

Diseño Experimental para Elaborar Bloques de Conglomerado Madera – Cemento

Carlos Sánchez¹

¹ Facultad de Ciencias Químicas

Universidad de Cuenca, carlos.sancheza@ucuenca.edu.ec

Resumen. En este documento se describe la elaboración de bloques huecos de hormigón, en los que se reemplazó parte de sus componentes tradicionales: cemento, polvo de piedra y polvo de pómez por aserrín de eucalipto. Para ello, dado que en el Ecuador no existe una Norma que establezca condiciones para la elaboración de bloques fabricados con materiales especiales, se adoptan las normas para la fabricación de bloques huecos de hormigón como establece la Norma Técnica Ecuatoriana.

Se partió del diseño experimental, para el cual se tomó el modelo simplex - centroide que se adapta mejor a las necesidades de esta investigación, donde se determina el número de muestras que se deben elaborar con las respectivas proporciones de cada material.

Se construyeron los bloques con los materiales y dimensiones establecidas en la Norma Técnica Ecuatoriana, los cuales fueron sometidos a pruebas normalizadas de resistencia a la compresión, absorción de agua y retracción por secado para determinar sus propiedades mecánicas y físicas, además pruebas de absorción de ruido como valor agregado al bloque, posteriormente se analizaron y valoraron los resultados obtenidos y se determinaron las mezclas que cumplen y las que no cumplen con todos los requerimientos exigidos por las normas. Además se realizó un análisis de costos que determinaron la factibilidad de competición en el mercado.

Palabras Claves: Absorción, material de construcción, conglomerado, retracción, simplex - centroide.

1. Introducción

Un bloque de hormigón consta, generalmente, de cemento, piedra triturada o también pómez en piedra y en polvo, y agua para la hidratación de la mezcla; el planteamiento es adicionar aserrín o partículas de madera de eucalipto a los materiales antes mencionados. El aprovechamiento del aserrín en la industria de los bloques prefabricados pretende un aporte en los aspectos técnico, económico y ambiental, que manejados en condiciones adecuadas se pueden conseguir bloques bajo los parámetros de las normas técnicas y con un valor agregado.

Por un lado, la densidad de la madera, menor a la densidad de la piedra triturada, y su capacidad de absorber el ruido, retener el calor y mantener el clima en un ambiente, hacen que sea un material idóneo para ser usado en la elaboración de bloques para la construcción.

Por otro lado, el aserrín, producto del procesamiento industrial de la madera, es de fácil obtención en nuestro medio y su costo es casi nulo; esto se convierte en una ventaja a la hora de disminuir costos, considerando que el bloque prefabricado es un producto muy utilizado para la construcción de viviendas y levantamiento de paredes sobre todo en el sector popular.

El aprovechamiento de los residuos de la madera generados en los aserríos viene a ser un importante aporte en el manejo de los recursos forestales bajo la tesis de desarrollo sostenible, donde los desechos de una producción, constituyen insumos para otras líneas de flujo, sabiendo que en la ciudad de Cuenca se ha presentado un descuido en el reciclaje de estos recursos.

Según la Dirección Nacional Forestal y el Ministerio del Ambiente, en las provincias de Cañar, Azuay y Loja, la obtención de la madera se concentra en plantaciones forestales de eucalipto, pino y ciprés. En el año 2009, en la zona se autorizó el aprovechamiento de 126.171,64m³ de madera, de los cuales el 15.6% están en la provincia de Cañar, el 20.9% en Azuay y el 63.5% en Loja. En el caso de eucalipto, se autorizó la corta de alrededor de 74.848,67 m³ de madera, la cual se destina a aserraderos comunes en donde lo transforman en productos como tablas y duelas, para su utilización en la industria de la construcción.

La hipótesis que planteo para este trabajo es que el conglomerado conseguido de la combinación técnica de partículas de madera y cemento, para la elaboración de bloques, cumple con los requisitos de calidad exigidos en la Norma Técnica Ecuatoriana y por ende, puede constituirse en una alternativa en la innovación de la industria del bloque prefabricado.

