AGREGADOS NO CONVENCIONALES PARA CONCRETO NO ESTRUCTURAL

OMAR JAVIER BOHÓRQUEZ VÁSQUEZ
CAMILO ANDRÉS CALDERÓN ALGARRA
CRISTHIAN SAMUEL NIÑO CORREDOR

UNIVERSIDAD DE LA SALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C.
2007

AGREGADOS NO CONVENCIONALES PARA CONCRETO NO ESTRUCTURAL

OMAR JAVIER BOHÓRQUEZ VÁSQUEZ
CAMILO ANDRÉS CALDERÓN ALGARRA
CRISTHIAN SAMUEL NIÑO CORREDOR

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

Director temático
Ing. Miguel Antonio Caro

Asesora metodológica
Mag. Rosa Amparo Ruiz Saray

UNIVERSIDAD DE LA SALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C.
2007

Nota de aceptación:

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

Firma del presidente del jurado

_____

Firma del jurado

_____

Firma del jurado

Bogotá, D.C., Marzo 9 de 2007

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su reconocimiento:

A DIOS, por la virtud de la sapiencia y el regalo de la vida; que nos permite hoy rendir nuestros frutos, base y esencia de los profesionales que habremos de ser.

Al Ingeniero MIGUEL ANTONIO CARO, Director Temático del proyecto, quien fuera parte fundamental para la satisfactoria y gratificante resolución en el desarrollo del mismo.

A la magíster ROSA AMPARO RUIZ SARAY, quien ha sido nuestra guía y mano amiga durante este proceso, para presentar y plasmar adecuadamente todo lo que en campo se llegó a realizar. También agradecerle muy especialmente por entendernos y aconsejarnos en los momentos que más lo necesitamos.

A JOSÉ LUÍS RODRÍGUEZ, quien nos colaboro en las actividades propias de laboratorio, que con su paciencia y compartiéndonos su experiencia, hizo que el proyecto marchara en aras del excelente resultado que vemos hoy.

También agradecemos a los amigos, compañeros, conocidos y desconocidos que de una manera u otra hicieron posible la elaboración de este proyecto.

DEDICATORIA

En primer lugar quiero dedicarle este trabajo a Dios en la persona de Jesús, que siempre a sido la guía y un ejemplo a seguir en todo los momentos de mi vida. En segundo lugar dedico este trabajo a mi Papá y mi Mamá, quienes con esfuerzo, sacrificio, dedicación y ejemplo, han inculcado en mí valores que son en la actualidad directrices que rigen mí día a día. También quiero dedicar este trabajo a todos aquellos familiares, amigos allegados a la familia y todas estas personas que de una manera u otra han hecho que yo este donde estoy. Finalmente, quiero dedicarle esté trabajo a mis amigos, compañeros y maestros que han sido las personas que han compartido conmigo durante los 19 años de estudio y los 23 años de aprendizaje los conocimientos y experiencias que siempre serán útiles en cualquier momento de la vida.

OMAR JAVIER BOHÓRQUEZ

DEDICATORIA

Reconociendo de antemano los esfuerzos ajenos a mi persona, representados vigorosamente por mis padres, a quienes admiro fervorosa e insaciablemente; a ellos les doy gracias por hacer de mi un hombre de bien, y por haber forjado con tanto esmero a un gran profesional, el cual ahora espera retribuirles todos sus esfuerzos y desvelos, en pro de engrandecer su calidad de vida y satisfacción. Me permito incluir también a mi hermano, quien indirectamente es causante de mi estado actual, me refiero a que él siempre me apoyo en todo momento, me animo a seguir adelante y actualmente doy fe, de lo orgulloso que puede estar de mí. En tercer lugar, pero nunca menos importante, está Diana, mi novia, quien siempre ha estado conmigo, tengo paz y tranquilidad a su lado, quien a propiciado una y otra vez que continúe siempre para adelante, y será mi estrella en el camino para vislumbrar siempre una esperanza con la antorcha de la fortaleza, en el arduo camino de la vida.

CAMILO CALDERÓN

DEDICATORIA

Este trabajo de grado se lo dedico en primer lugar a Dios por brindarme la oportunidad de culminar esta etapa de mi vida, a mi padre Samuel Niño Torres, por su dedicación, confianza, colaboración, sus buenos consejos y lucha incansable por sacar adelante a sus hijos. A mis hermanas Ivonne Andrea Niño, Diana Marcela Niño y Valeria Niño por su ayuda, dedicación, apoyo incondicional, confianza y motivación para culminar este logro. A mi familia por ser parte importante de mi vida; y a todos aquellos que han sido un brazo de soporte para terminar mi formación como profesional.

CRISTHIAN SAMUEL NIÑO CORREDOR

CONTENIDO

		Pág.
INTRODUCCIÓN		
1.	EL PROBLEMA	20
1.1	LÍNEA	20
1.2	TÍTULO	20
1.3	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	20
1.4	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	21
1.5	JUSTIFICACIÓN	22
1.6	OBJETIVOS	23
1.6.1	Objetivo general	23
1.6.2	Objetivos específicos	24
2.	MARCO REFERENCIAL	25
2.1	MARCO TEÓRICO	25
2.2	MARCO CONCEPTUAL	27
2.3	MARCO NORMATIVO	29
3.	METODOLOGÍA	31
3.1	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	31
3.2	OBJETO DE ESTUDIO	32
3.3	INSTRUMENTOS	33
3.4	VARIABLES	33
3.5	HIPÓTESIS	33
4.	TRABAJO INGENIERIL	35
4.1	DESARROLLO	35
4.1.1	Fase 1. Recopilación de información	36
4.1.1.1	Antecedentes bibliográficos	37
4.1.1.2	Localización de la fuente e material	37
4.1.1.3	Confirmación de laboratorios	39
4.1.2	Fase 2. Desarrollo del trabajo ingenieril	39
4.1.2.1	Contextualización	40
4.1.2.2	Experimentación y trabajo de laboratorio	42
4.1.2.3	Interpretación de resultados	81
4.1.2.4	Análisis de resultados	85
5.	COSTOS TOTALES DE LA INVESTIGACIÓN	91

5.1 RECURSOS MATERIALES, SUMINISTROS E INSUMOS 91
5.2 RECURSOS INSTITUCIONALES 91
5.3 RECURSOS TECNOLÓGICOS 91
5.4 RECURSOS HUMANOS 92
5.5 RECURSOS FINANCIEROS 92

6. CONCLUSIONES 93

7. RECOMENDACIONES 95

BIBLIOGRAFÍA 97

ANEXOS 99

LISTA DE TABLAS

		Pág.
Tabla 1.	Estado del arte	21
Tabla 2.	Normas técnicas colombianas	29
Tabla 3.	Identificación de variables	33
Tabla 4.	Tamizado de material	42
Tabla 5.	Granulometría	45
Tabla 6.	Módulo de finura	47
Tabla 7.	Tabla de resistencias a la compresión	75
Tabla 8.	Resistencias promedio	76
Tabla 9.	Datos estadísticos falla 3 días	77
Tabla 10.	Datos estadísticos falla 7 días	77
Tabla 11.	Datos estadísticos falla 14 días	78
Tabla 12.	Datos estadísticos falla 28 días	79
Tabla 13.	Precios concreto convencional	80
Tabla 14.	Precios concreto a base de escombros	80
Tabla 15.	Resultado del tamizado de materiales	81
Tabla 16.	Resultado módulo de finura	82
Tabla 17.	Resultado masa unitaria de los agregados	82
Tabla 18.	Resultado ensayo de desgaste	82
Tabla 19.	Resultado de la densidad y la absorción del agregado grueso	83

Tabla 20. Resultado de la densidad y la absorción del agregado fino 83
Tabla 21. Resultado de contenido de humedad 83
Tabla 22. Resultado del asentamiento del hormigón 83
Tabla 23. Diseño de la mezcla 84
Tabla 24. Resultado de la resistencia a la compresión 84
Tabla 25. Comparación de precios 85
Tabla 26. Recursos materiales, suministros e insumos 91
Tabla 27. Recursos tecnológicos 91
Tabla 28. Recursos humanos 92
Tabla 29. Recursos financieros 92
Tabla 30. Resultados de resistencia 103

LISTA DE FIGURAS

		Pág.
Figura 1.	Escombros	38
Figura 2.	Proceso de trituración	38
Figura 3.	Proceso de tamizado	43
Figura 4.	Curva granulométrica	45
Figura 5.	Tamaños efectivos	46
Figura 6.	Masa unitaria	48
Figura 7.	Desgaste en la maquina de los Ángeles	51
Figura 8.	Gradación tipo C	52
Figura 9.	Densidad agregado grueso	53
Figura 10.	Densidad agregado fino	55
Figura 11.	Slump	58
Figura 12.	Preparación de la mezcla	63
Figura 13.	Elaboración de cilindros de concreto	63
Figura 14.	Cilindro de concreto	64
Figura 15.	Montaje de cilindro en la máquina	64
Figura 16.	Lectura de la máquina	65
Figura 17.	Fallas	65
Figura 18.	Curva de resistencia	76
Figura 19.	Distribución de frecuencia 3 días	77

Figura 20. Distribución de frecuencia 7 días 78

Figura 21. Distribución de frecuencia 14 días 78

Figura 22. Distribución de frecuencia 28 días 79

LISTA DE ANEXOS

		Pág.
Anexo A	Volumen de agregado grueso	100
Anexo B	Cantidad de agua para mezcla	101
Anexo C	Cantidad de cemento	102
Anexo D	Resultado de resistencias	103
Anexo E	Formato toma de datos	104
Anexo F	Formato toma de datos falla de cilindros	105

INTRODUCCIÓN

La necesidad de buscar alternativas para la elaboración de concreto con agregados no convencionales, nace de la preocupación socio-económica que vislumbra el medio, es por eso que se deben buscar soluciones inmediatas a estos inconvenientes. El cambio radica básicamente, en el aprovechamiento de materiales e insumos, producto de algún deshecho constructivo, generando así una opción valiosa para los agregados del concreto; se esta hablando, de reemplazar, arena por polvo de ladrillo y/o materiales finos; grava por fragmentos de ladrillo y/o concreto, todo esto proveniente de los escombros; y porque no, tal vez, pensar en el posible mejoramiento estético del producto, aprovechando la capacidad de pigmentación del polvo de ladrillo.

Aunque la idea es clara, es preciso puntualizar, en que aportaría esta concepto al desarrollo tecnológico del país; bueno, es por demás decir, que los materiales producto de deshechos constructivos (escombros), son extremadamente económicos y no requerirán mayor proceso de reciclaje y preparación, y mas aún, tendrían uso en obras no estructurales que requieran de concreto, por ejemplo, andenes, canchas deportivas, etc. Es así como se propone una idea que aporte una salida económica en las obras civiles y arquitectónicas, y se pueda así tener una industria tecnificada para este evento.

1. EL PROBLEMA

1.1 LÍNEA

El proyecto de investigación desarrollado corresponde a la línea comportamiento de estructuras especiales y pertenece al grupo de investigación instituto de desarrollo tecnológico, INDETEC.

1.2 TÍTULO

Agregados no convencionales para concreto simple.

1.3 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Los escombros constructivos son materiales determinantes en el equilibrio ambiental del planeta, producen contaminación visual, erosión, impiden la siembra y definitivamente producen afecciones a la salud humana a largo plazo; pero, visualizando desde otra perspectiva, este material es aprovechable casi en un cien por ciento, en cuanto a construcción se requiere, es por esto, que se muestra la idea de aplacar el problema ambiental, con una solución, que aprovecharía económicamente el sector de la construcción.

La rehabilitación del material ya nombrado, es una solución para un doble problema: primero, el de disminuir el impacto ambiental, reduciendo el volumen de material de deshecho; segundo, el alivio económico que generaría al ámbito de construcción, en cuanto al ahorro de los agregados para el concreto.

Tabla 1. Estado del arte

INVESTIGACIÓN	INVESTIGADORES	AÑO
Diseño de mezclas de hormigón ligero con viruta y aserrín como agregados	Jorge Enrique Remolina, julio cesar Ruiz m	1980
Adición de cal a los morteros de cemento y arena	Luis Eduardo Vásquez, Alberto Osorio Sepúlveda	1980
Propiedades mecánicas de las resinas epóxicas con miras a la utilización estructural	Luis Javier Sánchez Aristizabal	1988
Utilización de desechos metálicos como refuerzo en elementos constructivos no estructurales	Carlos Humberto Patiño Patiño, Luis Fernando Rodríguez Vásquez	1990
Evolución experimental de los morteros modificados con látex	Carlos Alberto león, Jorge Iván Salazar Díaz	1996
Caracterización y posibles usos de las cenizas volantes del carbón	Carlos Mario cárdenas Escobar, Leonardo Fabio Velásquez Vallejo	1996
Influencia de los aditivos tipo d y g en el desarrollo de las resistencias tempranas del concreto	Cesar Augusto Cifuentes	1996
Concretos emulsificados	Jorge Alberto Henao Montoya, Nolbery Arturo garcía valencia	1996
Aprovechamiento de escombros de construcción y cenizas volantes en la construcción de vías	Pedro Alejandro Gómez Peláez, Claudia Patricia Osorio Orrego	2001

1.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo se utilizó el material de escombro proveniente de demoliciones para remplazar los agregados convencionales del concreto, y que la resistencia obtenida de esté sea la ideal de un concreto simple?

1.5 JUSTIFICACIÓN

La idea de reutilizar el material de escombro, surgió en el mismo instante en que se visualizó la problemática económico-ambiental que esto genera y la urgencia por darle una solución a los siguientes ítems.

La importancia de trabajar en este proyecto se radicó en el soporte lógico y evidente, de la infimidad en costo de material de escombro, y su fácil consecución en el ámbito constructivo; esto hizo ver la magnitud del problema, pero a la vez, mostró la facilidad de resolverlo.

Obtenidos los resultados esperados el aporte es bastante significativo para aquellos que requieren facilidades económicas en la elaboración de obras no estructurales; y también se esta contribuyendo indirecta, e inconscientemente a la disminución del impacto ambiental, con la reducción eventual y progresiva del volumen de los escombros producidos.

Con todo esto, se pretende solucionar, un problema económico, en cuanto a la consecución y costo del escombro y posteriormente adoptar el nuevo concreto para labores y construcciones sociales; también se mejoraría el aspecto ambiental, siempre y cuando la idea se produzca a gran escala.

Los beneficios que trajo la investigación, son igualmente sustanciosos, tanto para la sociedad, como para la universidad y otras instituciones; en cuanto a la parte de ahorro económico, si se habla de la sociedad o de industrias en construcción.

El benéfico económico se debe en gran parte, al ahorro que representará la implementación del escombro, reemplazando el agregado convencional lo cual conlleva a la ejecución de este nuevo material, para ahorro y desarrollo potencial del país teniendo en cuenta, la solución implícita que se presenta para el problema ambiental. El reconocimiento académico sería una probabilidad aposteriori, que depende del manejo y la solidez de la propuesta.

