



UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA
DE CONSTRUCCIONES

Hormigones de altas prestaciones

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:
INGENIERO CIVIL CON ÉNFASIS EN GERENCIA DE CONSTRUCCIONES

Autor:

JUAN CRISTÓBAL MORALES GARCÍA

Director:

JOSÉ FERNANDO VAZQUEZ CALERO

CUENCA, ECUADOR

2016

TABLA DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE FIGURAS.....	v
ÍNDICE DE TABLAS.....	vii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT.....	x
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO 1: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

1.1 Antecedentes.....	2
1.2 Motivación de la investigación.....	2
1.3 Hipótesis.....	3
1.4 Objetivos.....	3
1.4.1 Objetivo general.....	3
1.4.2 Objetivos específicos.....	3
1.5 Metodología.....	4

CAPÍTULO 2: MATERIALES DE LA PASTA DE HORMIGÓN HIDRAÚLICO

2.1 Agregado grueso.....	7
2.2 Agregado fino.....	12
2.3 Agua.....	15

2.4	Conglomerante.....	15
2.4.1	Propiedades físicas.....	16

CAPÍTULO 3: ADITIVOS Y ELEMENTOS DE ADICIÓN EN EL HORMIGÓN

3.1	Aditivos para la pasta de hormigón.....	18
3.2	Elementos de adición en el hormigón.....	18
3.2.1	Escoria de acero producto de la fundición en la acería Andec.....	18
3.2.2	Viruta de acero de transmisión producto de los trabajos en torno.....	20

CAPÍTULO 4: DISEÑO DE MEZCLAS

4.1	Método de diseño de mezclas “A.C.I 211.1”.....	23
4.1.1	Selección del asentamiento.....	23
4.1.2	Selección del tamaño máximo del agregado.....	23
4.1.3	Estimación del contenido de aire.....	24
4.1.4	Estimación del agua de mezclado.....	25
4.1.5	Determinación de la resistencia de diseño.....	26
4.1.6	Selección de la relación agua - cemento.....	27
4.1.7	Cálculo del contenido de cemento.....	29
4.1.8	Estimación de las proporciones de los aditivos.....	30
4.1.9	Estimación de las proporciones de los agregados.....	30
4.1.10	Ajuste por humedad de los agregados.....	33
4.2	Determinación de las propiedades de los materiales en el laboratorio.....	37
4.2.1	Masa unitaria suelta.....	37
4.2.2	Masa unitaria compacta.....	38
4.2.3	Densidad aparente seca.....	39
4.2.4	Absorción.....	44

4.2.5	Humedad natural.....	45
4.3	Determinación de los diseños finales.....	48
4.3.1	Hormigones tradicionales.....	48
4.3.2	Hormigones con escoria de acero.....	50
4.3.3	Hormigones con viruta de acero.....	54

CAPITULO 5: CONFECCIÓN DE LOS HORMIGONES TRADICIONALES, HEA Y HVA

5.1	Preparación de los materiales.....	58
5.2	Equipos.....	59
5.3	Proceso de mezclado.....	60
5.4	Medición de asentamiento.....	60
5.5	Fabricación de las probetas de hormigón.....	61
5.6	Conservación de las muestras.....	61
5.7	Curado.....	62
5.8	Ensayos a compresión en las probetas de hormigón.....	62
5.9	Resultados de las mezclas confeccionadas con escoria seca de acero.....	64
5.10	Resultados de las mezclas confeccionadas con viruta de acero.....	73

CONCLUSIONES.....	82
--------------------------	-----------

BIBLIOGRAFÍA.....	85
--------------------------	-----------

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Curva granulométrica agregado 3/4"	8
Figura 2.2: Foto granulometría agregado 3/4"	8
Figura 2.3: Curva granulométrica agregado 1½"	9
Figura 2.4: Foto granulometría agregado 1½"	10
Figura 2.5: Curva granulométrica escoria de acero 1½"	11
Figura 2.6: Foto granulometría escoria de acero 1½"	11
Figura 2.7: Curva granulométrica arena.....	12
Figura 2.8: Foto granulometría arena.....	13
Figura2.9: Curva granulométrica viruta de acero.....	14
Figura 2.10: Foto granulometría viruta de acero.....	15
Figura 2.11: Comparativo de resistencias.....	17
Figura 3.1: Escoria de acero de la fase de fusión.....	20
Figura 3.2: Viruta de acero proveniente del taller de torno.....	21
Figura 4.1: Correspondencia entre resistencia a los 28 días de edad y la relación a/c.....	28
Figura 4.2: Estados de humedad de los agregados.....	33
Figura 4.3: Materiales en estado saturado 24 horas.....	39
Figura 4.4: Escoria colocada en la canastilla y pesada bajo el agua.....	40
Figura 4.5: Materiales fuera del horno cumplidas 24 horas.....	40

Figura 4.6: Arena saturada de agua por 24 horas	41
Figura 4.7: Arena en estado superficialmente seco.....	42
Figura 4.8: Análisis de la muestra en el picnómetro.....	42
Figura 4.9: Muestras de los materiales en condiciones normales.....	45
Figura 4.10: Muestras de los materiales 24 horas después del horno.....	46
Figura 5.1: Pruebas de compresión	62
Figura 5.2: Resistencia hormigón 1½".....	69
Figura 5.3: Resistencia hormigón 100% escoria de acero.....	69
Figura 5.4: Resistencia hormigón 75% escoria de acero.....	70
Figura 5.5: Resistencia hormigón 50% escoria de acero.....	70
Figura 5.6: Resistencia hormigón 25% escoria de acero.....	71
Figura 5.7: Comparativo de resultados finales escoria seca de acero.....	72
Figura 5.8: Resistencia hormigón ¾".....	78
Figura 5.9: Resistencia hormigón 50% viruta de acero.....	78
Figura 5.10: Resistencia hormigón 40% viruta de acero.....	79
Figura 5.11: Resistencia hormigón 30% viruta de acero.....	79
Figura 5.12: Resistencia hormigón 20% viruta de acero.....	80
Figura 5.13: Comparativo de resultados finales viruta de acero.....	83

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Granulometría agregado 3/4".....	7
Tabla 2.2: Granulometría agregado 1½".....	9
Tabla 2.3: Granulometría escoria de acero 1½".....	10
Tabla 2.4: Granulometría arena.....	12
Tabla 2.5: Granulometría viruta de acero.....	14
Tabla 2.6: Requisitos físicos del cemento Holcim.....	16
Tabla 4.1: Asentamientos recomendados.....	23
Tabla 4.2: Cantidad aproximada de aire esperado en el concreto.....	24
Tabla 4.3: Requerimientos aproximados de agua de mezclado para diferentes asentamientos y tamaños máximos de agregado con partículas de forma angular y textura rugosa.....	25
Tabla 4.4: Requerimientos aproximados de agua de mezclado para diferentes asentamientos y tamaños máximos de agregado con partículas de forma redonda y textura lisa.....	26
Tabla 4.5: Resistencia requerida cuando no existen datos.....	27
Tabla 4.6: Correspondencia entre resistencia a los 28 días de edad y relación a/c.....	28
Tabla 4.7: Contenido de cemento.....	29
Tabla 4.8: Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto.....	31
Tabla 4.9 : Peso seco y volumen absoluto de los ingredientes por metro cubico de concreto (escoria de acero).....	32

Tabla 4.10: Peso seco y volumen absoluto de los ingredientes por metro cubico de concreto (viruta de acero).....	33
Tabla 4.11: Masa unitaria suelta de los materiales.....	38
Tabla 4.12: Masa unitaria compacta de los materiales.....	38
Tabla 4.13: Densidad aparente seca de los materiales del procedimiento N°1	43
Tabla 4.14: Densidad aparente seca procedimiento N°2.....	44
Tabla 4.15: Absorción de los materiales.....	45
Tabla 4.16: Humedad de los materiales.....	47
Tabla 5.1: Peso volumétrico de las probetas de hormigón con escoria de acero.....	71
Tabla 5.2: Peso volumétrico de las probetas de hormigón con viruta de acero.....	80

HORMIGONES DE ALTAS PRESTACIONES

RESUMEN

La importancia de este proyecto está enfocada en evaluar las prestaciones físicas y mecánicas de hormigones realizados con agregados gruesos y finos diferentes a lo común. Para la elaboración de estos hormigones se utilizó como agregado grueso escoria seca de acero, material que es producto del proceso de fundición, por otro lado para el agregado fino se utilizó viruta de acero, material producto de trabajos realizados en talleres industriales, estos materiales son considerados como desperdicio. Para la aplicación de estos materiales se procedió con un proceso de trituración y selección, seguidamente se realizaron diez diseños de hormigón en total, se confeccionaron y se realizó los ensayos a compresión obteniendo como resultado hormigones de altas resistencias, comprobando así que estos materiales pueden ser totalmente aplicables.

Palabras Clave: Hormigón, aditivos, escoria de acero, viruta de acero.



José Fernando Vázquez Calero

Director de Tesis



Paúl Cornelio Cordero Díaz

Director de Escuela



Juan Cristóbal Morales García

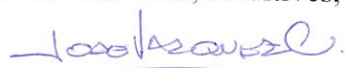
Autor

HIGH PERFORMANCE CONCRETE

ABSTRACT

The importance of this project aims at evaluating the physical and mechanical performance of concrete made with coarse and fine aggregates different from the ordinary. For the preparation of these types of concretes, dry steel slag was used as coarse aggregate; material which is the product of the smelting process. On the other hand, steel swarf or shavings was used for fine aggregate. This material is considered as waste, and is the product of work done in industrial workshops. For the application of these materials, a grinding process and selection process was carried out. Next, ten designs of concrete in total were made. Then, compression test were prepared and conducted, resulting in high-strength concrete; thus proving that these materials can be fully applicable.

Keywords: Concrete, Additives, Steel Slag, Steel Swarf.



José Fernando Vázquez Calero
Thesis Director



Paúl Cornelio Cordero Díaz
School Director



Juan Cristóbal Morales García
Author



UNIVERSIDAD DEL
AZUAY
Dpto. Idiomas
Translated by,
Lic. Lourdes Crespo

Morales García Juan Cristóbal

Trabajo de Titulación

Ing. José Fernando Vázquez Calero Ms.

Junio, 2016

HORMIGONES DE ALTAS PRESTACIONES

INTRODUCCIÓN

En el ámbito de la construcción, en la ciudad de Cuenca siempre se ha tenido como prioridad el uso de métodos constructivos comunes en nuestro medio, empleando un hormigón llamado tradicional que contempla una resistencia mínima a la compresión $f'c = 21MPa$ y una máxima $f'c = 35MPa$ (Norma Ecuatoriana de la construcción (NEC), Copyright © 2014. All Rights Reserved), por lo que es necesario buscar otra alternativa para llevar una construcción más eficiente tanto en métodos constructivos, optimización de material, mantenimiento, transporte, peso y una resistencia que supere notablemente a lo que vendría a ser tradicional, todo esto utilizando hormigones con distintas cualidades, ya sea incorporando aditivos o elementos adicionales al hormigón común, que sean totalmente útiles y eficientes al momento de su aplicación, innovando la manera en la que se realiza la construcción actual. La utilización de estos hormigones dependerá de la competitividad de los productos en cuanto a balance, resistencias y costos que brindan los hormigones tradicionales en nuestro medio. En resumen este capítulo presenta los antecedentes del proyecto, alcance, motivación de la investigación, hipótesis, objetivos y metodología del proyecto de tesis.

CAPÍTULO 1

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

1.1 Antecedentes

El acero es el resultado de la aleación de hierro (Fe) con carbono (C) en diversas cantidades (del 0,008% al 2,14%) y otros elementos, que según su porcentaje ofrecen características específicas para determinadas aplicaciones, como lo es el cobre(Cu), níquel (Ni) entre otros. Entre los principales países que producen acero se encuentran: China, Japón, Estados Unidos, Corea del Sur, Rusia, Brasil, Alemania entre otros, en el Ecuador el acero se importa en forma de palanquillas para ser laminadas y comercializadas. Es por eso que en la primera empresa siderúrgica del país ANDEC (ACERIAS NACIONALES DEL ECUADOR) se empezó a realizar la fundición de acero a través de hornos de arco eléctrico, de este proceso se obtiene la escoria que se utilizará para la elaboración de los hormigones de altas prestaciones. La viruta de acero, es otro material residual con una forma de lámina curvada o espiral que proviene de los establecimientos industriales que realizan trabajos en tornos, fresadoras y taladros.

1.2 Motivación de la investigación

Dar a conocer una opción constructiva poco usada en nuestro medio para el desarrollo de la ciudad de Cuenca, fomentando el uso de estos hormigones y dando a conocer sus resultados y beneficios, siendo éstos los que reúnen diversas cualidades que mejoran su comportamiento en diferentes facetas con respecto a un hormigón tradicional.

1.3 Hipótesis

Al introducir los distintos tipos de aditivos y elementos adicionales como la escoria y viruta de acero se lograrán hormigones con altas resistencias, estructurales y liviano.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Estudiar y determinar las bondades del hormigón, ya sea con aditivos o materiales adicionales diferentes a los que comúnmente se emplean en el mismo, con la finalidad de establecer los múltiples usos de dichos hormigones. De esta manera se pretende innovar los métodos y procesos con los que se lleva la construcción actual en nuestro medio.

1.4.2 Objetivos específicos

- Diseñar y confeccionar mezclas de hormigones con aditivos plastificantes, reductores de agua, arena, cemento y escoria seca de acero, la misma que será utilizada como agregado grueso de tamaño máximo nominal de 1 ½", siendo éste el hormigón liviano.
- Diseñar y confeccionar mezclas de hormigones con aditivos plastificantes, reductores de agua, arena, cemento, agregado grueso de 3/4" y viruta de acero, la misma que será utilizada como agregado fino junto con la arena en distintos porcentajes, siendo éste el hormigón resistente.
- Conocer el desempeño de los hormigones mediante la elaboración de probetas cilíndricas realizadas en el laboratorio.

1.5 Metodología

Para llegar a los objetivos propuestos, se procederá a realizar una caracterización de la escoria y viruta de acero por medio de procesos de obtención y muestreo, de los cuales se conocerán las diferentes propiedades de los materiales, se diseñarán diferentes muestras de hormigones de altas resistencias, siendo éstos, los patrones para el diseño de los hormigones con escoria y viruta de acero. Los materiales que se usarán en las mezclas en los que incorporan nuevos elementos son:

- **Conglomerante:**

Cemento Portland, marca Holcim tipo GU, norma NTE INEN 2380.

- **Materia prima:**

Agua de la ciudad de Cuenca.

- **Agregado grueso:**

1. Grava triturada de tamaño máximo nominal de $\frac{3}{4}$ " de la cantera llamada Rocazul, la misma que se encuentra ubicada en la provincia del Azuay.
2. Escoria seca de acero con tamaño máximo nominal de $1\frac{1}{2}$ " , obtenida en el proceso de fundición en horno de arco eléctrico.
3. Grava triturada de tamaño máximo nominal de $1\frac{1}{2}$ " de la misma cantera antes mencionada.

- **Agregado fino:**

1. Arena gruesa del rio Santa Isabel – Azuay.
2. Viruta de acero triturada, obtenida de una de las mecánicas industriales de la ciudad de Cuenca, esta viruta proviene de trabajos realizados en acero de transmisión para vehículos de carga pesada principalmente.

- **Aditivos:**

Aditivos reductores de agua de alto rango y súperplastificantes que trabajan con una relación agua-cemento baja, alta fluidez y ayudan a llegar a resistencias mayores en un pequeño lapso de tiempo.

Una vez concluido los diseños de las mezclas de hormigón se elaborarán tres probetas cilíndricas para cada mezcla de hormigón con escoria de acero, realizando los ensayos de la siguiente manera:

- Un ensayo a los siete días.
- Un ensayo a los catorce días.
- Un ensayo a los veinte y ocho días.

Para el hormigón con viruta de acero se realizarán tres probetas cilíndricas por cada mezcla, efectuándose los ensayos de la siguiente manera:

- Un ensayo a los siete días.
- Un ensayo a los catorce días.
- Un ensayo a los veintiocho días.

Para el caso de los hormigones tradicionales de tamaño máximo nominal de 1 ½ " y de 3/4" se realizarán tres probetas cilíndricas por cada mezcla, estas probetas servirán para comparar las propiedades de los hormigones tradicionales con los hormigones de altas prestaciones, efectuándose los ensayos de la siguiente manera:

- Un ensayo a los siete días.
- Un ensayo a los catorce días.
- Un ensayo a los veintiocho días.

La realización de los ensayos se basará en la norma ASTM de la siguiente manera:

- ASTM C 29 – Resistencia a la compresión.

Finalizando con los ensayos propuestos tomaremos como mejor opción aquella que cumpla con la mejor resistencia y menor costo, de tal manera que pueda competir con un hormigón tradicional.

CAPÍTULO 2

MATERIALES DE LA PASTA DE HORMIGÓN HIDRÁULICO

El hormigón, tal como se lo conoce en la actualidad, es un material constituido por árido grueso, árido fino y agua; constituido básicamente por rocas (agregado grueso), de tamaño máximo limitado, que cumplen ciertas condiciones en cuanto a sus características mecánicas, químicas y granulométricas, arena (agregado fino) al igual que el anterior cumpliendo con los diferentes parámetros en su clase y unidos entre sí por una pasta aglomerante hidráulica formada por un conglomerante (cemento) y agua.

2.1 Agregado grueso

El agregado grueso es triturado con un tamaño máximo nominal de 3/4" proveniente de la cantera de Rocazul con ubicación muy cercana a la ciudad de Cuenca.

Tabla 2.1: Granulometría agregado de 3/4"

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					
PROYECTO:	TESIS HORMIGONES DE ALTAS PRESTACIONES				
MATERIAL:	GRAVA 3/4"				
FECHA:	14 DE OCTUBRE DEL 2015				
Nº TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	PESO RETENIDO ACUMULADO (gr)	% RETENIDO	%PASANTE
1"	25.1	0	0	0	100
3/4"	19.1	277	277	9,29	90,71
1/2"	12,7	1784	2061	69,09	30,91
3/8"	9,52	591,00	2652	88,90	11,10
Nº 4	4,76	331,00	2983	100,00	0,00
PASA Nº 4		17,00	3000		

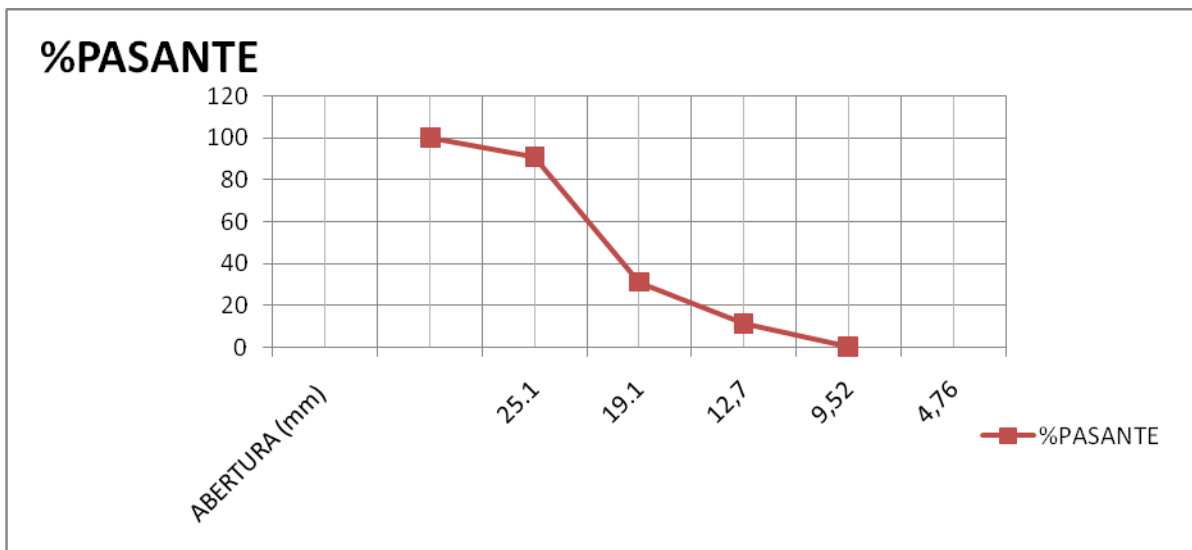


Figura 2.1: Curva granulométrica agregado de 3/4"



Figura 2.2: foto granulometría agregado 3/4"

El agregado grueso es triturado con un tamaño máximo nominal de 1 ½ " proveniente de la cantera de Rocazul con ubicación muy cercana a la ciudad de Cuenca.

