

INCIDENCIA DEL ASERRÍN EN LA PRODUCCIÓN DEL HORMIGON LIVIANO
SIMPLE

MAURICIO FERNANDO REVELO HIDALGO

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN
SAN JUAN DE PASTO

2004

INCIDENCIA DEL ASERRÍN EN LA PRODUCCIÓN DEL HORMIGÓN LIVIANO
SIMPLE

MAURICIO FERNANDO REVELO HIDALGO

Trabajo presentado como requisito para optar el título de
Ingeniero Civil

Director

RUBY ALICIA CRIOLLO

Ingeniero Civil

UNIVERSIDAD DE NARIÑO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

SAN JUAN DE PASTO

2004

DEDICATORIA

A mi madre, a mis hermanos por su constante apoyo, confianza y paciencia.

A mi esposa e hijo por ayudarme con su amor a encontrar los nuevos caminos, hacia un nuevo horizonte.

*“Nuestras ideas están inspiradas por nuestras
necesidades”*

GLOSARIO

ABSORCIÓN: porcentaje de agua necesaria para saturar los agregados o el hormigón expresado con respecto a la masa seca. Es el aumento de masa que el material experimenta después de permanecer sumergido por lo menos 24 horas en agua.

AGREGADO: conjunto de partículas naturales o artificiales, apropiadas para la fabricación de hormigones o morteros.

AGREGADO FINO: el que pasa por el tamiz INCONTEC 4.76 mm y es retenido por el tamiz INCONTEC 74?.

AGREGADO GRUESO: el retenido por el tamiz INCONTEC 4.76 mm.

AGREGADO NO CONVENCIONAL (A.N.C.): agregado orgánico (aserrín) que se mezcla conjuntamente con un aglomerante cal y cemento, para adicionarse al producto concreto.

MORTERO MIXTO: tratamiento del cemento para acelerar el fraguado, para originar que el mecanismo del fraguado, se inicie antes de que la solución de ingredientes dañinos en la madera haya alcanzado una etapa en la cual el cemento se afecte. La mayoría de los aserrines son de maderas suaves que se vuelven compatibles con el cemento si se usa como aglutinante cal.

CAL: producto resultante de la descomposición de las rocas calizas por la acción del calor. Estas rocas calentadas a más de 900° C producen el óxido de calcio, conocido con el nombre de cal viva. Esta cal viva puesta en contacto con el agua se hidrata (**apagado de la cal**) con desprendimiento de calor, obteniéndose una pasta blanda que amasada con agua y arena se confecciona el mortero de cal.

ASERRÍN: subproducto del canteado y cepillado de la madera.

MÓDULO DE FINURA: centésima parte del número que se obtiene al sumar los porcentajes retenidos acumulados, en el conjunto de tamices para efectuar el análisis granulométrico, que van desde el 149 μ , 297 μ , 595 μ , 1.19mm, 2.38mm, 4.76mm y 9.51 mm.

PESO APARENTE SECO: masa promedio de la unidad de volumen de las partículas de agregado seco, incluyendo sus poros saturables y no saturables.

PESO APARENTE SATURADO: masa promedio de la unidad de volumen de las partículas de agregado saturado y superficialmente seco, incluyendo sus poros saturables y no saturables.

RELACIÓN AGUA CEMENTO: relación entre las masas de agua (excluyendo el agua absorbida por los agregados) y el cemento en una mezcla de concreto.

RESISTENCIA $f'c$: resistencia a la compresión de diseño del calculista y determinada con probetas de tamaño normalizado, expresada en kg/cm².

RESISTENCIA $f'cr$: resistencia promedio a la compresión del concreto requerida para dosificar las mezclas en kg/cm².

NORMA ICONTEC: notas técnicas y metodológicas que determinan los procedimientos adecuados para la determinación de las propiedades y comportamientos de los materiales en la construcción.

- a. Norma 396. Método para determinar el asentamiento del hormigón.
- b. Norma 174. Especificaciones de los agregados para concreto.
- c. Norma 673. Ensayo de resistencia a la compresión de cilindros.
- d. Norma 237. Determinación de densidad y absorción de agregado fino.
- e. Norma 176. Determinación de densidad y absorción de agregado grueso.

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa sus agradecimientos a:

A la Ingeniera Civil Ruby Criollo, Directora del Trabajo de Grado, Docente de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad de Nariño, por su constante colaboración, apoyo y asesoría.

Al señor jurado Ingeniero Civil Vicente Parra, Vicerrector Administrativo de la Universidad de Nariño, por sus observaciones, interés y constante apoyo.

Al señor jurado Ingeniero Civil Msc. Carlos Bucheli, por sus valiosas recomendaciones, observaciones y orientaciones.

TABLA DE CONTENIDO

	pág.
1. INTRODUCCIÓN	18
2. MARCO TEÓRICO	19
3. MARCO DE REFERENCIA	24
3.1 Definición	24
3.2 Tipos de concretos ligeros	24
3.2.1 Hormigones con áridos livianos	24
3.2.1.1 Áridos livianos de origen natural	24
3.2.1.2 Áridos livianos de origen artificial	25
3.2.2 Hormigones con aire incorporado de masa	25
3.2.2.1 Hormigones carvenosos	25
3.2.2.2 Hormigones con aire incorporado mediante aditivos	25
3.3 Propiedades de los hormigones livianos	26
3.3.1 Retracción hidráulica	26
3.3.2 Durabilidad	26
3.4 Ventajas	26
3.5 Usos de agregados ligeros	27
3.6 Propiedades	27
3.6.1 Peso unitario	27
3.6.2 Absorción	27

3.6.3	Textura, forma y tamaño	27
3.7	Propiedades funcionales del concreto liviano	28
3.8	Métodos de fabricación del concreto liviano	31
3.8.1	Método químico	31
3.8.1.1	Peroxido de hidrógeno y cloruro de cal	31
3.8.2	Métodos espumosos	34
4.	CARACTERÍSTICAS FUNDAMENTALES EN EL DISEÑO DE LA MEZCLA DE CONCRETO SIMPLE CON ADICIÓN DE ASERRÍN	35
4.1	Coeficiente de compacidad	35
4.2	Materiales	36
5.	METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE LA MEZCLA DE CONCRETO SIMPLE CON LA ADICIÓN DE ASERRÍN, CAL Y CEMENTO	45
5.1	Dosificación de la mezcla	45
5.2	Determinación de las condiciones de partida de la dosificación	45
5.3	Economía	46
5.4	Trabajabilidad	47
5.5	Resistencia y durabilidad	47
5.6	Dosificación de la mezcla obtenida en laboratorio	47
5.7	Dosificación de agregados para concreto tradicional	49
5.8	Dosificación para concreto con adición de aserrín	53
6.0	ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LAS MUESTRAS OBTENIDAS EN LABORATORIO	62
6.1	Análisis estadístico de resistencias	62
6.2	Resistencia a la compresión	72

7.0	COSTOS DEL CONCRETO E INCIDENCIA DE HIERRO	76
7.1	Análisis de precios unitarios concreto tradicional	76
7.2	Análisis de precios unitarios para concreto con aserrín	77
7.3	Incidencia en el acero de refuerzo	79
	CONCLUSIONES	81
	RECOMENDACIONES	83
	BIBLIOGRAFIA	84

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla No 1. Usos del hormigón liviano	26
Tabla No 2. Intensidad de fuego y resistencia del mismo	29
Tabla No 3. Propiedades acústicas	30
Tabla No 4. Valores de coeficientes de compacidad	36
Tabla No 5. Condiciones esperadas de un hormigón	45
Tabla No 6. Coeficiente t, sin unidades que depende de los porcentajes de resultados que se presenten por debajo de la resistencia media.	62
Tabla No 7. Coeficientes de variación, usos y uniformidad del concreto	63
Tabla No 8. Valores de coeficiente de modificación	63
Tabla No 9. Resistencia promedio, cuando hay menos de 30 datos	63
Tabla No 10. Promedio recomendado de resistencias	64
Tabla No 11. Resistencias $f'c$, $f'cr$, coeficiente de variación	75

LISTA DE CUADROS

		pág.
Cuadro No 1.	Características físicas de los materiales obtenidos en laboratorio	48
Cuadro No 2.	Proporciones concreto sin ajuste de agua por agua	50
Cuadro No 3.	Proporciones concreto con ajuste por agua	51
Cuadro No 4.	Proporciones concreto tradicional ajustado por compacidad	52
Cuadro No 5.	Proporciones concreto con adición de aserrín sin ajustar	54
Cuadro No 6.	Ajuste de la mezcla para preparación en laboratorio	54
Cuadro No 7.	Proporciones concreto con adición de aserrín ajustado por agua	55
Cuadro No 8.	Proporciones concreto con adición de aserrín ajustado por compacidad	57
Cuadro No 9.	Datos de ensayos de compresión a los tres días	64
Cuadro No 9a.	Datos ordenados para una resistencia a los 3 días	65
Cuadro No 9b.	Distribución de frecuencias a los 3 días	65
Cuadro No 9c.	ti promedio para resistencias a los 3 días	66
Cuadro No 10.	Datos de ensayos de compresión a los 7 días	66
Cuadro No 10a.	Datos ordenados para una resistencia a los 7 días	67
Cuadro No 10b.	Distribución de frecuencias a los 7 días	67
Cuadro No 10c.	ti promedio para resistencias a los 7 días	68
Cuadro No 11.	Datos de ensayos de compresión a los 14 días	68
Cuadro No 11a.	Datos ordenados para una resistencia a los 14 días	69
Cuadro No 11b.	Distribución de frecuencias a los 14 días	69
Cuadro No 11c.	ti promedio para resistencias a los 14 días	70
Cuadro No 12.	Agrupación de datos a los 28 días	74
Cuadro No 12a.	Distribución de frecuencias a los 28 días	74
Cuadro No 13.	Costo mano de obra	78

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura No 1. Composición del hormigón tradicional en kg/m ³	52
Figura No 2. Composición del concreto con aserrín sin compacidad.	56
Figura No 3. Composición del hormigón con adición de aserrín con compacidad en kg/m ³	58
Figura No 4. Contenido del producto por saco de cemento	59
Figura No 5. Contenido del producto por metro cúbico	60
Figura No 6. Comparativo del contenido en peso de material por metro cúbico	60
Figura No 7. Constitución porcentual de materiales	61
Figura No 8. Interpretación estadística de los ensayos de resistencia a los 3 días	70
Figura No 9. Interpretación estadística de los ensayos de resistencia a los 7 días.	71
Figura No 10. Interpretación estadística de los ensayos de resistencia a los 14 días.	71
Figura No 11. Resistencias producidas, de diseño y de mezcla.	73
Figura No 12. Indicativo de costos	78
Figura No 13. Comparativo de refuerzo	80

RESUMEN

En el desarrollo del trabajo de grado titulado *“LA INCIDENCIA DEL ASERRÍN EN LA PRODUCCIÓN DEL HORMIGÓN LIVIANO SIMPLE”*, se considera dos condiciones iniciales:

Primero: conocidas las características físicas del agregado grueso y del fino, se sugiere reducir el volumen total de agregados inertes en un 30% y un 10% respectivamente, con el propósito de conocer su comportamiento mecánico final. Segundo: dicha reducción es reemplazada por un agregado no convencional (A.N.C), producto de la adición de un aglomerante (cemento Pórtland y cal) y aserrín.

Así las cosas, se realiza una comparación inicial de la densidad del concreto tradicional y del hormigón con aserrín, agregando a su volumen cal y aserrín como elementos integrantes en la unidad de concreto. Las características de los agregados escogidos, producen un concreto tradicional simple con un peso unitario promedio de 2268.52 kg/m^3 como aporte en carga muerta y cuya proporción en volumen suelto en litro por kilogramo de cemento es de 0.60:1:1.94:2.07, con una compactación de 0.81.

De la misma manera, considerando los mismos materiales del concreto tradicional pero adicionando un aglomerante (cal y cemento) y aserrín (A.N.C) con los porcentajes de reducciones iniciales de los agregados tradicionales, se produce un hormigón con adición de aserrín de 1987 kg/m^3 como aporte en carga muerta y cuya proporción en volumen suelto en litro por kilogramo de cemento es de 0.60:1:1.43:1.20:2.48, con compactación de 0.81.

Con estas condiciones y proporciones se preparan sesenta (60) probetas; camisas cuyas secciones son de 15x30 y 10x20 centímetros. Ahora el concreto con aserrín es representado por los agregados tradicionales en un 59.52% y un 15.34% por el agregado no convencional, constituyendo un total del 74.86% comparado con el 78.27% en los agregados del concreto tradicional.

Se logra además, una reducción del peso unitario del producto en 12.4%, contribuyendo a una disminución del volumen de la arena en un 22% y en el

agregado grueso en 41%, ocasionando producciones más baratas. Los costos directos e indirectos por metro cúbico se ven reflejados en \$ 2100 y reducción de cuantías por cortante y flexión en 6.7%, como consecuencia de la rebaja en la carga muerta. Esta proporción, demostró no afectar las condiciones de resistencia a la compresión a edades de 3,7 y 14 días; logrando aceptación de acuerdo a los requerimientos de la norma NSR-98 capítulo C en adelante.

El objetivo básico se cumple porque ayuda a difundir el conocimiento de los concretos livianos, como propósito fundamental de contribuir a un camino alternativo en la utilización de materiales livianos fomentando el reciclaje y dando un destino adecuado a los desperdicios de madera. También es importante anotar que la elección de los materiales a utilizar es un factor básico para este estudio; para ello se utiliza cemento portland tipo I marca Samper, cal, arena de Jongovito, agregado grueso de la mina Calderón y aserrín producto de canteado y cepillado de varios tipos de madera (achapo, granadillo, amarillo, entre otras) cuya fuente fue maderas Santiago de la ciudad de Pasto.

Si bien se logran buenos resultados, es fundamental conocer para posteriores estudios, cual es la frontera de la adición de los agregados no convencionales. Así mismo, conocer cual es el límite de reducción de los agregados tradicionales, que vayan de la mano con la economía, trabajabilidad y resistencia del producto a los 28 días.

SUMMARY

In the development of the work of titled degree "THE INCIDENCE OF THE SAWDUST IN THE PRODUCTION OF THE SIMPLE LIGHT CONCRETE" ', is considered two conditions initials:

First: well-known the thick attaché's physical characteristics and of the fine one, it is suggested to reduce the total volume of inert attachés respectively in 30% and 10%, with the purpose of knowing their final mechanical behavior. Second: this reduction is replaced by a non-conventional attaché (A.N.C), product of the addition of an agglomerate (I cement Portland and lime) and sawdust.

This way the things, he/she is carried out an initial comparison of the density of the traditional concrete and of the concrete with sawdust, adding to their volume lime and sawdust like integral elements in the unit of concrete. The characteristics of the chosen attachés, produce a simple traditional concrete with a weight unitary average of 2268.52 kg/m³ like contribution in dead load and whose proportion in loose volume in liter for kilogram of cement is of 0.60:1:1.94:2.07, with a compactness of 0.81.

In the same way, considering the same materials of the traditional concrete but adding an agglomerate (lime and cement) and sawdust (A.N.C) with the percentages of initial reductions of the traditional attachés, a concrete takes place with addition of sawdust of 1987 kg/m³ like contribution in dead load and whose proportion in loose volume in liter for kilogram of cement is of 0.60:1:1.43:1.20:2.48, with compactness of 0.81.

With these conditions and proportions get ready sixty (60) test tubes; shirts whose sections are of 15x30 and 10x20 centimeters. Now the concrete with sawdust is represented by the traditional attachés in 59.52% and 15.34% for the non-conventional attaché, constituting a total of 74.86% compared with 78.27% in the attachés of the traditional concrete.

It is also achieved, a reduction of the unitary weight of the product in 12.4%, contributing to a decrease of the volume of the sand in 22% and in the thick attached in 41%, causing cheaper productions. The direct and indirect costs for cubic meter are reflected in U\$2 and reduction of quantities for sharp and flexion in 6.7%, as consequence of the discount in the dead load. This proportion, demonstrated not to affect the resistance conditions to the compression to ages of 3,7 and 14 days; achieving acceptance according to the requirements of the norm NSR-98 surrenders C from now on.

The basic objective is completed because he/she helps to diffuse the knowledge of the light concretes, as fundamental purpose of contributing to an alternative road in the use of light materials fomenting the recycle and giving an appropriate destination to the wooden waste. It is also important to score that the election of the materials to use is a basic factor for this study; for it is used it cement portland type I Samper, lime, it marks sand of Jongovito, thick attached of the mine Calderón and sawdust chanted product and brushing of several wooden types (achapo, granadillo, yellow, among other) whose source was wood Santiago of the city of Pasto (Colombia).

Although good results are achieved, it is fundamental to know for later studies, which it is the frontier of the addition of the non-conventional attacheds. Likewise, to know which is he limits of reduction of the traditional attacheds that go of the hand with the economy, trabajabilidad and resistance from the product to the 28 days.

1. INTRODUCCIÓN

Se pueden obtener productos alternativos en la construcción, mediante el reciclaje de materiales como los desechos de madera. Este producto consiste en un concreto modificado de 2005.18 Kg/m^3 , con un coeficiente de compacidad de producción en laboratorio de 0.82, utilizando materiales como cemento gris tipo I, agregado fino y grueso en un 60.18% y agregados no convencionales (aserrín, cemento y cal) en un 15%, que complementarán el volumen reducido de los agregados tradicionales. El cemento y la cal junto con el aserrín, permiten obtener una manejabilidad adecuada y buena adherencia entre las partículas de la matriz de mortero y el agregado grueso.

“LA INCIDENCIA DEL ASERRÍN EN LA PRODUCCIÓN DEL HORMIGÓN LIVIANO SIMPLE”, permite dar una alternativa respecto a los materiales utilizados constantemente en nuestro medio, dada la muy poca utilización del concreto liviano. En el mercado actual de oferta y demanda, donde la gran mayoría de los constructores buscan mejorar y acelerar los procesos constructivos, por la variabilidad en los indicadores de productividad, rendimiento, calidad, cumplimiento y economía, se hace necesario que se busquen alternativas en la industrialización de la construcción, pero que también vayan de la mano con la consecución de materiales livianos que faciliten inicialmente cumplir con las especificaciones técnicas, disminuyendo **“la carga muerta”** en los proyectos constructivos.

El concreto tradicional aporta en su mayoría carga muerta a la edificación, al igual que las particiones y muros divisorios y muros de fachada, que adicionados a los factores de seguridad del código, requieren de realizar evaluaciones preliminares que inicialmente posibiliten alternativas técnicas, constructivas y económicas, con el propósito fundamental de no diseñar estructuras antieconómicas y que revistan de otro concepto para ser recalculadas.

El presente trabajo tiene como objetivo básico, determinar el comportamiento mecánico del HORMIGÓN CON ASERRÍN y como puede ser utilizado en las diferentes etapas de la construcción y su aporte en el producto final del proyecto constructivo. Como un propósito fundamental en contribuir a un camino alternativo en la utilización de materiales livianos en nuestro medio.

2. MARCO TEÓRICO

Aun cuando el concreto ligero se ha conocido en los últimos años, no representa en ningún caso una nueva clase de material para la construcción. A fines del siglo XIX se utilizó en los Estados Unidos de Norteamérica, en Inglaterra y en muchos otros lugares, el empleo del agregado de escoria de hulla y con aire atrapado. Su utilización no se limitó a viviendas y habitaciones populares de bajo costo, sino que también se destina en ciertas partes de edificios y monumentos, tales como el museo Británico terminado en 1907. También se sabe que los romanos usaron frecuentemente una forma de concreto ligero en sus construcciones: tal es el caso de la cúpula de 44 metros de diámetro del Panteón en Roma, construida en el siglo II D.C, la cuál se compone en gran parte de concreto colado "in- situ" a base de agregado de piedra pómez.

A mediados de la década de los treinta, la escoria espumosa de los altos hornos se introdujo en Inglaterra, desde entonces se ha usado mucho como agregado de peso ligero. Antes de la última guerra mundial, el concreto base de espuma se utilizaba en el Reino Unido, principalmente en la fabricación de bloques para muros que no fueran de carga, el concreto ligero se pudo utilizar también para elementos de carga. Con la experiencia obtenida posteriormente, el concreto de agregados ligeros ha sido empleado más recientemente para elementos estructurales de concreto reforzado y en algunos casos para elementos de concreto pretensado.

Paralelamente al desarrollo del concreto de agregado de peso ligero, se fue efectuando un proceso similar con el concreto aireado. Por primera vez se produjo el concreto aireado con bomba generadora de espuma en Suecia en 1929, y su empleo durante los primeros años se destina exclusivamente a la fabricación de bloques. Las mejoras de sus propiedades condujeron al desarrollo de unidades reforzadas, hoy en día más de la mitad de la producción de concreto aireado en Suecia, se hace en esta forma. No fue sino por el año de 1950 que se introdujo en Inglaterra el concreto aireado para elementos de carga y por casi diez años, no había más que una sola fábrica dedicada únicamente a la producción de bloques.

