

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE
GUATEMALA

Facultad de Ciencias y Humanidades
Departamento de ingeniería civil

ANÁLISIS COMPARATIVO DE TIEMPOS Y MANO DE
OBRA ENTRE DOS SISTEMAS DE CONSTRUCCIÓN:
FORMALETAS MODULARES Y MAMPOSTERÍA

Guatemala
2004

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE TIEMPOS Y MANO DE
OBRA ENTRE DOS SISTEMAS DE CONSTRUCCIÓN:
FORMALETAS MODULARES Y MAMPOSTERÍA**

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE
GUATEMALA

Facultad de Ciencias y Humanidades

ANÁLISIS COMPARATIVO DE TIEMPOS Y MANO DE
OBRA ENTRE DOS SISTEMAS DE CONSTRUCCIÓN:
FORMALETAS MODULARES Y MAMPOSTERÍA


Jorge Andrés Montenegro Ruiz

Trabajo de investigación presentado para optar al grado
académico de Licenciado en Ingeniería Civil

BIBLIOTECA
DE LA
UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

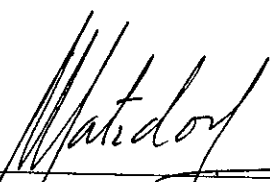
Guatemala
2004

Vo.Bo.:

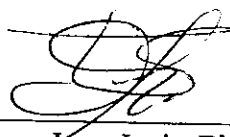
(f) 

Ing. Carlos Polo Cossich

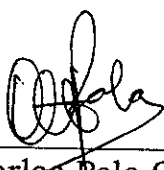
Tribunal:

(f) 

Ing. Franklin Matzdorf

(f) 

Ing. Luis Pineda

(f) 

Ing. Carlos Polo Cossich

Fecha de aprobación:

14/enero/2007.

ÍNDICE

	Página
DEDICATORIA	vii
RESUMEN	viii
I INTRODUCCIÓN	1
II JUSTIFICACIÓN	3
III OBJETIVOS	5
IV ANTECEDENTES	7
V DISEÑO	61
VI RESULTADOS	71
VII CONCLUSIONES	77
VIII RECOMENDACIONES	79
IX BIBLIOGRAFÍA	81
X ANEXOS	83

DEDICATORIA

Este trabajo de tesis para obtener la licenciatura en ingeniería civil está dedicado a Dios y a la Virgen Maria. Con su guía y amor, cada una de las metas en la vida toma otro valor y alcance.

A mis padres por su incondicional apoyo y cariño.

RESUMEN

Este trabajo se titula "Análisis comparativo de tiempos y mano de obra entre dos sistemas de construcción: formaletas modulares y mampostería". Éste es un proyecto basado en el estudio de rentabilidad de ambos sistemas constructivos. Se realiza con el fin de definir cual de los sistemas en comparación tiene un futuro interesante para el desenvolvimiento de la construcción de vivienda en el país.

La falta de vivienda se ha visto como un problema grave durante las últimas décadas en el país, y por sobre todo, en la ciudad capital debido al crecimiento poblacional tan elevado.

Se realizaron comparaciones entre tiempos de producción con ambos métodos, así como la cantidad de mano de obra necesaria para la construcción de muros de un mismo tipo de vivienda. Luego de la comparación, se encontraron los estimados con los cuales pudimos definir cual de los sistemas era más o menos eficiente y en cuales puntos específicamente convenía ser utilizado.

Al final del estudio, se concluye que la construcción con formaleta modular y concreto liviano disminuye la cantidad de mano de obra por muros y por casa, además de los costos relacionados con esta. En cuanto a tiempos de producción, estos son iguales con la observación que los costos finales por materiales utilizados tienen una influencia directa con la utilización de uno u otro sistema.

I. INTRODUCCIÓN

La importancia de la vivienda para el ser humano radica desde la acción de resguardo y protección contra las inclemencias del tiempo hasta el sentido de permanencia y seguridad para su sano desenvolvimiento.

En nuestro país, Guatemala, la precaria situación de la vivienda reflejada en el déficit habitacional estimado en 1, 640,000 viviendas nos obliga a buscar métodos alternativos para la construcción de soluciones habitacionales.

El análisis de tiempos de producción con los distintos sistemas constructivos de vivienda se hace necesario para estimar, comparar y motivar soluciones alternativas a la construcción tradicional. El sistema propuesto en el presente trabajo de investigación consiste en la utilización de formaletas modulares y fundición de muros de concreto para establecer una comparación con otros sistemas constructivos y el más tradicional en el país, que consiste en la construcción con piezas de mampostería y refuerzo de acero, la mampostería reforzada.

El objetivo general, se basa en la verificación de tiempos de ejecución de una vivienda con ambos sistemas, además de cantidad de mano de obra involucrada. Este trabajo detalla y describe el tipo de construcción y su forma de ejecución así como un enfoque especial en los materiales utilizados.

Para la elaboración del estudio se tomaron minuciosamente los tiempos de ejecución de cada uno de los procesos que intervienen en la construcción de una vivienda. Además, se cuantificó la mano de obra que elaboró cada uno de estos procesos o metas de trabajo, tanto para la casa de muros fundidos como para la construcción de mampostería reforzada.

Se recomienda el análisis del sistema por parte de constructores y desarrolladores de proyectos de vivienda para beneficio de todos y posterior desarrollo en la producción de vivienda a nivel nacional.

II. JUSTIFICACIÓN

La construcción de vivienda en Guatemala es un tema de vital importancia ante todo por el déficit habitacional existente. Es por ello que se necesita de nuevos y variados métodos constructivos que agilicen y por ende reduzcan costos para así hacer más accesible la vivienda a las familias más necesitadas.

El método tradicional comúnmente utilizado consiste en la colocación de muchas piezas de mampostería, colocadas una a una para formar los muros o paredes que luego son unidas con elementos de concreto y acero. Este es el método tradicional y requiere de un número elevado de gente especializada y un proceso "lento" para su elaboración, lo cual representa un incremento en los costos de producción.

El método de formaletas modulares y fundición de muros de concreto requiere de poca mano de obra y poca calificada por su sencillez de elaboración. La comparación en tiempos de producción está basada en estos sistemas constructivos y busca justificar cual dará un mejor resultado para luego ser propuesto como solución constructiva para enfrentar la problemática actual del país.

III. OBJETIVOS

A.- Generales

- Determinar por medio de una evaluación de campo cuál de los sistemas propuestos, mampostería reforzada o formaletas modulares con fundición de muros de concreto es más eficiente en cuanto a tiempos de producción.

B.- Específicos

- Comparación de mano de obra en cuanto a cantidad y especialización necesaria en cada sistema.
- Establecimiento preciso de tiempo de construcción para cada uno de los sistemas propuestos.
- Señalización de detalle estructural de cada método y su aceptación en el medio.

IV. ANTECEDENTES

A.- DIAGNÓSTICO HABITACIONAL

El déficit habitacional en Guatemala, según la información disponible en el último censo (Guatemala 2003) indica que acumulado es de 1, 640,000 unidades, de las cuales el 40% es cuantitativo y el 60% es cualitativo. Del total, entre el 15% y 18% corresponde al departamento de Guatemala y el resto a todo el país. Actualmente se calcula un crecimiento aproximado de 45,000 unidades por año y una necesidad de 80,000 soluciones tomando en cuenta el crecimiento del 2.7% anual para contrarrestar el déficit durante los próximos 20 años. (Ver anexos, tablas No.1)

El último censo de habitación reporta 2, 587,265 viviendas en todo el país, 700 mil más que en 1994. Sin embargo, este aumento no garantiza mejoras en calidad de los locales de habitación. La mayoría de viviendas reportan un déficit cualitativo. Según el censo, un 40% de los hogares rurales no tienen acceso al agua más que por acarreo, y un 26% carecen de alumbrado eléctrico. Este número se incrementa al referirse a drenajes sanitarios.

La Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos Familiares de 1998-1999, señala indicadores sobre la calidad de las unidades habitacionales en el país (Tomado de la propuesta de "Política Nacional de Vivienda y Asentamientos Humanos", Junio 2001):

a.- **Materiales de construcción.** El Indicador de Materialidad que se determinó de acuerdo a la calidad de los materiales utilizados en muros, techo y piso, tanto por sus características de temporales o permanentes, como por su estado de conservación, clasificó a las viviendas como: 12% buenas, 47% aceptables, 4% recuperables y 37% deficientes. (Los indicadores de Materialidad y

Saneamiento fueron elaborados con datos de la ENIGFAM por el INE y SEGEPLAN).

b.- Servicios básicos. El indicador de saneamiento que incluye los componentes de conexión a red y servicios de agua, drenaje, servicio sanitario, energía eléctrica y alumbrado, y que se basa, para su clasificación, en si cuentan o no con el servicio y si su conexión es utilizada por uno o más hogares, clasificó las viviendas como: 23% buenas, 6% aceptables, 32% regulares y 39% deficientes.

c.- Hacinamiento. Existe una relación directa entre hacinamiento e ingresos. El hacinamiento tiende a ser menor en los hogares con mayores ingresos. En general, parece que el hacinamiento en Guatemala está aumentando: la ENIGFAM 1998-1999, detectó que entre 1994 y 1998 el porcentaje de familias en cuartos hacinados (aquellos con mas de 4 personas por habitación) aumentó de 41 por ciento a 55 por ciento, en todo el país, de 24 por ciento a 36 por ciento en las zonas urbanas y de 51 por ciento a 66 por ciento en las zonas rurales.

d.- Tenencia de la vivienda. En cuanto a la tenencia de la vivienda, alrededor del 70% de las viviendas son en propiedad (pagada totalmente o pagándose a plazos) en el área urbana y 81% en el área rural; alquiladas, 21% en el área urbana y 2% en el área rural; y el resto cedidas u otras formas de tenencia.

e.- Inversión en vivienda. De los hogares más pobres, los que cuentan con ingresos menores a Q800.00 mensuales invierten alrededor de un 25% de sus ingresos en vivienda (alquileres, valor imputado de vivienda, mantenimiento ordinario y reparaciones) mientras que los hogares con ingresos entre Q800.00 y Q1, 299.00, invierten alrededor de un 20%.

La mayor parte de la población de bajos ingresos, vive en condiciones de alto riesgo debido a:

1) La ubicación de los asentamientos en lugares no aptos para la construcción de viviendas, (laderas de montañas, barrancos, orillas de ríos y lagos, etc.);

2) El limitado acceso a una adecuada infraestructura de servicios básicos, (agua potable y saneamiento) y;

3) La falta de información sobre su condición de peligro. La situación se agrava cuando se presentan desastres naturales como terremotos, huracanes o lluvias torrenciales.

B.- MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

1. Las unidades de mampostería

a.- Historia. La mampostería no es un sistema nuevo, este ha sido utilizado por distintas civilizaciones antiguas desde mucho antes del nacimiento de Cristo. A través del tiempo se han modernizado los métodos, esto gracias al descubrimiento y creación de nuevos materiales que han reemplazado a los que se utilizaban por dar mejores resultados. Su evolución ha sido muy importante por ser la base con la cual se iniciaron las construcciones de los humanos.

Ahora en nuestro tiempo, la mampostería se utiliza en una gran variedad de construcciones y se han encontrado métodos y formas, además de adherentes que han hecho de la mampostería un sistema muy eficiente y completo. Su evolución lo ha hecho muy confiable y seguro, y las piezas utilizadas en la actualidad tienen la forma y solidez necesaria que al ser reforzadas con varillas de acero resisten cargas hasta de varios niveles.

Hasta ahora la mampostería ha sido el material de construcción más empleado en nuestro país. Este ha sido utilizado en todo tipo de estructuras entre las que cabe mencionar la vivienda.

Las unidades de mampostería más utilizadas son bloques (ladrillos) de barro y bloques de concreto. Estas unidades se encuentran en una gran variedad de tamaños, formas, colores y texturas.

Se entiende como mampostería el sistema constructivo por medio del cual unidades formadas o moldeadas, suficientemente pequeñas y livianas para su manipulación se adhieren con mortero para la formación de paredes y muros. En nuestro medio, las unidades de mayor uso son los bloques de concreto y los ladrillos de barro cocido. Sus formas pueden variar según la región, pero en general pueden tenerse unidades sólidas y unidades perforadas.

1) Unidades sólidas. Las unidades sólidas pueden tener hasta un 25% de huecos en cualquier dirección, y la distancia mínima que debe existir entre estos y los bordes de la pieza es de 2 centímetros.

