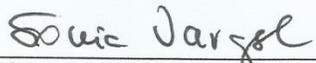


Estudio exploratorio en diseños de mezclas de concreto liviano para Holcim (Costa Rica) S.A.



CONSTANCIA DE DEFENSA PÚBLICA DE PROYECTO DE GRADUACIÓN

Proyecto de Graduación defendido públicamente ante el Tribunal Evaluador, integrado por los profesores Ing. Sonia Vargas Calderón, Ing. Mauricio Araya Rodríguez, Ing. Rolando Fournier Zepeda, Ing. Sergio Fernández Cerdas, como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Construcción, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.



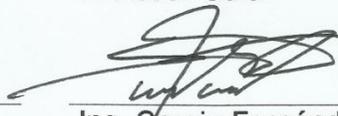
Ing. Sonia Vargas Calderón.
En representación del Director



Ing. Mauricio Araya Rodríguez.
Profesor Guía



Ing. Rolando Fournier Zepeda.
Profesor Lector



Ing. Sergio-Fernández Cerdas.
Profesor Observador

Abstract

This report presents the results obtained from a research carried out in order to develop lightweight concrete mix designs.

During the research, aggregates coming from the Guacalillo Quarry were used, also, tests were made using expanded polystyrene particle foam (EPS), achieving satisfactory results.

In addition, other chemical additives, such as Sikalightcrete®, an air-entraining admixture, and Sikament HE 200®, a fluidizer, were used; both were provided by Sika.

The results are a concrete foam with a density of 765 kg/m^3 and a compressive strength of 1,6 MPa at 28 days using expanded polystyrene and air-entraining admixture; also, a non-structural lightweight concrete with a density of 1581 kg/m^3 and compressive strength of 16,1 MPa at 30 days, which is similar to the previous one, but the latter does not use an air-entraining admixture; finally, a low density structural concrete with a density of 2041 kg/m^3 and a compressive strength of 35,2 MPa at 28 days, which uses Guacalillo's aggregates and air-entraining admixture.

These are the average results of the validation tests performed on each of the mix designs that were selected as satisfactory based on a series of pilot tests.

Keywords:

Concrete foam, low density structural concrete, air-entraining admixture, expanded polystyrene.

Resumen

En este informe se presentan los resultados obtenidos de la investigación realizada para el desarrollo de diseños de mezcla para concretos livianos.

Durante la investigación se trabajó con agregados provenientes del tajo de Guacalillo; además, se experimentó con el uso de poliestireno expandido en forma de perlas, lo cual generó resultados satisfactorios.

Se trabajó además con aditivos químicos tales como el Sikalightcrete®, el cual es un aditivo inclusor de aire y el Sikament HE 200®, este funciona como fluidificante, ambos provistos por la empresa Sika.

Como resultados se obtuvo una espuma de concreto de 765 kg/m^3 con una resistencia a la compresión de 1,6 MPa a 28 días, al utilizar poliestireno expandido y aditivo inclusor de aire.

Además, un concreto liviano no estructural de 1581 kg/m^3 de densidad y una resistencia a 30 días de 16,1 MPa, el cual es similar al anterior; sin embargo, no utiliza aditivo inclusor de aire y finalmente un concreto estructural de baja densidad con 2041 kg/m^3 y una resistencia a 28 días de 35,2 MP, este utiliza agregados de Guacalillo e inclusor de aire.

Estos resultados son el promedio de las pruebas de validación realizadas a cada uno de los diseños seleccionados como satisfactorios a partir de una serie de pruebas piloto.

Palabras clave:

Espuma de concreto, concreto liviano, concreto estructural de baja densidad, aditivo inclusor de aire, poliestireno expandido.

Estudio exploratorio en diseños de mezclas de concreto liviano para Holcim (Costa Rica) S.A.

NATALI MARÍA QUESADA VÍQUEZ

Proyecto final de graduación para optar por el grado de
Licenciatura en Ingeniería en Construcción

Agosto del 2014

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

Contenido

Prefacio	1
Resumen ejecutivo.....	2
Marco teórico	4
Introducción	9
Alcances y limitaciones	11
Objetivos	12
Metodología	13
Resultados	18
Análisis de resultados	34
Conclusiones	38
Recomendaciones	40
Apéndice	41
Anexos	52
Bibliografía	76

Prefacio

El proyecto “Estudio exploratorio de diseños de mezclas de concreto liviano para Holcim (Costa Rica) S.A.” tal y como lo señala su nombre, busca desarrollar a partir de materias primas disponibles en Costa Rica, diseños de mezcla adecuados para fabricar este tipo de concretos en el país.

La idea surge a partir de la necesidad de tener un material de construcción que permita la elaboración de elementos divisorios u otros tipos, los cuales puedan tener resistencias aceptables pero de menor densidad que los elaborados con concreto normal.

Actualmente, a nivel mundial, se elabora concreto liviano a partir de agregados de menor densidad que los utilizados en el concreto convencional, ya que la mayoría de estos cuentan con fuentes de piedra pómez y otros agregados similares.

Sin embargo, en Costa Rica no se cuenta con grandes cantidades de esos tipos de material; por lo tanto, surge la idea de buscar alternativas para el aprovechamiento de las fuentes de agregados que Holcim (Costa Rica) S.A. tiene a su disposición.

Entre los objetivos del proyecto se encuentra la determinación de los diseños de mezcla adecuados que permitan elaborar tres productos diferentes, los cuales constan de una espuma de concreto, un concreto liviano no estructural y finalmente uno estructural de baja densidad, el cual cumple con la resistencia mínima para usos estructurales, con la ventaja de reducir las cargas muertas sobre la estructura.

Para este proyecto se obtuvo la colaboración de la empresa SIKA, en cuanto a lo relacionado con los aditivos utilizados, tanto el inductor de aire como el fluidificante.

Actualmente, la empresa no cuenta con una base de datos para este tipo de mezclas; sin embargo, se espera que una vez concluido el proyecto la empresa pueda contar con un registro

de datos que permita una futura etapa de mejora u optimización de estos productos.

Entre las aplicaciones que pueden tener este tipo de productos es competir con otros materiales utilizados como elementos livianos en el mercado de la construcción, con la ventaja de tener mayor durabilidad y mejor resistencia.

Por último, se desea agradecer a todas las personas involucradas por la colaboración brindada, la cual permitió hacer posible este proyecto y así cumplir con los requisitos necesarios para optar por el título de Licenciatura en Ingeniería en Construcción en el Instituto Tecnológico de Costa Rica. Además, agradecer a la empresa Holcim (Costa Rica) S.A, por brindar la oportunidad de realizar con ellos la práctica profesional dirigida y así llevar a cabo esta investigación.

Agradecer al Ing. Francesco Rossi, Coordinador de Innovación y asesor del proyecto; al Ing Luis Carlos Meseguer encargado del Centro Tecnológico del Concreto y demás colaboradores de este, donde se llevó a cabo el proyecto; y finalmente al Ing. Mauricio Araya quien fue profesor guía y asesor durante este proceso.

Resumen ejecutivo

El documento que se presenta a continuación resume lo contemplado en el desarrollo de este proyecto “Diseños de mezcla para concretos livianos”. Tal y como lo señala su nombre, el mismo consta de la investigación y desarrollo de pruebas de laboratorio llevadas a cabo con la finalidad de obtener los diseños de mezcla adecuados para la fabricación de éstos en el país.

Entre los objetivos propuestos para ese proyecto se tenía la caracterización de los agregados del tajo de Guacalillo los cuales fueron designados por la empresa para la investigación.

Posterior a esto, se realizaron una serie de pruebas piloto en el laboratorio para la determinación de algunas propiedades, tales como contenido de aire, densidad, revenimiento, flujo, temperatura del concreto y resistencia a la compresión.

Se propuso, además, el análisis y con base en las pruebas de laboratorio, la selección de los diseños más adecuados, y posterior a esto realizar pruebas que permitieron la revisión de la consistencia de los resultados.

Finalmente, se propuso determinar los diseños definitivos con agregados en condición seca para una espuma de concreto, un concreto liviano no estructural y un concreto estructural de baja densidad.

Una vez planteados los objetivos, se procedió a realizar una investigación bibliográfica, de la cual se extrajeron algunos aspectos importantes tales como: ¿Qué es el concreto liviano estructural? y algunas maneras que tradicionalmente se han utilizado para la fabricación de concreto liviano. Según Kosmatka, Kerkhoff, Panarese y Tanes (2004) en la literatura “Diseño y control de mezclas de concreto” de la PCA (Portland Cement Association), el concreto liviano estructural es aquel que tiene una densidad menor a los 1800 kg/m^3 y una

resistencia a la compresión superior a los 17 MPa.

El autor menciona, además, que estos tipos de concreto pueden ser elaborados de tres maneras distintas: al incluir aire en la mezcla, al utilizar agregados livianos o al reducir los finos de la mezcla.

Por lo tanto, se propusieron tres categorías para este proyecto, las cuales constan de una espuma de concreto con una densidad inferior a 1000 kg/m^3 y una resistencia a la compresión por debajo de los 5 MPa. Un concreto liviano no estructural, el cual se encuentra entre los 1000 y 1800 kg/m^3 con una resistencia a compresión a 28 días de entre 5 y 17 MPa y finalmente uno estructural de baja densidad, que oscila entre los 1800 y 2100 kg/m^3 con más de 17 MPa a 28 días.

En cuanto a los materiales que se utilizaron se encuentran: dos aditivos de la empresa SIKA, un inclusor de aire (SikaLightcrete®), el cual es una de las variables más importantes durante el proyecto; y un fluidificante (Sikament HE 200®) el cual se utilizó en la misma proporción durante todo el proceso. El cemento, MP-AR de Holcim, modificado con puzolana de alta resistencia, poliestireno expandido en forma de perlas y agregados del tajo de Guacalillo.

Luego se procedió a la caracterización de los agregados, donde se encontró que la piedra de Guacalillo, efectivamente, posee una menor densidad que la de Guápiles, la cual se utiliza con mayor frecuencia para la fabricación de concreto premezclado. Además, se analizó el poliestireno expandido, con el fin de experimentar su comportamiento en las mezclas de concreto.

Durante la etapa de pruebas piloto en el laboratorio se realizaron un total de cuatro pruebas con poliestireno expandido y aditivo inclusor de aire para la espuma de concreto.

Para el concreto liviano no estructural se realizaron seis pruebas, entre las cuales se analizaron los concretos con: agregados livianos, con poliestireno expandido, sin agregado grueso pétreo, sin agregado fino pétreo y con aire incluido.

Uno de los hallazgos más importantes en este punto, fue el hecho de que entre las diferentes formas mencionadas de fabricar concreto liviano anteriormente, la de mejor comportamiento fue la implementación de poliestireno expandido en la mezcla en lugar del agregado grueso pétreo y sin uso de aditivo inclusor de aire.

En cuanto al concreto estructural de baja densidad, se hicieron un total de diez pruebas, en las cuales únicamente se trabajó con agregados pétreos provenientes de Guacalillo y variaciones en el contenido de aditivo inclusor de aire, con el fin de elaborar y evaluar las curvas de comportamiento de estas mezclas.

De dichas curvas se pudo concluir que al utilizar más del 10% de la máxima dosis recomendada por el proveedor del aditivo inclusor de aire (18,5 ml/kg de cemento), este reduce sustancialmente su efecto en la mezcla, es decir, los incrementos en el aire incluido son cada vez menores conforme se aumenta la concentración del mismo. Se puede observar además que conforme se aumenta el aire en la mezcla se reduce sustancialmente la resistencia a la compresión.

Luego de esta etapa se seleccionó un diseño considerado satisfactorio para cada categoría de concreto y se procedió a realizar una serie de tres pruebas similares, bajo las mismas condiciones, para cada uno de dichos diseños, esto con el fin de verificar la repetitividad de las pruebas.

Una vez obtenidos los resultados de dichas pruebas se elaboró un gráfico, el cual describe el comportamiento de la resistencia en función del tiempo, para cada concreto.

Luego de esto se procedió a determinar los diseños para espuma de concreto, concreto liviano no estructural y estructural de baja densidad, asumiendo que los agregados se encontraban en condición seca, de esta forma se puede hacer, de manera efectiva, la corrección por humedad en el caso de que los agregados en

campo tengan un porcentaje de humedad distinto al de los utilizados en laboratorio.

En conclusión, se logró elaborar una espuma de concreto con una densidad de 765 kg/m³ y una resistencia a la compresión promedio a los 28 días de 1,6 MPa y un contenido de aire del 45%. Además, se obtuvo un concreto liviano no estructural, de 1581 kg/m³ de densidad y una resistencia a la compresión promedio a 30 días de 16,1 MPa con un contenido de aire del 6,5%

Finalmente, se obtuvo un concreto estructural de baja densidad de 2042 kg/m³ y una resistencia a la compresión a 28 días de 35,2 MPa para un contenido de aire del 4,6%.

Asimismo, se concluyó que la forma de incorporar el aditivo a la mezcla es crucial, ya que su efecto puede verse afectado y de esa forma alterar el comportamiento y trabajabilidad de la mezcla.

La limitación en la exactitud del equipo a la hora de dosificar materiales con densidades tan bajas, como el poliestireno expandido, pudo haber influido en la oscilación del contenido de este material en la mezcla; lo que eventualmente, pudo haber afectado tanto la densidad como la resistencia en las pruebas.

En el proceso existieron otras complicaciones, tales como la medición de contenido de aire por el método volumétrico (INTE 06-02-38.), la cual fue imposible realizar debido a que el poliestireno expandido flotaba e imposibilitó la lectura de éste; por lo tanto, dichas mediciones se hicieron según la norma INTE 06-02-04:2012 para la medición del contenido de aire por el método de presión.

En las recomendaciones se enfatizó en la importancia de darle seguimiento a los resultados obtenidos en esta investigación, de manera que se realicen pruebas tales como: bombeo del material, fabricación de este a gran escala, adherencia entre estos tipos de concretos y las varillas de refuerzo, pruebas de aislamiento térmico y acústico, con la finalidad de caracterizar mejor sus propiedades.

Se aclara que el tema de costos se dejó de lado a petición de la empresa para mantener esto de forma confidencial y evitar el entorpecimiento del proceso de comercialización de estos productos, ya que aún queda pendiente una futura etapa de optimización y el cálculo de los costos de producción.

Marco teórico

Agregados

Según Kosmatka *et al* (2004) los agregados ocupan cerca de un 60% a un 70% del volumen del concreto e influyen fuertemente en sus propiedades, tanto en estado fresco como endurecido, la importancia de su calidad no se puede subestimar.

Granulometría

“La granulometría es la distribución del tamaño de las partículas de una agregado, que se determina a través del análisis de los tamices”. (Kosmatka et al, 2004, p 106).

Para la determinación de la distribución granulométrica ya sea para agregado grueso o

fino, se deben tomar muestras representativas dependiendo del tipo de agregado, como se menciona en la norma INTE 06-02-09-07(136).

En cuanto a los límites que separan el agregado grueso del fino, se toma como referencia la norma INTE 06-01-02:2011, la cual especifica que este último es el que pasa en un 100% el tamiz de 3/8 de pulgada y de un 95% a un 100% el tamiz No. 4, como se muestra en el Cuadro 1 “Límites de graduación para agregado fino”.

Para conocer el tamaño nominal del agregado grueso se cita el Cuadro 2 “Estructura granulométrica para agregado grueso”. Ambos cuadros fueron tomados de esta norma.

Cuadro 1. Límites de graduación para el agregado fino

Tamiz (especificación E 11)	Porcentaje que pasa
9,5 mm (3/8-in)	100
4,75-mm (No 4)	95 a 100
2,36-mm (No 8)	80 a 100
1,18-mm (No. 16)	50 a 85
600- μ m (No 30)	25 a 60
300- μ m (No 50)	5 a 30
150- μ m (No 100)	0 a 10

Fuente: INTE 06-01-02, año 2011

Cuadro 2. Estructura granulométrica para el agregado grueso

Tamaño nominal (tamiz con aberturas cuadradas)	Cantidades más finas que cada tamiz de laboratorio (aberturas cuadradas), porcentaje en masa													
	100 mm (4in.)	90mm (3½ in.)	75 mm (3in.)	63 mm (2½ in.)	50 mm (2 in.)	37.5 mm (1½ in.)	25.0 mm (1 in.)	19.0 mm (¾ in.)	12.5 mm (½ in.)	9.5 mm (3/8 in.)	4.75 mm (No. 4)	2.36 mm (No. 8)	1.18 mm (No. 16)	300 µm (No.050)
90 a 37.5 mm (3½ a 1½ in)	100	90 a 100	***	25 a 60	***	0 a 15	***	0 a 5	***	***	***	***	***	***
63 a 37.5 mm (2½ a 1½ ")	***	***	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	***	0 a 5	***	***	***	***	***	***
50 a 25.0 mm (2 a 1 ")	***	***	***	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	***	0 a 5	***	***	***	***	***
50 a 4.75 mm (2 " a No. 4)	***	***	***	100	95 a 100	***	35 a 70	***	10 a 30	***	0 a 5	***	***	***
37.5 a 19.0 mm (1½ to ¾ ")	***	***	***	***	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	***	0 a 5	***	***	***	***
37.5 a 4.75 mm (1½ " a No. 4)	***	***	***	***	100	95 a 100	***	35 a 70	***	10 a 30	0 a 5	***	***	***
25.0 a 12.5 mm (1 a ½ ")	***	***	***	***	***	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	***	***	***	***
25.0 a 9.5 mm (1 a 3/8 ")	***	***	***	***	***	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	***	***	***
25.0 a 4.75 mm (1 " a No. 4)	***	***	***	***	***	100	95 a 100	***	25 a 60	***	0 a 10	0 a 5	***	***
19.0 a 9.5 mm (3/4 a 3/8 ")	***	***	***	***	***	***	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	***	***	***
19.0 a 4.75 mm (3/4 " a No. 4)	***	***	***	***	***	***	100	90 a 100	***	20 a 55	0 a 10	0 a 5	***	***
12.5 a 4.75 mm (1/2 " a No.4)	***	***	***	***	***	***	***	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	***	***
9.5 a 2.36 mm (3/8 " a No.8)	***	***	***	***	***	***	***	***	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	***
9.5 a 1.18 mm (3/8 " a No. 16)	***	***	***	***	***	***	***	***	100	90 a 100	20 a 55	5 a 30	0 a 10	0 a 5
4.75 a 1.18 mm (No. 4 a No. 16)	***	***	***	***	***	***	***	***	***	100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	0 a 5

Fuente: INTE 06-01-02 año 2011

Absorción

La importancia de conocer la absorción y la humedad superficial de los agregados radica en el hecho de conocer el agua total del concreto y así poder controlarla, permitiendo de esta manera determinar las masas correctas de los materiales a utilizar en la mezcla del concreto, según lo señalado por Kosmatka *et al* (2004).

Kosmatka *et al*, (2004, p.115) menciona además que *"La estructura interna de la partícula de agregado se constituye de materia sólida y vacíos que pueden o no contener agua"*

A continuación, en la Figura 1, se muestran las diferentes condiciones en las cuales se puede encontrar el agregado.

Figura 1. Condiciones de humedad de los agregados



Fuente: "Diseño y Control de Mezclas de Concreto". Kosmatka *et al* (2004)

En cuanto a los agregados ligeros estructurales menciona que: *"Estos agregados pueden absorber de 5% a 20% de agua por peso de material seco."* (Kosmatka *et al*, 2004, p.376)

Masa Unitaria

Kosmatka *et al*, 2004 en la página 114 menciona que:

La masa volumétrica (masa unitaria) de un agregado es la masa o el peso necesario para llenar un recipiente con un volumen unitario específico. El volumen a que se refiere aquí es aquel ocupado por los agregados y por los vacíos entre las partículas de agregados.

Por otro lado Kosmatka *et al*, 2004, en la página 376 comenta que:

Los agregados ligeros estructurales tiene una masa unitaria significativamente menor que los agregados de peso normal, varían de 560 kg/m³ a 1120 kg/m³ (75 a 110 lb/pie³), comparativamente con 1200 a 1760 kg/m³ (35 a 70 lb/pie³) de los agregados de peso normal.

Masa Específica Relativa (Gravedad específica)

La gravedad específica de un agregado según Kosmatka et al (2004) en la página 114 se define como:

[...] la relación entre su masa y la masa de agua con el mismo volumen absoluto. Se la usa en algunos cálculos de proporcionamiento y del control de la mezcla, tales como el volumen ocupado por el agregado en el método del volumen absoluto de diseño de mezcla.

Menciona además que: “Normalmente no se la usa como una medida de la calidad del agregado, aunque algunos agregados porosos que exhiben deterioro acelerado por congelación-deshielo presentan baja gravedad específica.” (Kosmatka et al, 2004, p114.)

Para la determinación de la densidad, gravedad específica (densidad relativa) y la absorción del agregado fino se toma como referencia la norma INTE 06-02-34-10. A su vez,

para el agregado grueso se utiliza la norma INTE 06-02-33-09

Aditivos químicos

Actualmente, el mercado ofrece una amplia gama de aditivos químicos, los cuales son adicionados a las mezclas de concreto para mejorar sus condiciones. Kosmatka et al (2004) menciona que estos pueden ser utilizados como inclusores de aire, reductores de agua, plastificadores, acelerantes o retardantes de fragua, controladores del calor de hidratación, inhibidores de corrosión, reductores de retracción, entre otros.

Entre los aditivos recomendados para los concretos livianos se encuentran los inclusores de aire y los fluidificantes, como los que se muestran a continuación en el Cuadro 3 “Características, propiedades y usos de los aditivos utilizados para el diseño de mezcla para concreto liviano”.

Cuadro 3. Características, propiedades y usos de los aditivos utilizados para el diseño de mezcla para concreto liviano.

Proveedor	Producto	Descripción	Usos
SIKA	SikaLightcrete®	Aditivo líquido que actúa como agente espumante para elaborar concreto ligero y relleno fluido con densidad entre 1,2 y 1,8 ton/m ³ según la dosificación utilizada y tipo de agregados empleados.	-Para morteros de nivelación o afinado de pisos de bajo peso. -Relleno de zanjas y excavaciones sin requerir equipo de compactación -Relleno de tuberías y tanques de almacenamiento enterrados en desuso. -Capas de soporte de bajo tráfico y áreas deportivas sobre suelos con baja capacidad soportante.
SIKA	Sikament®-HE 200	Aditivo líquido reductor de agua de alto rango, súper-fluidificante y acelerante de resistencias para concreto. Promueve la rápida obtención de resistencia del concreto a edades tempranas, sin afectar la resistencia final. No contiene cloruros. Cumple con la norma ASTM C 494 Tipo F.	-Para la elaboración y transporte de concreto con temperaturas entre 5° C y 20° C. -Cuando se exige una alta resistencia inicial. -Cuando se desee reducir costos en insumos en plantas de prefabricados. -Ya que no contiene cloruros puede usarse en todo tipo de estructuras reforzadas.

Fuente: Fichas técnicas de aditivos químicos de SIKA, año 2011.

Cemento (MP-AR)

Según la ficha técnica: *“El cemento Holcim Tipo MP-AR es obtenido por la molienda conjunta y uniforme de Clinker tipo Portland y Puzolana, esta última en proporciones que van del 8% al 12% en peso del cemento”* (Holcim (Costa Rica) S.A., año 2004, p 1.)

Además, este cemento es recomendado para concretos y morteros de uso general que requieran altas resistencias iniciales, provee un moderado calor de hidratación lo que reduce el agrietamiento superficial por contracción plástica. A su vez, sus características lo hacen resistente a la acción de medios agresivos.

Concreto liviano

“El concreto ligero (liviano) estructural es un concreto similar al de peso normal, excepto que tiene una densidad menor. Se lo produce con agregados ligeros (concreto totalmente ligero) o con una combinación de agregados ligeros y normales” (Kosmatka et al, 2004, p.375)

El mismo autor menciona además que este tiene una masa volumétrica seca al aire (masa unitaria, densidad) que varía de 1350 a 1850 kg/m³ (85 a 115 lb/pie³) y una resistencia a la compresión a los 28 días que supera los 180kg/cm² o 17 MPa (2500 lb/pulg²).

