

NOMOGRAMS TO EVALUATE THE VARIABILITY OF THE SETTING TIME IN EQUIVALENT MORTARS APPLIED IN GUAYAQUIL, ECUADOR

Samantha Hidalgo-Astudillo, M.Sc.¹, Natividad Garcia-Troncoso, PhD.¹, Ana Costa-Alume, Ing.¹, Ariana Alejandro-Vera, Ing.¹, Jhon Mosquera-Coroza¹

¹ Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra (FICT), Escuela Superior Politécnica del Litoral, ESPOL, Campus Gustavo Galindo Km 30.5 Via Perimetral, Guayaquil P.O. Box 09-01-5863, Ecuador

shidalgo@espol.edu.ec, nlgarcia@espol.edu.ec, apcosta@espol.edu.ec, ariaalej@espol.edu.ec, jhmosque@espol.edu.ec

Abstract–

In Guayaquil, due to high temperatures, long travel journeys and high-performance expectations, concrete may require up to 6 admixtures. Current methods require up to 5 simulations to determine proper admixture dosage. The aim of this research work is to generate a design tool that determines the setting time according to the dosage of plasticizing and retarding admixtures.

In accordance with international, national and company procedures, calorimetric analysis was carried out on 54 scenarios including multiple dosages of cement content, admixtures and water/cement ratio. Based on the evolution of temperature, initial and final setting time was calculated. Additionally, flow and resistance were measured as moderator variables. Therefore, with this information four nomograms were generated. These nomograms present the initial setting time versus the use of plasticizer and retarder, according to the cement content and water/cement ratio.

It is concluded that the recommended percentages of additive should be adjusted according to the cement content in the mixture, meaning that high cement content mixtures a lower percentage of admixture will be required, compared to a mixture with low content, to achieve optimal results. Finally, it is observed that high plasticizer dosages prolong the setting time without affecting the final strengths. By using nomograms, the volume of concrete waste reduces up to 60%, which benefits economically and environmentally to the company.

Keywords: additives, optimization, mortar, mix design, nomograms

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).

ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).

DO NOT REMOVE

NOMOGRAMAS PARA EVALUAR LA VARIABILIDAD DEL TIEMPO DE FRAGUADO EN MORTEROS EQUIVALENTES APLICADOS EN GUAYAQUIL, ECUADOR

Samantha Hidalgo-Astudillo, M.Sc.¹, Natividad Garcia-Troncoso, Ph.D.¹, Ana Costa-Alume, Ing.¹, Ariana Alejandro-Vera, Ing.¹, Jhon Mosquera-Coroza¹

¹ Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra (FICT), Escuela Superior Politécnica del Litoral, ESPOL, Campus Gustavo Galindo Km 30.5 Vía Perimetral, Guayaquil P.O. Box 09-01-5863, Ecuador

shidalgo@espol.edu.ec, nlgarcia@espol.edu.ec, apcosta@espol.edu.ec, ariaalej@espol.edu.ec, jhmosque@espol.edu.ec

Abstract–

En Guayaquil, debido a las altas temperaturas, los viajes largos y las altas expectativas de rendimiento, el concreto puede requerir hasta 6 aditivos. Los métodos actuales requieren hasta 5 simulaciones para determinar la dosificación adecuada de los aditivos. El objetivo de este trabajo de investigación es generar una herramienta de diseño que determine el tiempo de fraguado de acuerdo con la dosificación de los aditivos plastificantes y retardantes. De acuerdo con los procedimientos internacionales, nacionales y de la empresa, se llevó a cabo un análisis calorimétrico en 54 escenarios que incluyeron diferentes dosificaciones de contenido de cemento, aditivos y relación agua/cemento. Con base en la evolución de la temperatura, se calculó el tiempo de fraguado inicial y final. Además, se midió el flujo y la resistencia como variables moderadoras. Por lo tanto, con esta información se generaron cuatro nomogramas. Estos nomogramas presentan el tiempo de fraguado inicial en función del uso de plastificante y retardante, de acuerdo al contenido de cemento y la relación agua/cemento. Se concluye que los porcentajes recomendados de aditivo deben ajustarse según el contenido de cemento en la mezcla, lo que significa que en mezclas con alto contenido de cemento se requerirá un porcentaje menor de aditivo en comparación con una mezcla con bajo contenido de cemento, para obtener resultados óptimos. Se observa que las altas dosificaciones de aditivos prolongan el tiempo de fraguado sin afectar las resistencias finales. Al utilizar los nomogramas, el volumen de desperdicio de concreto se reduce hasta en un 60%, lo que beneficia económicamente y medioambientalmente a la empresa.

Palabras claves: aditivos, optimización, morteros, diseño de mezclas, nomogramas.

I. INTRODUCCIÓN

El efecto de los aditivos en el fraguado y la resistencia a la compresión del hormigón se ha podido observar en varios estudios [1] [2] en los cuales se muestra la influencia de aditivos retardantes y superplastificantes tanto en la trabajabilidad como en la resistencia a compresión del hormigón, demostrando que el uso de aditivos incrementa la resistencia a compresión del hormigón siendo el superplastificante el de mayor efectividad. Sin embargo, en dosificaciones elevadas se reduce la cohesión de la mezcla y su homogeneidad.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

Salahaldein (2013), también estudió el impacto de aditivos superplastificantes sobre el hormigón en estado fresco y endurecido. En este trabajo se estableció que el uso de estos tipos de aditivos efectivamente permite prolongar el flujo del hormigón incluso al exceder la dosificación recomendada con una correlación directamente proporcional entre superplastificante y resistencia a la compresión debido al incremento de agua atrapada que servirá para la hidratación del cemento. No obstante, pasado el límite de dosificación presenta exudación y segregación que conllevan a menguar la cohesión y homogeneidad de la mezcla disminuyendo la resistencia a la compresión.