En Gran Bretaña, el concreto ligero se fabricaba con escoria de termoeléctricas a partir de carbón, pero la gran aceptación del material obligó a que la demanda creciera acabando con las pocas existencias que habían de polvo de ceniza, a raíz de esto se implementó el concreto ligero basado en espumas jabonosas que permitieran el encapsulamiento del aire, por tanto, la industria del concreto está basada en gran parte en una reorientación radical de las provisiones disponibles de materiales, para ser seguido presumiblemente por una reorganización de los precios base en la industria.

En Alemania, a raíz de la segunda guerra mundial provocó un agotamiento de agregado como la piedra pómez a las industrias productoras de bloques y precolados y por el uso ampliado del concreto colado in-situ como la industria (Schüttbeton) que se ha hecho en la Alemania occidental y en otros países, sufrió una gran crisis debido al abastecimiento del material de cantera, por lo tanto tuvo una gran acogida la iniciación de agregados a partir de espuma.

La arcilla expandida también se está fabricando por un proceso de espuma en Hamburgo, basándose en un proceso Danés. La ampliación de la producción de agregado ligero en Alemania con la adopción de técnicas ya probadas y desarrolladas en Inglaterra se encuentra también en activo desarrollo, además, se dispone de un volumen considerable de productos precolados y curados en autoclave, procedente de un buen número de fábricas de concreto aireado o espumado que trabajan con asistencia técnica sueca. En Francia, la mayor parte de producción de agregado de peso ligero existe en torno a la industria de hierro de la provincia de Alsacia; las escorias espumosas se están produciendo por medio de la utilización de métodos y normas Británicas.

En los Estados Unidos de Norteamérica el desarrollo en gran escala del concreto ligero fue más rápido que en ninguna otra parte, debido principalmente a que el enorme tamaño de este país origina altos costos de transporte para mover materiales pesados a través de grandes distancias para llegar a los sitios de las obras; factor también debe ser extendido al costo de la mano de obra. Aunque no parece haber escasez de agregados, éstos se encuentran a distancias considerables de los centros de prefabricados; es entonces cuando resulta más económico el uso de agregados a partir de espumas producidos en la misma planta.

En cierta forma el desarrollo de todos los tipos de concretos ligeros y principalmente el de base de espuma en los países de Europa Oriental y Asia, está sujeto a los mismos factores que en los Estados Unidos de Norteamérica, en ellos también se tienen grandes distancias de transportes, grandes necesidades por satisfacer en tiempos relativamente cortos y una gran variedad de materias primas tanto naturales como artificiales.

El desarrollo del concreto ligero en esos países, está favorecido en gran parte por las políticas de inversión de capitales, las cuales no requieren forzosamente que el capital invertido obtenga buenas utilidades. Además de las necesidades normales de nuevos edificios tanto en uso industrial como para habitación en estas grandes áreas subdesarrolladas, hace que exista en Europa Oriental una gran escasez de habitaciones y construcciones en general, debido a los efectos de la guerra.

Por ello, tanto la producción de agregados de peso ligero (principalmente escorias espumosas y arcillas expandidas) como la de concreto aireado o celular a tomado gran incremento. El desarrollo de nuevos tipos de concretos ligeros como el celular, y el uso creciente de tales materiales de construcción se ve reflejado, y al mismo tiempo alentado y ayudado, por el trabajo de investigadores de muchas “instituciones de investigación” en todo el mundo. En Gran Bretaña, se inicio este trabajo en el “Building Research Station”, donde Lea, Parker, Newman, Nurse, Bessey y otros llevaron a cabo una serie de estudios experimentales sobre la manufactura y propiedades del concreto celular y de otros agregados de peso ligero. Estas investigaciones fueron, en realidad, ampliadas al uso del concreto ligero para fines estructurales por Thomas, pero con la guerra dicho trabajo tuvo que ser suspendido para continuarse muchos años después. Entre tanto, la “Building Research Station” y algunos otros centros de investigación, habían logrado el uso de nuevos tipos de agregados, fabricado con las cenizas de polvos combustibles, cuyo desecho era un problema para las plantas termoeléctricas.

En los Estados Unidos de Norte América las investigaciones adelantadas por el “National Bureau of Standards”, sobre las propiedades del material de un gran número de agregados de peso ligero de distintos tipos y de los concretos ligeros fabricados con tales agregados fueron seguidas por los laboratorios de la “Portland Cement Association”, de Chicago, en donde Shideler y otros investigadores realizaron programas de investigación sobre la aplicación estructural de estos materiales. A ellos se unieron también otros investigadores que trabajaron en laboratorios de varias universidades norteamericanas, entre quienes figuran primeramente Richart y Jensen, de Illinois, seguidos por otros investigadores de las universidades de Texas, Ohio y Oregon. Estas personas se ocuparon principalmente de estudiar el comportamiento de varios tipos de concretos con agregados de peso ligero.

En Alemania las investigaciones se han concentrado principalmente en los concretos aireados espumosos o celulares. Entre los primeros está el “Instituto de Investigaciones de la Industria del Cemento” en Düsseldorf. Y el “ Instituto de Investigación de las Escorias” en Rheinhausen.

En la Unión Soviética las investigaciones sobre el concreto ligero son llevadas a cabo principalmente por los institutos de investigación de la construcción Leningrado y Moscú, aunque últimamente el interés de las repúblicas más

recientemente desarrolladas en la federación se observa en las publicaciones que tratan de los materiales locales; en especial, del tipo de arcillas sintetizadas. El uso de concreto espumado para tableros muy grandes y las consecuentes dificultades para proporcionar autoclave o hornos de secado de tamaño adecuado, han sido los temas de investigación en una escala industrial.

Las normas locales sobre las construcciones y adecuaciones en concreto celular en algunos países no están totalmente definidas, por lo tanto se debe tener cuidado a la hora de fijar manuales y códigos muy rígidos, ya que, no permiten la aplicación del concreto celular en estructuras que aparentemente sean impropias, lo mismo que las normas no deben ser lo suficientemente flexibles ya que esto ocasiona el deterioro de las estructuras y por ende la falta de aceptación del producto.

El desarrollo del concreto celular en Latinoamérica ha alcanzado un buen nivel de aceptación y de producción, en Brasil el concreto celular ha alcanzado un auge importante en monumentos y figuras de gran tamaño y poco peso, así mismo, es utilizado en viviendas de nivel social alto para la fabricación de muros aislantes térmicos y acústicos, existen aproximadamente siete empresas dedicadas a estos propósitos.

En Argentina el concreto celular ha sido implementado a través de bombas generadoras de espuma y en la construcción de bloques de gran tamaño y poco peso, en plantas de prefabricados como Ardal; fabricantes de equipos como: ISOCROM, el cual, ha adelantado tecnología propia en equipos espumantes.

En Venezuela se emplea el concreto celular para vivienda industrializada, losas de pavimento y rellenos, el concreto celular en este país, pese a que es más económico, es vendido más costoso que el concreto normal, ya que, son explotadas sus propiedades físicas como aislantes térmicos o acústicos y la auto nivelación. Existen actualmente Concrecel Venezuela que distribuye concreto para fundir in-situ, y Geomateriales y Obras Civiles Rhen C.A, que distribuyen bombas generadoras de espuma con tecnología Colombiana.

En México; Cemex trabaja el concreto celular suministrándolo como concreto móvil para ser colado in -situ y es utilizado para aliviar cargas muertas en estructuras, ya que, las condiciones del suelo así lo exigen, así mismo la empresa COMIMSA (Corporación Mexicana de Investigación en Materiales) investiga y crea nuevas tendencias aplicando el concreto celular en construcciones sociales industrializadas y su novedoso sistema de muros IZADOS Y SOLDADOS IN SITU, con tecnología Colombiana, obteniendo un alto nivel de tecnología e innovación.

En Colombia la empresa Concretos Celulares Ltda. lleva realizando investigaciones hace quince años, tanto así que ha desarrollado la maquinaria completa para diferentes usos de bombas generadoras de espumas, aditivos y mezcladoras, se han exportado más de 55 unidades para generar concreto celular, los países que solicitan esta maquinaria son Venezuela, México y Brasil. También se han realizado diferentes tipos de obras entre ellos vivienda social totalmente en concreto celular, rellenos para acometidas en tuberías, soportes geotécnicos, pavimentaciones y rellenos.

En Latinoamérica existe un muro invisible para el desarrollo del concreto liviano, ya que, la idiosincrasia del consumidor opta por los sistemas tradicionales pesados, es por esto, que la divulgación del concreto liviano debe comenzarse a partir de sus propiedades físicas y bondades económicas.

3. MARCO DE REFERENCIA

3.1. DEFINICIÓN: (Portland Cement Association), define el concreto ligero como aquel que a los 28 días tiene una resistencia a la compresión que sobrepasa los 2500 p.s.i. y un peso unitario de menos de 1628 Kg/m³. En 1917 Stephen J. Hayde inventó un proceso para producir lutitas laminares esponjadas para usarlas como agregados ligeros, descubrió que ciertos tipos de lutitas, arcillas y pizarras se esponjan cuando se someten a temperaturas elevadas en un horno giratorio y producen un agregado bueno, duro y ligero.

Los hormigones livianos tienen un amplio campo de uso en los casos en que se desea obtener aislamiento térmico y secundariamente acústico y también para reducir el peso muerto actuante sobre los elementos estructurales resistentes. Densidades como las indicadas para los hormigones livianos se obtienen con la incorporación de aire en el hormigón, lo cual puede efectuarse introduciendo por dos caminos distintos a través de los áridos, es decir, empleando áridos livianos, o bien directamente en la masa del hormigón.

3.2. TIPOS DE CONCRETOS LIGEROS

3.2.1. Hormigones de áridos livianos. Los áridos livianos pueden ser de origen natural o bien producidos artificialmente.

3.2.1.1. Áridos livianos de origen natural. Corresponden a materiales en los cuales ha quedado aire atrapado en su interior durante su proceso de formación. Esta situación se presenta, por ejemplo, en las rocas de origen volcánico, como la lava y la piedra pómez, siendo este último el árido liviano más utilizado. Con éstos materiales de origen natural, los rangos de densidades obtenidos es alto, cercano al límite superior de la densidad definida como máxima para los hormigones livianos.

Otro tipo de áridos de origen natural constituye los originados mediante desechos de la madera, entre los cuales se cuentan las virutas y el aserrín. La obtención de hormigones livianos con este tipo de áridos, debe considerar especialmente el efecto retardador que algunos tipos de madera ejercen sobre el fraguado de la

pasta de cemento, debiendo preverse en algunos casos el tratamiento de estos materiales para atenuar o inhibir los efectos señalados

3.2.1.2 Áridos Livianos de Origen Artificial. Los áridos de origen artificial corresponden a materiales especiales, tales como pizarras, arcillas y esquistos, los que al ser tratados mediante calor hasta su fusión incipiente y producirse en su interior desprendimiento de gases de los materiales que los constituyen, se expanden, disminuyendo su densidad. La producción de éste tipo de áridos requiere de una metodología muy estudiada para definir si un determinado material tiene características que lo transformen en expandible y las condiciones en que esta expansión puede producirse. Se cuentan también en este tipo de áridos los provenientes de la escoria granulada de alto horno, la cual en condiciones apropiadas de enfriamiento puede producir áridos de baja densidad. En este tipo de árido debe examinarse con cuidado su contenido de cenizas, pues estas pueden ejercer efectos nocivos sobre la pasta de cemento. Los áridos livianos de origen artificial permiten obtener hormigones de menor densidad y mayor resistencia que los de origen natural.

3.2.2 Hormigones con aire incorporado en su masa. La incorporación de aire en la masa del hormigón puede efectuarse por dos métodos principales:

3.2.2.1 Hormigones cavernosos. Los hormigones cavernosos se constituyen empleando áridos con una granulometría que tenga un contenido mínimo de granos finos. Para ello es frecuente emplear un solo árido grueso, cuyas partículas se ligan mediante la cantidad estrictamente necesaria de pasta de cemento como para recubrirlas y adherirlas entre sí. El rango de densidades posibles que se pueden obtener con este tipo de áridos es más bien alto, del orden de 1.800 a 1.900 Kg/m³. Estos hormigones tienen la ventaja de poseer baja retracción hidráulica.

3.2.2.2. Hormigones con aire incorporado mediante aditivos. Para este objeto se emplean aditivos similares a los descritos anteriormente para incorporar aire en el hormigón con fines de protección de los procesos de hielo – deshielo, solo que en este caso la proporción empleada es significativamente más alta. Los aditivos más empleados son principalmente de dos tipos: aditivos que producen su acción mediante reacciones químicas con los componentes del cemento y aditivos que producen su acción por efectos físicos.

3.3. PROPIEDADES DE LOS HORMIGONES LIVIANOS

3.3.1. Retracción Hidráulica. No existen estudios sistemáticos al respecto, pudiendo señalarse que su valor es aproximadamente del orden del doble de los hormigones convencionales.

3.3.2 Durabilidad. Tampoco ha sido estudiada, pero se puede señalar que los hormigones livianos son más susceptibles a los ataques agresivos externos y a los fenómenos de corrosión que los hormigones convencionales.

3.4. VENTAJAS Y SU INFLUENCIA EN LA CONSTRUCCION

3.4.1 Su baja densidad y conductividad térmica.

3.4.2 Resistencias a sollicitaciones mecánicas: acción de hielo-deshielo, y acción del fuego.

3.4.3 De acuerdo a lo anterior se puede ver que es básicamente su densidad la que se traduce en bajo peso, y su baja conductividad que influye directamente en su capacidad como aislante térmico.

El bajo peso resulta ser un factor ventajoso, si consideramos su influencia directa en aspectos tales como transporte, montaje de elementos y estructuras. El hecho de lograrse elementos de menor peso, en comparación con el hormigón tradicional, hace disminuir el costo en el transporte. Se produce además economía en los elementos resistentes ya que estos pueden construirse en menores secciones, ahorrando material.

Es un hecho conocido que la capacidad de aislamiento térmico de un material aumenta a medida que disminuye su densidad, esto es en general, cuando aumenta su porosidad. Por lo tanto, lo más favorable sería que tuviese los poros más pequeños y en mayor número, sin embargo esto significaría un aumento de la absorción capilar por lo que ambas propiedades de los agregados se deben manejar muy bien.

Tabla 1. Usos del hormigón liviano

USOS	Densidad Kg/dm ³	Resistencia la compresión en Kg/cm ²
Para relleno de pisos y tabiques	Bajo 650	10 - 20
Para bloques de albañilería y paneles	700 - 900	40 - 60

Fuente: Tomado manual integrado de diseño y construcción (Frederck.S. Merrit.1997).

3.5 USOS DE LOS AGREGADOS LIGEROS

Los agregados ligeros se clasifican usualmente de acuerdo con el proceso de fabricación o de residuos de una actividad industrial, lo que ocasiona que éstos posean diferentes propiedades físicas porque son subproductos del proceso de manufactura. Para lo cual se prepara un hormigón con árido ligero en lugar del denso convencional. Logrando dos objetivos: conseguir un buen aislamiento térmico y eliminar el problema medioambiental que supone al fibrocemento en climas calurosos y secos.

3.6 PROPIEDADES

En general las características de los agregados que influyen en las propiedades del concreto de peso normal también afectan las propiedades del concreto ligero. Sin embargo, generalmente se da más importancia a factores como el peso volumétrico unitario, la absorción, la forma de las partículas, tamaño, y textura superficial en los agregados ligeros. Norma Icontec 77. Estos factores afectan la resistencia, durabilidad, manejabilidad y facilidad de acabado.

3.6.1. Peso unitario. Estos pesos varían de 315 a 945 kg/m³, como límites inferiores y como superiores 735 a 1200 kg/m³. Los bajos pesos unitarios de los agregados ligeros son la causa de los bajos pesos unitarios de los concretos ligeros norma Icontec (174, 92,176).

3.6.2. Absorción. Los agregados de peso normal usualmente absorben de 1 a 2 por ciento de agua en peso cuando el agregado está seco. Usualmente, estos agregados contienen algo de humedad interior cuando se hace el vaciado y durante la operación de la mezcla absorben muy poca agua. Norma Icontec(237). En contraste, la mayor parte de los agregados ligeros pueden absorber de 5 a 15 por ciento en peso del material seco. Lo que puede llegar a ser 445 Kg/m³ de concreto si se llega a la absorción total. Sin embargo, normalmente no ocurre absorción total durante la mezcla y antes del vaciado.

Es posible utilizar los áridos mojados, pero no saturados con el objetivo de conservar la uniformidad de las mezclas ligeras. La uniformidad del concreto depende mucho de la humedad de los agregados. El humedecimiento debe hacerse antes del mezclado para dar tiempo a que se produzca la absorción. Norma Icontec(1776).

3.6.3 Forma, textura y tamaño de las partículas. La forma, la textura y el tamaño de las partículas del árido puede influir en el costo, manejabilidad, acabado y

densidad del concreto. Porque al reducir el agregado grueso, se requiere un porcentaje mayor de finos para proporcionar más mortero que produzca la manejabilidad adecuada.

3.7 PROPIEDADES FUNCIONALES DEL CONCRETO LIVIANO

3.7.1 Reducción de Peso. Las condiciones de un suelo débil generalmente limitan el uso de concreto simple o armado; el utilizar concreto liviano, permite tener más niveles de construcción en este tipo de suelo, la experiencia recomienda que en la construcción de más de tres pisos en concreto liviano se combine la estructura en concreto armado en aquellas partes donde la estructura este sometida a esfuerzos altos; y en componentes no estructurales fabricarlos en concreto liviano, tales como: antepechos de balcón, bloques, fachadas, divisiones no portantes de carga, parapetos, reglas de piso, paneles.

Al utilizar el concreto liviano en cualquier tipo de estructura se obtienen cargas muertas más bajas. Esto es importante en áreas de alto riesgo sísmico; además, en el momento de una sollicitación ante cargas de servicio de una estructura o en un sismo, los muros que sufran daño y se precipiten, no producirán daños físicos graves a los habitantes de la edificación: lo contrario ocurriría con la utilización del concreto convencional, así mismo, de la experiencia obtenida, se puede decir que la remoción de escombros es mucho más rápida y así mismo el rescate de las personas, gracias a la reducción del peso del material.

3.7.2 Aislamiento Térmico. El aislamiento térmico puede considerarse como el coeficiente de resistencia a la transmisión de calor. Una de las características más especiales que posee el concreto liviano es el valor relativamente alto del aislamiento térmico que se hace mayor o menor en razón inversa a la densidad del material.

3.7.3 Protección contra el fuego. El objeto principal del diseño de protección contra el fuego consiste en asegurar que, una vez se haya iniciado un incendio, la rapidez con la cual se extienda y la dirección de propagación sean tan limitados, que permitan dar tiempo suficiente a los ocupantes para su evacuación y para que el equipo de extinción de incendios actúe efectivamente, evitando que el fuego alcance una magnitud que ocasione daños irreparables o que se extienda a las propiedades vecinas.

Los edificios se clasifican de acuerdo al carácter potencial de producción de calor que poseen sus materiales constitutivos y su contenido normal. Este término se denomina "carga de fuego" y se define como la cantidad de calor en kilo caloría que se produciría con una combustión completa de cada metro cuadrado de piso, suponiendo un valor calorífico para los materiales en general de 4444 k. Cal/Kg.

Las cargas de fuego varían de 135,800 a más de 542,000 k.cal/m² la resistencia al fuego de los elementos estructurales pueden igualarse con las cargas de fuego de los edificios.

Tabla 2. Intensidad del fuego y resistencia del mismo

INTENSIDAD DEL FUEGO k.cal/m²	RESISTENCIA AL FUEGO (HORAS)
135.80	0.50
271.50	1.00
407.30	1.05
543.00	2.00

Fuente: Tomado Manual Integrado de Diseño y Construcción (Frederick.S. Merrit.1997).

Un elemento estructural que tenga una baja resistencia al fuego, puede en muchas ocasiones mejorarse en este aspecto en condiciones adecuadas. Por ejemplo, la resistencia al fuego de dos horas para un muro divisorio de 11.4 cm de espesor, puede elevarse a seis horas con la aplicación de mortero ó un recubrimiento en bloques de concreto liviano.

Las estructuras reticulares, en acero estructural y las aleaciones de aluminio no resisten mucho tiempo la acción del fuego, ya que cuando la temperatura alcanza 550°C en el acero o bien de 200 o 250°C en el aluminio, la resistencia de éstos materiales se torna tan reducida que ya no pueden seguir soportando las cargas de diseño. Esto sucede generalmente en los primeros minutos de un incendio. Sin

embargo, con una protección adecuada contra el fuego, se les podrá dar virtualmente cualquier cantidad de resistencia al fuego.

