

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA
DEL LITORAL**

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA

**HORMIGÓN CELULAR CON LA
UTILIZACIÓN DE MATERIALES LOCALES**

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del título de:

INGENIERO CIVIL

AUTORES:

CECILIA ITALIA PEÑA STERLING

FULTON FABRICIO ZAMBRANO GARCÍA

GUAYAQUIL - ECUADOR

2001

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



Ing. Edison Navarrete C.
Decano de la F.I.C.T.

Ing. Ricardo Gallegos O.
Sub Decano de la F.I.C.T.



Ing. Hugo Egüez A.
Director de Tesis

Ing. José Camposano
Miembro del Tribunal

Ing. Julio Rodríguez.
Miembro del Tribunal

DECLARACIÓN EXPRESA

“ La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestas en ésta tesis, corresponden exclusivamente a los autores, y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado corresponderá a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL ”

(Reglamento de Exámenes y Títulos Profesionales de la ESPOL).

Cecilia Italia Peña Sterling

Fulton Fabricio Zambrano García

AGRADECIMIENTO

Al Ing. Hugo Egüez A. Director de
Tesis, Ing. José Campozano Jefe
del Centro Técnico del
Hormigón,
por la ayuda y colaboración en éste
trabajo.

RESUMEN

Este trabajo presenta información de la investigación realizada en la fabricación de bloques alivianados con la utilización de materiales locales como: el cemento puzolánico INEN IP, ceniza de cascarilla de arroz, arenas naturales molidas y sin moler, fibras naturales, cal viva y apagada, soda cáustica, polvo de aluminio, compuestos orgánicos incorporadores de aire.

El curado en todos los ensayos se los hizo aceleradamente, con temperaturas desde los 50°C hasta los 130°C y a presión ambiental. Se obtuvieron bajas densidades de hasta 1400 kg / m³ y porosidades entre 24% y 28%, debido en gran parte al uso de incorporadores de aire en la mezcla. En cuanto a resistencia, iban desde los 60 kg /cm² hasta un máximo de 135 kg / cm².

Este hormigón presenta características físicas que nos permite obtener mayores beneficios que con las del hormigón convencional, ya que además de utilizar materiales locales y abundantes en el medio, las bajas densidades obtenidas pueden reducir costos en obra.

INDICE GENERAL

I	Introducción	1
	1.1. Antecedentes	3
	1.2. Hormigón Celular de curado acelerado. Definición y composición	5
II	Usos	8
	2.1. Comportamiento al fuego	9
	2.2. Resistencia mecánica	9
	2.3. Conductividad térmico	10
	2.4. Aislamiento acústico	11
	2.5. Durabilidad	11
III	Materiales	14
	3.1. Cemento Puzolánico INEN IP	15
	3.2. Ceniza de cascarilla de arroz	16
	3.3. Arena	18
	3.3.1. Arena del río boliche molida	19
	3.3.2. Arena sílice molida	19
	3.4. Fibras naturales	20
	3.5. Cal	21

3.6	soda cáustica	22
3.7.	Incorporación de aire.	23
3.7.1.	Polvo de aluminio	24
IV	Diseño y Ensayo en el Hormigón	26
4.1.	Dosificación	26
4.2.	Resultados, Resistencia a Compresión, Absorción y Porosidad	35

Conclusiones y Recomendaciones

Bibliografía

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

En nuestro País por tradición se emplean bloques alivianados elaborados con áridos livianos, es común el uso de Lapilli ó Pómez Volcánica. También se utilizan ladrillos huecos para la construcción en general.

El costo tanto de transporte de los agregados livianos los que son extraídos principalmente de la Sierra Ecuatoriana, así como la utilización de madera para la producción del ladrillo hacen necesario buscar alternativas para elaborar bloques alivianados y

una de estas sería la de fabricar un bloque de hormigón celular con materiales no convencionales.

Entre las características más notables de hormigón celular mencionamos que posee un punto de fusión que, junto a sus buenas cualidades de aislamiento térmico, le confiere prestaciones excelentes en lo que respecta a su comportamiento al fuego. También posee un bajo módulo de elasticidad en comparación con el del hormigón y mortero normales; característica ésta a tener muy en cuenta, cuando el material se pone en contacto directo en obra con morteros u hormigones normales de cemento.

Se trata de un material de muy baja densidad, por supuesto comparado no sólo con los hormigones normales (de árido calizo o silíceo) sino con gran parte de los hormigones de áridos ligeros.

Las ventajas de tener un material de baja densidad son numerosas, por ejemplo la reducción de la carga muerta, ya que el peso que gravita sobre la cimentación de un edificio es muy importante en el diseño del mismo, especialmente en la actualidad en la que los edificios son cada vez más altos.

Este material que, siendo relativamente absorbente, merced a su respirabilidad puede utilizarse directamente expuesto a la lluvia aunque los fabricantes aconsejan su protección exterior con un

revestimiento continuo de pintura texturada a base de un aglomerante plástico, sobre todo cuando se utiliza en zonas de pluviometría alta.

Un aspecto interesante relacionado con la calidad del Hormigón celular de curado acelerado, es la necesidad de utilizar materias primas de calidad constante. En especial, es la cal porque influye notablemente en el producto final. (5)

1.1. Antecedentes.

Es conveniente hablar brevemente de los antecedentes históricos de lo que se acostumbró a llamar un nuevo viejo material para los españoles. El hormigón celular de curado acelerado entra al mercado de la construcción hacia 1929.

El mayor desarrollo en gran parte de Europa tiene lugar a raíz de la segunda guerra mundial y concretamente con la crisis energética de mediados de la décadas de los 70.

En el transcurrir del tiempo se suscitan una serie de problemas como consecuencia de unas condiciones de puesta en obra poco conocidas, al mismo tiempo coincide

un periodo de recesión, entonces este material desapareció del mercado, aunque fue brevemente, porque diez años

aproximadamente después de dicha desaparición ha vuelto a utilizarse el hormigón celular en gran parte del mundo con una recuperación paulatina.(5)

En la actualidad cada vez se usan menos materiales en el sentido tradicional de la palabra y cada vez se usan más los sistemas como conjuntos inseparables entre materiales y técnicas de aplicación.

Para cualquier agregado liviano, la investigación de sus características físicas, la adición de aditivos químicos, dosificación en el laboratorio, la metodología para efectuar la mezcla y el tipo de curado, es primordial. Además se debe de tener suficientes y apropiados resultados de las cualidades del hormigón resultante, es importante considerar que también va a influir los diferentes procesos que intervinieron en la fabricación del agregado y la temperatura a la que se lo sometió. (2)

1.2. Hormigón Celular de Curado Acelerado. Definición y Composición.

Se llama hormigón celular de curado acelerado a una mezcla de arena silíceo finamente molida, cemento, cal, anhidrita y agua en las proporciones aproximadas indicadas en la tabla I (5), además se utiliza el polvo de aluminio, el que va a servir como aireante, una vez fraguada y moldeada es sometida inmediatamente después a un proceso de curado acelerado.

