

Estudio preliminar para el diseño de una máquina productora de bloques con suelos estabilizados.

A. Díaz Nimo, F. Aguilar Parés*.

Departamento de Proyectos Industriales, Centro Técnico para el Desarrollo de Materiales de Construcción.
Carretera de Casa Blanca y calle 70, Habana del Este, Cuba.

Teléfono: (537) 950751. E-mail: alfredo@ctdmc.com.cu

*Departamento de Mecánica Aplicada. Facultad de Ingeniería Mecánica.

Instituto Superior Politécnico, "José Antonio Echeverría". Calle 119, Marianao, Ciudad de la Habana, Cuba.

Teléfono: (537) 2663613. E-mail: aguilar@mecanica.cujae.edu.cu.

(Recibido el 22 de Julio de 2004, aceptado el 14 de Septiembre de 2004)

Resumen.

El diseño final de una máquina termina después de construirse un prototipo y verificar que funcione correctamente. No obstante, antes de construir el prototipo se puede modelar el equipo para detectar problemas que puedan surgir en la propuesta inicial. La idea anterior se aplicó en una máquina para la producción de bloques a partir de suelo estabilizado. Los esquemas, cinemático y estructural de la máquina, se hicieron a partir del análisis de equipos similares y de ideas propias. Se incluyó un sistema de accionamiento óleo hidráulico para obtener una fuerza de compactación elevada y tener una alta productividad de bloques con la calidad requerida. Posteriormente, se determinó, de forma experimental, la fuerza de compactación aplicada a un suelo estabilizado, para producir bloques que resistan un esfuerzo a compresión establecido por la norma de calidad. Con la fuerza de compactación definida, se modelaron las partes peligrosas del equipo, en un programa de elementos finitos. Se muestran los resultados, señalándose como en algunos elementos, la propuesta original fallaba, proponiéndose nuevas soluciones.

Palabras claves: Diseño mecánico, suelo estabilizado, método de elementos finitos.

1. Introducción.

En Cuba se comienza a desarrollar seriamente las construcciones a partir de suelo estabilizado en los finales de la década de los 80, dada la situación en la que se ve envuelto el país por la inminente caída del campo socialista lo cual estaba repercutiendo en las negociaciones con dicha comunidad en renglones como el petróleo, trayendo como consecuencia que muchas de las industrias de materiales de construcción se fueran parando, afectando esto el nivel de construcción que se venía desarrollando hasta ese momento, teniendo que pasar a sistemas de construcción de bajo costo en el que realmente se tenía poca experiencia, por lo que en muchos de los lugares donde se trabajó con estas técnicas no se cumplió con los requerimientos de calidad necesario.

Partiendo de la consideración de que el hábitat es una necesidad objetiva e insoslayable y de que el Estado ha de crear las condiciones para que la población tenga acceso a una calidad de vida más humana, se pusieron en marcha cambios en la producción, en la técnica, en la formación profesional, en la organización político administrativa y se incidió en la sensibilidad de la población para la aceptación de estos cambios.

La estrategia que asentaba estas nuevas bases se definió a principio de 1992 en el Taller celebrado en el MICONS [1]. En las conclusiones de este Taller se definieron aquellos aspectos en que existía consenso y coincidencia de criterios:

- La situación crítica del problema de la vivienda no permite esperar a que mejoren las condiciones actuales y debe establecerse un programa que evite la disminución de la capacidad habitacional del país.
- La construcción de nuevas viviendas debe basarse en técnicas de bajo consumo a partir de materiales y materias prima locales, impulsando la descentralización y territorialización en todos los niveles.

A partir de entonces se desarrolló un gran movimiento constructivo en todo el país para satisfacer, en alguna medida, la situación de la vivienda, mediante las construcciones de bajo costo lo que a su vez conllevó a que no siempre las mismas se efectuarán con la calidad requerida, convirtiéndose esto en una problemática a resolver, en la que intervinieron determinados centros que ayudaron en gran medida a darle solución a dicha problemática. Dichos aspectos fueron plasmados en el Programa para el Desarrollo Tecnológico de la Vivienda en el Periodo 1997-2000 [2].