La investigación dio a conocer un nuevo planteamiento, en cuanto a la innovación técnica, la cual brinda un material diferente con base a unos elementos que se creían inútiles.

1.6 OBJETIVOS

1.6.1 Objetivo general

Reemplazar satisfactoriamente el agregado convencional del concreto, por material de escombro, para su utilización en concreto no estructural.

1.6.2 Objetivos específicos

- Establecer dosificación de resistencia para el concreto obtenido utilizando el escombro como agregado.
- Relacionar el costo del nuevo concreto, con el costo del concreto convencional.
- Especificar usos, cuidados y tratamiento que se le deben dar al concreto obtenido.

2. MARCO REFERENCIAL

2.1 MARCO TEÓRICO

Con el propósito de fundamentar la investigación, es necesario precisar algunas pautas teóricas, y mostrar también antecedentes relacionados con el tema, con el fin de abrir una concepción y percepción más audaz de la investigación.

En primer lugar, se debe hablar un poco del material de estudio, que para este caso es el concreto. El concreto está constituido por una mezcla de cemento Pórtland, agua, agregados fino y grueso, y aditivos en algunos casos, los materiales cumplirán las especificaciones que se detallan más adelante. El diseño de las mezclas de concreto se basará en la relación agua-cemento necesaria para obtener una mezcla plástica y manejable según las condiciones específicas de colocación de tal manera que se logre un concreto de durabilidad, impermeabilidad y resistencia que esté de acuerdo con los requisitos que se exigen para las diversas estructuras, según los planos y especificaciones.

El diseño de las estructuras y estas especificaciones fueron ejecutadas para el uso de cemento Pórtland que se ajuste a las especificaciones C-150 tipo 1 de la ASTM y las normas ICONTEC 30, 33, 117, 121, 107, 108, 110, 184, 225, 297, 321. Si se utilizare otro tipo de cemento se hace necesario efectuar los cambios

correspondientes, siempre que dicho tipo sea aceptado por el Interventor. Sólo se aceptará cemento de calidad y características uniformes y en caso de que se le transporte en sacos, éstos deben ser lo suficientemente herméticos y fuertes para que el cemento no sufra alteraciones durante el transporte, manejo y almacenamiento.

Los agregados finos y gruesos para fabricación de concreto cumplirán con las especificaciones de las normas ICONTEC 77, 92, 98, 176, 237, 1776, 396, 673, 1531, y NSR 98 C.5.6 Se tendrá en cuenta la siguiente clasificación: Agregado Fino. La granulometría de la arena estará dentro de los siguientes límites: Malla No. % que Pasa, 3/8 100, 4 95 - 100, 8 80 - 100, 16 50 - 85, 30 25 - 60, 50 10 - 30, 100 2 - 10. El agregado fino que se utilice para la fabricación del concreto debe cumplir con las siguientes condiciones: - Módulo de finura entre 2.3 y 3.1, - Pasa tamiz 200, no mayor del 3% para hormigón sujeto a desgaste y no mayor del 5% para cualquier otro caso. Debe estar libre de raíces, micas, limos o cualquier otro material que pueda afectar la resistencia del concreto. Para el control de las características del concreto es necesario determinarlas por medio de ensayos y pruebas[1]; “algunos materiales exhiben un comportamiento dramáticamente diferente en compresión que en tensión y en algunos casos estos materiales se utilizan principalmente para resistir esfuerzos de compresión”. Ejemplos típicos son el concreto y las piedras utilizadas en construcción. Se necesita entonces datos del

[1] SAITO, Motoji, cuadernos de investigación Nº 6, tema: comentarios sobre las normas industriales japonesas de la calidad del concreto, 1996

ensayo de compresión en muchas aplicaciones de ingeniería[2]. “Es por este motivo que resulta muy necesario experimentar y estudiar la infinidad de materiales que podrían servir como agregado en un concreto”, así pues se han hecho en Colombia algunas muestras de este interés, con resultados favorables.

2.2 MARCO CONCEPTUAL

Asentamiento (Slump): resultado del ensayo de manejabilidad de una mezcla de concreto.

Cemento: material que tiene propiedades cementantes cuando se utiliza en la fabricación del concreto, ya sea por si mismo, como es el caso del cemento hidráulico (Pórtland), el cemento adicionado y el cemento expansivo, o cuando estos últimos obran en combinación con cenizas volantes, puzolanas, escoria siderúrgica y humo de sílice.

Concreto: mezcla homogénea de material cementante, agregados inertes y agua, con o sin aditivos.

Concreto ciclópeo: mezcla de concreto simple y agregado grueso seleccionado con tamaños entre 150 y 300 mm., utilizada para la construcción de elementos estructurales que trabajan predominantemente a compresión.

[2] JONSTHON, edward; BEER, tree, Mecánica de materiales, 1983

Concreto de peso normal: se entiende por concreto de peso normal aquel en el cual se ha utilizado agregados inertes cuya masa específica es mayor que 1840 kg/m^3.

Concreto estructural: el concreto estructural cubre el concreto simple y el concreto reforzado utilizado para propósitos estructurales.

Concreto ligero: concreto que contiene agregado ligero, cuya masa especifica no excede 1840 kg/m^3, y por tanto el concreto producido con ellos tiene una masa especifica inferior al concreto de masa normal.

Concreto reforzado: material constituido por concreto que tiene un refuerzo consistente en barras de acero corrugado, estribos transversales o mallas electrosoldadas, colocadas principalmente en las zonas de tracción.

Concreto simple: el que no tiene acero de refuerzo.

Concreto simple estructural: concreto simple utilizado para propósitos estructurales.

Encofrados y formaletas: moldes con la forma y las dimensiones de los elementos estructurales, en los cuales se coloca el refuerzo y se vierte el concreto fresco.

Refuerzo: acero en una de las tres formas siguientes, colocado para absorber esfuerzos de tracción, de compresión o de torsión en conjunto con el concreto.

Resistencia nominal del concreto a la compresión (f'c): Resistencia nominal especificada del concreto a la compresión, que se utiliza en el diseño para determinar la resistencia la resistencia nominal de los elementos de concreto reforzado. La resistencia real a la compresión debe determinarse por medio de ensayos de los materiales empleados en la obra, como el promedio de la resistencia de dos probetas cilíndrica, de 150 mm. de diámetro y 300 mm. de altura, ensayadas a los 28 días .

2.3 MARCO NORMATIVO

Para el buen ejercicio de toda profesión, sin lugar a dudas es necesario recurrir frecuentemente a la normatividad exigida, que para este caso en particular se presenta en todas aquellas normas que reglamentan básicamente el manejo adecuado de algunos ensayos de laboratorio y especifican los parámetros finales que debe poseer el material final. A continuación se presentan las normas que se tienen en cuenta para la buena ejecución de la investigación, dentro de un marco normativo.

Tabla 2. Normas técnicas colombianas

NORMA	TÍTULO
NTC 77	Tamizado de materiales granulados (agregados o áridos)
NTC 92	Método para determinar la masa unitaria de los agregados
NTC 98	Determinación de la resistencia al desgaste de los tamaños menores de agregados gruesos, utilizando la máquina de los ángeles.
NTC 176	Método para determinar la densidad y absorción de agregados gruesos.
NTC 237	Método para determinar el peso específico y la absorción de agregados finos
NTC 1776	Agregados para hormigón. Determinación del contenido de humedad total

NTC 396	Método de ensayo para determinar el asentamiento del hormigón
NTC 673	Ensayo de resistencia y compresión de cilindros normales de hormigón
NTC 890	Determinación del tiempo de fraguado de mezclas por medio de su resistencia a la penetración
NSR 98, C.5.6	Evaluación y aceptación del concreto
ACI 211.1	Uso de la granulometría completas de la arena y del agregado grueso

3. METODOLOGÍA

3.1 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El diseño metodológico usado en está investigación fue el cuasiexperimental que según LERMA[3], la investigación cuasiexperimental "es un caso especial de la investigación experimental donde faltan algunas de sus propiedades. Se pueden presentar casos donde la selección de los grupos no es aleatoria; otros, donde no hay grupo de control; y otros donde no se da ninguna de las dos condiciones."

Las fases que se llevaron a cabo para la realización del proyecto fueron:

FASE 1. Recopilación de información.

- Antecedentes bibliográficos.
- Localización de la fuente del material.
- Confirmación de los laboratorios.

FASE 2. Desarrollo del trabajo ingenieríl.

- Contextualización.
- Experimentación y trabajo de laboratorio.

---

[3] LERMA, Héctor Daniel. Metodología de la investigación : Propuesta, anteproyecto y proyecto. 3ed. Bogotá : Digiprint, 2004. p70. ISBN 958-64-8372-X.

- Tamizado de materiales granulados.
- Método para determinar la masa de los agregados.
- Determinación de la resistencia al desgaste de los tamaños menores agregados gruesos, utilizando la máquina de Los Ángeles.
- Método para determinar la densidad y la absorción de agregados gruesos.
- Método para determinar el peso específico y la absorción de agregados finos.
- Agregados para hormigón. Determinación del contenido de humedad total.
- Método de ensayo para determinar el asentamiento del hormigón.
- Ensayo de resistencia y compresión de cilindros normales de hormigón.

- Interpretación de resultados.
- Análisis de resultados.

3.2 OBJETO DE ESTUDIO

El objeto de estudio de la presente investigación fue la de realizar un análisis mediante ensayos de laboratorio (Normas ICONTEC) al escombro proveniente de demoliciones (edificios y pavimento hidráulico), para utilizar este material en la elaboración de concreto simple y compararlo con el concreto convencional.

3.3 INSTRUMENTOS

Para el desarrollo de los laboratorios que se le practicaron a los escombros se tuvo en cuenta la NORMA ICONTEC,(77, 92, 98, 176, 237, 1776, 396, 673), además de los formatos utilizados para la recolección y entrega de los resultados que se encuentran en los anexos D, E y F al final de esté trabajo, donde se registraron respectivamente: resultados de resistencia, toma de datos en laboratorio y toma de datos de pruebas de resistencias.

3.4 VARIABLES

Tabla 3. Identificación de variables

CATEGORÍA DE ANÁLISIS	VARIABLES	INDICADORES
Granulometría	• Tamaño máximo nominal • Porcentaje de finos	• Textura del producto final • Adherencia por fricción o cohesión • Futura resistencia al cortante del concreto
Falla de cilindros por compresión	• Carga aplicada • Velocidad de aplicación de la carga • Granulometría • Dosificación • Vibrado	• Resistencia a la compresión y al cortante • Porcentaje de vacíos

3.5 HIPÓTESIS

La utilización de escombros para la realización del concreto, es una opción viable que brindara un comportamiento eficiente y comparable con el agregado

convencional; permitiendo así una reducción en costos logrando resistencias similares al concreto con agregado común.

4. TRABAJO INGENIERIL

4.1 DESARROLLO

El desarrollo general de la investigación se realizó, teniendo en cuenta diferentes aspectos los cuales tienen que ver en primera instancia, con la consecución de la materia prima (base y esencia del objeto de la investigación), que para éste caso particular fue el material proveniente de las demoliciones o escombro. El material de escombro ya mencionado tiene dos formas de localización, las cuales difieren una de la otra, del tratamiento posterior a su reciclaje; inicialmente, se hubiese podido localizar el material y adoptarlo directamente desde la fuente (demolición), asumiendo el control de la trituración; y obviamente los gastos que ésta conllevase, en segunda instancia, se recurrió a la escombrera, la cual evitó la búsqueda, consecución y posterior trituración del material con la ausencia del control en los tamaños por parte del equipo investigador.

Ya habiendo conseguido la materia prima se siguió con la adopción de otros materiales indispensables para la elaboración del concreto; el cemento no presento problemas a la hora de su elección ya que es un producto comercial, certificado por el ICONTEC a diferentes marcas para el Pórtland tipo I.

Posteriormente se procedió a trabajar en los laboratorios de materiales y hormigón de la Universidad de la Salle en donde realmente se realizó el 90% de la investigación de la siguiente manera:

Se realizaron ensayos sobre el escombro, para determinar las propiedades físicas de dicho material[*], se hizo un diseño de mezcla para elaborar los cilindros de prueba en concreto, para su posterior falla a los 3, 7, 14 y 28 días de mezclado.

Dicho ensayo, nos brindo las características buscadas inherentes a los objetivos propuestos para la investigación, como lo es la resistencia a la compresión del concreto; dato que nos fue muy útil para las conclusiones y para lograr una comparación real con la contraparte del estudio (concreto convencional).

4.1.1 Fase 1. Recopilación de información.

La ardua tarea de recopilación, tardó aproximadamente unos cuatro meses, en los cuales, el equipo investigador acudió a fuentes tanto bibliográficas como empíricas personales. La información se recolectó, siguiendo las pautas anteriormente establecidas, con las cuales sabríamos a hasta donde y como llegar al punto. Lo primero que se tenia en mente era averiguar todo acerca del objeto del estudio (concreto), para conocer y vislumbrar algunas de sus características más importantes, con el fin de ver la solución al problema; en segundo término, se vio la

[*] Tabla 2. Normas técnicas colombianas, página 29

necesidad de indagar todo acerca del material que iría a ser parte de la solución al problema (escombro), tal como su consecución y posterior manejo antes de mezclarlo con el cemento; por último, se entro a recordar y aplicar conceptos elementales de la mecánica de materiales, los cuales sirvieron para la elaboración de los análisis de resultados, y para la comprobación teórico-experimental del estudio.

4.1.1.1 Antecedentes bibliográficos.

Los antecedentes históricos[**], sirvieron de referencia para los antecedentes bibliográficos, ya que estas investigaciones se encuentran libremente publicadas.

4.1.1.2 Localización de la fuente de material

El material que se utilizó para la elaboración de este proyecto, se adquirió en las trituradoras de escombros localizadas en “la pichosa”, localidad de tunjuelito al sur de Bogotá, donde llegan materiales provenientes de demoliciones de estructuras de concreto, pavimentos, ladrillos, etc. que son llevados a la máquina trituradora y posteriormente clasificados como gravilla y arena para su futura reutilización. Dentro del material que se utilizó en los ensayos de laboratorio, no se tuvo en cuenta el material de tipo arcilloso, por lo cual los escombros de ladrillo y bloque

[**] Tabla 1. Estado del arte, página 21

fueron clasificados buscando obtener el mejor resultado en cuanto a resistencia del concreto obtenido.

Figura 1. Escombros

Figura 2. Proceso de trituración

4.1.1.3 Confirmación de laboratorios

Después de elegidos los numerales de la Normas Técnicas Colombianas (NTC) que se aplicarían posteriormente al material, se confirmo la utilización de laboratorios de la Universidad de la Salle, donde se lograron llevar a cabo todos los ensayos pertinentes (escogidos anteriormente de la NTC) al material para luego realizar el análisis de datos obtenidos allí.