TABLA I
MATERIAS PRIMAS PARA LA FABRICACIÓN DEL
HORMIGÓN CELULAR DE CURADO ACELERADO

Materiales	% en peso
Arena silíceo	40
Cemento	9
Cal	9
Anhidrita	1.5
Polvo de aluminio	0.5
Agua	40

En resumidas cuentas se trata de un hormigón que, a diferencia de los hormigones convencionales, sólo tiene aplicación en construcción en forma de elementos

prefabricados. Los hormigones celulares curados en autoclaves pertenecen, por su constitución, a la familia de los materiales sílico- calcáreos, estabilizados.

La cantidad de polvo de aluminio que se incorpora durante el proceso de fabricación es la que va a determinar la variación de la densidad. El polvo de aluminio reacciona con la cal y desprende hidrógeno para formar los huecos esféricos en la masa. La densidad del material, para su utilización en la fabricación de componentes, varía entre 400-800 Kg/m³.

Al variar la densidad lógicamente varían sus propiedades físicas, y en consecuencia el campo de aplicación, no obstante, la densidad que normalmente se utiliza para la fabricación, en la mayoría de los componentes, está comprendida entre los 500-600 Kg /m³. En la Tabla II (5), se muestran algunas de las principales características físicas del hormigón celular de curado acelerado.

TABLA II

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL HORMIGÓN CELULAR

Características físicas del hormigón celular	Valor
Calor específico en W.h/Kg.°K	0,28
Conductividad térmica en w/m. °K	0,11 – 0,20
Dilatación termica en mm/m	0,008
Punto de fusion en.°C	1.100-1.200
Modulo de elasticidad E en Kg/cm ²	14.000-30.000
Absorción del agua en g/dm ³ máxima en 24 horas	210
Retracción en mm/m	0,15 – 0,45
pH.	9 -10

CAPITULO II

USOS

Es necesario señalar una cualidad muy importante, desde el punto de vista de su utilización en obra. Se trata precisamente de su trabajabilidad.

No siempre se pueden aplicar las mismas consideraciones de resistencia y trabajabilidad a los diferentes tipos de hormigón celular de curado acelerado.

2.1. Comportamiento al fuego

Una de las utilizaciones más interesantes del hormigón celular de curado acelerado es su excelente respuesta al fuego desde el punto de vista de la protección pasiva, lo que

facilita la protección de estructuras metálicas. Primeramente, se trata de un material incombustible; tiene un elevado punto de fusión; y su baja conductividad térmica, su bajo coeficiente de dilatación y resistencia al choque térmico sin producir fisuración, con lo que reduce los riesgos de colapso durante el incendio.

2.2. Resistencia mecánica

Este hormigón por su bajo módulo de elasticidad y densidad desarrolla una resistencia mecánica tanto a compresión como a flexotracción, menor a la de los hormigones en masa utilizados en la fabricación de bloques huecos normales.

Su resistencia admisible a compresión, en función de la densidad, está comprendida entre los 3 y 10 MPa. Sin embargo, los bloques pueden utilizarse sin problemas en la edificación con muros de carga hasta cuatro o cinco plantas. Incluso estos muros admiten la incorporación de armaduras de acero en sus juntas horizontales. (5)

2.3. Conductividad térmica

El aislamiento térmico de los muros realizados con bloque de hormigón celular de curado acelerado varía con la velocidad del material y con el tipo de junta utilizado.

Las cualidades aislantes son las que favorecen el empleo de la solución de muro de cerramiento de una sola capa que satisfaga tanto las exigencias relativas de la seguridad como las relativas al confort térmico y ahorro energético normales en edificación.

Por otra parte, las mismas cualidades sirven para evitar las condensaciones superficiales e internas en locales habitables con elevada higrometría, como son fáciles de encontrar en muros de hormigón en masa sobre todo cuando se utilizan sistemas de calefacción individual.

En resumen, puede decirse que el hormigón celular de curado acelerado ocupa un lugar intermedio o es una solución de compromiso entre los materiales pesados, caracterizados por su elevada inercia térmica y los materiales ligeros, caracterizados por su elevado aislamiento térmico.

2.4. Aislamiento acústico

En lo que respecta al aislamiento acústico de los muros y divisiones realizadas en hormigón celular de curado

acelerado, se ha comprobado experimentalmente, que aquél supera en 2 de los valores obtenidos aplicando el material estrictamente la ley de masas. Ello es debido, según los expertos, a su estructura interna y a su capacidad de amortiguamiento de la energía de la onda sonora por deformación.

En lo que respecta al acondicionamiento acústico, y cuando se dejan los bloques aparentes, su absorción es muy superior a la del hormigón normal, merced a su estructura rugosa, lo que se traduce a una menor reverberación y, por consiguiente, en un mayor confort para los ocupantes de los locales construidos con este material.

2.5. Durabilidad.

La durabilidad del hormigón celular de curado acelerado depende en gran medida del respecto a las condiciones particulares de uso y puesta en obra, avaladas por la experiencia y reflejadas tanto en las normas como en las especificaciones que dan los fabricantes.

En cuanto a la acción del agua conviene advertir que el hormigón celular de curado acelerado no admite su contacto permanente con ella. Sin embargo su respirabilidad hace

que admita la acción directa de la lluvia de forma intermitente, aunque si los muros van a quedar expuestos en zonas de elevada pluviometría. Medidas de prudencia aconsejan aplicar un revestimiento por la cara exterior (pintura, revestimiento delgado en plástico). (5)

Finalmente, como ya se indicó antes, la compatibilidad del hormigón celular de curado acelerado con el resto de los materiales de construcción es la misma que la de los hormigones normales.

El hormigón celular de curado acelerado permite :

- El corte directo con sierra manual.
- El calvado con clavos galvanizados de tipo helicoidal.
- El atornillado directo con tornillos rosca madera o por medio de clavijas.
- El taladro con broca.
- El rozado o fresado, manual o mecánico.
- El encolado con morteros ad-hoc de cemento o con colas de naturaleza orgánica y espumas de poliuretano entre otros.

En lo que respecta a la normalización del hormigón celular curado en autoclave, es preciso señalar que si bien en países como España no existe ninguna norma al respecto, en la mayor parte de

los países europeos en los que se utiliza el material existen normas tanto de fabricación como de cálculo y de puesta en obra porque de hecho está considerado como un material tradicional, avalado por la experiencia de más de medio siglo.

Ya se ha dicho que el empleo en construcción del hormigón celular curado en autoclave sólo puede hacerse a través de su transformación en componentes fabricados. (5)

Entre estos componentes los más importantes son:

- Bloques para muros tanto de carga como autoportantes para cerramiento.
- Bloque y placas para divisiones interiores(particiones).
- Dinteles prefabricados.
- Placas armadas para forjado.
- Placas armadas para cerramiento.

CAPITULO III

MATERIALES

Con varias materias primas disponibles en nuestro medio se decidió elaborar varias mezclas de hormigones celulares.

