

CALIDAD SUPERFICIAL DEL HORMIGÓN VISTO DE ULTRA ALTAS PRESTACIONES

Por:

MARIANA SAMIRA MANSOUR WEHBE

Septiembre 2018

Autor / Author: Mariana Samira Mansour Wehbe		Fecha / Date: Septiembre 2018
Título / Title: CALIDAD SUPERFICIAL DEL HORMIGÓN VISTO DE ULTRA ALTAS PRESTACIONES		
Directores del trabajo / Supervisores: Dr. Pedro Serna Ros Dra. Ester Giménez Carbo	Código / Code: CST / MIH	Nº de páginas / Pages: 170
Departamento / Departament: INGENIERÍA DE LA CONSTRUCCIÓN Y PROYECTOS DE INGENIERÍA CIVIL		
Universidad / University: UNIVERSIDAD POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA
Palabras claves / Keywords: Hormigón visto, calidad, superficie, cuantificación, defectos. Concrete, quality, surface, quantification, defects.		
Código Unesco: 3305/05 Ciencias tecnológicas / Tecnología de la construcción / Tecnología del Hormigón 3312/08 Ciencias tecnológicas / Tecnología de los materiales / Propiedades de los materiales 3312/12 Ciencias tecnológicas / Tecnología de los materiales / Ensayo de Materiales		

*A mis padres por siempre creer en mí,
por su apoyo incondicional y sus buenos consejos.*

Agradecimientos

Al Dr. Pedro Serna por siempre creer en mí, por motivarme en cada tutoría y por enseñarme lo que significa la pasión por el trabajo.

A la Dra. Ester Giménez por su dedicación, motivación, y siempre estar dispuesta a ayudarme en todo lo que fuese necesario.

A mis amigos del Máster de Ingeniería del Hormigón, que hicieron de esta etapa de mi vida, una experiencia inolvidable.

Resumen

En las construcciones de hoy en día se demanda cada vez más la utilización de materiales de altas prestaciones, en el caso del hormigón, además de resistencia y durabilidad elevada, se exige una apariencia uniforme y de calidad estética.

El hormigón visto es aquel que se identifica por su calidad superficial, por esta razón es de interés valorar los factores que influyen en el acabado y la calidad superficial del hormigón mediante procedimientos que permitan caracterizar la superficie de forma objetiva, sin embargo, existe la carencia de sistemas de clasificación de superficie y metodologías que permitan la cuantificación de defectos.

El trabajo fin de master constó de dos partes, en primer lugar, se realizó un estado del arte donde se analizaron los criterios que permiten definir la calidad del acabado, sistemas de clasificación del acabado, las metodologías aplicadas para la cuantificación de los defectos y los factores que influyen en el acabado de la superficie.

En segundo lugar, se desarrolló una metodología para la caracterización de la calidad del acabado, en donde se proponen diferentes procedimientos adaptados a la compleja evaluación de cada del tipo de defecto. Mediante este proceso se evaluó la influencia del proceso de fabricación, materiales empleados y tratamiento de la superficie encofrante. Se desarrollaron diferentes tipos de dosificaciones, variando las cantidades de arena, agua, aditivo, y en algunos casos se incorporó fibra metálica. A través de la metodología desarrollada, se identificaron las variables que influyen en la formación de defectos como la porosidad, desconchado, variación en el tono y manchas que afectan la calidad superficial en el hormigón visto de ultra altas prestaciones.

Abstract

In nowadays buildings, the use of high performance materials is increasingly demanded, in the case of concrete, in addition to strength and high durability, a uniform appearance and aesthetic quality is demanded.

Off-form concrete is identified by its superficial quality; therefore, it is interesting to evaluate the factors that influence in the finish and surface characteristics of the concrete by methods to characterize the surface objectively, however, there is a lack of surface classification systems and methodologies used for quantifying defects.

The Final Master's Project consisted of two parts; firstly, it was made a state of the art, where the criteria for defining quality, classification systems of the quality of the finish, the methodologies used for the quantification of defects and the factors that influence the appearance of the surface were analyzed.

Secondly, a methodology was developed to the characterization of the quality of the finish, where different procedures are proposed to the complex evaluation of each type of defect are proposed. Through this process, it was evaluated the influence of the manufacturing process, materials used and formwork surface treatment. Different types of dosages were developed, varying the quantity of sand, water and additive, in some cases, metal fiber was incorporated. Through this developed methodology, it was identified the variables that influence in the formation of the defects as porosity, chipped, variation in the tone and spots that affect the surface quality in the ultra-high performance concrete.

Resumen	4
Abstract.....	5
Índice	6
Lista de Figuras	9
Lista de Tablas.....	13
CAPÍTULO I.....	14
1. Introducción	14
1.1. Justificación	14
1.2. Objetivo general.....	15
1.3. Objetivos específicos	15
1.4. Estructura del documento	16
CAPÍTULO II.....	17
2. Estado del Arte.....	17
2.1. Definición del Hormigón visto.....	17
2.2. Planificación.....	19
2.3. Materiales	21
2.3.1. Cemento	21
2.3.2. Áridos	22
2.3.3. Agua	24
2.3.4. Adiciones	24
2.3.5. Aditivos	26
2.3.6. Pigmentos.....	27
2.4. Dosificación	28
2.5. Encofrado	29
2.5.1. Condicionantes básicos que afectan en el aspecto hormigón	30
2.5.2. Superficie encofrante	31
2.5.3. Desencofrante	33
2.6. Proceso de fabricación.....	35
2.7. Puesta en obra, vertido y compactación	35
2.8. Desencofrado y curado	36
2.9. Hormigones especiales.....	37
2.9.1. Hormigón Autocompactable	37
2.9.2. Hormigón de Ultra Alta Prestaciones	38
2.10. Clasificación de la calidad de la superficie.....	44

2.10.1.	Definición de los defectos superficiales.....	44
2.10.2.	Niveles de clasificación	47
2.10.3.	Sistemas de clasificación	48
2.10.4.	Metodologías para la cuantificación de defectos	51
2.11.	Métodos de observación	66
2.11.1.	Evaluación de la superficie	66
CAPÍTULO III		70
3. Programa experimental y Metodología		70
3.1.	Programa experimental.....	70
3.2.	Desarrollo de metodología para caracterizar la calidad del acabado.....	72
3.2.1.	Condiciones de la fotografía	73
3.2.2.	Porosidad	74
3.2.3.	Desconchado.....	78
3.2.4.	Homogeneidad del color	78
3.2.5.	Manchas	81
3.2.6.	Conclusiones de la Metodología desarrollada.....	82
3.3.	Procedimiento general de fabricación	83
3.3.1.	Materiales	83
3.3.2.	Dosificación	86
3.3.3.	Proceso de amasado	86
3.3.4.	Ensayo de consistencia	87
3.3.5.	Encofrados.....	88
3.3.6.	Desencofrante	88
3.3.7.	Compactación.....	89
3.3.8.	Ensayos a compresión.....	90
CAPÍTULO IV		91
4. Resultados y Análisis		91
4.1.	Resultados de porosidad	92
4.1.1.	Caras laterales de las probetas.....	92
4.1.2.	Cara de fondo de las probetas	96
4.1.3.	Cara de vertido	98
4.2.	Desconchado.....	99
4.3.	Homogeneidad del color	100
4.3.1.	Caras laterales y de fondo de la probeta.....	100
4.3.2.	Cara de vertido de la probeta.....	103
4.4.	Manchas	106

4.4.1. Caras laterales de las probetas.....	106
4.4.2. Cara de fondo de las probetas	107
4.5. Resistencia a compresión de las probetas	107
4.6. Ensayo de consistencia	108
CAPÍTULO V	113
5. Conclusiones y Futuras líneas de Investigación	113
Referencias.....	116
Anejo.....	120

Lista de Figuras

Figura 1 Acabados del hormigón visto [10].	18
Figura 2 Complejo deportivo Gobela en Vizcaya (España) [10].	18
Figura 3 Especificación y producción de hormigón visto [15].	20
Figura 4 Fenómeno “Transparencia de los áridos” [21].	22
Figura 5 Decoloración por la presencia de pirita en los áridos [21].	23
Figura 6 Hormigón visto con árido expuesto [21].	24
Figura 7 Morfología de las partículas de ceniza volante [22].	25
Figura 8 Tonalidades del cemento según el tipo de adición [13].	25
Figura 9 Oscurecimiento de la superficie de hormigones blancos [13].	26
Figura 10 Formación de juntas frías [13].	27
Figura 11 Variación de la intensidad según el porcentaje de pigmentos [18].	28
Figura 12 Formación de cejas e irregularidades en la superficie [21].	31
Figura 13 Formación de nidos de gravas [21].	31
Figura 14 Acabado del hormigón con superficie encofrante de madera [21].	32
Figura 15 Acabados con superficie encofrante de plástico [26].	33
Figura 16 Incorrecta aplicación de desencofrante [21].	33
Figura 17 Manchas en hormigón gris por exceso de desencofrante [21].	34
Figura 18 Manchas en hormigón blanco por exceso de desencofrante [27].	34
Figura 19 Desconchamiento del hormigón. Fuente: Propia	35
Figura 20 Tenerife espacio de las artes [10].	38
Figura 21 Ludoteca de Bonneuil sur Marne [10].	38
Figura 22 Pasarela Barranco de las ovejas en Alicante [35].	40
Figura 23 Acabado de la pasarela Barranco de las ovejas en Alicante [35].	40
Figura 24 Estación Shawnessy en Canadá [36].	41
Figura 25 Techo de la estación TGV Montpellie [37][38].	41
Figura 26 Vallado perimetral [39].	42
Figura 27 Encofrado de silicón [39].	42
Figura 28 Mobiliario urbano [33].	42
Figura 29 Mobiliario urbano UHPC [40].	43
Figura 30 Mobiliario urbano UHPC [40].	43
Figura 31 Pasarela [40].	43
Figura 32 Acabado antideslizante [40].	43
Figura 33 Formación de cejas [21].	45
Figura 34 Porosidad y coquera. Fuente: Propia.	45
Figura 35 Deformaciones y manchas en el hormigón [13].	45

<i>Figura 36 Desconchamiento o descaramiento en el hormigón [13].</i>	45
<i>Figura 37 Eflorescencias [11].</i>	45
<i>Figura 38 Fisuras por asentamiento [13].</i>	46
<i>Figura 39 Juntas de paneles de encofrado [13].</i>	46
<i>Figura 40 Juntas de construcción [13].</i>	46
<i>Figura 41 Manchas por amasado insuficiente [11].</i>	46
<i>Figura 42 Manchas debidas a la oxidación de las armaduras [11].</i>	46
<i>Figura 43 Manchas debido a la presencia de hierro o pirita en los áridos [13].</i>	46
<i>Figura 44 Nido de gravas [13].</i>	47
<i>Figura 45 Pérdida de lechada[13].</i>	47
<i>Figura 46 Rebabas [13].</i>	47
<i>Figura 47 Escala de referencia para apreciar los poros y coqueras en el hormigón [11].</i>	54
<i>Figura 48 Juntas de construcción [11].</i>	61
<i>Figura 49 Acabado con berenjenos triangulares [11].</i>	61
<i>Figura 50 Separación de juntas de paneles [11].</i>	61
<i>Figura 51 Conexión del encofrado [11].</i>	61
<i>Figura 52 Medidas de deformaciones para elementos de más de 10 m [12].</i>	63
<i>Figura 53 Patrón de medidas de deformaciones para elementos de hasta 10 m de largo [12].</i>	63
<i>Figura 54 Medida de ondulaciones superficiales [12].</i>	64
<i>Figura 55 Medida de la alineación [12].</i>	64
<i>Figura 56 Metodología para evaluar la superficie [12].</i>	66
<i>Figura 57 Distancia de contemplación para tener una impresión general [13].</i>	67
<i>Figura 58 Caras fotografiadas.</i>	73
<i>Figura 59 Variación de la intensidad de luminosidad en cara lateral: (a) 0% de luminosidad, (b) 48,5% de luminosidad y (c) 97% de luminosidad.</i>	74
<i>Figura 60 Comparación de probeta original con la procesada en el programa Image J. (a) Probeta original y (b) Procesada en el programa Image J.</i>	75
<i>Figura 61 Análisis de poros: (a) Imagen con todos los poros y enumerados los seleccionados y (b) Imagen con los poros seleccionados.</i>	75
<i>Figura 62 Distribución de poros.</i>	76
<i>Figura 63 Ejemplo de porosidad en cara de vertido: (a) Imagen original, (b) Imagen procesada en Image J con identificación de poros cuantificados y (c) Poros cuantificados por el programa.</i>	77
<i>Figura 64 Tipos de poros en caras de vertido (Elaboración propia).</i>	78
<i>Figura 65 Desconchado en la superficie de las probetas.</i>	78
<i>Figura 66 Escala de tono de grises. Fuente: Propia.</i>	79
<i>Figura 67 Evaluación de la tonalidad en caras de vertido.</i>	80

<i>Figura 68 Evaluación de la tonalidad en caras laterales.</i>	80
<i>Figura 69 Evaluación de la tonalidad en cara de fondo.</i>	80
<i>Figura 70 Tipos de manchas en caras laterales. Fuente: Propia.</i>	81
<i>Figura 71 Tipos de manchas en caras laterales. Fuente: Propia.</i>	82
<i>Figura 72 Cemento. Fuente: Propia</i>	84
<i>Figura 73 Humo de sílice. Fuente: Propia.</i>	
<i>Figura 74 Harina de cuarzo. Fuente: Propia.</i>	84
<i>Figura 75 Áridos silíceos: (a) arena fina (b) arena media.</i>	85
<i>Figura 76 Aditivo 20 HE.</i>	85
<i>Figura 77 Fibras metálicas.</i>	86
<i>Figura 78 Amasadora.</i>	87
<i>Figura 79 Ensayo de consistencia: (a) Equipo y (b) Ensayo realizado.</i>	87
<i>Figura 80 Moldes:(a) Acero y (b) Plástico.</i>	88
<i>Figura 81 Superficie encofrante de madera balsa: (a) Ubicación de la madera balsa en el encofrado y (b) Superficie encofrante una vez retirado el encofrado de madera.</i>	88
<i>Figura 82 SIKA- Desencofrante EN. Fuente: Propia.</i>	89
<i>Figura 83 Distancia de vertido en las probetas de 10 x 10 x 10 cm.</i>	89
<i>Figura 84 Compactadora PROETI, G.A.</i>	90
<i>Figura 85 Prensa IBERTEST.</i>	90
<i>Figura 86 N° de poros en la superficie de las probetas según el tipo de dosificación.</i>	92
<i>Figura 87 N° de poros en las dosificaciones con fibras.</i>	92
<i>Figura 88 Tamaño medio del poro según el tipo de dosificación.</i>	93
<i>Figura 89 Área total de poros según el tipo de dosificación.</i>	94
<i>Figura 90 N° de poros en la cara inferior de la probeta según el tipo de dosificación.</i>	96
<i>Figura 91 Tamaño medio del poro en la cara inferior de la probeta según el tipo de dosificación.</i>	97
<i>Figura 92 Total de los poros en la cara inferior de la probeta según el tipo de dosificación.</i>	97
<i>Figura 93 Tipo de porosidad en la cara de vertido.</i>	98
<i>Figura 94 Acabado del hormigón con superficie encofrante de madera.</i>	99
<i>Figura 95 Cambio de tonalidad: (a) Sombra oscura y (b) Sombra clara.</i>	102
<i>Figura 96 Área de sombra oscura según el tipo de dosificación.</i>	102
<i>Figura 97 Área de sombra clara según el tipo de dosificación.</i>	103
<i>Figura 98 Ejemplo de las tonalidades en la cara de vertido.</i>	104
<i>Figura 99 Tonalidades de la cara de vertido en dosificaciones sin fibras y sin golpes.</i>	104
<i>Figura 100 Tonalidades de la cara de vertido en dosificaciones sin fibras y con golpes.</i>	104
<i>Figura 101 Tonalidades de la cara de vertido en dosificaciones con fibras y sin golpes.</i>	105
<i>Figura 102 Tonalidades de la cara de vertido en dosificaciones con fibras y con golpes.</i>	105

Figura 103 Tipo de manchas en las caras laterales de la probeta según el tipo de dosificación. 106

Figura 104 Tipo de manchas en la cara de fondo de la probeta según el tipo de dosificación. 107

Figura 105 Resistencia a compresión según el tipo de dosificación. 108

Figura 106 Consistencia según el tipo de dosificación. 108

Lista de Tablas

<i>Tabla 1 Color de los áridos según su naturaleza [16]</i>	28
<i>Tabla 2 Ejemplo de niveles de clasificación de hormigón visto.</i>	48
<i>Tabla 3 Sistemas de clasificación internacionales.</i>	48
<i>Tabla 3 Continuación. Sistemas de clasificación internacionales.</i>	49
<i>Tabla 3 Continuación. Sistemas de clasificación internacionales.</i>	50
<i>Tabla 4 Metodologías aplicadas para la cuantificación de la porosidad.</i>	52
<i>Tabla 4. Continuación Metodologías aplicadas para la cuantificación de la porosidad.</i>	53
<i>Tabla 5 Porcentaje de poros admisibles según el nivel de calidad de la superficie.</i>	55
<i>Tabla 6 Metodologías aplicadas para medir la uniformidad del color.</i>	56
<i>Tabla 7 Criterios de aceptación de uniformidad del color.</i>	58
<i>Tabla 8 Metodologías aplicadas para medir la planeidad de la superficie.</i>	59
<i>Tabla 9 Criterios de aceptación de las juntas de construcción.</i>	60
<i>Tabla 10 Criterios de aceptación de las juntas de paneles de encofrado.</i>	61
<i>Tabla 11 Metodología aplicada para medir las manchas y defectos.</i>	62
<i>Tabla 12 Variables consideradas.</i>	72
<i>Tabla 13 Numero de poros, tamaño, y promedio del tamaño de poros.</i>	76
<i>Tabla 14 Rango de área del poro.</i>	77
<i>Tabla 15 Características de los tonos.</i>	79
<i>Tabla 16 Dosificación Inicial (Para 1m³ de hormigón).</i>	86
<i>Tabla 17 N° de poros según el tamaño del poro.</i>	95
<i>Tabla 18 Desconchado de las caras laterales de la probeta según el tipo de dosificación.</i> 100	
<i>Tabla 19 Tonos sin fibras y sin golpes</i>	101
<i>Tabla 20 Tonos sin fibras y con golpes</i>	101
<i>Tabla 21 Tonos con fibras y sin golpes</i>	101
<i>Tabla 22 Tonos con fibras y con golpes</i>	101
<i>Tabla 23 Defectos de dosificaciones sin fibras y sin golpes.</i>	109
<i>Tabla 24 Defectos de dosificaciones sin fibras y con golpes.</i>	110
<i>Tabla 25 Defectos de dosificaciones con fibras y sin golpes.</i>	110
<i>Tabla 25 .Continuación. Defectos de dosificaciones con fibras y sin golpes.</i>	111
<i>Tabla 26 Defectos de dosificaciones con fibras y con golpes.</i>	111

1. Introducción

1.1. Justificación

La visión tradicional del hormigón en las últimas décadas ha cambiado debido al desarrollo de nuevas tecnologías, en búsqueda de materiales duraderos y sostenibles. Los avances en la tecnología han dado lugar a materiales de construcción innovadores, que ha permitido nuevas aplicaciones resultando estructuras más esbeltas, de menor espesor y mayor durabilidad.

Además, de las características mecánicas del material, cada vez más se incrementa la importancia de que el hormigón forme parte de la integración arquitectónica de la estructura, y uno de los aspectos fundamentales es el estudio del acabado de hormigones vistos [1].

La calidad de la superficie implica numerosos y variados problemas. Las dificultades prácticas más importantes son la obtención de una superficie vista sin defectos, uniformes y en algunos casos la reproducción de superficies con determinadas características [2], por esta razón en la elaboración de hormigones vistos es de vital importancia tener en cuenta los factores que influyen o pueden influir en el aspecto definitivo una vez puesta en servicio la estructura.

La planificación, elección de materiales y su proporción, además de la elección del encofrado y la puesta en obra del hormigón, son algunos de los factores más relevantes que se debe tener en cuenta para obtener un buen acabado superficial. Es importante destacar que mejorar la puesta en obra y lograr un buen acabado superficial son factores que mejoran las características del hormigón, calidad, durabilidad entre otras cosas, todo ello favorece y mejora las características sostenibilidad del hormigón [1].

Como se ha mencionado anteriormente, lo que destaca del hormigón visto es la calidad superficial, sin embargo, la evaluación del acabado es difícil, puesto que cada ser humano se forja una representación distinta de lo ideal según sus criterios particulares, siendo más o menos sensible a la belleza. Existen reglas sobre estética, como por ejemplo, de armonía, naturaleza o referentes a las técnicas, pero dichas normas son muy amplias y no permiten establecer claramente sus fronteras [2], y desde el punto de vista tecnológico del hormigón se han encontrado pocos estudio de investigación [3][4][5][6] que presenten una metodología que permita caracterizar la calidad de la superficie.

Por las razones expuestas anteriormente, se desarrolla este trabajo fin de máster, donde es de interés valorar la calidad del acabado del hormigón visto, mediante procedimientos que permitan caracterizar la superficie de forma objetiva. Además se analizan los factores que influyen en la calidad del acabado.

El alcance de la investigación es evaluar la calidad del acabado del hormigón visto, la cual se define por el tipo y cantidad de defectos admisibles en el acabado superficial, y no por su belleza estética. Las exigencias dependerán del nivel de calidad que está condicionado por la posición, tamaño e importancia del elemento, es decir, que las exigencias se incrementan o disminuyen dependiendo de las características de la obra. En el trabajo se especifican los criterios que permiten definir la calidad, pero las exigencias por niveles no son definidos, ya que el trabajo final de master no se enfoca en un elemento u obra en concreto, por esta razón no se establecen niveles de calidad.

Además de la evaluación de la calidad del acabado, se analizan los diferentes procedimientos aplicados para la caracterización del acabado de la superficie y se desarrollará una metodología que permita caracterizar la superficie mediante la cuantificación de defectos en Hormigones Vistos de Ultra Altas Prestaciones.

1.2. Objetivo general

Evaluar la calidad y caracterización del acabado en el Hormigón Visto de Ultra Altas Prestaciones

1.3. Objetivos específicos

- Realizar un amplio estudio bibliográfico donde se analizan:
 - Los criterios utilizados para definir la calidad del acabado
 - Las metodologías aplicadas para la cuantificación de defectos.
 - Los factores que influyen en la calidad del acabado del hormigón.
- Desarrollo de una metodología para la caracterización de la calidad del acabado del Hormigón Visto de Ultra Altas Prestaciones.
- Análisis de los factores que influyen en la calidad del Hormigón Visto de Ultra Alta resistencia.

1.4. Estructura del documento

El presente documento está constituido por cinco capítulos ampliamente desarrollados, en los se justifica y desarrolla la investigación. Estos cinco capítulos, son:

- Capítulo I: se realiza una breve introducción al tema del Trabajo Fin de Máster en el cual se desarrolla la justificación del trabajo, se definen los objetivos y se describe la estructura del documento.
- Capítulo II: contiene una revisión bibliográfica del estado del arte y conocimiento hasta la actualidad. En este capítulo se realiza un análisis de los criterios utilizados para definir la calidad y metodologías aplicadas para cuantificar los defectos, además de los factores que influyen en el acabado.
- El capítulo III: se explica el programa experimental y se desarrolla la metodología aplicada para la caracterización de los defectos, posteriormente se mencionan los materiales, métodos y equipos utilizados a lo largo del estudio. Por otra parte se explica la metodología aplicada para la cuantificación de defectos.
- Capítulo IV: se muestran los resultados obtenidos del programa experimental y el análisis de los factores que influyen en la formación de defectos en la superficie del hormigón visto de ultra altas prestaciones.
- Capítulo V: se presentan las conclusiones de la investigación, en la cual se pretende resumir de forma sistemática los análisis realizados y a las conclusiones que se han llegado, también se plantearan las futuras líneas de trabajo.

2. Estado del Arte

2.1. Definición del Hormigón visto

El concepto del hormigón visto presenta una definición ambigua, esto se debe a que cada proyectista define la calidad de la superficie según lo que considere estéticamente aceptable, cada uno posee una perspectiva diferente de la expresividad final de la superficie del hormigón.

Según CEDEX se entiende como superficies de hormigón visto: “aquellas que se muestran, durante su vida útil, tal y como se presentan una vez suprimidos los encofrados, o tras finalizar las operaciones de tratamiento superficial, si las hubiera, sin revestimiento o adición de otros materiales que las cubran con finalidad ornamental ” [7]. Por otra parte López, A considera que los hormigones vistos son aquellos que por su apariencia estética generan impacto visual [8].

El informe N°5 del C.I.B. define con la expresión “hormigón de color uniforme y sin defectos de superficie” al hormigón cuyas superficies presentan variaciones de color estéticamente aceptables, exenta de manchas, o superficies donde los defectos son poco visibles. Además, afirma que es de gran dificultad realizar superficies perfectamente uniformes [9]. Mientras que Ulrich Trüb considera que las irregularidades de la superficie, le dan el toque de originalidad a la superficie de hormigón siempre que los defectos sean proporcionales a la magnitud del edificio y al distancia de observación[2].

En el presente trabajo, el hormigón visto será definido como aquel hormigón que al ser desencofrado, la superficie sea estéticamente aceptable, sin la necesidad de revestimientos superficiales que cubran la expresividad natural del hormigón, como se muestra en las Figura 1 y Figura 2.



Figura 1 Acabados del hormigón visto [10].



Figura 2 Complejo deportivo Gobela en Vizcaya (España) [10].

2.2. Planificación

El hormigón visto requiere de una cuidadosa planificación, ejecución y buena calidad del material para obtener resultados favorables. Todos los requisitos y clasificaciones deben estar claramente definidos en la convocatoria de licitación, además deberá identificarse el método de evaluación [11].

Numerosos autores [11][12][13][14] hacen referencia a la importancia de realizar una cuidadosa planificación para obtener un acabado estéticamente aceptable, esto se debe a que en la misma se define el nivel o clase de acabado del hormigón, se especifican los detalles técnicos y se establecen los requisitos necesarios para la aceptación de la superficie.

Se recomienda que entre los agentes involucrados exista una definición clara y un lenguaje en común del alcance del proyecto; por esa razón, es necesario definir claramente en la planificación los parámetros necesarios para poder alcanzar el acabado deseado [13].

El proyectista debe definir la textura y cualquier efecto especial que se requiera en el momento de la licitación. Tal definición puede ser por referencia a paneles existentes, el uso de fotografías con buena calidad, incluir la escala o la combinación de ambos. El constructor debe estar seguro de que el acabado requerido puede ser producido y debe incorporar el precio en la licitación para todas las medidas especiales que él considere necesario para lograr el acabado requerido [11].

En la planificación se debe considerar la influencia del tiempo y la temperatura durante la preparación. Además, después de tratamiento, se debe tomar en cuenta las respectivas circunstancias generadas durante el transporte, la colocación y el tipo de hormigón, ubicación y dimensiones del elemento tiene un impacto significativo en el calidad del acabado del producto [11].

En la Figura 3 se muestra una lista de verificación de los detalles que deben ser definidos en la planificación, diseñada para el proyectista y constructor.

CALIDAD SUPERFICIAL DEL HORMIGÓN VISTO DE ULTRA ALTAS PRESTACIONES

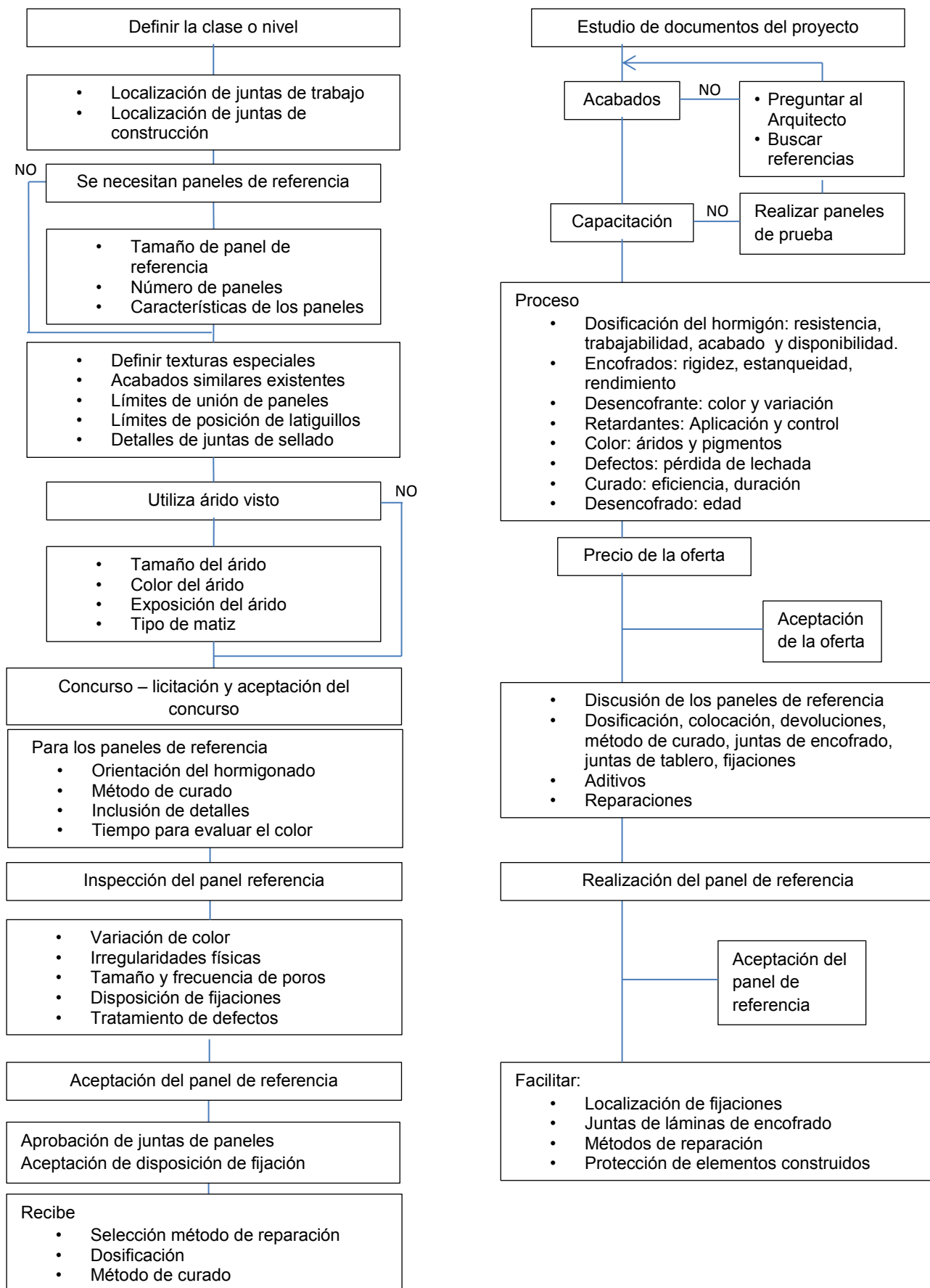


Figura 3 Especificación y producción de hormigón visto [15].

2.3. Materiales

La selección de los materiales constituyentes del hormigón es uno de los factores más relevantes que se debe tener en cuenta para obtener un buen acabado superficial. Sin embargo, la selección de los componentes es más rigurosa en los hormigones vistos que en los convencionales, esto se debe a que generalmente la superficie del hormigón visto queda más expuesta frente a las acciones externas como el ataque de productos químicos agresivos (cloruros, sulfatos, aguas ácidas, etc.) [16], por esta razón es imprescindible el cumplimiento de las especificaciones de durabilidad establecidas en la EHE-08 [17].

Otras de las precauciones que se deben tener en cuenta para la selección de materiales, es que el suministro se mantenga constante durante la ejecución de la obra, sin variaciones en su formulación y aprovisionamiento, además se debe evitar la contaminación y cambios de proveedores [13].

2.3.1. Cemento

Generalmente, la selección del tipo de cemento depende de la resistencia mecánica y durabilidad deseada pero en el caso de los hormigones vistos, además de las consideraciones mencionadas, se debe tomar en cuenta los criterios estéticos, el tono final deseado y disponibilidad en aproximaciones de la obra.

En este sentido, el cemento influye significativamente en el tono final del hormigón [18], su color es el resultado de la mezcla del clinker, yeso y adiciones, el contenido de hierro afecta notoriamente el color del cemento, siendo mínimo en el cemento blanco [19].

Dado que el color del cemento depende de las materias primas que lo constituyen, es conveniente que el suministro del cemento se mantenga constante durante toda la obra, sea del mismo tipo y provenga de la misma fábrica pues de esta manera se evitará variaciones de tonalidad en la superficie del hormigón [7].

El cemento Tipo CEM I es el recomendado por su regularidad en el tono [7][16]. Sin embargo, el cemento portland blanco por su bajo contenido en hierro ofrecen mayor uniformidad en el color. También, algunos autores consideran que los cementos portland con escoria pueden dar buenos resultados [7]. Según CEDEX, los cementos compuestos y los que llevan ceniza volante contribuyen a la irregularidad del color pero no recomiendan su uso cuando se trata de obtener superficies de hormigón de alta calidad [7].

2.3.2. Áridos

Los áridos que constituyen el hormigón visto deben seguir los parámetros establecidos en la normativa EHE – 08 [17], son las mismas características que se establecen para los áridos de un hormigón en general.

La granulometría de los áridos mediante un cuidadoso control debe mantenerse constante, para garantizar la uniformidad de las diferentes amasadas y evitar cambios en la docilidad que podrían causar variaciones en el color o en el caso de los hormigones con árido visto, cambio en la textura [7][13][18][20].

Para obtener buenos acabados algunos autores [7][13][16] recomiendan utilizar una granulometría continua, esto se debe a que una granulometría discontinua, por falta de fracciones de áridos podría causar el fenómeno conocido como transparencia de áridos, en donde los áridos aparecen en oscuro sobre fondo claro (Ver Figura 4) [7].

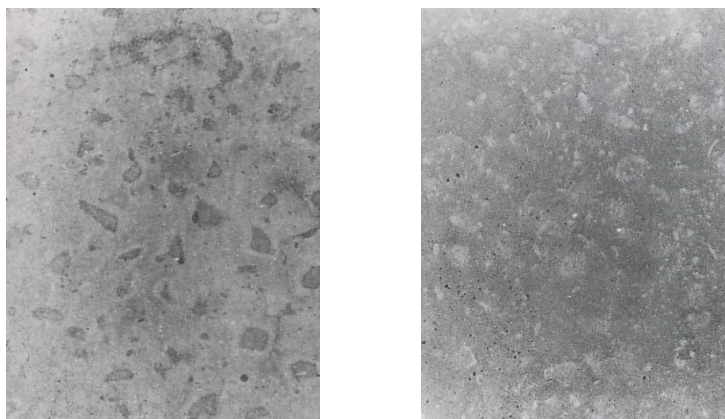


Figura 4 Fenómeno “Transparencia de los áridos” [21].

Según los criterios establecidos en la EHE-08 [17] el tamaño máximo del árido debe estar en función del recubrimiento del elemento estructural y de la distancia horizontal entre armaduras. En el caso de hormigones con árido visto, se selecciona con base a la superficie total expuesta y a la distancia que se visualizará la superficie [7].

La dureza de los áridos dependerá del tratamiento a posteriori que se realizará a la superficie del hormigón. Se requiere de áridos duros para tratamientos mediante chorro abrasivo, y si se va a pulir la superficie hay autores que recomiendan no sobre repasar el valor de 4 de la escala de Mohs [7].

Diferentes bibliografías [7][13][2] coinciden con la importancia de la limpieza de los áridos. La presencia de partículas compuestas por hierro, minerales de arcilla, materia orgánica carbón pueden causar variación de la tonalidad en la superficie del hormigón (Ver Figura 5);

la presencia de impurezas de materia orgánica podría afectar la adherencia del árido con el mortero, y por otra parte la textura del acabado superficial del hormigón [16].



Figura 5 Decoloración por la presencia de pirita en los áridos [21].

Con respecto a la tonalidad final deseada en el hormigón se debe considerar que el exceso de áridos finos y cemento tiene mucha influencia sobre el color, porque el tamaño de la partícula podría actuar como un pigmento, por esta razón es recomendable que la granulometría de los finos sea continua, para evitar variaciones de tonalidad en la superficie [7][9][18]. Hay quienes coinciden que el exceso de árido fino puede aclarar la superficie, dado que el árido presenta una mayor superficie específica e incrementa la demanda de agua, lo que conlleva a un color más claro en la superficie [18][20].

Carvalho [18] menciona que es importante la morfología de los áridos ya que los áridos redondeados por su forma poseen menor superficie específica, demandan menor cantidad de agua y esto produciría hormigones más oscuros, los realizados con áridos machacados, mientras que Trüb [2] considera que la diversidad de áridos no tiene ninguna influencia en la superficie del hormigón a menos que las partículas con tamaño muy fino afecten ligeramente la coloración.

Algunos autores consideran que el color del árido grueso no es relevante en la apariencia final del hormigón [13][18][19][20], recomiendan seleccionar áridos que no hagan contraste con la superficie, caso contrario ocurre en los hormigones con árido expuesto, el color del árido grueso es importante ya que su superficie es superior al 50% del total, como se observa en la Figura 6. En los hormigones blancos aconsejan seleccionar áridos de colores claros para no crear sombras en la superficie [7]. Esto demuestra que establecer parámetros para el diseño del acabado, es difícil, ya que el alcance del acabado estético dependerá de las especificaciones proporcionadas por el usuario.



Figura 6 Hormigón visto con árido expuesto [21].

2.3.3. Agua

En el artículo 27 de la instrucción EHE-08 [17] se encuentran establecidas las especificaciones exigidas para el agua de amasado y curado en obra, no deben contener partículas que afecten las propiedades del hormigón; menciona al pH, sustancias disueltas, sulfatos, cloruros, hidratos de carbono, aceites y grasas.

Los autores [7][13][16][18] coinciden en que el agua que se utilice para la fabricación de hormigones vistos en el contenido total de partículas disueltas sea inferior a 2,0 g/l. Las partículas de hierro en suspensión pueden ocasionar manchas o variaciones de tonalidad en la superficie del hormigón visto.

2.3.4. Adiciones

Las especificaciones se encuentran establecidas en el artículo 30 de la instrucción EHE-08 [17]. El uso de adiciones directamente en la amasada del hormigón no son recomendadas [13], ya que podría generar heterogeneidad en la superficie. En este caso, se aconseja utilizar una amasadora energética para garantizar una mezcla homogénea y evitar los cambios de tonalidad en la superficie.

Ospina M. [22] explica que la morfología de la adición puede influir en la trabajabilidad de la superficie. En el caso de la ceniza volante, debido a su forma esférica (Ver Figura 7), mejora la trabajabilidad de la mezcla lo que con lleva mejores acabados.

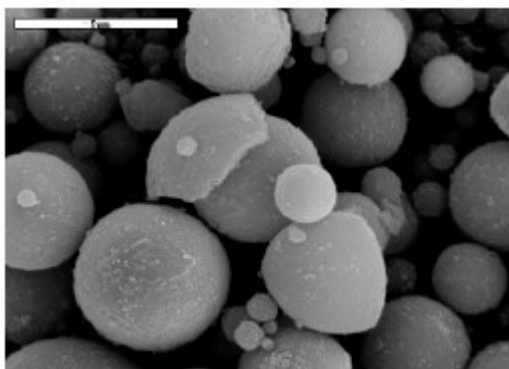


Figura 7 Morfología de las partículas de ceniza volante [22].

El tono de la superficie del hormigón puede variar dependiendo del tipo de adición, ACHE [13] explica cómo puede variar el tono del cemento dependiendo de las adiciones. A continuación, se expone cómo influye el tipo de adiciones en el color del cemento:

- Las adiciones de caliza o escoria generalmente producen cementos con tonos más claros que los cementos tipo CEM I.
- Los cementos con adiciones de ceniza volante, puede variar a tonos oscuros, claros verdosos o pardos, dependerá de la procedencia, de la proporción en el cemento y de los colores iniciales del clinker y la ceniza volante.
- El color de las puzolanas depende de la cantera de procedencia, generalmente aporta tonos más rojizos o amarillentos a los cementos con esta clase de adición.

En la Figura 8 se observa una comparación del cambio de tonalidad del cemento según el tipo de adición.



Figura 8 Tonalidades del cemento según el tipo de adición [13].

2.3.5. Aditivos

Según la instrucción EHE-08 [17] en su artículo 29 los aditivos son aquellas sustancias que se incorporan antes o durante el amasado en una proporción no superior al 5% del peso del cemento, producen las modificaciones deseadas en mencionado hormigón, en estado fresco o endurecido, de alguna de sus características, de sus propiedades habituales o de su comportamiento.

Cada tipo de aditivo se identifica y define por producir una modificación determinada en la reología del hormigón, mortero o pasta. En la elección del aditivo se debe tener en cuenta: las condiciones de fabricación, puesta en obra y los posibles efectos secundarios que se podrían producir en la superficie del hormigón visto. ACHE [13] recomienda en el uso de cementos blancos o coloraciones claras realizar pruebas de laboratorio para comprobar que los aditivos no afectan el acabado superficial del elemento.

Los aditivos superplastificantes proporcionan una elevada docilidad manteniendo una baja relación agua/cemento, mencionado aditivos actúan como dispersantes de las partículas del cemento, que evita la floculación del cemento, por ende, mejora la dispersión en la solución acuosa [13].

Los aditivos plastificantes mejoran la trabajabilidad del hormigón para una determinada relación agua/cemento, esta característica favorece la dispersión de los pigmentos y la homogeneidad de la superficie [18][21]. Los plastificantes a base de lignosulfonatos podrían producir en los hormigones oscurecimiento de la superficie, más evidente en los hormigones blancos (Ver Figura 9) [7][13], también favorecen la formación de eflorescencia [19].



Figura 9 Oscurecimiento de la superficie de hormigones blancos [13].

Los aditivos ocluidores de aire al proporcionar numerosas pequeñas burbujas distribuidas uniformemente favorecen el aspecto homogéneo de la superficie [7][9] y facilita la dispersión de los pigmentos [18].

Retardadores de fraguado son recomendados para evitar las juntas frías, usualmente se utilizan cuando el hormigonado entre tongadas será interrumpido durante horas [7][13], en la Figura 10 se muestra la formación de juntas frías en un muro.



Figura 10 Formación de juntas frías [13].

Los aditivos reductores de agua incrementan la docilidad del hormigón para un mismo contenido de agua sin producirse la segregación o disminuyen el contenido de agua para una trabajabilidad dada, estos aditivos facilitan la presencia de eflorescencias[18][21]. Por otra parte, se recomienda productos hidrófugos para evitar las eflorescencias [18][7][13].

2.3.6. Pigmentos

Los principales componentes que le proporcionan color al hormigón son el cemento y los pigmentos. Los pigmentos son productos generalmente de naturaleza inorgánica, en forma de polvo, conformado por partículas de tamaño muy pequeñas (inferiores a $1\mu\text{m}$).

Según diferentes autores [13][23][24] los pigmentos deben ser inertes, conservar su tonalidad original, resistentes a la luz solar e intemperie, tener un pH estable, no deben poseer contenidos de sales o áridos y ser fácilmente dispersables en el cemento y los finos del hormigón.

Los pigmentos que cumplen con los requisitos anteriormente expuestos son los óxidos de hierro, que le proporcionan al hormigón colores como el negro, amarillo y rojo [23][24]. El óxido de titanio es utilizado para hormigones blancos, el óxido de cromo para verdes y el aluminado de cobalto para colores azules. Para conseguir colores, pardos, naranjas y otros se obtienen por la mezcla de los anteriores [13].

En la dosificación se debe considerar que el aumento de la intensidad del color al principio es proporcional a la cantidad de pigmentos hasta un momento en que el color se satura [23] como se observa en la Figura 11. Los porcentajes óptimos suelen estar comprendidos entre el 3% y el 5% sobre el peso del cemento y los puntos de saturación entre 7% y el 10% [13][24]. También es necesario considerar que la incorporación de finos demanda mayor cantidad, ya que se incrementa la cantidad de finos en la mezcla [18].

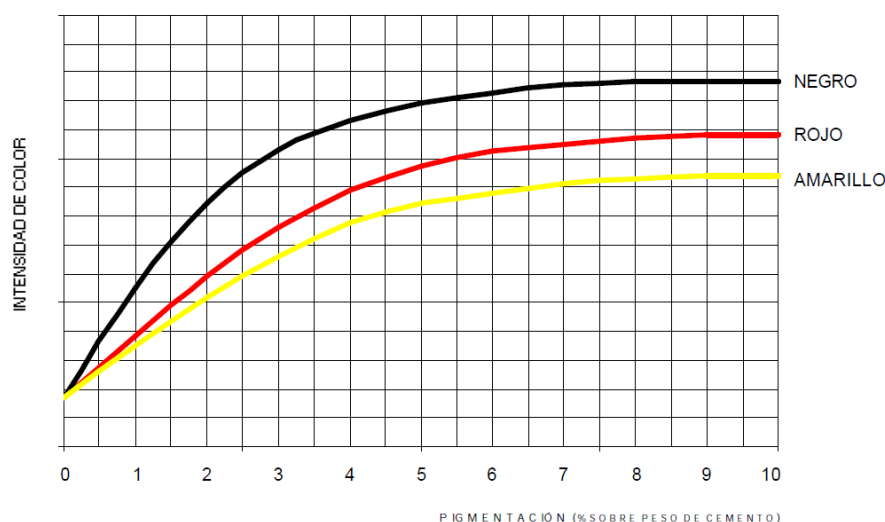


Figura 11 Variación de la intensidad según el porcentaje de pigmentos [18].