4.1.2 Fase 2 Desarrollo del trabajo ingenieril.

El trabajo ingenieril, básicamente fue en un 90% labor de laboratorio, en donde se realizaron los ensayos mencionados[***] y posteriormente se analizaron estos resultados.

La descripción menos general del trabajo ingenieril fue:

Se iniciaron los trabajos de laboratorio, obviamente con la previa obtención de materiales, documentación e instrumentación adecuados.

Se le hicieron pruebas a las diferentes muestras de material de escombro, para conocer sus características utilizando los procedimientos descritos en las normas técnicas colombianas y así poder comparar con resultados óptimos de material

[***] Tabla 2. Normas técnicas colombianas, página 29

convencional; de este ejercicio se pudieron concluir argumentos importantes, ya que hubo muestras desfavorables para las posteriores etapas y se desecharon en el acto.

Ya teniendo el material de escombro debidamente seleccionado, se procedió a calcular las proporciones de agua – cemento – material, que debía ir, según las propiedades que arrojo la muestra. De este ejercicio resultó la dosificación con la cual se realizó la elaboración de las 30 muestras (cilindros) de concreto.

El procedimiento según la norma, es desmoldar los cilindros después de 24 horas y luego dejarlos en agua hasta el tiempo de la ruptura; todo esto se hizo con cada uno de los cilindros, y se decidió fallarlos a los 3, 7, 14 y 28 días para realizar la curva de resistencia. Este ejercicio es el que brindó la información más crucial para el efecto del proyecto.

4.1.2.1 Contextualización. El concreto hidráulico, es una de las mezclas utilizada para obras civiles con mayor frecuencia en el mundo entero, debido a que es un material durable y resistente y de fácil manejabilidad en su estado liquido. Además de tener muchos usos dependiendo las resistencias obtenidas después de su fabricación: estructuras de edificaciones, estructuras de puentes, pavimentos, cimentaciones (superficiales y profundas), escaleras, etc.

El agua, el cemento y los agregados, son los componentes esenciales de el concreto, además del aire que queda incluido en esté durante su preparación. Una buena escogencia de estos elementos, generan que el concreto tenga o no una buena resistencia para su utilización futura. En el caso del cemento, existen muchos tipos de cemento que se pueden utilizar dependiendo la finalidad que queramos darle al concreto (Cemento de escoria o siderúrgico, Cemento Pórtland siderúrgico, Cemento Pórtland puzolánico, Cementos plásticos, etc.).

Por otro lado el agua que se debe utilizar, en las mezclas de concreto, debe ser un agua limpia, libre de contaminación (materia orgánica), libre de químicos que afecten el concreto, debe ser incolora, inodora, libre de cualquier sabor que no sea propia de la misma.

Un elemento más, que es necesario para el concreto, es el agregado. El agregado hace parte entre un 60 y 75 por ciento del volumen del agregado. Algunas de las características que se deben tener en cuenta para la buena escogencia de los agregados, debe ser: granulometría, limpieza, densidad, forma de las partículas, resistencia al desgaste, origen, etc. Además de ser libre de limo y arcilla, materia orgánica, partículas inconvenientes y sales inorgánicas.

El fin de este trabajo básicamente fue demostrar que el uso del escombro, remplazando en su totalidad al agregado convencional, es de utilidad, presenta buenas características de resistencia, buena manejabilidad, su costo es menor y

sobre todo, saber que la reutilización de este material, genera un alivio en cuanto al impacto ambiental que genera.

4.1.2.2 Experimentación y trabajo de laboratorio.

a) Tamizado de materiales granulares (Agregados o áridos) – Norma ICONTEC 77.

- Datos de entrada:

  → Peso de la muestra: P: 4520.0 gr

  → Peso de la muestra secada en horno: P_h: 4504 gr

Luego de realizado el procedimiento de tamizado a mano se obtuvieron los siguientes datos:

Tabla 4. Tamizado de material

Tamiz	Peso retenido (Gramos)
1''	0
3/4''	0
1/2''	36
3/8''	187
1/4''	1675
# 4	1032
# 8	822
# 20	181
# 50	196
# 100	154
# 200	143
Fondo	72
Σ	4498

Figura 3. Proceso de tamizado

$$\rightarrow \%\ \text{Finos} = \frac{P - P_h}{P} X\,100 + \frac{P_h - \sum}{P_h} X\,100$$

$$\rightarrow \%\ \text{peso retenido} = \frac{\text{Peso retenido}}{P} X\,100$$

$$\rightarrow \text{Coeficiente de uniformidad: } Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

$$\rightarrow \text{Coeficiente de concavidad: } Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} D_{10}}$$

- Cálculos:

$$\rightarrow \%\ \text{Finos} = \frac{4520\ gr - 4504\ gr}{4520\ gr} X\,100 + \frac{4504\ gr - 4498\ gr}{4504\ gr} X\,100$$

% Finos = 0.48 %

→ % $Pasa_1$ = 100 – 0 = 100

% $Pasa_2$ = 100 – 0 = 100

% $Pasa_3$ = 100 – 0.8 = 99.20

% $Pasa_4$ = 99.20 – 4.16 = 95.04

% $Pasa_5$ = 95.04 – 37.24 = 57.80

% $Pasa_6$ = 57.80 – 22.83 = 34.86

% $Pasa_7$ = 34.86 – 18.27 = 16.59

% $Pasa_8$ = 16.59 – 4.02 = 12.57

% $Pasa_9$ = 12.57 – 4.36 = 8.21

% $Pasa_{10}$ = 8.21 – 3.42 = 4.79

% $Pasa_{11}$ = 4.79 – 3.18 = 1.61

→ % Retenido acumulado$_1$ = 0 + 0 = 0

% Ret. Acu.$_2$ = 0 + 0 = 0

% Ret. Acu.$_3$ = 0 + 0.80 = 0.80

% Ret. Acu.$_4$ = 0.80 + 4.14 = 4.94

% Ret. Acu.$_5$ = 4.94 + 37.06 = 42.00

% Ret. Acu.$_6$ = 42.00 + 22.83 = 64.83

% Ret. Acu.$_7$ = 64.83 + 18.19 = 83.02

% Ret. Acu.$_8$ = 83.02 + 4.00 = 87.02

% Ret. Acu.$_9$ = 87.02 + 4.34 = 91.36

% Ret. Acu.$_{10}$ = 91.36 + 3.41 = 94.77

% Ret Acu.$_{11}$ = 94.77 + 3.16 = 97.93

→ Información obtenida

Tabla 5. Granulometría

Tamiz	Peso retenido (Gramos)	% Peso retenido	% Pasa	% Retenido acumulado
1''	0	0	100	0
3/4''	0	0	100	0
1/2''	36	0.80	99.20	0.80
3/8''	187	4.16	95.04	4.96
1/4''	1675	37.24	57.80	42.20
# 4	1032	22.94	34.86	65.14
# 8	822	18.27	16.59	83.41
# 20	181	4.02	12.57	87.43
# 50	196	4.36	8.21	91.79
# 100	154	3.42	4.79	95.21
# 200	143	3.18	1.61	98.39
Fondo	72			
Σ	4498			

Figura 4. Curva granulométrica

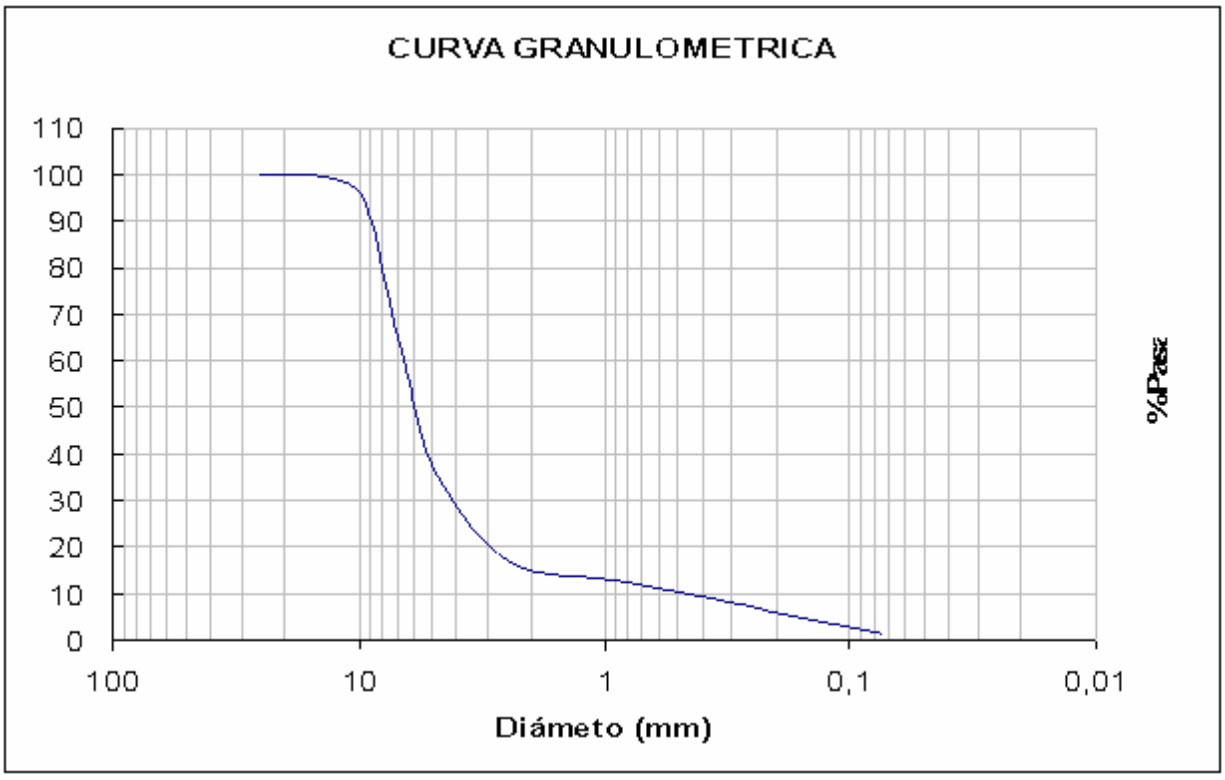
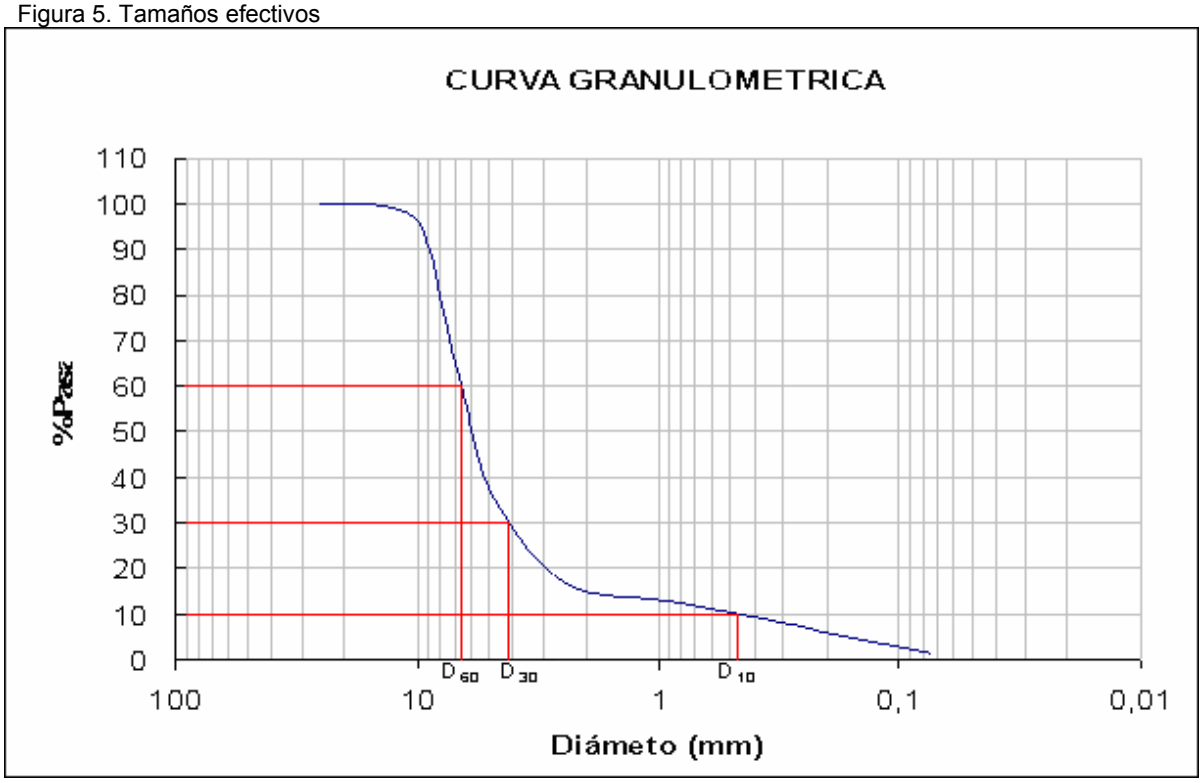


Figura 5. Tamaños efectivos



→ D_{60} = 6.60

→ D_{30} = 3.90

→ D_{10} = 0.46

→ Coeficiente de uniformidad

$$Cu = \frac{6.60}{0.46} = 14.35$$

→ Coeficiente de concavidad

$$Cc = \frac{(3.90)^2}{6.60(0.46)} = 5.01$$

b) Módulo de finura.

Según SEGURA[4], el módulo de finura de la arena es igual a la suma de las relaciones (acumulativas) retenidas en los tamices de malla con aberturas de 0.149, 0.297, 0.595, 1.19, 2.38 y 4.76 mm.

$$M.F. = \frac{\sum \%Ret.Acu.[\#4 - \#100]}{100}$$

Tabla 6. Modulo de finura

Tamiz	% Retenido	% Retenido Acumulado
# 4	22.94	65.14
# 8	18.27	83.41
# 20	4.02	87.43
# 50	4.36	91.79
# 100	3.42	95.21
		422.98

$$M.F. = \frac{65.14 + 83.41 + 87.43 + 91.79 + 95.21}{100}$$

$$M.F. = 4.23$$

[4] **SÁNCHEZ DE GUZMÁN, Diego. Tecnología del concreto y del mortero. 5ed. Bogotá : Pontificia universidad javeriana (Facultad de ingeniería civil), 2001. p241. ISBN 958-9247-04-0**

c) Método para determinar la masa unitaria de los agregados – Norma ICONTEC 92.

En el desarrollo de este punto, se utilizaron los tres métodos mencionados en la norma (método apisonado, método vibrado y masa unitaria del agregado suelto) tanto para material fino como para material grueso obteniendo los siguientes resultados.