Entre las materias primas mencionadas citamos:

El cemento puzolánico INEN IP, ceniza de cascarilla de arroz, arenas naturales molidas y sin moler, fibras naturales, cal viva y apagada, soda cáustica, polvo de aluminio, compuestos orgánicos incorporadores de aire.

3.1 Cemento Puzolánico INEN IP

El cemento Pórtland Puzolánico es el producto de mezclar el cemento Pórtland y puzolana, siendo esta un material silíceo en estado amorfo.

Los materiales puzolánicos que comúnmente se encuentran son: ceniza volcánica, puzolana original, pumicita, arcillas

quemadas, ceniza volantes, tobas, esquitos de opalina, piedra pómez.

La puzolana adherida al cemento en el proceso de hidratación liga químicamente el hidróxido de calcio que es soluble en el agua y que se desprende durante el endurecimiento del cemento Pórtland.

En la tabla III se muestran propiedades físicas y químicas del cemento Pórtland IP (*)

TABLA III A

Composición Química del Cemento Pórtland IP (*)

SiO ₂	28.4 %
Al ₂ O ₃	5.9 %
Fe ₂ O ₃	2.6 %
CaO	52.7 %

TABLA III B

Características Físicas del Cemento Rocafuerte Pórtland IP (*)

RESISTENCIAS	1 día	9.6 MPa
	3 días	20.6 MPa
	7 días	26.8 MPa
	28 días	36 Mpa

* Fuente: C.T.H.

BLAINE	442 m ² /Kg
RETENIDO TAMIZ # 325	12.6%
FRAGUADO INICIAL	220 min
FRAGUADO FINAL	332 min
PERDIDA AL FUEGO	4.3 %

3.2. Ceniza de Cascarilla de arroz

La ceniza de cascarilla de arroz se la obtiene de la combustión de la cascarilla, 40Kg de ceniza es producida aproximadamente por 200kg de cascarilla de arroz. La ceniza que utilizamos en nuestras pruebas fueron obtenidas de las piladoras de Daule, en dicho lugar se encuentran grandes cantidades sin costo alguno. La combustión puede realizarse descontroladamente a campo abierto o al contrario,

* Fuente: C.T.H.

controladamente en hornos industriales, obteniéndose valores de 90% al 95% de sílice. Si es descontroladamente, su producto final tiene una gran cantidad de sílice cristalina no reactiva, tales como la cristobalita y la tridimita que deben de ser llevados a un tamaño muy pequeño para que puedan desarrollar su actividad puzolánica. Una ceniza altamente puzolánica puede ser producida por combustión controlada

cuidando que la sílice, sea producida en forma no cristalina y en estructura celular, para esto se necesita una incineración controlada de 500°C a 700°C, a fin de obtener una ceniza altamente puzolánica.(2)

En la Tabla IV A (1), se muestran las propiedades físicas de la ceniza de cascarilla de arroz, como en la tabla IV B la composición química.

TABLA IV A
Propiedades Físicas de la Ceniza de Cascarilla de Arroz
Obtenidas de las piladoras de Daule (1)

Propiedades	Valor
Densidad (SSS) Kg/m ³	2265
Masa Unitaria compacta. Kg/m ³	452
Masa Unitaria suelta. Kg/m ³	181
Superficie Específica m ² /Kg	2000

TABLA IV B
Composición Química de la Ceniza de Cascarilla de Arroz (1)
Obtenida de las piladoras de Daule

Cloro	0.05%	SiO ₂	94.1%	CaO	0.55%	Na ₂ O	0.11%
TiO ₂	0.05%	Al ₂ O ₃	0.12%	MgO	0.95%	SO ₃	0.06%
P ₂ O ₅	0.41%	F ₂ O ₃	0.30%	K ₂ O	2.10%	P.P.Cal	1.10%

--	--	--	--	--	--	--	--

3.3. Arena

Para realizar nuestras muestras se utilizó arena natural procedente del Río Boliche como agregado.

A continuación nombraremos algunas de las propiedades físicas de la Arena Natural del Río Boliche como son(1):

- El tamaño de las partículas está en un rango de 0.075 - 4.8 mm
- Un modulo de finura de 2.5
- Densidad (SSS) de 2600 Kg/m³
- Absorción de 2.2%
- Masa unitaria suelta 1600 Kg/m³
- Masa unitaria compacta 1695 Kg/m³

3.3.1 Arena de Río Boliche Molida

Este material fue previamente molido para utilizarlo como adición.

A continuación se muestran datos de esta molienda:

Tabla V

ARENA DEL RIO BOLICHE

TIEMPO minutos	MUESTRA g	RETENIDO				PASANTE TAMIZ 200 %
		TAMIZ 50 G	TAMIZ 100 g	TAMIZ 200 g	FONDO g	
		30	239	23	78	
60	184,5	0,5	18,5	52,5	112,5	61
90	271,5	0	4	0,7	202,5	74,6
120	180	0	0,5	23	156	86,7
150	85	0	0	6	79,5	93
180	141	0	0	3,5	137,5	97,5

3.3.2 Arena Sílice Molida

Este material También fue utilizado como adición.

A continuación se muestran datos de esta molienda:

TABLA VI

ARENA SÍLICE

TIEMPO minutos	MUESTRA G	RETENIDO				PASANTE TAMIZ 200 %
		TAMIZ 50 G	TAMIZ 100 g	TAMIZ 200 G	FONDO g	
		30	200	0	36	
60	200	0	0.5	46	153,5	76.8
90	185	0	0	15	170	91.9

120	200	0	0	9.5	190.5	95.3
150	185	0	0	2	183	98.9

3.4. Fibras Naturales.

En la primera parte de nuestros ensayos se utilizó el abacá, que es una fibra natural, la cual nos sirvió para darle mayor resistencia a nuestros bloques cuando son sometidos a flexión. Está fue cortada en tiras de 3 cm de largo.(fig.1)



FIGURA. 1 CORTE DE FIBRA DE ABACÁ

3.5. Cal

La Cal aérea, es el producto resultante de la descomposición por el calor de las rocas calizas. Si estas son puras y se calientan a temperaturas superior a 900° C.

Cal viva también llamada óxido de calcio, siendo producto sólido de color blanco, amorfo aparentemente, puede

cristalizar en el sistema regular, cuando se funde a 2570°C ., es inestable, por tener avidez para el agua.

La cal hidráulica, es la cal parcialmente o apagada en polvo que, además de solidificarse o fraguar en el aire, lo hace debajo del agua.

A una temperatura de 700°C ., empiezan a descomponerse los silicatos que forman las arcillas, y a los 900°C , se descompone el carbonato cálcico. A temperatura más elevada reaccionan los productos resultantes: óxido de cal CaO , anhídrido silícico SiO_2 y alúmina Al_2O_3 , formándose silicatos aluminatos y junto con el hidróxido cálcico constituyen el aglomerante llamado cal hidráulica.(4)

3.6. Soda cáustica

La soda cáustica pura es un sólido blanco frágil que fácilmente absorbe humedad y bióxido de carbono del aire.