En los hormigones pigmentados se debe considerar que el uso de cemento gris intensifica el color de la mezcla, por ende, se recomienda que para hormigones con tonos oscuros, utilizar cementos de color gris y para hormigones con pigmentos claros utilizar cemento de color blanco. La elección del color del árido depende del acabado final, en la Tabla 1 se muestra una recomendación del tipo de árido según el color del hormigón pigmentado.

Tabla 1 Color de los áridos según su naturaleza [16].

Tipo de árido	Color
Mármol	Negro, azul, gris, rojo, blanco
Granito	Negro, azul, pardo
Caliza	Amarillo
Silíceo	Color, ceniza, tono pálidos
Rocas eruptivas	Amplia variedad de colores

2.4. Dosificación

Una de las principales características que se debe tener en cuenta en la dosificación de un hormigón visto es realizar una mezcla rica en pasta para que el recubrimiento alrededor del árido sea muy abundante, esto permite obtener mejores texturas en el acabado, y en los hormigones pigmentados es una condición necesaria para obtener uniformidad en el color de la superficie [9][16][20]. ACHE [13] recomienda que el volumen de mortero (volumen de cemento + volumen de arena + volumen de agua) frente al volumen total de hormigón debe estar comprendida entre el 45% y 50%.

El contenido de cemento debe ser superior a 350 kg/m^3 para obtener acabado con buena calidad [7][13][16][20], dosificaciones con un contenido de cemento menor a 300 kg/m^3 , podrían producir huecos superficiales, y una cantidad mayor a 370 kg/m^3 , puede ocasionar fisuración [7].

Según algunos autores [7][9] si se desea obtener superficies con uniformidad en el color se recomienda realizar mezclas ricas en cemento y arena, sin embargo, si se desea que el hormigón contenga la menor cantidad de huecos superficiales, es preciso reducir la cantidad de arena a la mínima necesaria para evitar la segregación. Se recomienda que la suma de la cantidad de cemento y la fracción pasante del árido por el tamiz de $0,125 \text{ mm}$ debe estar comprendida entre 450 y 550 kg/m^3 [13].

El uso de hormigones con consistencia fluida son los más adecuados para superficies de hormigón de excelente calidad, proporciona uniformidad del color y menor contenido de burbujas en la superficie [13][20], sin embargo, es necesario especial cuidado en los hormigones convencionales con mezclas muy fluidas, se podría perder pasta por las juntas defectuosas del encofrado, lo cual es un aspecto poco estético.

Según ACHE [13] es imprescindible diseñar la dosificación en el laboratorio y realizar pruebas de referencia, con la finalidad de verificar que el acabado del hormigón es el deseado por el proyectista y además cumple con características mecánicas y de durabilidad. Las condiciones deben ser muy similares a la realidad, es decir, las pruebas se deben realizar tomando en cuenta las condiciones climáticas en las que se realizará el hormigonado, para evitar variaciones en el acabado.

2.5. Encofrado

El encofrado es un elemento que tiene gran influencia en el acabado del hormigón, además de las tolerancias, dimensiones y aspectos generales como detalles de las juntas, el material a emplear y los condicionantes que se puedan presentar, permite obtener diferentes formas y texturas lo que es fundamental para el diseño del hormigón [16], su correcta elección puede ser determinante para obtener hormigones con elevada calidad en la superficial.

El tipo superficie y deformación excesiva del encofrado puede ocasionar defectos en el acabado, es importante una correcta elección, fabricación y montaje, para evitar la formación de cejas, fugas de mortero o lechada por las juntas y evitar deformaciones de gran magnitud durante la colocación y vibrado del hormigón [9].

La definición y elección del encofrado según Fernández J. [15], se debe basar en la información recogida en los planos y pliego de condiciones, y debe abarcar los siguientes puntos:

- Definición de la geometría de la pieza
- Tolerancias admisibles en elementos terminados
- Detalles que definan la ejecución de juntas de contracción y dilatación
- Ubicación de las juntas de encofrado y detalles que definan su ejecución
- En casos especiales, orden de hormigonado
- Acabados que requieran tratamientos superficiales
- Criterios para el desencofrado y descimbrado
- Especificaciones del encofrado que se deban aprobar en obra antes de su empleo
- Nivel de calidad de la superficie

2.5.1. Condicionantes básicos que afectan en el aspecto hormigón

Según numerosos autores [16][20][21] la geometría, rigidez, resistencia y estanqueidad del encofrado son aspectos básicos que influyen en el acabado del hormigón.

- La geometría del encofrado parte con la definición de la forma que se encuentra especificada en los planos. Las tolerancias del encofrado son más rigurosas que en los elementos de hormigón finalizados, dado que siempre sufrirán deformaciones que serán añadidas a las anteriores.
- La rigidez del encofrado limitará las desviaciones inherentes producidas por asientos, movimientos, y deformaciones del encofrado. También deben limitarse las flechas de los elementos del encofrado por la acción del hormigón fresco más que en los hormigones convencionales, un límite adecuado es de 1/400 de la luz del elemento a considerar. En la figura 12 se observan la formación de cejas e irregularidades en la superficie por falta de rigidez en el encofrado
- La resistencia del encofrado es una propiedad que deben cumplir todos los encofrados. El método de cálculo a emplear debe tener en cuenta todas las variables que intervienen en el proceso, dado que alguna de ellas influirá significativamente, por ejemplo en el caso del hormigón visto se emplean vibrados más enérgicos que debe ser considerado en el cálculo de las cargas. El empleo de aditivos plastificantes y consistencias elevadas también producen mayores cargas
- La falta de estanqueidad producirá la formación de aletas de mortero, pérdida de lechada y nidos de gravas que se produce por la evacuación del agua por las juntas del encofrado (Ver figura 13).

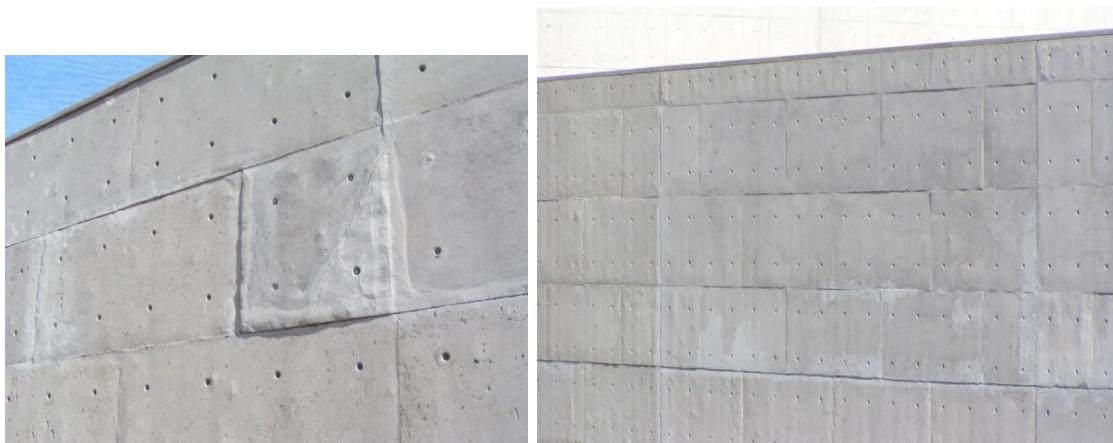


Figura 12 Formación de cejas e irregularidades en la superficie [21].

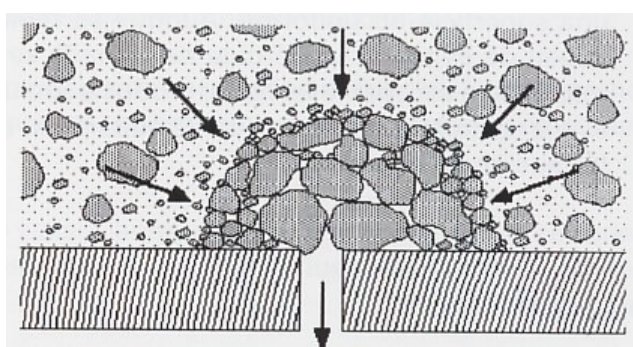


Figura 13 Formación de nidos de gravas [21].

2.5.2. Superficie encofrante

El acabado y la textura dependerán de la superficie en contacto con el hormigón, que en este documento se denomina superficie encofrante. Las características principales que se deben tener en cuenta a la hora de elegir una superficie encofrante, que van a influir en la apariencia de la superficie del hormigón, se describen a continuación.

- Superficies de madera

Tienen la capacidad de ser absorbentes, mencionada característica afecta el color de la superficie, se recomienda utilizar madera de la misma procedencia para mantener la uniformidad del color. La absorción del agua reduce la relación a/c en la superficie, dando lugar a hormigones más oscuros, antes de aplicar el producto desencofrante, se aconseja humedecer el encofrado para evitar la absorción del agua [13][16][21]. Los materiales absorbentes reducen con el uso la capacidad de absorción, y el volumen de agua absorbida por el encofrado varía en función de la presión en el hormigón durante el hormigonado [9]. La ventaja que tienen mencionados encofrados es que por la absorción de la madera reducen el aire que se queda atrapado entre el encofrado y el hormigón lo que conlleva a una reducción de la porosidad. El acabado de una superficie encofrante de madera se observan en la Figura 14.



Figura 14 Acabado del hormigón con superficie encofrante de madera [21].

- Superficies de contrachapado

Es uno de los materiales más utilizados para obtener superficies vistas, pero es un material costoso y se puede reutilizar aproximadamente de 3 a 5 veces [13]. Con el tiempo al igual que en la madera, se hace menos absorbente, lo que da lugar a superficies más claras y con mayor cantidad de poros. La superficie puede tratarse con resina fenólica durante su fabricación o aplicarse tratamientos más especializados como la fibra de vidrio con resinas, con el fin de mejorar la durabilidad, impermeabilizar la superficie y conseguir acabados con un color uniforme [16].

- Superficies de acero

Se clasifica como encofrado no absorbente y permite mayor mantenimiento y reutilización del encofrado [25], proporcionan acabados más lisos, ya que no tiene las imperfecciones e irregularidades que transmiten los tablonces de madera natural, sin embargo, puede ocasionar manchas de óxido atribuidas a defectos en la preparación del encofrado; al ser una superficie impermeable el color de la superficie es más uniforme, pero con mayor cantidad de poros superficiales en comparación con la madera [9][13][16].

- Superficies de plástico

Las superficies de plástico proporcionan la versatilidad de realizar diferentes texturas en el hormigón (Ver Figura 15). El plástico que en algunos casos se encuentra reforzado con fibra de vidrio, debido a su baja absorción (con lo cual se consigue uniformidad en el color) y la posibilidad realizar diversas formas en la superficie con pocas juntas, resultan muy adecuados para la estética del hormigón [16].

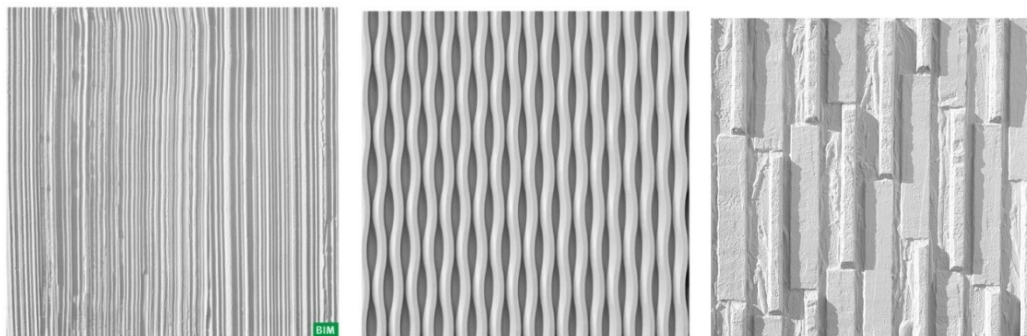


Figura 15 Acabados con superficie encofrante de plástico [26].

2.5.3. Desencofrante

Los desencofrantes o desmoldantes son productos químicos que se aplican para evitar la adherencia entre el hormigón y el encofrado, existe una gran variedad, la elección dependerá del material de la superficie encofrante, según las condiciones de fabricación y de acuerdo con los requisitos de la superficie de hormigón [11].

Su función es esencial para obtener hormigones con elevada calidad estética, la elección del tipo de desencofrante y la correcta aplicación influyen directamente en la calidad de la superficie del hormigón. Para obtener un color homogéneo, en la superficie del hormigón, es necesario aplicar una capa muy delgada y uniforme [9], evitar aplicaciones como se observan en la Figura 16. El exceso de desencofrado o la incorrecta aplicación forma manchas y porosidad en la superficie como se observa en la Figura 17 y 18.



Figura 16 Incorrecta aplicación de desencofrante [21].



Figura 17 Manchas en hormigón gris por exceso de desencofrante [21].



Figura 18 Manchas en hormigón blanco por exceso de desencofrante [27].

Según ACHE [13] para conseguir buenos acabados se deben utilizar desencofrantes a base de sintética o de base vegetal y evitar los de productos a base de aceites reciclados, ya que el contenido de impurezas, grupos apolares y elementos aromáticos presentes en este tipo de productos causan manchas, coqueas, amarilleo en la superficie, entre otras cosas. López A. también considera que con emulsiones vegetales, mejoran aún más la uniformidad del color y evitan rechupes, además de no tener efectos perjudiciales sobre las personas y el medio ambiente [25].

Beltramone A, analiza las modificaciones superficiales de color y textura en morteros de cemento portland gris, por la utilización de diversos tipos de desencofrante (aceite de automóvil, aceite mineral y desencofrante parafínico), concluyendo que el desencofrante parafínico confiere menor número de modificaciones superficiales tanto en color como en textura por lo que resulta el más recomendable para la realización del hormigón visto, el desencofrante de aceite mineral presenta un ligero cambio tanto en la textura como en el color, y el aceite de automóvil es el que modifica en mayor grado el acabado superficial del hormigón [28].

La correcta elección y aplicación del encofrado es muy importante para un buen acabado, por sugerencia de los autores, el desencofrante de base vegetal, es el que permite obtener mejores calidades. También se destaca que no utilizar desencofrantes afecta la superficie ocasionando desconchamiento en el hormigón como se observa en la Figura 19.

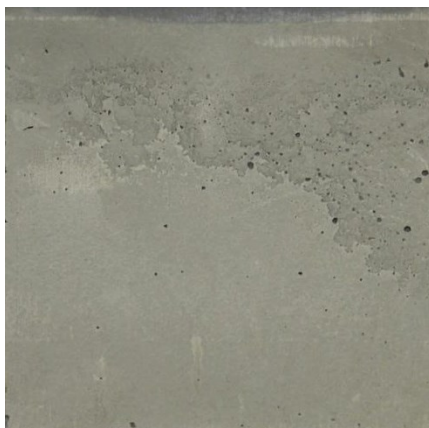


Figura 19 Desconchamiento del hormigón. Fuente: Propia

2.6. Proceso de fabricación

Los elementos utilizados para el proceso de fabricación deben estar limpios, exento de residuos de mortero endurecido, hormigón u otras sustancias susceptibles a manchar la superficie [9][13][21]. En el caso de fábrica hormigones con cemento gris y blanco para una misma obra se recomienda utilizar caminos hormigoneras diferentes para cada tipo de hormigón [7].

Para obtener un acabado homogéneo y con calidad estética elevada, se debe considerar que las variaciones de color en la superficie son ocasionadas en algunos casos, por amasada insuficiente, por esta razón se recomienda amasadoras enérgicas, y en ocasiones, la prolongación del tiempo de amasado [7][9][20], se debe tener en cuenta que la duración excesiva en el tiempo de amasado, produciría el calentamiento del hormigón por una aceleración de la hidratación, romper los áridos y disminuir el contenido de aire en los hormigones con aire ocluido [13].

Las amasadas deben ser iguales, la secuencia de vertido en la amasadora, la velocidad y el tiempo de amasado debe ser constante, para obtener la misma calidad para diversos hormigones, una superficie con uniformidad del color y acabado homogéneo [7][13][18].

2.7. Puesta en obra, vertido y compactación

Los equipos y maquinarias que serán utilizados para el transporte de hormigón deben estar exentos de residuos de mortero y hormigón endurecido, aceite y de cualquier otro tipo de sustancias que influyan en el acabado del hormigón [7].

El transporte se debe limpiar cuidadosamente y en el caso de utilizar hormigones con diferentes características para una misma obra, se recomienda utilizar un camión para cada tipo de hormigón o realizar muy bien la limpieza del camión. La elección debe ser adecuada para controlar la trabajabilidad del hormigón y evitar la segregación durante el transporte.

No se debe añadir agua después del amasado para corregir la consistencia, podría producir variaciones de tonalidad en la superficie [7][13].

El hormigonado debe realizarse por tongadas de espesor uniforme, sin interrupciones del nivel inferior al nivel superior de cada tongada, la velocidad debe ser constante y superior a 2 m de altura por hora [9], se debe colocar desde una altura menor posible, no superior a los 2 m. La colocación debe ser próxima a la base, sin verter contra el encofrado en solo punto, así se evita la aparición de porosidad superficial y segregación del hormigón [7]. Durante el vertido del hormigón se debe tener precaución con las salpicaduras de hormigón, que posteriormente endurecerán y se observaran como machas en la superficie [21]

El vibrado del hormigón debe realizarse a lo largo de todo el hormigonado, los autores recomiendan vibradores de aguja [7][9] en lugar de vibración externa en el encofrado, la frecuencia optima de vibración depende de varios factores y aconsejan realizar ensayos en condiciones reales para determinar la frecuencia más apropiada al conjunto de las condiciones dadas [9]. La calidad del vibrado es muy importante en el resultado del hormigón visto, los trabajadores deben estar debidamente capacitados y en condiciones óptimas que se pueda ejecutar correctamente.

2.8. Desencofrado y curado

El tiempo que tardará el hormigón en desencofrarse dependerá del tipo de hormigón, debe tener las resistencias mínimas para realizar el desencofrado, de esta manera se evita el desprendimiento de la superficie o desconchado [7]. Además se evitara la formación de fisuras por contracciones diferenciales [7][29].

El desencofrado de los diferentes elementos que constituyen la estructura debe realizarse en los mismos intervalos de tiempo, para evitar la variación de tonalidad entre elementos diferentes.

Las condiciones de curado deben ser constantes en toda la obra para garantizar la misma tonalidad de color en la superficie, el curado por medio de aire no es recomendado, esto se debe a que el hormigón se cura forma irregular, y se obtiene menor resistencia y dureza superficial [18]. El C.I.B. W29 recomienda utilizar lonas para proteger el hormigón y evitar manchas sobre la superficie que pueden ser ocasionados por la suciedad de la construcción. Las ferrallas que queden en espera deben ser cubiertas para evitar que el desprendimiento de óxido manche la superficie del hormigón visto [7][9].

Por otra parte López [19] explica que el curado y las condiciones de exposición (los ciclos de mojado y secado, la radiación ultra violeta y la exposición a la intemperie) son factores que modifican el color.

Según Carvalho [18] el curado es una de las fases más importantes en el proceso del hormigón coloreado, por esta razón se debe tener mucho cuidado al seleccionar el método de curado, sobre todo en las superficies más atractivas de la construcción. Se debe evitar el uso de riego o encharcamiento, ya que se producen eflorescencias en la superficie, lo cual perjudica la uniformidad del color. Los curados de recubrimiento húmedos, no son adecuados, lo aconsejados son sistemas que aporten agua por riego.

2.9. Hormigones especiales

2.9.1. Hormigón Autocompactable

El hormigón autocompactante (HAC) es aquel que se caracteriza por su elevada fluidez, resistencia a la segregación, adecuada viscosidad plástica y deformabilidad en estado fresco[30]. El empleo de aditivos superplastificantes específicos, le confiere la propiedad de compactarse por acción de su propio peso, sin necesidad de energía de vibrado, este tipo de hormigón por el diseño de su dosificación no presenta bloqueo de árido gruesos, ni exudación de la lechada [17].

Estas características hacen que el HAC sea recomendable para garantizar un acabado superficial de calidad, debido a su dosificación rica en pasta [30] y su elevada capacidad de desplazamiento permite la fidelidad de reproducción de diferentes texturas y moldes complejos; al no necesitar compactación, favorece la reducción de defectos en la superficie, causado por errores de vibrado o discontinuidad en la masa de hormigón por la acumulación de gravas debido a armados tupidos; también se evita la exudación y cambios de tonalidad de la superficie por exceso de vibrado [13]. El proceso de fabricación es más controlado que en los hormigones convencionales, esto favorece la homogeneidad del color.

Una de las ventajas más relevantes que tiene utilizar el HAC al ser alta fluidez y baja viscosidad se obtienen superficies con menor cantidad de poros ya que el aire atrapado escapa con mayor facilidad [31].

Por sus características reológicas el HAC desarrolla una presión hidrostática sustancialmente mayor que en el hormigón convencional [25], por esta razón en el diseño del encofrado se debe tener especial precaución con la rigidez, resistencia y estanqueidad para evitar irregularidades en la superficie, como planeidad, formación de cejas, juntas, etc.

Como se ha mencionado anteriormente los acabados superficiales de alta calidad son una característica del HAC, sin embargo, para garantizar todas las características y ventajas descritas es imprescindible realizar una buena dosificación, utilizar materiales de calidad, el

proceso de fabricación, y un buen diseño de encofrado, elección del material de superficie encofrante y desencofrante son imprescindibles [10].

En las Figura 20 y 21 se observa la calidad de las superficies de estructuras realizadas con hormigón autocompactante.

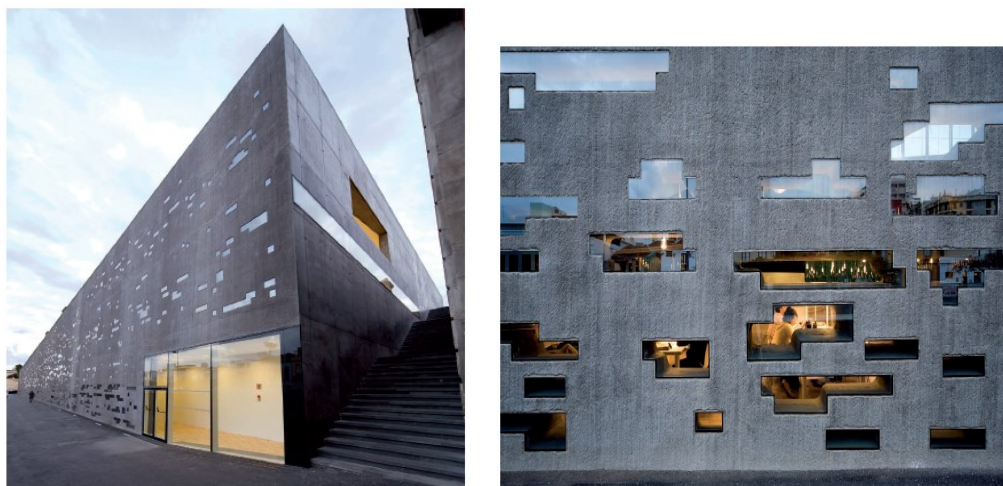


Figura 20 Tenerife espacio de las artes [10].



Figura 21 Ludoteca de Bonneuil sur Marne [10].

2.9.2. Hormigón de Ultra Alta Prestaciones

El hormigón de Ultra Altas Prestaciones también conocido como Ultra High Performance Concrete (UHPC) reúne las propiedades más innovadoras de los hormigones como son la alta resistencia, la autocompactabilidad y el empleo de fibras en su dosificación; mencionado hormigón se asocia con resistencia característica superior a 150 MPa en probeta cilíndrica, alto contenido de cemento y elevada compacidad [32].

La fabricación del UHPC requiere de materias primas de la mejor calidad como fibras de alto límite elástico, aditivos de última generación, áridos selectos de pequeños diámetros; equipos, maquinarias y procesos no convencionales (alta energía de fabricación, y control intenso de la humedad) [33].

Este tipo de hormigón debido al alto contenido en finos y la necesidad de amasadoras con elevada energía para poder dispersar las adiciones y aditivos de forma homogénea, favorece la uniformidad del color de la superficie [33].

La elección del tipo de cemento es fundamental, los autores [32][33] aconsejan seleccionar cementos de clase resistente intermedia y con poco contenido de AC_3 por su bajo calor de hidratación y demanda de agua, por esta razón suelen utilizar cementos resistentes a sulfatos. Así incrementan la trabajabilidad, se disminuye la retracción y favorece una evolución de resistencias más repartidas en el tiempo.

La relación Agua/Conglomerante y el contenido en aditivo son determinantes para las propiedades reológicas y mecánicas, Serna [33] explica que las relaciones Agua/Conglomerante bajas o con poco contenido en aditivo, producen dosificaciones económicas sin riesgo de segregación, sin embargo, estas dosificaciones proporcionan mezclas más viscosas, con peor trabajabilidad, mayor contenido de aire ocluido y necesita mayor tiempo de amasado, este tipo de dosificación resulta desfavorable para la calidad superficial del hormigón, ya que al ser más viscosas se dificulta la salida del aire atrapado entre el hormigón y la superficie encofrante, lo que produciría porosidad superficial.

La elevada resistencia a compresión, baja porosidad y elevada compacidad a nivel microestructural permite obtener soluciones de elementos más esbeltos y ligeros, además el tamaño reducido de todos sus componentes [34], así es como la autocompactabilidad, hace que reproduzca con mayor fidelidad la superficie del encofrado y se obtengan muy buenos acabados superficiales.

El UHPC tiene muchas cualidades como la finura de sus materiales que permiten reproducir con fidelidad la superficie encofrante, impermeabilidad, alta resistencia a la compresión, significativa resistencia a la tracción, y la elevada durabilidad. Las numerosas ventajas de mencionado material permite realizar estructuras de vida útil prolongada, debido a esto surge la necesidad desarrollar una metodología que permita caracterizar la calidad del acabado

2.9.2.1. Aplicaciones

El elevado rendimiento de los materiales que constituyen el UHPC permite construir estructuras esbeltas y con buen acabado estético, además tiene muy buena capacidad para absorber la energía y resistencia a la fragmentación, lo que permite ser aplicado en numerosos tipos de estructuras, como puentes de carretera, pasarelas, cubiertas, balcones, fachadas escaleras o mobiliario urbanos.

La primera aplicación realizada en España corresponde al Barranco de las Ovejas en Alicante [35] inaugurada en el 2015 (Ver Figura 22). La versatilidad del material permitió obtener un buen acabado de la superficie en contacto con el molde, pero obliga a que se mantenga un buen nivel de encofrado, esto permitió dotar una superficie antideslizante que además aporto al acabado estético en la superficie transitable (Ver Figura 23), sin embargo, uno de los problemas de estética se presentó en la cara de llenado, esto se debe a que las fibras sobresalían, para resolver el problema en primer lugar se lijaron las fibras sobresalientes y se pasó un soplete para eliminar las puntas.



Figura 22 Pasarela Barranco de las ovejas en Alicante [35].



Figura 23 Acabado de la pasarela Barranco de las ovejas en Alicante [35].

Por otro lado, la aplicación del UHPFRC en las construcciones de elementos de poco espesor como cubiertas pone en manifiesto todas las propiedades de este material uno de

los ejemplos más llamativos es estación de tren Shawnessy en Canadá (2004), es una estructura cuya cubierta tiene un espesor de 20 mm (Ver Figura 24).



Figura 24 Estación Shawnessy en Canadá [36].

El techo de la estación TGV Montpellier - Sur de Francia, es otro de los ejemplos de la aplicación del UHPC. Se identifica por su belleza, esbeltez, calidad del acabado, ligereza, diseñadas para una elevada durabilidad y bajo mantenimiento. El sistema de techado de 5.000 m² está compuesto por un total de 115 elementos modulares postesados en UHPC blanco prefabricado de resistencia a la compresión de 130 MPa. Tienen 20 m de largo, 2,4 m de ancho y 3 m de profundidad. En la Figura 25 se observa el techo de la estación TGV Montpellier [37].

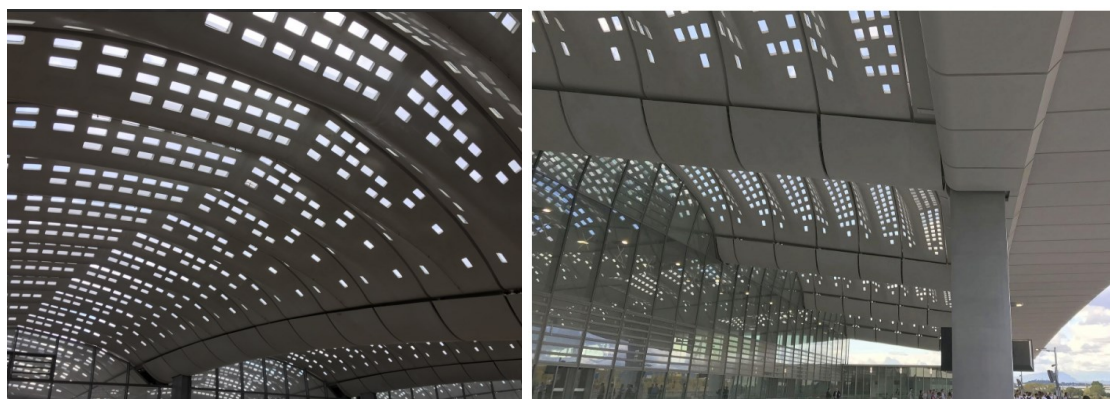


Figura 25 Techo de la estación TGV Montpellie [37][38].

En una escuela de Francia se realizó un vallado perimetral muy singular (Ver Figura 26), es una valla entrelazada en forma de red, realizada con UHPFRC blanco reforzado con fibra sintética. A primera vista, esta malla parece aleatoria, pero con una mirada más cercana revela cientos de animales. La complejidad del diseño, con muchos hilos entrelazados, esto guio a la elección de un molde de silicona (Ver Figura 27), es mucho más flexible que un molde de poliuretano y facilita el hormigonado [39].



Figura 26 Vallado perimetral [39].



Figura 27 Encofrado de silicón [39].

También se ha planteado utilizar UHPFRC en mobiliarios urbanos, ya que permite elaborar diseños sin necesidad de armaduras y elimina la necesidad de aplicar acabados superficiales. Por las características del material, se pueden realizar gran variedad de formas y texturas. En la Figura 28 se observa el mobiliario urbano realizado por la Universidad Politécnica de Valencia.



Figura 28 Mobiliario urbano [33].

En las Figuras 29 y 30 se muestra un registro fotográfico del acabado superficial de mobiliarios urbanos realizados con un hormigón de ultra altas prestaciones y en la figura 31 se muestra una pasarela y el acabado antideslizante que permite realizar mencionado hormigón (Ver Figura 32)



Figura 29 Mobiliario urbano UHPC [40].



Figura 30 Mobiliario urbano UHPC [40].



Figura 31 Pasarela [40]



Figura 32 Acabado antideslizante [40].

2.10. Clasificación de la calidad de la superficie

2.10.1. Definición de los defectos superficiales

Los defectos superficiales son aquellos fallos o desperfectos que visualmente alteran la estética de la superficie del hormigón. A continuación se define cada uno de ellos:

- Cejas: es la diferencia que se observa entre paneles de hormigón por el movimiento del encofrado. (Ver Figura 33)
- Coqueras o porosidad: son cavidades en la superficie del hormigón de un diámetro entre 1 y 15 mm, producidas por el aire atrapado entre el hormigón y la superficie encofrante. (Ver Figura 34)
- Deformaciones: Las variaciones en la superficie formadas por el movimiento del encofrado. (Ver Figura 35)
- Desconchado: desprendimiento en la superficie del hormigón causado por la adherencia del hormigón o mortero a la superficie encofrante. (Ver Figura 36)
- Eflorescencia: es un residuo de sales de color blanco que se deposita en la superficie del hormigón, la sustancia proviene del interior del hormigón o mortero. (Ver Figura 37)
- Fisuras de asentamiento: separación entre dos partes provocada por la rotura o fracturación del hormigón o mampostería. Son cortas y de espesor variable más a menudo horizontales que verticales. (Ver Figura 38)
- Juntas de encofrado: superficie donde se encuentran dos encofrados. (Ver Figura 39)
- Juntas de construcción: superficie donde se encuentran dos planos sucesivos de hormigón, donde puede resultar deseable que haya adherencia y a través de la cual la armadura puede ser continua. (Ver Figura 40)
- Manchas: son variaciones de tonalidad locales sobre la superficie del hormigón. (Ver Figura 41, 42 y 43)
- Nidos de grava: área defectuosa en la superficie de hormigón, debido al escape de mortero fino o exposición del agregado grueso. (Ver figura 44)
- Pérdida de lechada o mortero fino: La pérdida de material fino, cemento y agregado fino, del hormigón plástico debido a las aberturas en el encofrado.
- Planeidad: La ondulación de la superficie de hormigón resultante de la deflexión de la cara del encofrado.
- Rebabas: es la salida de mortero por las juntas del encofrado. (Ver figura 45)
- Variación del color: Medición de la desviación del matiz dentro de un área definida. (Ver figura 46)



Figura 33 Formación de cejas [21].

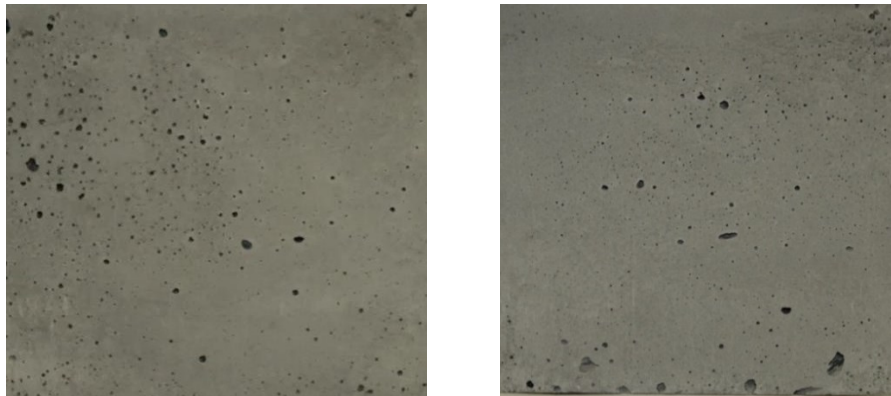


Figura 34 Porosidad y coquera. Fuente: Propia.



Figura 35 Deformaciones y manchas en el hormigón [13].

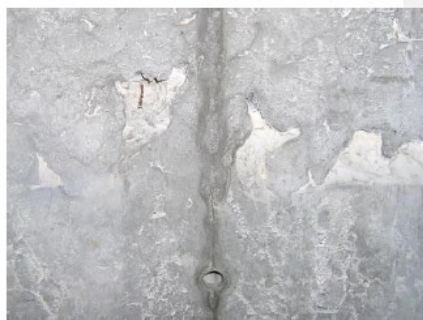


Figura 36 Desconchamiento o descaramiento en el hormigón [13].



Figura 37 Eflorescencias [11].



Figura 38 Fisuras por asentamiento [13].



Figura 39 Juntas de paneles de encofrado [13].



Figura 40 Juntas de construcción [13].



Figura 41 Manchas por amasado insuficiente [11].



Figura 42 Manchas debidas a la oxidación de las armaduras [11].



Figura 43 Manchas debido a la presencia de hierro o pirita en los áridos [13].



Figura 44 Nido de gravas [13]



Figura 45 Pérdida de lechada[13]



Figura 46 Rebabas [13].

2.10.2. Niveles de clasificación

Las normativas y asociaciones para realizar el sistema de clasificación de la superficie del hormigón, en primer lugar, definen varios niveles o clases de hormigón visto. En función del nivel de acabado requerido, se formulan varias características de la calidad como requisitos en la superficie visibles del hormigón y en algunos casos se añaden unos requisitos adicionales.

En cada categoría del hormigón visto se definen las características de la calidad según los criterios de porosidad, uniformidad del color, manchas, planeidad, cejas, deformaciones, ondulaciones superficiales, alineación, juntas de encofrados y juntas de construcción. En alguno de los casos la planificación forma parte de las exigencias adicionales.

Generalmente, los autores [11][13][14][38][39][40] establecen sistemas de clasificación para 4 niveles o clase de hormigón visto, hay otros que utilizan 5 [41] o 6 niveles [12]. En la Tabla 2, se muestra un ejemplo de cómo son definidos los niveles de hormigón visto.

Tabla 2 Ejemplo de niveles de clasificación de hormigón visto.

Niveles de clasificación	
Nº de Categorías	Tipos de categorías
4	HV1 Superficies de hormigón de especial importancia arquitectónica, elementos relevantes de edificios
	HV2 Superficies de hormigón con elevadas exigencias arquitectónicas, por ejemplo fachadas de edificios
	HV3 Superficies de hormigón con exigencias arquitectónicas normales, por ejemplo muros de contención o cajas de escaleras.
	HV4 Superficies de hormigón con bajas exigencias arquitectónicas, por ejemplo muros de sótanos o zonas de uso principalmente industrial

2.10.3. Sistemas de clasificación

El hormigón visto como se ha mencionado anteriormente, se identifica por su calidad superficial, por esta razón es de interés valorar las características superficiales conforme a las exigencias de calidad requeridas, mediante procedimientos que permitan caracterizar la superficie de forma objetiva. Sin embargo, en España existe la carencia de sistemas de clasificación de superficie y metodologías que permitan la cuantificación de defectos[13].

Para analizar los diferentes sistemas de clasificación propuesto por las normativas [11][12] [14][41][42] y asociaciones internacionales [13][43][44] , es necesario evaluar los aspectos que son utilizados para la caracterización de la superficie del hormigón.

En la Tabla 3, se presenta una comparación de los aspectos que las diferentes normativas y asociaciones toman en consideración para estructurar su respectivo sistema de clasificación. Se han ordenado a partir de las más antiguas a las recientes, lo que permite observar que los sistemas más recientes incorporan un sistema de clasificación más detallado.

Tabla 3 Sistemas de clasificación internacionales.

Sistema	Exigencias utilizadas para la clasificación	Aspectos		
C.I.B W29 (1973) [43]	4	Variación de forma	Planeidad	Conjunto
				Local
				Cejas
			Juntas entre paneles	
			Distancia real entre patrones en comparación con la distancia teórica	
			Manchas y defectos superficiales	
	Coqueras (poros...)	Agrupadas y Repartidas		
		Variación del color		

Tabla 4 Continuación. Sistemas de clasificación internacionales.

Sistema	Exigencias utilizadas para la clasificación	Aspectos	
Francesa [42]	3	Planeidad	Del conjunto
			Local
		Textura	Porosidad Repartida
			Porosidad agrupada
			Defectos localizados
Color			
Nueva Zelanda (2004) [41]	4	Planeidad	Irregular
			Gradual
		Color	Decoloración
			Contaminación
			Limpieza de polvo
			Eflorescencia
			Rango de tono aceptable
		Irregularidades físicas	Límite de burbujas
			Deformación del encofrado
			Perdida de lechada
			Punto de fijación del encofrado
			Desgaste
			Desconchado
Desprendimiento			
Acabados	Mezcla de relleno		
	Métodos		
	Acción		
Austriaca (2009) [11]	4	Planificación y licitación	Coordinación en el proceso de planificación
			Estructura y despiece del encofrado
		Superficie de hormigón	Porosidad
			Uniformidad del color
			Tipo de hormigón
		Ejecución de la construcción	Planeidad
			Juntas de construcción
			Juntas de paneles encofrados
			Juntas de Tableros de encofrados
		Material de encofrado y desencofrante	Tipo de fijación de encofrado
			Estado de encofrado
			Utilización de desencofrante

Tabla 5 Continuación. Sistemas de clasificación internacionales.

Sistema	Exigencias utilizadas para la clasificación	Aspectos
Australiano (2010) [12]	6	Burbujas
		Deformaciones
		Cejas
		Ondulaciones Superficiales
		Planeidad
		Alineaciones
ACHE(2013) [13]	6	Porosidad superficial
		Homogeneidad del color
		Planeidad
		Juntas de construcción
		Juntas de paneles de encofrado
		Juntas de tableros de encofrados
		Exigencias de planificación y oferta
		Sistemas de encofrado
Encofrado y desencofrado		
ACI (2014) [44]	3	Textura
		Relación de vacío superficial
		Uniformidad de color
		Superficies irregulares
		Juntas de construcción y encofrado
		Panel de referencia
		Categoría de encofrado
		Costos
Aleman (2015) [14]	5	Textura
		Porosidad
		Uniformidad del color
		Planeidad
		Juntas de construcción y encofrado
		Panel de referencia
		Clase de encofrado
		Costos de fabricación

Aspectos requeridos por el sistema de clasificación

La porosidad es el aspecto más importante, se considera en todas los sistemas como exigencia para la clasificación de la superficie [11][12][13][14][41][42][43][44]. La uniformidad del color también se considera un aspecto relevante, esto se debe a que se considera en todas las normativas y asociaciones excepto en la normativa Australiana, en mencionada normativa, no es considerada una exigencia requerida para la calidad del acabado superficial del hormigón, sin embargo, especifica que el control del color se puede

imponer en las clases o niveles con mayor importancia (clase 1, 2 y 3), se debe especificar como clase especial del hormigón de acuerdo con AS 3600 [45].

Otro de los aspectos considerados relevantes es la planeidad, y esta se encuentra en las exigencias de todas las normativas excepto en la ACI 347. 3R-13 [44], que se encuentra incluido requisitos adicionales.

Solo algunos sistemas [11][13][14][44] incluyen en las exigencias para la clasificación las juntas de construcción y las juntas de encofrados. Las cejas solo se consideran en las exigencias del CIB W29 [43] y la normativa australiana [12].

En el CIB W29 [43] y la normativa Francesa [42] las manchas se encuentran en las exigencias utilizadas para la clasificación, pero hay algunos casos [11][13][14][44] donde las manchas, se encuentra descritas en la uniformidad del color.

Es importante destacar que la normativa Austriaca [11], Australiana [12], Alemana [14] y la asociación ACHE [13], también hacen referencia a los documentos que se deben incorporar en el proyecto y a la importancia de una correcta planificación para obtener la superficie deseada.

Las normas y asociaciones internacionales se basan en una serie de aspectos y consideraciones, para estructurar su respectivo sistema de clasificación. La comparación de los diferentes sistemas permite concluir que los aspectos más importantes, que afectan la calidad del acabado son la porosidad, uniformidad del color y planeidad. También en menor medida pero de igual forma se encuentra presente en las exigencias son las juntas de encofrado.

Resulta razonable que los aspectos más relevantes sean la porosidad, uniformidad del color y la planeidad, ya que desde el punto de vista estético, se observan con mayor facilidad y son poco agradables a la vista. No obstante, hay quienes buscan acabados con texturas naturales mediante la reproducción de tabloncillos de madera, en este caso resulta parte de la estética la variación del tono del hormigón [46][47]. En la estética del hormigón no existe una verdad absoluta, el diseño del hormigón visto dependerá del acabo deseado y del contexto de la edificación.

2.10.4. Metodologías para la cuantificación de defectos

El interés por valorar la calidad superficial del hormigón visto de forma objetiva, crea la necesidad de buscar procedimientos que permitan cuantificar los defectos en la superficie del hormigón, por esta razón se ha realizado un estudio de las metodologías aplicadas en los documentos existentes.

Para valorar la calidad del acabado, las normativas y asociaciones se basan en el estudio y medición de los defectos sobre la superficie, pero las exigencias de cada defecto dependerá del nivel que posea la superficie, es decir, aquellas superficies con un nivel de acabado más elevado como las fachadas de edificios o elementos estructurales de gran importancia, incluyen las exigencias más rigurosas, tolerancias más restrictivas y en alguno de los casos se incrementa el número de defectos analizados.

Para medir la cantidad de los defectos sobre la superficie, existen diferentes propuestas. En la Tabla 4, 6, 8, 9, 10 y 11 se realiza una comparación de las metodologías aplicadas por las diferentes normativas y asociaciones para la cuantificación de defectos en la superficie del hormigón.

- La porosidad

Según el resultado de la comparación realizada en el apartado 2.10.3., el aspecto que se toma en cuenta en todos los sistemas de clasificación es la porosidad. En la Tabla 4 se observan las diferentes metodologías aplicadas para la cuantificación de mencionado defecto.

Tabla 6 Metodologías aplicadas para la cuantificación de la porosidad.

