

INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS
SUPERIORES DE MONTERREY

CAMPUS MONTERREY
DIVISION DE GRADUADOS E INVESTIGACION
PROGRAMA DE GRADUADOS EN INGENIERÍA



INTEGRACIÓN DE ASERRÍN EN LA
FABRICACIÓN DE BLOQUES DE CONCRETO

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE

MAESTRO EN CIENCIAS
ESPECIALIDAD EN INGENIERÍA QUÍMICA

ADRIANA MONROY RODRIGUEZ

MAYO DE 1999

INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS
SUPERIORES DE MONTERREY

CAMPUS MONTERREY
DIVISION DE GRADUADOS E INVESTIGACION
PROGRAMA DE GRADUADOS EN INGENIERÍA



INTEGRACIÓN DE ASERRÍN EN LA
FABRICACIÓN DE BLOQUES DE CONCRETO

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE

MAESTRO EN CIENCIAS
ESPECIALIDAD EN INGENIERÍA QUÍMICA

ADRIANA MONROY RODRIGUEZ

MAYO DE 1999

A Dios por su gracia infinita.

A mis padres por todo el amor y apoyo que me han brindado.

CONTENIDO

	Pág.
Resumen	
Introducción	
Antecedentes	2
Proceso de fabricación de bloques de concreto	5
Materiales	6
El aserrín como agregado	9
Utilización de aditivos	9
Mezclas	11
Dosificación y mezclado	12
Producción del bloque	13
Curado	15
Algunas investigaciones y desarrollo acerca de la fabricación de bloques de concreto ligeros	16
Metodología	20
Diseño del experimento para pruebas piloto	21
Prueba a nivel comercial	23
Pruebas para evaluar la calidad de los bloques de concreto	23
Resultados	34
Comparativo de resultados para pruebas piloto	38
Comparativo de los bloques de aserrín contra bloques de concreto comerciales (con y sin aditivos)	44
Análisis de costos	47
Discusiones	48
Conclusiones	54
Apéndice	60
Bibliografía	74

INTRODUCCIÓN

El desarrollo económico, social y cultural de nuestro país ha repercutido en el deterioro del medio ambiente. La sociedad tiene la tendencia hacia el desarrollo tecnológico e industrial y es a éste al que se atribuye, en gran parte, la producción de residuos contaminantes. Con esto surge la preocupación de minimizar estos residuos y/o en la medida en que sea posible aprovecharlos para la elaboración de nuevos productos.

En la actualidad existe un gran número de industrias cuyo problema no es generar residuos peligrosos o altamente tóxicos, sino que el volumen de sus desechos, sólidos principalmente, es muy grande. Dentro de la clasificación de residuos sólidos, tenemos los residuos sólidos industriales peligrosos, residuos sólidos industriales no peligrosos y residuos sólidos municipales. Se calcula que de las 524,685 toneladas de residuos sólidos que se generan diariamente en nuestro país, 464,500 son residuos industriales, de los cuales 14,500 entran en la clasificación de residuos peligrosos y los restantes 450,000, son residuos sólidos no peligrosos; es decir, los residuos sólidos industriales no peligrosos comprenden aproximadamente el 85% de los residuos que se generan diariamente, así como el 97% de los residuos industriales totales. La problemática que presenta este último tipo de residuo es el espacio que ocupan sin brindar algún provecho.

Sabemos que las estrategias para el manejo de residuos industriales abarcan la reducción en la fuente, el reciclamiento, la integración, el tratamiento y finalmente la disposición. La integración de este tipo de residuos es lo que concierne a este trabajo, de manera

particular, la utilización del residuo como materia prima en la elaboración de otro producto.

Las industrias madereras se encuentran dentro del caso antes mencionado, el residuo que ellos generan es el aserrín que, aunque no es tóxico ni altamente contaminante, se le debe encontrar alguna utilidad que pueda ser redituable y que tenga menor impacto en el medio ambiente.

En el proceso de corte y tallado de la madera, se generan residuos de ésta, los cuales pueden estar en forma de pedacería, polvo o en láminas delgadas. La pedacería, trozos de madera, son el resultado de los cortes que se hacen para la elaboración de tablas con medidas definidas, así como estructuras de madera con diferentes aplicaciones y utilidades, cajas para verduras, bases para refrigeradores, por ejemplo. Estas estructuras también requieren de un acabado en cuanto a superficie, para eso se someten a tallado o cepillado que consiste en pasar un cepillo que alisa la superficie de la madera, generando pequeñas láminas de ésta, este tipo de aserrín es conocido como viruta. El polvo se genera de las dos operaciones anteriores y es, en general, el que posee menos propiedades atractivas para su integración en otros procesos. La pedacería de madera, usualmente es molida para obtener aserrín tipo astilla, éste es el más utilizado en otros procesos, ya que tiene propiedades estructurales más fuertes.

No se tienen datos exactos sobre la cantidad de aserrín que se genera en el país y que utilidad se le da. En la actualidad en el área metropolitana de Monterrey existen varias

empresas dedicadas a la elaboración de láminas y estructuras de madera de las cuales, son tres las que generan en su mayoría este tipo de residuo. Se calcula, de acuerdo a las mismas empresas, que diariamente se generan entre 40 y 60 toneladas de desperdicio de madera, es decir, de 1,200 a 1,800 toneladas mensuales que representan casi 3000 m³ de desperdicios de madera, tan solo en el área metropolitana de Monterrey.

Hasta el momento, los generadores han recurrido a la disposición del residuo. En algunas ocasiones se vende, a precios irrisorios, como combustible; otras veces se utiliza como relleno para terrenos; en el mejor de los casos se vende a agricultores, quienes lo revuelven con otro tipo de desperdicios orgánicos y lo utilizan como abono para tierra. En el primer caso, la combustión del residuo no es controlada y se podría considerar como una nueva fuente de contaminación; en la segunda alternativa, la madera queda expuesta a la intemperie y se empieza a degradar, perdiendo su valor termodinámico y al mismo tiempo generando nuevamente un foco de contaminación. Para su utilización como abono, no se cuenta con la tecnología necesaria para el aprovechamiento total de la materia orgánica que contiene la madera por lo que se considera, se está desperdiciando ya que podría utilizarse como materia prima para la elaboración de otros productos.

Hasta el momento, el desperdicio de madera se ha utilizado ampliamente para la elaboración de maderas conglomeradas, pero no es un proceso rentable para pequeños generadores.

La finalidad de llevar a cabo este proyecto es esencialmente implantar o adaptar la tecnología adecuada para integrar el aserrín generado por las madereras en la elaboración de otro producto o como materia prima.

De acuerdo al análisis del problema y a la investigación bibliográfica que se ha realizado se propone la elaboración de bloques de concreto ligero utilizando el aserrín como uno de los agregados, lo que se supone, resultará en un bloque de menor peso. Será necesario someter los especímenes a pruebas para evaluar su calidad, tanto en aspecto, resistencia, absorción de humedad, etc. Se observará si cumplen con los estándares requeridos por las Normas Mexicanas para el concreto, así como las normas ASTM aplicables a este tipo de bloques.

RESUMEN

En la problemática de la contaminación encontramos un gran número de industrias generadoras de residuos no peligrosos que ocupan grandes volúmenes sin brindar ningún beneficio. Dentro de éstas industrias se encuentran las madereras; el residuo que generan es el desperdicio de madera o aserrín. Para dar una solución a este problema y analizando todas las alternativas para la minimización de residuos, se ha propuesto la integración del aserrín en la elaboración de bloques de concreto con la finalidad de obtener especímenes más ligeros y que tengan menor conductividad térmica que los bloques de concreto normales.

Se llevaron a cabo varias pruebas piloto para encontrar la mejor relación aserrín/cemento que produjera bloques que cumplieran con los estándares requeridos por las Normas Mexicanas en lo referente a la resistencia a la compresión y absorción de humedad, el tipo aserrín utilizado es de madera de pino blanco, molido en forma de astilla. Una vez que se analizaron los resultados de las pruebas piloto, se observó que la relación aserrín cemento que cumplía con dichos estándares era la que tiene el valor de 0.25 ya que los bloques elaborados con esta relación mostraron una resistencia a la compresión de 45 kg/cm². Todos los bloques cumplieron con los estándares para la absorción de humedad; también se observó que la variación en las proporciones de los agregados influye significativamente en las características del bloque, especialmente en la resistencia, es decir que la granulometría es una variable importante en la elaboración del bloque. Después de analizar los resultados de la prueba nivel comercial se observó que las desviaciones estándar eran menores que las de las pruebas piloto, a excepción de la prueba de absorción de humedad, por lo que se concluye que en la maquinaria automatizada se tiene un mejor control de las variables de fabricación del bloque: mezclado, tiempo de vibración y compactación. También es notable la disminución de la resistencia del bloque con aserrín, esto es el resultado de la adhesión heterogénea del cemento sobre la superficie no isotrópica de la madera y de la diferencia de polaridades entre la madera y el resto de los materiales. Se observó que el bloque con aserrín es más ligero en un 20% y 10% cuando se compara con los bloques de concreto con y sin aditivo, respectivamente. También se observó que la conductividad térmica del bloque con aserrín era menor que la de los otros dos en un 25%.

ANTECEDENTES

Sabemos que las estrategias para la minimización de residuos son:

- Reducción en la fuente generadora
- Reciclo y/o integración
- Tratamiento
- Disposición

Para el caso de nuestro residuo, aserrín, se analizarán todas las avenidas para la minimización del residuo y su impacto en el medio ambiente.

En el caso de reducción en la fuente, tenemos las alternativas de un diseño ecoeficiente, reingeniería del proceso y la optimización del mismo. Es sabido que la producción de láminas y estructuras de madera no es un proceso complicado que requiera de diferentes procesos u operaciones unitarias; simplemente consiste en obtener láminas y cortes de los árboles talados, así que resulta difícil conceptualizar un diseño de un proceso ecoeficiente ya que este involucra parámetros económicos, de calidad y ambientales y si analizamos lo que esto implica (materias primas, transformación, selección y producto) sería casi imposible optimizar todos los aspectos en cuanto al la madera se refiere.

Si hablamos de reingeniería de proceso, podríamos proponer el uso de sierras o cortadoras más efectivas, tal vez el uso de cortadoras láser, de esta manera el corte sería

exacto y no generaría ningún desperdicio; esto resulta poco viable ya que ese tipo de cortadoras son muy caras y el gasto de energía no sería justificable.

En el caso de optimización del proceso, una alternativa podría consistir en medir con mayor exactitud al hacer los cortes, de esa manera se generaría menos desperdicio, aunque realmente se perdería mucho tiempo en la medición y la reducción del residuo sería poco significativa, ya que estaríamos hablando de centímetros o milímetros mal aprovechados en los cortes.

Dentro de la alternativa del reciclaje se han desarrollado muchas investigaciones como la integración del aserrín en la producción de artículos para la construcción como paneles prefabricados, láminas y muebles de madera aglomerada, pisos de madera aglomerada, etc. Todas las alternativas mencionadas anteriormente se consideran dentro del reciclaje, ya que, aunque se integre el desperdicio de madera a un nuevo producto, éste último tiene características similares a los productos elaborados con madera virgen. También se han llevado a cabo trabajos de investigación acerca de la integración de fibras de madera en las resinas termoplásticas empleadas para la fabricación de muebles, ganchos, refacciones plásticas, etc. Todas estas tecnologías han tenido gran nivel de aceptación en países como Canadá, U.S.A., y en Europa. Otra área de interés en la integración del aserrín, es la de la incineración para la producción de energía eléctrica, existen ya, plantas que se dedican a incinerar residuos y con ello generan energía eléctrica, aunque tienen como desventaja la generación de emisiones contaminantes. El aserrín también se ha utilizado ampliamente en la industria de la pulpa y papel. Todas las opciones mencionadas entran dentro de la

categoría de integración ya que el residuo se emplea como materia prima de un producto con características totalmente diferentes a la de la madera.[22]

Para la alternativa de tratamiento del aserrín, se han encontrado pocos desarrollos, algunos de ellos incluyen la biodegradación con bacterias para la producción de nutrientes, este sería un caso de tratamiento biológico, como ésta, existen otras investigaciones y desarrollos con el inconveniente de que se llevan demasiado tiempo en la biodegradación. También se recurre al tratamiento térmico para incinerar el aserrín pero es éste al que menos se quiere recurrir, debido a que la incineración, aún bajo condiciones y en incineradores adecuados, genera emisiones contaminantes.[18]

Respecto a la disposición del desperdicio de madera, usualmente se emplea como relleno de terrenos, pero esta alternativa traerá problemas al largo plazo, debido a la degradación de la madera al estar en contacto con el medio ambiente, bacterias, materia orgánica; se transforma en una degradación no controlada o descomposición que tendrá diferentes efectos e impactará de manera negativa al medio ambiente.

Como se puede ver, una de las alternativas más viables para la minimización del desperdicio de madera, es la de la integración, ya que el aserrín se puede utilizar como materia prima para la elaboración de una gran diversidad de productos y en una amplia gama de procesos.

De acuerdo a las investigaciones realizadas, este trabajo propone la integración del aserrín en la fabricación de bloques de concreto, empleando el desperdicio de madera como un agregado. Son varias las razones para considerar esta alternativa; consideramos que el aserrín dentro del bloque, dará ligereza al mismo, también, partiendo de que la madera es utilizada ampliamente como aislante térmico en cuanto a construcción residencial se refiere, dará esta característica al bloque elaborado con aserrín. Todo esto aunado a que la madera tiene alto contenido en celulosa, que es utilizado ampliamente como aglomerante.