En relación con la divergencia de composiciones químicas entre proveedores, se corrobora en el artículo de Referencia [3] se demuestra que los superplastificantes de distribuidores diferentes obtienen resultados de trabajabilidad y resistencia a la compresión variados [3]. Los resultados aclaran que mientras un aditivo brinda mejores resistencias al primer día, otro incumple este criterio, aunque facilita la retención de trabajabilidad.

En el trabajo de investigación Ref. [4] evidencia que se puede dosificar valores mayores a los recomendados generando resultados optimizados de tiempo de fraguado y resistencia a la compresión, sin embargo, el efecto de los aditivos en el fraguado y la resistencia a la compresión del hormigón se ha podido observar en varios estudios.

En el Ecuador, el predominante uso de hormigón responde al balance entre durabilidad, economía y practicidad. Sus componentes abundan caracterizándolo como un material de rápido acceso, además se adapta fácilmente al diseño de la obra sin menguar su alta resistencia a la compresión y al fuego. Según los datos más recientes del INECYC el país comercializó 6'032.356 toneladas métricas de cemento gris en el 2012, de esto solo en las provincias de Pichincha y Guayas se distribuyó 2'546.327 toneladas métricas, lo cual representa el 42.21% del consumo nacional [5]. Estos valores señalan que la continua

investigación en el campo de este material de construcción es necesaria con el fin de optimizar su uso y potenciar sus propiedades.

Los aditivos son sustancias químicas usadas en la pasta, mortero o en el hormigón previo o posterior al mezclado con la finalidad de dinamizar las propiedades físicas del material adecuándolo así a los menesteres de la obra o del constructor [6]. Acorde al tipo de aditivo administrado se controla propiedades físicas del hormigón como resistencias tempranas, rapidez del fraguado, trabajabilidad de la mezcla, impermeabilidad, entre otras. Generalmente la cantidad del aditivo añadido a la mezcla no supera el 5% del peso del cemento. Se requiere del estudio y desarrollo de aditivos que mejoren las cualidades del hormigón.

Entre los proveedores de aditivos para hormigones del mercado ecuatoriano encontramos Sika, Aditec, Tespecon, Euclid, Cortec entre otros. Cada aditivo dispone de una ficha técnica que indica la función del producto, norma de diseño, dosificación recomendable, propiedades físicas y advertencias dependiendo del proveedor. Sin embargo, no hay información que indique el desempeño de los aditivos al usar más de uno en una mezcla de hormigón.

II. PROBLEMÁTICA

Los aditivos disponen deben colocarse con una dosificación máxima y mínima conforme al tipo de aditivo, sin embargo, en caso de requerir la dosificación de más de un aditivo (ej. Retardantes y plastificantes) el valor máximo de dosificación ya no es aplicable y puede conducir a que la mezcla de hormigón presente inconvenientes como exudación, segregación, pérdida de resistencia o retardo no planificado del fraguado [7]. Las dosificaciones para este tipo de mezcla se generan empíricamente acorde a la experiencia del proveedor de mezclas. La ejecución continua de ensayos para establecer dosificaciones óptimas demanda tiempo y recursos de la empresa. Conjuntamente se pueden presentar complicaciones en obra debido a errores de cálculo en la mezcla de aditivos o errores técnicos en los cuales la proporción de aditivo agregado a la mezcla es mayor a la necesaria. En estos casos se precisa dictar ágilmente si el lote de hormigón generado es útil para el proyecto o si debe ser considerado como desperdicio.

En este proyecto se busca como objetivo principal generar diseños de hormigón que superen los desafíos que la ciudad de Guayaquil presenta, al ser la sexta ciudad con más congestión de tráfico en Latinoamérica [8]. Adicionalmente, es importante mencionar que la temperatura máxima promedio anual en Guayaquil es superior a 30°C [9] y que muchas veces se debe proveer hormigón premezclado a zonas cuyas distancias de transportación superan los 100 km. Por lo tanto, para cumplir los requerimientos de trabajabilidad, temperatura y resistencias solicitadas se administra más de un aditivo. Acorde al volumen

producido en el 2018 por parte de la empresa, todas las mezclas distribuidas en la ciudad de Guayaquil contenían mínimo 2 aditivos, encontrándose diseños que requirieron hasta 6 aditivos en la Fig.1.

Dado que los proveedores de aditivos no disponen de información sobre la mezcla de más de un aditivo en una mezcla, el proveedor de hormigón debe determinarlo empíricamente con el método de prueba y error, lo que implica invertir en recursos y tiempo. Como consecuencia, esto representa una necesidad del cliente que debe ser resuelta para estimar los efectos del uso simultáneo de aditivos en el tiempo de fraguado sin comprometer el desempeño.