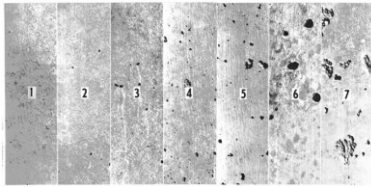
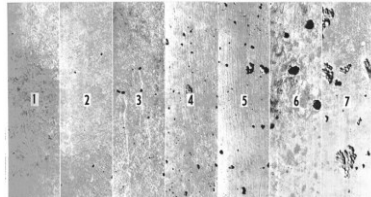
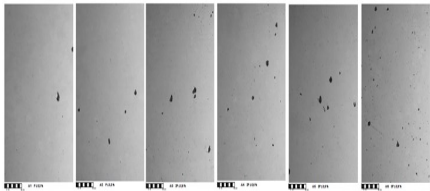
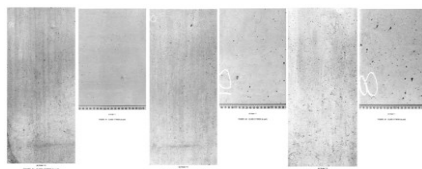
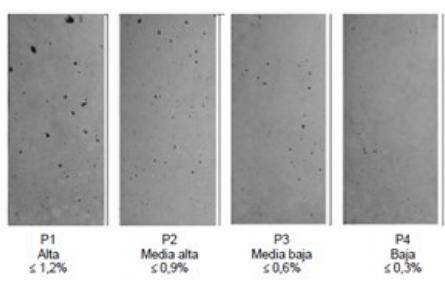
Normativa o Asociación	Descripción de la metodología	Método	
CIB W29 [43]	Repartidas Agrupadas	Escala definida para la evaluación de la porosidad repartida (Escala definida por 7 niveles) Los grupos de coqueras se definen como defectos locales	
Francesa [42]	Repartidas Agrupadas	La porosidad media es caracterizada por una comparación con una escala de referencia, la cual define 7 niveles de porosidad (Basado en CIB W29 reporte N°24) La porosidad concentra no se mide sobre una parte de la superficie considerada. Se caracteriza por un porcentaje, este porcentaje representa una concentración en comparación con la porosidad media según el mismo nivel de porosidad, superior al valor definido en el párrafo precedente por el panel elemental considerado	

Tabla 7. Continuación Metodologías aplicadas para la cuantificación de la porosidad.

Normativa o Asociación	Descripción de la metodología	Método
Nueva Zelanda [41]	La frecuencia de burbujas y los límites de tamaño son establecidos por comparación con fotografía referencia.	
Austriaca [11]	Método 1: evaluación simple mediante comparación de imágenes y método 2: Método cuantitativo, evaluación del área del poro. Se realiza mediante procesamiento de imágenes.	
Australiana [12]	Las burbujas se evaluarán por comparación del trabajo terminado con las fotografías de las figuras A1 a A3. La fotografía a escala 1:1 se debe sostener contra la superficie y visto desde una distancia mínima de 2 m o la distancia más cercana desde la cual el área temática se observará normalmente cuando el proyecto esté terminado.	
ACHE [13]	La valoración debe ser en una primera aproximación cualitativa, y solamente si el aspecto de la evaluación de la superficie no permite determinar la categoría entonces se puede recurrir a la medición de la superficie de los poros. Se puede utilizar un procedimiento manual o bien métodos digitales	
ACI [44]	La relación de vacío superficial solo se requiere para determinar si toda la impresión de la superficie no cumple con especificaciones establecidas en el contrato. La medición de los vacíos superficiales se espera que se haga manualmente hasta que haya métodos optofotográficos disponibles.	No especifica la metodología de medición
Alemana [14]	Establece criterios de aceptación (Ver Tabla 5)	No especifica la metodología de medición

Luego de realizar una comparación de las metodologías aplicadas para la cuantificación de la porosidad, se observa que las diferentes bibliografías [12][13][42][43] utilizan una metodología similar, el procedimiento que aplican es a través de imágenes de referencia, en

donde definen una escala con diferentes fotografías en la cual se refleja una aproximación de la cantidad de poros admisibles por nivel.

Hay normativas [12][42][43] que explican el procedimiento a seguir para la medición de la porosidad, esto es de gran importancia, ya que disminuye posibles errores en la medición; la normativa de Nueva Zelanda [41] proporciona una información escasa y poco definida, en este tipo de evaluación, es fundamental un lenguaje sencillo y de fácil comprensión, y hay otras [13][14][44] que solo establecen un porcentaje de porosidad en base a la clase de superficie, pero no especifican como realizar la medición de la cantidad de poros.

El método mejor explicado lo realiza la normativa Austriaca [11], esta manifiesta que la evaluación de la superficie del hormigón visto se debe realizar en áreas de inspección de máximo 500 m². Para cada área de prueba hay al menos dos paneles de referencia representativas de 50 × 50 cm.

El área de prueba es una parte representativa de la impresión visual general, en la normativa hay dos métodos para la medición de la porosidad:

- Método 1 (Estándar): Evaluación mediante comparación de imágenes.

La prueba de porosidad se lleva a cabo, a menos que se indique explícitamente o se exija en la licitación, mediante una aparente comparación con las imágenes de referencia proporcionadas por el proyectista (Figura 47) para evaluar la porosidad. Las imágenes de referencia muestran los valores máximos de porosidad o clase de porosidad.

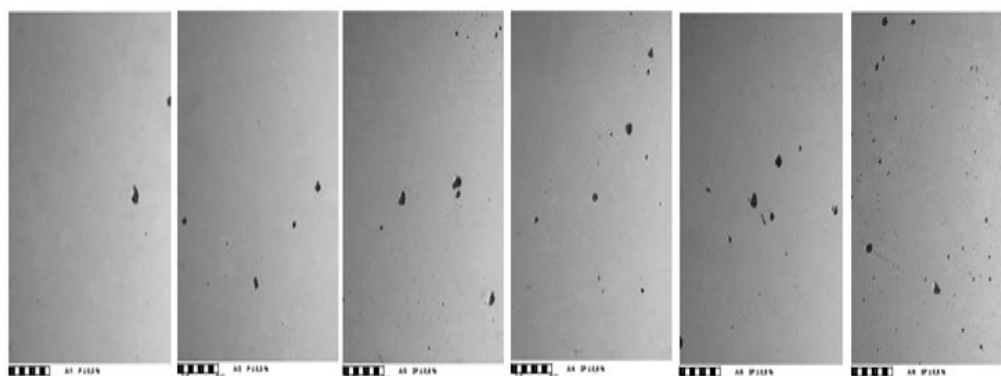


Figura 47 Escala de referencia para apreciar los poros y coqueras en el hormigón [11].

- Método 2. Método cuantitativo: Evaluación del área de poro.

Para una determinación precisa y cuantitativa de la porosidad se debe especificar en la licitación, que se permiten aplicar todos los procedimientos que conducen a resultados reproducibles, representativos y comprensibles. Estos incluyen la evaluación visual utilizada anteriormente mediante la comparación de imágenes, así como nuevos métodos de

evaluación de imágenes digitales mediante un programa de procesamiento o programa de CAD. Al preparar un informe de prueba, la metodología o la ejecución de la prueba debe describirse de tal forma que se garantice la trazabilidad.

Metodología de prueba

Cualquier piel de hormigón sobre los poros debe eliminarse con el dedo. La suma del área de poro dentro el área de prueba se determinará y representará como un porcentaje del área total. En la determinación del contenido de poro es de menos de 1 mm de diámetro y más de 15 mm de diámetro (o área equivalente 180 mm²) no fueron tomados en cuenta.

$$Porosidad [\%] = \frac{Suma\ del\ área\ del\ poro\ en\ cm^2 \times 100}{2500\ cm^2\ (área\ de\ prueba)}$$

Con respecto a las tolerancias establecidas, dependerán del nivel o clase de la superficie. En el caso del CIB W29 [43] diferencia entre las zonas adyacentes y distantes, siendo más restrictivos en las zonas adyacentes, el rango de tolerancias está establecido de dos a seis niveles de la escala de porosidad, siendo más restrictivos en las clases de hormigón visto con calidad especial y en caso de la clase de baja calidad no se establecen restricciones. La normativa Austriaca [11], Alemana [14] y las asociaciones ACHE [13] y ACI[44], utilizan los mismo porcentajes (0,3%, 0,6%, 0,9% y 1,2%) de poros para un área de prueba de 50 x 50 cm, el porcentaje de poros admisible dependerá del nivel de calidad de la superficie (Ver Tabla 5).

Tabla 8 Porcentaje de poros admisibles según el nivel de calidad de la superficie.

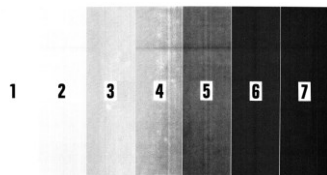
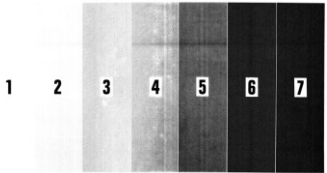

Nivel de Hormigón visto	% de poros para superficie de 50 x 50 cm
HV1	≤ aprox. 750 mm ² contenido máximo de poros (Aprox. 0,3% del área de prueba)
HV2	≤ aprox. 1.500 mm ² contenido máximo de poros (Aprox. 0,6% del área de prueba)
HV3	≤ aprox. 2.250 mm ² contenido máximo de poros (Aprox. 0,9% del área de prueba)
HV4	≤ aprox. 3.000 mm ² contenido máximo de poros (Aprox. 1,2% del área de prueba)

La normativa Australiana solo establece imágenes de referencia, aplicada a las clases 1, 2, o 3 (clases especiales e intermedia) y en general la normativa francesa es menos restrictiva ya que permite un 2% de superficie porosa en la superficie de mejor calidad, y un 10% como máximo en la de peor calidad.

- Uniformidad del color

Las variaciones de tonalidad en la superficie de hormigón es un aspecto considerado dentro de las exigencias de los sistemas de clasificación de las diferentes bibliografías [11][12][13][14][41][42][43][44]. En la Tabla 6 se realiza una comparación de las metodologías aplicadas para la medición de la uniformidad del color.

Tabla 9 Metodologías aplicadas para medir la uniformidad del color.

Normativa o Asociación	Descripción de la metodología	Método
CIB W29 [43]	Evaluación de la tonalidad del hormigón escala de tonos de color gris (de empleo cuando el hormigón está seco y a la sombra, colocándose al menos 3 metros de elemento, estando la escala sobre puesta sobre el elemento	
Francesa [42]	Los colores están caracterizados por una escala de grises definida por 7 niveles (anexo B, basado en el CIB reporte N°24)	
Nueva Zelanda [41]	Hace referencia que se podría utilizar la cata de colores NZS 3114, sin embargo, especifica que no hay límites específicos establecidos para las variaciones aceptadas, el proyectista es el encargado de determinar un rango aceptable, siendo controlado con paneles de referencia.	
Austriaca [11]	Como criterio para la uniformidad del color, se considera la diferencia de color, dependiendo de la clase de requisito solicitado	Escala de tono de grises (colores de 1 a 7)
Australiana [12]	El rango tonal ilustrado no está destinado a representar el color real del hormigón , se utiliza para indicar un rango en los tonos del color especificado en las tablas de tolerancias	
ACHE [13]	Según ACHE: No existen procedimientos exactos para hacer esta clasificación objetiva mediante un criterio de medición, aunque está suficientemente documentado como para que se pueda valorar el defecto. Se utilizarán superficies de referencia, visualizadas desde una distancia determinada de 2,5 m aproximadamente	Solo establecen criterios de aceptación
ACI [44]	Establecen criterios de aceptación	
Alemana [14]	Establece criterios de aceptación	

Para la evaluación de la uniformidad del color en la superficie, las diferentes bibliografías aplican el sistema de comparación de imágenes constituida por una escala de tonos de color gris. Algunas [11][42][43] proponen una escala de 7 tonos grises, 10 tonos [12] y otras [13][14][44] simplemente establecen criterios de aceptación según el nivel de calidad de la superficie.

La normativa Austriaca [11] establece que para evaluar la uniformidad del color, las superficies de hormigón visto se encuentran en áreas de prueba de máximo 500 m². Para cada área de prueba, al menos dos áreas de referencia y para evaluar cuáles representan la impresión visual general.

Para verificar la diferencia de color, la escala de tono gris se mantiene sobre la superficie de hormigón y se determina la desviación de color. En este método de prueba, se debe garantizar una exposición uniforme de las superficies de prueba. Se recomienda que la evaluación se realice a los 28 días después de la fabricación, para garantizar que la superficie esté seca.

Como se ha mencionado anteriormente la medición de la uniformidad del color se realiza mediante una escala de tonos de grises. Para realizar la evaluaciones, las normativas y asociaciones [11][12][41][42][43] definen un rango de tonos para cada nivel de calidad.

El CIB W29 [43] establece un rango dependiendo si los paneles se encuentran distantes o adyacentes, los rangos permitidos se encuentran entre 2 y 4 tonos, siendo el rango de dos tonos para las superficies de calidad especial y el de 4 tonos para un acabado ordinario. De los 4 niveles que constituyen el sistema, en el nivel con bajos requisitos estéticos, no se establece un rango de tonalidad.

La normativa de Nueva Zelanda [41] especifica que no hay límites establecidos, pero menciona que el control típico es de 2 o 3 rangos. La normativa austriaca [11] establece rangos de 3, 4 y 5 para los 3 niveles con acabados estéticos más relevantes y la normativa australiana [12] establece los rangos de 4, 5 y 6 tonos para las clases 1, 2 y 3 (clases especiales e intermedia) respectivamente.

En el caso de la normativa Francesa [42] resulta ser la norma más restrictiva, ya que establece un rango de tonos que varían de 1 a 4 y al igual que el CIB [43], la norma austriaca [11], y la australiana [12] solo establece los rangos de tonalidad para las clases con acabado especiales.

Para el hormigón de otros colores u otras tonalidades de gris que no estén dentro del rango de colores de la escala de referencia, se recomienda que la documentación del proyecto deba tener un medio para determinar y registrar un rango tonal aceptable.

Dentro de las recomendaciones Australianas [12] se encuentra establecido que para los hormigones con otros tonos se debería desarrollar escalas similares u otros medios adecuados para su uso con otros colores de hormigón [12].

En el caso de los las bibliografías [13][14][44] que no poseen método de medida, en la Tabla 7 se muestra un ejemplo de cómo caracterizan la superficie.

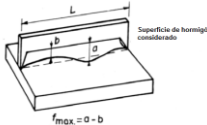
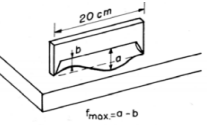
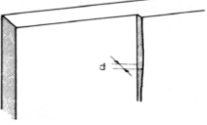
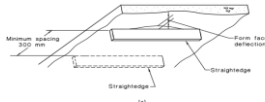
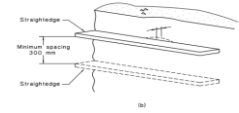
Tabla 10 Criterios de aceptación de uniformidad del color.

Nivel de acabado	Características de la superficie
UC1	<ul style="list-style-type: none"> - No se permite decoloraciones causadas por los materiales constituyentes del hormigón. - No se permite las manchas de óxido, suciedad y las capas visibles de vertido.
UC2	<ul style="list-style-type: none"> - Las descoloraciones progresivas claras y oscuras son aceptables. - La uniformidad del color entre las colocaciones adyacentes y las líneas de capas debe ser en su mayoría uniforme. - Los materiales constituyentes del hormigón y el material de la superficie encofrante deben ser del tipo, calidad y fuente consistentes durante la obra para evitar causar variaciones de tonalidad en la superficie del hormigón. - No se permiten manchas de óxido ni suciedad.
UC3	<ul style="list-style-type: none"> - Las variaciones de color claro y oscuro son aceptables. - Las variaciones de color entre ubicaciones adyacentes y líneas de capas son aceptables. - Las manchas de óxido y suciedad son aceptables

- Planeidad

La planeidad de la superficie es uno de los 3 aspectos más considerados para estructurar los sistemas de clasificación. La metodología empleada para la medición de la planeidad se puede observar en la Tabla 8.

Tabla 11 Metodologías aplicadas para medir la planeidad de la superficie.

Normativa o Asociación		Descripción de la metodología	Método
CIB W29 [43]	Del conjunto	Referida en la mayor dimensión del elemento o de la superficie considerada, si se trata de hormigón "in situ".	
	Local	Referida una regleta de 20 cm (solamente en el caso de superficies planas). Para cualquier posición de la regleta de 20 cm sobre la superficie considera	
	Cejas	Medición de las variaciones en torno a un valor convencional "d" (el valor convencional "d" es de cero en el caso de una superficie plana).	
Francesa [42]		Se basa en el CIB W29, por ende aplica la misma metodología para medir la planeidad del conjunto y localizada. Las cejas no son tomadas en cuenta en la normativa.	
Nueva Zelanda [41]		No especifica método de medida. Solo se establecen criterios de aceptación	
Austriaca [11]		Solo se establecen criterio de aceptación	
Australiana [12]	Local	Se tomarán al menos 10 lecturas a intervalos regulares, pero la mínima distancia de las tomas de muestras es de 300 mm. Estos se medirán colocando una regla contra el superficie de hormigón, en línea con la dirección del tramo de la cara del formulario, y midiendo el espacio entre la cara de hormigón y la regla. La longitud de la regla no puede ser igual o mayor que la superficie del encofrado	
	Cejas	Referida una regleta de 20 cm (solamente en el caso de superficies planas). Para cualquier posición de la regleta de 20 cm sobre la superficie considera	
ACHE [13]		Para su control se establece una clasificación en cuatro niveles y se indican los valores aceptables. Estos valores están condicionados por la separación de los puntos de medición, que para grandes superficies se pueden considerar los puntos de apriete del encofrado como puntos de medición o de referencia.	Solo se establece criterio de aceptación
ACI [44]		Solo establecen criterios de aceptación	
Alemana [14]		Solo establecen criterios de aceptación	

La medición de la planeidad se realiza de forma sencilla, se coloca una regla sobre la superficie del hormigón y se mide el vacío que queda entre el hormigón y la regla, diferentes bibliografías [12][42][43] utilizan el mismo procedimiento. Hay otros autores [11][14][44] que solo establecen criterios de aceptación según el nivel de calidad de la superficie.

La EHE-08 en el anejo N°11 [48] establece métodos de medidas para la planeidad de losas de pavimentos y forjados de pisos, se mide la desviación vertical con una regla de 3 m colocada en cualquier punto de la losa o forjado apoyada en 2 puntos. Se recomienda que la medición se realice antes de retirar los puntales, después de endurecido el hormigón y dentro de las primeras 72 h a partir del vertido. Además, comenta que aplicar este método presenta muchas imperfecciones y hoy en día se sustituye por la evaluación estadística con medidas de planeidad y nivelación.

Para la aceptación de los elementos realizados con hormigón visto las normativas establecen tolerancias en base al nivel de acabado, de forma general el rango varía entre 1 y 3 mm para las estructuras con mayor importancia observadas a una distancia menor a 2 m [11][12][13][14][43][44], la normativa francesa [42] es un poco más permisiva porque establece un rango entre 2 y 5 mm para la mejor calidad. La normativa Austriaca [11] y la Alemana [14] hacen referencia a la DIN 18202 para las tolerancias de la planeidad[49]. La EHE-08 [17] también define unas tolerancias similares de ± 3 mm para acabados muy lisos y ± 5 mm para acabados lisos.

- Juntas de construcción

Este tipo defecto se relaciona con las juntas de trabajo, en la Tabla 9 se muestra las exigencias utilizadas por la normativa Austriaca [11]. Para valorar este defecto, los sistemas aplicados por ACHE [13], ACI [44] y la normativa Alemana [14] es relativamente similar, manejan el mismo concepto y de las cuales varían ciertas características

Tabla 12 Criterios de aceptación de las juntas de construcción.

JC1	<ul style="list-style-type: none"> - En las juntas de construcción la pérdida de lechada se limita a un máximo de 1,0 cm de ancho y 0,5 cm de profundidad (Ver Figura 48) - Separación de las juntas de construcción permisible hasta 1,0 cm. - Se debe eliminar rebabas de lechada o pasta. - Los berenjenos triangulares no son permitidos.
JC2	<ul style="list-style-type: none"> - En las juntas de construcción pérdida de lechada a un máximo de 1,5 cm de ancho y 1,0 cm de profundidad permitida (Ver Figura 48) - Separación de las juntas de construcción permisible hasta 0,5 cm - Se debe eliminar rebabas de lechada o pasta - Los berenjenos triangulares no son permitidos (ver Figura 49)

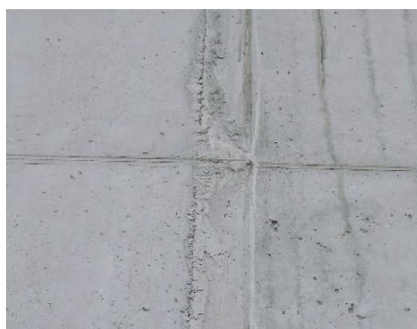


Figura 48 Juntas de construcción [11].

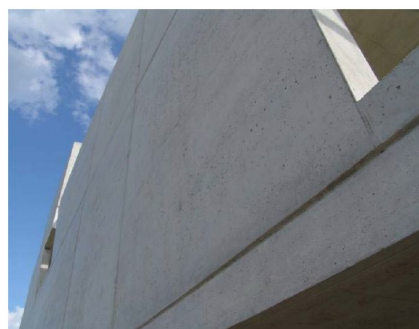


Figura 49 Acabado con berenjenos triangulares [11].

- Juntas de paneles de encofrado

Las juntas del encofrado dependerán de la forma del elemento a construir, ya que con base a esto se selecciona el sistema y tipo de encofrado. En la Tabla 10 los criterios utilizados por la normativa austriaca para valorar este aspecto.

Tabla 13 Criterios de aceptación de las juntas de paneles de encofrado.

ES1	<ul style="list-style-type: none"> - No se permite la acumulación del árido grueso (Segregación) - Se permite la lechada de cemento/mortero de hasta 1,5 cm de ancho y 1,0 cm de profundidad - Separación de las juntas de paneles permisibles hasta 0,5 cm (Ver Figura 50). - Se permite 0,3 cm de rebaba sobresaliente.
ES2	<ul style="list-style-type: none"> - No se permite la acumulación del árido grueso (Ver Figura 51) - Se permite lechada de cemento/ mortero de hasta 1,0 cm de ancho y 0,5 cm de profundidad. - Separación de las juntas de paneles permisibles 0,5 cm (Ver Figura 50) - Altura de las rebabas restantes de hasta 0,3 cm permitidas



Figura 50 Separación de juntas de paneles [11]. Figura 51 Conexión del encofrado [11].

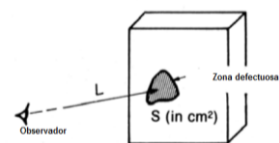
Para la definición de los criterios de las juntas de paneles de encofrados ACI [44] y la normativa alemana utilizan los mismos criterios considerados en las juntas de construcción.

- Manchas y defectos locales

Las manchas y defectos locales son evaluados como aspecto por el C.I.B. W29 [43] y la normativa Francesa [42] (Basada en el CIB W29). La metodología de evaluación se muestra en la Tabla 11.

Tabla 14 Metodología aplicada para medir las manchas y defectos.

Normativa o Asociación	Descripción de la metodología	Método
CIB W29 [43]	Superficie máxima de defectos Defectos espaciados	Superficie máxima de los defectos en cm ² , en función de la distancia L, expresada en metros, desde la cual es visto el hormigón Defectos regularmente espaciados pueden ser considerados eventualmente como motivos, considerándose la distancia teórica como si fuese la distancia media entre los defectos.
Francesa [42]	La superficie máxima de un defecto localizado medido en cm ² resulta del producto de un coeficiente por una distancia de observación dada en metros, definida a continuación: Esta proposición se aplica como complemento en las disposiciones del CIB del reporte N°24	



En este sentido ACHE [13], ACI [44] y la normativa Alemana [14] no especifican un metodología para la medición de las manchas, sin embargo, en los criterios de aceptación de la uniformidad del color incorporan como criterios de aceptación de la superficie el nivel de la calidad, si las manchas son admisible en el acabado del hormigón visto.

- Deformaciones

La normativa de Nueva Zelanda [41] y la Australiana [12] consideran las deformaciones de la superficie como parte de las exigencias del sistema de clasificación.

Según la normativa Australiana [12] se medirá en la cara crítica del elemento. Las lecturas se utilizarán para evaluar cualquier variación relativa en la superficie plana o línea del elemento. No se utilizarán como una evaluación de la posición absoluta del elemento [45].

Las lecturas deben tomarse usando un instrumento adecuado, una línea de referencia u otro método equivalente. Para elementos o series de elementos que se pretende que sea recto, con dimensión no menos de 15 m, la medición se puede realizar a lo largo de cualquier línea recta que mida más de 15 m. Las lecturas se medirán en secciones de 10 m, cada una de las cuales se superpondrá en 5 m, y con las variaciones de la recta determinada por las mediciones en los extremos y medio de cada sección de 10 m, como se muestra en la Figura 52.

Dentro de estas secciones de 10 m, y para elementos de menos de 15 m, las deformaciones serán comprobadas tomando medidas en una rejilla de 1.25 m × 1.25 m sin mediciones tomada a 300 mm de cualquier borde del elemento, como se muestra en la Figura 53.

La normativa de Nueva Zelanda [41] no menciona métodos de medida solo especifica tolerancias de deformaciones entre 2 y 3 mm para los niveles de superficies con calidades estéticas más exigentes. En la normativa Australiana varía la tolerancia dependiendo de la longitud de medición.

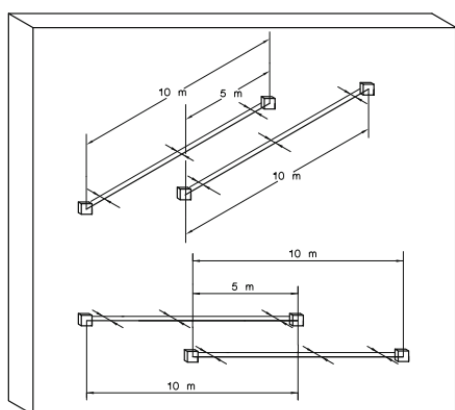


Figura 52 Medidas de deformaciones para elementos de más de 10 m [12].

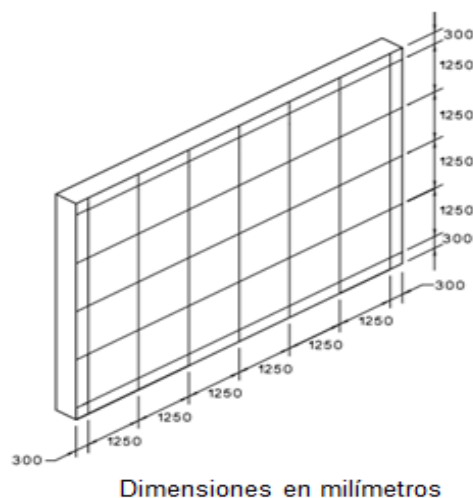


Figura 53 Patrón de medidas de deformaciones para elementos de hasta 10 m de largo [12].

- Ondulaciones superficiales

Según la normativa australiana las ondulaciones superficiales se determinarán utilizando dos reglas, una corta de 300 mm y una larga de 1500 mm. La regla deberá ser más larga que el tramo del elemento del encofrado cuya desviación causó la ondulación de la superficie. La regla debe ser utilizada sistemáticamente en toda la cara del elemento para garantizar una cobertura uniforme, pero no se debe utilizar a través de juntas de

construcción. Dos desplazamientos, a saber, 'a' y 'b', se toman como se muestra en la Figura 54 y la lectura para la evaluación es (a - b).

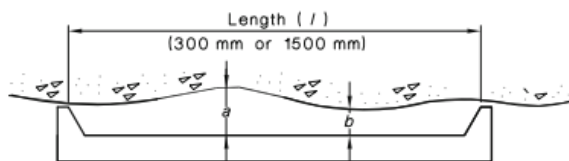


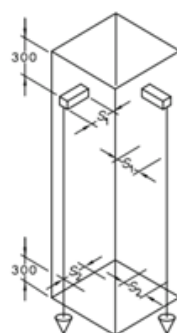
Figura 54 Medida de ondulaciones superficiales [12].

- Alineación

La normativa que explica el método para medir la alineación es la australiana, estas describen que las lecturas se tomarán a lo largo de las paredes solo en la cara crítica, a no más de 5 m del centro. Se tomarán no menos de dos lecturas, a menos que se especifique lo contrario. La alineación de las columnas se comprobará en dos posiciones como se indica a continuación:

- Columnas rectangulares en caras adyacentes, en dos posiciones en ángulos rectos.
- Columnas circulares y formas irregulares. En posiciones específicas.

La alineación se medirá desde un punto a 300 mm desde la parte superior de la superficie vertical y hasta un punto a 300 mm desde la parte inferior, como se muestra en la Figura 55.



Dimensiones en milímetros

Figura 55 Medida de la alineación [12].

2.10.4.1. Cuantificación de defectos mediante análisis de imágenes

Algunos investigadores consideran que el análisis de la superficie del hormigón mediante la comparación visual de imágenes, es poco fiable, esto se debe a que existen numerosos factores que podrían influir en la evaluación como: el observador, el horario en el que se realiza la inspección, la calidad de la imagen de referencia, entre otros. Por esta razón desarrollan metodologías que permitan cuantificar los defectos de forma más precisa.

La metodología aplicada para la medición del color por Bertramone, Cruz y García [28] consistió en el análisis de fotografías mediante el programa de ordenador Adobe Photo Shop 6.0, donde se realizó una extracción selectiva de un recuadro representativo de 1"x1" (2,54x2,54 cm), el mismo se convirtió a la gama de color CMYK para poder obtener posteriormente el desglose de cada uno de los colores que lo componen. En base al recuadro mencionado, se tomó una muestra digital en el punto central del mismo con dimensión 5x5 píxeles, siendo finalmente esta, la muestra que se procedió a analizar en dicho programa para obtener el color del punto analizado.

Otros autores recurren a instrumentos de medición más precisos como el colorímetro [19] o espectrofotómetro [23], consiste básicamente en iluminar la muestra con luz blanca y calcular la cantidad de luz que refleja, el espectro reflejado por la muestra es medido a un ángulo de 8° o 10° y a través de un cable de fibra de vidrio la señal pasa por filtros estándares de color (observador) que es transformada en valores L^* , a^* y b^* que posteriormente se observan en la pantalla del equipo. Al obtener estos valores se procede a aplicar el sistema CIELAB para medir el color del objeto [31].

Por otra parte Lemaire, Escandeillas y Ringot [3] presentan un método sugerido por GTM-Construction y la LMDC que permite una medición global de varios metros cuadrados, con la objetividad de una medición local. El método se realizó en dos etapas, en primer lugar realizan la corrección de la imagen para obtener imágenes independientes de la luz ambiental y del tipo de cámara digital empleada y en segundo lugar la medición de la luminosidad y del área cubierta por los poros en la superficie de hormigón.

Algunos investigadores [5][6] utilizan el programa Image J para cuantificar los poros sobre la superficie y otros desarrollan programas en Microsoft Visual C ++ y Open CV, el cual obtienen resultados favorables [50].

Existen varios métodos, que permiten medir la uniformidad del color y cuantificar la porosidad sobre la superficie, el método propuesto por Lemaire, Escandeillas y Ringot [3] resulta muy interesante para la evaluación de la superficie, ya que permite una evaluación global y no se requiere la dependencia de la misma cámara ni horario específico para realizar la fotografía, además proporciona información sobre la distribución de los defectos y el tamaño de las burbujas en la superficie, sin embargo, no hay acceso a mencionado sistema. Para la medición del color otras metodologías resultan fiables [19][23][31], pero se requiere realizar la inversión en el equipo. Para la cuantificación de la porosidad proponen el programa Image J [5][6], el cual es un programa de fácil acceso y podría ser utilizado y otros desarrollan programas en Microsoft Visual C ++ y Open CV, que requieren de un formación en informática para poder utilizarlos [50].

2.11. Métodos de observación

Una vez definido el sistema de clasificación y el método de cuantificación de defectos, se debe especificar en el proyecto como se realizará la evaluación de la superficie.

Según la normativa austriaca [11] la evaluación se debe realizar en un intervalo de tiempo suficiente desde el momento del desencofrado, ya que la superficie fresca podría cambiar, y la normativa australiana [12], recomienda realizar la evaluación a los de 28 días después de desencofrar la superficie.

Para realizar la evaluación de la superficie se debe tomar en cuenta que factores influyen en la evaluación, como las condiciones climáticas, la hora del día, las condiciones de iluminación, distancia de visualización, y tiempo de evaluación después de la construcción y desencofrado. Se recomiendan que sean especificadas en el proyecto.

Según la normativa australiana [12] cuando un elemento de hormigón tiene varias caras, con un mismo nivel de acabado superficial, la documentación del proyecto debe especificar que caras tienen prioridad en la verificación de los defectos, y en el caso donde las caras opuestas son de diferentes clases, entonces la cara con mayor calidad tendrá prioridad de verificación.

2.11.1. Evaluación de la superficie

El elemento que se usa como superficie de referencia o la escala, se coloca delante del hormigón visto real, en el centro como se observa en la Figura 56, en el centro del elemento que se analizará. Según la normativa austriaca [11] y el ACI [44] evaluación del resultado obtenido se basa en elementos o áreas representativas, se evalúa la impresión general. Los criterios individuales solo se usan si la impresión general no produce el resultado requerido, que precisamente se ha planteado como objetivo.

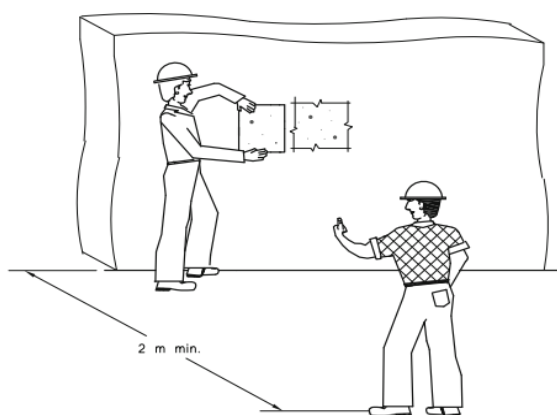


Figura 56 Metodología para evaluar la superficie [12].

La evaluación de las superficies se realizará normalmente desde una distancia que corresponde a la distancia que se contemple en su uso habitual. Según ACHE [13] la distancia de contemplación debe ser similar a la que se utilice para la contemplación de un cuadro.

En la Figura 57 se observa cual debe ser la posición del observador dependiendo de la altura de la superficie a observar. En el punto uno sería el ejemplo de superficies más pequeñas (h_1), distancia escasa (l_1) y en el punto dos superficies más grandes (h_2) (por ejemplo impresión general de la fachada) distancia prolongada correspondiente (l_2).

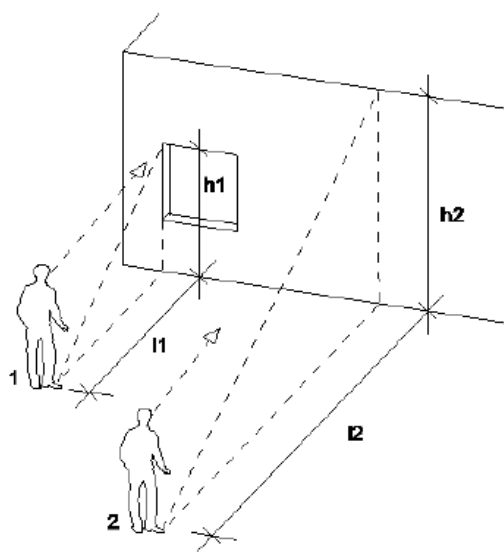


Figura 57 Distancia de contemplación para tener una impresión general [13].

Conclusiones del Capítulo

Se han presentado diferentes metodologías que permiten evaluar y caracterizar la calidad del acabado del hormigón visto. De todo lo expuesto en el capítulo II se deduce que la evaluación de la calidad del acabado debe estar basada en una serie de criterios que permitan definir la calidad y una serie de procedimientos aplicados para cuantificar los defectos en la superficie del hormigón.

Dentro de los criterios establecidos para definir la calidad, las recomendaciones internacionales establecen un sistema de clasificación que se estructura por los niveles de calidad y tipos de defectos, que en función del nivel de acabado requerido, se establece el tamaño, medida o cantidad de defectos permitidos para ese nivel de acabado, que dependerá de la importancia del elemento, tamaño y posición.

Las propiedades o defectos que usualmente son consideradas para definir la calidad de la superficie son: la porosidad, uniformidad del color, planeidad, y juntas de encofrado. Los

defectos menos frecuentes son: cejas, deformaciones, manchas, ondulaciones superficiales, y alineación.

Los procedimientos para la cuantificación de defectos aplicados en las normativas y recomendaciones internacionales dependen del tipo de defecto. La normativa Australiana [12], la Francesa [42] y la recomendación del C.I.B. W29 [43], explican los procedimientos a seguir para la medición de los defectos, esto es de gran importancia, ya que disminuye posibles errores en la medición; la normativa de Nueva Zelanda [41] proporciona una información escasa y poco definida, en este tipo de evaluación, es fundamental un lenguaje sencillo y de fácil comprensión, y hay otras [13][14][44] que solo establecen un porcentaje de porosidad en base a la clase de superficie, pero no especifican como realizar la medición de los defectos, lo cual se considera desfavorable, ya que sin una buena explicación de cómo aplicar el método es difícil obtener buenos resultados.

El método mejor explicado para la cuantificación de los poros lo expone la normativa Austriaca [11], esta menciona dos tipos de evaluación: mediante comparación visual de imágenes y un método cuantitativo para la evaluación del área de poro mediante programas. Cabe destacar que es la única normativa que menciona la evaluación de imágenes digitales con programas que permite medir el defecto de forma digital.

Por otra parte la normativa Australiana [12] propone procedimientos para varios tipos de defectos, además la explicación de las metodologías es detallada y fácil comprensión. Mencionada normativa se considera que en cuanto a contenido, y explicación de procedimientos es la más completa.

El trabajo se ha orientado a la evaluación de la calidad y cuantificación de los defectos superficiales en el Hormigón Visto de Ultra Altas Prestaciones. Los defectos que analizarán son la porosidad, desconchado, variación de tonalidad y manchas, como se ha comentado anteriormente la porosidad y la variación de tonalidad son uno de los principales defectos que influyen en la calidad. El desconchado y manchas pueden ser producidos como consecuencia de los defectos principales por esta razón también son considerados. Los defectos mencionados se analizarán mediante una metodología desarrollada en el capítulo III (elaboración propia) que permite caracterizar la superficie del acabado. Es importante destacar que dentro del alcance del trabajo no está definir niveles de calidad, dado que no se aplica a una obra en concreto.

Además de definir los defectos, la medida, tamaño y cantidad, dentro de los criterios deben estar establecidos los métodos de observación que también dependerán del elemento, tamaño, distancia de observación y horario en el que se realiza la evaluación.

Por otra parte se han presentado los factores que influyen en la calidad del acabado superficial. En el estudio bibliográfico presentado, se ha analizado la importancia de la una buena planificación, la correcta elección de materiales y su proporción, además de cómo influye la elección del encofrado y la puesta en obra del hormigón. La dosificación, la elección del encofrado, y la puesta en obra son los factores que más influyen en la generación de defectos en la superficie del hormigón, por esta razón es imprescindible una buena planificación y definir correctamente los criterios necesarios para obtener una buena calidad superficial.

3. Programa experimental y Metodología

En el presente capítulo se describe el programa experimental, se explica la metodología diseñada para caracterizar los defectos en la superficie del Hormigones Visto de Ultra Altas Prestaciones y los procedimientos generales de fabricación del hormigón.

Como se ha mencionado en el capítulo II, existen varios tipos de defectos que influyen en la calidad de la superficie, sin embargo, en este trabajo se analizarán la porosidad, desconchado, variación de tonalidad y manchas. La cuantificación de defectos se realizará mediante una metodología que ha sido el resultado de un amplio estudio bibliográfico de los procedimientos aplicados por las normativas, asociaciones e investigaciones internacionales.

Estructura del capítulo:

- Subcapítulo 3.1. Programa experimental: se definen las variables consideradas, defectos analizados y ensayos realizados.
- Subcapítulo 3.2. Metodología diseñada para caracterizar la calidad del acabado: se explica el procedimiento que permite caracterizar la superficie del Hormigón Visto de Ultra altas Prestaciones. También se explica cómo extrapolarlo a obras específicas.
- Subcapítulo 3.3. Procedimiento general de fabricación del hormigón: Se especifican los materiales utilizados, se explica el proceso para la fabricación y los ensayos realizados.

3.1. Programa experimental

En el desarrollo de la metodología experimental se ha decidido utilizar un hormigón de Ultra Altas Prestaciones, esto se debe a que hay pocos estudios sobre los factores que influyen en el acabado de mencionado hormigón, también para continuar en la línea del grupo de investigación. Para evaluar los factores que influyen en el hormigón, se realizaran variaciones en la cantidad de arena, agua, aditivo y fibra, se decide variar mencionados materiales, porque como se ha observado en el capítulo II, una dosificación con gran cantidad de finos y consistencia fluida es una de las recomendaciones para obtener buenos acabados, por esta razón es de interés valorar cual es el resultado de variar mencionados componente en este tipo de hormigón.

En el proceso de fabricación se realizará la compactación de las probetas, a pesar de que es un hormigón autocompactable, se desea simular la energía de vertido con la cual

usualmente se coloca el hormigón y evaluar su influencia en el acabado. Con respecto a la superficie en contacto con el hormigón, se seleccionó encofrados de acero y plástico porque son los encofrados más usuales en el mercado y de madera para evaluar cómo influye una superficie una absorbente en la calidad del acabado.

La metodología diseñada para la caracterización de la calidad será aplicada para evaluar los factores que influyen en la calidad del acabado en Hormigones Vistos de Ultra Altas Prestaciones. Como se ha mencionado anteriormente se han definido una serie de variables relacionadas con la fabricación, dosificación y superficie encofrante. En las variables mencionadas, se analiza la presencia de porosidad, desconchado, variación de la tonalidad y manchas. Además se realizan ensayos de consistencia y resistencia a compresión. En la Tabla 12 se observa detalladamente las variables consideradas, los defectos analizados y los ensayos.

Las variables consideradas se resumen en tres grupos: las variables relativas a la fabricación, dosificación y superficie encofrante de las probetas. Las variables relativas a la fabricación están relacionadas con la compactación del material, se han considerado dos casos, con compactación y sin compactación; las variables relativas a la dosificación se relacionan con la variación de las cantidades de la arena fina y media, agua, aditivo y fibra, y las variables relativas a la superficie encofrante, se seleccionaron 3 tipos: acero, plástico y madera.

Los defectos que se analizarán son: la porosidad, desconchado, variación de la tonalidad y manchas, como se ha comentado anteriormente la porosidad y la variación de tonalidad son uno de los principales defectos que influyen en la calidad del acabado. El desconchado puede ser producido por exceso de porosidad y/o poco desencofrante, mencionado defecto se produce porque la superficie del hormigón se adhiere a la superficie del encofrado y el exceso de poros puede debilitar la capa superficial y producir el desprendimiento parcial del hormigón lo que se conoce como desconchado. Las manchas son variaciones de tonalidad pero el cambio de tonos es más evidente y se observan a una distancia mayor. Por las razones mencionadas anteriormente, el desconchado y las manchas son incluidos en el análisis de calidad.

Los ensayos de consistencia y resistencia a compresión son añadidos como ensayos complementarios, para evaluar cómo influye la consistencia de la mezcla en la formación de defectos y también se desea evaluar la relación de la calidad del acabado con la resistencia mecánica de la probeta.

Tabla 15 Variables consideradas.

Variables Consideradas		
Método de Fabricación	Dosificación	Superficie encofrante
<ul style="list-style-type: none"> Sin compactación Con compactación 	<ul style="list-style-type: none"> Arena <ul style="list-style-type: none"> - 35% AF + 65% AM Fina y - 50 % AF + 50% AM Arena - 100% AF Media Agua <ul style="list-style-type: none"> - Dosificación inicial - Incremento de un 10% de agua de la dosificación inicial - Incremento de un 20% de agua de la dosificación inicial Aditivo <ul style="list-style-type: none"> - Dosificación inicial - Incremento de un 10% de aditivo de la dosificación inicial - Incremento de un 20% de aditivo de la dosificación inicial Fibra <ul style="list-style-type: none"> - Sin fibras - Con fibras 	<ul style="list-style-type: none"> Acero Plástico Madera
Defectos Analizados		
<ul style="list-style-type: none"> Porosidad Desconchado Variación de tonalidad Manchas 		
Ensayos		
<ul style="list-style-type: none"> Consistencia Resistencia a compresión 		

3.2. Desarrollo de metodología para caracterizar la calidad del acabado

La metodología diseñada para la cuantificación de defectos es el resultado de un amplio estudio bibliográfico de normas y asociaciones internacionales que en el caso de la normativa austriaca [11] y alemana [14] fueron traducidas del alemán para su mejor comprensión. Como se observa en el capítulo II, apartado 2.10.1. las recomendaciones internacionales, establecen criterios de aceptación para cada tipo de defectos y pocas

investigaciones explican el procedimiento utilizado para cuantificar defectos, aún así son poco detalladas y explícitas, lo que podría producir errores en su aplicación.

