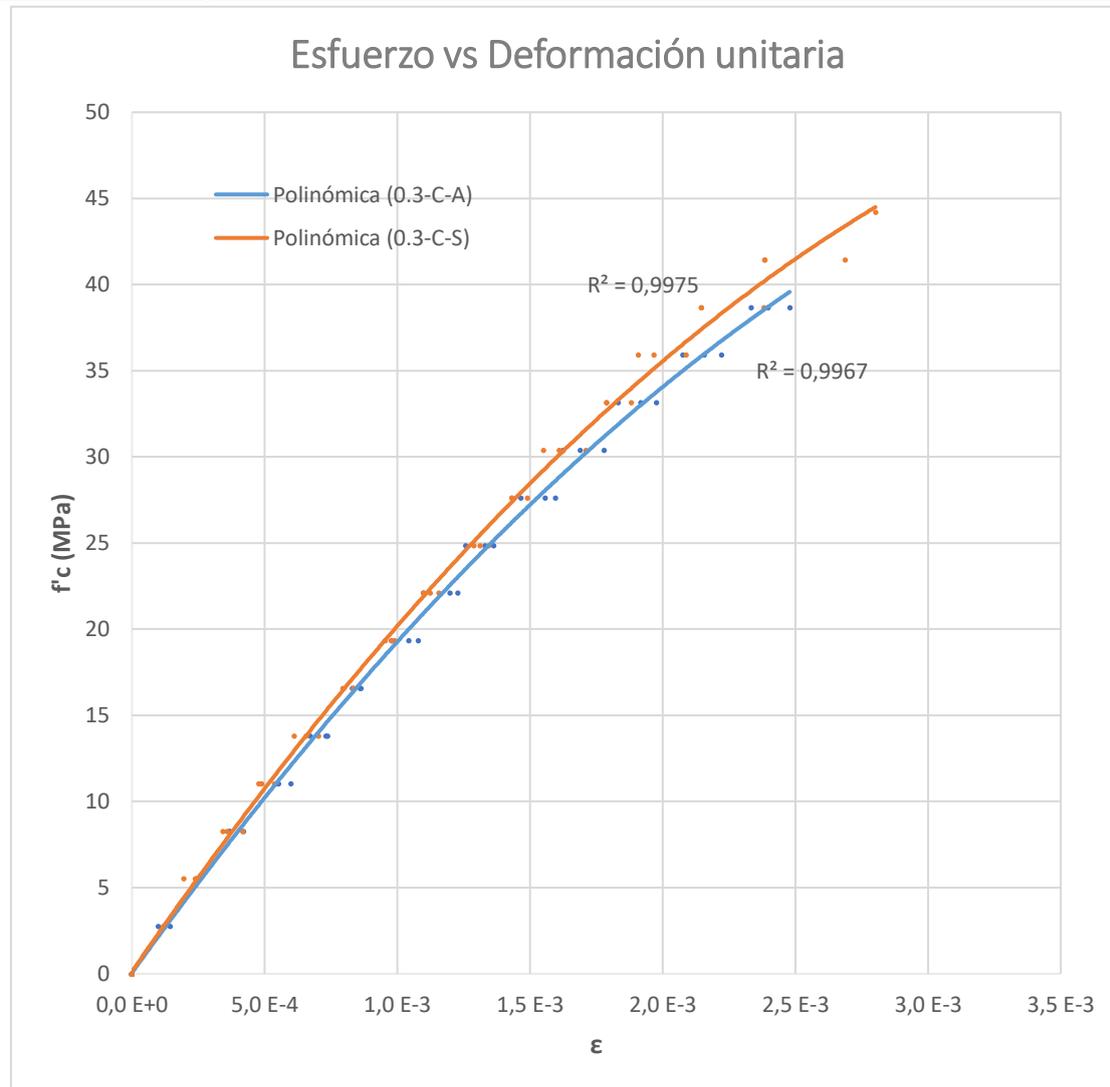
DIAGRAMA DE ESFUERZO VS DEFORMACIÓN UNITARIA						
Dimensiones de ajuste	O.3-C-A #1	O.3-C-A #2	O.3-C-A #3	O.3-C-S #1	O.3-C-S #2	O.3-C-S #3
	cm	cm	cm	cm	cm	cm
L	20,8	20,9	20,7	20,8	20,8	20,6
L1	10,2	10,3	10,3	10,3	10,3	10,1
H _{prom.}	10,1	10,05	10,15	10,1	10,2	10,4
Esfuerzo (MPa)	Deformación unitaria					
0,00	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0
2,76	1,2 E-4	1,2 E-4	1,4 E-4	1,5 E-4	1,5 E-4	1,6 E-4
5,53	2,7 E-4	2,6 E-4	2,6 E-4	2,7 E-4	3,5 E-4	3,1 E-4
8,29	4,9 E-4	4,4 E-4	4,0 E-4	5,0 E-4	5,2 E-4	4,8 E-4
11,05	6,4 E-4	6,2 E-4	5,6 E-4	6,4 E-4	7,0 E-4	6,7 E-4
13,82	8,6 E-4	7,5 E-4	7,2 E-4	7,7 E-4	8,6 E-4	8,4 E-4
16,58	1,0 E-3	9,3 E-4	8,7 E-4	1,0 E-3	1,1 E-3	1,0 E-3
19,34	1,2 E-3	1,1 E-3	1,1 E-3	1,1 E-3	1,2 E-3	1,2 E-3
22,10	1,4 E-3	1,3 E-3	1,2 E-3	1,4 E-3	1,5 E-3	1,4 E-3
24,87	1,6 E-3	1,5 E-3	1,5 E-3	1,6 E-3	1,7 E-3	1,6 E-3
27,63	1,8 E-3	1,8 E-3	1,7 E-3	1,8 E-3	2,0 E-3	1,9 E-3
30,39	2,2 E-3	2,1 E-3	2,0 E-3	2,1 E-3	2,3 E-3	2,2 E-3
33,16	2,6 E-3	2,4 E-3	2,6 E-3	2,5 E-3	2,7 E-3	2,6 E-3
35,92	3,1 E-3	3,0 E-3	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0
38,68	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0
41,45	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0
44,21	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0



MÁXIMO MÓDULO DE ELASTICIDAD ALCANZADO					
Muestra					
0.3-C-A					
Ecuación polinómica					
$\sigma = -3,00E+06 \epsilon^2 + 21132 \epsilon + 0,0431$					
	O.3-C-A #1	O.3-C-A #2	O.3-C-A #3	Promedio	
σ _{40%} (MPa)	14,45	14,47	13,83	14,250	0.3-C-A
					σ _{prom} (MPa) 35,63
Esfuerzos al 50E-5 de la deformación (ε) alcanzada					
ε ₅₀	0,00050			E ₅₀ (MPa)	19718
σ _{ε50} (MPa)	9,859			K	3304
Esfuerzos al 40% del esfuerzo (σ) alcanzado					
ε _{σ40%}	0,00079				
σ _{40%} (MPa)	14,863				
Esfuerzos al 40% del esfuerzo (σ) alcanzado					
Muestra					
0.3-C-S					
Ecuación polinómica					
$\sigma = -2,00E+06 \epsilon^2 + 19788 \epsilon + -0,0774$					
	O.3-C-S #1	O.3-C-S #2	O.3-C-S #3	Promedio	
σ _{40%} (MPa)	14,05	14,28	14,04	14,123	0.3-C-S
					σ _{prom} (MPa) 35,31
Esfuerzos al 50E-5 de la deformación (ε) alcanzada					
ε ₅₀	0,00050			E ₅₀ (MPa)	18633
σ _{ε50} (MPa)	9,317			K	3136
Esfuerzos al 40% del esfuerzo (σ) alcanzado					
ε _{σ40%}	0,00087				
σ _{40%} (MPa)	15,660				
Esfuerzos al 40% del esfuerzo (σ) alcanzado					

COMPRESIÓN Y MÓDULO ELASTICIDAD												
Fecha fundición	10-nov-18											
Fecha ensayo	13-feb-19											
Especímen	Patrón											
∅	9,6 cm											
L	20 cm											
Area	72,38 cm ²											
Propiedades												
f' _C diseño	56 MPa											
Edad	95 días											
Dimensiones de ajuste	Identificación de la muestra											
	O.3-C-A #1	O.3-C-A #2	O.3-C-A #3	O.3-C-S #1	O.3-C-S #2	O.3-C-S #3						
D1 (cm)	5,9	5,5	5,6	5,6	5,6	5,8						
D2 (cm)	5,6	5,4	5,5	5,4	5,4	5,6						
H1 (cm)	10,5	10,4	10,4	10,5	10,5	10,3						
H2 (cm)	10,4	10,2	10,3	10,6	10,6	10,3						
Carga (kg)	Deformación (0.001 in)											
2000	1,20	0,80	1,00	1,00	1,00	1,00						
4000	2,10	2,00	2,00	2,00	2,10	1,60						
6000	3,50	3,00	3,00	3,00	3,50	2,80						
8000	5,00	4,50	4,50	4,00	4,50	4,00						
10000	6,10	6,00	5,50	5,50	5,90	5,00						
12000	7,20	7,00	6,80	7,00	7,00	6,50						
14000	9,00	8,50	8,00	8,00	8,30	8,00						
16000	10,00	10,00	9,00	9,20	9,70	9,20						
18000	11,10	11,10	10,30	10,80	11,00	11,00						
20000	13,00	13,00	12,00	12,00	12,00	12,20						
22000	14,10	14,50	13,30	13,00	13,50	14,00						
24000	16,00	16,10	15,00	15,00	15,00	15,40						
26000	18,00	18,10	17,00	16,00	16,50	17,10						
28000	20,00	20,20	19,10	18,00	18,00	19,50						
30000	-	-	-	20,00	20,00	22,00						
32000	-	-	-	-	23,50	-						
MÁXIMO ESFUERZOS A COMPRESIÓN ALCANZADO												
P _{max} (kg)	29.105	29.264	30.710	31.470	32.610	31.640						
σ _{max} (MPa)	40,21	40,43	42,43	43,48	45,05	43,71						
%σ _{alcanzado}	71,8%	72,2%	75,8%	77,6%	80,5%	78,1%						
	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">CV</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>C-A</td> <td>2,98%</td> </tr> <tr> <td>C-S</td> <td>1,93%</td> </tr> </tbody> </table>						CV		C-A	2,98%	C-S	1,93%
CV												
C-A	2,98%											
C-S	1,93%											

DIAGRAMA DE ESFUERZO VS DEFORMACIÓN UNITARIA						
Dimensiones de ajuste	O.3-C-A #1	O.3-C-A #2	O.3-C-A #3	O.3-C-S #1	O.3-C-S #2	O.3-C-S #3
	cm	cm	cm	cm	cm	cm
L	21,1	20,5	20,7	20,6	20,6	21
L1	10,4	10,2	10,3	10,2	10,2	10,4
H _{prom.}	10,45	10,3	10,35	10,55	10,55	10,3
Esfuerzo (MPa)	Deformación unitaria					
0,00	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0
2,76	1,4 E-4	9,8 E-5	1,2 E-4	1,2 E-4	1,2 E-4	1,2 E-4
5,53	2,5 E-4	2,5 E-4	2,4 E-4	2,4 E-4	2,5 E-4	2,0 E-4
8,29	4,2 E-4	3,7 E-4	3,7 E-4	3,6 E-4	4,2 E-4	3,4 E-4
11,05	6,0 E-4	5,5 E-4	5,5 E-4	4,8 E-4	5,4 E-4	4,9 E-4
13,82	7,3 E-4	7,4 E-4	6,7 E-4	6,6 E-4	7,0 E-4	6,1 E-4
16,58	8,6 E-4	8,6 E-4	8,3 E-4	8,3 E-4	8,3 E-4	7,9 E-4
19,34	1,1 E-3	1,0 E-3	9,8 E-4	9,5 E-4	9,9 E-4	9,8 E-4
22,10	1,2 E-3	1,2 E-3	1,1 E-3	1,1 E-3	1,2 E-3	1,1 E-3
24,87	1,3 E-3	1,4 E-3	1,3 E-3	1,3 E-3	1,3 E-3	1,3 E-3
27,63	1,6 E-3	1,6 E-3	1,5 E-3	1,4 E-3	1,4 E-3	1,5 E-3
30,39	1,7 E-3	1,8 E-3	1,6 E-3	1,5 E-3	1,6 E-3	1,7 E-3
33,16	1,9 E-3	2,0 E-3	1,8 E-3	1,8 E-3	1,8 E-3	1,9 E-3
35,92	2,2 E-3	2,2 E-3	2,1 E-3	1,9 E-3	2,0 E-3	2,1 E-3
38,68	2,4 E-3	2,5 E-3	2,3 E-3	2,1 E-3	2,1 E-3	2,4 E-3
41,45	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0	2,4 E-3	2,4 E-3	2,7 E-3
44,21	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0	2,8 E-3	0,0 E+0

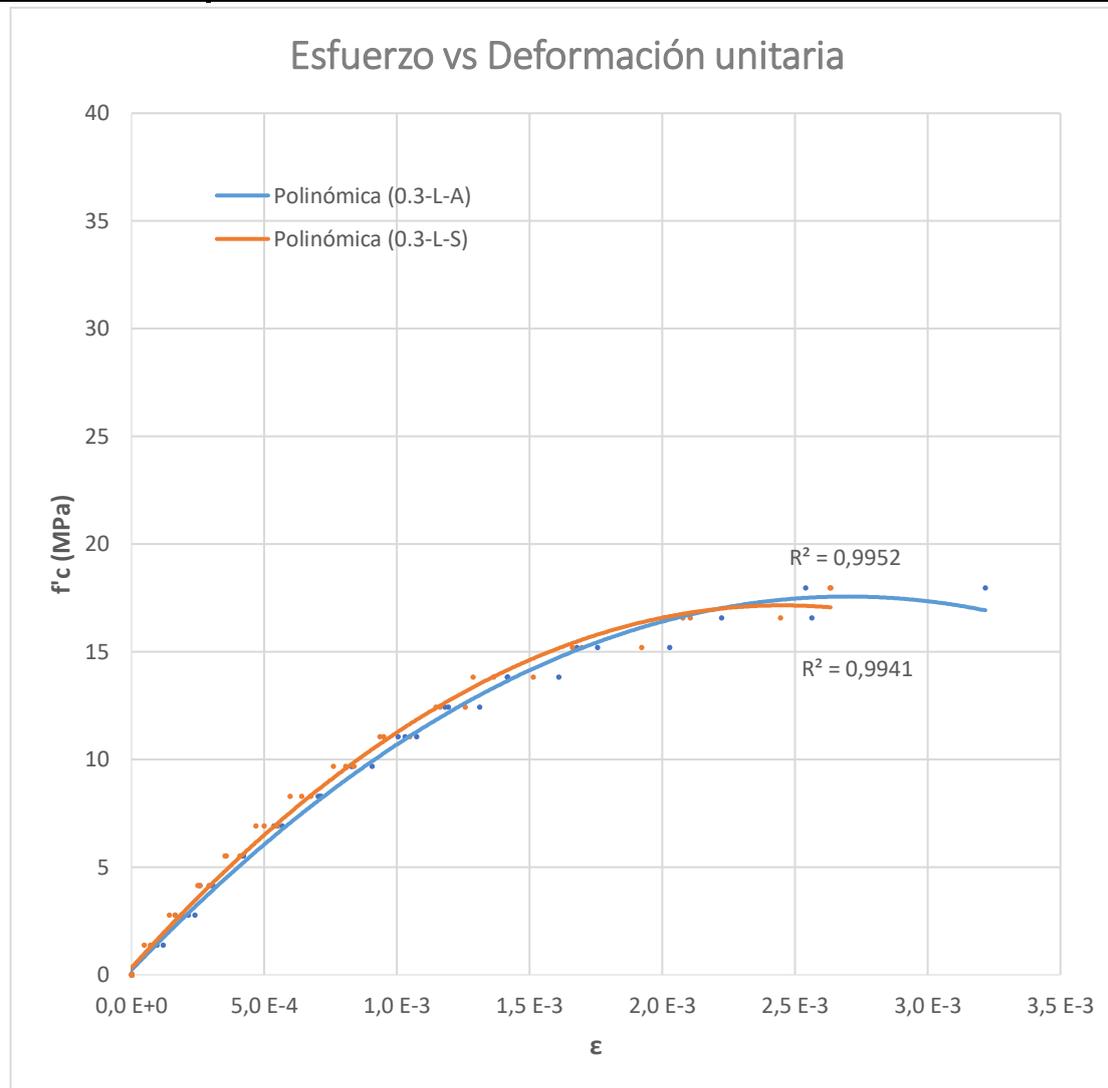


MÁXIMO MÓDULO DE ELASTICIDAD ALCANZADO					
Muestra					
0.3-C-A					
Ecuación polinómica					
$\sigma = -2,00E+06 \epsilon^2 + 22346 \epsilon + 0,0597$					
$\sigma_{40\%}$ (MPa)	0.3-C-A #1	0.3-C-A #2	0.3-C-A #3	Promedio	0.3-C-A
16,08	16,17	16,97	16,409	σ_{prom} (MPa)	41,02
Esfuerzos al 50E-5 de la deformación (ϵ) alcanzada					
ϵ_{50}	0,00050	E_{50} (MPa)	21465	E_{NSR10} (MPa) 30.103	
$\sigma_{\epsilon 50}$ (MPa)	10,733	K	3351		
Esfuerzos al 40% del esfuerzo (σ) alcanzado					
$\epsilon_{\sigma 40\%}$	0,00083				
$\sigma_{40\%}$ (MPa)	17,234				
Muestra					
0.3-C-S					
Ecuación polinómica					
$\sigma = -2,00E+06 \epsilon^2 + 23360 \epsilon + 0,1383$					
$\sigma_{40\%}$ (MPa)	0.3-C-S #1	0.3-C-S #2	0.3-C-S #3	Promedio	0.3-C-S
17,39	18,02	17,48	17,632	σ_{prom} (MPa)	44,08
Esfuerzos al 50E-5 de la deformación (ϵ) alcanzada					
ϵ_{50}	0,00050	E_{50} (MPa)	22637	E_{NSR10} (MPa) 31.205	
$\sigma_{\epsilon 50}$ (MPa)	11,318	K	3409		
Esfuerzos al 40% del esfuerzo (σ) alcanzado					
$\epsilon_{\sigma 40\%}$	0,00087				
$\sigma_{40\%}$ (MPa)	18,991				



COMPRESIÓN Y MÓDULO ELASTICIDAD									
Fecha fundición	11-nov-18								
Fecha ensayo	18-nov-18								
Especímen	Ladrillo triturado								
∅	9,6 cm								
L	20 cm								
Area	72,38 cm ²								
Propiedades									
f' _c diseño	56 MPa								
Edad	7 días								
Dimensiones de ajuste	Identificación de la muestra								
	O.3-L-A #1	O.3-L-A #2	O.3-L-A #3	O.3-L-S #1	O.3-L-S #2	O.3-L-S #3			
D1 (cm)	5,7	5,8	5,9	5,8	5,6	5,9			
D2 (cm)	5,5	5,5	5,5	5,4	5,4	5,4			
H1 (cm)	10,6	10,6	10,5	10,6	10,6	10,7			
H2 (cm)	10,7	10,8	10,4	10,8	10,6	10,5			
Carga (kg)	Deformación (0.001 in)								
1000	1,00	0,70	0,80	0,70	0,40	0,60			
2000	1,80	1,40	2,00	1,60	1,20	1,40			
3000	2,60	2,20	2,50	2,50	2,10	2,20			
4000	3,50	3,60	3,50	3,50	3,00	3,00			
5000	4,80	4,70	4,50	4,70	4,20	4,00			
6000	6,00	6,00	6,00	5,80	5,40	5,10			
7000	7,00	7,10	7,60	7,20	6,80	6,50			
8000	8,50	8,80	9,00	9,00	8,00	8,00			
9000	10,00	10,20	11,00	10,80	9,80	9,80			
10000	12,00	12,10	13,50	13,00	11,50	11,00			
11000	14,20	15,00	17,00	16,50	14,00	14,50			
12000	17,00	19,00	21,50	21,00	17,50	18,00			
13000	21,50	27,50			22,20	22,50			
14000									
15000									
16000									
MÁXIMO ESFUERZOS A COMPRESIÓN ALCANZADO									
P _{max} (kg)	13.778	13.120	12.340	12.846	13.116	13.778			
σ _{max} (MPa)	19,04	18,13	17,05	17,75	18,12	19,04			
%σ _{alcanzado}	34,0%	32,4%	30,4%	31,7%	32,4%	34,0%			
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>CV</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>L-A 5,50%</td> </tr> <tr> <td>L-S 3,62%</td> </tr> </tbody> </table>						CV	L-A 5,50%	L-S 3,62%
CV									
L-A 5,50%									
L-S 3,62%									

DIAGRAMA DE ESFUERZO VS DEFORMACIÓN UNITARIA						
Dimensiones de ajuste	O.3-L-A #1	O.3-L-A #2	O.3-L-A #3	O.3-L-S #1	O.3-L-S #2	O.3-L-S #3
	cm	cm	cm	cm	cm	cm
L	20,8	20,9	21	20,8	20,6	20,9
L1	10,3	10,3	10,3	10,2	10,2	10,2
H _{prom.}	10,65	10,7	10,45	10,7	10,6	10,6
Esfuerzo (MPa)	Deformación unitaria					
0,00	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0
1,38	1,2 E-4	8,2 E-5	9,5 E-5	8,1 E-5	4,7 E-5	7,0 E-5
2,76	2,1 E-4	1,6 E-4	2,4 E-4	1,9 E-4	1,4 E-4	1,6 E-4
4,14	3,1 E-4	2,6 E-4	3,0 E-4	2,9 E-4	2,5 E-4	2,6 E-4
5,53	4,1 E-4	4,2 E-4	4,2 E-4	4,1 E-4	3,6 E-4	3,5 E-4
6,91	5,7 E-4	5,5 E-4	5,4 E-4	5,5 E-4	5,0 E-4	4,7 E-4
8,29	7,1 E-4	7,0 E-4	7,2 E-4	6,8 E-4	6,4 E-4	6,0 E-4
9,67	8,3 E-4	8,3 E-4	9,1 E-4	8,4 E-4	8,1 E-4	7,6 E-4
11,05	1,0 E-3	1,0 E-3	1,1 E-3	1,0 E-3	9,5 E-4	9,4 E-4
12,43	1,2 E-3	1,2 E-3	1,3 E-3	1,3 E-3	1,2 E-3	1,1 E-3
13,82	1,4 E-3	1,4 E-3	1,6 E-3	1,5 E-3	1,4 E-3	1,3 E-3
15,20	1,7 E-3	1,8 E-3	2,0 E-3	1,9 E-3	1,7 E-3	1,7 E-3
16,58	2,0 E-3	2,2 E-3	2,6 E-3	2,4 E-3	2,1 E-3	2,1 E-3
17,96	2,5 E-3	3,2 E-3	0,0 E+0	0,0 E+0	2,6 E-3	2,6 E-3
19,34	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0
20,72	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0
22,10	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0



MÁXIMO MÓDULO DE ELASTICIDAD ALCANZADO						
Muestra						
0.3-L-A						
Ecuación polinómica						
$\sigma = -2,00E+06 \epsilon^2 + 13406 \epsilon + 0,2297$						
	0.3-L-A #1	0.3-L-A #2	0.3-L-A #3	Promedio	0.3-L-A	
$\sigma_{40\%}$ (MPa)	7,61	7,25	6,82	7,228	σ_{prom} (MPa) 18,07	
Esfuerzos al 50E-5 de la deformación (ϵ) alcanzada						
ϵ_{50}	0,00050			E_{50} (MPa)	E_{NSR10} (MPa) 19.979	
$\sigma_{\epsilon 50}$ (MPa)	6,433			K	3027	
Esfuerzos al 40% del esfuerzo (σ) alcanzado						
$\epsilon_{\sigma 40\%}$	0,00061					
$\sigma_{40\%}$ (MPa)	7,616					
Muestra						
0.3-L-S						
Ecuación polinómica						
$\sigma = -3,00E+06 \epsilon^2 + 14307 \epsilon + 0,3465$						
	0.3-L-S #1	0.3-L-S #2	0.3-L-S #3	Promedio	0.3-L-S	
$\sigma_{40\%}$ (MPa)	7,10	7,25	7,61	7,320	σ_{prom} (MPa) 18,30	
Esfuerzos al 50E-5 de la deformación (ϵ) alcanzada						
ϵ_{50}	0,00050			E_{50} (MPa)	E_{NSR10} (MPa) 20.106	
$\sigma_{\epsilon 50}$ (MPa)	6,750			K	3156	
Esfuerzos al 40% del esfuerzo (σ) alcanzado						
$\epsilon_{\sigma 40\%}$	0,00058					
$\sigma_{40\%}$ (MPa)	7,674					



COMPRESIÓN Y MÓDULO ELASTICIDAD												
Fecha fundición	11-nov-18											
Fecha ensayo	7-dic-18											
Especímen	Ladrillo triturado											
∅	9,6 cm											
L	20 cm											
Area	72,38 cm ²											
Propiedades												
f' _c diseño	56 MPa											
Edad	26 días											
Dimensiones de ajuste	Identificación de la muestra											
	O.3-L-A #1	O.3-L-A #2	O.3-L-A #3	O.3-L-S #1	O.3-L-S #2	O.3-L-S #3						
D1 (cm)	5,7	5,6	5,7	5,6	5,7	5,7						
D2 (cm)	5,5	5,5	5,4	5,5	5,5	5,6						
H1 (cm)	10,3	10,1	10,5	10,2	10,3	10,1						
H2 (cm)	10,2	10,3	10,6	10,1	10,4	10,1						
Carga (kg)	Deformación (0.001 in)											
2000	1,20	1,30	1,50	1,00	1,20	1,10						
4000	2,60	2,70	3,00	2,00	2,60	1,80						
6000	4,00	4,00	4,90	3,00	4,20	4,00						
8000	5,60	5,80	6,20	4,50	6,00	5,80						
10000	7,00	7,30	8,00	5,50	7,50	7,10						
12000	9,00	9,00	9,80	7,00	9,00	9,10						
14000	10,50	11,00	11,80	8,50	11,00	11,00						
16000	12,20	13,00	14,00	10,50	13,00	13,00						
18000	14,80	15,50	16,00	12,50	15,00	15,50						
20000	17,50	18,50	19,50	14,60	18,20	17,80						
22000	21,00	22,00	24,00	17,50	22,00	22,10						
24000				21,00								
26000												
28000												
30000												
32000												
MÁXIMO ESFUERZOS A COMPRESIÓN ALCANZADO												
P _{max} (kg)	23.850	23.170	23.250	25.290	22.690	23.420						
σ _{max} (MPa)	32,95	32,01	32,12	34,94	31,35	32,36						
%σ _{alcanzado}	58,8%	57,2%	57,4%	62,4%	56,0%	57,8%						
	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">CV</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>L-A</td> <td>1,59%</td> </tr> <tr> <td>L-S</td> <td>5,63%</td> </tr> </tbody> </table>						CV		L-A	1,59%	L-S	5,63%
CV												
L-A	1,59%											
L-S	5,63%											