Tiene múltiples usos como por ejemplo en la industria del jabón, refinación del petróleo, y como productos químicos que luego servirán como aditivos para la construcción.

El término soda cáustica se escucha mucho debido a que es un compuesto corrosivo para la piel.

En la tabla VII que a continuación se muestra se enumerarán las propiedades físicas de la soda cáustica.(3)

TABLA VII

Constantes Físicas de la Soda Cáustica (3)

Constantes Físicas de la soda cáustica	
Propiedades	Valor
Peso molecular gr.	39.998
Temperatura de Transición °C	299.6
Punto de fusión °C	318
Calor específico, J/g°C a 20°C	1.48

3.7. Incorporación de aire

Una de las características del hormigón celular de curado acelerado, es su baja densidad, esto se lo puede lograr con una mezcla de silicatos de granos finos lo más homogénea posible estas deben de contener celdas pequeñas de aire no comunicados entre sí.

Existen muchos métodos para la inclusión de aire en el interior de la lechada, entre ellos tenemos:

Por medio de la introducción de aire, ya sea agregando a la lechada en la mezcladora una espuma estable preformada semejante a la usada para combatir el fuego, o incorporando aire por medio de batido, con la ayuda de un agente inclusor de aire.(5)

Uno de los métodos más utilizados para generar gas, es sin duda alguna el polvo de aluminio el cual tiene mucha importancia en la fabricación de unidades precoladas y bloques.

En el método de gasificación, interior, se agrega a la lechada un metal finamente pulverizado(usualmente aluminio), el cual

reacciona con la cal que ha sido usada como agente cementante.

3.7.1. Polvo de aluminio

El aluminio en su estado puro es de color plateado claro; muchas veces se presenta como un metal blanco, blando, dúctil y maleable, insoluble en agua, que se extrae de los

minerales criolita y bauxita. Su utilización es múltiple como en la construcción de barcos, aviones y automóviles; también se la utiliza como aditivo para la construcción pero en forma pulverizado.

El polvo se define como pequeñas partículas con una gama de tamaños definida aproximadamente.

El polvo de aluminio se lo utiliza para la incorporación de aire en el hormigón ya que sirve de aireante.

Aluminio en polvo, recubierto, con un mínimo del 20% de partículas de polvo de menos de 250 micrones; es una sustancia que presenta riesgos de combustión espontánea, sustancia que en contacto con agua desprende gases inflamables.

En la tabla VIII podemos observar las características químicas y físicas del aluminio.

TABLA VIII

Características Químicas y físicas del aluminio (4)

Propiedades	Valor
--------------------	--------------

Peso molecular gr.	26.97
Punto de ebullición °C	2056
Punto de fusión °C	660
Peso específico 20°C	2.70

CAPITULO IV

DISEÑO Y ENSAYO EN EL HORMIGÓN

El ACI 318-2000 no tiene normas específicas para realizar ensayos en hormigones celulares y tampoco para establecer parámetros de éstos, por lo tanto se realizaron pruebas comparativas, es decir, se hacía una prueba y seguíamos las mismas indicaciones para las demás. En cuanto a la caracterización de los bloques y cubos, ésta fue realizada siguiendo las normas ASTM 0402-2001 respectivas.

4.1 Dosificación

Los ensayos se dividieron en dos partes, en la primera se hicieron bloques con un volumen de 6 dm^3 y curado acelerado. Se partía con una dosificación (Tabla IX) y la del siguiente bloque se hacía conforme a los resultados obtenidos. La mezcla de los materiales se la hacía con la ayuda de un taladro, modificado de tal forma que en lugar de la broca se colocó un aspa (Fig. 2). El aparato utilizado para proporcionar el curado a la mezcla fluida consistía de un bloque metálico hueco de acero (Fig. 3a y 3b), por cuyo interior era inyectado vapor de agua presurizado a fin de lograr temperaturas superiores a los 100°C . El vapor de agua se lo conducía por mangueras procedentes de una caldera. El bloque ya curado se lo observa en la Fig. 4.

En la segunda etapa de la investigación se hicieron cubos de mortero de 50 mm de lado en los cuales el contenido de cemento, las

BLOQUE #	CEMENTO Tipo	CEMENTO Kg.	C.C.A. Kg.	ARENA Kg.	AGUA Kg.	NaOH g.	POLV. Al g.	PRODUCTOS ADICIONALES	ÁBACÁ g.
1	IP	2.97	2.97	4.87	3.10	185.0	17.6	A. Sulfónico (12.0 gr)	14.0
2	I	2.85	1.40	4.90	2.40	430.0	14.0	—————	11.0
3	I	3.85	0.00	7.50	2.16	0.0	14.0	Cl ₂ Ca (77 gr)	77.0
4	I	3.50	0.00	6.92	1.99	0.0	12.9	Cl ₂ Ca (71 gr)	35.5
5	IP	3.85	0.40	7.50	1.90	38.5	14.0	—————	38.5
6	IP	3.85	0.20	7.50	2.09	19.3	7.7	—————	27.0
7	I	3.85	0.39	7.50	2.26	19.3	7.7	—————	27.0
8	I	3.85	0.96	7.50	2.10	27.0	7.7	—————	27.0
9	I	3.85	0.70	6.90	1.50	19.3	7.7	SIKA lighcrete (27 gr)	27.0
10	I	3.85	0.70	6.90	1.50	19.3	7.7	SIKA lighcrete (38.5 gr) Fibra nylon (5.5 gr)	0.0

adiciones, la arena natural y el polvo de aluminio se mantenían constantes (Tabla Xa); y otros materiales (el contenido de la solución de Ca(OH)₂ y la cantidad de agua) variaban (Tabla Xb).

El agua se añadió de forma variable a fin de evaluar la fluidez de la mezcla y su influencia en la producción de porosidades y densidades del producto luego del curado. El resumen respectivo se presenta en la Tabla XI a, XI b y XI c. La preparación del mortero se lo hacía con base a la norma INEN 195 y luego éstos cubos eran llevados a un Horno (Fig. 5) a una temperatura específica.

TABLA IX

DOSIFICACIÓN DE BLOQUES

TABLA X A
PROPORCIONES FIJAS DE MATERIALES
PARA LA CONFECCIÓN DE CUBOS DE MORTERO

Contenido de cemento tipo I	300 g.
Adición (C.C.A., A. Boliche molida, A. Silíceo molida).	54.6 g.
Arena natural (R. Boliche, - #8 ASTM)	540 g.
Polvo de aluminio	0.6 g.



