

## Componente modular prefabricado de concreto para placa de fundación superficial reticular alveolada. Una opción para la vivienda de bajo costo de desarrollo progresivo sobre suelo retro-expansivo

Augusto Márquez  
IDEC/FAU/UCV

### Resumen

Este trabajo contempla las actividades iniciales de investigación teórica y formulación conceptual de un componente modular prefabricado de concreto sin refuerzo metálico que sirve de sustrato para construir placas de fundación superficial nervadas en dos sentidos y con una superficie multialveolada en su cara inferior que orientan las deformaciones del subsuelo originadas por las arcillas expansivas. La forma de producción es muy sencilla y económica y no requiere mano de obra calificada por lo que resulta adecuada para la fabricación por parte de comunidades organizadas en procura de autoconstruir o autogestionar sus viviendas de forma progresiva.

### Abstract

*This work presents an initial theoretical research and concept formulation for a concrete-precabricated modular component without metallic reinforcement, good as substratum to build shallow foundation plates with nervures in two directions and a multi-alveolar surface in its inner side, which guides subsoil deformations originated by expansive clay. Its production is very simple and cheap and does not required skilled labour; hence, it is proper for its fabrication by organized communities looking to build and manage their own houses progressively.*

### Desarrollo conceptual

Este trabajo resume los aspectos fundamentales del desarrollo conceptual de la propuesta tecnológica de un componente modular prefabricado de concreto para la construcción *in situ* de placas de fundación superficial reticular alveoladas a ser empleadas en viviendas de bajo costo sobre terrenos con arcillas expansivas.

En un trabajo futuro se expondrán los resultados y las conclusiones preliminares de las etapas de desarrollo experimental y de factibilidad económica de la propuesta.

### *Construcción sustentable sobre arcillas expansivas. El caso de Venezuela*

Todo proyecto de construcción debe significar un conjunto de soluciones específicas para un problema dado que está vinculado con un terreno en particular, por lo cual debe en parte fundamentar su orientación sobre la base de la interpretación experta de la interrelación entre los estratos del subsuelo y dicha construcción a los fines de permitir su realización física dentro de márgenes aceptables de economía y seguridad, incluyendo la reducción de la vulnerabilidad frente a posibles amenazas geotécnicas.

El área de influencia de las arcillas expansivas en el mundo abarca totalmente la franja tropical y las subtropicales, extendiéndose en el hemisferio occidental aproximadamente entre las líneas medias territoriales de Estados Unidos y Argentina.

### Descriptores:

PROTOLOSA; Prefabricado de concreto; Placa de fundación superficial reticular alveolada; Mampostería estructural de bloques de concreto; Vivienda de bajo costo de construcción progresiva; Suelo retro-expansivo.

TECNOLOGÍA Y CONSTRUCCIÓN. Vol. 22-II, 2006, pp. 23-33.  
Recibido el 30/05/05 - Aceptado el 15/01/07

Un estudio realizado por López et al. (1999) reveló que el monto anual de los daños causados en México por la acción de las arcillas expansivas sobre edificaciones, vías de comunicación, aeropuertos y todo tipo de construcciones, es superior a la sumatoria de los causados en el mismo período por inundaciones, terremotos, huracanes y otros fenómenos naturales.

Según datos referenciales del mismo estudio, esta circunstancia es extrapolable a otros países como Estados Unidos, China, India y otros donde estos registros se cuantifican regularmente.

La lenta y progresiva acción de las arcillas en su proceso de expansión y retracción, vinculado a los niveles de humedad contenida en el subsuelo, carece del impacto y la espectacularidad de las tragedias siconaturales, lo cual ha incidido de manera negativa en su correcta valoración como amenaza potencial.

Según datos aportados por una publicación especializada acerca de la presencia de arcillas expansivas en los estratos del subsuelo en Venezuela (Ugas, 1972), se estima que aproximadamente la mitad de los estados que constituyen el territorio nacional contienen extensas áreas conformadas por suelos de esta naturaleza (cuadro 1, figura 1).

Esta particular circunstancia geomorfológica se torna aún más crítica si consideramos la casi exacta superposición de las mencionadas áreas de suelos expansivos con las zonas de mayor índice de aceleración sísmica en el país (figura 2), así como con las regiones de mayor densidad poblacional, como lo son la Centro-norte-costera y la andina (figura 3).

Según cifras del Fondo Nacional de Desarrollo Urbano (FONDUR), de las 62.000 viviendas unifamiliares y bifamiliares que se estiman fueron construidas en el país bajo el patrocinio de esta institución durante el período 2000-2002, aproximadamente 10% (6.200 unidades) sufrieron daños graves atribuibles a su interacción con los suelos de fundación (cuadro 2), además de otros factores concomitantes, estimándose para el momento los costos de reparación en veinticinco millones de bolívares (Bs. 25.000.000.000), lo cual representa un costo social de sustitución equivalente a haber dejado de construir 2.500 unidades de 55 m<sup>2</sup> a razón de 10.000.000 de bolívares cada una, lo cual se ajustaba perfectamente a los precios y regulaciones gubernamentales de la época. Esto sin contar costos indirectos como demoliciones, indemnizaciones, reubicaciones, infraestructura urbana dañada y otros, que en su conjunto, sobrepasan con creces la cifra estimada para reparaciones.