Se puede precisar que el problema, relacionado con la producción de bloques con suelo estabilizado, consiste en la existencia en el país de máquinas manuales las cuales no garantizan la productividad necesaria, ni resistencia adecuada, por lo que la calidad final de los bloques no estaba acorde a los parámetros exigidos en las normas emitidas al respecto.

Relacionado con lo anterior surgió la necesidad de diseñar una máquina para la producción de bloques a partir de suelo estabilizado que garantizará una resistencia y una calidad de los mismos acorde a las normas, que humanizará el trabajo lo más posible, que poseyera una productividad adecuada y que estuviera al nivel de las diseñadas y comercializadas por los países desarrollados.

Independientemente que se tenía el esquema general del funcionamiento de la misma, había que determinar la fuerza máxima para comprimir un suelo estabilizado para que alcanzara presiones de compactación dadas por la Norma Cubana.

La determinación de la fuerza máxima era esencial en dos aspectos:

- Para el dimensionado de la máquina en el sentido de escoger los menores perfiles, de forma tal que los esfuerzos que surgieran, fueran menores que el esfuerzo admisible del material seleccionado.
- Para la selección de los cilindros hidráulicos, bomba y demás componentes del sistema óleo hidráulico concebido para aumentar la productividad del equipo.

2. Determinación de la fuerza de diseño.

En general, los parámetros para obtener bloques de buena calidad están relacionados con utilizar suelos de alta densidad, añadiéndoles agentes estabilizadores, cemento y/o cal, que aumentan la resistencia del bloque, y agentes impermeabilizantes, que le dan mayor durabilidad [3].

Uno de los métodos de estabilización de los suelos es mediante la fuerza de compactación la cual logra con su aumento, influir en los parámetros descritos anteriormente, o sea, se obtienen bloques con una mayor resistencia a la compresión, una mayor densidad, un menor grado de absorción y una mayor duración del elemento.

No obstante, la resistencia de un bloque, para una fuerza de compactación dada, varía según las características del suelo, si es arcilloso, arenoso, si está estabilizado con cemento u otro aglomerado, de la dosificación efectuada, del por ciento de humedad y de las dimensiones del bloque, etc. Al respecto se puede consultar el informe de investigación del Centro Técnico para el Desarrollo de los Materiales

de Construcción en que se estudió el comportamiento de tres suelos diferentes, empleando tres máquinas con fuerzas de compactación diferentes [4].

Por otro lado, existe un valor de fuerza de compactación a partir de la cual la resistencia a compresión no varía sustancialmente por lo que no es ventajoso tomar fuerzas de compactación mayores que esta en las máquinas que se diseñen, pues las harían más costosas [5, 6].

Por tal razón se llevó a cabo el diseño y el análisis estadístico de un experimento con el objetivo de analizar el comportamiento de la resistencia a compresión con respecto al aumento de la fuerza de compactación para elementos cuyas dimensiones son de : 250x160x120 mm, con una dosificación y por ciento de humedad preestablecido. Es decir que las variables a analizar son la fuerza de compactación y la resistencia a la compresión.

Del resultado de los ensayos y del análisis de los mismos se tomará el valor más adecuado de la fuerza de compactación para el diseño de la máquina.

Para la investigación se empleó un suelo de la cantera "La Rosita" ubicada en el Municipio San José de las Lajas, provincia Habana. Este suelo es arenoso-limoso, bastante fino y de color crema, clasificado según el Sistema Internacional AASHTO, establecido en la Norma Cubana NC-054-273-1984. Las propiedades del suelo se exponen en la tabla No. 1.

Tabla 1. Propiedades físicas de una muestra del suelo.