FIGURA. 2 MEZCLA CON TALADRO



FIGURA. 3a MOLDE DE CURADO



FIGURA. 3b MOLDE DE CURADO (VISTA SUPERIOR)



FIGURA. 4 BLOQUE CURADO

TABLA X B
PROPORCIONES VARIABLES DE SOLUCIÓN DE Ca(OH)₂
(2.3 M) Y AGUA EN CUBOS DE MORTERO

Cubo #	Agua g	Solución* MI	Relación a/cementante
1	146.5	15	0.455
2	143.0	30	0.490
3	157.0	45	0.574
4	140.0	60	0.571
5	156.5	15	0.484
6	139.0	30	0.478
7	133.5	45	0.507
8	119.5	60	0.512
9	183.5	15	0.560
10	156.0	30	0.527
11	122.5	45	0.476
12	130.5	60	0.544
13	173.5	15	0.532
14	159.5	30	0.534
15	143.5	45	0.532
16	128.5	60	0.532
17	173.5	15	0.532
18	159.5	30	0.534
19	143.5	45	0.532
20	128.5	60	0.532
21	173.5	15	0.532
22	159.5	30	0.534
23	143.5	45	0.532
24	128.5	60	0.532
25	173.5	15	0.532
26	159.5	30	0.534
27	143.5	45	0.532
28	128.5	60	0.532
29	173.5	15	0.532
30	159.5	30	0.534
31	143.5	45	0.532
32	128.5	60	0.532
33	173.5	15	0.532
34	159.5	30	0.534
35	143.5	45	0.532
36	128.5	60	0.532

*Solución al 2.3 molar de Ca (OH)₂ y 10% C.C.A.

TABLA XI a

RESULTADOS DE ENSAYOS REALIZADOS CON CASCARILLA DE ARROZ

Cement.	Cubo #	T °C	Agua ml	Consis.	P. Seco gr.	P. Saturad gr.	P. Sumerg gr.	Dens. (sss) kg/m	Dens. Seça kg/m ³	Poros. %	Carga kg
C E N I Z A D E	1-1	50	146,5	2	240,0	277,5	128	1856	1605	24	5348
	1-2				234,5	269,0	125	1868	1628		5348
	1-3				234,5	269,5	125	1865	1623		5348
	2-1		143,0	2	240,5	281,5	131	1870	1598	27	4316
	2-2				241,0	281,5	130	1858	1591		4950
	2-3				240,5	280,5	129	1851	1587		4603
	3-1		157,0	2,5	233,5	275,0	124	1821	1546	27	3701
	3-2				233,0	274,5	124	1824	1548		3671
	3-3				235,0	275,5	126	1843	1572		3801
4-1	140,0	2	237,5	277,5	128	1856	1589	27	3811		
4-2			239,0	280,0	129	1854	1583		4531		
4-3			239,0	279,0	127	1836	1572		4330		
C A S C A R I L L A D E A R R O Z	5-1	70	156,5	2,5	720,0	828,5	384	1864	1620	24	3962
	5-2				720,0	828,5	384	1864	1620		5187
	5-3				720,0	828,5	384	1864	1620		3953
	6-1		139,0	2	713,0	821,5	369	1815	1576	24	4358
	6-2				713,0	821,5	369	1815	1576		4630
	6-3				713,0	821,5	369	1815	1576		4376
	7-1		133,5	2	731,0	849,0	372	1780	1532	25	3829
	7-2				731,0	849,0	372	1780	1532		3116
	7-3				731,0	849,0	372	1780	1532		4167
8-1	119,5	2	716,0	828,0	365	1788	1546	24	4431		
8-2			716,0	828,0	365	1788	1546		4385		
8-3			716,0	828,0	365	1788	1546		3929		
9-1	183,5	3	678,5	807,0	347,0	1754	1475	28	2893		
9-2			678,5	807,0	347,0	1754	1475		2529		
9-3			678,5	807,0	347,0	1754	1475		2119		
10-1	156,0	2,5	710	833	355	1743	1485	26	2870		
10-2			710	833	355	1743	1485		3416		
10-3			710	833	355	1743	1485		3075		
11-1	122,5	1,5	710,5	828	350	1732	1486	25	3120		
11-2			710,5	828	350	1732	1486		3189		
11-3			710,5	828	350	1732	1486		3120		
12-1	130,5	2	705	840	338	1673	1404	27	2552		
12-2			705	840	338	1673	1404		2552		
12-3			705	840	338	1673	1404		2483		

TABLA XI b
RESULTADOS DE ENSAYOS REALIZADOS CON A. BOLICHE

Cement.	Cubo #	T °C	Vol. de agua ml	Consistencia	P. Seco gr.	P. Saturado gr.	P. Sumergido gr.	Dens. (sss) kg/m ³	Dens. Seca kg/m ³	Porosidad %	Carga kg	
A R E N A R í O B O L I C H E	13-1	50	173,5	3	720,0	840,0	373,0	1799	1542	26	2779	
	13-2										3325	
	13-3										3189	
	14-1		159,5	2,5	740,0	855,0	385	1819	1574	24	2870	3143
	14-2											2870
	14-3											2893
	15-1		143,5	2,5	730,0	838,5	370	1790	1558	23	3075	3234
	15-2											3075
	15-3											3007
	16-1	128,5	2	690,0	794,0	350	1788	1554	23	2984	2552	
	16-2										2984	
	16-3										2938	
	17-1	70										
	17-2											
	17-3											
	18-1		159,5	2,5	703,5	820,0	357	1771	1519	25	2051	1915
	18-2											2051
	18-3											2643
	19-1		143,5	2,5	748,0	863,5	385	1805	1563	24	3075	3371
	19-2											3075
	19-3											2756
	20-1	128,5	2	741,0	858,0	384	1810	1563	25	2688	3143	
	20-2										2688	
	20-3										3234	
21-1	90	173,5	2	752,0	891,0	405,0	1833	1547	29	3507	3598	
21-2											3507	
21-3											3007	
22-1		159,5	1,5	729,5	853	388	1834	1569	27	3666	3371	
22-2											3666	
22-3											2916	
23-1		143,5	2	753	894,5	397	1798	1514	28	3166	3166	
23-2											3075	
23-3											3166	
24-1	128,5	2	741,5	879,5	385	1779	1499	28	2438	2552		
24-2										2438		
24-3										2552		