En cuanto a sus aplicaciones los concretos livianos pueden servir para aislamiento térmico y acústico. *“El concreto aislante es un concreto ligero con una masa volumétrica seca en el horno no mayor que 800kg/m³”*. Menciona además que *“El concreto ligero de moderada resistencia tienen una masa volumétrica seca en el horno de 800 kg/m³ a 1900kg/m³”*. (Kosmatka et al, 2004, p.378)

Concreto fresco

Se deben realizar una serie de pruebas en el concreto en estado fresco, esto con el fin de conocer algunas de sus propiedades físicas, tales como:

Revenimiento

El revenimiento es la determinación del asentamiento del concreto plástico de cemento hidráulico. La norma INTE 06-02-03:2011 proporciona los lineamientos y procedimientos necesarios para su determinación.

Además, establece que este ensayo debe ser utilizado en concretos plásticos y cohesivos. En caso que el revenimiento sea menor a 15mm puede que no posea la adecuada plasticidad. Por el contrario, si se obtiene un revenimiento mayor a 230mm, puede que no tenga la adecuada cohesión.

Sin embargo, *“debido a la masa unitaria más pequeña del agregado, para una misma trabajabilidad, el revenimiento (asentamiento) del concreto estructural ligero es menor que del concreto de peso normal.”* (Kosmatka et al, 2004, p.378)

Flujo

El flujo de asentamiento de los concretos autocompactantes se puede determinar mediante el procedimiento descrito en la norma ASTM C 1611, en cual se describe el procedimiento mencionado a continuación.

Para su determinación se requiere una muestra de concreto recién mezclado, se coloca en un molde sin apisonamiento o vibración. El molde se eleva y se permite que el concreto se expanda. Una vez que el movimiento cesa, se toman dos medidas del diámetro de la masa en direcciones ortogonales. Su lectura final es el promedio de estos dos diámetros.

Además, se especifica que la diferencia entre las dos mediciones debe ser menor a 50 milímetros, de lo contrario la prueba debe ser desechada.

Contenido de aire

El contenido de aire en el concreto fresco se puede determinar por medio de la norma INTE06-02-04:2012, en la cual se establece el método de

ensayo para la determinación del contenido de aire en el concreto fresco por el método de presión. Esto a partir de la observación de los cambios de volumen del concreto producto de un cambio de presión.

Este método tiene como restricción los concretos hechos con agregados livianos, escoria de alto horno enfriada al aire, o agregados de alta porosidad.

Para el caso de los concretos hechos con agregados livianos, se debe emplear el método volumétrico, el cual se describe en la norma INTE 06-02-38.

Densidad

La determinación de la densidad del concreto fresco se realiza según la norma INTE- 06-02-37:2010, la cual trata sobre el método para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire del concreto por el método gravimétrico.

Este método permite determinar si durante la elaboración de la mezcla hubo cambios importantes, ya sea en el proceso en sí, en las proporciones de los materiales, o el contenido de aire en la mezcla.

Temperatura del concreto

Conocer y mantener bajo control la temperatura del concreto es importante, ya que se puede prevenir el agrietamiento térmico como consecuencia de las temperaturas alcanzadas debido a la reacción del agua-cemento durante el proceso de hidratación.

Para la determinación de la temperatura del concreto se consultó la norma INTE 06-02-06-06, la cual corresponde al método de ensayo para medir la temperatura del concreto recién mezclado.

Concreto endurecido

Una vez que el concreto ha endurecido se encuentra en condiciones apropiadas para medir algunas otras de sus propiedades, como por ejemplo, la resistencia a la compresión.

Resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión es: *“la medida máxima de la resistencia a carga axial de especímenes de concreto. Normalmente, se expresa en kilogramos por centímetros cuadrados (kg/cm^2), mega pascales (MPa) o en libras por pulgadas cuadradas (lb/pulg^2 o psi) a una edad de 28 días”* (Kosmatka et al, 2004, p.8)

Al medir la resistencia a la compresión de un concreto se puede comprobar si efectivamente el diseño de mezcla seleccionado fue el adecuado según lo esperado. Además, permite corroborar el cumplimiento de las normativas nacionales e internacionales de ser necesario.

A pesar de hablar sobre la resistencia a los 28 días, también se pueden hacer pruebas de los especímenes a otras edades, como manera de conocer y dar seguimiento a su comportamiento a través del tiempo. Además, permite hacer proyecciones tempranas de si alcanzará o no la resistencia deseada.

Estas mediciones se pueden hacer a 1, 3, 7, 28, 56 y 90 días. Kosmatka et al (2004) sostiene que: *“La resistencia a 7 días normalmente se estima como 75% de la resistencia a 28 días y las resistencias a los 56 y 90 días son aproximadamente 10% y 15% mayores que la resistencia a los 28 días”*. (p.8)

Introducción

Actualmente, la empresa Holcim (Costa Rica) S.A. no cuenta con productos tales como concretos livianos para disposición de sus clientes. Sin embargo, por medio del desarrollo de esta investigación, se busca obtener los diseños de mezcla adecuados para elaborar este tipo de concretos para sus clientes y, de esa forma, aprovechar las fuentes de agregados que la empresa tiene a su disposición.

Antes de comenzar con esta investigación la empresa no contaba con una base de datos muy extensa; no obstante, sí se habían realizado unas pruebas piloto de las cuales se tenían resultados satisfactorios en cuanto a reducción de densidad. Sin embargo, las resistencias a compresión obtenidas para estas eran prácticamente nulas.

Tomando esto como referencia, se propuso realizar una investigación que permitiera determinar si es posible elaborar tres concretos diferentes con densidades menores a los convencionales.

El principal objetivo de este proyecto es proponerle a la empresa Holcim (Costa Rica) S.A. los diseños de mezcla adecuados para que, eventualmente, ellos puedan fabricar estos tipos de concreto.

Esto se pretende lograr a través de la caracterización de los agregados, con los cuales se desarrolla el proyecto en función de su granulometría, porcentaje de absorción, gravedad específica y peso unitario.

Para ello, se realizaron una serie de pruebas piloto en el laboratorio a diferentes mezclas para determinar sus propiedades tales como contenido de aire, densidad, revenimiento o flujo, temperatura del concreto y resistencia a la compresión.

Una vez que se obtuvieron los resultados de las pruebas piloto se analizaron y luego se seleccionaron los diseños que cumplían, de manera adecuada lo buscado, para posteriormente verificar que los resultados son

consistentes entre sí, a través de pruebas repetitivas.

Finalmente, se propusieron los diseños definitivos para la elaboración de una espuma de concreto, un concreto liviano no estructural y uno estructural de baja densidad.

Con el fin de lograr estos objetivos se establecieron las características buscadas para cada uno de estos.

Para la elaboración de estos productos se realizó, primeramente, una caracterización de los materiales a utilizar y, posterior a esto, una serie de pruebas piloto para evaluar su comportamiento.

Se evaluaron los diferentes métodos para la elaboración de concreto liviano, los cuales son: incluyendo aire a la mezcla a través de aditivos; sustituyendo el agregado convencional por otros de menor densidad y eliminando el agregado fino de la mezcla.

Los agregados utilizados proceden del tajo de Guacalillo, los cuales cuentan con densidades menores que los agregados de Guápiles, normalmente utilizados por el Departamento de Concretera de Holcim para la fabricación de concreto premezclado.

Otro material utilizado es el poliestireno expandido, este ayuda a reducir el peso del concreto, pero siempre, manteniendo un volumen importante de mezcla lo que permite obtener densidades menores a las convencionales. Por esta razón se utiliza en otros países, de igual manera, para la fabricación de este tipo de concretos.

El inclusor de aire utilizado es el Sikalightcrete, proporcionado por la empresa SIKA. De igual manera, el fluidificante Sikament HE 200 utilizado en todas las pruebas.

Las pruebas piloto buscan determinar el comportamiento de la mezcla ante estas variables, principalmente, la densidad y la resistencia a la compresión.

En este punto de la investigación, determinar los costos puede ser algo prematuro,

ya que al ser un proyecto de innovación existen muchos aspectos económicos asociados, que aún no han podido ser cuantificados. Además, se espera una futura etapa de optimización de otros aspectos que quedaron fuera de los alcances de esta investigación, los cuales pueden influir directa o indirectamente en estos cálculos.

Aunado a lo anterior, se encuentra la preocupación de la empresa de que, al ser un producto que se desea comercializar, un valor temprano de su costo pueda afectar su entrada en el mercado.

Alcances y limitaciones

El alcance de este proyecto es el estudio exploratorio para determinar algunos diseños de mezclas que le permitan a Holcim (Costa Rica) S.A la elaboración de concretos livianos a partir de una de sus fuentes de agregados, en este caso provenientes del tajo de Guacalillo.

Entre las limitaciones presentes durante este proyecto se encuentran las siguientes: primeramente, el hecho de solicitar la utilización de los agregados del tajo de Guacalillo con la finalidad de darles un mayor uso.

Solo una de las tres casas proveedoras de aditivos invitadas colaboró con muestras de sus productos; por lo tanto, solo se utilizaron el Sikalightcrete® como aditivo inductor de aire y el Sikament HE 200® como super-fluidificante.

Algunos de los equipos para determinar gravedad específica y porcentaje de absorción no se tenían disponibles; por lo cual, junto con el profesor guía se tomó la decisión de apoyarse de los datos del informe mensual de Control de Calidad del departamento de Agregados de Holcim (Costa Rica) S.A.

En el caso de los equipos de medición, no se contaba con probetas de cristal para medir volúmenes pequeños, por lo que se utilizaron de plástico, las cuales limitaron la medición del aditivo inductor de aire, para las concentraciones más bajas.

La balanza utilizada para dosificar por peso el poliestireno expandido, no tenía la precisión suficiente para trabajar con materiales de tan baja densidad, lo que pudo haber favorecido a fluctuaciones en el contenido del mismo en la mezcla, lo cual pudo haber influido en variaciones en la densidad y la resistencia entre las pruebas repetidas de la etapa de verificación de la consistencia de los resultados.

La obtención de las perlas de poliestireno expandido fue un proceso complicado, ya que el proveedor que se tenía inicialmente tuvo algunos problemas con la maquinaria lo que imposibilitó la compra del material, luego de un período de

consulta con otros posibles proveedores se logró obtener el material; sin embargo, debido al atraso que representó dicha situación, se limitó el tiempo que se tenía disponible para las pruebas.

A pesar de que se consiguió Poliestireno expandido reciclado, no se utilizó, ya que contaba con algunas partículas de gran tamaño, lo que podría generar puntos de mayor debilidad en la mezcla al haber gran concentración de material en ciertas zonas.

Otra razón por la cual se dejó de lado el poliestireno expandido reciclado fue que al desconocerse su procedencia, podría afectar químicamente la mezcla, ya que este pudo haber estado en contacto con materia orgánica o alguna sustancia química.

A la hora de iniciar el proyecto, las muestras de ambos aditivos ya estaban en el lugar y habían sido utilizadas, lo que según los anexos "F, G, H e I", estos pudieron no estar en óptimas condiciones.

El tiempo fue otra limitación importante, ya que era necesario coordinar los días que se podían realizar las pruebas de manera que no interfirieran con la programación semanal que del Centro Tecnológico del Concreto (CETEC), donde se estaban realizando las pruebas.

Finalmente, por solicitud de la empresa el cálculo de los costos no se incluyó en el proyecto ya que un dato apresurado podría afectar la futura entrada al mercado de estos concretos.

Objetivos

General

1. Proponer algunos diseños de mezcla adecuados que le permitan a Holcim Costa Rica S.A la elaboración de concretos livianos.

- i. Contenido de Aire (ASTM C173).
- ii. Densidad (ASTM C138).
- iii. Revenimiento (ASTM C143)
- iv. Flujo (ASTM C1611).
- v. Temperatura (ASTM C1064).
- vi. Resistencia a la Compresión (ASTM C39)

Específicos

1. Caracterizar los agregados de la fuente de Guacalillo utilizando los ensayos de:
 - i. Granulometría
 - ii. Porcentaje de absorción del agregado
 - iii. Gravedad específica
 - iv. Peso unitario
2. Realizar pruebas de laboratorio en diseños de mezclas piloto para evaluar su comportamiento en función de:

3. Analizar y seleccionar de diseños definitivos para verificar la consistencia de los resultados
4. Determinar los diseños adecuados para una espuma de concreto, un concreto liviano no estructural y un concreto estructural de baja densidad.

Metodología

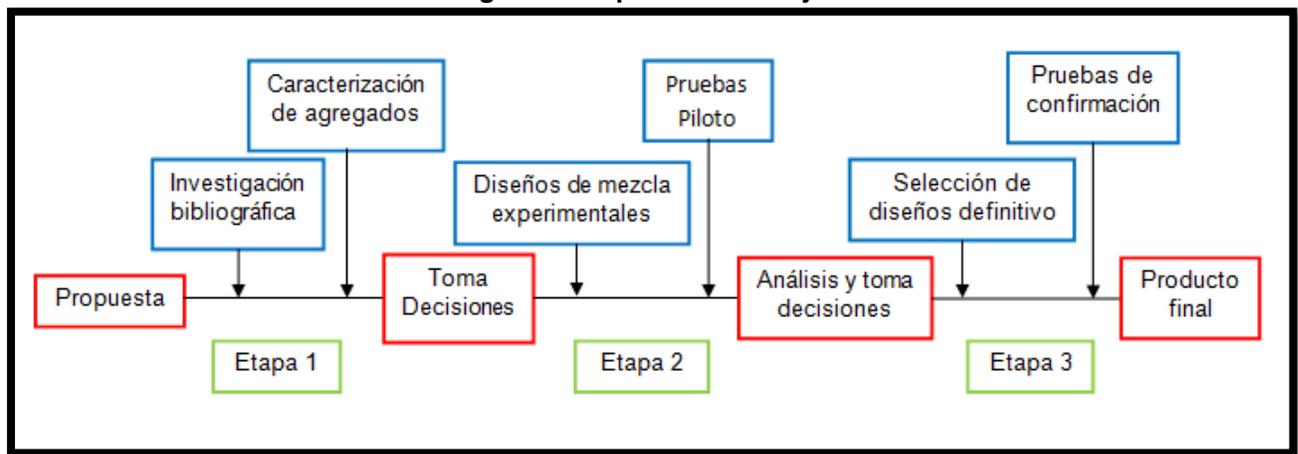
Se realizó un esquema de trabajo, como se muestra en la Figura 2, el cual permite conocer la secuencia los diferentes procesos involucrados durante el desarrollo del proyecto. Cada etapa tiene una función específica; la primera de ellas brinda tanto el punto de partida, como lo que teóricamente se puede esperar.

La segunda etapa está relacionada con un proceso iterativo en el cual se busca cumplir

con algunos requisitos según el diseño meta que se busca.

Una vez logrados los diseños de mezcla adecuados para cada una de las metas, se inicia la tercera etapa, la cual consta del proceso de validación de los resultados, es decir, se realizan tres pruebas repetitivas para los diseños meta seleccionados, para determinar si los resultados son consistentes entre sí.

Figura 2. Esquema de trabajo.



Fuente: Elaboración propia

Etapa 1

Como parte de esta etapa se realizó una recopilación de información bibliográfica y su análisis respectivo. Posterior a esto se investigó acerca de la fuente de agregados a utilizar, así como los aditivos químicos y el cemento propuestos por la empresa.

Tanto la arena como la piedra fueron traídas del tajo de Guacalillo, (ver Apéndice G y Anexo A), el poliestireno expandido de Alajuela, en forma de perlas (ver Apéndice H y Anexo C) y

el cementó utilizado fue el MP-AR de Holcim (Costa Rica) S.A. (ver Anexo E)

En lo que respecta a los aditivos químicos utilizados fueron un inclusor de aire y un fluidificante ambos de la empresa SIKA (ver Apéndice I), de los cuales se hizo la debida revisión de las fichas técnicas (ver Anexos F, H) y hojas de seguridad (MSDS) (ver Anexos G, I), para la obtención de las propiedades y características de dichos aditivos.

Posteriormente, se solicitaron las cantidades aproximadas de materiales requeridas para las pruebas. Una vez con los agregados disponibles se procedió con la caracterización de ellos, con el fin de determinar sus propiedades físicas a través de ensayos, tales como granulometría (ver Apéndice J), y

peso unitario (ver Apéndice K). El porcentaje de absorción y la gravedad específica no se determinaron en el laboratorio por falta de equipos; sin embargo, estos valores fueron obtenidos de las pruebas realizadas para control de calidad realizadas por el Departamento de Agregados de la empresa (ver Anexo A).

Etapa 2

En esta segunda etapa se realizó el diseño experimental para las mezclas de concreto liviano. Como se muestra en el Cuadro 4, se fijaron tres diseños meta.

El primero fue una espuma de concreto, la cual se le denominó "A". Para entrar en esta categoría la mezcla de concreto debía tener una densidad menor a 1000 kg/m^3 . En este caso la resistencia no era un factor determinante; sin embargo, basándose en los resultados de las pruebas realizadas en el 2013, se estimaba que podía andar por debajo de los 5 MPa.

La categoría "B" correspondía al concreto liviano no estructural, para este caso el diseño de

mezcla debía cumplir con una densidad entre los $1000\text{-}1800 \text{ kg/m}^3$ y se esperaba que su resistencia estuviera de entre los 5-17MPa, ya que al utilizar materiales con baja densidad como el Poliestireno expandido o altos contenidos de aire en la mezcla, era posible que no se alcanzarían resistencias estructurales.

La categoría "C" se denominó concreto estructural de baja densidad. En este caso, tanto la densidad como la resistencia fueron de suma importancia, estas mezclas debían estar entre los 1800 y los 2100 kg/m^3 de densidad con una resistencia mayor a los 17MPa.

Cuadro 4."Categorización de los concretos livianos".

Diseño Meta	Densidad (kg/m^3)	Resistencia Compresión (MPa)	Descripción
A	Menor 1000	Menor 5	Espuma de concreto
B	1000-1800	5-17	Concreto liviano no estructural
C	1800-2100	Mayor 17	Concreto estructural de baja densidad

Fuente: Elaboración propia, con base en conceptos de "Portland Cement Association".

En el Cuadro 5 se muestran algunos datos importantes y puntos de partida, los cuales permitieron generar una ruta de acción a seguir durante el desarrollo del proyecto.

Cuadro 5. Puntos de partida para los diseños meta.

Punto Partida A	- Diseño piloto concreto liviano (Diseño Espuma 0)
Punto Partida B y C	- Diseño estándar 180 kg/cm^2 (Diseño 0)
Variable	- % Contenido Aire
Parámetros a evaluar	1. Densidad 2. Resistencia

Fuente: Elaboración propia

En el **Cuadro 6** se muestran los materiales involucrados en cada diseño meta.

Cuadro 6. Matriz de variables a evaluar.

Componentes	Diseño meta A	Diseño meta B	Diseño meta C
Cemento MP-AR	x	x	x
Arena	x	x	x
Piedra		x	x
Poliestireno expandido	x	x	
Aditivo	x	x	x*
Observación	A partir de pruebas previas		*Diferente dosificación

Fuente: Elaboración propia

Para la dosificación de los aditivos se consultó al Ing. Ángelo Acuña, quien es el asesor técnico de la Unidad de Negocios Concreto de la empresa SIKA.

Los aditivos recomendados fueron el Sikalightcrete como agente incluso de aire, y el Sikament HE 200 como fluidificante, sus dosis máximas permisibles, según las fichas técnicas, son de 18 y 12ml/kg de cemento, respectivamente.

Diseño meta “A” (Espuma de concreto)

Para los diseños meta “A” se partió de una prueba piloto realizada por la empresa el año anterior. Se hicieron cuatro pruebas piloto utilizando polietileno expandido, como agregado grueso y diferentes dosificaciones de aditivo incluso de aire.

La primera prueba (EC-P1), se utilizó la misma proporción de los agregados, que había utilizado la empresa en las pruebas anteriores, en la cual un 78% del total del volumen ocupado por los agregados en la mezcla, lo ocupaba en Poliestireno expandido y el otro 22% lo ocupaba la arena. En este caso se utilizó en 100% del máximo aditivo incluso de aire recomendado por el proveedor, es decir 18ml/kg de cemento.

Sin embargo, los especímenes elaborados con esta mezcla apenas alcanzaron los 0,4 MPa a 28 días y presentaron problemas a la hora de ser desmoldados (ver Apéndice Y), y no tenían buena apariencia, ya que algunos fragmentos quedaban adheridos a los moldes.

Al ser un estudio exploratorio, se decidió probar una proporción diferente. Para la segunda prueba (EC-P2), se propuso que un 50% del volumen total ocupado por los agregados en la mezcla fuera poliestireno expandido y el otro 50% fuera arena, en este caso, también se utilizó el 100% del máximo aditivo incluso de aire recomendado por el proveedor.

En este caso la densidad prácticamente se duplicó, lo cual implicaba que estaba muy cerca del límite superior de densidad permitida para esta categoría, y su resistencia a compresión seguía siendo baja, 1,7MPa a 20 días lo cual no lo hacía un producto muy satisfactorio.

Se decide realizar una tercera prueba (EC-P3), conservando la misma proporción de agregados que la prueba anterior; no obstante, en este caso se utilizó únicamente la mitad del aditivo incluso de aire usado, anteriormente.

Los resultados no fueron muy diferentes en cuanto a densidad y resistencia, lo que daba indicios de que, quizá, gran parte del aditivo inductor de aire no estaba surgiendo efecto.

Por lo cual, para la cuarta prueba (EC-P4) se decidió reducir aún más en porcentaje de aditivo, ya que únicamente se utilizó 30% del mismo, y tratar de reducir la densidad al utilizar mayor cantidad de Poliestireno expandido, por lo que se utilizó una proporción de 75% de este contra un 25% de arena.

Esta última prueba, dio como resultado, especímenes de mejor apariencia (ver Apéndice X), los cuales si podían ser desmoldados con

facilidad y contaban, además, con una buena densidad en comparación con los rangos establecidos. A pesar de que su resistencia seguía siendo baja los especímenes podían conservar su integridad al ser desmoldados al contrario de las primeras pruebas.

Cabe destacar que durante la realización de estas pruebas fue necesario determinar el contenido de aire de las mezclas por medio del método de presión (INTE06-02-04 2012) (ver Apéndice P), ya que por el método volumétrico (INTE 06-02-38 2010) fue imposible realizar la lectura (ver Apéndice O).

Diseño meta “B” (Concreto liviano no estructural)

En los diseños meta “B” se evaluaron varias opciones, tales como mezcla con poliestireno expandido, sin finos, con alto contenido de aditivo incluso de aire y también mortero con aire incluido para un total de cuatro pruebas piloto.

Se realizó una primera prueba (AX-P2), la cual no utilizaba agregado del Tajo de Guacalillo sino una mezcla de agregados pétreos de Guápiles, la cual tiene una proporción de 60% arena y 40% piedra, llamada Agremix® (ver Anexos B,D), perteneciente de igual manera a Holcim (Costa Rica) S.A. Esta mezcla es la utilizada en laboratorio para elaborar el concreto convencional.

Esta prueba se realizó con el fin de observar que ocurre al incluirle a una mezcla de concreto convencional de laboratorio, el equivalente a 50% del máximo aditivo de inductor de aire recomendado por el proveedor.

De esta prueba se obtuvo que con el aditivo no se reduce lo suficiente la densidad y, sin embargo, la resistencia bajaba hasta los 1,6 MPa, lo cual evidenció cuanto afecta el aire incluido a la mezcla.

Para la segunda prueba se decidió probar otra combinación diferente esta vez con agregado de Guacalillo, básicamente un mortero con aire

incluido (CLA-P2), aunque se logró una menor densidad la resistencia era incluso menor que la de la prueba anterior; por lo tanto, esta prueba no cumplía con lo esperado para esta categoría.