Cuadro 1

Estado	Área de influencia	Rango de presión de expansión(Kg/cm <sup>2</sup> )
Anzoátegui	Barcelona	1,0 - 2,5
	Puerto La Cruz	1,0 - 2,5
Apure	San Fernando	0,2 - 5,0
Aragua	Maracay	0,6 - 1,1
	Villa de Cura	1,7 - 3,4
Carabobo	Valencia	2,0 - 6,0
Falcón	Coro	1,3 - 25,5
	Mirimire	3,3 - 5,4
Guárico	Altagracia de Orituco	1,3 - 6,0
	Calabozo	4,0 - 8,0
	El Saco	3,8 - 5,6
	Tucupido	3,8 - 5,6
	Valle de la Pascua	1,7 - 14,0
Lara	Zaraza	0,5 - 8,7
	Barquisimeto	4,0 - 12,0
Miranda	Carora	6,0 - 12,0
	Guaremas	0,0 - 2,5
	Ocumare del Tuy	1,0 - 2,0
Nueva Esparta	Santa Teresa del Tuy	1,0 - 2,0
	Porlamar	6,0 - 10,0
Táchira	Peracal	6,0 - 15,0
	San Cristóbal	6,0 - 15,0
	Táriba	0,7 - 2,0
Zulia	Cabimas	0,4 - 0,5
	Casigua El Cubo	3,0 - 7,0
	Maracaibo	1,9 - 17,0
	Puerto Altagracia	0,0 - 8,0

Figura 1



Figura 2

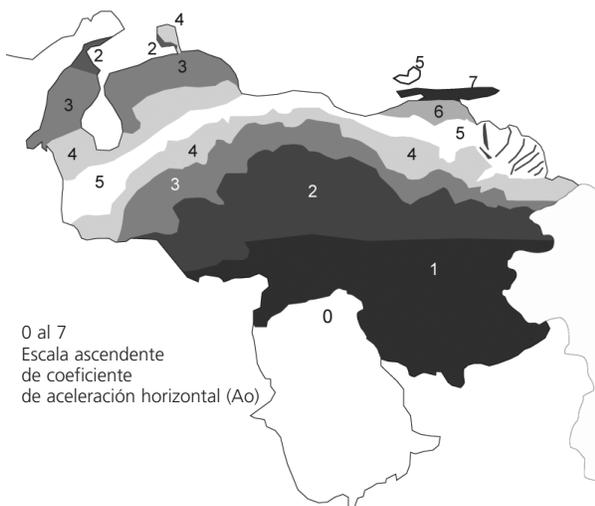


Figura 3



Cuadro 2  
Viviendas dañadas por problemas geotécnicos

Asentamiento	Estado	Nº de viviendas
El Portal de Los Morros	San Juan / Guárico	440
Urb. Cotoperíz	Los Bagres / Nueva Esparta	1.174
Nuestra Sra. de la Caridad	San Sebastian de los Reyes / Aragua	280
Las Tienditas	Ureña / Táchira	270
Paraíso del Tuy	Sta. Teresa / Miranda	274
Brisas de Macuto	Sta. Lucía / Miranda	270
Altamira	El Rodeo / Miranda	119
Virgen de Coromoto	Guanare / Portuguesa	530
La Granja	Guanare / Portuguesa	155
Villa Tamare	Municipio Mara / Zulia	416
La Blanquilla	Pta. de Piedras / Nueva Esparta	142
Yuleska	Barcelona / Anzoátegui	246
Campo Morichal	Pta. de Mata / Monagas	364
La Campereña	Municipio Biruaca / Apure	244
Nuestra Sra. del Valle	Barinas / Barinas	100
El Caujaro Lote "E"	Maracaibo / Zulia	200
Los Manguitos	Valles del Tuy / Miranda	431
Doña Alicia Pietri	Aguasanta / Trujillo	460
La Florida II	Anaco / Anzoátegui	300

### *Construcción sustentable con concreto armado en Venezuela*

Otro aspecto que resulta de vital consideración es el hecho de que en Venezuela el empleo del concreto armado es uno de los recursos tecnológicos más difundidos en todo tipo de edificaciones, particularmente en las infraestructuras, circunstancia que se ratifica incluso en el ámbito informal de la construcción.

A partir de la emisión de la norma nacional COVENIN 1756-98 de Edificaciones Sismo-resistentes fueron impuestos mayores requerimientos en cuanto a las dimensiones mínimas y el cálculo de los refuerzos metálicos de todos los componentes estructurales de concreto armado, incluyendo las fundaciones, lo que ha repercutido en un incremento directo en el consumo de los materiales empleados en este recurso constructivo (cemento, áridos, acero, madera y agua corriente), los cuales incorporan una elevada cantidad de energía para su producción y asimilación en el ciclo de la construcción, siendo a la vez altos consumidores de recursos naturales no renovables (Cachán, en Águila, 2003).

En el caso de los desarrollos de viviendas de bajo costo de hasta dos pisos edificados en el país, uno de los recursos constructivos más difundidos es el empleo de la placa maciza de fundación superficial elaborada en concreto armado. Esta práctica se ha extendido a pesar de la opinión de algunos autores especializados (Fratelli, 1993) que afirman que desde el punto de vista del consumo de materiales las placas rigidizadas con nervaduras resultan en general más económicas que las placas macizas, debiéndose tomar en cuenta adicionalmente que las primeras presentan un comportamiento más favorable desde el punto de vista de la resistencia estructural.