La metodología diseñada en este trabajo final de Máster se realiza con el objetivo de reducir la subjetividad que implica la evaluación de la calidad del acabado, además de crear un procedimiento que sea lo suficientemente detallado y pueda ser extrapolable a obras comunes.

En los apartados 3.2.1., 3.2.2., 3.2.3., 3.2.4 y 3.2.5. se explica detalladamente el procedimiento, donde más allá de evaluar 4 defectos se explica cómo definir un defecto, y como caracterizar la superficie.

3.2.1. Condiciones de la fotografía

La cuantificación de los defectos se realizó mediante análisis de imágenes para garantizar que la evaluación se realice en igualdad de condiciones. Se preparó un set de fotografía, constituido por una mesa (para capturar las imágenes desde un mismo ángulo), un fondo blanco e iluminación artificial para evitar las variaciones de luminosidad del medio ambiente.

Las fotografías se realizaron a cada cara de la probeta (Ver Figura 58), con una cámara canon modelo EOS 1200D, a una distancia de 30 cm desde la probeta a la cámara. Todas las fotografías se realizaron utilizando la misma configuración, se programó la cámara de forma manual con una apertura de diafragma de $f/5,6$, tiempo de exposición $1/60$ s, una velocidad ISO de 800 y modo flash activo.

La captura de imágenes es extrapolable a aplicaciones reales, independientemente del tipo de estructura es la misma metodología, donde se capturan fotografías a cierta distancia que dependerá del tamaño del elemento, se recomienda seguir las recomendaciones indicadas en el subcapítulo 2.11.

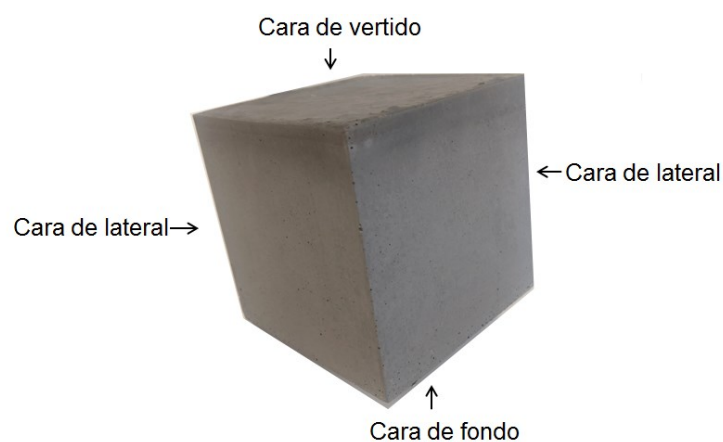


Figura 58 Caras fotografiadas.

3.2.2. Porosidad

El procedimiento realizado para medir la cantidad de poros y el área de cada uno de ellos se realizó mediante el programa Image J [51], es un programa de procesamiento de imágenes digitales que permite cuantificar los poros presentes en la superficie del hormigón.

Uno de los primeros pasos que se debe realizar para el análisis de la imagen, es calibrarla, esto permite indicarle al programa cuantos mm del objeto equivalen a la cantidad de píxeles en la imagen.

El siguiente paso es convertir la imagen a blanco y negro, en este paso se varía la luminosidad de la imagen, es decir, se incrementa o disminuye la cantidad de luz como se observa en la Figura 59a, en donde los píxeles de las probetas no tiene luminosidad lo que conlleva a que la probeta se vea totalmente negra, en el caso de la Figura 59b, se incrementó la luminosidad de los píxeles, sin embargo, no es suficiente porque los poros no se identifican, y en la Figura 59c se observa los poros de la probeta original.

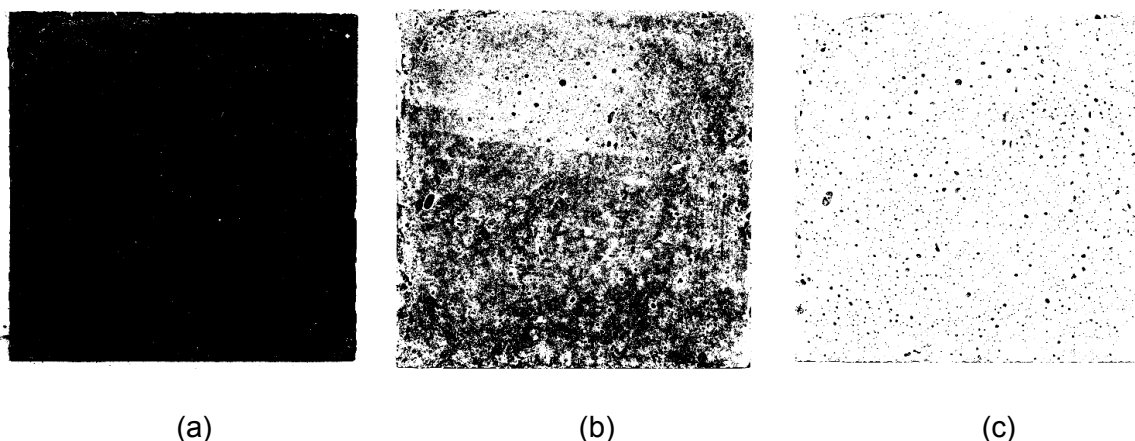


Figura 59 Variación de la intensidad de luminosidad en cara lateral: (a) 0% de luminosidad, (b) 48,5% de luminosidad y (c) 97% de luminosidad.

La correcta elección de la cantidad de luminosidad es muy importante, dado que el incremento excesivo de la luminosidad produce disminución del área del poro, caso contrario sucede si se disminuye la luminosidad, ya que se oscurece la zona y el programa lo puede contar como poros, o incrementar el área real del poro, por esta razón se recomienda comparar la imagen procesada y la original para evaluar que la representación de poros sea la correcta como se muestra en la Figura 60.

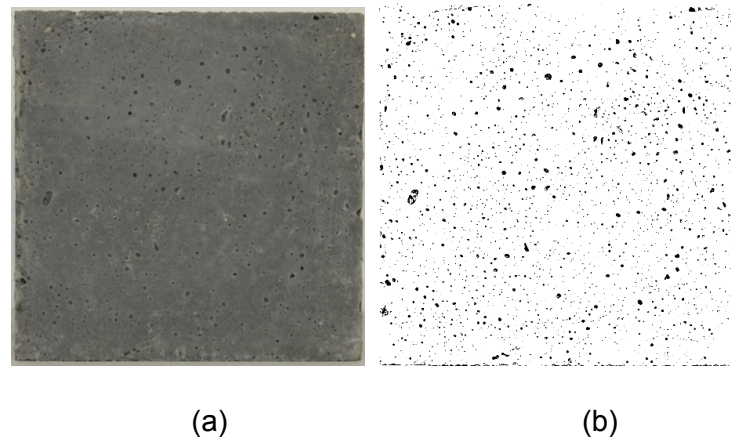


Figura 60 Comparación de probeta original con la procesada en el programa Image J. (a) Probeta original y (b) Procesada en el programa Image J.

Posteriormente se procede al análisis de los poros (número, tamaño y distribución), en este paso se acota el tamaño de los poros admisibles para la cuantificación, se seleccionó un tamaño de diámetro mínimo y máximo entre 1 mm y 15 mm respectivamente, se utilizó como referencia lo establecido normativas y asociaciones [11][13][14][44] estudiadas en el capítulo II.

Tras acotar el tamaño de poros, el programa arroja los resultados. En la Figura 61a se observa cuales poros fueron contados por el programa y la enumeración que se asigna a cada poro. En la Figura 61b se observan solo los poros cuantificados.

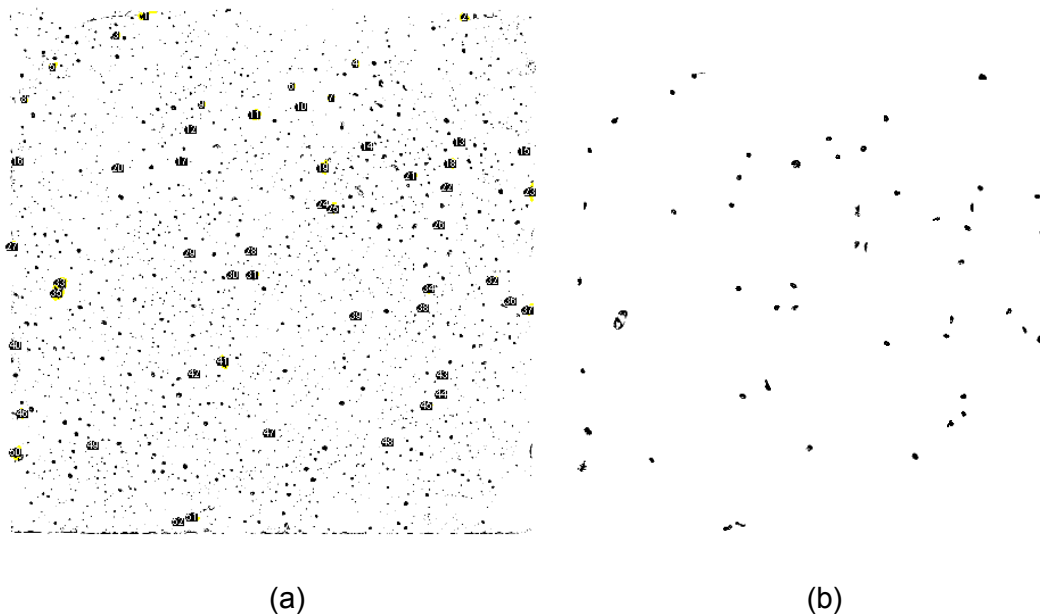


Figura 61 Análisis de poros: (a) Imagen con todos los poros y enumerados los seleccionados y (b) Imagen con los poros seleccionados.

Además del número de poros, el programa muestra el área del poro, el tamaño promedio, el tamaño mínimo y máximo de los poros (Ver Tabla 13), y la distribución de poros según el tamaño (Ver Figura 62)

Tabla 16 Numero de poros, tamaño, y promedio del tamaño de poros.

Nº de Poro	Área (mm ²)	Nº de Poro	Área (mm ²)	Nº de Poro	Área (mm ²)
1	1,213	20	0,852	39	1,014
2	1,711	21	0,859	40	0,813
3	0,802	22	1,161	41	1,746
4	1,210	23	1,679	42	1,169
5	1,255	24	1,012	43	1,140
6	0,957	25	0,942	44	0,893
7	1,294	26	0,944	45	1,313
8	0,851	27	1,009	46	1,853
9	0,938	28	1,085	47	1,144
10	0,803	29	1,088	48	1,396
11	2,392	30	1,059	49	0,808
12	0,925	31	0,923	50	1,793
13	1,035	32	1,054	51	1,059
14	1,048	33	1,705	52	1,318
15	0,947	34	0,970		
16	0,791	35	2,676	Mean	1,180
17	0,846	36	0,833	Min	0,791
18	1,091	37	1,556	Max	2,676
19	1,514	38	0,871		

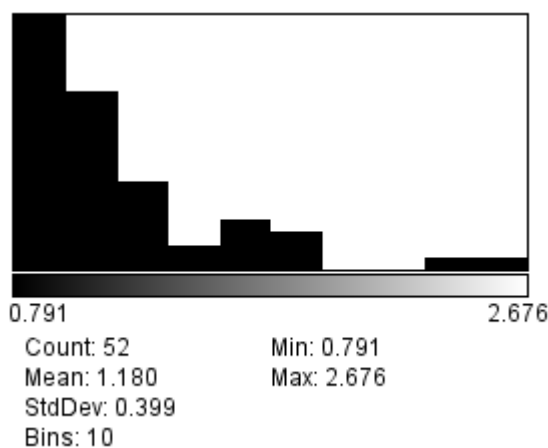


Figura 62 Distribución de poros.

Una vez obtenidos los resultados de cada cara de la probeta se calcula:

- Número total de poros: Sumatoria del número de poros de las 4 caras de la probeta
- Área total de poros : sumatoria del área de poros de las 4 caras de la probeta

- Tamaño medio de poro: $P m = \frac{\sum \text{área total de poros}}{N^{\circ} \text{ de poros}}$
- Distribución de poros: es contar la cantidad de poros que hay en un rango de tamaño de poro previamente establecido, en la Tabla 14 se observan los rangos.

Tabla 17 Rango de área del poro.

Área del poro (mm ²)					
R1	R2	R3	R4	R5	R6
$P \leq 5$	$5 < P \leq 10$	$10 < P \leq 15$	$15 < P \leq 20$	$20 < P \leq 25$	$25 < P \leq 30$

En el caso de la evaluación realizada en las caras de fondo solo se tomó en cuenta una sola cara para el cálculo del número total de poros, área total, tamaño promedio y distribución de poros.

El análisis de porosidad se realizó a 744 imágenes, el programa Image J solo se aplicó a las caras laterales y cara de fondo. Las caras de vertido no fueron analizadas con mencionado programa, esto debe a que las tonalidades presentes en la cara de vertido, impedía diferenciar los poros de los cambios de tonalidad, como se observa en la Figura 61.

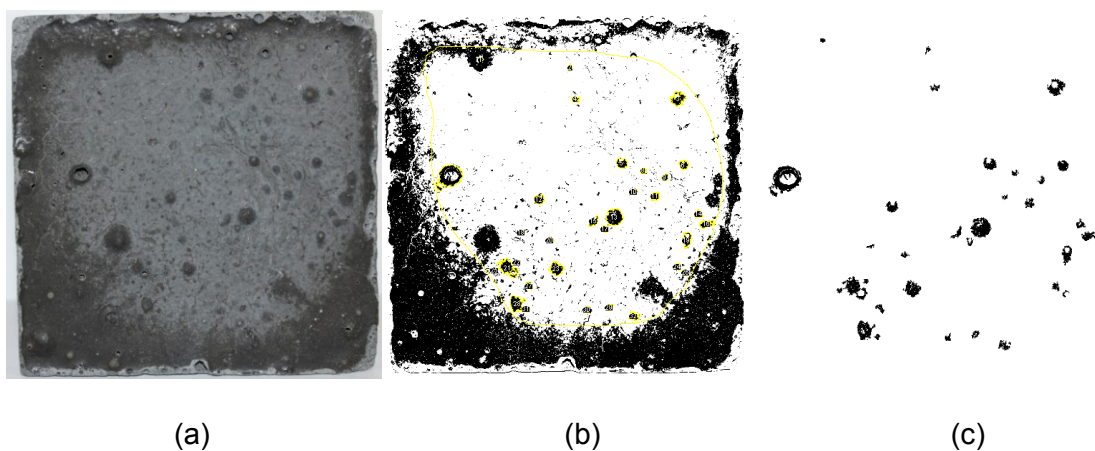


Figura 63 Ejemplo de porosidad en cara de vertido: (a) Imagen original, (b) Imagen procesada en Image J con identificación de poros cuantificados y (c) Poros cuantificados por el programa

En la Figura 63a se observa la imagen original de la probeta, en la Figura 63b se observa la imagen procesada en el programa, en la cual se identifica y cuantifica la cantidad de poros considerados por el programa, y Figura 63a se observa solo poros que han sido contabilizados por el programa; al comparar la Figura 63a y la Figura 63c se puede observar que los poro ubicados en la parte inferior de la cara no son identificados por el

programa, esto se debe a que tiene el mismo tono que la superficie y por esta razón no se diferencia.

Para realizar una evaluación de la superficie con igualdad de condiciones, se realizó una carta de porosidad con fotografías de cara de vertido que sirven como referencia para realizar un análisis visual de las probetas. La carta de porosidad fue constituida por cuatro tipologías de poros, como se observa en la Figura 64.

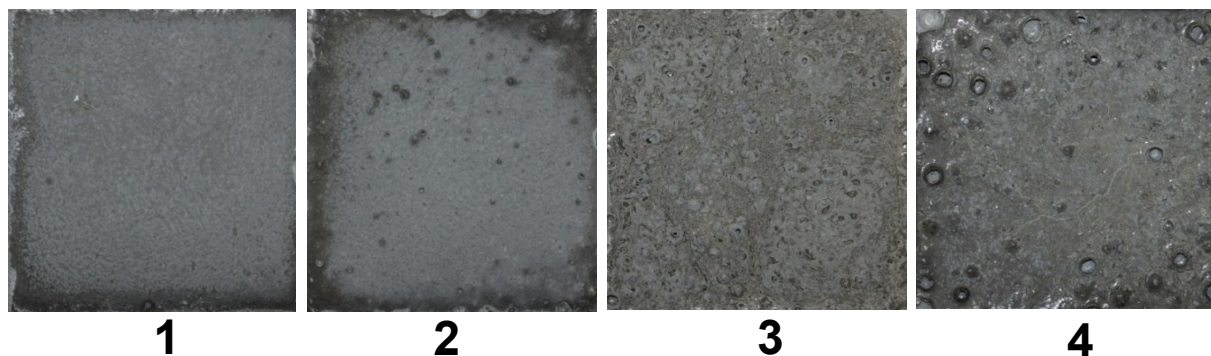


Figura 64 Tipos de poros en caras de vertido (Elaboración propia).

3.2.3. Desconchado

Uno de los defectos presente en la superficie del hormigón es el desconchado o desprendimiento parcial de una capa delgada en la superficie del hormigón, este defecto se evaluó a través de análisis visual de las caras de las probetas y simplemente se identificó la presencia del defecto como se observa en la figura 65.



Figura 65 Desconchado en la superficie de las probetas.

3.2.4. Homogeneidad del color

El procedimiento aplicado para evaluar la variación de tonalidad en las probetas se realizó mediante la comparación de una escala de tonos con las fotografías de las mismas. La escala se constituye por seis tonos de grises (Ver Figura 66), ordenada de tonos claros a oscuros. La elección de la escala se realizó basada en los diferentes tonos encontrados en las probetas, el matiz, saturación y luminosidad de cada tono, donde el matiz y la saturación

del tono son constantes, solo varía la cantidad de luz que posee cada tono, se observan en la Tabla 15.

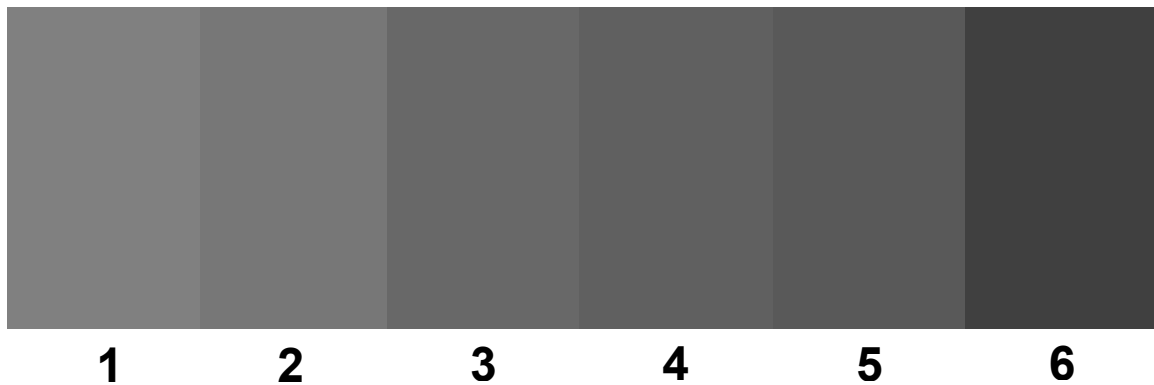


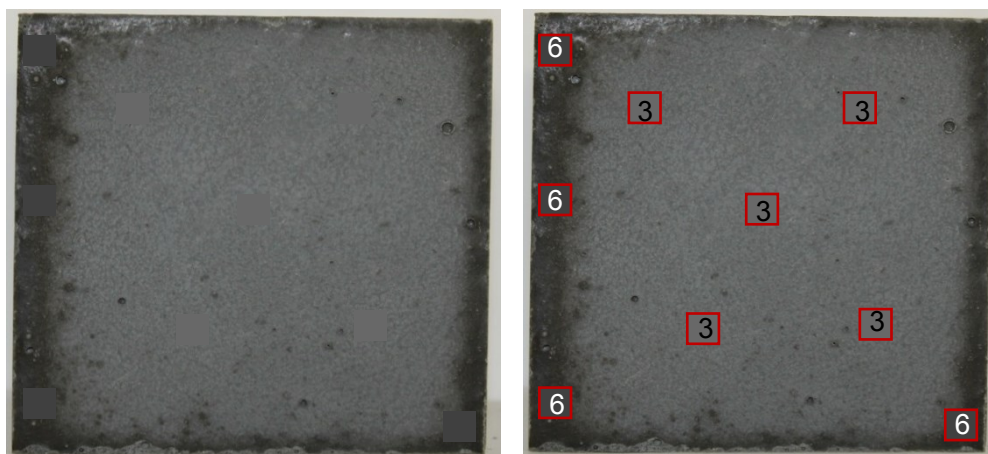
Figura 66 Escala de tono de grises (Elaboración propia).

Tabla 18 Características de los tonos.

Tono	Matiz	Saturación	Luminosidad
1	170	0	128
2	170	0	119
3	170	0	104
4	170	0	96
5	170	0	89
6	170	0	64

Una vez definida la escala de tonos se procedió a la evaluación de tonalidades en las seis caras de la probeta, se realizó comparando cada tono mediante cuadros representativos de 5 x 5 mm, se colocaban en varias zonas de la cara en estudio para evaluar las diferentes tonalidades, el color seleccionado era el más similar al tono de la cara analizada, como se observa en la Figura 67.

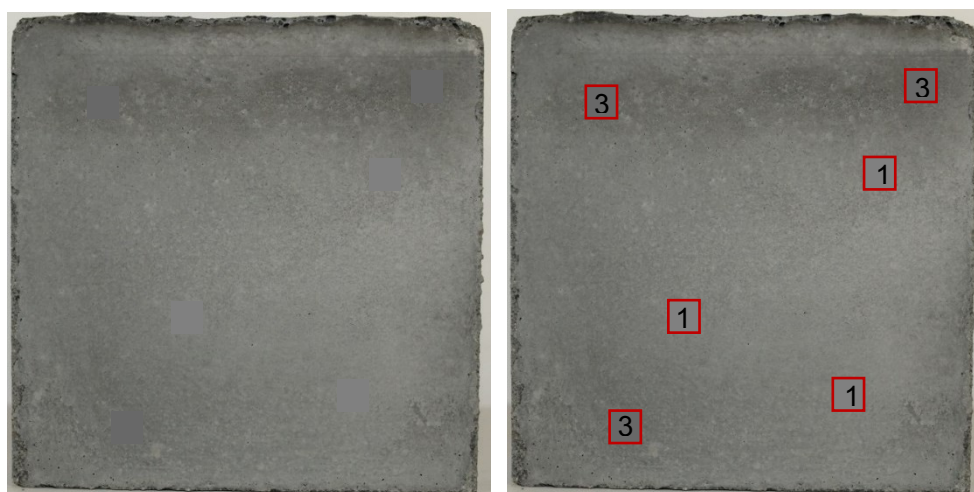
En el caso de la probeta mostrada en la Figura 65a se observa como los tonos son tan similares a la probeta que es difícil diferenciar cada recuadro, en la Figura 65b se ha resaltado los recuadros representativos y se ha identificado el número del tono, siendo 1 y 3 los tonos de la probeta. Esta metodología fue aplicada en 744 imágenes (cara de vertido, caras laterales y cara de fondo de la probeta). En las Figura 68 y 69 se muestra un ejemplo del análisis realizado a caras laterales y cara de fondo.



(a)

(b)

Figura 67 Evaluación de la tonalidad en caras de vertido.



(a)

(b)

Figura 68 Evaluación de la tonalidad en caras laterales.

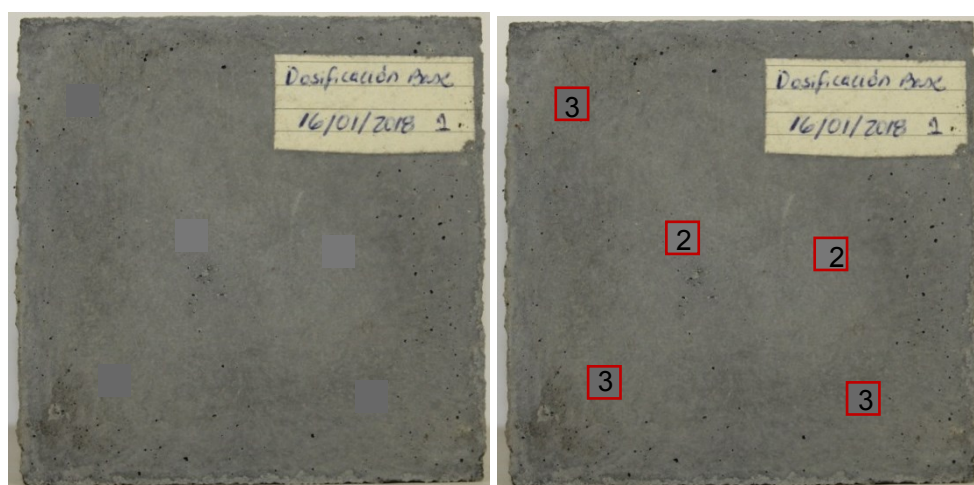


Figura 69 Evaluación de la tonalidad en cara de fondo.

Es importante destacar que valorar la variación de tonalidad es difícil, por esta razón se recomienda que para aplicaciones reales se realicen planes de referencia, y en base a esos paneles de referencia realizar la escala de tono basado en los tonos obtenidos en los paneles representativos.

3.2.5. Manchas

Al igual que en el apartado 3.2.4. para evaluar las manchas formadas en las probetas, se realizó una carta con diferentes tipologías. La evaluación se realizó mediante comparación visual de la probeta con la carta de manchas, en la Figura 70 y 71 se observan las imágenes representativas de las manchas en las caras laterales y de fondo respectivamente. En la Figura 6 la tipología número cuatro presenta una mancha circular en el centro, el cual se produce por el tipo de encofrado, mencionada mancha no será considerado en el análisis.

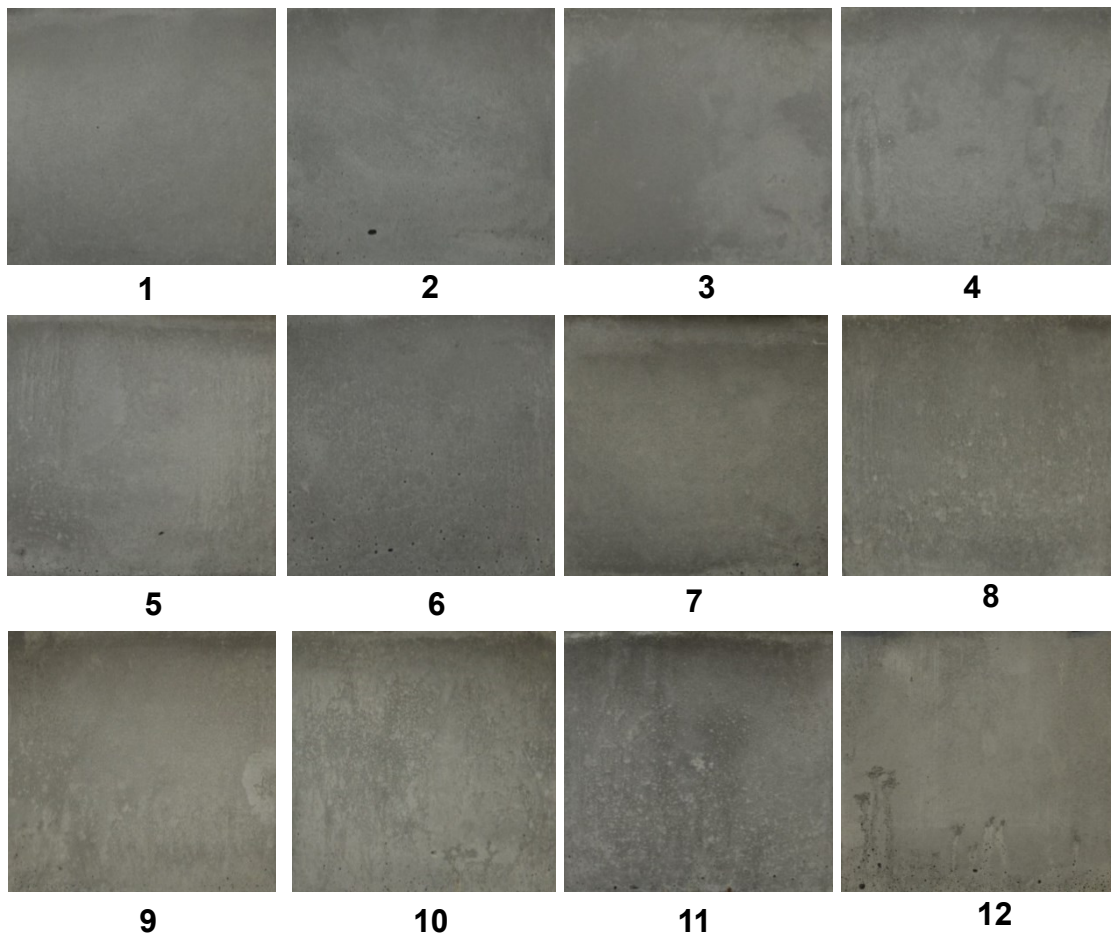


Figura 70 Tipos de manchas en caras laterales (Elaboración propia).

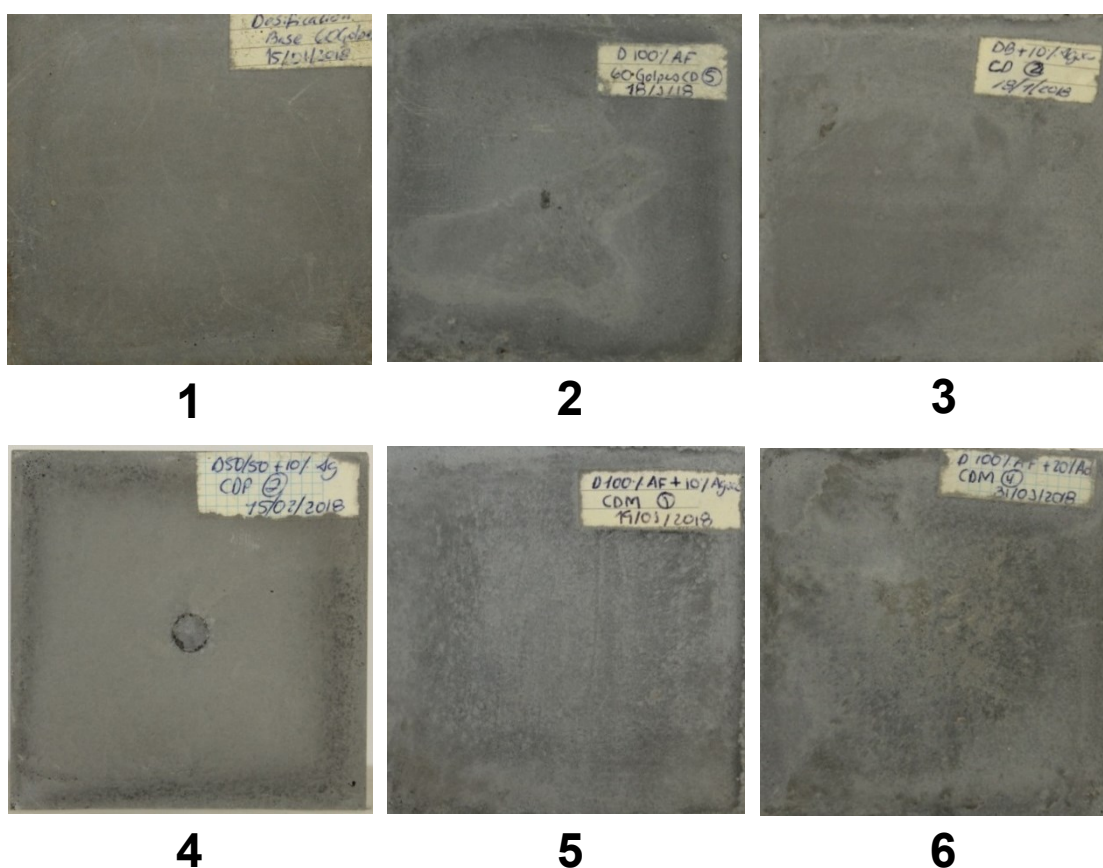


Figura 71 Tipos de manchas en caras laterales (Elaboración propia).

3.2.6. Conclusiones de la Metodología desarrollada

La metodología realizada para la caracterización de la calidad del acabado en Hormigones Vistos de Ultra Altas Prestaciones, fue una metodología compleja de desarrollar, dado que en el mercado hay pocos programas que se pueden aplicar para la caracterización de los defectos. El programa Image J, es un programa de procesamiento de imágenes, que permite cuantificar partículas, el cual fue configurado para realizar la cuantificación de los poros en la superficie del hormigón.

Se seleccionó un tamaño de diámetro mínimo y máximo entre 1 mm y 15 mm respectivamente, se utilizó como referencia lo establecido en las normativas y asociaciones, pero simplemente fueron referenciales, dado que el hormigón empleado tiene una granulometría muy fina y esto reduce el tamaño de poro, esta hipótesis se comprobará en el análisis de resultados.

El análisis de porosidad con el programa Image J, permitió cuantificar los poros de la superficie, sin embargo, si el hormigón tiene variaciones de tonalidad similar al tono del poro, el programa identifica mencionada tonalidad y lo cuantifica, también la incorrecta variación de luminosidad en el procesamiento de la imagen influye en la medida del tamaño de

poro, por consiguiente la aplicación de mencionado programa presenta ciertas limitaciones, sin embargo, con un procesado controlado y siguiendo las recomendaciones descritas en el apartado 3.2.2. se pueden obtener buenos resultados.

La definición de la escala de tonos de grises permitió caracterizar las imágenes en formato digital, este procedimiento es sencillo de aplicar, y minimiza los errores de la evaluación realizada in situ. Además este procedimiento permitió la evaluación de dos defectos, la variación de tonalidad y las manchas, dado que las mismas se interrelacionan. A pesar de que se generó un carta con tipologías de manchas, el análisis está vinculado con la variación de la tonalidad, es decir, la mancha realmente es significativa por la variación de tonos y no por el área de la mancha.

Es importante destacar que realizar una metodología que permita analizar los defectos en formato digital, permite ser aplicado en cualquier tipo de obra, aun así en partes de las estructuras más complejas que normalmente son difíciles de evaluar. El zoom de la cámara nos permite ser capaces de captar imágenes a mayor distancia y evaluar la calidad de la superficie de forma más eficiente, reduciendo el margen de error. Por esta razón es de gran importancia contar con una cámara que capture fotografías de buena calidad, esto permite identificar con mayor claridad los defectos, reproducir los tonos de la superficie con mayor fidelidad y al hacer zoom no se pierde la calidad la imagen que podría influir en caracterización de la calidad.

3.3. Procedimiento general de fabricación

3.3.1. Materiales

3.3.1.1. Cemento

La elección del tipo de cemento es fundamental para este tipo de hormigones, habitualmente se recurre a cementos de resistencia intermedia y con bajo contenido en AC_3 por su bajo calor de hidratación y demanda de agua, esto se reduce la retracción, favorece la trabajabilidad y la evolución de resistencias repartidas en el tiempo, es por ello que suelen utilizarse cementos resistentes a sulfatos.

Por las razones expuestas anteriormente, el cemento utilizado para la dosificación proviene de LAFARGE S.A., es de tipo I, concretamente CEM I 42,5 R-SR5 (Ver Figura 72).

3.3.1.2. Humo de sílice

Se ha utilizado humo de sílice Elkem Microsilica® (Ver Figura 73). Se trata de humo de sílice seco, sin densificar, de densidad entre 200 y 350 kg / m³, el diámetro medio de una esfera de micro sílice es de aproximadamente 0,15 micras, aunque la mayoría forman aglomerados entre 0,1 y 1 micra y aglomerados secundarios de entre 5 y 50 micras.

Es un producto certificado por la norma ISO 9001, lo que asegura la calidad de su composición química y física.

3.3.1.3. Harina de cuarzo

La adición de harina de cuarzo a las dosificaciones permite reducir el contenido de cemento y complementar la curva granulométrica para los tamaños más pequeños.

En nuestro caso utilizamos harina de cuarzo U-S 500, SIBELCO HISPANIA, fabricado por la empresa SIKA, compuesta en más de un 90 % por sílice cristalina (Ver Figura 74)



Figura 72 Cemento. Fuente: Propia



Figura 73 Humo de sílice. Fuente: Propia.



Figura 74 Harina de cuarzo. Fuente: Propia.

3.3.1.4. Áridos silíceos

Se emplea una arena de origen silíceo, constituida por una fracción granulométrica de arena fina de 0,5 mm (Ver Figura 75a) y arena media entre 0,6 y 1,2 mm (Ver Figura 75b).

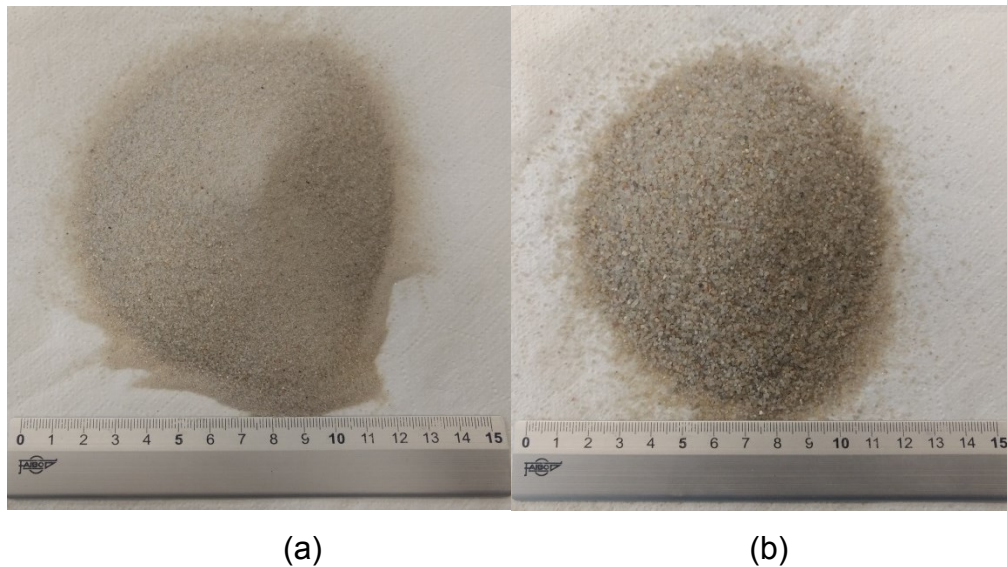


Figura 75 Áridos silíceos: (a) arena fina (b) arena media.

3.3.1.5. Agua

El agua empleada proviene de la red de agua potable de la Universidad Politécnica de Valencia, cumpliendo los requisitos establecidos en la EHE-08.

3.3.1.6. Aditivo

El aditivo empleado fue Sika® ViscoCrete® - 20 (Ver Figura 76) es un superplastificante de tercera generación, especialmente diseñado para la producción de hormigón que requiere de un rápido desarrollo de resistencias iniciales, elevada reducción de agua y buena trabajabilidad. Su composición química es policarboxilato modificado en base acuosa, líquido viscoso, con una densidad aproximada de 1,085 gr/ cm³, contenido en sólidos de 40 % y PH aproximado de 4,5.



Figura 76 Aditivo 20 HE.

3.3.1.7. Fibras metálicas

Las fibras empleadas en la fabricación del hormigón son fibras de metálicas con un alto límite elástico y tienen una longitud de 13 mm y diámetro de 0,20 mm (Ver Figura 77)



Figura 77 Fibras metálicas.

3.3.2. Dosificación

Corresponde a la de un hormigón de altas prestaciones reforzado con fibras. La dosificación inicial es la utilizada por el Dr. Pedro Serna Ros en la Universidad Politécnica de Valencia (Ver Tabla 16). Para el estudio de la influencia de los materiales en el acabado superficial del hormigón, se realizaron 30 dosificaciones diferentes, en donde partiendo de la dosificación inicial se varió la cantidad de árido fino y árido grueso, se incrementó un 10 y 20 % el agua y aditivo y se evaluó la influencia de la incorporación de las fibras.

Tabla 19 Dosificación Inicial (Para 1m³ de hormigón).

Materiales	Cantidad
Cemento I 42,5 R- SR5	800 kg
Humo de Silice Elkem Microsilica®	175 kg
Harina de Silice U-S500	225 kg
Arena 0,5 mm (fina)	302 kg
Arena 0,6 - 1,2 mm (media)	565 kg
Agua	160 kg
Aditivo 20 HE	30 kg
Fibra 13/0,2	175 kg

3.3.3. Proceso de amasado

La amasadora utilizada para la mezcla y amasado de los morteros está compuesta por un recipiente de acero inoxidable con capacidad de 5 litros, el cual se fija al bastidor de la amasadora y una pala de acero inoxidable que permite la mezcla de los materiales en el proceso de amasado (Ver Figura 78). Este equipo presenta dos velocidades: lenta (140 ± 5 rpm) y rápida (285 ± 5 rpm).



Figura 78 Amasadora.

La secuencia que se utilizó para preparación de la pasta se presenta a continuación:

1. Se agregan al recipiente de acero inoxidable la arena media y fina, harina de cuarzo, cemento, y el humo de sílice.
2. Se añade el agua y el aditivo.
3. Con todos los materiales agregados se espera de 5 min a 10 min que la mezcla sea homogénea y fluida.
4. Se añaden las fibras y se mezcla durante 5 min para que las fibras se distribuyan uniformemente

Este proceso se realizó con todas las dosificaciones, y en las dosificaciones sin fibras no se realizó el paso número cuatro.

3.3.4. Ensayo de consistencia

El ensayo se realizó con un molde troncocónico metálico, se enrazó y se levantó rápidamente, dejando que el hormigón se esparza por si solo, 15 seg después se midió el diámetro que formó la mezcla. El equipo utilizado se muestra en la Figura 79a y el ensayo en la 79b



(a)



(b)

Figura 79 Ensayo de consistencia: (a) Equipo y (b) Ensayo realizado.

3.3.5. Encofrados

Para moldear el hormigón se utilizaron encofrados de acero y plástico, con unas dimensiones de 10 x 10 x 10 cm (Ver Figura 80), para evaluar la influencia de una superficie encofrante de madera se revistió el encofrado metálico con madera balsa como se observa en la Figura 81a y en la Figura 81b se observa la superficie encofrante de madera una vez retirado el encofrado de acero.

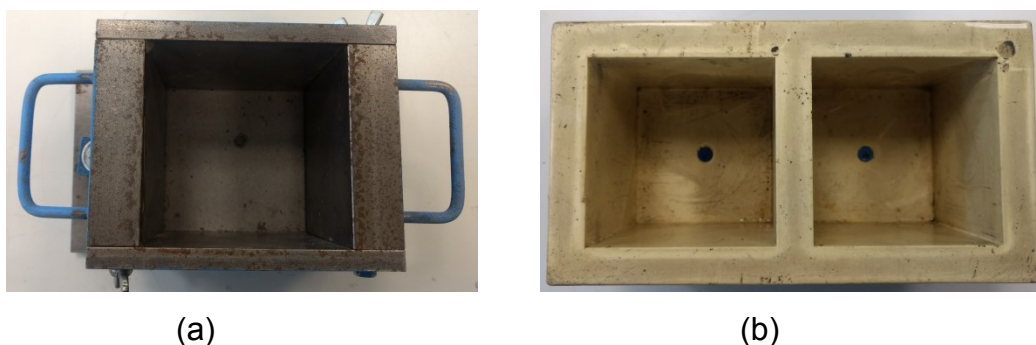


Figura 80 Moldes:(a) Acero y (b) Plástico.

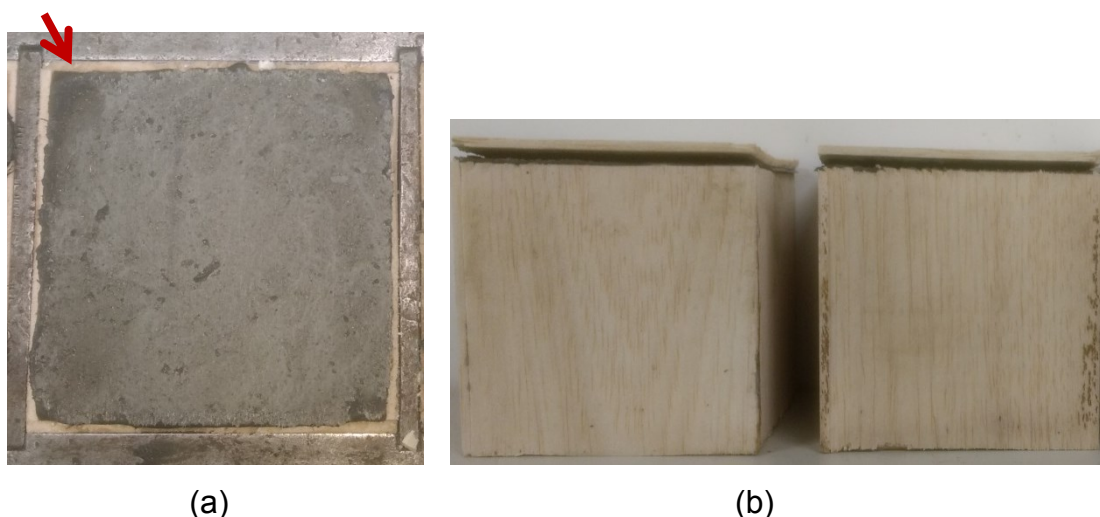


Figura 81 Superficie encofrante de madera balsa: (a) Ubicación de la madera balsa en el encofrado y (b) Superficie encofrante una vez retirado el encofrado de madera.

