
EXPERIENCIA DE CUBA EN EL DESARROLLO Y APLICACION DE BLOQUES PRENSADOS MACHIHEMBRODOS DE SUELO CEMENTO

Nelson Navarro Campos

Ingeniero Civil, Especialidad Estructuras, Doctor en Ciencias Técnicas, Profesor Titular de la Facultad de Ingeniería Civil del ISPJAE, Investigador Titular del Centro Técnico de Viviendas y Urbanismo, CTVU, del Instituto Nacional de la Vivienda, MICONS.

CTVU, Calle Tulipán esquina a Factor, s/n, Nuevo Vedado, Plaza, Ciudad de la Habana, Cuba.

Teléfonos (537) 8813599, 8816779. Email : nnavarro@ctvu.cu

Resumen

Antecedentes y situación actual del uso de la tierra como material de construcción en Cuba, en particular para viviendas. Condiciones socio – culturales y técnico – económicas y las tecnologías constructivas preferidas. La albañilería estructural (Obras de Fábrica) con bloques compactados machihembrados de suelo cemento, con junta seca. Parámetros característicos de los suelos considerados aptos para estabilizar por compactación mediante compresión mecánica y adición de cemento. Experiencia del Cemento Puzolánico CP – 40 con tecnología nacional del Molino MB – 60. Efectos de la adición de cal. Humedad Optima mediante los Ensayos Proctor, CBR y mediante la máquina bloquera utilizada en cada caso. Emisión de Instrucciones Técnicas como documentos normalizativos del diseño, la producción y los trabajos de construcción. Soluciones de diseño y técnico constructivas en paredes y en techos de bóvedas. Experiencias del Proyecto 10 x 10 y diseños para ser aplicados en el Proyecto 20 x 1000, ambos de Subprograma XIV Habyted – CYTED. Participación del Proyecto PROTERRA.

Palabras Clave

Construcción con tierra, Viviendas de bajo costo, Bloques de suelo – cemento compactados y machihembrados.

Abstract

Antecedent and present situation of the use of soil as a construction material in Cuba, particularly for dwelling. Socio – cultural and technical – economic conditions and the preferable technologies. Use of masonry structure by soil cement compressed and locked blocks, with dry joints. Apt soil characteristics to be stabilized by compaction with mechanical compression and cement addition. Experiences on the Puzzolana Cement CP – 40 with National Technology by the MB – 600 Mill. Lime addition effect. The optimum water quantity for the soil mix, determine by the Proctor and CBR Tests and by the Press used for the block production. Technical Instructions issued as documents for standardize design, production and construction works. Designs and technical constructive solutions for walls and arched roofs. Experiences from the 10 x 10 Project and designs for the 20 x 1000 Project, both for the XIV – 5 Project, HABYTED – CYTED: “Con techo”. PRPTERRA Project participation.

Keywords

Soil as construction material, soil – cement compressed and locked blocks, low cost dwellings.

Antecedentes y situación actual

El desarrollo de técnicas constructivas precolombinas en Cuba, no alcanzó los niveles conocidos que tuvieron lugar en el continente americano, donde llegan hasta nuestros días importantes construcciones de esa época empleando la tierra como material, habiéndose continuado su aplicación y desarrollo,

constituyendo un importante elemento del patrimonio cultural de sus pueblos.

De las Cuebas Toraya (2001:1) cita a Fray Bartolomé de las Casas, Historia de las Indias, 1550: “Las casa son de madera y paja muy luengas y delgadas, hechas del modo de una campana, por lo alto angostas y a lo bajo anchas, para muchas gentes bien capaces dejan en lo alto un respiradero por donde salga el humo y encima unos caballetes o corona muy bien labrados y proporcionados”.

Durante el período colonial (siglos XVI al XIX) se introducen paulatinamente técnicas constructivas de tierra armada (bejucos recubiertos con barro amasado con hierbas), tapial, mampuestos, albañilería y la sillería, esta última principalmente en fortalezas militares, iglesias y edificios públicos.