Se opta por probar el denominado concreto sin finos (CL-P12). Para esta prueba se utiliza únicamente piedra de Guacalillo, cemento agua, aditivo fluidificante en la misma proporción que todas las demás pruebas y 2% de inductor de aire. Sin embargo, esta prueba no pudo ser moldeada, ya que probablemente requiera de otro tipo de aditivos que quedan fuera del alcance del proyecto; por lo tanto, se decidió probar otra opción diferente.

Finalmente, se decide probar proporciones de agregado similares a las del Agremix® mencionado anteriormente; no obstante, para este caso 40% del volumen del total de agregados fue ocupado por poliestireno expandido y el restante 60% fue arena de Guacalillo. Para este caso específico no se utilizó aditivo inductor de aire.

Esta última prueba fue la que dio mejores resultados, ya que tenía una densidad y resistencia aceptable en comparación con los rangos establecidos para esta categoría.

Diseño meta “C” (Concreto estructural de baja densidad)

Al desarrollar los diseños meta “C” se elaboraron siete pruebas piloto basadas en un diseño estándar de la base de datos de la empresa Holcim (Costa Rica) S.A. En ella se varió la dosificación de aditivo incluso de aire, partiendo del uso del 100% de la máxima concentración recomendada por el proveedor para este producto, con el fin de obtener las curvas de comportamiento de la mezcla antes mencionada, en función del porcentaje de aditivo en ellas.

A cada mezcla se le determinó el revenimiento, flujo, temperatura, densidad y

contenido de aire. Para esta categoría no se probaron combinaciones diferentes de materiales ni de proporciones de agregados. Se trabajó con una proporción en volumen de 40% piedra contra 60% arena, ambas procedentes del tajo de Guacalillo.

Para determinar la resistencia a la compresión se hicieron pruebas principalmente en 7, 14 y 28 días, siendo esta última la resistencia esperada. Una vez llegado a este punto se analizó la información obtenida con el fin de comenzar la tercera etapa.

Etapa 3

En esta tercera etapa se seleccionaron los diseños que mejor se adaptaban a los rangos establecidos y se procedió a la validación de los datos.

Para esto se realizó cada diseño bajo las mismas condiciones tres veces; posteriormente, se calculó el promedio y la desviación estándar para las mediciones de densidad y resistencia a la compresión a 7, 14 y 28 días.

Una vez revisada la consistencia de los resultados, se determinaron los diseños para

agregados en condición seca para cada una de las categorías.

Cabe destacar que, tanto los agregados, materias primas y equipos necesarios para el desarrollo del proyecto, fueron proporcionados por la empresa Holcim (Costa Rica) S.A. Además, las muestras y ensayos fueron realizados en las instalaciones del Centro Tecnológico del Concreto (CETEC), en Agua Caliente de Cartago.

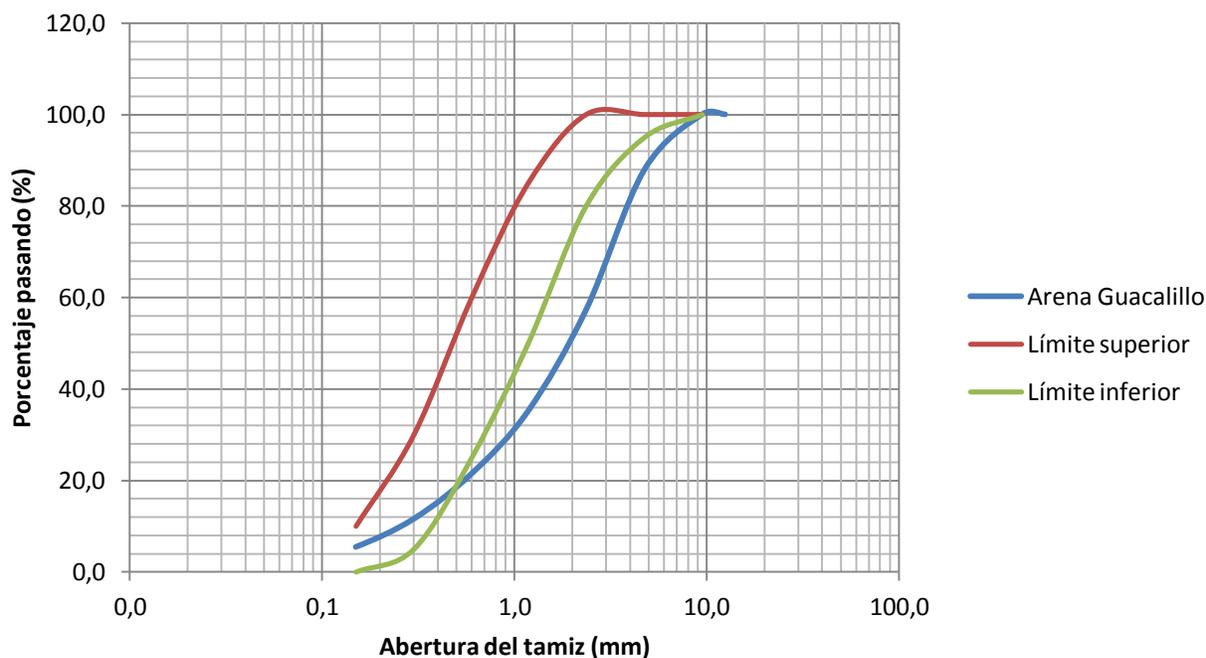
Resultados

Caracterización

A continuación se muestran los resultados obtenidos durante la etapa de caracterización de los agregados procedentes de Guacalillo.

En la Figura 3 se muestran los resultados de la granulometría realizada a la arena del tajo de Guacalillo. Ver tablas de pesos retenidos en Apéndice A.

Figura 3. Análisis granulométrico del agregado fino.

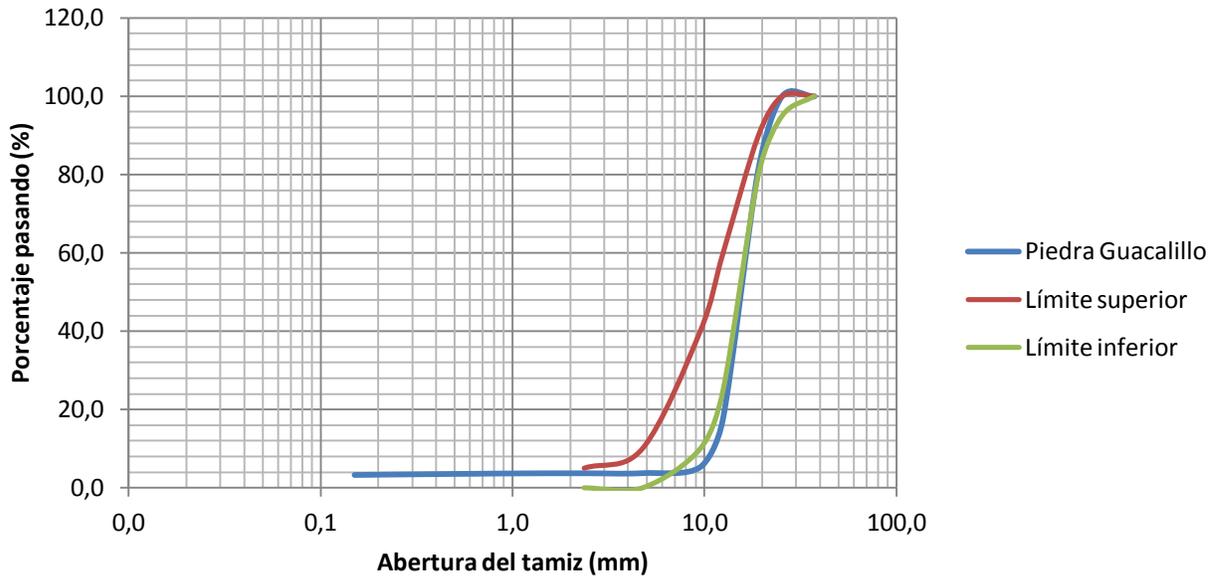


Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4 se muestra la distribución granulométrica obtenida del análisis de la piedra procedente del tajo de Guacalillo

Para este agregado se seleccionaron los datos de un agregado de 19,0 a 9,5 mm (3/4 a 3/8) según la norma INTE 06-01-02:2011. Ver tablas de pesos retenidos en Apéndice B.

Figura 4. Análisis granulométrico del agregado grueso.



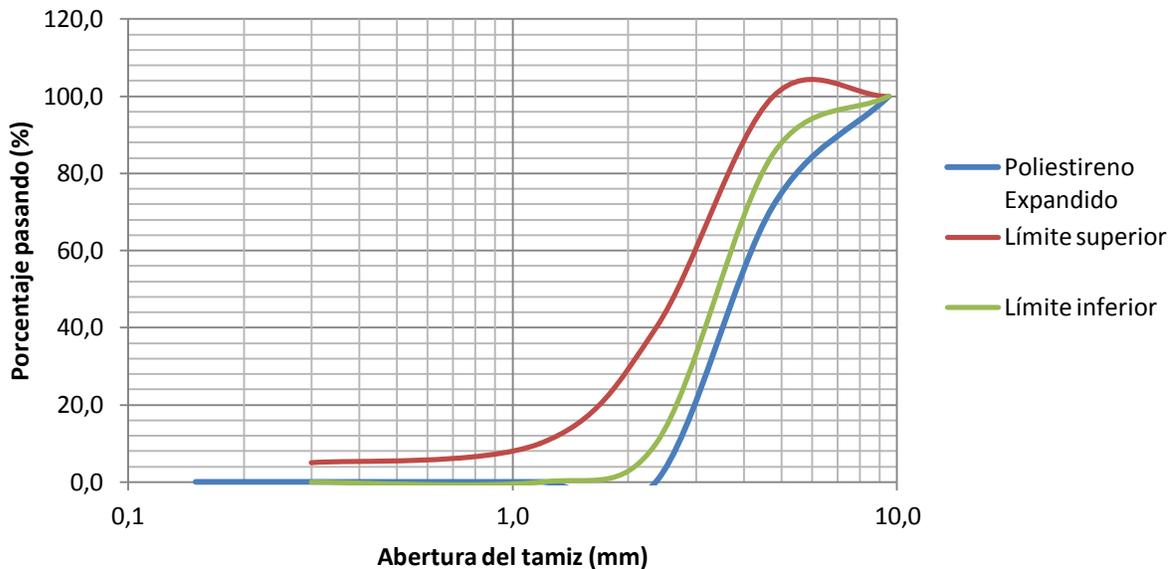
Fuente: Elaboración propia

A continuación en la Figura 5 se presenta la distribución de los tamaños de partículas que presenta el poliestireno expandido utilizado como agregado experimental en las mezclas de concreto liviano y espuma de concreto.

Para determinar los límites correspondientes a este agregado se tomó como

referencia la norma INTE 06-01-02:2011, de la cual se seleccionó, según sus características, los límites y los agregados que van de 4,75 a 1,18mm (N°4 a N°16). Ver tablas de pesos retenidos en Apéndice C

Figura 5. Análisis granulométrico del poliestireno expandido.



Fuente: Elaboración propia

Seguidamente, se presenta el Cuadro 7, el cual contiene los resultados obtenidos en el laboratorio de las pruebas de densidad y cantidad de finos pasando la malla #200.

Los datos de gravedad específica, gravedad específica saturada superficie seca y porcentaje de absorción de los agregados de Guacalillo, identificados con un asterisco (*) en el Cuadro 7, no fueron determinados en el

laboratorio; sin embargo, dichos datos fueron tomados del Resumen Mensual de Resultados del departamento de control de calidad de agregados Holcim; asimismo los datos correspondientes a la caracterización de los agregados de de Guápiles, los cuales se utilizaron únicamente para tener un punto de comparación (Ver Anexos B, D).

Cuadro 7. Resumen de las propiedades de los agregados.

Propiedad	Arena Guacalillo	Piedra Guacalillo	Poliestireno Expandido	Arena Guápiles	Piedra Guápiles
Tamaño Máximo Nominal (mm)	9,5	25	9,5	6,3*	25*
Gravedad específica (Gbs)	2,11 *	2,22 *	0,012	2,54*	2,66*
Gravedad específica saturada superficie seca (Gbsss)	2,33 *	2,36 *	NA	2,61*	2,71*
Absorción (%)	8,54 *	6,50 *	0,5-1,5**	3,12*	1,83*
Densidad varillado (kg/m ³)	1459	1235	NA	-	-
Densidad suelto (kg/m ³)	1333	1123	12	1318*	1455*
Cantidad de finos que pasan la malla #200 (%)	5,67	0,56	0,00	1,49*	0,41*
Modulo de Finura	3,8	6,9	5,3	3,32*	6,88*

Fuente: Elaboración propia (*) Datos obtenidos del “Resumen mensual de resultados” de Control de Calidad de Agregados Holcim. (**) Datos obtenidos de “Propiedades fisicoquímicas del EPS” Industrias Isotex.

Pruebas exploratorias

Espuma de concreto

A continuación, se presentan los resultados obtenidos del proceso de pruebas piloto realizados para la espuma de concreto.

El Cuadro 8 muestra los materiales, cantidades y resultados correspondientes a cada una de las pruebas, lo que permite comparar y posteriormente seleccionar el diseño más adecuado, según lo buscado.

No se generó una curva de comportamiento, según la variación del contenido de aditivo, ya que en algunos diseños fue

necesario, además, un cambio en la proporción de los agregados como se mencionó en la metodología.

Los porcentajes de aditivo mencionados, a partir de este punto se refieren a la fracción de la máxima dosis recomendada de aditivo incluso de aire según la ficha técnica, es decir 18,5 ml/kg de cemento.

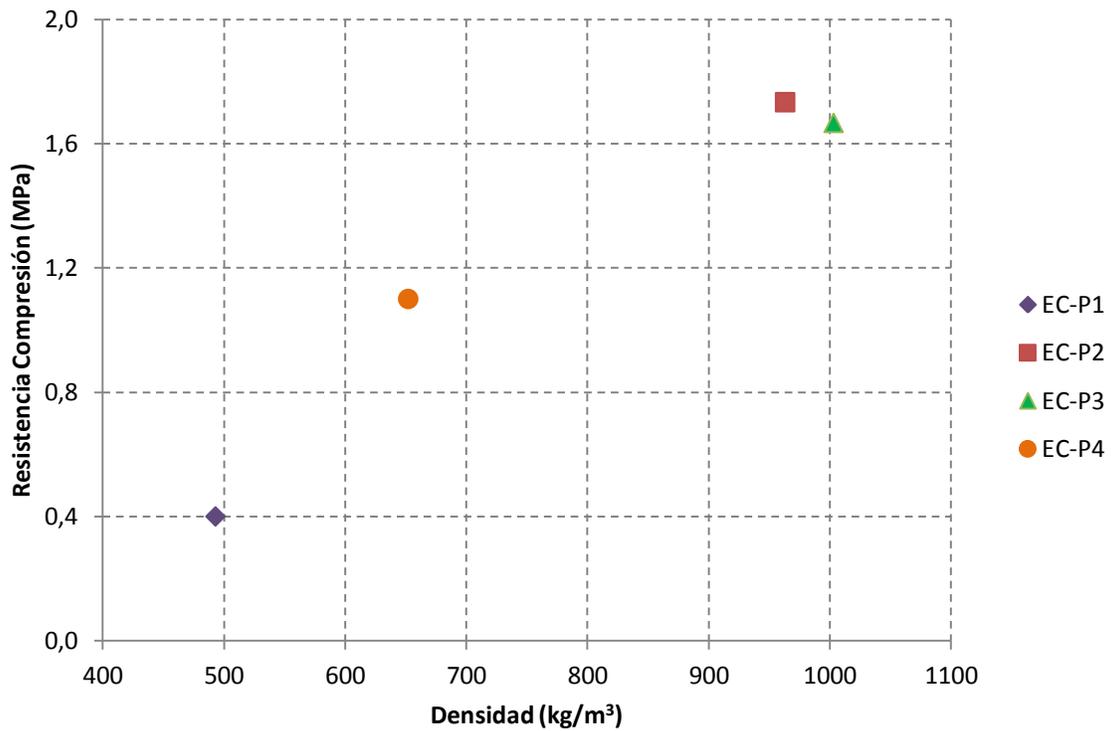
Cuadro 8. Datos obtenidos de pruebas piloto para la espuma de concreto.

Espuma de Concreto				
Identificación	EC-P1	EC-P2	EC-P3	EC-P4
Proporción volumétrica de los agregados.	-78% Poliestireno expandido y 22% arena.	-50% Poliestireno expandido y 50% arena.	-50% Poliestireno expandido y 50% arena.	-75% Poliestireno expandido y 25% arena.
Diseño				
MP-AR (kg)	9,46	9,45	9,45	9,46
Arena (kg)	6,9	16,6	16,6	7,7
Poliestireno Expandido (kg)	0,16	0,08	0,08	0,12
Sikament (ml)	114	114	114	114
Sikalight (ml)	174	174	88	52
Porcentaje de aditivo recomendado (%)	100	100	50	30
Agua dosificación (L)	3,94	4,86	4,86	4,62
A/C real	0,43	0,48	0,48	0,51
Concreto Fresco				
Temperatura Ambiente (°C)	20	21	21	22
Humedad Relativa (%)	49	70	72	33
Tiempo mezcla (min)	10	10	10	10
Flujo (mm)	460	600	550	470
Contenido de aire (%)	-	25	20	30
Temperatura Concreto (°C)	20	22	22	23
Densidad fresco (kg/m ³)	493	963	1003	652
Concreto Endurecido				
f'c 7 días (MPa)	0,3	1,0	1,3	0,9
f'c 14 días (MPa)	0,4	1,1	1,5	NR
f'c 28 días (MPa)	0,4	1,7	1,7	1,1

Fuente: Elaboración propia, datos de laboratorio.

En la Figura 6 se muestra la distribución de las resistencias a la compresión a los 28 días en función de la densidad registrada para las pruebas piloto presentadas en el Cuadro 8.

Figura 6. Distribución de la resistencia a compresión en función de la densidad para las pruebas de espuma de concreto.



Fuente: Elaboración propia.

Concreto liviano no estructural

En el siguiente apartado se muestra el Cuadro 9, correspondiente a los materiales, cantidades y resultados obtenidos de las pruebas piloto para el concreto liviano no estructural.

No se elaboró una curva de variación del comportamiento en función del porcentaje del aditivo utilizado, ya que para estas pruebas se utilizaron diferentes materiales y diferentes dosificaciones, como se especificó en la metodología.

Cuadro 9. Datos obtenidos de pruebas piloto para el concreto liviano no estructural.

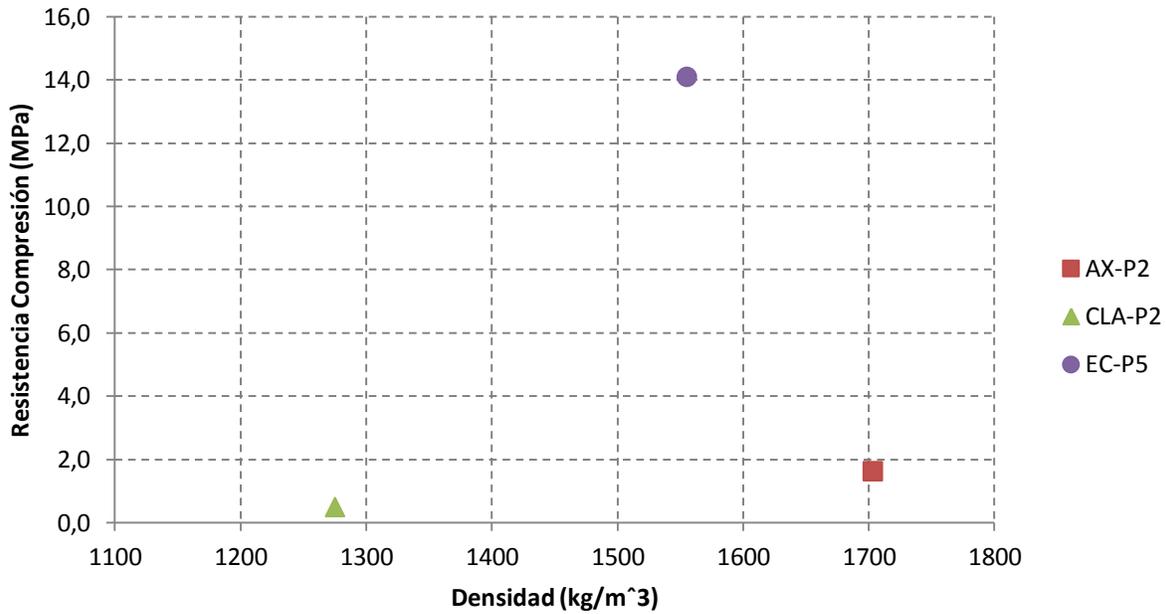
Concreto liviano no estructural				
Identificación	AX-P2	CLA-P2	CL-P12	EC-P5
Proporción volumétrica de los agregados.	-100% Agremix.	-100% Arena.	-100% Piedra.	40% poliestireno expandido -60% arena.
MP-AR (kg)	9,46	9,46	9,46	9,46
Piedra (kg)	NA	NA	30,53	NA
Arena (kg)	NA	31,06	NA	18,49
Agremix (kg)	69,26	NA	NA	NA
Poliestireno expandido (kg)	NA	NA	NA	0,07
Sikament (ml)	114	114	114	114
Sikalight (ml)	88	174	3,5	0
Porcentaje aditivo (%)	51	100	2	0
Agua dosificación (l)	5,74	3,6	5,29	4,95
A/C real	0,58	0,59	NR	0,58
Concreto Fresco				
Temperatura Ambiente (°C)	20	20	20	20
Humedad Relativa (%)	68	57	40	43
Tiempo mezcla (min)	6	7	6	6
Revenimiento (mm)	150	220	NR	220
Flujo (mm)	300	400	NR	425
Contenido de aire (%)	32	42,0	NR	6,8
Temperatura Concreto (°C)	21	20,3	NR	25,5
Densidad fresco (kg/m ³)	1703	1275	NR	1555
Concreto Endurecido				
f'c 7 días (MPa)	1,0	0,5	NR	8,3
f'c 14 días (MPa)	1,3	0,45	NR	12,0
f'c 28 días (MPa)	1,6	0,5	NR	14,1

Fuente: Elaboración propia, datos de laboratorio

Asimismo, se presenta la Figura 7, la cual corresponde a la distribución de la resistencia a 28 días respecto a la densidad, correspondientes a los datos tomados en el laboratorio para cada prueba piloto.

La "CL-P12" no fue incluida en la representación gráfica ya que no cumplía con las condiciones adecuadas para moldear los especímenes, por lo tanto no se registraron valores de densidad ni resistencia.

Figura 7. Distribución de la resistencia a compresión en función de la densidad para las pruebas de concreto liviano no estructural.



Fuente: Elaboración propia, datos de laboratorio

Concreto estructural de baja densidad

El Cuadro 10 Corresponde a los datos recolectados de pruebas piloto para concreto estructural de baja densidad, se muestran las siete pruebas utilizadas para realizar las curvas de comportamiento que se mostraran adelante.