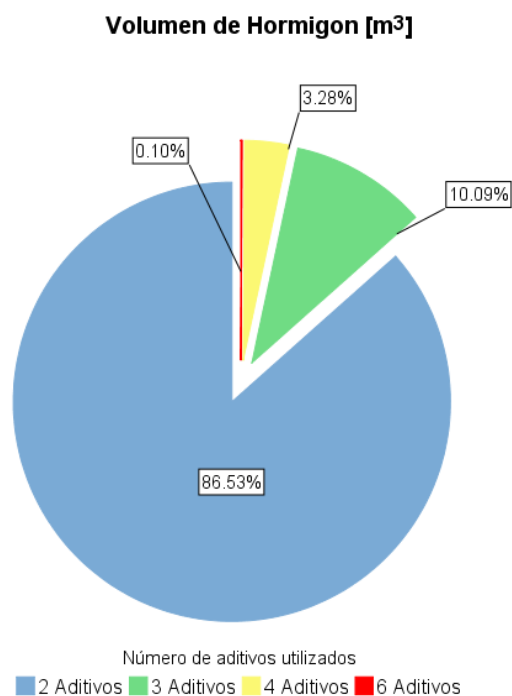


Figura 1 Número de aditivos utilizados por mezcla del cliente en la Ciudad de Guayaquil [3]

Por lo anteriormente mencionado este trabajo tiene objetivo principal estudiar el comportamiento de morteros de una planta de hormigón premezclado cuya mezcla contenga más de un aditivo y analizar los efectos inmediatos en la mezcla de mortero fresco y endurecido en el desarrollo de escenarios específicos que cumplan con criterios de trabajabilidad y tiempo de fraguado.

III. MATERIALES

Se seleccionó materiales de los proveedores que trabajan con el cliente para poder identificar la influencia de los aditivos que usan actualmente en las mezclas que se distribuyen en la ciudad.

Árido Fino

Proveniente del Río Bulubulu se le realizó el ensayo granulométrico, siguiendo lo estipulado en la norma INEN 696:2011 [10]. Adicionalmente, se calculó a absorción y la densidad relativa según la INEN 856:2010 [11]

TABLA 1
DATOS DE CARACTERIZACIÓN DEL AGREGADO FINO

Densidad Relativa (SSS)	1.62	kg/m ³
Densidad (SSS)	1611.66	kg/m ³
Absorción	2.21	%
Módulo de finura	2.54	

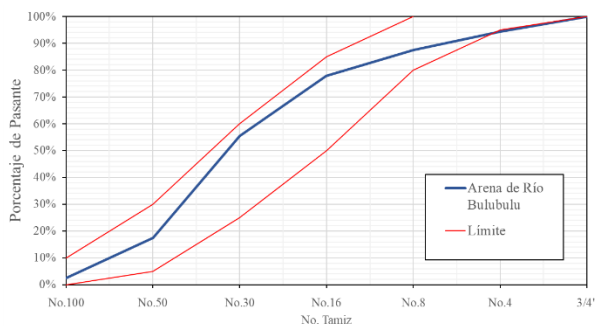


Figura 2 Curva Granulométrica del Agregado Fino

Cemento hidráulico

Se usó cemento tipo HE acorde a la norma ASTM C-1157 [12], este se caracteriza por presentar altas resistencias iniciales a la compresión. Está compuesto por Clinker de cemento Portland, yeso y adiciones de puzolanas naturales. El cemento utilizado contiene entre 14-17% de puzolana natural que aportan a la durabilidad y a la mitigación de la reacción álcali-agregado [13]. Acorde al certificado de calidad del producto utilizado este posee las siguientes características.

TABLA 2
CARACTERÍSTICAS DEL CEMENTO HE

Requisitos físicos	Valor	Unidad
Cambio de longitud por autoclave	-0.01	%
Tiempo de fraguado, método de Vicat	122	Min
Contenido de aire del mortero, en volumen	2	%
Expansión en barras de mortero 14 días	0.002	%
Resistencia a la compresión		MPa
	1 día	15,5
	3 días	26,3
	7 días	33,6
	28 días	42,2

Aditivos

Para los ensayos se trabajará mezclas con aditivos tipo D de la norma ASTM C-494 que reducen la cantidad de agua necesaria para alcanzar la trabajabilidad deseada en el

hormigón y a su vez retardan el proceso de fraguado. En la ficha técnica indica que usa tecnología en base a policarboxilatos, con una densidad aproximada de 1.05 kg/l. El proveedor recomienda dosis entre 0.5% a 0.8% del peso del cemento y como dosis máxima 1% cuando se necesita mayores desempeños. Debido a que está diseñado para proporcionar trabajabilidad entre 60 y 90 minutos con tiempos de fraguado normales. [14]

Adicionalmente se añadirá aditivo tipo A y F acorde a la ASTM C-494, este aditivo tiene base de policarboxilatos y materias primas sustentables sin cloruros con una densidad aproximada de 1.1 kg/l. Se recomienda una dosis de 1 al 1,5% del peso del cemento. Pero también indica que debe determinarse la cantidad óptima mediante ensayos preliminares cuando se combina con otros aditivos. [14]

IV. DISEÑOS Y ESPECIFICACIONES

Se seleccionó las características del hormigón más vendido, es decir aquellos requerimientos más solicitados en los proyectos dentro de la ciudad. Se elaboró el proporcionamiento en base a diferentes escenarios de estudio utilizando el método de diseño del ACI 211-91 [15] para obtener un metro cúbico de hormigón. A partir de los diseños de metro cúbico se llevó a un volumen de aproximadamente 3lt de mortero equivalente al tamizar en húmedo la mezcla de hormigón.