En la primera mitad del siglo XX, época de la República, toma auge el empleo de los “nuevos materiales” con el Cemento Portland y el acero, combinados en el Hormigón Armado, junto con la albañilería de ladrillos de arcilla cocida. El uso de la tierra en forma directa como material de construcción pierde terreno y “prestigio social” por lo que técnica y culturalmente fue quedando rezagado, en términos generales.

En la segunda mitad del siglo XX, época de la Revolución, se produce un auge significativo de las construcciones en todas sus manifestaciones: viales, hidrotécnicas, edificaciones, etc. En ellas, y en especial en las edificaciones, se centra el desarrollo en tecnologías de prefabricación y montaje de componentes de hormigón armado y pretensado.

Una caracterización, aunque quizás extrema, de esa situación se puede citar de (Matamoro 1998:17), que plantea: “.....El modelo de desarrollo constructivo basado en la prefabricación pesada que impusieron la rigidez de las soluciones y su difícil explotación y mantenimiento, implicó un alto consumo de cemento y acero así como el empleo de maquinaria compleja con la concebida dependencia del petróleo. Por añadidura el desmantelamiento de la industria artesanal de materiales de construcción y la pérdida de las habilidades en los oficios tradicionales, trajo como consecuencia la falta de adecuación al contexto natural y construido, la fealdad e infuncionalidad en la arquitectura nacional, por no hablar de la mala calidad constructiva y los elevados costos en el ámbito económico, no obstante la solución cuantitativa al déficit habitacional fue importante y marcó un ritmo de producción sin precedentes.

Paradójicamente la crisis económica desencadenada en la postrimería de los años 80, puso en peligro el desarrollo alcanzado hasta entonces, pero brindó la oportunidad de repensar el modo de seguir adelante en el desarrollo del hábitat y su mejoramiento integral. Surge entonces el programa de bajo consumo como respuesta para mantener y hasta incrementar la construcción de viviendas. Tal como se ha señalado por otros autores, la búsqueda y rescate de técnicas y materiales de construcción tradicionales ha sido uno de los aspectos más positivos en la implementación de ese programa. Y en este nuevo andar la tierra o suelo (como término más frecuente en el vocabulario técnico nacional) se volvió a utilizar como material de construcción,

práctica perdida en el tiempo que ha dejado no pocos testigos de una arquitectura apropiada funcional y constructivamente”.

Aunque se ha demostrado que las técnicas de prefabricación no fueron las responsables absolutas de los malos resultados cualitativos en el diseño arquitectónico y urbanístico y si proporcionaron un importante aporte cuantitativo, principalmente en viviendas, es cierto el alto costo en recursos materiales y energéticos que implicaron. La coyuntura económica de los años '90 del pasado siglo, condujo a un auge súbito y a escala nacional de las construcciones con tierra, mas que aceptadas socialmente, “toleradas” ante las limitadas alternativas que el momento imponía, ya que si bien los más necesitados de viviendas recurren a las soluciones conocidas de cualquier improvisación, la entienden como temporal y aspiran a que su vivienda “definitiva” sea según la tradición de materiales socialmente reconocidos (paredes de ladrillos de arcilla cocida o de bloques de hormigón, techos y entrepisos de losas u otros elementos de hormigón, etc.) por considerarlos seguros y duraderos y de “alto estándar constructivo”.

En estas condiciones, técnicas como el embarrado, el tapial o el adobe no tenían las mejores oportunidades en el referido momento de la década de los años '90 del pasado siglo, en que la coyuntura económica hizo retomar las técnicas de menor costo, principalmente de menos consumo energético, se impuso entonces el ladrillo macizo de suelo cemento compactado sustituyendo al tradicional ladrillo de arcilla cocida y al bloque de hormigón, ambos de mayor consumo energético, pero dentro de la misma tecnología de la albañilería tradicional (Obra de Fábrica) o más avanzado aún, con bloques prensados de suelo cemento de unión machihembrada, al eliminar la junta húmeda de mortero.