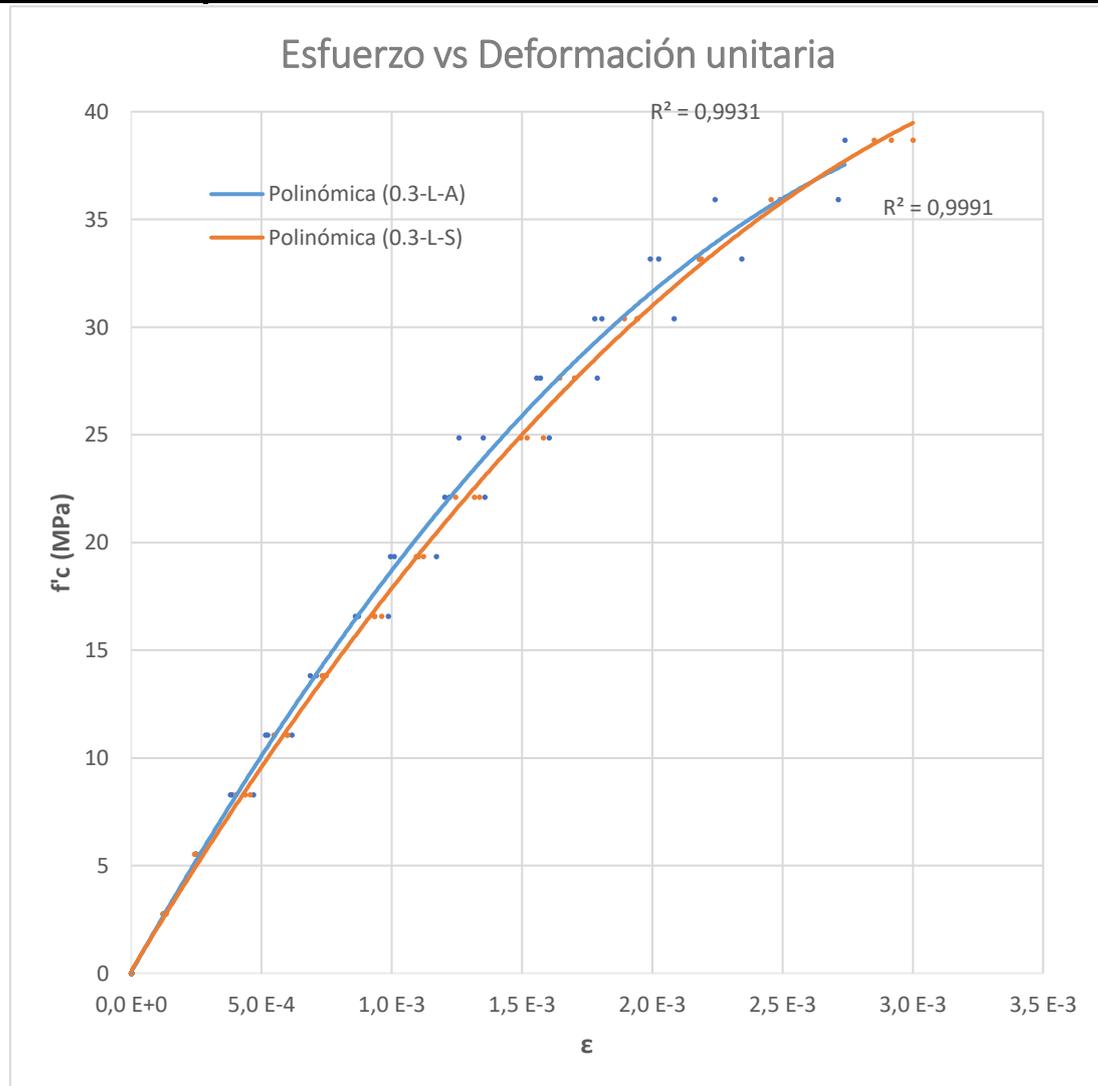
DIAGRAMA DE ESFUERZO VS DEFORMACIÓN UNITARIA						
Dimensiones de ajuste	O.3-L-A #1	O.3-L-A #2	O.3-L-A #3	O.3-L-S #1	O.3-L-S #2	O.3-L-S #3
	cm	cm	cm	cm	cm	cm
L	20,8	20,7	20,7	20,7	20,8	20,9
L1	10,3	10,3	10,2	10,3	10,3	10,4
H _{prom.}	10,25	10,2	10,55	10,15	10,35	10,1
Esfuerzo (MPa)	Deformación unitaria					
0,00	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0
2,76	1,5 E-4	1,6 E-4	1,8 E-4	1,2 E-4	1,5 E-4	1,4 E-4
5,53	3,2 E-4	3,3 E-4	3,6 E-4	2,5 E-4	3,2 E-4	2,3 E-4
8,29	4,9 E-4	5,0 E-4	5,8 E-4	3,7 E-4	5,1 E-4	5,0 E-4
11,05	6,9 E-4	7,2 E-4	7,4 E-4	5,6 E-4	7,3 E-4	7,3 E-4
13,82	8,6 E-4	9,0 E-4	9,5 E-4	6,8 E-4	9,1 E-4	8,9 E-4
16,58	1,1 E-3	1,1 E-3	1,2 E-3	8,7 E-4	1,1 E-3	1,1 E-3
19,34	1,3 E-3	1,4 E-3	1,4 E-3	1,1 E-3	1,3 E-3	1,4 E-3
22,10	1,5 E-3	1,6 E-3	1,7 E-3	1,3 E-3	1,6 E-3	1,6 E-3
24,87	1,8 E-3	1,9 E-3	1,9 E-3	1,6 E-3	1,8 E-3	1,9 E-3
27,63	2,1 E-3	2,3 E-3	2,3 E-3	1,8 E-3	2,2 E-3	2,2 E-3
30,39	2,6 E-3	2,7 E-3	2,8 E-3	2,2 E-3	2,7 E-3	2,8 E-3
33,16	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0	2,6 E-3	0,0 E+0	0,0 E+0
35,92	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0
38,68	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0
41,45	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0
44,21	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0



MÁXIMO MÓDULO DE ELASTICIDAD ALCANZADO					
Muestra					
0.3-L-A					
Ecuación polinómica					
$\sigma = -2,00E+06 \epsilon^2 + 16964 \epsilon + -0,0033$					
$\sigma_{40\%}$ (MPa)	0.3-L-A #1	0.3-L-A #2	0.3-L-A #3	Promedio	0.3-L-A
13,18	12,80	12,85	12,944	σ_{prom} (MPa)	32,36
Esfuerzos al 50E-5 de la deformación (ϵ) alcanzada					
ϵ_{50}	0,00050	E_{50} (MPa)	15957	E_{NSR10} (MPa) 26.737	
$\sigma_{\epsilon 50}$ (MPa)	7,979	K	2805		
Esfuerzos al 40% del esfuerzo (σ) alcanzado					
$\epsilon_{\sigma 40\%}$	0,00082				
$\sigma_{40\%}$ (MPa)	12,510				
Muestra					
0.3-L-S					
Ecuación polinómica					
$\sigma = -3,00E+06 \epsilon^2 + 17754 \epsilon + 0,1403$					
$\sigma_{40\%}$ (MPa)	0.3-L-S #1	0.3-L-S #2	0.3-L-S #3	Promedio	0.3-L-S
13,98	12,54	12,94	13,152	σ_{prom} (MPa)	32,88
Esfuerzos al 50E-5 de la deformación (ϵ) alcanzada					
ϵ_{50}	0,00050	E_{50} (MPa)	16535	E_{NSR10} (MPa) 26.951	
$\sigma_{\epsilon 50}$ (MPa)	8,267	K	2884		
Esfuerzos al 40% del esfuerzo (σ) alcanzado					
$\epsilon_{\sigma 40\%}$	0,00079				
$\sigma_{40\%}$ (MPa)	12,264				

COMPRESIÓN Y MÓDULO ELASTICIDAD									
Fecha fundición	11-nov-18								
Fecha ensayo	13-feb-19								
Especímen	Ladrillo triturado								
∅	9,6 cm								
L	20 cm								
Area	72,38 cm ²								
Propiedades									
f ^c diseño	56 MPa								
Edad	94 días								
Dimensiones de ajuste	Identificación de la muestra								
	O.3-L-A #1	O.3-L-A #2	O.3-L-A #3	O.3-L-S #1	O.3-L-S #2	O.3-L-S #3			
D1 (cm)	5,5	5,6	5,5	5,6	5,7	5,4			
D2 (cm)	5,4	5,6	5,6	5,6	5,4	5,3			
H1 (cm)	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3			
H2 (cm)	10,3	10,3	10,2	10,1	10,6	10,5			
Carga (kg)	Deformación (0.001 in)								
2000	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,10			
4000	2,00	2,00	2,00	2,00	2,20	2,00			
6000	3,10	3,80	3,10	3,50	3,80	3,30			
8000	4,20	5,00	4,20	4,80	5,00	4,50			
10000	5,60	6,00	5,70	6,00	6,10	6,10			
12000	7,00	8,00	7,00	7,50	7,80	7,90			
14000	8,10	9,50	8,10	9,00	9,20	9,00			
16000	9,80	11,00	9,80	10,00	11,00	11,00			
18000	11,00	13,00	10,10	12,00	13,20	12,50			
20000	12,80	14,50	12,50	13,20	14,20	14,00			
22000	14,50	16,90	14,50	15,20	16,20	16,00			
24000	16,50	19,00	16,00	17,50	18,20	18,00			
26000		22,00	18,00	20,00	20,50	20,50			
28000			22,00	24,10	23,80	24,00			
30000									
32000									
MÁXIMO ESFUERZOS A COMPRESIÓN ALCANZADO									
P _{max} (kg)	25.560	26.890	28.040	28.220	28.520	28.940			
σ _{max} (MPa)	35,31	37,15	38,74	38,99	39,40	39,98			
%σ _{alcanzado}	63,1%	66,3%	69,2%	69,6%	70,4%	71,4%			
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>CV</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>L-A 4,63%</td> </tr> <tr> <td>L-S 1,27%</td> </tr> </tbody> </table>						CV	L-A 4,63%	L-S 1,27%
CV									
L-A 4,63%									
L-S 1,27%									

DIAGRAMA DE ESFUERZO VS DEFORMACIÓN UNITARIA						
Dimesiones de ajsute	O.3-L-A #1	O.3-L-A #2	O.3-L-A #3	O.3-L-S #1	O.3-L-S #2	O.3-L-S #3
	cm	cm	cm	cm	cm	cm
L	20,5	20,8	20,7	20,8	20,7	20,3
L1	10,2	10,4	10,4	10,4	10,2	10,1
H _{prom.}	10,3	10,3	10,25	10,2	10,45	10,4
Esfuerzo (MPa)	Deformación unitaria					
0,00	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0
2,76	1,2 E-4	1,2 E-4	1,2 E-4	1,2 E-4	1,2 E-4	1,3 E-4
5,53	2,5 E-4	2,5 E-4	2,5 E-4	2,5 E-4	2,6 E-4	2,4 E-4
8,29	3,8 E-4	4,7 E-4	3,9 E-4	4,4 E-4	4,6 E-4	4,0 E-4
11,05	5,2 E-4	6,2 E-4	5,2 E-4	6,0 E-4	6,0 E-4	5,5 E-4
13,82	6,9 E-4	7,4 E-4	7,1 E-4	7,5 E-4	7,3 E-4	7,4 E-4
16,58	8,6 E-4	9,9 E-4	8,7 E-4	9,3 E-4	9,3 E-4	9,6 E-4
19,34	9,9 E-4	1,2 E-3	1,0 E-3	1,1 E-3	1,1 E-3	1,1 E-3
22,10	1,2 E-3	1,4 E-3	1,2 E-3	1,2 E-3	1,3 E-3	1,3 E-3
24,87	1,3 E-3	1,6 E-3	1,3 E-3	1,5 E-3	1,6 E-3	1,5 E-3
27,63	1,6 E-3	1,8 E-3	1,6 E-3	1,6 E-3	1,7 E-3	1,7 E-3
30,39	1,8 E-3	2,1 E-3	1,8 E-3	1,9 E-3	1,9 E-3	1,9 E-3
33,16	2,0 E-3	2,3 E-3	2,0 E-3	2,2 E-3	2,2 E-3	2,2 E-3
35,92	0,0 E+0	2,7 E-3	2,2 E-3	2,5 E-3	2,5 E-3	2,5 E-3
38,68	0,0 E+0	0,0 E+0	2,7 E-3	3,0 E-3	2,9 E-3	2,9 E-3
41,45	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0
44,21	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0	0,0 E+0



MÁXIMO MÓDULO DE ELASTICIDAD ALCANZADO

Muestra
0.3-L-A

Ecuación polinómica	
$\sigma =$	$-3,00E+06 \epsilon^2 + 20425 \epsilon + 0,0549$

	O.3-L-A #1	O.3-L-A #2	O.3-L-A #3	Promedio
$\sigma_{40\%}$ (MPa)	14,13	14,86	15,50	14,827

0.3-L-A	
σ_{prom} (MPa)	37,07

Esfuerzos al 50E-5 de la deformación (ϵ) alcanzada

ϵ_{50}	0,00050
$\sigma_{\epsilon 50}$ (MPa)	9,517

E_{50} (MPa)	19035
K	3126

E_{NSR10} (MPa)	28.615
-------------------	--------

Esfuerzos al 40% del esfuerzo (σ) alcanzado

$\epsilon_{\sigma 40\%}$	0,00077
$\sigma_{40\%}$ (MPa)	13,968

Muestra
0.3-L-S

Ecuación polinómica	
$\sigma =$	$-2,00E+06 \epsilon^2 + 20923 \epsilon + 0,1266$

	O.3-L-S #1	O.3-L-S #2	O.3-L-S #3	Promedio
$\sigma_{40\%}$ (MPa)	15,59	15,76	15,99	15,783

0.3-L-S	
σ_{prom} (MPa)	39,46

Esfuerzos al 50E-5 de la deformación (ϵ) alcanzada

ϵ_{50}	0,00050
$\sigma_{\epsilon 50}$ (MPa)	10,088

E_{50} (MPa)	20176
K	3212

E_{NSR10} (MPa)	29.523
-------------------	--------

Esfuerzos al 40% del esfuerzo (σ) alcanzado

$\epsilon_{\sigma 40\%}$	0,00085
$\sigma_{40\%}$ (MPa)	16,462

VELOCIDAD DE PULSO
MÉTODO DE ENSAYO NTC - 4325

$L_{\text{calibración}}$ 0,0002 km

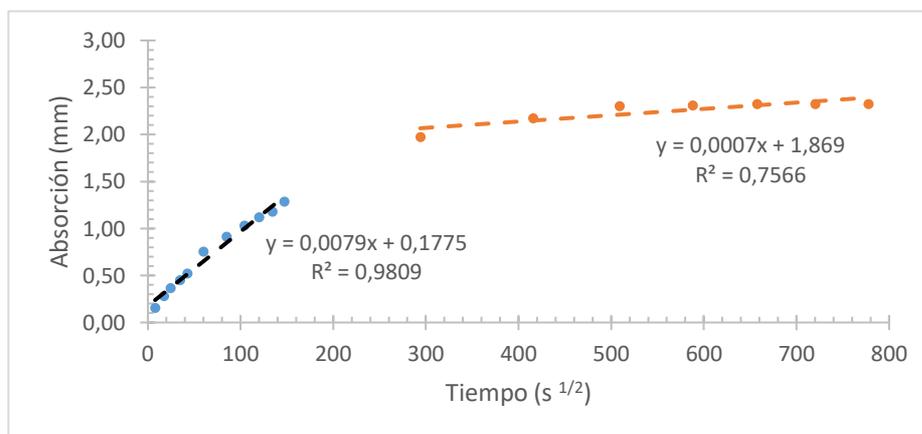
Especímenes	Ensayo 17-nov-18				Ensayo 7-dic-18				Ensayo 13-feb-19				
	Edad 7 días				Edad 28 días				Edad 90 días				
	7d	28d	90d	T (μs)	M1	M2	M3	T (μs)	M1	M2	M3	T (μs)	
0.3-C-S	1	55,2	55,4	55,5	55,4	53,2	53,1	54,2	53,5	50,4	50,7	50,5	50,5
	2	56,3	56,6	56,8	56,6	52,6	52,7	52,9	52,7	50,9	51,4	51,1	51,1
	3	56,8	57,0	57,2	57,0	54,0	54,6	55,2	54,6	52,0	52,4	52,2	52,2
0.3-C-A	1	56,9	56,7	56,5	56,7	51,9	52,5	52,7	52,4	53,3	51,8	52,0	52,4
	2	57,3	57,0	57,2	57,2	52,2	53,6	52,9	52,9	54,0	51,9	52,0	52,6
	3	58,0	57,9	57,7	57,9	51,2	54,5	54,6	53,4	52,5	51,2	50,9	51,5
0.3-L-S	1	58,8	58,9	58,6	58,8	54,8	55,2	55,4	55,1	54,7	55,3	55,2	55,1
	2	58,8	58,7	58,5	58,7	55,0	55,3	55,5	55,3	53,5	53,8	53,3	53,5
	3	59,8	60,5	60,2	60,2	55,8	55,5	56,2	55,8	54,1	53,8	53,7	53,9
0.3-L-A	1	59,2	58,7	58,9	58,9	54,9	55,2	55,4	55,2	54,2	54,7	54,4	54,4
	2	58,8	58,4	58,7	58,6	54,8	54,7	54,9	54,8	55,1	54,5	54,7	54,8
	3	59,7	59,6	59,4	59,6	55,5	55,8	55,3	55,5	53,0	53,3	53,5	53,3
0.3-A-S	1	58,0	58,3	58,5	58,3	53,2	53,6	54,1	53,6	53,0	53,2	53,5	53,2
	2	58,8	58,7	58,3	58,6	55,1	54,5	54,1	54,6	52,5	52,8	53,4	52,9
	3	58,7	59,1	59,4	59,1	54,2	54,6	54,9	54,6	51,9	52,2	52,3	52,1
0.3-A-A	1	57,7	57,9	57,5	57,7	54,4	54,7	55,0	54,7	53,2	52,0	52,2	52,5
	2	58,9	58,5	58,7	58,7	54,2	54,4	54,7	54,4	52,6	52,1	51,5	52,1
	3	56,4	56,7	57,0	56,7	54,1	54,6	55,0	54,6	53,6	53,4	53,2	53,4

Especímenes	$f'c_{7\text{días}}$ (MPa)	$VPU_{7\text{días}}$ (km/s)	$f'c_{28\text{días}}$ (MPa)	$VPU_{28\text{días}}$ (km/s)	$f'c_{90\text{días}}$ (MPa)	$VPU_{90\text{días}}$ (km/s)	CV_{VPU} (%)	
0.3-C-S	1	18,72	3,61	35,13	3,74	43,48	3,96	4,6
	2	19,31	3,54	35,70	3,79	45,05	3,91	5,1
	3	18,35	3,51	35,09	3,66	43,71	3,83	4,4
0.3-C-A	1	18,72	3,53	36,13	3,82	40,21	3,82	4,5
	2	19,81	3,50	36,18	3,78	40,43	3,80	4,6
	3	19,63	3,46	34,57	3,74	42,43	3,88	5,9
0.3-L-S	1	17,75	3,40	34,94	3,63	38,99	3,63	3,7
	2	18,12	3,41	31,35	3,62	39,40	3,74	4,6
	3	19,04	3,32	32,36	3,58	39,98	3,71	5,6
0.3-L-A	1	19,04	3,39	32,95	3,63	35,31	3,67	4,2
	2	18,13	3,41	32,01	3,65	37,15	3,65	3,9
	3	17,05	3,36	32,12	3,60	38,74	3,75	5,6
0.3-A-S	1	21,26	3,43	33,71	3,73	40,40	3,76	4,9
	2	20,18	3,41	32,09	3,67	39,97	3,78	5,2
	3	19,89	3,39	32,78	3,67	39,99	3,84	6,3
0.3-A-A	1	22,85	3,47	32,95	3,66	38,02	3,81	4,8
	2	22,57	3,41	34,87	3,67	38,26	3,84	6,0
	3	22,00	3,53	33,92	3,67	38,35	3,75	3,0

**Ritmo de absorción de agua (SORPTIVIDAD)
ASTM C1585**

Especímen	0.3 - A - A	Fecha Fundición	10-nov-18
Muestra	1	Fecha Ensayo	19-nov-18
Diámetro	96 mm	Edad	9 días
Espesor	50 mm	Densidad agua	0,001 g/mm³
Masa	751,44 g	Temperatura agua	20°C
Area expuesta	7238 mm²		

Tomada de datos	Tiempo (s ^{1/2})	Masa (g)	Δ Masa (g)	Absorción l (mm)
0 min	0	751,44	0,00	0,00
1 min	8	752,58	1,14	0,16
5 min	17	753,50	2,06	0,28
10 min	24	754,10	2,66	0,37
20 min	35	754,73	3,29	0,45
30 min	42	755,23	3,79	0,52
1 h	60	756,91	5,47	0,76
2 h	85	758,06	6,62	0,91
3 h	104	758,93	7,49	1,03
4 h	120	759,57	8,13	1,12
5 h	134	759,98	8,54	1,18
6 h	147	760,77	9,33	1,29
1 d	294	765,73	14,29	1,97
2 d	416	767,19	15,75	2,18
3 d	509	768,13	16,69	2,31
4 d	588	768,16	16,72	2,31
5 d	657	768,29	16,85	2,33
6 d	720	768,28	16,84	2,33
7 d	778	768,27	16,83	2,33

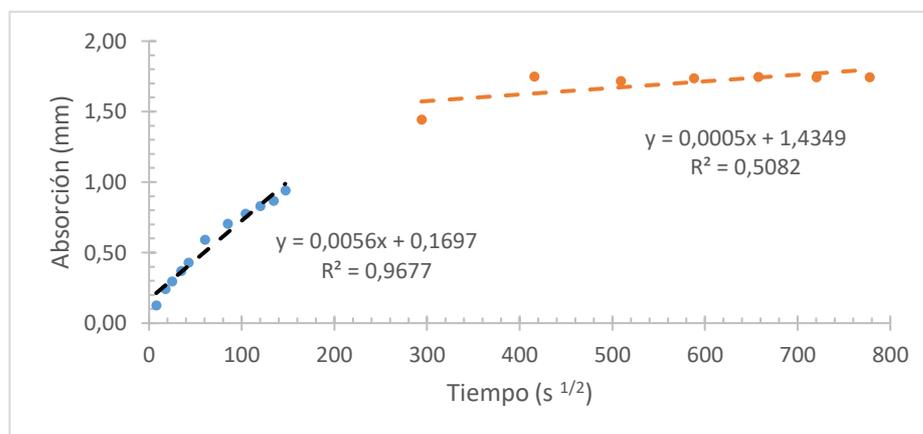


V _{inicial}	0,0079 mm/s^{1/2}	R _{inicial}	0,99
V _{secundario}	0,0007 mm/s^{1/2}	R _{secundario}	0,87

**Ritmo de absorción de agua (SORPTIVIDAD)
ASTM C1585**

Especímen	0.3 - A - A	Fecha Fundición	10-nov-18
Muestra	2	Fecha Ensayo	19-nov-18
Diámetro	96 mm	Edad	9 días
Espesor	50 mm	Densidad agua	0,001 g/mm³
Masa	736,24 g	Temperatura agua	20°C
Area expuesta	7238 mm²		

Toma de datos	Tiempo (s ^{1/2})	Masa (g)	Δ Masa (g)	Absorción l (mm)
0 min	0	736,24	0,00	0,00
1 min	8	737,17	0,93	0,13
5 min	17	738,00	1,76	0,24
10 min	24	738,40	2,16	0,30
20 min	35	738,93	2,69	0,37
30 min	42	739,35	3,11	0,43
1 h	60	740,54	4,30	0,59
2 h	85	741,35	5,11	0,71
3 h	104	741,86	5,62	0,78
4 h	120	742,26	6,02	0,83
5 h	134	742,53	6,29	0,87
6 h	147	743,07	6,83	0,94
1 d	294	746,70	10,46	1,45
2 d	416	748,91	12,67	1,75
3 d	509	748,68	12,44	1,72
4 d	588	748,82	12,58	1,74
5 d	657	748,90	12,66	1,75
6 d	720	748,88	12,64	1,75
7 d	778	748,87	12,63	1,74

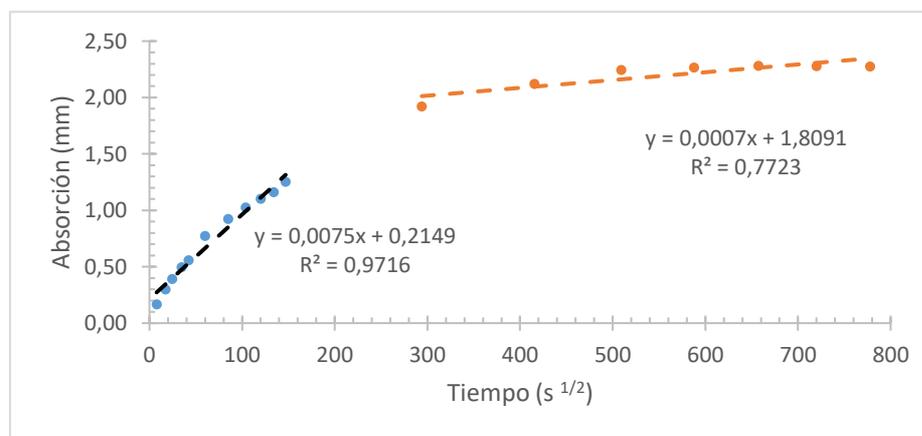


V _{inicial}	0,0056 mm/s^{1/2}	R _{inicial}	0,98
V _{secundario}	0,0005 mm/s^{1/2}	R _{secundario}	0,71

**Ritmo de absorción de agua (SORPTIVIDAD)
ASTM C1585**

Especímen	0.3 - A - A	Fecha Fundición	10-nov-18
Muestra	3	Fecha Ensayo	19-nov-18
Diámetro	96 mm	Edad	9 días
Espesor	50 mm	Densidad agua	0,001 g/mm³
Masa	723,43 g	Temperatura agua	20°C
Area expuesta	7238 mm²		

Toma de datos	Tiempo (s ^{1/2})	Masa (g)	Δ Masa (g)	Absorción l (mm)
0 min	0	723,43	0,00	0,00
1 min	8	724,65	1,22	0,17
5 min	17	725,61	2,18	0,30
10 min	24	726,28	2,85	0,39
20 min	35	727,04	3,61	0,50
30 min	42	727,48	4,05	0,56
1 h	60	729,05	5,62	0,78
2 h	85	730,13	6,70	0,93
3 h	104	730,86	7,43	1,03
4 h	120	731,43	8,00	1,11
5 h	134	731,84	8,41	1,16
6 h	147	732,52	9,09	1,26
1 d	294	737,34	13,91	1,92
2 d	416	738,80	15,37	2,12
3 d	509	739,70	16,27	2,25
4 d	588	739,85	16,42	2,27
5 d	657	739,95	16,52	2,28
6 d	720	739,94	16,51	2,28
7 d	778	739,92	16,49	2,28

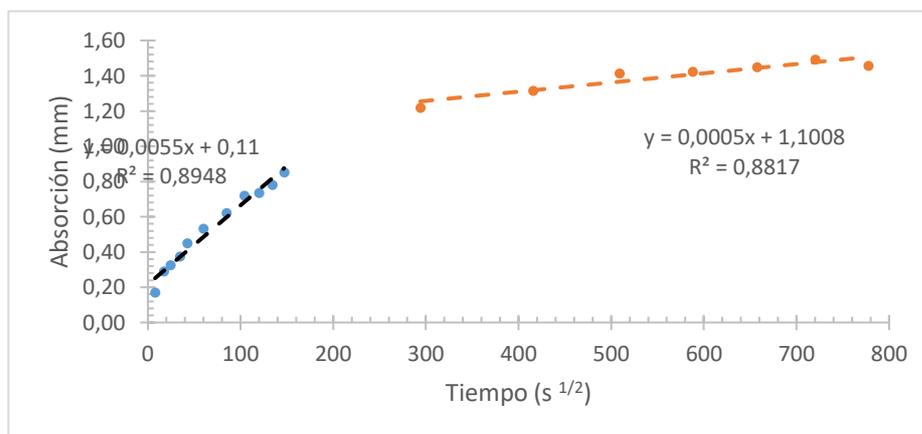


V _{inicial}	0,0075 mm/s^{1/2}	R _{inicial}	0,99
V _{secundario}	0,0007 mm/s^{1/2}	R _{secundario}	0,88

**Ritmo de absorción de agua (SORPTIVIDAD)
ASTM C1585**

Especímen	0.3 - A - A	Fecha Fundición	10-nov-18
Muestra	1	Fecha Ensayo	10-dic-18
Diámetro	96 mm	Edad	30 días
Espesor	50 mm	Densidad agua	0,001 g/mm³
Masa	675,55 g	Temperatura agua	21°C
Area expuesta	7238 mm²		

Toma de datos	Tiempo (s ^{1/2})	Masa (g)	Δ Masa (g)	Absorción l (mm)
0 min	0	675,55	0,00	0,00
1 min	8	676,79	1,24	0,17
5 min	17	677,66	2,11	0,29
10 min	24	677,92	2,37	0,33
20 min	35	678,27	2,72	0,38
30 min	42	678,81	3,26	0,45
1 h	60	679,41	3,86	0,53
2 h	85	680,05	4,50	0,62
3 h	104	680,77	5,22	0,72
4 h	120	680,88	5,33	0,74
5 h	134	681,21	5,66	0,78
6 h	147	681,72	6,17	0,85
1 d	294	684,38	8,83	1,22
2 d	416	685,07	9,52	1,32
3 d	509	685,79	10,24	1,41
4 d	588	685,85	10,30	1,42
5 d	657	686,04	10,49	1,45
6 d	720	686,36	10,81	1,49
7 d	778	686,10	10,55	1,46

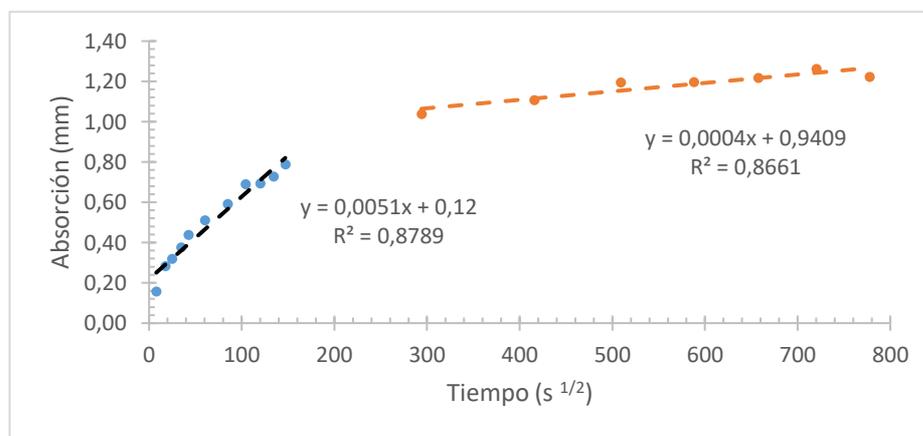


V _{inicial}	0,0055 mm/s^{1/2}	R _{inicial}	0,99
V _{secundario}	0,0005 mm/s^{1/2}	R _{secundario}	0,94