Los valores de material cementante se escogieron de acuerdo con los requerimientos del cliente y la experiencia del personal técnico en la empresa, lo cual cumple con la normativa del ACI 211.1-91 [15] que indica: “En la medida de lo posible, la selección de proporciones del hormigón debe basarse en los datos de prueba o en la experiencia con los materiales que se utilizarán realmente”.

Para la dosificación del retardante y del plastificante se acordaron valores sugeridos por el cliente conforme a dosificaciones típicas en sus productos (0.8%, 0.9% respectivamente), valor máximo administrable según la ficha técnica del producto (1%, 1.2% respectivamente) y un valor que nos permita determinar una tendencia, para ello tomamos un valor menor a los dos anteriores (0.6% para ambos).

La relación agua cemento inicialmente abarcaba valores de 0.35, 0.45 y 0.55 para todas las proporciones de cemento, se decidió hacer diseños con 450 kg/m³ y 350 kg/m³ en contenido de cemento con relaciones a/c de 0.35 y 0.45, con el objeto de evitar escenarios que tengan segregación excesiva o flujo cero.

Establecidas las restricciones y condiciones de trabajo, nos centraremos en el uso de las siguientes variables controladas en la Tabla 3:

TABLA 3
CONTROL DE VARIABLES

Cemento	[kg/m ³]	450	350			
Relación A/C		0.35	0.45			
Retardante	[%]	0.6	0.8	1		
Plastificante	[%]	0.6	0.9	1.2	1,5	1,8

Se realizaron 36 dosificaciones, como variable de respuesta se definió el tiempo de fraguado inicial y como información complementaria se desarrolló ensayos de flujo, temperatura y resistencia a la compresión, estos escenarios se pueden identificar con un número acorde a las Tablas 4 y 5.

TABLA 4
DOSIFICACIONES DE LOS ADITIVOS EN HORMIGONES DE 450 KG/
M3 CON A/C DE 0.35 Y 0.45

Prueba	A/C	Retardador	Plastificante
1	0.35	0.60%	0.60%
2		0.80%	
3		1.00%	
4		0.60%	0.90%
5		0.80%	
6		1.00%	
7		0.60%	1.20%
8		0.80%	
9		1.00%	
10	0.45	0.60%	0.60%
11		0.80%	
12		1.00%	
13		0.60%	0.90%
14		0.80%	
15		1.00%	
16		0.60%	1.20%
17		0.80%	
18		1.00%	

TABLA 5
DOSIFICACIONES DE LOS ADITIVOS EN HORMIGONES DE 350 KG/
M3 CON A/C DE 0.35 Y 0.45

Prueba	A/C	Retardador	Plastificante
19	0.35	0.60%	1.20%
20		0.80%	
21		1.00%	
22		0.60%	1.50%
23		0.80%	
24		1.00%	
25		0.60%	1.80%
26	0.80%		
27	1.00%		
28	0.45	0.60%	0.60%
29		0.80%	
30		1.00%	
31		0.60%	0.90%
32		0.80%	
33		1.00%	
34		0.60%	1.20%
35		0.80%	
36		1.00%	

V. ENSAYOS REALIZADOS

Entre los ensayos realizados a los morteros equivalentes se consideró aquellos que nos permitieran obtener la mayor cantidad de información para poder generar los nomogramas finales, entre los más importantes encontramos los siguientes:

Pruebas Calorimétricas

Estas pruebas se realizaron con un calorímetro semi-adiabático y termocuplas tipo K de $\pm 1^\circ\text{C}$ de precisión bajo condiciones de laboratorio, donde se tomaron muestras de 1300g y cuyo tiempo de corrida es de aproximadamente 2 días laborales con mediciones cada dos minutos. Se genera un informe con la información de cada muestra de cemento para analizar su comportamiento.



Figura 3 Pruebas Calorimétricas en Probetas de Mortero

Prueba de flujo

Ensayo desarrollado para evaluar el desempeño reológico y mecánico de hormigones y morteros. En un enfoque simplificado, las pruebas ayudan a evaluar la trabajabilidad y el desarrollo de resistencia de un hormigón al probar su mortero equivalente. Se realizó control del flujo a los 10 minutos y a los 45 minutos.

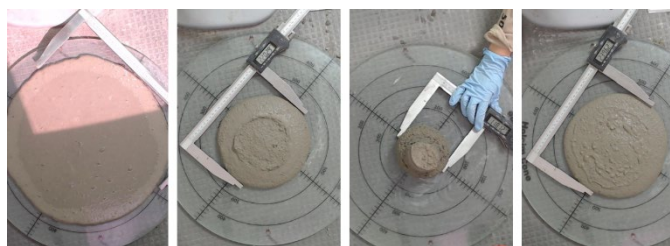


Figura 4 Realización del Ensayo de Flujo en Morteros

Correlación de fluidez del mortero con asentamiento del hormigón

Se realizó un ensayo con el cono de Abrams [16] en hormigón para identificar una correlación entre la fluidez del mortero con el revenimiento del hormigón. La analogía establecida está tabulada en la Tabla 6. Esta correlación permite identificar a los

diseños como manejable, es decir, que permiten su manipulación en obra por más tiempo y generar de buenos acabados.