Propiedades físicas del suelo de la cantera "La Rosita"	
% pasado por tamiz No. 10 (2.00 mm)	12,0
% pasado por tamiz No. 40 (0,42 mm)	16,0
% pasado por tamiz No. 200 (0,0447 m)	39,0
Peso específico kN/m ³	27,1
Clasificación H.R.B.	A-b-(12)
Grava %	25
Arena %	14
Limo %	21
Arcilla %	18
Humedad óptima (w _{opt}) %	19
Densidad humedad máx. kN/m ³	22,5
Densidad seca máx. kN/m ³	15,4
Índice de poros (e)	0,70
Saturación (S) %	95

Para estabilizar el suelo, se utilizó el cemento Portland puro, marca P-350. La dosificación empleada de cemento-suelo fue de 1:14 en volumen y un grado de humedad de 12,3 % la cual fue determinada mediante pruebas para que la mezcla alcanzara la consistencia de trabajo adecuada para la conformación.

Los bloques se produjeron en moldes con dimensiones de 250x160x120 mm, en una prensa de laboratorio de 500 kN.

Se llevó a cabo un diseño de experimento del tipo “Completamente al azar”; pues es este el más apropiado teniendo en cuenta lo que se quiere obtener y las condiciones bajo las cuales se realiza la misma. El experimento está caracterizado por los siguientes parámetros:

- Rendimiento: resistencia a la compresión del bloque
- Factor: fuerza de compactación.
- Niveles del factor: 7
- Unidades experimentales: Bloques de suelo estabilizado.
- Número de corridas experimentales por nivel del factor: 3

Los resultados del experimento aparecen en la tabla 2.

Tabla 2. Resultado de los ensayos a los bloques

Fuerza Comp. [kN]	Resistencia a la Compresión (28 días) [MPa]			
	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Valor medio
6	2,53	2,50	2,52	2,517
60	2,68	2,71	2,70	2,697
100	4,78	4,74	4,75	4,757
200	6,71	6,72	6,76	6,730
300	6,75	6,78	6,73	6,753
400	6,79	6,83	6,81	6,810
500	6,83	6,82	6,84	6,830

El resultado se muestra gráficamente en la figura 1.

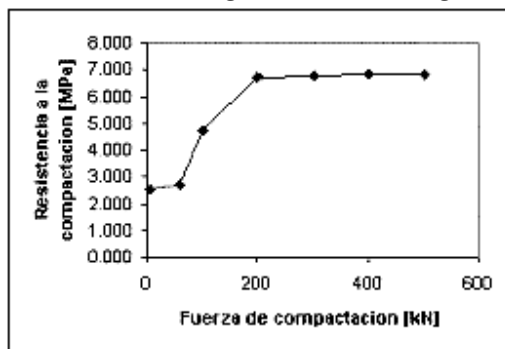


Figura 1. Resistencia del bloque a la compresión.

Como se aprecia, a partir de una fuerza de compactación de 200 kN la variación de la resistencia a compresión del bloque no varía sustancialmente. Por otro lado, con una fuerza de 200 kN, se obtiene una resistencia a la compresión de 6,73, superior a los 5 MPa que plantea la norma cubana para obtener bloques de calidad.

Es decir que, para el experimento llevado a cabo, bajo determinadas condiciones de dosificación y dimensión del bloque da que la fuerza de compactación óptima es de 200 kN, ahora, teniendo en cuenta que se quiere diseñar una máquina ajustable, o sea, que pueda producir bloques con suelos de menor calidad y con otras dimensiones, se determinó llevar a cabo el diseño de esta máquina con una fuerza de compactación de 350 kN.

3. Aplicación de la fuerza de diseño al esquema general del equipo.

El esquema general del equipo se concibió, tanto desde el punto de vista cinemático como estructural, tras la consulta de 10 patentes y 29 sitios web, los cuales se precisan en [7]. El esquema se muestra en la figura 2, en la que se señalan los conjuntos más peligrosos, los que a continuación serán analizados de forma independiente.