**Ritmo de absorción de agua (SORPTIVIDAD)
ASTM C1585**

Especímen	0.3 - A - A	Fecha Fundición	10-nov-18
Muestra	2	Fecha Ensayo	10-dic-18
Diámetro	96 mm	Edad	30 días
Espesor	50 mm	Densidad agua	0,001 g/mm³
Masa	709,12 g	Temperatura agua	21°C
Area expuesta	7238 mm²		

Toma de datos	Tiempo (s ^{1/2})	Masa (g)	Δ Masa (g)	Absorción l (mm)
0 min	0	709,12	0,00	0,00
1 min	8	710,26	1,14	0,16
5 min	17	711,17	2,05	0,28
10 min	24	711,44	2,32	0,32
20 min	35	711,85	2,73	0,38
30 min	42	712,30	3,18	0,44
1 h	60	712,82	3,70	0,51
2 h	85	713,41	4,29	0,59
3 h	104	714,12	5,00	0,69
4 h	120	714,15	5,03	0,69
5 h	134	714,39	5,27	0,73
6 h	147	714,83	5,71	0,79
1 d	294	716,64	7,52	1,04
2 d	416	717,14	8,02	1,11
3 d	509	717,78	8,66	1,20
4 d	588	717,79	8,67	1,20
5 d	657	717,94	8,82	1,22
6 d	720	718,26	9,14	1,26
7 d	778	717,98	8,86	1,22

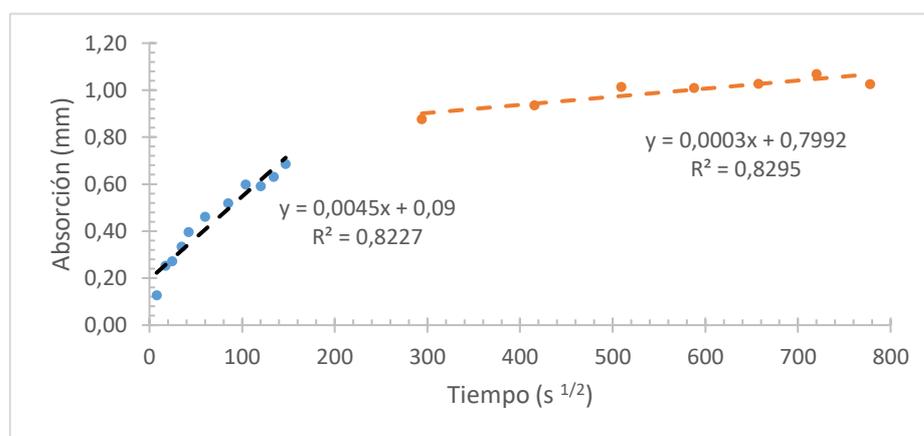


V _{inicial}	0,0051 mm/s^{1/2}	R _{inicial}	0,98
V _{secundario}	0,0004 mm/s^{1/2}	R _{secundario}	0,93

Ritmo de absorción de agua (SORPTIVIDAD) ASTM C1585

Especímen	0.3 - A - A	Fecha Fundición	10-nov-18
Muestra	3	Fecha Ensayo	10-dic-18
Diámetro	96 mm	Edad	30 días
Espesor	50 mm	Densidad agua	0,001 g/mm³
Masa	721,30 g	Temperatura agua	21°C
Area expuesta	7238 mm²		

Toma de datos	Tiempo (s ^{1/2})	Masa (g)	Δ Masa (g)	Absorción l (mm)
0 min	0	721,30	0,00	0,00
1 min	8	722,23	0,93	0,13
5 min	17	723,14	1,84	0,25
10 min	24	723,28	1,98	0,27
20 min	35	723,73	2,43	0,34
30 min	42	724,17	2,87	0,40
1 h	60	724,64	3,34	0,46
2 h	85	725,06	3,76	0,52
3 h	104	725,64	4,34	0,60
4 h	120	725,59	4,29	0,59
5 h	134	725,88	4,58	0,63
6 h	147	726,27	4,97	0,69
1 d	294	727,65	6,35	0,88
2 d	416	728,08	6,78	0,94
3 d	509	728,64	7,34	1,01
4 d	588	728,61	7,31	1,01
5 d	657	728,74	7,44	1,03
6 d	720	729,04	7,74	1,07
7 d	778	728,73	7,43	1,03

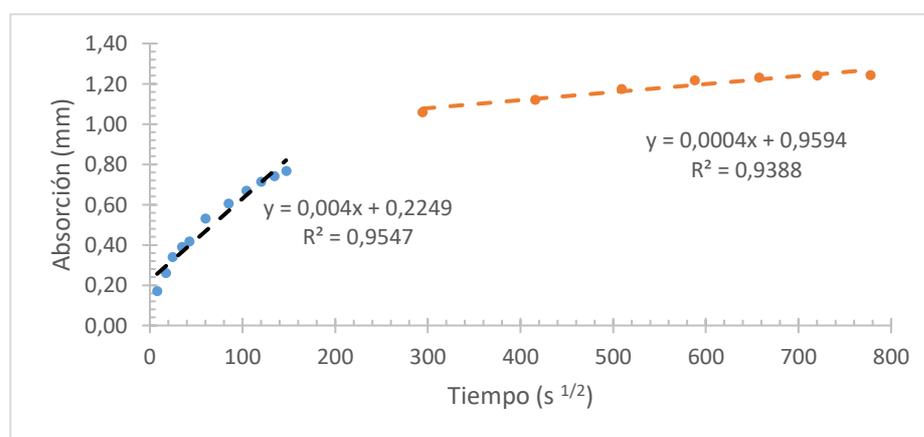


V _{inicial}	0,0045 mm/s^{1/2}	R _{inicial}	0,97
V _{secundario}	0,0003 mm/s^{1/2}	R _{secundario}	0,91

Ritmo de absorción de agua (SORPTIVIDAD) ASTM C1585

Especímen	0.3 - A - A	Fecha Fundición	10-nov-18
Muestra	1	Fecha Ensayo	11-feb-19
Diámetro	96 mm	Edad	93 días
Espesor	50 mm	Densidad agua	0,001 g/mm³
Masa	737,58 g	Temperatura agua	21,5°C
Area expuesta	7238 mm²		

Toma de datos	Tiempo (s ^{1/2})	Masa (g)	Δ Masa (g)	Absorción l (mm)
0 min	0	737,58	0,00	0,00
1 min	8	738,82	1,24	0,17
5 min	17	739,48	1,90	0,26
10 min	24	740,05	2,47	0,34
20 min	35	740,41	2,83	0,39
30 min	42	740,61	3,03	0,42
1 h	60	741,43	3,85	0,53
2 h	85	741,97	4,39	0,61
3 h	104	742,43	4,85	0,67
4 h	120	742,76	5,18	0,72
5 h	134	742,95	5,37	0,74
6 h	147	743,14	5,56	0,77
1 d	294	745,25	7,67	1,06
2 d	416	745,70	8,12	1,12
3 d	509	746,09	8,51	1,18
4 d	588	746,40	8,82	1,22
5 d	657	746,50	8,92	1,23
6 d	720	746,57	8,99	1,24
7 d	778	746,59	9,01	1,24

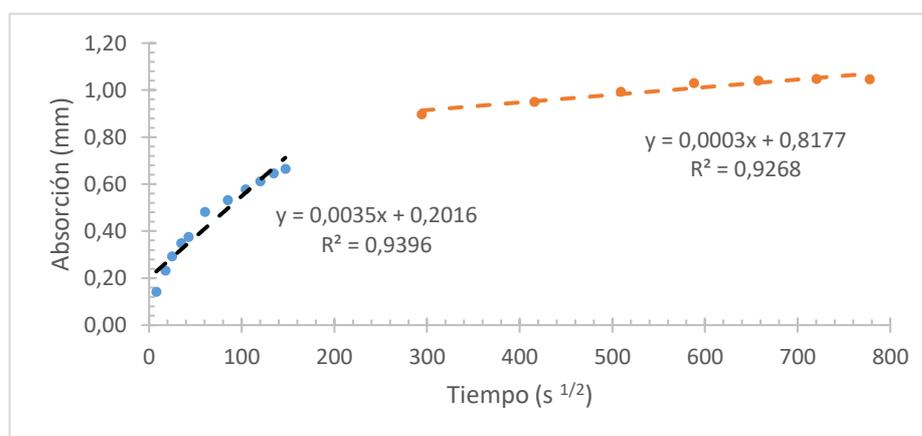


V _{inicial}	0,0040 mm/s^{1/2}	R _{inicial}	0,98
V _{secundario}	0,0004 mm/s^{1/2}	R _{secundario}	0,97

Ritmo de absorción de agua (SORPTIVIDAD) ASTM C1585

Especímen	0.3 - A - A	Fecha Fundición	10-nov-18
Muestra	2	Fecha Ensayo	11-feb-19
Diámetro	96 mm	Edad	93 días
Espesor	50 mm	Densidad agua	0,001 g/mm³
Masa	755,87 g	Temperatura agua	21,5°C
Area expuesta	7238 mm²		

Toma de datos	Tiempo (s ^{1/2})	Masa (g)	Δ Masa (g)	Absorción l (mm)
0 min	0	755,87	0,00	0,00
1 min	8	756,90	1,03	0,14
5 min	17	757,56	1,69	0,23
10 min	24	758,00	2,13	0,29
20 min	35	758,40	2,53	0,35
30 min	42	758,59	2,72	0,38
1 h	60	759,36	3,49	0,48
2 h	85	759,73	3,86	0,53
3 h	104	760,06	4,19	0,58
4 h	120	760,31	4,44	0,61
5 h	134	760,55	4,68	0,65
6 h	147	760,69	4,82	0,67
1 d	294	762,37	6,50	0,90
2 d	416	762,75	6,88	0,95
3 d	509	763,06	7,19	0,99
4 d	588	763,33	7,46	1,03
5 d	657	763,41	7,54	1,04
6 d	720	763,46	7,59	1,05
7 d	778	763,45	7,58	1,05

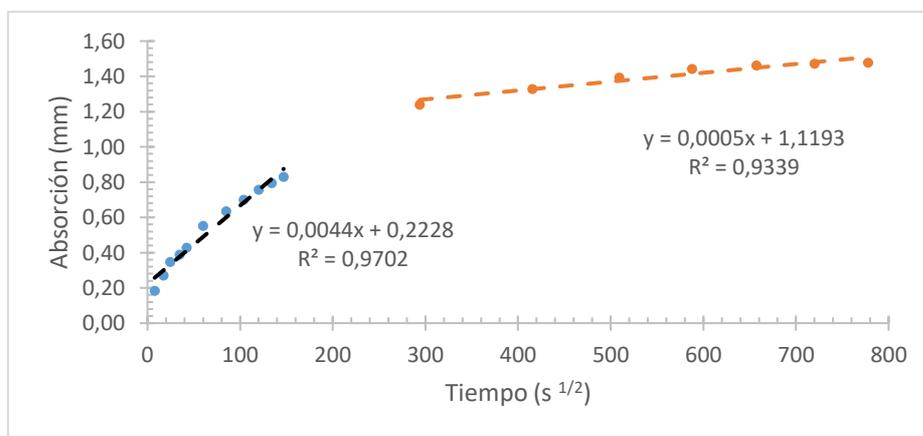


V _{inicial}	0,0035 mm/s^{1/2}	R _{inicial}	0,97
V _{secundario}	0,0003 mm/s^{1/2}	R _{secundario}	0,96

**Ritmo de absorción de agua (SORPTIVIDAD)
ASTM C1585**

Especímen	0.3 - A - A	Fecha Fundición	10-nov-18
Muestra	3	Fecha Ensayo	11-feb-19
Diámetro	96 mm	Edad	93 días
Espesor	50 mm	Densidad agua	0,001 g/mm³
Masa	746,88 g	Temperatura agua	21,5°C
Area expuesta	7238 mm²		

Toma de datos	Tiempo (s ^{1/2})	Masa (g)	Δ Masa (g)	Absorción l (mm)
0 min	0	746,88	0,00	0,00
1 min	8	748,22	1,34	0,19
5 min	17	748,84	1,96	0,27
10 min	24	749,40	2,52	0,35
20 min	35	749,70	2,82	0,39
30 min	42	749,99	3,11	0,43
1 h	60	750,89	4,01	0,55
2 h	85	751,48	4,60	0,64
3 h	104	751,95	5,07	0,70
4 h	120	752,36	5,48	0,76
5 h	134	752,64	5,76	0,80
6 h	147	752,90	6,02	0,83
1 d	294	755,86	8,98	1,24
2 d	416	756,50	9,62	1,33
3 d	509	756,97	10,09	1,39
4 d	588	757,33	10,45	1,44
5 d	657	757,47	10,59	1,46
6 d	720	757,54	10,66	1,47
7 d	778	757,58	10,70	1,48

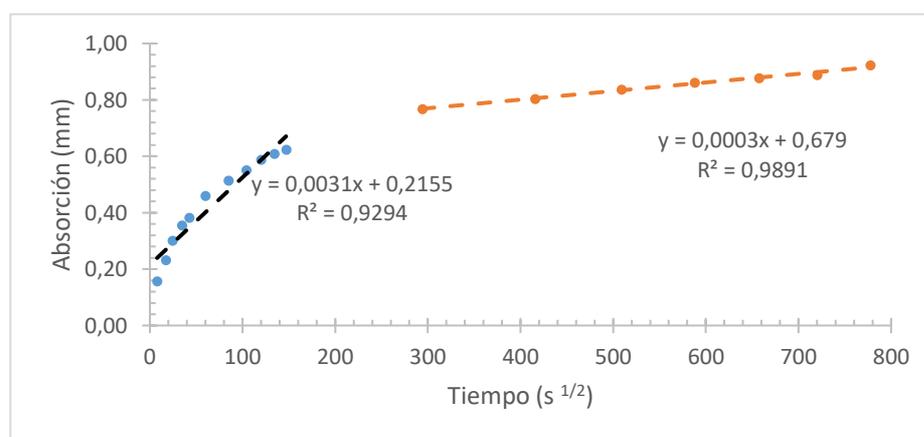


V _{inicial}	0,0044 mm/s^{1/2}	R _{inicial}	0,98
V _{secundario}	0,0005 mm/s^{1/2}	R _{secundario}	0,97

Ritmo de absorción de agua (SORPTIVIDAD) ASTM C1585

Especímen	0.3 - A - S	Fecha Fundición	10-nov-18
Muestra	1	Fecha Ensayo	19-nov-18
Diámetro	96 mm	Edad	9 días
Espesor	50 mm	Densidad agua	0,001 g/mm ³
Masa	755,83 g	Temperatura agua	20°C
Area expuesta	7238 mm²		

Toma de datos	Tiempo (s ^{1/2})	Masa (g)	Δ Masa (g)	Absorción l (mm)
0 min	0	755,83	0,00	0,00
1 min	8	756,97	1,14	0,16
5 min	17	757,51	1,68	0,23
10 min	24	758,01	2,18	0,30
20 min	35	758,40	2,57	0,36
30 min	42	758,60	2,77	0,38
1 h	60	759,16	3,33	0,46
2 h	85	759,55	3,72	0,51
3 h	104	759,82	3,99	0,55
4 h	120	760,09	4,26	0,59
5 h	134	760,24	4,41	0,61
6 h	147	760,35	4,52	0,62
1 d	294	761,39	5,56	0,77
2 d	416	761,65	5,82	0,80
3 d	509	761,89	6,06	0,84
4 d	588	762,07	6,24	0,86
5 d	657	762,18	6,35	0,88
6 d	720	762,26	6,43	0,89
7 d	778	762,51	6,68	0,92

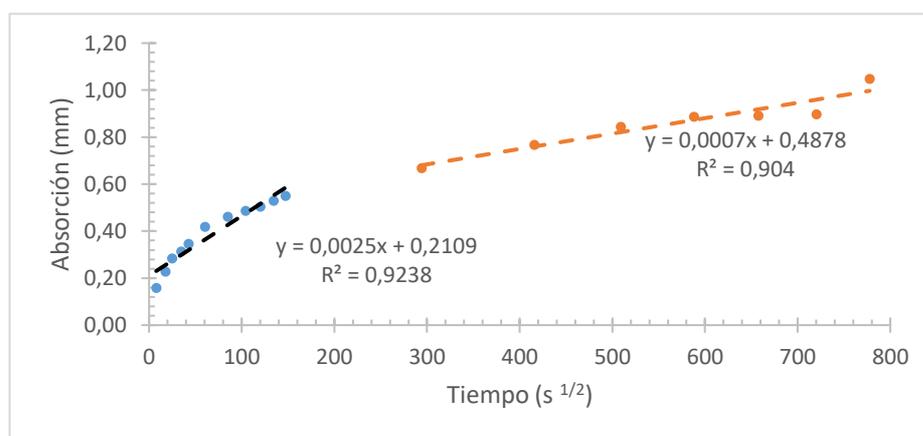


V _{inicial}	0,0031 mm/s^{1/2}	R _{inicial}	0,96
V _{secundario}	0,0003 mm/s^{1/2}	R _{secundario}	0,99

**Ritmo de absorción de agua (SORPTIVIDAD)
ASTM C1585**

Especímen	0.3 - A - S	Fecha Fundición	10-nov-18
Muestra	2	Fecha Ensayo	19-nov-18
Diámetro	96 mm	Edad	9 días
Espesor	50 mm	Densidad agua	0,001 g/mm³
Masa	750,87 g	Temperatura agua	20°C
Area expuesta	7238 mm²		

Toma de datos	Tiempo (s ^{1/2})	Masa (g)	Δ Masa (g)	Absorción l (mm)
0 min	0	750,87	0,00	0,00
1 min	8	752,02	1,15	0,16
5 min	17	752,53	1,66	0,23
10 min	24	752,93	2,06	0,28
20 min	35	753,15	2,28	0,31
30 min	42	753,38	2,51	0,35
1 h	60	753,90	3,03	0,42
2 h	85	754,22	3,35	0,46
3 h	104	754,40	3,53	0,49
4 h	120	754,53	3,66	0,51
5 h	134	754,71	3,84	0,53
6 h	147	754,86	3,99	0,55
1 d	294	755,71	4,84	0,67
2 d	416	756,43	5,56	0,77
3 d	509	756,99	6,12	0,85
4 d	588	757,29	6,42	0,89
5 d	657	757,33	6,46	0,89
6 d	720	757,37	6,50	0,90
7 d	778	758,46	7,59	1,05

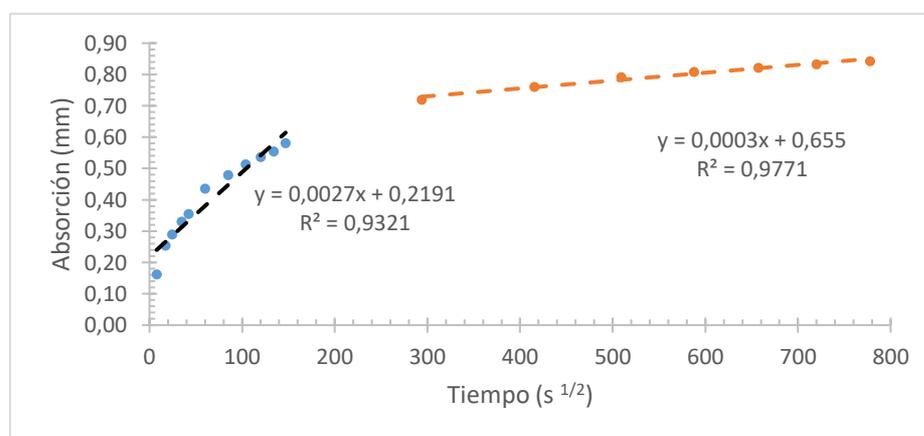


V _{inicial}	0,0025 mm/s^{1/2}	R _{inicial}	0,96
V _{secundario}	0,0007 mm/s^{1/2}	R _{secundario}	0,95

Ritmo de absorción de agua (SORPTIVIDAD) ASTM C1585

Especímen	0.3 - A - S	Fecha Fundición	10-nov-18
Muestra	3	Fecha Ensayo	19-nov-18
Diámetro	96 mm	Edad	9 días
Espesor	50 mm	Densidad agua	0,001 g/mm ³
Masa	740,05 g	Temperatura agua	20°C
Area expuesta	7238 mm ²		

Toma de datos	Tiempo (s ^{1/2})	Masa (g)	Δ Masa (g)	Absorción l (mm)
0 min	0	740,05	0,00	0,00
1 min	8	741,23	1,18	0,16
5 min	17	741,89	1,84	0,25
10 min	24	742,15	2,10	0,29
20 min	35	742,45	2,40	0,33
30 min	42	742,62	2,57	0,36
1 h	60	743,21	3,16	0,44
2 h	85	743,52	3,47	0,48
3 h	104	743,77	3,72	0,51
4 h	120	743,94	3,89	0,54
5 h	134	744,07	4,02	0,56
6 h	147	744,26	4,21	0,58
1 d	294	745,26	5,21	0,72
2 d	416	745,56	5,51	0,76
3 d	509	745,78	5,73	0,79
4 d	588	745,90	5,85	0,81
5 d	657	746,00	5,95	0,82
6 d	720	746,08	6,03	0,83
7 d	778	746,15	6,10	0,84

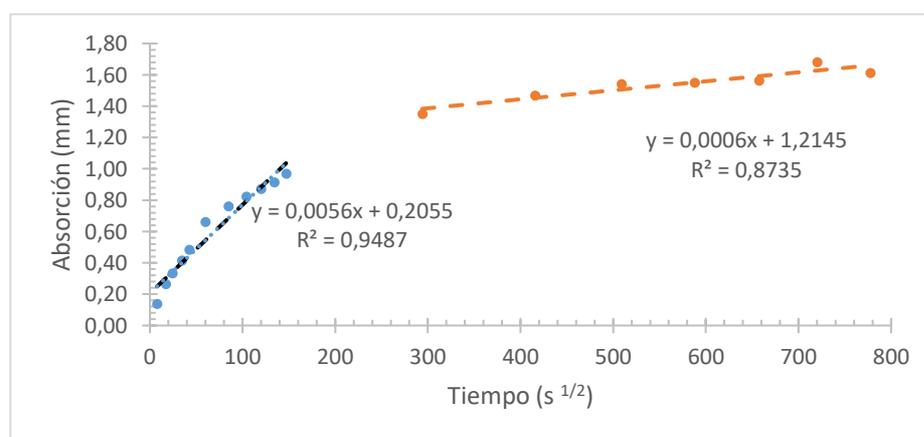


V _{inicial}	0,0027 mm/s ^{1/2}	R _{inicial}	0,97
V _{secundario}	0,0003 mm/s ^{1/2}	R _{secundario}	0,99

Ritmo de absorción de agua (SORPTIVIDAD) ASTM C1585

Especímen	0.3 - A - S	Fecha Fundición	10-nov-18
Muestra	1	Fecha Ensayo	10-dic-18
Diámetro	96 mm	Edad	30 días
Espesor	50 mm	Densidad agua	0,001 g/mm³
Masa	721,52 g	Temperatura agua	21°C
Area expuesta	7238 mm²		

Toma de datos	Tiempo (s ^{1/2})	Masa (g)	Δ Masa (g)	Absorción l (mm)
0 min	0	721,52	0,00	0,00
1 min	8	722,53	1,01	0,14
5 min	17	723,44	1,92	0,27
10 min	24	723,94	2,42	0,33
20 min	35	724,54	3,02	0,42
30 min	42	725,03	3,51	0,48
1 h	60	726,31	4,79	0,66
2 h	85	727,03	5,51	0,76
3 h	104	727,48	5,96	0,82
4 h	120	727,84	6,32	0,87
5 h	134	728,15	6,63	0,92
6 h	147	728,54	7,02	0,97
1 d	294	731,31	9,79	1,35
2 d	416	732,15	10,63	1,47
3 d	509	732,68	11,16	1,54
4 d	588	732,74	11,22	1,55
5 d	657	732,84	11,32	1,56
6 d	720	733,70	12,18	1,68
7 d	778	733,20	11,68	1,61

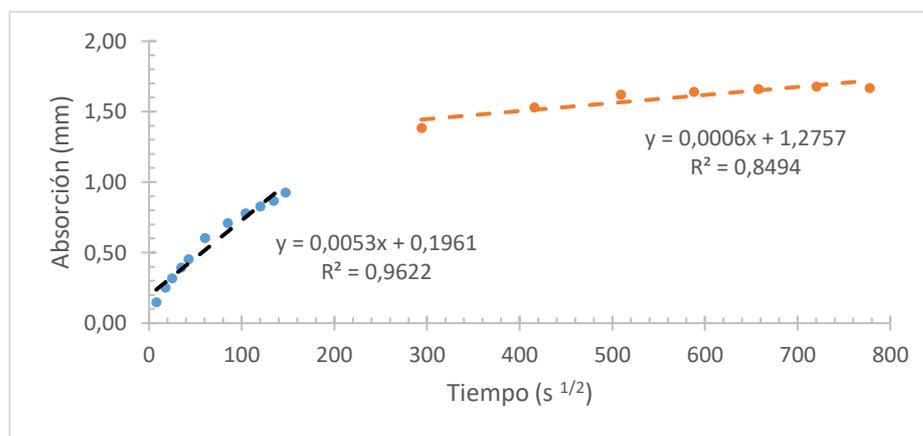


V _{inicial}	0,0056 mm/s^{1/2}	R _{inicial}	0,97
V _{secundario}	0,0006 mm/s^{1/2}	R _{secundario}	0,93

**Ritmo de absorción de agua (SORPTIVIDAD)
ASTM C1585**

Especímen	0.3 - A - S	Fecha Fundición	10-nov-18
Muestra	2	Fecha Ensayo	10-dic-18
Diámetro	96 mm	Edad	30 días
Espesor	50 mm	Densidad agua	0,001 g/mm³
Masa	737,23 g	Temperatura agua	21°C
Area expuesta	7238 mm²		

Toma de datos	Tiempo (s ^{1/2})	Masa (g)	Δ Masa (g)	Absorción l (mm)
0 min	0	737,23	0,00	0,00
1 min	8	738,32	1,09	0,15
5 min	17	739,06	1,83	0,25
10 min	24	739,55	2,32	0,32
20 min	35	740,10	2,87	0,40
30 min	42	740,53	3,30	0,46
1 h	60	741,62	4,39	0,61
2 h	85	742,37	5,14	0,71
3 h	104	742,87	5,64	0,78
4 h	120	743,24	6,01	0,83
5 h	134	743,51	6,28	0,87
6 h	147	743,95	6,72	0,93
1 d	294	747,26	10,03	1,39
2 d	416	748,31	11,08	1,53
3 d	509	748,97	11,74	1,62
4 d	588	749,11	11,88	1,64
5 d	657	749,25	12,02	1,66
6 d	720	749,39	12,16	1,68
7 d	778	749,32	12,09	1,67

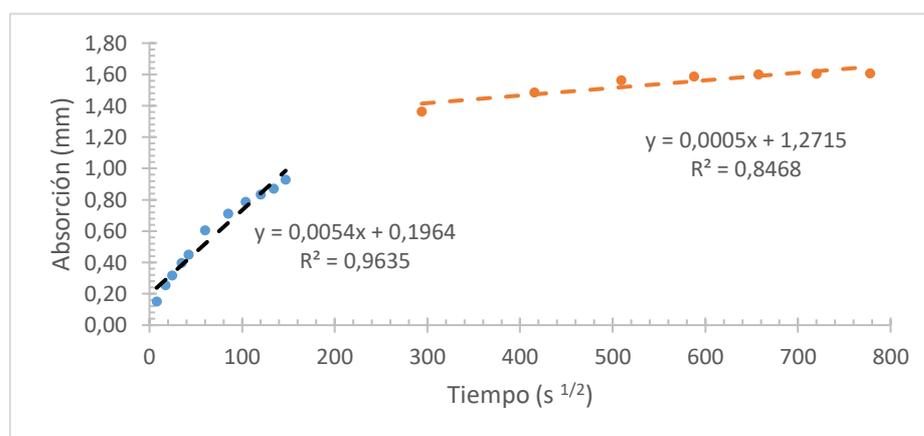


V _{inicial}	0,0053 mm/s^{1/2}	R _{inicial}	0,98
V _{secundario}	0,0006 mm/s^{1/2}	R _{secundario}	0,92