Tabla 2.2: Granulometría agregado de 1 ½"

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					
PROYECTO:	TESIS HORMIGONES DE ALTAS PRESTACIONES				
MATERIAL:	GRAVA 1 ½"				
Nº TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	PESO RETENIDO ACUMULADO (gr)	% RETENIDO	%PASANTE
2"	50,8	0	0	0	100
1 ½"	38,1	143	143	4,77	95,23
1"	25.1	1356	1499	49,98	50,02
¾"	19.1	922	2421	80,73	19,27
½"	12,7	494	2915	97,20	2,80
3/8"	9,52	78,00	2993	99,80	0,20
Nº 4	4,76	6,00	2999	100,00	0,00

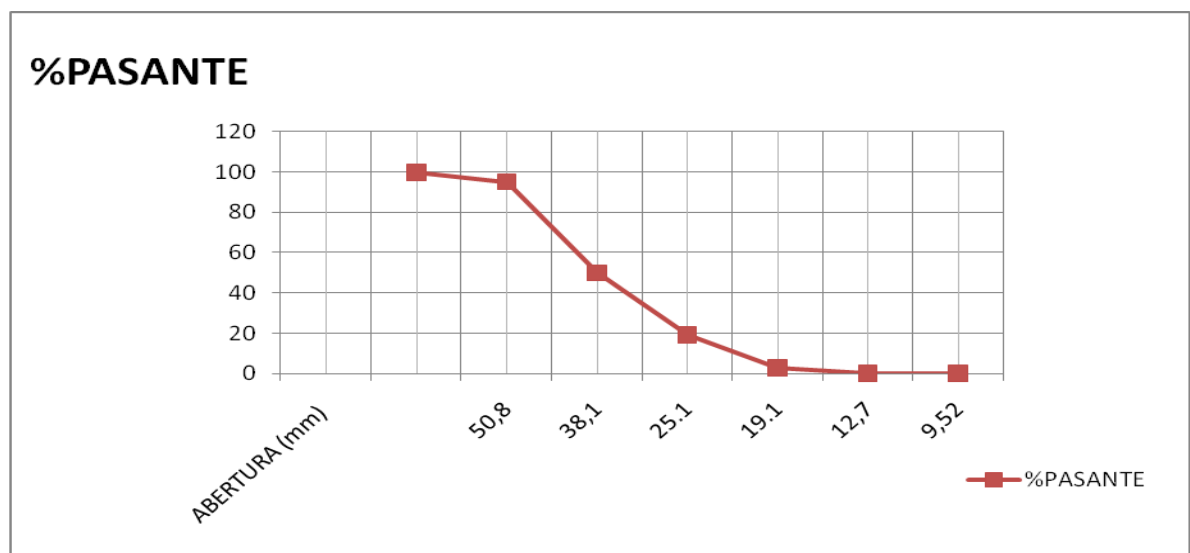


Figura2. 3: Curva granulométrica agregado de 1 ½"



Figura 2.4: Foto granulometría agregado 1 1/2"

La escoria de acero se trituró para obtener un tamaño máximo nominal de 1 1/2", este material se obtuvo en la acería ANDEC en la ciudad de Guayaquil.

Tabla 2.3: Granulometría escoria de acero de 1 1/2"

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					
Nº TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	PESO RETENIDO ACUMULADO (gr)	% RETENIDO	%PASANTE
2"	50,8	0	0	0	100
1 1/2"	38,1	410	410	13,69	86,31
1"	25.1	548	958	31,99	68,01
3/4"	19.1	413	1371	45,78	54,22
1/2"	12,7	533	1904	63,57	36,43
3/8"	9,52	263,00	2167	72,35	27,65
Nº 4	4,76	461,00	2628	87,75	12,25
Nº 8	2,36	190,00	2818	94,09	5,91
Nº 16	1,19	97,00	2915	97,33	2,67
Nº 30	0,59	66,00	2981	99,53	0,47
Nº 50	0,297	14,00	2995	100,00	0,00
Nº 100	0,149	0,00	2995,00	100,00	0,00
Nº 200	0,074	0,00	2995,00	100,00	0,00

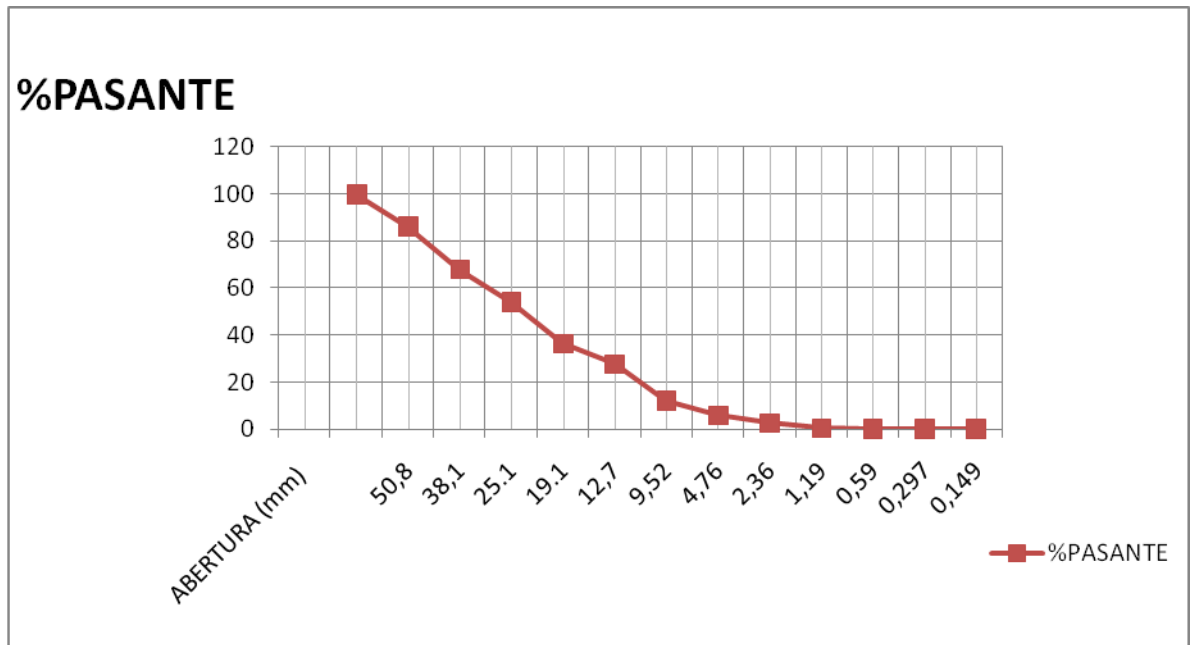


Figura 2.5: Curva granulométrica escoria de acero de 1 1/2"



Figura 2.6: Foto granulometría escoria de acero de 1 1/2"

2.2 Agregado fino

La arena que se utilizará en las mezclas de hormigón proviene del río Santa Isabel – Azuay.

Tabla 2.4: Granulometría arena

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					
PROYECTO:	TESIS HORMIGONES DE ALTAS PRESTACIONES				
MATERIAL:	ARENA				
Nº TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	PESO RETENIDO ACUMULADO (gr)	% RETENIDO	%PASANTE
3/8"	9,52	-	-	-	100,00
Nº 4	4,76	31,00	31,00	7,08	92,92
Nº 8	2,36	76,00	107,00	24,43	75,57
Nº 16	1,19	68,00	175,00	39,95	60,05
Nº 30	0,59	106,00	281,00	64,16	35,84
Nº 50	0,297	108,00	389,00	88,81	11,19
Nº 100	0,149	39,00	428,00	97,72	2,28
Nº 200	0,074	8,00	436,00	99,54	0,46
PASA Nº200	0,074	2,00			

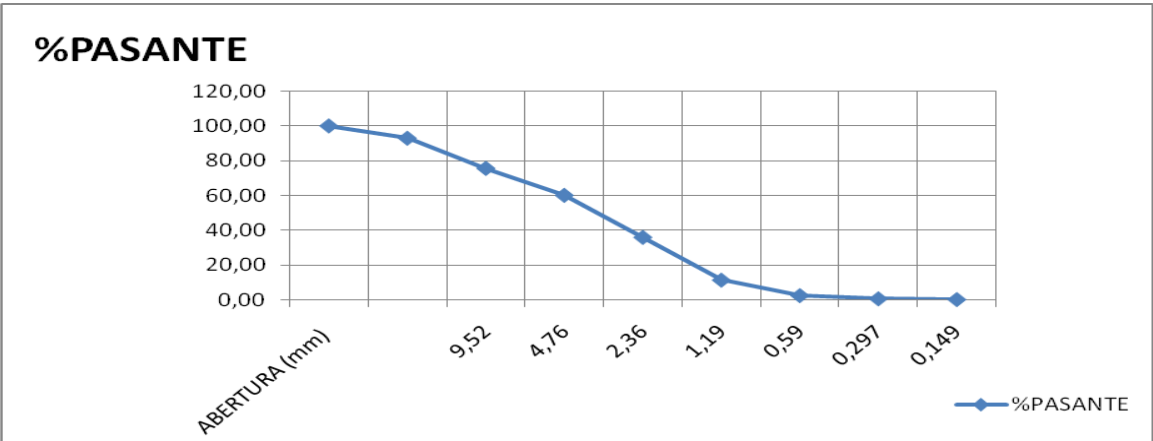


Figura 2.7: Curva granulométrica arena



Figura 2.8: Foto granulometría arena

Si el módulo de finura de una arena es de 2.3 se trata de una arena fina; si el módulo se encuentra entre 2.3 a 3.1 se trata de una arena mediana, y finalmente si el módulo es mayor de 3.1 se trata de una arena gruesa, en este caso el módulo de finura es de 3,22 por lo que estamos tratando con una arena gruesa. La viruta de acero que se utilizará pasó por un proceso de trituración y su granulometría es la que se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 2.5: Granulometría viruta de acero

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					
PROYECTO:	TESIS HORMIGONES DE ALTAS PRESTACIONES				
MATERIAL:	VIRUTA DE ACERO				
Nº TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	PESO RETENIDO ACUMULADO (gr)	% RETENIDO	%PASANTE
3/4"	19,1	0,00	0	0	100
1/2"	12,7	9,00	9,00	1,83	98,17
3/8"	9,52	28,00	37,00	7,51	92,49
Nº 4	4,76	113,00	150,00	30,43	69,57
Nº 8	2,36	196,00	346,00	70,18	29,82
Nº 16	1,19	123,00	469,00	95,13	4,87
Nº 30	0,59	23,00	492,00	99,80	0,20
Nº 50	0,297	1,00	493,00	100,00	0,00
Nº 100	0,149	0,00	493,00	100,00	0,00
Nº 200	0,074	0,00	493,00	100,00	0,00

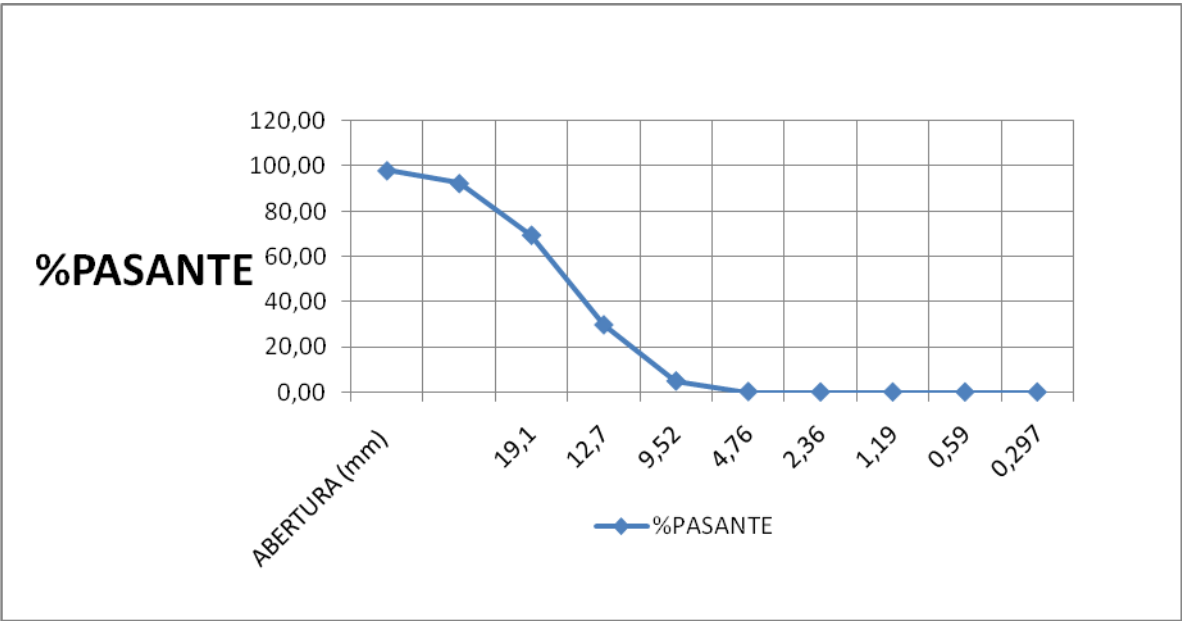


Figura 2.9: Curva granulométrica viruta de acero



Figura 2.10: Foto granulometría viruta de acero

2.3 Agua

El agua que va a ser usada en este proyecto viene del uso doméstico de la ciudad de Cuenca, que cumple con todas las especificaciones dadas por la norma INEN, para su uso en mezclas de hormigones.

2.4 Conglomerante

Cemento Portland, marca Holcim tipo GU, norma ASTM C150.

En la norma ecuatoriana se define al cemento Portland como un “Cemento hidráulico producido por la pulverización del clinker, consistente esencialmente de silicatos de calcio hidráulicos, conteniendo usualmente una o más de las formas del sulfato de calcio como adición de molienda” (NTE INEN 152). El cemento Holcim Rocafuerte tipo GU es

un cemento hidráulico para la construcción en general, fabricado bajo la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2380 equivalente a la norma ASTM C-1157, esta norma permite que existan cementos adicionados que minimizan el impacto ambiental y dan como resultado un uso eficiente de las materias primas, reciclados y de subproductos de otros materiales.

2.4.1 Propiedades físicas

La información que consta en el cuadro corresponde al promedio de los datos obtenidos del cemento típico despachado por Holcim. (A) Limite no especificado por la NTE INEN.

Tabla 2.6: Requisitos físicos del cemento Holcim

Requisitos Físicos	INEN 2380	Valor referencial
Tiempo de fraguado, método de Vicat		
Inicial, no menos de, minutos	45	220
Inicial, no más de, minutos	420	318
Contenido de aire del mortero, en volumen, %	A	3,2
Resistencia a la compresión, mínimo Mpa		
1 día	A	9
3 días	13	18
7 días	20	23
28 días	28	30

Folleto cemento Holcim GU

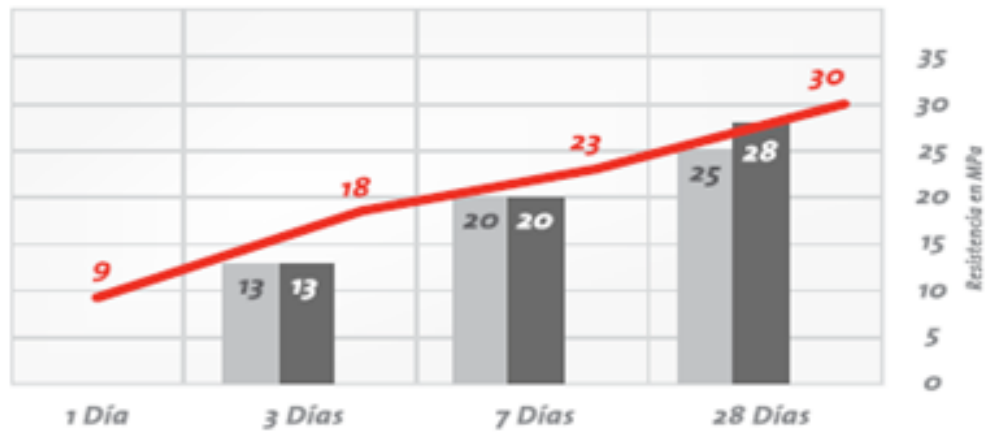


Figura 2.11: Comparativo de resistencias (folleto cemento Holcim GU)

En el gráfico anterior se puede observar los comparativos entre las normas INEN 490, INEN 2380 y los resultados que da el cemento Holcim.

- NTE INEN 490 Cemento tipo IP.
- NTE INEN 2380 Cemento tipo GU.
- Cemento Holcim tipo GU.

CAPÍTULO 3

ADITIVOS Y ELEMENTOS DE ADICIÓN EN EL HORMIGÓN

3.1 Aditivos para la pasta de hormigón

Aditivo Viscocrete 2100 de Sika

El aditivo ViscoCrete 2100 es un aditivo reductor de agua de alto rango y superplastificante que puede reducir gradualmente la demanda de agua (hasta un 30%) cuando se trabaja con relaciones agua – cemento de 0,30 a 0,45, tiene excelentes propiedades con los agregados finos, una óptima cohesión y alto comportamiento autocompactante. Este aditivo actúa por diferentes mecanismos gracias a la absorción superficial y el efecto de separación espacial sobre las partículas de cemento (paralelos al proceso de hidratación) obteniéndose una elevada reducción de agua que trae consigo una alta densidad y resistencia, aumento de la cohesión en la producción de concreto, alta impermeabilidad y una excelente fluidez lo que reduce el esfuerzo de colocación y vibrado.

3.2 Elementos de adición en el hormigón

3.2.1 Escoria de acero producto de la fundición en la asería Andec

Para la obtención de la escoria siderúrgica se empieza con un proceso de clasificación de ferroaleaciones y chatarra de acero, siendo éstos los elementos principales para el desarrollo de la escoria. Una vez realizada la clasificación se procede con las dos fases que contemplan el proceso de producción, la fase de fusión y la fase de afino, las mismas que se indican a continuación para un mejor entendimiento del proceso:

- **Fase de fusión:**

Para la fase de fusión se comienza con el vertido de la chátara en el horno de arco eléctrico, este horno tiene una forma casi circular con un diámetro aproximado de 4.3m, la potencia aplicada en el horno es de 18.2 mega watts y su temperatura va de los 1500 a 1600 °C. A continuación tres electrodos de grafito entran en trabajo para generar un salto de arco eléctrico con la chatarra, esta reacción es similar a un proceso de soldadura, resultado de esto la materia prima pasa de un estado sólido a líquido denominado fusión.

Posterior a la fusión del material se da un proceso de doble escoriado, el cual a su vez está formado por dos fases. En la primera fase del escoriado se inyecta a la misma vez oxígeno y carbón al horno de arco eléctrico, como resultado se genera una escoria de contextura espumosa de carbono y fosforo; y, al mismo tiempo se produce la oxidación de los materiales principales como el silicio, magnesio, hierro, azufre, entre otros materiales, a esta escoria se le da el nombre de escoria básica oxidante.

- **Fase de afino:**

En la fase de afino se introduce al horno de arco eléctrico cal cálcica y cal dolomita, estos elementos reaccionan con el material fundente y producen un metal con bajo contenido de oxígeno y elimina la mayor parte del azufre, finalmente para que su desoxidación este completa se añade ferroaleaciones como magnesio y silicio los mismos que crean óxido de magnesio y óxido de silicio, éstos forman partículas livianas que ascienden a la superficie y son consideradas como otro tipo de escoria.

Para finalizar el proceso se retira los dos tipos de escoria, la básica oxidante y la reductora (la que sube a la superficie en la fase de afinado) hacia un lugar destinado para el material donde se deja enfriar por un periodo de dos días para su posterior manejo; cabe recalcar que en un proceso de fundición el porcentaje de material conocido como escoria llega hasta un 10% de la producción total.

Para el desarrollo de la tesis nos centraremos en la escoria proveniente de la fase de fusión ya que ésta es la que se presenta en mayor cantidad y es de forma granular, semejándose a un árido triturado; mientras que la escoria proveniente por la fase de afino es de consistencia fina semejándose a la consistencia del cemento por lo que no es útil para el hormigón que se pretende realizar.



Proceso de tratado de la escoria de acero



Figura 3.1: Escoria de acero de la fase de fusión

3.2.2 Viruta de acero de transmisión producto de los trabajos en torno

La fabricación mecánica con desprendimiento de viruta, es un proceso de mecanizado, que consiste en separar material de una pieza fabricada previamente, en este caso se trata de acero de transmisión, material utilizado para realizar múltiples partes y piezas de maquinaria y vehículos de carga pesada. El nombre que se le da a esta operación se da debido a que surge el desprendimiento o separación del material en forma de viruta.

La viruta en general es un desperdicio que se produce en los talleres por los múltiples trabajos realizados y su manejo no siempre es adecuado, este material comúnmente es destinado a los rellenos sanitarios por su ínfimo costo en lugares de reciclaje, por este motivo se analizó la posibilidad de utilizar este material con un fin mucho más práctico, otro factor a considerar es el tipo de material, el mismo que al ser acero tiene muchas propiedades que nos pueden servir al momento de realizar los hormigones y eso es lo que se pretende probar a través de las muestras.



Figura 3.2: Viruta de acero proveniente del taller de torno

CAPÍTULO 4

DISEÑO DE MEZCLAS

El diseño de mezclas es un proceso que va desde la selección de los materiales disponibles (cemento, agregado grueso y fino, agua, aditivos, elementos adicionales) y la determinación de sus cantidades relativas para producir hormigón con un grado específico de manejabilidad, que al endurecer a una velocidad apropiada adquiera propiedades de resistencia, durabilidad, peso unitario, estabilidad de volumen y apariencia óptima. Las propiedades que se obtienen en este proceso dependen de las características de cada ingrediente usado en la mezcla. Para el desarrollo en el diseño de las mezclas se utilizará el método del A.C.I. 211.1, en el procedimiento descrito en A.C.I. 211.1; se detallan dos métodos para proporcionar mezclas de concreto de peso normal y densidad, el primer método está basado en un peso estimado del concreto por volumen unitario, mientras que el segundo se concentra en el cálculo del volumen absoluto ocupado por los componentes del concreto, el método a utilizarse será el primer método. Los métodos descritos en el A.C.I. 211.1 proporcionan una aproximación preliminar de las cantidades de materiales necesarios para elaborar la mezcla de concreto, que luego deben ser verificadas mediante mezclas de prueba en el laboratorio y a fin de efectuar los ajustes necesarios como correcciones por humedad con el propósito de lograr las características deseadas en el concreto fresco y endurecido.