2) Unidades perforadas. Las unidades perforadas pueden tener hasta un 65% de vacíos medido en un plano paralelo al plano sobre el cual se sientan. Las celdas que se utilicen para colocar varillas de refuerzo no pueden tener ninguna dimensión menor de 5 centímetros ni áreas menores de 30 centímetros cuadrados. La pared entre celdas debe tener un espesor mayor que 1.3 cm. y la pared exterior debe tener un espesor mayor o igual a 2.5 cm.

b.- Mampostería de concreto. Los bloques son hechos de una mezcla de cemento Portland y arena de río o arena pómez, y algunas veces otros constituyentes como lo pueden ser agregados para inclusión de aire, pigmentos para coloración, impermeabilizantes y otros. Los tamaños más comunes son de 15 y 20 cm. de ancho por 40 de largo y 20 de alto. En otros casos se utilizan bloques de

14 y 19 cm. de ancho por 39 de largo y 19 de alto, esto para modular ambientes con mayor facilidad por el cm. de mortero que une cada una de las caras de estas piezas.

Existe una gran variedad de formas y tipos de bloques, pero principalmente se utilizan y se compran enteros, esquineros, mitades y soleras.

2. El concreto. La historia del cemento es la historia misma del hombre en la búsqueda de un espacio para vivir con la mayor comodidad, seguridad y protección posible. Desde que el ser humano superó la época de las cavernas, ha aplicado sus mayores esfuerzos en delimitar su espacio vital, satisfaciendo primero sus necesidades de vivienda y después levantando construcciones con requerimientos específicos.

Templos, palacios y museos son el resultado del esfuerzo que constituye las bases para el progreso de la humanidad.

El pueblo egipcio ya utilizaba un mortero - mezcla de arena con materia cementosa - para unir bloques y lozas de piedra al erigir sus asombrosas construcciones.

Los constructores griegos y romanos descubrieron que ciertos depósitos volcánicos, mezclados con caliza y arena producían un mortero de gran fuerza, capaz de resistir la acción del agua, dulce o salada.

Un material *volcánico* muy apropiado para estas aplicaciones, lo encontraron los romanos en un lugar llamado Pozzuoli y aún, actualmente se conoce como puzolana.

Investigaciones y descubrimientos a lo largo de miles de años conducen a finales de 1,800, cuando en Inglaterra fue patentada una mezcla de caliza dura,

molida y calcinada con arcilla, que al agregársele agua, producía una pasta que de nuevo se calcinaba, molía y batía hasta producir un polvo fino que es el antecedente directo del concreto. *El nombre del cemento Portland le fue dado por la similitud que ésta tenía con la piedra de la isla de Portland del canal inglés.*

La aparición de este cemento y de su producto resultante, el concreto, ha sido un factor determinante para que el mundo adquiriera una fisonomía diferente. Edificios, calles, avenidas, carreteras, presas y canales, fábricas, talleres y casas, dentro del más alto rango de tamaño y variedad le dan al hombre un mundo nuevo de comodidad, protección y belleza para trabajar, progresar y vivir.

a.- Fundamentos sobre el concreto. El concreto es básicamente una mezcla de dos componentes:

Agregado y pasta. La pasta, compuesta de cemento Portland y agua, une a los agregados (arena y grava o piedra triturada) para formar una masa semejante a una roca, pues la pasta endurece debido a la reacción química entre el cemento y el agua.

Los agregados generalmente se dividen en dos grupos: finos y gruesos. Los finos consisten en arenas naturales o manufacturadas con tamaños de partícula que pueden llegar a tener hasta 10mm; los agregados gruesos son aquellos cuyas partículas se retienen en la malla No. 16 y pueden variar hasta 152 mm. El tamaño máximo de agregado que se emplea comúnmente es el de 19 mm o el de 25 mm.

La pasta está compuesta de cemento Portland, agua y aire atrapado o aire incluido intencionalmente. Ordinariamente, la pasta constituye del 25 al 40 % del volumen total del concreto. El volumen absoluto del cemento está comprendido usualmente entre el 7 y el 15 % y el agua entre el 14 y el 21 %. El contenido de aire usual y en concretos con aire incluido puede llegar hasta el 8% del volumen total, dependiendo del tamaño máximo del agregado grueso.

Como los agregados constituyen aproximadamente entre el 60 y 75 % del volumen total del concreto, su selección es importante. Los agregados deben consistir en partículas con resistencia adecuada así como resistencias a condiciones de exposición a la intemperie y no deben contener materiales que puedan causar deterioro del concreto. Para tener un uso eficiente de la pasta de cemento y agua, es deseable contar con una granulometría continua de tamaños de partículas.

La calidad del concreto depende, en gran medida, de la calidad de la pasta. En un concreto elaborado adecuadamente, cada partícula de agregado está completamente cubierta con pasta así como también todos los espacios entre éstas. (Ver anexos, Ilustración No.1)

Para cualquier conjunto específico de materiales y de condiciones de curado, la cantidad de concreto endurecido está determinada por la cantidad de agua utilizada en la relación con la cantidad de cemento. Estas son algunas ventajas que se obtienen al reducir el contenido de agua:

- Se incrementa la resistencia a la compresión y flexión.
- Se tiene menor permeabilidad, y por ende mayor hermeticidad y menor absorción.
- Se incrementa la resistencia a la intemperie.
- Se logra una mejor unión entre capas sucesivas y entre el concreto y el refuerzo.
- Se reducen las tendencias de agrietamientos por contracción.

Entre menos agua se utilice, se tendrá una mejor calidad de concreto - a condición que se pueda consolidar adecuadamente. Menores cantidades de agua de mezclado resultan en mezclas más rígidas; pero con vibración, aún las mezclas más rígidas pueden ser empleadas. Para una calidad dada de concreto, las mezclas más rígidas son las más económicas. Por lo tanto, la consolidación del concreto por vibración permite una mejora en la calidad del concreto y en la economía.

Las propiedades del concreto en estado fresco (plástico) y endurecido, se pueden modificar agregando aditivos al concreto, usualmente en forma líquida, durante su dosificación. Los aditivos se usan comúnmente para ajustar el tiempo de fraguado o endurecimiento, reducir la demanda de agua, aumentar la trabajabilidad, incluir intencionalmente aire, y ajustar otras propiedades del concreto.

Después de un proporcionado adecuado, así como, dosificación, mezclado, colocación, consolidación, acabado, y curado, el concreto endurecido se transforma en un material de construcción resistente, no combustible, durable, con resistencia al desgaste y prácticamente impermeable, por ello requiere poco o nulo mantenimiento.

b.- Concreto recién mezclado. El concreto recién mezclado debe ser plástico o semifluido y capaz de ser moldeado a mano. Una mezcla muy húmeda de concreto puede moldearse y colocarse en una cimbra. En una mezcla de concreto plástico todos los granos de arena y las piezas de grava o de piedra quedan encajonados y sostenidos en suspensión. Los ingredientes no están predispuestos a segregarse durante el transporte; y cuando el concreto endurece, se transforma en una mezcla homogénea de todos los componentes. El concreto de consistencia plástica no se desmorona sino que fluye como líquido viscoso sin segregarse.

El revenimiento se utiliza como una medida de la consistencia del concreto. Un concreto de bajo revenimiento tiene una consistencia dura. En la práctica de la construcción, los elementos delgados de concreto y los elementos de concreto fuertemente reforzados requieren de mezclas trabajables, pero jamás de mezclas similares a una "sopa" para facilitar su colocación.

Se necesita una mezcla plástica para tener resistencia y para mantener la homogeneidad durante el manejo y colocación. Mientras una mezcla plástica es

adecuada para la mayoría de trabajos con concreto, puede utilizarse aditivos súper fluidificantes para adicionar fluidez al concreto en miembros de concreto delgados o fuertemente reforzados.

c.- Mezclado. Factores importantes en el mezclado son el tamaño de agregados en la revoltura con relación al tamaño del tambor de la mezcladora; el tiempo transcurrido entre la dosificación; y el mezclado, diseño, configuración y estado del tambor mezclador y paletas. Las mezcladoras aprobadas con operación y mantenimiento correcto aseguran un intercambio de materiales de extremo a extremo por medio de una acción de rolado, plegado y amasado de la revoltura sobre sí misma a medida que se mezcla el concreto.

d.- Trabajabilidad. La facilidad para colocar, consolidar y dar acabados al concreto recién mezclado se denomina trabajabilidad.

El concreto debe ser trabajable, pero no debe segregarse excesivamente. El sangrado es la migración del agua hacia la superficie superior del concreto recién mezclado provocada por el asentamiento de los materiales sólidos (cemento, arena y piedra) dentro de la masa. El asentamiento es consecuencia del efecto combinado de la vibración y la gravedad.

Un sangrado excesivo aumenta la relación agua - cemento cerca de la superficie superior, pudiendo dar como resultado una capa superior débil y de baja durabilidad, particularmente si se llevan a cabo las operaciones de acabado mientras esta presente el agua de sangrado. Debido a la tendencia del concreto recién mezclado a segregarse y sangrar, es importante transportar y colocar cada carga lo más cerca posible de su posición final. El aire incluido mejora la trabajabilidad y reduce la tendencia del concreto fresco de segregarse y sangrar.

e.- Consolidación. La vibración pone en movimiento a las partículas en el concreto recién mezclado, reduciendo la fricción entre éstas y dándole a la mezcla

las cualidades móviles de un fluido denso. La acción vibratoria permite el uso de mezcla dura que contenga una mayor proporción de agregado grueso y una menor proporción de agregado fino. Empleando un agregado bien graduado, entre mayor sea el tamaño de éste en el concreto, habrá una menor área superficial de agregado que llenar con pasta, teniendo como consecuencia una menor cantidad de agua y cemento dando como resultado una mayor calidad y economía.

Si una mezcla de concreto es lo suficientemente trabajable para ser consolidada de manera adecuada por varillado manual, puede que no exista ninguna ventaja en vibrarla. De hecho, tales mezclas se pueden segregar al vibrarlas. Sólo al emplear mezclas más duras y ásperas se adquieren todos los beneficios del vibrado.

f.- Hidratación, tiempo de fraguado, endurecimiento. La propiedad de liga de las pastas de cemento Portland se debe a la reacción química entre el cemento y el agua y se denomina hidratación. El cemento Portland no es un compuesto químico simple, sino que es una mezcla de muchos compuestos. Cuatro de ellos conforman el 90% o más de el peso del cemento y son: el silicato tricalcico, el silicato dicalcico, el aluminato tricalcico y el aluminio ferrito tetracalcico. Además de estos componentes principales, algunos otros desempeñan papeles importantes en el proceso de hidratación. Los tipos de cemento Portland contienen los mismos cuatro compuestos principales, pero en proporciones diferentes.

Cuando el *Clinker* (producto del horno que se muele para fabricar el cemento Portland) se examina al microscopio, la mayoría de los compuestos individuales del cemento se pueden identificar y se pueden determinar sus cantidades. Sin embargo, los granos más pequeños evaden la detección visual. El diámetro promedio de una partícula de cemento típica es de aproximadamente 10 micras, o una centésima de milímetro. Si todas las partículas de cemento fueran las promedio, el cemento Portland contendría aproximadamente 298,000 millones de

granos por kilogramo, pero de hecho existen unos 15 billones de partículas debido al alto rango de tamaños de partícula. Las partículas en un kilogramo de cemento Portland tienen un área superficial aproximada de 400 metros cuadrados.

Los dos silicatos de calcio, los cuales constituyen cerca del 75% del peso del cemento Portland, reaccionan con el agua para formar dos nuevos compuestos: el hidróxido de calcio y el hidrato de silicato de calcio. Este último es con mucho el componente cementante más importante en el concreto. Las propiedades de ingeniería del concreto, - fraguado y endurecimiento, resistencia y estabilidad dimensional - principalmente dependen del "gel" del hidrato de silicato de calcio. Es la médula del concreto.

La composición química del silicato de calcio hidratado es, en cierto modo variable, pero contiene cal (CaO) y sílice (SiO_2), en una proporción sobre el orden de 3 a 2. El área superficial del hidrato de silicato de calcio es de unos 3000 metros cuadrados por gramo. Las partículas son tan diminutas que solamente pueden ser vistas en microscopio electrónico. En la pasta de cemento ya endurecida, estas partículas forman uniones enlazadas entre las otras fases cristalinas y los granos sobrantes de cemento sin hidratar; también se adhieren a los granos de arena y a piezas de agregado grueso, cementando todo el conjunto. La formación de esta estructura es la acción cementante de la pasta y es responsable del fraguado, endurecimiento y desarrollo de resistencia.

Cuando el concreto fragua, su volumen bruto permanece casi inalterado, pero el concreto endurecido contiene poros llenos de agua y aire, mismos que no tienen resistencia alguna. La resistencia está en la parte sólida de la pasta, en su mayoría en el hidrato de silicato de calcio y en las fases cristalinas.

Entre menos porosa sea la pasta de cemento, mucho más resistente es el concreto. Por lo tanto, cuando se mezcle el concreto no se debe usar una cantidad

mayor de agua que la absolutamente necesaria para fabricar un concreto plástico y trabajable. Aún entonces, el agua empleada es usualmente mayor que la que se requiere para la completa hidratación del cemento. La relación mínima agua - cemento (en peso) para la hidratación total es aproximadamente de 0.22 a 0.25.