Con estos elementos se construyeron en esa década viviendas de 1 y de 2 niveles en Cuba y también en Jamaica y en Colombia, mediante acuerdos de cooperación, en todos los casos con buenos resultados, aunque necesitando de maduración en cada localidad o región, para constituirse como técnica constructiva de pleno dominio.

LOS BLOQUES MACHIHEMBRADOS DE SUELO CEMENTO COMPACTADO

El diseño de estos bloques, tuvo en nuestro caso como antecedente las soluciones que aplica el Arq. Raúl Sánchez Mora, en Cuernavaca, México. En Cuba se realizaron algunas adecuaciones geométricas en los nervios y ranuras, aplicando los criterios y evaluando su capacidad resistente al cortante, de gran importancia en zonas sísmicas y de fuertes vientos, según los trabajos teóricos y prácticos desarrollados por el autor, adecuándolas a las particularidades del caso, (Navarro 1986), pero manteniendo las dimensiones generales de 350 mm x 175 mm x 100 mm y añadiéndole dos huecos circulares para posibilitar la colocación de refuerzo vertical, necesario en casos de grandes cargas horizontales.

Se diseñó una nueva máquina de producción, de compresión en una dirección y compactación del 37.5 % de

reducción del volumen. Primeramente de acción manual para la producción de un bloque en cada aplicación, resultando una capacidad del orden de 350 bloques por jornada de 8 horas brutas con 2 operarios. Por el carácter de unión sin junta de mortero (junta seca) resulta determinante la estabilidad en el grueso de los bloques (de 100 mm en este caso) lo que se logra con el mecanismo particular de la máquina. Este equipo se registró con la Marca Guamá. Véase la [Figura No. 1](#).

En el proceso de reintroducción masiva y repentina a escala nacional de las técnicas de construcción con tierra, en las circunstancias y condiciones ya explicadas, resultó necesario emitir una Serie de Instrucciones Técnicas con carácter de documentos normalizativos para ordenar, orientar y respaldar los trabajos de diseño, producción y ejecución de las obras de construcción usando el suelo como material fundamental. Este fue uno de los resultados del intenso trabajo y responsabilidades que le correspondió a la Comisión Nacional para el Desarrollo y Aplicación de los Suelos Estabilizados. CODASE, que fue presidida por el autor de este trabajo. Entre ellas la IT-09-91: “Bloques Machihembrados de Suelo-Cemento”, que en esos momentos se les llamó Machimbloques, (Navarro 1991) estableciendo el diseño geométrico y las características físico-mecánicas de esos elementos.

En cuanto al material suelo-cemento, en todos los aspectos del diseño de las mezclas, tales como granulometría del suelo, la cantidad de agua, la proporción de cemento, el batido, etc. se siguieron los procesos clásicos con los parámetros conocidos y los ensayos correspondientes, por lo que no se considera necesario exponerlos aquí. En este sentido resultó muy útil la Serie de Instrucciones Técnicas de la CODASE, así como otras informaciones normalizativas de referencia, entre ellas destaca las Recomendaciones para Elaborar Normas, emitidas por la Red Habiterra (CYTED. Red Habiterra 1995: 93 - 110).

Se pueden destacar algunos aspectos particulares, como los estudios de durabilidad de los elementos de tierra compactada y estabilizada con cemento y cal, (Acosta 2000: 80), así como del contenido óptimo de humedad en la mezcla determinada con la energía y forma de compactación de la misma máquina bloquera a usar en la producción (Acosta 2000: 76 - 79), en lugar de los ensayos clásicos de Proctor y CBR. El ensayo con la máquina bloquera requiere el mismo rigor que los ensayos en el laboratorio, además de los equipos complementarios, por lo que no se les puede confiar al personal de producción ni a sus condiciones de trabajo, lo que constituye una limitación práctica. Su utilidad estaría en que responde a la energía real de compactación y a la forma de su aplicación, en general diferente a las de los ensayos clásicos citados. Este es también un tema conocido y discutido en el ámbito de aplicación de estas técnicas.