4.1 Método de diseño de mezclas “A.C.I. 211.1”

4.1.1 Selección del asentamiento

En la selección del asentamiento se ha llegado a considerar una docilidad media de 75 ± 3 mm, utilizada en hormigones de armado normal sin vibraciones y secciones muy armadas con vibración en el cual su sistema colocación en general es de manera manual, todo esto considerando el medio en el que podemos aplicar los hormigones que están en proceso de diseño.

Tabla 4.1: Asentamientos recomendados

CONSISTENCIA	ASENTAMIENTO (mm)	USOS
Muy seca	0 - 20 mm	Hormigón vibrado para carreteras o secciones grandes.
Seca	20 - 35 mm	Cimentaciones de hormigón en mesa sin vibración o secciones armadas sencillas
Media	50 - 100 mm	Hormigón armado normal sin vibraciones y secciones muy armadas
Húmeda	100 - 150 mm	Secciones excesivamente armadas

4.1.2 Selección del tamaño máximo del agregado

De acuerdo con el método del A.C.I. 211, los agregados bien graduados con mayor tamaño máximo tienen menos vacíos y menor área superficial que los de menor tamaño máximo, por consiguiente, el agregado debe ser el mayor disponible económicamente y estar acorde a las dimensiones de la estructura. Para el desarrollo del presente proyecto de tesis se tiene previsto realizar las muestras de hormigón con los siguientes tamaños máximos de agregado:

1. Hormigón con escoria de acero: para la elaboración de este hormigón se tiene previsto utilizar la escoria con un tamaño máximo de agregado de $1\frac{1}{2}$ " (38,1mm), este será obtenido mediante un proceso de trituración de la escoria seca de manera que se asemeje lo mayor posible a un árido triturado.
2. Hormigón con viruta de acero: en el caso de este hormigón se tiene previsto utilizar un tamaño máximo de agregado de $3/4$ " (19,0mm).

4.1.3 Estimación del contenido de aire

Cuando el proceso de mezclado del hormigón comienza, es natural que un porcentaje de aire quede atrapado en la mezcla, en el método del A.C.I. 211 nos indica niveles recomendados de aire para distintos tipos de exposición ya sea natural, ligera, moderada o severa, en nuestro caso de estudio nos enfocaríamos en una exposición natural debido a que no tratamos de aumentar el contenido de aire en el hormigón y el medio en el que nos encontramos no está expuesto a agentes de congelación y deshielo; sin embargo para fines prácticos no se tomará en consideración este dato siendo un valor de 0 por ser muestras de probetas.

Tabla 4.2: Cantidad aproximada de aire esperado en concreto para diferentes tamaños máximos de agregados

Tamaño máximo nominal del agregado		Contenido de aire en porcentaje (por volumen)			
		Naturalmente atrapado	Exposición ligera	Exposición moderada	Exposición severa
mm	pulg				
9,51	3/8	3,0	4,5	6,0	7,5
12,70	½	2,5	4,0	5,5	7,0
19,00	¾	2,0	3,5	5,0	6,0
25,40	1	1,5	3,0	4,5	6,0

38,10	1 ½	1,0	2,5	4,5	5,5
50,80	2	0,5	2,0	4,0	5,0
76,10	3	0,3	1,5	3,5	4,5
152,00	6	0,2	1,0	3,0	4,0

Tecnología del concreto y del mortero

4.1.4 Estimación del agua de mezclado

En el proceso de confección de hormigones el agua de mezclado cumple dos funciones principales las cuales son por una parte hidratar las partículas de cemento y por otra producir una fluidez necesaria en el mezclado. Para una correcta elección del agua de mezclado se utilizarán las siguientes tablas:

Tabla 4.3: Requerimientos aproximados de agua de mezclado para diferentes asentamientos y tamaños máximos de agregado de forma angular y textura rugosa.

ASENTAMIENTO		Tamaño máximo del agregado, en mm (pulg)							
		9,5	12,7	19,0	25,4	38,1	50,8	64,0	76,1
		3/8 "	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"
mm	pulg	Agua de mezclado, en Kg/m3 de concreto							
0	0	223	201	186	171	158	147	141	132
25	1	231	208	194	178	164	154	147	138
50	2	236	214	199	183	170	159	151	144
75	3	241	218	203	188	175	164	156	148
100	4	244	221	207	192	179	168	159	151
125	5	247	225	210	196	183	172	162	153
150	6	251	230	214	200	187	176	165	157
175	7	256	235	218	205	192	181	170	163
200	8	260	240	224	210	197	186	176	168

Tecnología del concreto y del mortero

Tabla 4.4: Requerimientos aproximados de agua de mezclado para diferentes asentamientos y tamaños máximos de agregado de forma redonda y textura lisa.

ASENTAMIENTO		Tamaño máximo del agregado, en mm (pulg)							
		9,5	12,7	19,0	25,4	38,1	50,8	64,0	76,1
		3/8 "	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"
mm	pulg	Agua de mezclado, en Kg/m ³ de concreto							
0	0	213	185	171	154	144	136	129	123
25	1	218	192	177	161	150	142	134	128
50	2	222	197	183	167	155	146	138	132
75	3	226	202	187	172	160	150	141	136
100	4	229	205	191	176	164	154	144	139
125	5	231	208	194	179	168	156	146	141
150	6	233	212	195	182	172	159	150	143
175	7	237	216	200	187	176	165	156	148
200	8	244	222	206	195	182	171	162	154

Tecnología del concreto y del mortero

4.1.5 Determinación de la resistencia de diseño

Para un diseño de hormigón óptimo se debe elegir una resistencia adecuada, para esto se debe tener en cuenta la dispersión de probetas fabricadas en obra. Múltiples factores como el control al realizar la mezcla, el seguimiento en cada operación y la uniformidad en los componentes de la pasta de hormigón son factores que afectan este punto a tomar en cuenta. Debido a que no hay registros de pruebas de resistencia en las cuales se usaron materiales y condiciones similares a aquellas que serán empleadas, la resistencia de diseño de la mezcla f'_{cr} en Kg/cm^2 será determinada de la siguiente manera:

Tabla 4.5: Resistencia requerida cuando no hay datos que permitan una desviación estándar

Resistencia especificada $f'c$ (Kg/cm ²)	Resistencia de diseño de la mezcla $f'cr$ (Kg/cm ²)
Menos de 210 Kg/cm ²	$f'c + 70$ Kg/cm ²
De 210 Kg/cm ² a 350 Kg/cm ²	$f'c + 85$ Kg/cm ²
Más de 350 Kg/cm ²	$f'c + 100$ Kg/cm ²

Tecnología del concreto y del mortero

Para el desarrollo del diseño de mezclas se utilizará una resistencia especificada $f'c = 300$ Kg/cm² siendo la resistencia de diseño $f'cr = 385$ Kg/cm²

4.1.6 Selección de la relación agua–cemento

Debido a que la resistencia del hormigón se rige principalmente por la resistencia e interacción de sus fases constituyentes: pasta, agregado e interfaces de adherencia pasta-agregado, es común que los diferentes agregados y cementos produzcan resistencias distintas con la misma relación agua/cemento. Por esta razón, es importante conocer o desarrollar la correspondencia entre la resistencia y la relación agua/cemento, para cada grupo de materiales en particular y para diferentes edades. La relación agua – cemento necesaria para obtener la resistencia de diseño requerida se puede apreciar en la siguiente tabla:

Tabla 4.6: Correspondencia entre resistencia a los 28 días de edad y la relación agua - cemento

Resistencia a la compresión	Relación agua - cemento en peso		
	Límite superior	Línea parte media	Límite inferior
140	-	0,72	0,65
175	-	0,65	0,58
210	0,70	0,58	0,53
245	0,64	0,53	0,49
280	0,59	0,48	0,45
315	0,54	0,44	0,42
350	0,49	0,40	0,38
385	0,44	0,36	0,34

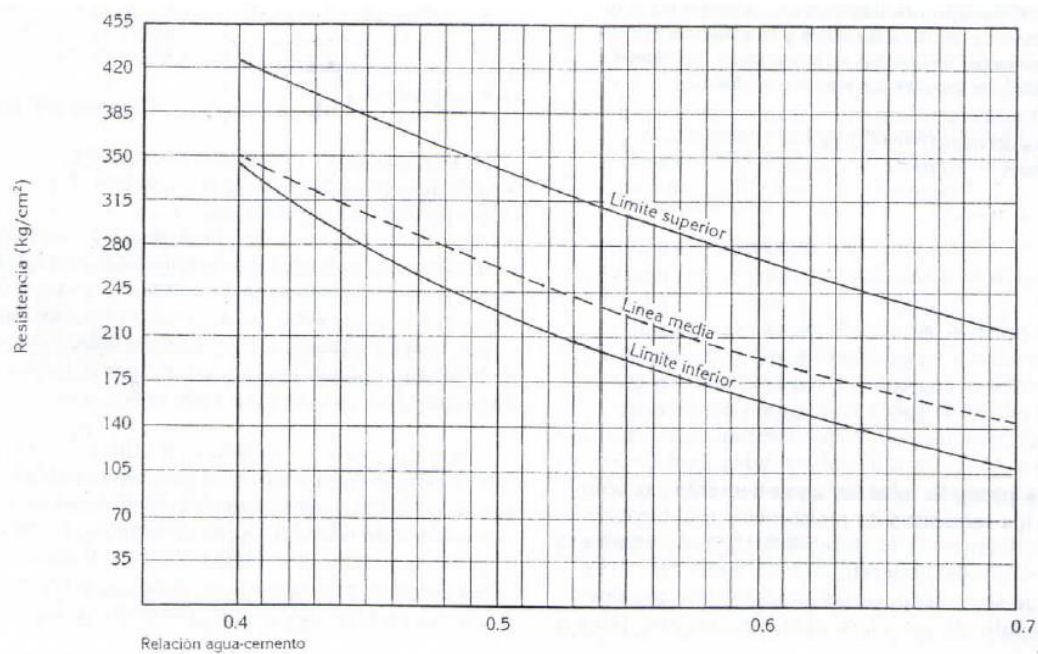


Figura 4.1: Correspondencia entre resistencia a los 28 días de edad y la relación agua – cemento (tecnología del concreto y del mortero)

4.1.7 Calculo del contenido de cemento

El cemento requerido para el diseño es igual al contenido estimado de agua de mezclado dividido entre la relación agua - cemento de tal manera que el contenido de cemento por metro cúbico es fácilmente establecido, no obstante, la especificación incluye un límite mínimo separado sobre el cemento, además de los requerimientos de resistencia y durabilidad, la mezcla debe basarse en el criterio que conduzca a una cantidad mayor de cemento.

$$C = \frac{A}{(A/C)}$$

Donde:

C = Contenido de cemento, en Kg/m³.

A = Requerimiento de agua de mezclado, en Kg/m³.

A/C =Relación agua-cemento, por peso.

Con la aplicación de esta fórmula tenemos un contenido de cemento para los dos tipos de hormigones que se muestran a continuación:

Tabla4.7: Contenido de cemento

Hormigón con escoria de acero (tamaño máximo del agregado 1 ½ ")	Contenido de cemento C = 486,11 Kg/m ³ .
Hormigón con viruta de acero (tamaño máximo del agregado ¾ ")	Contenido de cemento C = 563,89 Kg/m ³ .

4.1.8 Estimación de las proporciones de los aditivos

En la actualidad los aditivos son considerados un ingrediente más del hormigón siendo utilizados para modificar las propiedades del mismo de manera que se lo haga más adecuado a las condiciones de trabajo y la economía. Para el desarrollo del proyecto de tesis se utilizarán los aditivos antes indicados en el capítulo III, a continuación se dará un detalle del aditivo y la cantidad a emplear considerada en el diseño de los hormigones:

ViscoCrete 2100.-Este aditivo es un reductor de agua de alto rango que nos permite trabajar con una relación agua – cemento baja (0,30 a 0,45) con una alta fluidez para en el manejo y una mayor resistencia final. La dosis de este aditivo puede variar dependiendo de los materiales a usar, condiciones ambientales y requerimientos específicos de cada proyecto, según la casa productora Sika es recomendable usar una dosis del 0,15% a 0,40% del material cementante para aplicaciones de hormigón convencional, para el diseño de los hormigones se usará un valor de 1,8% del material cementante debido a que se está usando materiales diferentes a lo común de manera que se llegue a obtener la mayor efectividad posible del producto.

4.1.9 Estimación de las proporciones de los agregados

Para una correcta estimación de las proporciones de los agregados se tiene como prioridad un óptimo tamaño máximo y graduación, debido a que la combinación granulométrica entre los agregados gruesos y finos es de vital importancia en relación a las propiedades del hormigón, tanto en su estado fresco como endurecido.

MÉTODO A.C.I. 211.1

Este método parte de la expresión b/b_o introducida por Richart y Talbot siendo:

- b = Volumen absoluto o sólido del agregado grueso, por unidad de volumen de concreto.
- b_o = Volumen absoluto o sólido del agregado grueso, por unidad de volumen compactada de agregado grueso.
- b/b_o = Volumen compactado de agregado grueso, por unidad de volumen de concreto.

Tabla 4.8: Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto

Volumen de agregado grueso, seco y compactado con varilla (a), por volumen de concreto para diferentes módulos de finura de la arena (b)						
Tamaño máximo nominal del agregado		Módulo de finura de la arena				
mm	Pulg	2,40	2,60	2,80	3,00	3,20
9,5	3/8	0,50	0,48	0,46	0,44	0,42
12,7	½	0,59	0,57	0,55	0,53	0,51
19,0	¾	0,66	0,64	0,62	0,60	0,58
25,4	1	0,71	0,69	0,67	0,65	0,63
38,1	1 1/2	0,75	0,73	0,71	0,69	0,67
50,8	2	0,78	0,76	0,74	0,72	0,70
76,1	3	0,82	0,80	0,78	0,76	0,74
152,0	6	0,87	0,85	0,83	0,81	0,79

En el método del A.C.I. 211 el peso del agregado grueso requerido por metro cúbico de concreto se obtiene simplemente multiplicando el valor tomado de la tabla anterior por su respectivo peso unitario compacto en Kg/m³. Una vez obtenido el peso seco del agregado grueso, los pesos de los demás ingredientes han sido estimados quedando

como último punto la estimación del agregado fino, el mismo que será el resultado al multiplicar su volumen absoluto por su peso específico aparente.

$$Paf = Vaf * Gaf$$

- Paf = Peso seco del agregado fino, en Kg/m^3 .
- Vaf = Volumen absoluto del agregado fino, en l/m^3 .
- Gaf = Peso específico aparente seco del agregado fino, en g/cm^3 .

Tabla 4.9: Peso seco y volumen absoluto de los ingredientes por metro cúbico de concreto (hormigón con escoria de acero)

Ingrediente	Peso seco Kg/m^3	Peso especifico g/cm^3	Volumen absoluto l/m^3
Cemento	P_c	G_c	V_c
Agua	P_a	1,00	V_a
Contenido de aire	-	-	A
Escoria de acero	P_{ea}	G_{ea}	V_{ea}
Agregado 1 ½ "	P_{ap}	G_{ap}	V_{ap}
Arena	P_{af}	G_{af}	V_{af}
ViscoCrete 2100	P_{21}	G_{21}	V_{21}
TOTAL	P_u		1000

Tabla 4.10: Peso seco y volumen absoluto de los ingredientes por metro cúbico de concreto (hormigón con viruta de acero)

Ingrediente	Peso seco Kg/m ³	Peso especifico g/cm ³	Volumen absoluto l/m ³
Cemento	Pc	Gc	Vc
Agua	Pa	1,00	Va
Contenido de aire	-	-	A
Árido 3/4"	Pag	Gag	Vag
Viruta de acero	Pva	Gva	Vva
Arena	Paf	Gaf	Vaf
ViscoCrete 2100	P21	G21	V21
TOTAL	Pu		1000

4.1.10 Ajuste por humedad de los agregados

Debido a que los agregados presentan cierta porosidad, el agua de amasado puede ser absorbida dentro del cuerpo de las partículas, por otra parte, la superficie de las partículas también puede retener agua formando una película de humedad. Para calcular la cantidad de agua en los agregados se han definido cuatro estados de humedad los cuales se muestran en la siguiente gráfica:

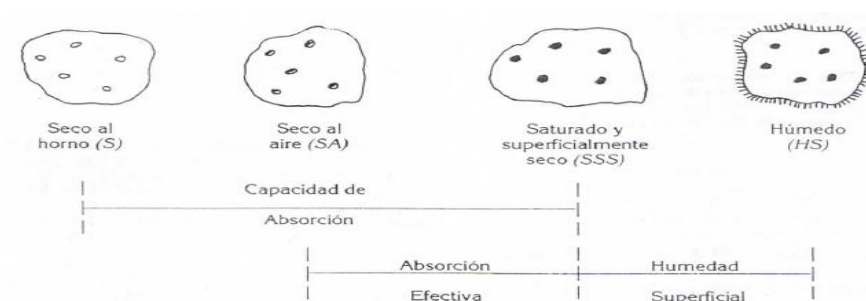


Figura 4.2: Estados de humedad de los agregados (tecnología del concreto y del mortero)

- **Seco al horno (S):** La totalidad de humedad del agregado es removida a una temperatura de 105°C hasta la obtención de un peso constante.
- **Seco al aire (SA):** Toda la humedad superficial es removida, sin embargo los poros se encuentran parcialmente saturados.
- **Saturado y superficialmente seco (SSS):** Todos los poros se encuentran saturados de agua, sin embargo no se encuentra con una película de humedad sobre las partículas.
- **Húmedo (HS):** Poros saturados y película de humedad sobre las partículas.

De los cuatro estados presentes, solo el estado S y SSS corresponden a contenidos específicos de humedad y pueden ser usados como estados de referencia para calcular el contenido de humedad.

Capacidad de absorción (CA).- Es la máxima cantidad de agua que el agregado puede absorber en sus poros, se expresa de la siguiente manera:

$$CA = \left[\frac{(P_{SSS} - P_S)}{P_S} \right] * 100$$

P_{SSS} = Peso de la muestra en estado SSS.

P_S = Peso de la muestra en estado S.

Absorción efectiva (AE).- Es la cantidad de agua requerida para llevar a la muestra del estado SA al estado SSS, se expresa de la siguiente manera:

$$AE = \left[\frac{P_{SSS} - P_{Sa}}{P_{SSS}} \right] * 100$$

P_{SSS} = Peso de la muestra en estado SSS.

P_{Sa} = Peso de la muestra en estado SA.

Humedad superficial (HS o humedad libre).- Representa la humedad en exceso respecto al estado SSS, se expresa de la siguiente manera:

$$HS = \left[\frac{P_{hs} - P_{SSS}}{P_{SSS}} \right] * 100$$

P_{SSS} = Peso de la muestra en estado SSS.

P_{hs} = Peso de la muestra en estado HS.

La capacidad de absorción es utilizada para conocer la porosidad de las partículas del agregado y su efecto en el diseño de mezclas, la absorción efectiva es empleada para calcular el peso del agua absorbida por el agregado y la humedad superficial es utilizada para calcular la cantidad de agua que debe ser evitada en el agua de amasado al momento de la dosificación. Una de los métodos más usados para determinar la humedad “in situ” es pesar una muestra inalterada y someterle posteriormente a un secado en el horno hasta llegar a la condición S de tal manera que el contenido de humedad H es determinado de la siguiente manera:

$$H = \left[\frac{P_a - P_s}{P_s} \right] * 100$$

P_a = Peso de la muestra en condiciones del exterior.

P_s = Peso de la muestra en estado S.

Una vez obtenido el contenido de humedad se procede a realizar la corrección de peso seco a peso húmedo del árido de la siguiente manera:

$$P_h = P_s * \left(1 + \frac{H}{100}\right)$$

P_h = Peso húmedo del agregado.

P_s = Peso del agregado en estado S.

H = Porcentaje de humedad del agregado.

En cuanto a las correcciones por humedad y absorción del agregado, para determinar el faltante o sobrante del agua de amasado respecto a la condición de saturado y superficialmente seco, se considera la siguiente expresión:

$$A_a = -P_s * (H - CA)/100$$

A_a = Agua en exceso o defecto respecto de la condición SSS.

P_s = Peso seco del agregado.

H = Humedad del agregado.

CA = Capacidad de absorción del agregado.

- Cuando A_a sea de signo negativo, el árido tiene humedad adicional la cual deberá ser sustraída del agua de amasado.
- Cuando A_a sea de signo positivo, el árido necesita de agua para poder llenar sus vacíos y llegar a la condición de saturado por lo que se deberá sumar esta cantidad al agua de amasado.