PROCESO DE FABRICACIÓN DE BLOQUES DE CONCRETO

El concreto es uno de los materiales estructurales mas utilizados en la industria de la construcción, así como los bloques que se fabrican a partir de éste. Los bloques de concreto, o unidades de mampostería, se fabrican en una diversidad de máquinas con las que se vibra, sacude, prensa y, de otra manera, se consolida un concreto de consistencia escasamente húmeda.[10]

La fabricación de las unidades de mampostería de concreto comprende seis pasos básicos:

- 1) La selección de las materias primas de un tipo de calidad, y de una granulometría apropiada en el caso de los agregados, que permita la producción de unidades acabadas que cumplan con todas las especificaciones pertinentes.
- 2) La dosificación de las materias primas para satisfacer los requisitos de los diseños seleccionados de las mezclas.
- 3) El mezclado a conciencia de los materiales dosificados para producir concreto de trabajabilidad adecuada.
- 4) El moldeo en una máquina para producir unidades de calidad uniforme a partir de un diseño de mezcla.
- 5) El curado apropiado para desarrollar las cualidades del producto que minimizarán los problemas en el manejo inicial y, al final, cumplirán las especificaciones pertinentes con respecto a la resistencia y otras características.
- 6) El almacenamiento de las unidades terminadas mediante métodos que fomentarán el desarrollo de los requisitos de últimas resistencias y contenido de humedad. [3]

MATERIALES

Todos los bloques de concreto contienen cemento portland (que está constituido de óxidos de calcio, silicio, aluminio, fierro y otros), agregado y agua. Además, con frecuencia se usan ciertos aditivos, como pigmentos colorantes, inclusores de aire, puzolanas, aceleradores y retardadores. [11]

El agregado debe cumplir con los siguientes requisitos:

1. Estar limpio y no contener partículas o sustancias que sean defectuosas o que interfieran con la resistencia y durabilidad, o que causen imperfecciones superficiales.
2. Tener resistencia, tenacidad y dureza suficientes como para resistir la carga esperada.
3. Ser durable de modo que resista la congelación y el deshielo, las fluctuaciones en la temperatura y los cambios en el contenido de humedad.
4. Tener una granulometría uniforme, desde el tamaño mas fino hasta el más grueso, para producir una mezcla de fácil manejo, económica y uniforme.

Los agregados normales y pesados incluyen la arena, la grava, la piedra triturada y la escoria de alto horno. Toda la arena debe pasar la malla No. 4 (4.75mm) y debe tener del 15 al 25% que pase la malla 50 (0.3 mm) y un 5% que pase menos de la malla 100 (0.15 mm), con un módulo de finura entre 2.6 y 3.0. Por lo general no es objetable un máximo del 5% de tierra o impurezas de esta naturaleza. El agregado grueso pasa la malla de 3/8 de pulgada y es retenido en la malla No. 8 (2.36 mm). Alrededor del 25 al 40% debe pasar por la malla 1.5 in.[3]

Muchos fabricantes de bloques usan agregados ligeros. Los agregados ligeros naturales son la piedra pomez, la diatomita y la escoria volcánica. Los agregados ligeros fabricados son la arcilla esquistosa expandida, la arcilla expandida, la escoria de alto horno enfriada con agua y las cenizas. La granulometría para el agregado ligero debe ser más o menos la misma que para el agregado regular. Otras propiedades importantes son el peso unitario y

la absorción, las cuales deben mantenerse en valores uniformes. Muchos agregados ligeros son bastante angulares y ásperos y alguno, en especial los muy ligeros, pueden ser un tanto frágiles. Las propiedades deseables que se mencionaron anteriormente para los agregados de peso normal también se aplican al ligero. El agregado no debe contener compuestos de sulfuro, cal excesiva, partículas de hierro, piritas ni cualquier otro material que pueda causar manchas o formación de ampollas.[4]

El control de la distribución es importante para todos los tipos de agregados, ya que ella tiene como resultado variaciones en la granulometría. Estas variaciones provocan variaciones en el manejo de la mezcla, la demanda de agua, la textura y la resistencia del bloque acabado, así como en el rendimiento (número de bloques) por metro cúbico de agregado.

Los agregados del concreto constituyen alrededor del 60-80% del volumen total de la mezcla, es por ello que se les considera el material más importante en la elaboración de los bloques ya que los provee de sus principales características físicas (apariencia, densidad, absorción, etc.).[14]

El agua que se usa para mezclar el agregado y el cemento debe estar libre de materia orgánica y/o grasas. El criterio de aceptación para el agua está dado por la norma ASTM C-94.[12]

EL ASERRÍN COMO AGREGADO

El aserrín está compuesto esencialmente por celulosa. La madera sólida es más densa que el agua, su gravedad específica es aproximadamente 1.5 dependiendo de la especie de madera. A pesar de esto, la madera seca puede flotar en el agua debido a que una porción de su volumen está lleno de cavidades celulares ocupadas por aire. La gravedad específica se ve afectada por el contenido de gomas y resinas que pueda contener la madera. La gravedad específica de la madera proveniente del pino blanco, que es la especie más común, oscila entre los valores de 0.40 y 0.46. [1]

De acuerdo a las normas para la clasificación de los agregados, *ASTM Standard* (American Society for Testing and Materials), el aserrín está contemplado dentro de los agregados ligeros: pasa en una malla de 9.5mm, casi pasa por completo en una malla de 4.75mm y se retiene gran parte de éste en una malla de 75 μ m. [15]

UTILIZACIÓN DE ADITIVOS.

Los aditivos desempeñan una parte importante en la producción de los bloques. Un productor de bloques que está considerando el uso de cualquier aditivo debe evaluarlo con cuidado en su propia planta, usando sus materiales y aplicando a sus métodos normales y observando el efecto de este aditivo sobre todas las operaciones de

fabricación y todas las propiedades del bloque. La cantidad que tiene que usarse y las condiciones en las que se puede usar dependen de la mezcla, materiales, equipo, condiciones atmosférica y muchos otros factores.[3]

Un agente inclusor de aire causa la formación de muchas burbujas microscópicas de aire en la mezcla, lo que mejora mucho la vida útil del bloque. Asimismo, resulta benéfico para el manejo de la mezcla, en especial con agregados escasos de finos, y mejora la textura superficial y la densidad del bloque y se aminoran la ruptura y los daños en el bloque antes de secar.[3]

No se recomienda el uso del cloruro de calcio como acelerador en el concreto precolado reforzado ni en el bloque de mampostería, ya que la investigación y la experiencia en el campo han demostrado que también acelera o induce la corrosión del refuerzo adjunto o encerrado cuando existe humedad. Algunos de los estearatos metálicos se comportan como agentes impermeabilizantes y reductores de la capilaridad, pero su eficacia es limitada.

Las puzolanas, como la ceniza muy fina, la arcilla esquitosa calcinada y pulverizada o la piedra pomez, pueden usarse con éxito junto con algunos agregados para mejorar la calidad del bloque. Las puzolanas deben evaluarse con cuidado, mediante pruebas de laboratorio y en el campo, antes de usarlas en la producción.[3]

MEZCLAS

Las proporciones del agregado y del contenido de cemento tienen que determinarse mediante mezclas de prueba en la planta. Tienen que considerarse el manejo de la mezcla en la máquina, el agrietamiento, la textura superficial, la resistencia antes de secar, la densidad, la absorción, la resistencia del bloque curado, los aspectos económicos y la apariencia del bloque. Se debe usar la proporción máxima de agregado grueso que tolere la mezcla. A veces ésta puede ser tan pequeña como el 25% del agregado total, pero suele encontrarse alrededor del 40 al 50%. Las mezclas de prueba deben consistir en proporciones variables de agregado grueso o fino, combinado con diferentes cantidades de cemento. La mezcla más rica probablemente será alrededor de 1 parte de cemento por 6 partes de agregado mezclado, suelto y húmedo que vaya hasta 1:10. Debido a la naturaleza muy seca del concreto, la relación agua/cemento no es crítica desde el punto de vista de la resistencia y durabilidad.[9]

El comportamiento de la mezcla en la máquina, el aspecto del bloque antes de secar y la facilidad del manejo de éste, darán indicios respecto a la calidad final del mismo. Una vez que se ha tomado una decisión respecto a la mezcla, se deben hacer todo tipo de esfuerzos para que todas las operaciones y todos los materiales sean los mismos y conservar el equipo en buena condición de operación.

Cuando se use agregado ligero, es posible que sea necesario utilizar menos material fino en la mezcla que para el agregado de peso normal, con el fin de obtener el peso ligero, la textura, el valor como aislante y las propiedades acústicas requeridos. Esto se logra con cierto sacrificio de la resistencia.

El aspecto de los bloques a medida que salen de la máquina es importante al juzgar si la cantidad de agua en la mezcla es la correcta. Las diferencias en las máquinas y los materiales influyen sobre la cantidad de agua. Es mejor utilizar la cantidad máxima permisible sin causar el revenimiento del bloque. Si se usa agua insuficiente, el bloque tendrá color gris pálido, con una textura de aspecto seco. Demasiada agua causará el revenimiento del bloque. La cantidad correcta produce una membrana o resplandor de agua sobre las caras moldeadas del bloque, al quitar el molde.[3]

DOSIFICACIÓN Y MEZCLADO

En las plantas más modernas, la dosificación se realiza en dosificadoras automáticas o semiautomáticas. La dosificadora por peso se coloca debajo de los depósitos de almacenamiento y en ella se descarga una cantidad medida de cada ingrediente, excepto el agua. Entonces la dosificadora se mueve hasta una posición sobre la revolvedora y descarga su contenido en ésta, al mismo tiempo que se mide el agua. El aditivo, si se utiliza, se introduce con el agua. Generalmente las revolvedoras, sean grandes o pequeñas, son unidades maxaladoras de flecha horizontal.[4]

El control del agua de mezclado se realiza por medio del algún tipo de sensor de humedad. Un tipo tiene sondas en la revolvedora que detectan el contenido de humedad en la carga, por lo común con la aplicación de métodos de resistencia eléctrica. Un medidor de carátula indica el contenido de humedad y permite al operario ajustar la cantidad de agua. Se puede hacer que el medidor accione controles automáticos que regulen las cantidades de agua y de arena en la carga. Las sondas deben limpiarse con regularidad y el equipo conservarse ajustado para garantizar la operación correcta.[4]

El mezclado adecuado es esencial y conduce a un bloque de mejor calidad que uno elaborado con un mezclado corto. Se tiene el mezclado adecuado cuando no se sobrecarga la revolvedora, el periodo es suficientemente largo y se obtiene la consistencia correcta de la carga a través del control del agua. La revolvedora se sobrecarga si la carga en ella cubre su flecha; la duración del periodo depende del tipo de máquina, la dosificación de la carga y los materiales. Debe determinarse por ensayos. Con agregados ligeros, puede funcionar al rededor de 7.5 minutos, incluyendo mas o menos un minuto para prehumedecer el agregado antes de añadir el cemento. El control del agua se logra mejor mediante el uso de equipo automático.[8]

PRODUCCION DEL BLOQUE

Después del mezclado, la carga de concreto se lleva hacia la tolva de la máquina de producción de bloques, desde la cual se alimentan cantidades controladas de ese concreto

en los moldes. La vibración y la presión consolidan el concreto en los moldes, los cuales están asentados sobre una tarima de acero o de madera durante el moldeo del bloque. La producción de la máquina se basa en el número de bloques de 20x20x15 cm, o la cantidad equivalente de concreto, producidos por ciclo de la misma, siendo por lo general la velocidad de ésta mas o menos 5 ciclos por minuto.[4]

Tan pronto como el concreto se compacta y enrasa, se levanta la caja molde y la tarima con los bloques frescos sale de la máquina, al mismo tiempo se empuja una nueva tarima por el otro lado de ésta última. La tarima que contiene los bloques frescos va hasta la zona de curado.[3]

Muchos pasos son automatizados, incluso en algunas de las máquinas pequeñas. Las máquinas de producción de bloques son de construcción robusta, ya que están sujetas a humedad, vibración y exposición a materiales abrasivos y el mantenimiento oportuno es esencial para conservarlas con una operación eficiente. Después de cada turno, la limpieza y lubricación a conciencia son muy importantes. Como ayuda sobre este particular, existen compuestos que se pueden rociar o aplicar con brocha sobre las superficies para prevenir la adhesión del concreto. Los bloques se deben verificar en ocasiones respecto a su densidad y dimensiones, para asegurarse que se mantiene dentro de la calidad correcta.[3]

CURADO

Es la operación por medio de la cual se facilita y se promueve la reacción del cemento con el agua y los agregados. Esto se logra bajo humedad y temperaturas definidas.[3]

Los procedimientos de curado más comunes son:

1. Riego a la intemperie.- Consiste en rociar agua sobre el bloque en periodos de tiempo regulares. El bloque se encuentra expuesto al medio ambiente.
 - Ventajas: Bajo costo de inversión y mantenimiento, fácil aplicación.
 - Desventajas: La humedad no es constante, problemas por efectos climáticos.

2. Aspersión confinada (agua a temperatura ambiente). - Los bloques se encierran en cuartos con estructuras de concreto en los cuales están colocados de manera equidistante y bien distribuida los aspersores de agua. Se incrementa la temperatura de los cuartos por la reacción de endurecimiento del concreto, esto provoca la evaporación del agua.
 - Ventajas: Mayor constancia en humedad y temperatura. Menor tiempo para maniobra de piezas.
 - Desventajas: Mayor inversión para instalación y equipo alterno (estanterías, montacargas)

3. Curado a vapor. Puede ser a alta temperatura con vapor saturado a la presión atmosférica o por medio de vapor a alta presión y alta temperatura en autoclave.
- Ventajas: Curado y maniobra en menor tiempo que los anteriores. Se pueden contrarrestar los efectos del medio ambiente frío. Se pueden controlar mejor las variables de operación.
 - Desventajas: Inversión inicial mucho mayor a las de los métodos anteriores. Mayor costo de operación y mantenimiento debido a la caldera y la autoclave.[5]

ALGUNAS INVESTIGACIONES Y DESARROLLOS ACERCA DE LA FABRICACIÓN DE BLOQUES LIGEROS

Debido a que el concreto es una sustancia de alta densidad, durante la última década, se han venido desarrollando una serie de tecnologías para producir bloques de concreto más ligeros y de fácil manejo.