Otra particularidad, que puede resultar de interés, es la aplicación del aglomerante CP – 40 de cal – puzolana, en sustitución total o parcial del Cemento Portland Norma.

Cemento puzolánico CP – 40

Se presenta aquí este aglomerante por sus buenos resultados como estabilizador de los elementos compactados de suelo cemento. Aunque Cuba cuenta con una capacidad instalada para la producción de Cemento Portland Normal del orden de las 3.5 millones de toneladas la año, se ha desarrollado el aglomerante CP – 40 como una solución alternativa de muy bajo costo e ideal para trabajos de albañilería, fabricado en base a una mezcla de cal hidratada y puzolanas. Se emplean las cenizas de paja y de bagazo de la caña de azúcar y de la cascarilla del arroz como fuentes de puzolana, de las cuales se dispone de grandes cantidades, con el necesario grado de puzolanicidad, por lo que constituye una alternativa económica y ecológica de materia prima para esta producción.

Igualmente, las investigaciones demuestran que la cal hidratada es adecuada para la fabricación del cemento CP – 40, siempre que el contenido de CaO esté por encima del 40 %, para poder activar completamente la puzolana. También se estudió con resultados satisfactorios, el empleo del ceno residual de la producción de acetileno como fuente mas barata y de menor consumo energético que la cal. Como referencia para estos aspectos se puede atender a la Norma ASTM 618 – 78.

La tecnología de producción se basa en los Molinos de Bola CM - 600 y CM – 1000, también desarrollados en el Centro de Investigaciones y Desarrollo de las Estructuras y Materiales, CIDEM, de la Universidad Central de las Villas, Cuba, (Martirena 1995). Este molino responde a los criterios de producción a pequeña escala, la que puede ser en un orden desde 1 hasta 5 toneladas diarias. Entre las principales características y propiedades del Cemento CP – 40 se pueden citar:

- Mezcla puzolana / cal en el orden de 70 % y el 30 % respectivamente (en pesos), variando con las propiedades de los componentes, pero nunca con menos del 20 % de cal
- Tiempo de fraguado inicial: máximo 2 horas y final: máximo 24 horas.
- Finura, por Ensayo Blaine entre 2000 – 3000 cm²/gr, o por retención en el Tamiz No. 200 ASTM, máximo el 10 %, a obtenerse en un tiempo de molienda de unos 50 – 70 minutos.
- Resistencia a la Compresión Simple, estudiada en especímenes de 40 mm x 40 mm x 160 mm de mortero con dosificación árido/cemento de 3/1, y considerando la Indian Standard IS 4098, los resultados mínimos deben satisfacer los 2 MPa a los 7 días y los 4 MPa a los 28 días

El CP – 40 puede ser mezclado con Cemento Portland Normal para aumentar la resistencia a la compresión y además la laborabilidad de la mezcla entre otras. Con adiciones del 50 % se han alcanzado resistencias a la compresión de hasta 20 MPa a los 60 días

El campo de aplicación recomendado con preferencia es los trabajos de albañilería en dosificaciones entre 2/1 a 4/1 (árido / cemento) y en la estabilización de ladrillos y bloques de suelo cemento, que corresponde

precisamente al caso que nos ocupa. En diferentes proporciones de mezcla con el Cemento Portland puede tener una amplia aplicación, sirviendo incluso como plastificante de la mezcla, retardador del fraguado.

El costo del Cemento CP – 40, factor principal de su razón de ser, está en el orden de un 60 % a un 70 % del costo de producción del Cemento Portland Normal, lo que justifica su empleo aún cuando se requieran proporciones mayores en la mezcla. En la producción de los Bloques Machihembrados se han obtenido resistencias a la compresión de hasta 6 MPa con relación suelo / cemento de 10/1, constituida la parte del cemento con una sustitución del 80 % del Cemento Portland por el CP – 40, en términos volumétricos. Esto es, una parte de Cemento Portland por cada cuatro partes del CP – 40 y de esta mezcla una parte por cada diez de suelo. Se entiende que esta información constituye sólo una referencia, pues en cada caso particular dependerá de todos los otros factores, como se conoce.