TABLA XI c
RESULTADOS DE ENSAYOS HECHOS CON A.SILÍCEA

Cement.	Cubo #	T °C	Agua ml	Consis.	P. Seco gr.	P. Saturado gr.	P. Sumergido gr.	Dens. (sss) kg/m ³	Dens. Seca kg/m ³	Poros. %	Carga kg	
A R E N A S I L í C E A	25-1	50	173,5	2,5	197,5	232,0	97,0	1719	1463	26	2256	
	25-2										2483	
	25-3										2506	
	26-1		159,5	2,5	705,0	819,5	358	1776	1528	25	2643	2279
	26-2											2279
	26-3											2279
	27-1		143,5	2,5	719,0	829,5	370	1805	1565	24	2734	2574
	27-2											2643
	27-3											2643
	28-1	128,5	2,5	710,5	827,5	363	1781	1530	25	2597	2188	
	28-2										2301	
	28-3										2301	
	29-1	70	173,5	2,5	670,5	784,5	306	1639	1401	24	2097	1937
	29-2											1915
	29-3											1915
	30-1		159,5	3	726,5	863,5	369	1746	1469	28	2188	2279
	30-2											2415
	30-3											2415
	31-1		143,5	2,5	732,5	863,5	370	1750	1484	27	2997	2370
	31-2											2916
	31-3											2916
	32-1	128,5	2,5	727,5	853,5	369	1762	1502	26	2734	2643	
	32-2										2597	
	32-3										2597	
33-1	90	173,5	3	729,5	853,0	387,0	1830	1565	27	3098	3109	
33-2											3280	
33-3											3280	
34-1		159,5	3	700,5	823,5	361	1781	1515	27	2825	2051	
34-2											2756	
34-3											2756	
35-1		143,5	3	705,5	833	360	1761	1492	27	2188	2279	
35-2											2392	
35-3											2392	
36-1	128,5	3	689,5	819,5	353	1757	1478	28	2006	2279		
36-2										2142		
36-3										2142		



FIGURA. 5 HORNO DE CURADO

4.2 Resultados

Los ensayos realizados a los bloques y a los morteros se los hicieron con base a las siguientes normas:

Absorción	ASTM C127
Porosidad	ASTM C 642-97
Densidad	ASTM C127

En la Tabla XII se presenta los resultados obtenidos de los ensayos a los bloques, y en los Gráficos del 1 al 4 los resultados de los morteros

TABLA XII

RESULTADOS DE ENSAYOS REALIZADOS A BLOQUES

Bloque #	T °C	Dsss Kg/m ³	Dseca Kg/m ³	Abs %	Poros %	T.Curado min	Observaciones
1	134	-----	-----	-----	-----	20	El Bloque no tuvo una buena resistencia. Bloque dezlenable
2	130	1689	1470	15	21.97	20	Demasiado porcentaje de fibra El bloque tiene dificultad de hidratación. No fragua en los 15 min. de curado ni al día siguiente.
3	130	1721	1355	27	36.62	20	El bloque no tiene resistencia luego de los 20 min. de curado
4	135	1674	1273	32	40.12	20	El bloque no tiene resistencia luego de los 20 min. de curado
5	130	1459	1157	26	30.28	20	La muestra tiene demasiado aire
6	130	1705	1437	19	26.82	20	La consistencia de la masa es fluida.
7	140	1777	1558	14	21.88	20	El bloque queda blando en la parte superior
8	90	1916	1821	5.2	9.457	20	La consistencia de la masa es fluida.
9	140	1765	1517	16	24.78	20	La consistencia de la masa es fluida.
10	85	1690	1405	20	28.57	20	El producto SIKA está funcionando como retardador

GRÁFICO 1

Pruebas con Cascarilla de arroz

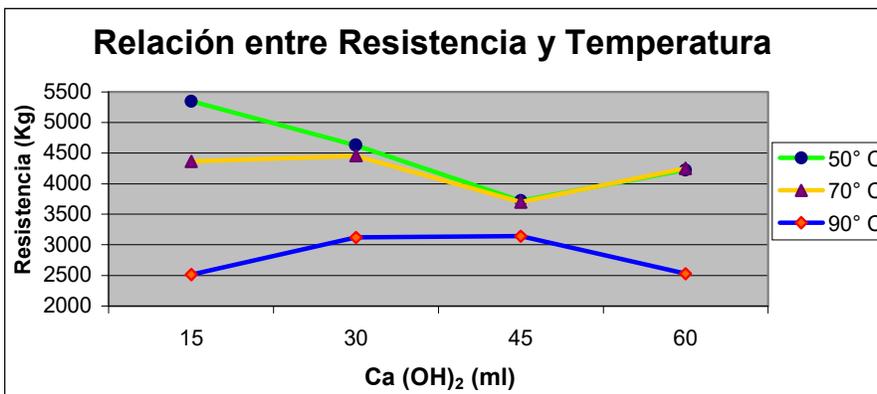
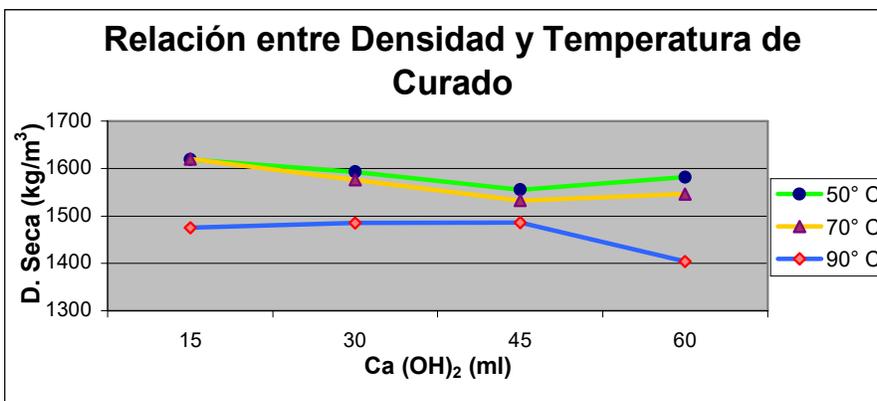
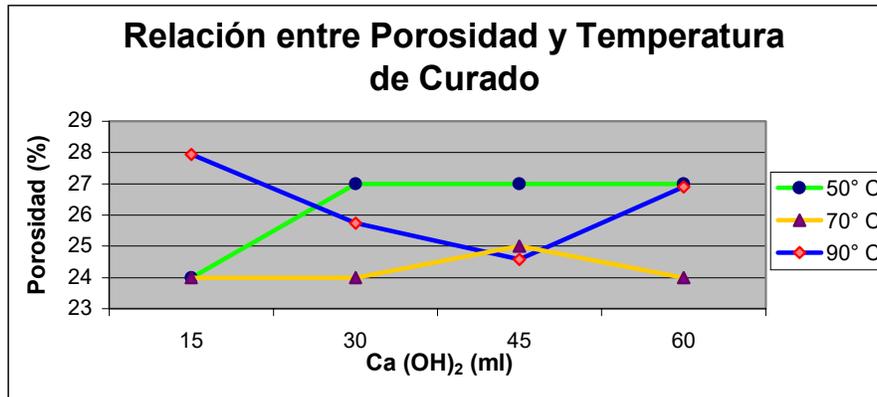