En países como U.S.A. se han patentado bloques de concreto ligero cuya elaboración consiste en utilizar como agregados algunos minerales como perlita y vacumita que tienen propiedades como bajo peso, no son flamables y se pueden expandir para obtener diferentes densidades.[21]

Existen otros tipos de mezclas de concreto que contienen fibras minerales y que al elaborar los bloques, son compactados con alta presión. Estos bloques son conocidos como “bloques de concreto fibroso”. [19]

También podemos encontrar bloques que contienen fibras sintéticas reforzadas, como fibras de propileno, que son inertes y proporcionan dureza al concreto haciéndolo al mismo tiempo más ligero por su baja densidad y aislante del calor por la baja conductividad térmica del propileno. [16]

Hay otros concretos de baja densidad, que es hecho a base de agregado de piedra pomez, cemento portland y agua. Esta mezcla resulta en un material aislante y resistente. La piedra pomez es una piedra volcánica ligera que se puede encontrar en muchos lugares del mundo donde existan zonas volcánicas. El agregado de piedra pomez se mezcla con el cemento y el agua para producir la mezcla y elaborar el bloques. Se emplea el cemento necesario para cubrir el agregado, si se agrega mas cemento aumenta la resistencia y la conductividad térmica de los bloques; con menos cemento el bloques es mas aislante pero también menos resistente. [19]

Por otro lado podemos encontrar tecnologías mas sofisticadas como la desarrollada en el Laboratorio Nacional Los Alamos, que consiste en un proceso ambientalmente amigable que endurece el cemento reduciendo el peso de los bloques. Este proceso consiste en transformar el cemento con un tratamiento con dióxido de carbono a alta presión, esto lo hace químicamente estable, casi impermeable y notablemente más resistente.

Químicamente, el proceso convierte el hidróxido del cemento a carbonato teniendo agua como subproducto.[3]

En busca de la integración de residuos, también se han desarrollado proyectos con diferentes desechos de industrias. Tenemos el caso de la Universidad de Montana en donde emplean desperdicio mineral de una mina de oro cercana a la zona, este residuo lo incorporan a la mezcla de concreto como si fuera agregado.[19]

Dentro de los bloques ambientalmente amigables tenemos bastantes tecnologías desarrolladas con la finalidad de aprovechar fibra de madera o aserrín como agregado. En la actualidad existen algunas propuestas para la elaboración de bloques ligeros teniendo como agregado fibras provenientes de madera; en éstas se considera el uso del aserrín como componente de la mezcla. Sin embargo, la adición de éste componente interfiere con el sellado del cemento, ya que el aserrín tiende a absorber el agua de la mezcla. La presencia de aserrín debilita la estructura que el cemento proporciona a los bloques; frecuentemente disminuye su tiempo de vida útil e incrementa su flamabilidad, por estas razones, en la elaboración de bloques de concreto con aserrín es necesario incrementar el contenido de cemento en el bloque o en su defecto, utilizar altas presiones para la compactación de los bloques.[20]

Aunque algunas de las propuestas que se han estudiado sugieren la inclusión de aditivos (aluminio, asbesto, fierro, hidróxido de sodio, etc.) en la mezcla cemento-aserrín, esto complica la producción de los bloques e incrementa su precio.

El objetivo de este trabajo es integrar el aserrín a la mezcla de concreto, de manera que sigamos obteniendo la resistencia marcada por los estándares y encontrar la mejor proporción que nos dé este resultado sin la inclusión de aditivos y empleando la maquinaria a las mismas condiciones con las que se fabrican los bloques de concreto normales.

Se desarrollarán una serie de pruebas experimentales para obtener el bloque que se supone tendrá una peso y conductividad térmica menor a los del bloque de concreto comerciales.

METODOLOGÍA

Se llevaron a cabo una serie de pruebas preliminares para determinar el tipo y tamaño del aserrín que se va a utilizar en las pruebas. Como los primeros resultados mostraron que el aserrín en polvo y el que tiene forma de pequeñas láminas interferían fuertemente en el fraguado de la mezcla, se eligió el aserrín tipo astilla para las siguientes pruebas. Estas últimas ya fueron pruebas piloto para encontrar las proporciones adecuadas de materiales que resultaran en un bloque que cumpliera con los estándares requeridos. En la tabla 1 se muestran las proporciones utilizadas para las pruebas piloto.

Las primeras mezclas serán de 120 kg de material en total para cada prueba. Los componentes de la mezcla van a pesarse manualmente en una báscula y después se revolverán con una pala; el agua que se le adiciona a la revoltura se calcula en un 3% de la mezcla total y se va agregando poco a poco; es necesario estar probando la consistencia de la mezcla, ya que los materiales normalmente tienen ya cierto contenido de humedad que puede contribuir al exceso de agua en la revoltura, esto quiere decir que en algunas ocasiones no es necesario agregar el total de ese 3% de agua.

Los bloques se van a elaborar en una máquina que tiene un molde para producir dos especímenes por carga; el tipo de bloquera es con curado al vapor y tiene una presión de operación de 43 kgf/cm^2 (ver figura 1). Esta máquina se opera de forma manual, se carga la mezcla en el molde, hasta llenarlo, se somete a vibración y después cae una tapa en el molde para que con la vibración y la presión que ejerce la tapa, se compacten los bloques. Se interrumpe la vibración a los 15 segundos aproximadamente; la máquina tiene en la parte inferior una palanca que sube el molde con la tapa y en la parte media quedan los bloques ya formados sobre una tabla de madera; se retiran los bloques, se

baja la palanca y el molde vuelve a quedar en su posición original, se retira la tapa y el molde se vuelve a cargar con mezcla y comienza nuevamente el proceso.

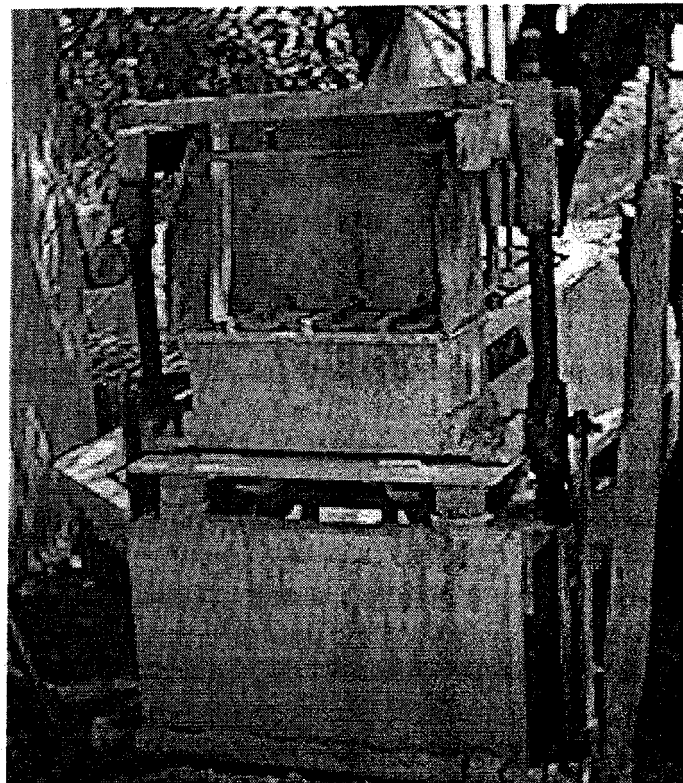


Figura 1. - Fotografía de la máquina para elaborar los bloques de las pruebas piloto.

Diseño del experimento.

Tabla 1. - Mezclas a ensayar

Prueba	1	2	3	4	5	6(control)
Cemento (% en peso)	16	20	16.66	16.66	20	7
Aserrín (% en peso)	10	5	5	5	5	0
Agregados (% en peso)	74	75	78.34	78.34	75	93
Relación aserrín/cemento	0.625	0.25	0.30	0.30	0.25	0

Variaciones en las mezclas.

Las pruebas 3 y 4 se llevaron a cabo con astillas de tamaño heterogéneo y tamaño uniforme respectivamente. En las pruebas 2 y 5 se varió la proporción de los agregados como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. - Variación en la proporción de los agregados.

Agregados	Bloque normal (control)	Prueba 2	Prueba 5
Arena**	70%	70%	60%
Granito*	13%	3.3%	8.5%
Sello*	10%	1.6%	5%

*Son agregados de piedra caliza con tamaño de partícula de 6 y 8 mm respectivamente.

**Arena del 4

El contenido de los diferentes agregados en la mezcla difiere del bloque normal debido a que se requería mas arena que los otros dos agregados, ya que por el tamaño, competirían con la madera por el cemento.

Una vez que se hayan llevado a cabo las pruebas programadas, se evaluará la calidad de los bloques haciéndoles las pruebas de resistencia a la compresión y absorción de humedad. Se va a seleccionar la mezcla cuya proporción de los mejores valores en las pruebas y esta mezcla se va a ensayar nuevamente, pero en esta ocasión la prueba se va a llevar a cabo en una máquina automatizada.

Se llevó a cabo en la máquina automatizada de Bloquera Regiomontana y la mezcla contenía las proporciones que se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. - Proporciones de los materiales en la prueba comercial.

	kg.	% (en peso)
Aserrín	75	5
Cemento	300	20
Arena	1050	70
Sello	50	3.4
Granito	25	1.6

Como se puede observar, la relación aserrín/cemento que se utilizó para esta prueba, fue la de 0.25. El bloque control tiene la misma composición indicada en la tabla de variación de los agregados (tabla 2). Una vez que se hayan elaborado los bloques, se someterán a curado por aspersión confinada y se les harán las mismas pruebas que a los anteriores (pruebas piloto), en esta ocasión también se hará la prueba de conductividad térmica. Finalmente se llevará a cabo un comparativo con los resultados de las pruebas realizadas a los bloques de concreto comerciales normales y otros que contienen aditivos para desarrollar mayor resistencia.

PRUEBAS PARA EVALUAR LA CALIDAD DE LOS BLOQUES DE CONCRETO

Las características que se determinan en el laboratorio para evaluar la calidad de los bloques son:

- a) Resistencia a la compresión.
- b) Absorción de agua

c) Conductividad térmica.

La prueba de resistencia a la compresión es la más importante debido a que nos da el valor de la carga máxima (kgf) que puede soportar el bloque.

La prueba de absorción de humedad es necesaria para evaluar la cantidad de agua que retiene el bloque; en este caso es de gran importancia debido a que la madera tiende a absorber más humedad que el agregado común.

La conductividad térmica no es una prueba que se haga comúnmente a los bloques de concreto. Para este trabajo, es de nuestro interés el observar la diferencia de conductividades entre el bloque de control (concreto comercial) y el bloque elaborado con aserrín.

La cantidad mínima de muestra para evaluar los bloques es de 5 piezas, de acuerdo con la *NMX- C-10, aunque la **ASTM C-90-85, especifica usar tres piezas como cantidad mínima de muestra.[3]

Equipo necesario para realizar las pruebas:

- Máquina de compresión (prensa) con capacidad mínima de 100 ton (ver figuras 2,3 y 4).
- Horno capaz de mantener una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ (ver figura 7).
- Báscula con aproximación de 0.5% del peso más pequeño por determinar.
- Placa maquinada para cabeceo con especímenes.

-Dispositivo para determinación de pesos sumergidos: canastilla y recipiente para ser llenado con agua, y en el cual quepan los especímenes (ver figuras 5 y 6).

-Criba de 3/8" mínimo de abertura sobre la cual se pongan a escurrir los bloques.

-Jerga o tela absorbente para secar superficialmente las piezas.

a) Prueba de resistencia a la compresión (ver figuras 2, 3 y 4).

1.- Preparación de los especímenes. Secarlos al horno a 100-110°C

2.- Obtener el peso de cada pieza, así como sus dimensiones: largo, ancho y altura.

3.- Cabecear los especímenes con azufre de acuerdo a la NMX-C109.

4.- Después de al menos dos horas posteriores al cabeceo, ensayar a compresión la velocidad de carga recomendable es de 0.5ton/seg (para piezas de 15*20*40).

5.- Registrar el valor de la carga máxima de falla. La resistencia a la compresión se calcula con la fórmula:

$$F_c = P/A$$

Donde:

F_c= Resistencia a la compresión del bloque, en kg/cm².

A= Area bruta (largo por ancho), en cm².

P= Carga máxima o de ruptura, en Kg

b) Prueba para determinar la absorción de agua (ver figuras 5, 6 y 7).

1.- Poner a saturar los bloques en agua a 15-27°C, durante 24 hr.

2.- Obtener los pesos sumergido (PSUM) de los bloques, realizando esta operación usando una báscula apoyada sobre el borde del recipiente en el cual se sumergirán los bloques.