Ritmo de absorción de agua (SORPTIVIDAD) ASTM C1585

Especímen	0.3 - A - S	Fecha Fundición	10-nov-18
Muestra	3	Fecha Ensayo	10-dic-18
Diámetro	96 mm	Edad	30 días
Espesor	50 mm	Densidad agua	0,001 g/mm ³
Masa	725,75 g	Temperatura agua	21°C
Area expuesta	7238 mm ²		

Toma de datos	Tiempo (s ^{1/2})	Masa (g)	Δ Masa (g)	Absorción l (mm)
0 min	0	725,75	0,00	0,00
1 min	8	726,86	1,11	0,15
5 min	17	727,61	1,86	0,26
10 min	24	728,06	2,31	0,32
20 min	35	728,64	2,89	0,40
30 min	42	729,02	3,27	0,45
1 h	60	730,14	4,39	0,61
2 h	85	730,92	5,17	0,71
3 h	104	731,46	5,71	0,79
4 h	120	731,80	6,05	0,84
5 h	134	732,07	6,32	0,87
6 h	147	732,49	6,74	0,93
1 d	294	735,63	9,88	1,36
2 d	416	736,51	10,76	1,49
3 d	509	737,07	11,32	1,56
4 d	588	737,25	11,50	1,59
5 d	657	737,34	11,59	1,60
6 d	720	737,38	11,63	1,61
7 d	778	737,40	11,65	1,61

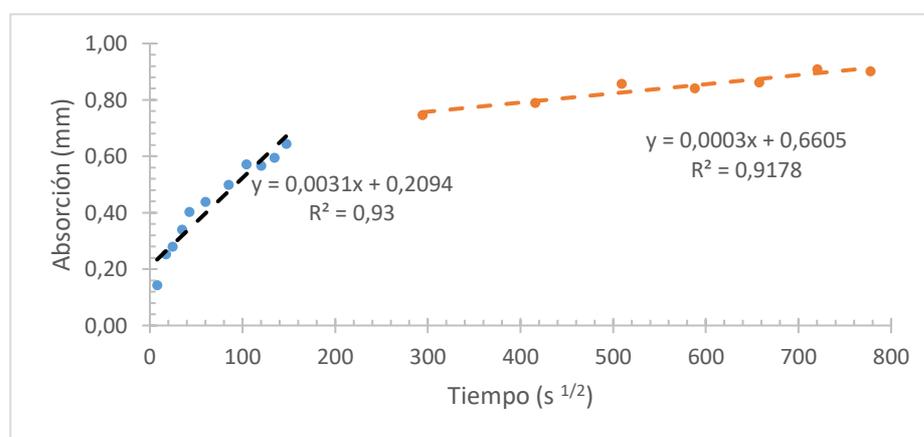


V _{inicial}	0,0054 mm/s ^{1/2}	R _{inicial}	0,98
V _{secundario}	0,0005 mm/s ^{1/2}	R _{secundario}	0,92

Ritmo de absorción de agua (SORPTIVIDAD) ASTM C1585

Especímen	0.3 - A - S	Fecha Fundición	10-nov-18
Muestra	1	Fecha Ensayo	11-feb-19
Diámetro	96 mm	Edad	93 días
Espesor	50 mm	Densidad agua	0,001 g/mm ³
Masa	697,54 g	Temperatura agua	21,5°C
Area expuesta	7238 mm²		

Toma de datos	Tiempo (s ^{1/2})	Masa (g)	Δ Masa (g)	Absorción l (mm)
0 min	0	697,54	0,00	0,00
1 min	8	698,58	1,04	0,14
5 min	17	699,37	1,83	0,25
10 min	24	699,57	2,03	0,28
20 min	35	700,01	2,47	0,34
30 min	42	700,46	2,92	0,40
1 h	60	700,72	3,18	0,44
2 h	85	701,16	3,62	0,50
3 h	104	701,68	4,14	0,57
4 h	120	701,65	4,11	0,57
5 h	134	701,85	4,31	0,60
6 h	147	702,21	4,67	0,65
1 d	294	702,95	5,41	0,75
2 d	416	703,26	5,72	0,79
3 d	509	703,75	6,21	0,86
4 d	588	703,63	6,09	0,84
5 d	657	703,79	6,25	0,86
6 d	720	704,12	6,58	0,91
7 d	778	704,07	6,53	0,90

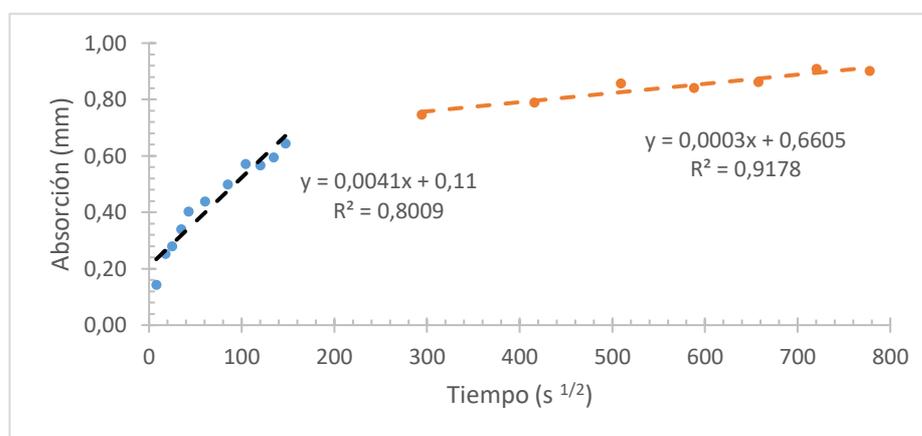


V _{inicial}	0,0031 mm/s^{1/2}	R _{inicial}	0,96
V _{secundario}	0,0006 mm/s^{1/2}	R _{secundario}	0,96

Ritmo de absorción de agua (SORPTIVIDAD) ASTM C1585

Especímen	0.3 - A - S	Fecha Fundición	10-nov-18
Muestra	2	Fecha Ensayo	11-feb-19
Diámetro	96 mm	Edad	93 días
Espesor	50 mm	Densidad agua	0,001 g/mm³
Masa	658,98 g	Temperatura agua	21,5°C
Area expuesta	7238 mm²		

Toma de datos	Tiempo (s ^{1/2})	Masa (g)	Δ Masa (g)	Absorción l (mm)
0 min	0	658,98	0,00	0,00
1 min	8	660,02	1,04	0,14
5 min	17	660,81	1,83	0,25
10 min	24	661,01	2,03	0,28
20 min	35	661,45	2,47	0,34
30 min	42	661,90	2,92	0,40
1 h	60	662,16	3,18	0,44
2 h	85	662,60	3,62	0,50
3 h	104	663,12	4,14	0,57
4 h	120	663,09	4,11	0,57
5 h	134	663,29	4,31	0,60
6 h	147	663,65	4,67	0,65
1 d	294	664,39	5,41	0,75
2 d	416	664,70	5,72	0,79
3 d	509	665,19	6,21	0,86
4 d	588	665,07	6,09	0,84
5 d	657	665,23	6,25	0,86
6 d	720	665,56	6,58	0,91
7 d	778	665,51	6,53	0,90

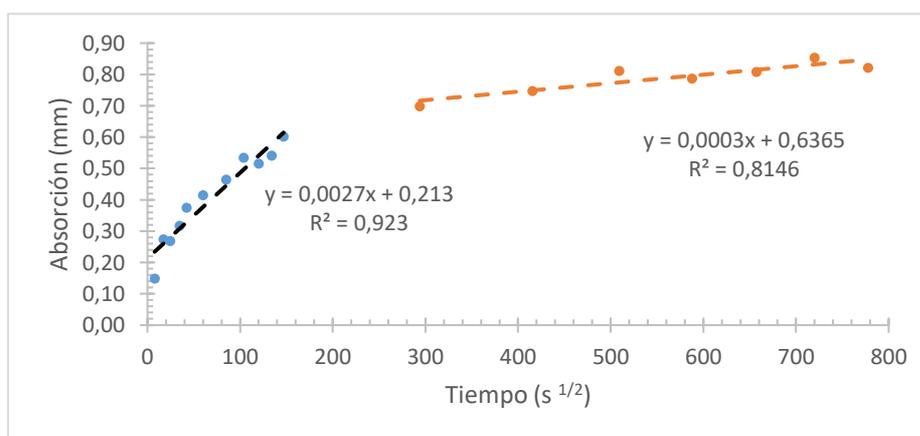


V _{inicial}	0,0041 mm/s^{1/2}	R _{inicial}	0,96
V _{secundario}	0,0005 mm/s^{1/2}	R _{secundario}	0,96

**Ritmo de absorción de agua (SORPTIVIDAD)
ASTM C1585**

Especímen	0.3 - A - S	Fecha Fundición	10-nov-18
Muestra	3	Fecha Ensayo	11-feb-19
Diámetro	96 mm	Edad	93 días
Espesor	50 mm	Densidad agua	0,001 g/mm³
Masa	710,41 g	Temperatura agua	21,5°C
Area expuesta	7238 mm²		

Toma de datos	Tiempo (s ^{1/2})	Masa (g)	Δ Masa (g)	Absorción l (mm)
0 min	0	710,41	0,00	0,00
1 min	8	711,49	1,08	0,15
5 min	17	712,40	1,99	0,27
10 min	24	712,36	1,95	0,27
20 min	35	712,71	2,30	0,32
30 min	42	713,13	2,72	0,38
1 h	60	713,42	3,01	0,42
2 h	85	713,78	3,37	0,47
3 h	104	714,28	3,87	0,53
4 h	120	714,15	3,74	0,52
5 h	134	714,33	3,92	0,54
6 h	147	714,77	4,36	0,60
1 d	294	715,47	5,06	0,70
2 d	416	715,82	5,41	0,75
3 d	509	716,29	5,88	0,81
4 d	588	716,11	5,70	0,79
5 d	657	716,26	5,85	0,81
6 d	720	716,59	6,18	0,85
7 d	778	716,36	5,95	0,82

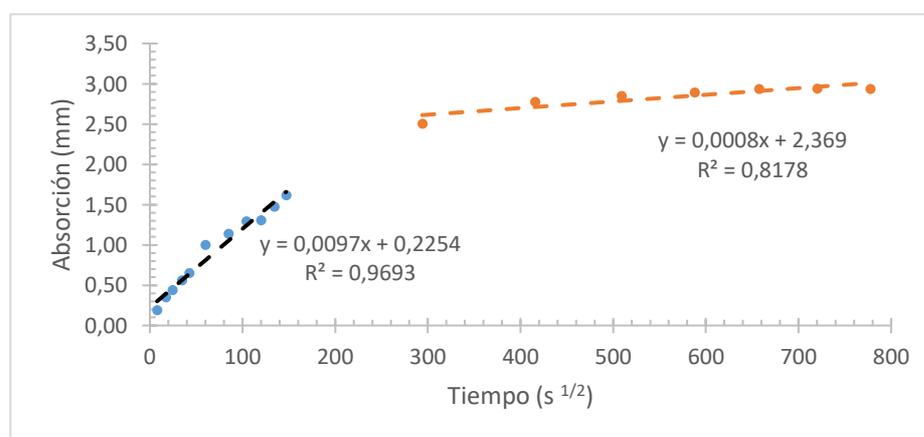


V _{inicial}	0,0027 mm/s^{1/2}	R _{inicial}	0,96
V _{secundario}	0,0005 mm/s^{1/2}	R _{secundario}	0,90

Ritmo de absorción de agua (SORPTIVIDAD) ASTM C1585

Especímen	0.3 - C - A	Fecha Fundición	10-nov-18
Muestra	1	Fecha Ensayo	19-nov-18
Diámetro	96 mm	Edad	9 días
Espesor	50 mm	Densidad agua	0,001 g/mm ³
Masa	777,34 g	Temperatura agua	20°C
Area expuesta	7238 mm²		

Toma de datos	Tiempo (s ^{1/2})	Masa (g)	Δ Masa (g)	Absorción l (mm)
0 min	0	777,34	0,00	0,00
1 min	8	778,73	1,39	0,19
5 min	17	779,88	2,54	0,35
10 min	24	780,55	3,21	0,44
20 min	35	781,41	4,07	0,56
30 min	42	782,08	4,74	0,65
1 h	60	784,60	7,26	1,00
2 h	85	785,60	8,26	1,14
3 h	104	786,72	9,38	1,30
4 h	120	786,83	9,49	1,31
5 h	134	788,03	10,69	1,48
6 h	147	789,05	11,71	1,62
1 d	294	795,49	18,15	2,51
2 d	416	797,44	20,10	2,78
3 d	509	797,97	20,63	2,85
4 d	588	798,29	20,95	2,89
5 d	657	798,61	21,27	2,94
6 d	720	798,63	21,29	2,94
7 d	778	798,61	21,27	2,94

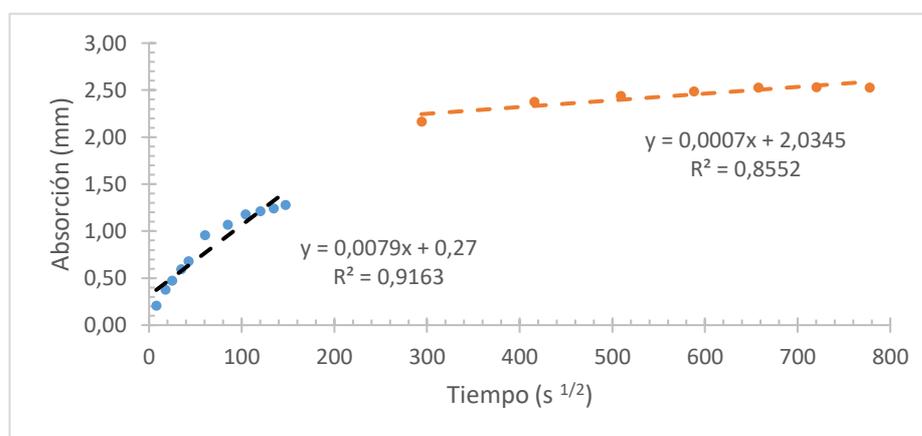


V _{inicial}	0,0097 mm/s^{1/2}	R _{inicial}	0,98
V _{secundario}	0,0008 mm/s^{1/2}	R _{secundario}	0,90

Ritmo de absorción de agua (SORPTIVIDAD) ASTM C1585

Especímen	0.3 - C - A	Fecha Fundición	10-nov-18
Muestra	2	Fecha Ensayo	19-nov-18
Diámetro	96 mm	Edad	9 días
Espesor	50 mm	Densidad agua	0,001 g/mm³
Masa	788,01 g	Temperatura agua	20°C
Area expuesta	7238 mm²		

Toma de datos	Tiempo (s ^{1/2})	Masa (g)	Δ Masa (g)	Absorción l (mm)
0 min	0	788,01	0,00	0,00
1 min	8	789,53	1,52	0,21
5 min	17	790,75	2,74	0,38
10 min	24	791,45	3,44	0,48
20 min	35	792,33	4,32	0,60
30 min	42	792,95	4,94	0,68
1 h	60	794,95	6,94	0,96
2 h	85	795,76	7,75	1,07
3 h	104	796,56	8,55	1,18
4 h	120	796,81	8,80	1,22
5 h	134	797,01	9,00	1,24
6 h	147	797,27	9,26	1,28
1 d	294	803,70	15,69	2,17
2 d	416	805,22	17,21	2,38
3 d	509	805,67	17,66	2,44
4 d	588	806,02	18,01	2,49
5 d	657	806,32	18,31	2,53
6 d	720	806,35	18,34	2,53
7 d	778	806,33	18,32	2,53

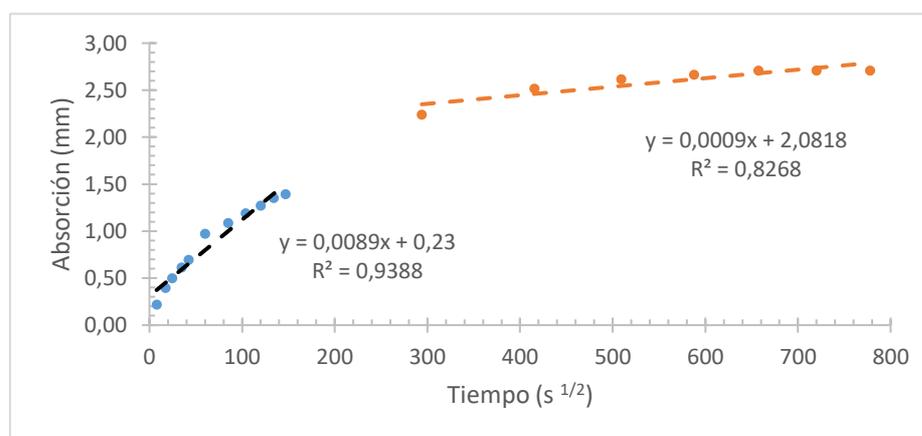


V _{inicial}	0,0079 mm/s^{1/2}	R _{inicial}	0,96
V _{secundario}	0,0007 mm/s^{1/2}	R _{secundario}	0,92

Ritmo de absorción de agua (SORPTIVIDAD) ASTM C1585

Especímen	0.3 - C - A	Fecha Fundición	10-nov-18
Muestra	3	Fecha Ensayo	19-nov-18
Diámetro	96 mm	Edad	9 días
Espesor	50 mm	Densidad agua	0,001 g/mm³
Masa	777,69 g	Temperatura agua	20°C
Area expuesta	7238 mm²		

Toma de datos	Tiempo (s ^{1/2})	Masa (g)	Δ Masa (g)	Absorción l (mm)
0 min	0	777,69	0,00	0,00
1 min	8	779,29	1,60	0,22
5 min	17	780,56	2,87	0,40
10 min	24	781,33	3,64	0,50
20 min	35	782,16	4,47	0,62
30 min	42	782,73	5,04	0,70
1 h	60	784,73	7,04	0,97
2 h	85	785,58	7,89	1,09
3 h	104	786,31	8,62	1,19
4 h	120	786,92	9,23	1,28
5 h	134	787,49	9,80	1,35
6 h	147	787,80	10,11	1,40
1 d	294	793,91	16,22	2,24
2 d	416	795,91	18,22	2,52
3 d	509	796,63	18,94	2,62
4 d	588	797,00	19,31	2,67
5 d	657	797,30	19,61	2,71
6 d	720	797,32	19,63	2,71
7 d	778	797,30	19,61	2,71

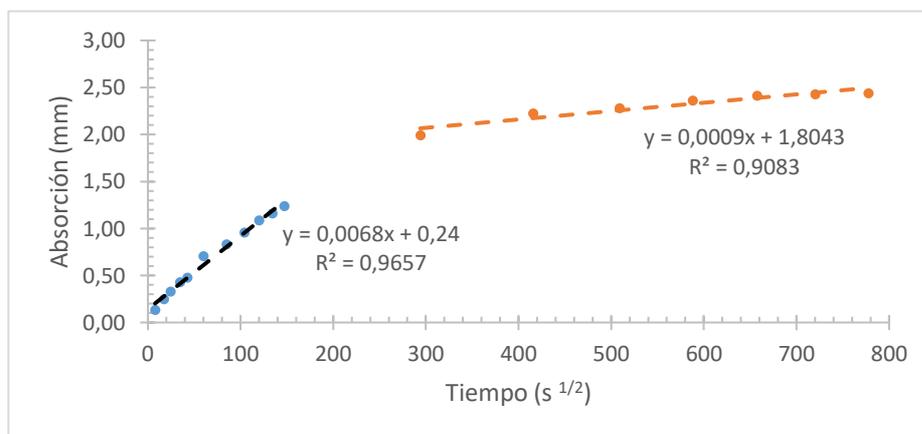


V _{inicial}	0,0089 mm/s^{1/2}	R _{inicial}	0,98
V _{secundario}	0,0009 mm/s^{1/2}	R _{secundario}	0,91

**Ritmo de absorción de agua (SORPTIVIDAD)
ASTM C1585**

Especímen	0.3 - C - A	Fecha Fundición	10-nov-18
Muestra	1	Fecha Ensayo	10-dic-18
Diámetro	96 mm	Edad	30 días
Espesor	50 mm	Densidad agua	0,001 g/mm³
Masa	802,23 g	Temperatura agua	21°C
Area expuesta	7238 mm²		

Toma de datos	Tiempo (s ^{1/2})	Masa (g)	Δ Masa (g)	Absorción l (mm)
0 min	0	802,23	0,00	0,00
1 min	8	803,21	0,98	0,14
5 min	17	804,04	1,81	0,25
10 min	24	804,62	2,39	0,33
20 min	35	805,34	3,11	0,43
30 min	42	805,70	3,47	0,48
1 h	60	807,37	5,14	0,71
2 h	85	808,28	6,05	0,84
3 h	104	809,18	6,95	0,96
4 h	120	810,12	7,89	1,09
5 h	134	810,65	8,42	1,16
6 h	147	811,20	8,97	1,24
1 d	294	816,65	14,42	1,99
2 d	416	818,35	16,12	2,23
3 d	509	818,76	16,53	2,28
4 d	588	819,33	17,10	2,36
5 d	657	819,72	17,49	2,42
6 d	720	819,82	17,59	2,43
7 d	778	819,90	17,67	2,44

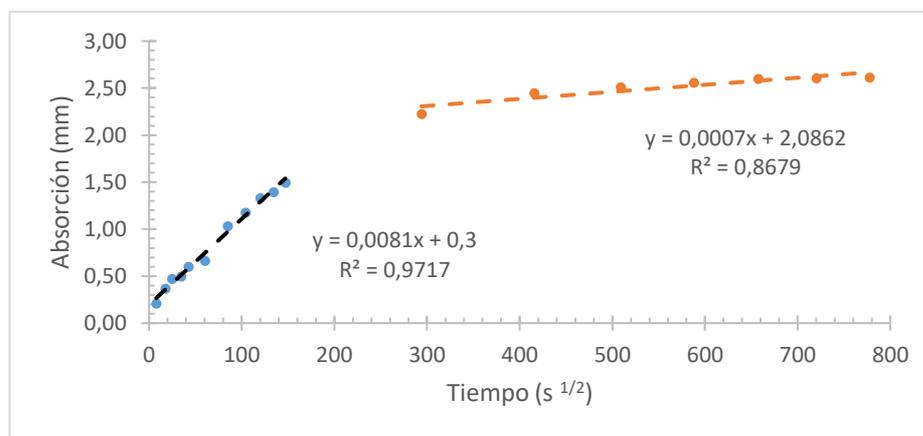


V _{inicial}	0,0068 mm/s^{1/2}	R _{inicial}	0,99
V _{secundario}	0,0009 mm/s^{1/2}	R _{secundario}	0,95

**Ritmo de absorción de agua (SORPTIVIDAD)
ASTM C1585**

Especímen	0.3 - C - A	Fecha Fundición	10-nov-18
Muestra	2	Fecha Ensayo	10-dic-18
Diámetro	96 mm	Edad	30 días
Espesor	50 mm	Densidad agua	0,001 g/mm³
Masa	813,19 g	Temperatura agua	21°C
Area expuesta	7238 mm²		

Toma de datos	Tiempo (s ^{1/2})	Masa (g)	Δ Masa (g)	Absorción l (mm)
0 min	0	813,19	0,00	0,00
1 min	8	814,71	1,52	0,21
5 min	17	815,87	2,68	0,37
10 min	24	816,61	3,42	0,47
20 min	35	816,80	3,61	0,50
30 min	42	817,55	4,36	0,60
1 h	60	818,00	4,81	0,66
2 h	85	820,66	7,47	1,03
3 h	104	821,72	8,53	1,18
4 h	120	822,83	9,64	1,33
5 h	134	823,29	10,10	1,40
6 h	147	824,00	10,81	1,49
1 d	294	829,32	16,13	2,23
2 d	416	830,90	17,71	2,45
3 d	509	831,37	18,18	2,51
4 d	588	831,72	18,53	2,56
5 d	657	832,00	18,81	2,60
6 d	720	832,07	18,88	2,61
7 d	778	832,12	18,93	2,62

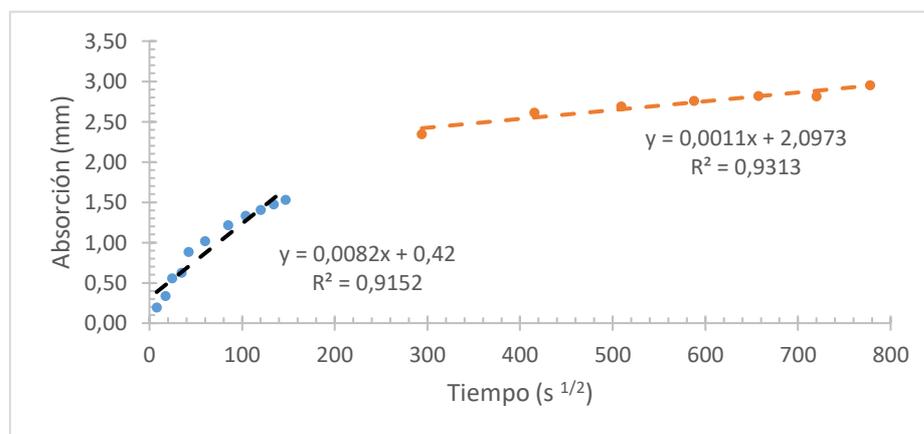


V _{inicial}	0,0081 mm/s^{1/2}	R _{inicial}	0,99
V _{secundario}	0,0007 mm/s^{1/2}	R _{secundario}	0,93

Ritmo de absorción de agua (SORPTIVIDAD) ASTM C1585

Especímen	0.3 - C - A	Fecha Fundición	10-nov-18
Muestra	3	Fecha Ensayo	10-dic-18
Diámetro	96 mm	Edad	30 días
Espesor	50 mm	Densidad agua	0,001 g/mm ³
Masa	806,60 g	Temperatura agua	21°C
Area expuesta	7238 mm ²		

Toma de datos	Tiempo (s ^{1/2})	Masa (g)	Δ Masa (g)	Absorción l (mm)
0 min	0	806,60	0,00	0,00
1 min	8	808,02	1,42	0,20
5 min	17	809,07	2,47	0,34
10 min	24	810,66	4,06	0,56
20 min	35	811,16	4,56	0,63
30 min	42	813,01	6,41	0,89
1 h	60	813,99	7,39	1,02
2 h	85	815,42	8,82	1,22
3 h	104	816,25	9,65	1,33
4 h	120	816,79	10,19	1,41
5 h	134	817,30	10,70	1,48
6 h	147	817,70	11,10	1,53
1 d	294	823,59	16,99	2,35
2 d	416	825,53	18,93	2,62
3 d	509	826,09	19,49	2,69
4 d	588	826,60	20,00	2,76
5 d	657	827,01	20,41	2,82
6 d	720	827,00	20,40	2,82
7 d	778	827,99	21,39	2,96

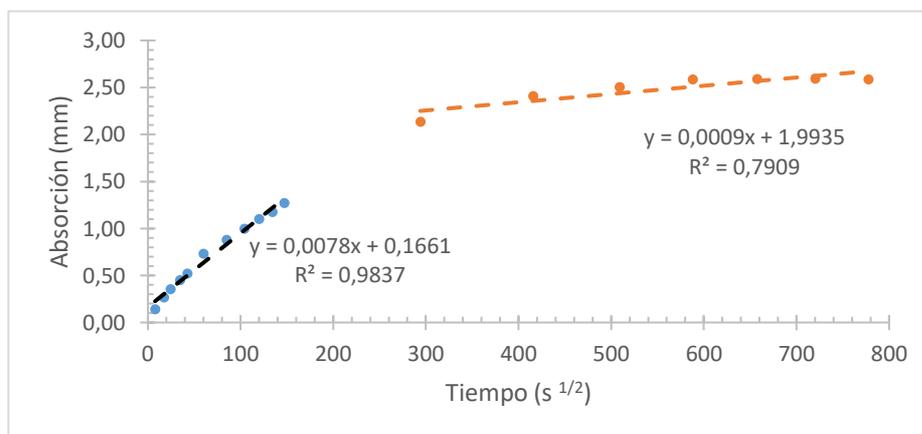


V _{inicial}	0,0082 mm/s ^{1/2}	R _{inicial}	0,97
V _{secundario}	0,0011 mm/s ^{1/2}	R _{secundario}	0,97

**Ritmo de absorción de agua (SORPTIVIDAD)
ASTM C1585**

Especímen	0.3 - C - A	Fecha Fundición	10-nov-18
Muestra	1	Fecha Ensayo	11-feb-19
Diámetro	96 mm	Edad	93 días
Espesor	50 mm	Densidad agua	0,001 g/mm³
Masa	750,57 g	Temperatura agua	21,5°C
Area expuesta	7238 mm²		

