

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERIA
MAESTRÍA DE INGENIERÍA CIVIL**



INFLUENCIA DEL MATERIAL DE FORMALETA, NATURALEZA DEL AGENTE DESMOLDANTE, TIPO DE ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE Y CONDICIONES DE CURADO, SOBRE EL ACABADO SUPERFICIAL DE CONCRETOS AUTOCOMPACTABLES EN ELEMENTOS FABRICADOS EN CONDICIONES DE LABORATORIO.

MARIA CAMILA CASTRO GARRIDO

TRABAJO DE GRADO (TESIS)

Presentado Para optar al título de Magister en Ingeniería Civil

**YEZID ALEXANDER ALVARADO VARGAS I.C. M.Sc., Dr
DIRECTOR
GERMAN HERMIDA BARRERA I.C. M.Sc., Dr
CO - DIRECTOR
ANDRES EDUARDO TORRES ABELLO I.C. M.Sc., Dr
CO - DIRECTOR**

**Bogotá D. C,
Enero de 2020**

Tabla de Contenido

1.	Contenido de la tesis	3
2.	Introducción	4
2.1	Hipótesis	8
3.	Objetivo general y objetivos específicos	9
3.1	Objetivo general.....	9
3.2	Objetivos específicos	9
4.	Título del artículo.....	10
5.	Artículo de investigación	11
6.	Conclusiones y trabajo futuro	41
7.	Lista de referencias	43
8.	Anexo 1: Calificación de todos los elementos fabricados en laboratorio	48
9.	ANEXO 2: Evidencia fotográfica de la investigación	50
9.1	Formaleta madera contrachapada fenólica (PP)	50
9.2	Formaleta Acero laminado en caliente (HRS)	52
9.3	Formaleta Formaleta Plástica (P).....	55

1. Contenido de la tesis

La presente tesis de maestría está desarrollada siguiendo la metodología de tesis por artículos. La tesis está estructurada de la siguiente forma:

- Capítulo 1. Contenido de la tesis
- Capítulo 2. Introducción e hipótesis
- Capítulo 3. Objetivo general y objetivo específico.
- Capítulo 4 y 5. Artículo
- Capítulo 6. Conclusiones y propuesta de nuevas investigaciones.
- Capítulo 7. Referencias
- Capítulo 8. Apéndices.

En el Capítulo 1 se explica el tipo de documento a ser presentado y el contenido de cada capítulo.

El Capítulo 2 expone la importancia del acabado superficial en la superficie de concreto, los parámetros que afectan este acabado, las categorías de especificación según la Guía ACI 347.3R-13 y como debe calificarse la superficie de concreto para clasificarlo en cada categoría. Finalmente se presenta la importancia de la investigación y la hipótesis a ser confirmada o refutada.

El Capítulo 3 expone el objetivo general y los objetivos específicos planteados para desarrollar la presente investigación.

El Capítulo 4 y 5 presenta el artículo “Grado de importancia de algunas variables sobre la calidad del acabado superficial de elementos de concreto autocompactable” donde se encontrará el modelo experimental para la fabricación y calificación de los elementos fabricados en laboratorio, los resultados de la calificación y la definición del grado de importancia de las variables evaluadas.

El Capítulo 6 recoge una serie de conclusiones acerca del trabajo desarrollado en la presente tesis de maestría, y los nuevos aportes que ésta hace al estudio del tema en cuestión. Además, se plantea la necesidad de continuar con una línea de investigación que complemente el trabajo hasta ahora desarrollado.

En el Capítulo 7 se presentan las referencias

En el Capítulo 8 los anexos, donde se encontrarán las calificaciones obtenidas para cada elemento y la evidencia fotográfica de cada uno.

2. Introducción

En el contexto mundial la producción de concreto con acabado superficial a la vista comenzó en la década de 1930 donde el concreto se convirtió en un material de construcción común (Heinemann, 2017). A partir de los años 50, gracias al movimiento arquitectónico moderno se tuvo lugar a una exploración de las posibilidades arquitectónicas del concreto con el fin de cambiar la percepción que el color gris era un problema estético, aburrido y sin vida (Heinemann, 2017). Debido a estos resultados, hoy en día el interés por los aspectos estéticos y funcionales de las superficies de concreto han incrementado considerablemente (Sadowski & Mathia, 2016).

Los arquitectos diseñadores, inversionistas y propietarios reconocen que el acabado superficial es una característica estética muy importante de los edificios y estructuras de concreto expuesto (Kwasny, Sonebi, Plasse, & Amziane, 2015; Ozkul & Kucuk, 2011). Por esta razón se han vuelto más exigentes y solicitan el acabado superficial del concreto de la más alta calidad (Libessart, De Caro, Djelal, & Dubois, 2015). Cuando la calidad del acabado de la superficie es inferior a la deseada y no se corrige con otro tipo de tratamiento puede afectar el valor comercial de las estructuras o llevar a reparaciones superficiales durante la vida útil, lo que genera sobrecostos en el desarrollo del proyecto (Kwasny et al., 2015).

En Colombia durante los últimos cinco años las especificaciones de concreto a la vista ya no se limitan a propiedades de desempeño mecánico. La llegada de firmas diseñadoras internacionales han especificado un nivel alto de acabado en la superficie del concreto usado en sus obras lo que ha llevado a evidenciar que Colombia se encuentra atrasada con respecto a otros países, quienes ya han implementado normas y reglamentaciones, usan mejores tecnologías y disponen de más recursos para la construcción de sus obras con el fin de lograr la especificación del acabado (Palacio & Figueroa, 2009). Estas especificaciones han hecho que las compañías productoras de concreto y los constructores se enfrenten a grandes desafíos debido a su inexperiencia y falta de conocimiento técnico para alcanzarlas.

Los defectos del acabado superficial no son aceptados, pero son bastante frecuentes debido a que la calidad superficial del concreto depende de varios parámetros externos e internos que deben ser controlados, entre los parámetros externos se encuentran, el material de la formaleta, la altura de caída libre de colocación del concreto, la velocidad de colocación, la aplicación y naturaleza del agente desmoldante, el curado de los elementos, el tiempo de retiro de la formaleta, entre otros (Djelal, De Caro, Libessart, Dubois, & Pébère, 2008; Kwasny et al., 2015; Libessart et al., 2015; Megid & Khayat, 2018, 2020). Dentro de los parámetros internos se han identificado el asentamiento o flujo, la composición del concreto, su viscosidad y el tipo de aditivo superplastificante usado (Javier, Saorin, Parra,

Mi, & Valcuende, 2020; Kwasny et al., 2015; Megid & Khayat, 2020). Se ha demostrado que los parámetros expuestos afectan la calidad del acabado superficial del concreto. Los defectos que pueden verse en la superficie del concreto son los poros o vacíos causados por el atrapamiento de burbujas de aire en la superficie durante la colocación del concreto, los llamados nidos de abeja, la formación de fisuras superficiales debido a la migración del agua hacia la superficie, las variaciones de color, la rugosidad de la superficie, entre otros. (ACI Committee 309, 1998; Kwasny et al., 2015; Megid & Khayat, 2018; Sadowski & Mathia, 2016).

La tabla 1 expone varios artículos científicos en donde se identifica la variable estudiada y el aporte al estado del conocimiento sobre su efecto en la calidad del acabado superficial del concreto arquitectónico.

Tabla 1.
Estado del arte de investigación de variables

Año	Autores	Título	Variable	Aporte científico	Journal
2020	Isabel Miñano, Francisco Benito Saorin, Carlos Parra Costa, Manuel Valcuende.	Quality of the surface finish of self-compacting concrete	Reología del concreto	1. Confirma que los concretos autocompactantes con viscosidades superiores a 42 Pas no permiten un buen acabado superficial ya que genera una gran cantidad de poros grandes en su superficie. 2. Sugiere un valor de viscosidad de 15 Pas para tener un buen acabado superficial.	Journal of Building Engineering
2019	Wael A. Megid, Kamal H. Khayat	Variations in surface quality of self-consolidation and highly workable concretes with formwork material	Material de la formaleta Reología del concreto	1. Confirma que la formaleta permeable mejora la calidad de la superficie del concreto en términos de vacíos superficiales frente a formaleta de acero, pvc y madera contrachapada. 2. Confirma que la formaleta de madera da resultado el peor acabado superficial de la superficie de concreto 3. Confirma que la viscosidad de la mezcla de concreto autocompactado debe ser de 10 Pas	Construction and Building Materials

Año	Autores	Título	Variable	Aporte científico	Journal
2018	Megid, Wael A. Khayat, Kamal H.	Effect of concrete rheological properties on quality of formed surfaces cast with self-consolidating concrete and superworkable concrete	Reología del concreto	1. Desarrollo de una herramienta para análisis de la superficie de concreto. 2. Establece un valor de viscosidad para evitar segregación del concreto que es de 10 Pas.	Cement and Concrete Composites
2017	Aïssoun, B. M. Gallias, J. L. Khayat, K. H.	Influence of formwork material on transport properties of self-consolidating concrete near formed surfaces	Material de la formaleta	1. Demuestra que el material de la formaleta afecta el comportamiento del concreto y su capacidad para deslizarse sobre ella.	Construction and Building Materials
2017	Liu, Baoju Yang, Tengyu	Image analysis for detection of bugholes on concrete surface	Evaluación del acabado superficial	1. Se propone un nuevo parámetro de evaluación en el análisis de imagen: Relación área-diámetro	Construction and Building Materials
2017	Heinemann, Herdis A.	Colour alterations of historic concrete surfaces during the Dutch Interwar Period	Color	1. Resumen histórico del uso del concreto decorativo	Case Studies in Construction Materials
2016	Sadowski, Łukasz Mathia, Thomas G.	Multi-scale metrology of concrete surface morphology: Fundamentals and specificity	Evaluación del acabado superficial	1. Confirma la brecha de la industria para identificar y medir la morfología de la superficie del concreto	Construction and Building Materials
2015	Kwasny, Jacek Sonebi, Mohammed Plasse, Julien Amziane, Sofiane	Influence of rheology on the quality of surface finish of cement-based mortars.	Viscosidad del mortero	1. Demostró una relación entre el incremento de burbujas en superficie y la viscosidad del mortero.	Construction and Building Materials
2015	Libessart, Laurent De Caro, Pascale Djelal, Chafika Dubois, Isabelle	Correlation between adhesion energy of release agents on the formwork and demoulding performances	Naturaleza del agente desmoldante Tiempo de retiro de la formaleta	1. Evalúa el tiempo de uso de la formaleta y concluye que es significativo para el acabado 2. Confirma que los aceites minerales no tienen energía de adhesión satisfactoria frente a los vegetales	Construction and Building Materials

Año	Autores	Título	Variable	Aporte científico	Journal
2014	Łażniewska - Piekarczyk, Beata	The methodology for assessing the impact of new generation superplasticizers on air content in self-compacting concrete	Tipo de superplastificante	1. Demuestra correlación entre la tensión superficial del superplastificante y el contenido de aire del concreto autocompactable.	Construction and Building Materials
2014	Libessart, Laurent Djelal, Chafika De Caro, Pascale	Influence of the type of release oil on steel formwork corrosion and facing aesthetics	Naturaleza del agente desmoldante Material de formaleta	1. Demuestra que el aceite vegetal y el aceite mezclado producen el mejor resultado estético cuando se aplica con boquilla cónica	Construction and Building Materials
2013	Bouharoun, Samir De Caro, Pascale Dubois, Isabelle Djelal, Chafika Vanhove, Yannick	Effect of a superplasticizer on the properties of the concrete/oil/formwork interface	Tipo de superplastificante Naturaleza del agente desmoldante	1. Confirma que el efecto del superplastificante y el volumen de pasta en la calidad de la superficie del concreto son despreciables con desmoldante con base en aceites vegetales caso contrario con los desmoldantes con base en aceites minerales.	Construction and Building Materials
2013	Klovas, A. Daukšys, M.	The influence of form release agent application to the quality of concrete surfaces	Naturaleza del agente desmoldante	1. La cantidad de la dosis de un agente desmoldante afecta significativamente la superficie del concreto (Mayor dosis más burbujas)	IOP Conference Series: Materials Science and Engineering
2013	Da Silva, Wilson Ricardo Leal Štemberk, Petr	Expert system applied for classifying self-compacting concrete surface finish	Evaluación del acabado superficial	1. Desarrollo de herramienta para evaluar el control de Calidad del concreto autocompactante	Advances in Engineering Software
2011	Ozkul, Tarik Kucuk, Ismail	Design and optimization of an instrument for measuring bughole rating of concrete surfaces	Evaluación del acabado superficial	1. Desarrollo optimizado de un instrumento eficaz para medir burbujas en la superficie del concreto	Journal of the Franklin Institute
2008	Djelal, C. De Caro, P. Libessart, L. Dubois, I. Pébère, N.	Comprehension of demoulding mechanisms at the formwork/oil/concrete interface	Naturaleza del agente desmoldante	1. Demuestra que, para los aceites vegetales, los esfuerzos de fricción son más bajos que los obtenidos para los aceites minerales.	Materials and Structures/Materials et Construction s

De acuerdo con lo anterior existen muchas variables que afectan la superficie del concreto arquitectónico, sin embargo, entre las más investigadas recientemente se encuentran: el material de la formaleta, la naturaleza del agente desmoldante y el tipo de aditivo superplastificante.

El efecto de estas variables se puede evaluar en la calidad de la superficie del concreto y de esta manera establecer un criterio de clasificación de la superficie de para la aceptación o no del acabado (ACI 347.3R-13, 2013). Existen métodos de prueba para evaluar directa o indirectamente la calidad superficial del concreto, los métodos directos incluyen la evaluación visual de defectos superficiales, incluido el análisis de imágenes (Lemaire, Escadeillas, & Ringot, 2005; Liu & Yang, 2017; Megid & Khayat, 2018). Los métodos de prueba indirectos incluyen la evaluación de la dureza de la superficie, la resistencia a la abrasión, el volumen de poros, la permeabilidad al agua y al aire, la profundidad de carbonatación, la difusividad de cloruro y oxígeno y la resistencia a la descongelación con sal. (Megid & Khayat, 2018).

El comité ACI 347.3R -13 proporciona una clasificación de acabado superficial de acuerdo con la funcionalidad del elemento. La escala de clasificación más baja se conoce como CSC 1 que corresponde a concretos en áreas con poca visibilidad razón por la cual no se requiere una alta calidad del acabado, la escala de calificación más alta y exigente corresponde a CSC 4, este tipo de acabado es para elementos con alta visibilidad en donde la apariencia es lo más importante (ACI 347.3R-13, 2013).

Para hacer la calificación del acabado superficial el comité ACI 347.3R-13 proporciona los siguientes indicadores como son: textura, superficie de vacíos, uniformidad de color, irregularidades superficiales, juntas de construcción y categoría de la formaleta (ACI 347.3R-13, 2013).

En conclusión, se han identificado ciertas variables que afectan la calidad de la superficie del concreto y que es posible evaluar el efecto que generan, sin embargo, se observa una brecha a nivel global ya que no se encontraron investigaciones publicadas en donde se pueda determinar el grado de importancia como factor determinante en la calidad del acabado superficial del concreto de estas variables, lo que abre paso a la investigación propuesta en este trabajo de grado.

2.1 Hipótesis

El grado de importancia de variables como el material de formaleta, naturaleza del agente desmoldante, aditivo superplastificante y condición de curado, sobre la calidad del acabado superficial de elementos elaborados con concreto arquitectónico autocompactable depende de la combinación de dichas variables.

3. Objetivo general y objetivos específicos

3.1 Objetivo general

Determinar el grado de importancia del material de la formaleta, la naturaleza del agente desmoldante, el tipo de superplastificante y la condición del curado en la calidad del acabado superficial del concreto arquitectónico autocompactante medido bajo los criterios de la guía ACI 347.3R-13.