2. Materiales y métodos

Los materiales empleados para la elaboración de los bloques en estudio fueron:

- Cemento: producido por la empresa GUAPAN S. A, en la ciudad de Azogues, Ecuador y cumple con la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 490, correspondiente a un Cemento Portland Puzolánico Tipo IP.
- Polvo de piedra (piedra triturada obtenida de canteras): que la Norma INEN 872 la clasifica como angular.
- Polvo del norte (piedra pómez con tamaño de grano pequeño inferior a 10 mm): definida por la Norma INEN 872 como panaloide.
- Aserrín de madera eucalipto (*Eucalyptus grandis*): común en nuestro medio, obtenido de los desechos en aserraderos de la ciudad de Cuenca.
- Agua potable: la Norma INEN 638 establece que el agua que se utilice para la elaboración de los bloques debe ser dulce, limpia, de preferencia potable y libre de cantidades apreciables de materiales nocivos como ácidos, álcalis, sales y materias orgánicas.

2.1 Método para el análisis estadístico

El método experimental escogido es el simplex-centroid por ser el que mejor se ajusta a este tipo de ensayos y número de variables.

En un diseño simplex-centroid de q componentes, el número de puntos distintos es:

$$2^q - 1 \quad \text{Ec. (1)}$$

Estos puntos corresponden a las q permutaciones de $(1, 0, 0, \dots, 0)$ o el componente solo de la mezcla q , las $\frac{q}{2}$ permutaciones de $(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, 0, \dots, 0)$ o todas las mezclas binarias, las $\frac{q}{3}$ permutaciones de $(\frac{1}{3}, \frac{1}{3}, \frac{1}{3}, 0, \dots, 0)$, ..., y así sucesivamente. Finalmente el punto centroide global $(\frac{1}{q}, \frac{1}{q}, \dots, \frac{1}{q})$ o mezcla del q -enésimo figura 1.

La ecuación polinómica para el cálculo de las propiedades mecánicas de los bloques es:

$$\eta = \sum_{i=1}^q \beta_i x_i + \sum_{i<j}^q \beta_{ij} x_i x_j + \sum_{i<j<k}^q \beta_{ijk} x_i x_j x_k + \dots + \beta_{12\dots q} x_1 x_2 \dots x_q \quad \text{Ec. (2)}$$

Se realizó un diseño experimental de mezcla simplex con centroides y con puntos interiores en el que las variables independientes fueron el cemento, el polvo de pómez, el polvo de piedra y el aserrín, y como variables respuesta la resistencia a la compresión, resistencia a la absorción de agua, retracción por secado y aislamiento acústico.

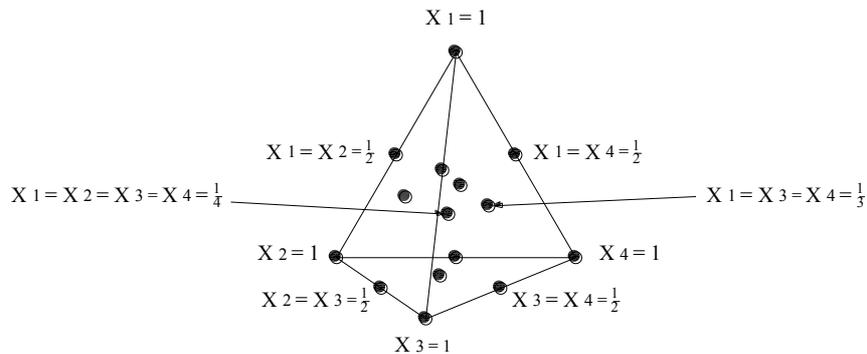


Figura 1. Simplex-centroide diseñado para cuatro componentes

Para la mezcla base se tomó en consideración un promedio de las proporciones de los diferentes materiales que se utilizan para la mezcla de bloques de concreto en algunas bloqueras de la ciudad de Cuenca, como se puede apreciar en la primera fila de la tabla 1.