4.2 Determinación de las propiedades de los materiales en laboratorio

Al momento de realizar un buen diseño de mezcla se necesita conocer muchas propiedades de los agregados, entre las principales se encuentran:

- Masa unitaria suelta (Kg/cm^3)
- Masa unitaria compacta (Kg/cm^3)
- Densidad aparente seca (g/cm^3)
- Absorción (%)
- Humedad natural (%)

4.2.1 Masa unitaria suelta

La masa unitaria suelta se define como la relación entre el peso de una muestra de agregado compuesta por un sin número de partículas que han sido colocadas mediante gravedad y el volumen que ocupan estas dentro de una probeta cilíndrica, cuyo volumen es conocido al ser estandarizada con dimensiones en pulgadas de 6 de diámetro por 12 de altura con un volumen en cm^3 de 5560. Se realizó el análisis de los áridos y elementos adicionales a la mezcla obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 4.11: Masa unitaria suelta de los materiales

PROCEDIMIENTO PARA OBTENER LA MASA UNITARIA SUELTA DE LOS MATERIALES				
Masa suelta (gr)		Volumen Probeta (cm3):	Masa unitaria suelta (Kg/m3)	
Arena:	7055		Arena:	1268,88
Árido 3/4":	7708		Árido 3/4":	1386,33
Escoria:	6013		Escoria:	1081,47
Viruta:	4219		Viruta:	758,81
Árido 1 1/2"	7698		Árido 1 1/2"	1384,53

4.2.2 Masa unitaria compacta

La masa unitaria compacta se define como la relación entre el peso de una muestra de agregado compuesta por un sin número de partículas que han sido colocadas mediante gravedad en 3 capas compactadas con 25 golpes en cada una realizados con una varilla estandarizada y el volumen que ocupan dentro de una probeta cilíndrica, cuyo volumen es conocido al ser estandarizada con dimensiones en pulgadas de 6 de diámetro por 12 de altura con un volumen en cm³ de 5560. Se realizó el análisis de los áridos y elementos adicionales a la mezcla obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 4.12: Masa unitaria compacta de los materiales

PROCEDIMIENTO PARA OBTENER LA MASA UNITARIA COMPACTA DE LOS MATERIALES				
Masa compacta (gr)		Volumen Probeta (cm3):	Masa unitaria compacta (Kg/m3)	
Arena:	8400		Arena:	1510,79
Árido 3/4":	8349		Árido 3/4":	1501,62
Escoria:	7325		Escoria:	1317,45
Viruta:	5871		Viruta:	1055,94
Árido 1 1/2"	8612		Árido 1 1/2"	1548,92

4.2.3 Densidad aparente seca

La densidad aparente viene definida como la relación que existe entre el peso de la masa del material y el volumen que ocupan las partículas incluidos poros saturables y no saturables. Para la obtención de la densidad aparente seca de la escoria, viruta y agregado de 3/4", se realizó el procedimiento N°1 para agregado con material retenido en el tamiz N°4 y para la arena se realizó el procedimiento N°2 que pertenece al análisis de agregados finos.

Procedimiento N°1: Se tomó una muestra de agregado, la cual se redujo desechando el material que pasó por el tamiz N° 4, se lavó hasta que el agua alcance una transparencia con lo que nos indica que se ha eliminado la suciedad contenida en el material y luego se deja sumergida en agua durante 24 horas. Al siguiente día se tomó la muestra y se secó con un trapo hasta eliminar la película visible de agua en la superficie quedando un color mate lo que nos indica que se encuentra en la condición saturada y superficialmente seca. Una vez secada (parcialmente seca), se procede a pesar la muestra con la balanza y se toman los datos respectivos. Luego se introdujo el material en la canastilla y se sumergió en el agua cuantificando la masa sumergida. Luego fue llevada al horno a una temperatura de 110°C durante 24 horas, al día siguiente se tomó el dato respectivo y con la recopilación de todos los datos se procedió a calcular su densidad aparente.



Figura 4.3: Materiales en estado saturado 24 horas



Figura 4.4: Escoria colocada en la canastilla y pesada bajo el agua



Figura 4.5: Materiales fuera del horno cumplidas las 24 horas

Procedimiento N°2: Se tomó una muestra del material obtenido la cual se sumergió en agua durante 24 horas. Al día siguiente se expandió la muestra sobre un recipiente metálico debido a que este material no es absorbente, con una herramienta de apoyo se va expandiendo el material para que el mismo se vaya secando en el molde, realizamos esta operación hasta que el material se encuentre un poco suelto esto nos indica que alcanzó su estado saturado superficialmente seco. Luego se introduce la muestra en el molde cónico y se apisona 25 veces dejando caer el pisón desde una altura aproximada de 1cm, posteriormente se retira el molde y la muestra se desprende parcialmente indicándonos que no existe humedad libre y se encuentra en estado saturado superficialmente seco. Se toma una muestra de 500 gramos y se envasa en el picnómetro llenándolo con agua hasta más o menos los 250 cm³, luego se hace girar el picnómetro para eliminar todas las burbujas de aire que se puedan encontrar en la muestra y se cuantifica el peso del picnómetro en la balanza, finalmente se embaza la muestra en una probeta y se coloca en el horno por 24 horas, una vez concluido ese lapso de tiempo se pesa la muestra y se procede a recopilar todos los datos para el cálculo de la densidad aparente del material.



Figura 4.6: Arena saturada de agua por 24 horas antes del análisis de humedad libre



Figura 4.7: Arena en estado saturado superficialmente seco



Figura 4.8: Análisis de la muestra en el picnómetro

Tabla 4.13: Densidad aparente seca de los materiales del procedimiento N°1

DENSIDAD APARENTE SECA DE LOS MATERIALES	
---	--

ESTADO SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO	
MATERIAL	PESO MATERIAL (gr)
Viruta	805
Escoria	1082
Árido 3/4"	1860
Árido 1 1/2"	2991

SUMERGIDO EN AGUA	
MATERIAL	PESO MATERIAL (gr)
Viruta	580
Escoria	587
Árido 3/4"	1078
Árido 1 1/2"	1797

24HRS DE SECADO EN EL HORNO	
MATERIAL	PESO MATERIAL (gr)
Viruta	792
Escoria	1058
Árido 3/4"	1833
Árido 1 1/2"	2974

DENSIDAD APARENTE SECA	
MATERIAL	MATERIAL (gr/cm3)
Viruta	3,52
Escoria	2,14
Árido 3/4"	2,34
Árido 1 1/2"	2,49

Tabla 4.14: Densidad aparente seca procedimiento N°2

DENSIDAD APARENTE SECA DEL MATERIAL	
ESTADO SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO	
MATERIAL	PESO MATERIAL (gr)
Arena	500
SUMERGIDO EN AGUA	
MATERIAL	PESO (gr)
Arena	222
24HRS DE SECADO EN EL HORNO	
MATERIAL	PESO MATERIAL (gr)
Arena	487
DENSIDAD APARENTE SECA	
MATERIAL	MATERIAL (gr/cm ³)
Arena	2,25

4.2.4 Absorción

La absorción de los materiales viene dada en porcentaje y es el resultado que se obtiene al restar el peso seco del peso saturado superficialmente seco, este valor dividido para el peso seco y multiplicado por 100 para obtener el valor en porcentaje, este dato se obtiene a través de los procedimientos utilizados anteriormente en la densidad aparente seca, sus resultados se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 4.15: Absorción de los materiales

ABSORCIÓN DE LOS MATERIALES	
MATERIAL	EN %
Viruta	1,64
Escoria	2,27
Árido 3/4"	1,47
Arena	2,67
Árido 1 1/2"	0,57

4.2.5 Humedad natural

En los agregados existen poros, los cuales se encuentran en la intemperie y pueden estar llenos de agua, estos poseen un grado de humedad, el cual es de gran importancia ya que con él podríamos saber si nos aportan agua a la mezcla, para la obtención de los porcentajes de humedad natural se tomó muestras de cada material en estado natural, se las pesó y se las colocó en el horno por un período de 24 horas, culminado ese tiempo se las pesó y se determinaron los valores de humedad correspondientes a cada material.

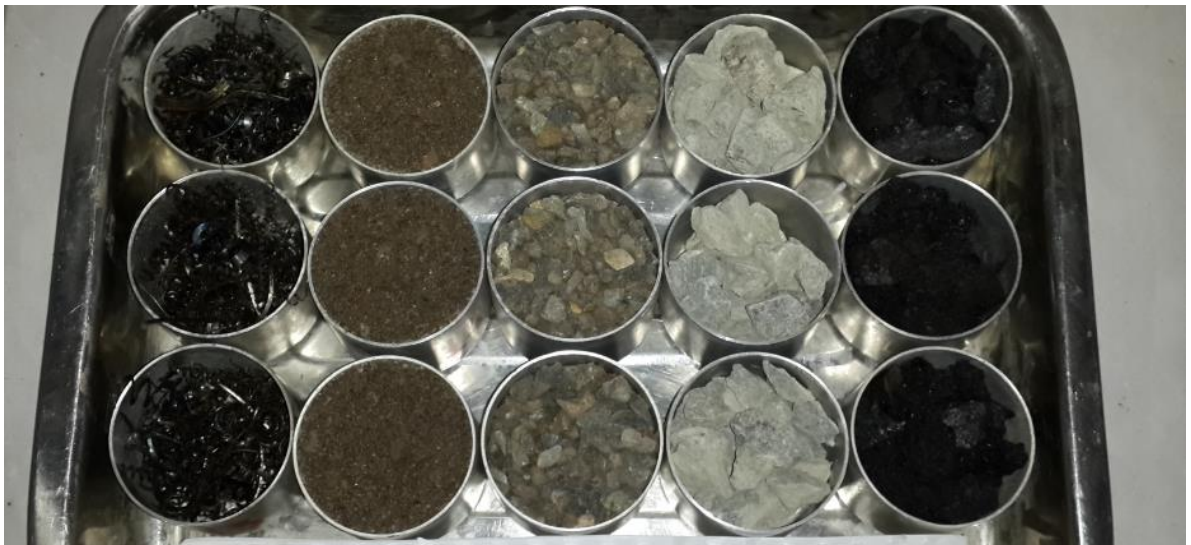


Figura 4.9: Muestras de los materiales en condiciones normales



Figura 4.10: Muestras de los materiales a las 24 horas después del horno

Tabla 4.16: Humedad de los maeriales

HUMEDAD DE LOS MATERIALES				PESO FRASCO + MATERIAL EN CONDICIONES NORMALES				PESO FRASCO + MATERIAL (24HRS EN EL HORNO)			
MATERIAL	Unidad (gramos)			Arena	Unidad (gramos)			Arena	Unidad (gramos)		
	Nº 1	Nº 2	Nº 3		Nº 1	Nº 2	Nº 3		Nº 1	Nº 2	Nº 3
Arena	29,71	30,02	29,97		201,80	198,64	202,23		190,40	187,00	190,74
Arido 3/4"	Nº 1	Nº 2	Nº 3		Nº 1	Nº 2	Nº 3		Nº 1	Nº 2	Nº 3
	30,75	30,89	29,93		186,26	195,92	183,30		181,93	194,51	181,92
Escoria	Nº 1	Nº 2	Nº 3		Nº 1	Nº 2	Nº 3		Nº 1	Nº 2	Nº 3
	30,32	30,17	30,21		157,02	158,11	152,13		156,59	157,69	151,78
Viruta	Nº 1	Nº 2	Nº 3		Nº 1	Nº 2	Nº 3		Nº 1	Nº 2	Nº 3
	30,24	30,71	29,76		95,48	71,17	78,24		95,21	70,97	78,01
Arido 1 1/2"	Nº 1	Nº 2	Nº 3		Nº 1	Nº 2	Nº 3		Nº 1	Nº 2	Nº 3
	29,78	30,91	30,33		208,58	203,65	209,72		200,51	196,15	202,36

DIFERENCIA ENTRE PESOS (SIN FRSCO)				PORCENTAJE DIFERENCIA DE PESOS				HUMEDAD NATURAL			
MATERIAL	Unidad (gramos)			Arena	EN %			Arena	EN %		
	Nº 1	Nº 2	Nº 3		Nº 1	Nº 2	Nº 3		Nº 1	Nº 2	Nº 3
Arena	11,40	11,64	11,49		5,99	6,22	6,02		PROMEDIO		
									6,08		
Arido 3/4"	Nº 1	Nº 2	Nº 3		Nº 1	Nº 2	Nº 3		PROMEDIO		
	4,33	1,41	1,38		2,38	0,72	0,76		1,29		
Escoria	Nº 1	Nº 2	Nº 3		Nº 1	Nº 2	Nº 3		PROMEDIO		
	0,43	0,42	0,35		0,27	0,27	0,23		0,26		
Viruta	Nº 1	Nº 2	Nº 3		Nº 1	Nº 2	Nº 3		PROMEDIO		
	0,27	0,20	0,23		0,28	0,28	0,29		0,29		
Arido 1 1/2"	Nº 1	Nº 2	Nº 3		Nº 1	Nº 2	Nº 3		PROMEDIO		
	8,07	7,50	7,36		4,02	3,82	3,64		3,83		

DATOS DE LOS ARIDOS		
HORMIGÓN CON ADITIVOS Y TAMAÑO	AGREGADO FINO	AGREGADO GUESO
MAXIMO NOMINAL DE 3/4"	ARENA	AGREGADO 3/4"
Masa unitaria suelta (Kg/m3):	1268,88	1386,33
Masa unitaria compacta (Kg/m3):	1510,79	1501,62
Densidad aparente seca g/cm3):	2,25	2,34
Absorción (%h):	2,67	1,47
Humedad natural (%):	6,08	1,29

1.- Asentamiento (mm):	75,00
2.- Tamaño max de agregado (mm):	19,00
3.- Estimación del contenido de aire (%xvol):	0,00
4.- Contenido de agua de mezclado (lts):	203,00
5.- Resistencia de diseño Fcr (Kg/cm2):	385,00
6.- Relación agua - cemento:	0,36
7.- Contenido de cemento (Kg/m3):	563,89
8.- Proporciones de los aditivos (% cemento)	-
8.1.- Viscocrete 2100:	1,80
9.- Proporciones de los agregados:	-
9.1-Tabla b/b , (m3):	0,58
10.- Ajuste por humedad:	-
10.1- Agregado 3/4" (Kg/m3):	882,17
10.2- Viruta de acero (Kg/m3):	557,12
10.3- Arena (Kg/m3):	0,00
10.4- Agua de mezclado corregida (l/m3):	219,34
11.- Ajuste por mezclas de prueba:	-

9.- Proporciones de los agregados:			
Ingrediente	Peso seco Kg/m³	Peso especifico g/cm³	Volumen absoluto l/m³
Cemento	563,89	3,10	181,90
Agua	203,00	1,00	203,00
Contenido de aire	-	-	0,00
Arido 3/4"	870,94	2,34	372,20
Arena	525,19	2,25	233,42
-	0,00	0,00	0,00
ViscoCrete 2100	10,15	1,07	9,49
TOTAL	2173,17		1000

10.- Ajuste por humedad:		
Ingrediente	Peso seco Kg/m³	Peso húmedo kg/m³
Cemento	563,89	563,89
Agua	203,00	219,34
Contenido de aire	-	-
Arido 3/4"	870,94	882,17
Arena	525,19	557,12
-	0,00	0,00
ViscoCrete 2100	10,15	10,15
TOTAL	2173,17	2232,68

11.- Ajuste por mezclas de prueba:			
Ingrediente	Peso seco Kg/m³	Peso húmedo kg/m³	Peso húmedo para mezcla en Kg
Cemento	563,89	563,89	12,82
Agua	203,00	219,34	4,99
Contenido de aire	-	-	-
Arido 3/4"	870,94	882,17	20,05
Arena	525,19	557,12	12,66
-	0,00	0,00	0,00
ViscoCrete 2100	10,15	10,15	0,23
TOTAL	2173,17	2232,68	50,74

Comprobación:	Peso Hum - Peso Sec
	59,51
	Peso agua abs por aridos
	26,83

4.3.2 Hormigones con escoria de acero

DATOS DE LOS ARIDOS			
HORMIGÓN CON ESCORIA DE ACERO 100%	AGREGADO GRUESO		AGREGADO FINO
	ESCORIA 1 1/2"	AGREGADO 1 1/2"	ARENA
Masa unitaria suelta (Kg/m3):	1081,47	1384,53	1268,88
Masa unitaria compacta (Kg/m3):	1317,45	1548,92	1510,79
Densidad aparente seca g/cm3):	2,14	2,49	2,25
Absorción (%h):	2,27	0,57	2,67
Humedad natural (%):	0,26	3,83	6,08

9.- Proporciones de los agregados:			
Ingrediente	Peso seco Kg/m³	Peso especifico g/cm³	Volumen absoluto l/m³
Cemento	486,11	3,10	156,81
Agua	175,00	1,00	175,00
Contenido de aire	-	-	0,00
Escoria de acero	882,69	2,14	412,47
Agregado 1 1/2"	0,00	0,00	0,00
Arena	556,97	2,25	247,54
ViscoCrete 2100	8,75	1,07	8,18
TOTAL	2109,52		1000

10.- Ajuste por humedad:			
Ingrediente	Peso seco Kg/m³	Peso húmedo kg/m³	
Cemento	486,11	486,11	
Agua	175,00	138,27	
Contenido de aire	-	-	
Escoria de acero	882,69	884,99	
Agregado 1 1/2"	0,00	0,00	
Arena	556,97	590,83	
ViscoCrete 2100	8,75	8,75	
TOTAL	2109,52	2108,94	

11.- Ajuste por mezclas de prueba:			
Ingrediente	Peso seco Kg/m³	Peso húmedo kg/m³	Peso húmedo para mezcla
Cemento	486,11	486,11	11,05
Agua	175,00	138,27	3,14
Contenido de aire	-	-	-
Escoria de acero	882,69	884,99	20,11
Agregado 1 1/2"	0,00	0,00	0,00
Arena	556,97	590,83	13,43
ViscoCrete 2100	8,75	8,75	0,20
TOTAL	2109,52	2108,94	47,93

Comprobación:	Peso Hum - Peso Sec
	0,58
	Peso agua abs por aridos
	34,91

DATOS DE LOS ARIDOS			
HORMIGÓN CON ESCORIA DE ACERO 75%	AGREGADO GRUESO		AGREGADO FINO
	ESCORIA 1 1/2"	AGREGADO 1 1/2"	ARENA
Masa unitaria suelta (Kg/m3):	1081,47	1384,53	1268,88
Masa unitaria compacta (Kg/m3):	1317,45	1548,92	1510,79
Densidad aparente seca g/cm3):	2,14	2,49	2,25
Absorción (%h):	2,27	0,57	2,67
Humedad natural (%):	0,26	3,83	6,08

1.- Asentamiento (mm):	75,00
2.- Tamaño max de agregado (mm):	38,10
3.- Estimación del contenido de aire (%xvol):	0,00
4.- Contenido de agua de mezclado (lts):	175,00
5.- Resistencia de diseño Fcr (Kg/cm2):	385,00
6.- Relación agua - cemento:	0,36
7.- Contenido de cemento (Kg/m3):	486,11
8.- Proporciones de los aditivos (% cemento)	-
8.1.- Viscocrete 2100:	1,80
9.- Proporciones de los agregados:	-
9.1-Tabla b/b, (m3):	0,67
10.- Ajuste por humedad:	-
10.1- Escoria de acero (Kg/m3):	663,74
10.2- Agregado 1 1/2" (Kg/m3):	266,60
10.3- Arena (Kg/m3):	590,83
10.4- Agua de mezclado corregida (l/m3):	151,07
11.- Ajuste por mezclas de prueba:	-

9.- Proporciones de los agregados:			
Ingrediente	Peso seco Kg/m³	Peso específico g/cm³	Volumen absoluto l/m³
Cemento	486,11	3,10	156,81
Agua	175,00	1,00	175,00
Contenido de aire	-	-	0,00
Escoria de acero	662,02	2,14	309,35
Agregado 1 1/2"	256,77	2,49	103,12
Arena	556,96	2,25	247,54
ViscoCrete 2100	8,75	1,07	8,18
TOTAL	2145,61		1000

10.- Ajuste por humedad:		
Ingrediente	Peso seco Kg/m³	Peso húmedo kg/m³
Cemento	486,11	486,11
Agua	175,00	151,07
Contenido de aire	-	-
Escoria de acero	662,02	663,74
Agregado 1 1/2"	256,77	266,60
Arena	556,96	590,83
ViscoCrete 2100	8,75	8,75
TOTAL	2145,61	2167,10

11.- Ajuste por mezclas de prueba:			
Ingrediente	Peso seco Kg/m³	Peso húmedo kg/m³	Peso húmedo para mezcla
Cemento	486,11	486,11	11,05
Agua	175,00	151,07	3,43
Contenido de aire	-	-	-
Escoria de acero	662,02	663,74	15,08
Agregado 1 1/2"	256,77	266,60	6,06
Arena	556,96	590,83	13,43
ViscoCrete 2100	8,75	8,75	0,20
TOTAL	2145,61	2167,10	49,25

Comprobación:	Peso Hum - Peso Sec
	21,49
	Peso agua abs por aridos
	31,36

DATOS DE LOS ARIDOS			
HORMIGÓN CON ESCORIA DE ACERO 50%	AGREGADO GRUESO		AGREGADO FINO
	ESCORIA 1 1/2"	AGREGADO 1 1/2"	ARENA
Masa unitaria suelta (Kg/m3):	1081,47	1384,53	1268,88
Masa unitaria compacta (Kg/m3):	1317,45	1548,92	1510,79
Densidad aparente seca g/cm3):	2,14	2,49	2,25
Absorción (%h):	2,27	0,57	2,67
Humedad natural (%):	0,26	3,83	6,08