TABLA 6
RANGOS DE ENSAYO DE REVENIMIENTO DE HORMIGÓN

Normativa Europea (UNE-EN 12350-2)		Disco de vidrio
Consistencia	Asentamiento en cm	Fluidez en mm
Seca	0-2	100-150
Plástica	3-5	151-200
Blanda	6-9	201-250
Fluida	10-15	251-300
Líquida	16-20	>301

Resistencia a compresión

El ensayo se llevó a cabo acorde a la norma ASTM C109-11 [17], para seleccionar los escenarios óptimos que permita su manipulación en obra por más tiempo y generar buenos acabados, por lo que se impusieron los siguientes criterios:

1. Flujo entre 200mm y 300mm sobre el disco de vidrio.
2. No debe darse segregación durante el ensayo.
3. La exudación debe ser mínima
4. El grupo de ensayos escogidos debe, de preferencia, coincidir en las dosificaciones de aditivo retardante y plastificante con el fin de poder exponer una correlación entre las resistencias alcanzadas.

Por cada escenario seleccionado se realizaron 12 cubos para evaluar los resultados a 1,3,7 y 28 días. El curado se llevó a cabo según se indica en la norma ASTM C511-19 [18].



Figura 5 Ensayo de Resistencia a la Compresión en Morteros

Estimación de huella hídrica

La huella hídrica es un indicador del uso de agua dulce que hace referencia tanto a su uso directo como indirecto por parte de un consumidor o productor. Se realizó la estimación del impacto de este proyecto en las actividades de la empresa sabiendo que el cliente actualmente posee una huella hídrica de 298 L/m³, de los cuales aproximadamente 200L es agua incorporada en el producto.

VI. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Calorimetrías

Se graficó la diferencia de temperatura de la celda de la muestra con la de referencia (mortero endurecido) para poder modelar con la menor cantidad de errores sistemáticos en los que se incluyen los cambios de temperatura del laboratorio. Para suavizar la curva se utilizó una regresión que usa el promedio del valor anterior, el actual y el posterior. Este proceso tuvo hasta 40 iteraciones para genera la curva final.

La Fig. 6, presenta curvas calorimétricas para distintos contenidos de cemento que nos permite ver el comportamiento entre el calor de hidratación y el contenido de cemento con los porcentajes de aditivos antes mencionados. Por otro lado, en la Fig. 7 nos permite ver como se retarda el tiempo de fraguado conforme se aumenta el retardante, adicionalmente se observa como el calor de hidratación aumenta ligeramente conforme se aumenta el retardante, reflejándose en el tiempo de fraguado total tenuemente.

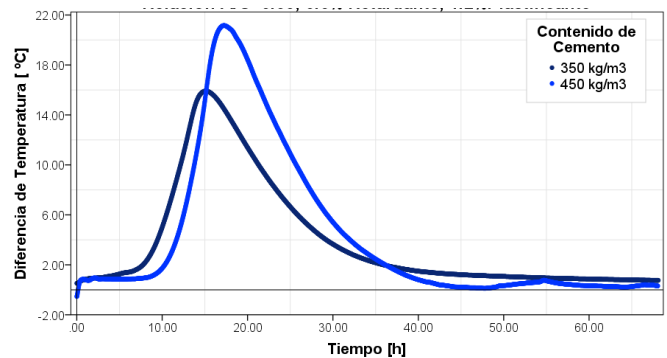


Fig. 6 Curva Calorimétrica con diferente contenido de cemento y relación a/c

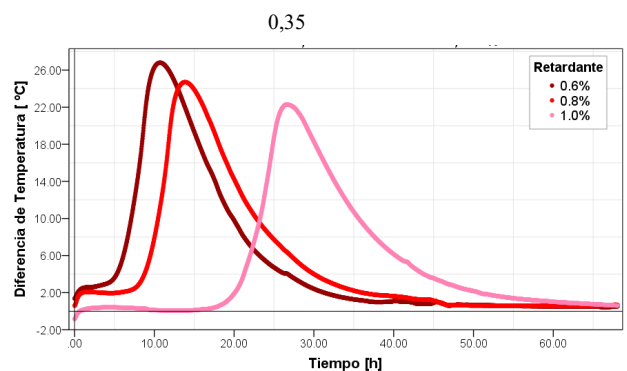


Fig. 7 Curva Calorimétrica con variación de porcentajes de aditivo retardante para Diseño con contenido de cemento de 450 Kg/m³ y a/c 0,35.

Se tabuló los resultados obtenidos de flujo para poder identificar las mezclas que cumplen con los criterios del cliente y a partir de las curvas calorimétricas se determinó los tiempos de fraguado inicial, final y el tiempo total de fraguado, así como la temperatura máxima que desarrolló cada escenario. Los resultados se pueden apreciar en la Tabla 7 y 8 mostradas a continuación. Ciertos escenarios sufrieron segregación o no presentaron flujo alguno motivo por el cual no se tiene resultados.