En la práctica se adicionó a estos materiales el aserrín y se realizaron cuatro premezclas diferentes, donde en cada una de éstas existía un material con su proporción dominante, como se muestra en las proporciones planteadas en la tabla 1.

La cantidad de cemento, polvo de pómez, polvo de piedra y aserrín permanecieron entre ciertos intervalos, como se observa en la última fila de la tabla 1, mientras que la cantidad de agua permaneció constante para evitar que las propiedades mecánicas del concreto disminuyeran considerablemente y por ende que se hubiera estropeado alguno de los lotes.

Las mezclas del concreto para la elaboración de los bloques se especifican en forma de relación entre volúmenes en el siguiente orden: cemento, polvo de piedra pómez, piedra triturada y aserrín. Por ejemplo, una mezcla 2:5:4:3 consiste en dos partes de cemento, cinco partes de polvo de piedra pómez, cuatro partes de piedra triturada y tres partes de aserrín de madera.

Posteriormente se utilizó el método de simplex – centroide. El número de puntos o mezclas distintas para el diseño simplex – centroide de q componentes ($q = 4$) tomado de la ecuación (1) es igual a 15 mezclas. La matriz de diseño, se expone en la tabla 2. A partir de este diseño se tomaron proporciones diferentes de los cuatro componentes en cada lote experimental, y se elaboraron 15 ensayos con diferentes proporciones de cemento, polvo de piedra, polvo de pómez y aserrín. Cada ensayo se realizó empleando un volumen por lote de 0.1 m^3 , del cual se obtuvieron ocho bloques por cada lote.

Tabla 1. Proporciones de las mezclas.

	Cemento	Polvo de piedra	Polvo de pómez	Aserrín
Proporciones utilizadas actualmente	3	7	8	0
	6	5	5	2
Proporciones planteadas para el análisis	2	8	5	3
adicionando aserrín	1	7	9	1
	2	5	5	6
Variación en las proporciones planteadas	5.5-33.3%	27.8-44.4%	27.8-50%	5.5-33.3%

Tabla 2. Diseño de mezclas y proporciones de las mezclas resultantes

Mezcla	Matriz de diseño de mezclas				Proporciones de mezclas resultantes			
	6/5/5/2	2/8/5/3	1/7/9/1	2/5/5/6	Cemento	Polvo piedra	Polvo pómez	Aserrín
1	1	0	0	0	6	5	5	2
2	0	1	0	0	2	8	5	3
3	0	0	1	0	1	7	9	1
4	0	0	0	1	2	5	5	6
5	1/2	1/2	0	0	4	6,5	5	2,5
6	1/2	0	1/2	0	3,5	6	6,5	2
7	1/2	0	0	1/2	4	5	5	4
8	0	1/2	1/2	0	1,5	8	6,5	2
9	0	1/2	0	1/2	2	6,5	5	4,5
10	0	0	1/2	1/2	1,5	6	7	3,5
11	1/3	1/3	1/3	0	3	6,67	6,33	2
12	1/3	1/3	0	1/3	3,33	6	5	3,67
13	1/3	0	1/3	1/3	3	5,67	6,33	3
14	0	1/3	1/3	1/3	1,67	6,67	6,33	3,33
15	1/4	1/4	1/4	1/4	2,75	6,25	5,75	3,25

2.2 Proceso de elaboración del bloque

Los bloques de conglomerado madera – cemento se fabricaron en una empresa bloquera de la ciudad de Cuenca cumpliendo con las condiciones generales para la fabricación de bloques huecos de hormigón determinados en la Norma INEN 638 con las siguientes etapas:

Preparación de la materia prima

Para este caso, el único material que tuvo una preparación previa antes de ser trabajado fue el aserrín de la madera, y el proceso fue el siguiente:

El aserrín completamente seco, fue tamizado en una malla número ocho para separar las impurezas y las astillas grandes, posteriormente fue tamizado el aserrín nuevamente en una malla número dos para eliminar el polvo.