Figura 6. Masa unitaria

- Datos de entrada:

→ Dimensiones de los recipientes:

- Recipiente para material fino: R1; ∅ = 15.44 cm.

h = 16.25 cm.

V = 3042.55 cm^3.

W = 4514 gr

- Recipiente para material grueso: R2; ∅ = 25.3 cm.

h = 29.3 cm.

V = 14729.85 cm^3.

W = 11226 gr

- Peso material fino más recipiente:

Método apisonado: 8699 gr

Método vibrado: 9035 gr

Método suelto: 8533 gr

- Peso material grueso más recipiente:

Método apisonado: 30839 gr

Método vibrado: 32329 gr

Método suelto: 30416 gr

→ Formula de masa unitaria: $\gamma = \frac{\text{Peso}}{\text{Volumen}}$

→ Formula de peso: Peso = Peso Conjunto – Peso Recipiente

- Cálculos:

→ Método apisonado material fino.

Peso = 8699 gr. – 4514 gr. = 4185 gr.

$$\gamma = \frac{4185\ \text{gr}}{3042.55\ \text{cm}^3} = 1.38\ \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} = 1375.5\ \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

→ Método vibrado material fino.

Peso = 9035 gr. – 4514 gr. = 4521 gr.

$$\gamma = \frac{4521\,\text{gr}}{3042.55\ \text{cm}^3} = 1.49\ \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} = 1486.0\ \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

→ Método suelto material fino.

Peso = 8533 gr. – 4514 gr. = 4019 gr.

$$\gamma = \frac{4019\ \text{gr}}{3042.55\ \text{cm}^3} = 1.32\ \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} = 1320.9\ \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

→ Método apisonado material grueso.

Peso = 30839 gr. – 11226 gr. = 19613 gr.

$$\gamma = \frac{19613\ \text{gr}}{14729.85\ \text{cm}^3} = 1.33\ \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} = 1331.5\ \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

→ Método vibrado material grueso.

Peso = 323329 gr. – 11226 gr. = 21103 gr.

$$\gamma = \frac{21103\ \text{gr}}{14729.85\ \text{cm}^3} = 1.43\ \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} = 1432.7\ \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

→ Método suelto material grueso.

Peso = 30416 gr. – 11226 gr. = 19190 gr.

$$\gamma = \frac{19190\ \text{gr.}}{14729.85\ \text{cm}^3} = 1.30\ \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} = 1302.8\ \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

d) Determinación de la resistencia al desgaste de los tamaños menores agregados gruesos, utilizando la máquina de Los Ángeles – Norma ICONTEC 98.

Para realizar el desgaste en la máquina de Los Ángeles se utilizo la gradación tipo C, donde se obtuvieron los siguientes resultados.

- Datos de entrada:

→ Material retenido entre tamices 3/8'' - # 3 = 2500 gr

→ Material retenido entre tamices # 3 - # 4 = 2500 gr

→ Peso retenido tamiz # 12 = 3692 gr

→ $\%\ \text{de desgaste} = \dfrac{5000 - \text{Peso Retenido}}{5000} X\, 100$

Figura 7. Desgaste en la máquina de los Ángeles

Figura 8. Gradación tipo C

- Cálculos

$$\%\ \text{de desgaste} = \frac{5000\ \text{gr} - 3692\ \text{gr}}{5000\ \text{gr}}\ X\,100$$

% de desgaste = 26.16 %

e) Método para determinar la densidad y la absorción de agregados gruesos – Norma ICONTEC 176.

Figura 9. Densidad agregado grueso

Después de realizado el ensayo y de acuerdo a la nomenclatura de la norma, se obtuvieron los siguientes resultados:

- Datos de entrada:

  → M = Masa en gramos de la muestra seca = 5215 gr

  → M_s = Masa en gramos de la muestra saturada interiormente y seca superficialmente = 5581 gr

  → M_i = Masa en gramos de la muestra sumergida en agua = 3180 gr

  → Formula de densidad nominal = $D_n = \frac{M}{M - M_i}$

→ Formula de densidad aparente = $D_a = \frac{M}{M_s - M_i}$

→ Formula de absorción = $\%\ \text{de absorción} = \frac{M_s - M}{M} X\,100$

- Cálculos:

→ Densidad nominal: $D_n = \frac{5215}{5215 - 3180}$

D_n = 2.56 gr/cm^3

→ Densidad aparente: $D_a = \frac{5215}{5581 - 3180}$

D_a = 2.17 gr/cm^3

→ Absorción: $\%\ \text{de absorción} = \frac{5581 - 5215}{5215} X\,100$

% de absorción = 7.02 %

f) Método para determinar el peso específico y la absorción de agregados finos – Norma ICONTEC 237.

Realizado el ensayo y siguiendo la nomenclatura de la norma se obtuvieron los siguientes datos.

- Datos de entrada:

→ G = Peso de la muestra seca, en gramos.

→ G_a = Peso o volumen de agua añadida a la muestra para completar el volumen de la probeta, expresada en g o en cm^3 según sea el caso.

→ V = Volumen de la probeta en cm^3.

→ Formula de peso específico: $P_e = \frac{G}{(V - G_a) - (500 - G)}$

→ Peso unitario seco: $P_m = \frac{G}{V - G_a}$

→ Peso unitario saturado y de superficie seca: $P_s = \frac{500}{V - G_a}$

→ Absorción: $\%\ \text{de absorción} = \frac{500 - G}{G} X\, 100$

Figura 10. Densidad agregado fino

- Cálculos

→ G = 463 gr

→ G_a = 303 gr.

→ V = 500 cm^3.

→ Peso específico: $P_e = \frac{463}{(500 - 303) - (500 - 463)}$

$$P_e = 2.83 \frac{gr}{cm^3}$$

→ Peso unitario seco: $P_m = \frac{463}{500 - 303}$

$$P_m = 2.35 \frac{gr}{cm^3}$$

→ Peso unitario saturado y de superficie seca: $P_S = \frac{500}{500 - 303}$

$$P_s = 2.54 \frac{gr}{cm^3}$$

→ Absorción: $\%\ \text{de absorción} = \frac{500 - 463}{463} X\, 100$

% de absorción = 7.99 %

g) Agregados para hormigón. Determinación del contenido de humedad total – Norma ICONTEC 1776.

De acuerdo a lo obtenido en los ítems d) y e) obtenidos de las normas ICONTEC 176 y 237 respectivamente se obtuvieron los siguientes resultados de humedad total:

→ Humedad obtenida de la norma ICONTEC 176 (Material grueso):

$$\%\ \text{de absorción} = \frac{5581 - 5215}{5215} X\, 100$$

% de absorción = 7.02 %

→ Humedad obtenida de la norma ICONTEC 237 (Material fino):

$$\%\ \text{de absorción} = \frac{500 - 463}{463} X\, 100$$

% de absorción = 7.99 %

h) Método de ensayo para determinar el asentamiento del hormigón – Norma ICONTEC 396.

Se tomo de la mezcla fresca de concreto una muestra, par realizar el procedimiento de lectura de slump, teniendo como referencia el CONO DE ABRHAMS, obteniendo el siguiente resultado:

→ SLUMP = 3'' = 7.62 cm. ≅ 7.5 cm.

Figura 11. Slump

i) Diseño de la mezcla.

Se utilizo el método de la A.C.I. 211.1 para el diseño de nuestro concreto, y utilizando los resultados obtenidos en los ensayos al material fino y grueso, se obtuvieron los siguientes resultados:

- Datos de entrada:

  → V_c = Volumen de agregado grueso – seco y apisonado por m^3 de hormigón.

  → b = Volumen aparente de las partículas de agregado grueso por m^3 de hormigón.

  → b_o = Volumen aparente de las partículas de agregado grueso por m^3 de agregado grueso.

→ $V_C = \frac{b}{b_O}$

→ $b_O = \frac{\text{Peso unitario apisonado}}{\text{Peso especifífico aparente}}$

→ Resistencia deseada: 3000 P.S.I.

→ Slump: 3''

→ Arena

- M.F. = 4.23
- Peso especifico aparente = 2.35 gr/cm^3
- Peso unitario suelto = 1.32 gr/cm^3
- Peso unitario apisonado = 1.38 gr/cm^3

→ Grava

- Tamaño máximo real = 1''
- Peso especifico aparente = 2.56 gr/cm^3
- Peso unitario suelto = 1.30 gr/cm^3
- Peso unitario apisonado = 1.33 gr/cm^3

→ Cemento

- % de finura = 0.7%
- Peso especifico = 2.90 gr/cm^3

- Cálculos

$\rightarrow b_O = \frac{1.33}{2.56}$

$b_o = 0.52$

$\rightarrow V_o = 0.467$ → El valor de V_o se saco de la lectura hecha en la tabla que se encuentra en el anexo A, donde se utiliza el valor de M.F. (modulo de finura), obtenido en literal b) y el T.M.R. (tamaño máximo real). Para tal caso se extrapoló de la tabla, debido a que el valor de M.F. no se encuentra en la misma.

$$b_o = (0.52)(0.467) = 0.243 \frac{m^3 \text{ de grava}}{m^3 \text{ de hormigón}}$$

$$\text{Cantidad de grava} = (0.243)(2560) = 622.08 \frac{Kg}{m^3 \text{ de hormigón}}$$

Volumen de grava por m^3 de hormigón (en obra)

$$= \frac{622.08}{1300} = 0.479 \frac{m^3}{m^3 \text{ de hormigón}}$$

$\rightarrow$ Agua = $196 \frac{lt}{m^3 \text{ de hormigón}}$ – La lectura para la cantidad de agua se realizó en la tabla del anexo B, donde se utilizó el valor del slump (3''), el tamaño máximo real (1'') y conocer el material que para el caso es de forma angular.

196 lt = 0.196 m^3 = $196 \frac{Kg}{m^3 \text{ de hormigón}}$

→ Cemento = 364 $\frac{Kg}{m^3 \text{ de hormigón}}$ – La lectura para la cantidad de cemento se realizó en la tabla anexo C, donde se utilizó el valor del slump (3''), el tipo de material que se utilizó (material angular) y la resistencia que se quería obtener, que para el caso es de 3000 P.S.I.

Cantidad de cemento = $\frac{364}{2900} = 0.126 \frac{m^3}{m^3 \text{ de hormgón}}$

→ Arena = 1 – 0.126 – 0.196 – 0.243 = 0.435 $\frac{m^3}{m^3 \text{ de hormigón}}$

Cantidad de arena = $(0.44)(2350) = 1022.25 \frac{Kg}{m^3 \text{ de hormigón}}$

Volumen de arena por m^3 de hormigón (en obra)

$$= \frac{1022.25}{1320} = 0.824 \frac{m^3}{m^3 \text{ de hormigón}}$$

→ Relación agua cemento obtenida a partir de los resultados del diseño:

$$\frac{A}{C} = \frac{196}{364} = 53.8\ \%$$

→ Mezcla para realizar los 30 cilindros a fallar

- Volumen de los 30 cilindros = $30\left[\frac{\pi}{4}(d^2)(h)\right] = 30\left[\frac{\pi}{4}(15.24)^2(30.48)\right]$

  Volumen = $(166800\ cm^3)(1.015) = 169302\ cm^3$

- Cantidad de agua $\Rightarrow$ $\begin{matrix} 169302\ cm^3 \rightarrow X \\ 1000000\ cm^3 \rightarrow 196\ Kg \end{matrix}$

$\Rightarrow$ X = 33.18 Kg. → 33.18 Lt

- Cantidad de cemento $\Rightarrow$ $\begin{matrix} 169302\,cm^3 \rightarrow X \\ 1000000\,cm^3 \rightarrow 364\,Kg \end{matrix}$

$\Rightarrow$ X = 61.63 Kg. → 0.021 m^3

- Cantidad de arena $\Rightarrow$ $\begin{matrix} 169302\,cm^3 \rightarrow X \\ 1000000\,cm^3 \rightarrow 1022\,Kg \end{matrix}$

$\Rightarrow$ X = 173.03 Kg. → 0.074 m^3

- Cantidad de grava $\Rightarrow$ $\begin{matrix} 169302\,cm^3 \rightarrow X \\ 1000000\,cm^3 \rightarrow 622\,Kg \end{matrix}$

$\Rightarrow$ X = 105.31 Kg. → 0.041 m^3

j) Ensayo de resistencia y compresión de cilindros normales de hormigón – Norma ICONTEC 673.

Se realizo la elaboración y posterior falla de 30 cilindros de concreto, elaborados a base de escombros triturados. La codificación de los cilindros para su posterior identificación se hizo de la siguiente manera, cuatro números (##-##), donde podemos encontrar, los dos primeros el numero de falla del cilindro y los dos segundos los días a los cuales fueron fallados; así por ejemplo el último cilindro fue fallado el día 35 (30-35).

Figura 12. Preparación de mezcla

Figura 13. Elaboración de cilindros de concreto

Figura 14. Cilindro de concreto

Figura 15. Montaje del cilindro en la máquina

Figura 16. Lectura de la máquina

Figura 17. Fallas

- Ecuaciones de proyección de resistencia según Slater:

  → Proyección con resistencia a los 3 días: $R_{28} = R_3 + 65\sqrt{R_3}$

  → Proyección con resistencia a los 7 días: $R_{28} = R_7 + K\sqrt{R_7}$

  K = 25 (Depende del tipo de cemento utilizado, para cemento Samper el valor de K = 25

  → Proyección con resistencia a los 14 días: $R_{28} = 1.16R_{14}$

- Ecuaciones de distribución de frecuencia de pruebas de resistencia

  → Promedio general: $\overline{X} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \text{-----} + x_{n-1} + x_n}{N} = \frac{\sum x_i}{N}$

  → Desviación estándar: $\sigma = \sqrt{\frac{\sum \left[x_i - \left(\frac{\sum x_i}{N} \right) \right]^2}{N-1}}$

  → Coeficiente de variación: $V = 100\left(\frac{\sigma}{\overline{X}}\right)$

  → Intervalo R: Se obtiene restando el menor, de un conjunto de números, del más alto del grupo.

- Primer cilindro:

  → Numero de identificación: 01-03

  → Edad: 3 días

  → Resistencia a la compresión: 1286.36 P.S.I.

  → Tipo de fractura: Por cortante a 45º

  → Defectos del cilindro: Falta de vibrado

→ Proyección: 3617.64 P.S.I.

- Segundo cilindro:

  → Numero de identificación: 02-03

  → Edad: 3 días

  → Resistencia a la compresión: 1350.82 P.S.I.

  → Tipo de fractura: Por cortante a 45º

  → Defectos del cilindro: Falta de vibrado

  → Proyección: 3739.80 P.S.I.

- Tercer cilindro:

  → Numero de identificación: 03-03

  → Edad: 3 días

  → Resistencia a la compresión: 1631.99 P.S.I.