3.2 Objetivos específicos

- Caracterizar el diseño de un concreto autocompactable, en sus propiedades en estado fresco y endurecido.
- Evaluar, bajo la guía ACI 347.3R-13 el acabado superficial de elementos de concreto fabricados en laboratorio.
- Definir el grado de importancia en el efecto de la calidad del acabado superficial del concreto para cada variable.

4. Título del artículo

Grado de importancia de algunas variables sobre la calidad del acabado superficial de elementos de concreto autocompactable.

5. Artículo de investigación

Grado de importancia de algunas variables sobre la calidad del acabado superficial de elementos de concreto autocompactable

Maria Camila Castro, Yezid Alvarado, Andres Torres, Germán Hermida,

Departamento de ingeniería civil Pontificia Universidad Javeriana, Colombia.

RESUMEN

En el presente artículo se muestra la determinación del grado de importancia de cuatro variables en la calidad del acabado superficial del concreto autocompactable de elementos de concreto fabricados en laboratorio. Se utilizaron tres materiales de formaleta (madera contrachapada fenólica, acero laminado en caliente y plástico), cuatro naturalezas de agente desmoldante (Sin desmoldante, de aceite mineral, de aceite vegetal y petrodiesel), dos tipos de superplastificantes a base de policarboxilatos y cuatro condiciones de curado durante 7 días (sin curado, con agua, con film plástico y con tela quirúrgica). En total se fabricaron en laboratorio 96 elementos de concreto autocompactable de dimensiones de 0.5 m X 0.5 m X 0.05 m. La calidad de la superficie de concreto de cada elemento fue evaluada y clasificada bajo la guía ACI 347.3R-13.

Para determinar el nivel de influencia o grado de importancia de cada variable se utilizó el modelo de clasificación estadístico para datos categóricos de bosques aleatorios o random forest, en el cual los resultados arrojaron que la variable con mayor importancia es el agente desmoldante, seguido por el material de formaleta, el agente superplastificante y por último la condición de curado, sin embargo, dependiendo del tipo de material de formaleta la influencia de dichas variables puede ser alterada.

PALABRAS CLAVE

Surface quality - Surface finishes - Self-compacting concrete – formwork - Release agents – Superplasticizer – curing.

1. INTRODUCCIÓN

A partir de los años 50, gracias al movimiento arquitectónico moderno se tuvo lugar a una exploración de las posibilidades arquitectónicas del concreto con el fin de cambiar la percepción que el color gris era un problema estético, aburrido y sin vida (Heinemann, 2017). Debido a estos resultados, hoy en día el interés por los aspectos estéticos y funcionales de las superficies de concreto han incrementado considerablemente (Sadowski & Mathia, 2016).

Los arquitectos diseñadores, inversionistas y propietarios reconocen que el acabado superficial es una característica estética muy importante de los edificios y estructuras de concreto expuesto (Kwasny et al., 2015; Ozkul & Kucuk, 2011). Por esta razón, son más exigentes y solicitan el acabado superficial del concreto de la más alta calidad (Libessart et al., 2015). Cuando la calidad del acabado de la superficie es inferior a la deseada y no se corrige con otro tipo de tratamiento puede afectar el valor comercial de las estructuras o llevar a reparaciones superficiales durante la vida útil, lo que genera sobrecostos en el desarrollo del proyecto (Kwasny et al., 2015).

Los defectos del acabado superficial no son aceptados, pero son bastante frecuentes debido a que la calidad superficial del concreto depende de varios parámetros externos e internos que deben ser controlados. Entre los parámetros externos se encuentran, el material de la formaleta, la altura de caída libre de colocación, la velocidad de colocación, la aplicación y naturaleza del agente desmoldante, el curado de los elementos, el tiempo de retiro de la formaleta, entre otros (Djelal et al., 2008; Kwasny et al., 2015; Libessart et al., 2015; Megid & Khayat, 2018). Dentro de los parámetros internos se han identificado el asentamiento o flujo, la composición del concreto, su viscosidad y el tipo de aditivo superplastificante usado (Kwasny et al., 2015).

En el año 2013, el instituto americano del concreto publica la guía enfocada en las superficies del concreto en donde permite clasificar el nivel de acabado de la superficie por categorías de acuerdo con la evaluación visual de seis parámetros: textura, superficie de vacíos, uniformidad de color, irregularidades superficiales, juntas de construcción y categoría de la formaleta (ACI 347.3R-13, 2013).

A raíz de la publicación de esta guía surge un mayor interés para entender cuáles variables afectan la superficie del concreto ya que los diseñadores utilizan la clasificación para especificar al constructor cuál es la calidad de acabado que espera de la superficie.

En el 2008 Djelal concluye que los agentes desmoldantes a base de aceites vegetales son los más recomendados para este uso ya que los esfuerzos de fricción son más bajos frente a los aceites minerales (Djelal et al., 2008). En el año 2013 se determina que existe una dosis óptima de los agentes desmoldantes ya que si está dosis se excede se tienden a presentar mayores burbujas en la superficie (Klovás & Daukšys, 2013). Finalmente, en el año 2014 Libessart confirma que el aceite vegetal produce mejor resultado estético (en términos de burbujeo, color y apariencia), cuando se acompaña de una aplicación con boquilla cónica (Libessart, Djelal, & De Caro, 2014).

Otras variables evaluadas por los investigadores recientemente son los aditivos superplastificantes, donde se demuestra que existe una correlación entre la tensión superficial del superplastificante y el contenido de aire del concreto autocompactable

(Ozkul & Kucuk, 2011). El material de la formaleta también ha sido estudiado, y se ha confirmado que es determinante para el acabado no sólo por el tipo y calidad del material sino también por su tiempo de uso (Aïssoun, Gallias, & Khayat, 2017; Megid & Khayat, 2018, 2020). Finalmente, otra variable que ha sido estudiada es la viscosidad del concreto, se ha comprobado que influye de una manera significativa en la formación de burbujas en la superficie (Javier et al., 2020; Kwasny et al., 2015).

De acuerdo con lo anterior existen muchas variables que afectan la superficie del concreto arquitectónico, sin embargo, entre las más investigadas recientemente se encuentran: el material de la formaleta, la naturaleza del agente desmoldante y el tipo de aditivo superplastificante.

El efecto de estas variables se puede evaluar en la calidad de la superficie del concreto y de esta manera establecer un criterio de clasificación de la superficie de concreto para la aceptación o no del acabado (ACI 347.3R-13, 2013). Existen métodos de prueba para evaluar directa o indirectamente la calidad superficial del concreto, los métodos directos incluyen la evaluación visual de defectos superficiales, incluido el análisis de imágenes (Lemaire et al., 2005; Liu & Yang, 2017; Megid & Khayat, 2018). Los métodos de prueba indirectos incluyen la evaluación de la dureza de la superficie, la resistencia a la abrasión, el volumen de poros, la permeabilidad al agua y al aire, la profundidad de carbonatación, la difusividad de cloruro y oxígeno y la resistencia a la descongelación con sal (Megid & Khayat, 2018).

El comité ACI 347.3R -13 proporciona una clasificación de acabado superficial de acuerdo con la funcionalidad del elemento. La escala de clasificación más baja se conoce como CSC 1 que corresponde a concretos en áreas con poca visibilidad razón por la cual no se requiere una alta calidad del acabado. La escala de calificación más alta y exigente corresponde a CSC 4, este tipo de acabado es para elementos con alta visibilidad en donde la apariencia es lo más importante (ACI 347.3R-13, 2013).

Para hacer la calificación del acabado el comité ACI 347.3R-13 considera categorías como son: textura, superficie de vacíos, uniformidad de color, irregularidades superficiales, juntas de construcción y categoría de la formaleta (ACI 347.3R-13, 2013).

De la revisión del estado de arte se resalta que existen ciertas variables que afectan la calidad de la superficie del concreto, y que es posible evaluar su condición bajo criterios establecidos en una guía internacional. Sin embargo, se observa una brecha a nivel global ya que no se encontraron investigaciones en las que se determine el grado de importancia que tienen dichas variables sobre la calidad del acabado superficial del concreto. El objetivo principal de este estudio es determinar el grado de importancia del material de la formaleta, la naturaleza del agente desmoldante, el tipo de superplastificante y la condición

del curado en la calidad del acabado superficial del concreto arquitectónico autocompactante medido bajo los criterios de la guía ACI 347.3R-13.

2. MATERIALES Y MÉTODO

El programa experimental se dividió en tres fases, la fase 1 consistió en la caracterización de los diseños de mezcla, el cemento, los agregados y los aditivos. La fase 2 consistió en la fabricación de elementos de concreto en laboratorio y la calificación de su acabado superficial según los lineamientos de la guía ACI 347.3R -13 y por último la fase 3 se basó en la determinación del grado de importancia de las variables estudiadas.

2.1 Materiales

Para la fabricación del concreto se utilizaron los siguientes materiales: cemento de alta resistencia temprana (ART) las propiedades físicas se exponen en la Tabla 1. Se utilizó agregado grueso y arena de tamaño máximo de 12.5 mm y 4.76 mm respectivamente. La Tabla 2 expone las características físicas de los agregados.

Tabla 2
Propiedades del cemento usado

Propiedades	Método de ensayo	Resultado
Resistencia a la compresión después de 1 día, MPa	ASTM C109	18.2
Resistencia a la compresión después de 3 días, MPa	ASTM C109	29.3
Resistencia a la compresión después de 7 días, MPa	ASTM C109	34.8
Resistencia a la compresión después de 28 días, MPa	ASTM C109	42.5
Tiempo de fraguado inicial, minutos	ASTM C191	110
Tiempo de fraguado final, minutos	ASTM C191	150
Superficie específica blaine, m ² /kg	ASTM C430	353
Retenido en tamiz 45µm, %	ASTM C430	3.68

Tabla 3
Propiedades físicas de los agregados

Propiedades	Grava	Arena
Densidad aparente, g/cm ³	2.65	2.58
Absorción, %	1.08	1.65

Se utilizaron tres aditivos, un plastificante, dos superplastificantes (depende del diseño de mezcla) y un modificador de viscosidad, la tabla 3 expone las propiedades físicas de los aditivos.

Tabla 4
Propiedades físicas de los aditivos

Tipo de aditivo	Reducción de agua	Base química	Contenidos sólidos (%)	Densidad (g/cm ³)	PH	Color
Plastificante	Bajo rango	Lignosulfonatos modificados	40%	1.12	5	Café Oscuro
Superplastificante 1	Alto rango	Policarboxilato (dispersor y sostenedor de manejabilidad)	40%	1.10	6	Café Claro
Superplastificante 2	Ultra alto rango	Policarboxilato 1 (Dispersor) Policarboxilato 2 (Sostenedor de manejabilidad)	40%	1.10	5	Café Claro
Modificador de viscosidad	No es reductor	Almidones	30%	1.00	3	Blanco

2.2 Caracterización de diseños de mezcla

Los diseños de mezcla evaluados son los que se indican en la Tabla 4. El valor objetivo del flujo fue de 65 ± 5 cm para cumplir la definición de concreto autocompactable, el tiempo T50 (medida indirecta de la viscosidad) máximo de 3 segundos y el contenido de aire máximo de 3% para garantizar el mínimo contenido de aire incluido naturalmente. Los diseños de mezclas tienen la misma dosificación de cemento 396 kg/m^3 y la relación agua/cemento se mantuvo constante en 0.56, la dosis de aditivo superplastificante es diferente para llegar al mismo flujo.

Tabla 5
Diseños de mezcla

Mezcla	a/c	Cemento kg/m ³	Agua kg/m ³	Arena kg/m ³	Grava 1/2" kg/m ³	Plastificante l/m ³ - (%)	Superplastificante l/m ³ (%)	Modificador de viscosidad l/m ³ (%)
SCC Superplastificante 1	0.56	396	222	1020	625	1.41 - (0.4%)	2.70 - (0.75%)	0.79 - (0.2%)
SCC Superplastificante 2	0.56	396	222	1022	626	1.41 - (0.4%)	1.8 - (0.5%)	0.79 - (0.2%)

El concreto se fabricó siguiendo el procedimiento que se muestra en la Figura 1. Los resultados de flujo fueron los esperados, 64 cm para la mezcla con el superplastificante 1. y 67 para la mezcla con el superplastificante 2. Las medidas de T50, contenido de aire fueron iguales para las dos mezclas evaluadas y cumpliendo con los límites especificados, sin embargo, la resistencia a compresión a 28 días fue mayor un 9% para la mezcla 1, estos resultados se muestran en la tabla 5.

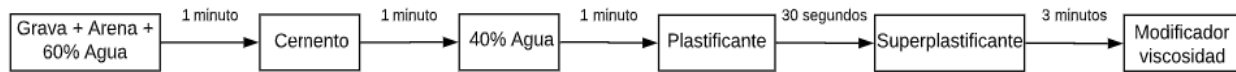


Figura 1 Preparación del concreto

Tabla 6
Resultados de ensayos a mezclas de concreto

Ensayo	Método de ensayo	Resultado	
		SCC Superplastificante 1	SCC Superplastificante 2
Flujo, cm	ASTM C1611	64	67
T50, seg	ASTM C1611	0'01"20	0'01"12
Contenido de aire, %	ASTM C231	0.90	0.60
Densidad, kg/m ³	ASTM C138	2309	2311
Resistencia a compresión a 28 días, MPa	ASTM C39	41.4	37.6

2.3 Variables evaluadas

Las variables seleccionadas para la investigación fueron: material de la formaleta, naturaleza del agente desmoldante, condiciones de curado del concreto y tipo de superplastificante. Como material de formaleta se evaluaron madera contrachapada fenólica (PP), acero laminado en caliente (HRS) y plástica (P) tal como se muestra en la figura 2. Se evaluaron cuatro alternativas de interfaz entre el concreto y la cara de contacto de la formaleta: sin desmoldante (SD), con desmoldante base aceite mineral (MO), con desmoldante base aceite vegetal (VO) y petrodiesel (D). También cuatro condiciones de curado: sin curado (SC), con agua (WC), con film plástico (PF) y con tela quirúrgica (QC) y por último dos tipos de aditivos superplastificantes, superplastificante tipo 1 (SP1) y superplastificante tipo 2 (SP2). Para la evaluación del acabado superficial de concreto para cada una de las combinaciones de las variables seleccionadas se fabricó un elemento de concreto de dimensiones 50 cm X 50 cm x 5 cm. La combinación de variables por material de formaleta puede observarse en la tabla 6. Se comprobó mediante el modelo de diseño experimental bloques aleatorios incompletos que el número de muestras y la cantidad de combinaciones es representativa del modelo experimental. Se fabricaron 32 elementos de concreto por cada material, es decir un total de 96 unidades de concreto en condiciones

controladas de laboratorio. Después de transcurridas 24 horas de fabricación cada elemento fue sometido a la condición de curado asignada durante 7 días como se muestra en la figura 3.