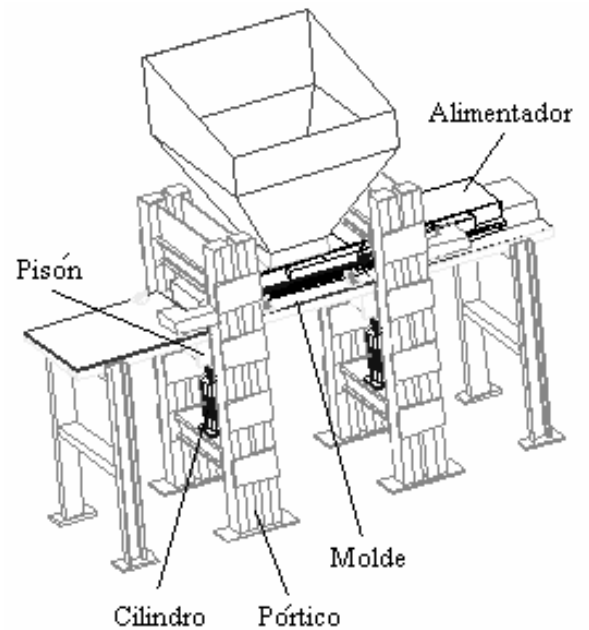


Figura 2. Máquina compactadora de suelos.

Para todos los aceros analizados, se considerará un módulo de elasticidad de 2.10^5 MPa y un coeficiente de Poisson de 0,3.

Molde. Para el diseño del molde se tomó como medida la de 300x200x220 mm, donde se producirá un bloque de 300x200x100 mm, considerando una relación de compresión de hasta 2, es decir que para producir un bloque de 100 mm de espesor se vierte material en el molde hasta 200 mm de altura, para cuando sea comprimido se llegue al espesor de 100 mm.

El esfuerzo de presión al cual está sometida cada una de las paredes del molde es de 5,83 MPa, producto de aplicar una fuerza de 350 kN al área de 300x200 mm,

asumiéndose que la presión se reparte de igual forma en todos los sentidos.

Con estos datos se pasó a comprobar el diseño del molde, llevando a cabo su modelación en un programa de elementos finitos. Se comenzó utilizando los siguientes espesores de plancha:

Plancha de fijación del molde: 10 mm

Plancha lateral menor: 10 mm

Plancha lateral mayor: 15 mm

El elemento escogido para el mallado fue Shell 63. Las restricciones se realizaron sobre los huecos de la plancha de sujeción, restringiéndose todas las rotaciones y desplazamientos.

Los resultados de esta modelación dieron valores de desplazamiento en el orden de los 4 mm y valores de las tensiones, con el criterio de Von Misses, superiores a los límites de fluencia, tanto del acero estructural como de los aceros al manganeso.

Al diseño definitivo del molde, se le agregaron dos nervios a cada lado y en la parte superior del mismo, donde se encuentra la zona de mayor deformación, además se cambiaron los espesores de plancha llevándolos a los siguientes valores:

Plancha de fijación del molde: 10 mm

Plancha lateral menor: 10 mm

Plancha lateral mayor: 10 mm

Nervio rigidizador: 20 mm.

En la figura 3 se muestran, el molde concebido originalmente y el molde definitivo, donde se observan los nervios agregados.

Mientras, en la figura 4 se muestra el mallado del molde definitivo, así como las restricciones y la zona donde se aplica la carga por presión, nótese que la carga se aplica en las áreas cuando el bloque está totalmente comprimido

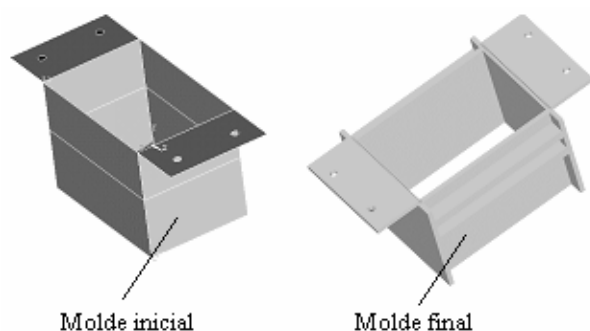


Figura 3. Molde del bloque

En el molde final el valor máximo del desplazamiento fue de 0,398 mm es decir que no alcanza el milímetro de desplazamiento, lo cual indica la gran rigidez que posee en todas sus paredes. El valor mayor de las tensiones, según Von Misses, es de 316,52 MPa.