  → Tipo de fractura: Por cortante a 45º

  → Defectos del cilindro: Ninguno

  → Proyección: 4257.85 P.S.I.

- Cuarto cilindro:

  → Numero de identificación: 04-03

  → Edad: 3 días

  → Resistencia a la compresión: 1285.70 P.S.I.

  → Tipo de fractura: Por cortante a 45º

  → Defectos del cilindro: Falta de vibrado

  → Proyección: 3616.38 P.S.I.

- Quinto cilindro:

→ Numero de identificación: 05-03

→ Edad: 3 días

→ Resistencia a la compresión: 1326.96 P.S.I.

→ Tipo de fractura: Por cortante a 45º

→ Defectos del cilindro: Ninguno

→ Proyección: 3694.75 P.S.I.

- Sexto cilindro:

  → Numero de identificación: 06-03

  → Edad: 3 días

  → Resistencia a la compresión: 1230.15 P.S.I.

  → Tipo de fractura: Por cortante a 45º

  → Defectos del cilindro: Falta de vibrado

  → Proyección: 3509.93 P.S.I.

- Séptimo cilindro:

  → Numero de identificación: 07-03

  → Edad: 3 días

  → Resistencia a la compresión: 1118.15 P.S.I.

  → Tipo de fractura: Por cortante a 45º

  → Defectos del cilindro: Falta de vibrado

  → Proyección: 3291.67 P.S.I.

- Octavo cilindro:

  → Numero de identificación: 08-07

  → Edad: 7 días

→ Resistencia a la compresión: 2089.54 P.S.I.

→ Tipo de fractura: Por cortante a 45º

→ Defectos del cilindro: Falta de vibrado

→ Proyección: 3232.33 P.S.I.

- Noveno cilindro:

  → Numero de identificación: 09-07

  → Edad: 7 días

  → Resistencia a la compresión: 2326.30 P.S.I.

  → Tipo de fractura: Por cortante a 45º

  → Defectos del cilindro: Falta de Vibrado

  → Proyección: 3532.09 P.S.I.

- Décimo cilindro:

  → Numero de identificación: 10-07

  → Edad: 7 días

  → Resistencia a la compresión: 2433.67 P.S.I.

  → Tipo de fractura: Por cortante a 45º

  → Defectos del cilindro: Ninguno

  → Proyección: 3666.98 P.S.I.

- Undécimo cilindro:

  → Numero de identificación: 11-07

  → Edad: 7 días

  → Resistencia a la compresión: 2415.22 P.S.I.

  → Tipo de fractura: Por cortante a 45º

→ Defectos del cilindro: Falta de vibrado

→ Proyección: 3643.84 P.S.I.

- Duodécimo cilindro:

  → Numero de identificación: 12-07

  → Edad: 7 días

  → Resistencia a la compresión: 2380.02 P.S.I.

  → Tipo de fractura: Por cortante a 45º

  → Defectos del cilindro: Ninguno

  → Proyección: 3599.66 P.S.I.

- Decimotercero cilindro:

  → Numero de identificación: 13-07

  → Edad: 7 días

  → Resistencia a la compresión: 2215.73 P.S.I.

  → Tipo de fractura: Por cortante a 45º

  → Defectos del cilindro: Falta de vibrado

  → Proyección: 3392.52 P.S.I.

- Decimocuarto cilindro:

  → Numero de identificación: 14-07

  → Edad: 7 días

  → Resistencia a la compresión: 2799.45 P.S.I.

  → Tipo de fractura: Por cortante a 45º

  → Defectos del cilindro: Falta de vibrado

  → Proyección: 4122.20 P.S.I.

- Decimoquinto cilindro:

  → Numero de identificación: 15-14

  → Edad: 14 días

  → Resistencia a la compresión: 2594.72 P.S.I.

  → Tipo de fractura: Por cortante a 45º

  → Defectos del cilindro: Ninguno

  → Proyección: 3009.88 P.S.I.

- Decimosexto cilindro:

  → Numero de identificación: 16-14

  → Edad: 14 días

  → Resistencia a la compresión: 2810.08 P.S.I.

  → Tipo de fractura: Por cortante a 45º

  → Defectos del cilindro: Falta de vibrado

  → Proyección: 3259.69 P.S.I.

- Decimoséptimo cilindro:

  → Numero de identificación: 17-14

  → Edad: 14 días

  → Resistencia a la compresión: 3440.54 P.S.I.

  → Tipo de fractura: Por cortante a 45º

  → Defectos del cilindro: Ninguno

  → Proyección: 3991.03 P.S.I.

- Decimoctavo cilindro:

  → Numero de identificación: 18-14

→ Edad: 14 días

→ Resistencia a la compresión: 2615.32 P.S.I.

→ Tipo de fractura: Por cortante a 45º

→ Defectos del cilindro: Falta de vibrado

→ Proyección: 3033.77 P.S.I.

- Decimonoveno cilindro:

  → Numero de identificación: 19-14

  → Edad: 14 días

  → Resistencia a la compresión: 2420.17 P.S.I.

  → Tipo de fractura: Por cortante a 45º

  → Defectos del cilindro: Ninguno

  → Proyección: 2807.40 P.S.I.

- Vigésimo cilindro:

  → Numero de identificación: 20-14

  → Edad: 14 días

  → Resistencia a la compresión: 2513.97 P.S.I.

  → Tipo de fractura: Por cortante a 45º

  → Defectos del cilindro: Ninguno

  → Proyección: 2916.21 P.S.I.

- Vigésimo primer cilindro:

  → Numero de identificación: 21-14

  → Edad: 14 días

  → Resistencia a la compresión: 2522.00 P.S.I.

→ Tipo de fractura: Por cortante a 45º

→ Defectos del cilindro: Falta de vibrado

→ Proyección: 2925.52 P.S.I.

- Vigésimo segundo cilindro:

  → Numero de identificación: 22-28

  → Edad: 28 días

  → Resistencia a la compresión: 2985.20 P.S.I.

  → Tipo de fractura: Por cortante a 45º

  → Defectos del cilindro: Falta de vibrado

- Vigésimo tercero cilindro:

  → Numero de identificación: 23-28

  → Edad: 28 días

  → Resistencia a la compresión: 3002.82 P.S.I.

  → Tipo de fractura: Por cortante a 45º

  → Defectos del cilindro: Falta de vibrado

- Vigésimo cuarto cilindro:

  → Numero de identificación: 24-28

  → Edad: 28 días

  → Resistencia a la compresión: 2994.16 P.S.I.

  → Tipo de fractura: Por cortante a 45º

  → Defectos del cilindro: Ninguno

- Vigésimo quinto cilindro:

  → Numero de identificación: 25-28

→ Edad: 28 días

→ Resistencia a la compresión: 2899.15 P.S.I.

→ Tipo de fractura: Por cortante a 45º

→ Defectos del cilindro: Falta de vibrado

- Vigésimo sexto cilindro:

  → Numero de identificación: 26-28

  → Edad: 28 días

  → Resistencia a la compresión: 3005.17 P.S.I.

  → Tipo de fractura: Por cortante a 45º

  → Defectos del cilindro: Ninguno

- Vigésimo séptimo cilindro:

  → Numero de identificación: 27-28

  → Edad: 28 días

  → Resistencia a la compresión: 3000.25 P.S.I.

  → Tipo de fractura: Por cortante a 45º

  → Defectos del cilindro: Ninguno

- Vigésimo octavo cilindro:

  → Numero de identificación: 28-28

  → Edad: 28 días

  → Resistencia a la compresión: 3102.68 P.S.I.

  → Tipo de fractura: Por cortante a 45º

  → Defectos del cilindro: Falta de vibrado

- Vigésimo noveno cilindro (Testigo):

→ Numero de identificación: 29-35

→ Edad: 35 días

→ Resistencia a la compresión: 3008.36 P.S.I.

→ Tipo de fractura: Por cortante a 45º

→ Defectos del cilindro: Ninguno

- Trigésimo cilindro:

  → Numero de identificación: 30-35

  → Edad: 35 días

  → Resistencia a la compresión: 3006.19 P.S.I.

  → Tipo de fractura: Por cortante a 45º

  → Defectos del cilindro: Falta de vibrado

Tabla 7. Tabla de resistencias a la compresión

Nº de cilindro	Identificación	Edad (Días)	Resistencia a la compresión f'c (MPa)	Resistencia a la compresión f'c(Kgf/cm^2)	Resistencia a la compresión f'c(P.S.I.)
1	01-03	3	8.87	90.44	1286.36
2	02-03	3	9.31	94.97	1350.82
3	03-03	3	11.25	114.74	1631.99
4	04-03	3	8.87	90.39	1285.70
5	05-03	3	9.15	93.29	1326.96
6	06-03	3	8.48	86.49	1230.15
7	07-03	3	7.71	78.61	1118.15
8	08-07	7	14.41	146.91	2089.54
9	09-07	7	16.04	163.56	2326.30
10	10-07	7	16.78	171.10	2433.67
11	11-07	7	16.65	169.81	2415.22
12	12-07	7	16.41	167.33	2380.02
13	13-07	7	15.28	155.78	2215.73
14	14-07	7	19.30	196.82	2799.45
15	15-14	14	17.89	182.43	2594.72
16	16-14	14	19.37	197.57	2810.08
17	17-14	14	23.72	241.89	3440.54
18	18-14	14	18.03	183.88	2615.32
19	19-14	14	16.69	170.15	2420.17
20	20-14	14	17.33	176.75	2513.97
21	21-14	14	17.39	177.31	2522.00
22	22-28	28	20.58	209.88	2985.20
23	23-28	28	20.70	211.12	3002.82

24	24-28	28	20.64	210.51	2994.16
25	25-28	28	19.99	203.83	2899.15
26	2628	28	20.72	211.28	3005.17
27	27-28	28	20.69	210.94	3000.25
28	28-28	28	21.39	218.14	3102.68
29	29-35	35	20.74	211.51	3008.36
30	30-35	35	20.73	211.36	3006.19

De acuerdo a las resistencias obtenidas en la tabla 7, se tomaron los promedios de los valores de resistencia en P.S.I. y se obtuvo la siguiente información:

Tabla 8. Resistencias promedio

Tiempo (Días)	Resistencia (P.S.I.)
3	1318.59
7	2379.99
14	2702.40
28	2998.49
35	3007.28

Figura 18. Curva de resistencia

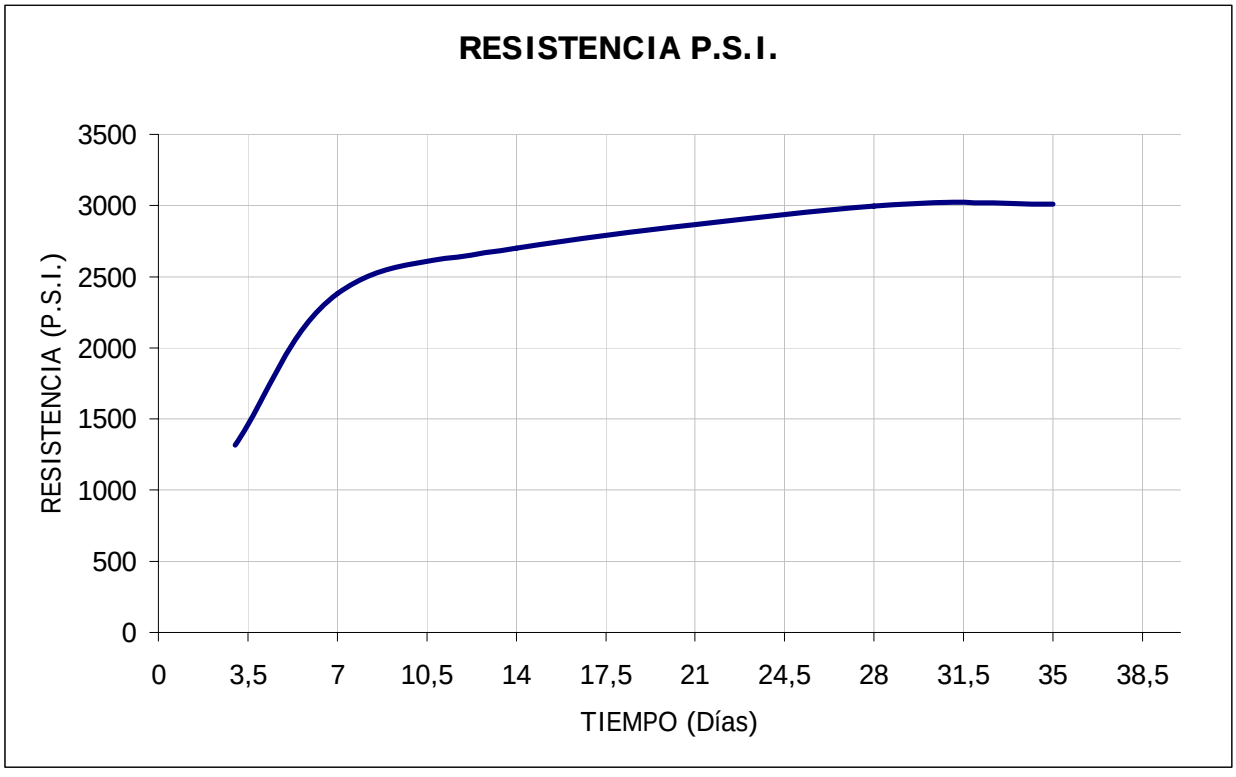


Tabla 9. Datos estadísticos falla 3 días

Nº de cilindro	Resistencia a la compresión f'c(P.S.I.)	$\bar{x}$ (P.S.I.)	σ (P.S.I.)	V (%)	R (P.S.I)
1	1286.36	1318.59	157.82	11.97	513.84
2	1350.82				
3	1631.99				
4	1285.70				
5	1326.96				
6	1230.15				
7	1118.15				