Construcción de paredes con los bloques machihembrados

La práctica constructiva con estos elementos tiene la gran ventaja de la rapidez que implica la junta mecánica seca, pero requiriendo de un tratamiento cuidadoso y con rigor técnico en el replanteo y colocación de la primera hilada. En todos los caso se parte del hecho de que la máquina productora de los bloques y su operación, proporcionan elementos con las dimensiones precisas dentro de su reducido límite de tolerancias, necesario para poder realizar un montaje satisfactorio de las paredes.

La primera hilada se coloca sobre la superficie terminada (bien nivelada) de la zapata o cimentación corrida, según el diseño que haya requerido el terreno de emplazamiento de la edificación, como albañilería tradicional, con junta húmeda, sobre un mortero de asiento. Esta primera hilada de bloques debe ser convenientemente impermeabilizada, para evitar la ascensión por la pared de la humedad por capilaridad. A partir de esta hilada el proceso de montaje es muy simple, guiado por el sistema de ranuras y nervios de los bloques, cuidando de mantener la verticalidad y las soluciones de esquinas y encuentros de paredes, donde será necesario introducir mitades de bloques para mantener la colocación a “mata junta”. El adiestramiento para adquirir la habilidad necesaria es muy simple, por lo que el trabajo se realiza por personal elementalmente calificado, supervisado y dirigido por un Maestro de Obras. La [Figura No. 2](#) muestra las paredes de una vivienda de 69 m² de superficie, levantadas en uno y medio día de trabajo (12 horas) por tres personas.

El nivel superior de las paredes se corona con una viga de cierre continua, que da unidad funcional al trabajo estructural y constructivo de las paredes, además de salvar los vanos sobre puertas, ventanas y otros. En nuestro caso es usual hacerla de hormigón con armado mínimo, solución usual en las edificaciones de albañilería.

Otras soluciones, también con elementos de juntas mecánicas secas, por ejemplo (Mellace y otros 2002) siguen procesos constructivos semejantes.

Techos abovedados con bloques de suelo cemento

El material constructivo de mayor costo suele ser el acero, usado como refuerzo del hormigón para tomar las tracciones que este no es capaz de resistir. En el caso de las construcciones con tierra el uso del acero sería económicamente contradictorio, además de su incompatibilidad técnica como refuerzo de ésta, tanto desde el punto de vista de la necesaria adherencia como de la corrosión a que se vería sometido desde edades tempranas. Por estos motivos, entre otros que pudieran surgir de un análisis más exhaustivo, no es razonable proceder al techado de las viviendas a que nos estamos refiriendo, con paredes de bloques machihembrados de suelo cemento, con las tradicionales losas de hormigón armado, u otros componentes de igual material, como la de viga y losa, las viguetas y bovedillas, entre otras, aunque sean las de mayor arraigo en la población, con su crédito de una buena solución por segura y duradera. Particularmente, en el caso de Cuba las soluciones de madera, muy buenas para soporte de techos, resultan casi prohibitivas por la escasez de este material y cuando exista resulta entonces de lato costo. Si domina el factor económico, no se trata de “ahorrar” acero sino de evitar las tracciones en el funcionamiento estructural del techo. Con este fin es bien conocido desde la antigüedad la configuración racional de las soluciones arqueadas, que incluye las Bóvedas de Camón (con apoyos corridos en sus bordes longitudinales), trabajando transversalmente a compresión. En Cuba, aunque esta fisonomía constructiva no responde a la tradicional, tampoco tiene el rechazo que les dan otros pueblos por razones de asociarlas a configuraciones de construcciones funerales.