El conocimiento de la cantidad de calor liberado a medida que el cemento se hidrata puede ser útil para planear la construcción. En invierno, el calor de hidratación ayudara a proteger el concreto contra el daño provocado por temperaturas de congelación. Sin embargo, el calor puede ser problema en estructuras masivas, tales como presas, porque puede producir esfuerzos indeseables al enfriarse luego de endurecer. En el cemento Portland tipo 1 un poco más de la mitad de su calor total de hidratación se da en los primeros tres días. El cemento tipo 3, de resistencia temprana, libera aproximadamente el mismo porcentaje de calor en mucho menos de tres días. El cemento tipo 2, un cemento de calor moderado, libera menos calor total que los otros y deben pasar mas de tres días para que se libere únicamente la mitad de ese calor. El uso de cemento tipo 4, cemento Portland de bajo calor de hidratación, se debe de tomar en consideración donde sea de importancia fundamental contar con un bajo calor de hidratación.

Es importante conocer la velocidad de reacción entre el cemento y el agua porque ésta determina el tiempo de fraguado y endurecimiento de la mezcla. La reacción inicial debe ser suficientemente lenta para que conceda el tiempo necesario para el transporte y colocación del concreto. Sin embargo, una vez que el concreto ha sido colocado y terminado, es deseable tener un endurecimiento rápido. El yeso, que es adicionado en el molino de cemento durante la molienda del clinker, actúa como regulador de la velocidad inicial de hidratación del cemento Portland.

Otros factores que influyen en la velocidad de hidratación incluyen la finura de molienda, aditivos, cantidad de agua adicionada y la temperatura de los materiales al momento de realizar la mezcla.

g.- Concreto endurecido, curado húmedo. El aumento de resistencia continuará con la edad mientras esté presente algo de cemento sin hidratar, a condición de que el concreto permanezca húmedo o tenga una humedad relativa superior a aproximadamente el 80% y permanezca favorable la temperatura del concreto. Cuando la humedad relativa dentro del concreto cae aproximadamente al 80% o la temperatura del concreto desciende por debajo del punto de congelación, la hidratación y el aumento de resistencia virtualmente se detiene.

Si se vuelve a saturar el concreto, luego de un periodo de secado, la hidratación se reanuda y la resistencia vuelve a aumentar. Sin embargo, lo mejor es aplicar el curado húmedo al concreto de manera continua desde el momento en que se ha colocado hasta cuando haya alcanzado la calidad deseada debido a que es difícil re-saturar.

h.- Velocidad de secado del concreto. El concreto ni endurece ni se cura con el secado. El concreto (o de manera precisa, el cemento en el contenido) requiere de humedad para hidratarse y endurecer. El secado del concreto únicamente está relacionado con la hidratación y el endurecimiento de manera indirecta. Al secarse el concreto, deja de ganar resistencia; el hecho de que esté seco, no significa que haya experimentado la suficiente hidratación para lograr las propiedades físicas deseadas.

El conocimiento de la velocidad de secado es útil para comprender las propiedades o la condición física del concreto. Por ejemplo, tal como se mencionó, el concreto debe seguir reteniendo suficiente humedad durante todo el período de curado para que el cemento pueda hidratarse. El concreto recién colado tiene agua

abundante, pero a medida que el secado progresa desde la superficie hacia el interior, el aumento de resistencia continuará a cada profundidad únicamente mientras la humedad relativa en ese punto se mantenga por encima del 80%.

La superficie de un piso de concreto que no ha tenido suficiente curado húmedo es una muestra común. Debido a que se seca rápidamente, el concreto de la superficie es débil y se produce descascaramiento en partículas finas provocado por el tránsito. Asimismo, el concreto se contrae al secarse, del mismo modo que lo hace la madera, el papel y la arcilla. La contracción por secado es una causa fundamental de agrietamiento, y el ancho de las grietas es función del grado de secado.

Mientras que la superficie del concreto se seca rápidamente, al concreto en el interior le toma mucho más tiempo secarse. Note que luego de 114 días de secado natural, el concreto aún se encuentra muy húmedo en su interior y que se requiere de 850 días para que la humedad relativa en el concreto descienda al 50%.

El contenido de humedad en elementos delgados de concreto que han sido secados al aire con una humedad relativa de 50% a 90% durante varios meses es de 1% a 2% en peso del concreto del contenido original de agua. El tamaño y la forma de un miembro de concreto mantienen una relación importante con la velocidad de secado. Los elementos del concreto de gran área superficial en relación a su volumen (tales como losas de piso) se secan con mucho mayor rapidez que los grandes volúmenes de concreto con áreas superficiales relativamente pequeñas (tales como los estribos de puentes).

Muchas otras propiedades del concreto endurecido se ven también afectadas por su contenido de humedad; en ellas incluye la elasticidad, flujo plástico, valor de aislamiento, resistencia al fuego, resistencia al desgaste, conductividad eléctrica y durabilidad.

i.- Resistencia. La resistencia a la compresión puede definirse como la máxima resistencia medida de un espécimen de concreto o mortero a carga axial. Generalmente se expresa en kilogramos por centímetro cuadrado (Kg. /cm²) a una edad de 28 días y se le designa con el símbolo $f' c$. Para determinar la resistencia a la compresión, se realizan pruebas de especímenes de mortero o de concreto.

La resistencia del concreto a la compresión es una propiedad física fundamental, y se emplea en los cálculos para diseño estructural en general. El concreto de uso generalizado tiene una resistencia a la compresión entre 210 y 350 Kg. /cm². Un concreto de alta resistencia alcanza los 420 Kg. /cm². En aplicaciones de construcción se han llegado a utilizar resistencias de hasta 1,400 Kg. /cm².

La resistencia a la flexión del concreto es utilizada generalmente al diseñar pavimentos y otras fundiciones sobre el terreno. La resistencia a la compresión se puede utilizar como índice de la resistencia a la flexión, una vez que entre ellas se haya establecido una relación empírica para los materiales y el tamaño del elemento en cuestión. La resistencia a la flexión, también llamada módulo de ruptura para un concreto de peso normal se aproxima a menudo de 1.99 a 2.65 veces el valor de la raíz cuadrada de la resistencia a la compresión.

El valor de la resistencia a la tensión del concreto es aproximadamente de 8% a 12% de su resistencia a compresión y a menudo se estima como 1.30 a 1.99 veces la raíz cuadrada de la resistencia a compresión.

La resistencia a la torsión para el concreto está relacionada con el módulo de ruptura y con las dimensiones del elemento de concreto.

La resistencia al corte del concreto puede variar de un 35% a un 80% de la resistencia a compresión, y la correlación que existe entre la resistencia a

compresión y resistencia a flexión, tensión, torsión, y cortante, de acuerdo a los componentes del concreto y al medio ambiente en que se encuentre.

El módulo de elasticidad, denotado por medio de la letra E, puede definirse como la relación del esfuerzo normal a la deformación correspondiente para esfuerzos de tensión o de compresión por debajo del límite de proporcionalidad de un material. Para concretos de peso normal, E fluctúa entre 140,600 y 422,000 Kg./cm², y puede aproximarse como 15,100 veces el valor de la raíz cuadrada de la resistencia a compresión.

Los principales factores que afectan a la resistencia son la relación agua - cemento y la edad, o el grado a que haya progresado la hidratación. Estos factores también afectan a la resistencia a flexión y tensión, así como a la adherencia del concreto con el acero.

Para una trabajabilidad y una cantidad de cementos dados, el concreto con aire incluido necesita menos agua de mezclado que el concreto sin aire incluido. La menor relación agua - cemento que es posible lograr en un concreto con aire incluido tiende a compensar las resistencias mínimas inferiores del concreto con aire incluido, particularmente en mezclas con contenidos de cemento pobres e intermedios.

j.- Peso unitario. El concreto convencional, empleado normalmente en pavimentos, edificios y en otras estructuras tiene un peso unitario dentro del rango de 2,240 y 2,400 Kg. por metro cúbico. El peso unitario o densidad varía dependiendo de la cantidad y densidad relativa del agregado, cantidad de aire atrapado o intencionalmente incluido, y del contenido de agua y cemento, mismos que a su vez se ven influenciados por el tamaño máximo del agregado. Para el diseño de estructuras de concreto, comúnmente se supone que la combinación del concreto convencional y de las barras de refuerzo pesa 2400 Kg. /m³.

El peso del concreto seco iguala al peso del concreto recién mezclado menos el peso del agua evaporable. Una parte del agua de mezclado se combina químicamente con el cemento durante el proceso de hidratación, transformando al cemento en gel de cemento. También un poco de agua permanece retenida herméticamente en poros y capilares y no se evapora bajo condiciones normales. La cantidad de agua que se evapora al aire a una humedad relativa del 50% es aproximadamente de 2% a 3% del peso del concreto, dependiendo del contenido inicial de agua, las características de absorción de los agregados, y del tamaño de la estructura.

k.- Permeabilidad y hermeticidad. El concreto empleado en estructuras que retengan agua o que estén expuestas a mal tiempo o a otras condiciones de exposición severa debe ser virtualmente impermeable y hermético. La hermeticidad se define a menudo como la capacidad del concreto de refrenar o retener el agua sin escapes visibles. La permeabilidad se refiere a la cantidad de migración de agua a través del concreto cuando el agua se encuentra a presión, o a la capacidad del concreto de resistir la penetración de agua u otras sustancias (líquido, gas, iones, etc.). Generalmente las mismas propiedades que convierten al concreto menos permeable también lo vuelven más hermético.

La permeabilidad total del concreto al agua es una función de la permeabilidad de la pasta, de la permeabilidad y granulometría del agregado, y de la proporción relativa de la pasta con respecto al agregado. La disminución de permeabilidad mejora la resistencia del concreto a la re-saturación, ataque de sulfatos y otros productos químicos.

l.- Resistencia al desgaste. Los pisos, pavimentos y estructuras hidráulicas están sujetos al desgaste; por tanto, en estas aplicaciones el concreto debe tener una resistencia elevada a la abrasión. Pruebas realizadas indican que la resistencia a la abrasión o desgaste esta estrechamente relacionada con la resistencia a compresión

del concreto. Un concreto de alta resistencia a compresión tiene mayor resistencia a la abrasión que un concreto de resistencia a compresión baja. Como la resistencia a la compresión depende de la relación agua - cemento, así de un curado adecuado para obtener una buena resistencia al desgaste. El tipo de agregado y el acabado de la superficie o el tratamiento utilizado también tienen fuerte influencia en la resistencia al desgaste. Un agregado duro es más resistente a la abrasión que un agregado blando y esponjoso, y una superficie que ha sido tratada con llana de metal resiste más el desgaste que una que no lo ha sido.

m.- Estabilidad volumétrica. El concreto endurecido presenta ligeros cambios de volumen debido a variaciones en la temperatura y en la humedad. Estos cambios de volumen o de longitud pueden variar de aproximadamente 0.01% hasta 0.08%. En el concreto endurecido los cambios de volumen por temperatura son casi para el acero.

El concreto que se mantiene continuamente húmedo se dilatará ligeramente. Cuando se permite que seque, el concreto se contrae. El principal factor que influye en la magnitud de la contracción por el secado aumenta directamente con los incrementos de este contenido de agua. La magnitud de la contracción también depende de otros factores, como las cantidades de agregado empleado, las propiedades del agregado, tamaño y forma de la masa de concreto, temperatura y humedad relativa del medio ambiente, método de curado, grado de hidratación, y tiempo. El contenido de cemento tiene un efecto mínimo a nulo sobre la contracción por secado para contenidos de cemento entre 280 y 450 Kg. por metro cúbico.

n.- Control de agrietamiento. Las dos causas básicas por las que se producen grietas en el concreto son esfuerzos debidos a cargas aplicadas y esfuerzos debidos a contracción por secado o a cambios de temperatura en condiciones de restricción

La contracción por secado es una propiedad inherente e inevitable del concreto, por lo que se utiliza acero de refuerzo colocado en una posición adecuada para reducir los anchos de grieta, o bien juntas que predetermine y controlen la ubicación de las grietas. Los esfuerzos provocados por las fluctuaciones de temperatura pueden causar agrietamientos, especialmente en edades tempranas.

Las grietas por contracción del concreto ocurren debido a restricciones. Si no existe una causa que impida el movimiento del concreto y ocurren contracciones, el concreto no se agrieta. Las restricciones pueden ser provocadas por diversas causas. La contracción de secado siempre es mayor cerca de la superficie del concreto; las porciones húmedas interiores restringen al concreto en las cercanías de la superficie con lo que se pueden producir agrietamientos. Otras causas de restricción son el acero de refuerzo embebido en el concreto, las partes de una estructura interconectadas entre sí, y la fricción de la sub. rasante sobre la cual se coloca el concreto.