TABLA 7

RESULTADOS OBTENIDOS DEL DISEÑO DE 450 KG/ M³

A/C	Escenario	Tiempo de Fraguado Inicial[h]	Tiempo de Fraguado [h]	Flujo		Temperatura máxima [°C]
				10 min [mm]	45 min [mm]	
				Prom	Prom	
0,35	1	6.3	1,4	240	217	26,80
	2	9.1	1,6	230	217	24,71
	3	21.3	1,8	213	185	22,30
	4	9.6	2,2	223	219	21,10
	5	14.4	1,4	270	240	20,64
	6	24	1,8	306	249	21,20
	7	11.5	1,8	244	269	21,16
	8	22.1	1,5	334	295	18,58
	9	29.4	2,8	355	320	18,78
0,45	10	12.3	1,8	358	370	24,67
	11	37.5	9,9	-	-	4,07
	12	-	-	-	-	-
	13	9.3	1,8	350	351	20,12
	14	13.6	1,9	374	379	22,15
	15	37.8	3,9	399	405	18,2
	16	16.3	2,5	435	448	14,79
	17	-	-	-	-	-
	18	-	-	-	-	-

Temperaturas máximas desarrolladas

Con respecto a las temperaturas máximas desarrolladas podemos identificar que a medida que la combinación de porcentajes de aditivos aumenta esta disminuye. En ciertos escenarios no se obtuve mediciones con el equipo calorimétrico, así como escenario donde se tiene una caída drástica del valor.

A/C	Escenario	Tiempo de Fraguado Inicial[h]	Tiempo de Fraguado [h]	Flujo		Temperatura máxima [°C]
				10 min [mm]	45 min [mm]	
				Prom	Prom	
0,35	19	9.0	2.2	186	135	15,91
	20	12.2	2.0	187	116	15,93
	21	18.6	2.0	109	100	14,58
	22	9.8	2.0	153	119	17,12
	23	16.7	2.1	134	110	14,62
	24	21.4	3.5	133	120	14,74
	25	11.7	2.2	104	100	16,33
	26	17.3	2.4	118	104	15,79
	27	23.6	3.0	123	109	13,51
0,45	28	7.0	2.2	164	140	16,03
	29	9.7	2.8	179	161	15,49
	30	13.1	2.0	186	170	15,8
	31	7.5	1.6	197	181	16,34
	32	10.5	1.9	249	217	16,57
	33	14.7	2.0	225	193	15,3
	34	12.9	1.6	264	238	14,38
	35	19.7	1.9	268	224	14,22
	36	28.6	2.5	274	227	12,57

Resistencias a la compresión

Se observaron variaciones en el desarrollo de resistencias tempranas como se muestran en la Fig. 8 donde la resistencia a las 24 horas de los cuatro escenarios seleccionados está por debajo del 40% de la resistencia final, sin embargo, se observa un crecimiento típico para los escenarios 20, 23 y 29. Además se halló un aceleramiento a partir del día 3 para el escenario 5. Los escenarios cuyo contenido de cemento era de 350 kg/m³ i después de los 28 días pueden desarrollar al menos 10 MPa más la tasa de crecimiento entre el día 7 y el día 28 es superior a 12% en contraste al escenario con 450 kg/m³ de contenido de cemento cuya diferencia es de 6% mostrando así un comportamiento asintótico para el desarrollo de la resistencia.

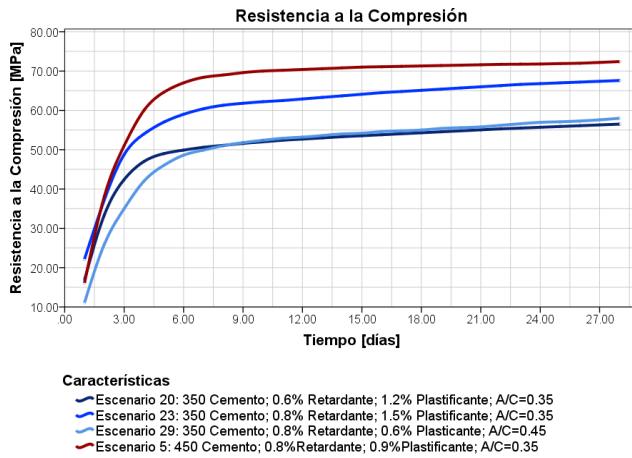


Fig. 8 Gráfica Resistencia a la compresión vs Tiempo

Por otra parte, se observa que los escenarios 5 y 23 alcanzan resistencias finales similares con un error menor al 5%. Al aumentar la cantidad de plastificante, mantener la relación agua-cemento y el contenido de retardante, desarrollan a la misma velocidad los primeros 7 días, pero aumenta entre los días 7 y 28 para el escenario 23. Es notorio que al comparar los escenarios 20 y 29, el escenario 29 tiene una relación agua-cemento menor que el escenario 20, no obstante, alcanzan la misma resistencia final.

Nomogramas

Mediante el programa IBM SPSS Statistics 25.0 se generó los nomogramas conforme al contenido de cemento y su relación agua/cemento. Se organizó las gráficas con tonalidades rojas y azules según el contenido de cemento 450Kg y 350Kg respectivamente. Cada recta indica una dosificación fija de plastificante mientras que el eje “X” define el retardante y las horas el fraguado inicial en el eje “Y”.