Dosificación

La dosificación de los materiales para los bloques de conglomerado madera – cemento se hizo en proporciones conocidas y en cuatro grupos diferentes, determinadas en el diseño experimental de mezclas que se indican en la tabla 1.

Mezcla

Con los cuatro grupos de diferentes proporciones, se mezcló primeramente de forma manual hasta que la mezcla sea homogénea, posteriormente se mezclaron entre los distintos grupos en diferentes proporciones como se indica en la tabla 2. Luego en una mezcladora de paletas se adicionaron los materiales sólidos, donde se le añadió el agua también en proporción conocida y en forma constante. Se mezcló por un período variable de 4 – 5 minutos, hasta formar una pasta homogénea.

Formación

La pasta homogénea proveniente del mezclado, se introdujo en una máquina automática de bloques, la cual vibra por un período de un minuto aproximadamente para que las partículas de los materiales se acomoden y luego son apisonados por un pistón para darles mayor compactación, conseguir las dimensiones y forma deseada y eliminar la cantidad de agua que se encuentre demás en los bloques húmedos.

Curado

Se realizó durante tres días al aire libre humedeciendo los bloques tres veces al día para darles la hidratación que necesitan y así obtener la dureza que pueda dar el cemento. Luego se secaron por 25 días más a la sombra hasta que completen los 28 días como exige la Norma INEN para que se puedan realizar los ensayos.

2.3 Pruebas físicas y mecánicas

Las propiedades físicas y mecánicas de los bloques que se describen a continuación fueron determinadas mediante pruebas en los laboratorios de ensayo de materiales de la Universidad Politécnica Salesiana de Cuenca, cumpliendo con los procesos establecidos en las Normas INEN.

Las muestras de bloques se seleccionaron de acuerdo a la Norma INEN 639. En la determinación de la resistencia a la compresión se aplicó la Norma INEN 640. Para la determinación de la absorción de agua en los bloques se siguió el método establecido en la Norma INEN 642.

Con el método indicado en la Norma INEN 641 se determinaron los valores de retracción por secado.

La Norma INEN establece como obligatorios los ensayos anteriormente descritos para la fabricación de bloques huecos de hormigón, sin embargo, al tener los bloques en estudio un compuesto nuevo, el cual está demostrado que cumple con otras funciones como el aislamiento acústico y térmico, se puede comprobar el grado de aislamiento que adiciona a los bloques.

Tabla 3. Resultados de las pruebas realizadas

Nº Muestra	Resistencia compresión (MPa)	Absorción (%)	Retracción (%)	Ruido (dB)	Peso c/bloque (kg)	Peso kg x m ³
1	7,3	9,59	0,13	88,5	13,55	1129,12
2	2,9	10,90	0,10	86,3	13,21	1100,78
3	2,7	13,99	0,12	89,4	12,79	1065,79
4	1,4	17,66	0,11	78,9	10,81	900,79
5	4,4	14,25	0,16	86,2	13,05	1087,45
6	2,6	15,01	0,12	89,7	11,92	993,29
7	4,2	17,39	0,13	82,9	11,84	986,62
8	3,3	16,92	0,10	87,8	12,29	1024,12
9	2,5	15,80	0,11	81,1	11,58	964,96
10	2,1	18,92	0,14	83,7	11,15	929,12
11	4,2	12,37	0,13	88,6	12,28	1023,29
12	3,4	17,16	0,14	83,5	11,65	970,79
13	4,4	17,10	0,14	86,5	11,81	984,12
14	3,4	15,90	0,13	84,1	11,88	989,96
15	3,7	13,33	0,16	85,3	12,07	1005,79
16	1,0	13,9	0,12	93,4		
17	1,4	13,46	0,10	90,1		

Para la determinación del aislamiento acústico se prepararon cajas con los diferentes grupos de bloques. Se realizó ruido fuera de dichas cajas donde el sonómetro marcó 111.6 dB. Luego se midió dentro de cada caja obteniendo los resultados que se indican en la tabla 3.