1.- Asentamiento (mm):	75,00
2.- Tamaño max de agregado (mm):	38,10
3.- Estimación del contenido de aire (%xvol):	0,00
4.- Contenido de agua de mezclado (lts):	175,00
5.- Resistencia de diseño Fcr (Kg/cm2):	385,00
6.- Relación agua - cemento:	0,36
7.- Contenido de cemento (Kg/m3):	486,11
8.- Proporciones de los aditivos (% cemento)	-
8.1.- Viscocrete 2100:	1,80
9.- Proporciones de los agregados:	-
9.1-Tabla b/b, (m3):	0,67
10.- Ajuste por humedad:	-
10.1- Escoria de acero (Kg/m3):	442,49
10.2- Agregado 1 1/2" (Kg/m3):	533,18
10.3- Arena (Kg/m3):	590,84
10.4- Agua de mezclado corregida (l/m3):	163,88
11.- Ajuste por mezclas de prueba:	-

9.- Proporciones de los agregados:			
Ingrediente	Peso seco Kg/m³	Peso específico g/cm³	Volumen absoluto l/m³
Cemento	486,11	3,10	156,81
Agua	175,00	1,00	175,00
Contenido de aire	-	-	0,00
Escoria de acero	441,35	2,14	206,24
Agregado 1 1/2"	513,51	2,49	206,23
Arena	556,98	2,25	247,55
ViscoCrete 2100	8,75	1,07	8,18
TOTAL	2181,70		1000

10.- Ajuste por humedad:		
Ingrediente	Peso seco Kg/m³	Peso húmedo kg/m³
Cemento	486,11	486,11
Agua	175,00	163,88
Contenido de aire	-	-
Escoria de acero	441,35	442,49
Agregado 1 1/2"	513,51	533,18
Arena	556,98	590,84
ViscoCrete 2100	8,75	8,75
TOTAL	2181,70	2225,25

11.- Ajuste por mezclas de prueba:			
Ingrediente	Peso seco Kg/m³	Peso húmedo kg/m³	Peso húmedo para mezcla
Cemento	486,11	486,11	11,05
Agua	175,00	163,88	3,72
Contenido de aire	-	-	-
Escoria de acero	441,35	442,49	10,06
Agregado 1 1/2"	513,51	533,18	12,12
Arena	556,98	590,84	13,43
ViscoCrete 2100	8,75	8,75	0,20
TOTAL	2181,70	2225,25	50,57

Comprobación:	Peso Hum - Peso Sec
	43,56
	Peso agua abs por aridos
	27,82

DATOS DE LOS ARIDOS			
HORMIGÓN CON ESCORIA DE ACERO 25%	AGREGADO GRUESO		AGREGADO FINO
	ESCORIA 1 1/2"	AGREGADO 1 1/2"	ARENA
Masa unitaria suelta (Kg/m3):	1081,47	1384,53	1268,88
Masa unitaria compacta (Kg/m3):	1317,45	1548,92	1510,79
Densidad aparente seca g/cm3):	2,14	2,49	2,25
Absorción (%h):	2,27	0,57	2,67
Humedad natural (%):	0,26	3,83	6,08

1.- Asentamiento (mm):	75,00
2.- Tamaño max de agregado (mm):	38,10
3.- Estimación del contenido de aire (%xvol):	0,00
4.- Contenido de agua de mezclado (lts):	175,00
5.- Resistencia de diseño Fcr (Kg/cm2):	385,00
6.- Relación agua - cemento:	0,36
7.- Contenido de cemento (Kg/m3):	486,11
8.- Proporciones de los aditivos (% cemento)	-
8.1.- Viscocrete 2100:	1,80
9.- Proporciones de los agregados:	-
9.1-Tabla b/b, (m3):	0,67
10.- Ajuste por humedad:	-
10.1- Escoria de acero (Kg/m3):	221,25
10.2- Agregado 1 1/2"(Kg/m3):	799,78
10.3- Arena (Kg/m3):	590,84
10.4- Agua de mezclado corregida (l/m3):	176,68
11.- Ajuste por mezclas de prueba:	-

9.- Proporciones de los agregados:			
Ingrediente	Peso seco Kg/m³	Peso específico g/cm³	Volumen absoluto l/m³
Cemento	486,11	3,10	156,81
Agua	175,00	1,00	175,00
Contenido de aire	-	-	0,00
Escoria de acero	220,67	2,14	103,12
Agregado 1 1/2"	770,28	2,49	309,35
Arena	556,98	2,25	247,54
ViscoCrete 2100	8,75	1,07	8,18
TOTAL	2217,79		1000

10.- Ajuste por humedad:		
Ingrediente	Peso seco Kg/m³	Peso húmedo kg/m³
Cemento	486,11	486,11
Agua	175,00	176,68
Contenido de aire	-	-
Escoria de acero	220,67	221,25
Agregado 1 1/2"	770,28	799,78
Arena	556,98	590,84
ViscoCrete 2100	8,75	8,75
TOTAL	2217,79	2283,41

11.- Ajuste por mezclas de prueba:			
Ingrediente	Peso seco Kg/m³	Peso húmedo kg/m³	Peso húmedo para mezcla
Cemento	486,11	486,11	11,05
Agua	175,00	176,68	4,02
Contenido de aire	-	-	-
Escoria de acero	220,67	221,25	5,03
Agregado 1 1/2"	770,28	799,78	18,18
Arena	556,98	590,84	13,43
ViscoCrete 2100	8,75	8,75	0,20
TOTAL	2217,79	2283,41	51,90

Comprobación:	Peso Hum - Peso Sec
	65,62
	Peso agua abs por aridos
	24,27

4.3.3 Hormigones con viruta de acero

DATOS DE LOS ARIDOS			
HORMIGÓN CON VIRUTA DE ACERO 50%	AGREGADO FINO		AGREGADO GUESO
	VIRUTA	ARENA	AGREGADO 3/4"
Masa unitaria suelta (Kg/m3):	758,81	1268,88	1386,33
Masa unitaria compacta (Kg/m3):	1055,94	1510,79	1501,62
Densidad aparente seca g/cm3):	3,52	2,25	2,34
Absorción (%h):	1,64	2,67	1,47
Humedad natural (%):	0,29	6,08	1,29

1.- Asentamiento (mm):	75,00
2.- Tamaño max de agregado (mm):	19,00
3.- Estimación del contenido de aire (%xvol):	0,00
4.- Contenido de agua de mezclado (lts):	203,00
5.- Resistencia de diseño Fcr (Kg/cm2):	385,00
6.- Relación agua - cemento:	0,36
7.- Contenido de cemento (Kg/m3):	563,89
8.- Proporciones de los aditivos (% cemento)	-
8.1.- Viscocrete 2100:	1,80
9.- Proporciones de los agregados:	-
9.1-Tabla b/b ₁ (m3):	0,58
10.- Ajuste por humedad:	-
10.1- Agregado 3/4" (Kg/m3):	882,17
10.2- Viruta de acero (Kg/m3):	412,01
10.3- Arena (Kg/m3):	278,56
10.4- Agua de mezclado corregida (l/m3):	186,93
11.- Ajuste por mezclas de prueba:	-

9.- Proporciones de los agregados:			
Ingrediente	Peso seco Kg/m³	Peso específico g/cm³	Volumen absoluto l/m³
Cemento	563,89	3,10	181,90
Agua	203,00	1,00	203,00
Contenido de aire	-	-	0,00
Arido 3/4"	870,94	2,34	372,20
Viruta de acero	410,82	3,52	116,71
Arena	262,60	2,25	116,71
ViscoCrete 2100	10,15	1,07	9,49
TOTAL	2321,40		1000

10.- Ajuste por humedad:		
Ingrediente	Peso seco Kg/m³	Peso húmedo kg/m³
Cemento	563,89	563,89
Agua	203,00	186,93
Contenido de aire	-	-
Arido 3/4"	870,94	882,17
Viruta de acero	410,82	412,01
Arena	262,60	278,56
ViscoCrete 2100	10,15	10,15
TOTAL	2321,40	2333,72

11.- Ajuste por mezclas de prueba:			
Ingrediente	Peso seco Kg/m³	Peso húmedo kg/m³	Peso húmedo para mezcla en Kg
Cemento	563,89	563,89	12,82
Agua	203,00	186,93	4,25
Contenido de aire	-	-	-
Arido 3/4"	870,94	882,17	20,05
Viruta de acero	410,82	412,01	9,36
Arena	262,60	278,56	6,33
ViscoCrete 2100	10,15	10,15	0,23
TOTAL	2321,40	2333,72	53,04

Comprobación:	Peso Hum - Peso Sec
	12,32
	Peso agua abs por aridos
	26,55

DATOS DE LOS ARIDOS			
HORMIGÓN CON VIRUTA DE ACERO 40%	AGREGADO FINO		AGREGADO GUESO
	VIRUTA	ARENA	AGREGADO 3/4"
Masa unitaria suelta (Kg/m3):	758,81	1268,88	1386,33
Masa unitaria compacta (Kg/m3):	1055,94	1510,79	1501,62
Densidad aparente seca g/cm3):	3,52	2,25	2,34
Absorción (%h):	1,64	2,67	1,47
Humedad natural (%):	0,29	6,08	1,29

1.- Asentamiento (mm):	75,00
2.- Tamaño max de agregado (mm):	19,00
3.- Estimación del contenido de aire (%xvol):	0,00
4.- Contenido de agua de mezclado (lts):	203,00
5.- Resistencia de diseño Fcr (Kg/cm2):	385,00
6.- Relación agua - cemento:	0,36
7.- Contenido de cemento (Kg/m3):	563,89
8.- Proporciones de los aditivos (% cemento)	-
8.1.- Viscocrete 2100:	1,80
9.- Proporciones de los agregados:	-
9.1-Tabla b/b, (m3):	0,58
10.- Ajuste por humedad:	-
10.1- Agregado 3/4" (Kg/m3):	882,17
10.2- Viruta de acero (Kg/m3):	329,61
10.3- Arena (Kg/m3):	334,28
10.4- Agua de mezclado corregida (l/m3):	186,25
11.- Ajuste por mezclas de prueba:	-

9.- Proporciones de los agregados:			
Ingrediente	Peso seco Kg/m³	Peso especifico g/cm³	Volumen absoluto l/m³
Cemento	563,89	3,10	181,90
Agua	203,00	1,00	203,00
Contenido de aire	-	-	0,00
Arido 3/4"	870,94	2,34	372,20
Viruta de acero	328,65	3,52	93,37
Arena	315,12	2,25	140,05
ViscoCrete 2100	10,15	1,07	9,49
TOTAL	2291,75		1000

10.- Ajuste por humedad:		
Ingrediente	Peso seco Kg/m³	Peso húmedo kg/m³
Cemento	563,89	563,89
Agua	203,00	186,25
Contenido de aire	-	-
Arido 3/4"	870,94	882,17
Viruta de acero	328,65	329,61
Arena	315,12	334,28
ViscoCrete 2100	10,15	10,15
TOTAL	2291,75	2306,35

11.- Ajuste por mezclas de prueba:			
Ingrediente	Peso seco Kg/m³	Peso húmedo kg/m³	Peso húmedo para mezcla en Kg
Cemento	563,89	563,89	12,82
Agua	203,00	186,25	4,23
Contenido de aire	-	-	-
Arido 3/4"	870,94	882,17	20,05
Viruta de acero	328,65	329,61	7,49
Arena	315,12	334,28	7,60
ViscoCrete 2100	10,15	10,15	0,23
TOTAL	2291,75	2306,35	52,42

Comprobación:	Peso Hum - Peso Sec
	14,60
	Peso agua abs por aridos
	26,61

DATOS DE LOS ARIDOS			
HORMIGÓN CON VIRUTA DE ACERO 30%	AGREGADO FINO		AGREGADO GUESO
	VIRUTA	ARENA	AGREGADO 3/4"
Masa unitaria suelta (Kg/m3):	758,81	1268,88	1386,33
Masa unitaria compacta (Kg/m3):	1055,94	1510,79	1501,62
Densidad aparente seca g/cm3:	3,52	2,25	2,34
Absorción (%h):	1,64	2,67	1,47
Humedad natural (%):	0,29	6,08	1,29

1.- Asentamiento (mm):	75,00
2.- Tamaño max de agregado (mm):	19,00
3.- Estimación del contenido de aire (%xvol):	0,00
4.- Contenido de agua de mezclado (lts):	203,00
5.- Resistencia de diseño Fcr (Kg/cm2):	385,00
6.- Relación agua - cemento:	0,36
7.- Contenido de cemento (Kg/m3):	563,89
8.- Proporciones de los aditivos (% cemento)	-
8.1.- Viscocrete 2100:	1,80
9.- Proporciones de los agregados:	-
9.1-Tabla b/b _c (m3):	0,58
10.- Ajuste por humedad:	-
10.1- Agregado 3/4" (Kg/m3):	882,17
10.2- Viruta de acero (Kg/m3):	247,20
10.3- Arena (Kg/m3):	389,99
10.4- Agua de mezclado corregida (l/m3):	185,57
11.- Ajuste por mezclas de prueba:	-

9.- Proporciones de los agregados:			
Ingrediente	Peso seco Kg/m³	Peso específico g/cm³	Volumen absoluto l/m³
Cemento	563,89	3,10	181,90
Agua	203,00	1,00	203,00
Contenido de aire	-	-	0,00
Arido 3/4"	870,94	2,34	372,20
Viruta de acero	246,49	3,52	70,03
Arena	367,64	2,25	163,39
ViscoCrete 2100	10,15	1,07	9,49
TOTAL	2262,11		1000

10.- Ajuste por humedad:		
Ingrediente	Peso seco Kg/m³	Peso húmedo kg/m³
Cemento	563,89	563,89
Agua	203,00	185,57
Contenido de aire	-	-
Arido 3/4"	870,94	882,17
Viruta de acero	246,49	247,20
Arena	367,64	389,99
ViscoCrete 2100	10,15	10,15
TOTAL	2262,11	2278,98

11.- Ajuste por mezclas de prueba:			
Ingrediente	Peso seco Kg/m³	Peso húmedo kg/m³	Peso húmedo para mezcla en Kg
Cemento	563,89	563,89	12,82
Agua	203,00	185,57	4,22
Contenido de aire	-	-	-
Arido 3/4"	870,94	882,17	20,05
Viruta de acero	246,49	247,20	5,62
Arena	367,64	389,99	8,86
ViscoCrete 2100	10,15	10,15	0,23
TOTAL	2262,11	2278,98	51,79

Comprobación:	Peso Hum - Peso Sec
	16,87
	Peso agua abs por aridos
	26,66

DATOS DE LOS ARIDOS			
HORMIGÓN CON VIRUTA DE ACERO 20%	AGREGADO FINO		AGREGADO GUESO
	VIRUTA	ARENA	AGREGADO 3/4"
Masa unitaria suelta (Kg/m3):	758,81	1268,88	1386,33
Masa unitaria compacta (Kg/m3):	1055,94	1510,79	1501,62
Densidad aparente seca g/cm3):	3,52	2,25	2,34
Absorción (%h):	1,64	2,67	1,47
Humedad natural (%):	0,29	6,08	1,29

1.- Asentamiento (mm):	75,00
2.- Tamaño max de agregado (mm):	19,00
3.- Estimación del contenido de aire (%xvol):	0,00
4.- Contenido de agua de mezclado (lts):	203,00
5.- Resistencia de diseño Fcr (Kg/cm2):	385,00
6.- Relación agua - cemento:	0,36
7.- Contenido de cemento (Kg/m3):	563,89
8.- Proporciones de los aditivos (% cemento)	-
8.1.- Viscocrete 2100:	1,80
9.- Proporciones de los agregados:	-
9.1-Tabla b/b ₁ (m3):	0,58
10.- Ajuste por humedad:	-
10.1- Agregado 3/4" (Kg/m3):	882,17
10.2- Viruta de acero (Kg/m3):	164,80
10.3- Arena (Kg/m3):	445,70
10.4- Agua de mezclado corregida (l/m3):	184,89
11.- Ajuste por mezclas de prueba:	-

9.- Proporciones de los agregados:			
Ingrediente	Peso seco Kg/m³	Peso específico g/cm³	Volumen absoluto l/m³
Cemento	563,89	3,10	181,90
Agua	203,00	1,00	203,00
Contenido de aire	-	-	0,00
Arido 3/4"	870,94	2,34	372,20
Viruta de acero	164,33	3,52	46,68
Arena	420,16	2,25	186,74
ViscoCrete 2100	10,15	1,07	9,49
TOTAL	2232,46		1000

10.- Ajuste por humedad:		
Ingrediente	Peso seco Kg/m³	Peso húmedo kg/m³
Cemento	563,89	563,89
Agua	203,00	184,89
Contenido de aire	-	-
Arido 3/4"	870,94	882,17
Viruta de acero	164,33	164,80
Arena	420,16	445,70
ViscoCrete 2100	10,15	10,15
TOTAL	2232,46	2251,61

11.- Ajuste por mezclas de prueba:			
Ingrediente	Peso seco Kg/m³	Peso húmedo kg/m³	Peso húmedo para mezcla en Kg
Cemento	563,89	563,89	12,82
Agua	203,00	184,89	4,20
Contenido de aire	-	-	-
Arido 3/4"	870,94	882,17	20,05
Viruta de acero	164,33	164,80	3,75
Arena	420,16	445,70	10,13
ViscoCrete 2100	10,15	10,15	0,23
TOTAL	2232,46	2251,61	51,17

Comprobación:	Peso Hum - Peso Sec
	19,14
	Peso agua abs por aridos
	26,72

CAPÍTULO 5

CONFECCIÓN DE LOS HORMIGONES TRADICIONALES, HEA, Y HVA

5.1 Preparación de los materiales

La confección de las mezclas de concreto se rige a la norma ASTM C 192, y se describen las siguientes consideraciones:

- Temperatura.- se debe mantener una temperatura uniforme de preferencia entre 20°C a 25°C para el mezclado del concreto.
- Cemento.- se debe almacenar el cemento en un lugar seco dentro de recipientes, se revolverá el conglomerante hasta que la muestra quede completamente uniforme y se desecharán las partículas que estén sobre el tamiz N°16.
- Agregados.- deben tener una condición de humedad definitiva y uniforme de manera que el peso del agregado que se vaya a usar no incluya el agua de mezclado.
- Aditivo.- una parte del aditivo debe ser disuelto en el agua de mezclado previo a la introducción en la mezcla, la cantidad del aditivo que se use debe introducirse al calcular el contenido de agua del concreto. El tiempo para incluir los aditivos puede ocasionar efectos importantes en algunas propiedades como el fraguado, contenido de aire, por tal motivo se requiere que el aditivo sea aplicado uniformemente en la mezcla.

5.2 Equipos

- Báscula.- este equipo nos sirve para determinar algunos parámetros como el peso de los materiales a utilizar en la mezcla, el peso de los moldes, el peso de las probetas, los cilindros ya confeccionados, etc.
- Concretera.- esta máquina nos permite realizar una mezcla más homogénea entre los materiales, se gana tiempo en el mezclado y una mayor calidad en la preparación con respecto a un trabajo manual.
- Pala metálica.- instrumento usado para mezclar las muestras de hormigón.
- Bailejo.- este instrumento nos permite colocar y enrasar el hormigón en las probetas.
- Cono de Abrams.- este instrumento nos sirve para medir el asentamiento de la mezcla.
- Probetas.- son moldes metálicos que permiten al hormigón en estado fresco adoptar la forma cilíndrica dependiendo del tamaño requerido de la muestra, poseen una superficie lisa, son impermeables, e indeformables. Las probetas empleadas están sujetas a la norma ASTM C 470 cuyos tamaños tienen una relación de 1:2 (diámetroaltura) con valores de 6 pulgadas de diámetro por 12 pulgadas de altura.
- Varillas.- estas son lisas de 16mm y 10mm, nos sirven para picar cada capa de la mezcla de hormigón en las probetas.
- Mazo de goma.- esta herramienta es indispensable para eliminar los vacíos que se forman en las probetas una vez que se vierte el concreto.

5.3 Proceso de mezclado

El proceso de mezclado es parte fundamental en la confección del hormigón, puesto que de ello depende la homogeneidad y su resistencia final. Existen dos tipos de procesos de mezclado, el mecánico y el manual, siendo el primero, el que mejor condiciones de trabajo brinda por lo que será el escogido para este proceso, inicialmente se coloca el agregado grueso y un poco de agua antes de poner en marcha la concreteira, de manera que los poros del material se empiecen a saturar, accionada la concreteira se añade el agregado fino, cemento y el agua con una parte del aditivo. Posteriormente se añade la otra parte del aditivo de manera uniforme hasta completar la dosificación, una vez que se cumplido el proceso, se deja mezclar por un tiempo aproximado de tres minutos y se deja en reposo otros tres minutos, tratando de cubrir la boca de la concreteira con la finalidad de evitar la evaporación, finalmente se mezcla por dos minutos más y se constata la uniformidad y trabajabilidad del hormigón.