Toma de datos	Tiempo (s ^{1/2})	Masa (g)	Δ Masa (g)	Absorción l (mm)
0 min	0	750,57	0,00	0,00
1 min	8	751,60	1,03	0,14
5 min	17	752,51	1,94	0,27
10 min	24	753,17	2,60	0,36
20 min	35	753,85	3,28	0,45
30 min	42	754,35	3,78	0,52
1 h	60	755,89	5,32	0,73
2 h	85	756,95	6,38	0,88
3 h	104	757,80	7,23	1,00
4 h	120	758,55	7,98	1,10
5 h	134	759,09	8,52	1,18
6 h	147	759,80	9,23	1,28
1 d	294	766,04	15,47	2,14
2 d	416	768,03	17,46	2,41
3 d	509	768,72	18,15	2,51
4 d	588	769,30	18,73	2,59
5 d	657	769,34	18,77	2,59
6 d	720	769,35	18,78	2,59
7 d	778	769,30	18,73	2,59

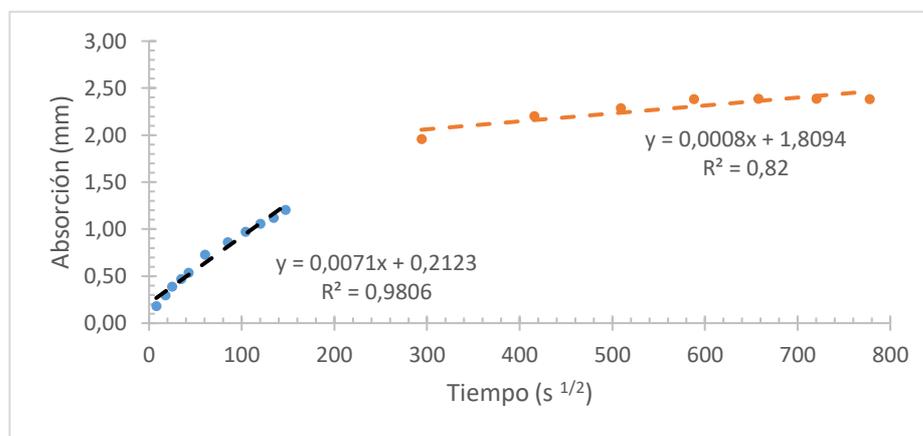


V _{inicial}	0,0078 mm/s^{1/2}	R _{inicial}	0,99
V _{secundario}	0,0009 mm/s^{1/2}	R _{secundario}	0,89

**Ritmo de absorción de agua (SORPTIVIDAD)
ASTM C1585**

Especímen	0.3 - C - A	Fecha Fundición	10-nov-18
Muestra	2	Fecha Ensayo	11-feb-19
Diámetro	96 mm	Edad	93 días
Espesor	50 mm	Densidad agua	0,001 g/mm³
Masa	767,54 g	Temperatura agua	21,5°C
Area expuesta	7238 mm²		

Toma de datos	Tiempo (s ^{1/2})	Masa (g)	Δ Masa (g)	Absorción l (mm)
0 min	0	767,54	0,00	0,00
1 min	8	768,86	1,32	0,18
5 min	17	769,70	2,16	0,30
10 min	24	770,37	2,83	0,39
20 min	35	770,97	3,43	0,47
30 min	42	771,44	3,90	0,54
1 h	60	772,82	5,28	0,73
2 h	85	773,78	6,24	0,86
3 h	104	774,58	7,04	0,97
4 h	120	775,21	7,67	1,06
5 h	134	775,67	8,13	1,12
6 h	147	776,28	8,74	1,21
1 d	294	781,74	14,20	1,96
2 d	416	783,49	15,95	2,20
3 d	509	784,1	16,56	2,29
4 d	588	784,81	17,27	2,39
5 d	657	784,84	17,30	2,39
6 d	720	784,84	17,30	2,39
7 d	778	784,81	17,27	2,39

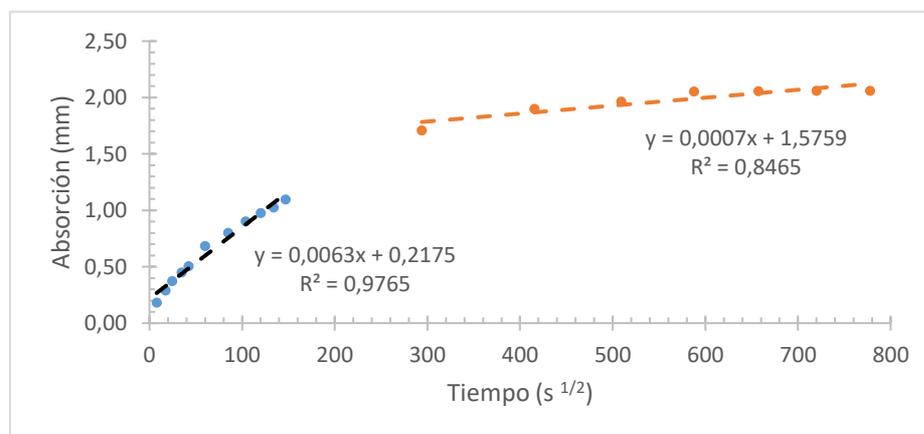


V _{inicial}	0,0071 mm/s^{1/2}	R _{inicial}	0,99
V _{secundario}	0,0008 mm/s^{1/2}	R _{secundario}	0,91

Ritmo de absorción de agua (SORPTIVIDAD) ASTM C1585

Especímen	0.3 - C - A	Fecha Fundición	10-nov-18
Muestra	3	Fecha Ensayo	11-feb-19
Diámetro	96 mm	Edad	93 días
Espesor	50 mm	Densidad agua	0,001 g/mm ³
Masa	786,88 g	Temperatura agua	21,5°C
Area expuesta	7238 mm ²		

Toma de datos	Tiempo (s ^{1/2})	Masa (g)	Δ Masa (g)	Absorción l (mm)
0 min	0	786,88	0,00	0,00
1 min	8	788,21	1,33	0,18
5 min	17	789,00	2,12	0,29
10 min	24	789,60	2,72	0,38
20 min	35	790,16	3,28	0,45
30 min	42	790,56	3,68	0,51
1 h	60	791,84	4,96	0,69
2 h	85	792,70	5,82	0,80
3 h	104	793,42	6,54	0,90
4 h	120	793,95	7,07	0,98
5 h	134	794,32	7,44	1,03
6 h	147	794,82	7,94	1,10
1 d	294	799,27	12,39	1,71
2 d	416	800,64	13,76	1,90
3 d	509	801,12	14,24	1,97
4 d	588	801,75	14,87	2,05
5 d	657	801,79	14,91	2,06
6 d	720	801,81	14,93	2,06
7 d	778	801,81	14,93	2,06

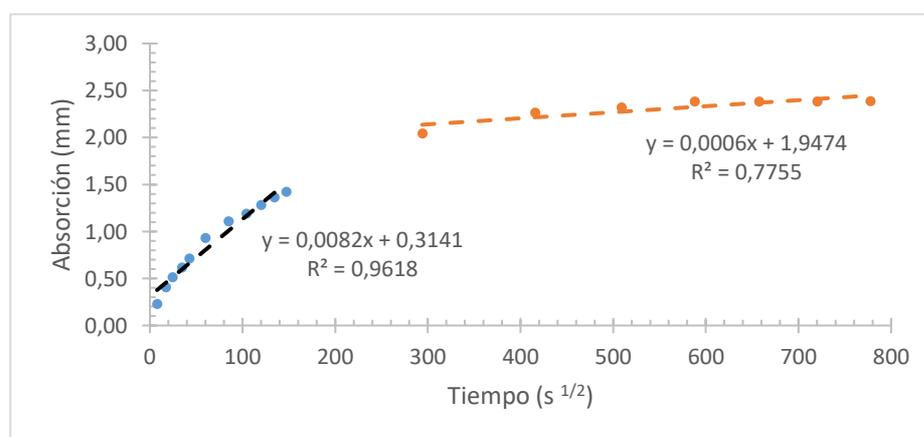


V _{inicial}	0,0063 mm/s ^{1/2}	R _{inicial}	0,99
V _{secundario}	0,0007 mm/s ^{1/2}	R _{secundario}	0,92

**Ritmo de absorción de agua (SORPTIVIDAD)
ASTM C1585**

Especímen	0.3 - C - S	Fecha Fundición	10-nov-18
Muestra	1	Fecha Ensayo	19-nov-18
Diámetro	96 mm	Edad	9 días
Espesor	50 mm	Densidad agua	0,001 g/mm³
Masa	744,71 g	Temperatura agua	20°C
Area expuesta	7238 mm²		

Toma de datos	Tiempo (s ^{1/2})	Masa (g)	Δ Masa (g)	Absorción l (mm)
0 min	0	744,71	0,00	0,00
1 min	8	746,39	1,68	0,23
5 min	17	747,67	2,96	0,41
10 min	24	748,44	3,73	0,52
20 min	35	749,19	4,48	0,62
30 min	42	749,88	5,17	0,71
1 h	60	751,48	6,77	0,94
2 h	85	752,75	8,04	1,11
3 h	104	753,35	8,64	1,19
4 h	120	754,01	9,30	1,28
5 h	134	754,59	9,88	1,36
6 h	147	755,02	10,31	1,42
1 d	294	759,52	14,81	2,05
2 d	416	761,12	16,41	2,27
3 d	509	761,52	16,81	2,32
4 d	588	761,97	17,26	2,38
5 d	657	761,97	17,26	2,38
6 d	720	761,97	17,26	2,38
7 d	778	761,99	17,28	2,39

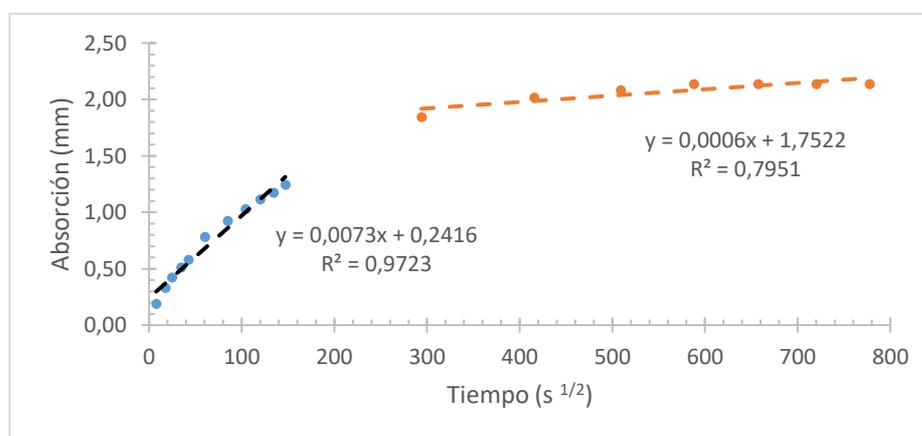


V _{inicial}	0,0082 mm/s^{1/2}	R _{inicial}	0,98
V _{secundario}	0,0006 mm/s^{1/2}	R _{secundario}	0,88

Ritmo de absorción de agua (SORPTIVIDAD) ASTM C1585

Especímen	0.3 - C - S	Fecha Fundición	10-nov-18
Muestra	2	Fecha Ensayo	19-nov-18
Diámetro	96 mm	Edad	9 días
Espesor	50 mm	Densidad agua	0,001 g/mm³
Masa	774,75 g	Temperatura agua	20°C
Area expuesta	7238 mm²		

Toma de datos	Tiempo (s ^{1/2})	Masa (g)	Δ Masa (g)	Absorción l (mm)
0 min	0	774,75	0,00	0,00
1 min	8	776,12	1,37	0,19
5 min	17	777,16	2,41	0,33
10 min	24	777,81	3,06	0,42
20 min	35	778,46	3,71	0,51
30 min	42	778,96	4,21	0,58
1 h	60	780,43	5,68	0,78
2 h	85	781,46	6,71	0,93
3 h	104	782,22	7,47	1,03
4 h	120	782,83	8,08	1,12
5 h	134	783,26	8,51	1,18
6 h	147	783,77	9,02	1,25
1 d	294	788,12	13,37	1,85
2 d	416	789,36	14,61	2,02
3 d	509	789,83	15,08	2,08
4 d	588	790,23	15,48	2,14
5 d	657	790,23	15,48	2,14
6 d	720	790,22	15,47	2,14
7 d	778	790,22	15,47	2,14

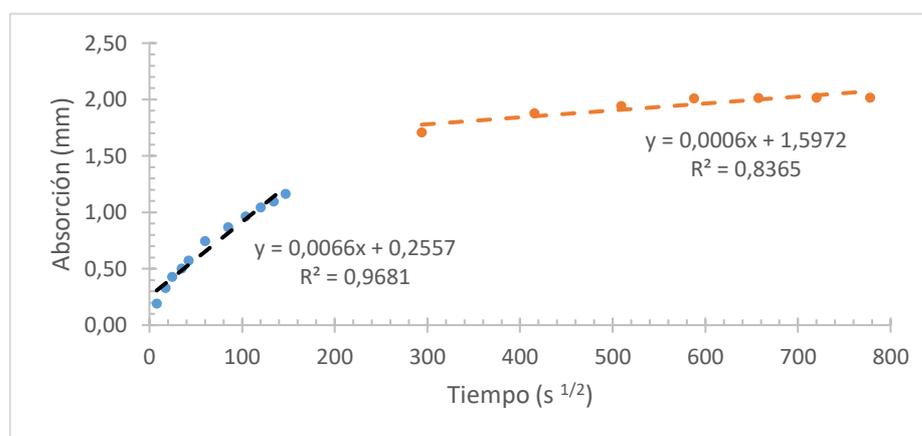


V _{inicial}	0,0073 mm/s^{1/2}	R _{inicial}	0,99
V _{secundario}	0,0006 mm/s^{1/2}	R _{secundario}	0,89

**Ritmo de absorción de agua (SORPTIVIDAD)
ASTM C1585**

Especímen	0.3 - C - S	Fecha Fundición	10-nov-18
Muestra	3	Fecha Ensayo	19-nov-18
Diámetro	96 mm	Edad	9 días
Espesor	50 mm	Densidad agua	0,001 g/mm³
Masa	797,76 g	Temperatura agua	20°C
Area expuesta	7238 mm²		

Toma de datos	Tiempo (s ^{1/2})	Masa (g)	Δ Masa (g)	Absorción l (mm)
0 min	0	797,76	0,00	0,00
1 min	8	799,16	1,40	0,19
5 min	17	800,16	2,40	0,33
10 min	24	800,87	3,11	0,43
20 min	35	801,42	3,66	0,51
30 min	42	801,93	4,17	0,58
1 h	60	803,18	5,42	0,75
2 h	85	804,07	6,31	0,87
3 h	104	804,76	7,00	0,97
4 h	120	805,34	7,58	1,05
5 h	134	805,70	7,94	1,10
6 h	147	806,19	8,43	1,16
1 d	294	810,15	12,39	1,71
2 d	416	811,37	13,61	1,88
3 d	509	811,84	14,08	1,95
4 d	588	812,33	14,57	2,01
5 d	657	812,35	14,59	2,02
6 d	720	812,38	14,62	2,02
7 d	778	812,38	14,62	2,02

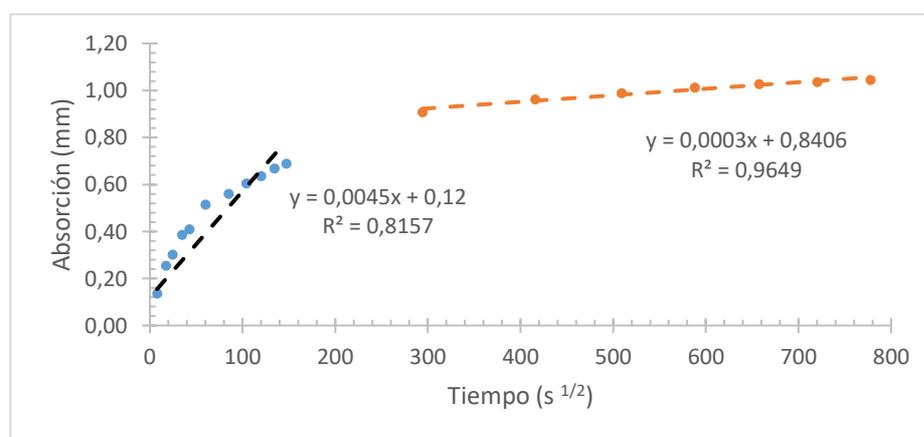


V _{inicial}	0,0066 mm/s^{1/2}	R _{inicial}	0,98
V _{secundario}	0,0006 mm/s^{1/2}	R _{secundario}	0,91

Ritmo de absorción de agua (SORPTIVIDAD) ASTM C1585

Especímen	0.3 - C - S	Fecha Fundición	10-nov-18
Muestra	1	Fecha Ensayo	10-dic-18
Diámetro	96 mm	Edad	30 días
Espesor	50 mm	Densidad agua	0,001 g/mm ³
Masa	803,71 g	Temperatura agua	21°C
Area expuesta	7238 mm²		

Toma de datos	Tiempo (s ^{1/2})	Masa (g)	Δ Masa (g)	Absorción l (mm)
0 min	0	803,71	0,00	0,00
1 min	8	804,70	0,99	0,14
5 min	17	805,56	1,85	0,26
10 min	24	805,90	2,19	0,30
20 min	35	806,51	2,80	0,39
30 min	42	806,68	2,97	0,41
1 h	60	807,44	3,73	0,52
2 h	85	807,77	4,06	0,56
3 h	104	808,09	4,38	0,61
4 h	120	808,32	4,61	0,64
5 h	134	808,55	4,84	0,67
6 h	147	808,70	4,99	0,69
1 d	294	810,29	6,58	0,91
2 d	416	810,68	6,97	0,96
3 d	509	810,87	7,16	0,99
4 d	588	811,04	7,33	1,01
5 d	657	811,15	7,44	1,03
6 d	720	811,22	7,51	1,04
7 d	778	811,28	7,57	1,05

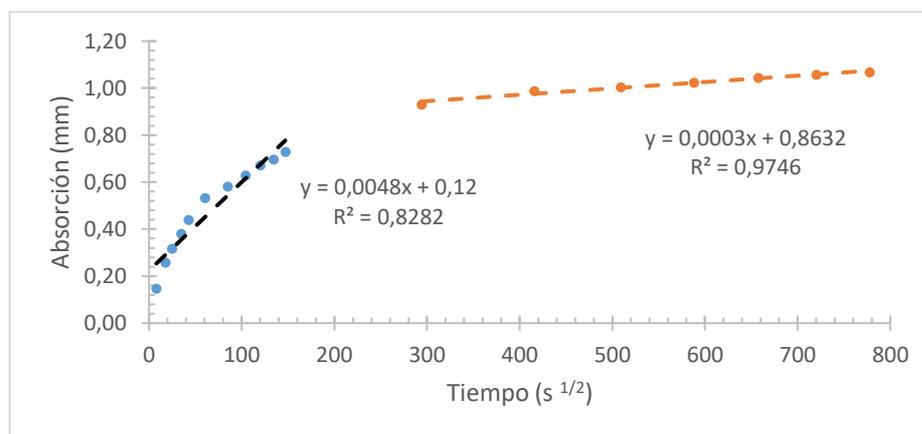


V _{inicial}	0,0045 mm/s^{1/2}	R _{inicial}	0,96
V _{secundario}	0,0003 mm/s^{1/2}	R _{secundario}	0,98

Ritmo de absorción de agua (SORPTIVIDAD) ASTM C1585

Especímen	0.3 - C - S	Fecha Fundición	10-nov-18
Muestra	2	Fecha Ensayo	10-dic-18
Diámetro	96 mm	Edad	30 días
Espesor	50 mm	Densidad agua	0,001 g/mm ³
Masa	825,45 g	Temperatura agua	21°C
Area expuesta	7238 mm ²		

Toma de datos	Tiempo (s ^{1/2})	Masa (g)	Δ Masa (g)	Absorción l (mm)
0 min	0	825,45	0,00	0,00
1 min	8	826,52	1,07	0,15
5 min	17	827,32	1,87	0,26
10 min	24	827,75	2,30	0,32
20 min	35	828,21	2,76	0,38
30 min	42	828,63	3,18	0,44
1 h	60	829,31	3,86	0,53
2 h	85	829,66	4,21	0,58
3 h	104	830,00	4,55	0,63
4 h	120	830,31	4,86	0,67
5 h	134	830,50	5,05	0,70
6 h	147	830,73	5,28	0,73
1 d	294	832,19	6,74	0,93
2 d	416	832,60	7,15	0,99
3 d	509	832,72	7,27	1,00
4 d	588	832,86	7,41	1,02
5 d	657	833,01	7,56	1,04
6 d	720	833,10	7,65	1,06
7 d	778	833,18	7,73	1,07

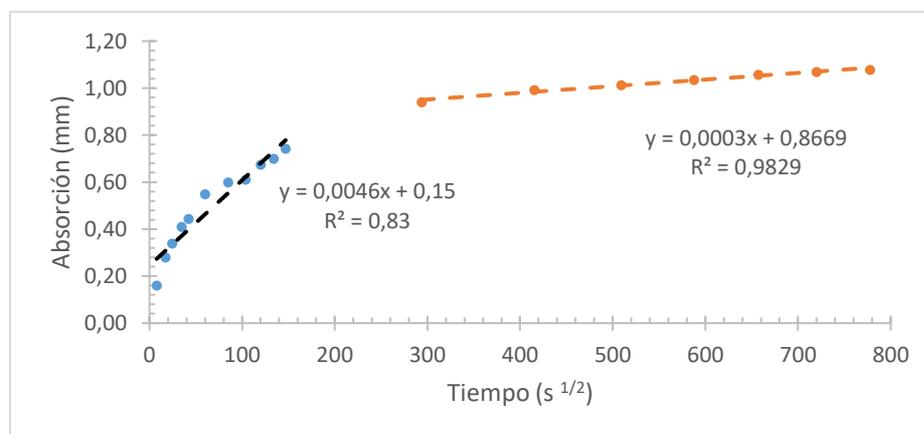


V _{inicial}	0,0048 mm/s ^{1/2}	R _{inicial}	0,96
V _{secundario}	0,0003 mm/s ^{1/2}	R _{secundario}	0,99

Ritmo de absorción de agua (SORPTIVIDAD) ASTM C1585

Especímen	0.3 - C - S	Fecha Fundición	10-nov-18
Muestra	3	Fecha Ensayo	10-dic-18
Diámetro	96 mm	Edad	30 días
Espesor	50 mm	Densidad agua	0,001 g/mm ³
Masa	820,87 g	Temperatura agua	21°C
Area expuesta	7238 mm ²		

Toma de datos	Tiempo (s ^{1/2})	Masa (g)	Δ Masa (g)	Absorción l (mm)
0 min	0	820,87	0,00	0,00
1 min	8	822,03	1,16	0,16
5 min	17	822,90	2,03	0,28
10 min	24	823,33	2,46	0,34
20 min	35	823,84	2,97	0,41
30 min	42	824,09	3,22	0,44
1 h	60	824,85	3,98	0,55
2 h	85	825,21	4,34	0,60
3 h	104	825,30	4,43	0,61
4 h	120	825,75	4,88	0,67
5 h	134	825,94	5,07	0,70
6 h	147	826,25	5,38	0,74
1 d	294	827,68	6,81	0,94
2 d	416	828,05	7,18	0,99
3 d	509	828,20	7,33	1,01
4 d	588	828,37	7,50	1,04
5 d	657	828,53	7,66	1,06
6 d	720	828,61	7,74	1,07
7 d	778	828,68	7,81	1,08

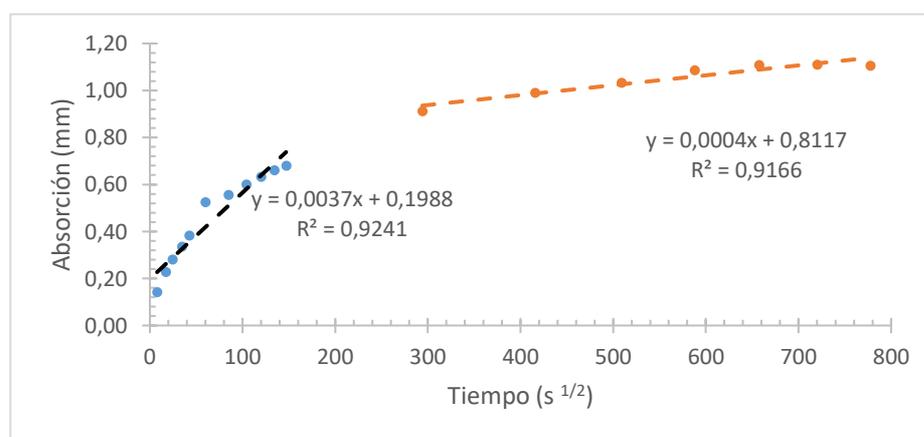


V _{inicial}	0,0046 mm/s ^{1/2}	R _{inicial}	0,96
V _{secundario}	0,0003 mm/s ^{1/2}	R _{secundario}	0,99

Ritmo de absorción de agua (SORPTIVIDAD) ASTM C1585

Especímen	0.3 - C - S	Fecha Fundición	10-nov-18
Muestra	1	Fecha Ensayo	11-feb-19
Diámetro	96 mm	Edad	93 días
Espesor	50 mm	Densidad agua	0,001 g/mm³
Masa	782,80 g	Temperatura agua	21,5°C
Area expuesta	7238 mm²		

Toma de datos	Tiempo (s ^{1/2})	Masa (g)	Δ Masa (g)	Absorción l (mm)
0 min	0	782,80	0,00	0,00
1 min	8	783,83	1,03	0,14
5 min	17	784,46	1,66	0,23
10 min	24	784,84	2,04	0,28
20 min	35	785,24	2,44	0,34
30 min	42	785,58	2,78	0,38
1 h	60	786,60	3,80	0,52
2 h	85	786,83	4,03	0,56
3 h	104	787,15	4,35	0,60
4 h	120	787,39	4,59	0,63
5 h	134	787,59	4,79	0,66
6 h	147	787,73	4,93	0,68
1 d	294	789,41	6,61	0,91
2 d	416	789,97	7,17	0,99
3 d	509	790,28	7,48	1,03
4 d	588	790,67	7,87	1,09
5 d	657	790,83	8,03	1,11
6 d	720	790,84	8,04	1,11
7 d	778	790,81	8,01	1,11

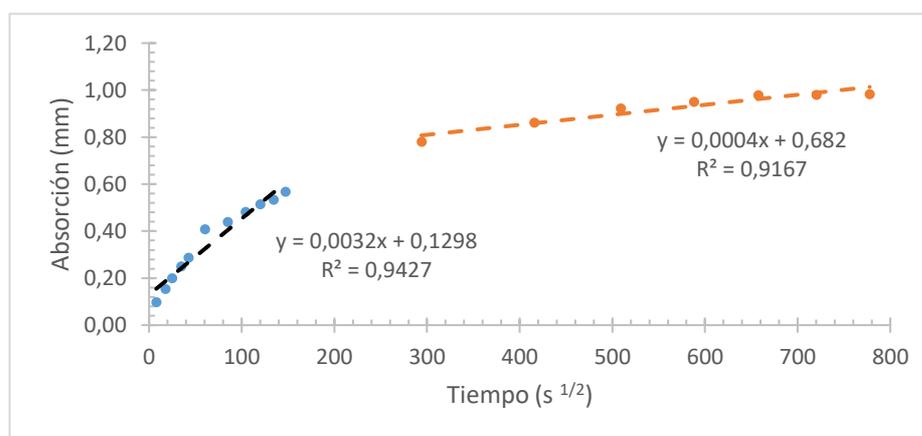


V _{inicial}	0,0037 mm/s^{1/2}	R _{inicial}	0,96
V _{secundario}	0,0004 mm/s^{1/2}	R _{secundario}	0,96

Ritmo de absorción de agua (SORPTIVIDAD) ASTM C1585

Especímen	0.3 - C - S	Fecha Fundición	10-nov-18
Muestra	2	Fecha Ensayo	11-feb-19
Diámetro	96 mm	Edad	93 días
Espesor	50 mm	Densidad agua	0,001 g/mm³
Masa	773,37 g	Temperatura agua	21,5°C
Area expuesta	7238 mm²		

Toma de datos	Tiempo (s ^{1/2})	Masa (g)	Δ Masa (g)	Absorción l (mm)
0 min	0	773,37	0,00	0,00
1 min	8	774,08	0,71	0,10
5 min	17	774,49	1,12	0,15
10 min	24	774,82	1,45	0,20
20 min	35	775,19	1,82	0,25
30 min	42	775,45	2,08	0,29
1 h	60	776,33	2,96	0,41
2 h	85	776,55	3,18	0,44
3 h	104	776,86	3,49	0,48
4 h	120	777,10	3,73	0,52
5 h	134	777,24	3,87	0,53
6 h	147	777,48	4,11	0,57
1 d	294	779,02	5,65	0,78
2 d	416	779,61	6,24	0,86
3 d	509	780,05	6,68	0,92
4 d	588	780,26	6,89	0,95
5 d	657	780,46	7,09	0,98
6 d	720	780,47	7,10	0,98
7 d	778	780,49	7,12	0,98