Además, con los resultados de la tabla 3 (peso de bloques secos), se determinó que los bloques contruidos de conglomerado madera – cemento, se encuentran dentro de la clasificación de bloques livianos (hasta 1200 kg/m³) según la Norma INEN 638.

También se realizaron ensayos a bloques de concreto comprados a dos fábricas diferentes de la ciudad, y sus propiedades físicas y mecánicas corresponden a las muestras 16 y 17 de la tabla 3.

2.4 Tratamiento estadístico de los datos

Todos los valores determinados son introducidos en el software “Statistica”, donde se utilizó el modelo de polinomio cúbico especial y se obtuvo una ecuación polinómica de tercer orden (Ec. 2) para que mediante gráficos se puedan determinar las propiedades mecánicas y sus respectivos porcentajes de materiales.

Para ponderar los resultados de los ensayos y determinar cuáles mezclas son más convenientes, se normalizan dichos resultados, es decir, se les dio una jerarquía asignando a la mayor resistencia a la compresión el valor de uno, a las que están por debajo de 2.5 MPa que es la resistencia mínima exigida por la Norma INEN 640 a los 28 días de elaborado el bloque el valor de cero y a las demás resistencias un valor intermedio proporcional a los extremos.

En el caso de absorción de ruido es todo lo contrario, es decir, a la mezcla con mayor permeabilidad se le asigna el valor de cero, a la mezcla con menor permeabilidad el valor de uno y a las demás mezclas valores proporcionales a los extremos.

Para la función de deseabilidad de la retracción por secado, se da la condición que si la retracción medida es mayor a 1.25% (valor máximo que exige la norma), la deseabilidad es cero, es decir no cumple con el requerimiento de retracción por secado, caso contrario es igual a uno, en este caso si cumple dicho requerimiento.

De igual manera, para la función de deseabilidad de absorción de agua, la condición es que si la absorción de agua medida en los bloques es mayor que 15% (valor máximo que exige la norma), la deseabilidad es cero, es decir que no cumple con esta condición, de ser menor a este valor, la deseabilidad es uno y por lo tanto cumple con la condición. La función de deseabilidad total es igual a la media geométrica de los tres casos que exige la norma.

2.5 Análisis de costos

El costo de un bloque es de gran importancia para poder competir no solo con calidad sino también con precios.

El cálculo del costo de cada bloque se realizó tomando en cuenta las proporciones de materiales utilizados en cada una de las mezclas especificadas en la tabla 2, además se tomaron en cuenta los costos de servicios básicos, amortización de maquinaria, mano de obra directa, mano de obra indirecta y cargas como seguros, arriendos, impuestos, etc. con un valor fijo por cada saco de cemento utilizado. Aunque el aserrín no tiene costo, se puso un valor de mano de obra por manipulación (tamizado) para separar desechos demasiado grandes y el polvo y por el transporte.

En la tabla 4 se muestran los costos calculados para cada bloque de las 15 mezclas diseñadas.

Tabla 4. Costo de cada muestra en dólares

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0,8	0,44	0,36	0,41	0,62	0,58	0,60	0,40	0,42	0,38	0,53	0,55	0,52	0,40	0,50

En el mercado se ofertan los bloques de concreto a un costo de 0,48 USD, por lo que a los requerimientos de deseabilidad de las normas, se añadió una función de deseabilidad del costo de los bloques, para esto se usa el condicional: si el costo calculado es mayor a 0,48; la función de deseabilidad es cero, es decir; no cumple con el requerimiento de costo, caso contrario la función de deseabilidad es uno, por lo tanto si cumple con este requerimiento.