Este valor es menor que el esfuerzo límite de fluencia del acero al manganeso 35CG el cual es de 466 MPa, o sea, el molde trabajará con un coeficiente de seguridad de 1,47.

El resultado de esta modelación se muestra en la figura 5, donde se observa el molde con los resultados de los desplazamientos y las tensiones de Von Misses, destacándose la zona de los valores máximos de las deformaciones y las tensiones.

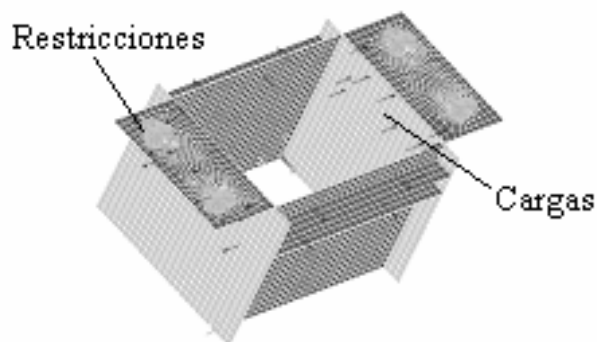


Figura 4. Mallado, cargas y restricciones del molde.

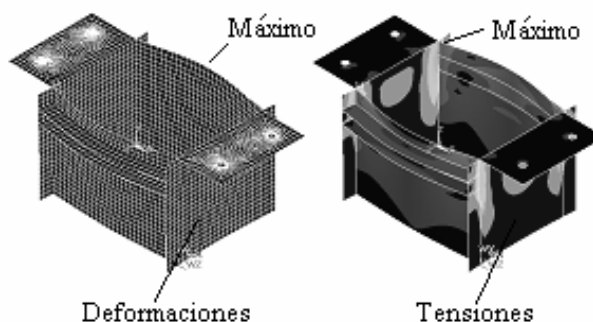


Figura 5. Deformaciones y tensiones del molde.

Pisón. Para el diseño del pisón, se llevó a cabo un cálculo preliminar del eje, el cual está sometido a una carga de 350 kN. El diámetro calculado para el eje fue de 55 mm. Con esta dimensión y las restantes que conforman el pisón se modeló la pieza mediante el mismo programa de elementos finitos.

El elemento empleado para el mallado de la pieza fue sólido 45. El material empleado es acero 45, con un esfuerzo límite de fluencia de 354 MPa.

Las restricciones se aplicaron a los nodos del perímetro de la plancha que realiza la compresión, se restringieron todos los desplazamientos y todas las rotaciones. La carga se distribuyó en los nodos de la media luna superior del eje. En la figura 6, se muestra lo dicho anteriormente.

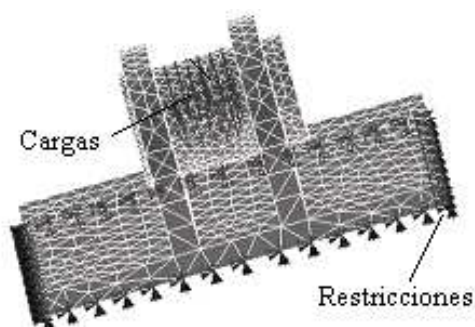


Figura 6. Mallado, cargas y restricciones del pisón.

En la figura 7 se muestran las deformaciones y tensiones obtenidas, donde el valor del desplazamiento máximo es de 0,0016 mm, es decir que no alcanza el milímetro de desplazamiento, lo cual indica la gran rigidez de la pieza.

El valor mayor de las tensiones de Von Mises es de 176,69 MPa. Al compararlo con el esfuerzo límite de fluencia se obtiene un coeficiente de seguridad de 2.