GRÁFICO 2

Pruebas en Arena de Río Boliche

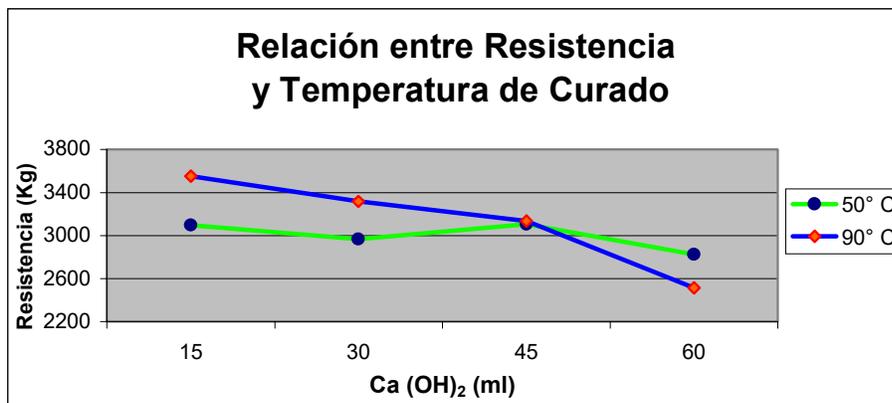
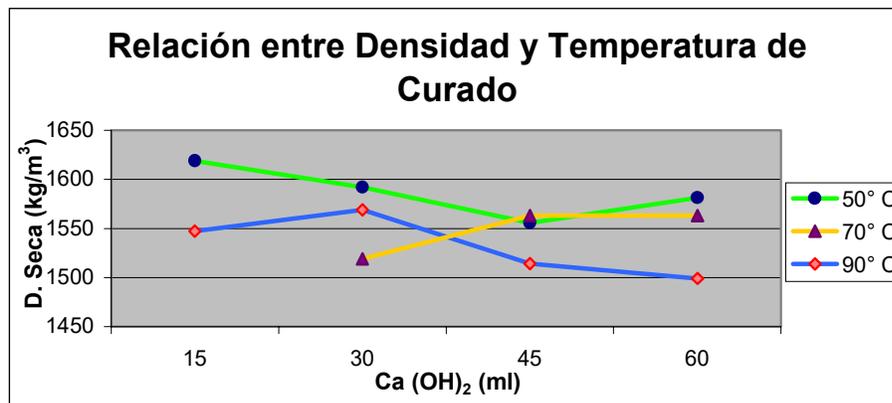
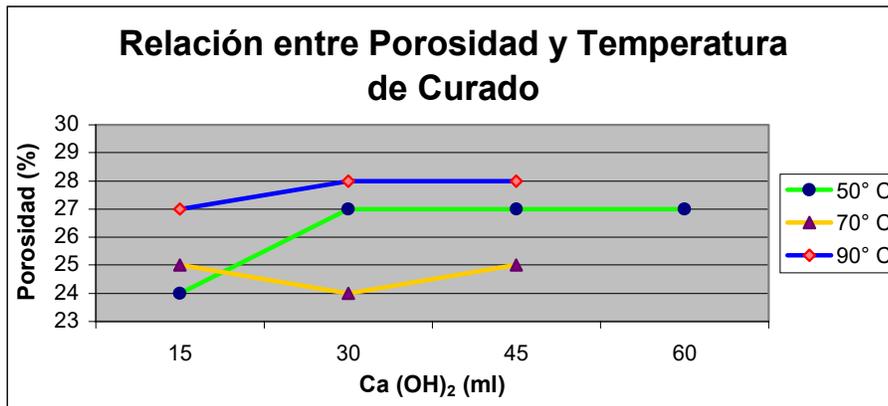


GRÁFICO 3

Pruebas con Arena Silíceas

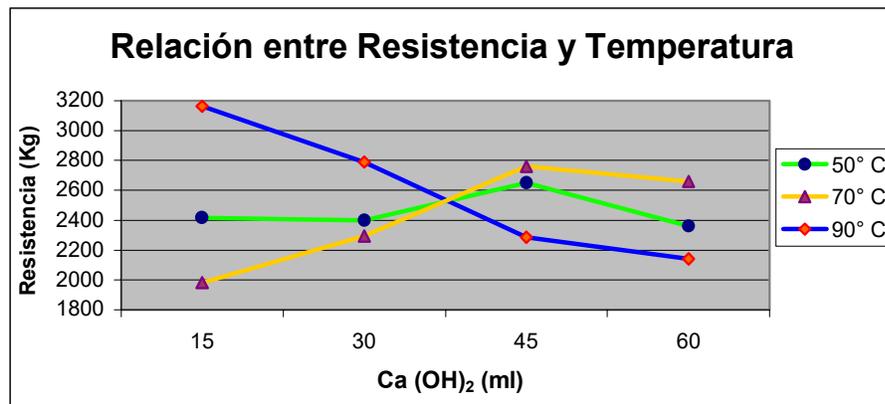
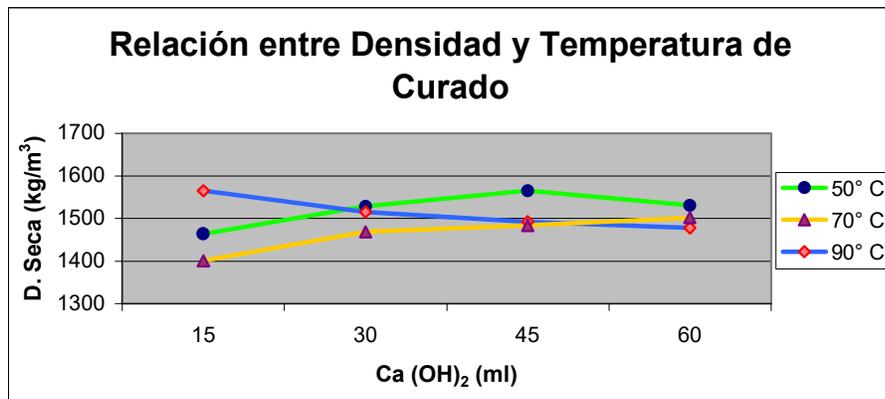
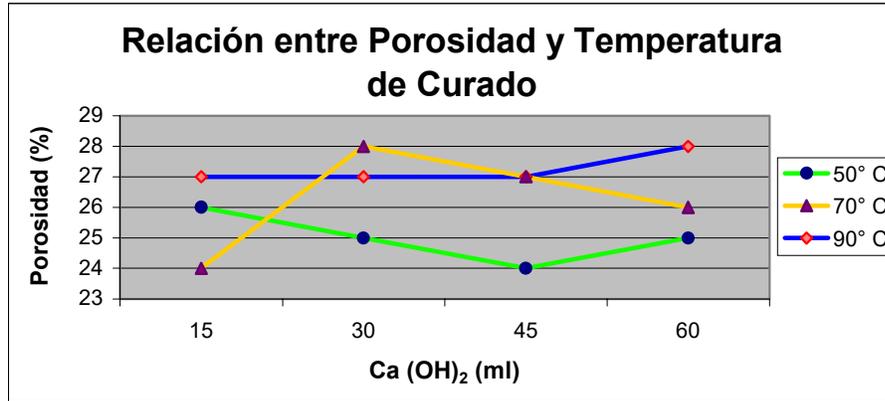
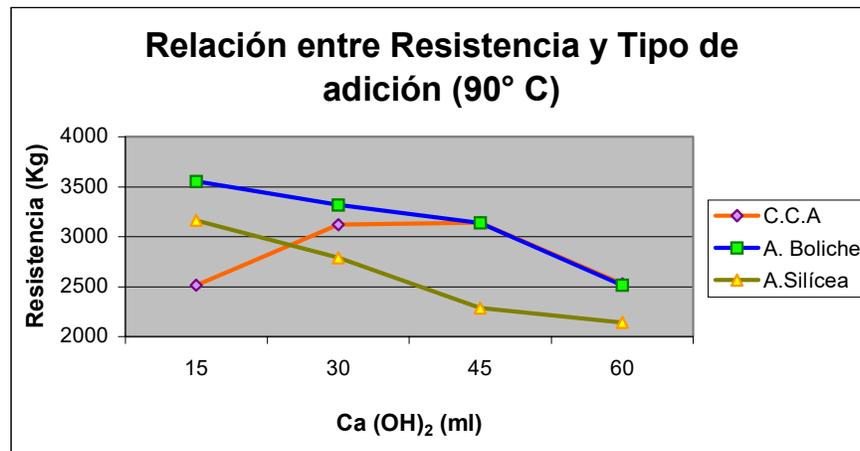
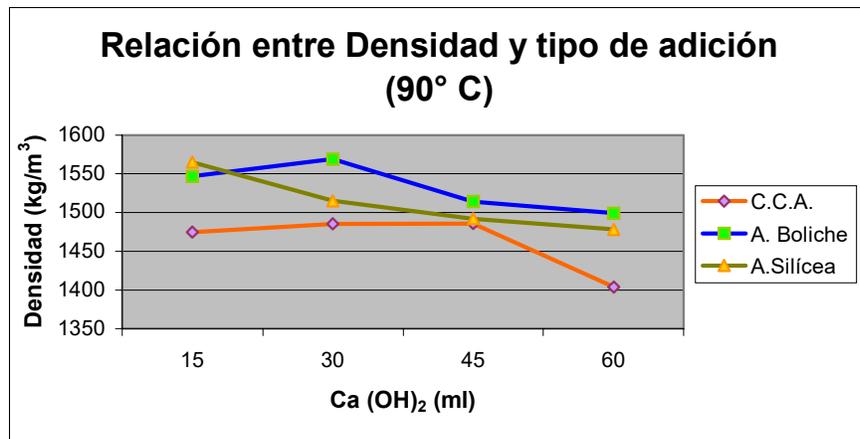
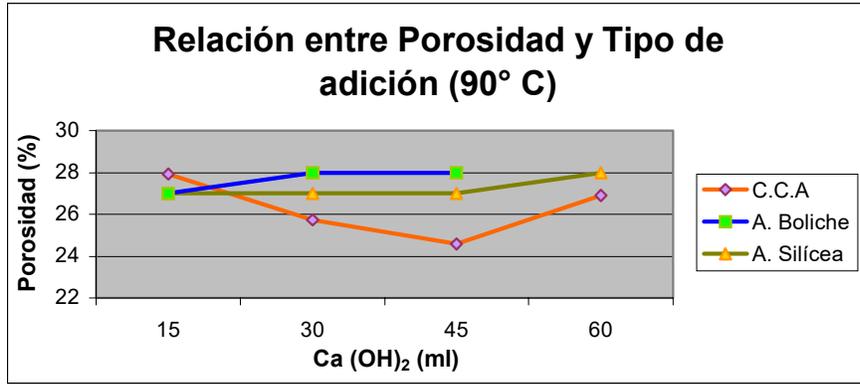