3. Resultados

Existen seis muestras que cumplen con todos los requerimientos exigidos por las normas INEN (tabla 5) y son las mezclas 1, 2, 3, 5, 11 y 15, pero solamente dos de estas satisfacen el precio del mercado. Las proporciones, propiedades y costo de las dos muestras que cumplen con todos los requerimientos se pueden ver en la tabla 6.

Tabla 5. Función deseabilidad

Nº	Función deseabilidad R. Compresión	Función deseabilidad Retracción	Función deseabilidad Absorción de agua	Función deseabilidad Absorción de ruido	Función deseabilidad Costo	FUNCION DESEABILIDAD TOTAL
1	1	1	1	0,111	0	0
2	0,090	1	1	0,314	1	0,490
3	0,049	1	1	0,027	1	0,267
4	0	1	0	1	1	0
5	0,400	1	1	0,324	0	0
6	0,028	1	0	0	0	0
7	0,359	1	0	0,629	0	0
8	0,173	1	0	0,175	1	0
9	0,007	1	0	0,796	1	0
10	0	1	0	0,555	1	0
11	0,359	1	1	0,101	0	0
12	0,193	1	0	0,574	0	0
13	0,400	1	0	0,296	0	0
14	0,193	1	0	0,518	1	0
15	0,255	1	1	0,407	0	0

Tabla 6. Propiedades de los bloques que cumplen con todos los requerimientos

Nº	Componentes				Resistencia Compresión (MPa)	Retracción (%)	Absorción de agua (%)	Absorción de ruido (dB)	Costo (USD)
	Cemento	Piedra	Pómez	Aserrín					
2	2	8	5	3	2,9	0,107	10,900	86,3	0,44
3	1	7	8	1	2,7	0,120	13,995	89,4	0,36

Respecto a las funciones de deseabilidad total, se constata que únicamente hay dos mezclas que cumplen con todos los requerimientos planteados. Estos son las muestras 2 y 3 designadas en la tabla 6.

La deseabilidad de la muestra 2 es mayor a la deseabilidad de la muestra 3, esto se debe a que la mezcla 2 tiene mayor cantidad de cemento y piedra que la 3, por lo tanto la resistencia a la compresión es mayor. La retracción menor de la muestra 2 debido al mayor porcentaje de piedra hace que la deseabilidad de esta muestra sea mayor que de la muestra 3. El mayor porcentaje de piedra y menor de pómez en la muestra 2, hace que la absorción sea menor que de la muestra 3, y por lo tanto la deseabilidad mayor. De igual manera, la mayor cantidad de aserrín y piedra en la muestra 2 que en la muestra 3 da un mayor aislamiento acústico y en consecuencia una mayor deseabilidad. Por todas estas razones, se determinó que la muestra 2 es mejor en calidad que la muestra 3, pero su costo es mayor, sin embargo, está por debajo del precio de mercado. A estas muestras se las pudiera clasificar en “Bloques Tipo A” y “Bloques Tipo B” respectivamente.

Además con los ensayos de compresión a bloques de concreto comprados en dos fábricas diferentes de la ciudad, se demostró que los resultados están por debajo de lo que exige la norma (muestras 16 y 17 de la tabla 3), por lo que se determinó que los

bloques de conglomerado madera - cemento, son más confiables, por lo tanto es factible realizar bloques con este nuevo componente.

4. Conclusiones

Se determinó que el aserrín utilizado es compatible con el cemento Pórtland y que puede ser implementado en la tecnología de producción de bloques para la construcción, permitiendo el desarrollo de un producto competitivo, funcional y de menor costo.

Un aporte importante de esta propuesta está en relación directa con el cuidado del medio ambiente; debido a que, al aprovechar los desperdicios de aserríos y destinarlos un uso apropiado, se crea una alternativa para el manejo de estos recursos.