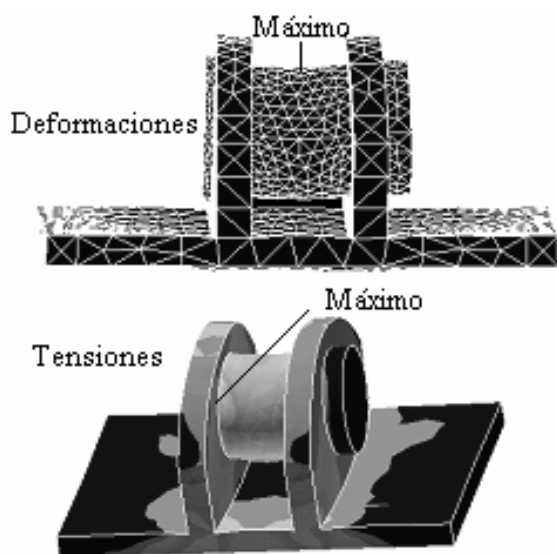


Figura 7. Deformaciones y tensiones del pisón

Alimentador. Pieza que trabaja como tapa del molde y que soporta la fuerza de compresión que se realiza sobre el material.

Para modelar el alimentador se consideró solo la mitad de su longitud total pues el mismo está diseñado de forma simétrica.

El material empleado fue acero estructural CT2, con un esfuerzo límite de fluencia de 216 MPa.

La fuerza que actúa sobre el alimentador es de 350 kN, aplicada a la cara inferior que tiene un área de

200 x 300 mm. Luego, el valor de la presión es de 5,83 MPa.

Con estos datos se pasó a comprobar el diseño del alimentador llevando a cabo su modelación por un programa de elementos finitos. Se utilizaron los siguientes espesores de plancha:

- Todas las planchas de la periferia: 6 mm
- La plancha superior e inferior: 6 mm
- Las planchas verticales divisorias: 10 mm

El elemento escogido para el mallado fue Shell 63. Las restricciones, se realizaron sobre la porción del área superior del alimentador que queda ubicada debajo del pórtico, en el momento de estar trabajando dicho alimentador como tapa del molde. Se restringieron tanto las rotaciones como los desplazamientos en todos los ejes.

En la Figura.8 se muestra el alimentador mallado, además de las restricciones y la fuerza de presión en su parte inferior actuando hacia arriba.

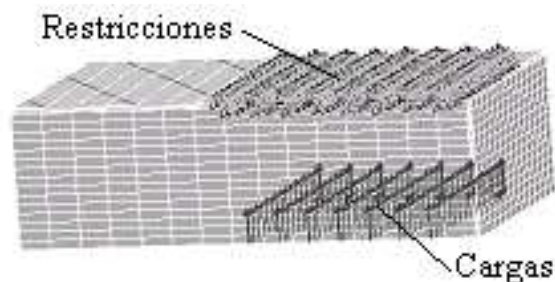


Figura 8. Mallado, cargas y restricciones del alimentador.

En la Figura 9 se muestra el alimentador con los resultados de los desplazamientos y de las tensiones de Von Mises.

El valor del desplazamiento máximo es de 0,027 mm, es decir que no alcanza el milímetro de desplazamiento, lo cual indica la gran rigidez que posee en todas sus partes. El valor mayor de las tensiones es de 69,86 MPa. Nótese que al compararlo con el esfuerzo límite de fluencia, se obtiene un coeficiente de seguridad de 3,08.

Pórtico. Es la pieza que soporta en su parte inferior al cilindro hidráulico y en su parte superior al alimentador.

Para modelar el pórtico se partió de un diseño preliminar, en el que se utilizaron 4 columnas formadas cada una por dos vigas canales de 100. Cada pareja de columna se une lateralmente, tanto exterior como interiormente, por cuatro planchas espaciadas de 10 mm de espesor. Dicho conjuntos se unen transversalmente por cuatro vigas tipo I de 100, cubiertas con planchas de 6 mm de espesor, a todo su largo, tanto por la parte

superior como inferior. Como base del pórtico se utilizó planchas de 10 mm de espesor soldadas a las columnas.