3.3.6. Desencofrante

El desencofrante aplicado en la superficie del encofrado metálico y de plástico es de marca SIKA-Desencofrante EN (Ver Figura 82). La composición química es un aceite mineral y densidad (20°C) de aplicación 0,9 kg/l. Se aplicó por toda la superficie del encofrado, una capa muy delgada y uniforme, posteriormente se retiró el exceso de desencofrante con un papel absorbente, para evitar que afecte la superficie del hormigón. En las superficies de

madera no se aplicó desencofrante, para evaluar cómo influye la superficie de madera en el acabado del hormigón.



Figura 82 SIKA- Desencofrante EN. Fuente: Propia.

3.3.7. Compactación

Los hormigones de Ultra Altas Prestaciones se asocian con elevadas resistencia y capacidades de autocompactabilidad, sin embargo, se debe tomar en cuenta que cuando se realizan elementos estructurales reales, el hormigonado se realiza a una mayor distancia lo que permite que el hormigón posea una mayor energía de vertido y se compacte con su propio peso, pero las probetas realizadas en este trabajo, como se observa en la Figura 83, la distancia entre la cuba a el encofrado es muy baja, entonces para simular la energía de vertido de un hormigonado real se compacta la mezcla con 60 golpes, con el equipo se muestra en la Figura 84.



Figura 83 Distancia de vertido en las probetas de 10 x 10 x 10 cm.



Figura 84 Compactadora PROETI, G.A.

3.3.8. Ensayos a compresión

Para la realización de los ensayos a compresión se ha utilizado la prensa de IBERTEST (Ver Figura 85) de 3000 kN de capacidad que aplica una velocidad constante de carga de acuerdo con la normativa UNE-EN 12390-3 [52].



Figura 85 Prensa IBERT

4. Resultados y Análisis

En este capítulo se presentan todos los resultados obtenidos a partir de la metodología experimental y cuantificación de defectos realizados para evaluar la porosidad, desconchado, variación de tonalidad y manchas de las distintas dosificaciones.

Nomenclatura de las probetas

35	Dosificación con 35% de Arena Fina y 65% Arena media
50	Dosificación 50% Arena fina y 50% Arena media
100	Dosificación 100% Arena fina
W	Contenido de agua de dosificación inicial
10W	Incremento de un 10% de agua de la dosificación inicial
20W	Incremento de un 20% de agua de la dosificación inicial
A	Contenido de aditivo de dosificación inicial
10A	Incremento de un 10% de aditivo de la dosificación inicial
20A	Incremento de un 20% de aditivo de la dosificación inicial
F	Dosificación con fibras
H	Dosificación compactada con 60 golpes
S	Superficie encofrante de acero
P	Superficie encofrante de plástico
Wo	Superficie encofrante de madera

4.1. Resultados de porosidad

4.1.1. Caras laterales de las probetas

En la Figura 86, 87, 88, y 89 se muestran los resultados ponderados del número, tamaño y área total respectivamente. En la Tabla 17 se observa la distribución del tamaño de poros según los rangos establecidos en el capítulo III.

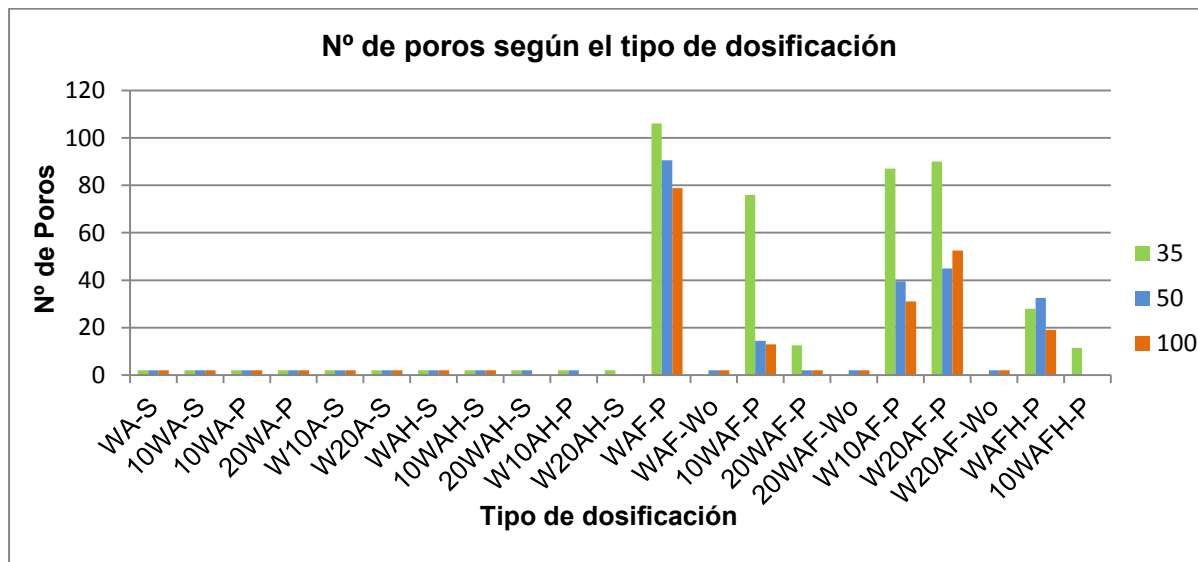


Figura 86 Nº de poros en la superficie de las probetas según el tipo de dosificación.

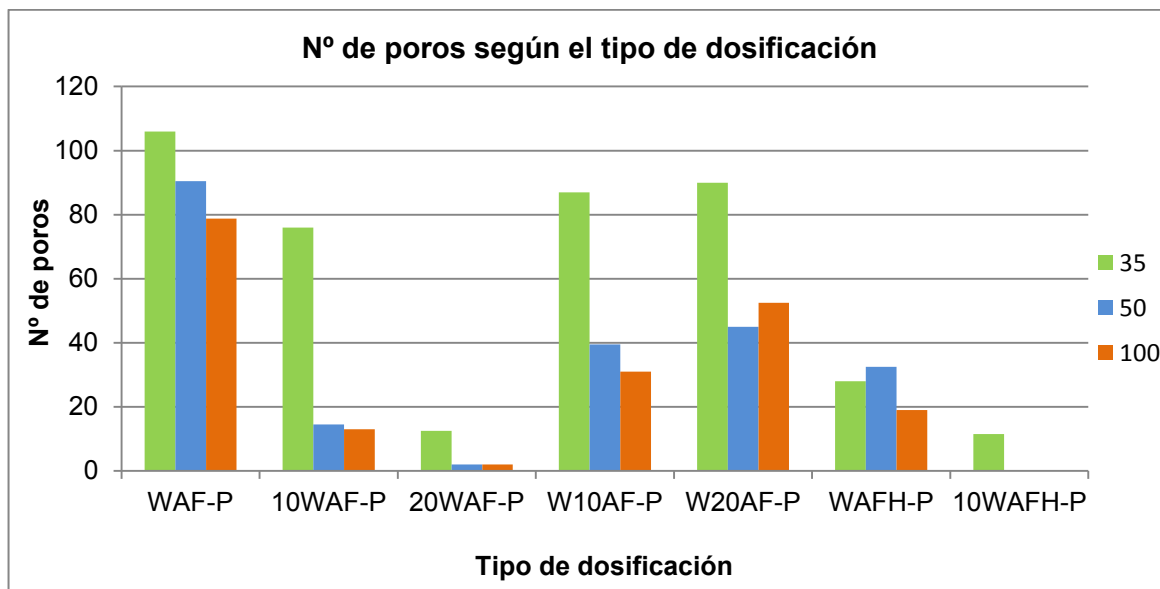


Figura 87 Nº de poros en las dosificaciones con fibras.

En la Figura 86 se observa que las dosificaciones con contenido de fibras, son las que poseen porosidad, salvo los casos donde la superficie encofrante es de madera. En la Figura 87 se observa que las dosificación con un contenido de 35% arena fina tiene mayor número de poros que las que contienen 50% y 100% arena fina. Las dosificaciones WAF-P

tienen mayor cantidad de poros que las dosificaciones que contienen un incremento de agua o aditivo, sin embargo, las dosificaciones con incremento de aditivo tiene mayor número de poros que aquellas que contienen un incremento en la cantidad de agua. Por otra parte, las dosificaciones que han sido compactadas se observa una disminución en el número de poros entre el 75% - 80%.

Lo anterior expuesto indica que en el aumento del número de poros influye: la cantidad de arena, la ausencia de compactación y la disminución de aditivo y agua.

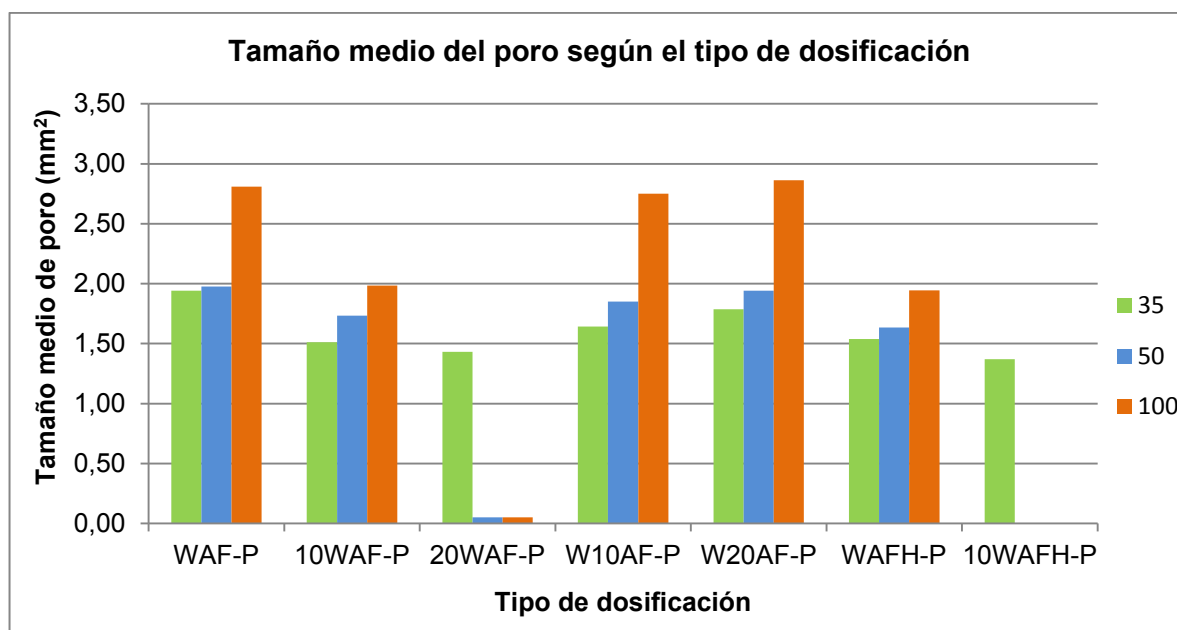


Figura 88 Tamaño medio del poro según el tipo de dosificación.

En la Figura 88 se observa que las dosificaciones con 100% arena fina forman poros de mayor tamaño, seguida por las dosificaciones con 50 % y 35% arena fina. Además se observa que al aumentar la cantidad de agua o al compactar la mezcla, el tamaño del poro se reduce y se conserva la misma tendencia, es decir, las dosificaciones con 100% arena fina generan los poros de mayor tamaño. Por otra parte, en las dosificaciones con aumento de aditivo se observa que es poco significativa la reducción del tamaño del poro.

Todo esto indica que el aumento del porcentaje de arena fina aumenta proporcionalmente el tamaño del poro, esto podría tener sentido, dado que la arena fina posee mayor superficie específica, por ende demanda mayor cantidad de agua y produce que la mezcla tenga menor consistencia, dificultando la salida del poro a la parte superior de la probeta.

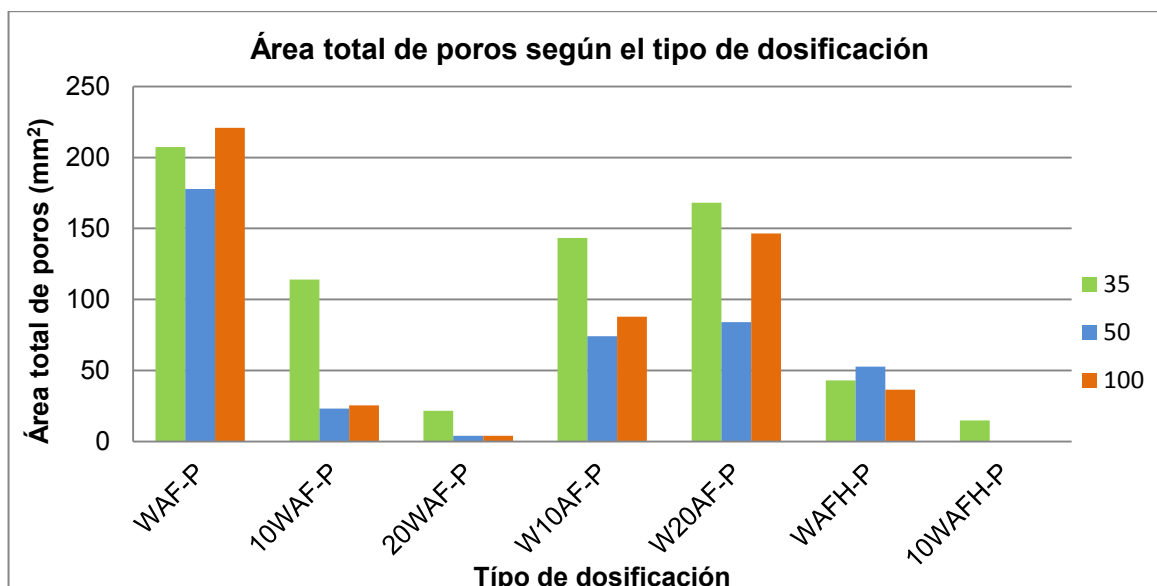


Figura 89 Área total de poros según el tipo de dosificación.

En la Figura 89 se observa que el área total de poros es mayor en las dosificaciones con 35% arena fina que en las de 50% y 100% arena fina, sin embargo, las dosificaciones con 100% arena fina tiene mayor área total de poros que las de 50%, lo cual indica que la cantidad de arena media y fina a partes iguales produce menor cantidad de área afectada en la probeta.

Esto sucede porque el aumento de arena media genera mayor número de poros con un tamaño medio más pequeño que las demás dosificaciones, sin embargo, el aumento de arena fina genera un tamaño de poro más grande pero una cantidad de poros más pequeña, y esto produce que el área total de poro sea menor en las dosificaciones con 50% arena fina.

En la Tabla 17 se muestra la cantidad de poros según el rango de tamaños previamente establecidos en el capítulo III punto 3.5.1. Se observa que aproximadamente 95% de los poros de la dosificación con 35% arena fina, se encuentra en el rango de 0 a 5 mm², en las demás dosificaciones es variable, pero más del 80% se encuentra en mencionado rango. En el caso de las dosificaciones con 100 % de arena fina es donde se visualiza que hay poros de mayor tamaño, en 3 casos (dosificaciones 100WAF-P, 100W10AF-P y 100W20AF-P) existen poros de tamaños entre 25 mm² y 30 mm².

Tabla 20 N° de poros según el tamaño del poro.

Dosificación	Área de poro (mm ²)					
	R1 P ≤ 5	R2 5 < P ≤ 10	R3 10 < P ≤ 15	R4 15 < P ≤ 20	R5 20 < P ≤ 25	R6 25 < P ≤ 30
35WAF-P	106	3	1	1	0	0
50WAF-P	85	5	1	1	0	0
100WAF-P	72	4	2	0	0	1
3510WAF-P	74	2	0	0	0	0
5010WAF-P	14	1	0	0	0	0
10010WAF-P	12	1	0	0	0	0
3520WAF-P	12	0	1	0	0	0
5020WAF-P	0	0	0	0	0	0
10020WAF-P	0	0	0	0	0	0
35W10AF-P	84	3	0	0	0	0
50W10AF-P	36	4	0	0	0	0
100W10AF-P	28	2	0	0	0	1
35W20AF-P	85	4	1	0	0	0
50W20AF-P	43	2	1	0	0	0
100W20AF-P	44	7	1	0	0	1
35WAFH-P	28	0	0	0	0	0
50WAFH-P	32	1	0	0	0	0
100WAFH-P	18	1	0	0	0	0
3510WAFH-P	12	0	0	0	0	0

Las probetas con dosificaciones 5010WAFH y 10010WAFH no fueron realizadas ya que las probetas con mencionadas dosificaciones sin compactación elaboradas previamente no poseen poros. Con respecto a las probetas con dosificaciones 35W10AFH, 50W10AFH, 100W10AFH, 35W20AFH, 50W20AFH y 100W20AFH no se realizaron, ya que al evaluar los resultados obtenidos, las dosificaciones patrón (35WAF, 50WAF y 100WAF) que poseen mayor cantidad de poros que las mencionadas anteriormente, tras ser compactadas, se reduce entre un 75% y 80% la porosidad en la superficie de la probeta, por ende se deduce que para las dosificaciones con aditivos al ser compactadas mejoraría considerablemente las porosidad sobre la superficie.

Resumen de los resultados observados en la Figura 87, 88, y 89 y Tabla 17:

- Las fibras son el factor principal que influyen en la formación de la porosidad sobre la superficie del hormigón.
- Las dosificaciones con 35% arena fina generan mayor número de poros, de un tamaño entre 1,371 mm² y 1,941 mm² pero el área total afectada es mayor que en las dosificaciones 50% y 100% arena fina.

- Las dosificaciones con 50% arena fina generan menor número de poros que 35% AF, pero el tamaño del poro (entre 1,634 mm² y 1,976 mm²) es mayor que aquellas con 35% arena fina. El área de poros total cubierta es menor que el 35% y 100% arena fina.
- Las dosificaciones con 100% arena fina genera menor número de poros que las demás dosificaciones, pero el tamaño de poro es más grande (entre 1,944 mm² y 2,864 mm²) y el área total cubierta por los poros es menor que las dosificaciones con 35% arena fina pero mayor que las que tiene un contenido de 50% arena fina.
- El aumento de la cantidad de agua en las dosificaciones 10WAF-P reduce el área total de los poros un 45% en aquellas con 35% arena fina y 88% con contenidos de 50% y 100% arena fina. En el caso de 5020WAF-P y 10020WAF-P los poros se eliminan por completo.
- El aumento de la cantidad de aditivo reduce el número de burbujas y el área total afectada, pero el tamaño se mantiene igual.

4.1.2. Cara de fondo de las probetas

En la Figura 90, 91, y 92 se muestra los resultados ponderados del análisis de porosidad de las caras de fondo de las probetas.

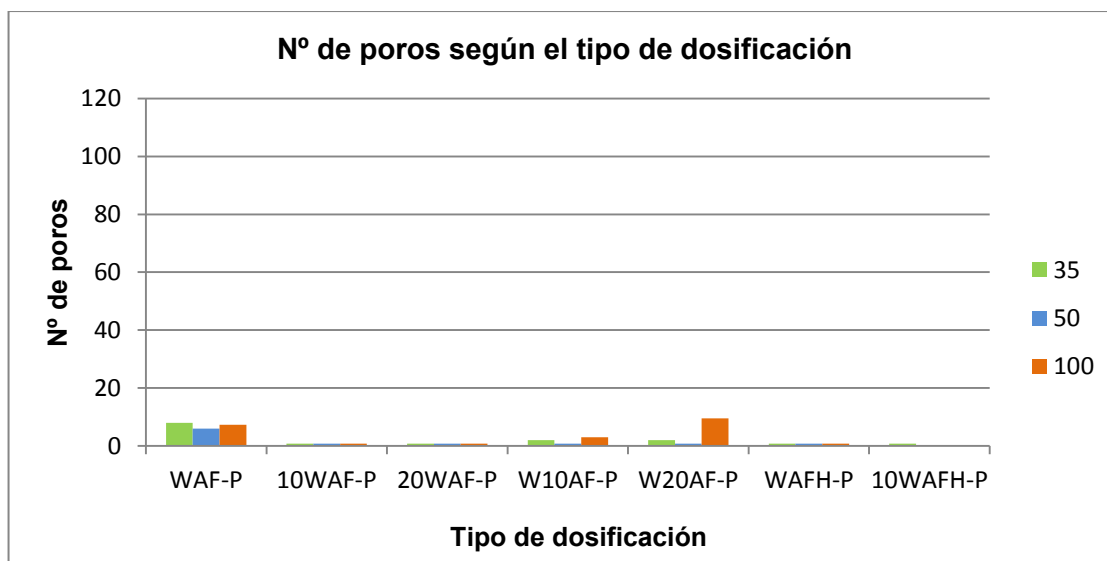


Figura 90 Nº de poros en la cara inferior de la probeta según el tipo de dosificación.

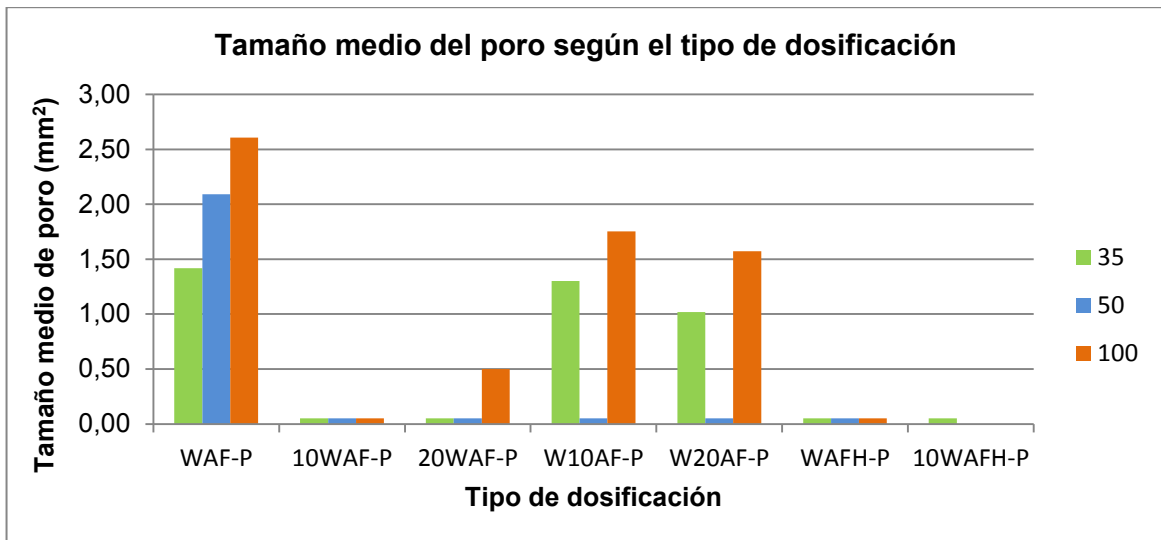


Figura 91 Tamaño medio del poro en la cara inferior de la probeta según el tipo de dosificación.

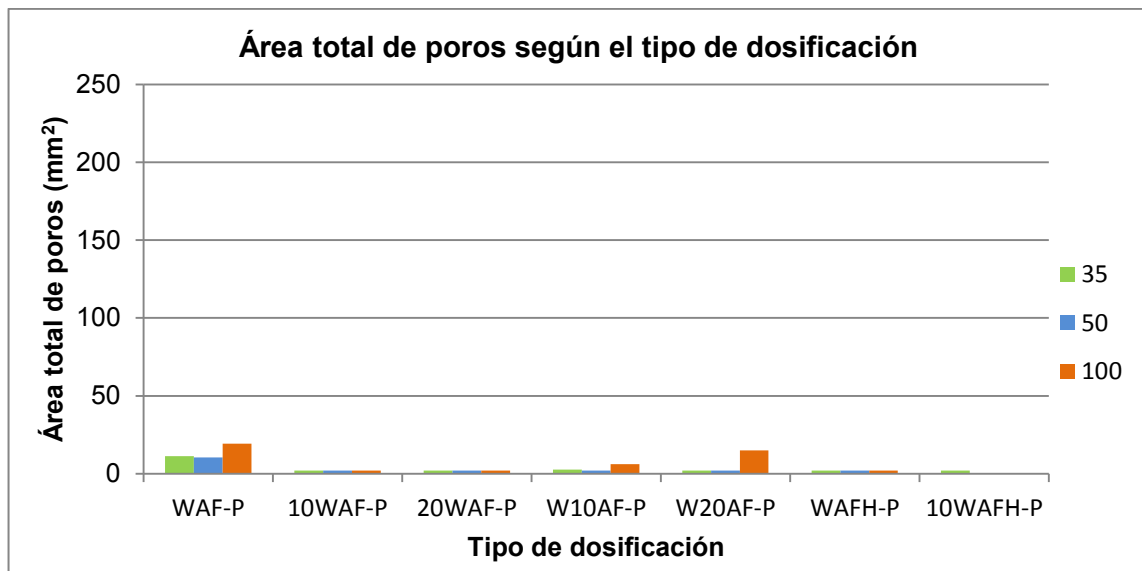


Figura 92 Total de los poros en la cara inferior de la probeta según el tipo de dosificación.

En la Figura 90 se observa que la porosidad solo está presente en las dosificaciones WAF-P, W10AF y W20AF-P, donde el mayor número de poros lo contienen las dosificaciones con 100% y 35% arena fina. El número de poros es bajo (menor a 15 poros) en comparación a los resultados obtenidos en la porosidad de las caras laterales. En la Figura 91 se observa que el tamaño medio de poro es mayor en las dosificaciones con contenido de 100 % arena fina y menor en las de 35% arena fina, (se observa la misma tendencia en las caras laterales). En la Figura 92 se observa que las dosificaciones con contenido de 100% arena fina producen mayor área afectada.

Lo expuesto anteriormente indica que las dosificaciones con mayor cantidad de poros, tamaño y área afectada se produce en las dosificaciones con contenido de 100% arena fina.

En comparación con los resultados de las caras laterales de la probeta (Figura 87, 88 y 89) con los resultados obtenidos en las caras de fondo (Figura 90, 91 y 92), existe una disminución entre el 90 y 98% del área total de poros, esto señala que la cara del elemento influye en el resultado de la porosidad y la consistencia de la mezcla.

Resumen de los resultados:

- Esto indica que la cara del elemento influye en el resultado de la porosidad y la consistencia de la mezcla

4.1.3. Cara de vertido

Como se indicó en el capítulo III apartado 3.5.1. las caras de vertido fueron analizadas mediante comparación visual con una carta de poros, y los resultados se observan en la Figura 93.

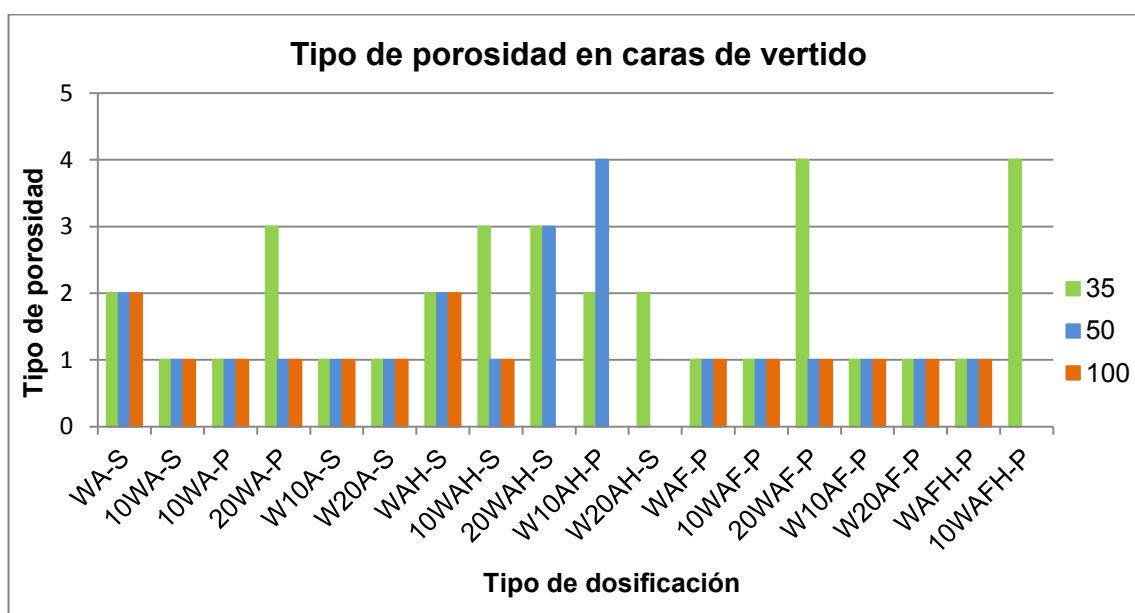


Figura 93 Tipo de porosidad en la cara de vertido.

En la Figura 90 se observa que la variable principal que influye en la formación de porosidad en la cara de vertido es la compactación, también el incremento del 20% de agua en la mezcla aumenta la porosidad superficial, siendo más evidente en las dosificaciones con 35% de arena fina, esto indica que dosificaciones con mayor contenido de agua o compactadas favorecen la salida del aire ocluido en la mezcla y se evidencia en la cara de vertido.

Las caras de vertido en la que posteriormente se colocó una lámina de madera, no fueron incluidas en el análisis anterior, ya que se obtuvieron resultados muy diferentes, esto dependía de la uniformidad del contacto del hormigón con la superficie encofrante de madera en la Figura 94 se muestra los diferentes acabados se que obtuvieron al utilizar mencionado material como superficie encofrante.

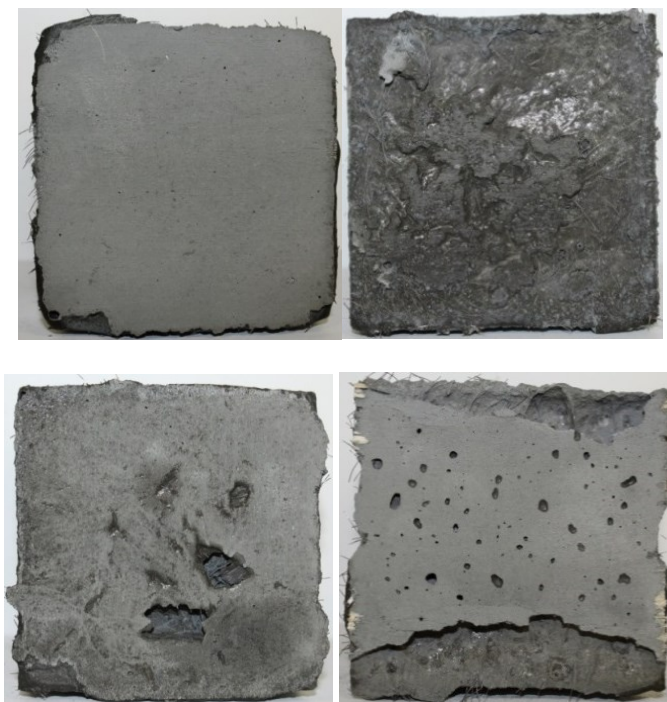


Figura 94 Acabado del hormigón con superficie encofrante de madera.

Resumen de los resultados:

- La compactación influye en la formación de poros en la cara de vertido
- El aumento de un 20% de agua influye en la formación de poros en la superficie
- La superficie encofrante de madera debe tener muy buen contacto con la superficie de vertido para que se produzca buena calidad superficial en el hormigón.

4.2. Desconchado

Tras realizar el análisis de la porosidad en la superficie de las probetas se observó, que la presencia de gran cantidad de poros y muy próximo entre ellos produce el desconchado parcial de la superficie del hormigón. En la Tabla 18, se muestra según el tipo de dosificación, el promedio de caras afectadas por mencionado defecto, y se relaciona con el número y tamaño promedio de los poros.

Tabla 21 Desconchado de las caras laterales de la probeta según el tipo de dosificación.

Dosificación	Pm N° de caras	N° Total de poros	Tamaño medio de poro
35WAF-P	3	106	1,941
50WAF-P	2	128	2,014
100WAF-P	1	78,75	2,808
3510WAF-P	2	97	1,501
5010WAF-P	0	14,5	1,733
10010WAF-P	0	13	1,984
3520WAF-P	0	12,5	1,431
5020WAF-P	0	0	0,000
10020WAF-P	0	0	0,000
35W10AF-P	2	87	1,641
50W10AF-P	0	39,5	1,852
100W10AF-P	0	31	2,750
35W20AF-P	1	90	1,785
50W20AF-P	1	45	1,941
100W20AF-P	0	52,5	2,864
35WAFH-P	1	28	1,537
50WAFH-P	2	39,5	1,666
100WAFH-P	0	19	1,944
3510WAFH-P	0	11,5	1,371

Luego de realizar el análisis de las caras laterales de las probetas en la Tabla 18 se observa que el promedio del número de caras (Pm N° de caras) afectadas por el desconchado, se relaciona con el número de poros y el tamaño medio de poro, donde se observa que las probetas con mayor cantidad de poros y tamaño medio de poro más pequeño (dosificaciones con 35% arena fina) son aquellas que probetas que más se evidencia mencionado defecto. En las caras de vertido y de fondo no se visualiza mencionado defecto.

Resumen de los resultados:

- La presencia de desconchado tiene relación con el gran cantidad de poros, y tamaño medio de poro pequeño.

4.3. Homogeneidad del color

4.3.1. Caras laterales y de fondo de la probeta

En las Tablas 19, 20, 21 y 22 se muestra las tonalidades que se observan en las caras laterales y la cara de fondo de las probetas. Los valores corresponden a los tonos definidos en el capítulo III punto 3.5.3.

Tabla 22 Tonos sin fibras y sin golpes

Dosificación	Caras laterales	Cara de fondo
35WA-S	2-3	3
50WA-S	2-3	2-3
100WA-S	2-3	1-2
3510WA-S	1-3	1-3
3510WA-P	1-3	1-2
5010WA-S	1-2	1-2
5010WA-P	1-3	2-3
10010WA-S	1-2	2-4
10010WA-P	2-3	2-3
3520WA-S	1-2	1-4
5020WA-S	1-3	1-4
10020WA-S	1-3	1-4
35W10A-S	1-3	1-4
50W10A-S	2-4	2-3
100W10A-S	1-2	2-3
35W20A-S	2-3	1-2
50W20A-S	2-3	2-3
100W20A-S	1-3	2-3

Tabla 23 Tonos sin fibras y con golpes

Dosificación	Caras laterales	Cara de fondo
35WAH-S	2-3	3
50WAH-S	2-3	2-3
100WAH-S	2-4	1-4
3510WAH-S	2-3	1-4
5010WAH-S	1	2-3
10010WAH-S	1-2	2-4
3520WAH-S	2-3	2-3
5020WAH-S	2-3	2-3
35W10AH-P	2-5	3
50W10AH-P	1-3	1-2
35W20AH-S	1-3	1-3

Tabla 24 Tonos con fibras y sin golpes

Dosificación	Caras laterales	Cara de fondo
35WAF-P	2-4	2-3
50WAF-P	2-3	2-3
50WAF-Wo	2-3	2-3
100WAF-P	2-3	2-3
100WAF-Wo	2	2-3
3510WAF-P	2-3	2-3
5010WAF-P	2	2-3
10010WAF-P	1-2	2-3
3520WAF-P	1-3	2-4
5020WAF-P	1-2	2-3
5020WAF-Wo	2	1-3
10020WAF-P	1-2	2
10020WAF-Wo	2	1-2
35W10AF-P	2-3	2-3
50W10AF-P	1-3	1-2
100W10AF-P	1-3	2-3
35W20AF-P	1-2	2-3
50W20AF-P	1-3	2-3
50W20AF-Wo	1	1-3
100W20AF-P	2-3	2-3
100W20AF-Wo	1	1-3

Tabla 25 Tonos con fibras y con golpes

Dosificación	Caras laterales	Cara de fondo
35WAFH-P	2-4	1-4
50WAFH-P	2-4	2-3
100WAFH-P	1-3	2-3
3510WAFH-P	1-3	2-3

En la Tabla 19, 20, 21 y 22 se observa que los tonos 1, 2 y 3 son los que predominan en las caras laterales de las probetas, solo en algunos casos se observa el tono 4. En las caras de fondo se observan las mismas tonalidades, siendo más evidente el tono 4 en las dosificaciones con aumento de agua. Además se visualiza que la superficie encofrante no influye en las variaciones de tonalidad de las probetas.

En las caras laterales de las probetas también se observa una variación de tonalidad, se produce como especie de una sombra oscura y también una sombra clara así como se observa en las Figuras 95(a) y 95(b) respectivamente.

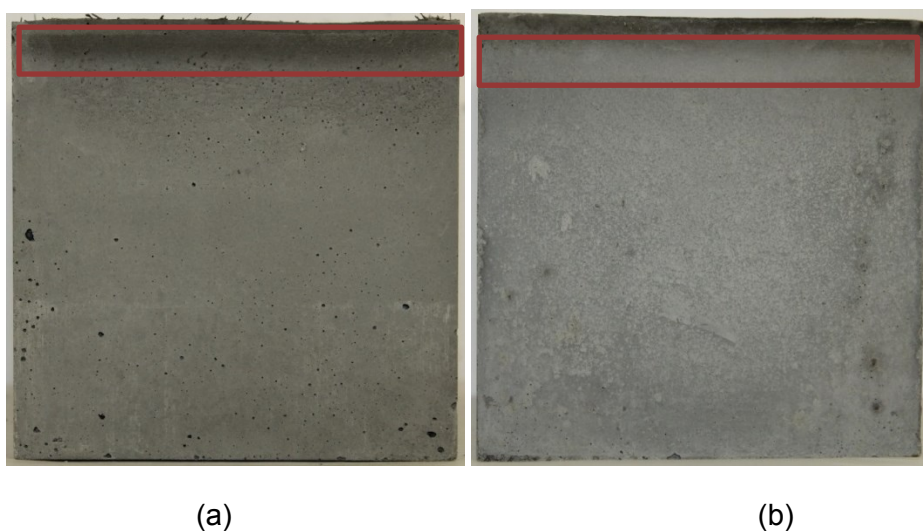


Figura 95 Cambio de tonalidad: (a) Sombra oscura y (b) Sombra clara.

En la Figura 96 y 97 se muestra según el tipo de dosificación el área de mencionada variación de tonalidad.

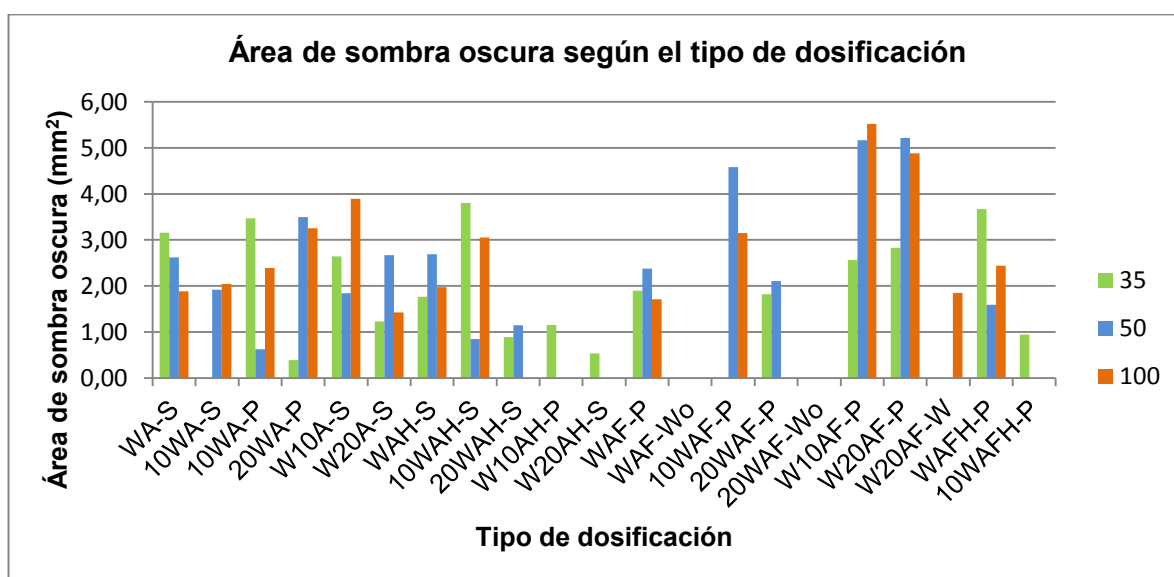


Figura 96 Área de sombra oscura según el tipo de dosificación.

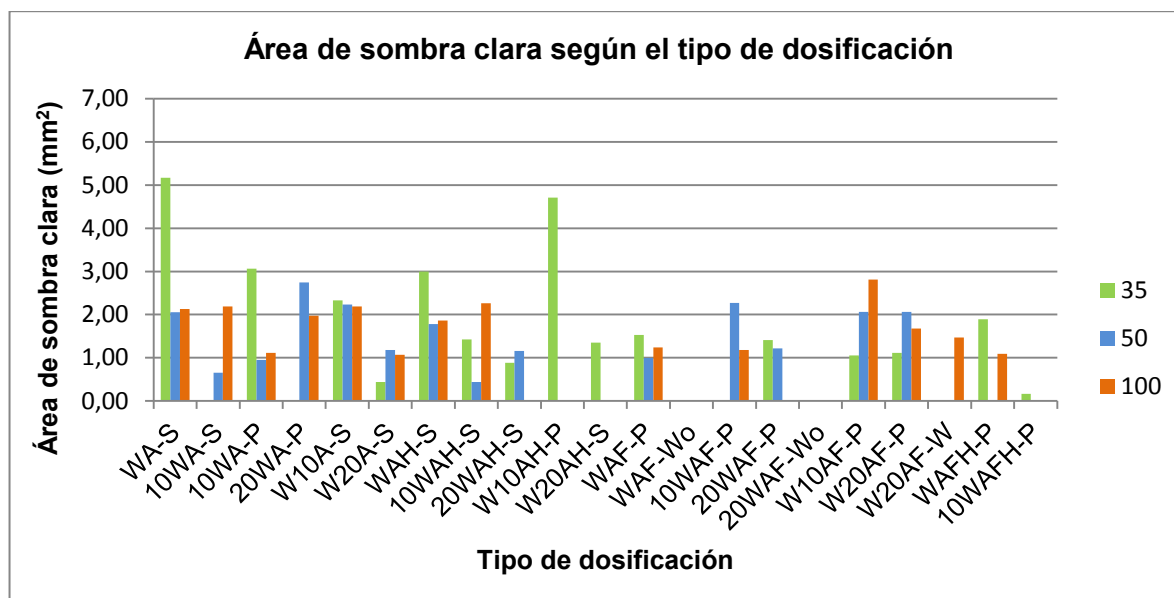


Figura 97 Área de sombra clara según el tipo de dosificación.

En la Figura 96 se observa que la sombra oscura con mayor área se encuentra en las dosificaciones 50% y 100% arena fina con aumento de agua, aditivo, incorporación de fibras, y superficie encofrante de plástico. En el resto de dosificaciones el área es pequeña lo que resulta poco significativa, cabe destacar que la formación de mencionado defectos no es consecutivo en todas las caras laterales de las probetas, es decir, que hay algunos casos que solo se observa en una o dos caras de la probeta. En la Figura 97 se observa que el área de la sombra blanca es menor al de la sombra oscura, y se observa de mayor área donde la sombra oscura posee menor área.

4.3.2. Cara de vertido de la probeta

Las caras de vertido (sin superficie encofrante) tienen una variación de tonalidad característica como se muestra en la Figura 98. Alguna de las probetas tiene un rectángulo de tonalidad más oscura alrededor de la probeta, otras presentan mayor tonalidad oscura que clara y otras tienen un tono totalmente oscuro, en la Figura 99, 100, 101 y 102 se representa que tipo de dosificaciones dan como resultados mencionadas tonalidad.



Figura 98 Ejemplo de las tonalidades en la cara de vertido.