Figura 19. Distribución de frecuencia 3 días

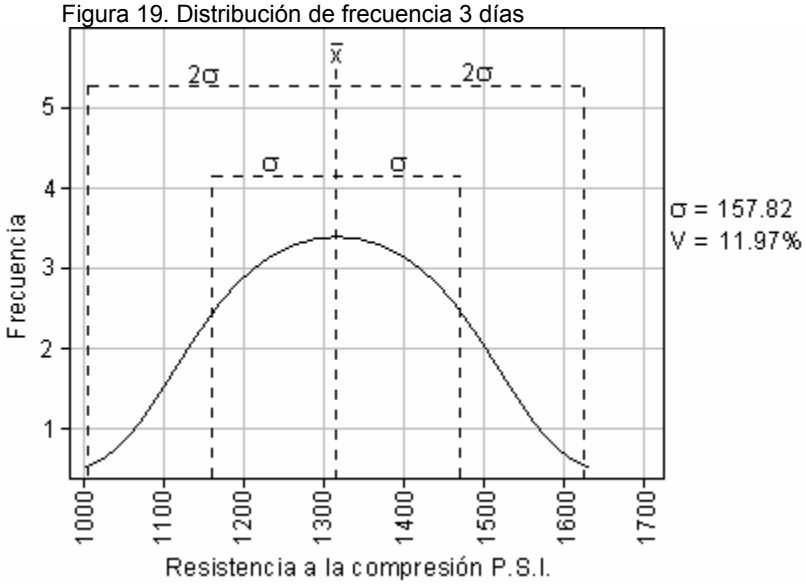


Tabla 10. Datos estadísticos falla 7 días

Nº de cilindro	Resistencia a la compresión f'c(P.S.I.)	$\bar{x}$ (P.S.I.)	σ (P.S.I.)	V (%)	R (P.S.I)
8	2089.54	2379.99	221.47	9.31	709.91
9	2326.30				
10	2433.67				
11	2415.22				
12	2380.02				
13	2215.73				
14	2799.45				

Figura 20. Distribución de frecuencia 7 días

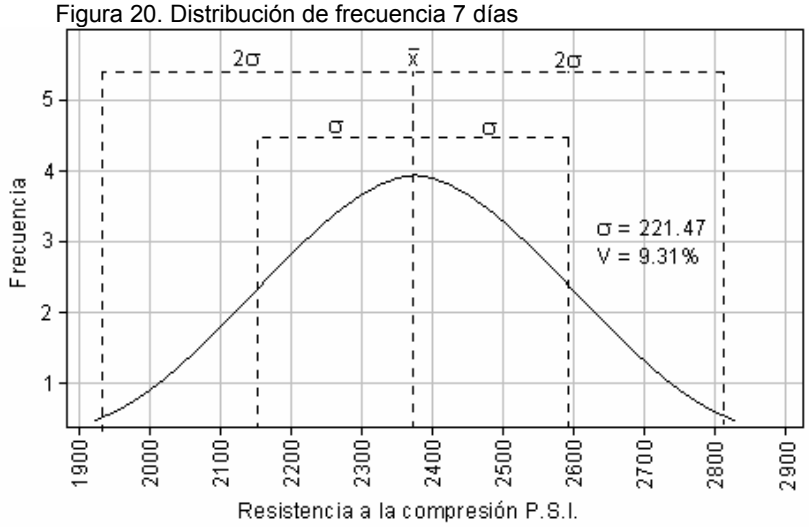


Tabla 11. Datos estadísticos falla 14 días

Nº de cilindro	Resistencia a la compresión f'c(P.S.I.)	$\bar{x}$ (P.S.I.)	σ (P.S.I.)	V (%)	R (P.S.I)
15	2594.72	2702.4	347.21	12.85	1020.37
16	2810.08				
17	3440.54				
18	2615.32				
19	2420.17				
20	2513.97				
21	2522.00				

Figura 21. Distribución de frecuencia 14 días

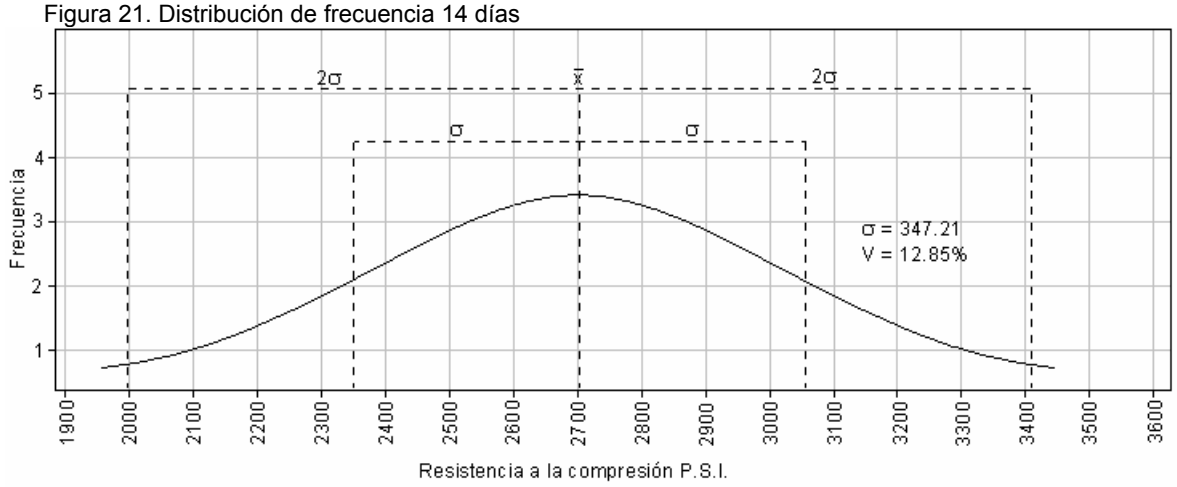
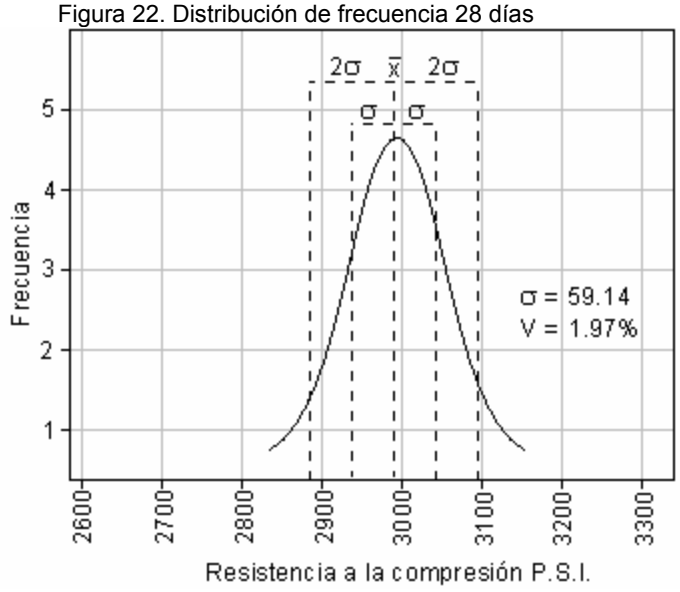


Tabla 12. Datos estadísticos falla 28 días

Nº de cilindro	Resistencia a la compresión f'c(P.S.I.)	$\bar{X}$ (P.S.I.)	σ (P.S.I.)	V (%)	R (P.S.I)
22	2985.20	2998.49	59.14	1.97	203.53
23	3002.82				
24	2994.16				
25	2899.15				
26	3005.17				
27	3000.25				
28	3102.68				

Figura 22. Distribución de frecuencia 28 días



k) Comparación de precios.

Dentro del estudio del material de escombro, se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos, en comparación con el agregado convencional: facilidad de consecución, precio, manejabilidad, mano de obra.

Tabla 13. Precios concreto convencional

ÍTEM	DESCRIPCIÓN				UNIDAD m^3	CANTIDAD
	CONCRETO PARA COLUMNAS 3000 P.S.I.					
EQUIPO					TOTAL	$6859
DESCRIPCIÓN	MARCA	TIPO	TAR/HORA	REND (HORA)	VR/UNI	
Herramienta menor	Global		$125.00	3	$375	
Andamios y planchones	Global		$12.10	144	$1742	
Mezcladora	Genérico	Gasolina	$1257.00	1.44	$1810	
Paral telescópico	Global		$2.40	720	$1728	
Vibrador	Genérico	Gasolina	$1254.20	0.96	$1204	
MATERIALES					TOTAL	$233666
DESCRIPCIÓN		UNI	CANTIDAD	P/UNI	VR/UNI	
Agua		LT	160.00	$12	$1920	
Arena de río		M3	0.555	$72300	$40127	
Cemento de gris		Bulto	7.00	$13000	$91000	
Gravilla de río		M3	0.835	$55600	$46426	
Puntilla de cabeza 2''		Lb	8.00	$2146	$17168	
Repisa ordinaria 3M		M	7.26	$1009	$7325	
Tabla burra cedro macho 0.28		M	2.64	$11250	$29700	
TRANSPORTES					TOTAL	$5632
DESCRIPCIÓN	VOL (M^3)	DISTAN	M^3/TON-KM	TARIFA	VR/UNI	
Transporte de pétreos	2	8	352	704	5632	
MANO DE OBRA					TOTAL	$168416
CUADRILLA DE TRABAJADORES			No HORAS	VR/HORA CUAD	VR/UNI	
1 Oficial + 2 Ayudantes			10.29	$16367	$168416	
					SUB TOTAL COSTO DIRECTO	$414573

Tabla 14. Precios concreto a base de escombros

ÍTEM	DESCRIPCIÓN				UNIDAD m^3	CANTIDAD
	CONCRETO PARA COLUMNAS 3000 P.S.I. CON AGREGADO A BASE DE ESCOMBROS					
EQUIPO					TOTAL	$6859
DESCRIPCIÓN	MARCA	TIPO	TAR/HORA	REND (HORA)	VR/UNI	
Herramienta menor	Global		$125.00	3	$375	
Andamios y planchones	Global		$12.10	144	$1742	
Mezcladora	Genérico	Gasolina	$1257.00	1.44	$1810	
Paral telescópico	Global		$2.40	720	$1728	
Vibrador	Genérico	Gasolina	$1254.20	0.96	$1204	
MATERIALES					TOTAL	$194184
DESCRIPCIÓN		UNI	CANTIDAD	P/UNI	VR/UNI	
Agua		LT	196.00	$12	$2352	
Escombro seleccionado		M3	1.303	$33000	$42999	
Cemento de gris		Bulto	7.28	$13000	$94640	

Puntilla de cabeza 2''		Lb	8.00	$2146	$17168	
Repisa ordinaria 3M		M	7.26	$1009	$7325	
Tabla burra cedro macho 0.28		M	2.64	$11250	$29700	
TRANSPORTES					TOTAL	$5632
DESCRIPCIÓN	VOL (M^3)	DISTAN	M^3/TON-KM	TARIFA	VR/UNI	
Transporte de pétreos	2	8	352	704	5632	
MANO DE OBRA					TOTAL	$168416
CUADRILLA DE TRABAJADORES			No HORAS	VR/HORA CUAD	VR/UNI	
1 Oficial + 2 Ayudantes			10.29	$16367	$168416	
SUB TOTAL COSTO DIRECTO						$375091

4.1.2.3 Interpretación de resultados

Para la interpretación de resultados y su posterior análisis se utilizaron parámetros o rangos estándar con los cuales se busco la comparación de los resultados obtenidos (provenientes de la utilización del escombro) con los ideales del concreto convencional.

a) Tamizado de materiales granulares (Agregados o áridos).

Tabla 15. Resultados del tamizado de materiales

Nombre ensayo	Resultado o rango óptimo	Resultado obtenido
% finos	Concreto simple → 5% → 3.5% Concreto de alta resistencia → 3% → 1.5%	0.48%
Cu: Coeficiente de uniformidad	→ < 5 : Mal Gradado → [5 – 15] : Medianamente gradado → > 15 : Muy bien gradado	14.35
Cc: Coeficiente de concavidad	< 1: Exceso de agregado fino. = 1: Equilibrio. > 1: Exceso de agregado grueso.	5.01

b) Modula de finura.

Tabla 16. Resultado modulo de finura.

Nombre ensayo	Resultado o rango óptimo	Resultado obtenido
Modulo de finura	Arena → Fina [0.50 – 1.50] → Media [1.50 – 2.50] → Gruesa [> 2.50] Arena para hormigón → Fina [2.15 – 2.60] → Media [2.60 – 2.90] → Gruesa [2.90 – 3.38]	4.23

c) Método para determinar la masa unitaria de los agregados.

Tabla 17. Resultados masa unitaria de los agregados.

Nombre ensayo	Resultado o rango óptimo	Resultado obtenido
Masa unitaria gravas	[1000 – 1400] Kg / m^3	→ Método apisonado 1375.5 Kg / m^3 → Método vibrado 1486.0 Kg / m^3 → Método suelto 1320.9 Kg / m^3
Masa unitaria arenas	[1100 – 1500] Kg / m^3	→ Método apisonado 1331.5 Kg / m^3 → Método vibrado 1432.7 Kg / m^3 → Método suelto 1302.8 Kg / m^3

d) Determinación de la resistencia al desgaste de los tamaños menores agregados gruesos, utilizando la máquina de Los Ángeles.

Tabla 18. Resultado del ensayo de desgaste.

Nombre ensayo	Resultado o rango óptimo	Resultado obtenido
% de desgaste	< 8 %	26.16%

e) Método para determinar la densidad y la absorción de agregados gruesos.

Tabla 19. Resultado de la densidad y la absorción del agregado grueso.

Nombre ensayo	Resultado o rango óptimo	Resultado obtenido
D_n: Densidad nominal	[2.4 – 2.5] gr / cm^3	2.56 gr / cm^3
D_a: Densidad aparente	[2.35 – 2.4] gr / cm^3	2.17 gr / cm^3
% de absorción	[4% - 10%]	7.02 %

f) Método para determinar el peso específico y la absorción de agregados finos.

Tabla 20. Resultado de la densidad y la absorción del agregado fino.

Nombre ensayo	Resultado o rango óptimo	Resultado obtenido
P_e: Peso especifico	[2.5 – 2.6] gr / cm^3	2.83 gr / cm^3
P_m: Peso unitario seco	[2.4 – 2.5] gr / cm^3	2.35 gr / cm^3
P_S: Peso unitario saturado y de superficie seca	[2.4 – 2.45] gr / cm^3	2.54 gr / cm^3
% Absorción	[2% - 5%]	7.99 %

g) Agregados para hormigón. Determinación del contenido de humedad total.

Tabla 21. Resultado del contenido de humedad.

Nombre ensayo	Resultado o rango óptimo	Resultado obtenido
% Absorción material grueso	[4% - 10%]	7.02 %
% Absorción material fino	[2% - 5%]	7.99 %

h) Método de ensayo para determinar el asentamiento del hormigón.

Tabla 22. Resultado del asentamiento del hormigón.

Nombre ensayo	Resultado o rango óptimo			Resultado obtenido
Slump	Tipo de obra	S_{max}	S_{min}	3”
	→ Cimentaciones			
	- Refuerzo	2” - 3”	2”	
	- Muy reforzada	3” - 5”	3”	
	→ Súper estructuras			
	- Reforzadas medianamente	2” - 4”	2”	
	- Refuerzo medio-alto	3” - 6”	3”	
	→ Pavimentos	2” - 3”	2”	
	→ Material de relleno	2” - 3”	1”	

i) Diseño de la mezcla.

Tabla 23. Diseño de la mezcla.

Material	Cantidad (Kg/m^3)	(m^3 / m^3)
Cemento	364	0.126
Agua	196	0.196
Grava	622	0.243
Arena	1022	0.435

j) Ensayo de resistencia y compresión de cilindros normales de hormigón.