Agradecimientos

Agradezco al Dr. Piercósimo Tripaldi, quien me guió en el diseño experimental, al señor Augusto Sinchi dueño de la fábrica de bloques Monterrey por facilitarme las instalaciones para elaborar los bloques, al personal técnico de los Laboratorios de Ensayos de Materiales y de Tratamientos Térmicos de la Universidad Politécnica Salesiana, por facilitarme las instalaciones y equipos para las pruebas.

Bibliografía Consultada

1. Coma Baulenas Pedro. Prontuario de la madera. Editorial Gustavo Gili, S. A. España 1969.
2. Cornell, John A. Experiments with Mixtures. Designs, Models, and the Analysis of Mixture Data. University of Florida. Second Edition. USA. 1990.
3. Escuela mexicana de arquitectura. Materiales y procedimientos de construcción Tomo II. Editorial Diana. Primera edición. México 1979.
4. Feodosiev, V. I. Resistencia de materiales. Tercera edición. Editorial MIR. Moscú. 1985.
5. Keyser Carl A. Ciencia de materiales para ingeniería. Editorial Limusa. Primera edición. México 1990.
6. Norma Técnica Ecuatoriana INEN 152. Cemento portland. Requisitos. 2005.
7. Norma Técnica Ecuatoriana INEN 638. Bloques huecos de hormigón. Definiciones, clasificación y condiciones generales. 1993.
8. Norma Técnica Ecuatoriana INEN 639. Bloques huecos de hormigón. Muestreo, inspección y recepción. 1993.
9. Norma Técnica Ecuatoriana INEN 640. Bloques huecos de hormigón. Determinación de la resistencia a la compresión. 1993.
10. Norma Técnica Ecuatoriana INEN 641. Bloques huecos de hormigón. Determinación de la retracción por secado. 1981
11. Norma Técnica Ecuatoriana INEN 642. Bloques huecos de hormigón. Determinación de la absorción de agua. 1993.
12. Norma Técnica Ecuatoriana INEN 643. Bloques huecos de hormigón. Requisitos. 1993.
13. Norma Técnica Ecuatoriana INEN 872. Áridos para hormigón. Requisitos. 1982.
14. Smith William F. Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales. Tercera edición. Editorial Mc Graw Hill. España. 1998.
15. Tripaldi, Piercósimo. Módulo “Diseño experimental y optimización de procesos”. MGT III Edición. 2008.

Páginas web consultadas

1. Clima Block – Manual de puesta en obra. Recuperado el 22/03/2014, de <http://www.climablock.com/doctec/3-Manual%20Puesta%20en%20Obra.pdf>
2. Bloque súper aislante. Recuperado el 22/03/2014, de [www.Fixolite Bloque superaislante.html](http://www.Fixolite.com/Bloque%20superaislante.html)
3. Bio concreto. Recuperado el 22/03/2014, de www.fao.org
4. Biobloque. Recuperado el 22/03/2014, de <http://www.bio-blocks.com/what-is-BIO-BLOCK%20%AE>
5. Madera. Recuperado el 22/03/2014, de <http://es.wikipedia.org/wiki/Madera>, la enciclopedia libre.htm
6. Simplex – Lattice designs. Recuperado el 22/03/2014, de <http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/pri/section5/pri542.htm>
7. Simplex – Centroid designs. Recuperado el 22/03/2014, de <http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/pri/section5/pri543.htm>
8. What is a mixture design?. Recuperado el 22/03/2014, de <http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/pri/section5/pri54.htm>
9. Descripción de las cadenas productivas de madera en Ecuador. Recuperado el 22/03/2014, de <http://servicios.ambiente.gob.ec/saf/estadisticas/Cadenas%20Productivas%20de%20Madera%20en%20el%20Ecuador.pdf>
10. Elaboración industrial de bloques de concreto empleando ceniza volante. Recuperado el 22/03/2014, de <http://www.researchgate.net/publication/28249754>
11. Elaboración industrial de bloques de concreto empleando ceniza volante. Recuperado el 22/03/2014, de <http://revistas.upb.edu.co/index.php/investigacionesaplicadas/articulo/download/148/122>