Las juntas son el método más efectivo para controlar agrietamientos. Si una extensión considerable de concreto (una pared, losa o pavimento) no contiene juntas convenientemente espaciadas que alivien la contracción por secado y por temperatura, el concreto se agrietará de manera aleatoria. Las denominadas juntas de construcción se colocan en los lugares donde ha concluido la jornada de trabajo; separan áreas de concreto colocado en distintos momentos.

o.- Agua de mezclado para el concreto. Casi cualquier agua natural que sea potable y que no tenga sabor u olor pronunciado, puede utilizarse para la producción de concreto. Las impurezas excesivas en el agua pueden afectar el tiempo de fraguado y la resistencia de el concreto, además de causar eflorescencia, manchado, corrosión del refuerzo, inestabilidad volumétrica y una menor durabilidad.

p.- Cloruros. La inquietud con respecto a un elevado contenido de cloruros en el agua de mezclado, se debe principalmente al posible efecto adverso que los iones de cloruro puedan tener en la corrosión del acero de refuerzo, o de los "torones" del preesfuerzo. Los iones de cloruro atacan la capa de óxido protectora formada en el acero por el medio químico altamente alcalino (*pH 12.5*) presente en el concreto.

Los cloruros pueden introducirse en el concreto con los ingredientes separados – aditivos, agregados, cemento, y agua – o a través de la exposición a las sales anticongelantes, agua de mar, o al aire cargado de sales cerca de las costas.

q.- Agua de mar. Aún cuando un concreto hecho con agua de mar puede tener una resistencia temprana mayor que un concreto normal, sus resistencias a edades mayores (*después de 28 días*) pueden ser inferiores. Esta reducción de resistencia puede ser compensada disminuyendo la relación agua – cemento.

El agua de mar no es adecuada para producir concreto reforzado con acero y no deberá usarse en concreto preesforzado debido al riesgo de corrosión del refuerzo, particularmente en ambientes cálidos y húmedos.

El agua de mar que se utiliza para producir concreto, también tiende a causar eflorescencia y humedad en superficies de concreto expuestas al aire y al agua.

r.- Aguas negras. Las aguas negras típicas pueden tener aproximadamente 400 ppm (*partículas por millón*) de materia orgánica. Luego que estas aguas se han diluido en un buen sistema de tratamiento, la concentración se ve reducida aproximadamente 20 ppm o menos. Esta cantidad es demasiado pequeña para tener efecto de importancia en la resistencia.

s.- Azúcar. Una pequeña cantidad de sacarosa, de 0.03% a 0.15% del peso del cemento, normalmente retarda el fraguado del concreto. El límite superior de este rango varía con respecto a los distintos cementos. La resistencia a los siete días puede verse reducida, en tanto que la resistencia a los 28 días podría aumentar. El azúcar en cantidades de 0.25% o más del peso del cemento puede provocar un fraguado rápido y una reducción sustancial de la resistencia a los 28 días. Cada tipo de azúcar afecta al tiempo de fraguado y a la resistencia de manera distinta.

t.- Agregados para concreto. Los agregados finos y gruesos ocupan comúnmente de 60% a 75% del volumen total del concreto y entre 70% y 85% en peso, además influyen notablemente en las propiedades del concreto recién mezclado y endurecido, las proporciones de la mezcla y la economía. Los agregados finos comúnmente consisten en arena natural o piedra triturada siendo la mayoría de sus partículas menores que 5mm. Los agregados gruesos consisten en una grava o una combinación de grava o agregado triturado cuyas partículas sean predominantemente mayores que 5mm y generalmente entre 9.5 mm y 38mm. Existen depósitos naturales de agregado, y se les denomina gravas de mina, río, lago o lecho marino. El agregado triturado se produce triturando roca de cantera, piedra bola, guijarros, o grava de gran tamaño. La escoria de alto horno enfriada al aire y triturada también se utiliza como agregado grueso o fino.

Un material es una sustancia sólida natural que tiene estructura interna ordenada y una composición química que varía dentro de límites muy estrechos. Las rocas (que dependiendo de su origen se pueden clasificar como ígneas, sedimentarias o metamórficas), se componen generalmente de varios materiales. Por ejemplo, el granito contiene cuarzo, feldespato, mica y otros cuantos minerales; la mayor parte de las calizas consisten en calcita, dolomita y pequeñas cantidades de cuarzo, feldespato y arcilla. El intemperismo y la erosión de las rocas producen partículas de piedra, grava, arena, limo, y arcilla.

El concreto reciclado, o concreto de desperdicio triturado, es una fuente factible de agregados y una realidad económica donde escaseen agregados de calidad.

Los agregados de calidad deben cumplir ciertas reglas para darles un uso óptimo: deben consistir en partículas durables, limpias, duras, resistentes y libres de productos químicos, recubrimientos de arcilla y otros materiales finos que pudieran afectar la hidratación y la adherencia con la pasta del cemento. Las partículas de agregado que sean desmenuzables o susceptibles de resquebrajarse son indeseables. Los agregados que contengan cantidades apreciables de esquistos o de materiales suaves y porosos, deberán evitarse, puesto que tienen baja resistencia al intemperismo y pueden ser causantes de defectos en la superficie tales como erupciones.

u.- Granulometría. La granulometría es la distribución de los tamaños de las partículas de un agregado tal como se determina por análisis de tamices (*norma ASTM C 136*). El tamaño de partícula del agregado se determina por medio de tamices de malla de alambre de aberturas cuadradas. Los siete tamices estándar *ASTM C 33* para agregado fino tienen aberturas que varían desde la *malla No. 100 (150 micras) hasta 9.52 mm*.

La granulometría y el tamaño máximo de agregado afectan las proporciones relativas de los agregados así como los requisitos de agua y cemento, la trabajabilidad, capacidad de bombeo, economía, porosidad, contracción y durabilidad del concreto.

v.- Forma de partícula y textura superficial. Para producir un concreto trabajable, las partículas largas o "*elongadas*", angulares, y de textura rugosa necesitan más agua que los agregados compactos, redondeados y lisos. En consecuencia, las partículas de agregado que son angulares, necesitan un mayor

contenido de cemento para mantener la misma relación agua - cemento. La adherencia entre la pasta de cemento y un agregado aumenta a medida que las partículas cambian de lisas y redondeadas a rugosas y angulares.

w.- Proporcionamiento de mezclas de concreto normal. El objetivo al diseñar una mezcla de concreto consiste en determinar la combinación más práctica y económica de los materiales con los que se dispone para producir un concreto que satisfaga los requisitos de comportamiento bajo las condiciones particulares de su uso. Para lograr tal objetivo, una mezcla de concreto bien proporcionada deberá poseer las propiedades siguientes:

- En el concreto fresco, trabajabilidad aceptable.
- En el concreto endurecido, durabilidad, resistencia y presentación uniforme.
- Economía.

x.- Relación entre agua-cemento y la resistencia final. A pesar de ser una característica importante, otras propiedades tales como la durabilidad, permeabilidad, y la resistencia al desgaste pueden tener igual o mayor importancia.

El concreto se vuelve más resistente con el tiempo, siempre y cuando exista humedad disponible y se tenga una temperatura favorable. Por tanto, la resistencia a cualquier edad particular no es tanto función de la relación agua - cemento como lo es del grado de hidratación que alcance el cemento.

3. El acero. El refuerzo de acero en mampostería se ha utilizado extensamente desde la década de los 30 revitalizando la industria de la mampostería en zonas sísmicas. El refuerzo de acero extiende las características de ductilidad, dureza y

absorción de energía que es tan necesaria en estructuras sujetas a las fuerzas dinámicas de un sismo.

La mampostería reforzada trabaja bien porque los materiales, acero, mampostería, grout y mortero trabajan juntos como una sola unidad estructural. El coeficiente de temperatura del acero, mortero, grout y unidades de mampostería es muy similar. Debido a esto los materiales trabajan juntos a través de los distintos rangos de temperatura.

Las estructuras sujetas a fuerzas dinámicas laterales severas tales como los sismos deben ser capaces de proveer la fuerza necesaria o capacidad de absorción de energía y ductilidad para resistir estas fuerzas. El acero de refuerzo sirve para resistir el corte y fuerzas a tensión generadas por las cargas dinámicas. También provee suficiente ductilidad a la estructura de mampostería para que la estructura pueda soportar las cargas en sentido contrario, más allá de la capacidad de la mampostería sin refuerzo.

Para que el refuerzo de acero provea una ductilidad y fuerza adecuada es de suma importancia que sea colocado apropiadamente para que provea un camino continuo a las cargas a través de la estructura. Se debe proveer lo siguiente:

- El tamaño y la cantidad apropiada de refuerzo que cumpla con los límites de porcentajes mínimos y máximos y otros requerimientos del código.
- El recubrimiento mínimo.
- El espaciamiento apropiado del refuerzo longitudinal y transversal.
- Suficiente anclaje de refuerzo de corte y de flexión.
- Suficiente traslape de las barras de refuerzo.
- Proveer el suficiente confinamiento.

a.- Tipos de barras de refuerzo. Para la construcción de mampostería reforzada, las barras de refuerzo varían de tamaño desde No. 3 ($\frac{3}{8}$ " en diámetro), hasta un máximo de No. 11 ($1 \frac{3}{8}$ " de diámetro) por el UBC.

El acero de refuerzo puede ser grado 40, con una resistencia mínima de 40,000 psi o de grado 60, con una resistencia de 60,000 psi. El acero de grado 60 se encuentra en todas las medidas, mientras que el grado 40 solo en No. 3, 4, 5 y 6.

Las marcas de identificación se indican en el siguiente orden:

- Fabricante
- Número del tamaño de la barra
- Tipo de refuerzo
- Grado de refuerzo

b.- Estructomallas. También es posible usar combinaciones de refuerzos de alta resistencia para fundiciones de muros y losas, siendo el más común la estructomalla o malla electrosoldada cuyo módulo de espaciamiento es generalmente de 15 centímetros y su resistencia grado 70. Estas planchas de malla deben ser traslapadas unas con otras lo suficiente para mantener una resistencia uniforme. Este traslape se recomienda que no sea menor de 30 centímetros en ningún caso.

4. El mortero. El mortero es una mezcla plástica de materiales usados para unir unidades de mampostería y convertirlo en una masa estructural. Es utilizado para los siguientes propósitos:

- Sirve para darle un material en qué asentar las unidades de mampostería.
- Permite la nivelación y colocación de las unidades de forma apropiada.
- Sirve como unión entre las piezas de mampostería.
- Provee fuerza de compresión y de corte, particularmente paralelo a la pared o muro.
- Permite cierto movimiento y elasticidad entre unidades.
- Funciona como sello de irregularidades en las unidades de mampostería

- Puede proveer color al utilizar aditivos.
- Apariencia agradable y detalles arquitectónicos con variedad de juntas.

Los morteros pueden representar tan poco como el 7% del volumen de un muro de mampostería, pero el papel que juega y la influencia que tiene son mucho mayores que lo indicado por su proporción. La selección y uso de varios ingredientes en los morteros afecta directamente su resistencia y sus características de adhesión.

Los principales componentes de un mortero son cemento, cal, arena y agua. Cada uno de estos elementos es esencial para el resultado final de la mezcla. El cemento le da al mortero fuerza y durabilidad. La cal le da trabajabilidad, mayor retención de agua y elasticidad. La arena actúa como relleno y contribuye tanto a la resistencia como a la economía. El agua da plasticidad a la mezcla. Para la producción de un mortero de alta calidad, cada uno de los ingredientes debe ser de la mejor calidad.

Desde su descubrimiento en el siglo XIX, el cemento Pórtland se ha convertido en el material más empleado en la construcción. Este es una combinación controlada de cal, sílica, alumina y óxido de hierro, y al mezclarse con agua, el cemento Pórtland se hidrata, originando un cambio químico en su composición causando un endurecimiento del material denominado fraguado.

Existen cinco tipos de cemento Pórtland, cada uno con características químicas y físicas distintas. Debido a que los requerimientos de adhesión para un mortero son significativamente diferentes que para el concreto, no todos los tipos de cemento son adecuados para la fabricación de morteros. Para la mayor parte de los morteros ordinarios se emplea el cemento tipo I. En otros casos, cuando se tiene exposición a sulfatos puede utilizarse el tipo II para resistir los ataques químicos. Un sustituto común para el tipo I es el tipo III, que es un cemento de alta resistencia inicial. Con éste, la mezcla alcanza rápidamente su resistencia

última y genera mayor cantidad de calor de hidratación. Para climas fríos este tipo de cemento ayuda a mantener el mortero húmedo y previene congelamientos. Los cementos Pórtland con aire incluido tipo IA, IIA, IIIA y demás, se producen con agregados químicos. El aumento de aire incluido mejora la trabajabilidad, la resistencia al congelamiento y deshielo, aumentan la humedad y la resistencia a los sulfatos y la abrasión. Sin embargo, estos son dañinos para la fabricación de mortero por el hecho que disminuyen la adhesión entre el mortero y las piezas o unidades de mampostería. Es por ello que no se recomiendan para la fabricación de morteros en construcciones de mampostería y mampostería reforzada.