El concreto liviano es no combustible y gran parte de su resistencia a los efectos del fuego, se atribuyen a la fuerte proporción de agua que contiene en su estructura, la cual tiene que ser eliminada antes que se presente la falla del concreto liviano.

3.7.4 Propiedades acústicas. El sonido es una forma de energía y como tal se le puede medir. El factor de reducción del sonido, es la relación de la energía del sonido en su origen entre la energía del mismo en cualquier otro lugar y se expresa en decíbeles (dB); transmisión del sonido a través de un muro puede ser tolerable a cierta frecuencia pero intolerante a otra.

Casi todas las estructuras proporcionan un mejor aislamiento a frecuencias altas que a bajas y los mayores vanos son generalmente mejores para altas frecuencias, que los muros sólidos de mismo peso, pero no son mejores para frecuencias bajas.

La efectividad de los muros sólidos para reducir el sonido transmitido es proporcional al peso del muro es decir entre más liviano sea un muro más propiedad acústica proporciona.

Tabla 3. Propiedades Acústicas

Frecuencia en (ciclos / seg)	125	500	2,000	4,000
Coefficiente de Absorción	0.2	0.6	0.5	0.5

Fuente: Atlas de técnica edificatoria. (B. Bassegoda.1974).

Una de las ventajas del "concreto liviano", sobre materiales más densos es la absorción inherente que se proporciona en las cavidades, es decir, "el concreto liviano" da un efecto de colchón de absorción del sonido.

3.7.5 Durabilidad. Se puede definir como la habilidad de un material para resistir los efectos de todos los agentes externos. El concreto liviano no posee una resistencia especial a éstos agentes, es igual al concreto tradicional, por el contrario, él hecho de ser en general más poroso que los concretos convencionales, es más vulnerable.

El ataque químico del aire no es significativo, a excepción en ambientes sumamente contaminados; de cualquier manera, se acostumbra proteger el concreto celular con estucados o pañetes. Los esfuerzos físicos a los cuales el concreto ligero queda expuesto en la congelación, no generan daños significativos; la contracción y los esfuerzos por temperatura, entre materiales de distinta clase, o bien a otros fenómenos de naturaleza semejantes, no ocasionan agrietamiento en el concreto ligero, esto debido a la cantidad de agua que posee y durante su fraguado es manejable el calor de hidratación.

3.8 METODOS DE FABRICACIÓN DE ALGUNOS CONCRETOS LIVIANOS

Antes de involucrar los procesos de fabricación de un concreto liviano, ya sea por el método que se emplee, es necesario tener en cuenta lo siguiente, al adicionarle algún producto que permita su disminución de densidad, se torna un tanto más delicado para su fabricación que un concreto o mortero convencional. Primero es necesario tener en cuenta los procesos químicos que suceden al interior del concreto, por ejemplo: Existen dos reacciones químicas que son necesarias tener en cuenta y que son un poco diferentes en un concreto convencional: en primer lugar una reacción primaria que consta de hidrólisis, hidratación y una carbonatación, éstos procesos iniciales son fundamentales en la hidrólisis; en segundo lugar una reacción secundaria que involucra una deshidratación, calor de hidratación y una exudación.

3.8.1 Métodos químicos

3.8.1.1 Peróxido de hidrogeno y cloruro de cal. Este método, no es muy usado, ya que involucra adicionar en pocas palabras agua oxigenada (la cual ayuda a la formación de burbujas o es el generador de gas) y la adición de cloruro de cal (el cual es coadyuvante en el proceso a manera de catalizador), en este método se presenta de alguna manera una reacción química con el fin de lograr hidrogeno, el

cual es el material de relleno de la burbuja y en si el que permite dar su forma redondeada.

Este tipo de procesos involucraba anteriormente la adición de porciones de blanqueadores en polvo y jabones, por lo que difieren mucho el tipo de producto usado en el producto final, además, este tipo de procesos ocasionan grandes contracciones por secado, sin embargo, se usa en rellenos y más para trabajos en donde la resistencia y las contracciones por secado pasan a formar un segundo plano de diseño, con este método se obtienen resistencias del orden de 7 a 20 kg/cm² con densidades que oscilan entre 800 y 1000 Kg/m³. Sistema que se puede dominar al emplear inyectores especiales que van a la masa cementante para poder controlar ciertos procesos.

Sin embargo, es más delicado que otros tipos de sistemas de fabricación y aún más costoso, ya que la cantidad de cemento por metro cúbico es más alto del orden de 380 kilogramos por metro cúbico, sin embargo, para trabajos muy específicos tiene buen comportamiento; siempre la recomendación es iniciar pruebas pequeñas y representativas para que se pueda tener el control de que esperar.

Relación:

Cemento / Agua / Peroxido de hidrógeno / Cloruro de cal / Blanqueador Liquido.

1 : 0.45 : 0.1 : 0.8 : 0.02.

3.8.1.2 Polvo de Aluminio. Como se había mencionado anteriormente la hidrólisis y la hidratación son de modo fundamental reacciones distintas, sin embargo, en la práctica suceden con simultaneidad, pero a diferentes velocidades, por ejemplo, se observa en la ecuación química la incidencia de la hidrólisis y la hidratación sobre el silicato tricálcico.



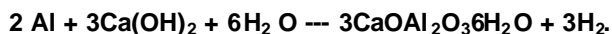
(silicato tricálcico anhidro) + Agua -----Un silicato menos básico (Hidratado) + Hidróxido de cal)

Es importante en concretos ligeros y más en concretos celulares, conocer bien las reacciones que suceden al interior de la mezcla, además este tipo de producto, no está basado enteramente de cemento, si no por el contrario contiene porciones que remplazan el cemento, él más utilizado es la cal, sin embargo, la utilización de éstos productos siempre conlleva a la utilización de cámaras de autoclaves.

Es válido decir, que el sistema de polvo de aluminio funciona en secado al aire libre, sin embargo, las contracciones por secado son mucho más elevadas, por otro lado, las densidades óptimas para el concreto de polvo de aluminio son en rangos de 400Kg/m³ hasta 800 Kg/m³, con resistencias de 30 hasta 160 Kg/cm², si no se utilizará la cámara de autoclave, si no por el contrario un secado al aire libre, éstas densidades no se podrían lograr con la resistencia deseada, es decir, para alcanzar una resistencia de 160 Kg/cm², sería necesaria una densidad de 1500Kg/m³ y esto ocasiona un incremento en la porción de cemento a utilizar.

Si se realizará la mezcla en solo cemento se tendrían consumos del orden de 7.8 sacos (de 50 Kg), por metro cúbico, lo cual resultaría antieconómico, por otro lado las contracciones por secado serían fuertes al comienzo del secado, por lo que se vaticina una pérdida de resistencia con el paso del tiempo, ya que éstas micro grietas se prolongarían y al cabo de un par de años la resistencia para la que fue diseñada la estructura perdería firmeza, esta pérdida podría en algunos casos ser del orden de 40% de la resistencia inicial, por lo que podemos decir, que si se pueden realizar concretos celulares aireados por el método de polvo de aluminio o zinc y éstos se podrían curar al aire libre o en condiciones más o menos estables.

Sin embargo, esto no sería lo óptimo y se alcanzarían productos desestabilizados estructuralmente, con agrietamientos por secados bastantes fuertes y además, se consumiría más cemento, por el contrario si el producto se deja secar un par de horas al aire libre y luego pasa por un sistema de autoclaves de alta o baja presión, pues se tendría un producto de excelente calidad, resistencia y confiabilidad. El proceso de fabricación del concreto a partir de polvo de aluminio, es lograr a reacción química que genere un gas, este gas es hidrógeno y se logra a partir del hidróxido de calcio en presencia de agua y polvo de aluminio, así como se ilustra una parte de la formulación.



Polvo de aluminio + Hidrógeno de calcio + agua --- Aluminato tricálcico hidratado + Hidrógeno.

En la formulación se aprecia la formación de gas en hidrógeno, este tipo de concreto ligero, es el único que involucra una reacción química bastante considerable, por lo que el entendimiento de la reacción química es fundamental para poder obtener productos de calidad. Se puede tomar en el ámbito experimental la siguiente dosificación:

Cemento, arena, cal, polvo de aluminio, agua.

1 : 2 : 3 : 0.02 : 0.4

3.8.2 Métodos Espumosos

Cualquiera que sea el método, el principio es: atrapar aire y homogenizarlo a la masa de cemento, la pregunta aquí es: ¿Cómo atrapar aire?. Para esto existen dos métodos conocidos: En primer lugar la espuma preformada, la cuál consiste en preparar una espuma estable que no se deje disolver y romper, y posteriormente incorporarla a la masa cementante.

El otro método consiste en adicionar un aditivo a un mortero y dejar que el aditivo atrape aire; la condición de atrapar aire se ve limitado a su superficie, tal y como funciona un incorporador de aire (el cuál es otro método que funciona solo superficialmente), la idea es lograr que el aditivo encapsule el aire y quede incorporado en toda la masa cementante, por esto es conveniente colocar a este sistema de fabricación, una presión de aire mientras el aditivo se incorpora al mortero celular, con esto se fuerza al aditivo a que atrape más aire y mientras se homogeniza la mezcla, este aire va quedando repartido uniformemente.

Así mismo el método químico, permite adiciones de cal, por lo que se reduce el consumo de cemento, sin embargo, la expansión logra un 20% hasta un 30% de crecimiento, en el método espumoso no se acostumbra adicionar cal, sin embargo, se pueden realizar adiciones de otros materiales puzolánicos que permiten la reducción de la cantidad de cemento, una buena dosificación, con buenos agregados, permite dosificaciones bajas de cemento y con buena calidad, además, el concreto espumado se esponja desde un 25% hasta un 80%, por lo que es más económico producir concreto espumado comparado con el método químico, sin embargo, y se han expuesto las diferencias en resistencias y densidades.

4. CARACTERÍSTICAS FUNDAMENTALES EN EL DISEÑO DE LA MEZCLA DE CONCRETO SIMPLE CON ADICIÓN DE ASERRÍN

En el desarrollo del presente capítulo, es necesario conocer las siguientes características, que son base para el desarrollo de los objetivos propuestos.

4.1 COEFICIENTE DE COMPACIDAD

4.1.1 Definición. Sean V_g , V_a y V_c , los volúmenes absolutos en litros de los agregados grueso y fino, junto con el cemento que hay en un metro cúbico de concreto en obra; el conjunto de granos de materias sólidas no llenan integralmente los 1000 litros, puesto que también existe agua intersticial y burbujas de aire.

El coeficiente de compactación α es la relación de los volúmenes absolutos de materias sólidas $V_m = V_g + V_a + V_c$ y el volumen total del hormigón para un metro cúbico que se produzca en obra, de acuerdo a su eficacia de compactado (picado con barra o vibrado) puede determinarse por la siguiente expresión:

$$\alpha = V_m \text{ (en litros)} / 1000. \quad (1)$$

el volumen absoluto de los granos de cemento es:

$$c = \text{contenido de cemento} / 3.14^?$$

$$V = 1000 * \alpha - c \quad (2)$$

Es necesario conocer este coeficiente “ α ” para calcular los volúmenes absolutos reales de los diversos áridos, ya que conocemos el porcentaje de cada uno de ellos.

El coeficiente de compactación es función de los siguientes parámetros: Dimensión máxima de los áridos, consistencia, dosificación del cemento, del contenido agua y de la relación agregado grueso /agregado fino y del grado de compactación (barra o vibrado).

[?] peso específico del cemento en Kg/dm³

Tabla 4. Valores de coeficientes de compacidad

Dimensión máxima de los agregados D en mm	Compactado	Consistencia	Descenso del cono de Abrahams en cms	Resistencia a la compresión los 28 días Kg/cm ²	Coefficiente de compacidad
12.5	Picado con barra	Seca	0 a 0.6	320	0.82
		Media	0.6 a 2.5	265	0.81
		Blanda	2.5 a 5	210	0.80
25	Picado con barra	Seca	1.25 a 2.5	320	0.83
		Media	2.5 a 5	265	0.82
		Blanda	5 a 12.5	210	0.81
50	Picado con barra	Seca	2.5 a 5	320	0.84
		media	5 a 10	265	0.83
		blanda	10 a 18	210	0.82

Fuente: Instituto Americano del Concreto (A.C.I)

4.2 MATERIALES

En la dosificación de las mezclas para concreto es importante la determinación en la combinación más económica y práctica de los ingredientes para concreto, que sea manejable en estado plástico y desarrolle las propiedades requeridas cuando endurezca. Norma lcontec (185).

Como se trata de un producto no convencional, es necesario resolver los siguientes problemas, para poder acceder a la fabricación de concretos simples con incidencia de aserrín y se refiere a la elección del cemento, características de los agregados pétreos, elección del aserrín de madera, tratamiento previo de dicho aserrín y las proporciones más convenientes de la mezcla.

4.2.1 Elección del cemento. El tipo de cemento queda definido básicamente por la existencia de un ambiente que pueda generar acciones agresivas sobre el hormigón. Eventualmente se considera la elección de un **Cemento tipo I**, por las condiciones de resistencias iniciales.

Una dosificación de cemento suficiente protege la armadura de la corrosión. Esta protección es asegurada por la fuerte alcalinidad que proporcionan a los álcalis y el hidróxido de calcio que se forma durante la hidratación y también por una reducida porosidad del hormigón. A los fines de que esta protección esté siempre asegurada, el reglamento A.C.I. prescribe que el hormigón contenga como mínimo 280 kilogramos de cemento por m³ de hormigón². Esta dosificación puede ser a veces reducida a 250 kg/m³ para los elementos de hormigón masivo armado

² Instituto Colombiano de Productores de Cemento. (I.C.P.C.)

que no están expuestos a medios agresivos y cuyos recubrimientos de armaduras igualan o superan los 10 cm y como máximo de 550 kg/m³.

De acuerdo al estudio "Determinación y Comprobación de Fórmulas para predecir la Resistencia del Concreto", se determina un valor de "K", para las diferentes marcas de cemento, y dependen del contenido de cemento y de la relación agua / cemento. Este coeficiente, es un valor que se le asigna como multiplicador para determinar la resistencia probable del concreto a los 28 días.

Este aspecto sirve de base para determinar la escogencia de la marca del cemento, las cuales para el estudio y por la demanda en el mercado local conduce a la escogencia del cemento Diamante y Samper, que merecen una comparación de la siguiente manera:

Para cemento marca Diamante:

$$K_d = 1.2092 - 6.7694 * 0.0001 * C \quad (1)$$

C= contenido del cemento en kg/m³ de mezcla.

$$K_d = 0.58758 + 0.74846 * A/C \quad (2)$$

A/C= relación agua cemento.

Para cemento marca Samper:

$$K_s = 1.28291 - 9.0344 * 0.0001 * C \quad (3)$$

$$K_s = 0.5527 + 0.84258 * A/C \quad (4)$$

El I.C.P.C, establece que para determinar la relación A/C y contenido de cemento C, es necesario determinar:

Selección del asentamiento: Entre 5 -10 centímetros: *Se toma 5 centímetros.*

Selección del tamaño del agregado grueso. $TM = 1''$.

Estimación del agua en la mezcla: Este valor esta en función del valor del asentamiento y del tamaño del agregado.

$$\text{Agua} = 180 \text{ Kg/ m}^3 \text{ de mezcla.}$$

La selección de la relación agua / cemento; el A.C.I, considera que se debe determinar de acuerdo a los siguientes limites.

Baja máxima: 0.60

Moderada máxima = 0.45

Alta máxima = 0.40

Se considera para el caso una relación A/C baja máxima = 0.60.

Calculo del contenido del cemento.

$C = 180/0.60 = 300$ Kg por metro cúbico de mezcla.

Elección del cemento. Reemplazando en las ecuaciones.

$K_{diamante} = 1.2092 - 6.7694 * 0.0001 * 300 = 1.006$ $K_{diamante} = 0.58758 + 0.74846 * 0.60 = 1.037$

$K_{samper} = 1.28291 - 9.0344 * 0.0001 * 300 = 1.012$ $K_{samper} = 0.5527 + 0.84258 * 0.60 = 1.058$

4.2.2 De acuerdo a Cabal S. Ramiro[?]:

$$R_{28} = K((R_3 + R_7)/2 + 2.1(R_7 - R_3)). \quad (5)$$

Por otra parte, la resistencia a la compresión de acuerdo a la gráfica^{??}, a los 3 días es de 40% (84kg/cm²) y 7 días de 70% (147 kg/cm²).

Reemplazando estos valores en la ecuación 5, se tiene que la resistencia f'c probable será:

4.2.2.1 Para diamante por contenido de cemento:

$$R_{28} = 1.006 * ((84 + 147) * .5 + 2.1 * (147 - 84)) = 249.30 \text{ kg/cm}^2.$$

4.2.2.2 Para diamante por relación agua / cemento:

$$R_{28} = 1.037 * ((84 + 147) * .5 + 2.1 * (147 - 84)) = 256.97 \text{ kg/cm}^2.$$

$\text{Promedio} = (249.30 + 256.96) / 2 = 253.14 \text{ kg/cm}^2$
--

[?] Nueva formula para la predicción de resistencia del concreto a los 28 días.1992. Escuela Colombiana de Ingeniería Sergio Garavito. Bogotá.

^{??} Manual integrado de diseño y construcción.

4.2.2.3 Para Samper por contenido de cemento:

$$R_{28} = 1.012 * ((84 + 147) * .5 + 2.1 * (147 - 84)) = 250.77 \text{ kg/cm}^2.$$

4.2.2.4 Para Samper por relación agua / cemento:

$$R_{28} = 1.058 * ((84 + 147) * .5 + 2.1 * (147 - 84)) = 262.17 \text{ kg/cm}^2.$$

$\text{Promedio} = (250.77 + 262.17) / 2 = 256.50 \text{ kg/cm}^2$
--

Se opta por el cemento Samper de mejor comportamiento probable a los 28 días.

4.3 ELECCION DE LOS AGREGADOS

Los agregados conforman el esqueleto granular del hormigón y son el elemento mayoritario ya que representan el 80% del peso total de hormigón, por lo que son responsables de gran parte de las características del mismo. Norma Icontec (174). La pasta cementicia (mezcla de cemento y agua) es el material activo dentro de la masa de hormigón y como tal es en gran medida responsable de la resistencia, variaciones volumétricas y durabilidad del hormigón.

Es la matriz que une los elementos del esqueleto granular entre sí. Cada elemento tiene su rol dentro de la masa de hormigón y su proporción en la mezcla es clave para lograr las propiedades deseadas como trabajabilidad, resistencia, durabilidad y economía. Pero hay un límite en el contenido de agregado grueso dado por la trabajabilidad del hormigón. Si la cantidad de agregados gruesos es excesiva la mezcla se volverá difícil de trabajar y habrá una tendencia del agregado grueso a separarse del mortero (segregación). En el hormigón fresco, la pasta cementicia tiene la función de lubricar las partículas del agregado, permitiendo la movilidad de la mezcla. En este aspecto también colabora el agregado fino.

La arena debe estar presente en una cantidad mínima que permita una buena trabajabilidad y brinde cohesión a la mezcla. Pero no debe estar en exceso porque perjudicará la resistencia. Se debe optimizar la proporción de cada material de forma tal que se logren las propiedades deseadas al mismo costo.

Las variaciones en la gradación pueden afectar seriamente la uniformidad del concreto de una mezcla a otra. Las arenas muy finas son generalmente más costosas y las arenas más gruesas pueden producir mezclas más ásperas y poco manejables. En general se tomaron los agregados que no tengan una gran

deficiencia o exceso de cualquier tamaño y den una curva granulométrica pareja que produzca los mejores resultados.

La importancia de la granulometría de los agregados totales en el hormigón se debe a que por razones de economía, mayor resistencia y mayor estabilidad volumétrica; es conveniente que los agregados ocupen la mayor masa del hormigón, compatible con la trabajabilidad. Esto se logra tratando que la mezcla de agregados sea lo más compacta posible, es decir, que la cantidad de huecos dejada por los agregados sea la mínima; o sea, conseguir la máxima "compacidad". El tener una distribución por tamaños adecuada hace que los huecos dejados por las piedras más grandes sean ocupados por las del tamaño siguiente y así sucesivamente hasta llegar a la arena, donde sus diferentes tamaños de granos harán lo propio.

Para esto las granulometrías deben ser "continuas", es decir que no debe faltar ningún tamaño intermedio de partícula. La pasta cementante debe recubrir todas las partículas de agregado para "lubricarlas" cuando el hormigón está fresco y para unir las cuando el hormigón está endurecido. Por lo tanto, cuanto mayor sea la superficie de los agregados mayor será la cantidad de pasta necesaria. El contenido de finos o polvo no se refiere al contenido de arena fina ni a la cantidad de piedras de tamaño menor, sino a la suciedad que presentan los agregados (tamaños inferiores a 0,075 mm).