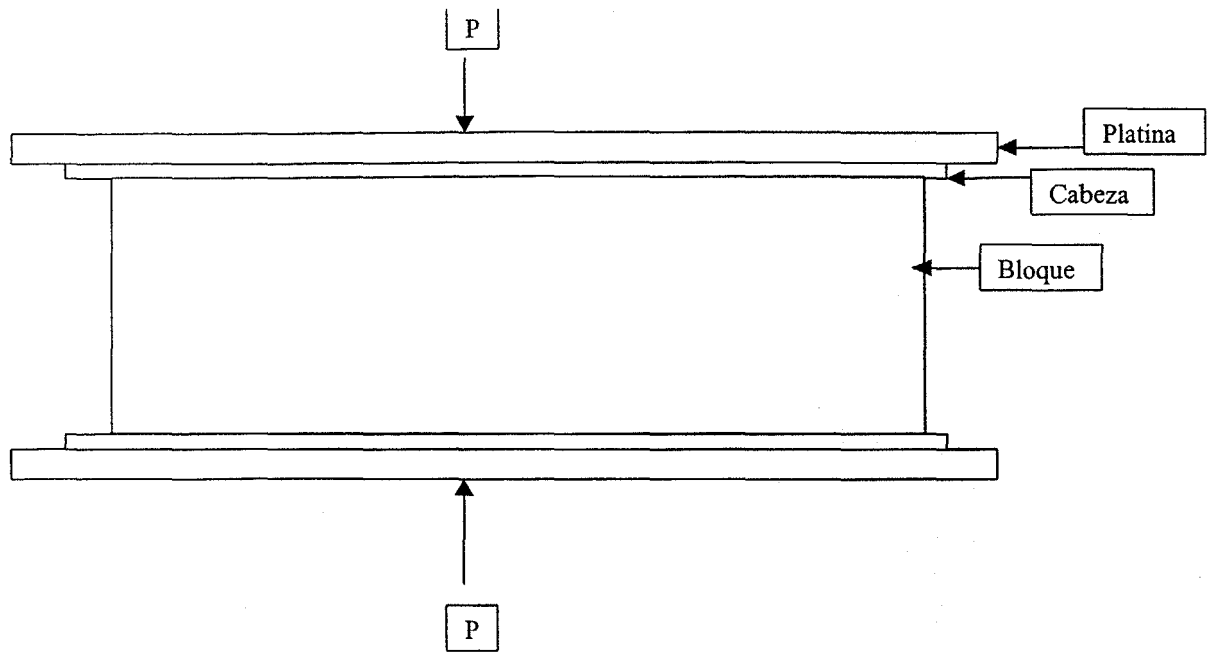


Figura 2. – Esquema de la prueba de resistencia a la compresión

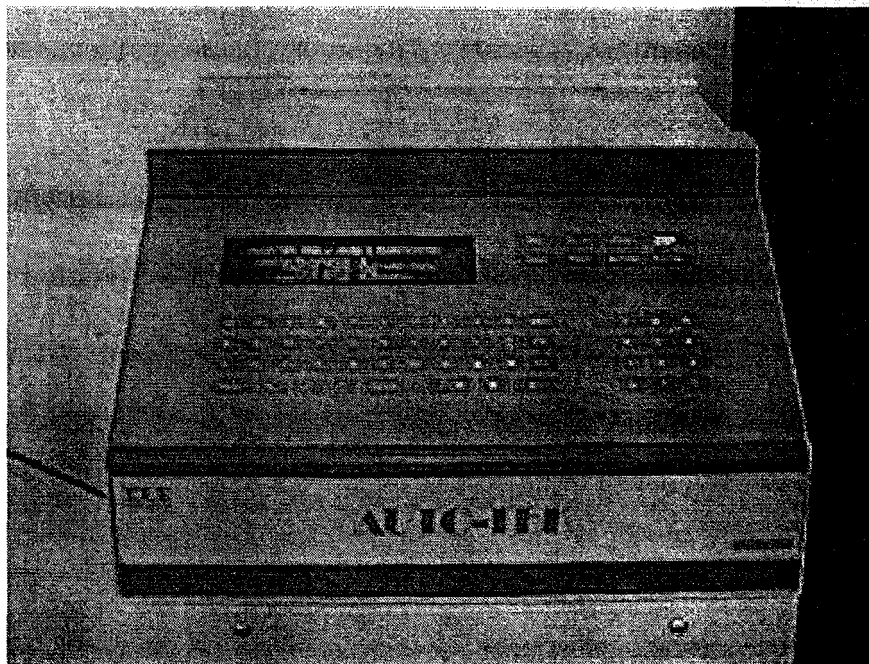


Figura 3.- Equipo para realizar la prueba de compresión.

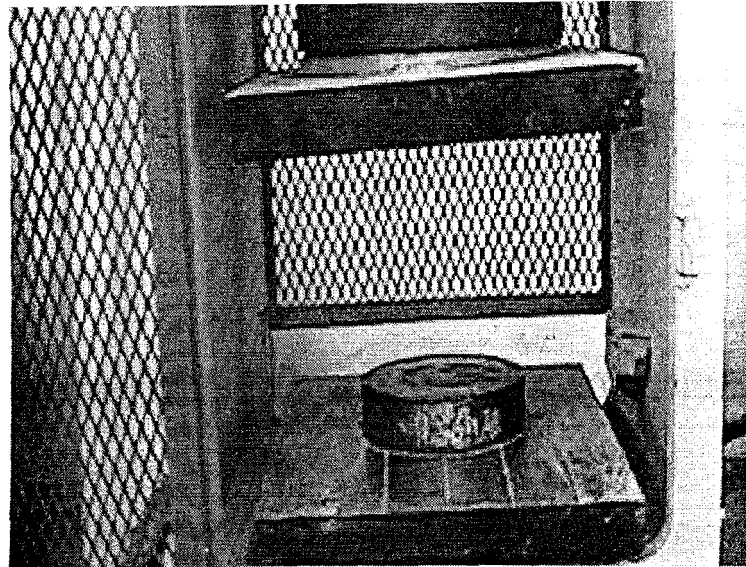


Figura 4.- Prensa de la máquina para evaluar la resistencia a la compresión.

- 3.- Escurrir los bloques durante un minuto sobre una criba de 3/8" mínimo.
- 4.- Secar superficialmente las piezas y pesarlas. Determinar el peso del bloque saturado (PSAT).
- 5.- Secar las piezas en un horno a 110-115°C hasta que no se tenga variación en los pesos (24 hr aproximadamente). Registrar el dato como peso seco (PSECO).
- 6.- Calcular la absorción de agua en lt/m³ como se indica:

$$A = ((PSAT - PSECO) / (PSAT - PSUM)) * 1000$$

Donde:

A= Absorción de agua, en lt/m³

PSAT= Peso del bloque saturado, en gramos.

PSUM= Peso del bloque sumergido en agua, en gramos.

PSECO= Peso después de secar el bloque, en gramos.

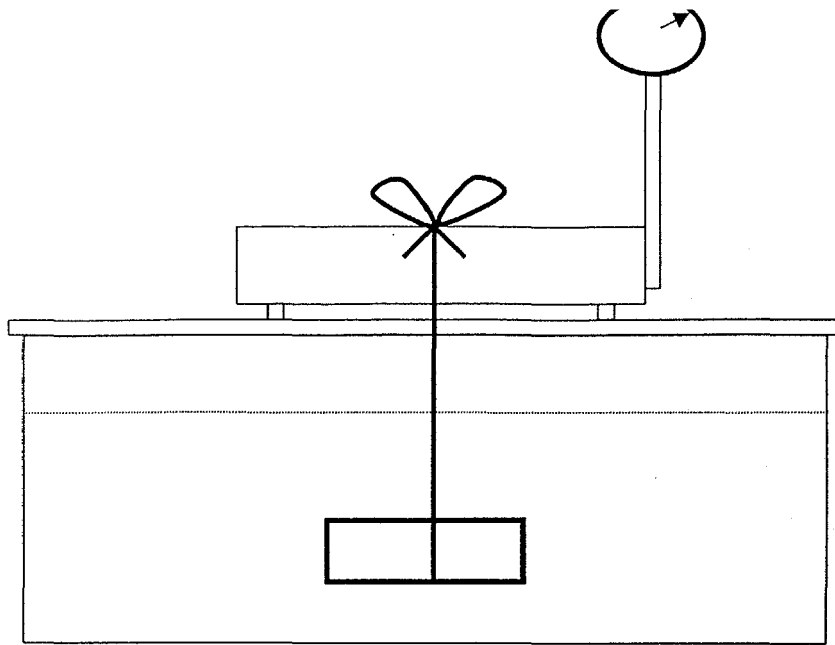


Figura 5.- Esquema de la prueba de absorción de humedad.

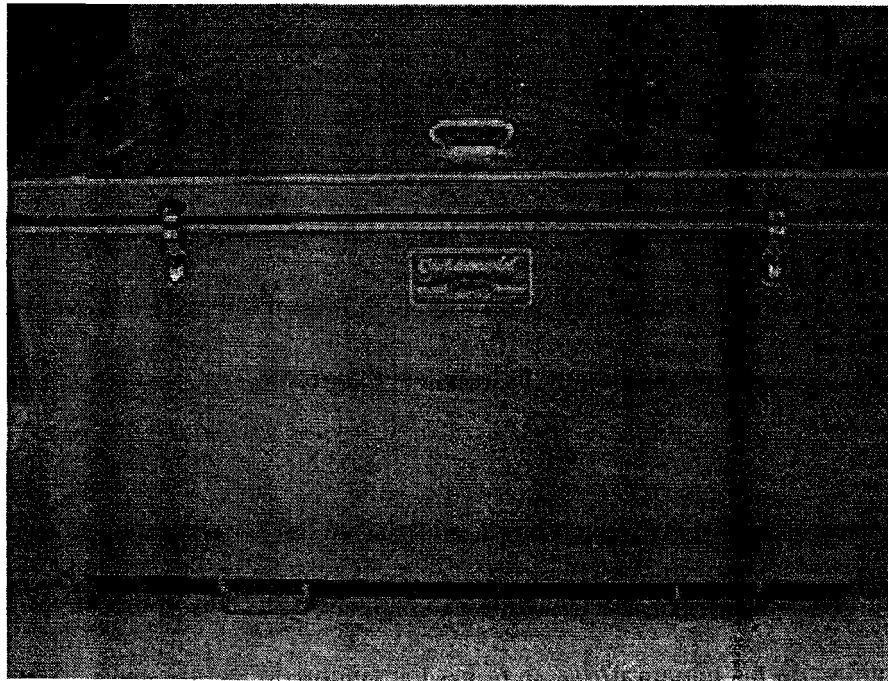


Figura 6.- Tina para sumergir los bloques

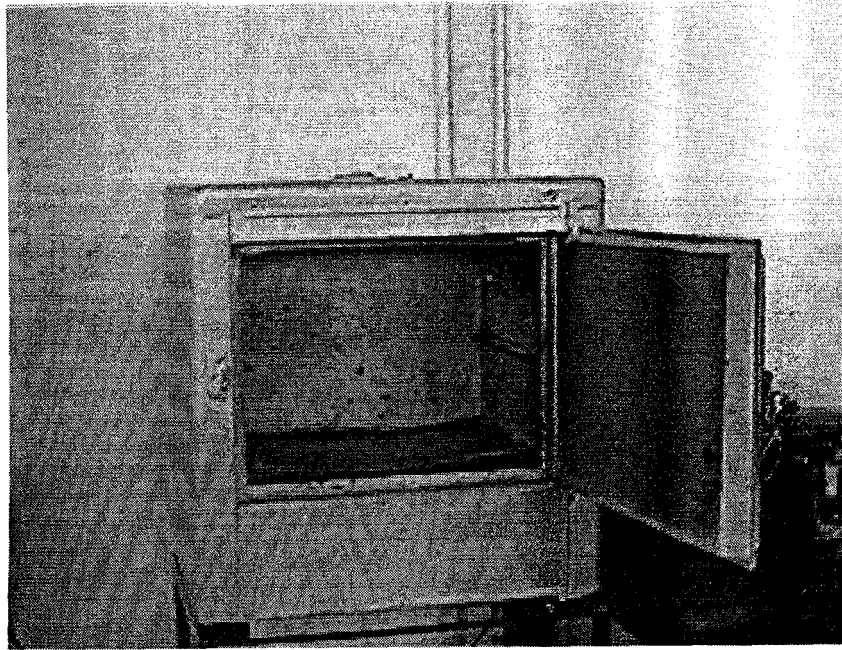


Figura 7.- Horno de secado para determinación de absorción de humedad.

c) Prueba de conductividad térmica.

El equipo que se emplea es marca ARMFIELD Limited, modelo HTL-B. (ver figura 9)

Se toma una muestra cilíndrica del cada bloque con un diámetro de 2.5-3 cm y 3 cm de longitud, se coloca la muestra como lo indica el diagrama.

Se toman las lecturas de las temperaturas iniciales de los sensores que se encuentran en los extremos de la muestra. Se enciende el calefactor con una potencia de 10 watts, se toman lecturas de las temperaturas en todos los puntos de lectura cada 20 minutos hasta que el perfil de temperaturas se haya desarrollado completamente, es decir, cuando el sistema se encuentre en estado estacionario (no se registran cambios en las lecturas).

Una vez que el sistema es estabilizado

temperaturas registradas por los sensores en las dos caras de la muestra. Esta diferencia será ΔT .

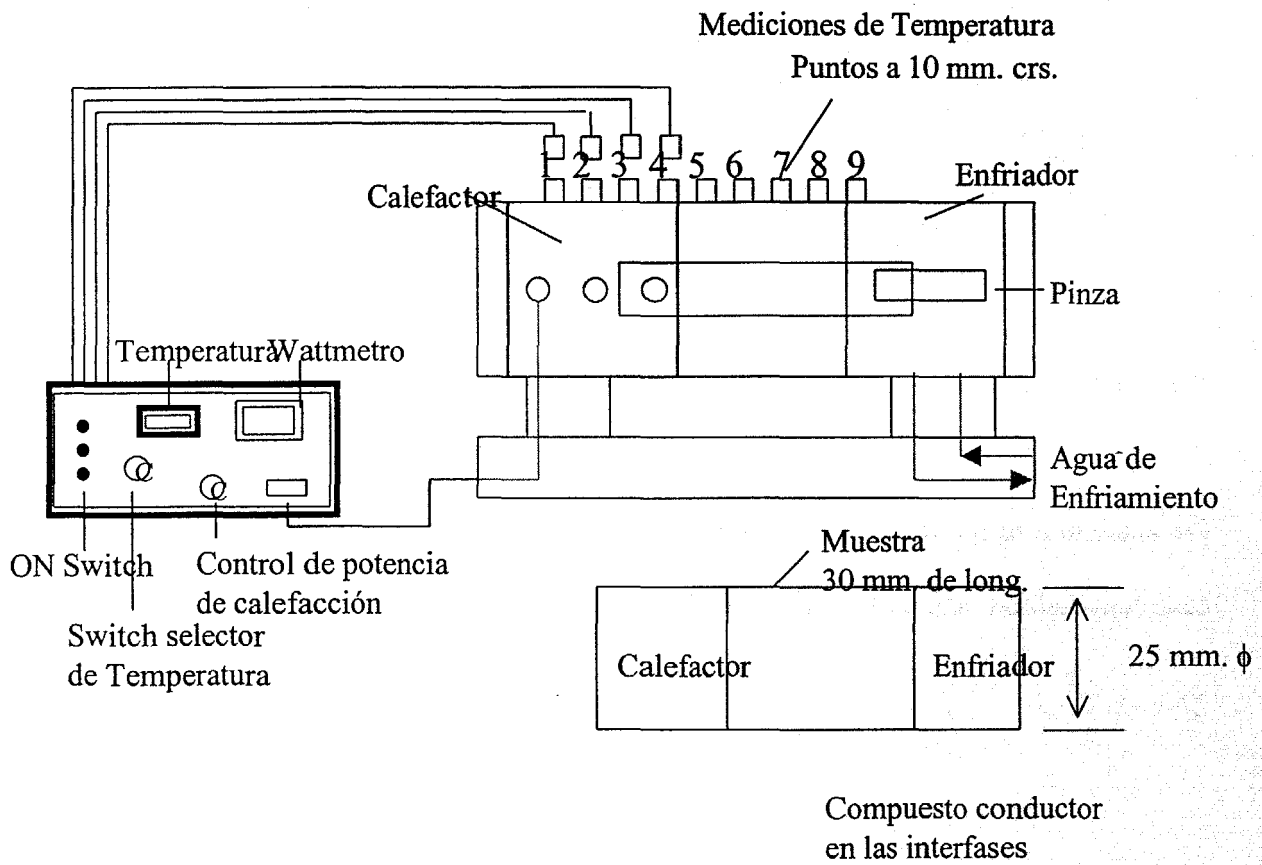


Figura 8.- Esquema de la prueba de conductividad térmica.