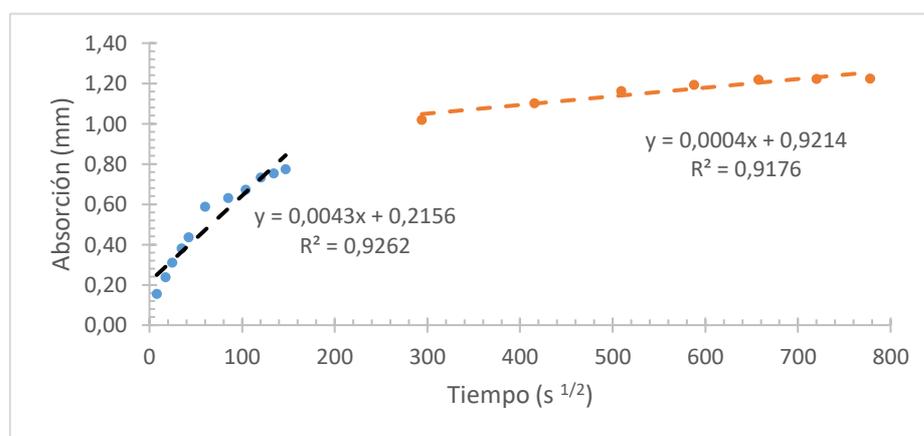


V _{inicial}	0,0032 mm/s^{1/2}	R _{inicial}	0,97
V _{secundario}	0,0004 mm/s^{1/2}	R _{secundario}	0,96

Ritmo de absorción de agua (SORPTIVIDAD) ASTM C1585

Especímen	0.3 - C - S	Fecha Fundición	10-nov-18
Muestra	3	Fecha Ensayo	11-feb-19
Diámetro	96 mm	Edad	93 días
Espesor	50 mm	Densidad agua	0,001 g/mm³
Masa	765,95 g	Temperatura agua	21,5°C
Area expuesta	7238 mm²		

Toma de datos	Tiempo (s ^{1/2})	Masa (g)	Δ Masa (g)	Absorción l (mm)
0 min	0	765,95	0,00	0,00
1 min	8	767,08	1,13	0,16
5 min	17	767,68	1,73	0,24
10 min	24	768,21	2,26	0,31
20 min	35	768,72	2,77	0,38
30 min	42	769,12	3,17	0,44
1 h	60	770,21	4,26	0,59
2 h	85	770,53	4,58	0,63
3 h	104	770,83	4,88	0,67
4 h	120	771,26	5,31	0,73
5 h	134	771,41	5,46	0,75
6 h	147	771,56	5,61	0,78
1 d	294	773,34	7,39	1,02
2 d	416	773,93	7,98	1,10
3 d	509	774,37	8,42	1,16
4 d	588	774,60	8,65	1,20
5 d	657	774,78	8,83	1,22
6 d	720	774,80	8,85	1,22
7 d	778	774,82	8,87	1,23

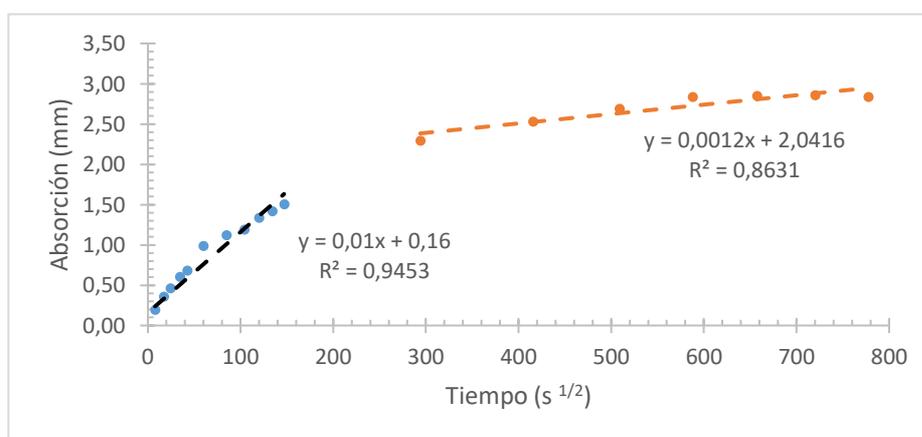


V _{inicial}	0,0043 mm/s^{1/2}	R _{inicial}	0,96
V _{secundario}	0,0004 mm/s^{1/2}	R _{secundario}	0,96

**Ritmo de absorción de agua (SORPTIVIDAD)
ASTM C1585**

Especímen	0.3 - L - A	Fecha Fundición	10-nov-18
Muestra	1	Fecha Ensayo	19-nov-18
Diámetro	96 mm	Edad	9 días
Espesor	50 mm	Densidad agua	0,001 g/mm³
Masa	725,48 g	Temperatura agua	20°C
Area expuesta	7238 mm²		

Toma de datos	Tiempo (s ^{1/2})	Masa (g)	Δ Masa (g)	Absorción l (mm)
0 min	0	725,48	0,00	0,00
1 min	8	726,90	1,42	0,20
5 min	17	728,08	2,60	0,36
10 min	24	728,85	3,37	0,47
20 min	35	729,86	4,38	0,61
30 min	42	730,44	4,96	0,69
1 h	60	732,64	7,16	0,99
2 h	85	733,63	8,15	1,13
3 h	104	734,12	8,64	1,19
4 h	120	735,17	9,69	1,34
5 h	134	735,77	10,29	1,42
6 h	147	736,39	10,91	1,51
1 d	294	742,10	16,62	2,30
2 d	416	743,80	18,32	2,53
3 d	509	744,97	19,49	2,69
4 d	588	746,03	20,55	2,84
5 d	657	746,12	20,64	2,85
6 d	720	746,19	20,71	2,86
7 d	778	746,02	20,54	2,84

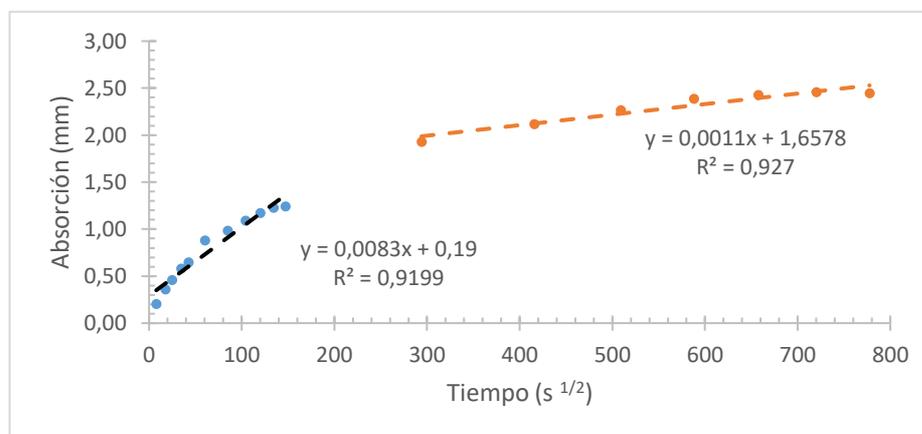


V _{inicial}	0,0100 mm/s^{1/2}	R _{inicial}	0,98
V _{secundario}	0,0012 mm/s^{1/2}	R _{secundario}	0,93

Ritmo de absorción de agua (SORPTIVIDAD) ASTM C1585

Especímen	0.3 - L - A	Fecha Fundición	10-nov-18
Muestra	2	Fecha Ensayo	19-nov-18
Diámetro	96 mm	Edad	9 días
Espesor	50 mm	Densidad agua	0,001 g/mm³
Masa	799,31 g	Temperatura agua	20°C
Area expuesta	7238 mm²		

Toma de datos	Tiempo (s ^{1/2})	Masa (g)	Δ Masa (g)	Absorción l (mm)
0 min	0	799,31	0,00	0,00
1 min	8	800,81	1,50	0,21
5 min	17	801,92	2,61	0,36
10 min	24	802,65	3,34	0,46
20 min	35	803,54	4,23	0,58
30 min	42	804,00	4,69	0,65
1 h	60	805,69	6,38	0,88
2 h	85	806,45	7,14	0,99
3 h	104	807,22	7,91	1,09
4 h	120	807,82	8,51	1,18
5 h	134	808,21	8,90	1,23
6 h	147	808,32	9,01	1,24
1 d	294	813,30	13,99	1,93
2 d	416	814,65	15,34	2,12
3 d	509	815,71	16,40	2,27
4 d	588	816,60	17,29	2,39
5 d	657	816,90	17,59	2,43
6 d	720	817,10	17,79	2,46
7 d	778	817,03	17,72	2,45

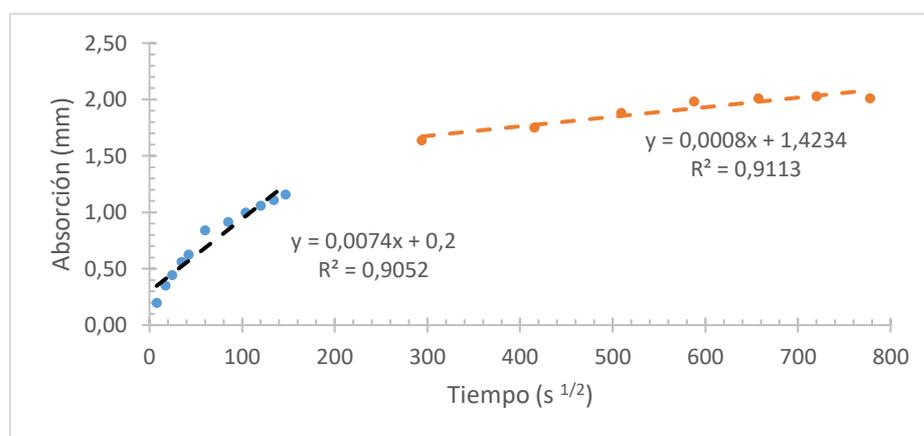


V _{inicial}	0,0083 mm/s^{1/2}	R _{inicial}	0,97
V _{secundario}	0,0011 mm/s^{1/2}	R _{secundario}	0,96

Ritmo de absorción de agua (SORPTIVIDAD) ASTM C1585

Especímen	0.3 - L - A	Fecha Fundición	10-nov-18
Muestra	3	Fecha Ensayo	19-nov-18
Diámetro	96 mm	Edad	9 días
Espesor	50 mm	Densidad agua	0,001 g/mm³
Masa	784,21 g	Temperatura agua	20°C
Area expuesta	7238 mm²		

Toma de datos	Tiempo (s ^{1/2})	Masa (g)	Δ Masa (g)	Absorción l (mm)
0 min	0	784,21	0,00	0,00
1 min	8	785,66	1,45	0,20
5 min	17	786,77	2,56	0,35
10 min	24	787,43	3,22	0,44
20 min	35	788,28	4,07	0,56
30 min	42	788,75	4,54	0,63
1 h	60	790,31	6,10	0,84
2 h	85	790,85	6,64	0,92
3 h	104	791,44	7,23	1,00
4 h	120	791,89	7,68	1,06
5 h	134	792,25	8,04	1,11
6 h	147	792,61	8,40	1,16
1 d	294	796,08	11,87	1,64
2 d	416	796,90	12,69	1,75
3 d	509	797,85	13,64	1,88
4 d	588	798,58	14,37	1,99
5 d	657	798,78	14,57	2,01
6 d	720	798,92	14,71	2,03
7 d	778	798,78	14,57	2,01

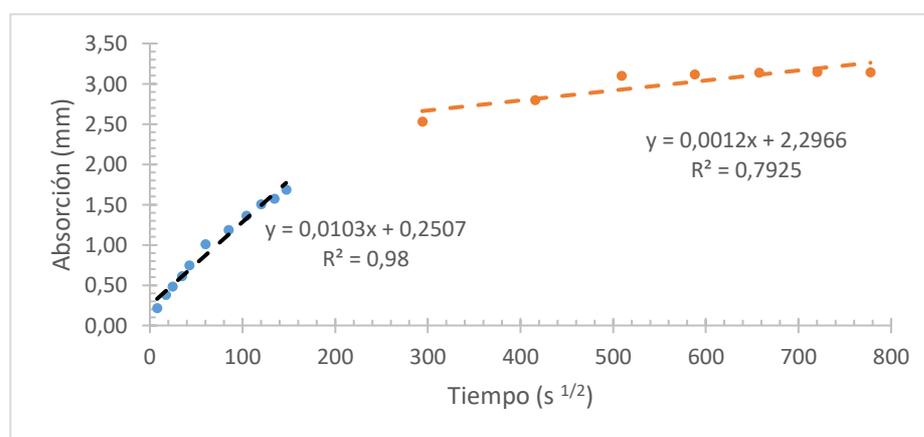


V _{inicial}	0,0074 mm/s^{1/2}	R _{inicial}	0,97
V _{secundario}	0,0008 mm/s^{1/2}	R _{secundario}	0,95

Ritmo de absorción de agua (SORPTIVIDAD) ASTM C1585

Especímen	0.3 - L - A	Fecha Fundición	10-nov-18
Muestra	1	Fecha Ensayo	10-dic-18
Diámetro	96 mm	Edad	30 días
Espesor	50 mm	Densidad agua	0,001 g/mm ³
Masa	786,42 g	Temperatura agua	21°C
Area expuesta	7238 mm²		

Toma de datos	Tiempo (s ^{1/2})	Masa (g)	Δ Masa (g)	Absorción l (mm)
0 min	0	786,42	0,00	0,00
1 min	8	788,01	1,59	0,22
5 min	17	789,19	2,77	0,38
10 min	24	789,93	3,51	0,48
20 min	35	790,86	4,44	0,61
30 min	42	791,83	5,41	0,75
1 h	60	793,74	7,32	1,01
2 h	85	795,01	8,59	1,19
3 h	104	796,30	9,88	1,36
4 h	120	797,34	10,92	1,51
5 h	134	797,83	11,41	1,58
6 h	147	798,64	12,22	1,69
1 d	294	804,76	18,34	2,53
2 d	416	806,70	20,28	2,80
3 d	509	808,86	22,44	3,10
4 d	588	809,01	22,59	3,12
5 d	657	809,15	22,73	3,14
6 d	720	809,22	22,80	3,15
7 d	778	809,17	22,75	3,14

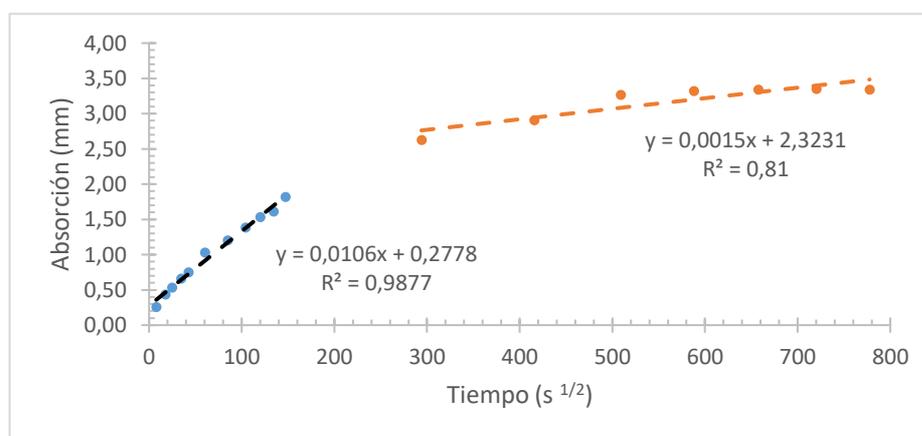


V _{inicial}	0,0103 mm/s^{1/2}	R _{inicial}	0,99
V _{secundario}	0,0012 mm/s^{1/2}	R _{secundario}	0,89

Ritmo de absorción de agua (SORPTIVIDAD) ASTM C1585

Especímen	0.3 - L - A	Fecha Fundición	10-nov-18
Muestra	2	Fecha Ensayo	10-dic-18
Diámetro	96 mm	Edad	30 días
Espesor	50 mm	Densidad agua	0,001 g/mm ³
Masa	783,30 g	Temperatura agua	21°C
Area expuesta	7238 mm ²		

Toma de datos	Tiempo (s ^{1/2})	Masa (g)	Δ Masa (g)	Absorción l (mm)
0 min	0	783,30	0,00	0,00
1 min	8	785,18	1,88	0,26
5 min	17	786,45	3,15	0,44
10 min	24	787,18	3,88	0,54
20 min	35	788,10	4,80	0,66
30 min	42	788,75	5,45	0,75
1 h	60	790,78	7,48	1,03
2 h	85	792,04	8,74	1,21
3 h	104	793,35	10,05	1,39
4 h	120	794,40	11,10	1,53
5 h	134	795,00	11,70	1,62
6 h	147	796,50	13,20	1,82
1 d	294	802,34	19,04	2,63
2 d	416	804,35	21,05	2,91
3 d	509	806,98	23,68	3,27
4 d	588	807,37	24,07	3,33
5 d	657	807,49	24,19	3,34
6 d	720	807,56	24,26	3,35
7 d	778	807,51	24,21	3,34

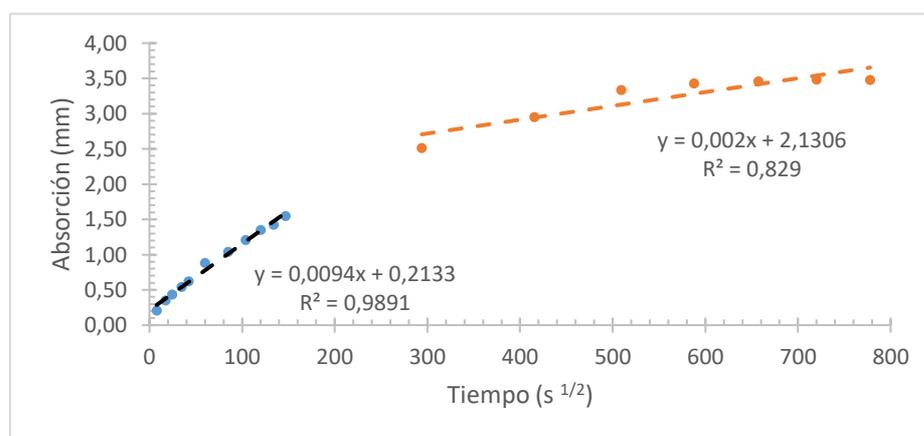


V _{inicial}	0,0106 mm/s ^{1/2}	R _{inicial}	0,99
V _{secundario}	0,0015 mm/s ^{1/2}	R _{secundario}	0,90

Ritmo de absorción de agua (SORPTIVIDAD) ASTM C1585

Especímen	0.3 - L - A	Fecha Fundición	10-nov-18
Muestra	3	Fecha Ensayo	10-dic-18
Diámetro	96 mm	Edad	30 días
Espesor	50 mm	Densidad agua	0,001 g/mm³
Masa	811,72 g	Temperatura agua	21°C
Area expuesta	7238 mm²		

Toma de datos	Tiempo (s ^{1/2})	Masa (g)	Δ Masa (g)	Absorción l (mm)
0 min	0	811,72	0,00	0,00
1 min	8	813,26	1,54	0,21
5 min	17	814,27	2,55	0,35
10 min	24	814,87	3,15	0,44
20 min	35	815,66	3,94	0,54
30 min	42	816,24	4,52	0,62
1 h	60	818,14	6,42	0,89
2 h	85	819,27	7,55	1,04
3 h	104	820,50	8,78	1,21
4 h	120	821,50	9,78	1,35
5 h	134	822,05	10,33	1,43
6 h	147	822,94	11,22	1,55
1 d	294	829,93	18,21	2,52
2 d	416	833,11	21,39	2,96
3 d	509	835,90	24,18	3,34
4 d	588	836,56	24,84	3,43
5 d	657	836,79	25,07	3,46
6 d	720	836,94	25,22	3,48
7 d	778	836,90	25,18	3,48

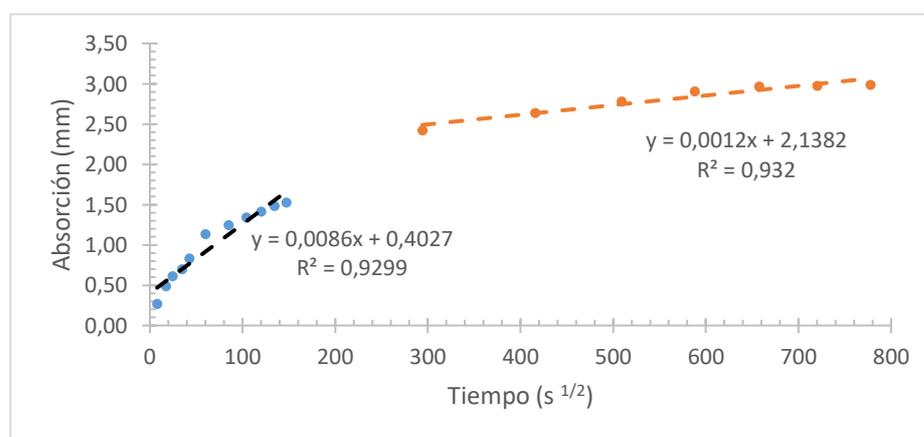


V _{inicial}	0,0094 mm/s^{1/2}	R _{inicial}	0,99
V _{secundario}	0,0002 mm/s^{1/2}	R _{secundario}	0,91

Ritmo de absorción de agua (SORPTIVIDAD) ASTM C1585

Especímen	0.3 - L - A	Fecha Fundición	10-nov-18
Muestra	1	Fecha Ensayo	11-feb-19
Diámetro	96 mm	Edad	93 días
Espesor	50 mm	Densidad agua	0,001 g/mm³
Masa	726,26 g	Temperatura agua	21,5°C
Area expuesta	7238 mm²		

Toma de datos	Tiempo (s ^{1/2})	Masa (g)	Δ Masa (g)	Absorción l (mm)
0 min	0	726,26	0,00	0,00
1 min	8	728,21	1,95	0,27
5 min	17	729,80	3,54	0,49
10 min	24	730,71	4,45	0,61
20 min	35	731,35	5,09	0,70
30 min	42	732,30	6,04	0,83
1 h	60	734,50	8,24	1,14
2 h	85	735,30	9,04	1,25
3 h	104	736,00	9,74	1,35
4 h	120	736,52	10,26	1,42
5 h	134	737,00	10,74	1,48
6 h	147	737,34	11,08	1,53
1 d	294	743,83	17,57	2,43
2 d	416	745,38	19,12	2,64
3 d	509	746,40	20,14	2,78
4 d	588	747,30	21,04	2,91
5 d	657	747,76	21,50	2,97
6 d	720	747,82	21,56	2,98
7 d	778	747,89	21,63	2,99

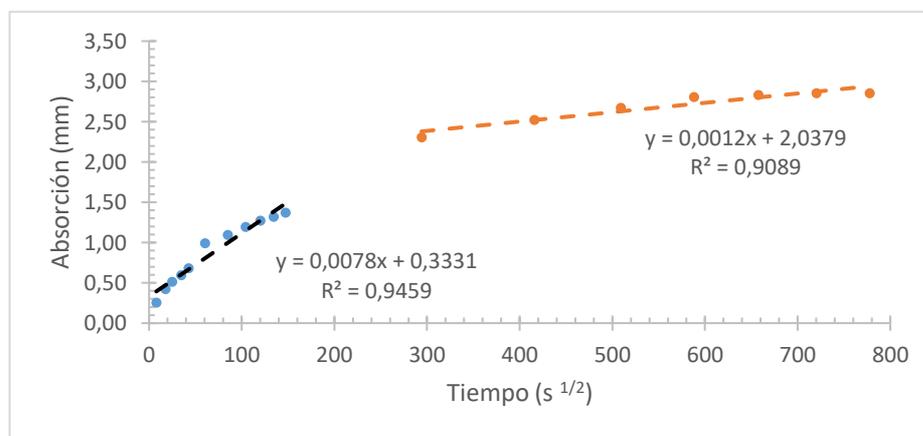


V _{inicial}	0,0086 mm/s^{1/2}	R _{inicial}	0,96
V _{secundario}	0,0012 mm/s^{1/2}	R _{secundario}	0,97

**Ritmo de absorción de agua (SORPTIVIDAD)
ASTM C1585**

Especímen	0.3 - L - A	Fecha Fundición	10-nov-18
Muestra	2	Fecha Ensayo	11-feb-19
Diámetro	96 mm	Edad	93 días
Espesor	50 mm	Densidad agua	0,001 g/mm³
Masa	732,44 g	Temperatura agua	21,5°C
Area expuesta	7238 mm²		

Toma de datos	Tiempo (s ^{1/2})	Masa (g)	Δ Masa (g)	Absorción l (mm)
0 min	0	732,44	0,00	0,00
1 min	8	734,30	1,86	0,26
5 min	17	735,51	3,07	0,42
10 min	24	736,18	3,74	0,52
20 min	35	736,76	4,32	0,60
30 min	42	737,40	4,96	0,69
1 h	60	739,63	7,19	0,99
2 h	85	740,40	7,96	1,10
3 h	104	741,09	8,65	1,20
4 h	120	741,66	9,22	1,27
5 h	134	742,00	9,56	1,32
6 h	147	742,38	9,94	1,37
1 d	294	749,16	16,72	2,31
2 d	416	750,70	18,26	2,52
3 d	509	751,79	19,35	2,67
4 d	588	752,78	20,34	2,81
5 d	657	752,97	20,53	2,84
6 d	720	753,10	20,66	2,85
7 d	778	753,10	20,66	2,85

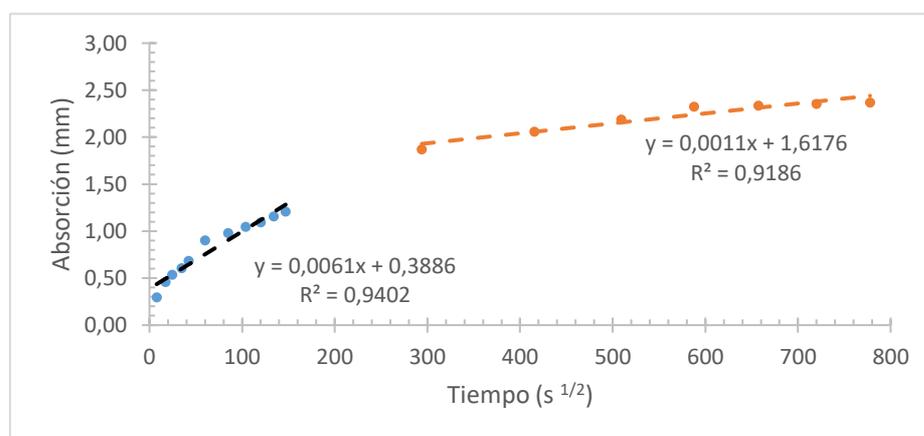


V _{inicial}	0,0078 mm/s^{1/2}	R _{inicial}	0,97
V _{secundario}	0,0012 mm/s^{1/2}	R _{secundario}	0,95

Ritmo de absorción de agua (SORPTIVIDAD) ASTM C1585

Especímen	0.3 - L - A	Fecha Fundición	10-nov-18
Muestra	3	Fecha Ensayo	11-feb-19
Diámetro	96 mm	Edad	93 días
Espesor	50 mm	Densidad agua	0,001 g/mm³
Masa	734,89 g	Temperatura agua	21,5°C
Area expuesta	7238 mm²		

Toma de datos	Tiempo (s ^{1/2})	Masa (g)	Δ Masa (g)	Absorción l (mm)
0 min	0	734,89	0,00	0,00
1 min	8	737,06	2,17	0,30
5 min	17	738,22	3,33	0,46
10 min	24	738,79	3,90	0,54
20 min	35	739,29	4,40	0,61
30 min	42	739,86	4,97	0,69
1 h	60	741,43	6,54	0,90
2 h	85	742,00	7,11	0,98
3 h	104	742,47	7,58	1,05
4 h	120	742,83	7,94	1,10
5 h	134	743,29	8,40	1,16
6 h	147	743,65	8,76	1,21
1 d	294	748,43	13,54	1,87
2 d	416	749,80	14,91	2,06
3 d	509	750,73	15,84	2,19
4 d	588	751,72	16,83	2,33
5 d	657	751,82	16,93	2,34
6 d	720	751,95	17,06	2,36
7 d	778	752,06	17,17	2,37

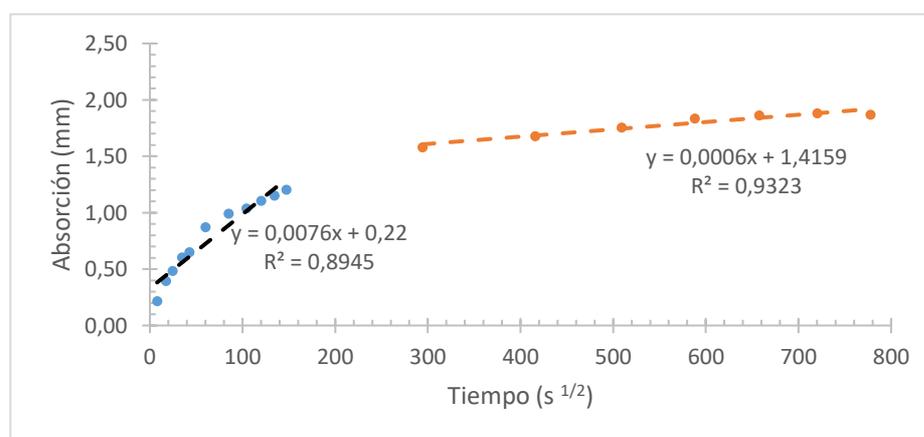


V _{inicial}	0,0061 mm/s^{1/2}	R _{inicial}	0,97
V _{secundario}	0,0011 mm/s^{1/2}	R _{secundario}	0,96