Tabla 24. Resultados de la resistencia a la compresión.

Días	Resistencia obtenida (P.S.I.)	Resultado de la proyección (P.S.I.)
1	1286.36	3617.64
2	1350.82	3739.80
3	1631.99	4257.85
4	1285.70	3616.38
5	1326.96	3694.75
6	1230.15	3509.93
7	1118.15	3291.67
8	2089.54	3232.33
9	2326.30	3532.09
10	2433.67	3666.98
11	2415.22	3643.84
12	2380.02	3599.66
13	2215.73	3392.52
14	2799.45	4122.20
15	2594.72	3009.88
16	2810.08	3259.69
17	3440.54	3991.03
18	2615.32	3033.77
19	2420.17	2807.40
20	2513.97	2916.21
21	2522.00	2925.52
22	2985.20	---
23	3002.82	---
24	2994.16	---
25	2899.15	---
26	3005.17	---
27	3000.25	---
28	3102.68	---
29	3008.36	---
30	3006.19	---

k) Comparación de precios.

Tabla 25. Comparación de precios.

Ítem	Uni	Concreto convencional		Concreto a base de escombros	
		Rend / Can	Valor unitario ($)	Rend / Can	Valor unitario ($)
Herramienta menor	---	3	375	3	375
Andamios y planchones	---	144	1742	144	1742
Mezcladora	---	1.44	1810	1.44	1810
Paral telescópico	---	720	1728	720	1728
Vibrador	---	0.96	1204	0.96	1204
Agua	Lt	160	1920	196	2352
Arena de río	M3	0.555	40127	1.303	42999
Gravilla de río	M3	0.835	46426		
Cemento de gris	Bulto	7	91000	7.28	94640
Puntilla de cabeza 2''	Lb	8	17168	8	17168
Repisa ordinaria 3M	M	7.26	7325	7.26	7325
Tabla burra cedro macho 0.28	M	2.64	29700	2.64	29700
Transporte de pétreos	M^3/Ton-Km	(2)(8)	5632	(2)(8)	5632
1 Oficial + 2 Ayudantes	---	10.29	168416	10.29	168416
		Total	$414573	Total	$375091

4.1.2.4 Análisis de resultados

a) Tamizado de materiales granulares (Agregados o áridos).

Al material concebido, le resultó de su granulometría, un porcentaje de finos bajo, el cual es corroborable con el coeficiente adjunto de concavidad (C_C). Según los rangos especificados del coeficiente de uniformidad (C_U), el material esta muy bien

gradado lo cual es un aporte al resultado final ya que no quedan vacíos en la mezcla que deben ser llenados con pasta o mortero.

b) Modula de finura.

El modulo de finura (M.F. = 4.23) es un indicativo que apoya los resultados anteriores, ya que en la medida de que ese se aleja por encima del rango indicado, se trata de una arena con partículas más gruesas que finas (arena gruesa); que influye directamente con la manejabilidad del concreto, así, que para una relación agua cemento fija, el porcentaje de arena que requiere una mezcla, es mejor si la arena es fina, y mayor si la arena es gruesa. Para nuestro caso tenemos un alto porcentaje de arena en la dosificación.

c) Método para determinar la masa unitaria de los agregados.

Para el caso de masa unitaria de los agregados, en el ensayo del material compacto para ambos casos (arena y grava), se noto que los resultados encajan perfectamente en el rango, lo que quiere decir que las partículas tienen un grado alto de acomodamiento y se pueden determinar los volúmenes absolutos de agregados dentro de la mezcla. En segunda instancia, el ensayo para los materiales sueltos (arena y grava), los resultados son adecuados y proporcionan una idea de la expansibilidad del material, y nos ayuda en el caso del manejo de los agregados.

d) Determinación de la resistencia al desgaste de los tamaños menores agregados gruesos, utilizando la máquina de Los Ángeles.

Para el ensayo en la máquina de los ángeles, se utilizó gradación tipo C.

En este punto, se observó y confirmamos las sospechas que se tenían acerca del material, que a plena vista y tacto presentaba una textura mas o menos deleznable y que obviamente el resultado en la máquina de los ángeles vislumbró con más claridad y arrojando así un desgaste del 5% a 100 vueltas, lo cual está por encima de lo recomendado (2%); mas sin embargo, este resultado no es desalentador y bien se puede recuperar con unas buenas recomendaciones y un tratamiento especial.

e) Método para determinar la densidad y la absorción de agregados gruesos.

La densidad y absorción de agregado grueso para la densidad nominal, el resultado ($D_n = 2.56 \frac{gr}{cm^3}$) esta en el limite superior del rango recomendado y resulto ser una densidad apropiada.

La densidad aparente en cambio arroja un resultado por debajo del limite admisible ($D_a = 2.17 \frac{gr}{cm^3}$), lo que nos puede dar indicio a que el material tiene algunos

vacíos. Se asumió este valor como estable ya que procede de un agregado artificial y reutilizado, por ende esta sujeto a los cambios de densidad y a dejar poros.

El porcentaje de absorción (% de absorción = 7.02 %) es un óptimo valor ya que se encuentra en el valor intermedio del rango admisible, y es precisamente la idea de permeabilidad que evita que el agregado retenga mucho agua; ahora podemos comprobar que la densidad aparente es también dada por exceso de poros no saturables, que necesariamente de han de llenar de agua.

f) Método para determinar el peso específico y la absorción de agregados finos.

El resultado obtenido para el peso especifico (P_e = 2.83 $\frac{gr}{cm^3}$), se encuentra por encima del rango recomendado; lo que indica un agregado fino denso, con capacidad de saturación normal, cuyo resultado es evidenciado con el % de absorción obtenido (% absorción = 7.99 %), cuyo rango está no muy por encima del rango recomendado; el cual sugiere un material con una capacidad de absorción normal-alta, por ende su saturación será un poco por encima de lo recomendado.

g) Agregados para hormigón. Determinación del contenido de humedad total.

La humedad total, se resume con los porcentajes de absorción obtenidos, los cuales, en conjunto ofrecen un agregado grueso con aceptable saturación y un

agregado fino con una ligera tendencia de absorber más agua; la cual se puede contrarrestar en el proceso de inclusión de agua al diseño de mezcla.

h) Método de ensayo para determinar el asentamiento del hormigón.

El asentamiento obtenido (S = 3”), es un resultado bastante favorable, si lo comparamos con los rangos descritos; ya que teóricamente nuestro material se vuelve útil para prácticamente todos los requerimientos estructurales vistos.

i) Diseño de la mezcla.

Para los resultados obtenidos, la convención que caracteriza nuestro concreto sería = 1:2.79:1.72 ; pero para utilizar una forma mas estética y práctica lo podemos aproximar a 1:2.8:1.7 para obtener un concreto de 3000 P.S.I.

j) Ensayo de resistencia y compresión de cilindros normales de hormigón.

Como parte consecuente de los anteriores ensayos, se requiere la justificación a todos ellos, mediante el ensayo de compresión, el cual es el pilar y la cumbre determinante que ratifica todos los cálculos anteriores. Aquí en este ensayo obtuvimos para cada una de las edades mencionadas unos resultados los cuales fueron mucho mas que favorables, y aclaran todas las especulaciones que hayan surgido a priori. Es preciso recordar, que la condición, y los resultados obtenidos en este ensayo son los finalmente influyentes en el diseño y el calculo estructural, que

afortunadamente son los mas beneficiosos para nuestro material de estudio, y podemos decir, que el “concreto con agregados a base de escombros”, puede lograr resistencias favorables (siguiendo algunas recomendaciones), con menores costos que el concreto convencional, por ello se deja como última prueba el análisis de literal siguiente.

k) Comparación de precios.

Satisfactoriamente pudimos comprobar y lograr el objetivo general de nuestro proyecto en este análisis de precios. Es fácil percibir la diferencia de precios, todo gracias al ajuste significativo que brinda el escombro por la ligereza de su costo.

Básicamente, se logra la diferencia presupuestal con los agregados del hormigón, ya que los ítems de transporte, rendimientos en mano de obra y herramientas, son iguales; haciendo así, que nuestro material de estudio (escombro), se superponga sobre todos los ajustes de precio que se le puedan hacer al concreto convencional de 3000 P.S.I.

5. COSTOS TOTALES DE LA INVESTIGACIÓN

5.1 RECURSOS MATERIALES, SUMINISTROS E INSUMOS

Tabla 26. Recursos materiales, suministros e insumos

CONCEPTO	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Fotocopias	530	50	26.500
Hoja impresa	480	500	240.000
Disquets	10	1.000	10.000
CDs	10	1.000	10.000
Bloc de hojas	3	2.000	6.000
Encuadernación	2	15.000	30.000
Empastada	4	2.000	8.000
Lápices, esferos, etc.	10	1.500	15.000
Días de transporte	300	5.000	1.500.000
Días de transporte de material	2	40.000	80.000
Cemento por bulto	5	12.000	60.000
Material de escombros (m^3)	1	33.000	33.000
Batas	3	15.000	30.000
Guantes	3	6.000	18.000
Refrigerios y meriendas	300	4.500	1.350.000
		TOTAL	$ 3.416.500

5.2 RECURSOS INSTITUCIONALES

- Universidad de La Salle.

5.3 RECURSOS TECNOLÓGICOS

Tabla 27. Recursos tecnológicos

CONCEPTO	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Horas de computador	250	1.000	250.000
Horas de cámara digital	20	1.000	20.000
Hojas en scanner	20	1.000	20.000
		TOTAL	$ 290.000

5.4 RECURSOS HUMANOS

Tabla 28. Recursos humanos

CARGO	ENCARGADOS	No. Semanas	Valor Total
Investigadores principales	Estudiantes de proyecto de grado	32	--------
Coinvestigadores	Director temático*	20	115.100
	Asesor metodológico**	64	148.148
TOTAL RECURSOS HUMANOS			$ 263.248

5.5 RECURSOS FINANCIEROS

Tabla 29. Recursos financieros

RECURSOS	APORTES		TOTAL
	Universidad de La Salle	Equipo investigador	
Humanos	263.248		263.248
Materiales		3.416.500	3.416.500
Tecnológicos		290.000	290.000
Imprevistos (5%)		185.300	185.300
Total	$ 263.248	$ 3.891.800	$ 4.155.048

* Valor asumido por la Universidad de La Salle, según resolución rectorial No. 345 de noviembre 15 del 2005.

** Valor asumido por l Universidad de La Salle, según contrato laboral.

6. CONCLUSIONES

- Utilizando un método convencional de diseño (método A.C.I.), se obtuvo una dosificación de cemento, agua, arena y grava (1:2.8:1.7); que muestra un contenido alto de arena, debido a que se obtuvo partículas de gran diámetro, ya que, el tamaño máximo real y el tamaño máximo nominal son muy bajos. Esta cantidad de más en la arena cumple de alguna manera la función de grava, buscando compensar la deficiencia de ésta, dando la resistencia deseada o un valor muy aproximado a ésta.

- Como es descrito en el análisis de resultados, el valor del concreto realizado con escombro como agregado, es más bajo que el agregado convencional, ya que, el precio del escombro es más bajo que el agregado convencional (grava y arena). Además del precio más bajo, se considero nuevamente y como lo ha sido durante todo el desarrollo de está investigación, que el impacto ambiental se vera afectado, ya que, en la actualidad muchos de estos escombros son ubicados en lugares que no están destinados para ello y podrían ser de utilidad para nuevas construcciones.

- Las recomendaciones que se deben tener para este concreto, están descritas en el capitulo de recomendaciones; y en cuanto a sus aplicaciones, según los resultados obtenidos sería un concreto que podría

tener los usos de un concreto convencional. Aunque por seguridad, se recomienda utilizarlo como concreto no estructural, es decir, para obras tales como pavimentación de entradas a viviendas, construcción de canchas multifuncionales (polideportivos), reconstrucción de fachadas., etc. Lo anterior no impide que no se pueda utilizar en obras con algún grado de requerimiento estructural; siempre y cuando se atiendan las recomendaciones descritas en el proyecto.

- Los resultados que se obtuvieron, como ya fue mencionado, fueron bastante satisfactorios, lo cual a sido gratificante para el grupo de trabajo, tanto como trabajo de investigación, como proyecto de trabajo a futuro, ya que la resistencia obtenida fue muy cercana a la de diseño; aunque se debería realizar ensayo con resistencias más altas y verificar lo expuesto en esté trabajo de investigación.

RECOMENDACIONES

La practica de las recomendaciones plasmadas a continuación, representan un claro y significativo aporte a la resistencia final del material “concreto estructural con agregado a base de escombros”

- Retirar partículas, desechos, u objetos orgánicos del escombro a trabajar (madera, cartón, papel, tierra, fibras naturales, etc), y otros perjudiciales (vidrio, latas, telas, icopor, plástico, etc).
- Lavar con agua limpia el material de escombro, para retirar cualquier partícula adherida al granular.
- Triturar el material para lograr un TMN de ½”
- Retirar el exceso de finos del tamiz T – 200
- No agregar arena, gravilla, aditivos u otro agregado; ya que la mezcla está probada para trabajar únicamente con el conjunto escombro – agua – cemento, y en donde el exceso de partículas pequeñas (pasa tamiz T – 100), reemplaza en parte la arena.
- Al momento de fundir un elemento, no pinchar ni compactar el concreto; se permite únicamente el uso de vibrador (máx. 10 seg), y martillo de goma.
- El cemento a emplearse en las mezclas de concreto, será Cemento Pórtland tipo I, Normal, ASTM C-150, o similar aprobado. Deberá llegar al sitio de la construcción en sus envases originales y enteros, ser completamente fresco

y no mostrar evidencias de endurecimiento. Todo cemento dañado o ya endurecido, será rechazado. El cemento se almacenará en bodegas secas, sobre tarimas de madera en estibadas de no más de 10 sacos.

- El agua empleada en la mezcla de concreto deberá ser potable, limpia y libre de grasa o aceites, de materias orgánicas, álcalis, asientes o impurezas que puedan afectar la resistencia y propiedades del concreto.
- La mezcla deberá hacerse en una mezcladora mecánica con no menos de 1 ½ minutos de revolución continua, una vez que todos los ingredientes hayan sido introducidos dentro de la mezcladora.
- Se tendrá especial cuidado durante la operación de no mezclar con tierra e impurezas. Se podrá usar este concreto en elementos estructurales y fundaciones, siempre que el solicitante garantice su calidad con un testigo o cilindro de prueba para ser fracturado en un laboratorio de suelos.
- El concreto que se haya endurecido parcialmente, o que haya contaminado con materiales extraños, no debe colocarse en la estructura.
- Se cuidará de mantener continuamente húmedo y arriba de los 10 grados centígrados la superficie de concreto, mojándola tres veces al día por 7 días.