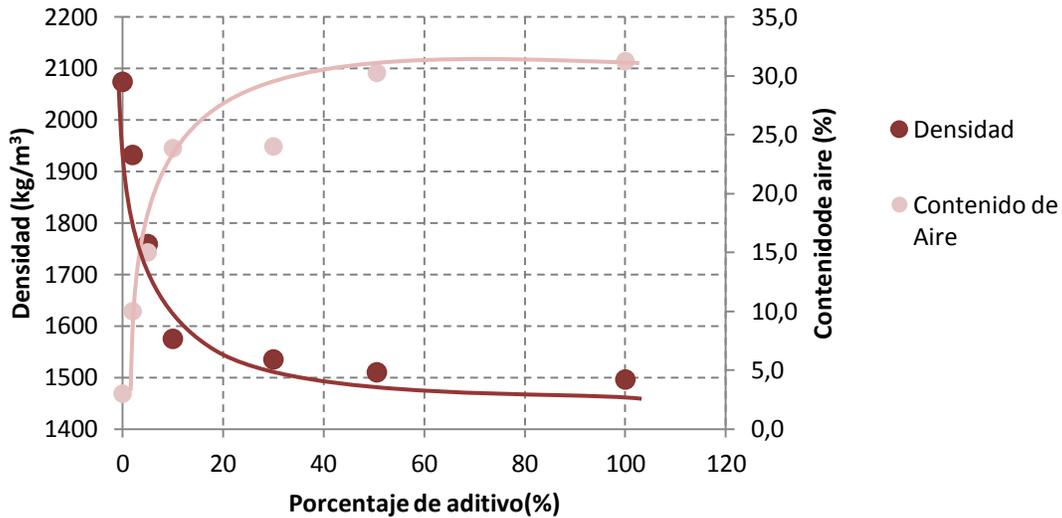
Cuadro 10. Datos obtenidos de pruebas piloto para el concreto estructural de baja densidad

Concreto estructural de baja densidad							
Identificación	CL-P1	CL-P4	CL-P5	CL-P7	CL-P9	CL-P10	CL-P6
Proporción volumétrica de agregados	40% Piedra y 60 % Arena de Guacalillo						
MP-AR (kg)	9,46	9,46	9,46	9,46	9,46	9,46	9,46
Piedra (kg)	11,96	11,94	12,1	12,26	11,99	11,99	12,1
Arena (kg)	18,64	19,14	20,32	21	20,48	20,48	20,32
Sikament (ml)	114	114	114	114	114	114	114
Sikalight (ml)	174	88	52,4	17,5	8,5	3,5	0
Porcentaje aditivo (%)	100	51	30	10	5	2	0
Agua (L)	3,9	3,42	4,04	4,03	3,96	3,96	4,69
A/C real	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,55
Concreto Fresco							
Temperatura Ambiente (°C)	19	20	20	21	22	22	20
Humedad Relativa (%)	90	48	69	35	32	32	68
Tiempo mezcla (min)	6	6	6	6	6	6	7,5
Revenimiento (mm)	195	180	210	170	190	170	225
Flujo (mm)	350	325	370	300	320	270	370
Contenido de aire (%)	31,3	30,3	24	23,9	15	10	3
Temperatura Concreto (°C)	22,0	20	20,5	22,5	22	22,5	21
Densidad fresco (kg/m ³)	1496	1510	1535	1575	1759	1932	2074
Concreto Endurecido							
f'c 7 días (MPa)	0,9	0,9	1,3	2,25	5,4	18,4	24,1
f'c 14 días (MPa)	1,18	1,1	1,9	3,04	8,15	21,7	30,2
f'c 28 días (MPa)	1,4	1,4	2,6	5,95	9,35	25,3	35,6

Fuente: Elaboración propia

A partir de estas pruebas piloto, se elaboraron las curvas de comportamiento las cuales se muestran en la Figura 8. Dichas curvas reflejan cómo se relaciona la densidad y el contenido de aire en función de la variación del porcentaje de aditivo inclusor de aire utilizado.

Figura 8. Correlación de densidad y contenido de aire en función del porcentaje de aditivo.



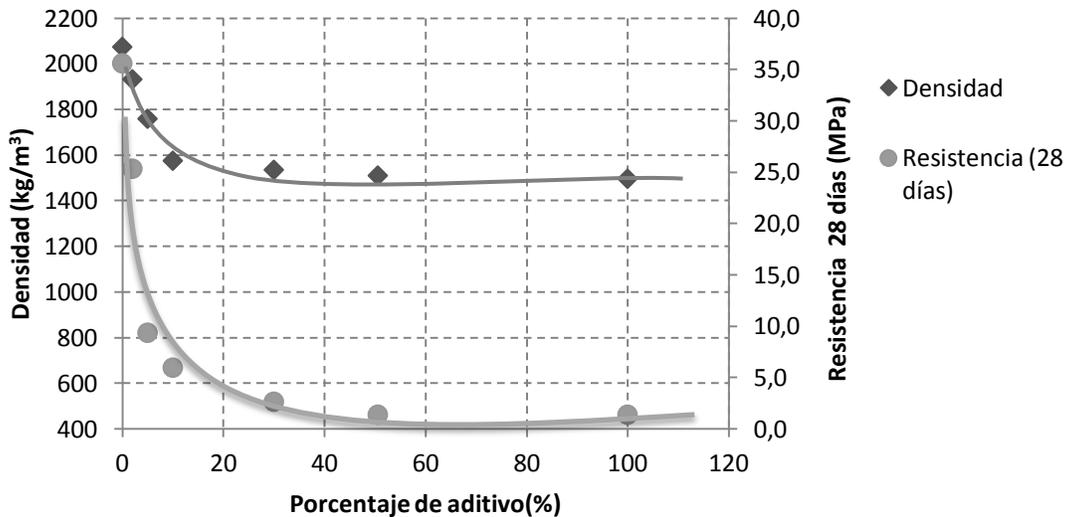
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 9 se presenta el comportamiento de la densidad y la resistencia a 28 días ambas en función de el porcentaje de aditivo utilizado.

A pesar de realizar para el diseño meta "C", un total de diez pruebas piloto, para la elaboración de este gráfico únicamente se

tomaron en cuenta siete, ya que las tres restantes requirieron una variación en la relación agua/cemento. Por lo tanto, no se encontraban en iguales condiciones que las demás.

Figura 9 Correlación de densidad y resistencia a compresión en función del porcentaje de aditivo.



Fuente: Elaboración propia

Selección de diseños

A continuación se presenta el Cuadro 11, correspondiente a los resultados de las pruebas piloto, los cuales se consideraron satisfactorios, según lo buscado.

Se seleccionó un diseño para cada una de las categorías, dicha tabla permite, además, la comparación entre lo esperado y lo obtenido en laboratorio.

Cuadro 11. Resumen de datos obtenidos de pruebas piloto satisfactorias.

Diseños Seleccionados			
Categoría	Espuma de Concreto	Concreto Liviano	Concreto estructural baja densidad
Identificación	EC-P4	EC-P5	CL-P10
Proporción volumétrica de agregados	-75% Poliestireno expandido y 25% Arena.	-40% Poliestireno expandido y 60% Arena.	-40% Piedra y 60% Arena.
Porcentaje de aditivo	30%	0%	2%
Concreto Fresco			
Revenimiento (mm)	NR	220	170
Flujo (mm)	470	425	270
Contenido de Aire (%)	30,0	6,8	10,0
Temperatura Concreto (°C)	23,0	25,5	22,5
Densidad Fresco (kg/m ³)	652	1555	1932
Densidad Meta (kg/m³)	<1000	1000-1800	1800-2100
Concreto Endurecido			
f'c 7 días (MPa)	0,85	8,3	18,4
f'c 14 días (MPa)	NR	12,0	21,7
f'c 28 días (MPa)	1,1	14,1	25,3
f'c meta 28 días (MPa)	< 5	5-17	> 17

Fuente: Elaboración propia, datos de laboratorio

Revisión de consistencia de resultados

A continuación se presentan los resultados promedios obtenidos del proceso de Revisión de consistencia de resultados, de las pruebas realizadas a cada uno de los diseños seleccionados.

Espuma de Concreto

En el Cuadro 12 se presentan los resultados promedios obtenidos durante el proceso de revisión de consistencia de resultados para la espuma de concreto.

Además, se muestra el promedio y la desviación estándar tanto de la densidad como la resistencia a tres edades diferentes.

Se hace la aclaración que la medición correspondiente a 14 días (*) se realizó 48 horas antes, debido a dificultades para fallar la fecha correspondiente.

Para conocer más detalles de este diseño ver Apéndice D

Cuadro 12. Resumen de datos y resultados obtenidos de las pruebas repetidas para espuma de concreto.

Espuma de Concreto					
Identificación	EC-V1	EC-V2	EC-V3	Promedio	Desviación
Proporción volumétrica de agregados	-75% Poliestireno expandido y 25% Arena.				
Volumen (L)	35	35	35		
MP-AR (kg)	9,46	9,46	9,46		
Arena (kg)	7,93	7,93	7,93		
Poliestireno expandido(kg)	0,12	0,12	0,12		
Sikament (ml)	114	114	114		
Sikalight (ml)	43	43	43		
Porcentaje aditivo (%)	25	25	25		
Agua dosificación (l)	4,06	4,06	4,06		
A/C real	0,48	0,48	0,48		
Concreto Fresco				Promedio	Desviación
Temperatura Ambiente (°C)	21	21	21		
Humedad Relativa (%)	33	32	29	-	-
Tiempo mezcla (min)	6	6	6		
Revenimiento (mm)	235	230	245	236,7	7,6
Flujo (mm)	400	385	480	421,7	51,1
Contenido de aire (%)	50	45	40	45,0	5,0
Temperatura Concreto (°C)	23	22,5	23	22,8	0,3
Densidad fresco (kg/m ³)	694	836	765	765,0	71,0
Concreto endurecido				Promedio	Desviación
f'c 7 días (MPa)	0,65	1,25	1,9	1,3	0,6
f'c 12 días (MPa) *	0,7	1,4	2,2	1,4	0,8
f'c 28 días (MPa)	0,8	1,6	2,5	1,6	0,8

Fuente: Elaboración propia, datos de laboratorio.

Concreto liviano no estructural

Seguidamente, en el Cuadro 13 se presentan los promedios de los resultados obtenidos para el concreto liviano no estructural, durante el proceso de revisión de consistencia de resultados.

Se hace la aclaración que la medición correspondiente a 14 días (*) se realizó 72 horas antes debido a dificultades para fallar el día que correspondía. De igual manera, la medición de

resistencia a compresión correspondientes a los 28 días (**) la cual se realizó hasta el día 30 de curado.

Sin embargo, todos los especímenes si fueron fallados a la misma edad y en las mismas condiciones. Para conocer más detalles de este diseño ver Apéndice E.

Cuadro 13. Resumen de datos y resultados obtenidos de las pruebas repetidas para concreto liviano no estructural.

Concreto liviano no estructural					
Identificación	CL-V1	CL-V2	CL-V3	Promedio	Desviación
Descripción	-45% Poliestireno expandido y 55%Arena. -0% del aditivo recomendado.				
Volumen (L)	23	23	23		
MP-AR (kg)	9,46	9,46	9,46		
Arena (kg)	17,02	17,02	17,02		
Poliestireno expandido(kg)	0,07	0,07	0,07	-	-
Sikament (ml)	114	114	114		
Sikalight (ml)	0	0	0		
Porcentaje aditivo (%)	0	0	0		
Agua dosificación I(L)	4,98	4,98	4,98		
A/C real	0,58	0,58	0,58		
Concreto Fresco				Promedio	Desviación
Temperatura Ambiente (°C)	22	21	21		
Humedad Relativa (%)	24	31	32	-	-
Tiempo mezcla (min)	6	6	6		
Revenimiento (mm)	180	245	240	221,7	36,2
Flujo (mm)	300	400	400	366,7	57,7
Contenido de aire (%)	7,4	6,2	6	6,5	0,8
Temperatura Concreto (°C)	21,6	22,3	22,4	22,1	0,4
Densidad fresco (kg/m ³)	1510	1626	1606	1580,7	62,0
Concreto endurecido				Promedio	Desviación
f'c 7 días (MPa)	10,3	13,2	12,6	12,0	1,5
f'c 11 días (MPa) (*)	12,0	15,2	15,3	14,2	1,9
f'c 29 días (MPa) (**)	13,9	17,2	17,3	16,1	2,0

Fuente: Elaboración propia

Concreto estructural de baja densidad

De igual manera, en el Cuadro 14 se presentan los resultados promedios de las pruebas repetidas para revisión de consistencia de resultados para el concreto estructural de baja densidad.

Se hace la aclaración que la medición correspondiente a 14 días (*) se realizó 24 horas antes debido a dificultades para fallar el día que correspondía. Para conocer más detalles de este diseño ver Apéndice F

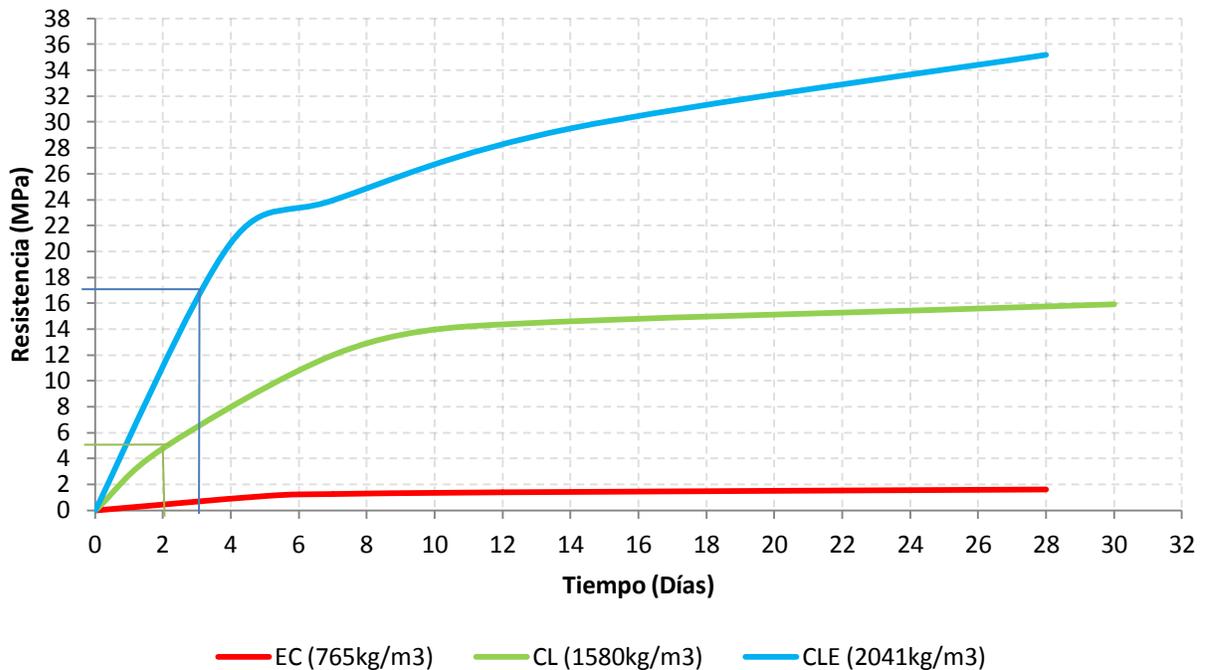
Cuadro 14. Resumen de datos y resultados obtenidos de las pruebas repetidas para concreto estructural de baja densidad.

Concreto estructural de baja densidad					
Identificación	CLE-V1	CLE-V2	CLE-V3	Promedio	Desviación
Descripción	-40% Piedra y 60% Arena. -3% de aditivo.				
Volumen (L)	23	23	23		
MP-AR (kg)	9,46	9,46	9,46		
Piedra (kg)	12,19	12,19	12,19		
Arena (kg)	20,53	20,53	20,53	-	-
Sikament (ml)	114	114	114		
Sikalight (ml)	5	5	5		
Porcentaje aditivo (%)	3	3	3		
Agua dosificación (l)	4,62	4,62	4,62		
A/C real	0,57	0,57	0,57		
Concreto Fresco				Promedio	Desviación
Temperatura Ambiente (°C)	20	20	20		
Humedad Relativa (%)	30	23	28	-	-
Tiempo mezcla (min)	6	6	6		
Revenimiento (mm)	140	150	140	143,3	5,8
Contenido de aire (%)	4,2	5,6	4	4,6	0,9
Temperatura Concreto (°C)	22	22	22	22	0
Densidad fresco (kg/m ³)	2051	2023	2051	2041,7	16,2
Concreto endurecido				Promedio	Desviación
f'c 7 días (MPa)	25,4	23,15	23,3	24,0	1,3
f'c 13 días (MPa) (*)	31,5	27,4	29,6	29,5	2,1
f'c 28 días (MPa)	36,9	34,1	34,6	35,2	1,5

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, se muestra la Figura 10, en la cual se pueden apreciar las curvas de ganancia de resistencia a la compresión a través del tiempo de los tres diseños obtenidos. Además, esta permite obtener los valores de las fechas que, por alguna razón, no fueron fallados el día que correspondía. También, permiten determinar a qué edad alcanzan los especímenes la resistencia esperada.

Figura 10. Curvas de ganancia de resistencia a la compresión en función del tiempo.



Fuente: Elaboración propia.

El Cuadro 15, muestra los valores promedio obtenidos de la etapa de revisión de consistencia de resultados, para los tres diseños seleccionados. Además, facilita la apreciación de la información obtenida así como la edad en la que se alcanza la resistencia meta para cada uno.

Es importante recordar que en el caso de la espuma de concreto no se estableció una resistencia meta.

Cuadro 15 Resumen de resultados promedio de la etapa de revisión de consistencia de resultados

Resumen de pruebas de validación			
Nombre	Espuma de concreto	Concreto liviano no estructural	Concreto estructural de baja densidad
Proporción volumétrica de agregados	-75% Poliestireno expandido y 25% Arena.	-45% Poliestireno expandido y 55% Arena.	-40% Piedra y 60% Arena.
Porcentaje de aditivo (%)	25%	0%	3%
A/C real	0,48	0,58	0,57
Revenimiento (mm)	NA	222 ± 36	143 ± 6
Flujo (mm)	422 ± 51	367 ± 57	NA
Contenido de Aire (%)	45 ± 5	6,5 ± 0,8	4,6 ± 0,9
Densidad Fresco (kg/m ³)	765 ± 71	1581 ± 62	2041 ± 16
Densidad Meta (kg/m³)	<1000	1000-1900	1900-2100
f'c 7 días (MPa)	1,3 ± 0,6	12 ± 1,5	24,0 ± 1,3
f'c 28 días (MPa)	1,6 ± 0,8	16,1 ± 2 (**)	35,2 ± 1,5
f'c meta 28 días (MPa)	< 5	5 a 17	> 17
Edad de f'c meta (días)	25%	0%	3%

Fuente: Elaboración propia

(**) Datos tomados a 30 días de edad.

Diseños definitivos

En el Cuadro 16 se presentan los diseños de mezcla definitivos para cada categoría. Estos parten del hecho de que los agregados se encuentran en condición seca.

Se debe tomar en cuenta los diseños que se muestran a continuación se dan para producir un volumen de 35 litros; ya que este es aproximadamente el volumen necesario para llenar de 7 a 9 cilindros de 10 x 20 centímetros.

Cuadro 16. Diseños de mezcla con agregados en condición seca para los tres tipos de concretos.

Diseños de mezcla definitivos con agregado seco			
Dosificaciones	Espuma de concreto	Concreto liviano no estructural	Concreto estructural de baja densidad.
Volumen (L)	35,0	35,0	35,0
Relación A/C	0,48	0,58	0,57
Contenido de cemento (kg/m ³)	270	410	410
Porcentaje de Aire (%)	45,0	7,0	4,5
Cemento (kg)	9,45	14,35	14,35
Arena (kg)	5,93	21,92	27,26
Piedra (kg)	-	-	17,27
Poliestireno expandido (kg)	0,10	0,1	-
Agua (kg)	4,92	9,75	11,42
Sikament HE200 (ml)	114,0	172,2	172,2
Sikalightcrete (ml)	43,70	0,00	7,96

Fuente: Elaboración propia

Análisis de resultados

A continuación se muestra el análisis de resultados realizado a partir de los datos mostrados en el apartado anterior.

Caracterización

Respecto a la etapa de caracterización de los agregados, se muestra en la Figura 3 la distribución granulométrica de la arena, donde se puede observar que, prácticamente, toda la curva queda por debajo del límite inferior establecido en la norma INTE 06-01-02 2011. De esto se puede interpretar que la arena es más gruesa de lo establecido.

En cuanto al agregado grueso correspondiente a la piedra procedente de Guacalillo, en la Figura 4, se observa que la muestra analizada se asemeja en su mayoría al límite inferior según la norma, además por la forma que presenta la curva se podría decir que el material muestra una tendencia a la meteorización.

A pesar de que algunos valores no cumplen con la norma, igualmente fueron utilizados, ya que estos agregados eran la materia prima a disposición para este proyecto, con el fin de aprovechar los recursos que la empresa tiene disponibles.

Asimismo, se analizó otro material con el fin de suplantar el agregado grueso, como se muestra en la Figura 5; el poliestireno expandido cumple la función de ocupar el lugar del agregado grueso. Sin embargo, presenta una granulometría muy cerrada, esto debido a que toda la muestra analizada queda retenida, únicamente, en las mallas #4 y #8 (ver apéndice C) Eso explica el comportamiento precipitado de la curva. No obstante, se asemeja en gran parte al límite inferior según la norma.

En el Cuadro 7 se puede observar cómo el módulo de finura del agregado fino supera lo

establecido por la norma, ya que según esta debe estar entre 2,3 y 3,1. De igual manera, en este cuadro se muestra cómo, efectivamente, la arena y el poliestireno expandido tiene el mismo tamaño máximo nominal.

Además, se puede observar que, efectivamente, la piedra del tajo de Guacalillo tiene menor densidad que la proveniente de Guápiles; en cuanto a la arena los pesos unitarios si son similares.

Espuma de concreto

Seguidamente, en el Cuadro 8 se muestran los datos tomados durante las pruebas piloto realizadas para la espuma de concreto. En él se expone cómo, a pesar de variar en algunos casos la proporción de arena, poliestireno y el contenido de aditivo, se mantuvieron estables en las demás condiciones durante los ensayos.

Como se muestra en el cuadro, las pruebas "EC-P2" y "EC-P3" son prácticamente iguales, su única variación es el porcentaje de aditivo. Se puede ver cómo, a pesar de haber utilizado, en la segunda, la mitad del aditivo, el efecto sobre la resistencia es el mismo.

Es decir, se puede inferir que a pesar del aumento de 40 kg/m^3 en la densidad en estado fresco, la resistencia no tuvo una variación importante.

También, se analizaron las pruebas "EC-P1" y "EC-P4", en las cuales la principal diferencia es, de igual manera, el contenido de aditivo; sin embargo, en este caso la reducción del mismo fue de un 70%.

En este caso, al hacer dicha reducción, hubo un incremento de 159 kg/m^3 en la densidad, acompañado de un incremento en la resistencia, lo que da un indicio de que al reducir el porcentaje de aditivo, se podría aumentar la resistencia.

Sin embargo, para la categoría de espuma de concreto la resistencia a la compresión no es determinante, debido a esto y al buscar cómo reducir el uso de aditivos debido a sus costos, se seleccionó el diseño “EC-P4”, el cual es el más adecuado para dicha categoría.

En la Figura 6 se puede apreciar cómo, a pasar de no ser el diseño con mayor resistencia, se encuentra en un punto intermedio en densidad y como se mencionó anteriormente, contiene menor cantidad de aditivo.

Concreto liviano no estructural

En cuanto a los datos obtenidos para la categoría del concreto liviano no estructural, en el Cuadro 9 se comparan seis diferentes diseños para prueba piloto.

Se realizaron dos pruebas con Agremix®, (Ver Anexos B, D) procedente de Guápiles, a pesar de que estos materiales no están contemplados en el proyecto. Estas pruebas sirvieron para observar que al utilizar agregados de mayor densidad como los de Guápiles con respecto a los de Guacalillo, no, necesariamente ocasionan gran diferencia en la resistencia, cuando se trabaja con grandes cantidades de aire incluido.

Esto se pudo inferir al comparar la prueba “Ax-P2” del Cuadro 9 con la “CL-P4” de las pruebas para el concreto estructural de baja densidad al 50% del aditivo en el Cuadro 10.