5.4 Medición de asentamiento

La medición de la consistencia o asentamiento del hormigón se rige bajo la norma del ASTM C 143, esta empieza con el humedecimiento interior del cono y su base metálica, posterior a esto se rellena el cono hasta el $\frac{1}{3}$ de su capacidad con la mezcla de hormigón y se compacta con una varilla lisa de 16mm de diámetro y 60cm de longitud dando veinticinco golpes repartidos uniformemente por toda la superficie, una vez realizado el anterior proceso se rellena el cono hasta los $\frac{2}{3}$ de capacidad y se vuelve a compactar la mezcla con veinticinco golpes de la varilla de 16mm , finalmente se llena el cono hasta el borde superior y se vuelve a compactar con veinticinco golpes, se retira el exceso de material con la misma varilla en posición horizontal de manera que el cono quede lleno y nivelado. El molde se levanta con cuidado en dirección vertical y se mide con la varilla la diferencia entre la altura del molde y el punto más alto de la mezcla.

5.5 Fabricación de las probetas de hormigón

En el proceso de fabricación, conservación y curado de las probetas cilíndricas a compresión nos regimos a las normas ASTM C 172, las probetas cilíndricas deben estar bien cerradas y ajustadas tanto en sus paredes como en su base, éstas deben estar lubricadas con aceite tanto en su interior como exterior para evitar que el hormigón quede adherido a las paredes de los cilindros, con lo que evitamos diferencias de volumen, dificultad en el desencofrado y limpieza de la probeta. La fabricación se debe realizar en un lugar cercano al sitio donde se van a almacenar las muestras debido a que los cilindros nunca deben ser sometidos a traslados dentro de las primeras veinticuatro horas por cualquier movimiento brusco que puedan sufrir., una vez alistadas las probetas se procede con la colocación de la mezcla de hormigón, este proceso se realiza en tres capas con veinticinco golpes de una varilla lisa de 10mm de diámetro en cada capa, el varillado se realiza de tal forma que la capa que esté compactando pase ligeramente a la capa subyacente, una vez realizado el varillado se golpea los lados del molde con un martillo de goma hasta que hayan desaparecido las huellas del varillado, liberando las partículas de aire que se encuentran atrapadas en la mezcla, las mismas que pueden hacer que la resistencia disminuya, finalmente se retira el material sobrante de la parte superior y se da un acabado lizo en la superficie manipulando lo menos posible la probeta.

5.6 Conservación de las muestras

Las probetas en estado fresco se llevan al lugar de almacenamiento para fraguado por un periodo de veinticuatro horas, la temperatura del sitio debe estar entre los 16° y 27°C. En la norma nos indica que las muestras no deben ser desencofradas en un periodo menor a las veinte horas y mayor a las cuarenta y ocho horas de ser elaborados.

5.7 Curado

Es el proceso en el cual se busca mantener saturado el hormigón ya endurecido hasta que los espacios de cemento fresco, que originalmente estuvieron llenos de agua, sean reemplazados por los productos de hidratación. Lo que se desea controlar con este procedimiento son los cambios de temperatura, la humedad interior y exterior del hormigón y evitar la contracción de fraguado hasta que el hormigón alcance una resistencia mínima que le permita soportar los esfuerzos inducidos por ésta.

5.8 Ensayos de compresión en las probetas de hormigón

Características de los hormigones endurecidos:

El hormigón endurecido es aquel elemento que pasa de un estado plástico a un estado sólido en un determinado lapso de tiempo, perdiendo humedad y ganando resistencia. A medida que pasan los días el hormigón va ganando propiedades, las mismas que dependen de su edad y condiciones de temperatura a las cuales han sido expuestos.

Una de las características principales del hormigón es su resistencia, la misma que se puede medir mediante ensayos de compresión, estos ensayos nos dan a conocer si la muestra que realizamos cumple con los parámetros de diseño establecidos de manera que se pueda emplear en su destino final con toda seguridad.



Figura 5.1: Pruebas de compresión

El ensayo de compresión es un procedimiento práctico en el que se determina la resistencia y deformación de una muestra de hormigón ante un esfuerzo de compresión que actúa sobre la probeta. Para que la muestra llegue o supere su resistencia de diseño se debe haber tenido un buen control de calidad en los agregados así como una relación agua/cemento óptima. En las muestras realizadas se trató de tener el mayor control de calidad en los materiales nuevos como la escoria seca de acero y la viruta de acero de manera que se pueda obtener las propiedades deseadas además de llegar a la resistencia de diseño.

Equipo:

- Máquina de prueba
- Calibrador

Procedimiento:

Los ensayos de compresión de las probetas de hormigón se deben realizar una vez que las muestras sean retiradas del lugar donde se estén curando debido a que las probetas deben estar húmedas, primero se procede a medir el diámetro del cilindro, este resulta del promedio de dos diámetros que forman un ángulo recto entre sí, éste diámetro nos sirve para calcular la sección transversal, posteriormente, se coloca la muestra en la balanza para obtener un valor aproximado de su peso, luego de esto se coloca la probeta sobre una placa de apoyo inferior y luego una superior, las mismas se deben encontrar limpias para que no se vea afectado el ensayo y el resultado final de su resistencia, finalmente se encera la máquina y se aplica la carga de manera continua y sin ningún impacto hasta que la muestra falle, se registra la carga máxima soportada por la probeta así como la manera en la que falló.

5.9 Resultados de las mezclas confeccionadas con escoria seca de acero:

Tesis:	"HORMIGONES DE ALTAS PRESTACIONES"						
Autor:	JUAN CRISTÓBAL MORALES GARCÍA						
Mezcla:	HORMIGÓN TRADICIONALCON AGREGADO DE TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DE 1½"						
Fecha:	19 DE NOVIEMBRE DEL 2015						
ENSAYO A COMPRESIÓN DE PROBETAS DE HORMIGÓN							
NOMENCLATURA	FECHA INICIAL	FECHA DE ROTURA	EDAD	PESO (gr)	ÁREA (cm²)	CARGA DE ROTURA (Kg)	RESISTENCIA (Kg/cm²)
1 ½" _7D	19/11/2015	25/11/2015	7	13920	182,41	41980	230
1 ½" _14D	19/11/2015	02/12/2015	14	13745	182,41	56390	309
1 ½" _28D	19/11/2015	16/12/2015	28	13875	182,41	68500	376



1 ½" _7D

1 ½" _14D

1 ½" _28D

Tesis:	"HORMIGONES DE ALTAS PRESTACIONES"						
Autor:	JUAN CRISTÓBAL MORALES GARCÍA						
Mezcla:	HORMIGÓN CON 100% DE ESCORIA DE ACERO SECA DE TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DE 1½"						
Fecha:	19 DE NOVIEMBRE DEL 2015						
ENSAYO A COMPRESIÓN DE PROBETAS DE HORMIGÓN							
NOMENCLATURA	FECHA INICIAL	FECHA DE ROTURA	EDAD	PESO (gr)	ÁREA (cm²)	CARGA DE ROTURA (Kg)	RESISTENCIA (Kg/cm²)
100E_7D	19/11/2015	25/11/2015	7	12995	182,41	40520	222
100E_14D	19/11/2015	02/12/2015	14	13021	182,41	45560	250
100E_28D	19/11/2015	16/12/2015	28	13009	182,41	48030	263



Tesis:	"HORMIGONES DE ALTAS PRESTACIONES" JUAN CRISTÓBAL MORALES GARCÍA HORMIGÓN CON 75% DE ESCORIA DE ACERO SECA DE TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DE 1½" 19 DE NOVIEMBRE DEL 2015
Autor:	
Mezcla:	
Fecha:	

ENSAYO A COMPRESIÓN DE PROBETAS DE HORMIGÓN							
NOMENCLATURA	FECHA INICIAL	FECHA DE ROTURA	EDAD	PESO (gr)	ÁREA (cm ²)	CARGA DE ROTURA (Kg)	RESISTENCIA (Kg/cm ²)
75E_7D	19/11/2015	25/11/2015	7	13495	182,41	50560	277
75E_14D	19/11/2015	02/12/2015	14	13320	182,41	63110	346
75E_28D	19/11/2015	16/12/2015	28	13674	182,41	86330	473



75E_7D

75E_14D

75E_28D

Tesis:	"HORMIGONES DE ALTAS PRESTACIONES"						
Autor:	JUAN CRISTÓBAL MORALES GARCÍA						
Mezcla:	HORMIGÓN CON 50% DE ESCORIA DE ACERO SECA DE TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DE 1½"						
Fecha:	19 DE NOVIEMBRE DEL 2015						
ENSAYO A COMPRESIÓN DE PROBETAS DE HORMIGÓN							
NOMENCLATURA	FECHA INICIAL	FECHA DE ROTURA	EDAD	PESO (gr)	ÁREA (cm²)	CARGA DE ROTURA (Kg)	RESISTENCIA (Kg/cm²)
50E_7D	19/11/2015	25/11/2015	7	13406	182,41	50106	275
50E_14D	19/11/2015	02/12/2015	14	13481	182,41	69800	383
50E_28D	19/11/2015	16/12/2015	28	13576	182,41	72190	396



Tesis:	"HORMIGONES DE ALTAS PRESTACIONES"						
Autor:	JUAN CRISTÓBAL MORALES GARCÍA						
Mezcla:	HORMIGÓN CON 25% DE ESCORIA DE ACERO SECA DE TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DE 1½"						
Fecha:	19 DE NOVIEMBRE DEL 2015						
ENSAYO A COMPRESIÓN DE PROBETAS DE HORMIGÓN							
NOMENCLATURA	FECHA INICIAL	FECHA DE ROTURA	EDAD	PESO (gr)	ÁREA (cm²)	CARGA DE ROTURA (Kg)	RESISTENCIA (Kg/cm²)
25E_7D	19/11/2015	25/11/2015	7	13515	182,41	49080	269
25E_14D	19/11/2015	02/12/2015	14	13560	182,41	73850	405
25E_28D	19/11/2015	16/12/2015	28	13702	182,41	82200	451



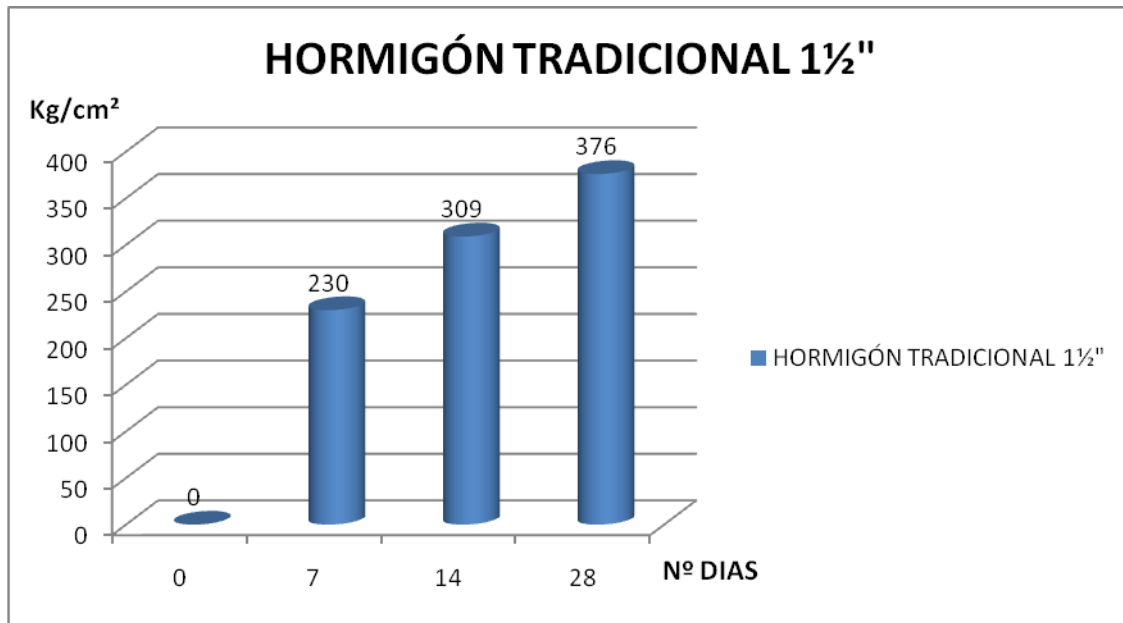


Figura 5.2: Resistencia hormigón 1½"

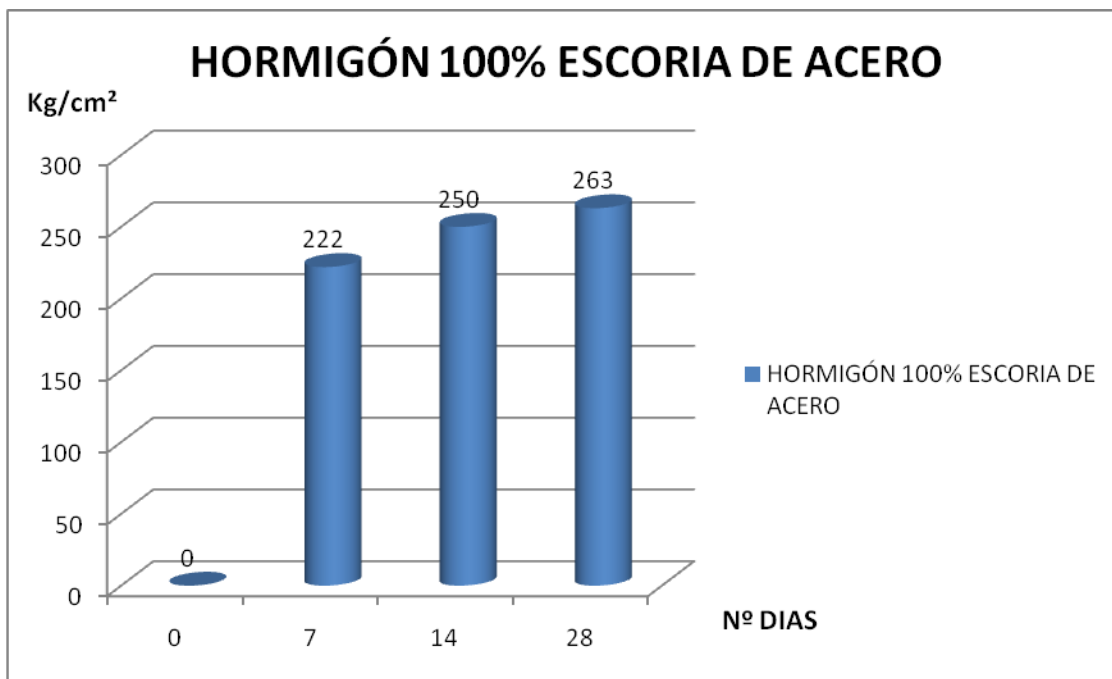


Figura 5.3: Resistencia hormigón 100% escoria de acero

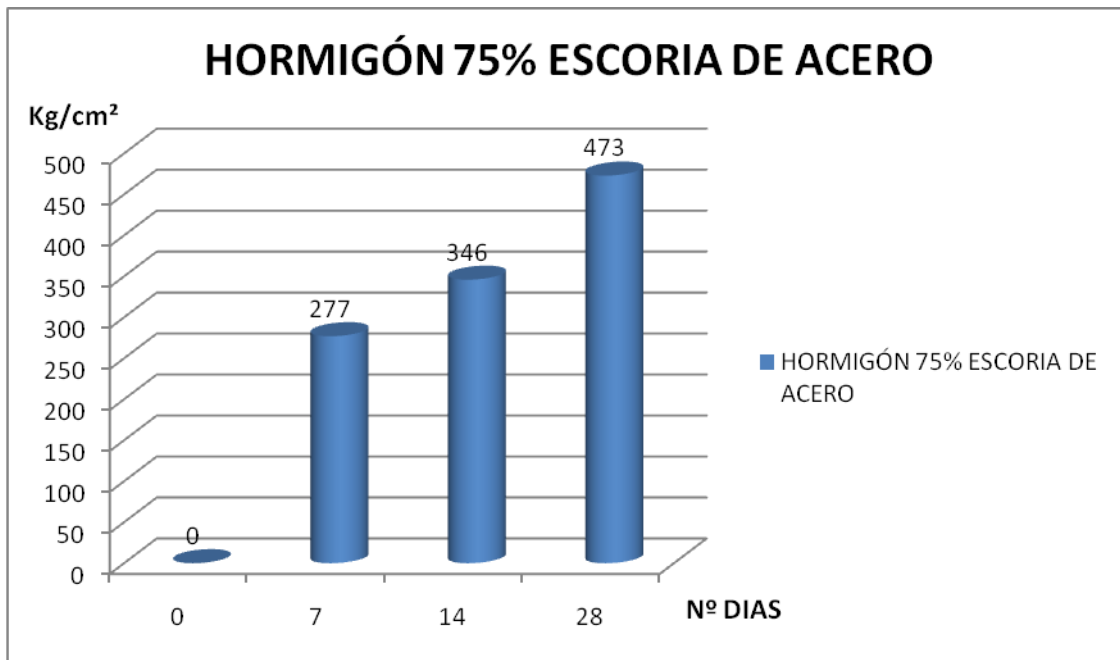


Figura 5.4: Resistencia hormigón 75% escoria de acero

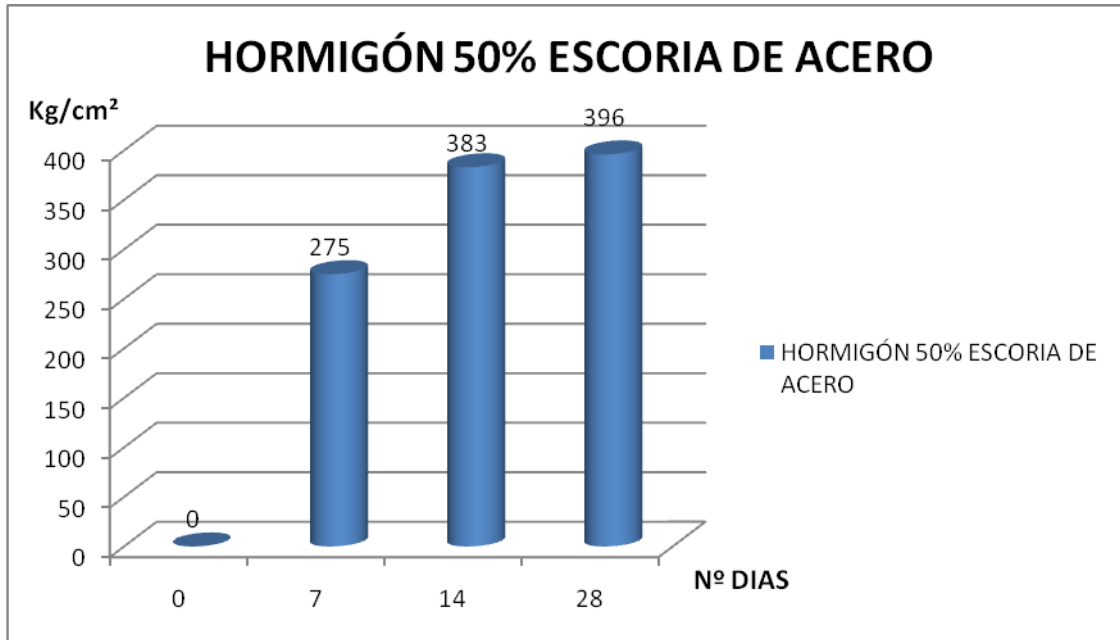


Figura 5.5: Resistencia hormigón 50% escoria de acero

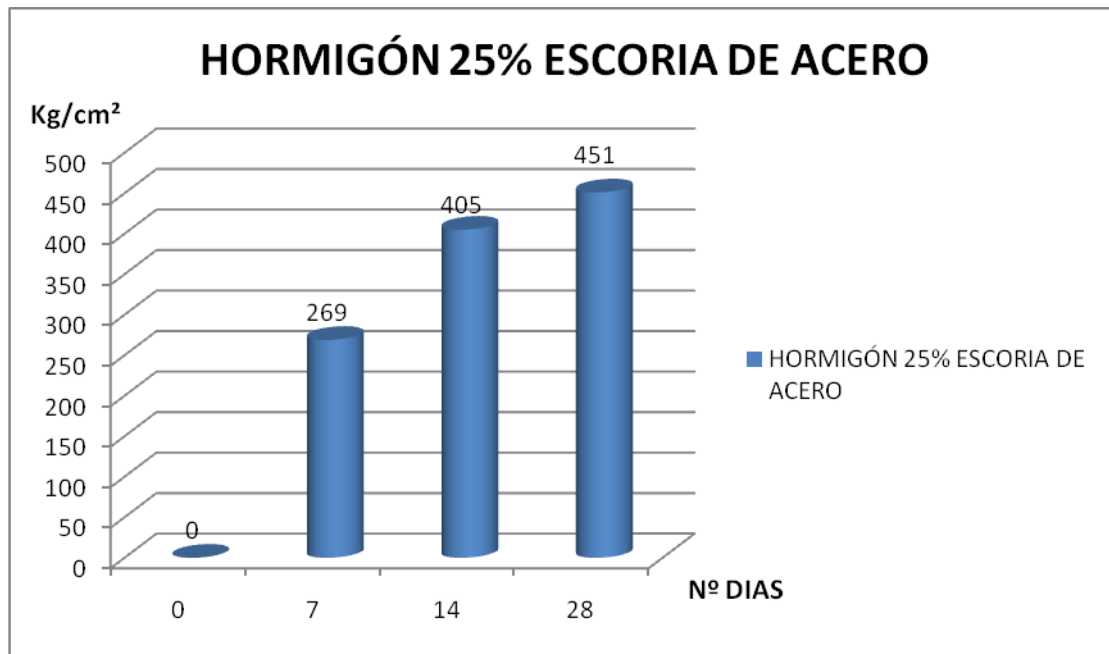


Figura 5.6: Resistencia hormigón 25% escoria de acero

Tabla 5.1: Peso volumétrico de las probetas de hormigón con escoria seca de acero

Mezcla	Peso Promedio (gr)	Peso Volumétrico (Kg/m³)
HORMIGÓN TRADICIONAL 1½"	13847	2490
HORMIGÓN 25% ESCORIA DE ACERO	13592	2445
HORMIGÓN 50% ESCORIA DE ACERO	13489	2426
HORMIGÓN 75% ESCORIA DE ACERO	13488	2426
HORMIGÓN 100% ESCORIA DE ACERO	13008	2340

Comparativo de resultados finales entre los distintos tipos de hormigón con escoria seca de acero realizados:

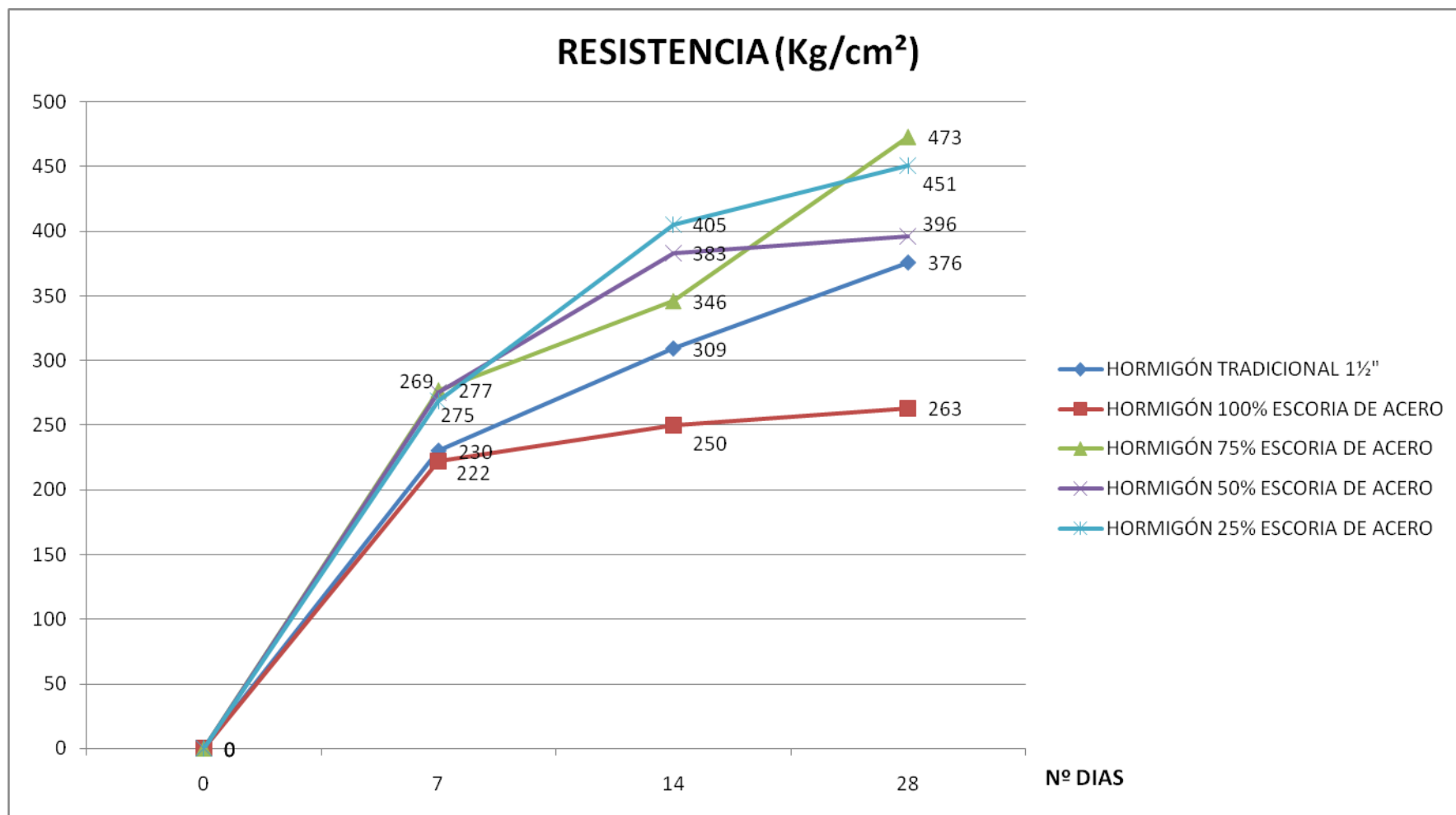


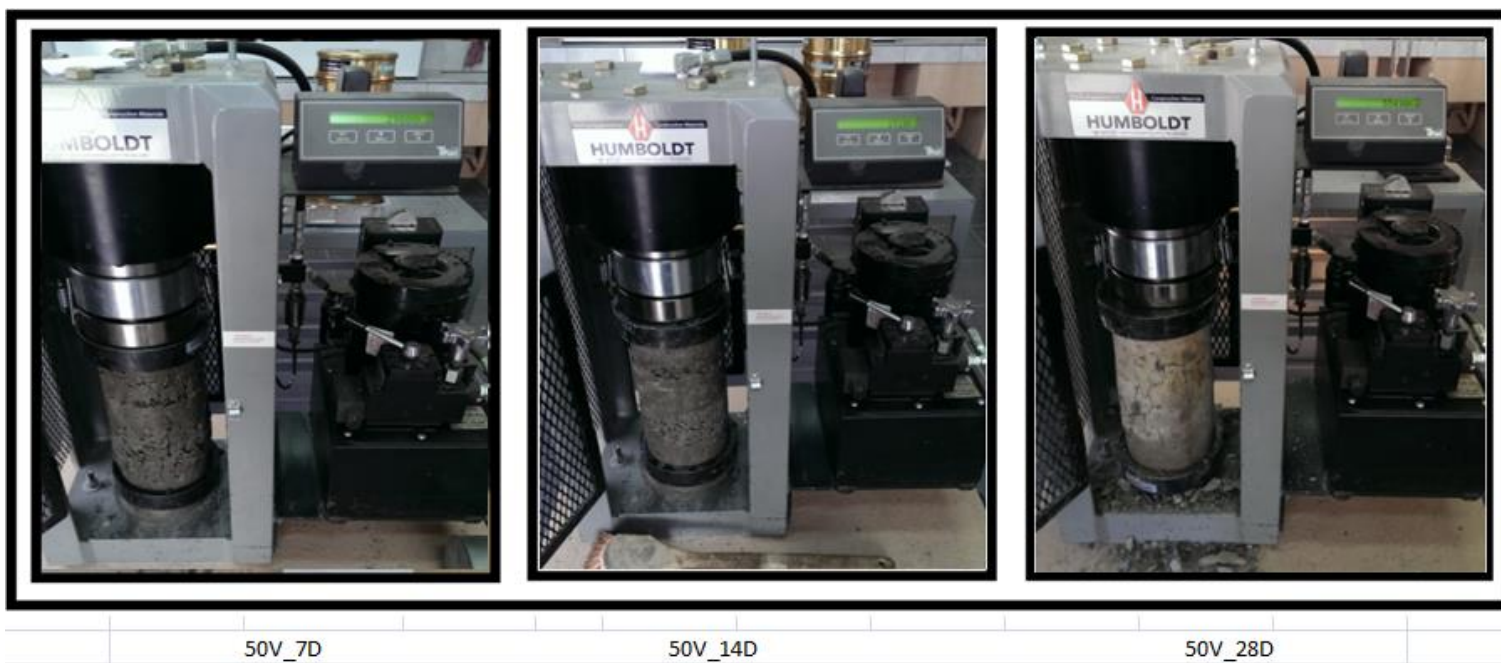
Figura 5.7: Comparativo de resultados finales de las muestras con escoria seca de acero

5.10 Resultados de las mezclas confeccionadas con viruta de acero:

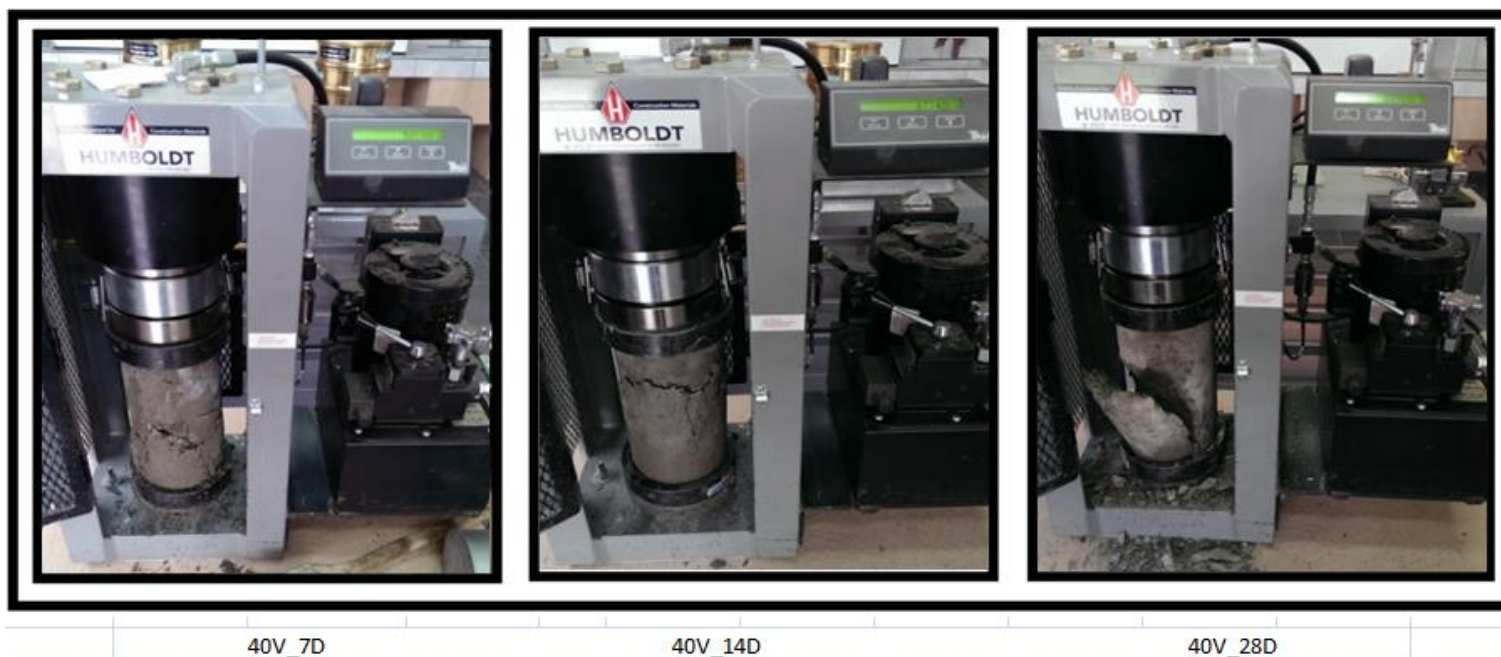
Tesis:	"HORMIGONES DE ALTAS PRESTACIONES"						
Autor:	JUAN CRISTÓBAL MORALES GARCÍA						
Mezcla:	HORMIGÓN TRADICIONALCON AGREGADO DE TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DE 3/4"						
Fecha:	18 DE NOVIEMBRE DEL 2015						
ENSAYO A COMPRESIÓN DE PROBETAS DE HORMIGÓN							
NOMENCLATURA	FECHA INICIAL	FECHA DE ROTURA	EDAD	PESO (gr)	ÁREA (cm²)	CARGA DE ROTURA (Kg)	RESISTENCIA (Kg/cm²)
3/4"_7D	18/11/2015	24/11/2015	7	13217	182,41	52660	289
3/4"_14D	18/11/2015	01/12/2015	14	13332	182,41	61150	335
3/4"_28D	18/11/2015	15/12/2015	28	13359	182,41	65030	357



Tesis:	"HORMIGONES DE ALTAS PRESTACIONES"						
Autor:	JUAN CRISTÓBAL MORALES GARCÍA						
Mezcla:	HORMIGÓN CON 50% DE VIRUTA DE ACERO TRITURADA CON AGRGADO GRUESO DE TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DE 3/4"						
Fecha:	24 DE NOVIEMBRE DEL 2015						
ENSAYO A COMPRESIÓN DE PROBETAS DE HORMIGÓN							
NOMENCLATURA	FECHA INICIAL	FECHA DE ROTURA	EDAD	PESO (gr)	ÁREA (cm²)	CARGA DE ROTURA (Kg)	RESISTENCIA (Kg/cm²)
50V_7D	24/11/2015	30/11/2015	7	13659	182,41	29000	159
50V_14D	24/11/2015	07/12/2015	14	14172	182,41	40200	220
50V_28D	24/11/2015	21/12/2015	28	14193	182,41	55490	304



Tesis:	"HORMIGONES DE ALTAS PRESTACIONES"						
Autor:	JUAN CRISTÓBAL MORALES GARCÍA						
Mezcla:	HORMIGÓN CON 40% DE VIRUTA DE ACERO TRITURADA CON AGRGADO GRUESO DE TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DE 3/4"						
Fecha:	24 DE NOVIEMBRE DEL 2015						
ENSAYO A COMPRESIÓN DE PROBETAS DE HORMIGÓN							
NOMENCLATURA	FECHA INICIAL	FECHA DE ROTURA	EDAD	PESO (gr)	ÁREA (cm²)	CARGA DE ROTURA (Kg)	RESISTENCIA (Kg/cm²)
40V_7D	24/11/2015	30/11/2015	7	13996	182,41	50590	277
40V_14D	24/11/2015	07/12/2015	14	13833	182,41	67740	371
40V_28D	24/11/2015	21/12/2015	28	13993	182,41	68980	378

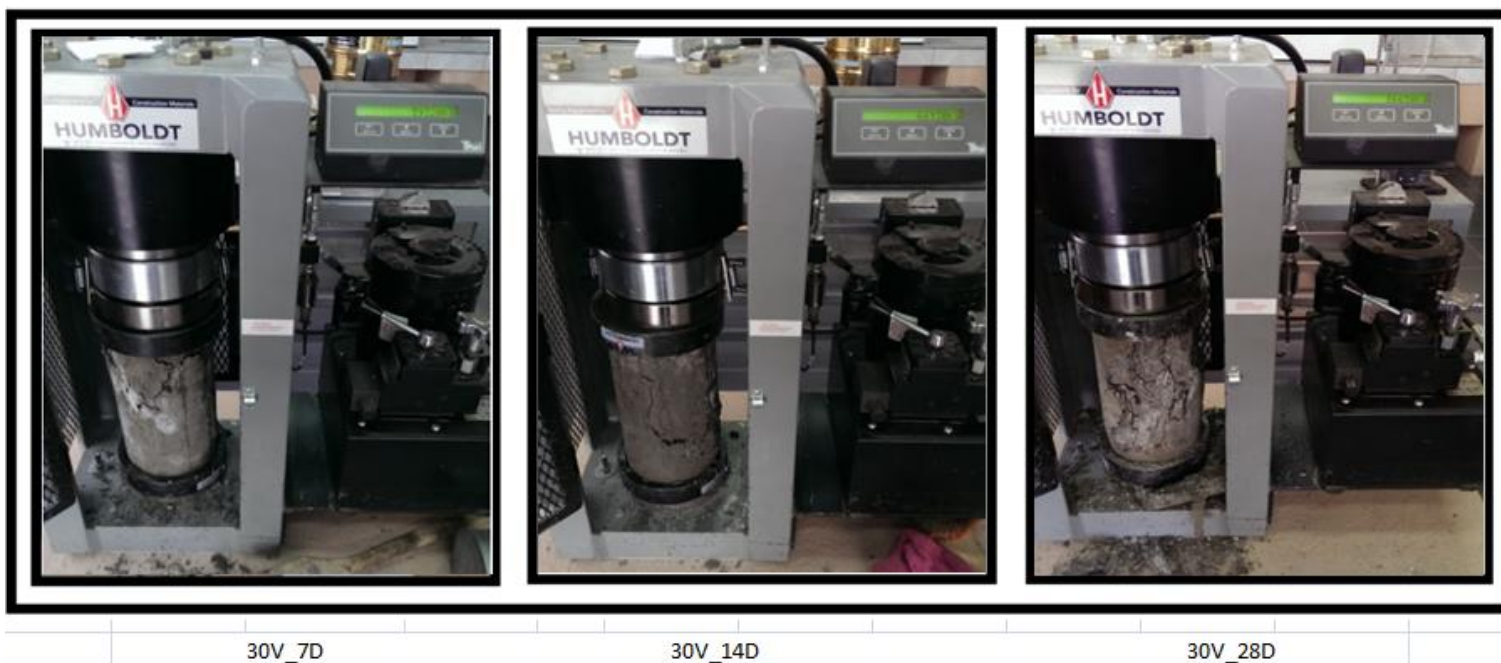


40V_7D

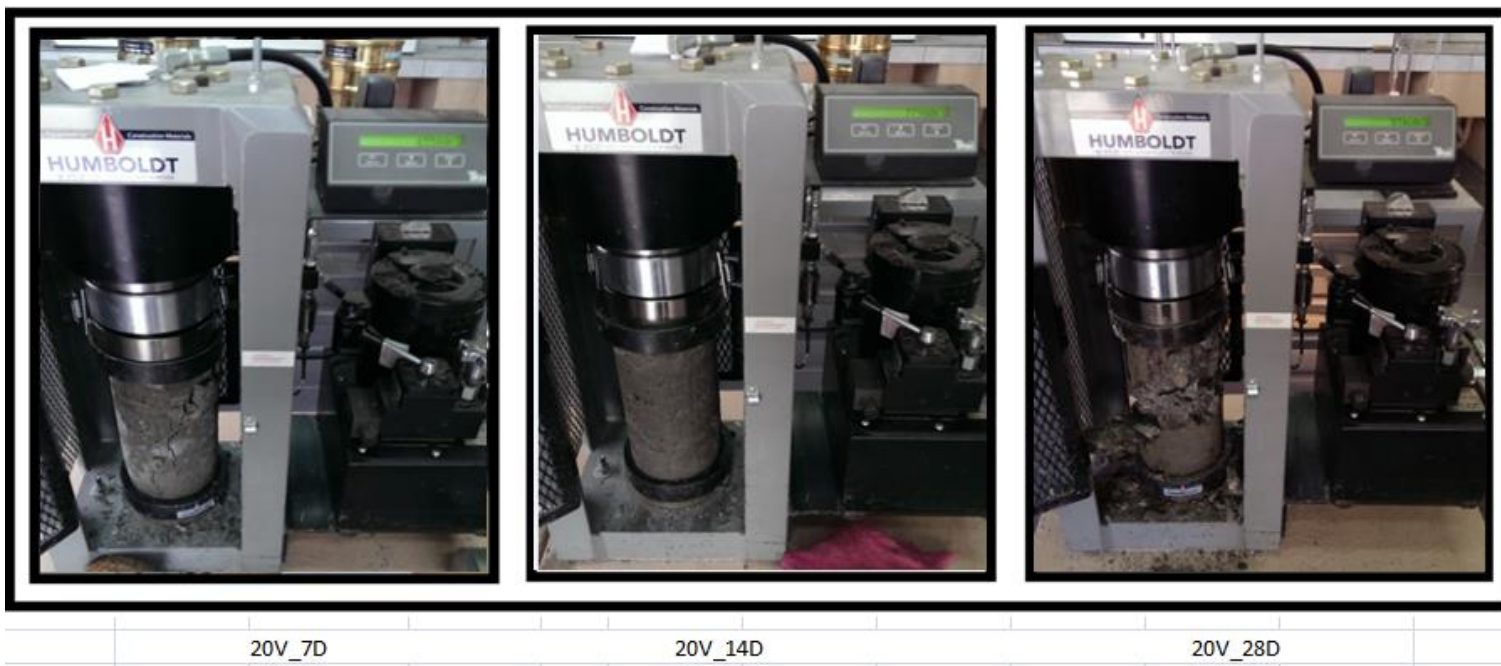
40V_14D

40V_28D

Tesis:	"HORMIGONES DE ALTAS PRESTACIONES"						
Autor:	JUAN CRISTÓBAL MORALES GARCÍA						
Mezcla:	HORMIGÓN CON 30% DE VIRUTA DE ACERO TRITURADA CON AGRGADO GRUESO DE TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DE 3/4"						
Fecha:	24 DE NOVIEMBRE DEL 2015						
ENSAYO A COMPRESIÓN DE PROBETAS DE HORMIGÓN							
NOMENCLATURA	FECHA INICIAL	FECHA DE ROTURA	EDAD	PESO (gr)	ÁREA (cm²)	CARGA DE ROTURA (Kg)	RESISTENCIA (Kg/cm²)
30V_7D	24/11/2015	30/11/2015	7	13741	182,41	59320	325
30V_14D	24/11/2015	07/12/2015	14	13894	182,41	66930	367
30V_28D	24/11/2015	21/12/2015	28	14046	182,41	86650	475



Tesis:	"HORMIGONES DE ALTAS PRESTACIONES"						
Autor:	JUAN CRISTÓBAL MORALES GARCÍA						
Mezcla:	HORMIGÓN CON 20% DE VIRUTA DE ACERO TRITURADA CON AGRGADO GRUESO DE TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DE 3/4"						
Fecha:	24 DE NOVIEMBRE DEL 2015						
ENSAYO A COMPRESIÓN DE PROBETAS DE HORMIGÓN							
NOMENCLATURA	FECHA INICIAL	FECHA DE ROTURA	EDAD	PESO (gr)	ÁREA (cm²)	CARGA DE ROTURA (Kg)	RESISTENCIA (Kg/cm²)
20V_7D	24/11/2015	30/11/2015	7	13593	182,41	65500	359
20V_14D	24/11/2015	07/12/2015	14	13578	182,41	77980	427
20V_28D	24/11/2015	21/12/2015	28	13591	182,41	83460	458



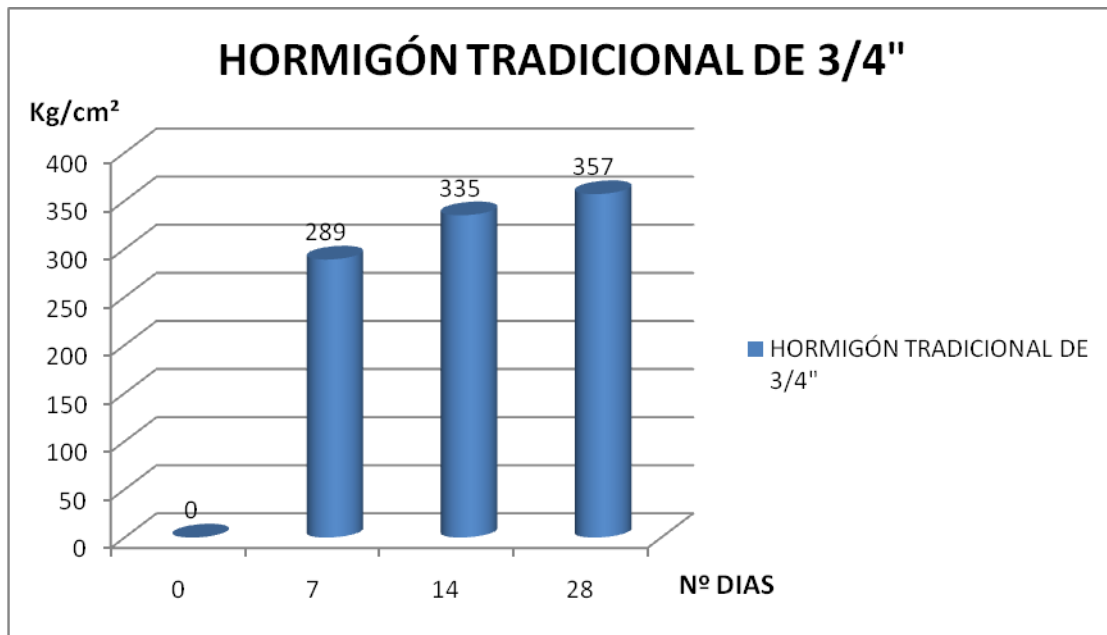


Figura 5.8: Resistencia hormigón 3/4"

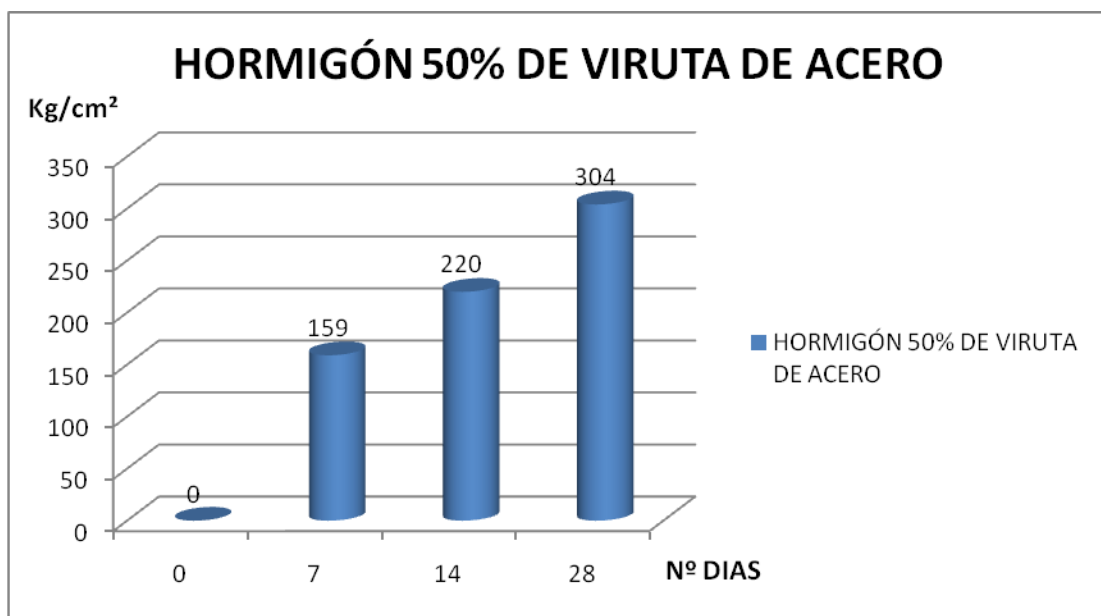


Figura 5.9: Resistencia hormigón 50% viruta de acero

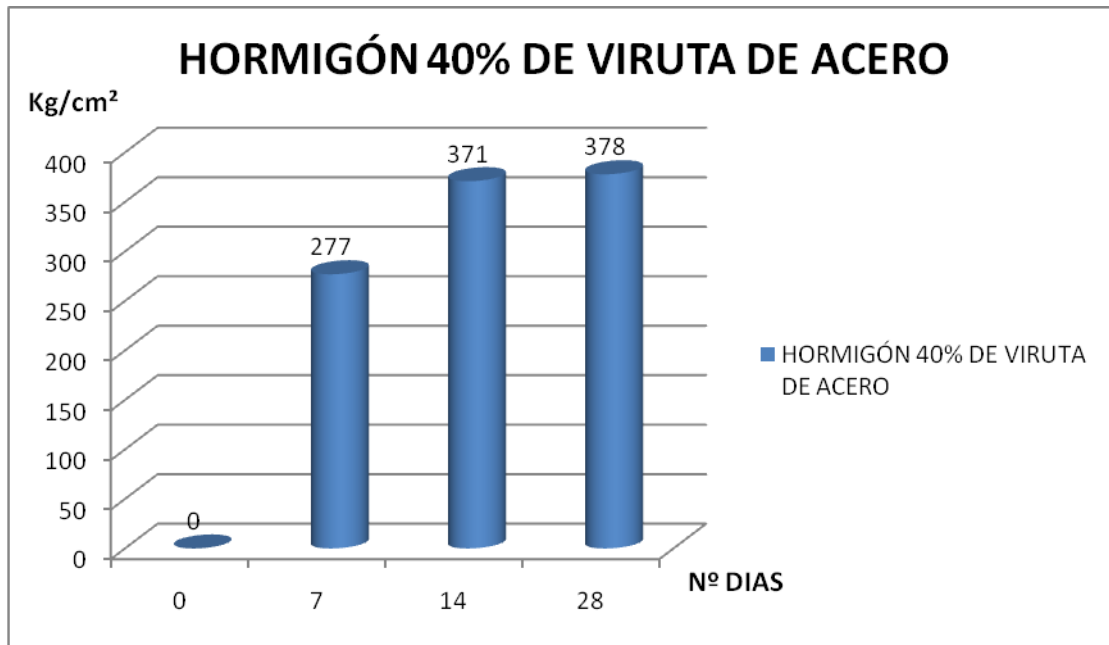


Figura 5.10: Resistencia hormigón 40% viruta de acero

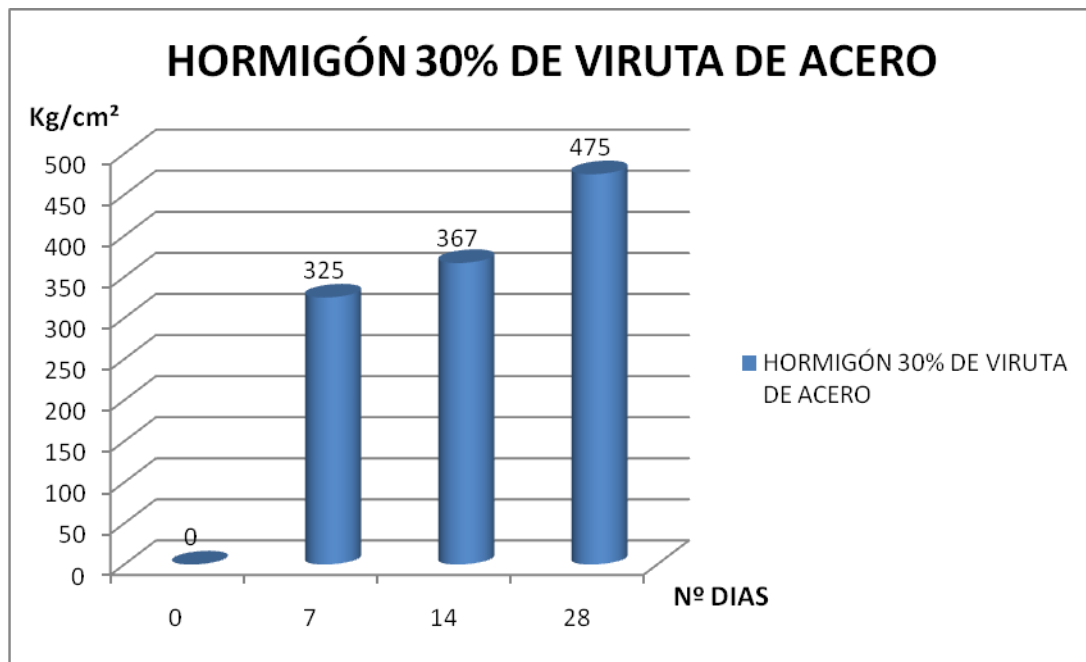


Figura 5.11: Resistencia hormigón 30% viruta de acero

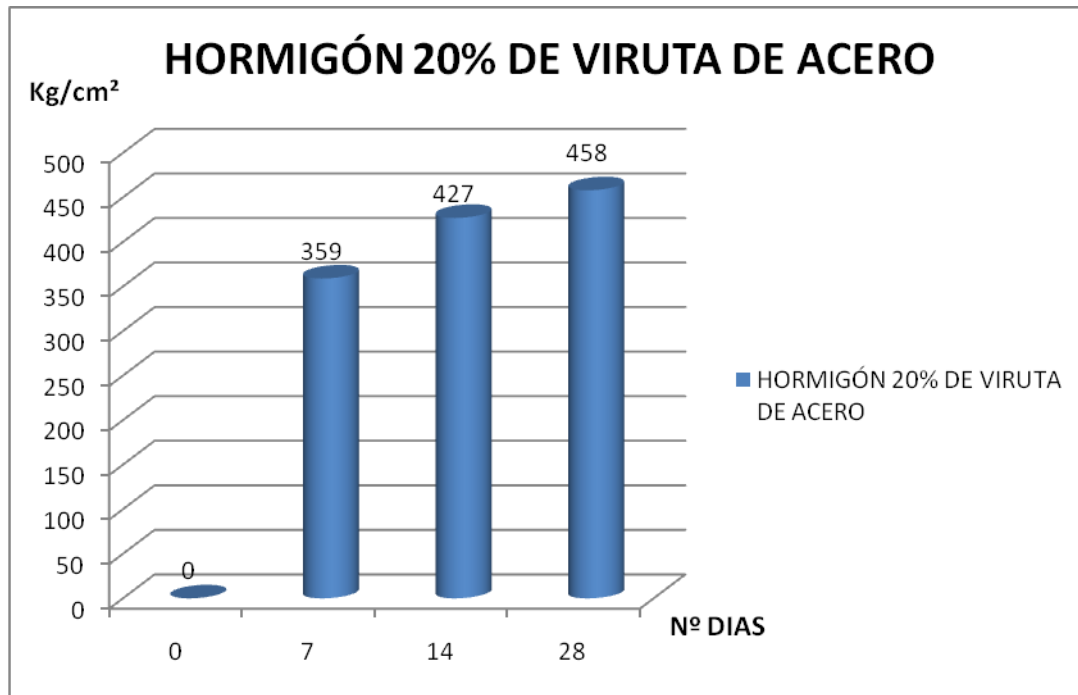


Figura 5.12: Resistencia hormigón 20% viruta de acero

Tabla 5.2: Peso volumétrico de las probetas de hormigón con viruta de acero

Mezcla	Peso Promedio (gr)	Peso Volumétrico (Kg/m³)
HORMIGÓN 50% DE VIRUTA DE ACERO	14008	2519
HORMIGÓN 40% DE VIRUTA DE ACERO	13941	2507
HORMIGÓN 30% DE VIRUTA DE ACERO	13894	2499
HORMIGÓN 20% DE VIRUTA DE ACERO	13587	2444
HORMIGÓN TRADICIONAL DE 3/4"	13303	2393

Comparativo de resultados finales entre los distintos tipos de hormigón con viruta de acero realizados

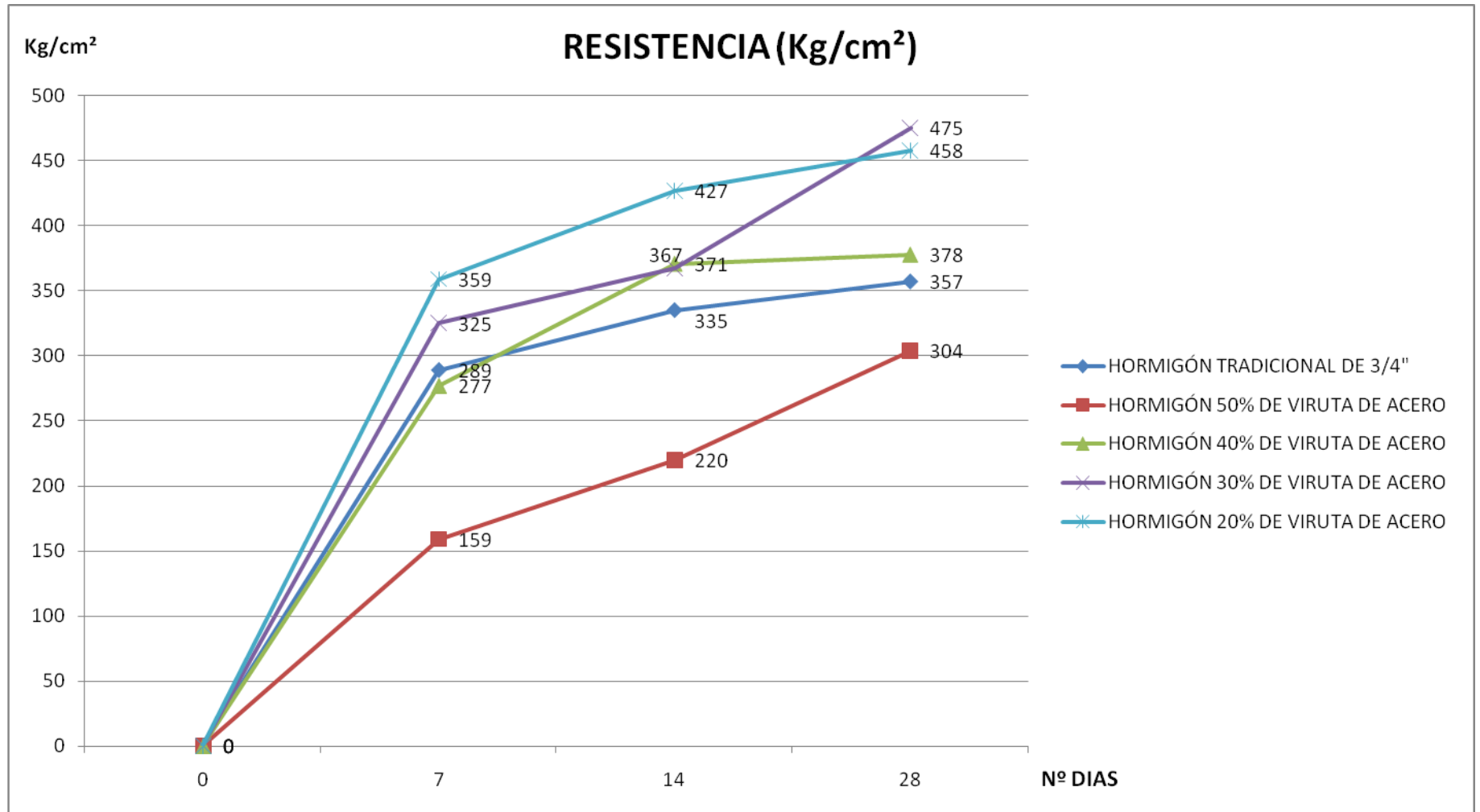


Figura 5.13: Comparativo de resultados finales de las muestras con viruta de acero

CONCLUSIONES

- La escoria seca de acero en calidad de árido grueso se comporta de manera muy similar al agregado grueso usado comúnmente, esto en cuanto a su trabajabilidad y disposición final una vez que fue ajustado a la dosificación de la mezcla.
- La viruta de acero mostró un cierto grado de complejidad al momento de la trituración debido a la forma de tipo espiral que termina este material luego del proceso de arranque en el torno.
- Los resultados en los hormigones con escoria de acero fueron muy satisfactorios, la mayoría de ellos a excepción del hormigón con 100% de escoria seca de acero superaron notablemente la resistencia de diseño de 385 Kg/cm^2 y al hormigón tradicional con agregado de tamaño máximo nominal $1\frac{1}{2}$ ", todos los hormigones contaban con la misma cantidad de aditivo de manera que se encontraban en condiciones similares.
- Los resultados de pesos volumétricos de los hormigones con escoria seca de acero versus el hormigón tradicional, fueron casi similares no se logró una diferencia de peso que diera como resultado un hormigón liviano, para futuras investigaciones se podría incorporar junto con la escoria seca de acero un material más liviano a la pasta de hormigón de manera que se obtenga como resultado un hormigón más liviano en comparación a uno tradicional.

- En los hormigones con viruta de acero se obtuvieron resultados excelentes, los hormigones con porcentajes de 30% y 20% de viruta de acero fueron los que más sobresalieron en su resistencia final superando a las otras muestras con escoria, hormigón tradicional con agregado de tamaño máximo nominal de 3/4" y de manera muy significativa a la resistencia de diseño de 385 Kg/cm², al igual que los diseños anteriores estos contaban con el mismo porcentaje de aditivo para mantener la igualdad de condiciones, para futuras investigaciones se puede tener en cuenta los porcentajes y encontrar el porcentaje óptimo de viruta de acero.
- En los resultados de los pesos volumétricos de los hormigones con viruta de acero versus el hormigón tradicional con agregado de tamaño máximo nominal de 3/4", se pudo contemplar que existe diferencia en cuanto al porcentaje de viruta de acero que contenga la mezcla, de este valor dependerá el incremento en su peso volumétrico.
- Durante la realización de los ensayos en el laboratorio se pudo observar la manera en la que fracasaron las probetas de hormigón, que contenían escoria seca de acero, con un plano de falla de 45° muy frágil ocasionando que la probeta explotara cuando su resistencia llegó al límite; en el caso de las probetas con viruta de acero se mantuvo el plano de falla de 45° en la mayoría de las muestras, sin embargo fue una falla dúctil porque mientras se acercaba a la resistencia máxima, el hormigón empezó con una ligera deformación hasta el fracaso final de la probeta.
- Con la incorporación de la escoria de acero y la viruta de acero en los hormigones, se contribuye de manera directa a la conservación de nuestro medio ambiente, considerando que estos materiales son desperdicios que se desechan en

grandes cantidades en los rellenos sanitarios, además de lo indicado se disminuye el uso de recursos naturales para la elaboración de agregados gruesos y finos.

- Una posible fuente de empleo a futuro puede ser el manejo, preparación y disposición final de la escoria y viruta de acero, ya que queda comprobado que son materiales aptos para la confección de mezclas de hormigón, estos materiales pueden llegar a tener un precio más accesible y de acuerdo con los resultados se puede lograr un mejor desempeño en cuanto a resistencia final.

- Después de superar un sin número de obstáculos y desafíos en la realización de la presente tesis, tengo la convicción de haber cumplido con los objetivos propuestos, los cuales principalmente fueron incorporar la viruta y la escoria seca de acero en hormigones, evaluar sus propiedades y obtener como resultado final hormigones de altas prestaciones con elementos diferentes a lo que se usa comúnmente en nuestro medio.

BIBLIOGRAFÍA

SÁNCHEZ DE GUZMÁN, Diego.:Tecnología del concreto y del mortero. 5ta Ed. Santafé de Bogotá – Colombia: BHANDAR EDITORES LTDA, 2001.

NEVILLE, Adam M.: Tecnología del concreto, Instituto Mexicano del cemento y del concreto, A.C., México, 1979

A.C.I., Committee 211: Recommended Practice for Selecting Proportions for Normal Weight Concrete (A.C.I. 211.1), American Concrete Institute, Detroit, Mich., 1983.

LADINO, Jorge; MATAALLANA, Ricardo: Granulometrías óptimas para máximas resistencias en el concreto de peso normal, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, 1985

VITERO, O.: Métodos para dosificar mezclas de hormigón, Instituto Técnico de Materiales y Construcciones, Madrid: INTEMAC, 1995.