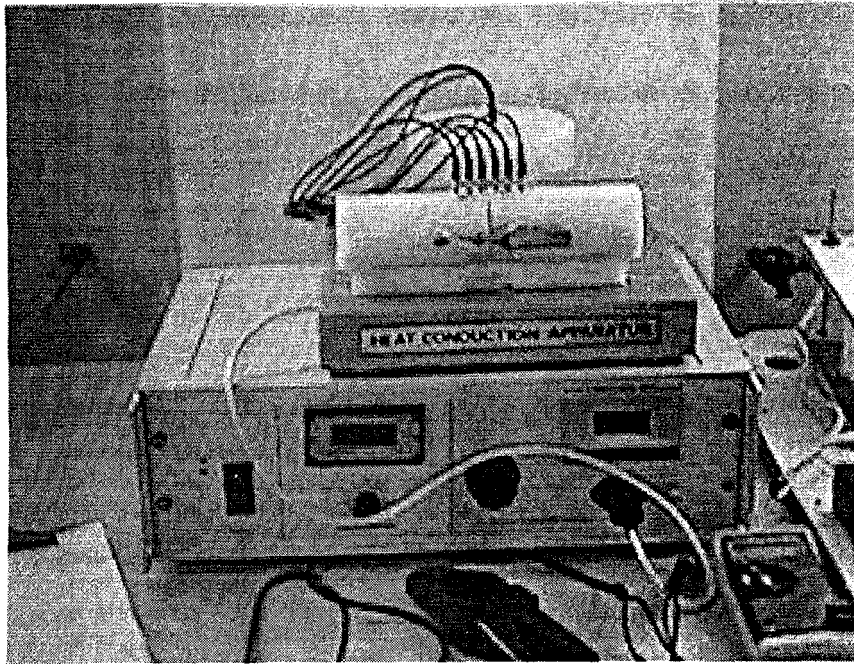


Figura 9. - Equipo para determinar la conductividad térmica.

De acuerdo a la ley de Fourier para la conducción de calor en una dimensión, en este caso longitudinal, tenemos la siguiente ecuación:

$$Q = -k \frac{\Delta T}{\Delta x} A$$

Donde :

Q= Flujo de calor

ΔT = Diferencia de temperatura entre los extremos de la muestra.

Δx = Longitud de la muestra

k = conductividad térmica del material

Se calcula el flujo de calor efectivo con la conductividad térmica del bronce y los datos de las muestras ensayadas. Una vez obtenido el flujo de calor corregido, se procede al cálculo de la k del material con este flujo de calor:

$$k_{\text{bronze}} = 160 \text{ W/m}\cdot\text{K}$$

$$k_{\text{bronze}} = Q\Delta x / A\Delta T$$

$$Q_{\text{real}} = k_{\text{bronze}} A(\Delta T / \Delta x)$$

$$k_{\text{bloque}} = Q_{\text{real}} \Delta x / A\Delta T$$

RESULTADOS

Todas las pruebas se llevaron a cabo bajo las mismas condiciones de mezclado, en la misma máquina y con el mismo tiempo de vibración y compactación (ver Metodología, pag.19). Para realizar las pruebas, todos los bloques fueron sometidos al mismo tiempo de curado, 24 horas, y se dejaron a las condiciones del medio ambiente durante 15 días, ya que los bloques de concreto reportan mayor resistencia 2 semanas después de su elaboración que cuando han sido recién curados. Todos los bloques tenían las mismas dimensiones características.

Dimensiones del bloque.

Largo: 39 cm.

Ancho: 14 cm.

Altura: 19 cm.

Area bruta del bloque.

$$\text{Largo} * \text{ancho} = 39 * 14 = 546 \text{ cm}^2 = 5.46\text{E-}2 \text{ m}^2$$

Volumen del bloque.

$$\text{Largo} * \text{ancho} * \text{alto} = 39 * 14 * 19 = 10374 \text{ cm}^3 = 10.374\text{E-}3 \text{ m}^3$$

Volumen del sólido: $5.70\text{E-}3 \text{ m}^3$.

Todos los resultados se reportan con su respectiva desviación estándar (*), los correspondientes a resistencia, absorción y densidad se redondearon para eliminar los decimales.

Prueba No. 1

Elaboración de bloques con una relación aserrín /cemento de 0.625

Se hizo una mezcla de 120 kg. Se obtuvieron 10 bloques con las siguientes características:

Peso promedio: 9.18 kg. \pm 1.62%*

(Ver apéndice, tabla 1.1)

Absorción promedio: 237.77 lts/m³ \pm 8.08%*

(Ver apéndice, tabla 1.2)

Resistencia promedio: 11.60 kg/cm² \pm 5.03%*

(Ver apéndice, tabla 1.3)

Densidad: 1612 kg/m³

Prueba No. 2

Elaboración de bloques con una relación aserrín /cemento de 0.25

Se hizo una mezcla de 120 kg. Se obtuvieron 10 bloques con las siguientes características:

Peso promedio: 11.64 kg. \pm 3.15%*

(Ver apéndice, tabla 2.1)

Absorción promedio: 135.70 lts/m³ \pm 12.32%*

(Ver apéndice, tabla 2.2)

Resistencia promedio: 45 kg/cm² \pm 10.46%*

(Ver apéndice, tabla 2.3)

Densidad: 2043 kg/m³

Prueba No. 3

Elaboración de bloques con una relación aserrín /cemento de 0.30

Se hizo una mezcla de 120 kg. Se obtuvieron 10 bloques con las siguientes características:

Peso promedio: 10.17 kg.± 1.43%*

(Ver apéndice, tabla 3.1)

Absorción promedio: 240.58 lts/m³ ± 11.02%*

(Ver apéndice, tabla 3.2)

Resistencia promedio: 17.19 kg/cm² ± 3.54%*

(Ver apéndice, tabla 3.3)

Densidad : 1784 kg/m³

Prueba No. 4

Elaboración de bloques con una relación aserrín /cemento de 0.30

Se hizo una mezcla de 120 kg. Se obtuvieron 10 bloques con las siguientes características:

Peso promedio: 10.38 kg. ± 2.16%*

(Ver apéndice, tabla 4.1)

Absorción promedio: 216.802 lts/m³ ± 15.52%*

(Ver apéndice, tabla 4.2)

Resistencia promedio: 17.06 kg/cm² ± 4.06%*

(Ver apéndice, tabla 4.3)

Densidad: 1822 kg/m³

Prueba No. 5

Elaboración de bloques con una relación aserrín /cemento de 0.25

Se hizo una mezcla de 120 kg. Se obtuvieron 10 bloques con las siguientes características:

Peso promedio: 10.70 kg. \pm 1.73%*

(Ver apéndice, tabla 7.1)

Absorción promedio: 186.84 lts/m³ \pm 13.80%*

(Ver apéndice, tabla 7.2)

Resistencia promedio: 37.56 kg/cm² \pm 4.06%*

(Ver apéndice, tabla 7.3)

Densidad promedio: 1877 kg/m³

Prueba No. 6

Elaboración de bloques con una relación aserrín /cemento de 0 (control)

Se hizo una mezcla de 120 kg. Se obtuvieron 10 bloques con las siguientes características:

Peso promedio: 13.03 kg \pm 1.15%*

(Ver apéndice, tabla 6.1)

Absorción promedio: 147 lt/m³ \pm 11.31%*

(Ver apéndice, tabla 6.2)

Resistencia promedio: 66 kg/cm² \pm 1.71%*

(Ver apéndice, tabla 6.3)

Densidad: 2286 kg/m³

A continuación se presenta la tabla 4, que contiene los resultados obtenidos para cada prueba.

Tabla 4.- Comparativo de resultados*

Prueba	1	2	3	4	5	6 (control)
Peso (kg)	9.18	11.64	10.17	10.37	10.70	13.03
Absorción (lt/m³)	237	135	240	216	186	147
Resistencia (kg/cm²)	11	45	17	17	37	66
Densidad (kg/m³)	1612	2043	1784	1822	1877	2286
Razón aserrín/ cemento	.625	.25	.3	.3	.25	0

* Ver composiciones y variación en las mezclas, páginas 20 y 21.

Es nuestro interés evaluar el efecto que tiene la relación cemento/aserrín en las propiedades del bloque con la finalidad de encontrar la proporción adecuada que cumpla con los estándares requeridos de resistencia y absorción de humedad, así que en las figuras 10, 11, 12 y 13 se muestran las gráficas comparativas de las pruebas piloto que tienen las mismas características (1,2,3,6).