Además, se hicieron pruebas para un concreto sin agregado grueso o “mortero” con aire incluido. A pesar de que el valor de la densidad parecía aceptable, su resistencia no alcanzó ni siquiera 1 MPa en 28 días, cuando lo buscado era que al menos llegara a los 5 MPa a esta edad. Por esta razón, esta opción fue descartada.

De igual manera, se realizó una prueba de concreto sin finos, la cual no tuvo resultados satisfactorios, ya que ni siquiera llegó a la etapa de moldeo de los cilindros debido a un alto grado de segregación del material grueso como se puede observar en el Apéndice U.

A pesar de que, posiblemente, estos concretos se puedan hacer, se requieren otros tipos de aditivos que no están contemplados dentro del proyecto. Por esta razón, esta opción fue desechada.

Finalmente, se realizó una prueba similar a las de espuma de concreto; sin embargo, debido a que no era necesaria una densidad tan baja como la proveniente de la espuma y, al tomar en cuenta la posibilidad de que grandes cantidades de aditivos afectaban directamente la resistencia, se analizó la posibilidad de hacer un diseño sin aditivo inclusor de aire.

Como se puede ver en el Cuadro 9, este diseño “EC-P5” fue el único que cumplió con la resistencia a la compresión y la densidad establecidas para esta categoría.

Concreto estructural de baja densidad

En cuanto a los ensayos realizados para el denominado “Concreto estructural de baja densidad”, en el Cuadro 10 se muestran los datos tabulados y en la Figura 8 se puede observar el comportamiento de la densidad en función del contenido de aditivo y cómo se reduce considerablemente el efecto inclusor de aire en la mezcla al utilizar más de 1,8 mililitros por kilogramo de cemento.

En esta misma figura se detalla que, de igual manera, por encima del 10% de la cantidad máxima de aditivo recomendada por el proveedor (1,8 ml/kg de cemento), se reducen sustancialmente los incrementos de aire en la mezcla; por lo tanto, se puede decir que se redujo en al menos un 90% el aditivo que inicialmente se pensaba utilizar.

En la Figura 9 se puede observar que existe cierta similitud en el comportamiento de la densidad y la resistencia a compresión. Es decir ambas están ligadas directamente al contenido de aditivo. Sin embargo, esta última presenta variaciones importantes cuando se trabaja con dosificaciones menores al 10%, las cuales puede ser de hasta 15,9 MPa al reducir 3% de aditivo. Esto evidencia el alto grado de vulnerabilidad de la mezcla ante la concentración de agente inclusor de aire.

Este fenómeno se puede deber a que al haber grandes cantidades de burbujas en la mezcla, se reduce el área efectiva que puede soportar la carga; por lo tanto, los esfuerzos resistidos son menores conforme más aire haya en ella.

Al observar dichas curvas y compararlas con lo esperado para esta categoría, se deduce que la opción que mejor se adapta es la "CL-P10", ya que cumple en resistencia y densidad.

Selección de diseños

En el Cuadro 10 se tienen los diseños seleccionados para cada una de las categorías. En él se puede observar cómo cada uno de los diseños cumple en primer lugar con la densidad meta que se tenía y, en segundo, con la resistencia, esto incluso antes de cumplir los 14 días.

Revisión de la consistencia de resultados

Se debe tomar en cuenta que cada diseño seleccionado, se realizó tres veces bajo las mismas condiciones, en las cuales se moldearon un total de 7 especímenes para cada una.

En el Cuadro 12 se muestran los resultados promedio para cada prueba correspondiente a la espuma de concreto, EC-V1, EC-V2 y EC-V3, y las condiciones en las que se efectuaron. Además se muestran dos columnas adicionales en las cuales se puede ver el promedio general para dicha categoría y la desviación que hubo entre las pruebas.

La fluidez que presenta la mezcla permite que esta pueda, eventualmente, ser bombeada. Sin embargo, aún no se han realizado pruebas de bombeo con este concreto.

Debido a la baja densidad que posee el poliestireno expandido, a la hora de dosificar por peso de los agregados, el volumen ocupado no permitió utilizar la balanza de 6000 gramos \pm 10 miligramos, sino que se utilizó una de 150 kilogramos \pm 20 gramo; por lo tanto, existe un cierto grado de incertidumbre asociado a la dosificación de él.

Este puede ser uno de los factores que podrían explicar la desviación estándar que presentan los valores de densidad y resistencia, ya que se ha comprobado que ambos están relacionados. A pesar de que la resistencia no era uno de los factores críticos para esta

categoría, si se considera que para estos valores se debería buscar cómo mejorarlos en un futuro.

En el Cuadro 13 se muestra de igual manera, para el concreto liviano no estructural, los resultados de esta etapa, donde se puede observar que la desviación entre los valores promedios obtenidos para cada prueba, son menores que la de la espuma de concreto.

Esto pudo deberse a que al utilizar menor contenido de poliestireno expandido, la incertidumbre asociada a su dosificación por peso tenga un menor impacto en la mezcla.

En cuanto a la resistencia a pesar de que se esperaba que esta clase de concreto no alcanzara valores estructurales, dos de las tres pruebas realizadas si llegan a dicha resistencia. No obstante, el resultado global no cumple; por lo tanto, no se le puede considerar estructural. Además, estos fueron fallados el día 30 y no el 28.

Sin embargo, con algunas variaciones estos concretos podrían eventualmente lograr resistencias estructurales ya que se encuentran cerca del límite.

Durante los ensayos se observó otra complicación implicada en el uso del poliestireno expandido, tal y como se puede ver en el Apéndice O. Esta se relaciona con la medición del contenido de aire en la mezcla, ya que, a pesar de que el método de volumétrico (INTE:06-02-38) es el recomendado para los concretos con agregado liviano, se prescindió de su uso, pues el Poliestireno expandido al estar en contacto con el agua, se desprendió de la pasta de cemento obstruyendo el cuello del instrumento e imposibilitando la lectura. Por esta razón, se utilizó el método de presión, según la norma INTE: 06-02-04.

Asimismo, en el Cuadro 14 se puede observar que para el "Concreto estructural de baja densidad" la desviación estándar de los datos de densidad es incluso menor que la anterior.

Esto es un indicio de que cuanto menor es la densidad con la que se trabaja, más sensible es el procedimiento de elaboración, lo cual se puede asociar al uso de agregados con baja densidad como el Poliestireno expandido en el caso de la Espuma de concreto y el Concreto liviano no estructural. Unido a esto, entre mayor sea el contenido del aditivo inductor de aire más delicado el proceso.

Los datos obtenidos de resistencia a la compresión para los concretos denominados estructurales de baja densidad, están muy por encima de los 17 MPa buscados inicialmente. Sin embargo, debido a la incertidumbre asociada a las pequeñas variaciones en el contenido del aditivo se consideró mejor apuntar a valores de resistencias más altos para así garantizarse un factor de seguridad.

Desarrollo de la resistencia con el tiempo

En la Figura 10 se observa el aumento en la resistencia, según el tiempo de curado de los especímenes. Además, esta permite observar que las muestras para concreto liviano no estructural y estructural de baja densidad alcanzan su resistencia meta a edades tempranas

Esto puede ser asociado a la utilización del cemento MP-AR, el cual está modificado con puzolanas, lo que proporciona altas resistencias iniciales; de esta manera se justifica el comportamiento de las curvas.

Respecto a la espuma de concreto se observa que, a pesar de cumplir los 28 días de curado, no hubo incrementos importantes en la resistencia. Sin embargo, como se aclaró desde el inicio del proyecto, este no era un factor determinante para esta categoría.

El cuadro 15 permite ver con mayor claridad las características de cada concreto. Uno de los datos que más llama la atención se presenta cuando, a edades tempranas (2 y 3 días, respectivamente), los especímenes de concreto liviano no estructural y estructural de baja densidad alcanzaron su resistencia meta.

Si se comparan los resultados obtenidos en la etapa de verificación de consistencia de resultados, (Cuadro 15), con los de los diseños pilotos seleccionados (Cuadro 11), se puede observar que hubo un incremento tanto en las densidades como en las resistencias.

Esto pudo deberse a que, antes de comenzar las pruebas de la etapa de revisión de la consistencia de resultados, se solicitó un nuevo embase de aditivo, ya que el existente no era suficiente para todas las pruebas.

De igual manera, se solicitaron nuevos sacos de cemento, ya que de esta forma se garantizaba que todas las pruebas de validación se hicieran exactamente en las mismas condiciones.

Por lo tanto, el hecho de haber trabajado con el mismo aditivo, pero de un lote diferente o de igual manera, el cemento, pudo haber algún factor que interfiriera en estos aspectos.

En el Cuadro 15 se muestran los diseños de mezcla para agregados en condición seca que permiten la elaboración de estos tres diferentes tipos de concreto. A pesar de que algunas de las pruebas se hicieron con un volumen menor en el laboratorio, es recomendable hablar de dosificaciones para 35 litros, ya que este es el volumen con el que normalmente se trabaja en este laboratorio para llenar los 7 cilindros.

A pesar de que se esperaba poder determinar algunos costos asociados a la fabricación de estos concretos, en acuerdo con el asesor por parte de la empresa Ing. Francesco Rossi y el profesor guía Ing. Mauricio Araya, no se incluyen en este proyecto, ya que al ser un proyecto de innovación existen muchos aspectos económicos involucrados los cuales aún no han podido ser cuantificados debido a la inexperiencia de trabajar con estos tipos de concretos, por lo cual sería presipitado dar un costo aproximado en esta etapa.

Además, se presenta la preocupación por parte de la empresa de que un cálculo prematuro del costo genere conflictos a la hora de comercializar el producto.

Conclusiones

1. De la caracterización de los agregados se tiene que, tanto la arena como la piedra provenientes del tajo de Guacalillo, son ligeramente más gruesos que los límites establecidos, según la norma INTE 06-01-02:2011. Además la piedra presenta una tendencia a la meteorización, lo que eventualmente podría afectar la durabilidad del concreto.

De igual manera, el poliestireno expandido incluido en la mezcla tiene una curva sumamente cerrada; se puede decir que cuenta únicamente con dos tamaños de partícula 4,75 y 2,36 milímetros (#4 y #8, respectivamente).

2. Los altos contenidos de aire en la mezcla afectan directamente la resistencia a la compresión; por lo tanto, la manera más adecuada de reducir la densidad, sin afectar demasiado la resistencia, es con la implementación de materiales de baja densidad, como el poliestireno expandido, en lugar del agregado grueso convencional. Sin embargo, con los resultados obtenidos hasta ahora no se pueden llamar concretos estructurales.
3. Para la espuma de concreto, se logró determinar un diseño que permite obtener un concreto de 765 kg/m³ de densidad, con una resistencia a la compresión promedio de 1,6 MPa y un contenido de aire del 45%.

Esto se logró al utilizar poliestireno expandido en forma de perlas y 4,5 ml/kg de cemento de aditivo incluso de aire.

4. Se logró determinar, para el concreto liviano no estructural, un diseño que permite obtener un concreto de 1581 kg/m³ de densidad y una resistencia a la compresión promedio de 16,1 MPa y un contenido de aire del 6,5%.

En este caso, se utilizó poliestireno expandido en perla sin ninguna clase de aditivo incluso de aire.

5. Finalmente, para el concreto estructural de baja densidad se logró obtener un diseño a base de piedra y arena de Guacalillo, el cual permite obtener, en promedio, un concreto de 2042 kg/m³ de densidad, con una resistencia a la compresión de 35,2 MPa y un contenido de aire del 4,6%.

Para este tipo de concreto se utilizaron 0,5 ml/kg de cemento de aditivo incluso de aire. En este caso no se usó poliestireno expandido

6. Tanto el concreto liviano no estructural como el estructural de baja densidad alcanzan su resistencia meta a una edad aproximada de 3 días. Esto puede ser asociado a la utilización de cemento MP-AR, ya que éste logra alcanzar altas resistencias a edades tempranas.
7. Los altos contenidos de aire en la mezcla afectan directamente la resistencia a la compresión; por lo tanto, la manera más adecuada de reducir la densidad, sin afectar demasiado su capacidad de resistir esfuerzos, es con la implementación de materiales ligeros, tales como el poliestireno expandido, en lugar del agregado grueso convencional. Sin embargo, con los resultados obtenidos hasta ahora, no se pueden llamar concretos estructurales.
8. El manejo del poliestireno expandido presenta ciertas complicaciones, especialmente a la hora de su dosificación por peso, lo cual podría provocar ocasionalmente variaciones en la mezcla si no se maneja con cuidado.
9. A pesar de que la medición del contenido de aire por el método volumétrico (INTE 06-02-38) es el procedimiento recomendado para los concretos con

agregados livianos, no funciona correctamente al utilizar poliestireno expandido, ya que este obstaculiza la lectura.

10. Se observó un mejor comportamiento de la mezcla de concreto al disolver, primeramente, los aditivos en un litro del agua de dosificación, y agregarlo a la batidora justo después de haber incorporado la mitad del agua restante, ya que se observó que al variar este procedimiento algunas mezclas presentaban grumos y dificultades a la hora del mezclado (Ver Apéndice M).
11. A pesar de que los resultados, especialmente de las pruebas 2 y 3 de verificación de consistencia de resultados para el concreto liviano no estructural, sí cumplen con la resistencia requerida para ser estructurales, el promedio de todos estos valores no cumple; sin embargo, están muy cerca de serlo.
12. Todas las pruebas de validación para cada tipo de concreto fueron mezcladas durante 6 minutos luego de incorporar la última fracción del agua, ya que se observó que se tenía un buen comportamiento de la mezcla bajo estas condiciones. También, de esta forma se unificó, de cierto modo, el procedimiento para estos tipos de mezclas.

Recomendaciones

1. Se recomienda realizar pruebas con los diseños seleccionados variando la concentración de aditivo super-fluidificante, ya que existe la posibilidad de que, al igual que lo observado con el inclusor de aire, se pueda reducir considerablemente la utilización de él y de esta forma optimizar los diseños.

2. Se requieren pruebas de fabricación de estos concretos a nivel industrial para determinar si, efectivamente, pueden ser producidos en grandes volúmenes por el departamento de concretera.

3. Se recomienda realizar pruebas de bombeo para determinar el comportamiento, tanto de estos concretos como de la maquinaria utilizada; de esta forma se sabrá qué tan aptos son para ser bombeados.

4. Se requiere realizar pruebas de aislamiento térmico y acústico que permitan determinar qué tan eficientes pueden ser estos concretos para ser utilizados como materiales aislantes.

5. Se recomienda que a la hora de realizar la dosificación del poliestireno expandido, se utilice una balanza que permita tener mayor precisión para evitar variaciones en el contenido de este material en la mezcla, lo cual puede ocasionar fluctuaciones en los valores de densidad y resistencia.

6. Se deben realizar pruebas de adherencia entre la varilla de refuerzo y el concreto, sobre todo en las mezclas que contiene aditivo inclusor de aire, ya que las burbujas en la mezcla pueden afectarla debilitando las estructuras.

De igual manera las mezclas con poliestireno expandido pueden verse afectadas, pues este material al tener forma de perla, no ofrece tracción dentro de la mezcla; por lo tanto, podría generar planos de falla o dificultar la adherencia.

7. Los concretos denominados livianos no estructurales están muy cerca de cumplir la resistencia requerida para ser estructurales. Por

lo tanto se recomienda realizar pruebas con menor cantidad de poliestireno expandido, para determinar si es posible que ese tipo de concreto pueda cumplir funciones estructurales.

Si por el contrario, se requiere es reducir la densidad y la resistencia, ya que el concreto liviano no estructural se encuentra en los límites superiores de dicha categoría, se puede, eventualmente, reducir el contenido de cemento en la mezcla y de esta forma, reducir un poco la resistencia optimizando así el diseño en función de dicha categoría.

8. De igual manera, para el concreto estructural de baja densidad se puede, eventualmente, reducir el contenido de cemento para ajustar la resistencia a valores menores con el fin de reducir costos.

Sin embargo, se recomienda mucha precaución al trabajar con resistencias reducidas, ya que, como se pudo observar, dichos valores se pueden ver afectados según el lote de cemento trabajado, pues este tiene variaciones en el contenido de puzolana, lo cual afecta también la resistencia; además de la gran sensibilidad que tiene al trabajar con aditivo inclusor de aire y todas sus implicaciones, tales como el tiempo de mezclado y su forma de incorporación a la mezcla, entre otras

9. El uso de estos concretos se recomienda en casos en los que se requiera reducir cargas muertas, especialmente en estructuras con gran cantidad de divisiones livianas o elementos arquitectónicos.

10. Estos concretos podrían tener una mayor durabilidad que otros materiales livianos; sin embargo, antes de utilizarlos con este fin se debe realizar pruebas de resistencia al intemperismo, durabilidad y resistencia al impacto.

Apéndice

Caracterización

A continuación se presentan los cuadros correspondientes al análisis granulométrico realizado para los agregados utilizados en esta investigación, a partir de los cuales se elaboraron las curvas granulométricas expuestas en el apartado de Resultados.

Apéndice A. Análisis granulométrico para la arena del tajo de Guacalillo

Análisis granulométrico de la arena de Guacalillo							
Malla (mm)	Malla nominal	Peso retenido (g)	Retenido individual (%)	Retenido acumulado (%)	Total pasando (%)	Especificación INTE 06-01-	
						Especificación mínimo (%)	Especificación máximo (%)
12,5	1/2 pulg	0,0	0,0	0,0	100,0		
9,5	3/8 pulg	0,0	0,0	0,0	100,0	100	100
4,75	#4	80,3	12,1	12,1	87,9	95	100
2,36	#8	203,5	30,7	42,8	57,2	80	100
1,18	#16	146,3	22,1	64,8	35,2	50	85
0,6	#30	90,6	13,7	78,5	21,5	25	60
0,3	#50	65,5	9,9	88,4	11,6	5	30
0,15	#100	40,7	6,1	94,5	5,5	0	10
0,075	#200	25,9	3,9	98,4	1,6		
0	Charola	10,6	1,6	100,0	0,0		
	Total	663,4	MF =	3,81			

Fuente: Elaboración propia

Apéndice B. Análisis granulométrico para la piedra del tajo de Guacalillo

Análisis granulométrico del Piedra Guacalillo							
Malla (mm)	Malla nominal	Peso retenido (g)	Retenido individual (%)	Retenido acumulado (%)	Total pasando (%)	Especificación INTE 06-01-02	
						Especificación mínimo (%)	Especificación máximo (%)
63,5	2 1/2 pulg	0,0	0,0	0,0	100,0		
50,0	2 pulg	0,0	0,0	0,0	100,0		
37,5	1 1/2 pulg	0,0	0,0	0,0	100,0		
25,4	1 pulg	0,0	0,0	0,0	100,0	100	100
19,1	3/4 pulg	2005,7	18,9	18,9	81,1	90	100
12,5	1/2 pulg	6769,0	63,6	82,5	17,5	25	60
9,5	3/8 pulg	1302,6	12,2	94,7	5,3	10	40
4,75	#4	161,1	1,5	96,3	3,7	0	10
2,36	#8	2,5	0,0	96,3	3,7	0	5
1,18	#16	2,3	0,0	96,3	3,7		
0,6	#30	12,4	0,1	96,4	3,6		
0,3	#50	14,5	0,1	96,6	3,4		
0,15	#100	17,4	0,2	96,7	3,3		
0,075	#200	19,9	0,2	96,9	3,1		
0	Charola	18,5	0,2	97,1	2,9		
	Total	10325,9	MF =	6,92			

Fuente: Elaboración propia

Apéndice C. Análisis granulométrico para el Poliestireno expandido

Análisis granulométrico del Poliestireno expandido							
Malla (mm)	Malla nominal	Peso retenido (g)	Retenido individual (%)	Retenido acumulado (%)	Total pasando (%)	Especificación INTE 06-01-02:2011	
						Mínimo (%)	Máximo (%)
63,5	2 1/2 pulg	0,0	0,0	0,0	100,0		
50,0	2 pulg	0,0	0,0	0,0	100,0		
37,5	1 1/2 pulg	0,0	0,0	0,0	100,0		
25,4	1 pulg	0,0	0,0	0,0	100,0		
19,1	3/4 pulg	0,0	0,0	0,0	100,0		
12,5	1/2 pulg	0,0	0,0	0,0	100,0		
9,5	3/8 pulg	0,0	0,0	0,0	100,0	100	100
4,75	#4	8,1	28,5	28,5	71,5	85	100
2,36	#8	20,3	71,5	100,0	0,0	10	40
1,18	#16	0,0	0,0	100,0	0,0	0	10
0,6	#30	0,0	0,0	100,0	0,0		
0,3	#50	0,0	0,0	100,0	0,0	0	5
0,15	#100	0,0	0,0	100,0	0,0		
0,075	#200	0,0	0,0	100,0	0,0		
0	Charola	0,0	0,0	100,0	0,0		
	Total	28,4	MF =	5,29			

Fuente: Elaboración propia

Diseños de Mezclas para pruebas de verificación de consistencia de resultados

Seguidamente, se muestran las hojas de cálculo proporcionadas por la empresa, utilizadas para la elaboración de los diferentes diseños de mezcla.

Apéndice D. Hoja de cálculo utilizada para determinar los diseños para la espuma de concreto.

Materia prima							
Materia prima	Fuente	Gravedad específica	% Absorción	Módulo finura	%	Peso Volumétrico	Costo Unitario
					Humedad		
Poliestireno	Alajuela	0.012	1.00%	5.29	0.00%	10	-
Grava 25mm	Guacalillo	2.09	9.30%	6.92	8.00%	1123	-
Arena Indust	Guápiles	2.54	2.80%	3.42	0.00%	1600	-
Arena tajo	Guacalillo	2.05	6.50%	3.81	13.20%	1500	-
MR-AR	Holcim	3.00				1200	-
SIKALIGHTCRETE	SIKA	Dosis	4.63	cc/Kg			-
SIKAMENT HE 200	SIKA	Dosis	12.00	cc/Kg			-
WR-66	EUCLID	Dosis	0.00	cc/Kg			-

Parámetros de diseño							
Cemento, Kg/m3	270	Relación A/C	0.48	% aire	45.0%	Sobrevolumen	0.0%
Volumen de pasta	670	Its		Volumen de agregados	330	Its	

Combinación de agregados							
Tipo de material:	Poliestireno	Grava 25mm	Arena Indust	Arena tajo	0.00% Combinación de agregados		
Origen:	Alajuela	Guacalillo	Guápiles	Guacalillo			
% Humedad:	0.00%	8.00%	0.00%	13.20%			
Combinación:	75.0%	0.0%	0.0%	25.0%	Grueso	100.0%	Fino
Peso seco, Kg/m3:	2.97	0	0	169			
Módulo de Finura	5.29	6.92	3.42	3.81			

Distribución granulométrica

100	100	100
100	100	100
100	100	100
75	100	82
61	100	73
40	76	59
28	14	47
18	9	36
12	5	25
8	3	15
4	1	8
0	0	0
5.29	4.92	4.37

Resultados de dosificación				Acumulado	Corrección del volumen	Costo del concreto, €/m3		
m3		litros						
Volumen tanda	1	35		Tara, Kg	Dif. vol., Its	Peso seco Kg/m3	Costo \$	Volumen sac, m3, Its
Material	unidades			0.00	-			
MR-AR	270	9.45			Vol. pasta 270	270	-	5.40
Poliestireno	2.97	0.10	0.10		Vol. agreg. 670	3	-	0.297
Grava 25mm	-	0.00	0.00			0	-	0.000
Arena Indust	-	0.00	0.00			0	-	0.000
Arena tajo	192	6.71	6.71			169	-	0.13
SIKAMENT HE 200	3.240	113.40				3.2400	-	3.24
WR-66	-	0.00				-	-	0.00
SIKALIGHTCRETE	1.249	43.71						
agua libre	130	4.54	Corrección del agua			130	Costo total	Volumen agregados
agua abs	11	0.39	Dosificación real, kg	A/C real		20	€, m3	
agua humedad	22	0.78				22	-	0.43
agua dosificación	118	4.140	4.140	0.480		127	\$/m3	#DIV/0!
Densidad teórica	587					591		
agua total	141							

Fuente: Hoja de cálculo para diseños de mezcla Holcim (Costa Rica) S.A, año 2014

Apéndice E. Hoja de cálculo utilizada para determinar los diseños para el concreto liviano no estructural.