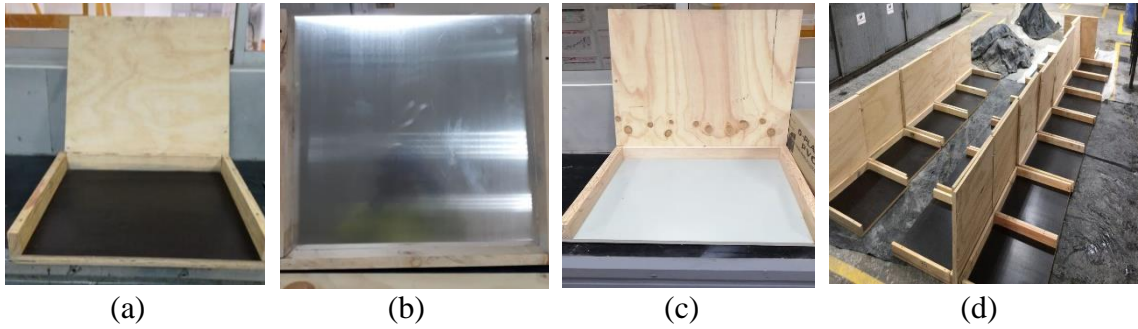


Figura 2 Formaletas evaluadas; a) madera contrachapada fenólica (PP), b) Acero laminado en caliente (HRS) c) Plástica (P), d) Total elementos madera contrachapada fenólica

Tabla 7
Combinación de variables

	Superplastificante	Desmoldante	Condición Curado	Elemento
Material	Superplastificante 1 (SP1)	Sin desmoldante (SD)	Sin Curado (SC)	1
			Con agua (WC)	2
			Con film plástico (PF)	3
			Con tela quirúrgica (QC)	4
		Base aceite mineral (MO)	Sin Curado (SC)	5
			Con agua (WC)	6
			Con film plástico (PF)	7
			Con tela quirúrgica (QC)	8
		Base aceite vegetal (VO)	Sin Curado (SC)	9
			Con agua (WC)	10
			Con film plástico (PF)	11
			Con tela quirúrgica (QC)	12
		Petrodisel (D)	Sin Curado (SC)	13
			Con agua (WC)	14
			Con film plástico (PF)	15
			Con tela quirúrgica (QC)	16
Superplastificante 2 (SP2)	Sin desmoldante (SD)	Sin Curado (SC)	17	
		Con agua (WC)	18	
		Con film plástico (PF)	19	

	Con tela quirúrgica (QC)	20
	Sin Curado (SC)	21
Base aceite mineral (MO)	Con agua (WC)	22
	Con film plástico (PF)	23
	Con tela quirúrgica (QC)	24
	Sin Curado (SC)	25
Base aceite vegetal (VO)	Con agua (WC)	26
	Con film plástico (PF)	27
	Con tela quirúrgica (QC)	28
	Sin Curado (SC)	29
Petrodisel (D)	Con agua (WC)	30
	Con film plástico (PF)	31
	Con tela quirúrgica (QC)	32

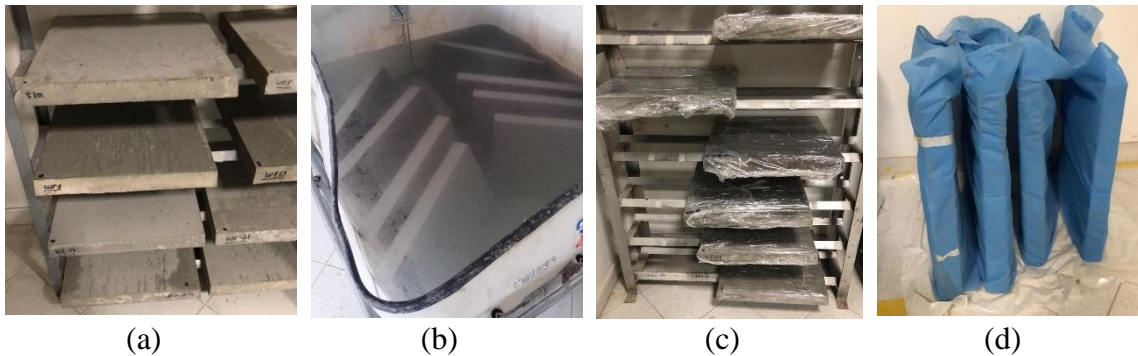


Figura 3 Elementos en curado durante 7 días; a) sin curado (SC), b) con agua (WC), c) con film plástico (PF), d) con tela quirúrgica (QC)

Después de este tiempo de curado se hizo la calificación de los elementos de acuerdo con la guía ACI 347 .3R-13 en cinco parámetros: categoría de la formaleta, textura, superficie de vacío, uniformidad de color e irregularidades superficiales. La tabla 7 expone la calificación más alta y más baja posible por categoría.

Tabla 8
Calificación por categoría

Categoría	Baja Calificación	Alta Calificación
Categoría de formaleta	FC1	FC3
Textura	T1	T4
Superficie de vacíos	SVR1	SVR4
Uniformidad de color	CU1	CU3
Irregularidades superficiales	SI1	SI4

Con estos resultados es posible clasificar el acabado superficial de concreto de cada elemento en alguna de las categorías que expone la tabla 8, en donde CSC1 corresponde a

la calidad mínima de acabado y CSC4 a alta calidad de acabado. Esta inspección es visual y se encuentra descrita en la norma de referencia. Los datos o calificaciones obtenidos se organizaron en una matriz de 96 x 6 elementos.

Tabla 9
Clasificación del acabado superficial

Categoría	Clasificación
Categoría básica del acabado	CSC1
Categoría normal de acabado	CSC 2
Categoría alta de acabado	CSC 3
Categoría muy alta de acabado	CSC 4

2.4 Correlación entre la calificación obtenida y las variables

A partir de la matriz de datos obtenida de la calificación para todos los elementos se identificó que variables influían en cada categoría de calificación. Para hacer este análisis se utilizaron dos metodologías, la primera fue el análisis de correspondencia múltiple y la segunda fue la prueba de independencia de chi cuadrado para datos categóricos nominales.

2.4.1 Análisis de correspondencia múltiple

El Análisis de correspondencia múltiple (MCA) es una técnica estadística que se utiliza para analizar, desde un punto de vista gráfico, las relaciones de dependencia e independencia de un conjunto de variables categóricas a partir de los datos de una tabla de contingencia (De la Fuente, 2011). Esto se hace a través de un análisis de componentes principales cuando las variables a analizar son categóricas y gracias a esto puede representarse en un plano cartesiano, en el plano el principio de centroide define la representación gráfica y la interpretación del análisis, ya que su fundamento radica en la asimetría de los datos. (Johs & Johs, 2018)(Hoffman & De Leeuw, 1992). En este estudio se verificó gráficamente a través del análisis MCA la relación entre las variables estudiadas y las categorías evaluadas del acabado superficial de los elementos de concreto.

2.4.2 Prueba de independencia Chi cuadrado

La prueba de independencia de Chi-cuadrado es una de las pruebas estadísticas de distribución no paramétrica más útiles para probar hipótesis cuando las variables son nominales (Mchugh, 2013). Esta prueba, compara dos conjuntos de datos para ver si existe relación entre ellos. Si existe concordancia perfecta entre los datos observados y los datos esperados, el estadístico tomará un valor igual a 0; por el contrario, si existe una gran discrepancia tomará un valor grande y, en consecuencia, se rechazará la hipótesis nula (Roldán & Fachelli, 2015). Se utilizó la prueba de chi cuadrado para confirmar las

relaciones entre las variables estudiadas y las categorías evaluadas que se observaron mediante la aplicación del MCA.

2.5 Determinación del grado de importancia de las variables

Para determinar el nivel de influencia o grado de importancia de cada variable en el acabado superficial del concreto autocompactable se utilizó el modelo de clasificación estadístico para datos categóricos de bosques aleatorios o random forest.

2.5.1 Modelo estadístico Random Forest

Random forest (RF) es un clasificador estadístico que presenta varias ventajas frente a otras metodologías como son las siguientes: 1) Alta precisión de clasificación, 2) Metodología para determinar la importancia de cada variable, 3) capacidad para modelar interacciones complejas entre las variables, y 4) Flexibilidad para realizar varios tipos de análisis de datos estadísticos, incluyendo regresión, clasificación, análisis de supervivencia y aprendizaje no supervisado. (Cutler et al., 2007). RF es uno de los algoritmos de aprendizaje automático más utilizados para la clasificación de variables categóricas, ya que hay muy pocos supuestos, por lo que la preparación de los datos es poco complicada. (Breiman, 2001) (Ishwaran, 2007). RF combina muchos árboles de clasificación para producir clasificaciones más precisas, el método está basado en la construcción de árboles de decisión que, cuando se combinan aleatoriamente, crean un ensamblaje de árboles de decisión ganando capacidad de predicción. En un árbol de decisión, cada nodo interno representa un atributo, cada rama representa un posible resultado y cada terminal denota una etiqueta o clase. (Breiman, 2001). En el algoritmo de RF, cada nodo de árboles se divide por el mejor subconjunto de predictores que fortalece la capacidad de aprendizaje del árbol, es decir, que RF ajusta muchos árboles de clasificación a un conjunto de datos y luego combina las predicciones de todos los árboles. Esta característica hace que este algoritmo de aprendizaje sea robusto contra el sobre entrenamiento, dando una ventaja sobre otros clasificadores tales como análisis discriminante y redes neuronales (Breiman, 2001)(Ishwaran, 2007). Además de esta ventaja, RF es un algoritmo simple de usar, ya que solo requiere tres hiper parámetros para funcionar: 1) El número de los árboles: el número de muestras de observación elegidas, 2) el tamaño del nodo: el número mínimo de nodos que cada árbol puede tomar al final y 3) el número de variables: es el número de atributos a considerar durante la división. (Biau & Scornet, 2016) (Liuzzi et al., 2019). La clasificación de las variables en RF puede hacerse por Mean Decrease in Accuracy y por el índice de Gini. Mean Decrease in Accuracy representa como se afecta la precisión del modelo cuando se elimina una variable, mientras que el índice de Gini está estrechamente relacionado con la función de decisión local, que utiliza el bosque aleatorio para seleccionar la mejor división disponible, por lo tanto, es una metodología más sesgada e inestable. (Geron, 2017). Para este estudio se utilizó el paquete de random forest (Liaw y

Wiener, 2004) en el software R (RCore Team, 2019) para la determinación del grado de importancia de las variables mediante Mean Decrease in Accuracy.

2.5.2 Asignación del grado de importancia

Al aplicar Mean Decrease in Accuracy se obtuvieron los porcentajes de afectación del modelo al eliminar una variable, entre mayor sea este porcentaje de afectación mayor es su importancia. Los resultados de afectación fueron normalizados con respecto al mínimo obtenido, el grado importancia se determinó asignándole un número del 1 al 4, en donde 1 es un grado de importancia mínima y 4 es un alto grado de importancia.

3. RESULTADOS EXPERIMENTALES

3.1 Calificación del acabado superficial de los elementos de concreto fabricados en laboratorio.

Después de 7 días de curado constante en la condición definida, con la temperatura y humedad relativa constante, $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ y $50\% \pm 4\%$ respectivamente, se procede a evaluar el acabado superficial del elemento. La figura 4 muestra el montaje preparado para la evaluación de los elementos.

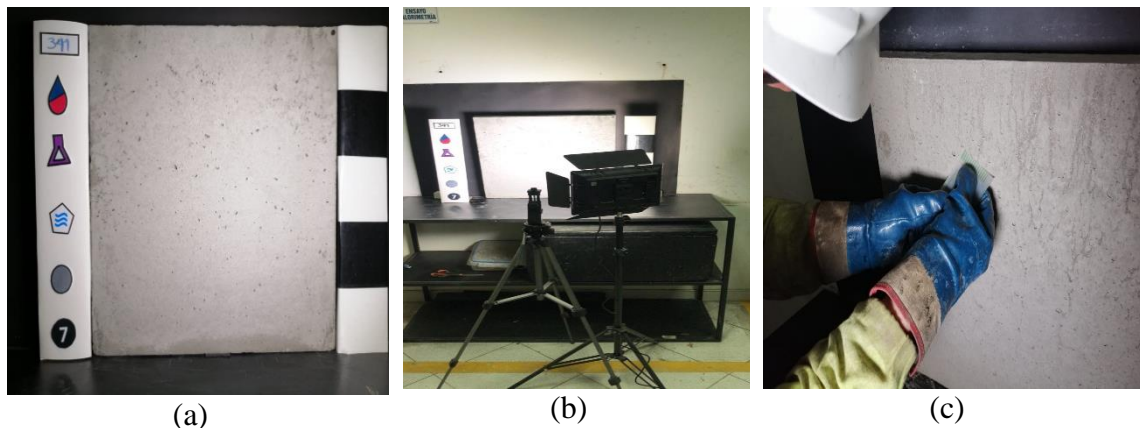


Figura 4 Evaluación de elementos; a) Identificación b) Registro fotográfico c) evaluación por categoría.

Se encontró que el acabado superficial del concreto cambia significativamente de acuerdo con el material de formaleta usado, por esta razón, se expondrán los resultados por cada tipo de material y al final de manera conjunta.

En total se tienen 552 calificaciones individuales, como ejemplo descriptivo, se exponen en la tabla 9 los resultados obtenidos con los elementos fabricados con formaleta plástica. En el anexo 1 se incluyen los resultados de los 92 elementos evaluados.

Tabla 10

Calificación y clasificación de elementos fabricados con formaleta plástica

Material	Super plastificante	Desmoldante	Curado	Textura	Vacios	Color	Irreg. superficiales	Categoría de formaleta	Clasificación
P	SP1	SD	SC	T4	SVR4	CU3	SI4	FC3	CSC4
P	SP1	SD	WC	T4	SVR4	CU1	SI4	FC3	CSC1
P	SP1	SD	PF	T4	SVR4	CU2	SI4	FC3	CSC3
P	SP1	SD	QC	T4	SVR4	CU3	SI4	FC3	CSC4
P	SP1	MO	SC	T4	SVR4	CU2	SI4	FC3	CSC3
P	SP1	MO	WC	T4	SVR4	CU1	SI4	FC3	CSC1
P	SP1	MO	PF	T4	SVR4	CU2	SI4	FC3	CSC3
P	SP1	MO	QC	T4	SVR4	CU2	SI4	FC3	CSC3
P	SP1	VO	SC	T1	SVR4	CU3	SI4	FC3	CSC1
P	SP1	VO	WC	T1	SVR4	CU1	SI4	FC3	CSC1
P	SP1	VO	PF	T1	SVR4	CU2	SI4	FC3	CSC1
P	SP1	VO	QC	T1	SVR4	CU2	SI4	FC3	CSC1
P	SP1	D	SC	T1	SVR4	CU3	SI2	FC3	CSC1
P	SP1	D	WC	T1	SVR4	CU1	SI2	FC3	CSC1
P	SP1	D	PF	T1	SVR4	CU2	SI2	FC3	CSC1
P	SP1	D	QC	T1	SVR4	CU3	SI2	FC3	CSC1
P	SP2	SD	SC	T4	SVR4	CU3	SI4	FC3	CSC4
P	SP2	SD	WC	T4	SVR4	CU1	SI4	FC3	CSC1
P	SP2	SD	PF	T4	SVR4	CU2	SI4	FC3	CSC3
P	SP2	SD	QC	T4	SVR4	CU3	SI4	FC3	CSC4
P	SP2	MO	SC	T4	SVR4	CU3	SI4	FC3	CSC4
P	SP2	MO	WC	T4	SVR4	CU1	SI4	FC3	CSC1
P	SP2	MO	PF	T4	SVR4	CU2	SI4	FC3	CSC3
P	SP2	MO	QC	T4	SVR4	CU3	SI4	FC3	CSC4
P	SP2	VO	SC	T4	SVR4	CU3	SI4	FC3	CSC4
P	SP2	VO	WC	T4	SVR4	CU1	SI4	FC3	CSC1
P	SP2	VO	PF	T4	SVR4	CU2	SI4	FC3	CSC3
P	SP2	VO	QC	T4	SVR4	CU3	SI4	FC3	CSC4
P	SP2	D	SC	T1	SVR3	CU3	SI2	FC3	CSC1
P	SP2	D	WC	T1	SVR3	CU1	SI2	FC3	CSC1
P	SP2	D	PF	T1	SVR3	CU2	SI2	FC3	CSC1
P	SP2	D	QC	T1	SVR3	CU3	SI2	FC3	CSC1

3.1.1 Calificación del acabado superficial de los elementos fabricados con formaleta de madera contrachapada fenólica (PP)

La tabla 10 presenta cada una de las variables y las categorías de calificación, con una X se representa si la variable tuvo un impacto en la calificación, de acuerdo a la calificación visual.