Se observó que a mayor retardante y plastificante se pospone el tiempo de fraguado inicial. El ensayo realizado es muy sensible a cambios de temperatura ocasionados por fallas mecánicas, cortes eléctricos y uso del laboratorio, por lo que ciertos escenarios se tuvieron que repetir para confirmar los resultados. Así mismo en las Fig. 9 y 10 podemos observar los nomogramas de los diseños con contenido de cemento de 350 Kg/m³ donde el comportamiento cambia bruscamente con la relación a/c de 0,45. En las Fig. 11 y 12 se presenta el comportamiento para los diseños de 450 Kg/m³ y las distintos porcentajes de aditivos presentando una correlación diferente entre las relaciones a/c de 0.35 y 0.45.

Se ejecutaron 36 ensayos de mortero, de los cuales se consideraron 33 escenarios para la muestra representativa del análisis, de ellos se repitieron 10 escenarios para probar la replicabilidad y la repetibilidad de estos. El resto de los escenarios se descartó por tratarse de mezclas carentes de manejabilidad.

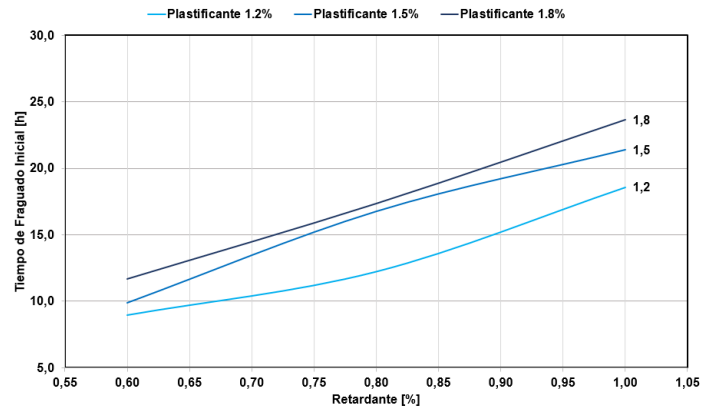


Fig. 9 Tiempos de Fraguado inicial vs % de Retardante en Diseño 350 KG/ m³ a/c 0,35

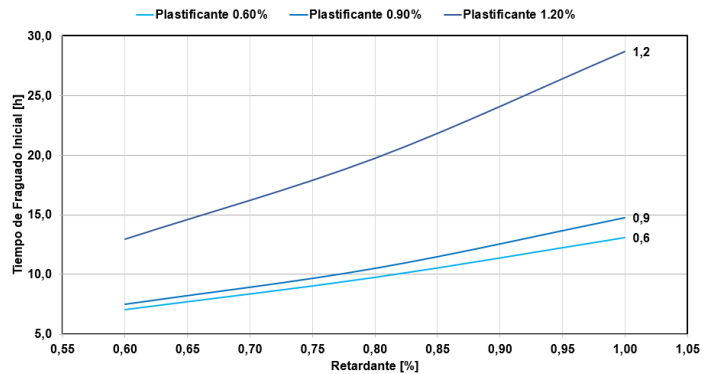


Fig. 10 Tiempos de Fraguado inicial vs % de Retardante en Diseño 350 KG/ m³ a/c 0,45

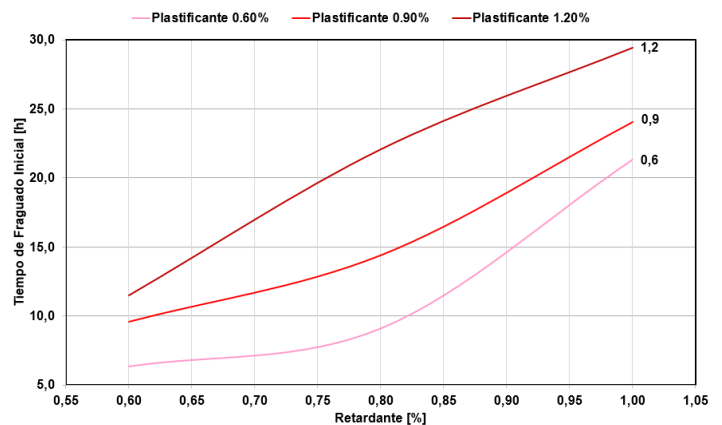


Fig. 11 Tiempos de Fraguado inicial vs % de Retardante en Diseño 450 KG/ m³ a/c 0,35

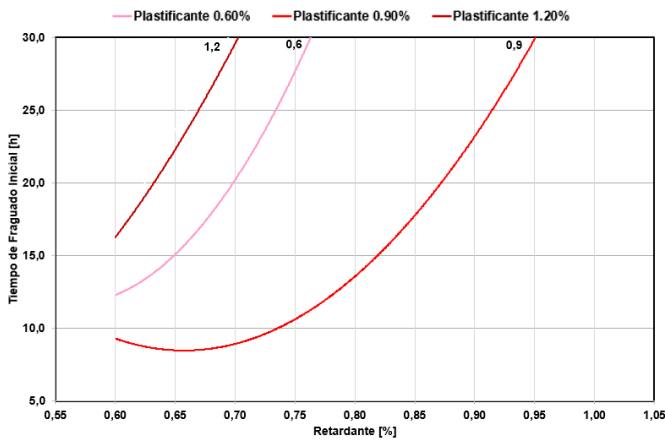


Fig. 12 Tiempos de Fraguado inicial vs % de Retardante en Diseño 450 KG/
m³ a/c 0,45

VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Se generaron cuatro nomogramas agrupados conforme al contenido de cemento y a la relación a/c. Se identificó en los nomogramas que, a mayor cantidad de aditivo, sea plastificante o retardante, se incrementaba el tiempo de fraguado inicial en un 60% a 70% en promedio. Además, mientras mayor sea el contenido de cemento (kg/m³) en la mezcla, el aditivo mejoraba su desempeño. Se concluyó que se requiere de menores dosificaciones de aditivo en mezclas con alto contenido de cemento.