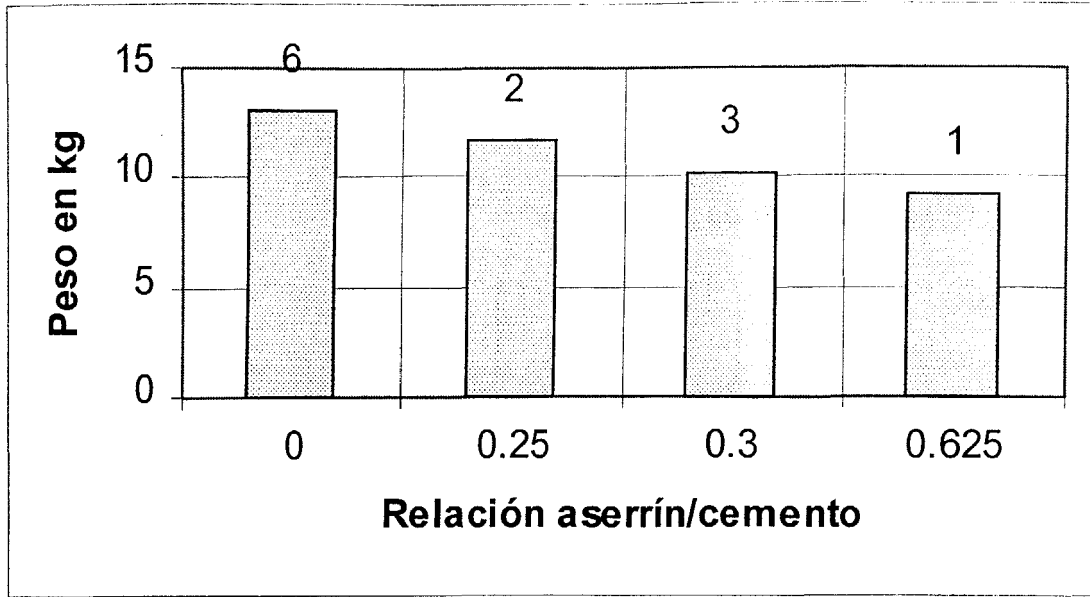


Figura 10.- Gráfica comparativa peso vs relación aserrín/cemento

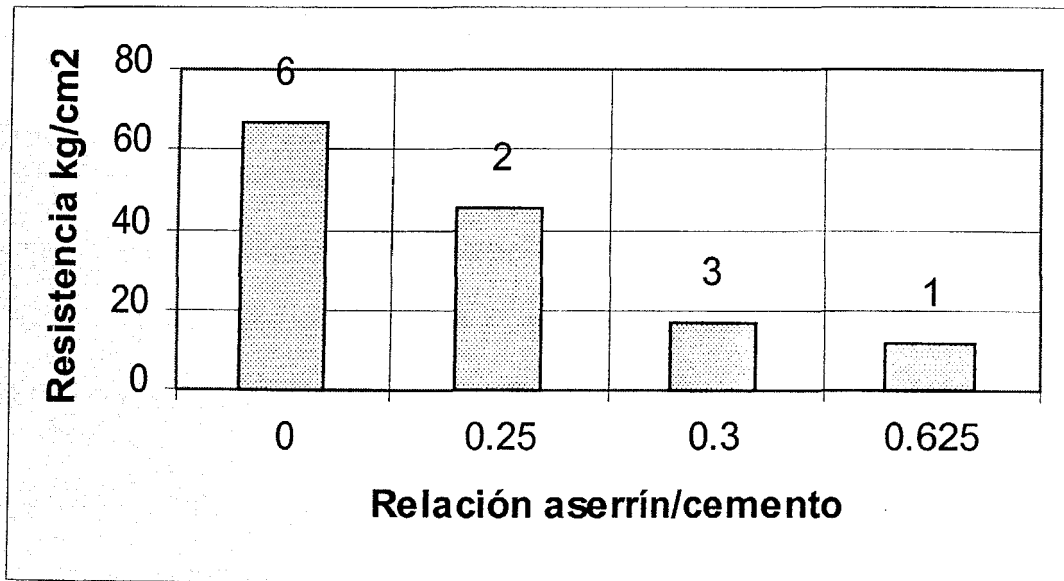


Figura 11.- Gráfica comparativa resistencia vs relación aserrín/cemento

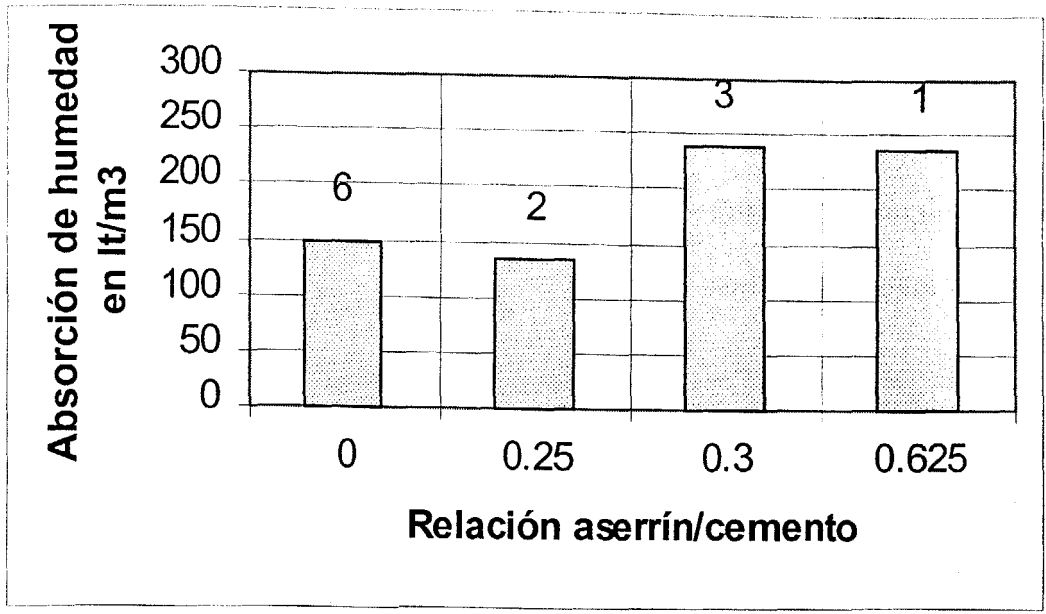


Figura 12.- Gráfica comparativa absorción de humedad vs relación aserrín/cemento

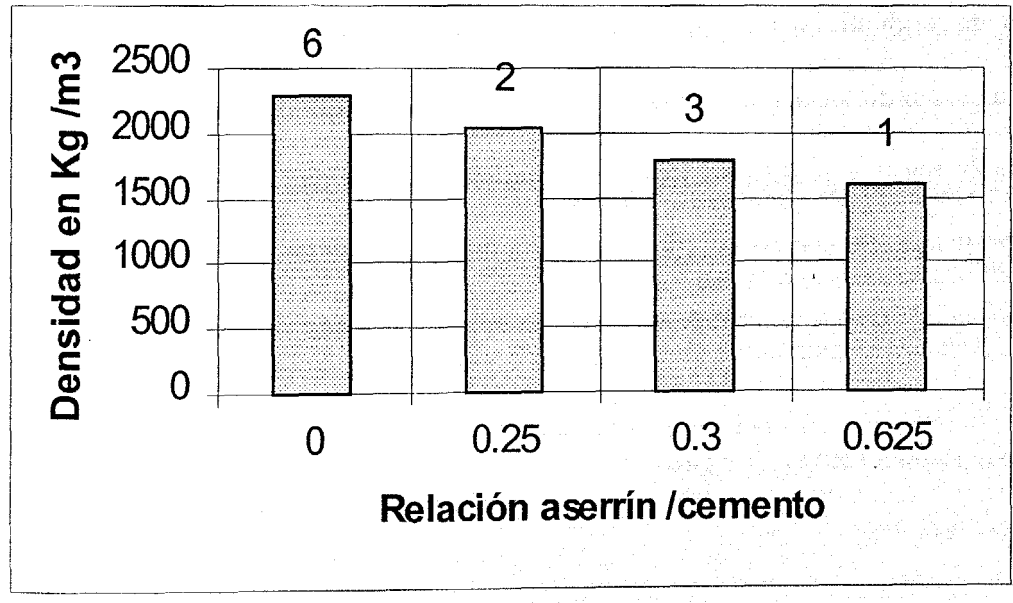


Figura 13.- Gráfica comparativa densidad vs relación aserrín/cemento

Como podemos observar los bloques que cumplen con los estándares de la NOM C-10

RBH 40:

Resistencia mínima: 40 kg/cm²

Absorción de humedad máxima: 290 lt/m³

Son los elaborados con la relación aserrín/cemento igual a 0.25, con la proporción de agregados especificados para la prueba número 2, por lo tanto se efectuará la prueba en la máquina automatizada de Bloquera Regiomontana con las proporciones de ésta mezcla.

Prueba final (nivel comercial).

Se obtuvieron 130 bloques, de los cuales se ensayaron 10 para cada prueba. Para la prueba de conductividad térmica se emplearon 3 bloques. Para esta prueba se cumplieron las mismas condiciones que en las pruebas piloto; los bloques fueron sometidos a curado durante 24 horas y se dejaron 15 días a condiciones ambientales para que desarrollaran más resistencia. Se elaboraron bloques con la mismas medidas características que los de las pruebas anteriores. Los bloques presentaron las siguientes propiedades:

Peso promedio 11.47 kg. \pm 1.29%*

(Ver apéndice, tabla 7 y 8)

Resistencia promedio 41 kg/cm². \pm 2.91%*

(Ver apéndice, Tabla 7)

Absorción promedio 180 lt/m³. \pm 12.39%*

(Ver apéndice, tabla 8)

Densidad 2012 kg/m³.

Prueba de conductividad térmica

Se tomaron lecturas cada 20 minutos hasta que se alcanzó el estado estacionario, es decir, hasta que no se reportaran cambios en las temperaturas de cada sensor. Se observó que esto ocurría alrededor de los 100 minutos para todas las muestras. Los cálculos se realizaron de acuerdo a las fórmulas indicadas en la metodología.

Conductividad térmica promedio: 2.55 W/m^{°K} = 8.70 BTU/Hr m ^{°K}= 112.73 lb-ft/min-m^{°K} ± 11.96%*

(Ver apéndice, tabla 9)

Pruebas realizadas a bloques de concreto de Bloquera Regiomontana.

Se llevó a cabo el mismo set de pruebas para bloques de concreto comerciales, fabricados por la misma máquina y que tuvieran el mismo tiempo de haber sido fabricados. Es muy importante aclarar que estos bloques contienen un aditivo que ayuda al desarrollo de la resistencia. Los resultados que se obtuvieron de estas pruebas fueron los siguientes:

Peso promedio 13.74 kg. ± 1.03%*

(Ver apéndice, tabla 10 y 11)

Resistencia promedio 126 kg/cm². ± 1.80%*

(Ver apéndice, tabla 10)

Absorción promedio $117 \text{ lt/m}^3 \pm 13.92\%^*$

(Ver apéndice, tabla 11)

Densidad 2411 kg/m^3 .

Conductividad térmica promedio: $3.186 \text{ W/m}^\circ\text{K} = 10.86 \text{ BTU/Hr m}^\circ\text{K} = 140.72 \text{ lb-ft/min-m}^\circ\text{K} \pm 11.80\%^*$

(Ver apéndice, tabla 12)

Pruebas realizadas a bloques de concreto comerciales sin aditivos (control)

Los resultados obtenidos para estos bloques fueron los siguientes:

Peso promedio: $12.85 \text{ kg} \pm 1.74\%^*$

(Ver apéndice, tabla 13 y 14)

Resistencia promedio: $67 \text{ kg/cm}^2 \pm 4.13\%^*$

(Ver apéndice, tabla 13)

Absorción promedio: $150 \text{ lt/m}^3 \pm 17.44\%^*$

(Ver apéndice, tabla 14)

Densidad: 2255 kg/m^3

En la tabla 5 se muestran los resultados obtenidos para las pruebas de bloques de concreto comerciales con aditivos, sin aditivo y con aserrín.

Tabla 5.-Comparación de bloques de concreto con bloques que contienen aserrín.

Bloque	Concreto Con aditivo	Aserrín	Concreto (control)
Peso (kg)	13.70	11.44	12.85
Resistencia (kg/cm ²)	126	41	67
Absorción (lt/m ³)	117	180	150
Conductividad (BTU/hr-m°K)	10.86	8.70	10.86
Densidad (kg/m ³)	2411	2012	2255

En seguida se presenta la figura 14 que nos muestra la gráfica comparativa de los bloques de las pruebas realizadas a los bloques de concreto con y sin aditivos contra los bloques que contienen aserrín.

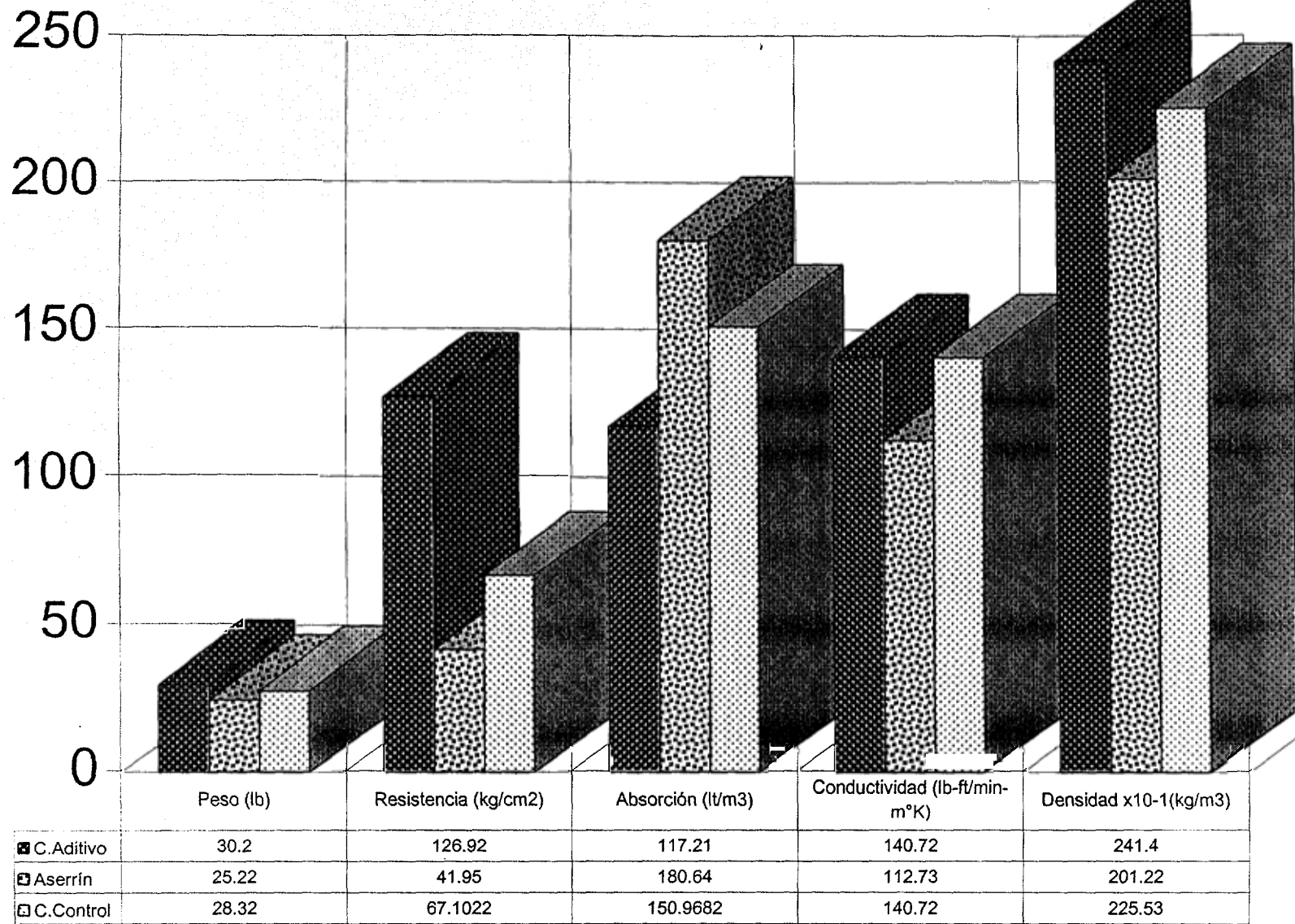


FIGURA 11. C-16

En la figura 15 se muestra la apariencia de los bloques con aserrín.

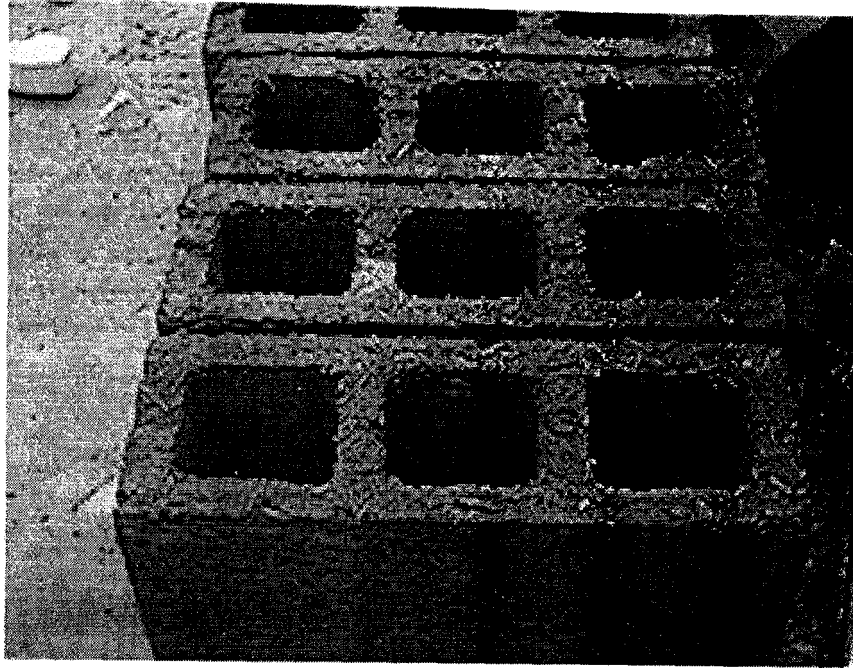


Figura 15.- Apariencia de los bloques con aserrín.