Tabla 11
Impacto en la calificación material de formaleta PP

	Material de formaleta: Madera				Categoría de formaleta	Clasificación
	Textura	Superficie de vacíos	Uniformidad de color	Irregularidades superficiales		
Superplastificante	X	-	-	X	X	X
Desmoldante	X	X	-	X	-	X
Curado	-	-	X	-	-	-

De acuerdo con la tabla anterior se evidencia que las variables que impactan la calificación de textura e irregularidades superficiales son el tipo de aditivo superplastificante y la naturaleza del agente desmoldante. En la categoría de superficie de vacíos la variable que determina la calificación es la naturaleza del agente desmoldante. En la uniformidad de color la variable que determina la calificación es la condición de curado: En la categoría de la formaleta lo hace el tipo de superplastificante usado en la mezcla de concreto. En la clasificación de la categoría del elemento, es decir, su calidad, las variables que la determinan son: el tipo de superplastificante y la naturaleza del agente desmoldante. La figura 5 muestra gráficamente los resultados obtenidos del análisis estadístico MCA donde se corrobora la dependencia de los resultados en la clasificación con cada una de las variables.

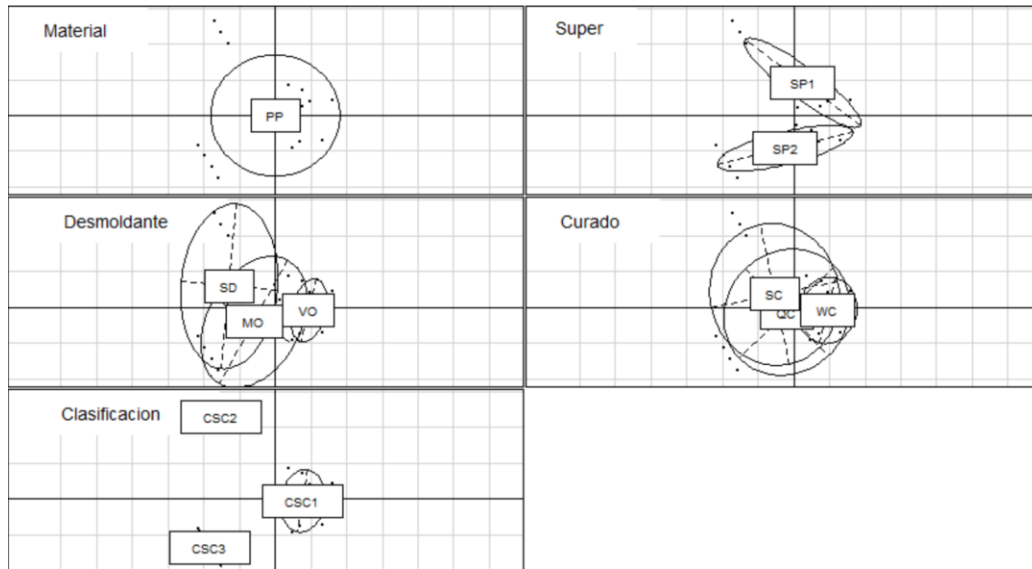


Figura 5 Resultados método MCA material de formaleta PP

La tabla 11 presenta los resultados de la aplicación de la prueba de independencia Chi - cuadrado para las variables y las categorías de calificación. Estos resultados confirman que todas las correlaciones encontradas visualmente y con MCA presentan un coeficiente de correlación p menor a 0.05, es decir, que hay al menos un 95% de confiabilidad de estas correlaciones.

Tabla 12

Coefficiente de correlación P material de formaleta PP

p-value	Textura	Superficie Vacios	Uniformidad de color	Irregularidades superficiales	Categoría de formaleta	Clasificación
Superplastificante	0.004	0.264	0.904	0.001	0.000	0.006
Desmoldante	0.001	0.000	0.113	0.000	1.000	0.010
Curado	0.995	1.000	0.000	1.000	1.000	0.465

Al aplicar la metodología de bosques aleatorios se obtiene el porcentaje de afectación del modelo cuando se elimina cada variable. La tabla 12 presenta estos porcentajes, los resultados normalizados al mínimo porcentaje y la asignación del grado de importancia.

Tabla 13

Definición del grado de importancia material de formaleta PP

Formaleta PP	Mean Decrease Accuracy		
	GI (%)	GI (%) (normalizado)	Grado de importancia
Superplastificante	17.1	3.71	2
Desmoldante	23.5	5.09	3
Curado	4.6	1.00	1

Como se observa en la tabla 12, en el caso de tener formaleta PP la variable con mayor importancia en el acabado superficial de concreto autocompactante es la naturaleza del agente desmoldante. Esta naturaleza afecta la textura, la superficie de vacíos y las irregularidades superficiales. La siguiente variable en grado de importancia es el tipo de superplastificante usado e influye en la textura, las irregularidades superficiales y la categoría de la formaleta. La variable con menor importancia es la condición de curado.

3.1.2 Calificación del acabado superficial de los elementos fabricados con formaleta de acero laminado en caliente (HRS)

La tabla 13 presenta representado con una X el impacto de cada variable en cada categoría de calificación.

Tabla 14

Impacto en la calificación material de formaleta HRS

	Material de formaleta: Metal				Categoría de formaleta	Clasificación
	Textura	Superficie de vacíos	Uniformidad de color	Irregularidades superficiales		
Superplastificante	-	-	-	X	-	-
Desmoldante	X	X	-	X	X	X
Curado	-	-	X	-	-	-

La naturaleza del agente desmoldante impacta de forma única la calificación en la categoría de textura, superficie de vacíos y categoría de la formaleta. En el caso de las irregularidades superficiales las variables que impactan la calificación son el tipo de aditivo superplastificante y la naturaleza del agente desmoldante. En la categoría uniformidad de color la variable que determina la calificación es la condición de curado y en la categoría de la formaleta lo hace el tipo de superplastificante usado en la mezcla de concreto. En la clasificación de la categoría del elemento, es decir, su calidad la única variable que influye es la naturaleza del agente desmoldante. La figura 6 muestra gráficamente los resultados obtenidos del análisis estadístico MCA donde se corrobora la dependencia de los resultados en la clasificación con cada una de las variables.

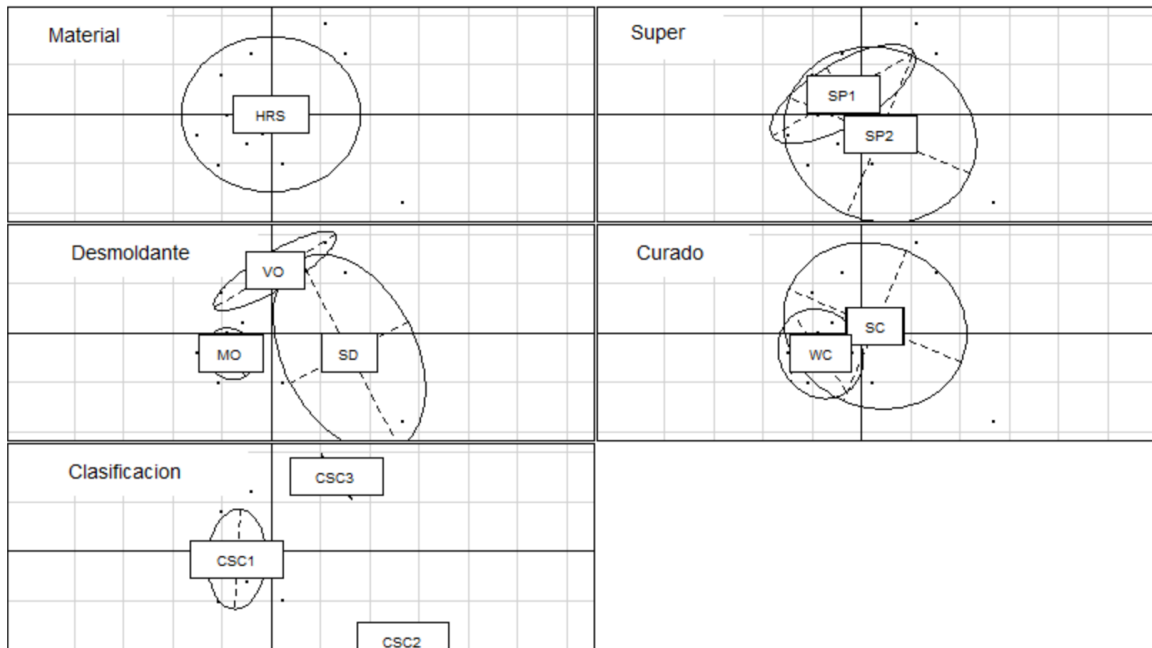


Figura 6 Resultado método MCA material de formaleta HRS

La tabla 14 presenta los resultados de la aplicación de la prueba de independencia Chi - cuadrado para las variables y las categorías de calificación. Estos resultados confirman que todas las correlaciones encontradas visualmente y con MCA presentan un coeficiente de correlación p menor a 0.05, es decir, que hay al menos un 95% de confiabilidad de estas correlaciones.

Tabla 15
Coeficiente de correlación P material de formaleta HRS

p-value	Textura	Superficie Vacios	Uniformidad de color	Irregularidades superficiales	Categoría de formaleta	Clasificación
Superplastificante	0.264	1.000	1.000	0.026	1.000	0.184
Desmoldante	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.004
Curado	1.000	1.000	0.000	1.000	1.000	0.653

La tabla 15 presenta los porcentajes obtenidos del análisis de bosques aleatorios, también presenta los resultados normalizados al mínimo porcentaje y la asignación del grado de importancia.

Tabla 16

Definición del grado de importancia material de formaleta HRS

Formaleta HRS	Mean Decrease Accuracy		
	GI (%)	GI (%) (normalizado)	Grado de importancia
Superplastificante	20.64	9.56	2
Desmoldante	35.06	16.23	3
Curado	2.16	1.00	1

Cuando se fabrican elementos con formaleta HRS la variable con mayor importancia en el acabado superficial de concreto autocompactante es la naturaleza del agente desmoldante, esta naturaleza afecta cuatro de las cinco categorías evaluadas. La siguiente variable en grado de importancia es el tipo de superplastificante usado, esta solo impacta la categoría de irregularidades superficiales. La variable con menor importancia es la condición de curado. Para este tipo de formaleta el grado de impacto de las variables es igual al obtenido con la formaleta PP.

3.1.3 Calificación del acabado superficial de los elementos fabricados con formaleta de plástico (P).

La tabla 16 presenta representado con una X el impacto de cada variable en cada categoría de calificación.

Tabla 17

Impacto en la calificación material de formaleta P

	Material de formaleta: Plástico				Categoría de formaleta	Clasificación
	Textura	Superficie de vacios	Uniformidad de color	Irregularidades superficiales		
Superplastificante	-	-	-	-	-	-
Desmoldante	X	X	-	X	-	X
Curado	-	-	X	-	-	X

Al usar formaleta P ninguna variable afecta la categoría de formaleta. En el caso de la uniformidad de color la única variable que la afecta es la condición de curado, este comportamiento se observó con los tres materiales de formaleta. La naturaleza del agente desmoldante afecta las demás categorías. El tipo de superplastificante no es una variable que afecte el acabado superficial del concreto. La figura 7 muestra gráficamente los resultados obtenidos del análisis estadístico MCA donde se corrobora la dependencia de los resultados en la clasificación con cada una de las variables.

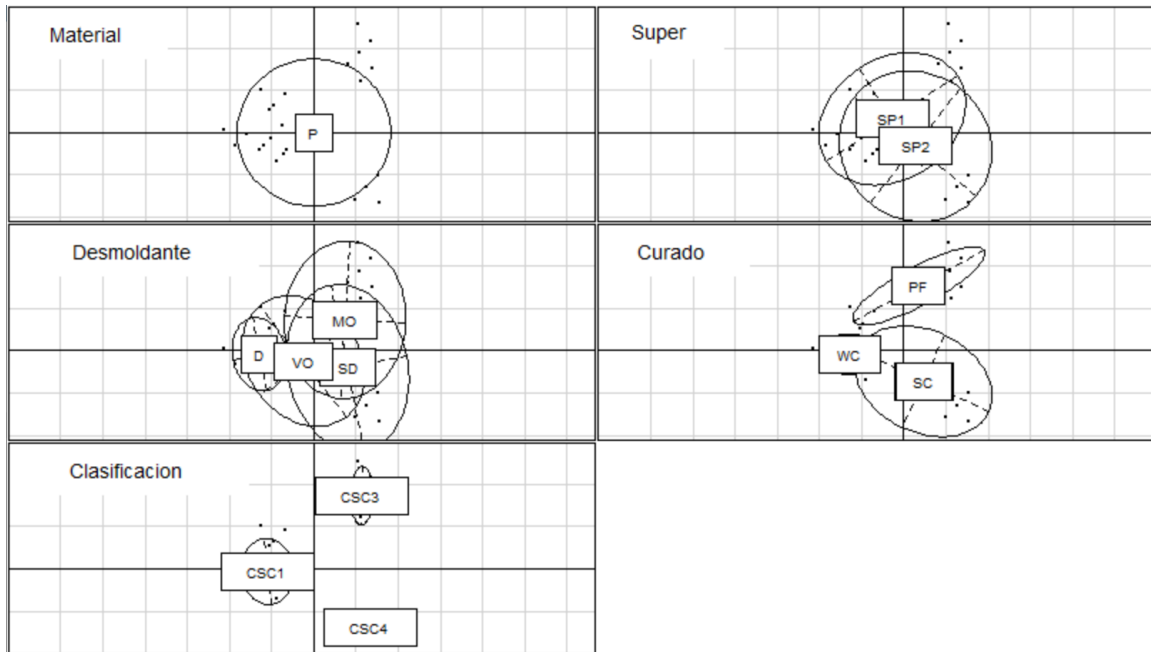


Figura 7 Resultado método MCA material de formaleta P

La tabla 17 presenta los resultados de la aplicación de la prueba de independencia Chi - cuadrado para las variables y las categorías de calificación. Estos resultados confirman que todas las correlaciones encontradas visualmente y con MCA presentan un coeficiente de correlación p menor a 0.05, es decir, que hay al menos un 95% de confiabilidad de estas correlaciones.

Tabla 18
Coeficiente de correlación P material de formaleta P

p-value	Textura	Superficie Vacios	Uniformidad de color	Irregularidades superficiales	Categoría de formaleta	Clasificación
Superplastificante	0.273	0.109	0.470	1.000	1.000	0.263
Desmoldante	0.000	0.003	0.933	0.000	1.000	0.022
Curado	1.000	1.000	0.000	1.000	1.000	0.002

En la tabla 18 se presenta el grado de importancia para cada una de las variables.

Tabla 19

Definición del grado de importancia material de formaleta P

Formaleta P	Mean Decrease Accuracy		
	GI (%)	GI (%) (normalizado)	Grado de importancia
Superplastificante	3.28	1.00	1
Desmoldante	15.54	4.74	2
Curado	15.97	4.87	3

En este caso la variable con mayor importancia es la condición se curado, seguida por la naturaleza del agente desmoldante y por último el tipo de superplastificante usado.

3.1.4 Calificación del acabado superficial de todos los elementos fabricados

Después de hacer la evaluación aislando la variable material de la formaleta, se presentan los resultados en los cuales se incluye la evaluación de las cuatro variables: material de formaleta, tipo de superplastificante, naturaleza de desmoldante y condición de curado. En la tabla 19 se presentan los resultados de la evaluación visual representado con una X el impacto de cada variable en cada categoría de calificación.