Ritmo de absorción de agua (SORPTIVIDAD) ASTM C1585

Especímen	0.3 - L - S	Fecha Fundición	10-nov-18
Muestra	1	Fecha Ensayo	19-nov-18
Diámetro	96 mm	Edad	9 días
Espesor	50 mm	Densidad agua	0,001 g/mm³
Masa	778,39 g	Temperatura agua	20°C
Area expuesta	7238 mm²		

Toma de datos	Tiempo (s ^{1/2})	Masa (g)	Δ Masa (g)	Absorción l (mm)
0 min	0	778,39	0,00	0,00
1 min	8	779,96	1,57	0,22
5 min	17	781,26	2,87	0,40
10 min	24	781,91	3,52	0,49
20 min	35	782,77	4,38	0,61
30 min	42	783,12	4,73	0,65
1 h	60	784,72	6,33	0,87
2 h	85	785,58	7,19	0,99
3 h	104	785,92	7,53	1,04
4 h	120	786,40	8,01	1,11
5 h	134	786,74	8,35	1,15
6 h	147	787,13	8,74	1,21
1 d	294	789,83	11,44	1,58
2 d	416	790,55	12,16	1,68
3 d	509	791,11	12,72	1,76
4 d	588	791,69	13,30	1,84
5 d	657	791,88	13,49	1,86
6 d	720	792,02	13,63	1,88
7 d	778	791,93	13,54	1,87

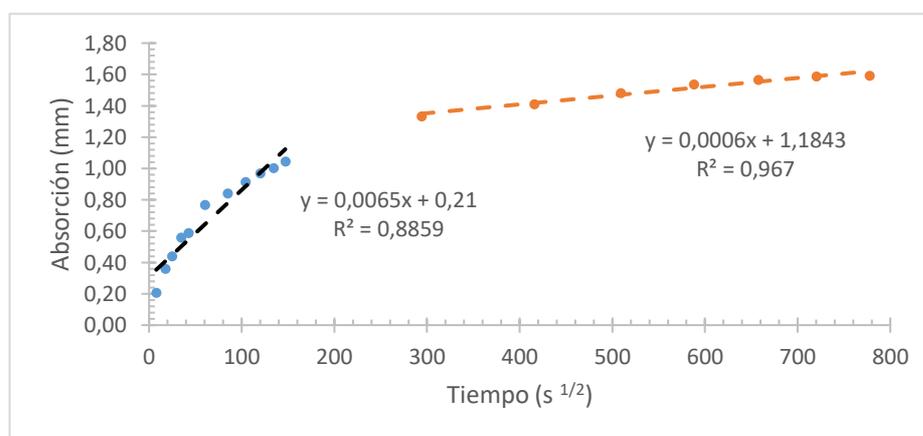


V _{inicial}	0,0076 mm/s^{1/2}	R _{inicial}	0,96
V _{secundario}	0,0006 mm/s^{1/2}	R _{secundario}	0,97

**Ritmo de absorción de agua (SORPTIVIDAD)
ASTM C1585**

Especímen	0.3 - L - S	Fecha Fundición	10-nov-18
Muestra	2	Fecha Ensayo	19-nov-18
Diámetro	96 mm	Edad	9 días
Espesor	50 mm	Densidad agua	0,001 g/mm³
Masa	783,36 g	Temperatura agua	20°C
Area expuesta	7238 mm²		

Toma de datos	Tiempo (s ^{1/2})	Masa (g)	Δ Masa (g)	Absorción l (mm)
0 min	0	783,36	0,00	0,00
1 min	8	784,86	1,50	0,21
5 min	17	785,97	2,61	0,36
10 min	24	786,55	3,19	0,44
20 min	35	787,42	4,06	0,56
30 min	42	787,63	4,27	0,59
1 h	60	788,93	5,57	0,77
2 h	85	789,45	6,09	0,84
3 h	104	789,99	6,63	0,92
4 h	120	790,38	7,02	0,97
5 h	134	790,63	7,27	1,00
6 h	147	790,93	7,57	1,05
1 d	294	793,02	9,66	1,33
2 d	416	793,58	10,22	1,41
3 d	509	794,09	10,73	1,48
4 d	588	794,49	11,13	1,54
5 d	657	794,70	11,34	1,57
6 d	720	794,86	11,50	1,59
7 d	778	794,89	11,53	1,59

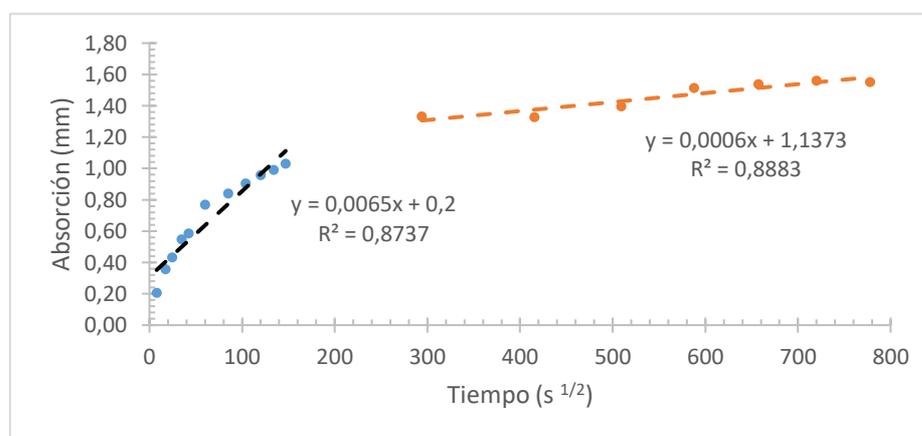


V _{inicial}	0,0065 mm/s^{1/2}	R _{inicial}	0,96
V _{secundario}	0,0006 mm/s^{1/2}	R _{secundario}	0,98

Ritmo de absorción de agua (SORPTIVIDAD) ASTM C1585

Especímen	0.3 - L - S	Fecha Fundición	10-nov-18
Muestra	3	Fecha Ensayo	19-nov-18
Diámetro	96 mm	Edad	9 días
Espesor	50 mm	Densidad agua	0,001 g/mm ³
Masa	788,85 g	Temperatura agua	20°C
Area expuesta	7238 mm ²		

Toma de datos	Tiempo (s ^{1/2})	Masa (g)	Δ Masa (g)	Absorción l (mm)
0 min	0	788,85	0,00	0,00
1 min	8	790,36	1,51	0,21
5 min	17	791,45	2,60	0,36
10 min	24	791,99	3,14	0,43
20 min	35	792,82	3,97	0,55
30 min	42	793,10	4,25	0,59
1 h	60	794,43	5,58	0,77
2 h	85	794,95	6,10	0,84
3 h	104	795,41	6,56	0,91
4 h	120	795,79	6,94	0,96
5 h	134	796,04	7,19	0,99
6 h	147	796,33	7,48	1,03
1 d	294	798,50	9,65	1,33
2 d	416	798,47	9,62	1,33
3 d	509	798,97	10,12	1,40
4 d	588	799,82	10,97	1,52
5 d	657	800,00	11,15	1,54
6 d	720	800,15	11,30	1,56
7 d	778	800,09	11,24	1,55

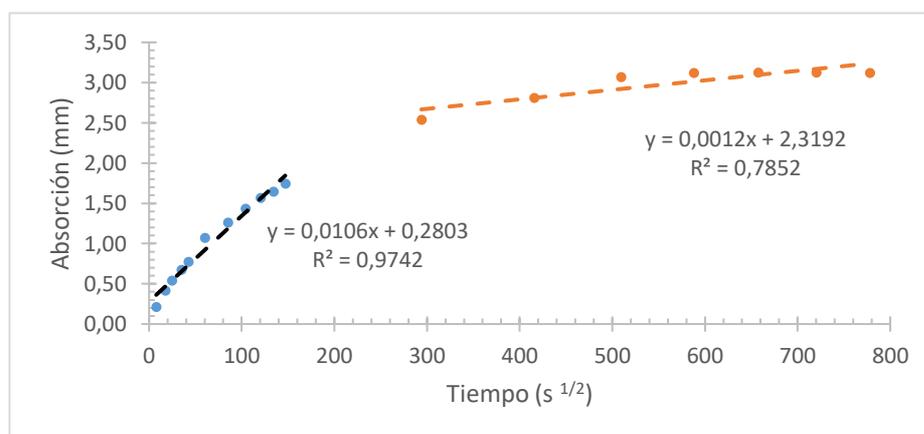


V _{inicial}	0,0065 mm/s ^{1/2}	R _{inicial}	0,96
V _{secundario}	0,0006 mm/s ^{1/2}	R _{secundario}	0,94

Ritmo de absorción de agua (SORPTIVIDAD) ASTM C1585

Especímen	0.3 - L - S	Fecha Fundición	10-nov-18
Muestra	1	Fecha Ensayo	10-dic-18
Diámetro	96 mm	Edad	30 días
Espesor	50 mm	Densidad agua	0,001 g/mm³
Masa	775,93 g	Temperatura agua	21°C
Area expuesta	7238 mm²		

Toma de datos	Tiempo (s ^{1/2})	Masa (g)	Δ Masa (g)	Absorción l (mm)
0 min	0	775,93	0,00	0,00
1 min	8	777,46	1,53	0,21
5 min	17	778,94	3,01	0,42
10 min	24	779,84	3,91	0,54
20 min	35	780,82	4,89	0,68
30 min	42	781,54	5,61	0,78
1 h	60	783,70	7,77	1,07
2 h	85	785,06	9,13	1,26
3 h	104	786,32	10,39	1,44
4 h	120	787,27	11,34	1,57
5 h	134	787,85	11,92	1,65
6 h	147	788,55	12,62	1,74
1 d	294	794,30	18,37	2,54
2 d	416	796,27	20,34	2,81
3 d	509	798,16	22,23	3,07
4 d	588	798,53	22,60	3,12
5 d	657	798,56	22,63	3,13
6 d	720	798,55	22,62	3,13
7 d	778	798,52	22,59	3,12

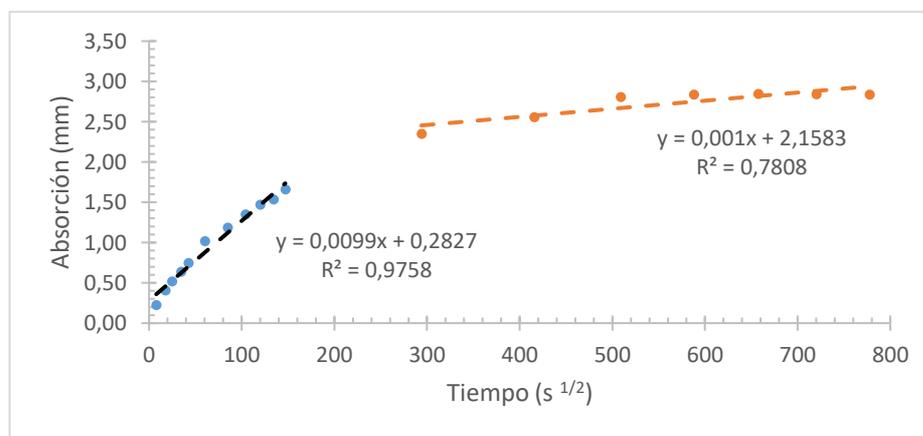


V _{inicial}	0,0106 mm/s^{1/2}	R _{inicial}	0,99
V _{secundario}	0,0012 mm/s^{1/2}	R _{secundario}	0,89

**Ritmo de absorción de agua (SORPTIVIDAD)
ASTM C1585**

Especímen	0.3 - L - S	Fecha Fundición	10-nov-18
Muestra	2	Fecha Ensayo	10-dic-18
Diámetro	96 mm	Edad	30 días
Espesor	50 mm	Densidad agua	0,001 g/mm³
Masa	758,59 g	Temperatura agua	21°C
Area expuesta	7238 mm²		

Toma de datos	Tiempo (s ^{1/2})	Masa (g)	Δ Masa (g)	Absorción l (mm)
0 min	0	758,59	0,00	0,00
1 min	8	760,23	1,64	0,23
5 min	17	761,56	2,97	0,41
10 min	24	762,35	3,76	0,52
20 min	35	763,24	4,65	0,64
30 min	42	764,00	5,41	0,75
1 h	60	765,99	7,40	1,02
2 h	85	767,19	8,60	1,19
3 h	104	768,37	9,78	1,35
4 h	120	769,25	10,66	1,47
5 h	134	769,72	11,13	1,54
6 h	147	770,62	12,03	1,66
1 d	294	775,61	17,02	2,35
2 d	416	777,11	18,52	2,56
3 d	509	778,91	20,32	2,81
4 d	588	779,14	20,55	2,84
5 d	657	779,19	20,60	2,85
6 d	720	779,17	20,58	2,84
7 d	778	779,14	20,55	2,84

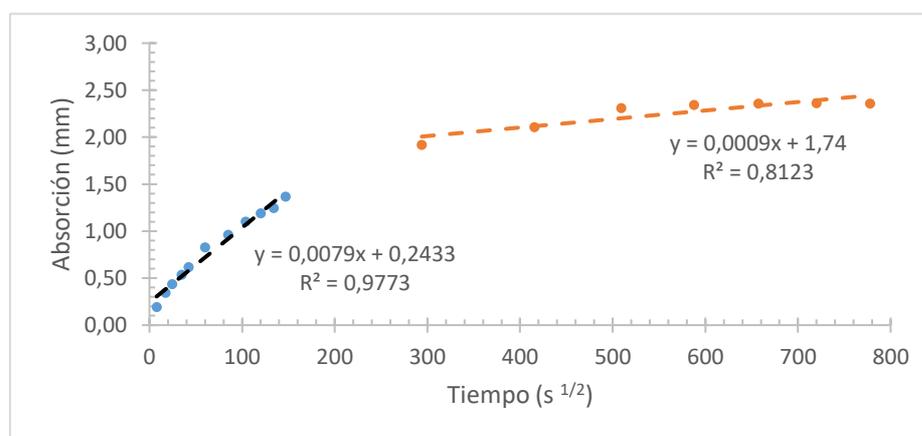


V _{inicial}	0,0099 mm/s^{1/2}	R _{inicial}	0,99
V _{secundario}	0,0001 mm/s^{1/2}	R _{secundario}	0,88

**Ritmo de absorción de agua (SORPTIVIDAD)
ASTM C1585**

Especímen	0.3 - L - S	Fecha Fundición	10-nov-18
Muestra	3	Fecha Ensayo	10-dic-18
Diámetro	96 mm	Edad	30 días
Espesor	50 mm	Densidad agua	0,001 g/mm³
Masa	777,08 g	Temperatura agua	21°C
Area expuesta	7238 mm²		

Toma de datos	Tiempo (s ^{1/2})	Masa (g)	Δ Masa (g)	Absorción l (mm)
0 min	0	777,08	0,00	0,00
1 min	8	778,50	1,42	0,20
5 min	17	779,59	2,51	0,35
10 min	24	780,25	3,17	0,44
20 min	35	780,99	3,91	0,54
30 min	42	781,57	4,49	0,62
1 h	60	783,10	6,02	0,83
2 h	85	784,04	6,96	0,96
3 h	104	785,07	7,99	1,10
4 h	120	785,72	8,64	1,19
5 h	134	786,10	9,02	1,25
6 h	147	787,00	9,92	1,37
1 d	294	790,97	13,89	1,92
2 d	416	792,35	15,27	2,11
3 d	509	793,80	16,72	2,31
4 d	588	794,06	16,98	2,35
5 d	657	794,16	17,08	2,36
6 d	720	794,18	17,10	2,36
7 d	778	794,16	17,08	2,36

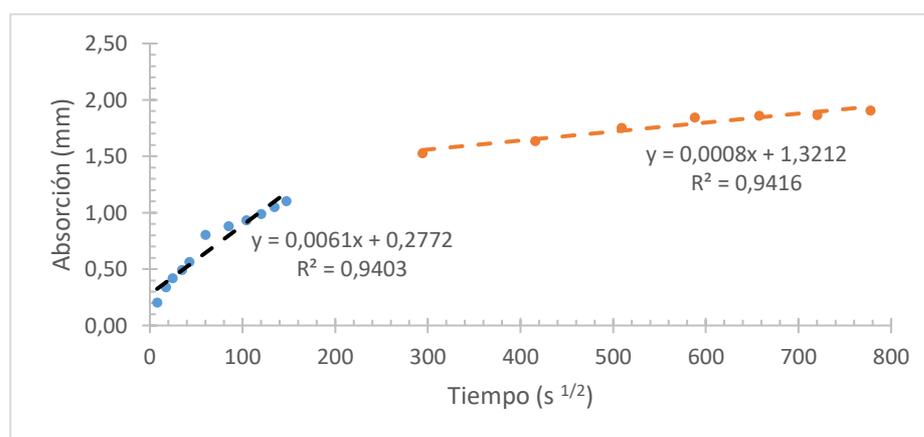


V _{inicial}	0,0079 mm/s^{1/2}	R _{inicial}	0,99
V _{secundario}	0,0009 mm/s^{1/2}	R _{secundario}	0,90

Ritmo de absorción de agua (SORPTIVIDAD) ASTM C1585

Especímen	0.3 - L - S	Fecha Fundición	10-nov-18
Muestra	1	Fecha Ensayo	11-feb-19
Diámetro	96 mm	Edad	93 días
Espesor	50 mm	Densidad agua	0,001 g/mm³
Masa	758,27 g	Temperatura agua	21,5°C
Area expuesta	7238 mm²		

Toma de datos	Tiempo (s ^{1/2})	Masa (g)	Δ Masa (g)	Absorción l (mm)
0 min	0	758,27	0,00	0,00
1 min	8	759,75	1,48	0,20
5 min	17	760,74	2,47	0,34
10 min	24	761,32	3,05	0,42
20 min	35	761,85	3,58	0,49
30 min	42	762,36	4,09	0,57
1 h	60	764,10	5,83	0,81
2 h	85	764,67	6,40	0,88
3 h	104	765,03	6,76	0,93
4 h	120	765,44	7,17	0,99
5 h	134	765,89	7,62	1,05
6 h	147	766,27	8,00	1,11
1 d	294	769,33	11,06	1,53
2 d	416	770,12	11,85	1,64
3 d	509	770,96	12,69	1,75
4 d	588	771,63	13,36	1,85
5 d	657	771,75	13,48	1,86
6 d	720	771,80	13,53	1,87
7 d	778	772,07	13,80	1,91

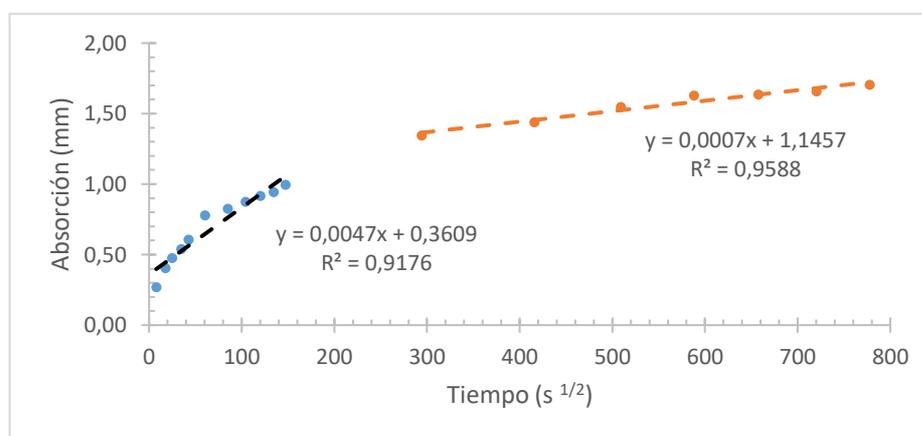


V _{inicial}	0,0061 mm/s^{1/2}	R _{inicial}	0,97
V _{secundario}	0,0008 mm/s^{1/2}	R _{secundario}	0,97

Ritmo de absorción de agua (SORPTIVIDAD) ASTM C1585

Especímen	0.3 - L - S	Fecha Fundición	10-nov-18
Muestra	2	Fecha Ensayo	11-feb-19
Diámetro	96 mm	Edad	93 días
Espesor	50 mm	Densidad agua	0,001 g/mm³
Masa	742,37 g	Temperatura agua	21,5°C
Area expuesta	7238 mm²		

Toma de datos	Tiempo (s ^{1/2})	Masa (g)	Δ Masa (g)	Absorción l (mm)
0 min	0	742,37	0,00	0,00
1 min	8	744,32	1,95	0,27
5 min	17	745,31	2,94	0,41
10 min	24	745,83	3,46	0,48
20 min	35	746,28	3,91	0,54
30 min	42	746,77	4,40	0,61
1 h	60	748,02	5,65	0,78
2 h	85	748,36	5,99	0,83
3 h	104	748,72	6,35	0,88
4 h	120	749,01	6,64	0,92
5 h	134	749,21	6,84	0,94
6 h	147	749,58	7,21	1,00
1 d	294	752,11	9,74	1,35
2 d	416	752,79	10,42	1,44
3 d	509	753,57	11,20	1,55
4 d	588	754,17	11,80	1,63
5 d	657	754,22	11,85	1,64
6 d	720	754,38	12,01	1,66
7 d	778	754,71	12,34	1,70

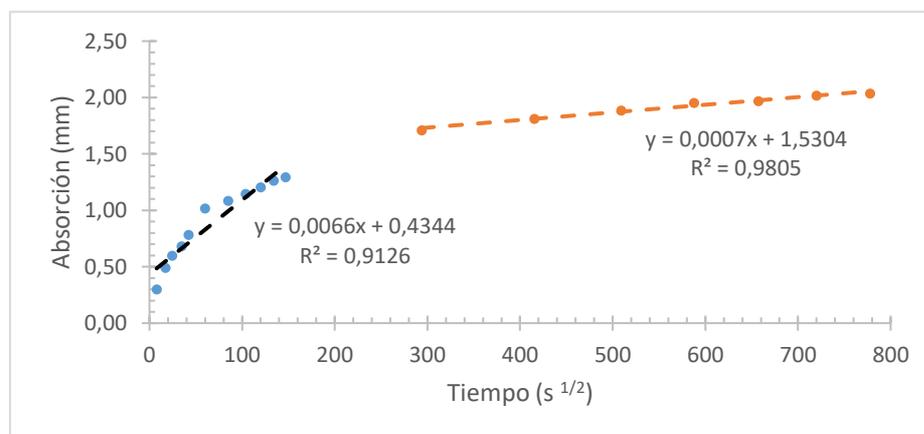


V _{inicial}	0,0047 mm/s^{1/2}	R _{inicial}	0,96
V _{secundario}	0,0007 mm/s^{1/2}	R _{secundario}	0,98

Ritmo de absorción de agua (SORPTIVIDAD) ASTM C1585

Especímen	0.3 - L - S	Fecha Fundición	10-nov-18
Muestra	3	Fecha Ensayo	11-feb-19
Diámetro	96 mm	Edad	93 días
Espesor	50 mm	Densidad agua	0,001 g/mm³
Masa	727,22 g	Temperatura agua	21,5°C
Area expuesta	7238 mm²		

Toma de datos	Tiempo (s ^{1/2})	Masa (g)	Δ Masa (g)	Absorción l (mm)
0 min	0	727,22	0,00	0,00
1 min	8	729,41	2,19	0,30
5 min	17	730,77	3,55	0,49
10 min	24	731,56	4,34	0,60
20 min	35	732,16	4,94	0,68
30 min	42	732,89	5,67	0,78
1 h	60	734,60	7,38	1,02
2 h	85	735,09	7,87	1,09
3 h	104	735,52	8,30	1,15
4 h	120	735,94	8,72	1,20
5 h	134	736,38	9,16	1,27
6 h	147	736,60	9,38	1,30
1 d	294	739,61	12,39	1,71
2 d	416	740,34	13,12	1,81
3 d	509	740,88	13,66	1,89
4 d	588	741,37	14,15	1,95
5 d	657	741,48	14,26	1,97
6 d	720	741,83	14,61	2,02
7 d	778	741,96	14,74	2,04



V _{inicial}	0,0066 mm/s^{1/2}	R _{inicial}	0,96
V _{secundario}	0,0007 mm/s^{1/2}	R _{secundario}	0,99

TASA DE ABSORCIÓN INICIAL EN LA SUPERFICIE BS 1881 : Part 208 : 1996

CURADO 7 DÍAS

ZONA	0.3 - C - S	Temp	20,5°C	Escala Div.	1,494 mm
Muestra	1	Factor corr.	0,99		
Lecturas	Divis. 5s	Tiemp. Lect.	Total Divs	ml/(m ² *s)	ml/(m ² *s) _{corr}
10 min	2,50	2 min	47,5	0,35	0,35
20 min	1,70	2 min	32,8	0,25	0,24
30 min	1,20	2 min	26,0	0,19	0,19

ZONA	0.3 - C - S	Temp	20,5°C	Escala Div.	1,494 mm
Muestra	2	Factor corr.	0,99		
Lecturas	Divis. 5s	Tiemp. Lect.	Total Divs	ml/(m ² *s)	ml/(m ² *s) _{corr}
10 min	2,20	2 min	44,5	0,33	0,33
20 min	1,50	2 min	29,0	0,22	0,21
30 min	1,20	2 min	24,5	0,18	0,18

ZONA	0.3 - C - S	Temp	20,5°C	Escala Div.	1,494 mm
Muestra	3	Factor corr.	0,99		
Lecturas	Divis. 5s	Tiemp. Lect.	Total Divs	ml/(m ² *s)	ml/(m ² *s) _{corr}
10 min	2,50	2 min	42,0	0,31	0,31
20 min	1,50	2 min	27,5	0,21	0,20
30 min	1,00	2 min	21,0	0,16	0,16

ZONA	0.3 - L - A	Temp	19,5°C	Escala Div.	1,494 mm
Muestra	1	Factor corr.	1,01		
Lecturas	Divis. 5s	Tiemp. Lect.	Total Divs	ml/(m ² *s)	ml/(m ² *s) _{corr}
10 min	3,20	1 min	36,0	0,54	0,53
20 min	2,30	2 min	45,5	0,34	0,34
30 min	1,70	2 min	34,6	0,26	0,26

ZONA	0.3 - L - A	Temp	20,0°C	Escala Div.	1,494 mm
Muestra	2	Factor corr.	1,00		
Lecturas	Divis. 5s	Tiemp. Lect.	Total Divs	ml/(m ² *s)	ml/(m ² *s) _{corr}
10 min	2,70	2 min	55,0	0,41	0,41
20 min	2,00	2 min	35,5	0,27	0,26
30 min	1,20	2 min	27,3	0,20	0,20

ZONA	0.3 - L - A	Temp	21,0°C	Escala Div.	1,494 mm
Muestra	3	Factor corr.	0,98		
Lecturas	Divis. 5s	Tiemp. Lect.	Total Divs	ml/(m ² *s)	ml/(m ² *s) _{corr}
10 min	2,20	2 min	50,0	0,37	0,37
20 min	1,50	2 min	29,5	0,22	0,22
30 min	1,00	2 min	22,7	0,17	0,17

ZONA	0.3 - A - S	Temp	20,5°C	Escala Div.	1,494 mm
Muestra	1	Factor corr.	0,99		
Lecturas	Divis. 5s	Tiemp. Lect.	Total Divs	ml/(m ² *s)	ml/(m ² *s) _{corr}
10 min	2,50	2 min	42,0	0,31	0,31
20 min	1,50	2 min	29,8	0,22	0,22
30 min	1,00	2 min	23,5	0,18	0,17

ZONA	0.3 - A - S	Temp	20,5°C	Escala Div.	1,494 mm
Muestra	2	Factor corr.	0,99		
Lecturas	Divis. 5s	Tiemp. Lect.	Total Divs	ml/(m ² *s)	ml/(m ² *s) _{corr}
10 min	2,20	2 min	42,5	0,32	0,31
20 min	1,50	2 min	27,8	0,21	0,21
30 min	1,00	2 min	22,0	0,16	0,16

ZONA	0.3 - A - S	Temp	21,0°C	Escala Div.	1,494 mm
Muestra	3	Factor corr.	0,98		
Lecturas	Divis. 5s	Tiemp. Lect.	Total Divs	ml/(m ² *s)	ml/(m ² *s) _{corr}
10 min	2,00	2 min	49,0	0,37	0,36
20 min	1,30	2 min	28,0	0,21	0,21
30 min	1,00	2 min	21,5	0,16	0,16