En el campo del desarrollo tecnológico de la construcción se ha venido trabajando insistentemente, y con relativo éxito, en la elaboración de materiales que puedan sustituir total o parcialmente el uso del concreto armado. "Sin embargo, igualmente constituye un camino posible continuar aprovechando las bondades y la aceptación de este material y tratar de disminuir la cantidad de concreto a utilizar por metro cuadrado de edificación, sobre la base de desarrollar tecnologías innovadoras que, sin disminuir la calidad, consuman menos materiales por unidad de construcción que las tecnologías tradicionales" (Águila, 2003).

En concordancia con lo anterior, esta investigación se centra en conceptualizar, desarrollar, experimentar y evaluar de forma preliminar la factibilidad técnica, constructiva y económica de un componente modular prefabricado de concreto sin refuerzo metálico, que sirva de sustrato

para la construcción de una placa de fundación superficial reticular alveolada, moldeando el perfil de sus nervaduras para ser vaciadas en sitio en concreto armado, constituyendo una opción de infraestructura con ventajas comparativas frente a las técnicas convencionales para fundar sobre suelo con arcillas expansivas la vivienda progresiva de bajo costo de hasta dos pisos.

El desarrollo en profundidad de lo aquí expuesto aparece en el material homónimo que sirviera de Trabajo de Grado de Maestría al autor (Márquez, 2003) y en los informes parciales de la investigación (Márquez, 2000).

### *Problemática particular de las fundaciones prefabricadas de concreto*

La prefabricación de las fundaciones se enfrenta con una serie de circunstancias problemáticas que en gran medida han desincentivado su empleo masivo, tanto en la construcción formal como en la autoconstrucción y la auto-gestión habitacional. Estas limitaciones vienen dadas por los siguientes factores:

- *Especificidad*: usualmente las fundaciones prefabricadas pertenecen a sistemas estructurales o constructivos específicos, así mismo están calculadas para condiciones particulares de proyecto (coeficientes, cargas y resistencia mínima del suelo preestablecidos). Esto en su conjunto limita o impide su aplicabilidad con otras alternativas constructivas y en otras circunstancias contextuales.
- *Correspondencia estructural*: los distintos requerimientos de vínculo con la superestructura según las particularidades del sistema de soporte (esqueleto portante, plano resistente o mixto), así como de su ubicación relativa en el plano de base (esquina, borde o centro), con frecuencia conduce a la generación de una variada serie de componentes específicos para cada situación en particular. Esto tiende a incidir en una relativa menor eficiencia en cuanto a la estimación y el control de las cantidades de obra y de los inventarios de componentes, así como también en el rendimiento de la ejecución de la obra debido a la diversidad y número de operaciones a ejecutar.
- *Coordinación dimensional*: al igual que en el punto anterior, las diferencias en cuanto a la magnitud de las luces estructurales entre apoyos obligan con frecuencia a generar una variedad dimensional de los componentes prefabricados para fundaciones a fin de satisfacerlas adecuadamente, propendiendo hacia una menor eficiencia en los términos ya explicitados.
- *Peso*: el empleo recurrente del concreto armado como recurso fundamental para su elaboración, el cual com-

bina los pesos específicos del concreto ( $2.400 \text{ kg/m}^3$ ) y del acero estructural ( $7.800 \text{ kg/m}^3$ ), dificulta la manipulación y el transporte de los componentes prefabricados sin el uso de elementos mecanizados.

- *Comportamiento monolítico*: la forma más común de enfrentar la prefabricación de fundaciones es a través de un sistema de piezas que deben ser ensambladas, constituyéndose las uniones en el punto más crítico a resolver para garantizar el adecuado comportamiento monolítico del conjunto estructural, particularmente frente a la acción de las cargas dinámicas (sismo, vibraciones, movimientos diferenciales del suelo y otras), lo cual en oportunidades limita o impide su aplicabilidad en determinadas circunstancias (amenaza sísmica, geotécnica y otras).

#### Descripción general de la propuesta

Consiste en un sistema abierto de fundación superficial que debe ser completado en obra con el armado y vaciado con concreto de las nervaduras, siendo compatible con superestructuras tanto de muros como de esqueleto portante, ajustándose a las especificaciones de cada proyecto en particular y a los requerimientos normativos en el campo estructural (figuras 4 y 5). Para ello se basa en un único componente modular prefabricado de concreto sin refuerzo metálico, que por repetición y cambios de posición arroja como resultado inmediato de su empleo en obra aproximadamente el 75% del área de piso ya lista y el molde vacío de la retícula de las nervaduras que

serán armadas y vaciadas en sitio según las especificaciones del proyecto.

El conjunto monolítico del sustrato modular prefabricado y el concreto armado elaborado en sitio propicia el comportamiento rígido de la losa de fundación como recurso estructural para enfrentar los esfuerzos producidos en la interacción con el suelo de arcillas expansivas, conformando a la vez en la cara inferior de la placa de fundación una superficie con múltiples alvéolos que orientan los cambios diferenciales de volumen del suelo.

La propuesta cuenta con todas las ventajas comparativas de los sistemas basados en un solo componente modular en cuanto a su economía de moldes y medios de producción, elemental coordinación dimensional, posibilidad de múltiples configuraciones, eficiente control de inventarios, minimización de desperdicios, calidad uniforme del producto, reducción de ejecuciones en obra, precisa estimación como partida de obra, entre otras.

Estos factores inciden de manera positiva en la estructura de los costos de obra de la propuesta, permitiendo ofrecer una alternativa de losa de fundación superficial técnica y económicamente más eficiente para suelos con amenaza geotécnica que las losas de fundación de concreto armado maciza o reforzada con vigas, y que las técnicas de estabilización electro-química del suelo. Así mismo, su concepción como sistema abierto de fundación superficial parcialmente prefabricada conjura todas las desventajas ya referidas propias de las fundaciones totalmente prefabricadas.