Tabla 20

Impacto en la calificación de cada una de las variables

	Textura	Superficie de vacíos	Uniformidad de color	Irregularidades superficiales	Categoría de formaleta	Clasificación
M. Formaleta	X	X	-	X	X	X
Superplastificante	-	-	-	X	X	-
Desmoldante	X	X	-	X	X	X
Curado	-	-	X	-	-	X

Visualmente se evidencia que la variable como material de formaleta y la naturaleza del agente desmoldante impactan la calificación de textura, superficie de vacíos, irregularidades superficiales y categoría de la formaleta. El agente superplastificante impacta la calificación de irregularidades superficiales y la categoría de la formaleta, mientras que la condición de curado únicamente impacta la calificación de la uniformidad de color, sin embargo, en la clasificación todas las variables impactan excepto el tipo de aditivo superplastificante. La figura 8 presenta los resultados del análisis MCA en donde se evidencia que, aunque se observan las correlaciones entre las variables y la calificación no se ven diferencias muy claras, excepto la de la formaleta P.

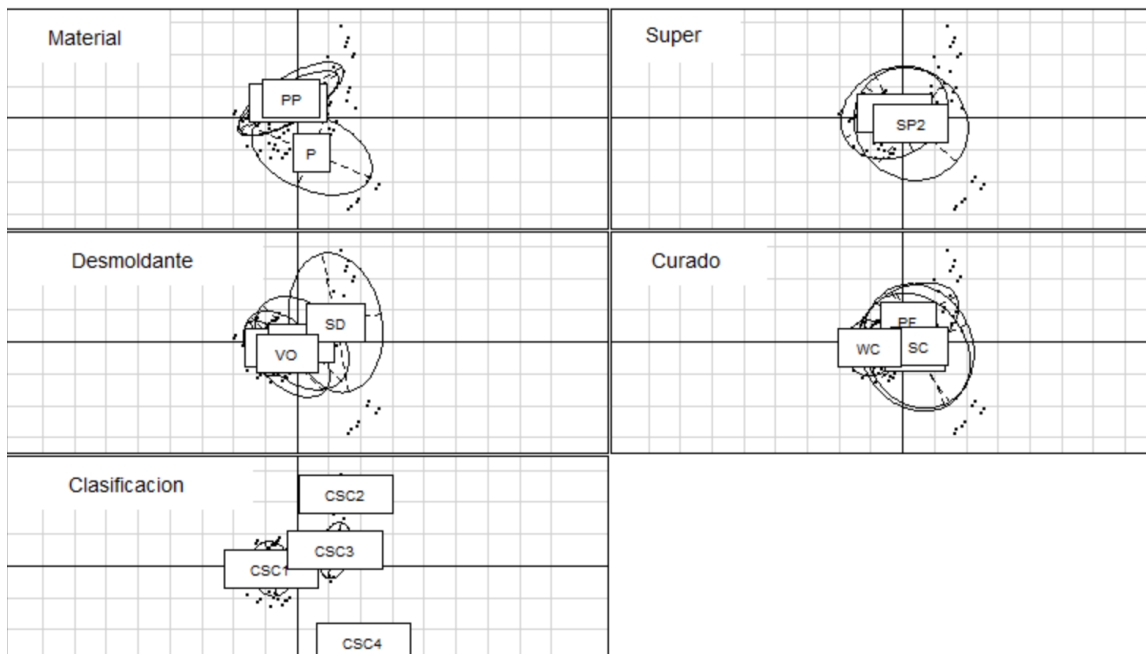


Figura 8 Resultado método MCA para todas las variables

La tabla 20 muestra el coeficiente de correlación de chi cuadrado

Tabla 21

Coeficiente de correlación P para todas las variables

p-value	Textura	Superficie de vacios	Uniformidad de color	Irregularidades superficiales	Categoría de formaleta	Clasificación
Material	0.000	0.000	0.136	0.000	0.000	0.002
Superplastificante	0.429	1.000	0.641	0.057	0.001	0.213
Desmoldante	0.000	0.000	0.449	0.000	0.007	0.000
Curado	1.000	1.000	0.000	1.000	1.000	0.002

Al aplicar la metodología de Random Forest para determinar el grado de importancia de las variables en el acabado superficial de la superficie de concreto se obtuvieron los resultados expuestos en la tabla 21.

Tabla 22

Definición del grado de importancia para todas las variables

Todas las variables	Mean Decrease Accuracy		
	GI (%)	GI (%) (normalizado)	Grado de importancia
Material	27.76	1.38	3
Superplastificante	20.46	1.02	2
Desmoldante	38.11	1.90	4
Curado	20.08	1.00	1

Al hacer el análisis de todas las variables se evidencia que la variable más importante para el acabado superficial de la superficie de concreto es la naturaleza del desmoldante seguida por el material de la formaleta. Las dos variables con menor importancia son el tipo de superplastificante y la condición de curado.

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Es posible determinar el grado de importancia de las variables estudiadas cuando se combinan entre ellas, a continuación, y partiendo de los resultados expuestos en la tabla 21 se expone el efecto de cada variable en la superficie de los elementos evaluados:

4.1.1 Naturaleza del agente desmoldante:

En el estudio se evaluaron tres naturalezas de agente desmoldante: sin desmoldante (SD), con desmoldante base aceite mineral (MO), con desmoldante base aceite vegetal (VO) y petrodiesel (D). Se encontró que esta variable tiene el mayor grado de importancia (4) en la clasificación del acabado superficial. Al usar naturaleza de desmoldante D se encontró que todos los elementos tuvieron una clasificación de CSC1, es decir, la categoría más baja de clasificación. La figura 9 expone los elementos con desmoldante D, diferente tipo de formaleta, misma condición de curado SC y mismo superplastificante SP1.



Figura 9 Desmoldante D - Superplastificante SP1 – Curado SC; a) Formaleta PP (CSC1), b) Formaleta HRS (CSC1), c) formaleta P(CSC1).

Al usar el desmoldante MO y formaleta PP la clasificación del acabado superficial depende del tipo de superplastificante usado. Con el superplastificante SP1 los elementos tuvieron una menor clasificación frente a los elementos que estaba fabricados con el superplastificante SP2. La figura 10 muestra los elementos fabricados con desmoldante MO, formaleta PP y con superplastificante SP1 para las diferentes condiciones de curado. La figura 11 muestra los mismos elementos fabricados con superplastificante 2.

Al usar desmoldante MO con formaleta HRS todos los elementos tuvieron la calificación mínima CSC1. Al usar la formaleta P con este desmoldante, se presenta el mismo comportamiento observado con la formaleta de madera, en donde, los elementos con superplastificante 1 tuvieron la menor calificación.

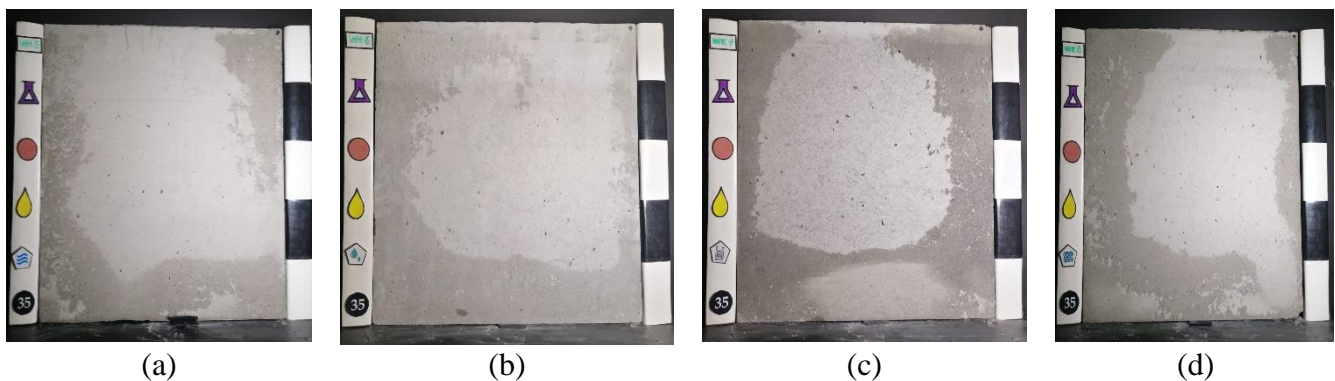
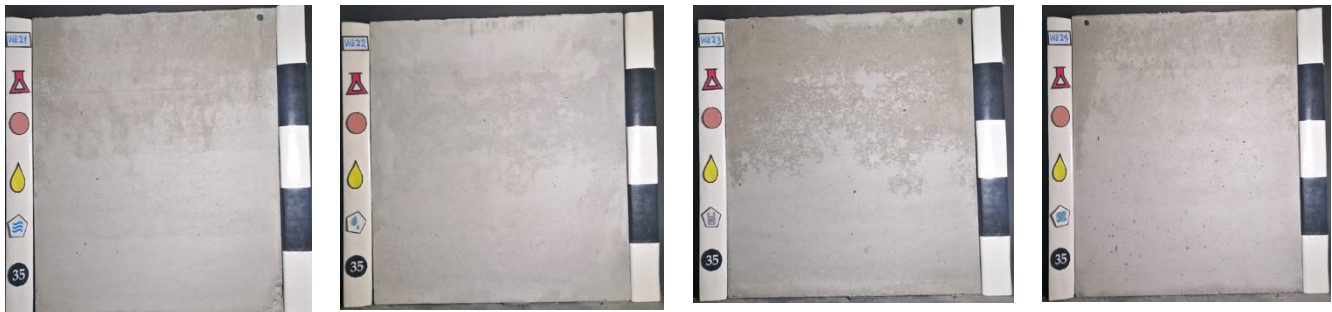


Figura 10. Desmoldante MO – Formaleta PP – Superplastificante SP1; a) Curado SC (CSC2), b) Curado WC (CSC1), c) Curado PF (CSC1), d) Curado QC (CSC2).



(a) (b) (c) (d)
Figura 11. Desmoldante MO – Formaleta PP – Superplastificante SP2; a) Curado SC (CSC3), b) Curado WC (CSC1), c) Curado PF (CSC3), d) Curado QC (CSC3)

Cuando se usó desmoldante VO y formaleta PP todas las calificaciones fueron CSC1 independiente del tipo superplastificante y la condición de curado, mientras que, al usar formaleta HRS y P, se obtuvo mejor calificación cuando se usó el superplastificante 2.

Cuando no se usó desmoldante en los elementos con PP, se obtuvieron mejores calificaciones cuando se usó el superplastificante 2. En los elementos con formaleta HRS las mejores calificaciones fueron cuando se usó el superplastificante 1. Cuando se usó formaleta P las calificaciones fueron independientes del tipo de superplastificante usado. Lo evidenciado en esta investigación refuta lo afirmado por Megid pues en ausencia de un agente desmoldante no en todos los casos se alteró la superficie del concreto (Megid & Khayat, 2018), sin embargo, confirma que la calidad del acabado superficial está directamente relacionada con la interacción entre el agente desmoldante y el material de formaleta. (Megid & Khayat, 2018). Libessart encontró que los agentes desmoldantes con base en origen mineral, presentan un mejor desempeño frente a los agentes con base en origen vegetal, en este estudio se demuestra que aunque el agente desmoldante es la variable con mayor importancia su desempeño depende del material de formaleta usado y el tipo de superplastificante empleado tal como lo confirma Bouharoun. (Bouharoun et al., 2013) (Libessart et al., 2014). De la misma forma la Guía ACI 3403 -04 no recomienda el uso de agentes desmoldantes con base en aceite mineral para concretos con especificación de acabado superficial (ACI Committee 303, 2004) , sin embargo, este estudio demostró que se pueden tener elementos con alta especificación de acabado con el uso de este tipo de desmoldantes, siempre y cuando se elija una correcta combinación de variables.

4.1.2 Material de formaleta

De acuerdo con lo expuesto en el numeral 3.1.1 al usar formaleta PP las variables que determinan la calificación son la naturaleza del agente desmoldante y el tipo de aditivo superplastificante. Los mejores resultados se obtuvieron al usar desmoldante MO y SD cuando se usa el superplastificante SP2. La figura 12 expone los elementos fabricados con formaleta P, agente desmoldante OM, condición de curado SC y con los dos tipos de

superplastificante. Al tener las mismas variables, el agente desmoldante MO y el superplastificante SP2, se obtiene mejor calificación en textura, superficie de vacíos, irregularidades superficiales y superficie de la formaleta.



Figura 12 Formaleta PP – Desmoldante MO – Curado SC; a) Superplastificante SP1 (CSC2), b) Superplastificante SP2 (CSC3)

Al usar formaleta HRS el grado de importancia de las variables es el mismo que en el caso de la formaleta de P, sin embargo, en este caso la mejor calificación se obtiene al usar naturaleza de agente desmoldante de VO y superplastificante SP2.

Con el uso de formaleta P la variable con mayor importancia es la condición de curado, seguida por el agente desmoldante. La condición de curado impacta significativamente el color de cada elemento, la peor clasificación del acabado superficial del concreto se obtiene con el curado WC. Para evaluar cual es la mejor calificación debe tenerse en cuenta la naturaleza del agente desmoldante y el superplastificante usado. Las mejores calificaciones se obtuvieron cuando no se usa desmoldante, independientemente del superplastificante usado y con un curado SC o QC. También se obtiene una mejor calificación cuando se usa el superplastificante SP2, agente desmoldante MO y VO con curado SC y QC.

El uso de formaleta P es la única variable que permite tener el mayor grado de clasificación del acabado superficial de concreto CSC4. Se confirma lo expuesto por Megid que demostró que las formaleta no porosas y que incluyen muchos polímeros (plástico) y acero, producen las mejores superficies, esta afirmación también la hace la Guía ACI 303-04 (Megid & Khayat, 2018) (ACI Committee 303, 2004). También se confirma que el material de la formaleta afecta el comportamiento del concreto y su capacidad para deslizarse sobre ella, traduciéndose a diferencias de acabado superficial de la superficie del concreto (Aïssoun et al., 2017).

4.1.3 Tipo de superplastificante

En todos los casos, es decir para los tres tipos de formaletas, los elementos fabricados con ambos superplastificantes y con desmoldante de VO y D se obtuvo la clasificación de acabado superficial más baja.

Para los elementos de formaleta PP fabricados con el superplastificante SP2 y sin desmoldante o con desmoldante MO se obtuvo la calificación más alta CSC 3. Los elementos fabricados con formaleta HRS tuvieron mejor clasificación cuando fueron fabricados con superplastificante SP1 y sin desmoldante. En el caso de los elementos con formaleta P el superplastificante no tiene importancia en la clasificación del acabado superficial, este hallazgo contradice lo que evidencio Bouharoun ya que el encontró que el efecto del superplastificante es despreciable cuando se usa desmoldante de aceite vegetal pero muy importante cuando se usa desmoldante de aceites minerales (Bouharoun, De Caro, Dubois, Djelal, & Vanhove, 2013).

4.1.4 Condición de curado

Se obtuvo la calificación del acabado superficial más baja cuando la condición de curado fue WC ya que se vio significativamente afectada la categoría de uniformidad de color. En todos estos elementos se evidencio polvo en la superficie, característica prohibida en elementos a la vista. La figura 13 muestra cómo se evidencia el polvo sobre la superficie. La guía ACI 303 también recomienda limitar el curado con agua solo a elementos de concreto con relación agua/cemento menores a 0.4 (ACI Committee 303, 2004). Debe evaluarse el impacto en el desarrollo de las propiedades mecánicas del concreto al no curar y tomar precauciones como incluir un factor de seguridad en la especificación de la resistencia a la compresión del concreto y/o usar tecnología de concreto autocurable para evitar fisuración por retracción plástica.