El contenido de finos es importante por dos aspectos:

4.3.1 Mayor suciedad habrá mayor demanda de agua, ya que aumenta la superficie a mojar y por lo tanto también aumentará el contenido de cemento si se quiere mantener constante la relación agua / cemento.

4.3.2 Así el polvo está finamente adherido a los agregados, impide una buena unión con la pasta y por lo tanto la interfase mortero-agregado será una zona débil por donde se puede originar la rotura del hormigón.

Es difícil de apreciar a simple vista si las arenas tienen finos, pero se puede evaluar cualitativamente observando los acopios, pueden notarse en su superficie costras duras originadas por el desecamiento de estos finos o también haciendo una prueba consistente en colocar un poco de arena en un recipiente traslúcido con agua, agitar enérgicamente y dejar reposar un par de minutos. Si la arena está sucia se diferenciará claramente en el fondo del recipiente el depósito de arena y sobre éste, el de material fino.

4.3.3 La absorción. La absorción del árido es la humedad del agregado cuando

tiene todos sus poros saturados pero la superficie del mismo está seca. Es en esta condición como se hacen los cálculos de dosificación para elaborar hormigón. Si la piedra o arena tiene una humedad inferior a la absorción, se debe agregar más agua al hormigón para compensar lo que absorben los agregados. Por el contrario, si la humedad está por encima de la absorción, el agua a agregar al hormigón será menor, ya que los agregados aportarán agua.

En el caso de las arenas dosificadas en volumen, se suma el inconveniente que las arenas ocupan diferentes volúmenes de acuerdo a la humedad, por un fenómeno denominado esponjosidad. Este fenómeno hace que una arena de río con 5-7% de humedad incremente su volumen en un 25% respecto de la misma arena en estado seco. Se debe ajustar la cantidad de agua a agregar al hormigón teniendo en cuenta la humedad de los agregados en el momento de elaborar el hormigón, si la humedad es alta, aumentará la relación agua-cemento y caerán las resistencias, si es baja, no se logrará la trabajabilidad deseada.

Las mezclas de granulometría discontinua deberían ser utilizadas solamente en casos especiales donde se apunta a ventajas específicas, como por ejemplo un mejor comportamiento al bombeo. Cualquiera sea el tipo de material utilizado, sus partículas deben ser duras y resistentes, ya que el hormigón, como cualquier otro material se romperá por su elemento más débil. Si el agregado es de mala calidad sus partículas se romperán antes que la pasta cementante o el mortero.

La granulometría del agregado fino más conveniente dependerá del tipo de trabajo, riqueza de la mezcla y el tamaño del agregado grueso. Se tiene en cuenta, que el árido fino que tenga más del 45% retenido entre dos tamices consecutivos y que el módulo de finura no sea menor de **2.4, ni mayor de 3.1**.

En consecuencia, el agregado fino escogido de acuerdo a estas características será de las *Minas de Jongovito* y agregado grueso *Mina Calderón*, materiales que se ajustan a estas condiciones y porque sus características físicas coayudan a las condiciones finales del concreto, por sus buenos resultados en estudios anteriores⁷ y por los ensayos de laboratorios realizados en la Universidad de Nariño.

4.4 ELECCIÓN DEL ASERRÍN

Los materiales orgánicos no convencionales, incluyen desperdicios de aserrín que son subproductos del cepillado y canteado de la madera y cuya fuente de origen es de las maderas denominada achapo, granadillo, cedro y amarillo, entre otras;

* Estudio de las características físicas de los agregados para concreto. 1990. Universidad de Nariño.

material que es pasante del tamiz #4. El aserrín se compone en gran parte de celulosa, azúcares solubles, ácidos, aceites, resinas, ceras y otras sustancias orgánicas en distintos grados, de acuerdo con la naturaleza del tronco del cual se obtuvo. Algunos de estos aserrines tienen un efecto determinado sobre el fraguado y el endurecimiento del cemento.

4.4.1 Pre-tratamientos del aserrín. Sobre los métodos de pretratamiento del aserrín pueden agruparse los tratamientos en donde intervenga una oxidación parcial de la madera. (Incluyendo una carbonización parcial), la impermeabilización la madera y previniendo la acción solvente, impermeabilización con álcali, para precipitar los tonatos, o para tratar con sulfatos. Como adjunto de cualquiera de los anteriores, hay un tratamiento del cemento para acelerar el fraguado, esto es, para originar que el mecanismo del fraguado se inicie antes de que la solución de ingredientes dañinos en la madera haya alcanzado una etapa en la cual el cemento se afecte. La mayoría de los aserrines son producto de maderas suaves, que son compatibles con el cemento, si se usa como aglutinante una mezcla de cemento y cal.

La aplicación de los morteros mixtos es una base para la mejora de la calidad, sin que ello implique un excesivo contenido de cemento, pues ello garantiza una plasticidad y mejor adherencia. Dicha mezcla se hace en seco y se adiciona posteriormente a la mezcla total del concreto. Este último tratamiento se toma como base para la realización del presente estudio.

4.5 CAL

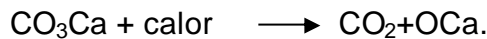
4.5.1 Definición de cal. Es un producto resultante de la descomposición de las rocas calizas por la acción del calor. Estas rocas calentadas a más de 900° C producen el óxido de calcio, conocido con el nombre de cal viva, producto sólido de color blanco: Esta cal viva puesta en contacto con el agua se hidrata, (apagado de la cal) con desprendimiento de calor, obteniéndose una pasta blanda que amasada con agua y arena se confecciona el mortero de cal, empleado en exteriores. Esta pasta limada se emplea también en imprimación o pintado de paredes y techos de edificios y cubiertas.

4.2.5.1 Obtención de la cal

Se puede obtener mediante las fases siguientes:

- ✍ Extracción de la roca: El arranque de la piedra caliza puede realizarse a cielo abierto o en galería y por distintos medios, según la disposición del frente. Los bloques obtenidos se fragmentan para facilitar la cocción.

- ✍ Cocción o calcinación. El carbonato de calcio (CO_2Ca), componente principal de las calizas, al someterlo a la acción del calor se descompone en anhídrido carbónico y óxido de calcio o cal viva, produciéndose la reacción química:



Para lograr la reacción de descomposición es necesario que la temperatura del horno sea superior a 900°C .

- ✍ Apagado de la cal. El óxido cálcico, o cal viva, no se puede emplear en la construcción de forma directa: Es necesario hidratarla. Para ello, se la pone en contacto con el agua, operación que se llama apagado de la cal. Esta operación se puede efectuar por uno de los métodos siguientes:

- ✍ Por aspersión. Se extienden los terrones de cal viva sobre una superficie plana; seguidamente, se les riega con una cantidad de agua que oscile entre un 25% y un 50% con relación al peso; se cubren con arpilleras o capas de arena, para que se efectúe un apagado lento y completo, obteniendo cal en polvo.

- ✍ Por inmersión. Se reducen los terrones de cal al tamaño de grava. Esa grava se coloca en unos cestos de mimbre o de otro material y se introducen en agua, durante 1 minuto aproximadamente. A continuación, se vierten en un sitio preservado de corrientes de aire, donde la cal se va convirtiendo en polvo, a medida que se forma el apagado.

- ✍ Por fusión. Se introducen los terrones de cal en unos depósitos o recipientes que, a continuación, se llenan de agua. Cuando se ha efectuado el apagado, se obtiene una pasta blanda y untuosa, lo cual se cubre con una capa de arena para evitar su carbonatación.

4.5.2 Clases de cal. Las rocas calizas casi nunca se encuentran puras (CO_3Ca) en la naturaleza, sino que van acompañadas de materias orgánicas, arcilla u óxidos, impurezas que, al no volatilizarse en el proceso de calcinación, comunican a la cal distintas propiedades.

4.2.5.1 Cal aérea o grasa. Si la piedra caliza es pura o tiene un contenido máximo en arcilla de un 5%, produce una clase de cal muy blanca, que forma una pasta muy fina y untuosa cuando se apaga.

4.2.5.2 Cal magra o ácida. Si la cal no supera el 5% de la arcilla, pero contiene más de un 10% de magnesia (Óxido de magnesio, sustancia terrosa, etc.), se tiene una cal de características ácidas. La pasta que se forma al mezclarla con agua es de color grisáceo. Esta cal no se emplea en construcción, porque la pasta se disgrega al secarse.

La Cal comercial es apagada, material que se utilizó del comercio local en representaciones de 10 kilogramos por bulto, marca promical.

5. METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE LA MEZCLA EN CONCRETO SIMPLE CON ADICIÓN DE ASERRÍN, CAL Y CEMENTO

5.1 DOSIFICACION DE LA MEZCLA

El objetivo de la dosificación de hormigones es determinar la combinación más práctica y económica de los agregados disponibles, cemento y agua, con el fin de producir una mezcla con el grado requerido de manejabilidad, que al endurecer a la velocidad apropiada adquiera las características de resistencia y durabilidad necesaria para el tipo de construcción en que habrá de utilizarse.

Estas proporciones son particulares de cada obra o parte de obra, pero generalmente corresponden a las que se señalan en la siguiente tabla:

Tabla 5. Condiciones esperadas de un hormigón

Tipo de condición	Características relacionadas	Parámetros condicionantes
Condiciones de diseño	Resistencia	Tipo de cemento Razón agua / cemento
Condiciones de uso en Obra	Docilidad Fluidez Consistencia Características elemento	Dosis de agua Granulometría Tamaño máximo
Condiciones de Durabilidad	Condiciones ambientales Ataques agresivos	Tipo de cemento Uso aditivos Dosis mínima cemento

Fuente: Instituto colombiano de productores de cemento (I.C.P.C.)

5.2 DETERMINACIÓN DE LAS CONDICIONES DE PARTIDA DE LA DOSIFICACIÓN

La primera condición debe ser definida por las características sobre la base de las siguientes premisas:

5.2.1 Tipo de cemento.

Queda definido básicamente sobre el hormigón Cemento Tipo I.

5.2.2 Métodos de dosificación. La forma de determinación de las restantes condiciones de partida constituye uno de los objetivos básicos de los métodos de dosificación, lo cual se efectúan basándose en las propiedades generales del hormigón en estado fresco y endurecido, para luego definir un procedimiento de cálculo de las cantidades de los materiales componentes. La tecnología del hormigón ha desarrollado numerosos métodos de dosificación, basados en distintos criterios como los del I.C.P.C. y el A.C.I.

5.2.3 Desarrollo de métodos de dosificación

El diseño de una mezcla es un proceso que consiste en tres pasos interrelacionados:

5.2.3.1 Selección de los constituyentes del hormigón.

5.2.3.2 Determinación de sus cantidades relativas para producir, lo más económicamente posible, un hormigón de las características apropiadas, tanto en estado fresco como endurecido.

5.2.3.3 Ajuste de las cantidades estimadas mediante el ensayo de cilindros.

Aunque muchas de las propiedades de los hormigones son importantes, la mayoría de los métodos están dirigidos a la obtención de cierta resistencia a la compresión con una consistencia determinada. Se asume que, si esto se logra con éxito y el hormigón está bien especificado, las otras propiedades también serán satisfactorias.

5.3 ECONOMIA

El costo de un hormigón está constituido por el costo de los materiales, el costo de la mano de obra y el costo del equipo. Sin embargo, con excepción de algunos hormigones o procesos especiales, los dos últimos aspectos son prácticamente independientes de la calidad del hormigón producido. Por lo tanto, es razonable asociar la economía a la reducción del costo de los materiales componentes.

Dado que el cemento es más costoso que los agregados, por lo general, la mezcla más económica será aquella con menor contenido de cemento sin sacrificar la calidad del hormigón. El costo relativo entre las distintas fracciones de agregado también debe tenerse en cuenta y, como esto cambia entre las distintas regiones, la mezcla más económica que satisfaga los requerimientos será distinta en cada

caso. La reducción de la cantidad de cemento (conterido unitario de cemento) tiene otras ventajas adicionales: menor contracción y menor calor de hidratación. Sin embargo, si el contenido unitario de cemento es muy bajo, pueden verse comprometidas la trabajabilidad, la durabilidad y la resistencia a corto plazo.

5.4 TRABAJABILIDAD

Sin duda, una mezcla bien diseñada debe ser capaz de ser mezclada, transportada, colocada y compactada con el equipamiento disponible. La aptitud de la mezcla para que tenga una correcta terminación también es un factor a tener en cuenta, debiendo minimizarse la exudación y la segregación. La consistencia del hormigón fresco es una medida de su resistencia a fluir o ser deformado. El ensayo más difundido para medir esta propiedad es el ensayo del Cono de Abrahams (Norma ICONTEC 396), que mide el asentamiento de un tronco de cono moldeado con el hormigón fresco. A mayor asentamiento, mayor fluidez (menor consistencia) de la mezcla. Como regla general, el hormigón debe suministrarse con el mínimo asentamiento que permita una correcta colocación. A demanda de agua, para una consistencia determinada, depende fuertemente de las características de los agregados, siendo la influencia del tipo y cantidad de cemento de segundo orden.

5.5 RESISTENCIA Y DURABILIDAD

En general, las especificaciones de hormigón exigen una resistencia determinada a la compresión a 28 días Norma Icontec (673), aunque no necesariamente es la condición dominante. Las especificaciones pueden imponer limitaciones a la relación a/c máxima admisible y al contenido unitario mínimo de cemento. Es importante asegurarse la compatibilidad entre estas condiciones para hacer un uso óptimo de las propiedades efectivas que tendrá el hormigón.

5.6 DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA OBTENIDA EN LABORATORIO

Se parte del cálculo de las características físicas de los agregados y A.N.C y otras propiedades como absorción, humedad, que se resumen en el cuadro siguiente.

5.6.1 Selección del Asentamiento y tamaño máximo del agregado grueso. Se escoge un valor apropiado de tal manera que garantice una mínima consistencia que permita una colocación eficiente. Se toma el valor de 5 centímetros de acuerdo a la tabla 1. Así mismo, de acuerdo a la granulometría obtenida en laboratorio se tiene que el tamaño máximo del agregado grueso es de 1”

Cuadro 1. Características físicas de los materiales obtenidos en laboratorio

MATERIAL	DENSIDAD APARENTE SECA. Kg/m ³	% DE ABSORCION	HUMEDAD NATURAL	MODULO DE FINURA	TAMAÑO MAXIMO	MASA UNIT. SUELTA Kg/m ³
ARENA	2340	2.94	4.1	2.54	-	1400
TRITURADO	2670	2.11	5.0	-	1"	1430
CAL	2360	-	0.44	Pasante tamiz #4	-	670
ASERRIN	980	-	5.79	-	-	280
CEMENTO	3140	-	-	-	-	1210

5.6.2 Estimación del contenido de agua. Para determinar el contenido de agua, se parte de dos factores, el primero de ellos es el asentamiento y el segundo es el tamaño del agregado grueso. Se acude a la tabla No. 3 (ver anexos), y determinamos que el valor es **180 kg/m³**.

5.6.3 Determinación de la resistencia de diseño. El concreto debe dosificarse y producirse para asegurar una resistencia a la compresión promedio lo suficientemente alta para minimizar la frecuencia de resultados por de prueba de resistencia por debajo del valor de la resistencia a la compresión especificada del concreto $f'c$.

Coficiente de modificación para N=20: (NRS-98): 1.08.

$V \cdot \text{coef} = 11 \cdot 1.08 = 11.9\%$.

De la figura 2:(I.C.P.C): $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y 11.9%, entonces: $f'cr = 250 \text{ kg/cm}^2$.

5.6.4 Selección agua /cemento. La relación agua / cemento requerida se determina no sólo por los requisitos de resistencia, sino también por los factores de cómo durabilidad y propiedades para el acabado. Considerando una resistencia a la compresión a los 28 días de 210 kg/cm^2 y tomando él limite máximo (A.C.I); Se tiene una relación agua / cemento de **0.60**.

5.6.5 Cálculo del contenido del cemento. El contenido de cemento se realiza de acuerdo a las determinaciones hechas en los puntos 3 y 4. De donde $C = 180/0.60 = 300 \text{ kg/m}^3$.

5.6.6 Estimación del contenido del agregado grueso. Se obtiene del volumen absoluto de agregado grueso por volumen unitario de concreto que se obtiene multiplicando el volumen seco y compactado por la relación entre la masa unitaria compactada y la densidad aparente seca del agregado. Ver anexo y entrando con los valores de tamaño máximo del agregado grueso y módulo de finura del agregado fino.

$$b/b_0 = 0.69.$$

$b = 0.69 \cdot (1430/2670) = 0.37 \text{ m}^3$, que es el volumen absoluto de agregado grueso por volumen unitario de concreto.

5.6.7 Estimación del contenido del agregado fino. Esta cantidad se determina por la diferencia entre el volumen total de la mezcla (un metro cúbico) y la suma de los volúmenes de cemento, agua y agregado grueso. Para facilitar el cálculo de las proporciones y los ajustes posteriores, el contenido de agregado fino se expresa en porcentaje con respecto al volumen total de agregados (V_{tag}).

$$V_{tag} = 1000 - 180 - (300/3.14) = 724.46 \text{ dm}^3.$$

5.6.7.1 Determinación del % de arena

$$\% \text{ de Arena: } Par = (724.46 - (1000 \cdot 0.37)) / 724.46 = 48.93\% \text{ o } 354.5 \text{ dm}^3.$$

Se establecen entonces dos consideraciones intrínsecas; reducir para el experimento el porcentaje de agregado fino en un 10% y 30% para agregado grueso, con el propósito de conocer experimentalmente el comportamiento mecánico del concreto bajo estas dos situaciones y reemplazar estas reducciones por un agregado no convencional.

5.7 DOSIFICACIÓN DE AGREGADOS PARA CONCRETOS TRADICIONAL

5.7.1 Cálculos para Concreto Tradicional

$$\text{Vol. Abs. Agregados} = 724.46 \text{ dm}^3.$$

$$G_{\text{promedio}} = 100 / ((48.93/2.34) + (51.07/2.67)) = 100/40.04 = 2.50 \text{ Kg por dm}^3 \text{ de concreto.}$$

$$\text{Peso del agregado: } 724.46 \text{ dm}^3 \cdot 2.50 \text{ Kg /dm}^3 = 1811.15 \text{ Kg por metro cúbico de concreto.}$$

$$\text{Peso del agregado fino: } 1811.15 \text{ Kg} \cdot 0.4893 = 886.20 \text{ Kg por metro cúbico de concreto.}$$

$$\text{Peso del agregado grueso: } 1811.15 \text{ Kg} \cdot 0.5107 = 924.95 \text{ Kg por metro cúbico de concreto.}$$

5.7.2 Cálculos para la dosificación por peso seco

5.7.2.1 Volúmenes absolutos para cada uno de los materiales.

Cemento: $300 \text{ Kg} / 3140 \text{ Kg/ m}^3 = 0.09554 \text{ m}^3 = 95.54 \text{ dm}^3$
 Agregado fino: $886.20 \text{ Kg} / 2340 = 0.37872 \text{ m}^3 = 378.72 \text{ dm}^3$.
 Agregado grueso: $924.95 \text{ Kg} / 2670 = 0.34642 \text{ m}^3 = 346.42 \text{ dm}^3$.

5.7.2.2 Proporciones en peso seco.

Agregado fino: $886.20/300 = 2.95$
 Agregado grueso: $924.95/300 = 3.08$.
 Cemento: $300/300 = 1$: Agua: $180/300 = 0.60$.

5.7.2.3 Proporciones por volumen suelto.

Agregado fino: $378.72 * 2.34 / 1.40 = 633. / 300 = 2.11$
 Agregado grueso: $346.42 * 2.67 / 1.43 = 646.81 / 300 = 2.16$.

Cuadro 2. Proporciones concreto tradicional sin ajuste por agua

DESCRIPCION	AGUA	CEMENTO	AG. FINO	AG. GRUESO	SUMA
Peso material (Kg/ m ³ de concreto)	180	300	886.20	924.95	2290.65
Vol. Abs. Material (dm ³ / m ³ de cto).	180	95.54	378.72	346.42	1000
Proporción por peso seco.	0.60	1	2.95	3.08	
Proporción por volumen suelto. dm ³ / kg de cemento	0.60	1	2.11	2.16	

Cuadro 3. Proporciones concreto tradicional ajustado por agua

DESCRIPCION	AGUA	CEMENTO	AG. FINO	AG. GRUESO	SUMA
Peso material (Kg/ m ³ de concreto)	180	312.5	871.34	939.81	2303.65
Vol. Abs. Material (dm ³ / m ³ de cto).	180	99.52	372.38	351.99	1000
Proporción por peso seco.	0.60	1	2.79	3.01	
Proporción por volumen suelto. dm ³ /kg de cemento	0.60	1	2.00	2.10	

5.7.2 Proporciones ajustada por compacidad

C_c : coeficiente de compacidad.