La cal es un ingrediente muy valioso en los morteros debido a su gran cantidad de beneficios. La cal hidratada en polvo es la forma más común y conveniente para la fabricación de morteros en estos tiempos. De los dos tipos de cal que se produce, el tipo S es el indicado para utilizarse en mampostería. Un mortero sin cal es poco trabajable, alto en resistencia a compresión pero bajo en adhesión y otras características requeridas. La cal le da plasticidad al mortero, permitiendo así que su distribución sea uniforme y se llenen completamente las uniones mejorando la productividad y calidad. La calidad del flujo plástico de la cal ayuda al mortero a rellenar cavidades y poros en las unidades de mampostería creando una adhesión física fuerte. Además, permite mantener la humedad por mayor tiempo, resistiendo así la absorción de agua por parte de las unidades de mampostería.

La arena representa buena parte de los ingredientes de un mortero. Para su uso ésta debe estar limpia y bien graduada de acuerdo a los requerimientos de la ASTM. Las partículas de arena deben ser lavadas y tratadas para remover sustancias ajenas. Las arcillas y sustancias orgánicas reducen la resistencia del mortero y pueden causar manchas en la mezcla. La arena en un mortero actúa como un relleno, por lo que los materiales cementantes deben recubrirla por completo. Una arena con partículas muy grandes causa vacíos entre las partículas, lo que resulta en una mezcla con poca trabajabilidad y mucha permeabilidad. Por

el otro lado, si la arena es muy fina, se va a requerir más cantidad de cemento para recubrir completamente las partículas resultando en una mezcla más débil, porosa y económicamente menos rentable.

El mortero no sólo une las unidades de mampostería, sino también sella contra la penetración de aire y humedad y provee adhesión con el refuerzo. Para aplicaciones de carga la resistencia del mortero es un factor crítico. Las propiedades o características físicas más importantes del mortero se centran alrededor de la adhesión y durabilidad. Estas se ven afectadas por dos juegos de propiedades que interactúan para el resultado final: Propiedades importantes del mortero plástico que incluyen trabajabilidad, retención de humedad, flujo inicial y flujo después de succión, y características críticas del mortero endurecido que son la fuerza de adhesión, durabilidad y extensibilidad, así como la resistencia a la compresión.

La trabajabilidad tiene una influencia en casi todas las otras características. Esta no se puede definir con precisión en términos cuantitativos debido a la falta de pruebas o estándares para su medición. Un mortero "trabajable" tiene una consistencia pareja y plástica, se esparce con facilidad y se adhiere rápidamente a superficies verticales. Los agregados bien graduados mejoran la trabajabilidad al igual que lo hace la cal, el aire incluido y la cantidad adecuada de agua. La inclusión de aire forma pequeñas burbujas que actúan como lubricantes ayudando al flujo, pero se debe poner límite del 12 al 15% de aire incluido para que sea mínima la pérdida de fuerza de adhesión. Al contrario del concreto, los morteros requieren de una cantidad máxima de agua para trabajabilidad.

Agregarle agua a la mezcla para compensar el agua perdida por evaporación, es una práctica aceptada en la construcción de mampostería. Debido a que la mayor adhesión se obtiene con mezclas húmedas con buenos valores de flujo, un mortero parcialmente deshidratado es menos efectivo si no se reemplaza el agua evaporada. El mortero normalmente empieza a endurecer a las dos y media horas después del mezclado original. Después de este tiempo, agregarle

agua causa una baja en la resistencia a la compresión de aproximadamente un 25%. Los estándares de la ASTM requieren que el mortero sea utilizado dentro de esas dos horas y media y permite que se agregue agua a la mezcla tan frecuentemente como sea necesario dentro de este período. Existen pruebas que han demostrado que la disminución en la resistencia a la compresión es mínima si se agrega agua una o dos horas después del mezclado. Si se exceden las dos horas y media, debe desecharse el mortero.

La resistencia a la compresión de la mampostería depende tanto de la unidad de mampostería como del mortero. Al igual que en el concreto, la resistencia a la compresión del mortero depende de la relación agua-cemento. Debido a que las propiedades plásticas se ajustan con frecuencia para proveer trabajabilidad y flujo adecuado, y debido a que la resistencia a la adhesión resulta más importante, valores altos de resistencia a la compresión se sacrifican para mejorar las otras características. Para construcciones de dos a tres niveles, la resistencia del mortero es raramente un factor crítico, ya que tanto el mortero como la mampostería son por lo general mucho más resistentes que lo requerido. La resistencia a la compresión es importante en estructuras de carga, pero fallas estructurales debidas a la compresión son raras. A pesar que la resistencia de la mampostería puede ser aumentada usando morteros más resistentes, las mejoras no son proporcionales. Las pruebas indican que la resistencia de un muro aumenta sólo un 10% con un aumento del 130% en la resistencia del mortero. Muchas veces hay otros incentivos más que los económicos para emplear morteros menos resistentes. Un mortero muy duro y fuerte puede restringir las expansiones y resultar en rajaduras en los muros.

Otras dos propiedades importantes en un mortero son su extensibilidad y cambio volumétrico. Los cambios volumétricos en un mortero pueden resultar del curado, de ciclos de secado y humedecimiento, cambios en la temperatura o cambios químicos en los ingredientes de mala calidad. Por lo general, se considera que el encogimiento del mortero es la causa principal de filtraciones en muros.

El diseño de morteros puede ser hecho de acuerdo a pruebas de laboratorio o en base a la experiencia. La norma ASTM C270, morteros para unidades de mampostería, especifica los requerimientos para cinco tipos de morteros, designados como M, S, N, O y K. (Ver anexos, Tablas No. 2)

Cada uno de los cinco tipos de mortero tiene ciertas aplicaciones para las cuales es adecuado y recomendado. El mortero tipo M, por ejemplo, es una mezcla de alta resistencia que ofrece mayor durabilidad que los otros tipos de morteros. Se recomienda tanto para mampostería reforzada como no reforzada y puede estar sujeto a cargas elevadas de compresión, congelamiento severo o altas cargas laterales de presiones de suelos, vientos (huracanados) o terremotos. Debido a su alta durabilidad estos morteros se pueden emplear bajo tierra en contacto con el suelo.

El mortero tipo S produce valores de adhesión en tensión cercanos al máximo que puede obtenerse con morteros de cemento y cal. Se recomienda para estructuras sujetas a cargas normales de compresión que además requieran de una alta adhesión en flexión. Este tipo de mortero es recomendable utilizarlo donde la adhesión del mortero es la única fuerza entre la fachada y el muro, tal como el caso de azulejos, fachaletas y otros.

El mortero tipo N es un buen mortero para propósitos generales. Es apropiado para fachadas, muros interiores y particiones. Este mortero de mediana resistencia representa el mejor compromiso entre resistencia, trabajabilidad y economía. Al proporcionarse el mortero con cemento, cal y arena en una relación 1:1:6, ha habido resultados de laboratorio en los cuales la resistencia alcanza hasta 2,800 psi.

El mortero tipo O es un mortero con alto contenido de cal de baja resistencia y baja adhesión. Puede ser empleado en muros que no sean de carga, en fachadas exteriores que no estén sujetas a congelamiento y deshielo y en muros con cargas de compresión no mayores de 100 psi. Este mortero se emplea, por lo general, en

residencias de uno o dos niveles y es muy apreciado por su trabajabilidad y economía.

El mortero tipo K tiene una resistencia a la compresión muy baja o casi nula. Sólo es adecuado para particiones interiores sin carga y es empleado en muy raras ocasiones.

5. El grout. Grout es una mezcla de cemento Pórtland, arena, piedrín y agua mezclados para obtener una consistencia fluida que tiene un slump de 8 a 10 pulgadas. Este se coloca en el centro de las unidades de mampostería hueca para unir el acero de refuerzo y la mampostería en un sistema estructural. Adicionalmente, el grout provee:

- Mayor área de sección transversal que permite que una pared con grout soporte más carga vertical y de fuerzas laterales que una pared sin grout.
- Agrega más resistencia a la transmisión de sonido al reducir el paso del sonido a través de la pared.
- Incrementa la resistencia al fuego y mejora la resistencia al fuego de la pared.
- Mejora la capacidad de almacenar energía en la pared.
- Mayor carga al mejorar la resistencia de volteo de las paredes de retención.

a.- Tipos de Grout. El UBC identifica dos tipos de Grout para la construcción de mampostería: El grout fino y el ordinario o grueso. Como indica su nombre, estos dos tipos de grout difieren en el tamaño máximo permitido de los agregados. Dependiendo del tamaño del espacio y del alto del grout se utiliza al grout fino o el grueso. (Ver anexos, Tablas No. 3)

1) Grout fino: Se utiliza cuando el espacio es pequeño, estrecho o cuando existe confinamiento por el acero de refuerzo. Cuando se utiliza el grout fino debe haber una separación mayor de $\frac{1}{4}$ " entre el acero de refuerzo y la unidad de mampostería.

Las proporciones normales por volumen para el grout fino son: 1 parte de cemento Pórtland, 2 ½ a 3 partes de arena de río y agua necesaria para un slump de 8 a 10 pulgadas.

2) Grout grueso: Se utiliza donde el espacio es por lo menos de 1 ½" horizontalmente, o donde la dimensión mínima del bloque es de 1 ½ * 3 pulgadas.

Aunque los agregados aprobados para el grout (arena y piedrín) se limitan a un tamaño máximo de 3/8", un grout grueso que utiliza agregados de ¾" puede usar si el espacio es bastante ancho (8" o más horizontalmente). Agregados grandes también tienden a reducir el encogimiento del grout y permiten que el slump del grout se reduzca a 7 y 8 pulgadas para que sea más sencillo colocarlo.

La separación mínima entre el acero y la unidad de mampostería debe ser de ½", pero si se hace con agregados más grandes la separación debe incrementar a ¾" más que el tamaño del agregado más grande.

Las proporciones volumétricas típicas del grout grueso son: 1 parte de cemento Pórtland, 2 ¼ a 3 partes de arena, 1 a 2 partes de piedrín y agua para un slump de 8 a 10 pulgadas.

b.- Slump del grout. El contenido de agua se ajusta para proveer la fluidez necesaria que permita que el grout se coloque apropiadamente. Este slump hace que el grout fluya en las aberturas y rodee el acero de refuerzo. El exceso de agua lo absorben las unidades de mampostería.

La fluidez se mide con una prueba de cono de slump. Ambos tipos de grout deben contener suficiente agua para proveer un slump de 8 a 10 pulgadas.

6. El concreto liviano. Se define como aquel que a los 28 días alcanza una resistencia a la compresión de por lo menos 2,500 psi (176 kg/cm²) y un peso unitario secado al aire de menos de 115 libras por pie cúbico (1,842 Kg/m³).

La característica más evidente del concreto liviano es su densidad, la cual es siempre considerablemente menor que la del concreto ordinario. Sin embargo, éste posee otras características menos claras, pero de gran importancia como es su baja conductividad térmica. Es importante diferenciar al concreto liviano de los concretos empleados como aislantes, los cuales por lo general tienen un peso unitario que varía de 15 a 90 libras por pie cúbico, y cuya resistencia a la compresión rara vez excede a los 1,000 psi.

Las ventajas del concreto liviano van desde la reducción de cargas muertas hasta la reducción de los tiempos de construcción. El uso del concreto liviano resulta también en una reducción de costos proveniente de la disminución de peso unitario y de transporte.

La manera principal de lograr un concreto liviano se basa en la inclusión de aire dentro de su estructura. Esto puede lograrse de distintas maneras como lo son:

- Omitir agregados finos y los diámetros pequeños, con lo cual se obtiene el denominado concreto sin finos
- Sustituir agregados de grava y piedra triturada por agregados con estructura porosa, los cuales "incluyen" aire al concreto
- Promoviendo la producción de burbujas de aire en una lechada de cemento, de manera que al fraguar quede con una forma física esponjosa denominada "concreto aireado" (Ver anexos, Tablas No. 4)

a.- Diseños. En el diseño de concretos livianos las mezclas para su fabricación difieren de las utilizadas para concretos densos comunes. En muchas ocasiones los requisitos especificados para el concreto estructural común se basan en resistencia y trabajabilidad, mientras que para concretos livianos deben considerarse por separado cada uno de los agregados a utilizar.

La graduación y algunas otras propiedades de los agregados influyen en forma considerable en las propiedades del concreto hecho con ellos.

El diseño de una mezcla de concreto puede definirse como la selección de los materiales más adecuados, esto es, cemento y agregados; las proporciones más económicas de cemento y agua; y los distintos tamaños de agregados para la producción de un concreto con las propiedades de resistencia requeridas. Las dos propiedades principales para las cuales se diseñan los concretos ordinarios hechos con agregados naturales que cumplen con los requisitos establecidos por las diferentes normas son el grado de trabajabilidad y la resistencia a la compresión a los 28 días.