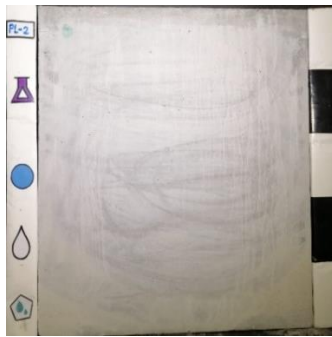


Figura 13 Formaleta P – Superplastificante SP1 – Sin desmoldante - Curado WC

Al curar con PF la calificación en la categoría de uniformidad de color es la misma, es decir, que esto no impacta en la clasificación final de los elementos. Lo mismo sucede al curar con QC para los elementos fabricados con HRS y P todos obtienen la misma calificación en uniformidad de color, la recomendación del ACI 303 es hacer este tipo de curado cuando los elemento aún se encuentre húmedos. (ACI Committee 303, 2004). En todos los casos la clasificación final de los elementos depende de la combinación de las otras variables ya que esta variable es la que menor importancia tiene de acuerdo al estudio realizado.

4.2 Mejor combinación de variables

La tabla 22 presenta un resumen de las combinaciones de variables para cada material de la formaleta que permiten alta clasificación del acabado superficial de los elementos de concreto autocompactado (CSC3 o CSC4).

Tabla 23
Combinación de variables con mejor clasificación de acabado superficial

Material de formaleta	Tipo de Superplastificante	Naturaleza de agente desmoldante	Condición Curado	Clasificación
PP	SP2	SD	SC	CSC3
PP	SP2	SD	PF	CSC3
PP	SP2	SD	QC	CSC3
PP	SP2	MO	SC	CSC3
PP	SP2	MO	PF	CSC3
PP	SP2	MO	QC	CSC3
HRS	SP1	SD	SC	CSC3
HRS	SP1	SD	PF	CSC3
HRS	SP1	SD	QC	CSC3
HRS	SP2	VO	SC	CSC3
HRS	SP2	VO	PF	CSC3
HRS	SP2	VO	QC	CSC3
P	SP1	SD	SC	CSC4
P	SP1	SD	PF	CSC3
P	SP1	SD	QC	CSC4
P	SP1	MO	SC	CSC3
P	SP1	MO	PF	CSC3
P	SP1	MO	QC	CSC3
P	SP2	SD	SC	CSC4
P	SP2	SD	PF	CSC3
P	SP2	SD	QC	CSC4
P	SP2	MO	SC	CSC4
P	SP2	MO	PF	CSC3
P	SP2	MO	QC	CSC4
P	SP2	VO	SC	CSC4
P	SP2	VO	PF	CSC3
P	SP2	VO	QC	CSC4

De acuerdo a lo expuesto en la tabla anterior la calidad CSC4, la máxima clasificación de acabado superficial de concreto a la vista solo es posible lograrla con formaleta plástica (P).

La figura 14 expone los elementos que lograron la clasificación CSC4 en este estudio.

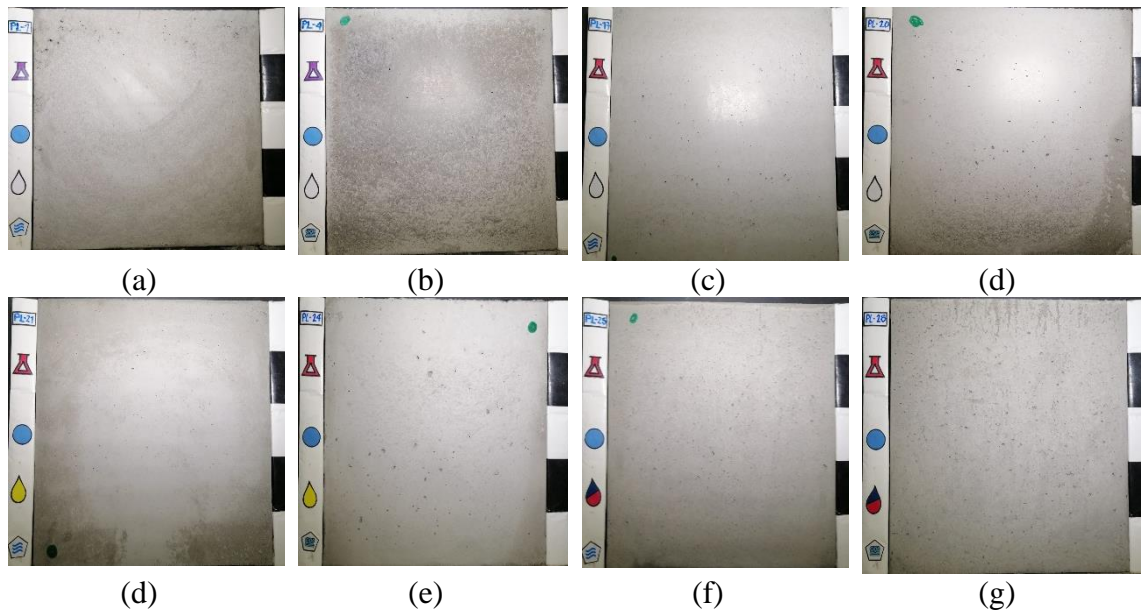


Figura 14 Elementos con mejor clasificación; a) Superplastificante SP1- SD – SC, b) Superplastificante SP1- SD – QC, c) Superplastificante SP2 - SD – SC, d) Superplastificante SP2 - SD – QC, e) Superplastificante SP2 – MO – SC, f) Superplastificante SP2 – MO – QC, g) Superplastificante SP2 – VO – SC, h) Superplastificante SP2 – VO – QC.

5. CONCLUSIONES

Este estudio ha confirmado que la calidad del acabado superficial depende de la combinación de las variables estudiadas y no de una sola variable. De esta forma ha sido posible asignarle un grado de importancia a cada una de estas, y también se ha comprobado que:

- El agente desmoldante es la variable con mayor grado de importancia en el acabado superficial de la superficie de concreto, seguida por el material de la formaleta, el tipo de superplastificante y la condición de curado.
- El grado de importancia de las variables puede determinarse también dependiendo del tipo de formaleta usada, en este caso las variables con mayor grado de importancia para formaletas de madera contrachapada fenólica (PP) y de acero laminado en caliente (HRS) son el agente desmoldante y el tipo de superplastificante respectivamente y para formaletas plásticas (P) fue la condición de curado y el agente desmoldante usado.

- La mejor calidad del acabado superficial fue obtenida con formaleta plástica (P) y fue determinada por la condición de curado.
- El uso de Petrodisel (D) como agente desmoldante y el curado con agua (WC) siempre arrojó como resultado la calidad más baja de acabado superficial, independientemente de la combinación de las demás variables.

6. AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi agradecimiento a los directores de este trabajo de investigación, Dr. Yezid Alvarado Vargas, Dr. Andres Torres Avello y al Dr. German Hermida Barrera, por la dedicación y apoyo que han brindado a este trabajo, por el respeto a mis sugerencias e ideas y por la dirección y el rigor que ha facilitado a las mismas. Gracias por la confianza ofrecida. También ofrezco mis agradecimientos a Cemex Colombia por el patrocinio de esta investigación y por brindarme los recursos físicos y económicos para las pruebas de laboratorio. Al equipo del laboratorio de tecnología Cemex por su impecable trabajo, compromiso y rigurosidad.

7. REFERENCIAS

- ACI 347.3R-13. (2013). *Guide to formed concrete surfaces*.
- ACI Committee 303. (2004). *Guide to Cast-in-Place Architectural Concrete Practice* (pp. 1–32). pp. 1–32. <https://doi.org/10.14359/7116>
- ACI Committee 309. (1998). *Identification and Control of Visible Effects of Consolidation on Formed Concrete Surfaces Reported by ACI Committee 309*. 1–11.
- Aïssoun, B. M., Gallias, J. L., & Khayat, K. H. (2017). Influence of formwork material on transport properties of self-consolidating concrete near formed surfaces. *Construction and Building Materials*, *146*, 329–337. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.04.104>
- Biau, G., & Scornet, E. (2016). A random forest guided tour. *Test*, *25*(2), 197–227. <https://doi.org/10.1007/s11749-016-0481-7>
- Bouharoun, S., De Caro, P., Dubois, I., Djelal, C., & Vanhove, Y. (2013). Effect of a superplasticizer on the properties of the concrete/oil/formwork interface. *Construction and Building Materials*, *47*, 1137–1144. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.05.029>
- Breiman, L. (2001). *Random Forest*. 1–33.
- Cutler, D. R., Edwards, T. C., Beard, K. H., Cutler, A., Hess, K. T., Gibson, J., & Lawler, J. J. (2007). Random forests for classification in ecology. *Ecology*, *88*(11), 2783–2792. <https://doi.org/10.1890/07-0539.1>
- De la Fuente, F. . (2011). Análisis de Correspondencias Santiago de la Fuente Fernández. *Fac. Ciencias Económicas y Empresariales*, 58.
- Djelal, C., De Caro, P., Libessart, L., Dubois, I., & Pébère, N. (2008). Comprehension of

- demoulding mechanisms at the formwork/oil/concrete interface. *Materials and Structures/Materiaux et Constructions*, 41(3), 571–581.
<https://doi.org/10.1617/s11527-007-9268-3>
- Geron, A. (2017). *Hands-on machine learning with Scikit-Learn and TensorFlow: concepts, tools, and techniques to build intelligent systems*. O'Reilly Media Inc.
- Heinemann, H. A. (2017). Colour alterations of historic concrete surfaces during the Dutch Interwar Period. *Case Studies in Construction Materials*, 7(July), 207–216.
<https://doi.org/10.1016/j.cscm.2017.08.001>
- Hoffman, D. L., & De Leeuw, J. (1992). Interpreting multiple correspondence analysis as a multidimensional scaling method. *Marketing Letters*, 3(3), 259–272.
<https://doi.org/10.1007/BF00994134>
- Ishwaran, H. (2007). Variable importance in binary regression trees and forests. *Electronic Journal of Statistics*, 1, 519–537. <https://doi.org/10.1214/07-EJS039>
- Javier, F., Saorin, B., Parra, C., Mi, I., & Valcuende, M. (2020). *Quality of the surface finish of self-compacting concrete* (Vol. 28). Vol. 28.
<https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.101068>
- Johs, H., & Johs, H. (2018). Multiple correspondence analysis. *Multiple Correspondence Analysis For The Social Sciences*, (January), 31–55.
<https://doi.org/10.4324/9781315516257-3>
- Klovas, A., & Daukšys, M. (2013). The influence of form release agent application to the quality of concrete surfaces. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 47(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/47/1/012061>
- Kwasny, J., Sonebi, M., Plasse, J., & Amziane, S. (2015). Influence of rheology on the quality of surface finish of cement-based mortars. *Construction and Building Materials*, 89, 102–109. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.03.111>
- Lemaire, G., Escadeillas, G., & Ringot, E. (2005). Evaluating concrete surfaces using an image analysis process. *Construction and Building Materials*, 19(8), 604–611.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2005.01.025>
- Libessart, L., De Caro, P., Djelal, C., & Dubois, I. (2015). Correlation between adhesion energy of release agents on the formwork and demoulding performances. *Construction and Building Materials*, 76, 130–139.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.11.061>
- Libessart, L., Djelal, C., & De Caro, P. (2014). Influence of the type of release oil on steel formwork corrosion and facing aesthetics. *Construction and Building Materials*, 68, 391–401. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.06.065>
- Liu, B., & Yang, T. (2017). Image analysis for detection of bugholes on concrete surface. *Construction and Building Materials*, 137, 432–440.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.01.098>
- Liuzzi, M., Aravena Pelizari, P., Geiß, C., Masi, A., Tramutoli, V., & Taubenböck, H. (2019). A transferable remote sensing approach to classify building structural types for seismic risk analyses: the case of Val d'Agri area (Italy). *Bulletin of Earthquake Engineering*, 17(9), 4825–4853. <https://doi.org/10.1007/s10518-019-00648-7>

- Mchugh, M. L. (2013). The Chi-square test of independence Lessons in biostatistics. *Biochemia Medica*, 23(2), 143–149. <https://doi.org/10.11613/BM.2013.018>
- Megid, W. A., & Khayat, K. H. (2018). Effect of concrete rheological properties on quality of formed surfaces cast with self-consolidating concrete and superworkable concrete. *Cement and Concrete Composites*, 93(March), 75–84. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2018.06.016>
- Megid, W. A., & Khayat, K. H. (2020). Variations in surface quality of self-consolidation and highly workable concretes with formwork material. *Construction and Building Materials*, 238, 117638. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117638>
- Ozkul, T., & Kucuk, I. (2011). Design and optimization of an instrument for measuring bughole rating of concrete surfaces. *Journal of the Franklin Institute*, 348(7), 1377–1392. <https://doi.org/10.1016/j.jfranklin.2010.04.004>
- Palacio, R., & Figueroa, T. (2009). PATOLOGÍAS, CAUSAS Y SOLUCIONES DEL CONCRETO ARQUITECTÓNICO EN MEDELLÍN. *Eia, Issn 1794-1237*, (10), 121–130.
- Roldán, P., & Fachelli, S. (2015). Análisis de tablas de contingencia. *Metodología de La Investigación Social Cuantitativa*, cap. III.6. Retrieved from <https://ddd.uab.cat/record/131469/export/ht>
- Sadowski, Ł., & Mathia, T. G. (2016). Multi-scale metrology of concrete surface morphology: Fundamentals and specificity. *Construction and Building Materials*, 113, 613–621. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.03.099>

6. Conclusiones y trabajo futuro

En el presente estudio se realizó la caracterización de dos diseños de concreto autocompactable de dicha caracterización y diseño se concluye:

- Al usar superplastificantes con dos tipos policarboxilatos, la dosis requerida para lograr el mismo flujo libre fue diferente. Entre menor dosis mayor es el poder de dispersión de los policarboxilatos.
- La adición de superplastificante no incrementa el contenido de aire en la mezcla de concreto.
- Los dos diseños de concreto fabricado cumplen la especificación de flujo libre para concretos autocompactables.
- Los dos tipos de concreto fabricado cumple con la especificación de la medida de T50 (medida indirecta de la viscosidad).

Empleando los criterios de calificación de la Guía ACI 347.3R -13 que considera las variables de textura, superficie de vacíos, uniformidad de color, irregularidades superficiales y categoría de la formaleta se destacan las siguientes conclusiones:

- La categoría de textura, irregularidades superficiales y categoría de la formaleta son categorías que condicionan el nivel de clasificación del acabado superficial del concreto.
- La categoría de uniformidad de color y superficie de vacíos permiten varias clasificaciones del acabado superficial.
- La clasificación asignada a los elementos evaluados en este estudio permitió determinar la combinación de las variables para obtener el mejor y el peor acabado superficial.
- La mejor clasificación CSC 4 se logró usando únicamente formaleta plástica (P), sin curado (SC) y con curado con tela quirúrgica (QC), con los dos tipos de superplastificante y con todos los agentes desmoldante excepto el petrodiesel (D).
- Muchas combinaciones tuvieron la clasificación más baja CSC 1, sin embargo, esta clasificación estuvo gobernada por el uso del agente desmoldante petrodiesel (D) y el curado con agua (SC) de los elementos.