Adicionalmente se observó que, a mayor contenido de plastificante, mayor será el tiempo de fraguado, es decir, el intervalo de tiempo desde que inicia el fraguado hasta que culmina. Esta afirmación se cumple especialmente en dosificaciones elevadas (>0.9%). No obstante, la prolongación del fraguado no tiene impacto en el desempeño final del mortero.

Se determinó el impacto ambiental del uso de los nomogramas en la formulación de un diseño de producto a base de cemento. La presente investigación fomenta la reducción de huella hídrica y volúmenes de desperdicios que producen esta actividad hasta en un 60% en casos que requieren evaluar hasta 5 escenarios.

Recomendaciones

En investigaciones que tienen relación al estudio de materiales es de vital importancia generar los ensayos de caracterización del material previo al inicio de cualquier estudio debido a que el material separado para la investigación corre el riesgo de contaminarse o alterarse por condiciones ambientales.

Dada la pequeña escala de los escenarios y a la presencia irregular de material fino por adherencia al agregado y acumulación de residuos en los sacos, los datos de flujo obtenidos variaron sin responder a un patrón definido. En los ensayos realizados se observó un decrecimiento promedio del flujo del 12% a los 45 minutos de iniciarse el proceso de hidratación del cemento. Se recomienda tomar medidas de control sobre el contenido de finos en la arena en ensayos de pequeña escala (mortero) dado al impacto que se presentó durante el estudio.

Se recomienda realizar un estudio de las variables moderadoras para determinar la resistencia a la compresión entre los días 7 y 28 para mezclas con alto contenido de cemento o alto contenido de aditivos puesto que no siguen la tendencia de un hormigón convencional.

Se recomienda hacer un análisis exclusivo de la huella hídrica del hormigón en nuestro medio que incluya la huella de la producción de los aditivos como un componente de la huella del hormigón. Aunque las regulaciones del país buscan reducir la producción de residuos de hormigón, la investigación sobre la reutilización de estos desechos es baja, por lo que se debe incentivar el realizar estudios para la creación de nuevos materiales a partir de estos escombros.

REFERENCIAS

- [1] S. Alsadey, «Effects of super plasticizing and retarding admixtures on properties of concrete,» *International conference on innovations in engineering and technology*, pp. 25-26, 2013.
- [2] S. Alsadey, «Effect of Superplasticizer on Fresh and Hardened Properties of Concrete,» *Journal of Agricultural Science and Engineering*, vol. 1, n° 2, pp. 70-74, 2015.
- [3] A. J. P. S. L. Soni y R. K. B., «Influence of Admixtures on Behavior of Concrete,» *International Journal of Research in Advent Technology*, vol. 4, n° 11, pp. 19-22, 2016.
- [4] Y. Montoya, A. Cadavid y M. A. Gómez, «COMPORTAMIENTO MECÁNICO Y DE FRAGUADO DE MORTEROS DE CEMENTO PORTLAND GRIS TIPO III CON ADITIVOS,» *Revista EIA*, n° 11, pp. 39-49, 2009.
- [5] INECYC, «Comercialización Mensual y Anual de Cemento Gris,» INECYC, INECYC.
- [6] G. A. R. L., «Aditivos Para Mortero Y Concreto,» UNASAM, 2019.
- [7] J. A. A. Riquelme, «EFECTO DE LA INCORPORACION DE MEZCLA DE FIBRAS,» Universidad De Valparaíso Chile, Valparaíso, 2014.
- [8] D. EXTRA, «Quito y Guayaquil, entre las ciudades con el peor tráfico de Latinoamérica,» *Diario EXTRA*, Guayaquil, 2019.
- [9] INAMHI, «BOLETIN METEOROLÓGICO,» Dirección de Estudios, Investigación y Desarrollo Hidrolometeorológico, Quito, 2018.
- [10] INEN, «Áridos. Análisis Granulométrico en los Áridos Fino y Grueso,» INEN, Quito, 2011.
- [11] INEN, «ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DEL ÁRIDO FINO,» INEN, Quito, 2010.
- [12] ASTM, «C1157. Standard Performance Specification for Hydraulic Cement,» ASTM, 2010.

- [13] R. C., Interviewee, *Proceso de creación de un nuevo producto.*
[Entrevista]. 28 06 2019.
- [14] ASTM, «C494. Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete,» ASTM, 2017.
- [15] ACI, «211-91. Standar Practice for Selecting Proportions for Normal Havyweight, and Mass Concrete,» ACI, 1997.
- [16] ASTM, «C143. Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete,» ASTM, 2015.
- [17] ASTM, «C109 Standard Test Method for Comprehensive Strength of Hydraulic Cement Mortars,» ASTM.
- [18] ASTM, «C511-19. Standard Specification for Mixing Rooms, Moist Cabinets, Moist Rooms, and Water Storage Tanks Used in the Testing of Hydraulic Cements and Concretes,» ASTM, 2021.