Sin embargo, con los distintos tipos de concreto liviano no siempre se pueden aplicar las mismas consideraciones de resistencia y trabajabilidad. Por ejemplo, la ligereza en peso es de primordial importancia. Otros factores a estudiar incluyen el uso para el cual será destinado.

En general, las características de los agregados que influyen en las propiedades del concreto de peso normal también afectan las propiedades del concreto liviano estructural. Sin embargo, generalmente se da más importancia a factores como el peso volumétrico unitario, la absorción, la forma de las partículas, tamaño y textura superficial en los agregados ligeros. Estos factores afectan la resistencia, durabilidad, manejabilidad y facilidad de acabado.

b.- Proporciones. Los principios para el proporcionado de las mezclas para concreto de peso normal se aplican directamente a las mezclas para concreto liviano, pero su aplicación es generalmente diferente. Pueden utilizarse procedimientos convencionales con buenos resultados en las mezclas que contienen agregados ligeros caracterizados por la forma redondeada de sus partículas, superficies recubiertas o cerradas, y valores de absorción relativamente bajos.

Debido a las variaciones de la absorción en la mayor parte de los agregados ligeros, la relación agua-cemento no puede establecerse con precisión suficiente a fin de usarse como base para el proporcionado de la mezcla. Por esta razón, las

mezclas donde se usan agregados ligeros se determinan por una serie de mezclas de prueba en las que se toma como base la proporción del cemento y el grado de trabajabilidad deseado. Para tal efecto, se rompen muestras a los tiempos deseados para determinar las relaciones entre la resistencia y la proporción de cemento. Finalmente, con base en esta prueba se puede determinar la proporción de cemento para la resistencia requerida.

Por lo general, se emplea un agregado ligero con un tamaño máximo de $\frac{3}{4}$ ", las mezclas típicas de concreto requieren proporciones totales de agua de aproximadamente 157 Kg. /m³ a 187 Kg. /m³. Debido a la mayor absorción de los agregados ligeros, pueden ser necesarios entre 172 y 297 Kg. /m³ de agua; la cantidad de agua necesaria es usualmente de 2 a 3 % menor por cada 1% de aire incluido.

La amplia variación en las características de los agregados ligeros se refleja en la gran variación de las proporciones de cemento para producir una resistencia deseada. Las recomendaciones de los productores de agregados ligeros constituyen la mejor estimación de la proporción de cemento.

Las mezclas de concreto de peso normal bien dosificadas usualmente tienen agregado fino en un 35 a 45 % del peso del agregado total. Las mezclas de concreto liviano requieren porcentajes más elevados de finos debido a diferencias entre los pesos volumétricos específicos de las partículas finas y gruesas, y también porque la mayor parte de los agregados ligeros son de forma angular y tienen texturas superficiales ásperas. Las mezclas manejables para concreto liviano requieren de 45 a 60% de finos por volumen. Las mezclas con agregados ligeros recubiertos requieren menos finos, ya que estos agregados asemejan más a los agregados de peso normal, en forma y textura superficial.

La experiencia ha demostrado que se requieren generalmente entre 1.10 y 1.25 m³ de agregados secos y sueltos, medidos separadamente finos y gruesos, para producir un metro cúbico de concreto. La cantidad exacta depende de la granulometría, de la forma, tamaño y textura de la superficie de las partículas del

agregado. Con partículas redondas bien graduadas, la cantidad puede ser tan baja como 1.0 m^3 .

La mayor parte de los concretos livianos contienen de 2 a 4 % de aire atrapado, pero como este tiene un efecto insignificante en la manejabilidad y durabilidad, es conveniente incluir aire. El concreto liviano sujeto a congelación y deshielo debe contener no menos de 6% en total de aire atrapado más aire incluido. Aún cuando no se requiera resistencia a los cambios de congelamiento a deshielo, el aire incluido se recomienda para proporcionar manejabilidad. La proporción óptima de aire para dar manejabilidad está generalmente comprendida entre 4 y 8% para concreto liviano.

Para determinar la variación de la resistencia con la proporción de cemento para un agregado dado, deberá hacerse por lo menos tres mezclas de prueba con diferentes proporciones de cemento. Las mezclas de prueba típicas pueden tener proporciones de cemento de 279, 362 y 445 Kg. / m^3 . Cada mezcla deberá tener el grado de trabajabilidad deseado, y suficiente aire incluido para asegurar la durabilidad.

Cada mezcla de prueba deberá producir cuando menos 0.04 m^3 de concreto. Esta cantidad permite hacer determinaciones de la proporción de aire y del peso unitario, así como la fabricación de por lo menos 4 o 5 muestras de $15 * 30 \text{ cm}$. para realizarse las pruebas de resistencia.

Al obtener los resultados se hace una gráfica para relacionar resistencia y proporciones de cemento. Utilizando los datos del agua, peso unitario y coeficientes de peso específico, pueden determinarse con precisión las proporciones de la mezcla.

C.-ELEMENTOS ESTRUCTURALES (SISTEMAS)

1. Muros. Por lo general cualquier elemento vertical cuya longitud y altura son mucho mayores que su espesor pueden tratarse como muros. Los muros

sujetos a cargas verticales se llaman muros portantes. Los muros no sujetos a ninguna otra carga fuera de su propio peso, tales como de panel o de cerramiento, se conocen como no portantes.

Los muros con la función primaria de resistir cargas laterales, se denominan de corte. Estos pueden servir también como muros portantes.

Las paredes exteriores sirven para encerrar la forma de una edificación, y las paredes interiores sirven para partir el espacio de la edificación. Ambos, también se utilizan como un subsistema estructural para transmitir las cargas verticales y horizontales.

Las paredes se construyen generalmente de mampostería, madera, concreto o acero. En todos los casos, cuando las paredes están unidas por los pisos o los techos, estos pueden proveer una excelente resistencia a las cargas horizontales en el plano de las paredes. Pero, por ser delgadas, son relativamente débiles contra las fuerzas horizontales aplicadas en la dirección del ancho del muro.

a.- Muros de mampostería. Los muros de mampostería pueden clasificarse de acuerdo a varios factores, tales como si soportan cargas verticales o no, y su tipo de construcción.

Desde el punto de vista estructural, los muros pueden soportar cargas o no hacerlo. Adicionalmente, estos pueden ser de mampostería simple, parcialmente reforzada o reforzada. Los muros que no soportan cargas incluyen los de partición, los exteriores y fachadas. Los de partición son interiores y tienen una altura máxima de un nivel; y sirven para separar espacios o formar barreras visuales y contra sonido principalmente. Los muros exteriores pueden ser utilizados como paredes cortinas en viviendas y edificios de varios niveles.

Los muros simples que soportan cargas, el corte y los esfuerzos de flexión se resisten únicamente con la masa del muro y la adhesión entre el mortero y las unidades de mampostería. Los muros de mampostería reforzada pueden

emplearse en muy diversas estructuras y soportar cargas de edificaciones de muchos niveles.

En muros de corte las cargas laterales que absorbe tanto el piso como el techo de una estructura se transfieren a los muros que se encuentran diseñados para resistir *fuerzas laterales aplicadas paralelamente al plano del muro*. Si todos los muros de carga de una estructura están orientados en la misma dirección, sólo resistirán fuerzas laterales en una dirección. La orientación de los muros de carga en una estructura puede hacer mínimos los esfuerzos debidos a cargas laterales y aprovechar la resistencia a la compresión y al corte de estos. Los muros de corte funcionan mejor cuando soportan cargas verticales debido a que éstas ofrecen mayor resistencia al volteo.

Los muros, según la colocación, disposición y arreglo del acero de refuerzo en los elementos de mampostería pueden clasificarse en dos tipos: mampostería reforzada mixta y mampostería reforzada integral.

b.- Mampostería reforzada mixta. En este tipo de muro el acero de refuerzo se coloca y concentra en elementos verticales y horizontales fundidos de concreto denominados mochetas y soleras respectivamente. Ambas concentraciones de refuerzo deben confinar a las unidades de mampostería. Al mismo tiempo, el refuerzo de las mochetas y soleras debe quedar asegurado y confinado por eslabones o estribos preferentemente. La resistencia del concreto a compresión se recomienda que no sea menor de 175 Kg. /cm².

c.- Mampostería reforzada integral. En este tipo de muro el acero de refuerzo se instala tanto en el sentido horizontal como vertical en las celdas correspondientes a las unidades con vacíos y/o en el espacio de las áreas libres limitadas por las paredes de las unidades para levantado. Los refuerzos verticales podrán requerir eslabones o estribos en algunas posiciones.

d.- Refuerzo en muros de concreto fundidos en el lugar. El área mínima de refuerzo en el sentido vertical y horizontal se recomienda que sea no menor a 0.002 veces el área transversal del muro y debe colocarse formando camas de refuerzo preferentemente. Este refuerzo, tanto vertical como horizontal puede ser a base de camas de varillas de acero armadas en obra o mallas electrosoldadas grado 70 en sus diámetros milimétricos.

2. Diafragmas. Un diafragma es un sistema de piso o techo capaz de transmitir fuerzas laterales a los muros de corte sin exceder una deformación que causaría daños a un miembro vertical de la estructura. Las deformaciones deben ser controladas para prevenir esfuerzos de tensión y flexión demasiado grandes en los muros perpendiculares a la dirección de la fuerza lateral.

La rigidez del diafragma afecta la distribución de las fuerzas laterales a los muros de corte. Debido a que ningún diafragma es infinitamente rígido o infinitamente flexible, para propósitos de análisis, se clasifican como rígidos, semi-rígidos o semi-flexibles y flexibles. La distribución de las fuerzas horizontales a los muros depende de la rigidez relativa entre el diafragma y los muros de corte.

La fuerza total de corte distribuida a los elementos verticales que resisten el corte y que forman el sistema para resistir fuerzas laterales dependerá de qué tan rígidos sean en comparación con el diafragma.

a.- Diafragma rígido. Un diafragma rígido es el que distribuye las fuerzas horizontales en proporción directa a las rigideces relativas de los elementos verticales. Esto resulta del supuesto que, bajo una carga simétrica, el diafragma rígido, el cual no se deforma significativamente causará que los elementos verticales se deformen la misma cantidad. Debido a que todas las deformaciones de estos elementos son iguales, entonces para cada pared, la fuerza necesaria para causar esas deformaciones debe ser directamente proporcional a su rigidez. Los

diafragmas rígidos son considerados como capaces de transferir fuerzas y deformaciones de corte torsional.

b.- Diafragma flexible. Un diafragma flexible puede ser comparado con una serie de vigas simples extendidas sobre soportes muy rígidos. Se asume que la rigidez de los elementos verticales es mucho mayor a la del diafragma, el cual por lo tanto se deforma con la viga. Esta viga al no tener una continuidad apreciable entre soportes no desarrolla momentos negativos sobre los mismos, lo que afectaría la distribución de la carga. Cada viga por lo tanto distribuye la mitad de su carga a cada apoyo. Por lo tanto, un diafragma flexible distribuye carga con base en su área tributaria. Es de notar que un diafragma flexible no se considera capaz de distribuir esfuerzos torsionantes resultantes de la condición donde el centro de masas y el centro de rigidez no coinciden.

c.- Diafragmas semi-rígidos. Los diafragmas semi-rígidos son aquellos que exhiben deformaciones significativas bajo carga, pero que también tienen suficiente rigidez para distribuir una parte de su carga a los elementos verticales en proporción directa con la rigidez de dichos elementos. Un análisis matemático riguroso de este tipo de diafragma ocupa mucho tiempo y por lo general no se justifica debido a suposiciones cuestionables.

3. Estructuras de cajón. Algunos sistemas de muros de carga de mampostería o de madera se conocen como una estructura de cajón. En estas estructuras, los pisos, paredes y techos, constituyen una serie de planos con las fuerzas resultantes actuando a lo largo de líneas continuas en lugar de puntos intermitentes. En este sistema, uno de los aspectos más importantes del diseño son los elementos cualitativos concernientes a la simetría y la localización de los elementos estructurales, las deformaciones relativas, los anclajes y las

discontinuidades. Los muros de corte resisten fuerzas horizontales actuando paralelo al plano del muro. La localización de estos muros es crítica en relación a la dirección de las fuerzas aplicadas. Esto es particularmente cierto cuando se consideran cargas sísmicas.

Debido a que el movimiento del suelo puede darse en direcciones perpendiculares, la localización de los elementos resistentes debe coincidir con estas fuerzas, por lo que resulta conveniente diseñar las estructuras con muros de corte longitudinal y transversal. En Guatemala por ser un país con un alto riesgo sísmico, conviene tener presente la forma en que los movimientos sísmicos afectan a las estructuras y las grandes ventajas que se obtienen con el uso de estructuras de cajón.