Al determinar el grado de importancia de las variables es posible concluir que:

- El uso de herramientas estadísticas como el análisis de correspondencia múltiple MCA y la prueba de independencia Chi cuadrado permiten determinar de forma objetiva si existe una relación entre las variables evaluadas y la calificación obtenida.
- El uso del modelo estadístico Random Forest mediante la clasificación Mean Decrease in Accuracy permitió establecer el grado de importancia de las variables

- estudiadas en la calidad del acabado superficial del concreto arquitectónico autocompactante.
- El grado de importancia de las variables en el acabado superficial de concreto autocompactante depende de la combinación de las variables, la variable más importante es la naturaleza del agente desmoldante, seguido por el material de la formaleta, el tipo de aditivo superplastificante y la condición de curado.
 - Definir el grado de importancia de las variables estudiadas en el efecto en el acabado superficial permite seleccionar las mejores combinaciones para obtener un acabado superficial de alta clasificación (CSC4)

Al hacer este trabajo de investigación se elimina la brecha que existía del estudio de combinación de variables y la determinación del grado de importancia, sin embargo, vale la pena investigar el número de usos óptimo por tipo de formaleta para lograr el acabado encontrado y los costos asociados a esta combinación de variables.

7. Lista de referencias

- ACI 347.3R-13. (2013). *Guide to formed concrete surfaces*.
- ACI Committee 303. (2004). *Guide to Cast-in-Place Architectural Concrete Practice* (pp. 1–32). pp. 1–32. <https://doi.org/10.14359/7116>
- ACI Committee 309. (1998). *Identification and Control of Visible Effects of Consolidation on Formed Concrete Surfaces Reported by ACI Committee 309*. 1–11.
- Aïssoun, B. M., Gallias, J. L., & Khayat, K. H. (2017). Influence of formwork material on transport properties of self-consolidating concrete near formed surfaces. *Construction and Building Materials*, *146*, 329–337. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.04.104>
- Biau, G., & Scornet, E. (2016). A random forest guided tour. *Test*, *25*(2), 197–227. <https://doi.org/10.1007/s11749-016-0481-7>
- Bouharoun, S., De Caro, P., Dubois, I., Djelal, C., & Vanhove, Y. (2013). Effect of a superplasticizer on the properties of the concrete/oil/formwork interface. *Construction and Building Materials*, *47*, 1137–1144. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.05.029>
- Breiman, L. (2001). *Random Forest*. 1–33.
- Cutler, D. R., Edwards, T. C., Beard, K. H., Cutler, A., Hess, K. T., Gibson, J., & Lawler, J. J. (2007). Random forests for classification in ecology. *Ecology*, *88*(11), 2783–2792. <https://doi.org/10.1890/07-0539.1>
- De la Fuente, F. . (2011). Análisis de Correspondencias Santiago de la Fuente Fernández.

Fac. Ciencias Económicas y Empresariales, 58.

Djelal, C., De Caro, P., Libessart, L., Dubois, I., & Pébère, N. (2008). Comprehension of demoulding mechanisms at the formwork/oil/concrete interface. *Materials and Structures/Materiaux et Constructions*, 41(3), 571–581.

<https://doi.org/10.1617/s11527-007-9268-3>

Geron, A. (2017). *Hands-on machine learning with Scikit-Learn and TensorFlow: concepts, tools, and techniques to build intelligent systems*. O'Reilly Media Inc.

Heinemann, H. A. (2017). Colour alterations of historic concrete surfaces during the Dutch Interwar Period. *Case Studies in Construction Materials*, 7(July), 207–216.

<https://doi.org/10.1016/j.cscm.2017.08.001>

Hoffman, D. L., & De Leeuw, J. (1992). Interpreting multiple correspondence analysis as a multidimensional scaling method. *Marketing Letters*, 3(3), 259–272.

<https://doi.org/10.1007/BF00994134>

Ishwaran, H. (2007). Variable importance in binary regression trees and forests.

Electronic Journal of Statistics, 1, 519–537. <https://doi.org/10.1214/07-EJS039>

Javier, F., Saorin, B., Parra, C., Mi, I., & Valcuende, M. (2020). *Quality of the surface finish of self-compacting concrete* (Vol. 28). Vol. 28.

<https://doi.org/10.1016/j.jobc.2019.101068>

Johs, H., & Johs, H. (2018). Multiple correspondence analysis. *Multiple Correspondence Analysis For The Social Sciences*, (January), 31–55.

<https://doi.org/10.4324/9781315516257-3>

- Klovas, A., & Daukšys, M. (2013). The influence of form release agent application to the quality of concrete surfaces. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 47(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/47/1/012061>
- Kwasny, J., Sonebi, M., Plasse, J., & Amziane, S. (2015). Influence of rheology on the quality of surface finish of cement-based mortars. *Construction and Building Materials*, 89, 102–109. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.03.111>
- Lemaire, G., Escadeillas, G., & Ringot, E. (2005). Evaluating concrete surfaces using an image analysis process. *Construction and Building Materials*, 19(8), 604–611. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2005.01.025>
- Libessart, L., De Caro, P., Djelal, C., & Dubois, I. (2015). Correlation between adhesion energy of release agents on the formwork and demoulding performances. *Construction and Building Materials*, 76, 130–139. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.11.061>
- Libessart, L., Djelal, C., & De Caro, P. (2014). Influence of the type of release oil on steel formwork corrosion and facing aesthetics. *Construction and Building Materials*, 68, 391–401. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.06.065>
- Liu, B., & Yang, T. (2017). Image analysis for detection of bugholes on concrete surface. *Construction and Building Materials*, 137, 432–440. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.01.098>
- Liuzzi, M., Aravena Pelizari, P., Geiß, C., Masi, A., Tramutoli, V., & Taubenböck, H. (2019). A transferable remote sensing approach to classify building structural types

- for seismic risk analyses: the case of Val d'Agri area (Italy). *Bulletin of Earthquake Engineering*, 17(9), 4825–4853. <https://doi.org/10.1007/s10518-019-00648-7>
- Mchugh, M. L. (2013). The Chi-square test of independence Lessons in biostatistics. *Biochemia Medica*, 23(2), 143–149. <https://doi.org/10.11613/BM.2013.018>
- Megid, W. A., & Khayat, K. H. (2018). Effect of concrete rheological properties on quality of formed surfaces cast with self-consolidating concrete and superworkable concrete. *Cement and Concrete Composites*, 93(March), 75–84. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2018.06.016>
- Megid, W. A., & Khayat, K. H. (2020). Variations in surface quality of self-consolidation and highly workable concretes with formwork material. *Construction and Building Materials*, 238, 117638. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117638>
- Ozkul, T., & Kucuk, I. (2011). Design and optimization of an instrument for measuring bughole rating of concrete surfaces. *Journal of the Franklin Institute*, 348(7), 1377–1392. <https://doi.org/10.1016/j.jfranklin.2010.04.004>
- Palacio, R., & Figueroa, T. (2009). PATOLOGÍAS, CAUSAS Y SOLUCIONES DEL CONCRETO ARQUITECTÓNICO EN MEDELLÍN. *Eia, Issn 1794-1237*, (10), 121–130.
- Roldán, P., & Fachelli, S. (2015). Análisis de tablas de contingencia. *Metodología de La Investigación Social Cuantitativa*, cap. III.6. Retrieved from <https://ddd.uab.cat/record/131469/export/ht>
- Sadowski, Ł., & Mathia, T. G. (2016). Multi-scale metrology of concrete surface

morphology: Fundamentals and specificity. *Construction and Building Materials*,
113, 613–621. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.03.099>

8. Anexo 1: Calificación de todos los elementos fabricados en laboratorio

Material	Super plastificante	Desmoldante	Condición Curado	Textura	Superficie Vacios	Uniformidad de color	Irregularidades superficiales	Categoría de formaleta	Clasificación
PP	SP1	SD	SC	T2	SVR3	CU3	SI2	FC2	CSC2
PP	SP1	SD	WC	T2	SVR3	CU1	SI2	FC2	CSC1
PP	SP1	SD	PF	T2	SVR3	CU2	SI2	FC2	CSC2
PP	SP1	SD	QC	T2	SVR3	CU3	SI2	FC2	CSC2
PP	SP1	MO	SC	T2	SVR3	CU2	SI2	FC2	CSC2
PP	SP1	MO	WC	T2	SVR3	CU1	SI2	FC2	CSC1
PP	SP1	MO	PF	T1	SVR3	CU2	SI2	FC2	CSC1
PP	SP1	MO	QC	T1	SVR3	CU2	SI2	FC2	CSC1
PP	SP1	VO	SC	T1	SVR4	CU2	SI1	FC2	CSC1
PP	SP1	VO	WC	T1	SVR4	CU1	SI1	FC2	CSC1
PP	SP1	VO	PF	T1	SVR4	CU2	SI1	FC2	CSC1
PP	SP1	VO	QC	T1	SVR4	CU2	SI1	FC2	CSC1
PP	SP2	SD	SC	T3	SVR3	CU3	SI3	FC3	CSC3
PP	SP2	SD	WC	T3	SVR3	CU1	SI3	FC3	CSC1
PP	SP2	SD	PF	T3	SVR3	CU2	SI3	FC3	CSC3
PP	SP2	SD	QC	T3	SVR3	CU3	SI3	FC3	CSC3
PP	SP2	MO	SC	T3	SVR4	CU2	SI4	FC3	CSC3
PP	SP2	MO	WC	T3	SVR4	CU1	SI4	FC3	CSC1
PP	SP2	MO	PF	T3	SVR4	CU2	SI4	FC3	CSC3
PP	SP2	MO	QC	T3	SVR4	CU2	SI4	FC3	CSC3
PP	SP2	VO	SC	T2	SVR4	CU2	SI1	FC3	CSC1
PP	SP2	VO	WC	T2	SVR4	CU1	SI1	FC3	CSC1
PP	SP2	VO	PF	T2	SVR4	CU2	SI1	FC3	CSC1
PP	SP2	VO	QC	T2	SVR4	CU2	SI1	FC3	CSC1
HRS	SP1	SD	SC	T3	SVR4	CU3	SI4	FC2	CSC3
HRS	SP1	SD	WC	T3	SVR4	CU1	SI4	FC2	CSC1
HRS	SP1	SD	PF	T3	SVR4	CU2	SI4	FC2	CSC3
HRS	SP1	SD	QC	T3	SVR4	CU3	SI4	FC2	CSC3
HRS	SP1	MO	SC	T1	SVR4	CU3	SI3	FC2	CSC1
HRS	SP1	MO	WC	T1	SVR4	CU1	SI3	FC2	CSC1
HRS	SP1	MO	PF	T1	SVR4	CU2	SI3	FC2	CSC1
HRS	SP1	MO	QC	T1	SVR4	CU3	SI3	FC2	CSC1
HRS	SP1	VO	SC	T3	SVR4	CU3	SI1	FC3	CSC1
HRS	SP1	VO	WC	T3	SVR4	CU1	SI1	FC3	CSC1

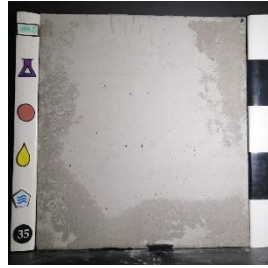
HRS	SP1	VO	PF	T3	SVR4	CU2	SI1	FC3	CSC1
HRS	SP1	VO	QC	T3	SVR4	CU3	SI1	FC3	CSC1
HRS	SP2	SD	SC	T2	SVR4	CU3	SI4	FC2	CSC2
HRS	SP2	SD	WC	T2	SVR4	CU1	SI4	FC2	CSC1
HRS	SP2	SD	PF	T2	SVR4	CU2	SI4	FC2	CSC2
HRS	SP2	SD	QC	T2	SVR4	CU3	SI4	FC2	CSC2
HRS	SP2	MO	SC	T1	SVR4	CU3	SI4	FC2	CSC1
HRS	SP2	MO	WC	T1	SVR4	CU1	SI4	FC2	CSC1
HRS	SP2	MO	PF	T1	SVR4	CU2	SI4	FC2	CSC1
HRS	SP2	MO	QC	T1	SVR4	CU3	SI4	FC2	CSC1
HRS	SP2	VO	SC	T3	SVR4	CU3	SI3	FC3	CSC3
HRS	SP2	VO	WC	T3	SVR4	CU1	SI3	FC3	CSC1
HRS	SP2	VO	PF	T3	SVR4	CU2	SI3	FC3	CSC3
HRS	SP2	VO	QC	T3	SVR4	CU3	SI3	FC3	CSC3
P	SP1	SD	SC	T4	SVR4	CU3	SI4	FC3	CSC4
P	SP1	SD	WC	T4	SVR4	CU1	SI4	FC3	CSC1
P	SP1	SD	PF	T4	SVR4	CU2	SI4	FC3	CSC3
P	SP1	SD	QC	T4	SVR4	CU3	SI4	FC3	CSC4
P	SP1	MO	SC	T4	SVR4	CU2	SI4	FC3	CSC3
P	SP1	MO	WC	T4	SVR4	CU1	SI4	FC3	CSC1
P	SP1	MO	PF	T4	SVR4	CU2	SI4	FC3	CSC3
P	SP1	MO	QC	T4	SVR4	CU2	SI4	FC3	CSC3
P	SP1	VO	SC	T1	SVR4	CU3	SI4	FC3	CSC1
P	SP1	VO	WC	T1	SVR4	CU1	SI4	FC3	CSC1
P	SP1	VO	PF	T1	SVR4	CU2	SI4	FC3	CSC1
P	SP1	VO	QC	T1	SVR4	CU2	SI4	FC3	CSC1
P	SP2	SD	SC	T4	SVR4	CU3	SI4	FC3	CSC4
P	SP2	SD	WC	T4	SVR4	CU1	SI4	FC3	CSC1
P	SP2	SD	PF	T4	SVR4	CU2	SI4	FC3	CSC3
P	SP2	SD	QC	T4	SVR4	CU3	SI4	FC3	CSC4
P	SP2	MO	SC	T4	SVR4	CU3	SI4	FC3	CSC4
P	SP2	MO	WC	T4	SVR4	CU1	SI4	FC3	CSC1
P	SP2	MO	PF	T4	SVR4	CU2	SI4	FC3	CSC3
P	SP2	MO	QC	T4	SVR4	CU3	SI4	FC3	CSC4
P	SP2	VO	SC	T4	SVR4	CU3	SI4	FC3	CSC4
P	SP2	VO	WC	T4	SVR4	CU1	SI4	FC3	CSC1
P	SP2	VO	PF	T4	SVR4	CU2	SI4	FC3	CSC3
P	SP2	VO	QC	T4	SVR4	CU3	SI4	FC3	CSC4

9. ANEXO 2: Evidencia fotográfica de la investigación

9.1 Formaleta madera contrachapada fenólica (PP)



Superplastificante: SP1
Curado: Sin curado (SC)
Desmoldante: sin desmoldante (SD)



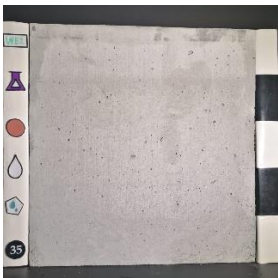
Superplastificante: SP1
Curado: Sin curado (SC)
Desmoldante: Base aceite mineral (MO)



Superplastificante: SP1
Curado: Sin curado (SC)
Desmoldante: Base aceite vegetal (VO)



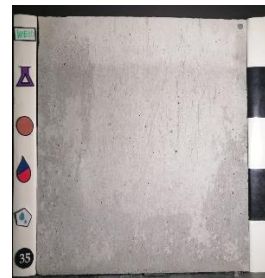
Superplastificante: SP1
Curado: Sin curado (SC)
Desmoldante: Petrodisel (D)



Superplastificante: SP1
Curado: Agua (WC)
Desmoldante: sin desmoldante (SD)



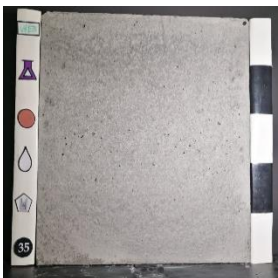
Superplastificante: SP1
Curado: Agua (WC)
Desmoldante: Base aceite mineral (MO)