Así, se ha usado la solución de techos de bóvedas de configuración parabólica (asimilable en luces pequeñas a la catenaria antifunicular de las cargas gravitatorias), con los mismos bloques de suelo cemento de las paredes pero suprimiendo en la máquina las molduras que conforman las ranuras y nervios. O sea, no se trata en esta caso de la junta machihembrada, sino con mortero, sobre un cofre desplazable que garantiza la configuración diseñada, sin implicar la preocupación del albañil por ella. Al diseñar las bóvedas con flecha mínima, pueden ser ocultadas de la visual exterior con un pretil de altura usual, si es que se desea mantener la imagen mas común.

Resulta de importancia capital garantizar la total impermeabilización de las cubiertas, lo que se puede lograr por diferentes materiales y soluciones constructivas y con un mantenimiento regular en el tiempo. La [Figura No. 3](#) muestra una bóveda de este tipo durante la colocación de los bloques de suelo cemento por los albañiles. La [Figura No. 4](#) muestra una vista frontal de una vivienda aislada terminada.

En la materialización del Proyecto 10 x 10, del Proyecto XIV – 5: “Con Techos” de Habyted – CYTED, ejecutado en Cuba con financiamiento Estatal y asistencia técnica de varios países, participantes en ese

Proyecto, se construyeron dos viviendas con paredes de suelo cemento y una con techo de bóveda.

Otras aplicaciones y posible participación de Proterra

Ya se han realizado los diseños para la participación de Cuba en el Proyecto 20 x1000, como extensión del concluido 10 x 10, también del Proyecto “Con techo”, Habyted XIV – 5. Las [Figuras No. 5 y 6](#), muestran respectivamente las plantas y las elevaciones de uno de los diseños que emplean las paredes de bloques de suelo cemento, pero no ya los techos. Se trata, este caso, de edificaciones de dos niveles, que serán agrupadas en diferentes conjunto suburbano, convenientemente diseño y hasta la cantidad de 1000 viviendas, a construirse también con financiamiento estatal, como es prácticamente la totalidad de la vivienda social en Cuba y con variantes de soluciones constructivas de 20 países pertenecientes al CYTED, como aporte tecnológico.

Se entiende por nuestra parte, que una participación efectiva de PROTERRA pudiera ser la organización e impartición de cursos – entrenamientos (teórico – practico), para la capacitación en la producción de los bloques a tendiendo a las condiciones locales y la ejecución de las obras en sus partes correspondientes a su temática.

Bibliografía

ACOSTA VALLE, Cecilio (2000): "Estudio para determinar la capacidad de los suelos para la fabricación de elementos prensados de albañilería". Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, La Habana, Cuba.

CTVU, Diseño de Viviendas (2003): "Caso representativo de vivienda biplanta, con paredes de bloques de suelo – cemento, para el Proyecto 20 x 1000 del Proyecto Con Techo, CYTED, HABYTED, Centro Técnico de Viviendas y Urbanismo, INV, La Habana, Cuba.

CYTED, Red Temática HABITERRA (1995): "Recomendaciones para la elaboración de normas técnicas de edificaciones de Adobe, Tapial y Ladrillo y Bloques de suelo – cemento". Ediciones E.G. La Paz, Bolivia

De las CUEVAS TORAYA, Juan (2001): "500 años de construcción en Cuba". Chavin, La Habana, Cuba.

MARTIRENA HERNÁNDEZ José F. y otros (1995): "El Cemento CP – 40. Fabricación y empleo". Centro de Investigaciones de las Estructuras y los Materiales, CIDEM, Universidad Central de las Villas, Santa Clara, Cuba.

MATAMORO RODRIGUEZ, Idamnis (1998): "Estructuras tradicionales de tierra en el centro Histórico de la Habana". Conferencia Internacional ECOMATERIALES y Habitat Sustentable, 23 al 27 de noviembre del 1998, ISPJAE, La Habana, Cuba

MELLACE, Rafael y otros(2002): "Sistema Constructivo Lamas". Centro Regional de Investigaciones de tierra cruda". I Seminario Iberoamericano de Construcción con Terra. Anais. Salvador de Bahía, Brasil.