$C_c = \text{Vol. Abs. Cemento} + \text{Vol. Abs. Arena} + \text{Vol. Abs. Grava} / 1000$.

$C_c = 99.52 + 372.38 + 351.99 = 823.89 / 1000 = 0.82389$.

Por la naturaleza de los agregados, de como hayan sido extraídos, se debe hacer una corrección, ya que la arena es de mina y la grava de trituración; se determina una corrección de -0.010, que se debe restar a la compacidad teórica calculada, considerando la eficacia de compactación y consistencia de la mezcla obtenida en laboratorio.

Reemplazando en la ecuación A.

$C_{cr} = 0.82389 - 0.01 = 0.81$.

$V_{tag} = 1000 * 0.81 - (312.5 / 3.14) = 710.48 \text{ Kg} / \text{m}^3 \text{ de concreto}$.

Volumen de agregado fino: $710.48 - 370 = 340.48 \text{ dm}^3$.

% Arena: $340.48 / 710.48 = 47.92$; % Grava: $370 / 710.48 = 52.07$.

Gpromedio: $100 / ((47.92 / 2.34) + (52.07 / 2.67)) = 2.50 \text{ Kg por dm}^3 \text{ de concreto}$.

Peso del Agregado total: $710.48 * 2.50 = 1776.20 \text{ Kg por m}^3 \text{ de concreto}$.

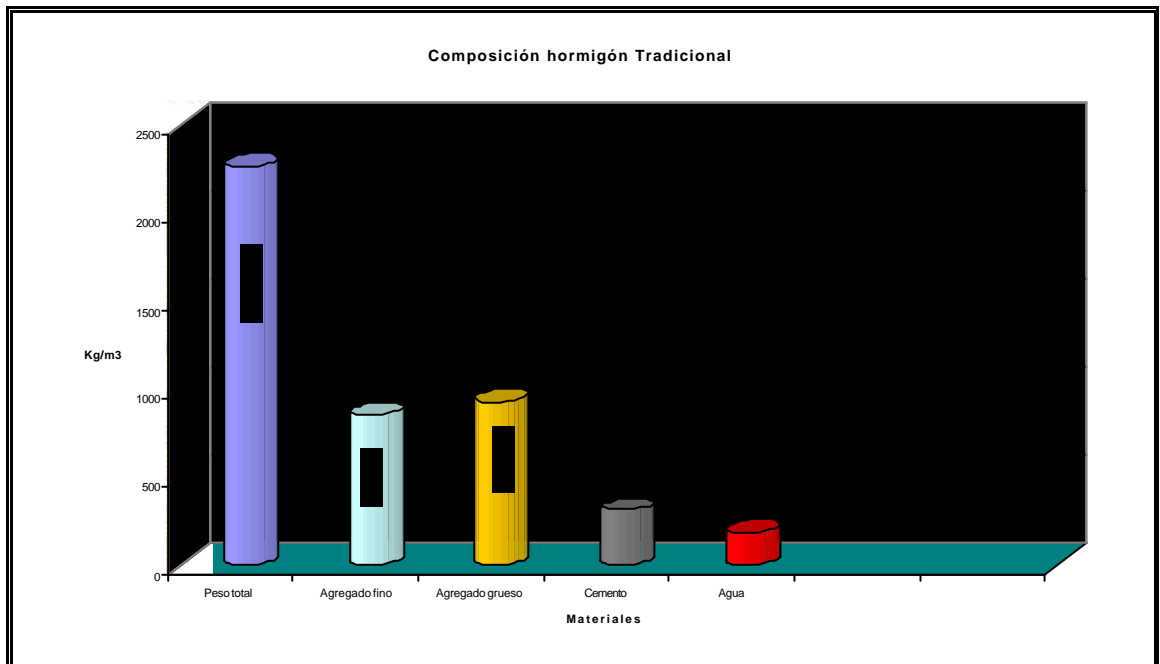
Peso del Agregado fino: $1776.20 * 0.4792 = 851.16 \text{ Kg por m}^3 \text{ de concreto}$.

Peso del Agregado grueso: $1776.20 * 0.5207 = 924.87 \text{ Kg por m}^3 \text{ de concreto}$.

Cuadro 4. Proporciones concreto tradicional ajustado por compacidad

DESCRIPCION	AGUA	CEMENTO	AG. FINO	AG. GRUESO	SUMA
Peso material (Kg/ m ³ de concreto)	180	312.5	851.16	924.87	2268.52
Vol. Abs. Material (dm ³ / m ³ de cto).	180	99.52	363.74	346.40	989.70
Proporción por peso seco.	0.60	1	2.72	2.96	
Proporción por volumen suelto. dm ³ /kg de cemento	0.60	1	1.94	2.07	

Figura 1. Composición del hormigón tradicional en kg/m³



5.8 DOSIFICACIÓN PARA CONCRETO CON ADICIÓN DE ASERRÍN

Volumen total de agregados (V_{tag}): 724.46 dm^3 .
Volumen agregado grueso: 370 dm^3 .
Volumen agregado fino: 354.5 dm^3 .

De acuerdo a la condición de reducción para los agregados fino y grueso expuesta en el punto 5.6.7.1, se tiene:

Volumen arena: $354.5 \text{ dm}^3 \cdot 0.90 = 319.05 \text{ dm}^3$.
Volumen grava: $370 \text{ dm}^3 \cdot 0.70 = 259 \text{ dm}^3$.
 $V_{tag} = 724.46 \text{ dm}^3 = V_{arena} + V_{grava} + V_{anc}$.
 $V_{a.n.c} = 724.46 \text{ dm}^3 - 319.05 \text{ dm}^3 - 259 \text{ dm}^3 = 146.41 \text{ dm}^3$.
% Arena: $319.05/724.46 = 44.04\%$.
% Grava: $259/724.46 = 35.75\%$.
% A.N.C: $146.41/724.46 = 20.21\%$.

Al reducir el porcentaje de agregado fino y grueso, hay un volumen que debe ser ocupado por el agregado no convencional.

Así mismo, se determina que los porcentajes más convenientes de los componentes del agregado no convencional para lograr un producto homogéneo son:

Para A.N.C:

1. Cal: $146.41 \text{ dm}^3 \cdot 0.20 = 29.28 \text{ dm}^3$ (4.04%).
2. Aserrín: $146.41 \text{ dm}^3 \cdot 0.60 = 87.85 \text{ dm}^3$ (12.13%).
3. Cemento: $146.41 \text{ dm}^3 \cdot 0.20 = 29.28 \text{ dm}^3$ (4.04%).

$G_{promedio1} = 100 / ((44.04/2.34) + (35.75/2.67) + (4.04/3.14) + (12.13/0.98) + (4.04/2.36)) = 100/47.59 = 2.10 \text{ Kg por dm}^3 \text{ de concreto}$.

Peso del agregado: $724.46 \text{ dm}^3 \cdot 2.10 \text{ Kg /dm}^3 = 1521.37 \text{ Kg por metro cúbico de concreto}$.

Peso del agregado fino: $1521.37 \text{ Kg} \cdot 0.4404 = 670.01 \text{ Kg por metro cúbico de concreto}$.

Peso del agregado grueso: $1521.37 \text{ Kg} \cdot 0.3575 = 543.89 \text{ Kg por metro cúbico de concreto}$.

Peso del agregado no convencional: (A.N.C): $1521.37 \text{ Kg} \cdot 0.2021 = 307.47 \text{ Kg por metro cúbico de concreto}$.

Cuadro 5. Proporciones del concreto con adición de aserrín sin ajustar.

DESCRIPCION	AGUA	CEMENTO	AG. FINO	A.N.C	AG. GRUESO	SUMA
Peso material (Kg/ m ³ de concreto) Vol. Abs.	180	300	670.01	307.47	543.89	2001.37
Material (dm ³ / m ³ de cto).	180	95.54	286.33	19.58 (1) 26.06 (2) 188.25 (3)	203.70	1000
Proporción por peso seco.	0.60	1	2.23	1.02	1.81	
Proporción por volumen suelto. dm ³ / kg de cemento	0.60	1	1.59	2.66	1.27	

Nota: El Volumen Suelto de los Agregados = Volumen Absoluto(W. Especifico / W. Unitario Suelto).*

1. Valor correspondiente al cemento.
2. Valor correspondiente a la cal.
3. Valor correspondiente al aserrín.

Cuadro 6. Ajuste de la mezcla para su preparación en laboratorio

Material	PESO SECO	PESO HUMEDO	AGUA AGREGADOS	ABSORCION	AGUA LIBRE	APORTE
Arena	22.3	23.21	0.91	0.65	0.26	-
Triturado	18.1	19.01	0.91	0.38	0.53	-
Cal	3.10	3.11	0.01	-	0.01	
Aserrín	21.9	23.17	1.27	-	1.27	
Cemento	1.70	-	-	-	-	
TOTAL						2.07

Nota: Todas las medidas en kilogramos.

5.8.1 Preparación de la mezcla de prueba

No. de probetas *volumen probeta *contenido de cemento

$6 * 0.0055 * 300 = 10$ kilogramos de cemento.

Agua en la mezcla para 6 cilindros: $180 * 0.0055 * 6 = 5.94 - 2.07 = 3.87$ Kg

$A/C1 = 3.87 / 10 = 0.39$

Contenido de cemento: $C1 = 1000 / (1000 / 300 + 0.39 - 0.60) = 320$ kg/m³

Nueva proporción ajustada: $(1000/320)-0.318-0.60= 2.21$
 Proporción de agregados sin ajustar: $724.46/300=2.41$
 % de Arena: $(1-(300*2.41/320*2.21))*(100-44.04)= -1.25$
 % Arena ajustada: $44.04-1.25= 42.79 \%$.
 % Arena en el volumen total de agregados: $310/724.46= 42.79\%$
 %Grava en el volumen total de agregados: $290.12/724.46= 40.05\%$
 %A.N.C en el volumen total de agregados: $124.32/724.46=17.16\%$

Para A.N.C: 1. Cal: $124.32 \text{ dm}^3 * 0.20= 24.86 \text{ dm}^3$ (3.43%).
 2. Aserrín: $124.32 \text{ dm}^3 * 0.60=74.60 \text{ dm}^3$ (10.30%).
 3. Cemento: $124.32 \text{ dm}^3 * 0.20=24.86 \text{ dm}^3$ (3.43%).

$G_{\text{promedio1}} = 100/((42.79/2.34)+(40.05/2.67)+(3.43/3.14)+(3.43/2.36)+(10.30/0.98))=$
 $100/46.55= 2.15 \text{ Kg por dm}^3$ de concreto.
 Peso del agregado: $724.46 \text{ dm}^3 * 2.15 \text{ Kg /dm}^3 = 1557.59 \text{ Kg}$ por metro cúbico de concreto.
 Peso del agregado fino: $1557.59 \text{ Kg} * 0.4279= 666.50 \text{ Kg}$ por metro cúbico de concreto.
 Peso del agregado grueso: $1557.59 \text{ Kg} * 0.4005=623.81 \text{ Kg}$ por metro cúbico de concreto.
 Peso del agregado no convencional: (A.N.C): $1557.59 \text{ Kg} * 0.1716= 267.28 \text{ Kg}$ por metro cúbico de concreto.

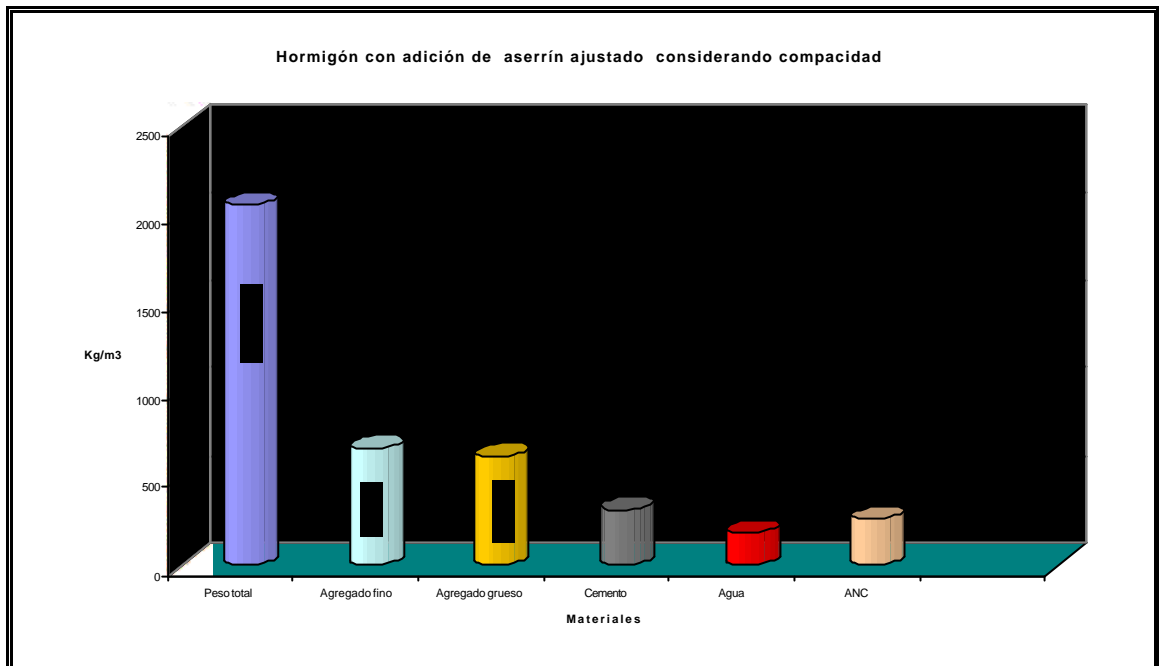
Cuadro 7. Proporciones concreto con adición de aserrín, ajustado por agua

DESCRIPCION	AGUA	CEMENTO	AG. FINO	A.N.C	AG. GRUESO	SUMA
Peso material (Kg/ m ³ de concreto) Vol. Abs.	180	320	666.50	267.28	623.81	2057.59
Material (dm ³ / m ³ de cto).	180	101.91	284.83	17.02 (1) 22.65 (2) 163.64(3)	233.64	1000
Proporción por peso seco.	0.60	1	2.08	0.84	1.95	
Proporción por volumen suelto. dm ³ /kg de cemento	0.60	1	1.49	2.18	1.36	

Nota: El Volumen Suelto de los Agregados =Volumen Absoluto(W. Especifico / W. Unitario Suelto).*

1. Valor correspondiente al cemento.
2. Valor correspondiente a la cal.
3. Valor correspondiente al aserrín.

Figura 2. Composición del hormigón con aserrín en kg/m³



5.8.2 Dosificación de Agregados considerando compacidad

5.8.2.1 Concreto con adición de aserrín

Volumen Abs. de Agregados :101.91+284.83+203.31+233.64=823.70 dm³.

Coefficiente de compacidad: ? = 823.70 dm³/1000 dm³=0.8237.

Corrección: 0.824-0.01= 0.814= 0.81.

? = **0.81**.

Volumen total de agregados: 1000*0.81-(3120/3.14)=708.09 dm³.

Volumen agregado fino: 708.09-370= 338.09 dm³.

De acuerdo a la condición de reducción para los agregados fino y grueso expuesta en el punto 7.1, se tiene:

1. Volumen de arena: 338.09 dm³*0.90= 304.28 dm³.
2. Volumen de grava:370 dm³*0.70=259 dm³.
3. Vtag= 708.09 dm³= Varena+Vgrava+Vanc.
4. Va.n.c= 708.09 dm³ -304.28 dm³ -259 dm³ = 144.81 dm³.
5. % Arena: 304.28 /708.09= 42.97%.
6. %Grava: 259 /708.09= 36.58%.
7. %A.N.C: 144.81 /708.09=20.45%.

- Para A.N.C:
1. Cal: $144.81 \text{ dm}^3 * 0.20 = 28.96 \text{ dm}^3$ (4.09%).
 2. Aserrín: $144.81 \text{ dm}^3 * 0.60 = 86.88 \text{ dm}^3$ (12.27%).
 3. Cemento: $144.81 \text{ dm}^3 * 0.20 = 28.96 \text{ dm}^3$ (4.09%).

$$G_{\text{promedio1}} = 100 / ((42.97/2.34) + (36.58/2.67) + (4.09/3.14) + (12.27/0.98) + (4.09/2.36)) = 100/47.60 = 2.10 \text{ Kg por } \text{dm}^3 \text{ de concreto.}$$

Peso del agregado: $708.09 \text{ dm}^3 * 2.10 \text{ Kg /dm}^3 = 1487 \text{ Kg}$ por metro cúbico de concreto.

Peso del agregado fino: $1487 \text{ Kg} * 0.4297 = 638.96 \text{ Kg}$ por metro cúbico de concreto.

Peso del agregado grueso: $1487 \text{ Kg} * 0.3658 = 543.94 \text{ Kg}$ por metro cúbico de concreto.

Peso del agregado no convencional: (A.N.C): $1487 \text{ Kg} * 0.2045 = 304.09 \text{ Kg}$ por metro cúbico de concreto.

Cuadro 8. Proporciones concreto con adición de aserrín, ajustado por compacidad

DESCRIPCION	AGUA	CEMENTO	AG. FINO	A.N.C	AG. GRUESO	SUMA
Peso material (Kg/ m ³ de concreto)	180	320	638.96	304.09	543.94	1987
Vol. Abs. Material (dm ³ / m ³ de cto).	180	101.91	273.06	19.37 (1) 25.77 (2) 186.20 (3)	203.72	990.03
Proporción por peso seco.	0.60	1	2.0	0.95	1.70	
Proporción por volumen suelto. dm ³ / kg de cemento.	0.60	1	1.43	2.48	1.20	

Nota: El Volumen Suelto de los Agregados = Volumen Absoluto(W. Especifico / W. Unitario Suelto).*

1 Valor correspondiente al cemento.

1. Valor correspondiente la cal.

2. Valor correspondiente al aserrín.

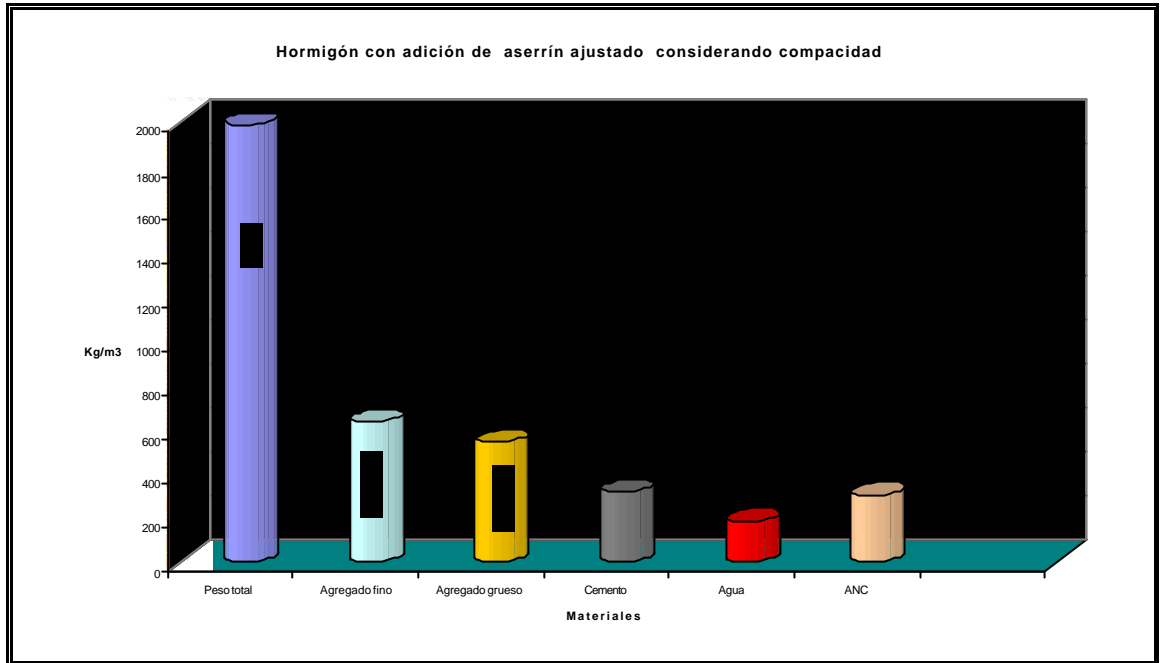
5.8.2.2 Dosificación por bulto de cemento (50 Kg)

Proporción en volumen suelto agregado fino: 1.43

Proporción en volumen suelto agregado grueso: 1.20

Proporción en volumen suelto A.N.C: 2.48

Figura 3. Composición concreto de aserrín con compacidad en kg/m³



Contenido de agregado fino:

$$1.43 \cdot 50 = 71.5 / 1400 = 0.05107 \cdot 1000 = 51.07 / 8.5 = 6 \text{ baldes.}$$