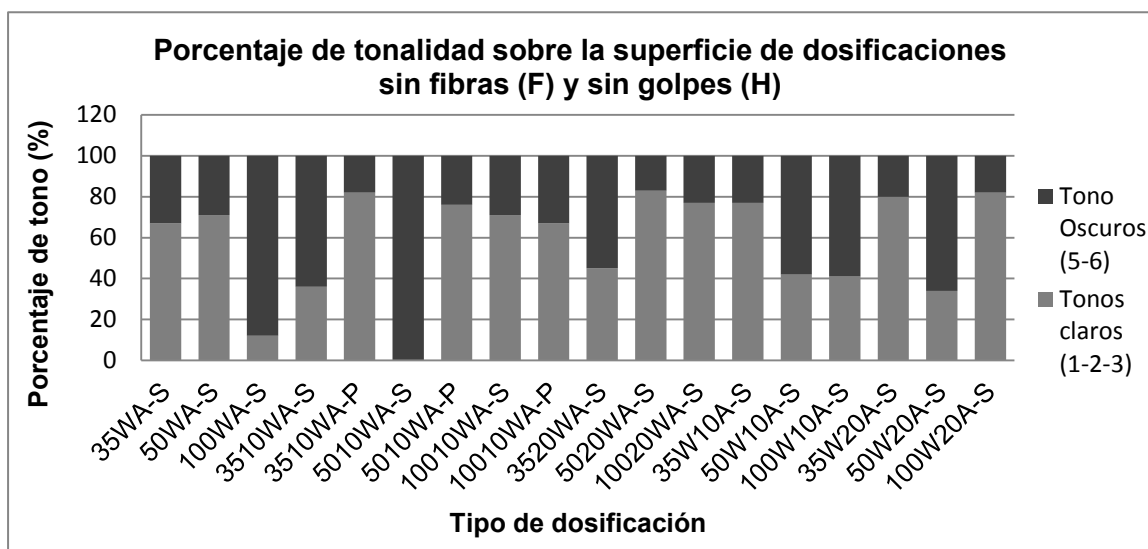


Figura 99 Tonalidades de la cara de vertido en dosificaciones sin fibras y sin golpes.

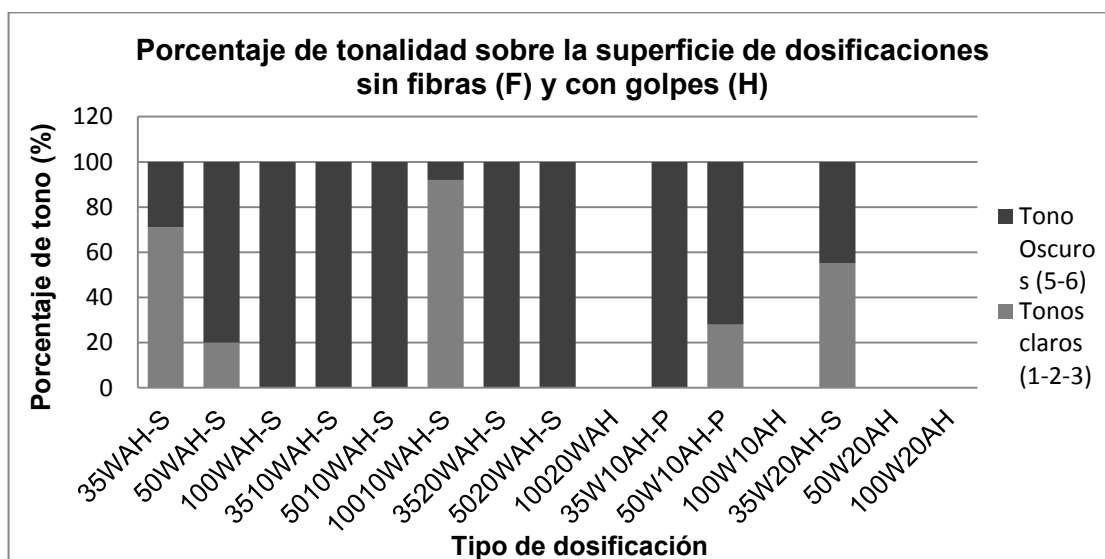


Figura 100 Tonalidades de la cara de vertido en dosificaciones sin fibras y con golpes.

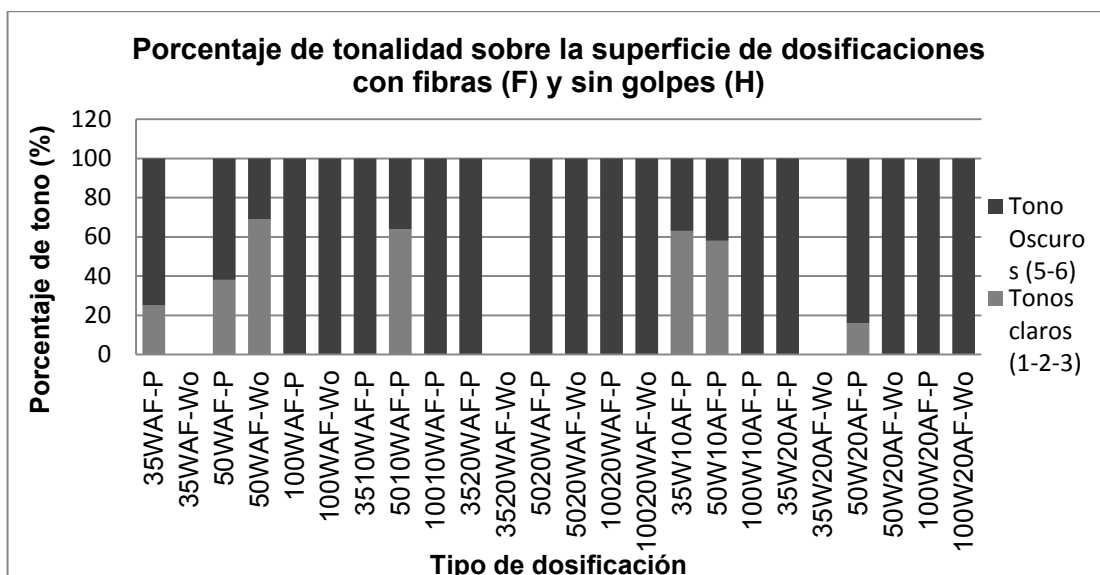


Figura 101 Tonalidades de la cara de vertido en dosificaciones con fibras y sin golpes

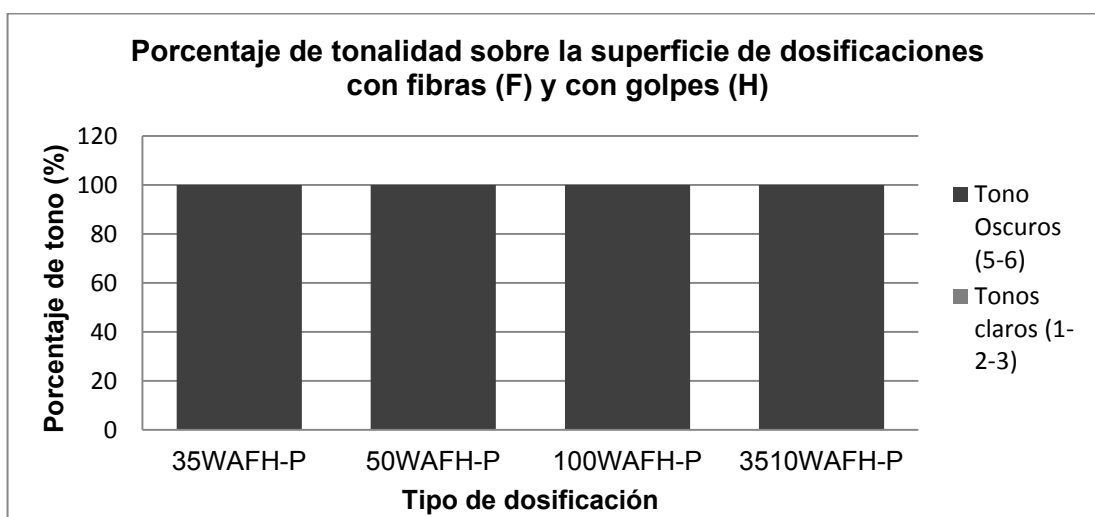


Figura 102 Tonalidades de la cara de vertido en dosificaciones con fibras y con golpes.

En la Figura 99 se observa que en las caras de vertido de las dosificaciones sin fibras y sin golpes predominan los tonos de colores claros (1, 2 y 3), sobre todo en aquellas con incremento de agua, las tonalidades claras resultan más evidentes. En las dosificaciones con incremento de aditivo no se observa una tendencia. En la Figura 100 se observa que en las dosificaciones sin fibras y con golpes predominan las superficies de tonalidades oscuras (5 y 6), salvo algunas excepciones (dosificaciones 35WAH-S, 10010WAH-S, y 35W20AH-S) donde se observa que predominan las tonalidades claras. En la Figura 101 se observa que en las dosificaciones con fibras y sin golpes los tonos oscuros son los más predominantes, a excepción de las dosificaciones 50WAF-Wo, 5010WAF-P, 35W10AF-P y 50W10AF). En la Figura 102, se observa que todas las dosificaciones tienen tonalidad oscura.

Lo anterior expuesto indica que para la formación de tonalidades oscuras influye la compactación y las fibras. En el caso de las tonalidades claras, se observa que influye el incremento de agua, en algunos casos el del aditivo y la ausencia de fibras y compactación.

Las probetas que no tiene información, son aquellas que no han sido realizadas.

4.4. Manchas

4.4.1. Caras laterales de las probetas

Una vez analizadas las variaciones de tonalidad sobre la superficie del hormigón, se observó que según el tipo de dosificación se forman manchas de una forma específica. Para evaluar el tipo de manchas se realizó una carta con las diferentes manchas formadas en la superficie del hormigón de ultra altas prestaciones, (Ver el capítulo III, apartado 3.5.4.)

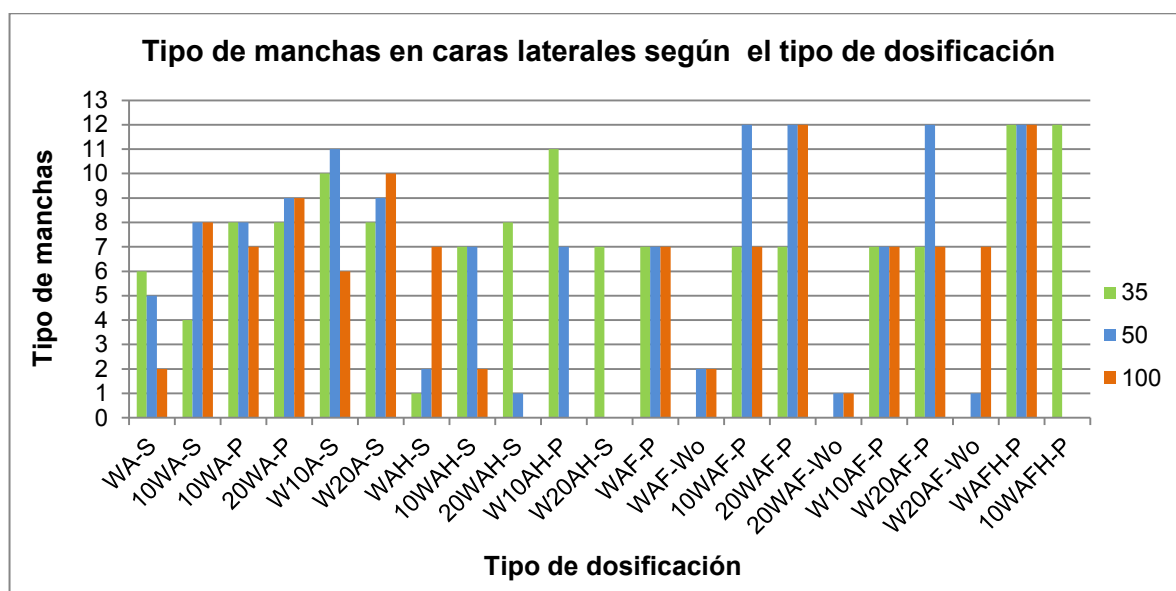


Figura 103 Tipo de manchas en las caras laterales de la probeta según el tipo de dosificación.

En la Figura 103 se observa que en la mayoría de las dosificaciones, se forman manchas de tipologías entre 1 y 7, en general las machas comprendidas en este rango son de diferentes formas pero se caracterizan porque la variación de tonalidad es poca, lo que produce que sean manchas poco evidentes, sin embargo, la más repetitiva es la mancha tipo 7, se describe como una mancha difuminadas sin cambios bruscos de tonalidad. En las dosificaciones con aumento de agua, se observan manchas tipo 8 o 9 son muy parecidas ya que se describen manchas blanquecinas sobre la superficie. Las manchas tipo 10 y 11, describen una mancha de tonalidad oscura observada en las dosificaciones con aumento de aditivo. Las manchas tipo 12 (forma ramificada) se observan en las dosificaciones que contiene fibras.

Lo expuesto anteriormente indica que dependiendo de las dosificaciones se puede obtener una tipología de mancha específica y dependiendo de los cambios de tonalidad de la manchas pueden ser muy evidentes o pasar por desapercibidas.

4.4.2. Cara de fondo de las probetas

El análisis de la cara de fondo de las probetas también se realizó mediante comparación de imágenes, en la Figura 104 se muestran los resultados obtenidos.

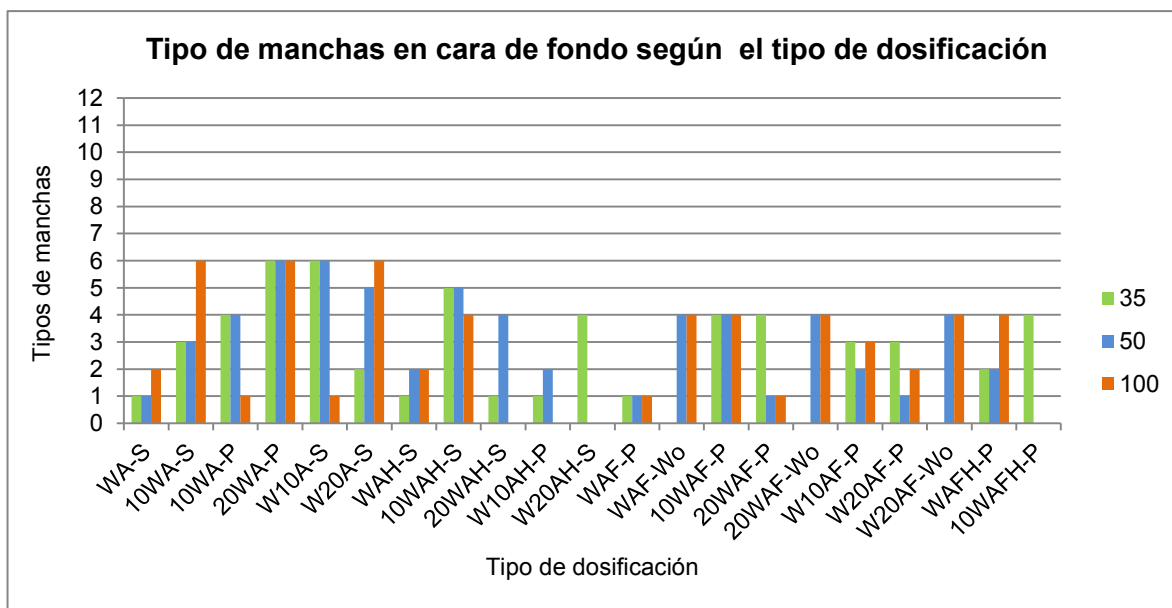


Figura 104 Tipo de manchas en la cara de fondo de la probeta según el tipo de dosificación.

En la Figura 104 se observa que en las dosificaciones con menor contenido de agua y aditivo tienen tipos de manchas menos significativas (tipos 1, 2 y 3) y aquellas sin fibras y con incrementos de agua y aditivo, el tipo de mancha es 5 o 6, que se caracteriza por tener tonalidades tipo 3 y 4. En las dosificaciones con fibras se observa que en su mayoría se forma como una especie de recuadro de tonalidad más oscura (mancha tipo 4).

Lo anterior expuesta indica que el incremento de agua y aditivo puede incrementar las manchas en la cara de fondo de la probeta y la adición de fibras puede formar manchas en el perímetro de la probeta.

Por otra parte cabe destacar que en las caras de vertido no se observaron manchas.

4.5. Resistencia a compresión de las probetas

Para evaluar la relación del acabado con la resistencia mecánica de la probeta, se realizaron ensayos a compresión y los resultados ponderados se observan en la Figura 105.

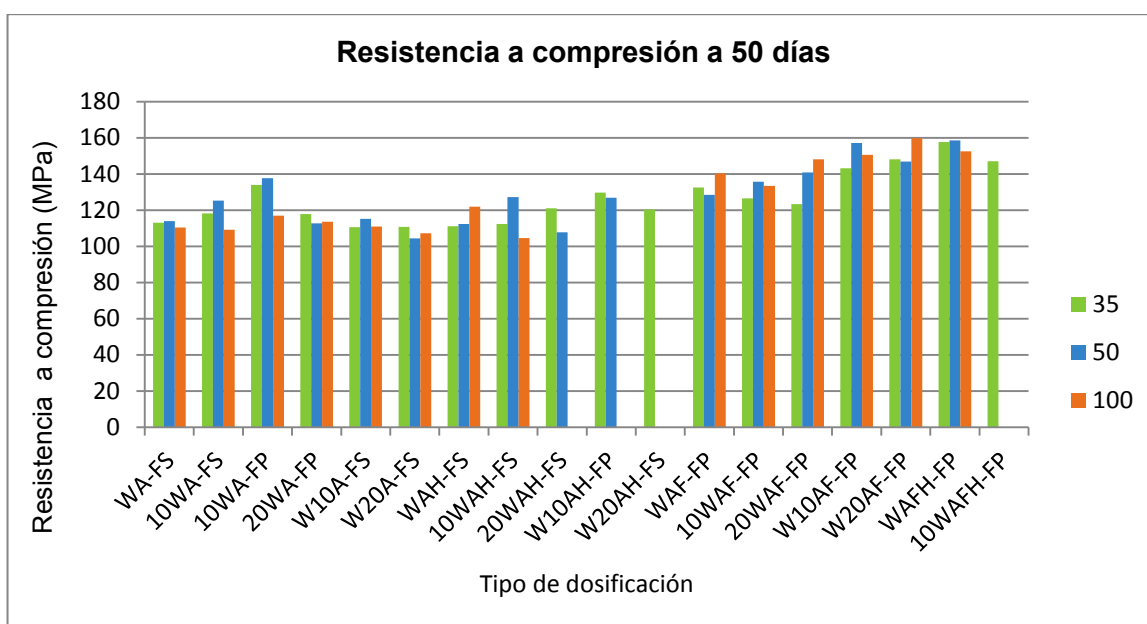


Figura 105 Resistencia a compresión según el tipo de dosificación.

En la Figura 105 se observa que en las dosificaciones con fibras se obtienen las resistencias a compresión más elevadas, sin embargo, desde el punto de vista estético incorporación de fibras favorecen la formación de porosidad superficial, además de manchas.

4.6. Ensayo de consistencia

En la Figura 106 se observan los resultados obtenidos del ensayo de consistencia.

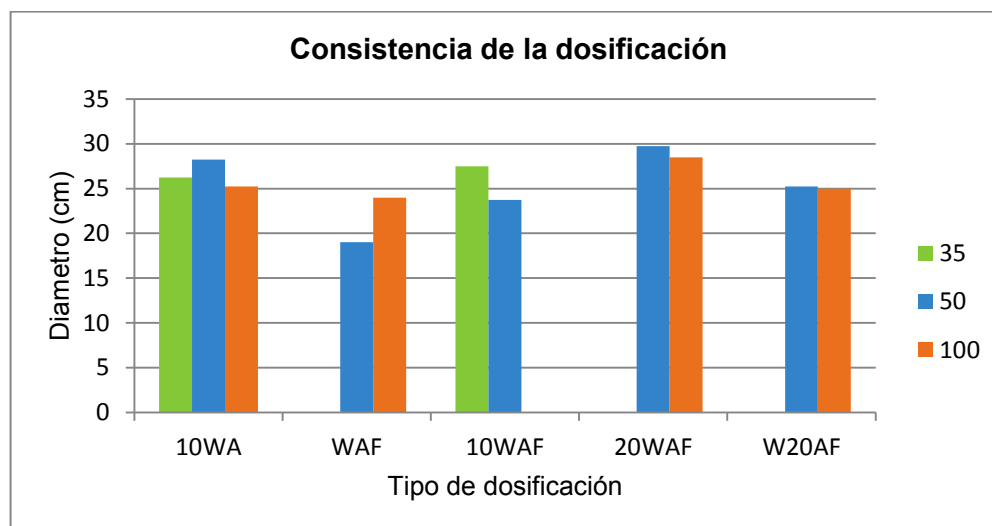


Figura 106 Consistencia según el tipo de dosificación.

En la Figura 106 se observa que las dosificaciones con fibras tienen menor consistencia que aquellas que no contienen fibras, sin embargo, el incremento del agua en las dosificaciones con fibras mejora la trabajabilidad de la mezcla y el incremento de aditivo

mejora la consistencia de la mezcla pero sigue siendo menor a la consistencia del agua. Estos resultados se vieron reflejados en la porosidad de la superficie, esto se debe a que las dosificaciones sin fibras y con fibras pero con incremento del 20% de agua, no se observaban poros sobre la superficie, pero las probetas realizadas con dosificaciones con aumento en la cantidad de agua presentaban menor cantidad de poros que aquellas con incremento de aditivo.

Resumen:

- La consistencia de la mezcla influye en la formación de la porosidad

Interpretación de resultados

En la Tabla 23, 24, 25, y 26 se tabulan los resultados obtenidos y se evaluará la calidad del acabado, no se establecerán estándares de calidad, pero se explicará porque se considera que las probetas realizadas poseen un buen acabado, cabe destacar que en elementos estructuras reales, los estándares de calidad, se establecen según la importancia del elemento, tamaño y posición.

Tabla 26 Defectos de dosificaciones sin fibras y sin golpes.

Dosificaciones	Porosidad			Desconchado	Variación de tonalidad	Manchas
	Nº Total de poros	Tamaño medio de Poro	Área total de poros (mm ²)	Pm Nº de caras		
35WA-S	0,00	0,00	0,00	0,00	2-3	6
50WA-S	0,00	0,00	0,00	0,00	2-3	5
100WA-S	0,00	0,00	0,00	0,00	2-3	2
3510WA-S	0,00	0,00	0,00	0,00	1-3	4
3510WA-P	0,00	0,00	0,00	0,00	1-3	8
5010WA-S	0,00	0,00	0,00	0,00	1-2	8
5010WA-P	0,00	0,00	0,00	0,00	1-3	8
10010WA-S	0,00	0,00	0,00	0,00	1-2	8
10010WA-P	0,00	0,00	0,00	0,00	2-3	7
3520WA-S	0,00	0,00	0,00	0,00	1-2	8
5020WA-S	0,00	0,00	0,00	0,00	1-3	9
10020WA-S	0,00	0,00	0,00	0,00	1-3	9
35W10A-S	0,00	0,00	0,00	0,00	1-3	10
50W10A-S	0,00	0,00	0,00	0,00	2-4	11
100W10A-S	0,00	0,00	0,00	0,00	1-2	6
35W20A-S	0,00	0,00	0,00	0,00	2-3	8
50W20A-S	0,00	0,00	0,00	0,00	2-3	9
100W20A-S	0,00	0,00	0,00	0,00	1-3	10

Tabla 27 Defectos de dosificaciones sin fibras y con golpes.

Dosificaciones	Porosidad			Desconchado	Variación de tonalidad	Manchas
	Nº Total de poros	Tamaño medio de Poro	Área total de poros (mm ²)	Pm Nº de caras		
35WAH-S	0,00	0,00	0,00	0,00	2-3	1
50WAH-S	0,00	0,00	0,00	0,00	2-3	2
100WAH-S	0,00	0,00	0,00	0,00	2-4	7
3510WAH-S	0,00	0,00	0,00	0,00	2-3	7
5010WAH-S	0,00	0,00	0,00	0,00	1	7
10010WAH-S	0,00	0,00	0,00	0,00	1-2	2
3520WAH-S	0,00	0,00	0,00	0,00	2-3	8
5020WAH-S	0,00	0,00	0,00	0,00	2-3	1
10020WAH	-	-	-	-	-	-
35W10AH-P	0,00	0,00	0,00	0,00	2-5	11
50W10AH-P	0,00	0,00	0,00	0,00	1-3	7
100W10AH	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0
35W20AH-S	0,00	0,00	0,00	0,00	1-3	7
50W20AH	-	-	-	-	-	-
100W20AH	-	-	-	-	-	-

Tabla 28 Defectos de dosificaciones con fibras y sin golpes.

Dosificaciones	Porosidad			Desconchado	Variación de tonalidad	Manchas
	Nº Total de poros	Tamaño medio de Poro	Área total de poros (mm ²)	Pm Nº de caras		
35WAF-P	106,00	1,94	207,36	3	2-4	7
35WAF-W ₀	-	-	-	-	-	-
50WAF-P	90,50	1,98	177,83	2	2-3	7
50WAF-W ₀	0,00	0,00	0,00	0	2-3	2
100WAF-P	78,75	2,81	220,97	1	2-3	7
100WAF-W ₀	0,00	0,00	0,00	0	2	2
3510WAF-P	76,00	1,51	113,97	2	2-3	7
5010WAF-P	14,50	1,73	23,25	0	2	12
10010WAF-P	13,00	1,98	25,43	0	1-2	7
3520WAF-P	12,50	1,43	21,53	0	1-3	7
3520WAF-W ₀	-	-	-	-	-	-
5020WAF-P	2,00	0,05	4,00	0	1-2	12
5020WAF-W ₀	0,00	0,00	0,00	0	2	1
10020WAF-P	2,00	0,05	4,00	0	1-2	12
10020WAF-W ₀	0,00	0,00	0,00	0	2	1
35W10AF-P	87,00	1,64	143,37	2	2-3	7

Tabla 29 .Continuación.Defectos de dosificaciones con fibras y sin golpes.

Dosificaciones	Porosidad			Desconchado	Variación de tonalidad	Manchas
	Nº Total de poros	Tamaño medio de Poro	Área total de poros (mm2)	Pm Nº de caras		
50W10AF-FP	39,50	1,85	74,04	0	1-3	7
100W10AF-FP	31,00	2,75	87,83	0	1-3	7
35W20AF-FP	90,00	1,79	168,08	1	1-2	7
35W20AF-FW	-	-	-	-	-	-
50W20AF-FP	45,00	1,94	84,11	1	1-3	12
50W20AF-FW	0,00	0,00	0,00	0	1	1
100W20AF-FP	52,50	2,86	146,52	0	2-3	7
100W20AF-FW	0,00	0,00	0,00	0	1	7

Tabla 30 Defectos de dosificaciones con fibras y con golpes.

Dosificaciones	Porosidad			Desconchado	Variación de tonalidad	Manchas
	Nº Total de poros	Tamaño medio de Poro	Área total de poros (mm2)	Pm Nº de caras		
35WAFH-P	28,00	1,54	43,05	1	2-4	12
50WAFH-P	32,50	1,63	52,80	2	2-4	12
100WAFH-P	19,00	1,94	36,34	0	1-3	12
3510WAFH-P	11,50	1,37	14,87	0	1-3	12

Nota: los ceros representan la ausencia del defecto en ese tipo de dosificación.

En la Tabla 23, se observa que en general la calidad del acabado de las dosificaciones sin fibras es de regular a buena, ya que es una superficie libre de poros y desconchado, sin embargo, las manchas que se observan son de tipo 8, 9, 10 y 11 (categoría elevada en la carta de manchas) y en ellas se destaca el cambio brusco de tonalidad, lo que hace que se observen fácilmente.

En la Tabla 24 se observa que la compactación mejora la calidad de la superficie, esto se debe a que no hay porosidad ni desconcha y las manchas son de un nivel menos elevado y la variación de tonos es menos evidente.

En la Tabla 25 se observa como la calidad de la superficie disminuye, se visualiza la presencia de porosidad y desconchado, sin embargo, las manchas son de una tipología 7 que es considerada de buena calidad esto se debe a que se describe como una mancha difuminada sin cambios bruscos de tonalidad.

En la Tabla 26 se observa que las probetas poseen un calidad intermedia ya que el número de poros es poco pero tiene manchas de categoría elevada.

Es importante destacar que existe relación entre los defectos. En el caso del desconchado las probetas con mayor cantidad de poros y tamaño pequeño, favorece la formación de mencionado defecto. La disminución de la calidad por causa de la variación de la tonalidad, dependerá de la mancha que se forme, como se puede observar en la Tabla 1,2,3, y 4, la variación de tono es prácticamente igual en todas las probetas, sin embargo la calidad de la probeta se ve afectada cuando el tipo de mancha que se forma tiene una diferencia de tono muy evidente, lo que hace que se observe con facilidad.

También se dan casos donde la presencia de un tipo de defecto minimiza la presencia de otro. Se pueden dar casos donde la presencia de gran cantidad de poros reduce la observación de una mancha ya que el cambio de tonalidades entre el poro y la superficie hace que no se visualice la mancha o podría ocurrir el caso contrario, la superficie con un tono muy oscuro se perciba poco la presencia de la porosidad.

5. Conclusiones y Futuras líneas de Investigación

5.1. Conclusiones

Se ha realizado un amplio estudio bibliográfico de investigaciones y normativas de los países más avanzados en la materia, entre ellos tenemos Austria [11], Australia [12], Alemania [14], Nueva Zelanda [41], Francia [42] y las asociaciones ACHE [13], CIB [43], y ACI [44] con la dificultad de que algunos de ellos están en el idioma local.

Se ha realizado un estudio de la estructura de las diferentes normativas, donde se analiza: que defectos incorporan y como son definidos, los sistemas de clasificación que se utilizan para caracterizar la calidad del acabado, los criterios y metodologías empleadas para la cuantificación de los defectos, sin embargo, en la mayoría de los casos, los procedimientos son poco detallados y explícitos dificultando su aplicación. A partir de este estudio se ha propuesto que defectos podrían ser fundamentales y se especifican que procedimientos son los más adecuados. Se observó que no existe información sobre criterios y procedimientos para caracterizar la calidad de Hormigones Vistos de Ultra Altas Prestaciones, además de los factores que influyen en el acabado.

Una vez estudiada toda la bibliografía referente al tema se realizó un amplio estudio experimental, aplicado a Hormigones Vistos de Ultra Altas Prestaciones. Se desarrollaron varias metodologías adaptadas a cada tipo de defecto; para la aplicación de los procedimientos desarrollados, se realizaron 124 probetas, donde se evaluaron defectos como: porosidad, desconchado, variación de tonalidad y manchas, además de evaluar la influencia de los materiales en la calidad del acabado.

Las metodologías desarrolladas para cada tipo de defecto se basaron en el análisis de imágenes, en donde se analizaron cada una de las caras de las probetas, con un total de 2976 imágenes.

La metodología aplicada para la cuantificación de poros se realizó mediante el programa de procesamiento de imágenes denominado Image J [53]. Se ha observado que la aplicación de mencionado programa permite cuantificar de manera sencilla el número, tamaño y área de poro. Sin embargo, se debe tener especial cuidado con la variación de la luminosidad en el procesamiento de las imágenes porque puede alterar los resultados.

La variación de tonalidad se evaluó a través de una carta de tonos de grises de elaboración propia. Se realizó basada en los tonos obtenidos en las probetas, con el objetivo de obtener

la viabilidad de tonos más cercanos a los tonos reales. La metodología es sencilla pero la comparación de tonos representativos en un número elevado de probetas requiere de mucho tiempo.

El análisis del desconchado fue sencillo, solo se evaluó la existencia de mencionado defecto.

La presencia de las manchas se evaluó mediante una carta de tipologías de manchas (elaboración propia), realizada con los resultados obtenidos. La aplicación es sencilla, el análisis se realiza mediante comparación visual de las imágenes de las probetas con las de la carta. La valoración de las manchas está relacionada con la variación de tonalidad, donde el incremento de la variación de tono, puede volver más significativa la presencia de la mancha.

Con respecto a la influencia del método de fabricación, materiales empleados y superficie encofrante, se ha observado que la incorporación de fibras favorece la formación de poros, pero compactar la mezcla e incrementar el agua y aditivo produce que se disminuya la porosidad, también la superficie encofrante de madera favorece la reducción de poros. La formación del desconchado es consecuencia de la presencia de mucha cantidad de poros y de tamaños muy pequeños. En el caso de las manchas el incremento de agua favorece su formación.

En resumen:

- Se ha comparado todas las investigaciones y normativas más avanzadas referentes al tema, donde se analizan los criterios utilizados para definir la calidad, las metodologías aplicadas para la cuantificación de defectos y los factores que influyen en el acabado de la calidad.
- Se realiza un estudio experimental donde se desarrolla una metodología genérica que reúne las mejores características observadas en el estudio bibliográfico y se utiliza para la caracterización de la porosidad, desconchado, variación de tonalidad y manchas. Se realizan 124 probetas para la aplicación de las metodologías desarrolladas y se evalúa la influencia del proceso de fabricación, materiales empleados y superficie encofrante en la calidad del acabado en Hormigones Vistos de Ultra Altas Prestaciones.
- Se analiza la metodología aplicada, donde se mejoran los procedimientos existentes para la caracterización de la calidad del acabado, pero aun así la metodología desarrollada, requiere mejorarla y ampliar la cantidad de defectos analizados.

5.2. Futuras líneas de Investigación

A partir del trabajo desarrollado se observa cuán importante es la valoración de la superficie, una definición clara de los defectos y el desarrollo de procedimientos que permitan caracterizar la superficie. Este trabajo es el inicio de una interesante línea de investigación donde se busca reducir la subjetividad en la valoración del acabado de hormigones vistos. Por esta razón se propone:

- Ampliar la metodología desarrollada incorporando procedimientos para el análisis de otros tipos de defectos y aplicarlo a estructuras reales.
- Desarrollar un programa que permita cuantificar los defectos y realizar una caracterización más detallada, donde se amplíe los defectos analizados y permita valorar la superficie de forma rápida y sencilla.
- Evaluar la influencia de las condiciones de captura de fotografías en la metodología para caracterizar la calidad del acabado en hormigón visto.
- Realizar una evaluación de todos los factores que interviene en una correcta valoración de la superficie.
- Realizar un estudio más detallado de los factores que influyen en la formación de defectos en los Hormigones Vistos de Ultra Altas Prestaciones.

Referencias

- [1] A. Castillo, 'La importancia del acabado en un entorno sostenible y el aseguramiento de calidad del hormigón mediante la mejora de puesta en obra', *Construcción sostenible. Cent. Form. la Coop. Española en La Antig. Guatemala*, 2014.
- [2] U. Trüb, *Superficies de hormigón visto*. Barcelona: Editores Técnicos Asociados, S.A., 1977.
- [3] G. Lemaire, G. Escadeillas, and E. Ringot, 'Evaluating concrete surfaces using an image analysis process', *Constr. Build. Mater.*, vol. 19, no. 8, pp. 604–611, 2005.
- [4] A. Pacios, D. González, J. Escrivá, and V. Climent, 'Relationship Between Scc Specification and Casting Conditions for Architectural Scc and the Effect on Superficial Defects', *third North Am. Conf. Des. Use Self-Consolidating Concr. Chicago, USA*, 2008.
- [5] G. Vanhemelsdaele, R. Le Roy, and D. Rouanet, 'Définition d'un mode opératoire pour la caractérisation de l'homogénéité de teinte et de texture d'un parement en béton', *Bull. des Lab. des Ponts Chaussees*, no. 270–271, pp. 51–73, 2007.
- [6] A. Klovas, M. Daukšys, and L. Levulis, 'The Distribution Analysis of Concrete Horizontal Surface Air Pores', *J. Sustain. Archit. Civ. Eng.*, vol. 2, Jun. 2013.
- [7] E. Muelas Valdeolivas and J. Romero Postiguillo, *Los hormigones vistos en la edificación y la obra pública*. Madrid: CEDEX, D.L. 1993.
- [8] A. López, 'Atlas del hormigón arquitectónico', *Cienc. y Tecnol. los Mater.*, vol. N°5, pp. 45–59, 2015.
- [9] C.I.B. Working Commission W29. Report N° 5, 'Concrete Surface Finishings. The production of concrete of uniform colour and free from surface blemishes', Norwegian, 1966.
- [10] S. García, V. Mas Llorens, and E. Saez, *Piel de hormigón: aspectos técnicos y estéticos del hormigón autocompactante*. Valencia: General de Ediciones de Arquitectura, 2009.
- [11] Östereichischen Vereinigung für Beton-und Bautechnik (ÖVBB), 'Sichtbeton - Geschalte Beton flächen', Austria, 2009.
- [12] Committee BD-043 Formwork, 'AS 3610.1-2010. Formwork for concrete Part 1: Documentation and surface finish', Australian, 2010.
- [13] Asociación Científico-Técnica del Hormigón, *Hormigón visto. Recomendaciones acerca del diseño y proceso constructivo*. Madrid: ACHE, D.L., 2016.
- [14] Deutscher Beton-und Bautechnik-Verein E.V., 'Sichtbeton-Exposed Concrete', Germany, 2015.
- [15] E. Montero and A. Pacios, 'Gestión del diseño y construcción con hormigón visto', *3º Congr. Iberoam. sobre hormigón autocompactante. Av. y oportunidades*, p. 4, 2012.
- [16] J. Calavera, G. González, J. Pérez, J. Fernández, and P. López, *Aspectos visuales del hormigón: hormigón visto, hormigón coloreado, hormigón con tratamientos superficiales*. Madrid: INTEMAC, D.L. 2000.
- [17] Ministerio de Fomento, 'EHE-08 Instrucción de hormigón estructural', España, 2008.

- [18] F. Carvalho, 'Estructuras de hormigón coloreado', *Simpósio Internacional sobre Concretos Especiais*. Brasil, pp. 8–35, 2002.
- [19] A. López, J. Tobes, M. Positieri, and R. Zerbino, 'Medición del color en materiales a base de cemento portland', *Cienc. y Tecnol. del Hormigón*, vol. 14, 2007.
- [20] J. Fernández, 'Estructuras de concreto aparente', *Simpósio Internacional Sobre Concretos Especiais Universidade Estadual Vale Do Acaraú*. Brasil, 2002.
- [21] J. Romero, 'Hormigón Arquitectónico. Color y textura aplicación en edificación y obra civil.' IECA Canarias, 2004.
- [22] M. Ospina, J. Monzó, V. Borrachero, J. Pará, and R. Barrionuevo, 'Utilización de mezclas ternarias cemento-ceniza de cáscada de arroz-ceniza volante de central térmica en la preparación de tejas de microhormigón', *Tenth International Conference on Non-Conventional Materials and Technologies*. Colombia, pp. 3–7, 2008.
- [23] F. Carvalho and D. A. Coelho, *Estudio sobre la variación de color y la durabilidad en hormigones vistos con adición de pigmentos sometidos a distintos tratamientos de exposición ambiental*. Madrid: INTEMAC, 2002.
- [24] J. Positieri, 'Propiedades fisicomecánicas y durabilidad del hormigón coloreado (Tesis Doctoral)'. Universidad Tecnológica Nacional, Córdoba, Argentina, 2005.
- [25] A. López, J. Tobes, G. Giaccio, and R. Zerbino, 'Evaluación de la calidad superficial del hormigón autocompactante', *Cienc. y Tecnol. del Hormigón*, vol. 15, pp. 33–50, 2008.
- [26] 'RECKLI – Design your Concrete'. [Online]. Available: <https://www.reckli.com/en/>. [Accessed: 22-Jul-2018].
- [27] IECA, 'Guía técnica: Consejos prácticos para el proyecto y la ejecución del hormigón arquitectónico'. 2014.
- [28] A. Bertramone, F. Cruz García, and A. García Santos, 'Modificaciones de las propiedades superficiales en el hormigón visto, por la utilización de diferentes tipos de desencofrantes y aditivos plásticos', *Mater Construcc*, vol. 53, pp. 71–78, 2003.
- [29] J. Cariñena Díaz, 'Superficies de hormigón arquitectónico encofradas in situ (Trabajo Final de Máster)'. Máster Universitario en Ingeniería del Hormigón, Universitat Politècnica de València, 2014.
- [30] J. Pérez and R. Santana, 'Paneles de fachada confeccionados con hormigones de altas prestaciones', *Vector plus miscelánea científico - Cult.*, vol. 26, pp. 17–28, 2005.
- [31] A. López, 'Patrimonio moderno: Evaluación de los aspectos estéticos que modifican la apariencia del hormigón', *3er Congr. Iberoam. y XI Jorn. Técnicas Restauración y Conserv. del Patrim.*, p. 13, 2013.
- [32] E. Camacho, 'Dosage optimization and bolted connections for UHPFRC ties - (Doctoral thesis)'. Departamento de Ingeniería de la Construcción y Proyectos de Ingeniería Civil, Universitat Politècnica de València, 2013.
- [33] P. Serna, J. López, and E. Camacho, 'UHPFRC: De los componentes a la estructura', *I Simpósio Latino Americano sobre Concreto Autoadensável*. Brasil, p. 21.
- [34] H. Cordero, 'Aplicación de hormigón de ultra alta resistencia con fibras de vidrio. Caracterización de hormigón de ultra alta resistencia con fibra de vidrio (Tesis Final de Master)'. Máster Universitario en Ingeniería del Hormigón, Universitat Politècnica de

- València, 2015.
- [35] P. Serna, J. López, H. Coll, E. Camacho, J. Navarro, and F. Galán, 'Pasarela de hormigón de muy alto rendimiento sobre el Barranco de las Ovejas (Alicante)', *Hormigón y Acero*, vol. 66, pp. 23–42, 2015.
- [36] G. Parsekian, P. Seibert, and V. Perry, 'Innovative ultra-high performance concrete structures', *Tailor Made Concr. Struct.*, pp. 325–330, 2008.
- [37] J. López, 'The roofing of the Montpellier - South of France TGV Station - RDC', 2017. [Online]. Available: <https://rdconcrete.com/3rd-international-symposium-on-uhpc-designing-and-building/>. [Accessed: 11-Sep-2018].
- [38] B. KJAER, 'Montpellier Conference'. [Online]. Available: <http://www.hi-con.dk/hicon-blog-hoejstyrkebeton/montpellier-conference>. [Accessed: 11-Sep-2018].
- [39] A. Bouhours, J. Burlot, and S. Chanut, 'Architectonic UHPFRC Elements in Bsi ®', *AFGC-ACI-fib-RILEM Int. Symposium on Ultra-High Performance Fibre-Reinforced Concrete*, vol. 2. France, pp. 917–926, 2017.
- [40] 'Bétons Génial'. [Online]. Available: <http://www.betonsgenial.com/>. [Accessed: 22-Jul-2018].
- [41] Cement & Concrete Association of New Zealand, 'Information Bulletin: IB 33 Specification and Production of Concrete Surface Finishes'. New Zealand, 2004.
- [42] Normalisation française P 18- 503, 'Surfaces et parements de béton. Éléments d'identification'. 1989.
- [43] C.I.B. Working Commission W29. Report N° 24, 'Concrete Surface Finishings. Tolerances On Blemishes of Concrete', Norwegian, 1973.
- [44] ACI Committe 347, 'Guide to formed concrete Surface'. U.S.A., 2014.
- [45] Committee BD-002 Concrete Structures, 'AS 3600-2009: Concrete structures', Australia, 2009.
- [46] L. Kruk, 'Una casa de hormigón para potenciar los sentidos', 2018. [Online]. Available: <http://interioresminimalistas.com/2018/04/30/una-casa-de-hormigon-para-potenciar-los-sentidos-luciano-kruk/>. [Accessed: 22-Jul-2018].
- [47] M. V. Besonías and L. Kruk, 'Arquimaster Proyecto: Casa Cher - BAK arquitectos'. [Online]. Available: <http://www.arquimaster.com.ar/galeria/obra180.htm>. [Accessed: 22-Jul-2018].
- [48] Ministerio de Fomento, 'EHE-08 Instrucción de hormigón estructural. Anejo 11º', España, 2008.
- [49] DIN Deutsches Institut für Normung e. V., 'DIN 18202:2005-10 Toleranzas im Hochbau - Bauwerke'. Germany, 2013.
- [50] Z. Zhu and I. Brilakis, 'Machine Vision-Based Concrete Surface Quality Assessment', *J. Constr. Eng. Manag.*, vol. 136, pp. 210–218, 2010.
- [51] V. Campa, 'Análisis de imágenes de microscopía con Image J', 2017. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/313768335/download>. [Accessed: 12-Sep-2018].
- [52] UNE-EN 12390-3, 'Ensayos de hormigón endurecido. Parte 3: Determinación de la

resistencia a compresión de probetas', 2009.

- [53] 'ImageJ - Descargar'. [Online]. Available: <https://imagej.softonic.com/>. [Accessed: 13-Sep-2018].