Materia prima							
Materia prima	Fuente	Gravedad específica	% Absorción	Módulo finura	%	Peso Volumétrico	Costo Unitario
					Humedad		
Poliestireno	Alajuela	0,012	5,00%	5,29	0,00%	10	-
Grava 25mm	Guacalillo	2,09	9,30%	6,92	8,00%	1200	-
Arena Indust	Guápiles	2,54	2,80%	3,42	0,00%	1600	-
Arena tajo	Guacalillo	2,05	6,50%	3,81	10,00%	1500	-
MR-AR	Holcim	3,00				1200	-
SIKALIGHTCRETE	SIKA	Dosis	0,00	cc/Kg			
SIKAMENT HE 200	SIKA	Dosis	12,00	cc/Kg			
WR-66	EUCLID	Dosis	0,00	cc/Kg			

Parámetros de diseño							
Cemento, Kg/m3	410	Relación A/C	0,48	% aire	7,0%	Sobrevolumen	0,0%
Volumen de pasta	403	Its		Volumen de agregados	597	Its	

Combinación de agregados							
Tipo de material:	Poliestireno	Grava 25mm	Arena Indust	Arena tajo	0,00% Combinación de agregados		
Origen:	Alajuela	Guacalillo	Guápiles	Guacalillo			
% Humedad:	0,00%	8,00%	0,00%	10,00%			
Combinación:	45,0%	0,0%	0,0%	55,0%	Grueso	100,0%	Fino
Peso seco, Kg/m3:	3,22	0	0	673			
Módulo de Finura	5,29	6,92	3,42	3,81			

Distribución granulométrica			
	100	100	100
	100	100	100
	100	100	100
	75	100	82
	61	100	73
	40	81	59
	28	31	47
	18	19	36
	12	12	25
	8	6	15
4	3	8	
0	1	0	
	5,29	4,47	4,37

Resultados de dosificación			Acumulado	Corrección del volumen	Costo del concreto, €/m3		
Volumen tanda	m3	litros	Tara, Kg	Dif. vol., Its	Peso seco Kg/m3	Costo ¢	Volumen sac, m3, Its
	1	23					
Material	unidades		0,00	43,5			
MR-AR	410	9,43		Vol.pasta 431 Vol. agreg. 569	392	-	7,84
Poliestireno	3,22	0,07	0,07		3	-	0,307
Grava 25mm	-	0,00	0,00		0	-	0,000
Arena Indust	-	0,00	0,00		0	-	0,000
Arena tajo	740	17,02	17,02		642	-	0,47
SIKAMENT HE 200	4.920	113,16			4,7061	-	4,71
WR-66	-	0,00			-	-	0,00
SIKALIGHTCRETE	-	0,00					
agua libre	197	4,53	Corrección del agua		230	Costo total ¢, m3	Volumen agregados
agua abs	44	1,01	Dosificación	A/C	74		
agua humedad	67	1,55	real, kg	real	64		
agua dosificación	173	3,989	4,989	0,586	240	\$/m3	#DIV/0!
Densidad teórica	1.331				1.341		
agua total	241						

Fuente: Hoja de cálculo para diseños de mezcla Holcim (Costa Rica) S.A, año 2014

Apéndice F. Hoja de cálculo utilizada para determinar los diseños para el concreto estructural de baja densidad.

Materia prima							
Materia prima	Fuente	Gravedad específica	% Absorción	Módulo finura	%	Peso Volumétrico	Costo Unitario
					Humedad		
Poliestireno	Alajuela	0.015	5.00%	5.96	0,00%	10	-
Grava 25mm	Guacalillo	2.11	8.54%	6.92	5,70%	1123	-
Arena Indust	Guápiles	2.54	2.80%	3.42	0,00%	1600	-
Arena tajo	Guacalillo	2.22	6.50%	3.81	12,80%	1500	-
MR-AR	Holcim	3.00				1200	-
SIKALIGHTCRETE	SIKA	Dosis	0.56	cc/Kg			-
SIKAMENT HE 200	SIKA	Dosis	12.00	cc/Kg			-
WR-66	EUCLID	Dosis	0,00	cc/Kg			-

Parámetros de diseño							
Cemento, Kg/m3	410	Relación A/C	0,48	% aire	4,5%	Sobrevolumen	0,0%
Volumen de pasta	378	lts		Volumen de agregados	622	lts	

Combinación de agregados								
Tipo de material:	Poliestireno	Grava 25mm	Arena Indust	Arena tajo	0,00%			Combinación de agregados
Origen:	Alajuela	Guacalillo	Guápiles	Guacalillo				
% Humedad:	0,00%	5,70%	0,00%	12,80%				
Combinación:	0,0%	40,0%	0,0%	60,0%	Grueso	100,0%	Fino	
Peso seco, Kg/m3:	0,00	525	0	828				
Módulo de Finura	5,96	6,92	3,42	3,81				

Distribución granulométrica						
	100	100	100			
	100	100	100			
	100	92	100			
	75	67	82			
	61	62	73			
	40	54	59			
	28	36	47			
	18	23	36			
	12	14	25			
	8	8	15			
	4	5	8			
	0	2	0			
	5,29	5,06	4,37			

Resultados de dosificación			Acumulado	Corrección del volumen		Costo del concreto, €/m3	
Volumen tanda	m3	litros	Tara, Kg	Dif. vol., lts	Peso seco	Costo	Volumen
Material	unidades		0,00	39,1	Kg/m3	€	sac, m3, lts
MR-AR	410	9,43		Vol.pasta 403 Vol. agreg. 597	394	-	7.88
Poliestireno	-	0,00	0,00		0	-	0.000
Grava 25mm	554	12,75	12,75		504	-	0.474
Arena Indust	-	0,00	0,00		0	-	0.000
Arena tajo	934	21,48	21,48		795	-	0.60
SIKAMENT HE 200	4.920	113,16			4.7275	-	4.73
WR-66	-	0,00			-	-	0.00
SIKALIGHTCRETE	228	5,23					
agua libre	197	4,53	Corrección del agua		227	Costo total	Volumen
agua abs	99	2,27	Dosificación	A/C	95	€/ m3	agregados
agua humedad	136	3,13	real, kg	real	131	-	1,07
agua dosificación	160	3,669	4,569	0,575	191	\$/m3	#DIV/0!
Densidad teórica	2.063				2.014		
agua total	295						

Fuente: Hoja de cálculo para diseños de mezcla Holcim (Costa Rica) S.A, año 2014

Imágenes

Se muestran a continuación algunas imágenes tomadas durante el desarrollo de este proyecto, las cuales ayudan a ejemplificar de una manera más clara lo expuesto en los apartados anteriores.

Apéndice G. Arena y piedra procedentes del tajo de Guacalillo.



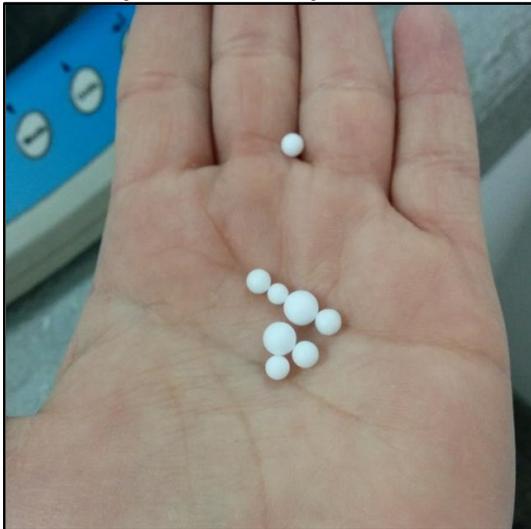
Fuente: Elaboración propia

Apéndice I. Aditivos químicos Sikalightcrete y Sikament HE 200.



Fuente: Elaboración propia

Apéndice H. Tamaño de partículas del poliestireno expandido



Fuente: Elaboración propia

Apéndice J. Agitador mecánico para ensayos de granulometría.



Fuente: Elaboración propia

Apéndice K. Procedimiento para la determinación de la densidad suelta de la arena.



Fuente: Elaboración propia

Apéndice M. Problemas a la hora de elaborar la mezcla asociados a la forma incorrecta de incorporar los aditivos



Fuente: Elaboración propia

Apéndice L. Aspecto de la espuma de concreto en la batidora antes de incorporársele el agua de dosificación.



Fuente: Elaboración propia

Apéndice N. Prueba de flujo para espuma de concreto



Fuente: Elaboración propia

Apéndice Ñ. Prueba de revenimiento en concreto estructural de baja densidad



Fuente: Elaboración propia

Apéndice P. Prueba de contenido de aire por el método de presión.



Fuente: Elaboración propia

Apéndice O. Prueba para determinar el contenido de aire por el método volumétrico



Fuente: Elaboración propia

Apéndice Q. Especímenes de espuma de concreto



Fuente: Elaboración propia

Apéndice R. Lámina hecha utilizando la espuma de concreto



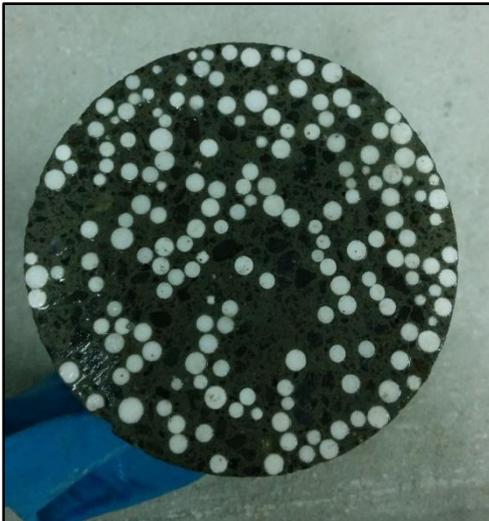
Fuente: Elaboración propia

Apéndice T. Cilindro de concreto liviano no estructural.



Fuente: Elaboración propia

Apéndice S. Distribución de las perlas de poliestireno expandido en una probeta de concreto liviano no estructural.



Fuente: Elaboración propia

Apéndice U. Segregación de material y dificultades presentes durante la prueba de concreto sin finos.



Fuente: Elaboración propia

Apéndice V. Muestra de concreto estructural de baja densidad



Fuente: Elaboración propia

Apéndice X. Mejoramiento de la apariencia de las pruebas de Espuma de Concreto



Fuente: Elaboración propia

Apéndice W. Ensayo de resistencia a la compresión



Fuente: Elaboración propia

Apéndice Y. Complicación a la hora de desmoldar cilindros con resistencia menores a 1 MPa



Fuente: Elaboración propia

Pruebas empíricas de aislamiento térmico

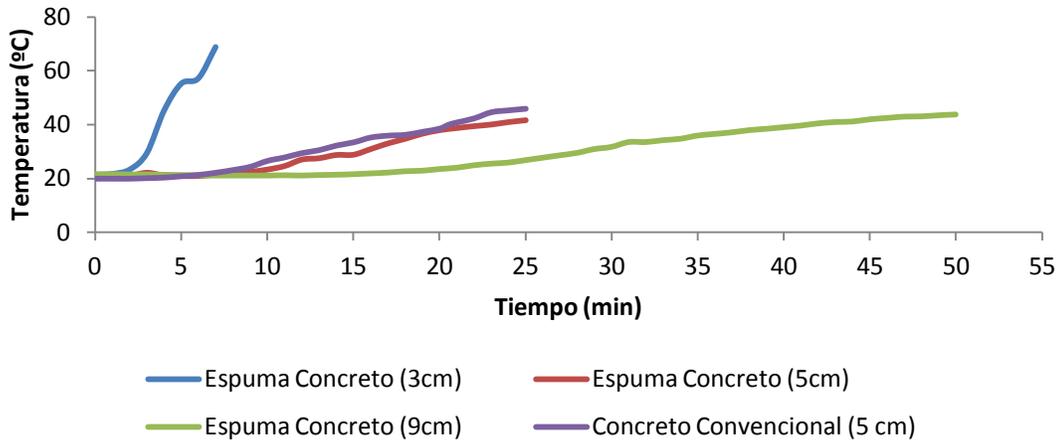
Las siguientes son unas curvas generadas empíricamente, a partir de pruebas de transmisión de calor, donde se comparan tres espesores diferentes de láminas de espuma de concreto y una cuarta hecha en concreto convencional.

La prueba consta en medir el incremento en la temperatura a través del tiempo en la parte superior de una lámina de espuma de concreto

cuando se le aplica calor en el extremo opuesto a través de una plantilla eléctrica que se encuentra a unos 200°C, aproximadamente.

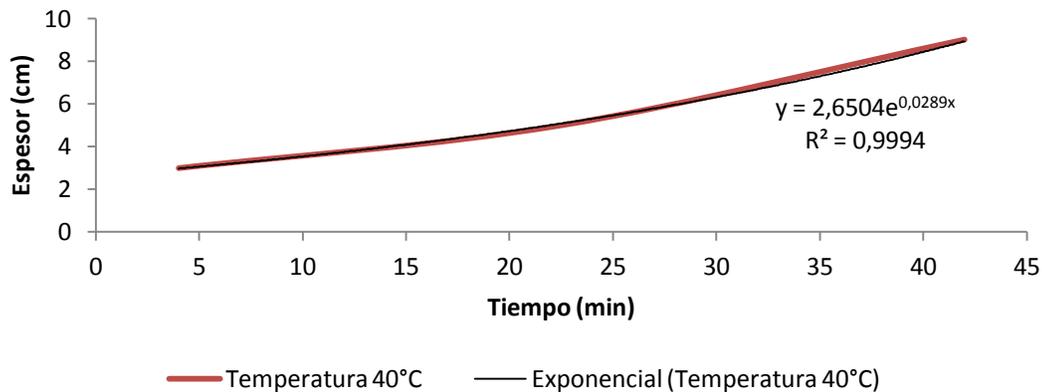
Estas pruebas no se incluyeron en los resultados ni análisis del proyecto, ya que al no estar respaldadas por ninguna norma, no es recomendable reportarlos como resultados confiables, sin embargo, permiten tener una idea de su comportamiento térmico de estos concretos.

Apéndice Z. Representación gráfica del incremento de la temperatura a través del tiempo en láminas de espuma de concreto expuestas a una fuente de calor.



Fuente: Elaboración propia

Apéndice AA. Representación grafica de cuánto tiempo tarda en alcanzar los 40°C una lamina de espuma de concreto según su espesor.



Fuente: Elaboración propia

Anexos

Agregados

Anexo A. Resumen mensual de resultados del departamento de control de calidad de agregados Holcim correspondientes a la piedra y arena provenientes del tajo de Guacalillo

Año		Mes		Planta		Código		Descripción	
2014	1	Guac...	10015019	4. Piedra 25 mm (Cuartilla comercial) Guacalillo					
2013	2	Guáp...	10015415	5. Polvo Mezcla 12.5 mm (Chorro) Guacalillo					
2012	3	Sant...	10014836	6. Arena 7.9 mm (Arena Tajo) Guacalillo					
2011	4	Tárc...	10014982	Arena Refinada Guacalillo					

Descripción	Ensayo	Valores				# ensayos
		Promedio	Máximo	Mínimo	Desviación	
4. Piedra 25 mm (Cuartilla comercial) Guacalillo	1. Humedad	4.69	11	1.5	3.40	6
	2. Lavado #200	1.32	3.1	0.2	1.16	6
	3. Peso Unitario	1,300	1460	1140	226.27	2
	4. Gbs	2.11	2.16	2.03	0.07	3
	5. Gbsss	2.33	2.34	2.32	0.01	3
	6. Absorción	8.54	10.09	7.57	1.35	3
	7. Colorimetría					
	8. Abrasión					
	9. Módulo Finura	6.66	6.87	6.2	0.24	6
6. Arena 7.9 mm (Arena Tajo) Guacalillo	1. Humedad	8.31	11	7	1.35	8
	2. Lavado #200	12.31	15.2	8.1	2.21	8
	3. Peso Unitario	1,260	1340	1180	113.14	2
	4. Gbs	2.22	2.24	2.19	0.03	3
	5. Gbsss	2.36	2.38	2.35	0.02	3
	6. Absorción	6.50	7.06	6.11	0.50	3
	7. Colorimetría					
	8. Abrasión					
	9. Módulo Finura	3.41	3.88	3.08	0.24	8

Fuente: Resumen mensual de resultados, Holcim (Costa Rica) S.A. año 2014

Anexo B. Resumen mensual de resultados del departamento de control de calidad de agregados Holcim correspondientes a la piedra y arena provenientes Guápiles.

Descripción	Ensayo	Valores				# ensayos
		Promedio	Máximo	Mínimo	Desviación	
1. Piedra 25 mm (Cuartilla) Guápiles	1. Humedad	2,22	3,3	1	0,61	33
	2. Lavado #200	0,41	1,1	0	0,37	33
	3. Peso Unitario	1.455,00	1480	1430	23,80	4
	4. Gbs	2,66	2,69	2,64	0,02	7
	5. Gbsss	2,71	2,74	2,69	0,02	7
	6. Absorción	1,83	1,93	1,6	0,13	7
	7. Colorimetría					
	8. Abrasión					
	9. Módulo Finur	6,88	6,99	6,72	0,09	33
Arena 6,3 mm (Arena de río) Guápiles	1. Humedad	10,17	16,4	7,04	2,06	38
	2. Lavado #200	1,49	3,7	0,2	0,86	38
	3. Peso Unitario	1.318	1330	1300	12,58	4
	4. Gbs	2,54	2,58	2,49	0,04	5
	5. Gbsss	2,61	2,64	2,58	0,03	5
	6. Absorción	3,12	3,68	2,48	0,54	5
	7. Colorimetría	2	2	0	1,00	4
	8. Abrasión					
	9. Módulo Finur	3,32	3,87	2,88	0,26	38

Fuente: Resumen mensual de resultados, Holcim (Costa Rica) S.A. año 2014

Anexo C. Propiedades fisicoquímicas del EPS. Industrias Isotex.

PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL EPS					
PROPIEDAD FÍSICA	ENSAYO SEGÚN	UNIDAD	RESULTADO DEL ENSAYO		
DENSIDAD APARENTE MÍNIMA	DIN 53420	Kg/m ³	15	20	30
CLASE MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN	DIN 4102		B1	B1	B1
CONDUCTIVIDAD TÉRMICA (medida a -10°C)	DIN 52612	W/m°C	0.036 ± 0.038	0.033 ± 0.036	0.031 ± 0.035
TENSIÓN POR COMPRESIÓN CON DEFORMACIÓN DEL 10%	DIN 53421	kg/cm ²	0.6 - 1.1	1.1 - 1.6	2.0 - 2.5
RESISTENCIA PERMANENTE A LA COMPRESIÓN CON DEFORMACIÓN <2%		kg/cm ²	0.15 - 0.25	0.25 - 0.40	0.45 - 0.60
RESISTENCIA A LA FLEXIÓN	DIN 53423	kg/cm ²	0.60 - 3.00	1.50 - 3.90	3.30 - 5.70
RESISTENCIA AL CIZALLAMIENTO	DIN 53427	kg/cm ²	0.8 - 1.3	1.2 - 1.7	2.1 - 2.6
RESISTENCIA A LA TRACCIÓN	DIN 53430	kg/cm ²	1.1 - 2.9	1.7 - 3.5	3.0 - 4.8
MÓDULO DE ELASTICIDAD (ENSAYO DE COMPRESIÓN)	DIN 53457	kg/cm ²	16 - 52	34 - 70	77 - 113
INDEFORMIDAD AL CALOR INSTANTÁNEA	DIN 53424	°C	100	100	100
DURADERA CON 5000 N/m ²	DIN 18164	°C	80-85	80-85	80-85
DURADERA CON 20000 N/m ²	DIN 18164	°C	75 - 80	80-85	80-85
COEFICIENTE DE DILATACIÓN TÉRMICA LINEAL		1/°C	5 - 7 x 10 ⁻⁵	5 - 7 x 10 ⁻⁵	5 - 7 x 10 ⁻⁵
CALOR ESPECÍFICO	DIN 4108	W/Kg°C	0.51	0.38	0.26
ABSORCIÓN DE AGUA EN INMERSIÓN AL CABO DE 7 DÍAS	DIN 4108	%	0.5 - 1.5	0.5 - 1.5	0.5 - 1.5
AL CABO DE 28 DÍAS	DIN 418	%	1.0-3.0	1.0-3.0	1.0-3.0
PERMEABILIDAD AL VAPOR DE AGUA	DIN 52615	g/m ² d	40	35	20
ÍNDICE DE RESISTENCIA A LA DIFUSIÓN DEL VAPOR DE AGUA	DIN 4108	1	20 / 50	30 / 70	40 / 100

1.163 W/m°C = 1 Kcal/hm°C
0.1 N/mm² = 1 Kg/cm²

Fuente: Industrias Isotex, año 2014

Anexo D. Ficha técnica de producto Agremix® de la empresa Holcim (Costa Rica) S.A. proveniente de Guápiles, utilizado para comparación de agregados.

Planta Guápiles



Agremix
Guápiles - Código 10015194

Descripción
Es una mezcla controlada de arena manufacturada y piedra triturada tamaño máximo 16 mm, producida en planta Guápiles, que se obtiene a partir de un proceso de extracción, trituración y cribado, de material de río. Adicionalmente, y previo a la preparación de la mezcla, el agregado grueso es sometido a un proceso de lavado, para asegurar la remoción de materia orgánica.

Litología
Basaltos, andesitas.

Aplicaciones
Recomendada para concretos estructurales, expuestos, lanzados y bombeables, elementos prefabricados y aplicaciones en general, en donde la densidad de acero o dimensión del molde o estructura, requiere un concreto de fácil colocación.

Análisis granulométrico
según INTE 06-02-09-07 (ASTM C 136)

Malla, mm	Límite	
	Inferior	Superior
19 (3/4")	100	100
12.7 (1/2")	89	100
9.5 (3/8")	69	91
4.75 (#4)	49	67
2.36 (#8)	34	50
1.18 (#16)	25	36
0.6 (#30)	17	27
0.3 (#50)	10	21
0.075 (#200)	3.0	12.0

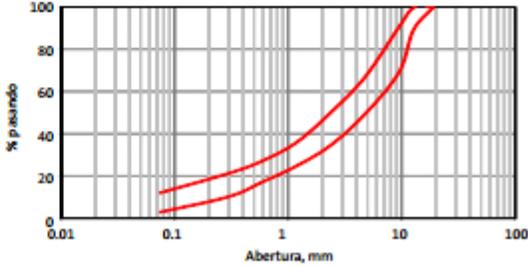


Ventajas
Por su graduación controlada, facilita la dosificación y preparación de concreto, asegurando una mezcla homogénea, libre de contracciones, y mayor desempeño de resistencias.

Propiedades físicas

Propiedad	Según ensayo INTE (ASTM)	Requisito
Humedad evaporable	06-02-36-10 (566)	< 10%
Pérdida por lavado # 200	06-02-12-08 (117)	< 10%
Módulo de finura	06-02-09-07 (136)	3.30-4.40
Peso específico	06-02-34-10 (128)	> 2.50
Absorción	06-02-34-10 (128)	< 4.0%
Peso unitario	06-02-21-08 (29)	> 1475 kg/m ³

Distribución granulométrica, límites inferior y superior



Holcim (Costa Rica) S.A.
Teléfono (506) 2205-2800 • www.holcim.cr

6

Fuente: Ficha técnica "Productos Planta Guápiles" de la empresa Holcim (Costa Rica) S.A. año 2014

Cemento

Anexo E. Ficha técnica del cemento MP-AR de la empresa Holcim (Costa Rica) S.A.



El mejor cemento para un país en construcción.