Contenido de agregado grueso:

$$1.20 \cdot 50 = 60 / 1430 = 0.04195 \cdot 1000 = 41.95 / 8.5 = 4.94 \text{ baldes.}$$

Contenido para A.N.C:

$$\text{Cemento: } 19.37 \cdot 3.14 / 1.21 = 50.26 \text{ dm}^3 / 320 \text{ Kg/ m}^3 = 0.157 \text{ m}^3.$$

$$0.157 \cdot 50 = 7.85 / 1210 = 0.006489 \cdot 1000 = 6.48 / 8.5 = 0.76 \text{ baldes.}$$

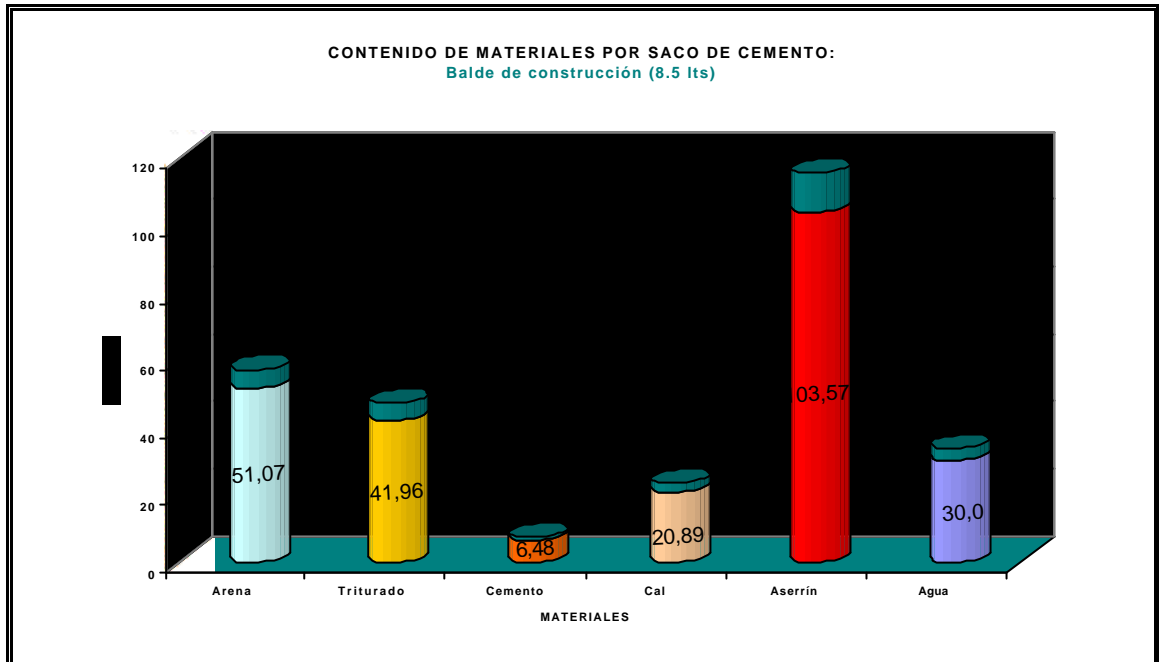
$$\text{Cal: } 25.77 \cdot 2.36 / 0.67 = 90.77 / 320 = 0.28 \text{ m}^3.$$

$$0.28 \cdot 50 = 14 / 670 = 0.02089 \cdot 1000 = 20.89 / 8.5 = 2.46 \text{ baldes.}$$

$$\text{Aserrín: } 2.03 \cdot 50 = 101.5 / 980 = 0.10357 \cdot 1000 = 103.57 / 8.5 = 12 \text{ baldes.}$$

$$0.601 \cdot 50 = 30.05 / 980 = 0.03066 \cdot 1000 = 30.66 / 8.5 = 3.60 \text{ baldes.}$$

Figura 4. Composición concreto de aserrín por saco de cemento, con compacidad en volumen suelto



La figura 4 permite trabajar en obra, considerando que en la mayoría de las construcciones se utiliza balde de construcción de 8.50 litros de capacidad, facilitando el manejo del material no convencional (aserrín, cal y cemento).

Este agregado A.N.C se debe mezclar en seco, es decir, se adiciona 2.5 baldes de cal y 12 baldes de aserrín, y se combina en conjunto, hasta obtener un mortero homogéneo y se adiciona finalmente un balde de cemento al mortero.

Como el material ensayado si demostró tener buenas capacidades de resistencias, también se puede optar por la producción por metro cúbico. Obsérvese que la adición de un agregado más liviano redujo en un 22% del volumen en la arena y 41% en el triturado, finalmente este aspecto no afectó la resistencia final del concreto a las edades de 3, 7, y 14 días, como se demostrará posteriormente en el análisis estadístico

Figura 5. Contenido de material por m³ de concreto

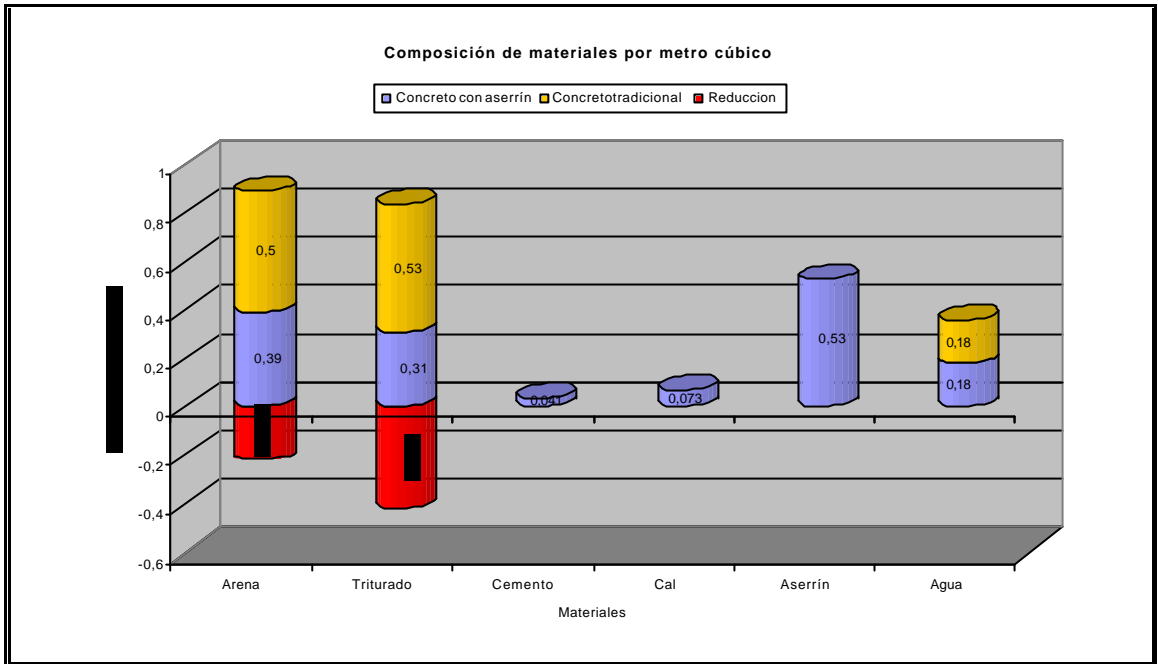
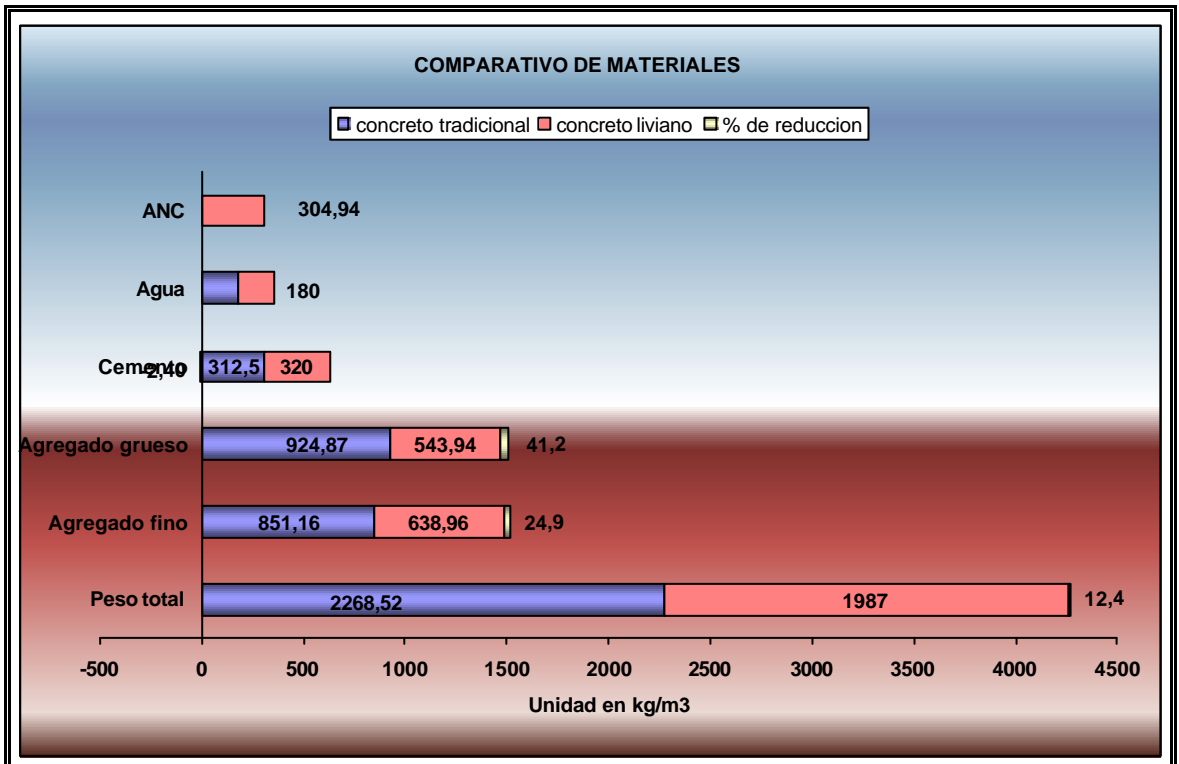


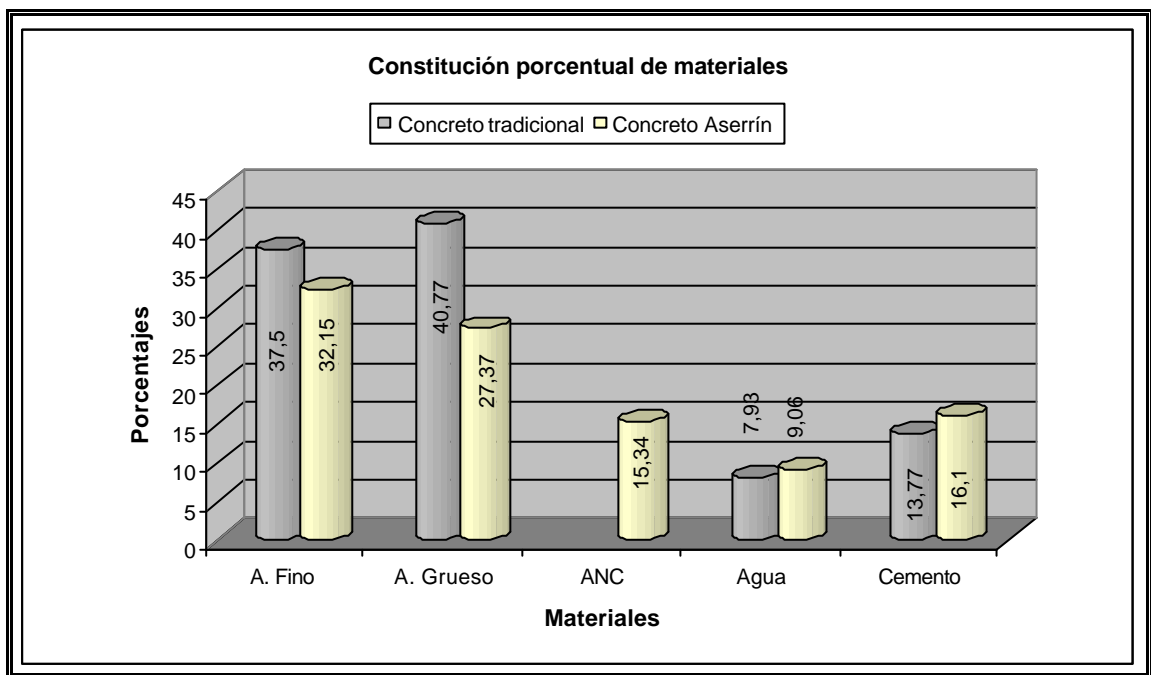
Figura 6. Comparativo de Concretos



Se logra por lo tanto reducir un 12.4% el peso total del material, considerando una reducción del 41 % del peso total del agregado grueso y un 25% del agregado fino, ello significa rebajar peso muerto en el material tradicional de hormigón en 281 kg/m³.

Obsérvese, la figura 7. que el A.N.C (aserrín, cal y cemento) representan el 16.10% del total del volumen del hormigón, si bien el cemento se vio aumentado 2.33%, no significa aumento de la cantidad de éste material, sino que es consecuencia de realizar la división entre un peso promedio de concreto con aserrín de menor valor. Aspecto que es representativo también en el agua. Ello también indica que el cemento aporta un 2.33% más de resistencia al conjunto hormigón.

Figura 7. Constitución porcentual de materiales



6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LAS MUESTRAS OBTENIDAS EN LABORATORIO

En el presente análisis se utilizaron en los ensayos de laboratorio dos tipos de camisas o probetas de sección 10*20 y 15*30 centímetros respectivamente, porque la granulometría del agregado grueso y fino permite la utilización de estas camisas.

Se determinará como base del presente experimento, valores de ensayos de resistencias en laboratorio a 3,7 y 14 días, en un total de 60 muestras, ensayando 20 probetas por cada edad, el análisis estadístico sugiere la utilización de medidas de tendencia central (media, desviación estándar, varianza, coeficiente de variación). La resistencia a los 28 días se proyecta con la fórmula experimental establecida en la Escuela Colombiana de Ingeniería Sergio Garavito. La norma NSR-98 capítulo C.5.6 (Evaluación y aceptación del concreto), párrafo C.5.6.1.4, establece que un ensayo debe ser el resultado del promedio de resistencia de dos cilindros tomados de una misma mezcla y ensayados a 28 días, o a la edad especificada en caso de que sea diferente a 28 días.

6.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE RESISTENCIAS

Para el análisis estadístico de los resultados de los ensayos de resistencia de una misma mezcla, se agrupa siguiendo una curva de distribución normal de frecuencias. Lo anterior ha conducido a la presentación de procedimientos estadísticos con base en los cuales se han fijado normas (NSR-98), respecto a la producción y aceptación de mezclas de concreto.

Tabla 6. Coeficiente (t) sin unidades que depende del porcentaje de resultados que se presenten por debajo de la resistencia media.

%	25	20	15	10	5	2.5	1	0.5
t	0.674	0.842	1.036	1.282	1.645	1.96	2.326	2.576

Fuente: Norma Sismo Resistente de Colombia NSR98.

Cuando el número de resultados es menor de 30, los valores de desviación estándar y coeficiente de variación no son enteramente confiables, y por lo tanto, con el fin de tener una mayor seguridad los valores de S (desviación estándar) y V (coeficiente de variación) deben ampliarse, la norma NSR-98, establece unos coeficientes de modificación para la desviación estándar o a la varianza de acuerdo a las siguientes tablas.

Tabla 7. Valores de coeficientes de variación y grado de uniformidad que puede esperarse en el concreto, bajo diferentes condiciones de producción

Coeficiente de variación V(%)	Uniformidad del concreto	Condiciones frecuentes en que se obtiene.
0 a 5	Excelente	Condiciones de laboratorio
5 a 10	Muy bueno	Preciso control de los materiales y dosificación por peso
10 a 15	Bueno	Buen control de los materiales y dosificación por peso
15 a 20	Mediano	Algún control de los materiales y dosificación por peso
20 a 25	Malo	Algún control de los materiales y dosificación por volumen
>25	Muy malo	Ningún control de los materiales y dosificación por volumen.

Fuente: : Norma Sismo Resistente de Colombia NSR-98.

Tabla 8. Valores de coeficientes de modificación cuando hay disponibles menos de 30 resultados

	Coeficiente
≥ 30	1.00
25	1.03
20	1.08
15	1.16

Fuente: : Norma Sismo Resistente de Colombia NSR-98.

Tabla 9. Resistencia promedio requerida a la compresión cuando no hay datos que permitan determinar la desviación estándar

$f'c$ (kg/cm ²)	$f'cr$ (kg/cm ²)
<210	$f'c+70$
210 a 350	$f'c+85$
>350	$f'c+100$

Fuente: : Norma Sismo Resistente de Colombia NSR-98.

Tabla 10. Promedio recomendado de resistencias de cilindros de prueba para seleccionar la dosificación para las mezclas de hormigón.

Intervalo de la desviación estándar en kg/cm ²	Resistencia promedio f' cr en kg/cm ²
< de 21	f'c+28
21 a 28	f'c+38.5
28 a 35	f'c+49
35 a 42	f'c+63
>42	f'c+84

Fuente: : Norma Sismo Resistente de Colombia NSR-98.

Cuadro 9. Datos de ensayos de resistencia a la compresión a los 3 días

Cilindro No.	Carga (Kg.)	Área probeta	Área probeta	Resistencia a la compresión obtenida kg/cm ²
		15*30 cm ² A= 176.71	10*20 cm ² A1= 78.54	
1	15,900.00	176.71		89.98
2	16,000.00	176.71		90.54
3	15,900.00	176.71		89.98
4	16,200.00	176.71		91.68
5	16,200.00	176.71		91.68
6	16,100.00	176.71		91.11
7	21,900.00	176.71		123.93
8	20,600.00	176.71		116.58
9	20,600.00	176.71		116.58
10	9,334.00		78.54	118.84
11	9,900.00		78.54	126.05
12	10,200.00		78.54	129.87
13	9,334.00		78.54	118.84
14	9,900.00		78.54	126.05
15	10,200.00		78.54	129.87
16	20,600.00	176.71		116.58
17	20,500.00	176.71		116.01
18	21,000.00	176.71		118.84
19	16,000.00	176.71		90.54
20	15,900.00	176.71		89.98

Cuadro 9a. Datos ordenados para una resistencia a los 3 días

No. de ensayos	Resistencia de la mezcla a la compresión en Kg/cm ²	No. De ensayos	Resistencia de la mezcla a la compresión en Kg/cm ²
1	89.98	11	116.58
2	89.98	12	116.58
3	89.98	13	118.84
4	90.54	14	118.84
5	90.54	15	118.84
6	91.11	16	123.93
7	91.68	17	126.05
8	91.68	18	126.05
9	116.01	19	129.87
10	116.58	20	129.87
Valor mayor	129.97		
Valor menor	89.98		
Rango	39.99		
numero de clase (m)	5		
Ancho de clase ©	10		
Valor inferior al mínimo	85		

Cuadro 9b. Distribución de frecuencias a los 3 días.

# de clase	frecuencia	Marca de clase (X)	Xf	X ² f	fA	FA%
80<=x<=90	3	85	255	21675	3	15
90<=x<=100	5	95	475	45125	8	40
100<=x<=110	0	105	0	0	8	40
110<=x<=120	7	115	805	92575	15	75
120<=x<=130	5	125	625	78125	20	100
Total	20		2160	237500		

Resistencia promedio general X_m : $2160/20 = 108 \text{ kg/cm}^2$.

Varianza: $(237500 - (2160^2 / 20)) / 19 = 222.11 \text{ kg/cm}^2$

Desviación estándar $S = \sqrt{222.11} = 14.90 \text{ kg/cm}^2$.

Coefficiente de variación: $V = (14.90/108) * 100 = 13.79 \%$.

$X_m = f'c + t * S$. (A), pero como $n < 30$, es decir $n = 20$, se debe multiplicar por el coeficiente de la tabla 8; coeficiente: 1.08. Entonces la ecuación A, queda finalmente:

$X_m = f'c + t_i * S * \text{Coeficiente}$. (tabla 8).

$t_i = (X_{m3\text{días}} - x_i) / 16.09$.

$f'c_{3\text{días}} = 108 - 1.07 * 1.08 * 14.90 = 90.80 \text{ Kg/cm}^2$.

$f'c_{3\text{días}} = 108 - 2.33 * 14.90 * 1.08 + 35 = 105.50 \text{ Kg/cm}^2$.

Se toma la menor resistencia $f'c$.