ZONA	0.3 - C - A	Temp	20,5°C	Escala Div.	1,409 mm
Muestra	1	Factor corr.	0,99		
Lecturas	Divis. 5s	Tiemp. Lect.	Total Divs	ml/(m ² *s)	ml/(m ² *s) _{corr}
10 min	3,80	1 min	39,5	0,59	0,58
20 min	2,50	2 min	55,0	0,41	0,41
30 min	2,00	2 min	46,0	0,34	0,34

ZONA	0.3 - C - A	Temp	20,5°C	Escala Div.	1,409 mm
Muestra	2	Factor corr.	0,99		
Lecturas	Divis. 5s	Tiemp. Lect.	Total Divs	ml/(m ² *s)	ml/(m ² *s) _{corr}
10 min	3,50	1 min	39,0	0,58	0,58
20 min	2,50	2 min	53,0	0,40	0,39
30 min	2,00	2 min	44,0	0,33	0,33

ZONA	0.3 - C - A	Temp	20,5°C	Escala Div.	1,409 mm
Muestra	3	Factor corr.	0,99		
Lecturas	Divis. 5s	Tiemp. Lect.	Total Divs	ml/(m ² *s)	ml/(m ² *s) _{corr}
10 min	3,50	1 min	40,0	0,60	0,59
20 min	2,50	2 min	57,0	0,43	0,42
30 min	2,20	2 min	48,0	0,36	0,35

ZONA	0.3 - L - S	Temp	19,5°C	Escala Div.	1,409 mm
Muestra	1	Factor corr.	1,01		
Lecturas	Divis. 5s	Tiemp. Lect.	Total Divs	ml/(m ² *s)	ml/(m ² *s) _{corr}
10 min	3,50	1 min	38,5	0,58	0,57
20 min	2,00	2 min	43,0	0,32	0,32
30 min	1,50	2 min	33,0	0,25	0,24

ZONA	0.3 - L - S	Temp	20,0°C	Escala Div.	1,409 mm
Muestra	2	Factor corr.	1,00		
Lecturas	Divis. 5s	Tiemp. Lect.	Total Divs	ml/(m ² *s)	ml/(m ² *s) _{corr}
10 min	2,50	2 min	52,5	0,39	0,39
20 min	1,80	2 min	35,0	0,26	0,26
30 min	1,20	2 min	23,0	0,17	0,17

ZONA	0.3 - L - S	Temp	21,0°C	Escala Div.	1,409 mm
Muestra	3	Factor corr.	0,98		
Lecturas	Divis. 5s	Tiemp. Lect.	Total Divs	ml/(m ² *s)	ml/(m ² *s) _{corr}
10 min	2,20	2 min	44,0	0,33	0,33
20 min	1,50	2 min	32,5	0,24	0,24
30 min	1,20	2 min	26,0	0,19	0,19

ZONA	0.3 - A - A	Temp	20,5°C	Escala Div.	1,409 mm
Muestra	1	Factor corr.	0,99		
Lecturas	Divis. 5s	Tiemp. Lect.	Total Divs	ml/(m ² *s)	ml/(m ² *s) _{corr}
10 min	3,20	1 min	34,0	0,51	0,50
20 min	2,00	2 min	41,5	0,31	0,31
30 min	1,50	2 min	32,2	0,24	0,24

ZONA	0.3 - A - A	Temp	20,5°C	Escala Div.	1,409 mm
Muestra	2	Factor corr.	0,99		
Lecturas	Divis. 5s	Tiemp. Lect.	Total Divs	ml/(m ² *s)	ml/(m ² *s) _{corr}
10 min	4,00	1 min	42,0	0,63	0,62
20 min	2,50	2 min	55,0	0,41	0,41
30 min	2,00	2 min	43,5	0,32	0,32

ZONA	0.3 - A - A	Temp	20,0°C	Escala Div.	1,409 mm
Muestra	3	Factor corr.	1,00		
Lecturas	Divis. 5s	Tiemp. Lect.	Total Divs	ml/(m ² *s)	ml/(m ² *s) _{corr}
10 min	3,50	1 min	35,0	0,52	0,52
20 min	2,20	2 min	44,0	0,33	0,33
30 min	1,50	2 min	33,5	0,25	0,25

TASA DE ABSORCIÓN INICIAL EN LA SUPERFICIE BS 1881 : Part 208 : 1996

CURADO 28 DÍAS

ZONA	0.3 - C - S	Temp	20,0°C	Escala Div.	1,494 mm
Muestra	1	Factor corr.	1,00		
Lecturas	Divis. 5s	Tiemp. Lect.	Total Divs	ml/(m ² *s)	ml/(m ² *s) _{corr}
10 min	1,20	2 min	22,5	0,17	0,17
20 min	0,80	2 min	17,5	0,13	0,13
30 min	0,50	2 min	14,0	0,10	0,10

ZONA	0.3 - C - S	Temp	21,5°C	Escala Div.	1,494 mm
Muestra	2	Factor corr.	0,97		
Lecturas	Divis. 5s	Tiemp. Lect.	Total Divs	ml/(m ² *s)	ml/(m ² *s) _{corr}
10 min	1,80	2 min	32,5	0,24	0,24
20 min	1,00	2 min	22,5	0,17	0,17
30 min	0,70	2 min	15,0	0,11	0,11

ZONA	0.3 - C - S	Temp	21,0°C	Escala Div.	1,494 mm
Muestra	3	Factor corr.	0,98		
Lecturas	Divis. 5s	Tiemp. Lect.	Total Divs	ml/(m ² *s)	ml/(m ² *s) _{corr}
10 min	1,70	2 min	31,0	0,23	0,23
20 min	1,00	2 min	19,5	0,15	0,15
30 min	0,70	2 min	14,5	0,11	0,11

ZONA	0.3 - L - A	Temp	21,5°C	Escala Div.	1,494 mm
Muestra	1	Factor corr.	0,97		
Lecturas	Divis. 5s	Tiemp. Lect.	Total Divs	ml/(m ² *s)	ml/(m ² *s) _{corr}
10 min	4,20	1 min	47,0	0,70	0,70
20 min	3,00	1 min	33,0	0,49	0,49
30 min	2,50	2 min	57,0	0,43	0,43

ZONA	0.3 - L - A	Temp	21,5°C	Escala Div.	1,494 mm
Muestra	2	Factor corr.	0,97		
Lecturas	Divis. 5s	Tiemp. Lect.	Total Divs	ml/(m ² *s)	ml/(m ² *s) _{corr}
10 min	3,50	1 min	37,0	0,55	0,55
20 min	2,80	2 min	52,0	0,39	0,39
30 min	2,00	2 min	43,0	0,32	0,32

ZONA	0.3 - L - A	Temp	22,0°C	Escala Div.	1,494 mm
Muestra	3	Factor corr.	0,96		
Lecturas	Divis. 5s	Tiemp. Lect.	Total Divs	ml/(m ² *s)	ml/(m ² *s) _{corr}
10 min	2,20	2 min	50,0	0,37	0,37
20 min	1,50	2 min	29,5	0,22	0,22
30 min	1,00	2 min	22,7	0,17	0,17

ZONA	0.3 - A - S	Temp	20,0°C	Escala Div.	1,494 mm
Muestra	1	Factor corr.	1,00		
Lecturas	Divis. 5s	Tiemp. Lect.	Total Divs	ml/(m ² *s)	ml/(m ² *s) _{corr}
10 min	2,80	2 min	65,0	0,49	0,48
20 min	2,00	2 min	44,7	0,33	0,33
30 min	1,50	2 min	35,5	0,27	0,26

ZONA	0.3 - A - S	Temp	21,0°C	Escala Div.	1,494 mm
Muestra	2	Factor corr.	0,98		
Lecturas	Divis. 5s	Tiemp. Lect.	Total Divs	ml/(m ² *s)	ml/(m ² *s) _{corr}
10 min	2,20	2 min	42,5	0,32	0,32
20 min	1,70	2 min	33,0	0,25	0,25
30 min	1,20	2 min	26,0	0,19	0,19

ZONA	0.3 - A - S	Temp	21,0°C	Escala Div.	1,494 mm
Muestra	3	Factor corr.	0,98		
Lecturas	Divis. 5s	Tiemp. Lect.	Total Divs	ml/(m ² *s)	ml/(m ² *s) _{corr}
10 min	2,50	2 min	54,5	0,41	0,41
20 min	1,70	2 min	35,5	0,27	0,26
30 min	1,00	2 min	27,0	0,20	0,20

ZONA	0.3 - C - A	Temp	20,0°C	Escala Div.	1,409 mm
Muestra	1	Factor corr.	1,00		
Lecturas	Divis. 5s	Tiemp. Lect.	Total Divs	ml/(m ² *s)	ml/(m ² *s) _{corr}
10 min	3,50	1 min	36,0	0,54	0,54
20 min	2,00	2 min	41,5	0,31	0,31
30 min	1,70	2 min	33,0	0,25	0,25

ZONA	0.3 - C - A	Temp	21,5°C	Escala Div.	1,409 mm
Muestra	2	Factor corr.	0,97		
Lecturas	Divis. 5s	Tiemp. Lect.	Total Divs	ml/(m ² *s)	ml/(m ² *s) _{corr}
10 min	2,50	2 min	51,5	0,38	0,38
20 min	1,70	2 min	34,5	0,26	0,26
30 min	1,20	2 min	28,5	0,21	0,21

ZONA	0.3 - C - A	Temp	21,0°C	Escala Div.	1,409 mm
Muestra	3	Factor corr.	0,98		
Lecturas	Divis. 5s	Tiemp. Lect.	Total Divs	ml/(m ² *s)	ml/(m ² *s) _{corr}
10 min	2,00	2 min	33,5	0,25	0,25
20 min	1,20	2 min	26,2	0,20	0,20
30 min	1,00	2 min	21,0	0,16	0,16

ZONA	0.3 - L - S	Temp	21,5°C	Escala Div.	1,409 mm
Muestra	1	Factor corr.	0,97		
Lecturas	Divis. 5s	Tiemp. Lect.	Total Divs	ml/(m ² *s)	ml/(m ² *s) _{corr}
10 min	4,50	1 min	45,5	0,68	0,68
20 min	2,80	2 min	58,5	0,44	0,44
30 min	2,20	2 min	44,0	0,33	0,33

ZONA	0.3 - L - S	Temp	21,5°C	Escala Div.	1,409 mm
Muestra	2	Factor corr.	0,97		
Lecturas	Divis. 5s	Tiemp. Lect.	Total Divs	ml/(m ² *s)	ml/(m ² *s) _{corr}
10 min	4,00	1 min	47,0	0,70	0,70
20 min	3,00	2 min	59,5	0,44	0,44
30 min	2,50	2 min	52,5	0,39	0,39

ZONA	0.3 - L - S	Temp	22,0°C	Escala Div.	1,409 mm
Muestra	3	Factor corr.	0,96		
Lecturas	Divis. 5s	Tiemp. Lect.	Total Divs	ml/(m ² *s)	ml/(m ² *s) _{corr}
10 min	3,50	1 min	38,0	0,57	0,57
20 min	2,50	2 min	52,5	0,39	0,39
30 min	2,00	2 min	41,0	0,31	0,31

ZONA	0.3 - A - A	Temp	20,0°C	Escala Div.	1,409 mm
Muestra	1	Factor corr.	1,00		
Lecturas	Divis. 5s	Tiemp. Lect.	Total Divs	ml/(m ² *s)	ml/(m ² *s) _{corr}
10 min	2,70	2 min	53,5	0,40	0,40
20 min	1,80	2 min	36,5	0,27	0,27
30 min	1,20	2 min	29,3	0,22	0,22

ZONA	0.3 - A - A	Temp	21,0°C	Escala Div.	1,409 mm
Muestra	2	Factor corr.	0,98		
Lecturas	Divis. 5s	Tiemp. Lect.	Total Divs	ml/(m ² *s)	ml/(m ² *s) _{corr}
10 min	4,00	1 min	40,0	0,60	0,60
20 min	2,50	2 min	54,0	0,40	0,40
30 min	2,00	2 min	42,5	0,32	0,32

ZONA	0.3 - A - A	Temp	21,0°C	Escala Div.	1,409 mm
Muestra	3	Factor corr.	0,98		
Lecturas	Divis. 5s	Tiemp. Lect.	Total Divs	ml/(m ² *s)	ml/(m ² *s) _{corr}
10 min	3,00	1 min	36,0	0,54	0,54
20 min	2,50	2 min	52,2	0,39	0,39
30 min	2,00	2 min	43,0	0,32	0,32

TASA DE ABSORCIÓN INICIAL EN LA SUPERFICIE BS 1881 : Part 208 : 1996

CURADO 90 DÍAS

ZONA	0.3 - C - S	Temp	19,0°C	Escala Div.	1,494 mm
Muestra	1	Factor corr.	1,02		
Lecturas	Divis. 5s	Tiemp. Lect.	Total Divs	ml/(m ² *s)	ml/(m ² *s) _{corr}
10 min	0,80	2 min	13,0	0,09	0,09
20 min	0,50	2 min	8,0	0,06	0,06
30 min	0,30	2 min	5,3	0,04	0,04

ZONA	0.3 - C - S	Temp	19,0°C	Escala Div.	1,494 mm
Muestra	2	Factor corr.	1,02		
Lecturas	Divis. 5s	Tiemp. Lect.	Total Divs	ml/(m ² *s)	ml/(m ² *s) _{corr}
10 min	0,80	2 min	13,0	0,09	0,09
20 min	0,50	2 min	8,0	0,06	0,06
30 min	0,30	2 min	5,5	0,04	0,04

ZONA	0.3 - C - S	Temp	21,0°C	Escala Div.	1,494 mm
Muestra	3	Factor corr.	0,98		
Lecturas	Divis. 5s	Tiemp. Lect.	Total Divs	ml/(m ² *s)	ml/(m ² *s) _{corr}
10 min	1,30	2 min	22,5	0,16	0,16
20 min	0,70	2 min	9,5	0,07	0,07
30 min	0,30	2 min	6,5	0,05	0,04

ZONA	0.3 - L - A	Temp	20,5°C	Escala Div.	1,409 mm
Muestra	1	Factor corr.	0,99		
Lecturas	Divis. 5s	Tiemp. Lect.	Total Divs	ml/(m ² *s)	ml/(m ² *s) _{corr}
10 min	2,80	2 min	55,0	0,39	0,38
20 min	2,00	2 min	39,5	0,28	0,27
30 min	1,50	2 min	32,5	0,23	0,22

ZONA	0.3 - L - A	Temp	21,0°C	Escala Div.	1,409 mm
Muestra	2	Factor corr.	0,98		
Lecturas	Divis. 5s	Tiemp. Lect.	Total Divs	ml/(m ² *s)	ml/(m ² *s) _{corr}
10 min	3,50	1 min	36,0	0,51	0,50
20 min	2,50	2 min	46,5	0,33	0,32
30 min	1,80	2 min	37,0	0,26	0,26

ZONA	0.3 - L - A	Temp	19,5°C	Escala Div.	1,409 mm
Muestra	3	Factor corr.	1,01		
Lecturas	Divis. 5s	Tiemp. Lect.	Total Divs	ml/(m ² *s)	ml/(m ² *s) _{corr}
10 min	2,70	2 min	52,5	0,37	0,36
20 min	1,80	2 min	35,0	0,25	0,24
30 min	1,30	2 min	28,3	0,20	0,20

ZONA	0.3 - A - S	Temp	21,0°C	Escala Div.	1,409 mm
Muestra	1	Factor corr.	0,98		
Lecturas	Divis. 5s	Tiemp. Lect.	Total Divs	ml/(m ² *s)	ml/(m ² *s) _{corr}
10 min	1,20	2 min	23,0	0,16	0,16
20 min	0,70	2 min	12,8	0,09	0,09
30 min	0,30	2 min	9,0	0,06	0,06

ZONA	0.3 - A - S	Temp	21,0°C	Escala Div.	1,409 mm
Muestra	2	Factor corr.	0,98		
Lecturas	Divis. 5s	Tiemp. Lect.	Total Divs	ml/(m ² *s)	ml/(m ² *s) _{corr}
10 min	1,70	2 min	38,0	0,27	0,26
20 min	1,00	2 min	17,0	0,12	0,12
30 min	0,50	2 min	11,0	0,08	0,08

ZONA	0.3 - A - S	Temp	20,0°C	Escala Div.	1,409 mm
Muestra	3	Factor corr.	1,00		
Lecturas	Divis. 5s	Tiemp. Lect.	Total Divs	ml/(m ² *s)	ml/(m ² *s) _{corr}
10 min	1,20	2 min	21,8	0,15	0,15
20 min	0,80	2 min	13,5	0,10	0,09
30 min	0,50	2 min	10,0	0,07	0,07

ZONA	0.3 - C - A	Temp	19,0°C	Escala Div.	1,409 mm
Muestra	1	Factor corr.	1,02		
Lecturas	Divis. 5s	Tiemp. Lect.	Total Divs	ml/(m ² *s)	ml/(m ² *s) _{corr}
10 min	2,00	2 min	41,5	0,29	0,29
20 min	1,50	2 min	28,7	0,20	0,20
30 min	1,00	2 min	23,0	0,16	0,16

ZONA	0.3 - C - A	Temp	19,0°C	Escala Div.	1,409 mm
Muestra	2	Factor corr.	1,02		
Lecturas	Divis. 5s	Tiemp. Lect.	Total Divs	ml/(m ² *s)	ml/(m ² *s) _{corr}
10 min	2,80	2 min	55,0	0,39	0,38
20 min	2,00	2 min	38,8	0,27	0,27
30 min	1,50	2 min	32,0	0,23	0,22

ZONA	0.3 - C - A	Temp	21,0°C	Escala Div.	1,409 mm
Muestra	3	Factor corr.	0,98		
Lecturas	Divis. 5s	Tiemp. Lect.	Total Divs	ml/(m ² *s)	ml/(m ² *s) _{corr}
10 min	2,80	2 min	53,5	0,38	0,37
20 min	2,00	2 min	37,0	0,26	0,26
30 min	1,30	2 min	30,0	0,21	0,21

ZONA	0.3 - L - S	Temp	20,5°C	Escala Div.	1,494 mm
Muestra	1	Factor corr.	0,99		
Lecturas	Divis. 5s	Tiemp. Lect.	Total Divs	ml/(m ² *s)	ml/(m ² *s) _{corr}
10 min	2,00	2 min	43,0	0,30	0,30
20 min	1,50	2 min	27,5	0,19	0,19
30 min	1,00	2 min	20,5	0,14	0,14

ZONA	0.3 - L - S	Temp	21,0°C	Escala Div.	1,494 mm
Muestra	2	Factor corr.	0,98		
Lecturas	Divis. 5s	Tiemp. Lect.	Total Divs	ml/(m ² *s)	ml/(m ² *s) _{corr}
10 min	1,30	2 min	24,0	0,17	0,17
20 min	0,80	2 min	16,0	0,11	0,11
30 min	0,50	2 min	12,5	0,09	0,09

ZONA	0.3 - L - S	Temp	19,5°C	Escala Div.	1,494 mm
Muestra	3	Factor corr.	1,01		
Lecturas	Divis. 5s	Tiemp. Lect.	Total Divs	ml/(m ² *s)	ml/(m ² *s) _{corr}
10 min	1,80	2 min	35,7	0,25	0,25
20 min	1,20	2 min	21,2	0,15	0,15
30 min	0,80	2 min	16,0	0,11	0,11

ZONA	0.3 - A - A	Temp	21,0°C	Escala Div.	1,494 mm
Muestra	1	Factor corr.	0,98		
Lecturas	Divis. 5s	Tiemp. Lect.	Total Divs	ml/(m ² *s)	ml/(m ² *s) _{corr}
10 min	1,20	2 min	26,5	0,19	0,18
20 min	0,70	2 min	15,0	0,11	0,10
30 min	0,50	2 min	10,8	0,08	0,07

ZONA	0.3 - A - A	Temp	21,0°C	Escala Div.	1,494 mm
Muestra	2	Factor corr.	0,98		
Lecturas	Divis. 5s	Tiemp. Lect.	Total Divs	ml/(m ² *s)	ml/(m ² *s) _{corr}
10 min	1,20	2 min	26,3	0,19	0,18
20 min	0,70	2 min	14,8	0,10	0,10
30 min	0,50	2 min	9,5	0,07	0,07

ZONA	0.3 - A - A	Temp	20,0°C	Escala Div.	1,494 mm
Muestra	3	Factor corr.	1,00		
Lecturas	Divis. 5s	Tiemp. Lect.	Total Divs	ml/(m ² *s)	ml/(m ² *s) _{corr}
10 min	1,70	2 min	31,5	0,22	0,22
20 min	1,00	2 min	19,0	0,13	0,13
30 min	0,70	2 min	14,0	0,10	0,10

**CAMBIO VOLUMÉTRICO DEL CONCRETO
MÉTODO DE ENSAYO ASTM C157**

muestra	12-nov-18		13-nov-18		14-nov-18		15-nov-18		16-nov-18		17-nov-18		18-nov-18	
	max	min												
0.3-C-S#1	1,208	1,202	1,238	1,236	1,252	1,248	1,252	1,250	1,262	1,258	1,260	1,258	1,26	1,256
0.3-C-S#2	4,190	4,188	4,194	4,192	4,202	4,200	4,212	4,210	4,214	4,212	4,204	4,200	4,172	4,17
0.3-C-S#3	2,568	2,566	2,606	2,604	2,610	2,608	2,602	2,596	2,618	2,616	2,608	2,606	2,624	2,62
0.3-C-A#1	2,876	2,872	2,856	2,854	2,862	2,860	2,834	2,832	2,805	2,806	2,802	2,800	2,808	2,806
0.3-C-A#2	3,602	3,600	3,584	3,582	3,570	3,568	3,558	3,556	3,542	3,546	3,542	3,540	3,538	3,536
0.3-C-A#3	4,058	4,036	4,010	3,992	4,008	3,990	4,006	3,988	3,982	3,962	3,996	3,978	3,98	3,964
0.3-L-S#1	0	0	2,165	1,660	2,159	2,147	2,158	2,150	2,164	2,156	2,158	2,150	2,15	2,146
0.3-L-S#2	0	0	3,814	3,809	3,813	3,806	3,814	3,807	3,817	3,811	3,809	3,798	3,796	3,788
0.3-L-S#3	0	0	4,168	4,145	4,160	4,143	4,162	4,144	4,179	4,155	4,160	4,138	4,164	4,143
0.3-L-A#1	0	0	2,130	2,124	2,112	2,102	2,104	2,094	2,098	2,086	2,088	2,076	2,06	2,056
0.3-L-A#2	0	0	4,030	4,022	4,018	4,012	4,014	4,006	4,010	4,002	3,992	3,986	3,978	3,972
0.3-L-A#3	0	0	4,240	4,210	4,212	4,184	4,209	4,180	4,206	4,176	4,176	4,148	4,176	4,15
0.3-A-S#1	0	0	0	0	3,376	3,368	3,390	3,384	3,394	3,384	3,386	3,380	3,402	3,396
0.3-A-S#2	0	0	0	0	2,902	2,894	2,904	2,894	2,904	2,892	2,906	2,894	2,904	2,894
0.3-A-S#3	0	0	0	0	3,926	3,910	3,926	3,912	3,926	3,912	3,918	3,896	3,936	3,914
0.3-A-A#1	0	0	0	0	3,978	3,966	3,970	3,955	3,974	3,952	3,960	3,944	3,942	3,934
0.3-A-A#2	0	0	0	0	4,002	3,996	3,998	3,996	3,980	3,978	3,982	3,974	3,97	3,962
0.3-A-A#3	0	0	0	0	3,350	3,336	3,344	3,326	3,304	3,292	3,302	3,296	3,288	3,272

muestra	19-nov-18		20-nov-18		27-nov-18		4-dic-18		11-dic-18		18-dic-18		22-ene-19	
	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min
0.3-C-S 01	0	0	0	0	1,164	1,16	1,126	1,122	1,104	1,1	1,08	1,078	1,034	1,03
0.3-C-S 02	0	0	0	0	4,110	4,108	4,064	4,062	4,048	4,046	4,02	4,018	3,98	3,978
0.3-C-S 03	0	0	0	0	2,512	2,51	2,466	2,462	2,45	2,446	2,424	2,422	2,392	2,388
0.3-C-A 01	0	0	0	0	2,722	2,716	2,696	2,694	2,684	2,678	2,67	2,666	2,656	2,65
0.3-C-A 02	0	0	0	0	3,452	3,45	3,428	3,426	3,412	3,41	3,394	3,392	3,37	3,368
0.3-C-A 03	0	0	0	0	3,924	3,906	3,902	3,88	3,886	3,866	3,872	3,854	3,834	3,812
0.3-L-S 01	2,246	2,24	0	0	2,118	2,112	2,084	2,08	2,054	2,05	2,034	2,03	1,992	1,99
0.3-L-S 02	3,626	3,62	0	0	3,524	3,516	3,482	3,474	3,446	3,436	3,414	3,406	3,368	3,354
0.3-L-S 03	4,156	4,138	0	0	4,066	4,048	4,012	3,994	3,976	3,962	3,948	3,93	3,886	3,874
0.3-L-A 01	2,056	2,046	0	0	1,996	1,984	1,96	1,948	1,944	1,932	1,93	1,918	1,914	1,904
0.3-L-A 02	3,966	3,958	0	0	3,9	3,892	3,856	3,85	3,832	3,826	3,812	3,806	3,782	3,776
0.3-L-A 03	4,158	4,136	0	0	4,11	4,084	4,056	4,026	4,03	4,004	4,006	3,978	3,976	3,952
0.3-A-S 01	3,398	3,390	3,402	3,394	3,362	3,352	3,358	3,345	3,338	3,322	3,315	3,307	3,298	3,292
0.3-A-S 02	2,906	2,898	2,906	2,892	2,88	2,87	2,868	2,865	2,844	2,832	2,814	2,805	2,802	2,792
0.3-A-S 03	3,934	3,914	3,934	3,914	3,852	3,84	3,836	3,824	3,816	3,81	3,794	3,789	3,782	3,775
0.3-A-A 01	3,920	3,908	3,91	3,898	3,864	3,852	3,822	3,82	3,812	3,809	3,802	3,796	3,796	3,785
0.3-A-A 02	3,950	3,948	3,948	3,936	3,892	3,88	3,872	3,86	3,854	3,848	3,842	3,838	3,834	3,826
0.3-A-A 03	3,290	3,276	3,276	3,26	3,26	3,244	3,232	3,222	3,212	3,21	3,205	3,195	3,195	3,184

muestra	29-ene-19		5-feb-19	
	max	min	max	min
0.3-C-S 01	1,034	1,032	1,036	1,03
0.3-C-S 02	3,982	3,978	3,982	3,978
0.3-C-S 03	2,392	2,388	2,394	2,39
0.3-C-A 01	2,654	2,648	2,654	2,648
0.3-C-A 02	3,372	3,37	3,374	3,37
0.3-C-A 03	3,834	3,814	3,834	3,814
0.3-L-S 01	1,994	1,99	1,992	1,99
0.3-L-S 02	3,37	3,366	3,371	3,369
0.3-L-S 03	3,885	3,872	3,888	3,886
0.3-L-A 01	1,918	1,908	1,918	1,908
0.3-L-A 02	3,784	3,776	3,784	3,776
0.3-L-A 03	3,98	3,956	3,978	3,954
0.3-A-S 01	3,288	3,282	3,281	3,279
0.3-A-S 02	2,798	2,794	2,792	2,788
0.3-A-S 03	3,776	3,773	3,772	3,768
0.3-A-A 01	3,786	3,784	3,789	3,786
0.3-A-A 02	3,829	3,822	3,832	3,829
0.3-A-A 03	3,188	3,184	3,193	3,191

Especímen	Tiempo (Días)													
	2	3	4	5	6	7	8	17	24	31	38	73	80	90
0.3-C-S	0,000%	0,009%	0,012%	0,012%	0,015%	0,013%	0,011%	-0,021%	-0,036%	-0,043%	-0,051%	-0,065%	-0,065%	-0,065%
0.3-C-A	0,000%	-0,010%	-0,011%	-0,016%	-0,023%	-0,023%	-0,024%	-0,051%	-0,060%	-0,065%	-0,070%	-0,079%	-0,079%	-0,079%
0.3-L-S	0,000%	0,027%	0,028%	0,030%	0,026%	0,025%	0,015%	-0,022%	-0,037%	-0,049%	-0,058%	-0,076%	-0,075%	-0,074%
0.3-L-A	0,000%	-0,007%	-0,009%	-0,010%	-0,017%	-0,021%	-0,025%	-0,046%	-0,062%	-0,069%	-0,076%	-0,085%	-0,084%	-0,084%
0.3-A-S	0,000%	0,002%	0,002%	0,000%	0,004%	0,004%	0,004%	-0,013%	-0,016%	-0,024%	-0,032%	-0,037%	-0,039%	-0,041%
0.3-A-A	0,000%	-0,002%	-0,009%	-0,010%	-0,015%	-0,020%	-0,023%	-0,037%	-0,047%	-0,052%	-0,056%	-0,059%	-0,061%	-0,059%