Cemento tipo MP-RTCR/AR 383:2004 Construcción Especial Mayor resistencia temprana y durabilidad		
Normas:	Producido en:	Presentación:
RTCR 383:2004 (Reglamento Técnico de Costa Rica)	Holcim, Aguacaliente de Cartago	Bolsas 25 kg Bolsas 50 kg Granel



Planta de cemento de Cartago con un Sistema de Gestión certificado según normas:
ISO 9001:2008 Gestión de Calidad
ISO 14001:2004 Gestión Ambiental

DEFINICIÓN:

El *Cemento Holcim Tipo MP-AR* cumple con el Reglamento Técnico de Costa Rica (La Gaceta # 49 del 10 de marzo del 2005) vigente a la fecha, como cemento tipo MP-RTCR/AR 383:2004 (denominado en adelante como MP-AR).

El *Cemento Holcim Tipo MP-AR* es obtenido por la molienda conjunta y uniforme de *Clinker tipo Portland* y *Puzolana*, esta última en proporciones que van del 8% al 12% en peso del cemento.

El *Cemento Holcim Tipo MP-AR* es el recomendado para preparar concretos y morteros de uso general, que demanden alta resistencia inicial. Su contenido controlado de C_3A no mayor al 8% provee un moderado calor de hidratación lo cual favorece la disminución de agrietamiento superficial por contracción plástica, cuando se controlan adecuadamente los parámetros de curado.

La inclusión de la *Puzolana Holcim* en el *Cemento Holcim Tipo MP-AR*, genera concretos más densos y de mayor durabilidad, cuyas características los hacen resistentes a la acción de medios agresivos, presencia de sulfatos, cloruros y agua de mar.

La *Puzolana Holcim* utilizada en el *Cemento Holcim Tipo MP-AR* es natural; clasificación *N* según norma ASTM C 618. La *Puzolana Holcim*, es

de origen volcánico, con un alto contenido de sílice (ver tabla 4) ideal para producir la reacción puzolánica donde el sílice reacciona con la cal: $Ca(OH)_2$ producto de la hidratación del cemento; generando más silicatos responsables del desarrollo sostenido de resistencias.

La *Puzolana Holcim* es importante por varias razones:

- Su reacción química consume la cal sobrante del proceso de hidratación. Esta cal es vulnerable a disolverse y reaccionar en presencia de agua y ácidos, de tal forma que reduciendo este residuo de cal se obtiene un efecto positivo en la resistencia y durabilidad del concreto.
- Los silicatos de calcio resultantes de la reacción puzolánica actúan como relleno de los poros capilares, generando concretos poco permeables, lo que acentúa su durabilidad y resistencia ante el ataque de sustancias nocivas para el concreto.

La entrega del cemento se realiza en sacos de 25kg y 50kg. Los primeros cumpliendo con parámetros ergonómicos internacionales. Asimismo la entrega del cemento se puede realizar en camiones graneleros de diferente volumen.

Para el almacenaje del cemento, se recomienda seguir los lineamientos

Actualización (enero 2013)

Página 1

Continúa en la siguiente página

dados por Holcim (Costa Rica) en la documentación correspondiente. No hay que olvidar que el cemento es un material que reacciona fácilmente con agua y para su conservación debe mantenerse seco en todo momento.

ESPECIFICACIONES TECNICAS:

Tabla 1: Requerimientos físicos del cemento Holcim tipo MP

		Cemento Holcim tipo tipo MP-AR	RTCR 383:2004 MP
Superficie específica, ASTM C204 (mín. cm ² /g)		3300	-
Finura en malla 0.045 mm (No. 325), ASTM C 430	Pasante (mín. %)	97,5	-
	Retenido (máx. %)	3,5	-
Cambio en longitud – autoclave, ASTM C 151	Expansión (máx. %)	0,20	0.80
	Contracción (máx. %)	0,20*	-
Fragua Vicat ASTM C-191	Inicial (mín. minutos)	100	45
	Final (máx. minutos)	260	420
Contenido de aire en el volumen del mortero, ASTM C-185, (máx. %)		10	12
Resistencia a la compresión, ASTM C109 (mín. MPa)	1 día	12	10
	3 días	20	17
	7 días	25	-
	28 días	35	-
Calor de hidratación, ASTM C 186 (máx kJ/kg)	7 días	290	-
	28 días	330	-
Expansión del mortero, ASTM C227, (máx. %), 14 días		0,02	0,02
Componentes principales del cemento Holcim tipo MP (% en masa)			
Componentes (% masa)		Cemento Holcim Tipo MP-AR	RTCR 383:2004 MP
Clinker		77 – 89	50 – 90**
Yeso		3 – 6	-
Minerales Puzolánicos		8 – 12	6 – 50
Otros		0 – 5	0 – 5

Fuente: Reporte del laboratorio de Holcim.

* Valor de referencia.

** Contenido de Clinker y yeso.

Tabla 2: Análisis químicos del cemento Holcim tipo MP

	Cemento Holcim Tipo MP-AR	RTCR 383:2004 MP
Oxido de magnesio (MgO), máximo, %	6,00	6,00
Trióxido de Azufre (SO ₃), máximo, %	2,95*	4,00
Pérdida a la ignición, máximo, %	5,00**	-
Aluminato Tricálcico (C ₃ A), máximo, %	8,00***	-

* El valor del SO₃ indicado, cumple con la norma europea EN197 para los cementos resistentes a los sulfatos, la cual regula un máximo de un 3,50% para cementos adicionados con puzolanas naturales.

** El valor de pérdida a la ignición es un valor de referencia para asegurar que se cumple el requisito de la edición de otros componentes minerales al cemento tipo MP-AR de acuerdo al RTCR 383:2004.

*** El valor del C₃A es un valor de referencia para asegurar cumplimiento con norma europea EN197 para los cementos resistentes a los sulfatos, la cual regula un máximo de un 9,00% para cementos adicionados con puzolanas naturales.

Tabla 3: Requerimientos químicos para cementos hidráulicos

Prueba requerida (contenido de)	Cemento Holcim Tipo MP-AR	RTCR 383:2004 MP
	Valor máximo mg/kg	Valor máximo mg/kg
Ag	20,0	20,0
As	30,0	30,0
B	3,0	3,0
Ba	400	400
Be	3,0	3,0
Cd	3,0	3,0
Co	—	—
Cr	50,0	50,0
Cu	—	—
Hg	0,01	0,01
Mo	—	—
Ni	70	70
Pb	20,0	20,0
Sb	5,0	5,0
Se	3,0	3,0
Sn	—	—
Tl	7,0	7,0
V	—	—
Z	—	—

Tabla 4: Requisitos de los componentes minerales (Puzolana)

Característica	Puzolana Holcim tipo N	Requisitos según ASTM C 818
Contenido de minerales reactivos ($SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$) (mínimo) %	70,0	70,0
Tróxido de azufre (SO_3) (máximo) %	4,0	4,0
Contenido de humedad (máximo) %	3,0	3,0
Pérdida a la ignición (máximo) %	10,0	10,0
Finura, retenido en 45 μm (malla N°325), % max.	34	34
Índice de actividad con cemento tipo I-28 a a 7 o 28 días (mínimo) %	75	75
Requerimiento de agua (% de control, max)	115	115
Expansión/Contracción al autoclave (max. %)	0,8	0,8
Densidad (max. Variación del porcentaje)	5	5
Retenido en 45 μm (max. Variación puntos porcentuales del promedio)	5	5

PREPARACIÓN DEL CONCRETO:
El Cemento Holcim Tipo MP-AR es un cemento con adición de puzolana, que desarrolla altas resistencias iniciales.

El Cemento Holcim Tipo MP-AR, se debe dosificar como todos los cementos, de acuerdo con un diseño de mezcla del concreto en el cual se considere la calidad de los agregados, generando concretos con mayor desarrollo de resis-

Continúa en la siguiente página

tencias a largo plazo. El rendimiento en el concreto será acorde al diseño de mezcla del mismo.
 El Cemento *Holcim Tipo MP-AR* es un cemento para uso en concretos especiales y de alta resistencia inicial. La incorporación de Puzolana *Holcim* genera resistencias a la agresión química, aguas y suelos ácidos y condiciones marinas (presencia de aguas saladas y con sulfatos).

APLICACIONES:

Tabla 5: Principales aplicaciones recomendadas

Tipo de cemento	Aplicaciones en concretos y mortero según RTCR 383:2004
MP-AR	Concretos de alta resistencia inicial con moderada resistencia a los sulfatos y moderado calor de hidratación.

RECOMENDACIONES:

- Mantener un curado uniforme y sostenido.
- Realizar el diseño de mezcla del concreto o del mortero que corresponda.
- Mantener buenas técnicas de aplicación y procesos constructivos adecuados.
- Mantener condiciones de almacenamiento adecuadas para el cemento, según lo indicado en los documentos de la PCA, ACI internacional cap.2, y ACI 304 sección 2.3

CORRESPONDENCIA CON NORMATIVA INTERNACIONAL:

Holcim (Costa Rica) ofrece a sus clientes una amplia variedad de cementos hidráulicos preparados para diferentes aplicaciones en

mezclas de concreto, de acuerdo a los requisitos de sus clientes. Dichos cementos están diseñados para cumplir con los requisitos de la legislación de Costa Rica, el Reglamento Técnico Nacional RTCR 383:2004.

En la tabla 6 se identifican dichos cementos, y su correspondencia tanto con el RTCR 383:2004 así como a otras normas internacionales: de los Estados Unidos de Norteamérica, y de Europa.

Tabla 6: Matriz de referencia del cemento tipo MP-AR producido por *Holcim* (Costa Rica) y las principales normas de referencia.

Norma	Tipo	Cemento <i>Holcim</i> Tipo MP-AR
ASTM C595	IS	
	IP(MS) *	X
ASTM C1157	GU	
	HE	
	MS **	X
	HS	
	MH	
EN197	LH	
	CEM III/A-P ***	X
	CEM III/A-M ***	X
	CEM IV/A ***	X
RTCR 383	MP	X
	UG	
	MS	
	TIPO I	
	TIPO I-AR	
	MP-AR	X

(*) Cementos similares de acuerdo a composición química, física, adición mineral incluida en su formulación, y desempeño.
 (**) Cementos similares de acuerdo a su desempeño, y pruebas físicas.
 (***) Cementos similares de acuerdo a composición química y adición mineral incluida en su formulación (parámetros físicos y mecánicos de durabilidad no evaluados de según normativa europea).



Producto Certificado por INTECO para el uso de la marca de Conformidad de Producto INTECO, en cumplimiento del Reglamento Nacional de Costa Rica RTCR 383:2004

Fuente: Ficha técnica de cemento MP-AR, Holcim (Costa Rica) S.A. año 2014

Aditivo Incluser de Aire

Anexo F. Ficha técnica del aditivo SikaLightcrete de la SIKA

Hoja Técnica
Edición 21102011
Identificación No. 96635, 96636
SikaLightcrete®

SikaLightcrete®

Agente espumante líquido para rellenos fluidos.

Construcción

Descripción	Aditivo líquido que actúa como agente espumante para elaborar concreto ligero y relleno fluido con densidad entre 1,2 y 1,8 ton/m ³ según la dosificación utilizada y tipo de agregados empleados.
Usos	Para usos en rellenos <ul style="list-style-type: none">■ Para morteros de nivelación o afinado de pisos de bajo peso, previos a la colocación del acabado final.■ Relleno de zanjas y excavaciones sin requerir equipo de compactación o rellenos fluidos de densidad y resistencia controlada.■ Relleno de tuberías y tanques de almacenamiento enterrados en desuso.■ Como capas de soporte de bajo tráfico y áreas deportivas sobre suelos con baja capacidad portante.
Ventajas	Concreto o mortero con fines estructurales <ul style="list-style-type: none">■ Elaboración de elementos prefabricados de bajo peso.■ Estructuras de bajo peso coladas in situ con el fin de llevar a cabo ampliaciones a edificaciones.■ Revestimiento de estructuras de acero.■ Muy fácil dosificación dada su condición líquida y porque no requiere equipo adicional para generación de espuma.■ Baja densidad, en función de la dosificación usada.■ Gran estabilidad de la espuma.■ Inclusión de aire de hasta un 40% del volumen del concreto.■ Facilidad de colocación y transporte en obra dado su bajo peso.■ Menor presión sobre los moldes.■ Como consecuencia del alto porcentaje de aire incluido permite ofrecer un importante aislamiento térmico y acústico.■ Resistencia a la compresión en función de su densidad, la cual puede ser incrementada con el uso de aditivos súper-plastificantes tipo SikaMent®.
Modo de Empleo	Agregue SikaLightcrete® junto con el agua de mezcla durante la preparación del concreto o mortero. Agite vigorosamente en el camión mezclador o planta durante 10 minutos asegurándose de obtener una mezcla homogénea. Antes de ser descargado y colado el concreto, debe verificarse el cumplimiento de la densidad esperada.
Dosificación	Del 0,2% a 0,7% del peso del cemento (2 a 7 ml/kg de cemento) en el concreto o mortero, según la densidad requerida. Dosis de hasta 5,0 litros por m ³ pueden ser empleadas para casos muy especiales donde se requieran densidades muy bajas.
Datos Técnicos	Tipo: aditivo líquido. Densidad: 1,01 kg/l aprox. Color: ámbar translúcido.



Continúa en la siguiente página

Precauciones	<p>La dosis óptima se debe determinar mediante ensayos con los materiales y las condiciones de la obra.</p> <p>La elaboración de concreto o mortero aligerado exige el cumplimiento de ciertas indicaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Exhaustivo control sobre la cantidad de aire incorporado en concretos con fines estructurales. ■ Pueden utilizarse aditivos súper-plastificantes tipo Sikkament® con el propósito de reducir agua e incrementar resistencias. ■ El contenido de aire incorporado depende de la temperatura ambiente y de los agregados, velocidad y tiempo de mezclado, finura de los agregados (partículas inferiores a 0,125 mm), finura y cantidad del cemento y presencia de agregados livianos.
Medidas de Seguridad	<p>En caso de contacto con la piel, lave la zona afectada inmediatamente con abundante agua y jabón. En caso de contacto con los ojos, lave enseguida con agua abundante durante 15 minutos y acuda al médico. En caso de ingestión no provoque el vómito y solicite atención médica. Para mayor información y en caso de derrames consulte la hoja de seguridad.</p>
Almacenamiento	<p>Doce(12) meses en su envase original bien cerrado, bajo techo, en un lugar fresco y seco.</p>
Advertencias	<p>Toda la información contenida en este documento y en cualquiera otra asesoría proporcionada, fueron dadas de buena fe, basadas en el conocimiento actual y la experiencia de Sika Mexicana de los productos siempre y cuando hayan sido correctamente almacenados, manejados y aplicados en situaciones normales y de acuerdo a las recomendaciones de Sika Mexicana. La información es válida únicamente para la(s) aplicación(es) y el(l)os) producto(s) a los que se hace expresamente referencia. En caso de cambios en los parámetros de la aplicación, como por ejemplo cambios en los sustratos, o en caso de una aplicación diferente, consulte con el Servicio Técnico de Sika Mexicana previamente a la utilización de los productos Sika. La información aquí contenida no exonera al usuario de hacer pruebas sobre los productos para la aplicación y la finalidad deseada. En todo caso referirse siempre a la última versión vigente de la Hoja Técnica del Producto. Los pedidos son aceptados en conformidad con los términos de nuestras condiciones generales vigentes de venta y suministro.</p>

Para dudas o aclaraciones:

Sika responde
01 800 123 SIK
7 4 5 2
 soporte tecnico@mx.sika.com
 sika.responde@mx.sika.com
www.sika.com.mx



Anexo G. Hoja de seguridad del aditivo SikaLightcrete de la empresa SIKA®.



HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD DE MATERIALES

Sikalightcrete

Fecha de elaboración:	Fecha de última actualización:
4 de Marzo de 2011	02 de Agosto de 2011

1. Identificación del Producto

Nombre del producto : Sikalightcrete
 Fabricante / Distribuidor : Sika Mexicana S.A. de C.V.
 Carretera libre a Celaya km 8.5
 Fraccionamiento Industrial Balvanera
 Querétaro, México; C.P.76920
 No. de teléfono : (442) 238 58 00
 No. de fax : (442) 225 05 37
 En caso de emergencia
 No. de teléfono : 01 800 123 7452

2. Datos de la Sustancia Química

Nombre químico: NA Nombre comercial: Sikalightcrete Familia química: ND

3. Identificación de la Sustancia Química

Identificación		No. CAS		No. ONU		LMPE-PPT:		NA		IPVS (IDLH) (ppm)		
		NA		NA		LMPE-CT:		NA				
		NA		NA		LMPE-P:		NA		NA		
Componentes riesgosos												
Nombre químico:	%	No. CAS	No. ONU	LMPE-PPT: LMPE-CT: LMPE-P:	Grado de Riesgo							
					NFPA				HMIS			
					3	I	R	E	3	I	R	EPP
Cocoamidas	1-2.5	68603-42-9	ND	ND	-	-	-	-	-	-	-	-
Acido sulfónico	2.5-10	68439-57-6	ND	ND	-	-	-	-	-	-	-	-
2-octil-2H- isotiazol- 3ona	0.001- 0.1	26530-20-1	ND	ND	-	-	-	-	-	-	-	-

4. Propiedades Físicas y Químicas

Punto de inflamabilidad: > 101 °C Punto de ebullición: 100 °C
 Punto de fusión: Punto de autoignición:
 Densidad: 1.015 g/cm³ pH: 9.5-10.5
 Peso molecular: Estado físico: Líquido
 Color: Amarillo Olor: Similar a jabón
 Velocidad de evaporación: Solubilidad: Soluble
 Presión de vapor a 20 °C: > 1 hPa Contenido COV's:
 Límites de inflamabilidad o explosión
 (superior e inferior)

02/08/2011

MSDS

1

Continúa en la siguiente página



HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD DE MATERIALES

Sikalightcrete

5. Riesgos de Fuego o Explosión

Inflamabilidad del producto

Inflamable No inflamable No específico riesgo Fuego o explosión

Medios de extinción

Agua Espuma CO₂ Polvo Químico Otros

Describe:

Niebla de agua

- Equipo de protección personal específico para combate de incendios : Usar equipo respiratorio autónomo.
- Procedimiento durante el combate de incendios : Refrigerar con agua pulverizada los recipientes en peligro. Eligir los medios de extinción según el incendio rodeante. Los restos del incendio así como el agua de extinción contaminada, deben eliminarse según las normas locales en vigor.
- Condiciones que conducen a otro riesgo especial : Chorro de agua, evite aplicar chorro de agua directo.
- Productos de la combustión nocivos a la salud : En caso de incendio puede(n) desprenderse:
 Monóxido de carbono (CO)
 Dióxido de carbono (CO₂)
 Óxidos de nitrógeno (NOx)
 Trióxido de azufre (SO₃)

6. Estabilidad y Reactividad

Estable Inestable

- Incompatibilidad con otras sustancias : Incompatibilidad con:
Oxidantes
- Condiciones a evitar : No se conocen
- Productos peligrosos de la descomposición : Descomposición térmica a: > 100°C
 Productos de descomposición determinantes del peligro:
 Óxidos de azufre (SOx)
 Óxidos de nitrógeno (NOx)
 Monóxido de carbono y dióxido de carbono
- Peligros de la polimerización :

02/08/2011

MSDS

2

Continúa en la siguiente página



HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD DE MATERIALES

Sikalightcrete

7a. Riesgos a la Salud y Medidas de Primeros Auxilios

Efectos potenciales a la salud

- Ingestión** : Una pequeña cantidad puede causar perturbaciones considerables en la salud.
- Inhalación** : Puede causar irritación
- Contacto con ojos** : Irritación
- Contacto con piel** : Puede causar irritación

Sustancia considerada como

- Carcinogénica** **Mutagénica** **Teratogénica** **No Disponible / No Aplica**

7b. Riesgos a la Salud y Medidas de Primeros Auxilios

Primeros auxilios

- Ingestión** : No provocar el vómito.
Requerir inmediatamente ayuda médica.
- Inhalación** : Procurar aire fresco.
Si se sienten molestias, acudir al médico.
- Contacto con ojos** : Lavar los ojos afectados inmediatamente con agua abundante durante 15 minutos.
Tratamiento médico necesario.
- Contacto con piel** : Lavar la zona afectada inmediatamente con agua y jabón.
Quitar inmediatamente la ropa empapada o manchada, no dejar secar.
Si persisten los síntomas de irritación, acudir al médico.
- Nota para el médico** : ND

8. Medidas en Caso de Derrame

Procedimiento en caso de derrame o fuga

- Prevención ambiental** : En caso de penetración en cursos de agua, el suelo o los desagües, avisar a las autoridades competentes.
- Método de mitigación** : Recoger con material absorbente
Tratar el material recogido según se indica en el apartado "consideraciones sobre la disposición".
Eliminar los residuos con agua.
- Prevención personal** : Procurar ventilación suficiente.
Llevar ropa de protección personal.

02/08/2011

MSDS

3

Continúa en la siguiente página



9. Manejo y Almacenamiento

- Manejo** : Indicaciones para manipulación sin peligro ver sección 10
Situación de Emergencia / Equipo de protección
Indicaciones para la protección contra incendio y explosión
NA
- Almacenamiento** : Exigencias técnicas para almacenes y recipientes:
El recipiente debe estar herméticamente
Indicaciones para el almacenamiento conjunto:
Mantener alejado de alimentos, bebidas y comida para
animales.
Información adicional relativa al almacenamiento:
Proteger de las heladas.
Proteger de temperaturas elevadas y de los rayos solares
directos.

10. Situación de Emergencia / Equipo de Protección

Equipo de protección personal

Medidas generales de protección e higiene
No respirar los vapores.
Prever una ventilación suficiente o escape de gases en el área de trabajo
No fumar, ni comer o beber durante el trabajo.
Quitarse inmediatamente la ropa manchada o empapada.
Lavarse las manos antes de los descansos y después del trabajo.
Protección preventiva de la piel con pomada protectora.

- Respiratorio** : NA
Manos : Guantes de plástico
Ojos : Gafas protectoras herméticamente cerradas
Piel / Cuerpo : Ropa de trabajo

11. Información Toxicológica

- Toxicidad aguda**
Conclusión / Resumen : ND

12. Información Ecológica

Efectos ambientales

- Agua** : El producto es un débil contaminante del agua.
Debido al alto pH puede poner en peligro los organismos
acuáticos
No permitir el paso al alcantarillado, cursos de agua o
terrenos.
- Aire** : ND
Suelo : ND
Residuos peligrosos : Ver apartado 13, Consideraciones sobre la disposición



13. Consideraciones sobre la Disposición

Disposición de residuos

Recomendaciones

Envases/embalajes totalmente vacíos pueden destinarse a reciclaje.

Envases/embalajes que no pueden ser limpiados deben ser eliminados de la misma forma que la sustancia contenida.

La disposición será de acuerdo a la normatividad Municipal, Estatal y Federal.

Consulte la sección 8: Manejo y Almacenamiento y la sección 10: Situaciones de Emergencia / Equipo de Protección, para información adicional sobre el manejo y el equipo de protección personal.

14. Información para el Transporte

ADR/RID

Información complementaria Mercancía no peligrosa

IMO/IMDG

Información complementaria Mercancía no peligrosa

IATA/ICAO

Información complementaria Mercancía no peligrosa

15. Información Reglamentaria

De acuerdo a la normatividad Municipal, Estatal y Federal aplicable al momento.