Cuadro 9c. ti promedio para la resistencia f'c a los 3 días

No.	Resistencia a la compresión en kg/cm ² Xi	Coficiente 1.08 S=14.90 Kg/ cm ² S*coeficiente	ti
1	89.98	16.09	1.12
2	90.54	16.09	1.08
3	91.11	16.09	1.05
4	91.68	16.09	1.01
total			4.26/4= 1.07

Cuadro 10. Datos de resistencia de ensayos a los 7 días

Cilindro No.	Carga (kg)	Area probeta	Area probeta	Resistencia a la compresión obtenida kg/cm ²
		15*30 cm ² A1 = 176.71	10*20 cm ² A2= 78.54	
1	30,000.00	176.71		169.77
2	30,500.00	176.71		172.60
3	27,000.00	176.71		152.79
4	27,000.00	176.71		152.79
5	30,000.00	176.71		169.77
6	27,100.00	176.71		153.36
7	32,100.00	176.71		181.65
8	31,800.00	176.71		179.96
9	31,500.00	176.71		178.26
10	31,800.00	176.71		179.96
11	31,500.00	176.71		178.26
12	11,000.00		78.54	140.06
13	12,000.00		78.54	152.78
14	11,500.00		78.54	146.42
15	11,430.00		78.54	145.53
16	11,620.00		78.54	147.94
17	11,700.00		78.54	148.51
18	10,700.00		78.54	149.00
19	11,400.00		78.54	145.00
20	11,700.00		78.54	149.00

Cuadro 10a. Datos ordenados para una resistencia a los 7 días

No. de ensayos	Resistencia a la compresión en kg/cm ²	No. de ensayos	Resistencia a la compresión en kg/cm ²
1	140.06	11	152.79
2	145.00	12	153.36
3	145.53	13	169.77
4	146.42	14	169.77
5	147.94	15	172.60
6	148.51	16	178.26
7	149.00	17	178.26
8	149.00	18	179.26
9	152.78	19	179.26
10	152.79	20	181.65
Valor mayor	181.657		
Valor menor	145.00		
Rango	41.59		
numero de clase (m)	5		
Ancho de clase ©	10		
Valor inferior al mínimo	135		

Cuadro 10b. Distribución de frecuencias a los 7 días

# de clase	frecuencia	Marca de clase (X)	Xf	X ² *f	fA	FA%
135<=x<=145	2	140	280	39200	2	10
145<=x<=155	10	150	1500	225000	12	60
155<=x<=165	0	160	0	0	12	60
165<=x<=175	3	170	510	86700	15	75
175<=x<=185	5	180	900	162000	20	100
TOTAL	20		3190	512900		

Resistencia promedio general: $X_{m7\text{días}} : 3190/20 = 159.5 \text{ kg/cm}^2$.

Varianza: $(512900 - (3190^2 / 20)) / 19 = 215.52 \text{ kg/cm}^2$

Desviación estándar $S = \sqrt{215.52} = 14.68 \text{ kg/cm}^2$.

Coefficiente de variación: $V = (14.68 / 159.5) * 100 = 9.20 \%$.

$X_{m7\text{días}} = f'c + ti * S * \text{coeficiente (tabla 8)}$.

$ti = (X_{m7\text{días}} - xi) / 15.85$.

Resistencia $f'c_7 = 159.5 - 0.84 * 14.68 * 1.08 = 146.18 \text{ Kg/cm}^2$.

$f'c_7 = 159.5 - 2.33 * 14.68 * 1.08 + 35 = 160.29 \text{ Kg/cm}^2$

Se toma la menor de las resistencias $f'c$ a los 7 días.

Cuadro 10c. t_i promedio para la resistencia $f'c$ a los 7 días

No.	Resistencia a la compresión en kg/cm^2 X_i	Coficiente 1.08 $S=14.68 \text{ Kg/cm}^2$ S^* coeficiente	t_i	No.	Resistencia a la compresión en kg/cm^2 X_i	Coficiente 1.08 $S=14.68 \text{ Kg/cm}^2$ S^* coeficiente	t_i
1	140.06	15.85	1.23	5	147.94	15.85	0.73
2	145.00	15.85	0.91	6	148.51	15.85	0.69
3	145.53	15.85	0.88				
4	146.42	15.85	0.83				
Total							0.84

Cuadro 11. Datos de ensayos a los 14 días

Cilindro No.	Carga (kg)	Area probeta $15 \times 30 \text{ cm}^2$ $A=176.71$	Area probeta $10 \times 20 \text{ cm}^2$ $A1=78.54$	Resistencia a la compresión obtenida kg/cm^2
1	33,600.00	176.71		190.14
2	33,500.00	176.71		189.58
3	33,500.00	176.71		189.58
4	33,500.00	176.71		189.58
5	33,000.00	176.71		186.75
6	36,600.00	176.71		207.12
7	33,550.00	176.71		189.86
8	32,400.00	176.71		183.35
9	32,400.00	176.71		183.35
10	38,500.00	176.71		217.87
11	33,400.00	176.71		189.01
12	19,500.00		78.54	248.28
13	16,500.00		78.54	210.08
14	20,100.00		78.54	255.92
15	21,000.00		78.54	267.38
16	20,100.00		78.54	255.92
17	19,800.00		78.54	252.10
18	16,500.00		78.54	210.08
19	18,000.00		78.54	229.18
20	20,400.00		78.54	259.74

Cuadro 11a. Agrupación de datos a los 14 días

No de ensayos	Resistencia a la compresión en kg/cm ²	No de ensayos	Resistencia a la compresión en kg/cm ²
1	183.35	11	210.08
2	183.35	12	210.08
3	186.75	13	217.87
4	189.01	14	229.18
5	189.58	15	248.28
6	189.58	16	252.10
7	189.58	17	255.92
8	189.86	18	255.92
9	190.14	19	259.74
10	207.12	20	267.38
Valor mayor	267.38		
Valor menor	183.35		
Rango	84.02		
numero de clase (m)	5		
Ancho de clase ©	20		
Valor inferior al mínimo	180		

Cuadro 11b. Distribución de frecuencias a los 14 días

# de clase	frecuencia	Marca de clase (X)	Xf	X ² *f	fA	FA%
180<=x<=200	9	190	1710	324900	9	45
200<=x<=220	4	210	840	176400	13	65
220<=x<=240	1	230	230	52900	14	70
240<=x<=260	5	250	1250	312500	19	95
260<=x<=280	1	270	270	72900	20	100
Total	20		4300	939600		

Resistencia promedio general: $X_{m14\text{días}} : 4300/20 = 215 \text{ kg/cm}^2$.

Varianza: $(939600 - (4300^2/20))/19 = 794.74 \text{ kg/cm}^2$

Desviación estándar $S = \sqrt{794.74} = 28.19 \text{ kg/cm}^2$.

Coefficiente de variación: $V = (28.19/215) * 100 = 13.11 \%$.

$X_{m14\text{ días}} = f'c + t_i * S * \text{coeficiente (tabla 8)}$.

$t_i = (X_{m14\text{ días}} - x_i) / 30.44$.

Resistencia $f'c_{14} = 215 - 0.90 * 28.19 * 1.08 = 187.60 \text{ Kg/cm}^2$.

$f'c_{14} = 215 - 2.33 * 28.19 * 1.08 + 35 = 179.06 \text{ Kg/cm}^2$.

Se toma la menor resistencia $f'c$ a los 14 días.

Cuadro 11c. t_i promedio para la resistencia $f'c$ a los 14 días

No.	Resistencia a la compresión en kg/cm^2 X_i	Coficiente 1.08 $S=28.19 \text{ Kg/ cm}^2$ S^* coeficiente	t_i	Resistencia a la compresión en kg/cm^2 X_i	Coficiente 1.08 $S=28.19 \text{ Kg/ cm}^2$ S^* coeficiente	t_i
1	183.35	30.44	1.04	190.14	30.44	0.82
2	186.75	30.44	0.93			
3	189.01	30.44	0.85			
4	189.58	30.44	0.84			
Total						0.90

Figura 8. Interpretación estadística de los ensayos de resistencia a los 3 días

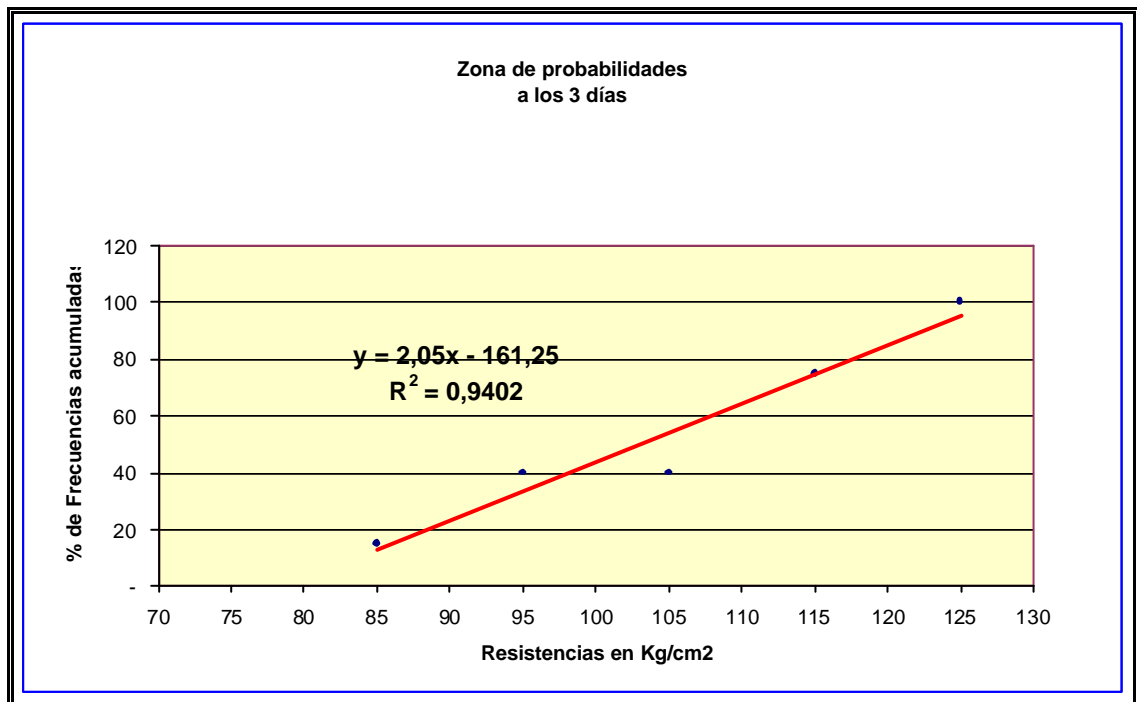


Figura 9. Interpretación estadística de los ensayos de resistencia a los 7 días

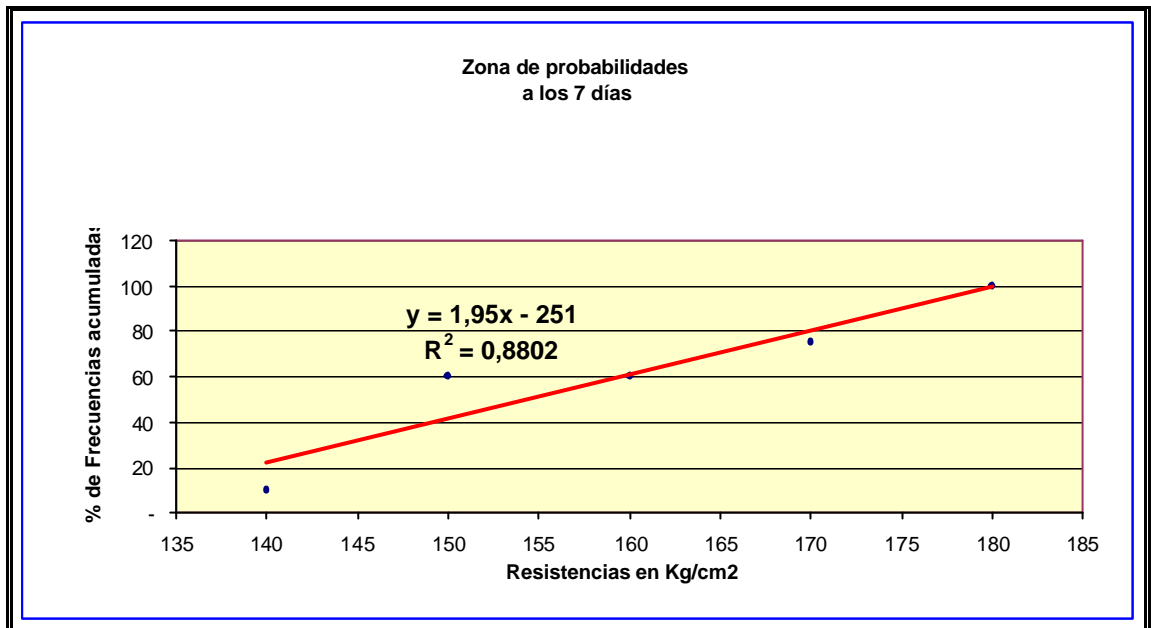
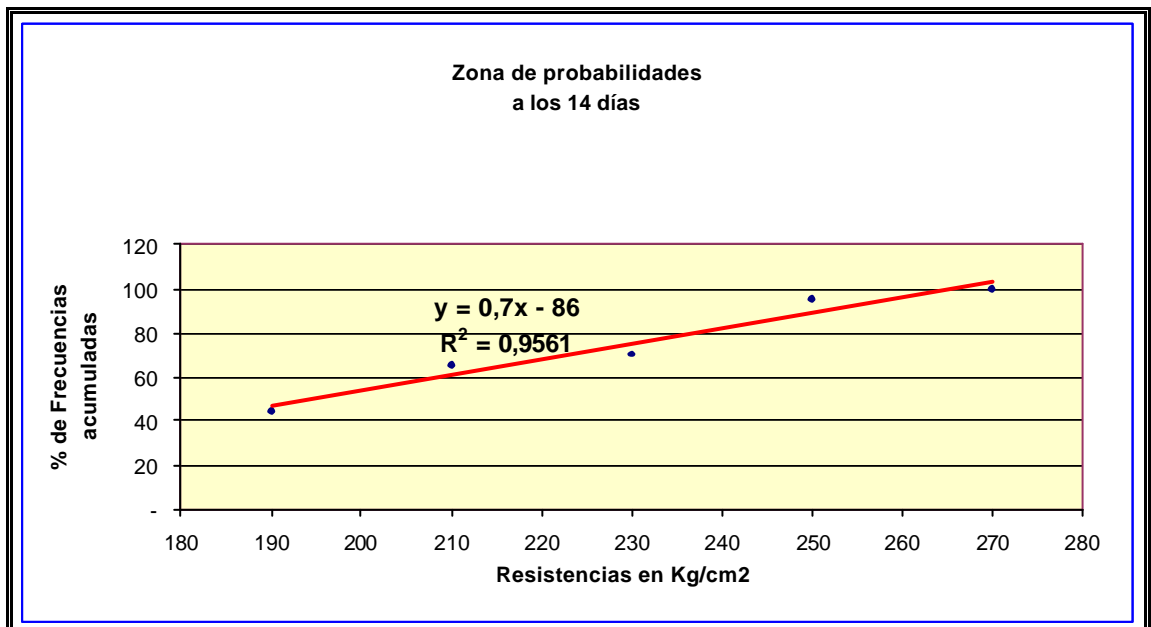


Figura 10. Interpretación estadística de ensayos realizados a los 14 días



6.2 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Generalmente el diseñador de estructuras, especifica en la memoria de cálculos y en los planos una resistencia a la compresión del concreto ($f'c$), la cual utilizó como base para calcular la dimensión y el refuerzo de los diferentes elementos de una obra. Cuando en la obra se obtengan resistencias menores que la especificada ($f'c$), se disminuirá el factor de seguridad de la estructura, para evitar esta posible disminución de seguridad debido a variaciones en la mezcla, transporte, colocación, compactación y curado del concreto; la mezcla se debe dosificar para obtener una resistencia a la compresión promedio ($f'cr$) mayor que $f'c$.

En la práctica resulta antieconómico indicar una resistencia mínima, igual a la resistencia de diseño; porque de acuerdo al análisis estadístico, siempre existe la posibilidad de obtener algunos valores más bajos.

6.2.1 Resistencia a la compresión de dosificación. Con el fin de no disminuir en forma apreciable el factor de seguridad de las estructuras o encarecer innecesariamente el concreto, se opta por un porcentaje aceptable de resultados estén por debajo de $f'c$, el A.C.I establece las siguientes consideraciones.

6.2.1.1 La probabilidad de tener resultados por debajo de $(f'c-35)$ kg/cm², debe ser inferior al 1%.

6.2.1.2 La probabilidad de que el promedio de tres ensayos consecutivos sea menor de $f'c$ debe ser inferior al 1%.

6.2.2 Cálculo Resistencia promedio requerida. Utilizando los criterios de aceptación del C.C.C.S.R; la mezcla que produce los resultados obtenidos del análisis estadístico efectuado anteriormente debe tener una resistencia promedio de diseño $f'cr$ mínima.

Criterio 1:

$$f'cr_3 = 90.80 + 2.33 * 14.90 * 1.08 = 128.29 \text{ Kg/cm}^2.$$

Criterio 2:

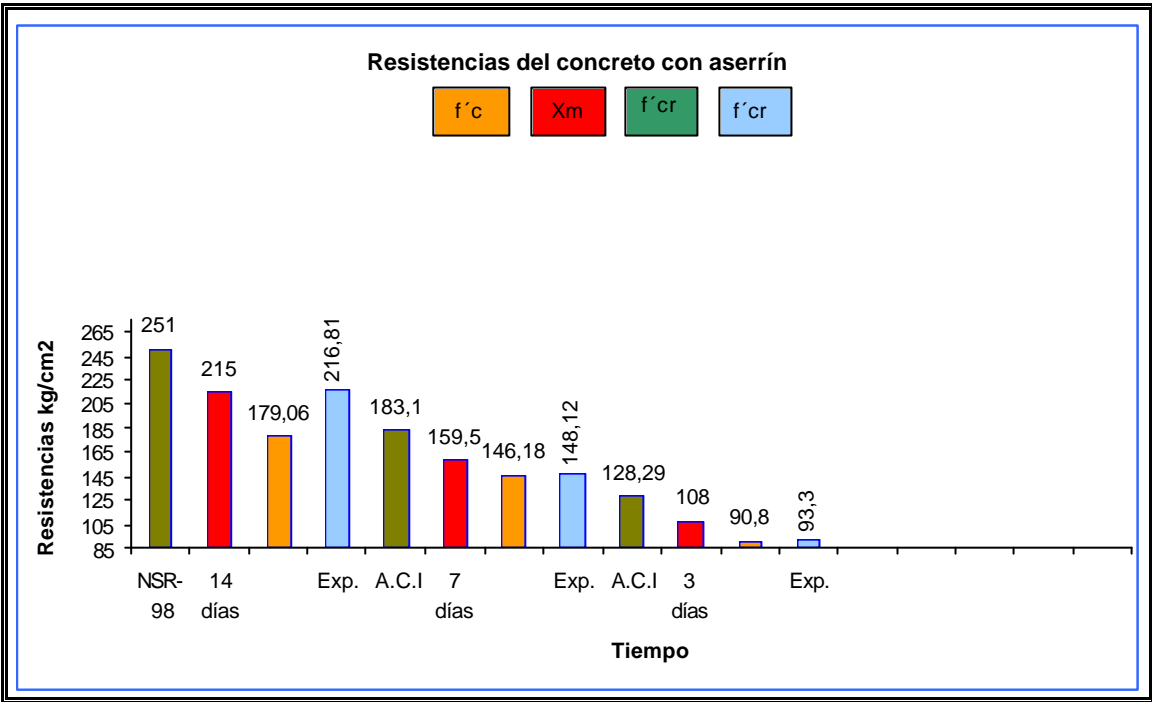
$$f'cr_3 = 90.80 - 35 + 2.33 * 14.90 * 1.08 = 93.30 \text{ Kg/cm}^2.$$

Criterio 3:

$$f'cr_3 = 90.80 + 28 = 118.80 \text{ Kg/cm}^2.$$

La norma NSR-98, establece que se debe diseñar con la mayor de los tres criterios, es decir $f'_{cr} = 128.29 \text{ Kg/cm}^2$; sin embargo, como la desviación estándar producto de los ensayos es menor de 35 Kg/cm^2 , el criterio 2, gobierna; por lo tanto el $f'_{cr} = 93.30 \text{ Kg/cm}^2$, es la que garantiza una resistencia especificada $f'_c = 90.80 \text{ kg/cm}^2$; valor obtenido en laboratorio.