Anejo

Fotografías de la apariencia superficial de las probetas según el tipo de dosificación



TRABAJO FINAL DE MÁSTER
CALIDAD SUPERFICIAL
DEL HORMIGÓN VISTO DE ULTRA ALTAS PRESTACIONES

Dosificación 35% AF 75% AM (Kg) (Encofrado metálico)

Cantidad	Cemento I 42,5 R/SR	Humo de Sílice Elkem Microsilica	Harina de Sílice U-S 500	Arena 0,5 mm (fina)	Arena 0,7-1,2 mm (media)	Agua	Aditivo 20 HE	Fibra 13/0,2
1,2L	0,960	0,210	0,270	0,3624	0,678	0,192	0,036	0

Fotografías

Cara sin encofrado	Cara lateral	Cara Lateral
Cara lateral	Cara lateral	Cara de fondo

OBSERVACIONES:



TRABAJO FINAL DE MÁSTER
CALIDAD SUPERFICIAL
DEL HORMIGÓN VISTO DE ULTRA ALTAS PRESTACIONES

Dosificación 50%AF 50%AM (Kg) (Encofrado metálico)

Cantidad	Cemento I 42,5 R/SR	Humo de Sílice Elkem Microsilica	Harina de Sílice U-S 500	Arena 0,5 mm (fina)	Arena 0,7-1,2 mm (media)	Agua	Aditivo 20 HE	Fibra 13/0,2
1,2L	0,960	0,210	0,270	0,5202	0,5202	0,192	0,036	0

Fotografías

Cara sin encofrado	Cara lateral	Cara Lateral
Cara lateral	Cara lateral	Cara de fondo

OBSERVACIONES:



TRABAJO FINAL DE MÁSTER
CALIDAD SUPERFICIAL
DEL HORMIGÓN VISTO DE ULTRA ALTAS PRESTACIONES

Dosificación 100%AF (Kg) (Encofrado metálico)

Cantidad	Cemento I 42,5 R/SR	Humo de Sílice Elkem Microsilica	Harina de Sílice U-S 500	Arena 0,5 mm (fina)	Arena 0,7-1,2 mm (media)	Agua	Aditivo 20 HE	Fibra 13/0,2
1,2L	0,960	0,210	0,270	1,0404	0	0,192	0,036	0

Fotografías

Cara sin encofrado	Cara lateral	Cara Lateral
Cara lateral	Cara lateral	Cara de fondo

OBSERVACIONES:



TRABAJO FINAL DE MÁSTER
CALIDAD SUPERFICIAL
DEL HORMIGÓN VISTO DE ULTRA ALTAS PRESTACIONES

Dosificación 35%AF 75% AM + 10% de Agua (Kg) (Encofrado metálico)

Cantidad	Cemento I 42,5 R/SR	Humo de Sílice Elkem Microsilica	Harina de Sílice U-S 500	Arena 0,5 mm (fina)	Arena 0,7-1,2 mm (media)	Agua	Aditivo 20 HE	Fibra 13/0,2
1,2L	0,960	0,210	0,270	0,3624	0,678	0,2112	0,036	0

Fotografías

Cara sin encofrado	Cara lateral	Cara Lateral
Cara lateral	Cara lateral	Cara de fondo

OBSERVACIONES:



TRABAJO FINAL DE MÁSTER
CALIDAD SUPERFICIAL
DEL HORMIGÓN VISTO DE ULTRA ALTAS PRESTACIONES

Dosificación 50%AF 50%AM + 10% Agua (Kg) (Encofrado metálico)

Cantidad	Cemento I 42,5 R/SR	Humo de Sílice Elkem Microsilica	Harina de Sílice U-S 500	Arena 0,5 mm (fina)	Arena 0,7-1,2 mm (media)	Agua	Aditivo 20 HE	Fibra 13/0,2
1,2L	0,960	0,210	0,270	0,5202	0,5202	0,2112	0,036	0

Fotografías

Cara sin encofrado	Cara lateral	Cara Lateral
Cara lateral	Cara lateral	Cara de fondo

OBSERVACIONES:



TRABAJO FINAL DE MÁSTER
CALIDAD SUPERFICIAL
DEL HORMIGÓN VISTO DE ULTRA ALTAS PRESTACIONES

Dosificación 35%AF 75% AM + 20% de Agua (Kg) (Encofrado metálico)

Cantidad	Cemento I 42,5 R/SR	Humo de Sílice Elkem Microsilica	Harina de Sílice U-S 500	Arena 0,5 mm (fina)	Arena 0,7-1,2 mm (media)	Agua	Aditiv o 20 HE	Fibra 13/0,2
1,2L	0,960	0,210	0,270	0,3624	0,678	0,230 4	0,036	0

Fotografías

Cara sin encofrado	Cara lateral	Cara Lateral
Cara lateral	Cara lateral	Cara de fondo

OBSERVACIONES:



TRABAJO FINAL DE MÁSTER
CALIDAD SUPERFICIAL
DEL HORMIGÓN VISTO DE ULTRA ALTAS PRESTACIONES

Dosificación 100%AF + 20% Agua (Kg) (Encofrado metálico)

Cantidad	Cemento I 42,5 R/SR	Humo de Sílice Elkem Microsilica	Harina de Sílice U-S 500	Arena 0,5 mm (fina)	Arena 0,7-1,2 mm (media)	Agua	Aditivo 20 HE	Fibra 13/0,2
1,2L	0,960	0,210	0,270	1,0404	0	0,2304	0,036	0

Fotografías

Cara sin encofrado	Cara lateral	Cara Lateral
		
Cara lateral	Cara lateral	Cara de fondo
		

OBSERVACIONES:



TRABAJO FINAL DE MÁSTER
CALIDAD SUPERFICIAL
 DEL HORMIGÓN VISTO DE ULTRA ALTAS PRESTACIONES

Dosificación 35%AF 75% AM (Kg) + 10% de Aditivo (Encofrado metálico)

Cantidad	Cemento I 42,5 R/SR	Humo de Sílice Elkem Microsilica	Harina de Sílice U-S 500	Arena 0,5 mm (fina)	Arena 0,7-1,2 mm (media)	Agua	Aditivo 20 HE	Fibra 13/0, 2
1,2L	0,960	0,210	0,270	0,3624	0,678	0,192	0,0396	0

Fotografías

Cara sin encofrado	Cara lateral	Cara Lateral
Cara lateral	Cara lateral	Cara de fondo

OBSERVACIONES:

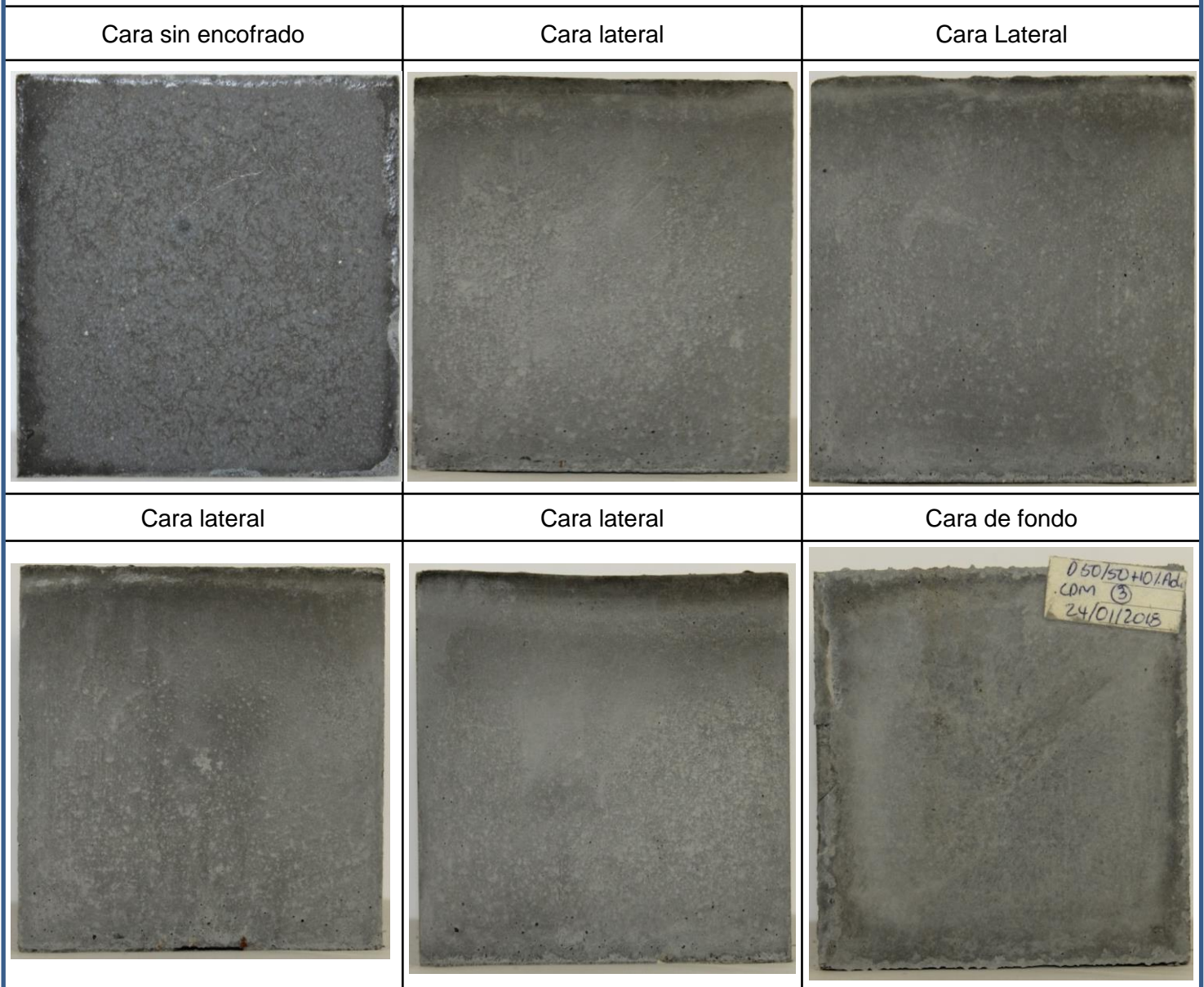


TRABAJO FINAL DE MÁSTER
CALIDAD SUPERFICIAL
DEL HORMIGÓN VISTO DE ULTRA ALTAS PRESTACIONES

Dosificación 50%AF 50%AM + 10% Aditivo (Kg) (Encofrado metálico)

Cantidad	Cemento I 42,5 R/SR	Humo de Sílice Elkem Microsilica	Harina de Sílice U-S 500	Arena 0,5 mm (fina)	Arena 0,7-1,2 mm (media)	Agua	Aditivo 20 HE	Fibra 13/0,2
1,2L	0,960	0,210	0,270	0,5202	0,5202	0,192	0,0396	0

Fotografías



OBSERVACIONES:



TRABAJO FINAL DE MÁSTER
CALIDAD SUPERFICIAL
DEL HORMIGÓN VISTO DE ULTRA ALTAS PRESTACIONES

Dosificación 100%AF + 10 % Aditivo (Kg) (Encofrado metálico)

Cantidad	Cemento I 42,5 R/SR	Humo de Sílice Elkem Microsilica	Harina de Sílice U-S 500	Arena 0,5 mm (fina)	Arena 0,7-1,2 mm (media)	Agua	Aditivo 20 HE	Fibra 13/0,2
1,2L	0,960	0,210	0,270	1,0404	0	0,192	0,0396	0

Fotografías

Cara sin encofrado	Cara lateral	Cara Lateral
Cara lateral	Cara lateral	Cara de fondo

OBSERVACIONES:



TRABAJO FINAL DE MÁSTER
CALIDAD SUPERFICIAL
DEL HORMIGÓN VISTO DE ULTRA ALTAS PRESTACIONES

Dosificación 35%AF 75%AM + 20% de Aditivo (Kg) (Encofrado metálico)

Cantidad	Cemento I 42,5 R/SR	Humo de Sílice Elkem Microsilica	Harina de Sílice U-S 500	Arena 0,5 mm (fina)	Arena 0,7-1,2 mm (media)	Agua	Aditivo 20 HE	Fibra 13/0,2
1,2L	0,960	0,210	0,270	0,3624	0,678	0,192	0,0432	0

Fotografías

Cara sin encofrado	Cara lateral	Cara Lateral
Cara lateral	Cara lateral	Cara de fondo

OBSERVACIONES:



TRABAJO FINAL DE MÁSTER
CALIDAD SUPERFICIAL
DEL HORMIGÓN VISTO DE ULTRA ALTAS PRESTACIONES

Dosificación 50%AF 50%AM + 20% Aditivo (Kg) (Encofrado metálico)

Cantidad	Cemento I 42,5 R/SR	Humo de Sílice Elkem Microsilica	Harina de Sílice U-S 500	Arena 0,5 mm (fina)	Arena 0,7-1,2 mm (media)	Agua	Aditivo 20 HE	Fibra 13/0,2
1,2L	0,960	0,210	0,270	0,5202	0,5202	0,192	0,0432	0

Fotografías

Cara sin encofrado	Cara lateral	Cara Lateral
Cara lateral	Cara lateral	Cara de fondo

OBSERVACIONES:



TRABAJO FINAL DE MÁSTER
CALIDAD SUPERFICIAL
DEL HORMIGÓN VISTO DE ULTRA ALTAS PRESTACIONES

Dosificación 100%AF + 20 % Aditivo (Kg) (Encofrado metálico)

Cantidad	Cemento I 42,5 R/SR	Humo de Sílice Elkem Microsilica	Harina de Sílice U-S 500	Arena 0,5 mm (fina)	Arena 0,7-1,2 mm (media)	Agua	Aditivo 20 HE	Fibra 13/0,2
1,2L	0,960	0,210	0,270	1,0404	0	0,192	0,0432	0

Fotografías

Cara sin encofrado	Cara lateral	Cara Lateral
Cara lateral	Cara lateral	Cara de fondo

OBSERVACIONES:



TRABAJO FINAL DE MÁSTER
CALIDAD SUPERFICIAL
DEL HORMIGÓN VISTO DE ULTRA ALTAS PRESTACIONES

Dosificación 35% AF 75% AM compactada (Kg) (Encofrado metálico)

Cantidad	Cemento I 42,5 R/SR	Humo de Sílice Elkem Microsilica	Harina de Sílice U-S 500	Arena 0,5 mm (fina)	Arena 0,7-1,2 mm (media)	Agua	Aditivo 20 HE	Fibra 13/0,2
1,2L	0,960	0,210	0,270	0,3624	0,678	0,192	0,036	0

Fotografías

Cara sin encofrado	Cara lateral	Cara Lateral
Cara lateral	Cara lateral	Cara de fondo

OBSERVACIONES:



TRABAJO FINAL DE MÁSTER
CALIDAD SUPERFICIAL
DEL HORMIGÓN VISTO DE ULTRA ALTAS PRESTACIONES

Dosificación 50%AF 50%AM compactada (Kg) (Encofrado metálico)

Cantidad	Cemento I 42,5 R/SR	Humo de Sílice Elkem Microsilica	Harina de Sílice U-S 500	Arena 0,5 mm (fina)	Arena 0,7-1,2 mm (media)	Agua	Aditivo 20 HE	Fibra 13/0,2
1,2L	0,960	0,210	0,270	0,5202	0,5202	0,192	0,036	0

Fotografías

Cara sin encofrado	Cara lateral	Cara Lateral
Cara lateral	Cara lateral	Cara de fondo

OBSERVACIONES:



TRABAJO FINAL DE MÁSTER
CALIDAD SUPERFICIAL
DEL HORMIGÓN VISTO DE ULTRA ALTAS PRESTACIONES

Dosificación 100%AF compactada (Kg) (Encofrado metálico)

Cantidad	Cemento I 42,5 R/SR	Humo de Sílice Elkem Microsilica	Harina de Sílice U-S 500	Arena 0,5 mm (fina)	Arena 0,7-1,2 mm (media)	Agua	Aditivo 20 HE	Fibra 13/0,2
1,2L	0,960	0,210	0,270	1,0404	0	0,192	0,036	0

Fotografías

Cara sin encofrado	Cara lateral	Cara Lateral
Cara lateral	Cara lateral	Cara de fondo

OBSERVACIONES:

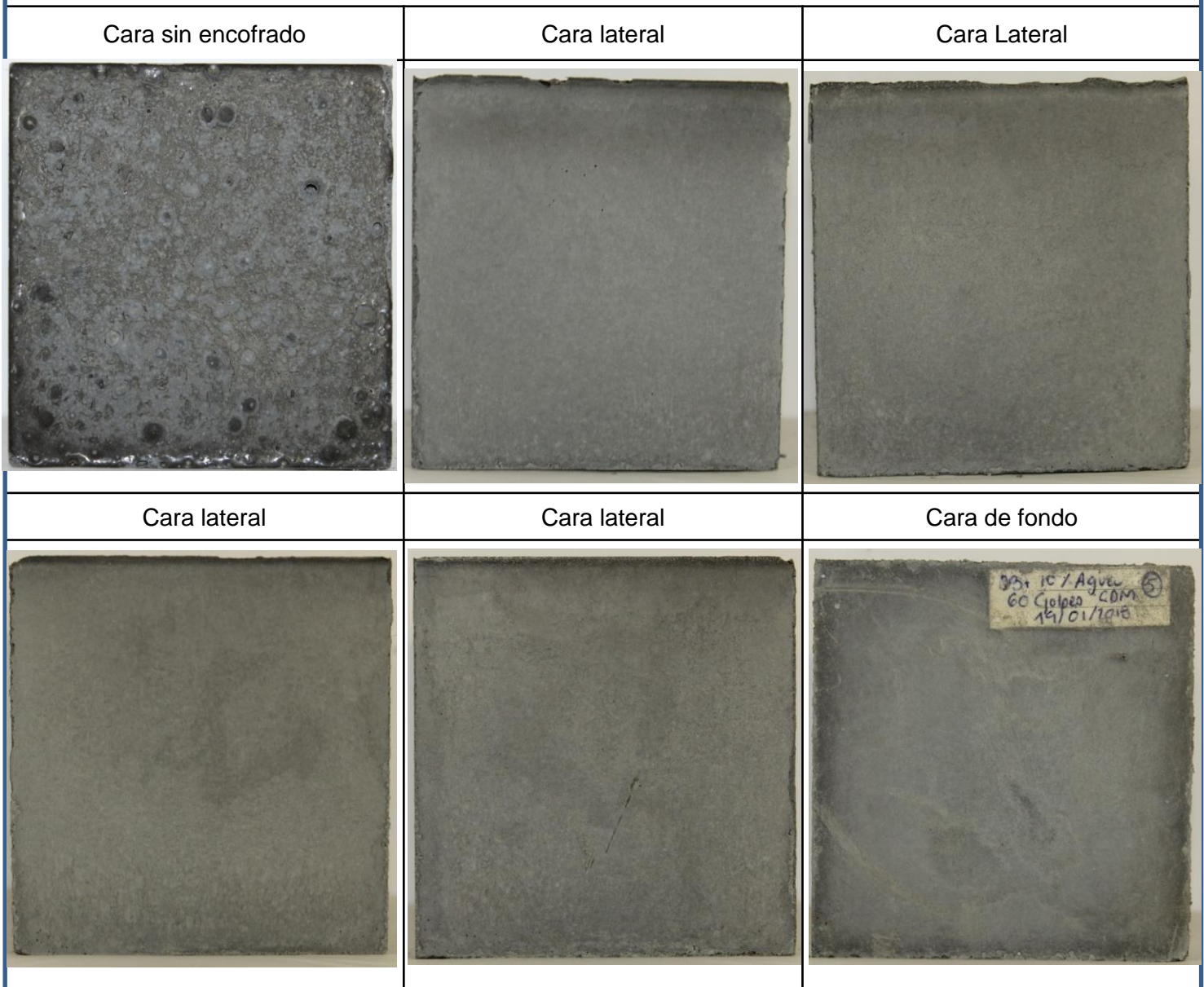


TRABAJO FINAL DE MÁSTER
CALIDAD SUPERFICIAL
DEL HORMIGÓN VISTO DE ULTRA ALTAS PRESTACIONES

Dosificación 35%AF 75% AM + 10% de Agua compactada (Kg) (Encofrado metálico)

Cantidad	Cemento I 42,5 R/SR	Humo de Sílice Elkem Microsilica	Harina de Sílice U-S 500	Arena 0,5 mm (fina)	Arena 0,7-1,2 mm (media)	Agua	Aditivo 20 HE	Fibra 13/0,2
1,2L	0,960	0,210	0,270	0,3624	0,678	0,2112	0,036	0

Fotografías



OBSERVACIONES:



TRABAJO FINAL DE MÁSTER
CALIDAD SUPERFICIAL
 DEL HORMIGÓN VISTO DE ULTRA ALTAS PRESTACIONES

Dosificación 50%AF 50%AM + 10% Agua compactada (Kg) (Encofrado metálico)

Cantidad	Cemento I 42,5 R/SR	Humo de Sílice Elkem Microsilica	Harina de Sílice U-S 500	Arena 0,5 mm (fina)	Arena 0,7-1,2 mm (media)	Agua	Aditivo 20 HE	Fibra 13/0,2
1,2L	0,960	0,210	0,270	0,5202	0,5202	0,2112	0,036	0

Fotografías

Cara sin encofrado	Cara lateral	Cara Lateral
Cara lateral	Cara lateral	Cara de fondo

OBSERVACIONES:



TRABAJO FINAL DE MÁSTER
CALIDAD SUPERFICIAL
DEL HORMIGÓN VISTO DE ULTRA ALTAS PRESTACIONES

Dosificación 100%AF + 10 % Agua compactada (Kg) (Encofrado metálico)

Cantidad	Cemento I 42,5 R/SR	Humo de Sílice Elkem Microsilica	Harina de Sílice U-S 500	Arena 0,5 mm (fina)	Arena 0,7-1,2 mm (media)	Agua	Aditivo 20 HE	Fibra 13/0,2
1,2L	0,960	0,210	0,270	1,0404	0	0,2112	0,036	0

Fotografías

Cara sin encofrado	Cara lateral	Cara Lateral
Cara lateral	Cara lateral	Cara de fondo

OBSERVACIONES:

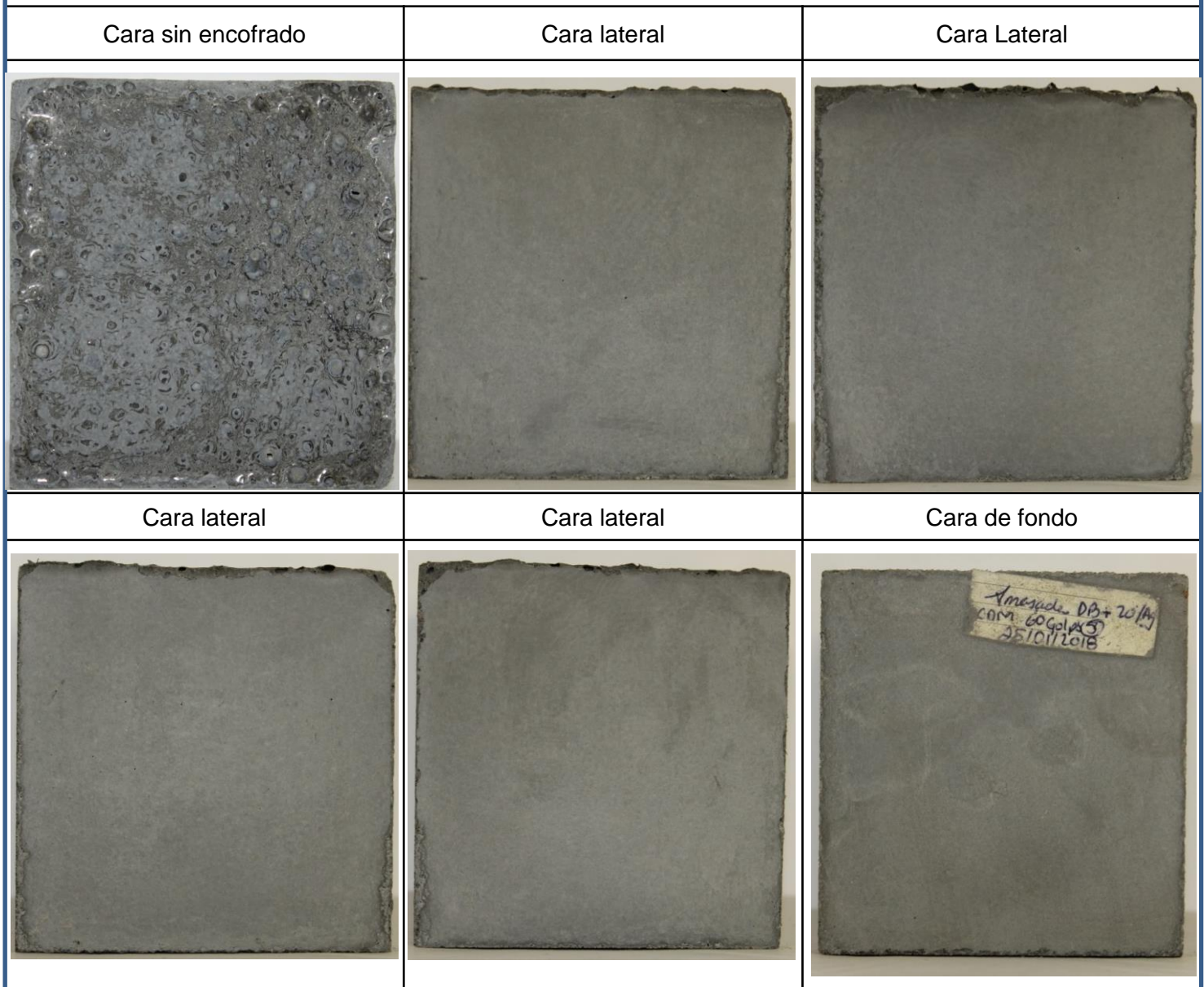


TRABAJO FINAL DE MÁSTER
CALIDAD SUPERFICIAL
DEL HORMIGÓN VISTO DE ULTRA ALTAS PRESTACIONES

Dosificación 35%AF 75%AM + 20% de Agua compactada (Kg) (Encofrado metálico)

Cantidad	Cemento I 42,5 R/SR	Humo de Sílice Elkem Microsilica	Harina de Sílice U-S 500	Arena 0,5 mm (fina)	Arena 0,7-1,2 mm (media)	Agua	Aditivo 20 HE	Fibra 13/0,2
1,2L	0,960	0,210	0,270	0,3624	0,678	0,2304	0,036	0

Fotografías



OBSERVACIONES:



TRABAJO FINAL DE MÁSTER
CALIDAD SUPERFICIAL
DEL HORMIGÓN VISTO DE ULTRA ALTAS PRESTACIONES

Dosificación 50%AF 50%AM + 20% Agua compactada (Kg) (Encofrado metálico)

Cantidad	Cemento I 42,5 R/SR	Humo de Sílice Elkem Microsilica	Harina de Sílice U-S 500	Arena 0,5 mm (fina)	Arena 0,7-1,2 mm (media)	Agua	Aditivo 20 HE	Fibra 13/0,2
1,2L	0,960	0,210	0,270	0,5202	0,5202	0,2304	0,036	0

Fotografías

Cara sin encofrado	Cara lateral	Cara Lateral
Cara lateral	Cara lateral	Cara de fondo

OBSERVACIONES:



TRABAJO FINAL DE MÁSTER
CALIDAD SUPERFICIAL
DEL HORMIGÓN VISTO DE ULTRA ALTAS PRESTACIONES

Dosificación 35%AF 75%AM (Kg) + 10% de Aditivo compactadas (Encofrado metálico)

Cantidad	Cemento I 42,5 R/SR	Humo de Sílice Elkem Microsilica	Harina de Sílice U-S 500	Arena 0,5 mm (fina)	Arena 0,7-1,2 mm (media)	Agua	Aditivo 20 HE	Fibra 13/0,2
1,2L	0,960	0,210	0,270	0,3624	0,678	0,192	0,0396	0

Fotografías

Cara sin encofrado	Cara lateral	Cara Lateral
Cara lateral	Cara lateral	Cara de fondo

OBSERVACIONES:



TRABAJO FINAL DE MÁSTER
CALIDAD SUPERFICIAL
DEL HORMIGÓN VISTO DE ULTRA ALTAS PRESTACIONES

Dosificación 50%AF 50%AM + 10% Aditivo compactada (Kg) (Encofrado de plástico)

Cantidad	Cemento I 42,5 R/SR	Humo de Sílice Elkem Microsilica	Harina de Sílice U-S 500	Arena 0,5 mm (fina)	Arena 0,7-1,2 mm (media)	Agua	Aditivo 20 HE	Fibra 13/0,2
1,2L	0,960	0,210	0,270	0,5202	0,5202	0,192	0,0396	0

Fotografías

Cara sin encofrado	Cara lateral	Cara Lateral
Cara lateral	Cara lateral	Cara de fondo

OBSERVACIONES:

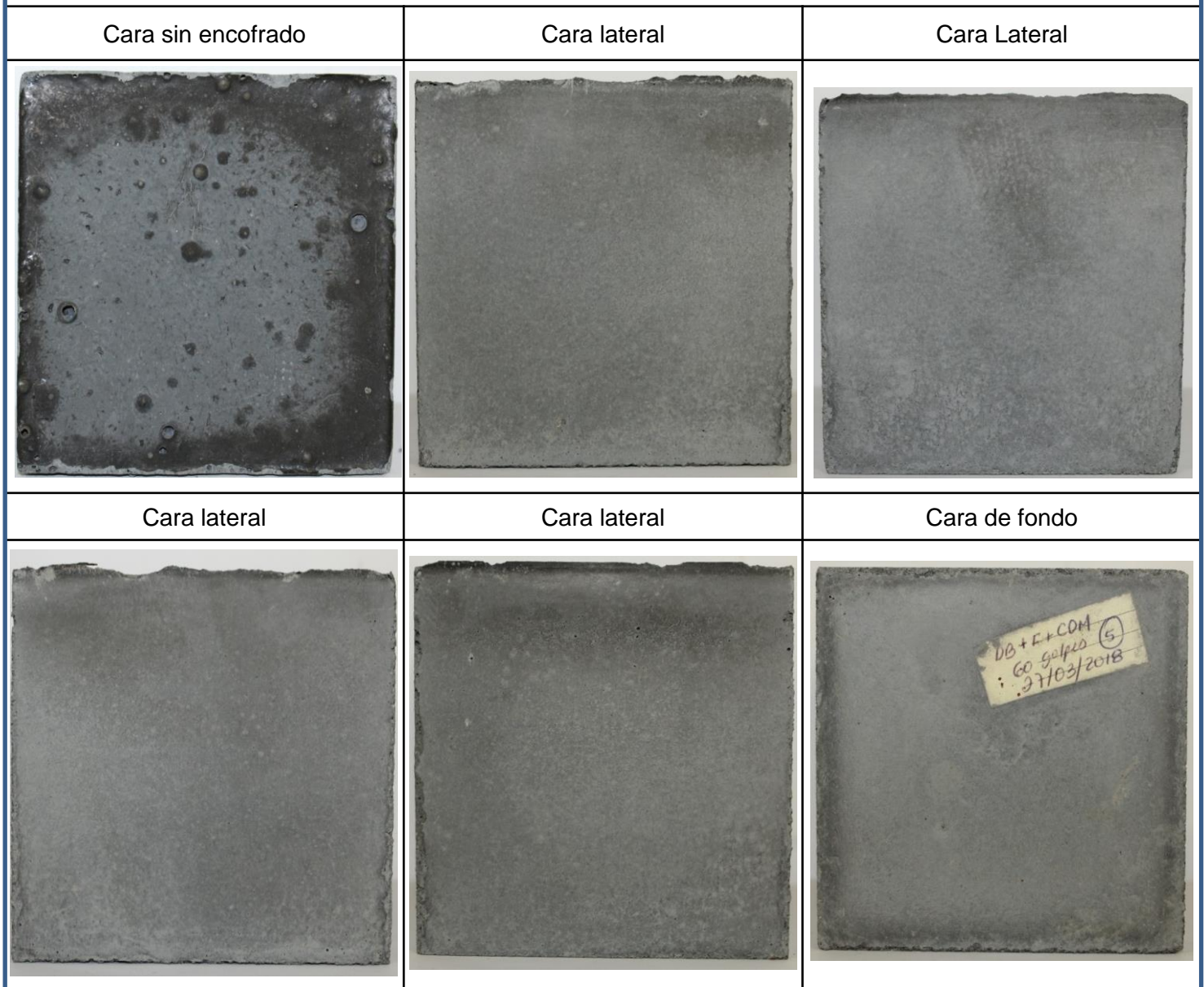


TRABAJO FINAL DE MÁSTER
CALIDAD SUPERFICIAL
DEL HORMIGÓN VISTO DE ULTRA ALTAS PRESTACIONES

Dosificación 35%AF 75%AM (Kg) + 20% de Aditivo compactada (Encofrado metálico)

Cantidad	Cemento I 42,5 R/SR	Humo de Sílice Elkem Microsilica	Harina de Sílice U-S 500	Arena 0,5 mm (fina)	Arena 0,7-1,2 mm (media)	Agua	Aditivo 20 HE	Fibra 13/0,2
1,2L	0,960	0,210	0,270	0,3624	0,678	0,192	0,0432	0

Fotografías



OBSERVACIONES:


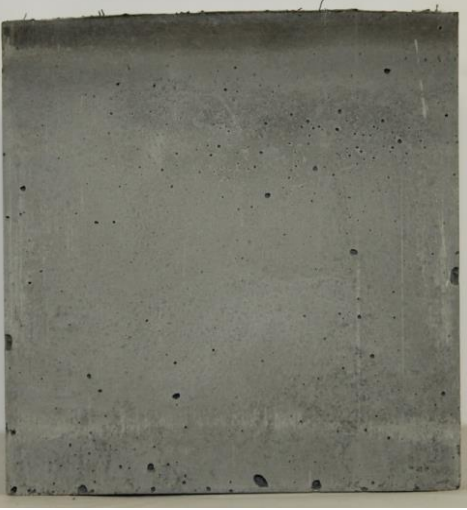


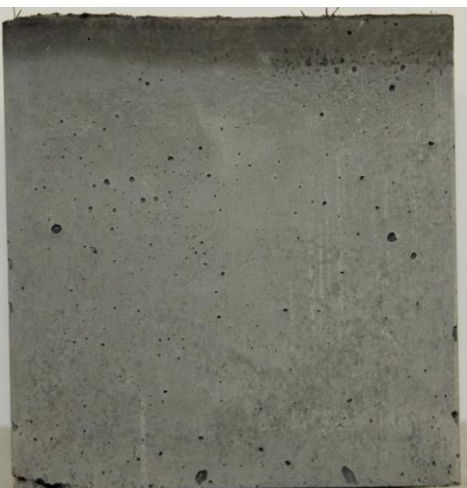
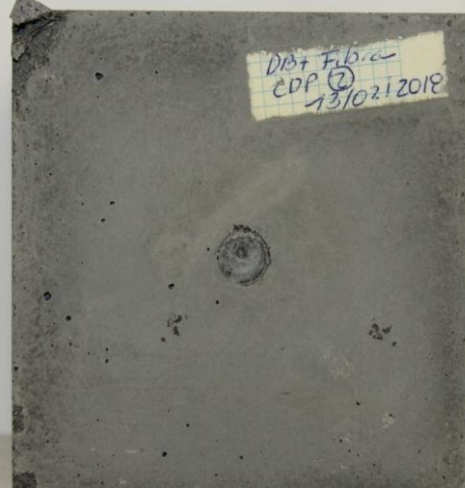


TRABAJO FINAL DE MÁSTER
CALIDAD SUPERFICIAL
DEL HORMIGÓN VISTO DE ULTRA ALTAS PRESTACIONES

Dosificación 35%AF 75%AM (Kg) (Encofrado de plástico)

Cantidad	Cemento I 42,5 R/SR	Humo de Sílice Elkem Microsilica	Harina de Sílice U-S 500	Arena 0,5 mm (fina)	Arena 0,7-1,2 mm (media)	Agua	Aditivo 20 HE	Fibra 13/0,2
1,2L	0,960	0,210	0,270	0,3624	0,678	0,192	0,036	0,210

Fotografías

Cara sin encofrado	Cara lateral	Cara Lateral
		
Cara lateral	Cara lateral	Cara de fondo
		

OBSERVACIONES:



TRABAJO FINAL DE MÁSTER
CALIDAD SUPERFICIAL
DEL HORMIGÓN VISTO DE ULTRA ALTAS PRESTACIONES

Dosificación 50%AF 50%AM (Kg) (Encofrado de plástico)

Cantidad	Cemento I 42,5 R/SR	Humo de Sílice Elkem Microsilica	Harina de Sílice U-S 500	Arena 0,5 mm (fina)	Arena 0,7-1,2 mm (media)	Agua	Aditivo 20 HE	Fibra 13/0,2
1,2L	0,960	0,210	0,270	0,5202	0,5202	0,192	0,036	0,210

Fotografías

Cara sin encofrado	Cara lateral	Cara Lateral
Cara lateral	Cara lateral	Cara de fondo

OBSERVACIONES:



TRABAJO FINAL DE MÁSTER
CALIDAD SUPERFICIAL
DEL HORMIGÓN VISTO DE ULTRA ALTAS PRESTACIONES

Dosificación 50%AF 50%AM (Kg) (Encofrado de madera)

Cantidad	Cemento I 42,5 R/SR	Humo de Sílice Elkem Microsilica	Harina de Sílice U-S 500	Arena 0,5 mm (fina)	Arena 0,7-1,2 mm (media)	Agua	Aditivo 20 HE	Fibra 13/0,2
1,2L	0,960	0,210	0,270	0,5202	0,5202	0,192	0,036	0,210

Fotografías

Cara sin encofrado	Cara lateral	Cara Lateral
Cara lateral	Cara lateral	Cara de fondo

OBSERVACIONES:



TRABAJO FINAL DE MÁSTER
CALIDAD SUPERFICIAL
DEL HORMIGÓN VISTO DE ULTRA ALTAS PRESTACIONES

Dosificación 100% AF (Kg) (Encofrado de plástico)

Cantidad	Cemento I 42,5 R/SR	Humo de Sílice Elkem Microsilica	Harina de Sílice U-S 500	Arena 0,5 mm (fina)	Arena 0,7-1,2 mm (media)	Agua	Aditivo 20 HE	Fibra 13/0,2
1,2L	0,960	0,210	0,270	1,0404	0	0,192	0,036	0,210

Fotografías

Cara sin encofrado	Cara lateral	Cara Lateral
Cara lateral	Cara lateral	Cara de fondo

OBSERVACIONES:

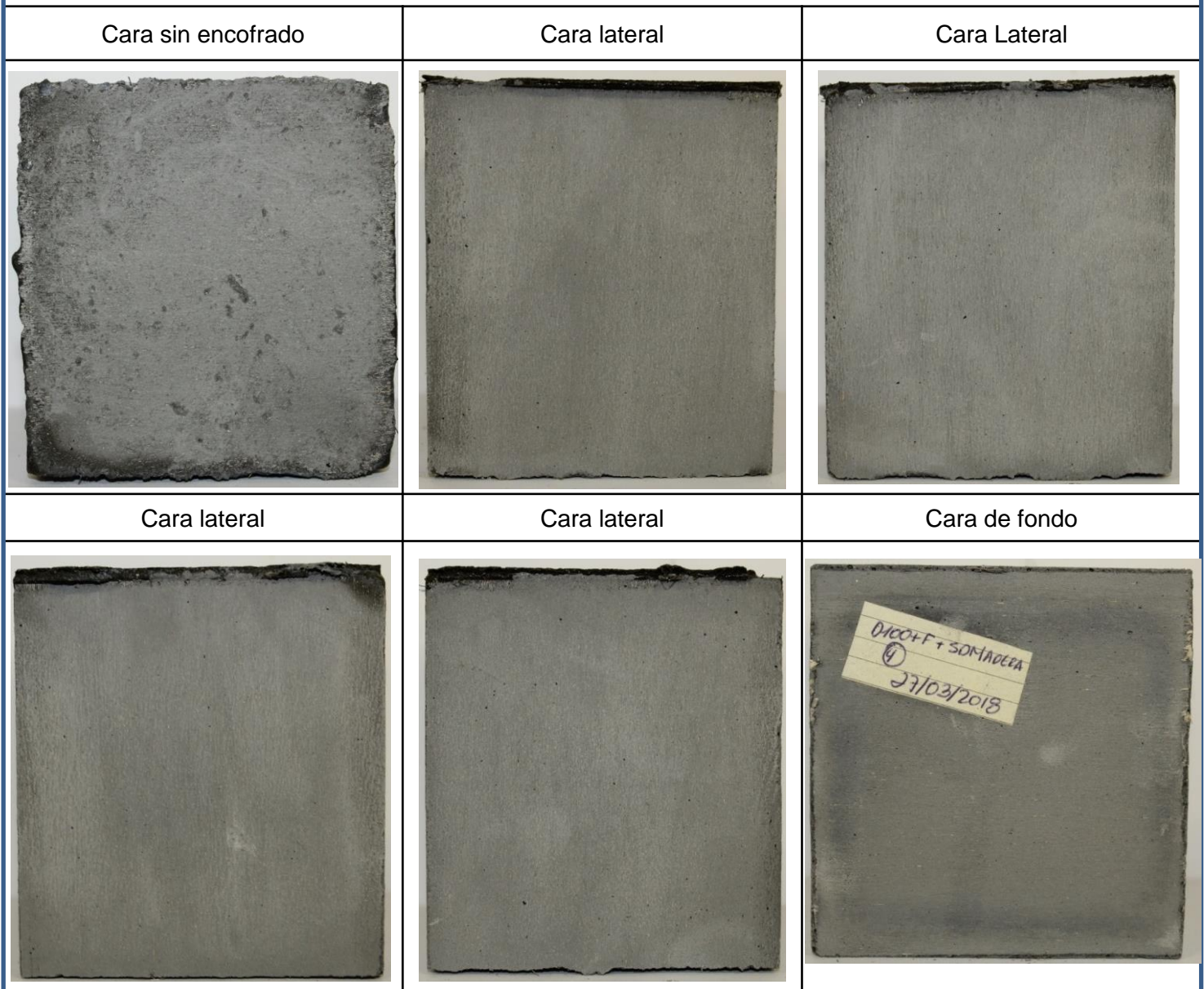


TRABAJO FINAL DE MÁSTER
CALIDAD SUPERFICIAL
DEL HORMIGÓN VISTO DE ULTRA ALTAS PRESTACIONES

Dosificación 100%AF (Kg) (Encofrado de madera)

Cantidad	Cemento I 42,5 R/SR	Humo de Sílice Elkem Microsilica	Harina de Sílice U-S 500	Arena 0,5 mm (fina)	Arena 0,7-1,2 mm (media)	Agua	Aditivo 20 HE	Fibra 13/0,2
1,2L	0,960	0,210	0,270	1,0404	0	0,192	0,036	0,210

Fotografías



OBSERVACIONES:

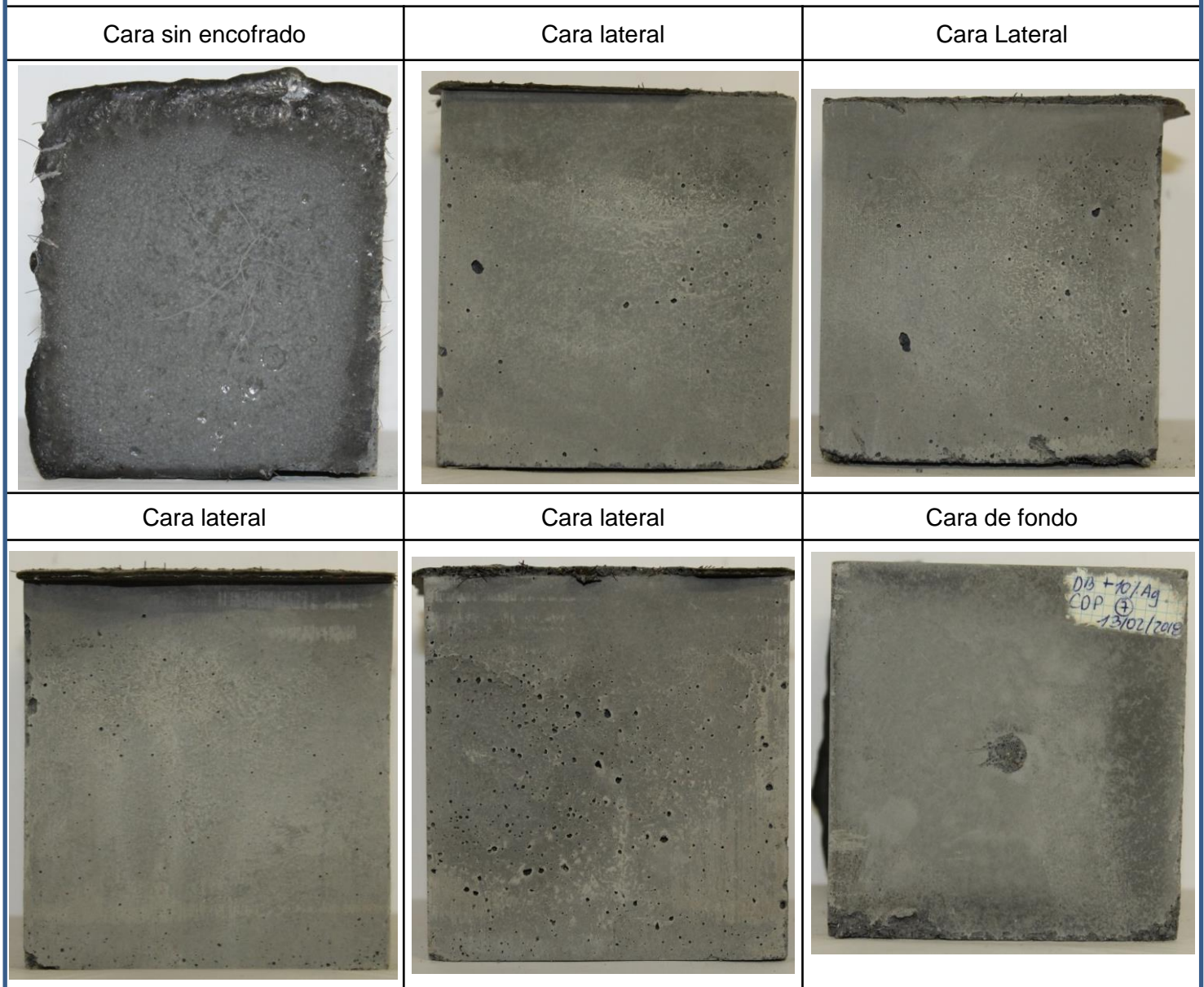


TRABAJO FINAL DE MÁSTER
CALIDAD SUPERFICIAL
DEL HORMIGÓN VISTO DE ULTRA ALTAS PRESTACIONES

Dosificación 35%AF 75%AM + 10% Agua (Kg) (Encofrado plástico)