ANALISIS DE COSTOS

Finalmente se presenta una tabla en donde se compara el costo del bloque de concreto elaborado en Bloquera Regiomontana contra el bloque que contiene aserrín. La base del análisis se hizo a partir del costo comercial de los materiales por kilogramo, cotizados en marzo de 1999 (Tabla 6). El costo del aserrín, fue cotizado como desperdicio de madera, incluye el gasto de energía para molerlo y obtener la astilla de 5 mm. En la tabla 7 se muestra el costo del material en la proporción que se encuentra dentro del bloque.

Tabla 6.- Precio de los materiales por kilogramo

Material	\$/kg
Cemento	1.23
Arena	0.24
Granito	0.55
Sello	0.03
Aserrín	0.45

Tabla 7.- Evaluación del costo total de los bloques

Material	Contenido en el bloque control (kg)	\$	Contenido en el bloque con aserrín (kg)	\$
Cemento	0.959	1.179	2.280	2.800
Arena	9.590	2.301	8.008	1.920
Granito	1.781	0.979	0.377	0.200
Sello	1.370	0.0475	0.183	0.004
Aserrín	0	0	0.572	0.257

El costo total del bloque de concreto es de \$4.50, el del bloque que contiene aserrín es de \$5.22.

DISCUSIONES

Observando los datos de la tabla 3, donde se comparan los resultados de las pruebas piloto, podemos notar las variaciones que existen entre las pruebas realizadas con la misma relación aserrín/cemento. Notamos que no hay ninguna diferencia entre las características de los bloques de las pruebas 3 y 4, en donde la mezcla 4 contiene aserrín de tamaño uniforme (5mm), las variación entre los valores obtenidos para peso, absorción de humedad, resistencia y densidad son mínimas. También se observa que la variación en la proporción de los agregados afecta las propiedades del bloque. Comparando las pruebas 2 y 5, podemos ver que el peso se ve afectado cuando se modifican las proporciones de agregados en la mezcla. Si incrementamos el porcentaje (en peso) de las piedras calizas en el bloque, notamos que el peso disminuye. Lo mismo ocurre con la resistencia ya que los bloques de la prueba 5 tienen una resistencia más baja que los de la prueba 2 en un 17%. La absorción de humedad también disminuyó en los bloques de la prueba 5. Con la diferencia de peso, también se registra la diferencia de densidad. Los mejores resultados se obtuvieron de la prueba 2, que tiene una relación aserrín/cemento de 0.25, ya que los bloques elaborados con ella, fueron los únicos que cumplieron con el mínimo requerido por los estándares. De acuerdo a estos resultados podemos notar que la granulometría de los agregados es un factor que afecta las propiedades del bloque.

Los bloques que tuvieron el peso más bajo fueron los de la relación equivalente a 0.625 (gráf.1), el peso más alto es el de los bloques de la relación 0.25 de la prueba 2, esto es obvio, ya que entre mayor sea el contenido de cemento del bloque mas se incrementará su

peso debido a que es el componente que tiene mayor densidad, 1505.7 kg/m^3 . Esta gráfica y su tendencia nos indican que el valor de la proporción aserrín/cemento y el peso guardan una relación, en donde a mayor sea el valor de la primera, mayor será el peso del bloque.

La resistencia del bloque a la compresión, es otro punto importante que nos interesa analizar. El cemento es el componente de la mezcla que provee la resistencia al bloque, por lo tanto la relación aserrín/cemento que tiene el valor de 0.25 (gráf. 2), es la que presenta los mejores valores de resistencia, pero solamente la prueba 2 cumple los mínimos estándares requeridos por la NMX C-10, RBH 40 que indica que la resistencia mínima del bloque de concreto debe ser de 40 kg/cm^2 . Así también, observamos que las otras dos relaciones aserrín/cemento dan valores de resistencia muy por debajo de los mínimos permisibles. Esto implica que, si se integra aserrín a la mezcla del bloque, disminuyendo la cantidad de agregado, la proporción del cemento no podrá permanecer igual que la que se tiene en el bloque de concreto debido a que la presencia del aserrín debilita la resistencia del bloque a la compresión. Es por ello que, manteniendo la proporción de agregados constante, se jugó con la relación cemento/aserrín y de este modo se encontró la relación mínima que pudiera cumplir con los estándares.

En cuanto a absorción de humedad se refiere, la gráfica comparativa 3, nos muestra que como era de esperarse, las pruebas que más aserrín contienen, son aquellas que tiene un valor más bajo para la relación aserrín/cemento y presentan una mayor absorción de humedad, este efecto es debido a la presencia de la madera que es mucho más

higroscópica que cualquiera de los otros materiales que componen el bloque, cemento y agregados, por lo tanto el bloque que contenga más aserrín, absorberá una cantidad mayor de agua que aquellos que contengan en menor proporción el material. Si observamos la gráfica, podemos ver que todas las pruebas cumplen con los estándares de absorción de humedad de la NMX C-10, RBH 40, en la cual está indicado el límite máximo permisible de absorción de humedad y que tiene un valor de 290 lt/m^3 .

Para el caso de la densidad, a mayor proporción de aserrín en el bloque, el volumen de la mezcla aumenta de manera que el bloque tendrá menor peso y su densidad será menor. Esto se debe a que el aserrín tiene menor densidad que cualquiera de los otros agregados, 620 kg/m^3 , así como también del cemento.

Como se puede ver, los mejores resultados tanto para resistencia a la compresión como para la absorción de humedad, se obtuvieron con la razón aserrín/cemento igual a 0.25 de la prueba número 2. No así los resultados obtenidos para el peso, ya que el menor valor estuvo dado por la razón equivalente a 0.625.

Como lo que se buscaba era obtener la proporción de materiales adecuada que diera como resultado un bloque que cumpliera con los estándares requeridos, se eligió la razón aserrín/cemento igual a 0.25 y la proporción de agregados de la prueba 2 para llevar a cabo la prueba a nivel comercial.

PRUEBA NIVEL COMERCIAL

Una vez que se llevó a cabo la prueba comercial para el bloque de aserrín y se obtuvieron los resultados para las pruebas de calidad de los bloques, se hizo la comparación con los valores obtenidos para las mismas pruebas hechas a bloques de concreto normales con aditivos para desarrollar mayor resistencia y con bloques de concreto comerciales sin aditivos (control).

Podemos observar en la gráfica 5 que el peso del bloque que contiene aserrín es menor que el del bloque de concreto con aditivo en un 20% y un 11% más bajo que el del bloque control (sin aditivo). Este se puede considerar un buen resultado si observamos que el bloque de concreto normal, con o sin aditivo, contiene apenas un 7% de cemento y el bloque de aserrín tiene el 20%, además de ser el cemento el componente de más alta densidad dentro del bloque. Lo que indica que la integración de aserrín a la mezcla del bloque si aumenta en gran medida la ligereza del mismo.

En cuanto a resistencia a la compresión se refiere, podemos ver en la gráfica que la resistencia del bloque de concreto que contiene aditivo es tres veces la del bloque de aserrín y la del bloque control es mayor 1.5 veces, esto nos muestra que la inclusión de aserrín en el bloque lo hace menos resistente, aun cuando contiene más cemento que el bloque de concreto. Se puede notar la incompatibilidad de la madera y el cemento en la mezcla, esto podría ser el resultado de que la madera no es un material isotrópico, es decir que su estructura no es igual en sus tres dimensiones, lo que impide que el cemento

se adhiera a la superficie de la misma de manera uniforme, en todo el volumen de la astilla de aserrín; aunque la madera tiene alto contenido en celulosa, y esta como resina se considere un buen cementante, sería necesario el empleo de algún aditivo que ayude a aprovechar el contenido de celulosa del aserrín.

Respecto a los resultados obtenidos para la absorción de humedad, podemos ver en la gráfica 5 que el bloque de aserrín retiene un 54% más de agua que el del bloque de concreto con aditivos y un 16% más que el del bloque control. Esto es lógico, ya que la madera por sí misma absorbe mucho más humedad que el resto de los materiales, esto se debe a los espacios que existen entre las pequeñas fibras que conforman la madera.

La conductividad térmica del bloque de aserrín, como se esperaba, fue menor en un 25%. Es sabido que el bloque de concreto, entre más cemento tenga, mayor será su conductividad térmica pero aunque el contenido de cemento en el bloque de aserrín es 2.85 veces el del bloque de concreto, su conductividad disminuyó notablemente con la inclusión del aserrín. Esto era de esperarse ya que la conductividad térmica de la madera, 38 BTU/hr ft °F, es mucho menor que la de los materiales del bloque de concreto: arena, granito, sello y cemento, para los cuales, la literatura reporta valores de 144, 44.4, 60 y 122.4 BTU/hr ft °F.

Lo más notable en este comparativo es la diferencia entre las resistencias de los 3 bloques. Como se puede observar el bloque de concreto con aditivo, sobrepasa, por mucho, los estándares requeridos para la resistencia a la compresión, lo que nos indica que con el aditivo se logra un gran incremento en la resistencia, y se puede ver que el

bloque de concreto con aditivo tiene casi el doble de la resistencia del bloque control, sin aditivo.

En cuanto al análisis estadístico de los resultados, observamos que las desviaciones más grandes se tienen en las pruebas de absorción de humedad. Esto podría ser el resultado de las condiciones climatológicas al momento de realizar la prueba, así como también las impurezas que pudiera contener el agua en donde se sumergieron los bloques, que en algunos casos presentaron formación de sales en las paredes. Se obtuvieron desviaciones más pequeñas para las pruebas realizadas en la maquinaria de Bloquera Regiomontana. Esto se debe a que la uniformidad en el mezclado, el tiempo de vibración y compactación fue más fácil de controlar. Estas variables son fundamentales, ya que en el caso de los bloques de aserrín se pudo observar que al dejar vibrar más tiempo el bloque, el cemento, por su mayor densidad, se colocaba en la parte inferior del bloque, quedando esta sección más resistente y la parte superior, mas frágil.

En lo que respecta al análisis de costos, el precio del bloque con aserrín se ve incrementado en un 15%. Podemos ver que el aserrín resulta ser el agregado más caro, esto se debe a que al valor del desperdicio de madera, debe agregarse el costo de la energía necesaria para moler el desperdicio de madera y obtener astillas con un tamaño de partícula de 5 mm.

CONCLUSIONES

El objetivo de este proyecto era implantar o adaptar la tecnología adecuada para la integración del aserrín generado por las madereras, en la elaboración de otro producto. Se llevó a cabo una investigación bibliográfica para encontrar antecedentes sobre el recicló, integración y tratamiento del desperdicio de madera, llegando a la conclusión de que una vía factible para el aprovechamiento de este residuo sería la integración del mismo en la elaboración de bloques de concreto, haciéndolos mas ligeros y con una conductividad térmica menor a la del bloque de concreto normal, es decir, producir un bloque de menor peso y fuese un buen aislante térmico.

Se ensayaron diferentes proporciones en las mezclas y se les hicieron las pruebas de absorción de humedad y resistencia para ver cual de las distintas pruebas cumplía con los mínimos estándares requeridos por la NMX C-10, RBH 40; en otras palabras, se buscaba la mejor relación aserrín/cemento que cumpliera con las normas y de este modo se obtendría la proporción máxima de aserrín que se podría integrar al bloque obteniendo la resistencia y absorción adecuadas.

Como pudimos observar en los resultados, la mezcla que cumplió con los estándares fue la que tiene la razón aserrín/cemento equivalente a 0.25 con las proporciones de agregados especificadas para la prueba número 2. Se puede notar que el aserrín, a pesar de su alto contenido en celulosa, no resulta compatible con el cemento, así que los bloques que contenían madera resultaron mucho más frágiles de lo que se esperaba. Esta

incompatibilidad puede ser el resultado de la naturaleza no isotrópica de la madera, lo que impide que el cemento se adhiera a la superficie de ésta de forma homogénea; esto no sucede con el resto de los agregados, ya su estructura es diferente y resultan ser más homogéneos en su superficie que el aserrín. También es importante notar la diferencia de la naturaleza de los agregados, tomando en cuenta su polaridad y estructura química, por lo que se sugiere utilizar aditivos, por un lado para el cemento y el resto de los agregados, por otro, algún aditivo para el aprovechamiento de la celulosa que contiene la madera

Debido a que el cemento es el componente que provee la resistencia al bloque, no se pudo mantener fijo el porcentaje de cemento que tiene un bloque de concreto normal (7%). Así que se fue incrementando el cemento hasta obtener la resistencia adecuada para un bloque que contenga 5% en peso de aserrín.

Se observó que la variación en las proporciones de los agregados influye significativamente en las propiedades del bloque, lo que significa que la granulometría es una variable fundamental dentro de la selección de los agregados y, aunque el tamaño de partícula del aserrín es similar al de los agregados mas gruesos, la diferencia en su naturaleza, (mineral y vegetal respectivamente), provoca el decremento de la resistencia. También se observa que el resto de las características del bloque se ven afectadas con la granulometría de los agregados y sus proporciones en la mezcla. En cuanto a granulometría, se busca siempre la fracción de huecos mas pequeña, pero para maximizar el rendimiento del cemento, se introducen agregados de mayor tamaño, que poseen superficies específicas menores y que requieren menos cemento para adherirse.

Una vez que se obtuvieron los valores requeridos para la resistencia a la compresión y absorción de humedad, se ensayó la misma relación aserrín/cemento pero en esta ocasión la prueba se llevó a cabo en una máquina automatizada, es decir, a nivel comercial. Se suponía que la resistencia de los bloques elaborados en esta prueba sería mayor debido a que habría menor variación en el proceso de mezclado.

Al analizar los resultados de los bloques elaborados en la prueba comercial, se observó que la resistencia que presentaron fue la misma que en las pruebas piloto y es esta característica la que más interesa a este proyecto ya que los valores obtenidos rayan en el límite inferior de los estándares.