Figura 11. Resistencias producidas, especificadas y de mezcla



Cuadro 12. Agrupación de datos a los 28 días

No de ensayos	Resistencia a la compresión en kg/cm ²	No de ensayos	Resistencia a la compresión en kg/cm ²
1	219.16	11	250.34
2	219.16	12	250.34
3	220.08	13	255.67
4	220.70	14	261.31
5	229.00	15	263.32
6	242.35	16	270.51
7	243.79	17	272.27
8	245.26	18	274.97
9	249.37	19	275.08
10	249.96	20	275.80
Valor mayor	275.80		
Valor menor	219.16		
Rango	56.64		
numero de clase (m)	6		
Ancho de clase ©	10		
Valor inferior al mínimo	218		

Cuadro 12a. Distribución de frecuencias a los 28 días

# de clase	frecuencia	Marca de clase (X)	Xf	X ² *f	fA	FA%
218<=x<=228	4	223	892	198916	4	20
228<=x<=238	1	233	233	54289	5	25
238<=x<=248	3	243	729	177147	8	40
248<=x<=258	4	253	1012	256036	12	60
258<=x<=268	3	263	789	207507	15	75
268<=x<=278	5	273	1365	372645	20	100
Total	20		5020	1266540		

Siguiendo el mismo procedimiento a continuación se resumen los cálculos para f_{cr} cada una de las edades ensayadas a 7 y 14 días. A la edad de los 28 días se calcula a partir de las anteriores edades, aplicando la formula descrita para esta edad.

Tabla 11. Resistencias $f'c$ y $f'cr$ a edades de 3,7,14 y 28, desviación estándar y coeficiente de variación para el concreto con adición de aserrín

Descripción	3 días	7 días	14 días	28 días E.C.I.
Resistencia general media a la compresión X_m (kg/cm ²)	108	159.50	215	251
$f'c$ (kg/cm ²) t	90.80 1.07	146.18 0.84	179.06 0.90	229 1.1
Criterio $f'cr$ (1) (kg/cm ²).	128.29	183.12	250	275.60
Criterio $f'cr$ (2) (kg/cm ²).	93.30	148.12	215	240.60
Criterio $f'cr$ (3) (kg/cm ²).	118.80	174.18	228.06	257.00
Desviación estándar (kg/cm ²)	14.90	14.68	28.19	18.52
Coeficiente de variación(%)	13.80	9.20	13.11	7.38
% inferiores a $f'c$ esperados en los ensayos	1.3S 9.7%	1.0S 15.9%	1.3S 9.7%	1.20S 11.5%

Fuente: para el cálculo de la resistencia a los 28 días, se utiliza la fórmula desarrollada por Escuela Colombiana de Ingeniería: $f'c = k((f'c_{14} + f'c_7)/2 + 2.1(f'c_{14} - f'c_7))$.

Obsérvese que el coeficiente de variación varía entre 7 al 14%, que de acuerdo a la tabla 8, lo producido permite garantizar que el manejo del material se considera entre muy bueno y bueno.

7. COSTOS DEL CONCRETO E INCIDENCIA DE HIERRO

7.1 ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS CONCRETO TRADICIONAL

Costo Directo (Concreto de 3000 p.s.i)

7.1.1 Equipo.

Descripción	Unidad	Rendimiento	Valor parcial	Valor total
mezcladora	un	6	120.000	20.000
H. menor	global	1	3.500	3.500
			subtotal	23.500

7.1.2 Materiales.

Descripción	Unidad	Rendimiento	Valor parcial	Valor total
Cemento	kg	320	410	131.200
Arena	M3	0.50	16,000	8.000
Triturado	M3	0.53	22,000	11.700
Agua	lt	180	18	3,240
desperdicios	%	0.03	154.140	4,624
A.N.C.	m3	-	-	-
			subtotal	158.764

7.1.3 Mano de obra.

Descripción	Jornal	Rendimiento	Valor parcial	Valor total
Cuadrilla	6.420	12.30	78.966	78.966
			subtotal	78.966

Total costo directo: \$ 261.230

7.1.4 Costo indirecto.

Descripción	%			
Administración	10	26.123		
Utilidades	5	13.062		
Imprevistos	5	13.062		
Subtotal		52.247		

COSTO TOTAL: \$ 313.480

(Valores año 2004: periodo de Marzo–Diciembre)

7.2 ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS PARA CONCRETO CON ASERRIN

COSTO DIRECTO (Concreto de 3270 p.s.i)

7.2.1 Equipo.

Descripción	Unidad	Rendimiento	Valor parcial	Valor total
Mezcladora	un	6	120.000	20.000
H. menor	global	1	3.500	3.500
			subtotal	23.500

7.2.2 Materiales

Descripción	Unidad	Rendimiento	Valor parcial	Valor total
Cemento	kg	320	410	131.200
Arena	M3	0.37	16,000	5.920
Triturado	M3	0.31	22,000	8.820
Agua	lt	180	18	3,240
Desperdicios	%	0.03	149.500	4,485
A.N.C.(cal,cmto,aserrín)	m3	0.64	5200	3.330
		SUBTOTAL		156.995

7.2.3 Mano de obra.

Descripción	Jornal	Rendimiento	Valor parcial	Valor total
Cuadrilla	6.420	12.30	78.966	78.966
			subtotal	78.966

Total costo directo: \$ 259.461

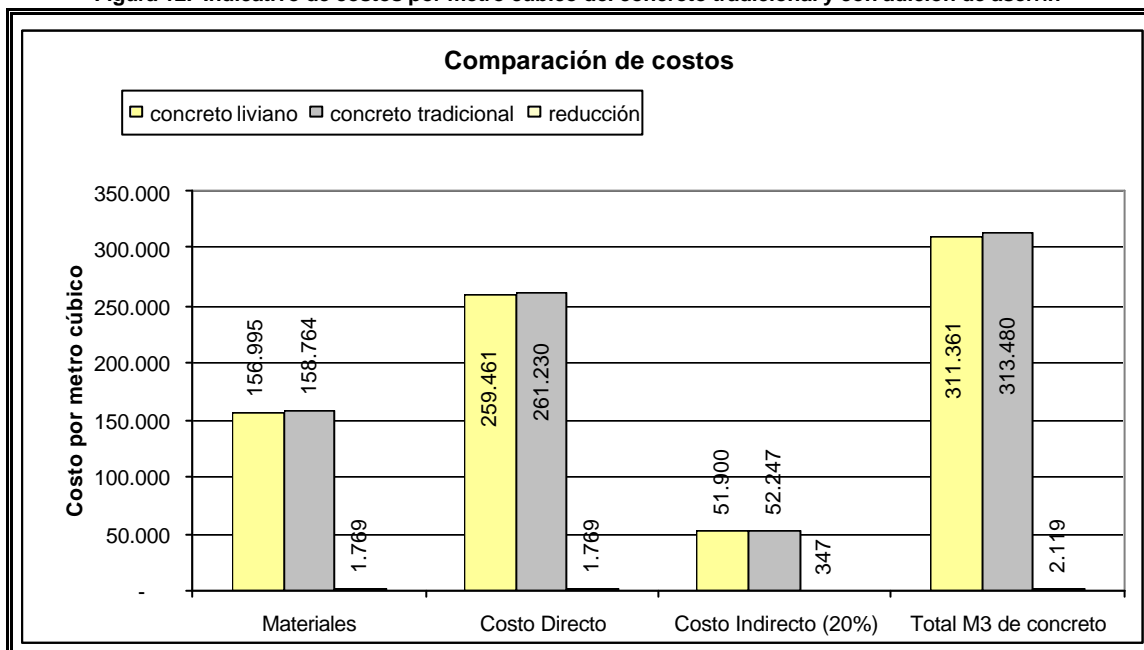
7.2.4 Costo indirecto.

Descripción	% relativos	\$		
Administración	10	25.950		
Utilidades	5	12.975		
Imprevistos	5	12.975		
Subtotal		51.900		

COSTO TOTAL: \$ 311.361

(Valores año 2004: periodo de Marzo –Diciembre)

Figura 12. Indicativo de costos por metro cúbico del concreto tradicional y con adición de aserrín



Cuadro 13. Costo mano de obra

Descripción	Ayudante	Oficial
Salario mínimo vigente (1.16). año 2004.	358,000	415,280
Salario diario	11,933	13,842.7
Prestaciones (66,30%)	7,912	9,177.7
Domingos y festivos (25,86)	3,086	3,579.7
Auxilio transporte(7,82%)	933	865
Jornal diario	23,864	27,465
Valor de una hora	2,983	3,433
Hora cuadrilla	6,416	

7.3 INCIDENCIA EN EL ACERO DE REFUERZO

Al aplicar el sistema de concreto liviano en cualquier estructura, se esperan cargas muertas más livianas, ello genera una reducción del acero de refuerzo tanto a cortante, como a flexión, ayudando a la economía integral de la edificación.

Otro ejemplo práctico en la construcción de un edificio de gran altura, es proyectar muros no portantes en concreto liviano, ello ocasiona la reducción la carga muerta de la edificación y en consecuencia, también el acero de refuerzo de los elementos estructurales y cimentación.

7.3.1 Avalúo de cargas. Se considera una placa aligerada para una luz de 3.5 metros, bw=12 cms, loseta superior de 5 cms, loseta inferior de 3cms, altura de nervios de 32 cms y separación entre nervios de 82 cms.

7.3.1.1 Carga muerta (Wd) par concreto tradicional.

Loseta superior: $0.05 \times 22.65 = 1.13 \text{ kN/m}^2$.
Loseta inferior: $0.03 \times 22.65 = 0.68 \text{ kN/m}^2$.
Vigueta: $0.12 \times 0.32 \times 22.65 / 0.82 = 1.06 \text{ kN/m}^2$.
Caseton: 0.20 kN/m^2 .
Muros: 3.4 kN/m .
Acabados: 1.5 kN/m^2 .
TOTAL: 7.97 kN/m^2 .

7.3.1.2 Carga muerta (Wd) par concreto con aserrín

Loseta superior: $0.05 \times 20 = 1.00 \text{ kN/m}^2$.
Loseta inferior: $0.03 \times 20.0 = 0.60 \text{ kN/m}^2$.
Vigueta: $0.12 \times 0.32 \times 20.00 / 0.82 = 0.94 \text{ kN/m}^2$.
Caseton: 0.20 kN/m^2 .
Muros: 3.4 kN/m^2 .
Acabados: 1.5 kN/m^2 .
TOTAL: 7.64 kN/m^2 .

Reducción de carga muerta (7.64/7.97)= 4.14%

7.3.1.3 Carga ultima de diseño

Cargas del nervio de la losa
Wd= $0.82 \times 7.97 = 6.54 \text{ kN/m}$
Wl= $0.82 \times 1.8 = 1.48 \text{ kN/ml}$
NSR-98: B.2.4.2

Concreto con aserrín
Wd= $0.82 \times 7.64 = 6.26 \text{ kN/m}$
Wl= $0.82 \times 1.8 = 1.48 \text{ kN/ml}$

$W_u = 1.4W_d + 1.7W_l$
 $W_{ut} = 1.4 \cdot 6.54 + 1.7 \cdot 1.48 = 11.67 \text{ kN/ml}$
 $W_{uase} = 1.4 \cdot 6.26 + 1.7 \cdot 1.48 = 11.28 \text{ kN/ml}$

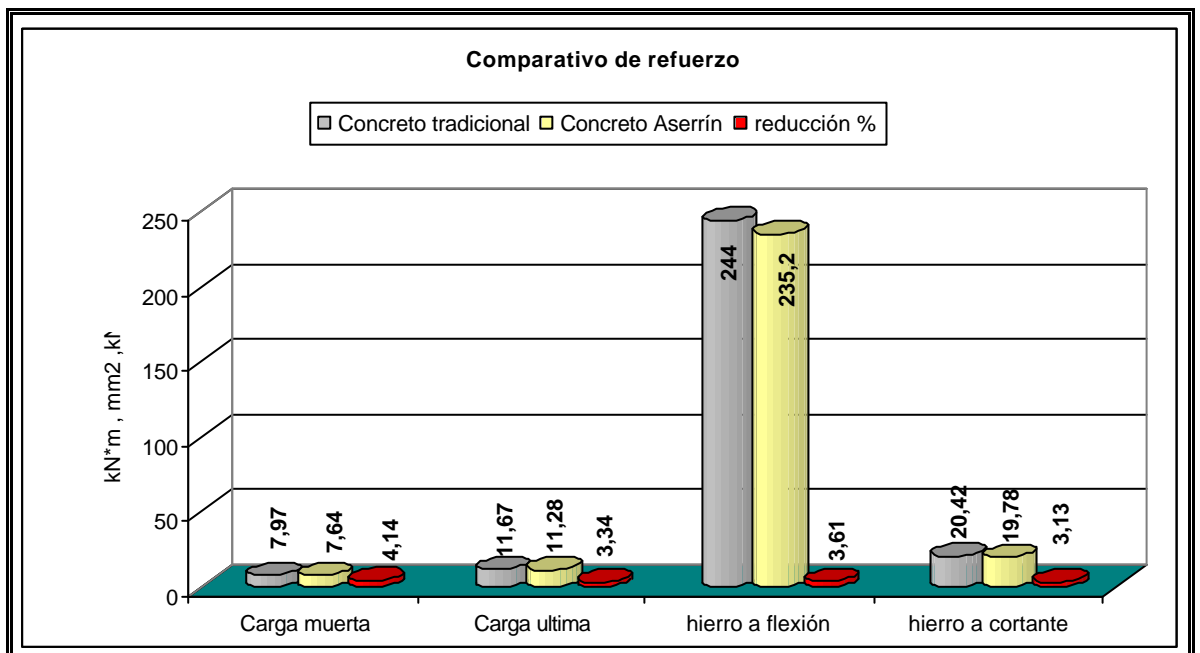
Reducción: $11.28/11.67 = 3.34 \%$

7.3.1.4 Cuantía de hierro. Se considera una luz de 3.5 metros lineales.

Concreto tradicional	Concreto con aserrín
20.42 kN	19.78 kN (3.13%).
Flexión:	
17.86 kN*m	17.31 kN*m (3.08%)
Cuantía: 0.0058	Cuantía: 0.0056
$A_s = 244 \text{ mm}^2$	$A_s = 235.2 \text{ mm}^2$

Reducción: $(235.2/244) = 3.61\%$

Figura 13. Comparativo por el refuerzo.



CONCLUSIONES

- ✍ Para la producción del concreto con aserrín y del mortero mixto (A.N.C), es indispensable buscar las mejores condiciones físicas de los agregados, así mismo, determinar mejor comportamiento del cemento escogido a los 28 días, tomando como base el estudio de la Escuela Colombiana de Ingeniería Sergio Garavito, donde se determina un factor de K.
- ✍ Conocidas las características físicas de los agregados y diseñada la proporción más adecuada en volumen suelto, considerando un coeficiente de compacidad de 0.82, reducción del 10 % en la arena y 30% en la grava, el peso unitario del concreto con adición de aserrín es de 2005.18 Kg/ m³, representado por el 60.18% de áridos tradicionales y 15% de agregado no convencional.
- ✍ Se establece una reducción 263.34 Kg /m³ peso muerto correspondiente al concreto tradicional, logrando una reducción del 11.5%, factor positivo en el proceso de producción de un concreto más liviano.
- ✍ El volumen ocupado por los áridos tradicionales y A.N.C, representan el 75.18% del volumen total ocupado por metro cúbico de concreto, comparado con el 79% del concreto tradicional.
- ✍ El producto bajo estas condiciones, demostró buena trabajabilidad, consistencia, homogeneidad, mezclado y colocación en las probetas.
- ✍ El comportamiento mecánico, referente a la resistencia a la compresión a 3,7 y 14 días, demostró ser un material apto para la construcción de estructuras, que requieran resistencias iguales a 3000 libras o superiores.
- ✍ El material demuestra buena adherencia y los espacios que el agregado grueso no logra ocupar, los materiales finos (arena y A.N.C) lo complementan; prueba de esta condición, son las resistencias a la compresión superiores a las alcanzadas por los concretos tradicionales a las edades referenciadas.
- ✍ El coeficiente de compacidad, es un indicativo real de la producción del concreto en obra o laboratorio, del acomodo más drástico de los materiales finos y como ayuda en la trabajabilidad, consistencia, economía, peso y volumen final del producto.

- ✍ La producción de probetas realizadas en laboratorio se ajustan a la normatividad NSR-98, CAPITULO C. MEZCLADO Y COLOCACIÓN DE CONCRETO.
- ✍ Los coeficientes de variación demuestran, que la producción se considera como buena y muy buena, porque sus porcentajes varían entre el 7 y el 14%, condición necesaria y suficiente para determinar su aceptación.
- ✍ El costo de un hormigón está constituido por el costo de los materiales, el costo de la mano de obra y el costo del equipo. Sin embargo, con excepción de algunos hormigones o procesos especiales, los dos últimos aspectos son prácticamente independientes de la calidad del hormigón producido. Por lo tanto, es razonable asociar la economía a la reducción del costo de los materiales componentes, logrando un ahorro de \$ 5600 por metro cúbico.
- ✍ Se logra rebajar carga muerta, por lo tanto se reduce un 6.7% en la incidencia de hierro a cortante y flexión. Es decir un 3.13% en cortante y un 3.61% en flexión.
- ✍ Finalmente el producto es un aporte al proceso constructivo, como alternativa de construcción en nuestro medio.

RECOMENDACIONES

- ✍ Sería interesante conocer su comportamiento en flexión.
- ✍ Todo producto experimental, además de su resistencia a la compresión, requiere realizar el análisis experimental de retracción y módulo de elasticidad, aspectos que se deben estudiar y analizar.
- ✍ Buscar finalmente el límite de adición de A.N.C máximo y mínimo, para resistencias a la compresión a los 28, 56 y 90 días, para con esta dosificación y otras, de acuerdo al contenido de aserrín, determinando su comportamiento final.
- ✍ Reducir hasta en un 50% la presencia de agregado grueso en el volumen final del concreto, aumentar en la misma proporción el agregado no convencional y determinar su resistencia en procesos acelerados, por ejemplo 24 horas.
- ✍ Considerar producciones de concreto con aserrín, utilizando desechos de maderas clasificadas como tipo A, B y C.
- ✍ El paso es pequeño, pero se debe estar abierto a todas las posibilidades, debe pensarse que la vida útil de las minas es limitada, dada la gran demanda. En lugares de alta sismicidad como la nuestra, materiales más livianos contribuyen al proceso constructivo y al reciclaje, entiéndase que no se pretende reemplazar lo estructural, pero sí buscar alternativas de resistencia comparativas que incentiven el uso de nuevos productos.
- ✍ Considerando la factibilidad económica y técnica, utilizar el mortero mixto en la producción de bloques, aligeramiento de placas de entepiso, fundición de pisos en suelos blandos.

BIBLIOGRAFÍA

BASSEGODA. Muste B. Atlas de técnica edificatoria. Ediciones Jover. Barcelona.1994. España. 89 p.

CATALOGO GENERAL TOXEMENT. Bogotá. 2003. 340 p.

DREUX. George. Guía práctica del hormigón. Ediciones técnicos asociados S.A. 1981.Barcelona España. 281 p.

F.GOMA. El cemento Pórtland y sus aglomerantes. Ediciones técnicos asociados S.A.1979 Barcelona España. 231 p.

GONZALES FORERO. Hernando. Presupuesto y control en un proyecto arquitectónico. Ediciones Ecoe.2001. Bogotá Colombia. 144 p.

INSTITUTO COLOMBIANO DE CONCRETO. Pavimentos en Concreto. 1987.Colombia. 15 p.

JOHNSON. Robert. Estadística Elemental. Segunda edición. Editorial.1999. Thompson. México. 482 p.

Mc. CORMAN. Jack C. Concreto reforzado. Ediciones Alfaomega. México.1997. 779 p.

NORMAS COLOMBIANAS DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE. Ley 400 de 1997. Decreto 33 de 1988. Tomo I y II. Norma NSR-98. Bogotá Colombia. 500 p.

RIVERA LOPEZ. Gerardo. Concreto Simple. Ediciones Universidad del Cauca. 1992. Popayán. 291 p.

RICKETTS AND MERRIT. Frederick S. Jonathan T. Manual Integrado de diseño y construcción. Volúmenes I y II. 1997. Ediciones McGrawHill. Bogotá. 989 p.

ROCHEL AWAD. Roberto. Hormigón Reforzado. Ediciones Universidad EAFIT. 1994.Medellín Colombia.150 p.

SÁNCHEZ DE GUZMÁN. Diego. Tecnología del concreto y mortero. Editorial Bhandar Ltda.Segunda Edición 1991. Bogotá Colombia. 341 p.

STAFF PÓRTLAND CEMENT ASSOCIATION. Fabricación de concreto y acabados. Editorial Limusa.1978.México D.F. 82 p.

STAFF PÓRTLAND CEMENT ASSOCIATION. Proyecto y control de mezclas de concreto. Editorial Limusa.1978. México D.F. 159 p.

VALECILLA B. Ramiro. Concreto reforzado placas aligeradas. Ediciones.2003. Bauen. Bogotá Colombia. 167 p.