16. Información Adicional

ROMBO DE SEGURIDAD Nivel de Riesgo (Sistema NFPA)	RECTANGULO DE SEGURIDAD Manejo del Material (Sistema HMIS)								
	<table border="1"><tr><td>Salud</td><td>1</td></tr><tr><td>Inflamabilidad</td><td>1</td></tr><tr><td>Reactividad</td><td>0</td></tr><tr><td>Equipo de Protección Personal</td><td>C</td></tr></table>	Salud	1	Inflamabilidad	1	Reactividad	0	Equipo de Protección Personal	C
Salud	1								
Inflamabilidad	1								
Reactividad	0								
Equipo de Protección Personal	C								



HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD DE MATERIALES

Sikalightcrete

16. Información Adicional

ABREVIATURAS:
 NA: No Aplica **ND:** No Disponible
 LMPE-PPT: Límite Máximo Permisible de exposición Promedio Ponderado en Tiempo
 LMPE-CT: Límite Máximo Permisible de exposición, Corto Tiempo
 LMPE-P: Límite Máximo Permisible de exposición, Pico
 IPVS: Inmediatamente Peligroso para la Vida y la Salud, siglas en Inglés IDLH
 No. CAS: Número de registro Químico **No. ONU:** Organización de las Naciones Unidas
 NFPA: Asociación nacional de Protección contra el Fuego (NFPA, por sus siglas en Inglés) **HMS:** Sistema de Información de Materiales Peligrosos (HMS, por sus siglas en Inglés)
 S: Salud **I:** Infamabilidad **R:** Reactividad **E:** Especial **EPP:** equipo de Protección Personal
 ADR: Acuerdo europeo concerniente a la carga de materiales peligrosos por carretera
 RID: Acuerdo europeo concerniente a la carga de materiales peligrosos por ferrocarril
 IMO: Organización Internacional marítima
 IATA: Organización Internacional de transporte aéreo
 ICAO: Organización Internacional de aviación civil

ROMBO DE SEGURIDAD				RECTANGULO DE SEGURIDAD			
4	Severo	Azul:	Salud	4	Severo	Azul:	Salud
3	Serio	Rojo:	Infamabilidad	3	Serio	Rojo:	Infamabilidad
2	Moderado	Amarillo:	Reactividad	2	Moderado	Amarillo:	Reactividad
1	Ligero	Bianco:	Especial	1	Ligero	Bianco:	Equipo de Protección Personal
0	Mínimo			0	Mínimo		
3	Serio	Rojo:	Infamabilidad	3	Serio	Rojo:	Infamabilidad

Equipo de Protección Personal

A	Anteojos de seguridad	G	Anteojos de seguridad, guantes y respirador para vapores
B	Anteojos de seguridad y guantes	H	Goggles para salpicaduras, guantes, mandil y respirador para vapores
C	Anteojos de seguridad, guantes y mandil	I	Anteojos de seguridad, guantes y respirador para polvos y vapores
D	Careta, guantes y mandil	J	Goggles para salpicaduras, guantes, mandil y respirador para polvos y vapores
E	Anteojos de seguridad, guantes y respirador para polvos	K	Capucha con línea de aire o equipo SCBA, guantes, traje completo de protección y botas
F	Anteojos de seguridad, guantes, mandil y respirador para polvos	X	Consulte con el supervisor las indicaciones especiales para el manejo de estas sustancias

AVISO AL LECTOR:
 La información contenida en esta Hoja de datos de Seguridad aplica solo a los productos de Sika, identificados y descritos en este documento. Esta información no tiene como objetivo, abordar el uso o la aplicación de los productos de Sika identificados en estas hojas, en combinación con cualquier otro material, producto o proceso. Toda la información establecida en este documento se basa en datos técnicos del producto identificado y que Sika cree ser confiables a la fecha del presente. Antes de cada uso de cualquier producto Sika, el usuario siempre debe leer y seguir las advertencias e instrucciones de la Hoja de Datos Técnicos, la etiqueta y la Hoja de Datos de Seguridad de cada producto Sika que están disponibles en el sitio web y / o número de teléfono que aparece en la sección 1 de esta MSDS.
 SIKA NO APLICA NINGUNA GARANTÍA EXPRESA O IMPLÍCITA Y NO ASUME NINGUNA RESPONSABILIDAD DERIVADA DE ESTA INFORMACIÓN O SU USO.
 SIKA NO SE HACE RESPONSABLE POR EL USO DE ESTE PRODUCTO DE MANERA QUE PUEDA INFRINGIR CUALQUIER PATENTE O CUALQUIER DERECHO DE PROPIEDAD INTELECTUAL QUE TIENEN LOS DEMÁS.

02/08/2011

MSDS

6

Fuente: Empresa Sika®, año 2011

Aditivo Fluidificante

Anexo H. Ficha técnica del aditivo Sikament HE 200 de la empresa SIKA.

Construcción

Hoja Técnica
Edición 2110201101
Identificación No. 114925, 96562
Sikament®-HE 200

Sikament®-HE 200

Aditivo súperfluidificante-reductor de agua de alto rango y acelerante de resistencias, sin cloruros.

Descripción	Aditivo líquido reductor de agua de alto rango, súper-fluidificante y acelerante de resistencias para concreto. Promueve la rápida obtención de resistencia del concreto a edades tempranas, sin afectar la resistencia final. No contiene cloruros. Cumple con la norma ASTM C 484 Tipo F.
Usos	<ul style="list-style-type: none">■ Para la elaboración y transporte de concreto con temperaturas entre 5° C y 20° C.■ Cuando se exige una alta resistencia inicial entre 8 y 24 horas sin el uso de cloruros.■ Para realizar rápidamente acabados finos de la superficie del concreto aún a muy bajas temperaturas. Por lo que se recomienda para la elaboración de pavimentos y losas de concreto en épocas de intenso frío o cuando se requiera una rápida puesta en uso de las estructuras.■ Cuando se desee reducir costos en insumos, tiempos de descimbrado, transmisión de esfuerzos y curado al vapor en plantas de prefabricados.■ Ya que no contiene cloruros puede usarse en todo tipo de estructuras reforzadas, así como en estructuras pretensadas o postensadas.■ Para la fabricación del concreto en estructuras elaboradas mediante sistemas industrializados de construcción.
Ventajas	<ul style="list-style-type: none">■ Produce una mejor dispersión del cemento en la mezcla, lográndose una excelente consistencia plástica sin pérdida de cohesión.■ Reduce el agua de mezcla hasta un 20%, dependiendo de la dosificación utilizada.■ Incrementa la resistencia inicial del concreto en más de un 50% y la resistencia final hasta en un 40%, dependiendo del grado de reducción de agua alcanzado, comparado con un concreto de iguales características, composición y revenimiento sin aditivo.■ Cuando se requiera aún una mayor resistencia inicial se puede lograr con la adición de SikaRapid® 1 a la mezcla.■ No afecta el tiempo de manejabilidad de la mezcla de concreto ni los tiempos de fraguado.■ No contiene cloruros.
Modo de Empleo	<p>Como reductor de agua de alto rango Agregue Sikament®-HE 200 en el último 10% del agua de mezcla durante la preparación del concreto.</p> <p>Se puede usar para plastificar agregando Sikament®-HE 200 al concreto ya mezclado, en este caso debe ampliarse el tiempo de mezclado medio minuto más por cada metro cúbico de concreto.</p>

Sika®

1 Sikament®-HE 200 1/2

Continúa en la siguiente página

Dosificación	<p>Como reductor de agua de alto rango (ASTM C 484 Tipo F). De 1.2% a 3.0% del peso del cemento (9.5 a 24.0 ml/kg de cemento).</p> <p>Para plastificar de 0.6% a 1.0% del peso del cemento (5.0 a 8.0 ml/kg de cemento).</p>
Datos Técnicos	<p>Tipo: aditivo líquido. Color: verde transparente. Densidad: 1,25 kg/l aprox.</p>
Precauciones	<p>La dosis óptima se debe determinar mediante ensayos con los materiales y las condiciones de la obra.</p> <p>La elaboración de concreto fluido exige una buena distribución granulométrica. Se debe garantizar un adecuado contenido de finos para evitar la segregación del material fluido. En caso de deficiencia de finos, dosificar Sika-Aer para incorporar del 4% al 5 % de aire a la mezcla. El uso de concreto fluido demanda un especial cuidado en el sellado de las cimbras para evitar la pérdida de la pasta.</p>
Medidas de Seguridad	<p>En caso de contacto con la piel, lave la zona afectada inmediatamente con abundante agua y jabón. En caso de contacto con los ojos, lave enseguida con agua abundante durante 15 minutos y acuda al médico. En caso de ingestión no provoque el vómito y solicite atención médica. Para mayor información y en caso de derrames consulte la hoja de seguridad.</p>
Almacenamiento	<p>Doce(12) meses en envase original bien cerrado, bajo techo, en un lugar fresco y seco.</p>
Advertencia	<p>Toda la información contenida en este documento y en cualquiera otra asesoría proporcionada, fueron dadas de buena fe, basadas en el conocimiento actual y la experiencia de Sika Mexicana de los productos siempre y cuando hayan sido correctamente almacenados, manejados y aplicados en situaciones normales y de acuerdo a las recomendaciones de Sika Mexicana. La información es válida únicamente para la(s) aplicación(es) y al(los) producto(s) a los que se hace expresamente referencia. En caso de cambios en los parámetros de la aplicación, como por ejemplo cambios en los sustratos, o en caso de una aplicación diferente, consulte con el Servicio Técnico de Sika Mexicana previamente a la utilización de los productos Sika. La información aquí contenida no exonera al usuario de hacer pruebas sobre los productos para la aplicación y la finalidad deseada. En todo caso referirse siempre a la última versión vigente de la Hoja Técnica del Producto. Los pedidos son aceptados en conformidad con los términos de nuestras condiciones generales vigentes de venta y suministro.</p>

Para dudas o aclaraciones:

Sika responde
01 800 123 SIK
7 4 5 2
 soporte.tecnico@mx.sika.com
 sika.responde@mx.sika.com
www.sika.com.mx



Fuente: Empresa Sika®, año 2011

Anexo i. Hoja de seguridad del aditivo Sikament HE 200 de la empresa SIKA.



HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD DE MATERIALES

Sikament HE 200

Fecha de elaboración:	Fecha de última actualización:
17 Febrero de 2011	29 de Julio de 2011

1. Identificación del Producto

Nombre del producto : Sikament HE 200
 Fabricante / Distribuidor : Sika Mexicana S.A. de C.V.
 Carretera libre a Celaya km 8.5
 Fraccionamiento Industrial Balvanera
 Querétaro, México; C.P.76920
 No. de teléfono : (442) 238 58 00
 No. de fax : (442) 225 05 37
 En caso de emergencia
 No. de teléfono : 01 800 123 7452

2. Datos de la Sustancia Química

Nombre químico: NA Nombre comercial: Sikament HE 200 Familia química: NA

3. Identificación de la Sustancia Química

Identificación												
No. CAS	No. ONU	LMPE-PPT:	NA	IPVS (IDLH) (ppm)								
NA	NA	LMPE-CT:	NA									
NA	NA	LMPE-P:	NA	NA								
Componentes riesgosos												
Nombre químico:	%	No. CAS	No. ONU	LMPE-PPT: LMPE-CT: LMPE-P:	Grado de Riesgo							
					NFPA				HMIS			EPP
Tiocianatos	1-2.5	ND	ND		S	I	R	E	S	I	R	
2,2 metilmino dietanol	1-2.5	105-59-9	ND		-	-	-	-	-	-	-	-

4. Propiedades Físicas y Químicas

Punto de inflamabilidad: Punto de ebullición: > 100 °C
 Punto de fusión Punto de autoignición:
 Densidad: 1.2 g/cm³ pH: 8-10
 Peso molecular: Estado físico: Líquido
 Color: Café oscuro Olor: Punzante
 Viscosidad a 20 °C: 15 mPas Solubilidad: 100 %
 Presión de vapor a 20 °C: > 1 hPa Contenido COV's
 Límites de inflamabilidad o explosión (superior e inferior)

29/07/2011

MSDS

1

Continúa en la siguiente página



HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD DE MATERIALES

Sikament HE 200

5. Riesgos de Fuego o Explosión

Inflamabilidad del producto

Inflamable No inflamable No específico riesgo Fuego o explosión

Medios de extinción

Agua Espuma CO₂ Polvo Químico Otros

Describe:

- Equipo de protección personal específico para combate de incendios : Usar equipo respiratorio autónomo.
- Procedimiento durante el combate de incendios : Refrigerar con agua pulverizada los recipientes en peligro. Los restos del incendio así como el agua de extinción contaminada, deben eliminarse según las normas locales en vigor.
- Condiciones que conducen a otro riesgo especial : ND
- Productos de la combustión nocivos a la salud : En caso de incendio puede(n) desprenderse: Oxidos de nitrógeno (NOx)

6. Estabilidad y Reactividad

Estable Inestable

- Incompatibilidad con otras sustancias : Ácidos
- Condiciones a evitar : ND
- Productos peligrosos de la descomposición : Utilizando el producto adecuadamente, no se descompone.
- Peligros de la polimerización :

7a. Riesgos a la Salud y Medidas de Primeros Auxilios

Efectos potenciales a la salud

- En contacto con ácidos libera gases muy tóxicos.
- Ingestión : Una pequeña cantidad puede causar perturbaciones considerables en la salud.
- Inhalación : Irritación
- Contacto con ojos : Irritación
- Contacto con piel : Puede causar irritación

Sustancia considerada como Carcinogénica Mutagénica Teratogénica No Disponible / No Aplica

29/07/2011

MSDS

2

Continúa en la siguiente página

**7b. Riesgos a la Salud y Medidas de Primeros Auxilios**

Primeros auxilios	
Ingestión	: No provocar el vómito. Requerir inmediatamente ayuda médica.
Inhalación	: Llevar el afectado al aire libre y colocarlo en posición de reposo. Procurar tratamiento médico.
Contacto con ojos	: Lavar los ojos afectados inmediatamente con agua abundante durante 15 minutos. Acudir inmediatamente al médico.
Contacto con piel	: Lavar la zona afectada inmediatamente con agua y jabón. Quitar inmediatamente la ropa empapada o manchada, no dejar secar. Si persisten los síntomas de irritación, acudir al médico.
Nota para el médico	: ND

8. Medidas en Caso de Derrame**Procedimiento en caso de derrame o fuga**

Prevención ambiental	: En caso de penetración en cursos de agua, el suelo o los desagües, avisar a las autoridades competentes.
Método de mitigación	: Recoger con materiales absorbentes adecuados.
Prevención personal	: Llevar las personas a un sitio seguro. Procurar ventilación suficiente. Llevar ropa de protección personal.

9. Manejo y Almacenamiento

Manejo	: Indicaciones para manipulación sin peligro, ver sección 10 Situación de emergencia/ Equipo de protección Indicaciones para la protección contra incendio y explosión No aplicable
Almacenamiento	: Exigencias técnicas para almacenes y recipientes Mantener los recipientes herméticamente cerrados y guardarlos en un sitio fresco y bien ventilado. Indicaciones para el almacenamiento conjunto Mantener alejado de alimentos, bebidas y comida para animales. Información adicional relativa al almacenamiento Proteger de las heladas. Proteger de temperaturas elevadas y de los rayos solares directos.

10. Situación de Emergencia / Equipo de Protección**Equipo de protección personal**

Respiratorio	: NA
Manos	: Guantes de goma
Ojos	: Gafas protectoras/careta protectora
Piel / Cuerpo	: Ropa protectora



11. Información Toxicológica

Toxicidad aguda
Conclusión / Resumen : ND

12. Información Ecológica

Efectos ambientales
Agua : El producto es un débil contaminante del agua
Debido al alto pH puede poner en peligro los organismos acuáticos
Aire : ND
Suelo : ND
Residuos peligrosos : Ver apartado 13, Consideraciones sobre la disposición

13. Consideraciones sobre la Disposición

Disposición de residuos
Envases/embalajes totalmente vacíos pueden destinarse a reciclaje.
Envases/embalajes que no pueden ser limpiados deben ser eliminados de la misma forma que la sustancia contenida.
La disposición será de acuerdo a la normatividad Municipal, Estatal y Federal.
Consulte la sección 9: Manejo y Almacenamiento y la sección 10: Situaciones de Emergencia / Equipo de Protección, para información adicional sobre el manejo y el equipo de protección personal.

14. Información para el Transporte

ADR/RID
Información complementaria: Mercancía no peligrosa
IMO/IMDG
Información complementaria: Mercancía no peligrosa
IATA/ICAO
Información complementaria: Mercancía no peligrosa

15. Información Reglamentaria

De acuerdo a la normatividad Municipal, Estatal y Federal aplicable al momento.

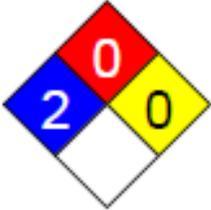
Continúa en la siguiente página



HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD DE MATERIALES

Sikament HE 200

16. Información Adicional

ROMBO DE SEGURIDAD Nivel de Riesgo (Sistema NFPA)	RECTANGULO DE SEGURIDAD Manejo del Material (Sistema HMIS)								
	<table border="1"><tbody><tr><td data-bbox="829 464 1084 516">Salud</td><td data-bbox="1084 464 1138 516">2</td></tr><tr><td data-bbox="829 516 1084 569">Inflamabilidad</td><td data-bbox="1084 516 1138 569">0</td></tr><tr><td data-bbox="829 569 1084 621">Reactividad</td><td data-bbox="1084 569 1138 621">0</td></tr><tr><td data-bbox="829 621 1084 674">Equipo de Protección Personal</td><td data-bbox="1084 621 1138 674">C</td></tr></tbody></table>	Salud	2	Inflamabilidad	0	Reactividad	0	Equipo de Protección Personal	C
Salud	2								
Inflamabilidad	0								
Reactividad	0								
Equipo de Protección Personal	C								

29/07/2011

MSDS

5

Continúa en la siguiente página



HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD DE MATERIALES

Sikament HE 200

16. Información Adicional

ABREVIATURAS:
 NA: No Aplica ND: No Disponible
 LMPE-PPT: Límite Máximo Permisible de exposición Promedio Ponderado en Tiempo
 LMPE-CT: Límite Máximo Permisible de exposición, Corto Tiempo
 LMPE-P: Límite Máximo Permisible de exposición, Pico
 IPVS: Inmediatamente Peligroso para la Vida y la Salud, siglas en Ingles IDLH
 No. CAS: Número de registro Químico No. ONU: Organización de las Naciones Unidas
 NFPA: Asociación nacional de Protección contra el Fuego (NFPA, por sus siglas en Ingles) HMIS: Sistema de Información de Materiales Peligrosos (HMIS, por sus siglas en Ingles)
 S: Salud I: Infiamabilidad R: Reactividad E: Especial EPP: equipo de Protección Personal
 ADR: Acuerdo europeo concerniente a la carga de materiales peligrosos por carretera
 RID: Acuerdo europeo concerniente a la carga de materiales peligrosos por ferrocarril
 IMO: Organización Internacional marítima
 IATA: Organización Internacional de transporte aéreo
 ICAO: Organización Internacional de aviación civil

ROMBO DE SEGURIDAD				RECTANGULO DE SEGURIDAD			
4	Severo	Azul:	Salud	4	Severo	Azul:	Salud
3	Serio	Rojos:	Infiamabilidad	3	Serio	Rojos:	Infiamabilidad
2	Moderado	Amarillo:	Reactividad	2	Moderado	Amarillo:	Reactividad
1	Ligero	Bianco:	Especial	1	Ligero	Bianco:	Equipo de Protección Personal
0	Mínimo			0	Mínimo		
3	Serio	Rojos:	Infiamabilidad	3	Serio	Rojos:	Infiamabilidad

Equipo de Protección Personal

A	Anteojos de seguridad	G	Anteojos de seguridad, guantes y respirador para vapores
B	Anteojos de seguridad y guantes	H	Goggles para salpicaduras, guantes, mandil y respirador para vapores
C	Anteojos de seguridad, guantes y mandil	I	Anteojos de seguridad, guantes y respirador para polvos y vapores
D	Careta, guantes y mandil	J	Goggles para salpicaduras, guantes, mandil y respirador para polvos y vapores
E	Anteojos de seguridad, guantes y respirador para polvos	K	Capucha con línea de aire o equipo SCBA, guantes, traje completo de protección y botas
F	Anteojos de seguridad, guantes, mandil y respirador para polvos	X	Consulte con el supervisor las indicaciones especiales para el manejo de estas sustancias

AVISO AL LECTOR:
 La información contenida en esta Hoja de datos de Seguridad aplica solo a los productos de Sika, identificados y descritos en este documento. Esta información no tiene como objetivo, abordar el uso o la aplicación de los productos de Sika identificados en estas hojas, en combinación con cualquier otro material, producto o proceso. Toda la información establecida en este documento se basa en datos técnicos del producto identificado y que Sika cree ser confiables a la fecha del presente. Antes de cada uso de cualquier producto Sika, el usuario siempre debe leer y seguir las advertencias e instrucciones de la Hoja de Datos Técnicos, la etiqueta y la Hoja de Datos de Seguridad de cada producto Sika que están disponibles en el sitio web y / o número de teléfono que aparece en la sección 1 de esta MSDS.
 SIKI NO APLICA NINGUNA GARANTÍA EXPRESA O IMPLÍCITA Y NO ASUME NINGUNA RESPONSABILIDAD DERIVADA DE ESTA INFORMACIÓN O SU USO.
 SIKI NO SE HACE RESPONSABLE POR EL USO DE ESTE PRODUCTO DE MANERA QUE PUEDA INFRINGIR CUALQUIER PATENTE O CUALQUIER DERECHO DE PROPIEDAD INTELECTUAL QUE TIENEN LOS DEMÁS.

29/07/2011

MSDS

6

Fuente: Empresa Sika®, año 2011

Bibliografía

- Kosmatka, Kerkhoff, Panarese y Tanesi. (2004) *Diseño y control de mezclas de concreto*. Estados Unidos: Portland Cement Association.
- Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos. (2010) *Código sísmico de Costa Rica*. Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Compendio de normas de la American Standard for Testing of Materials. 2012.EE.UU. ASTM:
- **ASTM C 495- 99a**: Standard Test Method for Compressive Strength of Lightweight Insulating Concrete
- Compendio de normas del Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica. 2008-2012.Costa Rica. INTECO:
- **INTE 06-01-05-2011**: Norma para el muestreo de concreto recién mezclado.
- **INTE 06-01-07-2011**: Práctica normalizada para hacer y curar especímenes de concreto para ensayo en el laboratorio.
- **INTE 06-01-10-2008**: Aditivos químicos para concreto.
- **INTE 06-02-01-2012**: Método de ensayo para la resistencia a la compresión uniaxial de especímenes cilíndricos de concreto
- **INTE 06-02-03-2011**: Método de ensayo para el revenimiento en el concreto del cemento hidráulico
- **INTE 06-02-06-2012**: Método de ensayo para la medición de temperatura del concreto recién mezclado con cemento hidráulico
- **INTE 06-02-09-2007**: Método de ensayo para el análisis granulométrico en mallas de agregado fino y grueso.
- **INTE 06-02-12-2008**: Método para determinar por lavado el material que pasa por el tamiz 75 μm en agregados minerales
- **INTE 06-02-21-2008**: Método de ensayo para determinar la densidad bruta (Peso unitario) y los vacíos en agregado.
- **INTE 06-02-33-2009**: Método de ensayo para determinar la densidad, gravedad específica (densidad relativa), y la absorción del agregado grueso.
- **INTE 06-02-34-2010**: Método de ensayo para determinar la densidad, gravedad específica (densidad relativa), y la absorción del agregado fino.
- **INTE 06-02-36-2010**: Método de ensayo para medir el contenido total de humedad evaporable en agregados mediante secado.
- **INTE 06-02-37-2010**: Método para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire del concreto por el método gravimétrico
- **INTE 06-02-04 2012**: Método de ensayo para la determinación del contenido de aire en el concreto fresco por el método de presión
- **INTE 06-02-38 2010**: Determinación del contenido de aire en concreto fresco por el método volumétrico
- **INTE 06-01-11-09**: Práctica para el uso de almohadillas no adheridas en la determinación del esfuerzo de compresión de cilindros de concreto endurecido
- GRUPO ISOTEX (2014) *EPS Poliestireno expandido*. Recuperado de: <http://www.grupoisotex.com/eps.php>