Figura 4

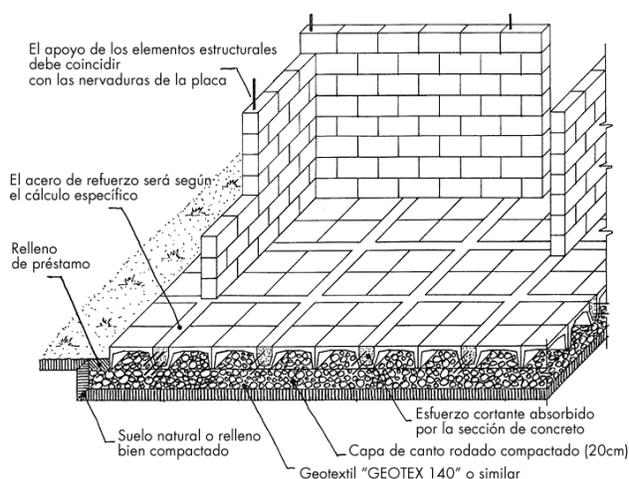
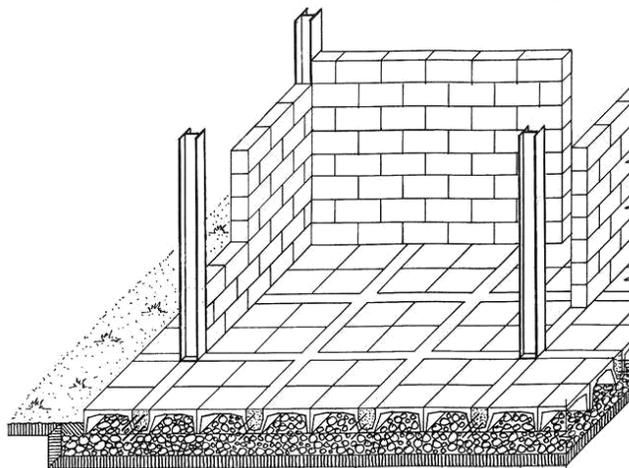


Figura 5



Proceso de concepción geométrica modular

Bajo la premisa de que la propuesta del componente modular busca a través del manejo de la geometría de su forma tridimensional contribuir a la canalización del flujo de las fuerzas internas, así como al más eficiente aprovechamiento del material de elaboración, se estableció que su perfil resistente está basado en el negativo del diagrama de flujo de la sección típica de la cuadrícula bidireccional. Igualmente, con miras a precisar la definición geométrica de dicho perfil resistente, se transitó por el estudio de las superficies cilíndricas tridimensionales en virtud de estar consideradas entre las más eficientes en la relación masa-resistencia y frente al efecto de las cargas axiales verticales, al canalizar el flujo de las fuerzas internas con mínimas reacciones en los extremos que les sirven de apoyo.

Del cruce de las exigencias de la propuesta con las propiedades de las superficies cilíndricas estudiadas derivó la geometría preliminar del elemento modular, correspondiente a una superficie sinclástica de base cuadrada con una dimensión de 0,80m x 0,80m x 0,20m, definiéndose así la trama bidireccional de las nervaduras (figuras 6, 7 y 8).

Del desarrollo y la evaluación de una serie de alternativas de configuración del sustrato de la placa de funda-

ción (figuras 9 a 15) se derivó la propuesta del componente modular que sería ensayada experimentalmente, la cual conjuga las ventajas comparativas de cada una de las anteriores (figuras 16 a 19).

Debido a sus dimensiones y proporciones (0,50m x 0,50m x 0,20m) el componente propuesto permite presumir un peso y maniobrabilidad acordes a la capacidad de trabajo de una sola persona, a la vez de incrementar la distancia entre las nervaduras de la placa de fundación (1,00m x 1,00 m) para un mayor rendimiento de los materiales empleados en su construcción sin sacrificar su eficacia estructural.

Con base en las ventajas comparativas que presenta esta alternativa vinculadas a los aspectos de adecuada configuración geométrica para la prefabricación de la pieza, admisible peso probable y maniobrabilidad, eficiente moldeado del vacío de las nervaduras, mayor rendimiento de la trama bidireccional por unidad de superficie y elevado aporte de área de piso pre-elaborado, se decidió adoptarla como propuesta firme a los fines de ahondar en su desarrollo desde el punto de vista de los aspectos físicos y constructivos, lineamientos de ejecución en obra, lineamientos estructurales y las posibilidades en cuanto al desarrollo progresivo.