NAVARRO CAMPOS, Nelson y otros (1991): " Suelo Cemento. Fundamentos de su aplicación en Cuba". Instituto Nacional de la Vivienda. La Habana, Cuba.

NAVARRO CAMPOS, Nelson (1991): "Instrucción Técnica IT - 09 – 91, Bloques Machihembrados de suelo cemento". Comisión para el desarrollo y aplicación de los Suelos estabilizados, CODASE. Instituto Nacional de la Vivienda, La Habana, Cuba.

NAVARRO CAMPOS, Nelson (1986): "Applicability of Analytical Models of Shear Joints in Precast Structures". Warsaw University of Technology. Faculty of Civil Engineering. Warsaw.



Figura 1. Bloques prensados machihembrados de suelo cemento y máquina bloquera Guamá



Figura 2. Paredes de una vivienda de 69 m² de superficie con bloques machihembrados de suelo cemento



Figura 3. Construcción de techo de bóveda de 3.60 m de luz con bloques de Suelo Cemento



Figura 4. Vivienda terminada de 69 m² con paredes de Bloques Machihembrados de Suelo Cemento Prensado y techo de Bóveda de Bloques de Suelo Cemento.

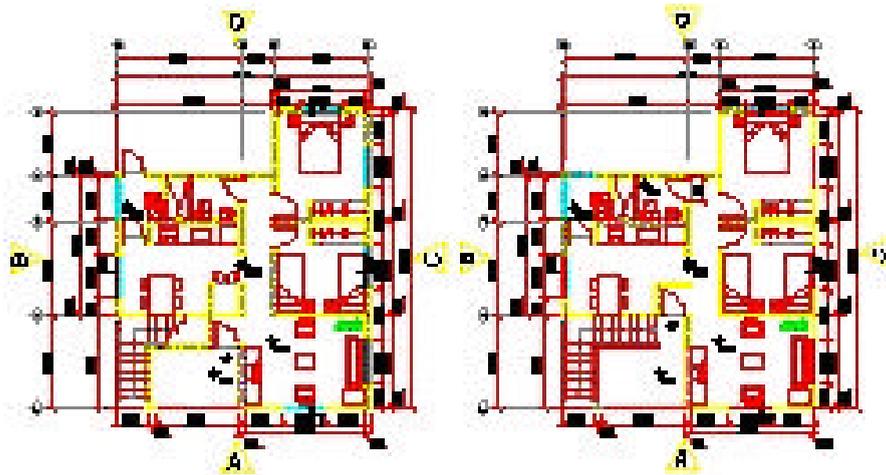


Figura 5. Planta de uno de los diseños de viviendas para el Proyecto 20 x 1000

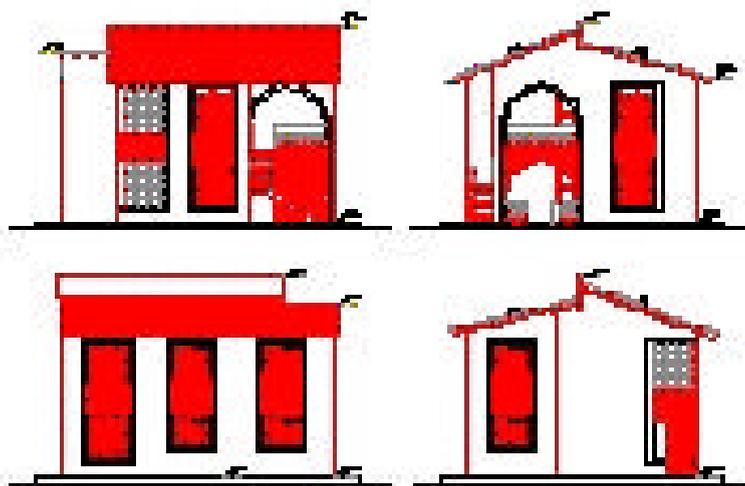


Figura 6. Elevaciones de la vivienda