Las fuerzas sísmicas son causadas por la liberación de esfuerzos almacenados dentro de la superficie terrestre. Un terremoto es la liberación súbita de estos esfuerzos y el movimiento consecuente de la masa de la tierra a lo largo de un plano de falla. Las ondas primarias de vibración crean un efecto de jalar y empujar en la superficie de la tierra. Las ondas secundarias que viajan a más o menos la mitad de la velocidad provocan movimientos transversales a ángulos rectos del primer impacto. Bajo estas condiciones, las estructuras pueden experimentar condiciones severas de cargas dinámicas laterales y deben ser capaces de absorber esta energía y soportar las fuerzas del movimiento sísmico de la tierra. Para tal efecto, se refuerza la mampostería con acero, el cual resiste esfuerzos de corte y tensión y provee a la estructura con la ductilidad necesaria para soportar estas cargas.

Los sistemas estructurales de marcos diseñados para resistir cargas sísmicas y de vientos pueden ser flexibles con poco grado de amortiguamiento o rígidas con alto grado de amortiguamiento. Los marcos de concreto y de acero se consideran como estructuras de marcos espaciales que resisten momentos, en los cuales las juntas o uniones resisten fuerzas principalmente por flexión. Esta flexibilidad resulta eficiente para disipar la energía de las cargas sísmicas, pero puede causar

daños secundarios no estructurales substanciales en ventanas, particiones y equipos mecánicos. Por comparación, las estructuras de cajón con su rigidez inherente, han sido muy exitosas resistiendo cargas sísmicas con poco o ningún daño secundario.

El amortiguamiento es la habilidad de una estructura a disminuir su amplitud de vibración con el tiempo a través de la disipación de energía por resistencia interna friccional. Por lo general, se reconoce que la respuesta de un edificio esta influenciada por el período natural de vibración del mismo. La capacidad de las estructuras de cajón para absorber cargas sísmicas es tal que los esfuerzos unitarios se mantienen extremadamente bajos con un alto factor de seguridad. El amortiguamiento no es un coeficiente numérico reconocido en las fórmulas de los códigos de construcción. Sin embargo, es esta característica la que contribuye más significativamente al alto factor de seguridad. Entre más grande es el efecto de amortiguamiento, menor es la respuesta de un edificio a un terremoto.

De acuerdo con el código uniforme de construcción (UBC), las estructuras de cajón localizadas en las áreas de alto riesgo sísmico están limitadas a una altura no mayor de 49 metros, a excepción de que se presenten datos técnicos que establezcan las fuerzas laterales y distribuciones por análisis dinámicos.

D. - SISTEMAS DE CONSTRUCCIÓN

1. Mampostería. Estructuras de mampostería han sido utilizadas para la construcción desde los inicios de la humanidad, no sólo para creación de viviendas sino también para la construcción de obras de gran belleza y esplendor. La piedra fue el primer elemento de mampostería utilizado por el hombre primitivo.

A inicios del siglo veinte se introdujo a la industria de la construcción las unidades de mampostería en bloques de concreto. Más tarde, entre los años 1930 y 1940 apareció el sistema de mampostería utilizando refuerzos de acero embebidos

entre los elementos de concreto para proveer al sistema de una resistencia mucho mayor a fuerzas dinámicas creadas por los terremotos.

Mucho antes de la utilización de mampostería reforzada para la construcción, las estructuras eran diseñadas sólo para resistir cargas de gravedad y las cargas provenientes del viento y los sismos eran ignoradas. Sólo las masivas cargas muertas provenientes de gruesas y pesadas paredes o muros estabilizaban las no reforzadas estructuras ante las cargas laterales.

La introducción de acero en la construcción de mampostería, dando lugar a la mampostería reforzada permitió reducir dramáticamente el grosor en los muros de todo tipo de edificaciones y proporcionó un método racional para el diseño de muros resistentes a cargas laterales provenientes de vientos y sismos.

La mampostería moderna puede tomar varias formas. Estructuralmente puede dividirse en estructuras de carga, cortina o de fachada. Asimismo, ésta puede estar reforzada, parcialmente reforzada o simple, y diseñarse analítica o empíricamente.

La mampostería de carga soporta su propio peso así como las cargas vivas y muertas de la estructura, y todas las cargas laterales provocadas por el viento y los sismos. Al contrario de éstas, la mampostería de cortina o fachada es no de carga, soporta su propio peso y resisten fuerzas laterales mas no cargas verticales provenientes de cargas vivas ni muertas de una estructura como un todo.

2. Formaleta Modular. El sistema de formaletas modulares se compone de cuatro elementos base: Panel, tirante, cerrojo y cuña. (Ver anexos, Ilustraciones No. 2)

El marco de los paneles está fabricado de un perfil que nos proporciona lados derechos y ángulos rectos en las esquinas para dar un contacto preciso entre paneles. Además, el marco metálico protege los cantos del "triplay" (madera que se ajusta a la formaleta) lo que asegura la larga vida y la máxima reutilización de ésta.

Este triplay es asegurado al marco metálico por medio de remaches bifurcados metálicos, los cuales son fácilmente removibles para cambiar el triplay que usualmente es de 12 mm., de espesor con una cara de contacto tratada. Se estima que el triplay garantiza entre 80 y hasta 100 usos dependiendo del cuidado. (Ver anexos, Ilustraciones No. 2)

La profundidad y el tamaño en el perfil del marco, nos permite la colocación justa de los tirantes para evitar cualquier movimiento en el ancho de los muros.

Las cuñas de acero templado, fijan los tirantes a los paneles y evitan cualquier movimiento en el espesor de los muros.

El cerrojo es un accesorio de sujeción que sirve para unir las esquinas, ciertos accesorios y fijar paneles con paneles.

Los tirantes de acero absorben la carga transmitida por el concreto, dan la medida exacta del espesor del muro y suprimen la pérdida de tiempo, al no tener que verificarse las medidas. Los tirantes planos son recuperables, tienen una vida de 30 usos aproximadamente y son para muros. Los tirantes de oreja tienen un sólo uso y se utilizan en muros que vayan a contener líquidos, en cabezas de muro y en ciertas medidas de columnas.

Existen complementos angulares que se utilizan para hacer ajustes que no se logren con los paneles. También se pueden utilizar canales para compensar distintas longitudes de muros y esquineros interiores y exteriores. (Ver anexos, Ilustraciones No. 2)

a.- Sistema de construcción de paredes de concreto o concreto liviano y formaleta modular. Con el sistema de formaletas modulares, la formaleta se puede acoplar fácilmente a cualquier tipo de proyecto o diseño arquitectónico, ya sea para edificios o casas. Dada su fabricación, el sistema permite fundir monolíticamente muros además de losas (en caso de ser fundidas) formando una estructura sismo-resistente y logrando un rendimiento de una vivienda diaria, aumentando la relación costo - beneficio.

El sistema de encofrado de la formaleta está compuesto por paneles y accesorios. Los paneles son conformados por la unión entre sí de perfiles extruidos con aleación estructural.

El proceso de cimentación se realiza de manera similar a cualquier otro sistema constructivo, partiendo de la preparación del terreno, y continuando con la excavación de la viga corrida y losa de cimentación que es el soporte de todos los muros portantes de carga de la estructura. Posteriormente se coloca todo el acero de refuerzo tanto en las vigas como en losa.

El vaciado o fundición de la losa de cimentación se realiza mediante el uso de concreto premezclado o producido en sitio.

b.- Colocación de malla. Del acero de arranque o pines pasados que deben dejarse en la armadura de losa y vigas de cimentación se amarran y traslapan las mallas electrosoldadas de refuerzo de muros, así mismo de requerirse, se instalarán las varillas de refuerzo.

c.- Instalaciones eléctricas, hidrosanitarias y de gas. Es importante el buen amarre de las tuberías de agua potable, mangueras o ductos para cableado eléctrico, bajadas de agua pluvial etc., en especial las cajas eléctricas dado que en el proceso de la fundición pueden desplazarse quedando desalineadas. Las cajas deben ser rellenas con papel o selladas con plástico para evitar la penetración de concreto en la fundición. Apoyándose en la malla se fijan los ductos y elementos según lo determine el plano. También se colocan los separadores, los cuales sirven para que la malla no se pegue al muro.

d.- Encofrado. Antes de comenzar a encofrar se debe aplicar el desmoldante o desencofrante a los paneles para que el concreto no se adhiera a estos y sea fácil removerlos al fraguar el concreto.

Se debe tener mucho cuidado en realizar correctamente el trazo de los muros, con el fin de definir el posicionamiento y espesor, que puede ser de 8, 10, 12, 15 cms, etc. (dependiendo del cálculo estructural).

Habiendo revisado previamente la colocación de las mallas, el acero de refuerzo y que las instalaciones estén debidamente colocadas de acuerdo con los planos, se prosigue al montaje de la formaleta de los muros. La unión entre paneles se realiza con pines, y cuñas; en la medida en que se ensamblan las dos caras de cada muro. Las formaletas para muros están conformadas en su gran mayoría por paneles estándar, lo que hace más versátil y productivo el sistema.

El proceso de montaje de la formaleta de muro se inicia con la colocación de los tableros de los muros interiores y se continúa con el de los exteriores. El hacerlo así facilita y agiliza la maniobra.

Para alinear los muros se utiliza un elemento llamado portalineador o en sustitución reglas de trazo, lo cual evita que los muros se "culebreen" en el momento de la fundición. (Ver anexos, Ilustraciones No. 2)

e.- Vanos. Los vanos para puertas y ventanas se definen directamente con el diseño de la formaleta, utilizando tapas de aluminio llamadas tapamuros. Cuando los marcos de puertas y ventanas sean en lámina de acero, estos pueden reemplazar los tapamuros y quedarán una vez instalados en el momento de la fundición.

Una vez terminado el ensamblaje de los paneles de los muros, se procede a colocar los tableros de la losa, esto en el caso de que fuese a construirse con losa fundida. Para esto existe un perfil conector, el cual tiene varias formas, permitiendo dar excelentes acabados. Con este sistema de formaletas, pueden fundirse losas planas o losas inclinadas.

Una vez terminada la labor de montaje de la formaleta de losa se procede a la instalación de las mallas de acero de refuerzo e igualmente las instalaciones eléctricas e hidráulicas y los separadores de malla. Al terminar todas las maniobras, se debe realizar una inspección visual, que consiste en verificar las nivelaciones y asegurarse de la correcta instalación de los accesorios.

El vaciado del concreto premezclado se puede realizar con carretilla, bomba o grúa. El concreto de muros y losa se realiza monolíticamente. (Ver anexos, Ilustraciones No. 2)

f.- Especificaciones recomendadas del concreto:

- La resistencia para muros va desde 84 hasta 210 Kg./cm².
- La gravilla a utilizar va desde 3/8" hasta 1/4".
- El asentamiento recomendado 8.5"
- Para muros se debe utilizar fluidificante.
- La resistencia para losa 210 Kg. /cm².
- Para losas se debe usar acelerante

Siempre en la fundición de muros se debe usar vibrador de preferencia de aguja de 35 mm, para extraer el aire del concreto, así como golpear la formaleta con martillo o mazo de caucho con el fin de obtener una superficie de perfecto acabado sin "ratoneras".

Al siguiente día se procede a desmontar las formaletas de muros y losas utilizando las herramientas adecuadas, dando inicio por los paneles de muros y finalmente los tableros de losa.

Las formaletas desmontadas serán montadas inmediatamente en la siguiente unidad de vivienda y se repite el proceso.

E.- FOMENTO DE HIPOTECAS ASEGURADAS (FHA).

1. FHA. El sistema FHA cobra vida en Guatemala con la creación del instituto de fomento de hipotecas aseguradas, mediante la emisión del decreto legislativo No. 1448 en junio del año 1,961. La creación del FHA fue llevada a cabo con miras a atraer financiamiento para la construcción de casas, para la clase media guatemalteca, la cual no está cubierta por las entidades públicas o estatales que invierten directamente en la construcción de viviendas, ni tienen suficiente capacidad económica para hacer frente por sí solos a este problema.

Básicamente consiste en un complejo operacional y financiero cuyo objetivo principal es atraer capitales para el financiamiento de construcción de viviendas, partiendo del criterio de que éstos afluyen en mayor volumen hacia estas inversiones, en la medida que se den plenas seguridades de recuperar su inversión al acreedor o inversionista. En realidad el FHA funciona como una compañía de seguros que, a cambio de una prima mensual, garantiza el pago de un crédito en caso de siniestro, entendiéndose como tal la falta de pago del deudor. Sin embargo no por esto debe pensarse en el FHA como una compañía de seguros más, con fines lucrativos, el FHA persigue promover la inversión de capitales privados en la construcción de vivienda tomando los riesgos necesarios para ofrecer plenas garantías al inversionista, a través del seguro de hipoteca.