En la plancha superior, que está encima de las vigas I, de la parte inferior del pórtico va soportado, en un área de 170 x 170 mm, la base del cilindro hidráulico, el cual ejerce una fuerza de 350 kN, generando una presión sobre dicha área igual a 12,11 MPa.

Por otro lado, en la plancha inferior de las vigas I, de la parte superior del pórtico actúa la misma fuerza, pero sobre un área de 200 x 300 mm generando una presión igual a 5,83 MPa.

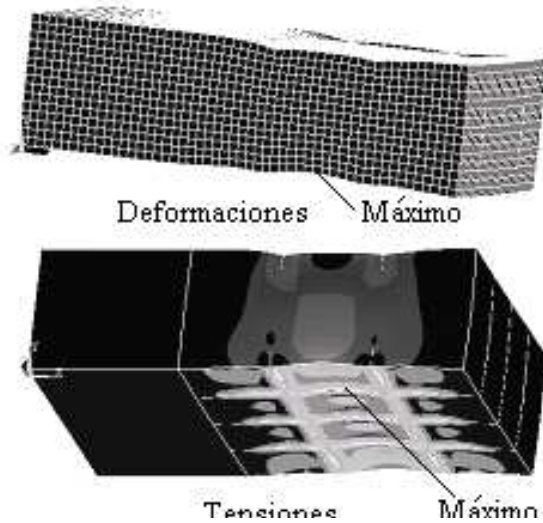


Figura 9. Deformaciones y tensiones del alimentador.

El modelo del pórtico se llevó a cabo mediante superficie y el tipo de elemento utilizado fue Shell 63. Las restricciones se aplicaron a los nodos inferiores de las planchas de la base, restringiendo tanto las rotaciones como los desplazamientos, como se puede observar en la figura 11.

Los resultados de esta modelación dieron un valor máximo de desplazamiento de 2,95 mm y un valor máximo de las tensiones de Von Mises de 805,6 MPa, el cual es muy elevado.

Por esta razón se pasó a reforzar el diseño inicial, cambiando el espesor de las planchas, colocadas a lo largo de las vigas I de 6 a 16 mm. Además se le agregaron dos planchas de 10 mm de espesor, perpendicular al ala superior de cada viga I, en la parte superior del pórtico. De forma similar, se hizo en las vigas I de la parte inferior, pero colocadas en el ala inferior, lo que le aporta mayor rigidez a las mismas. En la figura 10, se muestra el diseño original y final del pórtico.

En la Figura 11, se muestran los desplazamientos y las tensiones de Von Mises del pórtico, en su versión final.

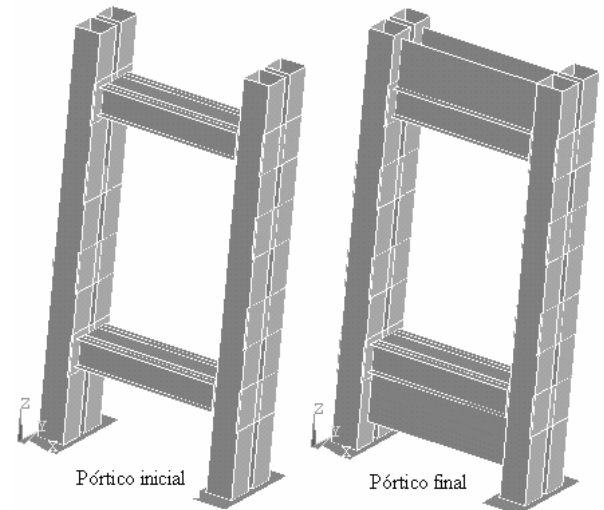


Figura 10. Diseños inicial y final del pórtico.