GRÁFICO 4

Comparación entre cementantes



CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. A medida que se incrementa la temperatura, se incrementa la porosidad debido a que se mejoran las reacciones.
2. Al incrementar la temperatura de curado, disminuye la densidad del cubo.
3. A medida que la fluidez va aumentando, la porosidad aumenta.
4. Ya que la porosidad aumenta con la temperatura, la resistencia del cubo disminuye debido a la mayor cantidad de aire en la mezcla.
5. El valor de la menor densidad se produjo en la cascarilla de arroz a 90° C y con 60 ml de solución de $\text{Ca}(\text{OH})_2$, siendo ésta de 1404 Kg/m^3 . La tendencia en los demás materiales es de disminuir su densidad a medida que aumenta la cantidad de solución.

6. La mayor porosidad se dio en la arena del Río Boliche a 90° C y con 15 ml de solución de $\text{Ca}(\text{OH})_2$, el valor fue de 29 %. Se puede observar que este valor no precisamente coincide con el valor de las menores densidades, aparentemente la arena del Río Boliche reacciona mejor con el polvo de aluminio que es el que incorpora aire.
7. La mejor resistencia a 90° C se la obtuvo con al arena del Río Boliche siendo el valor, 135 Kg/cm^2 .
8. La tendencia en cuanto a resistencia, es que ésta disminuye a medida que aumenta la dosificación de solución de $\text{Ca}(\text{OH})_2$, probablemente debido a que una mayor cantidad de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ aumenta la reacción del polvo de aluminio que genera más burbujas, baja la densidad de la mezcla, lo que disminuye la resistencia mecánica.
9. El menor valor de porosidad es de 24% que se produce con los tres agregados.
10. Comparando la A. del Río Boliche con la A. Sílicea, se necesita mayor cantidad de agua en la primera para obtener la fluidez deseada, esto se debe a que la arena del Río Boliche tiene un mayor porcentaje de absorción.
11. Haciendo la misma comparación entre la Ceniza de Cascarilla de arroz con la Arena Sílice la primera requería más agua para tener una mayor fluidez.

12. Se necesitó mayor cantidad de agua con la Ceniza de Cascarilla de arroz que con la Arena del Río Boliche para tener la fluidez requerida.
13. El Cl_2Ca no funciona bien a altas temperaturas.
14. El ácido sulfónico no permite una correcta hidratación.
15. El bloque # 8 fue el que incorporó menor cantidad de aire debido posiblemente a que se lo curó a una temperatura menor que los otros bloques.
16. El bloque # 5 es el que tuvo la menor densidad, utilizando polvo de aluminio en un 0.36% del peso del cemento. Pero esto resultó en un bloque sumamente frágil debido a la gran cantidad de aire incorporado.

BIBLIOGRAFÍA

1. **CENTRO TÉCNICO DEL HORMIGÓN.** Aplicación del Hormigón en Obras Civiles, Guayaquil 1999.
2. **ARCE PEZO XAVIER.** Hormigones Livianos. (Tesis. Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1997).
3. **Pino Méndez Joffre.** Diseño de una Celda Electrolítica para la Obtención de Cloro Gaseoso y Soda Cáustica (Tesis. Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1998).
4. **ORÜS F.** Materiales de construcción. Grupo Editorial DOSSAT, S.A. 7 ma. edición.
5. **RUIZ DUERTO ANTONIO,** El Hormigón Celular Curado en Autoclave, IECA (Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones), 1993
6. Manual ASTM 0402-2000
7. Manual ACI 318-2001