Figura 6

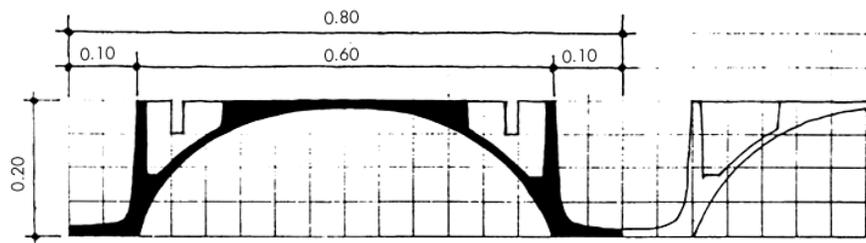


Figura 7

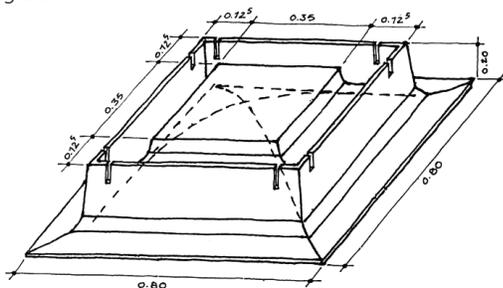


Figura 8

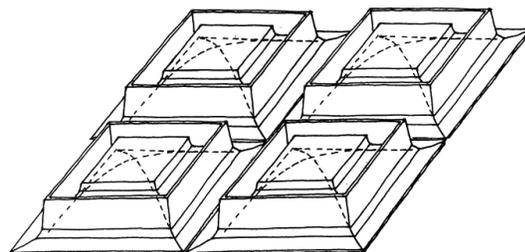


Figura 9

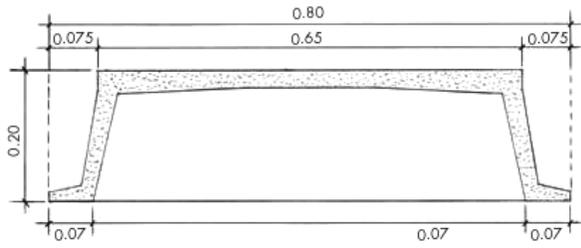


Figura 12

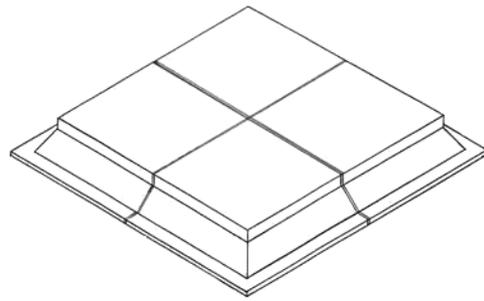


Figura 10

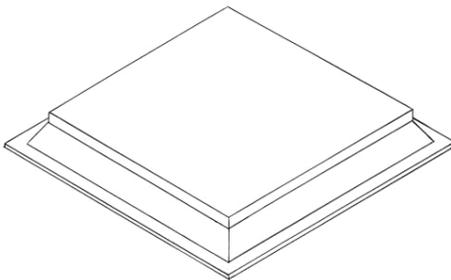


Figura 13

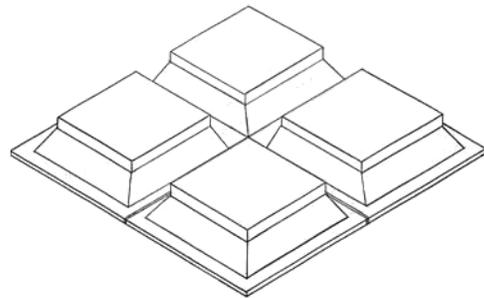


Figura 11

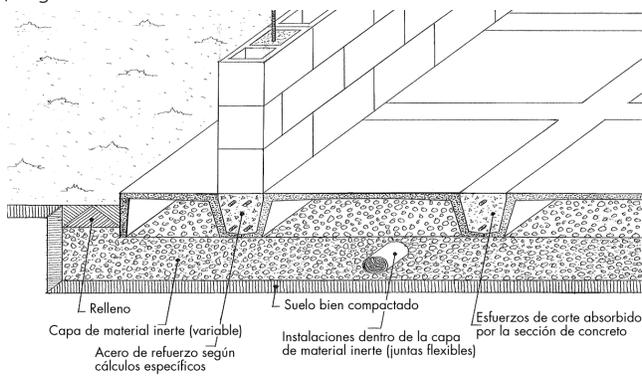


Figura 14

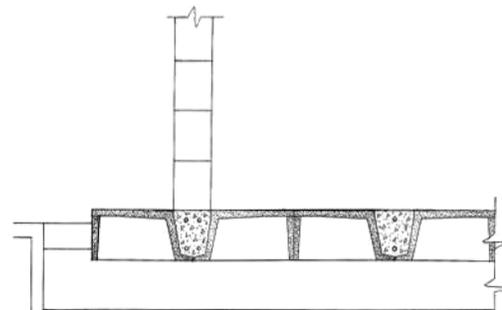
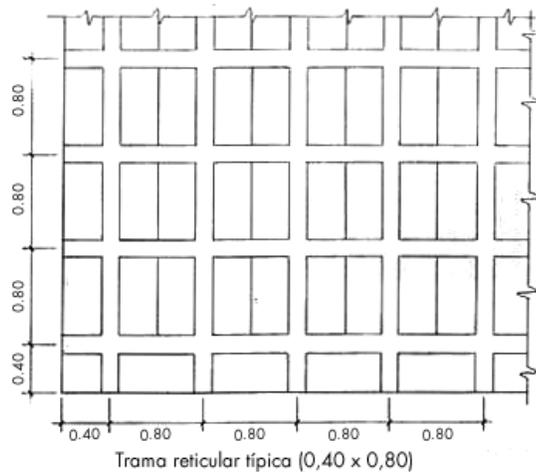


Figura 15



Lineamientos de ejecución en obra

Contempla aspectos de la sana praxis constructiva que contribuyen a la prevención y mitigación de procesos patológicos en la edificación:

- Control del nivel de humedad del suelo de fundación, pues constituye un factor determinante en los cambios diferenciales de volumen, por lo que se plantea el empleo experimental de láminas de polietileno de uso comercial colocadas directamente sobre el terreno, en primer término como un mecanismo de control tanto de la evaporación del agua contenida en el suelo como de la saturación que pueda ocurrir por el efecto de la lluvia o filtraciones, pero también para la confrontación inicial de los esfuerzos de tensión producidos por los cambios volumétricos del subsuelo.
- El enfrentamiento de la placa de fundación superficial con la acción directa de los suelos retro-expansivos incrementa su vulnerabilidad frente a las amenazas de los efectos de los cambios volumétricos diferenciales, por lo que se plantea colocar una capa de material inerte grueso bien compactado para que en el momento de la deformación del suelo sufra un amoldamiento a la misma contribuyendo así, por intermedio de la transformación de la energía cinemática en energía térmi-

ca, a la disipación de las tensiones producidas por dicha deformación.

- El análisis del proceso de nivelación en obra de componentes modulares prefabricados para fundaciones superficiales condujo a plantear una capa de árido fino (arena lavada, ripio, "molido" de Aliven o similar) por encima de la de árido grueso y en contacto directo con la placa, de modo que facilite el ajuste de nivel de las piezas debido a su compacidad y deformabilidad.
- El remanente de los esfuerzos de tensión no contrarrestados por la acción colectiva de los recursos ya descritos será disipado orientando las deformaciones del suelo hacia las cavidades alveolares de la superficie inferior de la placa de fundación reticular, ya que la presión ejercida se dirigirá primordialmente hacia donde encuentre la menor resistencia.

Lo que se busca como comportamiento de la placa de fundación superficial reticular alveolada es que los esfuerzos producidos por los cambios diferenciales de volumen no vulneren su integridad ni se transmitan de forma destructiva a la superestructura y los cerramientos, de modo tal que si el conjunto de la edificación va a sufrir movimiento lo haga como un todo basado en el principio de placa rígida.

Figura 16

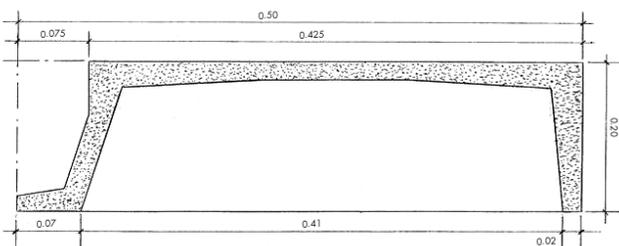


Figura 18

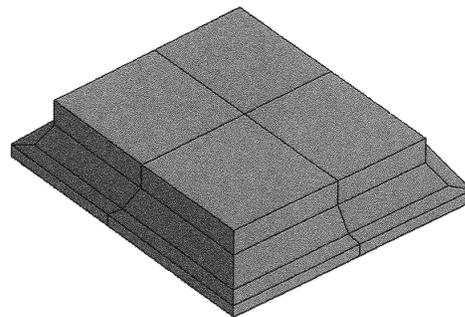


Figura 17

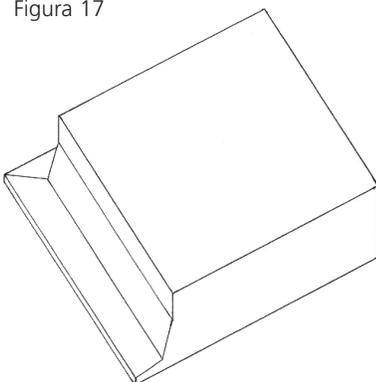
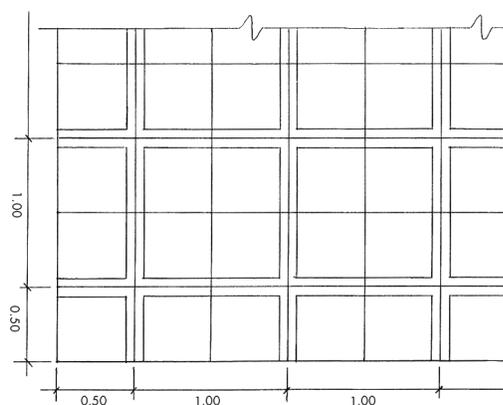


Figura 19



### Lineamientos estructurales

Esta propuesta de desarrollo tecnológico se acoge conceptualmente a lo establecido en la vigente norma nacional COVENIN-MINDUR 1753-87 *Estructuras de concreto armado para Edificaciones. Análisis y diseño*, la cual recoge la siguiente definición: "Miembros Compuestos: miembros de concreto formados por elementos prefabricados o vaciados en sitio, construidos en diferentes vaciados, pero interconectados de tal manera que todos los elementos actúen como una sola unidad" (COVENIN, 1987).

Con relación a los mecanismos físico-químicos que intervienen en la interconexión de los elementos que integran la placa de fundación superficial propuesta, se realizaron las siguientes consideraciones:

- Las direcciones relativamente opuestas que presentan los componentes prefabricados, aunadas a la fricción generada por el contacto pleno entre las caras interiores paralelas de dichos componentes, otorgan la resistencia inicial para el equilibrio estable de cada subconjunto de piezas.
- Las nervaduras perimetrales armadas y vaciadas en sitio que limitan cada espacio modular de la retícula, garantizan el comportamiento unitario de la placa de fundación por intermedio de los siguientes principios:
  - La continuidad tanto del acero de refuerzo como de la masa de concreto vaciada en sitio garantiza una traba mecánica rígida alrededor de los componentes prefabricados que impide su desplazamiento horizontal, así mismo constituye el mecanismo resistente fundamental para la descomposición y repartición de los esfuerzos.
  - Entre las superficies de los componentes prefabricados de concreto y la masa de concreto vaciado en sitio, interactúan varios mecanismos físico-químicos que apuntalan el comportamiento unitario del conjunto estructural. Por una parte, la expansión dinámica del concreto vaciado en sitio genera presiones sobre todas las caras externas de los componentes prefabricados que tiende a aumentar la fricción entre sus caras internas paralelas; a la vez estos mismos componentes apelarán a su peso, posición relativa y la fricción de su base con la capa de árido fino, para mantener el equilibrio estable durante el vaciado y fraguado de las nervaduras. Adicionalmente se produce un proceso de adherencia superficial entre los componentes prefabricados y el concreto vaciado en sitio por intermedio de varios fenómenos: traba mecánica superficial a nivel de micro poros, fuerzas de atracción entre partículas coloidales, así como también uniones moleculares de tipo iónico y covalente.

Otra circunstancia a considerar es que el empleo eficiente de esta placa de fundación superficial requiere asumir desde el inicio como una determinante ineludible del proyecto al patrón dimensional de la retícula de las nervaduras, exigiendo cabal coincidencia con los ejes estructurales de la superestructura.

Para el caso en que se emplee un sistema de muro portante deben interactuar los principios estructurales de este tipo de soporte (ejemplo: sumatoria de longitudes equivalentes en ambos sentidos) con los lineamientos de las relaciones proporcionales para el adecuado comportamiento bidireccional en la transmisión de las cargas en las placas nervadas ( $0,5 \leq L_y / L_x \leq 2$ ) (Fratelli, 1993), donde  $L_y$  y  $L_x$  representan los lados de la placa. El incumplimiento de estas relaciones implica que la placa trabajaría como apoyada en su contorno transmitiendo la casi totalidad de las cargas a los nervios perimetrales por flexión, en el sentido de la luz más corta, desperdiándose así el recurso de la trama reticular.

Cuando se trata de superestructuras de esqueleto portante habría que considerar que el comportamiento rígido de la placa nervada bidireccional está condicionado porque la distribución de las reacciones en el suelo sean uniformes, haciendo coincidir el centro de presiones con el baricentro de la base, lo cual a su vez depende de un distanciamiento y una distribución de cargas relativamente uniforme entre las columnas del sistema estructural.

Otra situación a considerar en cuanto a los lineamientos estructurales se refiere a que cuando los bordes de la placa de fundación son simplemente apoyados, la distorsión provocada por la torsión produce un efecto típico de levantamiento de las esquinas, por lo cual éstas deben ser armadas convenientemente en la sección de  $L/5$  ( $L$  = mayor longitud de cara); esta armadura debe ser similar a la que se coloca en el centro de la placa, y puede orientarse paralela a las caras o a  $45^\circ$ , sirviendo para absorber los esfuerzos de tracción y compresión resultantes.

El dimensionado preliminar del perfil de las nervaduras se definió con relación a las asesorías especializadas y en función de satisfacer los requerimientos estimados de absorción de los esfuerzos cortantes por la sección de concreto y de la longitud de desarrollo frente a cargas dinámicas, limitada a la modalidad constructiva del doblado ortogonal en la base del acero de refuerzo vertical tomando como límite superior lo exigido para cabillas n° 4 ( $\varnothing 1/2''$ ).

Por último, se está consciente de que comparativamente con la losa de fundación maciza, plana o reforzada con dentellones, la naturaleza alveolar de la cara inferior de la placa de fundación reticular constituye una condición que desfavorece el empleo del roce superficial

como factor fundamental de sismo-resistencia, por lo cual se plantea como parte del futuro desarrollo de la propuesta su verificación analítica y la evaluación de alternativas que contemplen, entre otras, la sustitución de algunos componentes modulares por vaciado en sitio o el empleo de medios de anclaje que minimicen el riesgo de desplazamiento frente a cargas dinámicas horizontales.

#### *Lineamientos para la progresividad*

La propiedad de crecimiento progresivo de esta propuesta de placa de fundación superficial reticular alveolada ha estado implícita como determinante fundamental de su concepción desde el inicio del proceso de desarrollo tecnológico; de allí deriva en parte la definición modular del componente que permite su repetición para darle continuidad al sustrato de cimentación, y así mismo la escogencia de la técnica de construcción que combina la prefabricación con el vaciado en sitio.

Desde el punto de vista constructivo y del adecuado comportamiento estructural, las previsiones a tomar serían las mismas que dictan las normativas que rigen estos ámbitos para los miembros compuestos de concreto armado, las cuales deben ser especificadas desde la circunstancia particular de cada proyecto con el fin de garantizar adicionalmente una consideración integral que incluya los aspectos ya mencionados con relación a los lineamientos estructurales particulares de la propuesta de placa de fundación superficial reticular alveolada.

Desde el punto de vista constructivo y el adecuado comportamiento estructural se deben tomar, entre otras, las siguientes previsiones:

- Preservar las dimensiones normativas y la condición material de las secciones de concreto que permitan el adecuado empalme con los futuros vaciados en sitio de cada una de las etapas subsiguientes.
- Preservar las longitudes normativas de los arranques del acero de refuerzo así como la de los solapes de estos con los de cada nueva etapa a construir.
- Conservar durante las futuras etapas constructivas las relaciones proporcionales y dimensionales ya citadas en vinculación al adecuado comportamiento rígido y la bidireccionalidad en la transmisión de las cargas en las placas nervadas.