Cantidad	Cemento I 42,5 R/SR	Humo de Sílice Elkem Microsilica	Harina de Sílice U-S 500	Arena 0,5 mm (fina)	Arena 0,7-1,2 mm (media)	Agua	Aditivo 20 HE	Fibra 13/0,2
1,2L	0,960	0,210	0,270	0,3624	0,678	0,192	0,036	0,210

Fotografías



OBSERVACIONES:



TRABAJO FINAL DE MÁSTER
CALIDAD SUPERFICIAL
 DEL HORMIGÓN VISTO DE ULTRA ALTAS PRESTACIONES

Dosificación 50%AF 50%AM + 10% Agua (Kg) (Encofrado de plástico)

Cantidad	Cemento I 42,5 R/SR	Humo de Sílice Elkem Microsilica	Harina de Sílice U-S 500	Arena 0,5 mm (fina)	Arena 0,7-1,2 mm (media)	Agua	Aditivo 20 HE	Fibra 13/0,2
1,2L	0,960	0,210	0,270	0,5202	0,5202	0,2112	0,036	0,210

Fotografías

Cara sin encofrado	Cara lateral	Cara Lateral
Cara lateral	Cara lateral	Cara de fondo

OBSERVACIONES:

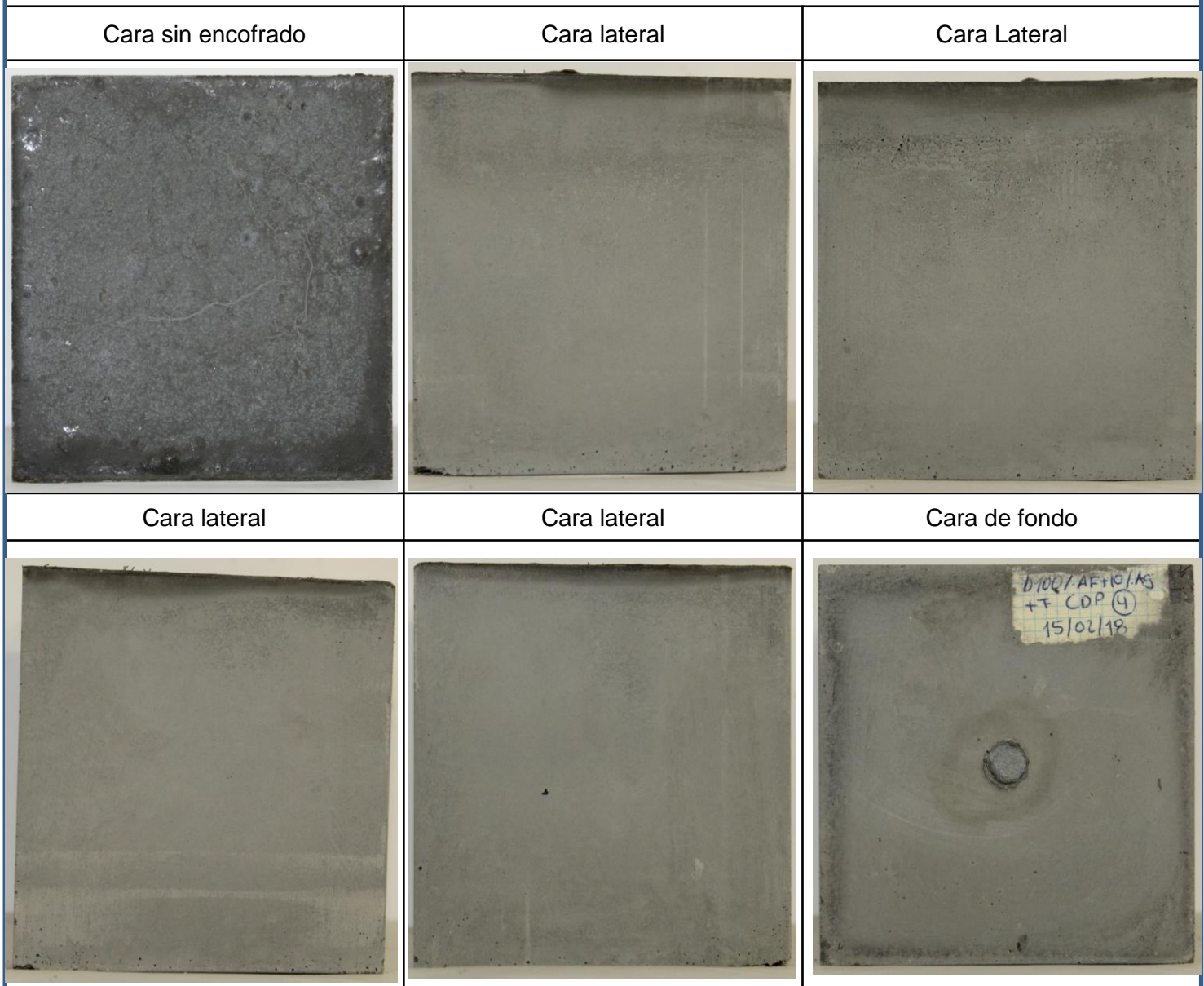


TRABAJO FINAL DE MÁSTER
CALIDAD SUPERFICIAL
DEL HORMIGÓN VISTO DE ULTRA ALTAS PRESTACIONES

Dosificación 100%AF + 10 % Agua (Kg) (Encofrado de plástico)

Cantidad	Cemento I 42,5 R/SR	Humo de Sílice Elkem Microsilica	Harina de Sílice U-S 500	Arena 0,5 mm (fina)	Arena 0,7-1,2 mm (media)	Agua	Aditivo 20 HE	Fibra 13/0,2
1,2L	0,960	0,210	0,270	1,0404	0	0,2112	0,036	0,210

Fotografías



OBSERVACIONES:



TRABAJO FINAL DE MÁSTER
CALIDAD SUPERFICIAL
DEL HORMIGÓN VISTO DE ULTRA ALTAS PRESTACIONES

Dosificación 35%AF 75%AM + 20% de Agua (Kg) (Encofrado de plástico)

Cantidad	Cemento I 42,5 R/SR	Humo de Sílice Elkem Microsilica	Harina de Sílice U-S 500	Arena 0,5 mm (fina)	Arena 0,7-1,2 mm (media)	Agua	Aditivo 20 HE	Fibra 13/0,2
1,2L	0,960	0,210	0,270	0,3624	0,678	0,2304	0,036	0,210

Fotografías

Cara sin encofrado	Cara lateral	Cara Lateral
Cara lateral	Cara lateral	Cara de fondo

OBSERVACIONES:



TRABAJO FINAL DE MÁSTER
CALIDAD SUPERFICIAL
DEL HORMIGÓN VISTO DE ULTRA ALTAS PRESTACIONES

Dosificación 50%AF 50%AM + 20% Agua (Kg) (Encofrado de plástico)

Cantidad	Cemento I 42,5 R/SR	Humo de Sílice Elkem Microsilica	Harina de Sílice U-S 500	Arena 0,5 mm (fina)	Arena 0,7-1,2 mm (media)	Agua	Aditivo 20 HE	Fibra 13/0,2
1,2L	0,960	0,210	0,270	0,5202	0,5202	0,2304	0,036	0,210

Fotografías

Cara sin encofrado	Cara lateral	Cara Lateral
Cara lateral	Cara lateral	Cara de fondo

OBSERVACIONES:

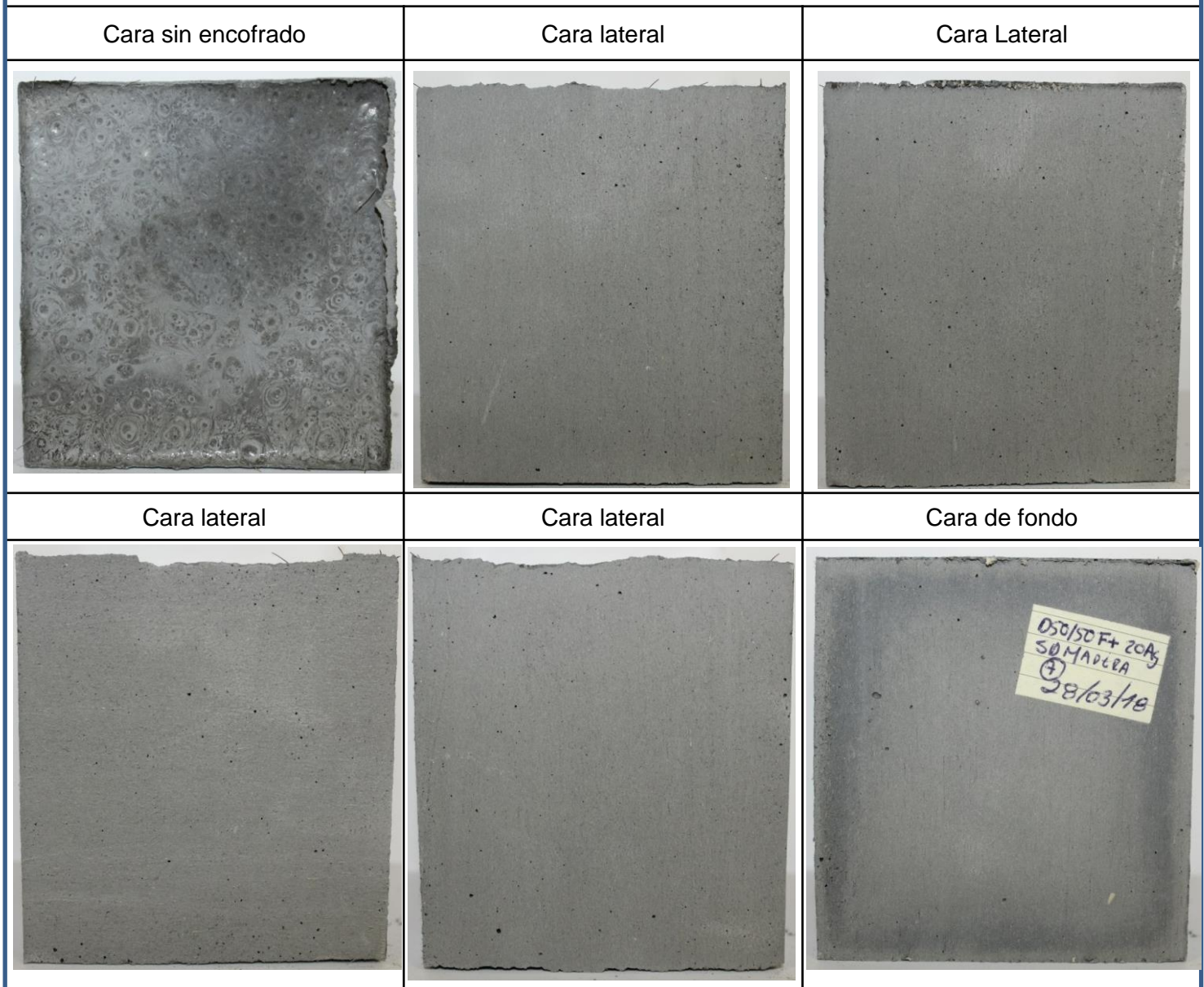


TRABAJO FINAL DE MÁSTER
CALIDAD SUPERFICIAL
DEL HORMIGÓN VISTO DE ULTRA ALTAS PRESTACIONES

Dosificación 50%AF 50%AM + 20% Agua (Kg) (Encofrado de madera)

Cantidad	Cemento I 42,5 R/SR	Humo de Sílice Elkem Microsilica	Harina de Sílice U-S 500	Arena 0,5 mm (fina)	Arena 0,7-1,2 mm (media)	Agua	Aditivo 20 HE	Fibra 13/0,2
1,2L	0,960	0,210	0,270	0,5202	0,5202	0,2304	0,036	0,210

Fotografías



OBSERVACIONES:



TRABAJO FINAL DE MÁSTER
CALIDAD SUPERFICIAL
DEL HORMIGÓN VISTO DE ULTRA ALTAS PRESTACIONES

Dosificación 100%AF + 20% Agua (Kg) (Encofrado de plástico)

Cantidad	Cemento I 42,5 R/SR	Humo de Sílice Elkem Microsilica	Harina de Sílice U-S 500	Arena 0,5 mm (fina)	Arena 0,7-1,2 mm (media)	Agua	Aditivo 20 HE	Fibra 13/0,2
1,2L	0,960	0,210	0,270	1,0404	0	0,2304	0,036	0,210

Fotografías

Cara sin encofrado	Cara lateral	Cara Lateral
Cara lateral	Cara lateral	Cara de fondo

OBSERVACIONES:



TRABAJO FINAL DE MÁSTER
CALIDAD SUPERFICIAL
DEL HORMIGÓN VISTO DE ULTRA ALTAS PRESTACIONES

Dosificación 100%AF + 20% Agua (Kg) (Encofrado de madera)

Cantidad	Cemento I 42,5 R/SR	Humo de Sílice Elkem Microsilica	Harina de Sílice U-S 500	Arena 0,5 mm (fina)	Arena 0,7-1,2 mm (media)	Agua	Aditivo 20 HE	Fibra 13/0,2
1,2L	0,960	0,210	0,270	1,0404	0	0,2304	0,036	0,210

Fotografías

Cara sin encofrado



Cara lateral



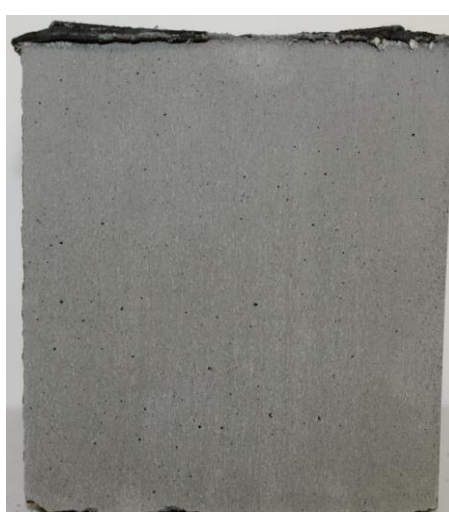
Cara Lateral



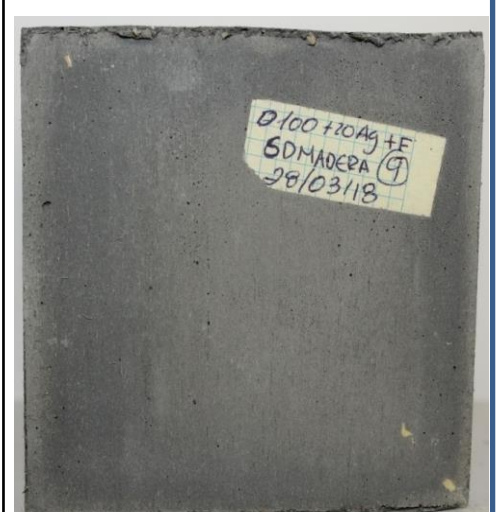
Cara lateral



Cara lateral



Cara de fondo



OBSERVACIONES:

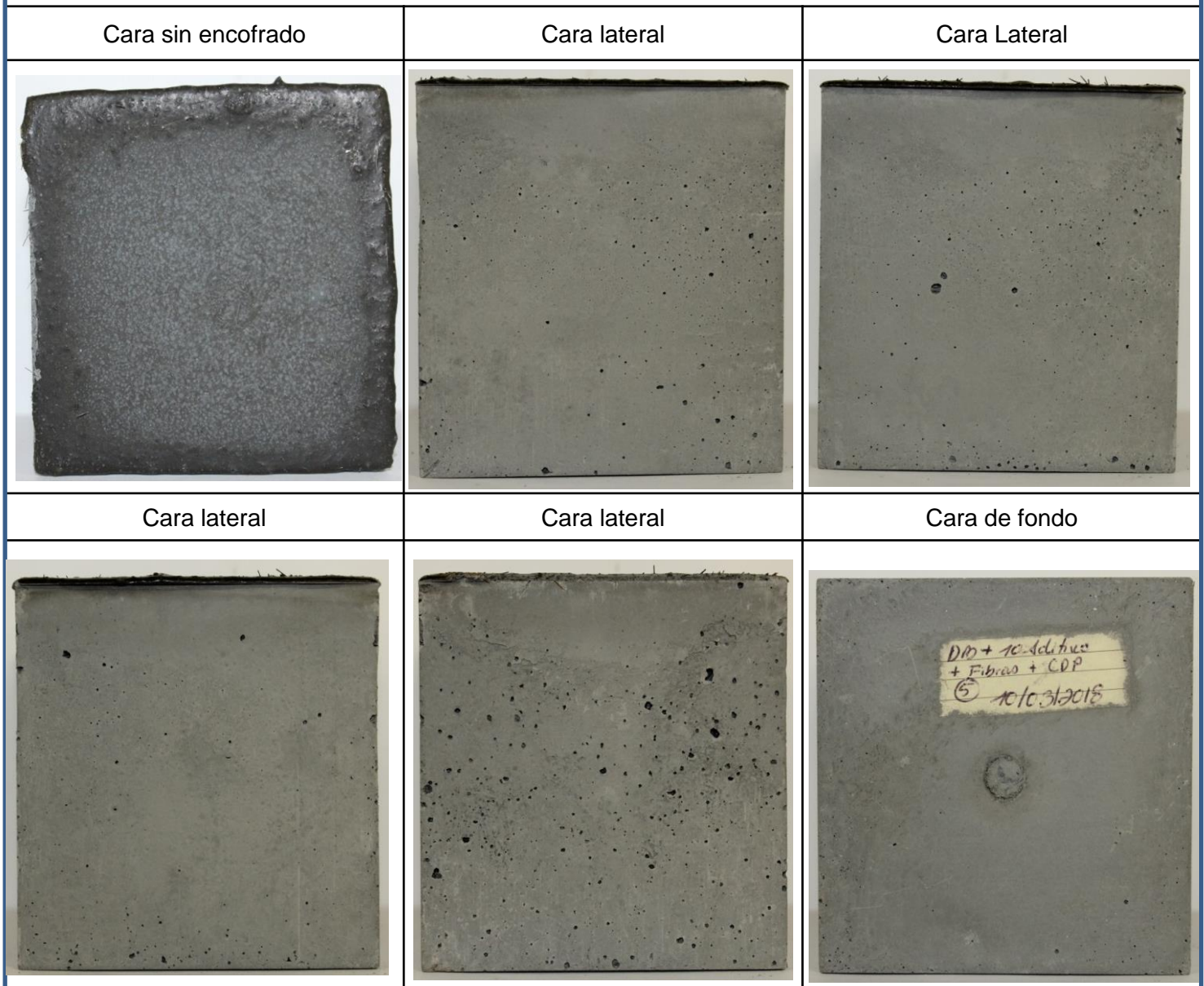


TRABAJO FINAL DE MÁSTER
CALIDAD SUPERFICIAL
DEL HORMIGÓN VISTO DE ULTRA ALTAS PRESTACIONES

Dosificación 35%AF 75%AM (Kg) + 10% de Aditivo (Encofrado de plástico)

Cantidad	Cemento I 42,5 R/SR	Humo de Sílice Elkem Microsilica	Harina de Sílice U-S 500	Arena 0,5 mm (fina)	Arena 0,7-1,2 mm (media)	Agua	Aditivo 20 HE	Fibra 13/0,2
1,2L	0,960	0,210	0,270	0,3624	0,678	0,192	0,0396	0,210

Fotografías



OBSERVACIONES:

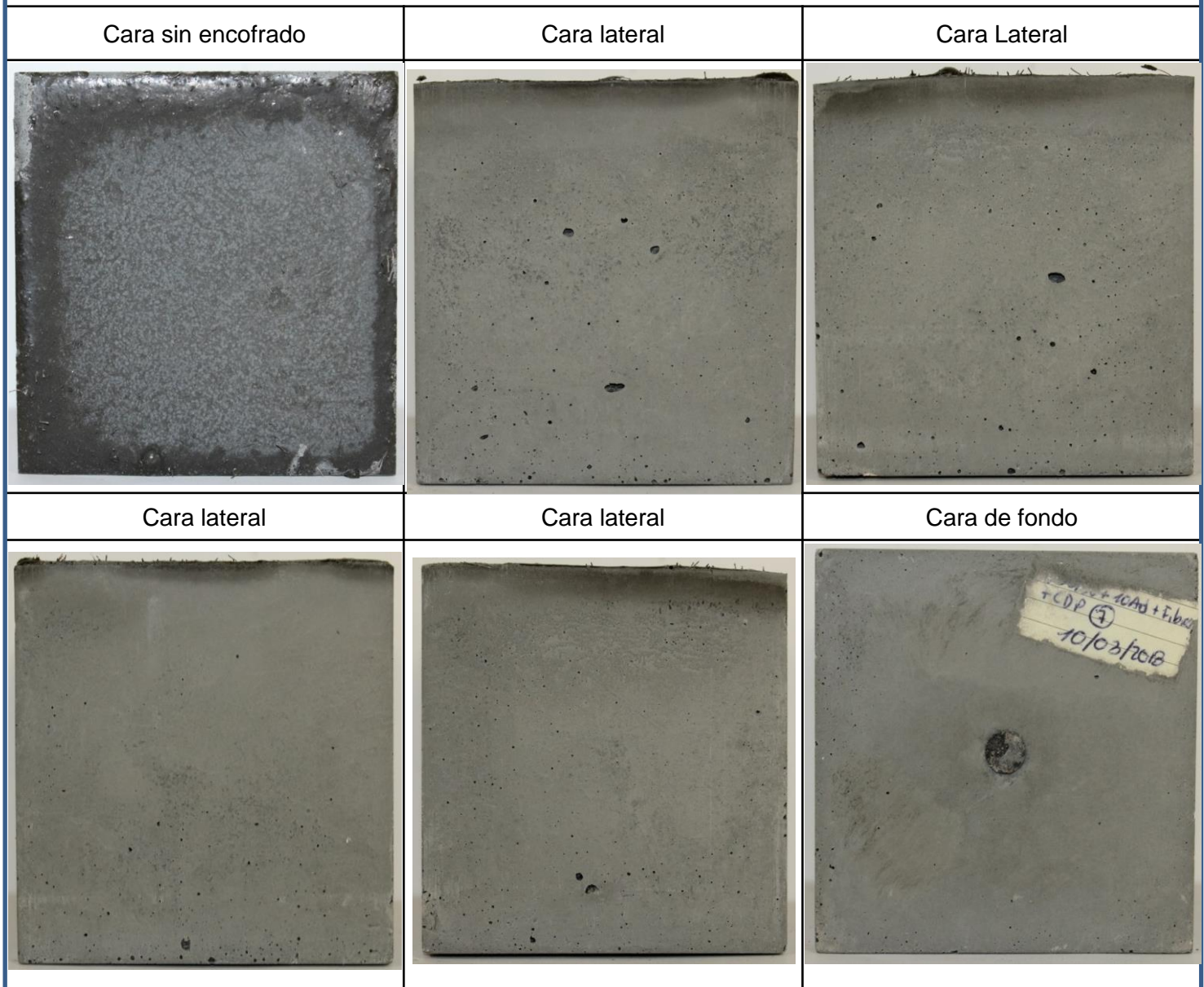


TRABAJO FINAL DE MÁSTER
CALIDAD SUPERFICIAL
DEL HORMIGÓN VISTO DE ULTRA ALTAS PRESTACIONES

Dosificación 50%AF 50%AM + 10% Aditivo (Kg) (Encofrado de plástico)

Cantidad	Cemento I 42,5 R/SR	Humo de Sílice Elkem Microsilica	Harina de Sílice U-S 500	Arena 0,5 mm (fina)	Arena 0,7-1,2 mm (media)	Agua	Aditivo 20 HE	Fibra 13/0,2
1,2L	0,960	0,210	0,270	0,5202	0,5202	0,192	0,0396	0,210

Fotografías



OBSERVACIONES:



TRABAJO FINAL DE MÁSTER
CALIDAD SUPERFICIAL
DEL HORMIGÓN VISTO DE ULTRA ALTAS PRESTACIONES

Dosificación 100%AF + 10 % Aditivo (Kg) (Encofrado de plástico)

Cantidad	Cemento I 42,5 R/SR	Humo de Sílice Elkem Microsilica	Harina de Sílice U-S 500	Arena 0,5 mm (fina)	Arena 0,7-1,2 mm (media)	Agua	Aditivo 20 HE	Fibra 13/0,2
1,2L	0,960	0,210	0,270	1,0404	0	0,192	0,0396	0,210

Fotografías

Cara sin encofrado	Cara lateral	Cara Lateral
Cara lateral	Cara lateral	Cara de fondo

OBSERVACIONES:

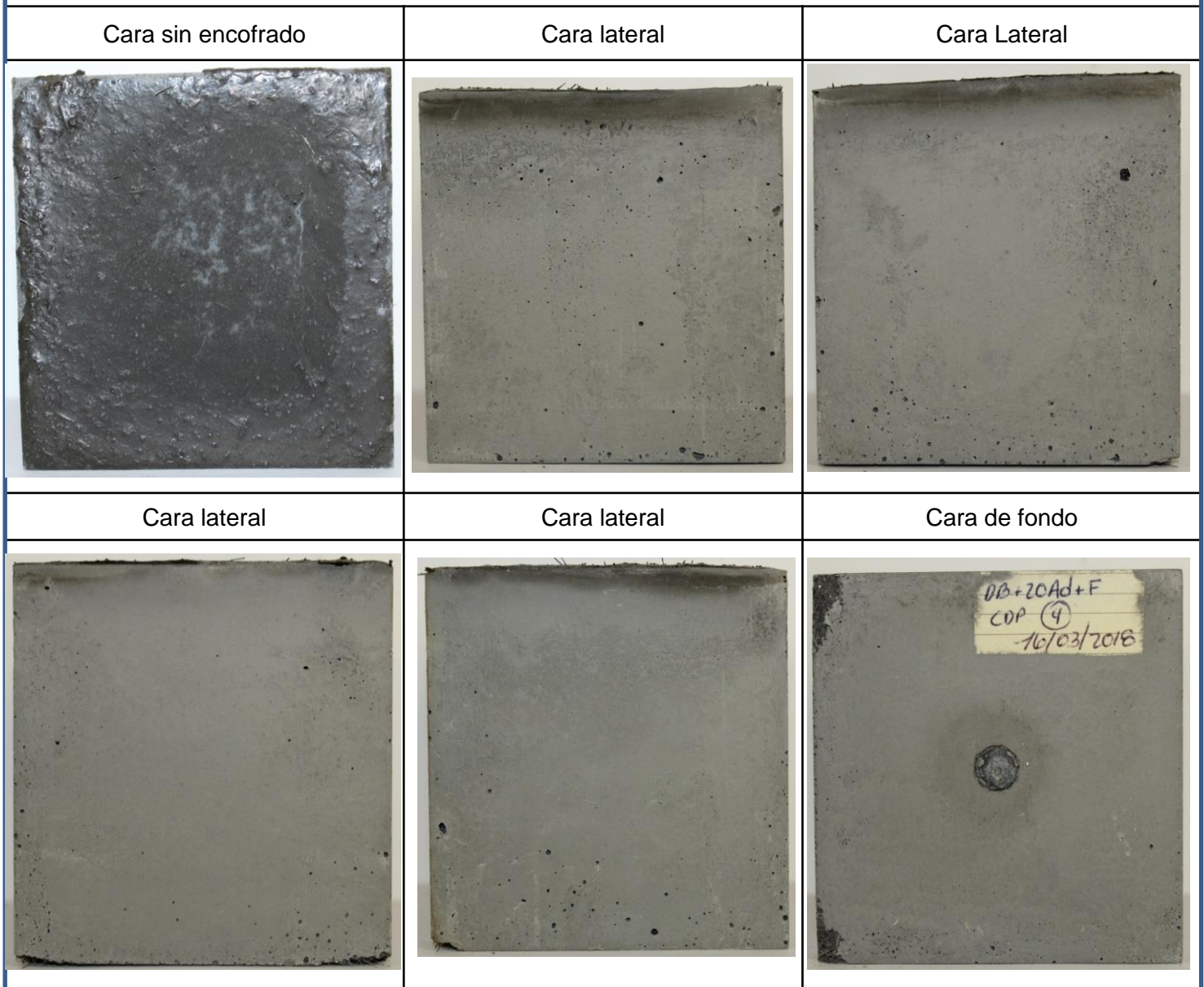


TRABAJO FINAL DE MÁSTER
CALIDAD SUPERFICIAL
DEL HORMIGÓN VISTO DE ULTRA ALTAS PRESTACIONES

Dosificación 35%AF 75%AM (Kg) + 20% de Aditivo (Encofrado de plástico)

Cantidad	Cemento I 42,5 R/SR	Humo de Sílice Elkem Microsilica	Harina de Sílice U-S 500	Arena 0,5 mm (fina)	Arena 0,7-1,2 mm (media)	Agua	Aditivo 20 HE	Fibra 13/0,2
1,2L	0,960	0,210	0,270	0,3624	0,678	0,192	0,0432	0,210

Fotografías



OBSERVACIONES:

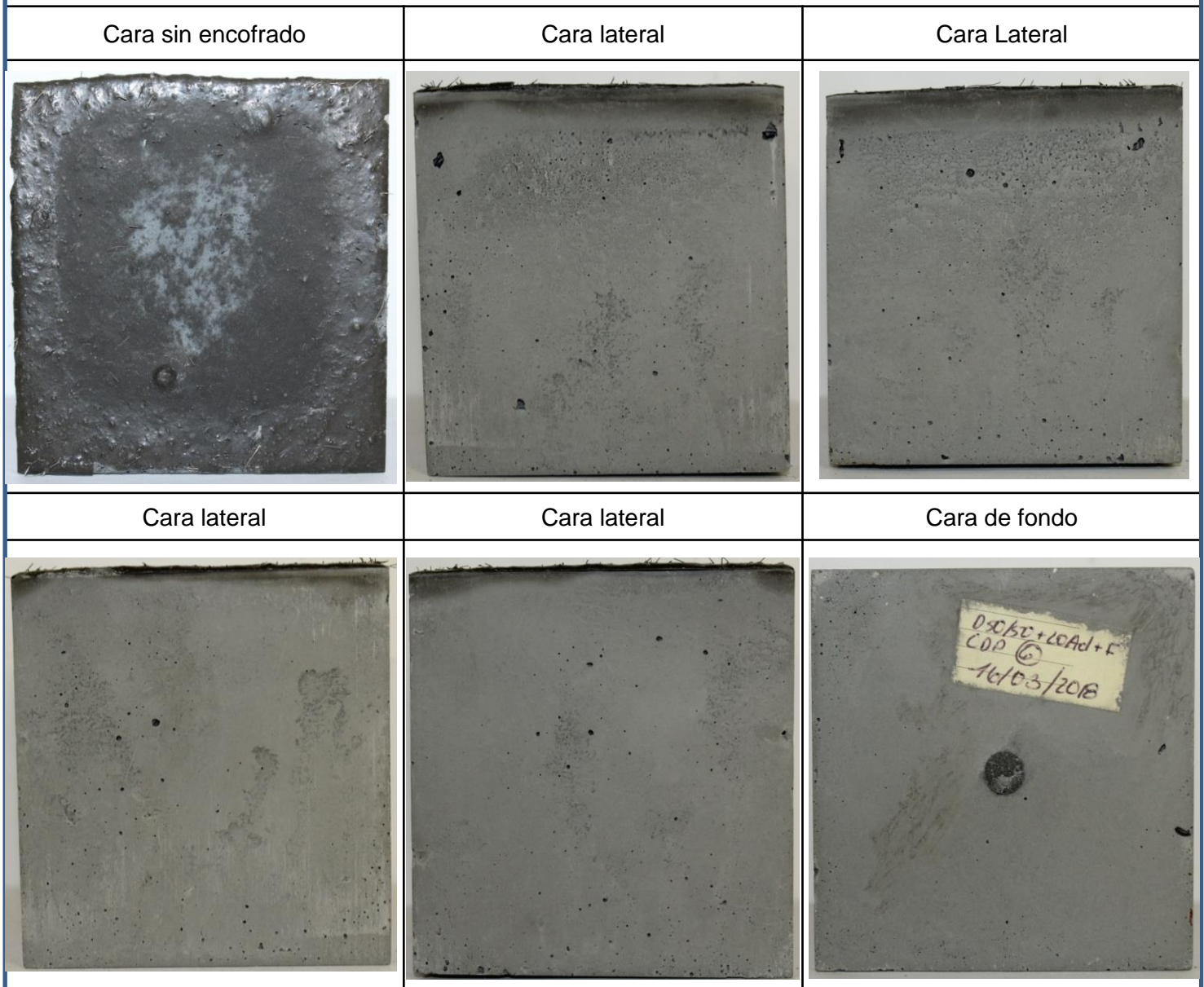


TRABAJO FINAL DE MÁSTER
CALIDAD SUPERFICIAL
DEL HORMIGÓN VISTO DE ULTRA ALTAS PRESTACIONES

Dosificación 50%AF 50%AM + 20% Aditivo (Kg) (Encofrado de plástico)

Cantidad	Cemento I 42,5 R/SR	Humo de Sílice Elkem Microsilica	Harina de Sílice U-S 500	Arena 0,5 mm (fina)	Arena 0,7- 1,2 mm (media)	Agua	Aditivo 20 HE	Fibra 13/0,2
1,2L	0,960	0,210	0,270	0,520 2	0,5202	0,19 2	0,0432	0,210

Fotografías



OBSERVACIONES:



TRABAJO FINAL DE MÁSTER
CALIDAD SUPERFICIAL
DEL HORMIGÓN VISTO DE ULTRA ALTAS PRESTACIONES

Dosificación 50%AF 50%AM + 20% Aditivo (Kg) (Encofrado de madera)

Cantidad	Cemento I 42,5 R/SR	Humo de Sílice Elkem Microsilica	Harina de Sílice U-S 500	Arena 0,5 mm (fina)	Arena 0,7-1,2 mm (media)	Agua	Aditivo 20 HE	Fibra 13/0,2
1,2L	0,960	0,210	0,270	0,5202	0,5202	0,192	0,0432	0,210

Fotografías

Cara sin encofrado



Cara lateral



Cara Lateral



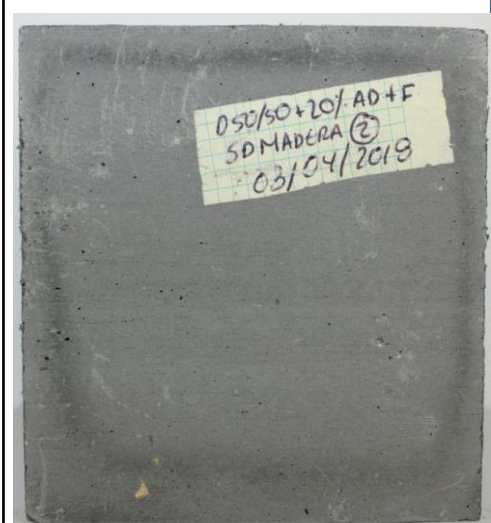
Cara lateral



Cara lateral



Cara de fondo



OBSERVACIONES:



**TRABAJO FINAL DE MÁSTER
CALIDAD SUPERFICIAL
DEL HORMIGÓN VISTO DE ULTRA ALTAS PRESTACIONES**

Dosificación 100%AF + 20 % Aditivo (Kg) (Encofrado de plástico)

Cantidad	Cemento I 42,5 R/SR	Humo de Sílice Elkem Microsilica	Harina de Sílice U-S 500	Arena 0,5 mm (fina)	Arena 0,7-1,2 mm (media)	Agua	Aditivo 20 HE	Fibra 13/0,2
1,2L	0,960	0,210	0,270	1,0404	0	0,192	0,0432	0,210

Fotografías

Cara sin encofrado	Cara lateral	Cara Lateral
Cara lateral	Cara lateral	Cara de fondo

OBSERVACIONES:

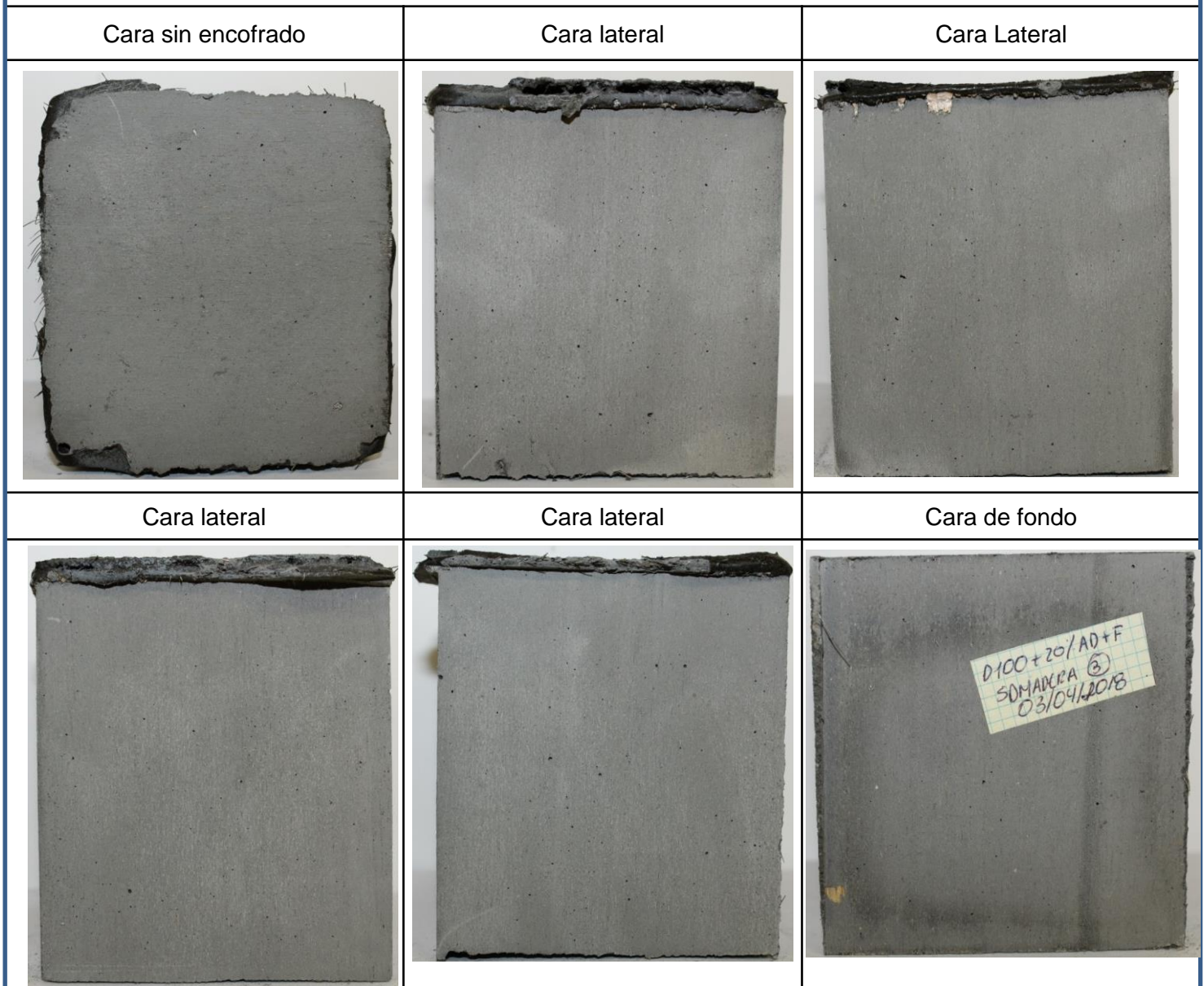


TRABAJO FINAL DE MÁSTER
CALIDAD SUPERFICIAL
DEL HORMIGÓN VISTO DE ULTRA ALTAS PRESTACIONES

Dosificación 100%AF + 20 % Aditivo (Kg) (Encofrado de madera)

Cantidad	Cemento I 42,5 R/SR	Humo de Sílice Elkem Microsilica	Harina de Sílice U-S 500	Arena 0,5 mm (fina)	Arena 0,7-1,2 mm (media)	Agua	Aditivo 20 HE	Fibra 13/0,2
1,2L	0,960	0,210	0,270	1,0404	0	0,192	0,0432	0,210

Fotografías



OBSERVACIONES:



TRABAJO FINAL DE MÁSTER
CALIDAD SUPERFICIAL
DEL HORMIGÓN VISTO DE ULTRA ALTAS PRESTACIONES

Dosificación 35%AF 75%AF compactadas (Kg) (Encofrado de plástico)

Cantidad	Cemento I 42,5 R/SR	Humo de Sílice Elkem Microsilica	Harina de Sílice U-S 500	Arena 0,5 mm (fina)	Arena 0,7-1,2 mm (media)	Agua	Aditivo 20 HE	Fibra 13/0,2
1,2L	0,960	0,210	0,270	0,3624	0,678	0,192	0,036	0,210

Fotografías

Cara sin encofrado	Cara lateral	Cara Lateral
Cara lateral	Cara lateral	Cara de fondo

OBSERVACIONES:



TRABAJO FINAL DE MÁSTER
CALIDAD SUPERFICIAL
DEL HORMIGÓN VISTO DE ULTRA ALTAS PRESTACIONES

Dosificación 50%AF 50%AM compactada (Kg) (Encofrado de plástico)

Cantidad	Cemento I 42,5 R/SR	Humo de Sílice Elkem Microsilica	Harina de Sílice U-S 500	Arena 0,5 mm (fina)	Arena 0,7-1,2 mm (media)	Agua	Aditivo 20 HE	Fibra 13/0,2
1,2L	0,960	0,210	0,270	0,5202	0,5202	0,192	0,036	0,210

Fotografías

Cara sin encofrado	Cara lateral	Cara Lateral
Cara lateral	Cara lateral	Cara de fondo

OBSERVACIONES:



TRABAJO FINAL DE MÁSTER
CALIDAD SUPERFICIAL
DEL HORMIGÓN VISTO DE ULTRA ALTAS PRESTACIONES

Dosificación 100%AF compactada (Kg) (Encofrado plástico)

Cantidad	Cemento I 42,5 R/SR	Humo de Sílice Elkem Microsilica	Harina de Sílice U-S 500	Arena 0,5 mm (fina)	Arena 0,7-1,2 mm (media)	Agua	Aditivo 20 HE	Fibra 13/0,2
1,2L	0,960	0,210	0,270	1,0404	0	0,192	0,036	0,210

Fotografías

Cara sin encofrado	Cara lateral	Cara Lateral
Cara lateral	Cara lateral	Cara de fondo

OBSERVACIONES:



TRABAJO FINAL DE MÁSTER
CALIDAD SUPERFICIAL
DEL HORMIGÓN VISTO DE ULTRA ALTAS PRESTACIONES

Dosificación 35%AF 75%AM + 10% Agua compactada (Kg) (Encofrado de plástico)

Cantidad	Cemento I 42,5 R/SR	Humo de Sílice Elkem Microsilica	Harina de Sílice U-S 500	Arena 0,5 mm (fina)	Arena 0,7-1,2 mm (media)	Agua	Aditivo 20 HE	Fibra 13/0,2
1,2L	0,960	0,210	0,270	0,3624	0,678	0,192	0,036	0,210

Fotografías

Cara sin encofrado	Cara lateral	Cara Lateral
Cara lateral	Cara lateral	Cara de fondo

OBSERVACIONES:



TRABAJO FINAL DE MÁSTER
CALIDAD SUPERFICIAL
DEL HORMIGÓN VISTO DE ULTRA ALTAS PRESTACIONES

Dosificación 100%AF + 10% Agua (Kg) (Encofrado plástico)

Cantidad	Cemento I 42,5 R/SR	Humo de Sílice Elkem Microsilica	Harina de Sílice U-S 500	Arena 0,5 mm (fina)	Arena 0,7-1,2 mm (media)	Agua	Aditivo 20 HE	Fibra 13/0, 2
1,2L	0,960	0,210	0,270	1,0404	0	0,2112	0,036	0

Fotografías

Cara sin encofrado	Cara lateral	Cara Lateral
Cara lateral	Cara lateral	Cara de fondo

OBSERVACIONES: