

**PROPUESTA DE ELEMENTOS PREFABRICADOS PARA LA CONSTRUCCIÓN
UTILIZANDO CONCRETO MODIFICADO CON ESCORIA.**

**DIEGO FERNANDO MORENO CARREÑO
DWYGTH SEBASTIÁN PRIETO GÓMEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2014

**PROPUESTA DE ELEMENTOS PREFABRICADOS PARA LA CONSTRUCCIÓN
UTILIZANDO CONCRETO MODIFICADO CON ESCORIA.**

**DIEGO FERNANDO MORENO CARREÑO
DWYGTH SEBASTIÁN PRIETO GÓMEZ**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero
Civil**

**Director:
RICARDO ALFREDO CRUZ
Ingeniero Civil. Ph.D.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2014

DEDICATORIA

Este proyecto va dedicado primeramente a dios por que está conmigo en todo momento, dándome fortaleza y sabiduría en los tiempos difíciles y sintiendo su apoyo para continuar, por darme un tesoro muy importante como lo es mi familia la cual es mí guía y camino a seguir.

A mis padres, quienes han estado siempre en mis felicidades, tanto como en mis tristezas, en las buenas y en las malas, siendo la base de todo lo que soy y llegare a ser, quienes han depositado toda su confianza y apoyo para lograr los éxitos que día a día se cosechan.

A mi hermanita, a quien quiero mucho y es la consentida de la casa por compartir esos momentos y estar siempre dispuesta a escucharme y querer siempre lo mejor para mí.

A familiares y amigos que siempre han estado pendientes dando apoyo permitiéndome crecer como persona y han puesto su granito de arena para ser mejor cada día.

A la universidad industrial de Santander, por permitirme crecer en conocimiento y como persona por su diversidad de culturas, a los profesores y laboratoristas que intervinieron en este proyecto de investigación.

DIEGO FERNANDO MORENO CARREÑO

A Dios por permitirme vivir cada día y bendecirme todos los días.

A mis padres que con su amor, dedicación y sacrificio hicieron posible que cumpliera éste sueño y que me convirtiera en mejor persona.

A mi hermano por ser una fuente de confianza y de acompañamiento.

A mi familia y amigos en general por todo el apoyo que me brindaron durante mi estadía en la universidad.

DWYGTH SEBASTIÁN PRIETO GÓMEZ

AGRADECIMIENTOS

Se agradece especialmente a la empresa LAVCO Ltda., por haber suministrado toda la escoria que se utilizó en este proyecto de investigación.

De igual manera al profesor Ricardo Cruz Hernández por ser el principal guía a lo largo de la realización de nuestro proyecto.

Al profesor Luis Eduardo Zapata por apoyar de manera directa en el entendimiento teórico-práctico de los diseños de mezcla.

También al laboratorista Jairo Hernández por facilitarnos la realización de los ensayos de caracterización de materiales y de resistencia de probetas y elementos.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	15
1. PROGRAMA EXPERIMENTAL	17
1.1 MATERIALES Y DISEÑO DE MEZCLA	17
1.1.1 Obtención de la escoria	17
1.1.2 Selección del material	17
1.1.3 Composición de los agregados	18
1.1.4 Granulometría (NTC-77)	18
1.1.5 Densidad y absorción (NTC-237 (Finos), NTC-176 (Gruesos))	21
1.1.6 Diseño de mezcla	23
1.2 CONSTRUCCIÓN DE ELEMENTOS PROPUESTOS	27
2. RESULTADOS Y ANALISIS	30
2.1 ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN	30
2.2 ENSAYO DE FLEXIÓN PARA ELEMENTOS CONSTRUIDOS	33
3. CONCLUSIONES	36
4. RECOMENDACIONES	37
BIBLIOGRAFÍA	38
ANEXOS	41

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Escoria en planta procesadora	16
Figura 2. Escoria Gruesa	17
Figura 3. Escoria Fina	18
Figura 4. Ensayo de Granulometría	20
Figura 5. Ensayo de asentamiento del concreto	24
Figura 6. Añadiendo agua a la mezcla	24
Figura 7. Ensayo de resistencia a compresión	25
Figura 8. Adoquines construidos	28
Figura 9. Baldosas para exteriores	28
Figura 10. Caja de inspección	29
Figura 11. Colección de elementos construidos	29
Figura 12. Ensayo a compresión de adoquines	31
Figura 13. Ensayo a compresión de baldosas	32
Figura 14. Ensayo a flexión para adoquín grande	34
Figura 15. Ensayo a flexión para adoquín mediano	34

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Granulometría agregado grueso	19
Tabla 2. Granulometría agregado fino	19
Tabla 3. Granulometría escoria gruesa	20
Tabla 4. Granulometría escoria fina	20
Tabla 5. Densidad y absorción agregado grueso	21
Tabla 6. Densidad y absorción agregado fino	22
Tabla 7. Densidad y absorción escoria gruesa	22
Tabla 8. Densidad y absorción escoria fina	22
Tabla 9. Resistencia a la compresión de las mezclas preliminares	25
Tabla 10. Resumen de diseños de mezcla	26
Tabla 11. Porcentaje de tipos de agregados en la mezcla	27
Tabla 12. Dimensiones de elementos construidos	27
Tabla 13. Resultados ensayo de compresión a cilindros de concreto con aditivo	30
Tabla 14. Resultados ensayo de compresión a adoquines	31
Tabla 15. Resultados ensayo de compresión para baldosas	32
Tabla 16. Resultados de ensayo a flexión	35

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. Caracterización de materiales	41
ANEXO B. Diseño de Mezcla Volumen Absoluto	65

RESÚMEN

TÍTULO: PROPUESTA DE ELEMENTOS PREFABRICADOS PARA LA CONSTRUCCIÓN UTILIZANDO CONCRETO MODIFICADO CON ESCORIA*

AUTOR: DIEGO FERNANDO MORENO CARREÑO**
DWYGTH SEBASTIÁN PRIETO GÓMEZ

PALABRAS CLAVE: Prefabricados, escoria de alto horno de cubilote, concreto modificado.

DESCRIPCIÓN

En la actualidad se busca que las construcciones sean seguras, económicas, y de algún modo sean sostenibles, minimizando gastos de energía y aprovechando al máximo los residuos que están causando daño ambiental. La industria metalúrgica genera aproximadamente 400 kg de residuos de escoria de alto horno de cubilote (EHC) por cada 1000 kg de acero producido, siendo necesario, en este sentido, plantear propuestas para su reciclaje y utilización.

Ésta investigación plantea la construcción de elementos prefabricados no estructurales como adoquines de diferentes dimensiones, baldosas de dos tipos y cajas de inspección, usando mezclas de concreto modificadas con escoria de alto horno de cubilote. Este concreto se caracteriza por su bajo peso específico, ya que la escoria tiene baja densidad.

A los agregados tanto naturales como de escoria, se les realizan una serie de ensayos que están estandarizados por las normas técnicas colombianas, estos ensayos sirven para determinar las características de los agregados y que ayudan para establecer el diseño de la mezcla, éstas características son módulo de finura, tamaño máximo nominal y tamaño máximo.

El diseño de mezcla se realizó por el método de volumen absoluto para alcanzar una resistencia de 14 MPa. Los porcentajes de sustitución de escoria por agregados finos fueron del 64% y por agregados gruesos del 80%.

Luego de tener los elementos construidos, se les realizan unas pruebas para determinar la resistencia de estos tanto a compresión como a flexión, además se intenta dejar un buen acabado para minimizar costos.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Ricardo Alfredo Cruz, Ingeniero Civil. Ph.D.

ABSTRACT

TITLE: PROPOSED ELEMENTS USING PRECAST CONCRETE CONSTRUCTION FOR MODIFIED SLAG*

AUTHOR: DIEGO FERNANDO MORENO CARREÑO**
DWYGTH SEBASTIÁN PRIETO GÓMEZ

KEYWORDS: Prefabricated, slag of cupola furnace, modified concrete.

DESCRIPTION

At present it is intended that the buildings are safe, economical, and somehow sustainable, minimizing costs and maximizing energy waste are causing environmental damage. The metallurgical industry generates approximately 400 kg of residues of slag cupola furnace (EHC) per 1000 kg of steel produced, being necessary, in this sense, make proposals to be used.

This research proposes the construction of non-structural elements such as precast pavers of different sizes, two tile types and manholes, concrete mixtures using modified slag cupola furnace. This concrete is characterized by its low specific weight, because the slag has low density. In both natural aggregates such as slag, they perform a series of tests to determine the features that will be used in the mix design, these characteristics are fineness modulus, nominal maximum size and maximum size.

In both natural aggregates such as slag, they perform a series of tests that are standardized by Colombian technical rules, these assays are used to determine the characteristics of the aggregates and help to set the mixture design, these features are module fineness, nominal maximum size and maximum size.

The mixture design was performed by the method of absolute volume to achieve a resistance of 14 MPa. Replacement ratios for slag fine aggregate were 64% and 80% coarse aggregate.

After having built elements, some tests were performed to determine the resistance of these both compression and bending, also attempting to leave a smooth finish to minimize costs.

* Paper grade

** Faculty of Engineering Physics and Mechanics. School of Civil Engineering. head teacher: Ricardo Alfredo Cruz, Civil Engineer Ph. D.

INTRODUCCIÓN

En la historia se encuentra que la presencia de la escoria en el cemento o en el concreto se empezó a implementar a partir de la segunda guerra mundial, en la búsqueda de mejorar algunas características en el concreto y disminuir costos en su construcción.

Debido a esto se ha realizado diferentes estudios para encontrar la proporción de la mezcla, mejorando propiedades como durabilidad, relaciones entre la velocidad y el pulso ultrasónico, propiedades acústicas y resistencia a la compresión.

Siguiendo esta tendencia se quiere hacer una contribución al impacto ambiental en la actualidad, ya que se utilizará un material sobrante de procesos metalúrgicos llamado escoria de alto horno, proponiendo un diseño de mezcla que mantenga las condiciones de resistencia requerida para la construcción utilizando el método de volúmenes absolutos.

Ya hablando del tratamiento de los materiales, la caracterización mecánica se le realiza a los dos tipos de agregados usados: a los pétreos o naturales y a la escoria de alto horno; esto con el objetivo de buscar la mejor relación de remplazo sin modificar la resistencia inicial propuesta para los elementos a construir.

Al utilizar la escoria como agregado en la mezcla de concreto según los estudios se puede obtener un aporte significativo en la reducción de los costos, peso de las estructuras y un mejor acabado natural, aunque dependiendo de la cantidad de agregado utilizado se puede concluir si es un concreto ligero o un concreto normal, por lo tanto si el aumento de escoria es significativo puede haber una disminución de la resistencia de la mezcla propuesta.

Figura 1. Escoria en planta procesadora



Fuente: Escoria de hierro. <http://www.spanish.alibaba.com/>. (Consultado 6 de octubre de 2014)

Por lo tanto se plantea la elaboración de algunos elementos prefabricados no estructurales de tipo adoquín, baldosas para exteriores y caja de inspección con el fin de observar y analizar su comportamiento a la compresión y flexión de todos los elementos propuestos.

1. PROGRAMA EXPERIMENTAL

1.1 MATERIALES Y DISEÑO DE MEZCLA

1.1.1 Obtención de la escoria. La escoria fue obtenida a través de la empresa LAVCO Ltda que pertenece al sector metalmeccánico de la región. Dicha empresa produce y comercializa camisas en fundición de hierro para camiones, está ubicada en el municipio de Floridablanca (Santander) sobre la vía principal que conduce de Bucaramanga a Piedecuesta.

1.1.2 Selección del material. La escoria se encuentra en dos variedades: la primera es un agregado grueso al cual se le hace un triturado manual para disminuir el tamaño de esta y poder utilizarla en la mezcla, en la figura 2 se muestra este tipo de escoria. En cuanto al segundo tipo, se describe como un material fino, entonces lo único que se hace, es pasarla por el tamiz número 4 para utilizarlo como un agregado fino en el concreto modificado, en la figura 3 se observa este material .

Figura 2. Escoria Gruesa



Figura 3. Escoria Fina



1.1.3 Composición de los agregados. Para tener un buen diseño de mezcla lo primero que se hizo fue caracterizar los materiales que se utilizaron en la mezcla de concreto modificado, para ello se realizaron los ensayos necesarios para conocer las propiedades de los materiales (escoria fina, escoria gruesa, agregado fino, agregado grueso), dichos ensayos se hacen siguiendo lo estipulado en las diferentes Normas Técnicas Colombianas (NTC).

A continuación se enumeran los ensayos realizados a los materiales.

1.1.4 Granulometría (NTC-77). Este método de ensayo se usa principalmente para determinar la gradación de los materiales propuestos para usarse como agregados y se realiza según el procedimiento dado en.¹

¹ ICONTEC-Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificaciones. NTC 77 Concretos. Método de ensayo para el análisis por Tamizado de los agregados finos y Gruesos. Segunda actualización. Bogotá D.C. 2007.

Tabla 1. Granulometría agregado grueso

Tamiz	Masa ret [g]	% Ret. Acum	% Pasa
1 1/2	0	0.00	100.00
1	99	0.90	99.10
3/4	2370	22.45	77.55
1/2	4558	63.88	36.12
3/8	2374	85.46	14.54
#4	1544	99.50	0.50
Fondo	55	100.00	0.00
Muestra	11000		

Tabla 2. Granulometría agregado fino

Tamiz	Masa ret [g]	% Ret. Acum	% Pasa
#4	90	9.0	91.0
#10	224	31.4	68.6
#20	190	50.4	49.6
#40	176	68.0	32.0
#60	127	80.7	19.3
#100	90	89.7	10.3
#200	53	95.0	5.0
Fondo	50	94.7	5.3
Muestra	1000		

Figura 4. Ensayo de Granulometría



Fuente: Ensayo de granulometría. <http://www.blogsuelos.blogspot.com/>. (Consultado 5 de octubre de 2014).

Tabla 3. Granulometría escoria gruesa

Tamiz	Masa ret [g]	% Ret acum	% Pasa
1 1/2"	58.5	0.53	99.47
1"	1040.6	9.99	90.01
3/4"	1418.3	22.89	77.11
1/2"	1414.1	35.74	64.26
3/8"	1054	45.32	54.68
#4	4225.9	83.74	16.26
Fondo	1788.6	100	0
Muestra	11000		

Tabla 4. Granulometría escoria fina

Tamiz	Masa ret [g]	% Ret acum	% Pasa
#4	7.3	0.73	99.27
#8	384.7	39.2	60.8
#16	364.7	75.67	24.33
#30	138	89.47	10.53
#50	50.4	94.51	5.49
#100	21.2	96.63	3.37
Fondo	33.7	100	0
Muestra	1000		

1.1.5 Densidad y absorción (NTC-237 (Finos), NTC-176 (Gruesos)). La densidad aparente es una característica usada generalmente para calcular el volumen ocupado por un agregado en una mezcla que contiene más agregados incluyendo el concreto hidráulico, y cualquier mezcla hecha por volumen absoluto.

Los valores de la absorción se usan para calcular el cambio en la masa de un agregado debido al agua absorbida en los espacios de los poros saturables, comparado con la condición seca, cuando se considera que el agregado ha estado en agua el tiempo necesario para satisfacer la mayoría del potencial de absorción.²

Tabla 5. Densidad y absorción agregado grueso

GRAVEDAD ESPECIFICA REAL	2.667	
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	2.612	
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE S.S.S	2.632	
PESO UNIT. DEL AGREGADO S.S.S	1469.485	[kg/m ³]
PESO UNIT. DEL AGREGADO S.S.S SUELTA	1376.574	[kg/m ³]
ABSORCION EN %	0.789	[%]
PORCENTAJE DE VACIOS	44.172	[%]

² ICONTEC-Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificaciones. NTC 237 Ingeniería civil y arquitectura. Método para determinar la densidad y la Absorción del agregado fino. Primera actualización. Bogotá D.C. 2001.

Tabla 6. Densidad y absorción agregado fino

GRAVEDAD ESPECIFICA REAL	2.579	
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	2.451	
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE S.S.S	2.501	
PESO UNIT. DEL AGREGADO S.S.S	1431.186	[kg/m3]
PESO UNIT. DEL AGREGADO S.S.S SUELTA	1295.720	[kg/m3]
ABSORCION EN %	2.050	[%]
PORCENTAJE DE VACIOS	42.753	[%]

Tabla 7. Densidad y absorción escoria gruesa

GRAVEDAD ESPECIFICA REAL	1.516	
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	1.258	
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE S.S.S	1.428	
PESO UNIT. DEL AGREGADO S.S.S	955.885	[kg/m3]
COMPACTADO		
PESO UNIT. DEL AGREGADO S.S.S SUELTA	890.812	[kg/m3]
ABSORCION EN %	13.557	[%]
PORCENTAJE DE VACIOS	33.062	[%]

Tabla 8. Densidad y absorción escoria fina

GRAVEDAD ESPECIFICA REAL	2.408	
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	1.996	
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	2.167	
S.S.S		
PESO UNIT. DEL AGREGADO S.S.S	944.147	[kg/m3]
COMPACTADO		
PESO UNIT. DEL AGREGADO S.S.S	884.393	[kg/m3]
SUELTA		
ABSORCION EN %	8.578	[%]
PORCENTAJE DE VACIOS	56.428	[%]

En el anexo 1 se presentan de manera extendida todas las tablas de resultados de la caracterización de los materiales, tanto granulometría como densidad y absorción.

1.1.6 Diseño de mezcla. Los métodos de diseño de mezcla están dirigidos a manejar cualitativamente la resistencia, la calidad y la durabilidad del concreto dependiendo de su uso. Existen diferentes metodologías para diseños de mezcla, aunque en esta investigación se utilizó el método ACI 211.1³ y más específicamente el enfoque de volúmenes absolutos, el cual se basa en ciertas variables:

- El asentamiento, elegido de acuerdo al tipo de elemento a construir.
- La resistencia de diseño.
- El tamaño máximo nominal del agregado.
- La relación agua/cemento.
- El módulo de finura de la arena.

Entonces, según algunas de las variables anteriores se hace indispensable saber a cabalidad algunas de las propiedades de los agregados, labor realizada con éxito con los ensayos mencionados anteriormente.

En el anexo 2 se presenta una memoria de cálculo explicativa de un diseño de mezcla representativo, intentando mostrar el procedimiento seguido durante el diseño de mezcla para el concreto aligerado propuesto en este proyecto.

De manera ilustrativa, en las siguientes figuras se presentan imágenes del proceso realizado durante la realización de la mezcla.

³ ACI American Concrete Institute. Manual of concrete practice. Part 1: Standard practice for selecting proportions for normal, heavyweight, and mass concrete (ACI 211.1-91). Estados Unidos. 2002. v1 p.1-38

Figura 5. Ensayo de asentamiento del concreto



Figura 6. Añadiendo agua a la mezcla



En la tabla 9, se presenta un resumen de los diseños de mezcla propuestos y que de los cuales se construyeron 3 cilindros de cada una de ellas, esto con el objetivo de elegir la que mejor resistencia presente.

1.1.6.1 Ensayo de resistencia a compresión: Este método de ensayo consiste en aplicar una carga axial de compresión a los cilindros moldeados o núcleos a una velocidad que se encuentra dentro de un rango prescrito hasta que ocurra la falla. La resistencia a la compresión de un espécimen se calcula dividiendo la

carga máxima alcanzada durante el ensayo por el área de la sección transversal del espécimen.⁴

En la figura 7 se muestra una imagen del ensayo a compresión realizado para las probetas.

Figura 7. Ensayo de resistencia a compresión



Como se mencionó antes, se fallaron tres cilindros para cada mezcla, y se calculó un promedio de resistencia obteniendo estos resultados:

Tabla 9. Resistencia a la compresión de las mezclas preliminares

Mezcla #	Carga [kN]	Esfuerzo último [MPa]	Prom [MPa]
1	80.4	10.442	11.260
1	80.5	10.455	
1	99.2	12.883	
2	14.9	1.935	1.918
2	15.1	1.961	
2	14.3	1.857	
3	13.6	1.766	1.762
3	13.3	1.727	

⁴ ICONTEC-Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificaciones. NTC 673 Concretos. Ensayo de resistencia a la compresión de Especímenes cilíndricos de concreto. Tercera actualización. Bogotá D.C. 2010.

Tabla 9. Resistencia a la compresión de las mezclas preliminares. (Continuación)

Mezcla #	Carga [kN]	Esfuerzo último [MPa]	Prom [MPa]
3	13.8	1.792	
4	20.4	2.649	2.524
4	20.4	2.649	
4	17.5	2.273	

Tabla 10. Resumen de diseños de mezcla

Mezcla	Agua [L]	Cemento [kg]	Arena [kg]	Grava [kg]	Escoria fina [kg]	Escoria gruesa [kg]
1	179.6	319.7	592.3	519.4	148	129.8
2	280	269	426	79	594	447
3	287	269	333	149	592	447
4	281	269	422	119	516	476

1.1.6.2 Selección de la mezcla. La decisión de cual mezcla escoger para construir finalmente los elementos inicialmente propuestos, se hace observando los datos indicados en la tabla 10, en donde se encuentra que la mezcla #1 es la de mayor resistencia promedio pero a su vez y fundamentándose en la tabla 9 se ve que presenta la menor sustitución, por lo anterior y en virtud de los objetivos de esta investigación se decide desechar esta mezcla.

Las mezclas #2, #3 y #4 son las que tienen un mayor porcentaje de sustitución, esto se observa en la tabla 11, de estas tres se escoge entonces la que mejor resistencia haya presentado ante el ensayo de compresión, concluyendo de esta manera que la mejor mezcla era la #4 y que sería con esta con la que se harían los elementos.

Tabla 11. Porcentaje de tipos de agregados en la mezcla

Mezcla #	1	2	3	4
% Arena	80	42	36	36
% Escoria fina	20	58	64	64
% Grava	80	15	25	20
% Escoria gruesa	20	85	75	80

1.2 CONSTRUCCIÓN DE ELEMENTOS PROPUESTOS

De la sección anterior se concluyó usar la mezcla #4 para construir los elementos no estructurales propuestos en los objetivos del proyecto, que consisten en adoquines, baldosas para exteriores y cajas de inspección, a continuación se presenta una tabla con las dimensiones de dichos elementos.

Tabla 12. Dimensiones de elementos construidos

Elemento	Largo (cm)	Ancho (cm)	Espesor (cm)
Adoq. G	20	10	8
Adoq. M	20	10	6
Adoq. P	20	10	5
Adoq. I	24	12	6
Bald. P	10	10	3
Bald. G	30	30	3

Teniendo en cuenta la resistencia obtenida durante la elección de la mezcla, se decidió usar un aditivo para mejorarla y poder lograr valores más altos, además con el uso de dicho aditivo se conseguía disminuir la cantidad de agua necesaria para el concreto.

A la par de los elementos no estructurales, también se construyeron otras 3 probetas cilíndricas con el objeto de verificar la efectividad del aditivo usado.

En las siguientes imágenes se presentan ya los elementos construidos.

Figura 8. Adoquines construidos



De los elementos aquí mostrados se construyeron 5 especímenes de cada uno, 2 para el ensayo de compresión, 1 para el de flexión y otros 2 para una muestra pública de su acabado.

Figura 9. Baldosas para exteriores



De estas baldosas hay dos tamaños: las baldosas grandes que son de 30 cm x 30 cm de estas se construyeron 4 unidades y las baldosas pequeñas de 10 cm x 10 cm de las cuales se hicieron 4 unidades.

Figura 10. Caja de inspección



Sólo se construyó una caja de inspección, y no era necesario hacerle ensayos, en si se construyó para tenerla como muestra.

Figura 11. Colección de elementos contruidos



2. RESULTADOS Y ANALISIS

2.1 ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN

Junto con los adoquines, baldosas y caja de inspección se ensayaron también los tres cilindros de la mezcla con el aditivo, ello para verificar si la inclusión de este mejoraba las características del concreto.

Los resultados del ensayo para las probetas se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 13. Resultados ensayo de compresión a cilindros de concreto con aditivo

#	Peso (kg)	A. Contacto (mm ²)	Ensayo Compr. (kN)	Ensayo Compr. (MPa)	Prom (MPa)
1	3.624	7853.98	39.5	5.03	5.02
2	3.504	7853.98	37.5	4.77	
3	3.586	7853.98	41.2	5.25	

Se evidencia un aumento en la resistencia de las probetas, en base a lo observado en la tabla 10, con ello se observa la eficacia del aditivo.

A continuación en la figura 12 se expone una imagen del ensayo hecho a los adoquines.

Figura 12. Ensayo a compresión de adoquines



En la tabla 14 se presentan los datos obtenidos en el ensayo para los elementos propiamente dichos.

Tabla 14. Resultados ensayo de compresión a adoquines

Adoquín	Peso (kg)	Área Contac(mm ²)	Ensayo Compr (kN)	Ensayo Compr(MPa)	Prom (MPa)
P	2.082	20000	138.2	6.91	6.96
P	2.091	20000	140.3	7.02	
M	2.416	20000	133.3	6.67	6.71
M	2.511	20000	135.1	6.76	
G	3.266	20000	98.9	4.95	4.96
G	3.302	20000	99.5	4.98	
I	2.518	21600	122.7	5.68	5.71
I	2.59	21600	123.8	5.73	

El adoquín que mejor comportamiento resistente presenta es el denominado como *pequeño*, dado que no es mucha la diferencia con las resistencias de los otros elementos el promedio de todos que es aproximadamente de 6.1 MPa es un valor muy representativo para hablar de este tipo de concreto.

En la figura 13 se da una imagen del ensayo a compresión para las baldosas y en la tabla 15 están los resultados de dicho ensayo.

Figura 13. Ensayo a compresión de baldosas



Tabla 15. Resultados ensayo de compresión para baldosas

Elemento	Peso (kg)	A. Cont. (mm ²)	Ensayo Compr. (kN)	Ensayo Compr. (MPa)	Prom (MPa)
Bal. P	0.582	10000	185	18.50	17.70
Bal. P	0.524	10000	169	16.90	
Bal. G	5.206	90000	450	5.00	5.10
Bal. G	5.129	90000	468	5.20	

Los resultados del ensayo a compresión hecho a las baldosas, muestran una gran diferencia de una baldosa a otra, la de dimensiones más grandes tiene una resistencia casi 3 veces menor que la baldosa pequeña. Pero también vale la pena ver que el valor hallado para esta última está muy acorde con los valores de

resistencia de los adoquines vistos en la tabla 14, dicho esto el ensayo para la baldosa pequeña pudo haber tenido errores a la hora de probarla.

2.2 ENSAYO DE FLEXIÓN PARA ELEMENTOS CONSTRUIDOS

Con el ensayo a flexión se busca determinar algunas propiedades mecánicas como lo son el esfuerzo de rotura y el módulo de elasticidad.

El ensayo consiste en aplicar una carga puntual centrada sobre la probeta colocada horizontalmente y apoyada en cada extremo, y con ello someter el espécimen a flexión pura buscando tener estados de tensión y compresión en toda la longitud de la probeta.

Dado que el esquema estructural es común, se conoce a cabalidad la fórmula de deflexión en función de la luz, de la inercia de la sección, de la carga aplicada y del módulo de elasticidad, que en fin de cuentas es la variable que interesa dentro del ensayo.

En la siguiente figura se muestra una fotografía tomada durante el ensayo a flexión.

Figura 14. Ensayo a flexión para adoquín grande



Figura 15. Ensayo a flexión para adoquín mediano



En la siguiente tabla se observan los resultados obtenidos del ensayo a flexión.

Tabla 16. Resultados de ensayo a flexión

Elemento	Peso (kg)	A. Contacto (mm)	Carga de Rotura (kN)	Módulo de elasticidad (MPa)
Adoq. G	3.266	20000	7.5	100.00
Adoq. M	2.416	20000	4.5	313.70
Adoq. P	2.082	20000	2.1	955.70
Adoq. I	2.518	21600	-	-
Bald. P	0.582	10000	1.12	16.12
Bald. G	5.129	90000	0.6	723

Para el adoquín en I no se obtuvieron datos del ensayo de flexión debido a la fragilidad que presentaron dichos elementos a la hora de iniciar el ensayo.

Basados en los valores de módulo de elasticidad de la tabla 16, se puede decir que dichos valores son relativamente bajos comparados con lo que se esperaba, tal vez este ensayo no es el más conveniente para este tipo de elementos tan particulares.

3. CONCLUSIONES

1. Se observó que al tener una alta sustitución de escoria, tanto fina como gruesa, el peso del concreto disminuye pero a su vez disminuye también su resistencia.
2. Al disminuir la cantidad de agua de la mezcla mediante la inclusión del aditivo, los tiempos de obtención de la resistencia se disminuyen, logrando mayores resistencias a edades tempranas.
3. La mezcla de concreto modificado no alcanza la resistencia de diseño en el tiempo esperado porque la escoria retarda el proceso de fraguado del concreto debido a sus componentes químicos.
4. Al usar un residuo de la industria siderúrgica como agregado de la mezcla, y en altas cantidades como en este proyecto, se disminuye el costo energético dentro de la producción del concreto modificado.
5. Gracias a las propiedades físicas visuales (variedad de colores) que presenta la escoria, se logran muy buenos acabados para los elementos que se construyan.
6. La cantidad de agua en la mezcla se aumenta aproximadamente en un 20 % debido a que la escoria, tanto fina como gruesa, presenta un alto porcentaje de absorción.
7. Ya como elemento construido, los adoquines presentaron una reducción en su peso de entre el 5% y el 10% luego de los 28 días de curado.

4. RECOMENDACIONES

1. Para el ensayo de resistencia a compresión se recomienda que los elementos contruidos tengan un tiempo de fraguado de 42 días o superior.
2. El desencofrado de las formaletas debe hacerse en un tiempo mayor al normal, es decir dos días, ello para que la mezcla alcance una resistencia mínima y no se dañen los elementos contruidos.

BIBLIOGRAFÍA

ACOSTA RUBIANO, Darío; CASTILLO RODRÍGUEZ, Keeylin Eliana. Concreto aligerado base escoria de procesos metalúrgicos. Tesis de grado (Ingeniería civil). Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. 2013

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. Manual of concrete practice. Part 1: Standard practice for selecting proportions for normal, heavyweight, and mass concrete (ACI 211.1-91). Estados Unidos. 2002. v1 p.1-38.

C.R. PANDA, K.K. MISHRA, K.C. PANDA, B.D. NAYAK, B.B. NAYAK. Environmental and technical assessment of ferrochrome slag as concrete aggregate material. Construction and Building Materials, Volume 49, December 2013, Pages 262-271.

E. ANASTASIOU, K. GEORGIADIS FILIKAS, M. STEFANIDOU. Utilization of fine recycled aggregates in concrete with fly ash and steel slag. Construction and Building Materials, Volume 50, 15 January 2014, Pages 154-161.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIONES. Ensayo de resistencia a la compresión de Especímenes cilíndricos de concreto. NTC 673 Concretos. Tercera actualización. Bogotá D.C. 2010.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIONES. Método de ensayo para el análisis por Tamizado de los agregados finos y Gruesos. Segunda actualización. NTC 77 Concretos. Bogotá D.C. 2007.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIONES. Método de ensayo para determinar la Resistencia del concreto a la flexión

(utilizando una viga simple con carga en los tercios medios). NTC 2871. Segunda actualización. Bogotá D.C. 2005.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIONES. Método para determinar la densidad y la Absorción del agregado fino. NTC 237 Ingeniería civil y arquitectura. Primera actualización. Bogotá D.C. 2001.

IVANKA NETINGER, MARIJA JELČIĆ RUKAVINA, ANA MLADENVIČ. Improvement of Post-fire Properties of Concrete with Steel Slag Aggregate. Procedia Engineering, Volume 62, 2013, Pages 745-753

JAIMES PINZON, Mayra Alejandra; Carreño Martínez, Sandra Milena. Relación entre la velocidad de pulso ultrasónico y la resistencia a la compresión para concretos sin refuerzo adicionados con humo de sílice y escoria. Tesis de grado (ingeniería metalúrgica). Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. 2011.

PEREZ BUSTOS, Ludwing. Uso de la escoria de procesos metalúrgicos como agregado del concreto para la fabricación de elementos de construcción no estructurales. Tesis de grado (Magister en ingeniería civil). Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. 2013.

PICO CORTES, Carlos Mauricio. Propuesta de concreto con agregado fino de escoria de cubilote como aporte al estudio de la durabilidad y propiedades acústicas. Tesis de grado (ingeniería civil). Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. 2012.

RAMOS, Silvina; OREGGIONI, Soledad; BAGLIVO, Oscar., DOMINGUEZ y COSTOYA, Daniel. Transformando subproductos en nuevas materias primas - avances en argentina respecto de la reutilización de subproductos siderúrgicos.

Associação Brasileira de Metalurgia. Disponível em:
<http://www.acobrasil.org.br/siderurgiaemfoco/CCABrasil/20485.pdf>

ANEXOS

ANEXO A. Caracterización de materiales

1

AGREGADO GRUESO					
Tamiz	Masa ret [g]	% Ret	% Ret. Acum	Masa pasa [g]	% Pasa
1 1/2	0	0.00	0.00	11000.00	100.00
1	102	0.93	0.93	10898.00	99.07
3/4	2374	21.58	22.51	8524.00	77.49
1/2	4560	41.45	63.96	3964.00	36.04
3/8	2370	21.55	85.51	1594.00	14.49
#4	1541	14.01	99.52	53.00	0.48
Fondo	53	0.48	100.00	0.00	0.00
Muestra	11000	100			

AGREGADO FINO					
Tamiz	Masa ret [g]	% Ret	% Ret. Acum	Masa pasa [g]	% Pasa
#4	88	8.8	8.8	912	91.2
#10	227	22.7	31.5	685	68.5
#20	185	18.5	50	500	50
#40	179	17.9	67.9	321	32.1
#60	125	12.5	80.4	196	19.6
#100	89	8.9	89.3	107	10.7
#200	54	5.4	94.7	53	5.3
Fondo	53	5.3	94.6	54	5
Muestra	1000	100			

AGREGADO GRUESO

Tamiz	Masa ret [g]	% Ret	% Ret. Acum	Masa pasa [g]	% Pasa
1 1/2	0	0.00	0.00	11000.00	100.00
1	97	0.88	0.88	10903.00	99.12
3/4	2371	21.55	22.44	8532.00	77.56
1/2	4551	41.37	63.81	3981.00	36.19
3/8	2379	21.63	85.44	1602.00	14.56
#4	1548	14.07	99.51	54.00	0.49
Fondo	54	0.49	100.00	0.00	0.00
Muestra	11000	100			

AGREGADO FINO

Tamiz	Masa ret [g]	% Ret	% Ret. Acum	Masa pasa [g]	% Pasa
#4	93	9.3	9.3	907	90.7
#10	219	21.9	31.2	688	68.8
#20	192	19.2	50.4	496	49.6
#40	174	17.4	67.8	322	32.2
#60	130	13	80.8	192	19.2
#100	88	8.8	89.6	104	10.4
#200	55	5.5	95.1	49	4.9
Fondo	49	4.9	94.5	55	6
Muestra	1000	100			

AGREGADO GRUESO

Tamiz	Masa ret [g]	% Ret	% Ret. Acum	Masa pasa [g]	% Pasa
1 1/2	0	0.00	0.00	11000.00	100.00
1	98	0.89	0.89	10902.00	99.11
3/4	2365	21.50	22.39	8537.00	77.61
1/2	4563	41.48	63.87	3974.00	36.13
3/8	2373	21.57	85.45	1601.00	14.55
#4	1543	14.03	99.47	58.00	0.53
Fondo	58	0.53	100.00	0.00	0.00
Muestra	11000	100			

AGREGADO FINO

Tamiz	Masa ret [g]	% Ret	% Ret. Acum	Masa pasa [g]	% Pasa
#4	89	8.9	8.9	911	91.1
#10	226	22.6	31.5	685	68.5
#20	193	19.3	50.8	492	49.2
#40	175	17.5	68.3	317	31.7
#60	126	12.6	80.9	191	19.1
#100	93	9.3	90.2	98	9.8
#200	50	5	95.2	48	4.8
Fondo	48	4.8	95	50	5
Muestra	1000	100			

PROMEDIO

AGREGADO GRUESO

Tamiz	Masa ret [g]	% Ret	% Ret. Acum	Masa pasa [g]	% Pasa
1 1/2	0	0.00	0.00	11000.00	100.00
1	99	0.90	0.90	10901.00	99.10
3/4	2370	21.55	22.45	8531.00	77.55
1/2	4558	41.44	63.88	3973.00	36.12
3/8	2374	21.58	85.46	1599.00	14.54
#4	1544	14.04	99.50	55.00	0.50
Fondo	55	0.50	100.00	0.00	0.00
Muestra	11000	100			

AGREGADO FINO

Tamiz	Masa ret [g]	% Ret	% Ret. Acum	Masa pasa [g]	% Pasa
#4	90	9	9	910	91
#10	224	22.4	31.4	686	68.6
#20	190	19	50.4	496	49.6
#40	176	17.6	68	320	32
#60	127	12.7	80.7	193	19.3
#100	90	9	89.7	103	10.3
#200	53	5.3	95	50	5
Fondo	50	5	94.7	53	5
Muestra	1000	100			

AGREGADO GRUESO			
Material:	Grava		
GRAVEDADES ESPECIFICAS			
DATOS			
A = PESO DE LA MUESTRA EN CONDICION S.S.S, EN EL AIRE		2440	gramos
B = PESO DE LA MUESTRA EN AGUA		1516	gramos
C = PESO DE LA MUESTRA SECADA AL HORNO, EN EL AIRE		2421.1	gramos
CALCULOS			
GRAVEDAD ESPECIFICA REAL	$\frac{C}{C - B}$	=	2.674953044
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	$\frac{C}{A - B}$	=	2.620238095
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE S.S.S	$\frac{A}{A - B}$	=	2.640692641 (D)*
PESO UNITARIO			
CALIBRACION DEL MEDIDOR			
P1 = PESO DEL MEDIDOR + VIDRIO		3042.3	gramos
P2 = PESO DEL MEDIDOR + VIDRIO + AGUA		5862.2	gramos
V = VOLUMEN DEL MEDIDOR	$\frac{P2 - P1}{1000}$	=	2.8199
DATOS			
Pm = PESO DEL MEDIDOR VACIO		2556.2	gramos
Pc = PESO DEL MEDIDOR + MATERIAL S.S.S, COMPACTADO		6710	gramos
Ps = PESO DEL MEDIDOR + MATERIAL S.S.S, SUELTO		6438	gramos
PESO UNITARIO DEL AGREGADO S.S.S COMPACTADO	$\frac{Pc - Pm}{V}$		1473.030959 g/m ³ (E)*
PESO UNITARIO DEL AGREGADO S.S.S SUELTA	$\frac{Ps - Pm}{V}$		1376.573637 g/m ³
ABSORCION EN %	$\frac{A - C}{C} * 100$	=	0.780636901 %
PORCENTAJE DE VACIOS =	$\frac{(D * 1000) - E}{D * 10}$	=	44.21800796 %

AGREGADO GRUESO			
Material: Grava			
GRAVEDADES ESPECIFICAS			
DATOS			
A = PESO DE LA MUESTRA EN CONDICION S.S.S, EN EL AIRE		2440	gramos
B = PESO DE LA MUESTRA EN AGUA		1511	gramos
C = PESO DE LA MUESTRA SECADA AL HORNO, EN EL AIRE		2422.3	gramos
CALCULOS			
GRAVEDAD ESPECIFICA REAL	$\frac{C}{C - B}$	=	2.658070888
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	$\frac{C}{A - B}$	=	2.607427341
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE S.S.S	$\frac{A}{A - B}$	=	2.626480086 (D)*
PESO UNITARIO			
CALIBRACION DEL MEDIDOR			
P1 = PESO DEL MEDIDOR + VIDRIO		3042.3	gramos
P2 = PESO DEL MEDIDOR + VIDRIO + AGUA		5862.2	gramos
V = VOLUMEN DEL MEDIDOR	$\frac{P2 - P1}{1000}$	=	2.8199
DATOS			
Pm = PESO DEL MEDIDOR VACIO		2556.2	gramos
Pc = PESO DEL MEDIDOR + MATERIAL S.S.S, COMPACTADO		6696	gramos
Ps = PESO DEL MEDIDOR + MATERIAL S.S.S, SUELTO		6438	gramos
PESO UNITARIO DEL AGREGADO S.S.S COMPACTADO	$\frac{Pc - Pm}{V}$		1468.066243 g/m ³ (E)*
PESO UNITARIO DEL AGREGADO S.S.S SUELTA	$\frac{Ps - Pm}{V}$		1376.573637 g/m ³
ABSORCION EN %	$\frac{A - C}{C} * 100$	=	0.730710482 %
PORCENTAJE DE VACIOS =	$\frac{(D * 1000) - E}{D * 10}$	=	44.10518278 %

AGREGADO GRUESO			
Material: Grava			
GRAVEDADES ESPECIFICAS			
DATOS			
A = PESO DE LA MUESTRA EN CONDICION S.S.S, EN EL AIRE		2440	gramos
B = PESO DE LA MUESTRA EN AGUA		1512	gramos
C = PESO DE LA MUESTRA SECADA AL HORNO, EN EL AIRE		2419.3	gramos
CALCULOS			
GRAVEDAD ESPECIFICA REAL	$\frac{C}{C - B}$	=	2.666482971
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	$\frac{C}{A - B}$	=	2.60700431
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE S.S.S	$\frac{A}{A - B}$	=	2.629310345 (D)*
PESO UNITARIO			
CALIBRACION DEL MEDIDOR			
P1 = PESO DEL MEDIDOR + VIDRIO		3042.3	gramos
P2 = PESO DEL MEDIDOR + VIDRIO + AGUA		5862.2	gramos
V = VOLUMEN DEL MEDIDOR	$\frac{P2 - P1}{1000}$	=	2.8199
DATOS			
Pm = PESO DEL MEDIDOR VACIO		2556.2	gramos
Pc = PESO DEL MEDIDOR + MATERIAL S.S.S, COMPACTADO		6694	gramos
Ps = PESO DEL MEDIDOR + MATERIAL S.S.S, SUELTO		6438	gramos
PESO UNITARIO DEL AGREGADO S.S.S COMPACTADO	$\frac{Pc - Pm}{V}$		1467.356998 g/m3 (E)*
PESO UNITARIO DEL AGREGADO S.S.S SUELTA	$\frac{Ps - Pm}{V}$		1376.573637 g/m3
ABSORCION EN %	$\frac{A - C}{C} * 100$	=	0.855619394 %
PORCENTAJE DE VACIOS =	$\frac{(D * 1000) - E}{D * 10}$	=	44.19232399 %

PROMEDIO

AGREGADO GRUESO		
Material:	Grava	
GRAVEDADES ESPECIFICAS		
DATOS		
A = PESO DE LA MUESTRA EN CONDICION S.S.S, EN EL AIRE	2440	gramos
B = PESO DE LA MUESTRA EN AGUA	1513	gramos
C = PESO DE LA MUESTRA SECADA AL HORNO, EN EL AIRE	2420.9	gramos
CALCULOS		
GRAVEDAD ESPECIFICA REAL	$\frac{C}{C - B}$	= 2.666502301
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	$\frac{C}{A - B}$	= 2.611556582
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE S.S.S	$\frac{A}{A - B}$	= 2.632161024 (D)*
PESO UNITARIO		
CALIBRACION DEL MEDIDOR		
P1 = PESO DEL MEDIDOR + VIDRIO	3042.3 gramos	
P2 = PESO DEL MEDIDOR + VIDRIO + AGUA	5862.2 gramos	
V = VOLUMEN DEL MEDIDOR	$\frac{P2 - P1}{1000}$	= 2.8199
DATOS		
Pm = PESO DEL MEDIDOR VACIO	2556.2 gramos	
Pc = PESO DEL MEDIDOR + MATERIAL S.S.S, COMPACTADO	6700 gramos	
Ps = PESO DEL MEDIDOR + MATERIAL S.S.S, SUELTO	6438 gramos	
PESO UNITARIO DEL AGREGADO S.S.S COMPACTADO	$\frac{Pc - Pm}{V}$	1469.484734 g/m ³ (E)*
PESO UNITARIO DEL AGREGADO S.S.S SUELTA	$\frac{Ps - Pm}{V}$	1376.573637 g/m ³
ABSORCION EN %	$\frac{A - C}{C} * 100$	= 0.788988925 %
PORCENTAJE DE VACIOS =	$\frac{(D * 1000) - E}{D * 10}$	= 44.17183824 %

AGREGADO FINO			
Material: Arena			
GRAVEDADES ESPECIFICAS			
DATOS			
A = PESO DEL FRASCO + AGUA HASTA LA MARCA, EN EL AIRE		654	gramos
B = PESO DE LA MUESTRA EN CONDICION S.S.S, EN EL AIRE		500	gramos
C = PESO DE LA MUESTRA. FRASCO Y AGUA AGREGADA HASTA LA MARCA, EN EL AIRE		958	gramos
D = PESO DE LA MUESTRA SECADA AL HORNO		496	gramos
CALCULOS			
GRAVEDAD ESPECIFICA REAL	$\frac{D}{A - C + D}$	=	2.58
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	$\frac{D}{A + B - C}$	=	2.530612245
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE S.S.S	$\frac{B}{A + B - C}$	=	2.551020408 (E*)
PESO UNITARIO			
CALIBRACION DEL MEDIDOR			
P1 = PESO DEL MEDIDOR + VIDRIO		3042.3	gramos
P2 = PESO DEL MEDIDOR + VIDRIO + AGUA		5862.2	gramos
V = VOLUMEN DEL MEDIDOR	$\frac{P2 - P1}{1000}$	=	2.8199
DATOS			
Pm = PESO DEL MEDIDOR VACIO		2556.2	gramos
Pc = PESO DEL MEDIDOR + MATERIAL S.S.S, COMPACTADO		6598	gramos
Ps = PESO DEL MEDIDOR + MATERIAL S.S.S, SUELTO		6220	gramos
PESO UNITARIO DEL AGREGADO S.S.S COMPACTADO	$\frac{Pc - Pm}{V}$		1433.313238 g/m3
PESO UNITARIO DEL AGREGADO S.S.S SUELTA	$\frac{Ps - Pm}{V}$		1299.265931 g/m3 (F)*
ABSORCION EN %	$\frac{B - D}{D} * 100$	=	0.806451613 %
PORCENTAJE DE VACIOS =	$\frac{(E * 1000) - F}{F * 10}$	=	43.81412107 %

AGREGADO FINO		
Material: Arena		
GRAVEDADES ESPECIFICAS		
DATOS		
A = PESO DEL FRASCO + AGUA HASTA LA MARCA, EN EL AIRE		654 gramos
B = PESO DE LA MUESTRA EN CONDICION S.S.S, EN EL AIRE		500 gramos
C = PESO DE LA MUESTRA. FRASCO Y AGUA AGREGADA HASTA LA MARCA, EN EL AIRE		952 gramos
D = PESO DE LA MUESTRA SECADA AL HORNO		485 gramos
CALCULOS		
GRAVEDAD ESPECIFICA REAL	$\frac{D}{A - C + D}$	= 2.59
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	$\frac{D}{A + B - C}$	= 2.400990099
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE S.S.S	$\frac{B}{A + B - C}$	= 2.475247525 (E*)
PESO UNITARIO		
CALIBRACION DEL MEDIDOR		
P1 = PESO DEL MEDIDOR + VIDRIO		3042.3 gramos
P2 = PESO DEL MEDIDOR + VIDRIO + AGUA		5862.2 gramos
V = VOLUMEN DEL MEDIDOR	$\frac{P2 - P1}{1000}$	= 2.8199
DATOS		
Pm = PESO DEL MEDIDOR VACIO		2556.2 gramos
Pc = PESO DEL MEDIDOR + MATERIAL S.S.S, COMPACTADO		6594 gramos
Ps = PESO DEL MEDIDOR + MATERIAL S.S.S, SUELTO		6214 gramos
PESO UNITARIO DEL AGREGADO S.S.S COMPACTADO	$\frac{Pc - Pm}{V}$	1431.894748 g/m3
PESO UNITARIO DEL AGREGADO S.S.S SUELTA	$\frac{Ps - Pm}{V}$	1297.138196 g/m3 (F)*
ABSORCION EN %	$\frac{B - D}{D} * 100$	= 3.092783505 %
PORCENTAJE DE VACIOS =	$\frac{(E * 1000) - F}{F * 10}$	= 42.15145218 %

AGREGADO FINO			
Material:	Arena		
GRAVEDADES ESPECIFICAS			
DATOS			
A = PESO DEL FRASCO + AGUA HASTA LA MARCA, EN EL AIRE		654	gramos
B = PESO DE LA MUESTRA EN CONDICION S.S.S, EN EL AIRE		500	gramos
C = PESO DE LA MUESTRA. FRASCO Y AGUA AGREGADA HASTA LA MARCA, EN EL AIRE		952	gramos
D = PESO DE LA MUESTRA SECADA AL HORNO		489	gramos
CALCULOS			
GRAVEDAD ESPECIFICA REAL	$\frac{D}{A - C + D}$	=	2.56
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	$\frac{D}{A + B - C}$	=	2.420792079
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE S.S.S	$\frac{B}{A + B - C}$	=	2.475247525 (E*)
PESO UNITARIO			
CALIBRACION DEL MEDIDOR			
P1 = PESO DEL MEDIDOR + VIDRIO		3042.3	gramos
P2 = PESO DEL MEDIDOR + VIDRIO + AGUA		5862.2	gramos
V = VOLUMEN DEL MEDIDOR	$\frac{P2 - P1}{1000}$	=	2.8199
DATOS			
Pm = PESO DEL MEDIDOR VACIO		2556.2	gramos
Pc = PESO DEL MEDIDOR + MATERIAL S.S.S, COMPACTADO		6584	gramos
Ps = PESO DEL MEDIDOR + MATERIAL S.S.S, SUELTO		6196	gramos
PESO UNITARIO DEL AGREGADO S.S.S COMPACTADO	$\frac{Pc - Pm}{V}$		1428.348523 g/m3
PESO UNITARIO DEL AGREGADO S.S.S SUELTA	$\frac{Ps - Pm}{V}$		1290.754991 g/m3 (F)*
ABSORCION EN %	$\frac{B - D}{D} * 100$	=	2.249488753 %
PORCENTAJE DE VACIOS =	$\frac{(E * 1000) - F}{F * 10}$	=	42.29471967 %

PROMEDIO

AGREGADO FINO			
Material: Arena			
GRAVEDADES ESPECIFICAS			
DATOS			
A = PESO DE LA MUESTRA EN CONDICION S.S.S, EN EL AIRE		654	gramos
B = PESO DE LA MUESTRA EN AGUA		500	gramos
C = PESO DE LA MUESTRA SECADA AL HORNO, EN EL AIRE		490	gramos
CALCULOS			
GRAVEDAD ESPECIFICA REAL	$\frac{C}{C - B}$	=	2.579041882
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	$\frac{C}{A - B}$	=	2.450798141
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE S.S.S	$\frac{A}{A - B}$	=	2.500505153 (D)*
PESO UNITARIO			
CALIBRACION DEL MEDIDOR			
P1 = PESO DEL MEDIDOR + VIDRIO		3042.3	gramos
P2 = PESO DEL MEDIDOR + VIDRIO + AGUA		5862.2	gramos
V = VOLUMEN DEL MEDIDOR	$\frac{P2 - P1}{1000}$	=	2.8199
DATOS			
Pm = PESO DEL MEDIDOR VACIO		2556.2	gramos
Pc = PESO DEL MEDIDOR + MATERIAL S.S.S, COMPACTADO		6592	gramos
Ps = PESO DEL MEDIDOR + MATERIAL S.S.S, SUELTO		6210	gramos
PESO UNITARIO DEL AGREGADO S.S.S COMPACTADO	$\frac{Pc - Pm}{V}$	1431.185503	g/m ³ (E)*
PESO UNITARIO DEL AGREGADO S.S.S SUELTA	$\frac{Ps - Pm}{V}$	1295.719706	g/m ³
ABSORCION EN %	$\frac{A - C}{C} * 100$	=	2.049574624 %
PORCENTAJE DE VACIOS =	$\frac{(D * 1000) - E}{D * 10}$	=	42.75343097 %

AGREGADO GRUESO (Escoria)

Tamiz	Masa ret [g]	% Ret	% Ret. Acum	Masa pasa [g]	% Pasa
1 1/2"	59.5	0.540909091	0.540909091	10940.5	99.45909091
1"	1040.5	9.459090909	10	9900	90
3/4"	1417.6	12.88727273	22.88727273	8482.4	77.11272727
1/2"	1414.9	12.86272727	35.75	7067.5	64.25
3/8"	1052.5	9.568181818	45.31818182	6015	54.68181818
#4	4226.2	38.42	83.73818182	1788.8	16.26181818
Fondo	1788.8	16.26181818	100	0	0
Muestra	11000	100			

AGREGADO FINO (Escoria)

Tamiz	Masa ret [g]	% Ret	% Ret. Acum	Masa pasa [g]	% Pasa
#4	7.8	0.78	0.78	992.2	99.22
#8	385.2	38.52	39.3	607	60.7
#16	366.1	36.61	75.91	240.9	24.09
#30	137.5	13.75	89.66	103.4	10.34
#50	48.9	4.89	94.55	54.5	5.45
#100	21.9	2.19	96.74	32.6	3.26
Fondo	32.6	3.26	100	0	0
Muestra	1000	100			

AGREGADO GRUESO (Escoria)

Tamiz	Masa ret [g]	% Ret	% Ret. Acum	Masa pasa [g]	% Pasa
1 1/2"	59	0.536363636	0.536363636	10941	99.46363636
1"	1039.4	9.449090909	9.985454545	9901.6	90.01454545
3/4"	1417.4	12.88545455	22.87090909	8484.2	77.12909091
1/2"	1415.8	12.87090909	35.74181818	7068.4	64.25818182
3/8"	1056.1	9.600909091	45.34272727	6012.3	54.65727273
#4	4223.8	38.39818182	83.74090909	1788.5	16.25909091
Fondo	1788.5	16.25909091	100	0	0
Muestra	11000	100			

AGREGADO FINO (Escoria)

Tamiz	Masa ret [g]	% Ret	% Ret. Acum	Masa pasa [g]	% Pasa
#4	7.1	0.71	0.71	992.9	99.29
#8	383.6	38.36	39.07	609.3	60.93
#16	364.6	36.46	75.53	244.7	24.47
#30	139.2	13.92	89.45	105.5	10.55
#50	51.4	5.14	94.59	54.1	5.41
#100	19.5	1.95	96.54	34.6	3.46
Fondo	34.6	3.46	100	0	0
Muestra	1000	100			

AGREGADO GRUESO (Escoria)

Tamiz	Masa ret [g]	% Ret	% Ret. Acum	Masa pasa [g]	% Pasa
1 1/2"	57	0.518181818	0.518181818	10943	99.48181818
1"	1041.9	9.471818182	9.99	9901.1	90.01
3/4"	1419.9	12.90818182	22.89818182	8481.2	77.10181818
1/2"	1411.6	12.83272727	35.73090909	7069.6	64.26909091
3/8"	1053.4	9.576363636	45.30727273	6016.2	54.69272727
#4	4227.7	38.43363636	83.74090909	1788.5	16.25909091
Fondo	1788.5	16.25909091	100	0	0
Muestra	11000	100			

AGREGADO FINO (Escoria)

Tamiz	Masa ret [g]	% Ret	% Ret. Acum	Masa pasa [g]	% Pasa
#4	7	0.7	0.7	993	99.3
#8	385.3	38.53	39.23	607.7	60.77
#16	363.4	36.34	75.57	244.3	24.43
#30	137.3	13.73	89.3	107	10.7
#50	50.9	5.09	94.39	56.1	5.61
#100	22.2	2.22	96.61	33.9	3.39
Fondo	33.9	3.39	100	0	0
Muestra	1000	100			

PROMEDIO

AGREGADO GRUESO (Escoria)

Tamiz	Masa ret [g]	% Ret	% Ret. Acum	Masa pasa [g]	% Pasa
1 1/2"	58.5	0.53	0.53	10941.50	99.47
1"	1040.6	9.46	9.99	9900.90	90.01
3/4"	1418.3	12.89	22.89	8482.60	77.11
1/2"	1414.1	12.86	35.74	7068.50	64.26
3/8"	1054	9.58	45.32	6014.50	54.68
#4	4225.9	38.42	83.74	1788.60	16.26
Fondo	1788.6	16.26	100.00	0.00	0.00
Muestra	11000	100			

AGREGADO FINO (Escoria)

Tamiz	Masa ret [g]	% Ret	% Ret. Acum	Masa pasa [g]	% Pasa
#4	7.3	0.73	0.73	992.7	99.27
#8	384.7	38.47	39.2	608	60.8
#16	364.7	36.47	75.67	243.3	24.33
#30	138	13.8	89.47	105.3	10.53
#50	50.4	5.04	94.51	54.9	5.49
#100	21.2	2.12	96.63	33.7	3.37
Fondo	33.7	3.37	100	0	0
Muestra	1000	100			

AGREGADO GRUESO			
Material: Escoria			
GRAVEDADES ESPECIFICAS			
DATOS			
A = PESO DE LA MUESTRA EN CONDICION S.S.S, EN EL AIRE		1885.2	gramos
B = PESO DE LA MUESTRA EN AGUA		565.8	gramos
C = PESO DE LA MUESTRA SECADA AL HORNO, EN EL AIRE		1660.4	gramos
CALCULOS			
GRAVEDAD ESPECIFICA REAL	$\frac{C}{C - B}$	=	1.516901151
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	$\frac{C}{A - B}$	=	1.258450811
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE S.S.S	$\frac{A}{A - B}$	=	1.428831287 (D)*
PESO UNITARIO			
CALIBRACION DEL MEDIDOR			
P1 = PESO DEL MEDIDOR + VIDRIO		3042.3	gramos
P2 = PESO DEL MEDIDOR + VIDRIO + AGUA		5862.2	gramos
V = VOLUMEN DEL MEDIDOR	$\frac{P2 - P1}{1000}$	=	2.8199
DATOS			
Pm = PESO DEL MEDIDOR VACIO		2556.2	gramos
Pc = PESO DEL MEDIDOR + MATERIAL S.S.S, COMPACTADO		5256.1	gramos
Ps = PESO DEL MEDIDOR + MATERIAL S.S.S, SUELTO		5071.8	gramos
PESO UNITARIO DEL AGREGADO S.S.S COMPACTADO	$\frac{Pc - Pm}{V}$	957.4452995	g/m3 (E)*
PESO UNITARIO DEL AGREGADO S.S.S SUELTA	$\frac{Ps - Pm}{V}$	892.0883719	g/m3
ABSORCION EN %	$\frac{A - C}{C} * 100$	=	13.53890629 %
PORCENTAJE DE VACIOS =	$\frac{(D * 1000) - E}{D * 10}$	=	32.99101803 %

AGREGADO GRUESO			
Material:	Escoria		
GRAVEDADES ESPECIFICAS			
DATOS			
A = PESO DE LA MUESTRA EN CONDICION S.S.S, EN EL AIRE		1883.6	gramos
B = PESO DE LA MUESTRA EN AGUA		564.3	gramos
C = PESO DE LA MUESTRA SECADA AL HORNO, EN EL AIRE		1658.4	gramos
CALCULOS			
GRAVEDAD ESPECIFICA REAL	$\frac{C}{C - B}$	=	1.515766383
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	$\frac{C}{A - B}$	=	1.257030243
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE S.S.S	$\frac{A}{A - B}$	=	1.427726825 (D)*
PESO UNITARIO			
CALIBRACION DEL MEDIDOR			
P1 = PESO DEL MEDIDOR + VIDRIO		3042.3	gramos
P2 = PESO DEL MEDIDOR + VIDRIO + AGUA		5862.2	gramos
V = VOLUMEN DEL MEDIDOR	$\frac{P2 - P1}{1000}$	=	2.8199
DATOS			
Pm = PESO DEL MEDIDOR VACIO		2556.2	gramos
Pc = PESO DEL MEDIDOR + MATERIAL S.S.S, COMPACTADO		5255.1	gramos
Ps = PESO DEL MEDIDOR + MATERIAL S.S.S, SUELTO		5071.2	gramos
PESO UNITARIO DEL AGREGADO S.S.S COMPACTADO	$\frac{Pc - Pm}{V}$	957.090677	g/m3 (E)*
PESO UNITARIO DEL AGREGADO S.S.S SUELTA	$\frac{Ps - Pm}{V}$	891.8755984	g/m3
ABSORCION EN %	$\frac{A - C}{C} * 100$	=	13.57935359 %
PORCENTAJE DE VACIOS =	$\frac{(D * 1000) - E}{D * 10}$	=	32.96401942 %

AGREGADO GRUESO		
Material: Escoria		
GRAVEDADES ESPECIFICAS		
DATOS		
A = PESO DE LA MUESTRA EN CONDICION S.S.S, EN EL AIRE		1884.7 gramos
B = PESO DE LA MUESTRA EN AGUA		564.9 gramos
C = PESO DE LA MUESTRA SECADA AL HORNO, EN EL AIRE		1659.7 gramos
CALCULOS		
GRAVEDAD ESPECIFICA REAL	$\frac{C}{C - B}$	= 1.515984655
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	$\frac{C}{A - B}$	= 1.257539021
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE S.S.S	$\frac{A}{A - B}$	= 1.428019397 (D)*
PESO UNITARIO		
CALIBRACION DEL MEDIDOR		
P1 = PESO DEL MEDIDOR + VIDRIO		3042.3 gramos
P2 = PESO DEL MEDIDOR + VIDRIO + AGUA		5862.2 gramos
V = VOLUMEN DEL MEDIDOR	$\frac{P2 - P1}{1000}$	= 2.8199
DATOS		
Pm = PESO DEL MEDIDOR VACIO		2556.2 gramos
Pc = PESO DEL MEDIDOR + MATERIAL S.S.S, COMPACTADO		5251.7 gramos
Ps = PESO DEL MEDIDOR + MATERIAL S.S.S, SUELTO		5068.2 gramos
PESO UNITARIO DEL AGREGADO S.S.S COMPACTADO	$\frac{Pc - Pm}{V}$	955.8849605 g/m3 (E)*
PESO UNITARIO DEL AGREGADO S.S.S SUELTA	$\frac{Ps - Pm}{V}$	890.8117309 g/m3
ABSORCION EN %	$\frac{A - C}{C} * 100$	= 13.55666687 %
PORCENTAJE DE VACIOS =	$\frac{(D * 1000) - E}{D * 10}$	= 33.06218651 %

PROMEDIO

AGREGADO GRUESO		
Material:	Escoria	
GRAVEDADES ESPECIFICAS		
DATOS		
A = PESO DE LA MUESTRA EN CONDICION S.S.S, EN EL AIRE		1884.5 gramos
B = PESO DE LA MUESTRA EN AGUA		565 gramos
C = PESO DE LA MUESTRA SECADA AL HORNO, EN EL AIRE		1659.5 gramos
CALCULOS		
GRAVEDAD ESPECIFICA REAL	$\frac{C}{C - B}$	= 1.516217451
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	$\frac{C}{A - B}$	= 1.257673361
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE S.S.S	$\frac{A}{A - B}$	= 1.428192497 (D)*
PESO UNITARIO		
CALIBRACION DEL MEDIDOR		
P1 = PESO DEL MEDIDOR + VIDRIO		3042.3 gramos
P2 = PESO DEL MEDIDOR + VIDRIO + AGUA		5862.2 gramos
V = VOLUMEN DEL MEDIDOR	$\frac{P2 - P1}{1000}$	= 2.8199
DATOS		
Pm = PESO DEL MEDIDOR VACIO		2556.2 gramos
Pc = PESO DEL MEDIDOR + MATERIAL S.S.S, COMPACTADO		5254.3 gramos
Ps = PESO DEL MEDIDOR + MATERIAL S.S.S, SUELTO		5071.8 gramos
PESO UNITARIO DEL AGREGADO S.S.S COMPACTADO	$\frac{Pc - Pm}{V}$	956.806979 g/m3 (E)*
PESO UNITARIO DEL AGREGADO S.S.S SUELTA	$\frac{Ps - Pm}{V}$	892.0883719 g/m3
ABSORCION EN %	$\frac{A - C}{C} * 100$	= 13.55830069 %
PORCENTAJE DE VACIOS =	$\frac{(D * 1000) - E}{D * 10}$	= 33.00574111 %

AGREGADO FINO		
Material: Escoria		
GRAVEDADES ESPECIFICAS		
DATOS		
A = PESO DEL FRASCO + AGUA HASTA LA MARCA, EN EL AIRE		666.4 gramos
B = PESO DE LA MUESTRA EN CONDICION S.S.S, EN EL AIRE		200 gramos
C = PESO DE LA MUESTRA. FRASCO Y AGUA AGREGADA HASTA LA MARCA, EN EL AIRE		775.3 gramos
D = PESO DE LA MUESTRA SECADA AL HORNO		184.1 gramos
CALCULOS		
GRAVEDAD ESPECIFICA REAL	$\frac{D}{A - C + D}$	= 2.448138298
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	$\frac{D}{A + B - C}$	= 2.020856202
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE S.S.S	$\frac{B}{A + B - C}$	= 2.195389682 (E*)
PESO UNITARIO		
CALIBRACION DEL MEDIDOR		
P1 = PESO DEL MEDIDOR + VIDRIO		3042.3 gramos
P2 = PESO DEL MEDIDOR + VIDRIO + AGUA		5862.2 gramos
V = VOLUMEN DEL MEDIDOR	$\frac{P2 - P1}{1000}$	= 2.8199
DATOS		
Pm = PESO DEL MEDIDOR VACIO		2556.2 gramos
Pc = PESO DEL MEDIDOR + MATERIAL S.S.S, COMPACTADO		5217.4 gramos
Ps = PESO DEL MEDIDOR + MATERIAL S.S.S, SUELTO		5050.9 gramos
PESO UNITARIO DEL AGREGADO S.S.S COMPACTADO	$\frac{Pc - Pm}{V}$	943.7214086 g/m3
PESO UNITARIO DEL AGREGADO S.S.S SUELTA	$\frac{Ps - Pm}{V}$	884.6767616 g/m3 (F)*
ABSORCION EN %	$\frac{B - D}{D} * 100$	= 8.636610538 %
PORCENTAJE DE VACIOS =	$\frac{(E * 1000) - F}{F * 10}$	= 57.01348984 %

AGREGADO FINO		
Material: Escoria		
GRAVEDADES ESPECIFICAS		
DATOS		
A = PESO DEL FRASCO + AGUA HASTA LA MARCA, EN EL AIRE		666.4 gramos
B = PESO DE LA MUESTRA EN CONDICION S.S.S, EN EL AIRE		200 gramos
C = PESO DE LA MUESTRA. FRASCO Y AGUA AGREGADA HASTA LA MARCA, EN EL AIRE		774.5 gramos
D = PESO DE LA MUESTRA SECADA AL HORNO		184.9 gramos
CALCULOS		
GRAVEDAD ESPECIFICA REAL	$\frac{D}{A - C + D}$	= 2.407552083
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	$\frac{D}{A + B - C}$	= 2.011969532
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE S.S.S	$\frac{B}{A + B - C}$	= 2.176278564 (E*)
PESO UNITARIO		
CALIBRACION DEL MEDIDOR		
P1 = PESO DEL MEDIDOR + VIDRIO		3042.3 gramos
P2 = PESO DEL MEDIDOR + VIDRIO + AGUA		5862.2 gramos
V = VOLUMEN DEL MEDIDOR	$\frac{P2 - P1}{1000}$	= 2.8199
DATOS		
Pm = PESO DEL MEDIDOR VACIO		2556.2 gramos
Pc = PESO DEL MEDIDOR + MATERIAL S.S.S, COMPACTADO		5218.5 gramos
Ps = PESO DEL MEDIDOR + MATERIAL S.S.S, SUELTO		5048.9 gramos
PESO UNITARIO DEL AGREGADO S.S.S COMPACTADO	$\frac{Pc - Pm}{V}$	944.1114933 g/m3
PESO UNITARIO DEL AGREGADO S.S.S SUELTA	$\frac{Ps - Pm}{V}$	883.9675166 g/m3 (F)*
ABSORCION EN %	$\frac{B - D}{D} * 100$	= 8.166576528 %
PORCENTAJE DE VACIOS =	$\frac{(E * 1000) - F}{F * 10}$	= 56.61807688 %