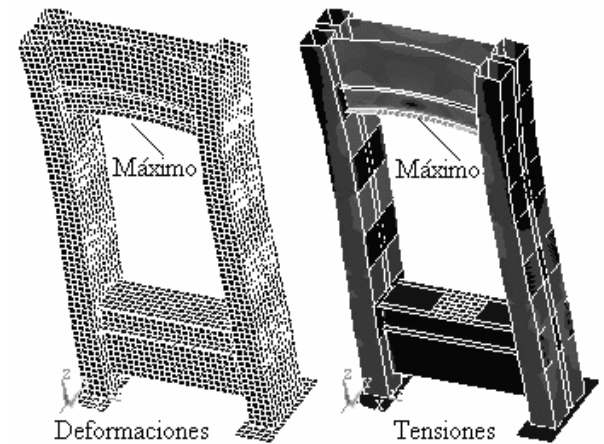


Figura 11. Deformaciones y tensiones del pórtico.

Como se puede apreciar en la figura 11, el valor mayor de las deformaciones ocurre en la parte superior, donde está apoyado el alimentador, y solo es de 0,87 mm, lo cual es permisible para esta zona, por otro lado, la tensión máxima, según Von Mises, es de 233 Mpa. Todo lo anterior conlleva a que el material utilizado sea acero estructural tipo CT3, con un esfuerzo límite de fluencia de 236 MPa, excepto las planchas de 16 mm que soportan directamente las presiones originadas por el cilindro y el alimentador que deben ser de acero 35 con un límite de fluencia de 343 MPa.

4. Conclusiones.

- La variación de la resistencia del bloque con respecto a la fuerza de compactación, tiene dos zonas, una proporcional y otra en que la resistencia del bloque no varía mucho con el aumento de la fuerza de compactación.
- La fuerza de compactación máxima de la zona proporcional es esencial para valorar la fuerza para diseñar el equipo.
- El empleo de modelos permite analizar estructuralmente la resistencia de partes del equipo, definiendo materiales y nuevas soluciones, sin llegar a construir el prototipo.

5. Referencias.

1. Taller sobre "Políticas de viviendas en Cuba", MICONS, 1992.
2. Programa para el desarrollo tecnológico en el periodo 1997-2000, CTVU, La Habana, 1997.
3. Suárez Tellez Jorge. Manual de producción y Construcción con suelos estabilizados. Dirección provincial de la vivienda, Holguín, Cuba, 1990.
4. Téllez E. y Díaz A. Reevaluación de la máquina Adobe Press-300 de la firma Enviroblock EBC Corporation para la producción de elementos pretensados de suelos. Centro Técnico para el Desarrollo de los Materiales de la Construcción, 1996.
5. Torriente Baleato Manuel, Sagues Amorena Luis. Estabilización de Suelos. Editores Técnicos Asociados, S.A., 1995.
6. Small-Scale manufacture of stabilized soil block TECHNOLOGY SERIES. Technical Memorandum No. 8, 1994.
7. Díaz A. Diseño de Máquina de Producción de Bloques a partir de Suelo Estabilizado. Tesis de Master en Diseño Mecánico, CUJAE, La Habana, 2004.

Preliminary study for the design of a block machine producer with stabilized soil.

Abstract

The final design of machine finishes after built a prototype and verify that it works correctly. Nevertheless, before building the prototype you can model the equipment in order to detect problems that can arise in the initial proposal. The previous idea was applied in a machine for the production of blocks starting from stabilized soil. The schemes, cinematic and structure of the machine, were made starting from the analysis of similar equipment and of own ideas. A system of oil hydraulic power was included allowing a high force of compression and having a high block productivity with the required quality. Later on, it was determined, in an experimental way, the compression force applied to a stabilized soil, allows blocks to resist an effort to compression settled down by the norm of quality. The dangerous parts of the equipment were modelled in a finite elements program, with the force of defined compression. The results are shown, pointing out that in some elements, the original proposal failed and intending new solutions were made.

Key words: Machine design of equipment, stabilized soil, finite elements.