- Evaluar la conveniencia de emplear juntas de construcción o dilatación, según sea el caso, así como la posibilidad de emplear recursos constructivos que propicien la continuidad y adherencia entre el concreto endurecido y el nuevo vaciado, como por ejemplo resinas epoxídicas, lechadas de cemento, traba mecánica u otras alternativas acordes a tal fin.

#### *Aspectos físicos y constructivos*

Como parte de los procesos paramétricos que se aplicaron con la finalidad de cuantificar magnitudes referenciales de la propuesta, tanto del componente modular como de la placa de fundación superficial construida con él, y establecer relaciones comparativas con otras alternativas constructivas que buscan satisfacer necesidades similares, se obtuvieron los siguientes valores:

##### *Características físicas del componente modular prefabricado:*

Módulo base: 0,50m x 0,50m  
 Superficie ocupada (S): 0,25m<sup>2</sup>  
 Superficie de piso pre-elaborado (Sp): 0,18m<sup>2</sup> (72% de S)  
 Altura (h): 0,20m  
 Volumen macizo del componente (V): 0,016m<sup>3</sup>  
 Volumen de material vibrocompactado (V+ 20%): 0,019m<sup>3</sup>

##### *Material a ensayar:*

Concreto sin armadura (f'c): 210 kg/cm<sup>2</sup>  
*Peso unitario teórico del componente modular prefabricado (mayorado):*

Concreto de 2.400 kg/m<sup>3</sup>: 46 kg (184 kg/m<sup>2</sup>)  
 Concreto de 2.000 kg/m<sup>3</sup>: 38 kg (152 kg/m<sup>2</sup>)  
 Concreto de 1.600 kg/m<sup>3</sup>: 31 kg (124 kg/m<sup>2</sup>)  
 Concreto de 1.200 kg/m<sup>3</sup>: 23 kg (92 kg/m<sup>2</sup>)

##### *Análisis comparativo:*

Volumen de concreto vaciado en sitio por m<sup>2</sup> :  
 Losa maciza de 20cm (2 pisos): 0,20 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>  
 Losa con dentellones (2 pisos): 0,15 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>  
 Placa reticular alveolada propuesta (2 pisos): 0,044 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>  
 (Volumen incluyendo el componente modular: 0,063 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>)

### *A manera de conclusión del desarrollo conceptual*

Hasta este punto, y sobre la base de las estimaciones numéricas realizadas, se delinearon los siguientes aspectos concluyentes que apuntan hacia el logro preliminar de algunos de los objetivos planteados con relación a la racionalización del ahorro de los materiales y el proceso de construcción de la placa de fundación:

- Las dimensiones, las proporciones y el peso teórico del componente modular prefabricado entran dentro de los parámetros de acarreo y manipulación por parte de una sola persona, incidiendo favorablemente en la estructura de costos a través del rendimiento de la mano de obra y el requerimiento de equipos.
- El volumen teórico de concreto empleado en la construcción de la placa reticular alveolada propuesta, componente más vaciado en sitio, representa un ahorro significativo de este material con relación a las otras

alternativas analizadas (68,5% menos que la losa maciza y 58% menos que la losa con dentellones).

- Las propiedades constructivas de la propuesta propician el ahorro de otro tipo de materiales al no requerir de encofrado perimetral continuo ni acero de repartición para los esfuerzos de retracción del concreto.
- El enfoque constructivo planteado de prefabricación parcial de un elemento modular único, incide positivamente en la estructura de costos a través del rendimiento de la obra al generar de forma instantánea un alto porcentaje de piso transitable (72%) que facilita las labores del vaciado de las nervaduras y el rápido avance a las etapas subsiguientes de superestructura y cerramientos. Del mismo modo, este rendimiento se ve refrendado con las construcciones simultáneas de la acera y el borde de protección requeridas contra la socavación, y no como obras complementarias a la placa de fundación superficial.

### Referencias bibliográficas

- Águila, Idalberto (2003) "Técnica de producción de componentes de concreto y anime para viviendas", *Tecnología y Construcción* n° 19-III, pp. 29-37. IDEC-FAU/UCV, Caracas
- COVENIN (1987) *Estructuras de concreto armado para Edificaciones. Análisis y Diseño*. Norma Venezolana MINDUR-FONDONORMA 1753-87. Caracas.
- Fratelli, M. (1993) *Suelos, fundaciones y muros*. 1ª edición. Bonalde Editores. Caracas.
- López et al. (1999) Un estudio comparativo de la efectividad de diferentes aditivos en el comportamiento expansivo de las arcillas. Mimeo. UNAM, México.
- Márquez, Augusto (2000) Desarrollo de sistema de fundación superficial para suelos potencialmente problemáticos, como una opción para la vivienda de bajo costo. Informes parciales. Mimeo. CDCH/IDEC-FAU/UCV. Caracas.
- Márquez, Augusto (2003) Componente modular prefabricado de concreto para placa de fundación superficial reticular alveolada. Una opción para la vivienda de bajo costo de desarrollo progresivo sobre suelo retro-expansivo. Trabajo de Grado de Maestría. IDEC-FAU/UCV. Caracas.
- Ugas, Celso (1972) *Guía de ensayos de laboratorio de mecánica de suelos*. Facultad de Ingeniería-UCV, Caracas.