AGREGADO FINO			
Material:	Escoria		
GRAVEDADES ESPECIFICAS			
DATOS			
A = PESO DEL FRASCO + AGUA HASTA LA MARCA, EN EL AIRE		666.4	gramos
B = PESO DE LA MUESTRA EN CONDICION S.S.S, EN EL AIRE		200	gramos
C = PESO DE LA MUESTRA, FRASCO Y AGUA AGREGADA HASTA LA MARCA, EN EL AIRE		772.5	gramos
D = PESO DE LA MUESTRA SECADA AL HORNO		183.6	gramos
CALCULOS			
GRAVEDAD ESPECIFICA REAL	$\frac{D}{A - C + D}$	=	2.369032258
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	$\frac{D}{A + B - C}$	=	1.955271565
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE S.S.S	$\frac{B}{A + B - C}$	=	2.129925453 (E*)
PESO UNITARIO			
CALIBRACION DEL MEDIDOR			
P1 = PESO DEL MEDIDOR + VIDRIO		3042.3	gramos
P2 = PESO DEL MEDIDOR + VIDRIO + AGUA		5862.2	gramos
V = VOLUMEN DEL MEDIDOR	$\frac{P2 - P1}{1000}$	=	2.8199
DATOS			
Pm = PESO DEL MEDIDOR VACIO		2556.2	gramos
Pc = PESO DEL MEDIDOR + MATERIAL S.S.S, COMPACTADO		5219.9	gramos
Ps = PESO DEL MEDIDOR + MATERIAL S.S.S, SUELTO		5050.5	gramos
PESO UNITARIO DEL AGREGADO S.S.S COMPACTADO	$\frac{Pc - Pm}{V}$		944.6079648 g/m3
PESO UNITARIO DEL AGREGADO S.S.S SUELTA	$\frac{Ps - Pm}{V}$		884.5349126 g/m3 (F)*
ABSORCION EN %	$\frac{B - D}{D} * 100$	=	8.932461874 %
PORCENTAJE DE VACIOS =	$\frac{(E * 1000) - F}{F * 10}$	=	55.65065605 %

PROMEDIO

AGREGADO FINO			
Material:	Escoria		
GRAVEDADES ESPECIFICAS			
DATOS			
A = PESO DEL FRASCO + AGUA HASTA LA MARCA, EN EL AIRE		666.4	gramos
B = PESO DE LA MUESTRA EN CONDICION S.S.S, EN EL AIRE		200	gramos
C = PESO DE LA MUESTRA. FRASCO Y AGUA AGREGADA HASTA LA MARCA, EN EL AIRE		774.1	gramos
D = PESO DE LA MUESTRA SECADA AL HORNO		184.2	gramos
CALCULOS			
GRAVEDAD ESPECIFICA REAL	$\frac{D}{A - C + D}$	=	2.407843137
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	$\frac{D}{A + B - C}$	=	1.995666306
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE S.S.S	$\frac{B}{A + B - C}$	=	2.166847237 (E*)
PESO UNITARIO			
CALIBRACION DEL MEDIDOR			
P1 = PESO DEL MEDIDOR + VIDRIO		3042.3	gramos
P2 = PESO DEL MEDIDOR + VIDRIO + AGUA		5862.2	gramos
V = VOLUMEN DEL MEDIDOR	$\frac{P2 - P1}{1000}$	=	2.8199
DATOS			
Pm = PESO DEL MEDIDOR VACIO		2556.2	gramos
Pc = PESO DEL MEDIDOR + MATERIAL S.S.S, COMPACTADO		5218.6	gramos
Ps = PESO DEL MEDIDOR + MATERIAL S.S.S, SUELTO		5050.1	gramos
PESO UNITARIO DEL AGREGADO S.S.S COMPACTADO	$\frac{Pc - Pm}{V}$		944.1469556 g/m3
PESO UNITARIO DEL AGREGADO S.S.S SUELTA	$\frac{Ps - Pm}{V}$		884.3930636 g/m3 (F)*
ABSORCION EN %	$\frac{B - D}{D} * 100$	=	8.577633008 %
PORCENTAJE DE VACIOS =	$\frac{(E * 1000) - F}{F * 10}$	=	56.427618 %

ANEXO B. Diseño de Mezcla Volumen Absoluto

$F'_{cr}=21$ Mpa

1) Elección del Slump

Table 6.3.1 – Recommended slumps for various types of construction*

Types of construction	Slump, in.	
	Maximum+	Minimum
Reinforced foundation walls and footings	3	1
Plain footings, caissons, and substructure walls	3	1
Beams and reinforced walls	4	1
Building columns	4	1
Pavements and slabs	3	1
Mass concrete	2	1

Se hace la elección del Slump o asentamiento

Según la tabla se toma el slump para pavimentos y losas de concreto, se encuentra entre 2.54 cm y 5.08 cm: Para este caso el valor medio es 3.81 cm

2) Tamaño Máximo Nominal del Agregado

Según los datos obtenidos por el ensayo de granulometría: 1/2" o 12.7 mm

3) Determinación del agua de mezcla

ACI COMMITTEE REPORT
Table 6.3.3 — Approximate mixing water and air content requirements for different slumps and nominal maximum sizes of aggregates

Slump, in.	Water, lb/yd ³ of concrete for indicated nominal maximum sizes of aggregate							
	¾ in.*	½ in.*	¾ in.*	1 in.*	1-½ in.*	2 in.*†	3 in.**‡	6 in.**‡
Non-air entrained concrete								
1 to 2	350	335	315	300	275	260	220	190
3 to 4	385	365	340	325	300	285	245	210
6 to 7	410	385	360	340	315	300	270	—
More than 7*	—	—	—	—	—	—	—	—
Approximate amount of entrapped air in non-air-entrained concrete, percent	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
Air-entrained concrete								
1 to 2	305	295	280	270	250	240	205	180
3 to 4	340	325	305	295	275	265	225	200
6 to 7	365	345	325	310	290	280	260	—
More than 7*	—	—	—	—	—	—	—	—
Recommended averages [†] total air content, percent for level of exposure:								
Mild exposure	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5***	1.0***
Moderate exposure	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5***	3.0***
Severe exposure ^{††}	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5***	4.0***

Se obtiene la cantidad de agua de la mezcla teniendo en cuenta el slump y el tamaño máximo nominal, para este caso la cantidad es de 365 lb/yd³ (216.54355 kg/m³) de Agua y 2.5% de aire.

4) Relación Agua/cemento

Table 6.3.4(a) — Relationship between water-cement or water-cementitious materials ratio and compressive strength of concrete

Compressive strength at 28 days, psi*	Water-cement ratio, by weight	
	Non-air-entrained concrete	Air-entrained concrete
6000	0.41	—
5000	0.48	0.40
4000	0.57	0.48
3000	0.68	0.59
2000	0.82	0.74

Para una resistencia de 21 Mpa (3000psi)

De la tabla se obtiene para el valor de 3000psi una relación A/c =0.68 para mezclas sin inclusión de aire.

Con base en la información de 3 y 4 paso, se determina el contenido de cemento

$$A_c = 0.68$$

$$\text{Luego } C = 216.54355 / 0.68 = 318.4463 \text{ kg/m}^3$$

5) Contenido de Agregado Grueso

Se obtiene el módulo de finura con la información de la granulometría

$$M.F = 3.29$$

Table 6.3.6 – Volume of coarse aggregate per unit of volume of concrete

Nominal maximum size of aggregate, in.	Volume of oven-dry-rodded coarse aggregate* per unit volume of concrete for different fineness moduli of fine aggregate+			
	2.40	2.60	2.80	3.00
3/4	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4	0.66	0.64	0.62	0.60
1	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/4	0.75	0.73	0.71	0.69
2	0.78	0.76	0.74	0.72
3	0.82	0.80	0.78	0.76
6	0.87	0.85	0.83	0.81

Se interpola entre los valores de módulo de finura disponibles para encontrar el correspondiente para el valor de M.F=3.29 y se encuentra que el contenido de agregado grueso debe ser de **0.519 m³** por metro cúbico.

Para este ejemplo se toma un remplazo del 50% de escoria gruesa, obteniendo

Peso unitario escoria gruesa=	944.147 kg/m ³	
Peso unitario agregado grueso=	1469.485 kg/m ³	
Cantidad de escoria gruesa para 1m ³ =	0.519*0.5*944.147 =	245.006 kg/m ³
Cantidad de agregado grueso para 1m ³ =	0.519*0.5*1469.485 =	381.331 kg/m ³

6) Calculo de los Finos

Por Volúmenes

Se calcula el contenido de Arena por diferencias de volúmenes teniendo en cuenta la gravedad específica de cada material, esto es,

Volumen de cemento	=	318.4463/3.15	=	101.0940635	L/m ³
Volumen de agua	=	216.54355/1	=	216.54355	L/m ³
Volumen de agregado grueso	=	245.006/2.611	=	93.83607813	L/m ³
Volumen de escoria gruesa	=	381.331/1.995	=	191.1433584	L/m ³
Vacios (2.5%)	=	0.025*1000	=	25	L/m ³

Suma	=	627.617	=	627.617	L/m3
Volumen de Finos	=	1000-627.617	=	372.383	L/m3
Peso de arena	=	372.383*0.5*2.45	=	456.169175	kg/m3
Peso de escoria fina	=	372.383*0.5*1.99	=	370.521085	kg/m3

7) Corrección por Humedad

Dado que la absorción no hace parte del agua de la mezcla, esta debe excluirse del ajuste de agua adicional, por tanto el agua superficial aportada por el agregado será:

Arena	=	456.169*(2.05-4.2)/100	=	-9.8076335
Escoria fina	=	370.521*(8.57-4.2)/100	=	16.1917677
Agregado grueso	=	245.006*(0.78-0.5)/100	=	0.6860168
Escoria gruesa	=	381.331*(13.5-0.5)/100	=	49.57303
Suma	=		=	56.643181

De esta manera, el requerimiento estimado de adición de agua será:

$$216.543+56.643=273.186 \text{ L}$$

Conforme a lo Anterior, los pesos estimados de materiales para un metro cubico de Concreto, serán:

Agua	273.186	L
Cemento	318.446	kg/m3
Arena	456.169	kg/m3
Grava	245.006	kg/m3
Escoria fina	370,521	kg/m3
Escoria gruesa	381.331	kg/m3