BIBLIOGRAFÍA

APUNTES TOMADOS EN CLASE por Omar Javier Bohórquez Vásquez, Materiales y Hormigón, dictada por Jaime Galviz, Ingeniero Civil. Universidad de La Salle. Facultad de Ingeniería Civil. Bogotá, 2004.

ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA, Normas colombianas de diseño y construcción sismo-resistente (Tomo I). 19ed. Bogotá : 3R editores, 2001. ISBN 958-8017-41-6.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN, Tesis y otros programas de grado (QUINTA ACTUALIZACIÓN). Bogotá : ICONTEC, 2002.

JIMÉNEZ. Hormigón armado. 13ed. Barcelona : Industria gráfica ferrer coll S.A., 1991. ISBN 84-252-0760-6.

LERMA, Héctor Daniel. Metodología de la investigación : Propuesta, anteproyecto y proyecto. 3ed. Bogotá : Digiprint, 2004. p70. ISBN 958-64-8372-X.

RUIZ SARAY, Rosa Amparo. Estructura a tener en cuenta para la presentación Escrita del Trabajo de Grado: anteproyecto- En ASESORÍA METODOLÓGICA (1°:

2003: Bogotá) memorias de la primera asesoría metodológica para la presentación de informes del proyecto investigador. Bogotá: U.S.B., 2003. 15p

SÁNCHEZ DE GUZMÁN, Diego. Tecnología del concreto y del mortero. 5ed. Bogotá : Pontificia universidad javeriana (facultad de ingeniería civil), 2001. ISBN 958-9247-04-0

ANEXOS

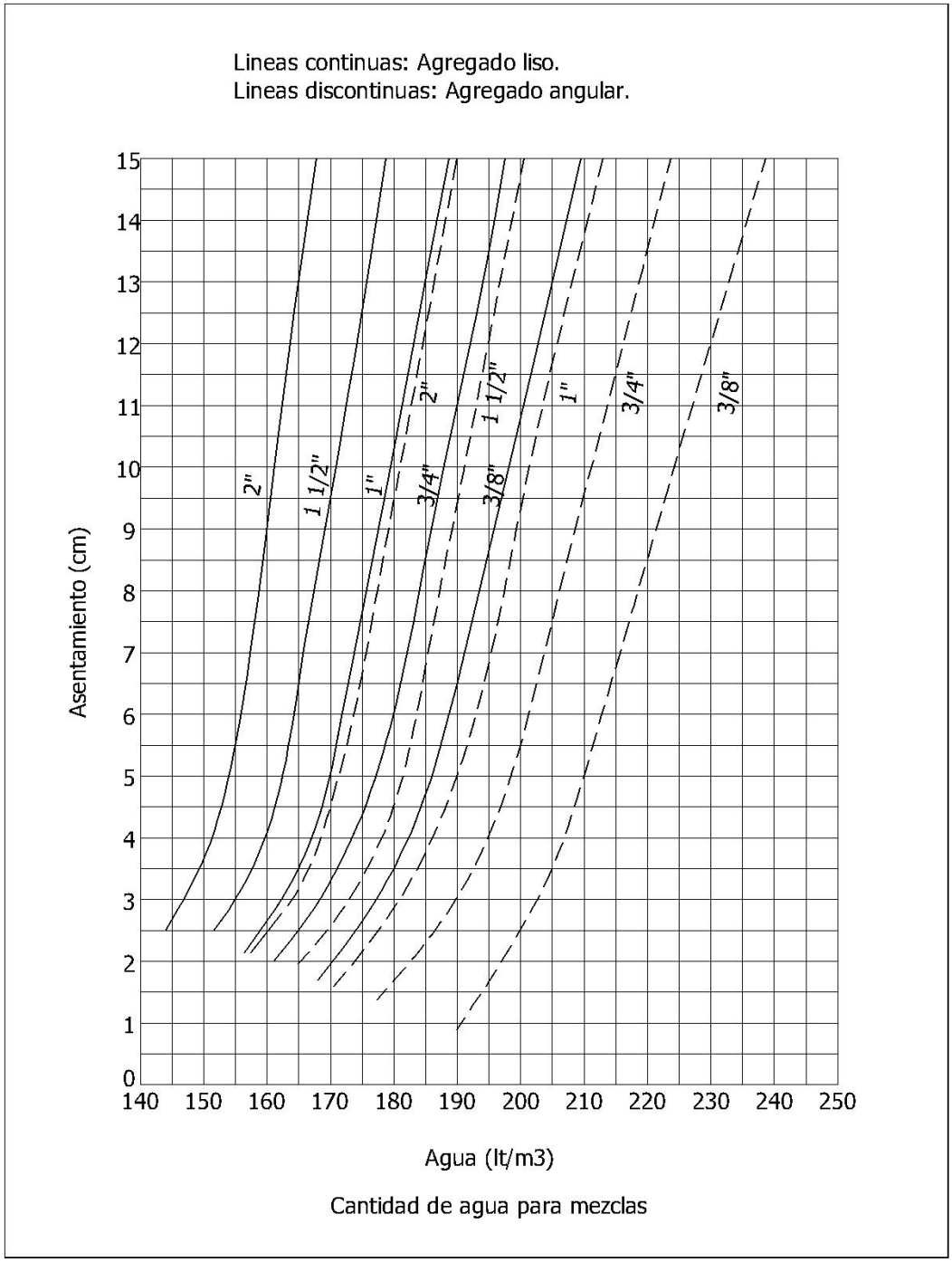
En el listado de anexos encontramos, tablas y gráficos que sirvieron de apoyo para conseguir los datos necesarios en el desarrollo de esta investigación.

ANEXO A

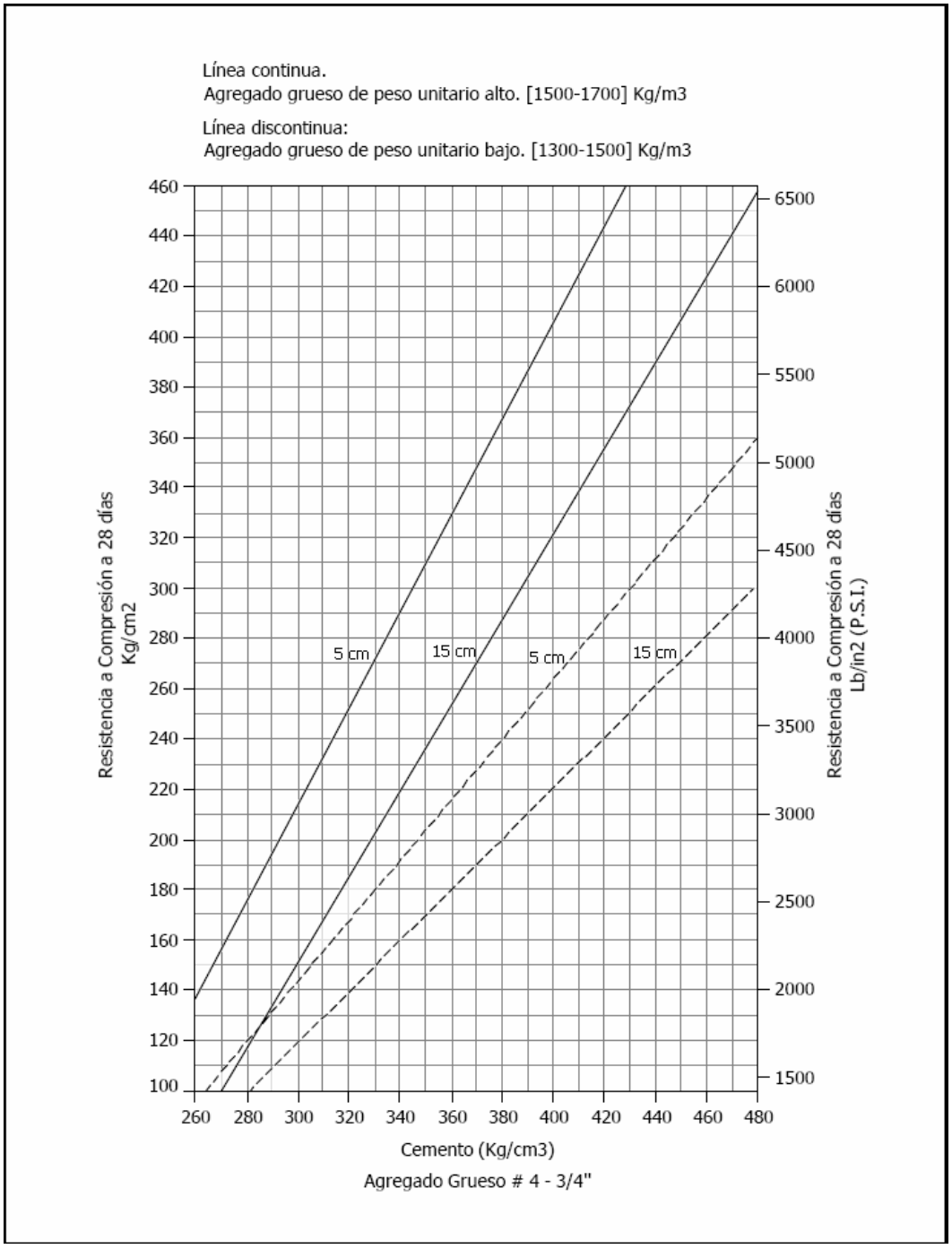
TABLA DE GOLDLEEH – GRAY
MATERIALES QUE CUMPLEN LA NORMA ASTM C33 GRANULOMETRICAS

TAMAÑO MÁXIMO AGREGADO GRUESO (mm)	ARENA FINA						ARENA MEDIA			ARENA GRUESA		
	MODULO DE FINURA											
	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0	3.1
	V_C (Volumen de agregado grueso-seco y apisonado por metro cúbico de hormigón) = $\frac{b}{b_o}$											
9.5 = 3/8''	0.50	0.49	0.48	0.47	0.46	0.45	0.44	0.43	0.42	0.41	0.40	0.39
12.5 = 1/2''	0.59	0.58	0.57	0.56	0.55	0.54	0.53	0.52	0.51	0.50	0.49	0.48
19 = 3/4''	0.69	0.68	0.67	0.66	0.65	0.64	0.63	0.62	0.61	0.60	0.59	0.58
25 = 1''	0.74	0.73	0.72	0.71	0.70	0.69	0.68	0.67	0.66	0.65	0.64	0.63
38 = 1½''	0.80	0.79	0.78	0.77	0.76	0.75	0.74	0.73	0.72	0.71	0.70	0.69
50 = 2''	0.83	0.82	0.81	0.80	0.79	0.78	0.77	0.76	0.75	0.74	0.73	0.72
75 = 3''	0.88	0.87	0.86	0.85	0.84	0.83	0.82	0.81	0.80	0.79	0.78	0.77
150 = 4''	0.94	0.93	0.92	0.91	0.90	0.89	0.88	0.87	0.86	0.85	0.84	0.83

ANEXO B


Lineas continuas: Agregado liso.
Lineas discontinuas: Agregado angular.
Asentamiento (cm)
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
140
150
160
170
180
190
200
210
220
230
240
250
2"
1 1/2"
1"
3/4"
3/8"
Agua (lt/m3)
Cantidad de agua para mezclas

ANEXO C


Línea continua.
Agregado grueso de peso unitario alto. [1500-1700] Kg/m3
Línea discontinua:
Agregado grueso de peso unitario bajo. [1300-1500] Kg/m3
Resistencia a Compresión a 28 días Kg/cm2
Resistencia a Compresión a 28 días Lb/in2 (P.S.I.)
460
440
420
400
380
360
340
320
300
280
260
240
220
200
180
160
140
120
100
6500
6000
5500
5000
4500
4000
3500
3000
2500
2000
1500
5 cm
15 cm
5 cm
15 cm
260 280 300 320 340 360 380 400 420 440 460 480
Cemento (Kg/cm3)
Agregado Grueso # 4 - 3/4"

ANEXO D

TABLA DE RESULTADOS DE RESISTENCIA

Tabla 30. Resultados de resistencia

Cilindro Nº	Edad (Días)	Resistencia obtenida (Kg/cm^2)	Resistencia de diseño (Kg/cm^2)	Resistencia obtenida (P.S.I.)	Resistencia de diseño (P.S.I.)	% de resistencia obtenido	Observaciones
1	3	90.44	210.9	1286.36	3000	42.88	Ninguna
2	3	94.97	210.9	1350.82	3000	45.03	Ninguna
3	3	114.74	210.9	1631.99	3000	54.40	Ninguna
4	3	90.39	210.9	1285.70	3000	42.86	Ninguna
5	3	93.29	210.9	1326.96	3000	44.23	Ninguna
6	3	86.49	210.9	1230.15	3000	41.01	Ninguna
7	3	78.61	210.9	1118.15	3000	37.27	Ninguna
8	7	146.91	210.9	2089.54	3000	69.65	Ninguna
9	7	163.56	210.9	2326.30	3000	77.54	Ninguna
10	7	171.10	210.9	2433.67	3000	81.12	Ninguna
11	7	169.81	210.9	2415.22	3000	80.51	Ninguna
12	7	167.33	210.9	2380.02	3000	79.33	Ninguna
13	7	155.78	210.9	2215.73	3000	73.86	Ninguna
14	7	196.82	210.9	2799.45	3000	93.31	Ninguna
15	14	182.43	210.9	2594.72	3000	86.49	Ninguna
16	14	197.57	210.9	2810.08	3000	93.67	Ninguna
17	14	241.89	210.9	3440.54	3000	114.68	Ninguna
18	14	183.88	210.9	2615.32	3000	87.18	Ninguna
19	14	170.15	210.9	2420.17	3000	80.67	Ninguna
20	14	176.75	210.9	2513.97	3000	83.80	Ninguna
21	14	177.31	210.9	2522.00	3000	84.07	Ninguna
22	28	209.88	210.9	2985.20	3000	99.51	Ninguna
23	28	211.12	210.9	3002.82	3000	100.09	Ninguna
24	28	210.51	210.9	2994.16	3000	99.81	Ninguna
25	28	203.83	210.9	2899.15	3000	96.64	Ninguna
26	28	211.28	210.9	3005.17	3000	100.17	Ninguna
27	28	210.94	210.9	3000.25	3000	100.00	Ninguna
28	28	218.14	210.9	3102.68	3000	103.42	Ninguna
29	35	211.51	210.9	3008.36	3000	100.28	Ninguna
30	35	211.36	210.9	3006.19	3000	100.21	Ninguna

ANEXO E

FORMATO DE TOMA DE DATOS	FECHA:

ANEXO F

FORMATO DE TOMA DE DATOS FALLA DE CILINDROS			
Numero de cilindro	Edad y Fecha (Días) (dd/mm/aa)	Lectura (Kgf)	Observaciones