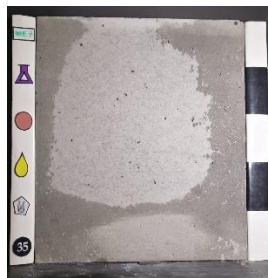
Superplastificante: SP1
Curado: Agua (WC)
Desmoldante: Base aceite vegetal (VO)



Superplastificante: SP1
Curado: Agua (WC)
Desmoldante: Petrodisel (D)



Superplastificante: SP1
Curado: film plástico (PF)
Desmoldante: sin desmoldante (SD)



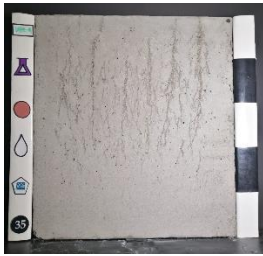
Superplastificante: SP1
Curado: film plástico (PF)
Desmoldante: Base aceite mineral (MO)



Superplastificante: SP1
Curado: film plástico (PF)
Desmoldante: Base aceite vegetal (VO)



Superplastificante: SP1
Curado: film plástico (PF)
Desmoldante: Petrodisel (D)



Superplastificante: SP1
Curado: Con tela quirúrgica (QC)
Desmoldante: sin desmoldante (SD)



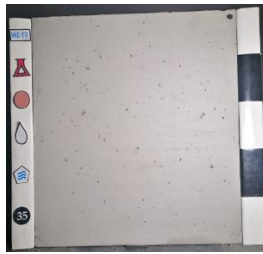
Superplastificante: SP1
Curado: Con tela quirúrgica (QC)
Desmoldante: Base aceite mineral (MO)



Superplastificante: SP1
Curado: Con tela quirúrgica (QC)
Desmoldante: Base aceite vegetal (VO)



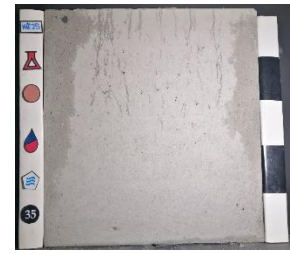
Superplastificante: SP1
Curado: Con tela quirúrgica (QC)
Desmoldante: Petrodisel (D)



Superplastificante: SP2
Curado: Sin curado (SC)
Desmoldante: sin desmoldante (SD)



Superplastificante: SP2
Curado: Sin curado (SC)
Desmoldante: Base aceite mineral (MO)



Superplastificante: SP2
Curado: Sin curado (SC)
Desmoldante: Base aceite vegetal (VO)



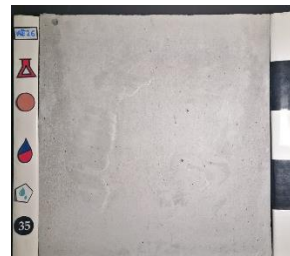
Superplastificante: SP2
Curado: Sin curado (SC)
Desmoldante: Petrodisel (D)



Superplastificante: SP2
Curado: Agua (WC)
Desmoldante: sin desmoldante (SD)



Superplastificante: SP2
Curado: Agua (WC)
Desmoldante: Base aceite mineral (MO)



Superplastificante: SP2
Curado: Agua (WC)
Desmoldante: Base aceite vegetal (VO)



Superplastificante: SP2
Curado: Agua (WC)
Desmoldante: Petrodisel (D)



Superplastificante: SP2
 Curado: film plástico (PF)
 Desmoldante: sin desmoldante (SD)



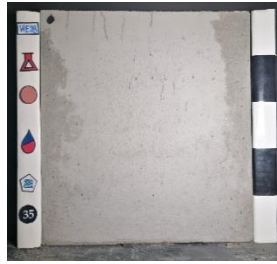
Superplastificante: SP2
 Curado: Con tela quirúrgica (QC)
 Desmoldante: sin desmoldante (SD)

Superplastificante: SP2
 Curado: film plástico (PF)
 Desmoldante: Base aceite mineral (MO)



Superplastificante: SP2
 Curado: Con tela quirúrgica (QC)
 Desmoldante: Base aceite mineral (MO)

Superplastificante: SP2
 Curado: film plástico (PF)
 Desmoldante: Base aceite vegetal (VO)



Superplastificante: SP2
 Curado: Con tela quirúrgica (QC)
 Desmoldante: Base aceite vegetal (VO)

Superplastificante: SP2
 Curado: film plástico (PF)
 Desmoldante: Petrodisel (D)



Superplastificante: SP12
 Curado: Con tela quirúrgica (QC)
 Desmoldante: Petrodisel (D)

9.2 Formaleta Acero laminado en caliente (HRS)



Superplastificante: SP1
 Curado: Sin curado (SC)
 Desmoldante: sin desmoldante (SD)



Superplastificante: SP1
 Curado: Sin curado (SC)
 Desmoldante: Base aceite mineral (MO)



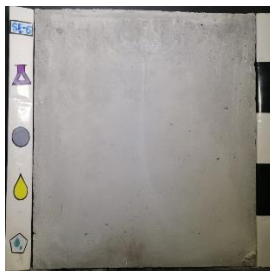
Superplastificante: SP1
 Curado: Sin curado (SC)
 Desmoldante: Base aceite vegetal (VO)



Superplastificante: SP1
 Curado: Sin curado (SC)
 Desmoldante: Petrodisel (D)



Superplastificante: SP1
 Curado: Agua (WC)
 Desmoldante: sin desmoldante (SD)



Superplastificante: SP1
 Curado: Agua (WC)
 Desmoldante: Base aceite mineral (MO)



Superplastificante: SP1
 Curado: Agua (WC)
 Desmoldante: Base aceite vegetal (VO)



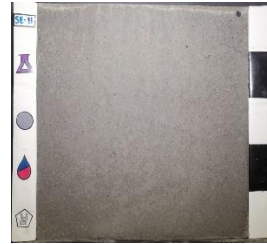
Superplastificante: SP1
 Curado: Agua (WC)
 Desmoldante: Petrodisel (D)



Superplastificante: SP1
Curado: film plástico (PF)
Desmoldante: sin desmoldante (SD)



Superplastificante: SP1
Curado: film plástico (PF)
Desmoldante: Base aceite mineral (MO)



Superplastificante: SP1
Curado: film plástico (PF)
Desmoldante: Base aceite vegetal (VO)



Superplastificante: SP1
Curado: film plástico (PF)
Desmoldante: Petrodisel (D)



Superplastificante: SP1
Curado: Con tela quirúrgica (QC)
Desmoldante: sin desmoldante (SD)



Superplastificante: SP1
Curado: Con tela quirúrgica (QC)
Desmoldante: Base aceite mineral (MO)



Superplastificante: SP1
Curado: Con tela quirúrgica (QC)
Desmoldante: Base aceite vegetal (VO)



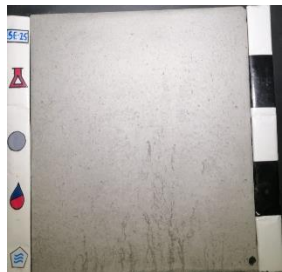
Superplastificante: SP1
Curado: Con tela quirúrgica (QC)
Desmoldante: Petrodisel (D)



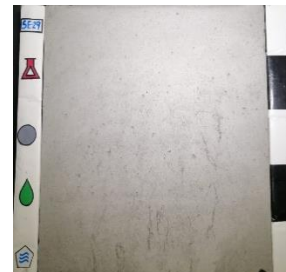
Superplastificante: SP2
Curado: Sin curado (SC)
Desmoldante: sin desmoldante (SD)



Superplastificante: SP2
Curado: Sin curado (SC)
Desmoldante: Base aceite mineral (MO)



Superplastificante: SP2
Curado: Sin curado (SC)
Desmoldante: Base aceite vegetal (VO)



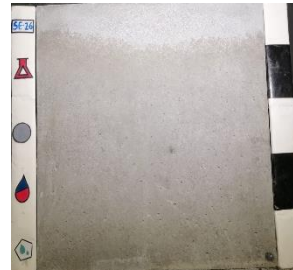
Superplastificante: SP2
Curado: Sin curado (SC)
Desmoldante: Petrodisel (D)



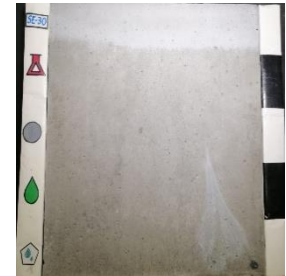
Superplastificante: SP2
Curado: Agua (WC)
Desmoldante: sin
desmoldante (SD)



Superplastificante: SP2
Curado: Agua (WC)
Desmoldante: Base aceite
mineral
(MO)



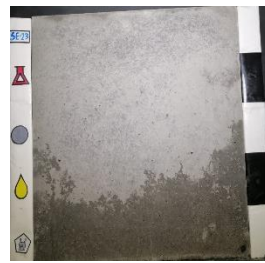
Superplastificante: SP2
Curado: Agua (WC)
Desmoldante: Base aceite vegetal
(VO)



Superplastificante: SP2
Curado: Agua (WC)
Desmoldante: Petrodisel
(D)



Superplastificante: SP2
Curado: film plástico (PF)
Desmoldante: sin
desmoldante (SD)



Superplastificante: SP2
Curado: film plástico
(PF)Desmoldante: Base aceite
mineral
(MO)



Superplastificante: SP2
Curado: film plástico (PF)
Desmoldante: Base aceite
vegetal
(VO)



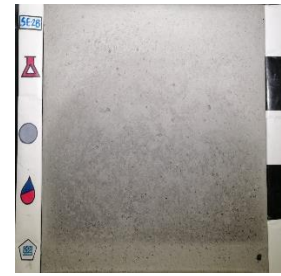
Superplastificante: SP2
Curado: film plástico (PF)
Desmoldante: Petrodisel
(D)



Superplastificante: SP2
Curado: Con tela quirúrgica
(QC)
Desmoldante: sin
desmoldante (SD)



Superplastificante: SP2
Curado: Con tela quirúrgica
(QC)
Desmoldante: Base aceite
mineral
(MO)

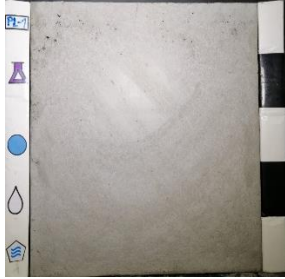


Superplastificante: SP2
Curado: Con tela quirúrgica
(QC)
Desmoldante: Base aceite
vegetal
(VO)



Superplastificante: SP12
Curado: Con tela quirúrgica
(QC)
Desmoldante: Petrodisel
(D)

9.3 Formaleta Formaleta Plástica (P)



Superplastificante: SP1
Curado: Sin curado (SC)
Desmoldante: sin desmoldante (SD)



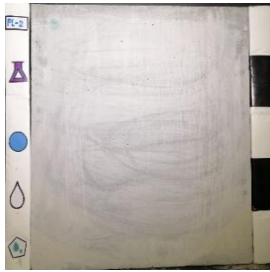
Superplastificante: SP1
Curado: Sin curado (SC)
Desmoldante: Base aceite mineral (MO)



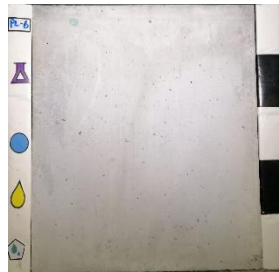
Superplastificante: SP1
Curado: Sin curado (SC)
Desmoldante: Base aceite vegetal (VO)



Superplastificante: SP1
Curado: Sin curado (SC)
Desmoldante: Petrodisel (D)



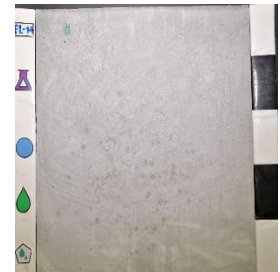
Superplastificante: SP1
Curado: Agua (WC)
Desmoldante: sin desmoldante (SD)



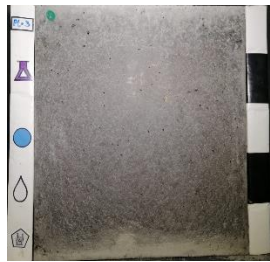
Superplastificante: SP1
Curado: Agua (WC)
Desmoldante: Base aceite mineral (MO)



Superplastificante: SP1
Curado: Agua (WC)
Desmoldante: Base aceite vegetal (VO)



Superplastificante: SP1
Curado: Agua (WC)
Desmoldante: Petrodisel (D)



Superplastificante: SP1
Curado: film plástico (PF)
Desmoldante: sin desmoldante (SD)



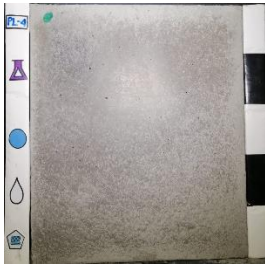
Superplastificante: SP1
Curado: film plástico (PF)
Desmoldante: Base aceite mineral (MO)



Superplastificante: SP1
Curado: film plástico (PF)
Desmoldante: Base aceite vegetal (VO)



Superplastificante: SP1
Curado: film plástico (PF)
Desmoldante: Petrodisel (D)



Superplastificante: SP1
Curado: Con tela quirúrgica
(QC)
Desmoldante: sin desmoldante
(SD)



Superplastificante: SP1
Curado: Con tela quirúrgica
(QC)
Desmoldante: Base aceite
mineral
(MO)



Superplastificante: SP1
Curado: Con tela quirúrgica
(QC)
Desmoldante: Base aceite
vegetal
(VO)



Superplastificante: SP1
Curado: Con tela quirúrgica
(QC)
Desmoldante: Petrodisel
(D)



Superplastificante: SP2
Curado: Sin curado (SC)
Desmoldante: sin desmoldante
(SD)



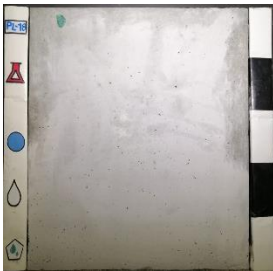
Superplastificante: SP2
Curado: Sin curado (SC)
Desmoldante: Base aceite
mineral
(MO)



Superplastificante: SP2
Curado: Sin curado (SC)
Desmoldante: Base aceite
vegetal
(VO)



Superplastificante: SP2
Curado: Sin curado (SC)
Desmoldante: Petrodisel
(D)



Superplastificante: SP2
Curado: Agua (WC)
Desmoldante: sin desmoldante
(SD)



Superplastificante: SP2
Curado: Agua (WC)
Desmoldante: Base aceite
mineral
(MO)



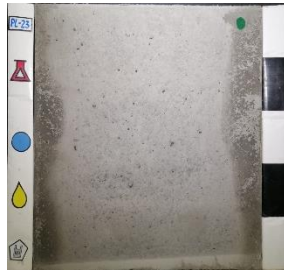
Superplastificante: SP2
Curado: Agua (WC)
Desmoldante: Base aceite
vegetal
(VO)



Superplastificante: SP2
Curado: Agua (WC)
Desmoldante: Petrodisel
(D)



Superplastificante: SP2
Curado: film plástico (PF)
Desmoldante: sin desmoldante (SD)



Superplastificante: SP2
Curado: film plástico (PF)
Desmoldante: Base aceite mineral (MO)



Superplastificante: SP2
Curado: film plástico (PF)
Desmoldante: Base aceite vegetal (VO)



Superplastificante: SP2
Curado: film plástico (PF)
Desmoldante: Petrodisel (D)



Superplastificante: SP2
Curado: Con tela quirúrgica (QC)
Desmoldante: sin desmoldante (SD)



Superplastificante: SP2
Curado: Con tela quirúrgica (QC)
Desmoldante: Base aceite mineral (MO)



Superplastificante: SP2
Curado: Con tela quirúrgica (QC)
Desmoldante: Base aceite vegetal (VO)



Superplastificante: SP12
Curado: Con tela quirúrgica (QC)
Desmoldante: Petrodisel (D)