De la comparación de resultados, podemos ver que, en efecto, el bloque que contiene aserrín es más ligero en un 20% y 10% cuando se compara con los bloques de concreto con aditivos y sin aditivos respectivamente, debido principalmente a la baja densidad de la madera, comparada con los otros agregados y con el cemento mismo. También es notable que la resistencia decrece drásticamente, aún cuando se aumentó la proporción de cemento en el bloque. Para este aspecto, un punto interesante, sería la inclusión de algún tipo de aditivo que coadyuvara al aprovechamiento de la celulosa que contiene el aserrín; esto podría incrementar la resistencia del bloque, aunque se tendría que evaluar la manera en que pueda verse afectada la absorción de humedad del mismo. Respecto a esta última característica, podemos ver en la gráfica que la retención de agua que presenta el bloque que contiene aserrín está muy por encima de los valores del bloque de concreto.

Esto se debe a la estructura fibrosa de la madera; su baja densidad, nos indica que ocupa un volumen grande, es decir que tiene pequeñas cavidades dentro de su estructura, donde se hace posible la retención de humedad. De cualquier forma, los valores obtenidos se encuentran debajo de los estándares establecidos por la NMX C-10, RBH 40, 290 lt/m^3 .

En cuanto a las pruebas de conductividad térmica, pudimos observar que obviamente el bloque de concreto tenía una constante de conductividad más alta que la del bloque que contenía aserrín. La diferencia entre ambas no resultó ser tan grande como se esperaba ya que entre más cemento contenga el bloque, menos aislante va a resultar, pero sería interesante realizar una evaluación de C_p , del concreto normal y el que contiene aserrín ya que en las pruebas de absorción de humedad, donde se introducían los bloques durante 24 a 110° , se pudo observar que el concreto normal, retenía el calor por más tiempo que el concreto que contiene aserrín.

De las desviaciones estándar que arrojaron los resultados, fueron menores las de la prueba a nivel comercial, esto era lo esperado ya con la máquina automatizada, se tuvo un mejor control de las variables en la producción de bloques: mezclado, tiempo de vibración y compactación. Las desviaciones con mayor valor fueron las de las pruebas de absorción de humedad, esto refleja que la prueba se ve afectada por las situaciones climatológicas, las variaciones de peso al escurrir los bloques, el agua donde se sumergen los mismos y la formación de sales en las paredes de concreto.

Podemos concluir que al integrar el aserrín como agregado en la elaboración de bloques concreto da como resultado la alteración significativa de sus propiedades, principalmente en cuanto a resistencia a la compresión se refiere. Si se incrementa la proporción de aserrín dentro del bloque, sin ningún aditivo, será necesario siempre el aumento de la proporción de cemento. Es por esta razón que se sugiere el uso de algún aditivo que ayude al desarrollo de la resistencia mecánica del bloque y/o algún otro coadyuvante en el aprovechamiento de las resinas que contiene la madera.

Respecto a la absorción de humedad, aunque aumenta con la integración de madera al bloque, no es el principal problema en cuanto a calidad se refiere ya que los valores obtenidos para el bloque de aserrín son bastante aceptables, sin embargo se deberá estudiar el tiempo de vida útil del bloque ya que al integrar la madera pueden surgir nuevas problemáticas como el ataque de insectos a la madera, la flamabilidad del bloque y la degradación del nuevo agregado dentro del concreto.

APÉNDICE

Prueba No. 1

Tabla 1.1 Evaluación de peso

Bloque	Peso (kg)
1	9.210
2	9.300
3	9.050
4	9.210
5	8.960
6	9.000
7	9.420
8	9.350
9	9.220
10	9.170

Tabla 1.2 Prueba de absorción de humedad

Bloque	Peso sumergido (kg)	Peso saturado (kg)	Peso seco (kg)	Absorción de humedad (Its/m ³)
1	4.730	10.500	9.020	256.49
2	4.920	10.430	9.080	245.00
3	4.860	10.310	9.150	212.84
4	5.080	10.470	9.110	252.31
5	5.070	10.020	8.920	222.22

Tabla 1.3 Prueba de resistencia

Bloque	Carga máxima (kg)	Resistencia (kg/cm ²)
6	6279	12.324
7	5896	10.798
8	6423	11.763
9	6158	11.278
10	6474	11.857

Prueba No. 2**Tabla 2.1 Evaluación de peso**

Bloque	Peso (kg)
1	11.523
2	11.654
3	12.452
4	11.952
5	11.220
6	11.305
7	11.752
8	11.800
9	11.435
10	11.371

Tabla 2.2 Prueba de absorción de humedad

Bloque	Peso sumergido (kg)	Peso saturado (kg)	Peso seco (kg)	Absorción de humedad (lts/m ³)
1	5.100	12.410	11.321	148.97
2	5.620	12.280	11.390	133.63
3	5.985	13.054	12.212	119.11
4	5.010	12.695	11.770	120.36
5	4.935	12.160	11.030	156.40

Tabla 2.3 Prueba de resistencia

Bloque	Carga máxima (kg)	Resistencia (kg/cm ²)
6	21965.58	40.23
7	26764.92	49.02
8	27949.74	51.19
9	22790.04	41.74
10	23860.02	43.70

Prueba No. 3

Tabla 3.1 Evaluación de peso

Bloque	Peso (kg)
1	10.150
2	10.430
3	10.021
4	10.185
5	10.190
6	10.086
7	10.103
8	10.000
9	10.415
10	10.163

Tabla 3.2 Prueba de absorción de humedad

Bloque	Peso sumergido (kg)	Peso saturado (kg)	Peso seco (kg)	Absorción de humedad (lts/m ³)
1	5.880	11.002	9.920	211.24
2	6.350	11.560	10.280	245.68
3	5.420	11.150	9.875	222.51
4	5.980	11.470	9.930	280.51
5	5.710	11.430	10.040	243.00

Tabla 3.3 Prueba de resistencia

Bloque	Carga máxima (kg)	Resistencia (kg/cm ²)
6	9309	17.050
7	9195	16.840
8	9154	16.765
9	9575	17.583
10	9680	17.729

Prueba No. 4

Tabla 4.1 Evaluación de peso

Bloque	Peso (kg)
1	10.282
2	10.425
3	10.215
4	10.112
5	10.652
6	10.320
7	10.840
8	10.518
9	10.213
10	10.297

Tabla 4.2 Prueba de absorción de humedad

Bloque	Peso sumergido (kg)	Peso saturado (kg)	Peso seco (kg)	Absorción de humedad (lts/m ³)
1	5.721	11.301	10.010	231.36
2	5.530	11.243	10.125	195.69
3	5.823	11.047	9.803	238.13
4	6.035	11.325	10.002	250.09
5	5.649	11.172	10.240	168.74

Tabla 4.3 Prueba de resistencia

Bloque	Carga máxima (kg)	Resistencia (kg/cm ²)
6	9265	16.968
7	9641	17.657
8	9216	16.879
9	9323	17.075
10	9142	16.743

Prueba No. 5

Tabla 5.1 Evaluación de peso

Bloque	Peso (kg)
1	10.940
2	10.709
3	10.932
4	10.556
5	10.731
6	10.365
7	10.539
8	10.659
9	10.470
10	10.688

Tabla 5.2 Prueba de absorción de humedad

Bloque	Peso sumergido (kg)	Peso saturado (kg)	Peso seco (kg)	Absorción de humedad (lts/m ³)
1	5.420	11.620	10.235	223.387
2	5.275	11.730	10.480	193.684
3	5.165	11.825	10.670	173.423
4	5.145	11.495	10.355	179.527
5	5.070	11.360	10.390	154.213

Tabla 5.3 Prueba de resistencia

Bloque	Carga máxima (kg)	Resistencia (kg/cm ²)
6	19377	35.489
7	19869	36.390
8	21218	38.860
9	20952	38.373
10	21140	38.717

Prueba No. 6

Tabla 6.1 Evaluación de peso

Bloque	Peso (kg)
1	13.200
2	12.920
3	13.060
4	13.190
5	12.860
6	13.030
7	13.210
8	13.140
9	12.810
10	12.900

Tabla 6.2 Prueba de absorción de humedad

Bloque	Peso sumergido (kg)	Peso saturado (kg)	Peso seco (kg)	Absorción de humedad (lts/m ³)
1	6.520	14.210	12.900	170.351
2	6.490	13.920	12.750	157.46
3	6.560	13.810	12.890	126.89
4	6.480	14.000	12.930	142.287
5	6.430	13.630	12.610	141.666

Tabla 6.3 Prueba de resistencia

Bloque	Carga máxima (kg)	Resistencia (kg/cm ²)
6	34310	62.833
7	38150	69.871
8	40020	73.296
9	36170	66.245
10	33910	62.106

Prueba nivel comercial relación aserrín cemento de 0.25

Tabla 7. Peso y resistencia

Bloque	Peso (kg)	Carga máxima (kg)	Resistencia (kg/cm ²)
1	11.730	22354	40.941
2	11.350	21658	39.666
3	11.370	20569	37.672
4	11.400	24136	44.205
5	11.310	24853	45.518
6	11.590	20548	37.633
7	11.420	26812	49.117
8	11.570	22694	41.564
9	11.330	23771	43.536
10	11.640	21657	39.664

Tabla 8. Peso y absorción de humedad

Bloque	Peso (kg)	Peso sumergido (kg)	Peso saturado (kg)	Peso seco (kg)	Absorción (lt/m ³)
1	11.360	4.920	12.870	11.150	216.352
2	11.420	5.010	12.322	11.230	149.343
3	11.710	5.210	13.120	11.500	204.804
4	11.380	4.820	13.010	11.120	230.769
5	11.650	4.990	13.050	11.410	203.473
6	11.590	4.630	12.921	11.320	193.101
7	11.340	4.570	12.620	11.080	191.304
8	11.570	4.860	13.000	11.410	195.331
9	11.330	4.830	12.890	11.100	222.084
10	11.290	4.460	12.650	11.060	194.139

Tabla 9. Resultados de la prueba de conductividad térmica

Muestra	Diámetro (cm)	Longitud (cm)	T1 (°C)	T2 (°C)	K (W/m°K)
1	3.212	2.870	120.7	119.8	2.25
2	3.172	2.931	121.3	120.6	2.86
3	3.254	3.152	119.4	118.6	2.55

Pruebas realizadas a bloques de concreto que contienen aditivo para incrementar la resistencia.

(Fabricados por Bloquera Regiomontana)

Tabla 10. Peso y resistencia

Bloque	Peso (kg)	Carga máxima (kg)	Resistencia (kg/cm ²)
1	13.920	52583	96.305
2	13.860	61350	112.362
3	13.540	57127	104.628
4	13.770	51241	93.847
5	13.690	56321	103.152
6	13.780	62836	115.084
7	13.620	60914	111.564
8	13.890	61238	112.157
9	13.530	59623	109.199
10	13.840	61254	112.186

BIBLIOGRAFÍA

1. American Forest & Paper Association. (1996). Standard for load resistance factor design (LRFD) for engineered wood construction. Autor, American Society of Civil Engineers and American Society of Civil Engineers. New York.
2. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. (1979). Diseño y construcción de estructuras a base de mamposterías de concreto. Informe del Comité ACI 531. Autor. México
3. Waddell, Joseph J. (1997). Manual de la construcción con concreto. Autor y Joseph A. Dobrowolski. México: McGraw Hill.
4. Committee on Concrete and Masonry Structures of the Structural Division of the American Society of Civil Engineers, Chicago, Illinois, April 15-18, 1996; edited by A.E. Schultz and S.L. McCabe. (1996). Worldwide advances in structural concrete and masonry : proceedings of the CCMS symposium held in conjunction with Structures Congress XIV. Autor. New York: ASCE.
5. Hendry Arnold W. (1991). Reinforced and prestressed masonry. Harlow, Essex, England : Longman Scientific & Technical. New York: Wiley.
6. Mailvaganam Noel P. (1992). Repair and protection of concrete structures. Autor. Boca Raton, Fla.: CRC Press.
7. Curtin, W. G. (1988). Design of reinforced and prestressed masonry. W. G. Curtin, G. Shaw, J. K. Beck. London: T. Telford.
8. American Institute of Timber Construction. (1994). Timber construction manual. Autor. New York: Wiley, 4th ed.

9. Gajanan M. Sabnis. (1979). Handbook of composite construction engineering. Autor. New York : Van Nostrand Reinhold Co.
10. Prestressed Concrete Institute. (1991). Design Handbook. Autor.
11. Portland Cement Association. (1991). Concrete Masonry Handbook. Autor. 5a ed.
12. American concrete Institute. Building Code Requeriments for reinforced Concrete (ACI 318-89). Autor.
13. Toennies, H. T. y J. J. Shideler. (1963). Plant Drying and carbonation of Concrete Block-NCMA-PCA Cooperative program. J ACI., mayo de 1963.
14. National Concrete Masonry Association. Q Block Specifications. Autor. Washington D. C.
15. American. Concrete Institute.(1983). Building Code Requeriments for Concrete Masonry Structures (ACI-531-79)(rev. 1983). Autor.
16. American Concrete Pipe Association. (1981). Concrete Pipe Handbook. Autor.
17. American. Concrete Institute. (1980). ACI recommendations for design, manufacture, and Installation for Concrete Piles (ACI 543-74) (vuelta a aprobar en 1980). Autor.
18. White, Kathleen M. (1995). "Growing with wood waste." Waste Age. May 1995, Volume: 26, Pag.: 59-60.
19. Springer, A. M. y otros. (1996). "Eco blocks: nontraditional use for mixed wastepaper." Journal of Environmental Engineering. May 1996, Volume: 122, Pag.: 437-44.

20. Dave Block. (1988). "Wood fiber reuse strategies." BioCycle. Emmaus, Jul 1998, Volume: 39 Issue: 7, Pag.: 38-39.
21. David Block. (1997). "Processing and marketing woody materials." BioCycle. Emmaus, Sep 1997, Volume: 38, Issue: 9, Pag.: 54-56.
22. Dave Block. (1997). "Bringing added value to recycled wood products." BioCycle. Emmaus, Sep 1997, Volume: 38, Issue: 9, Pag.: 63-64.
23. Glenn, Jim. (1996). "Wood residuals find big uses in small pieces." BioCycle. Emmaus, Dec 1996, Volume: 37, Issue: 12, Pag.: 35-38.