El FHA atiende a través de las entidades aprobadas, la compra de vivienda proyectada, vivienda existente, la liberación de gravamen hipotecario, la construcción en terreno propio, la ampliación y mejoras de vivienda.

a.- Principios que rigen el seguro de hipoteca del FHA. Las operaciones de seguro de hipoteca del FHA tienen por objeto ayudar en la solución del problema de la vivienda, promoviendo la inversión de capitales privados en viviendas destinadas a darse en propiedad a familias que tienen niveles de ingresos y ahorro adecuados y suficientes para su adquisición, pero que necesitan que se les

concedan amplias facilidades de financiamiento. Se requiere que las operaciones respondan a los sanos principios que se infieren de la ley que rige al FHA y para ello es necesario el cumplimiento de condiciones que garanticen un sólido respaldo de la inversión con el valor del inmueble, que el mismo sea una inversión satisfactoria para el comprador, ofreciéndole seguridad y atractivo prolongado, y que sea adecuado a sus posibilidades.

Según las reglamentaciones vigentes se podrán asegurar hipotecas sobre inmuebles destinados a vivienda, ya sea de construcciones existentes o de construcciones que se proyectan específicamente para ser construidas y vendidas por el sistema FHA.

En todo caso, para asegurar el cumplimiento de los principios enunciados anteriormente, se requiere que se cumpla con requisitos mínimos en las condiciones del inmueble y en las características del comprador.

1) De los inmuebles. Todos los inmuebles objeto de seguro de hipoteca deberán llenar los requisitos generales

a) El terreno

- Localización que evite el uso inarmonioso a los fines residenciales contando con vías de comunicación y acceso adecuado por medio de una calle terminada con aceras apropiadas.
- Ser de área y proporciones adecuadas a la zona en que se localice.
- Características físicas adecuadas a la construcción, sin presentar riesgos de inundaciones, deslaves, erosiones, derrumbes, hundimientos, etc.

b) La construcción

- Tener condiciones estructurales satisfactorias que garanticen duración prolongada con un bajo costo de mantenimiento, y resistencia al uso y a los elementos.
- Calidad funcional como vivienda, con adecuada luz y ventilación naturales.

- Calidades estéticas.
- Suficiencia de servicio.

c) Los inmuebles existentes deberán estar al momento de solicitar el resguardo de asegurabilidad, en un estado de conservación satisfactorio, que no requieran de reparaciones inmediatas para su uso, excepto cuando el objeto del préstamo hipotecario sea para hacer las reparaciones necesarias.

d) Las viviendas proyectadas deberán llenar además de los requisitos generales, todos los aplicables de las normas de planificación y construcción. Si la construcción es en terreno que se deba urbanizar, es necesario que cumpla con todos los requisitos mínimos de urbanización, según las normas ya mencionadas.

e) El inmueble deberá constituir una finca debidamente registrada y sin anotaciones ni limitaciones que afecten la garantía hipotecaria a constituirse.

2) De los compradores. Los préstamos hipotecarios como inversiones, han de ser transacciones sólidas desde el punto de vista económico. La política de préstamos hipotecarios en el sistema FHA se fundamenta en que el deudor quiera y pueda continuar cumpliendo la obligación que adquiere en su calidad de dueño de la propiedad hipotecada.

Los préstamos hipotecarios han de constituir obligaciones que guarden relación apropiada con los ingresos de los que pagarán las amortizaciones de la obligación. En este sentido el FHA determinará la aceptabilidad del deudor en un préstamo hipotecario.

Cuando el destino de la vivienda sea para que la ocupen sus propietarios, deberá existir una relación apropiada entre el pago por concepto de vivienda y el ingreso efectivo del deudor hipotecario, en tal forma que constituya una proporción adecuada dentro del total de sus obligaciones. Considerándose así

mismo que uno de los principales objetivos del sistema es lograr que la mayor parte de las familias puedan adquirir su vivienda propia y que el interés motivante del comprador se estima en estos casos el de más alto grado, se permite que el porcentaje de la deuda inicial al valor de la propiedad sea el máximo reglamentado.

Cuando se trate de una transacción hipotecaria para financiar propiedades destinadas a ser dadas en arrendamiento, se deberá tener una relación adecuada de los ingresos que producirá por renta el inmueble, con los pagos que se deberán efectuar para amortizar la deuda. Para ello deberá existir una inversión inicial del comprador lo suficiente para que la parte de deuda pueda ser cubierta dentro de un plazo razonable con los ingresos del mismo bien hipotecado.

3) Calificación de préstamos hipotecarios. Para que sean asegurables los préstamos hipotecarios, se someterán a un análisis previo, teniendo en cuenta los siguientes factores:

- Que el inmueble sea adecuado y el destino que se le dará.
- El riesgo en el préstamo hipotecario se considera como la combinación de la probabilidad de que el deudor no cumpla la promesa de pago de acuerdo a lo estipulado, con la probabilidad de resarcir, mediante la negociación del inmueble recuperado, los gastos de hacer efectivo el seguro.
- No se puede considerar la venta forzosa para liquidar la deuda como una razón o fundamento económico para garantizar el préstamo, ya que aunque se eliminasen mediante la ejecución de la propiedad las pérdidas en la inversión del acreedor y del que asegura, esto constituirá una política inadecuada a los intereses de los deudores hipotecarios.
- Las probabilidades de que el interés del deudor hacia la propiedad que garantiza la hipoteca subsista por lo menos a través del período de la deuda.

2. Normas de construcción. Las normas del FHA contienen requisitos mínimos de observancia obligatoria y recomendaciones de conveniencia práctica. Los requisitos mínimos solamente tienen por objetivo prevenir o evitar riesgos o construcciones defectuosas, sin que necesariamente representen las condiciones más adecuadas desde un punto de vista de conveniencia y eficacia. Por lo tanto, estas normas no deben considerarse como un manual de especificaciones para proyectos, ya que generalmente se encontrará conveniente usar o especificar requisitos mayores a los aquí establecidos, tanto para la planificación como para la construcción de las edificaciones.

a.- Códigos y reglamentos locales. Los requisitos de estas normas han sido establecidos para satisfacer ciertos objetivos básicos del FHA y no deberán ser interpretados para relevar al constructor la responsabilidad de cumplir con las leyes, códigos y reglamentos vigentes.

Todos los proyectos que se presenten al FHA deberán cumplir como mínimo con los requisitos que se establezcan en estas normas y con todos los reglamentos y normas municipales vigentes y según el caso, las normas y reglamentos de otras instituciones estatales, así como lo aplicable del Código Civil. En todo caso, si existiese diferencia con las normas, regirán las más estrictas.

El FHA no asume ninguna responsabilidad de comprobar el cumplimiento de las leyes, códigos y reglamentos vigentes de otras instituciones o de hacer interpretaciones relacionadas con su aplicación en casos específicos.

b.- Requisitos estructurales.

- Todas las obras de construcción para viviendas deberán ajustarse a las leyes, reglamentos y regulaciones municipales o de otras instituciones, que estén vigentes y sean aplicables al caso y que tengan por objeto el logro de la seguridad física en las edificaciones. Cuando exista diferencia con las normas del FHA, regirán las más estrictas.

- Estas normas contienen requisitos mínimos de observancia obligatoria y recomendaciones de conveniencia práctica. Los requisitos mínimos solamente tienen por objeto prevenir o evitar riesgos o construcciones defectuosas, sin que necesariamente representen las condiciones más adecuadas desde un punto de vista de conveniencia y eficacia. Por lo tanto estas normas no deben considerarse como un manual de especificaciones para proyectos, ya que generalmente se encontrará conveniente usar o especificar requisitos mayores a los aquí establecidos.
- Cuando se desee efectuar algún cambio en la planificación, estando emitido el resguardo de asegurabilidad respectivo, debe someterse a la consideración del FHA por escrito y a través de la entidad aprobada correspondiente, a fin de que éste lo autorice y efectúe el análisis de la variación que pueda sufrir el resguardo.

c.- Resistencia del suelo. Se determinará en base a pruebas realizadas por un profesional especializado, debiendo presentarse los resultados obtenidos a este instituto como parte del proyecto de construcción.

En casos especialmente calificados por el FHA, cuando a juicio del mismo las pruebas no sean indispensables debido a la buena calidad del terreno y/o dimensiones e importancia de las estructuras, se examinará al constructor del cumplimiento del requisito anterior.

F. POLÍTICAS GUBERNAMENTALES. No hay duda de que todos los gobiernos durante los últimos cincuenta años, han intentado solucionar el problema habitacional del país, pero no han tenido éxito.

El mercado de la vivienda en Guatemala ha sido regulado e intervenido por el estado, dando lugar a una serie de distorsiones que, acumulativamente, han generado efectos contrarios a los que justificaron la intervención. Además, las

estrategias se han orientado hacia la construcción de nuevas unidades en la región metropolitana y han descuidado la causa fundamental del problema: los bajos ingresos familiares.

La ley recrea al FOGUAVI como una institución financiera de segundo piso (la cual canaliza recursos financieros a través de entidades intermediarias autorizadas, y no está facultada para realizar operaciones financieras directamente con el público) a fin de que otorgue subsidio directo y facilite el acceso al crédito a las familias en situación de pobreza y extrema pobreza, a través de las entidades intermediarias aprobadas.

Para recibir el subsidio se requiere un aporte previo por parte del beneficiario, de por lo menos el 10% del valor de la solución habitacional, que puede ser en efectivo, en materiales o en mano de obra; luego el aporte del Estado lo triplica hasta por el 75% del valor total (techo de Q.12, 000), la solución habitacional debe tener un precio máximo de Q.60, 000.

Para alcanzar el resto del monto requerido debe contratarse un préstamo, en condiciones de mercado, a través de los bancos involucrados.

V. DISEÑO

El enfoque del presente trabajo de investigación se basa en la comparación de los tiempos de producción necesarios para la construcción de elementos estructurales. Los sistemas en comparación, como se menciona anteriormente son: mampostería reforzada integral o pineada y formaletas modulares con fundición de concreto. Por motivos prácticos, las viviendas con las cuales fue realizado el presente estudio fueron calculadas estructuralmente con las normas de la Asociación Guatemalteca de Ingenieros Estructurales (AGIES), y la norma NR-4 2001 titulada "REQUISITOS ESPECIALES PARA VIVIENDA Y OTRAS CONSTRUCCIONES MENORES".

Fueron seguidas a cabalidad cada una de las recomendaciones y pasos para el diseño de una vivienda establecidos por las normas anteriormente mencionadas dando como resultado el diseño con el cual fue realizado posteriormente el estudio.

A continuación se describen cada uno de los pasos y criterios utilizados para el resultado final, que fue la vivienda en la cual se enfocó el estudio.

A. Ubicación

Para escoger el terreno en donde debía llevarse a cabo la construcción de las casas de las cuales se realizaron los estudios del presente trabajo de investigación debió indagarse sobre los siguientes aspectos:

- La existencia de fallas geológicas o fuentes sísmicas cercanas a la ubicación de dicho terreno
- Cercanía o exposición a inundaciones
- Composición de los estratos del terreno y la ubicación de la capa freática, para posterior análisis del posible fenómeno de licuefacción

Por otro lado, se indagó sobre la posibilidad de vientos fuertes, pero debido a la tipología de la construcción no representó ningún peligro.

B. Criterios básicos de configuración y orientación

Seguidamente se procedió a analizar los criterios básicos de configuración y orientación, de acuerdo a la norma AGIES NR-4, 2001, capítulo 3:

1. Lineamientos para la escogencia del sitio: Para el desarrollo topológico y estructural de nuestra vivienda se consideraron cinco aspectos básicos: *simplicidad, simetría, resistencia, rigidez y continuidad*.

En lo que respecta a simplicidad, fue diseñada una distribución equilibrada de los elementos resistentes tanto en planta como en elevación, entendiéndose con esto, que se buscó una geometría lo más rectangular posible, ya que esta figura demuestra un mejor comportamiento estructural. (Ver anexos, Planos casa)

En lo referente a la simetría, los elementos resistentes fueron distribuidos en forma simétrica, con respecto a dos direcciones ortogonales. Cabe mencionar que existe una especificación en la que el lado largo no debe ser mayor de tres veces el lado corto.

Para la resistencia de la vivienda se dispuso de elementos con dimensiones y materiales de construcción adecuados para soportar las acciones de fuerzas a las cuales puede verse expuesta. Por otro lado, se contó con muros resistentes a cargas laterales dispuestos en direcciones ortogonales, ya que por lo menos el 80% de las cargas de gravedad van a ser soportadas por éstos.

En cuanto a la rigidez, se respetó el aspecto de poseer suficientes elementos estructurales para que la deformación lateral no fuese excesiva y que pudiese causar daños en paredes o divisiones no estructurales, acabados arquitectónicos e instalaciones que usualmente son elementos frágiles que no soportan cargas. También se revisó que la rigidez fuera similar aproximadamente en direcciones

ortogonales, tomando en cuenta que la rigidez total menor no fuese menor que el 40% de la rigidez total en la otra dirección.

En cuanto a la continuidad de la estructura, se consideró que los elementos resistentes verticales y horizontales transmitieran en forma directa y siguiendo el camino más corto las cargas a las cuales son sometidos, desde donde se originan hasta la cimentación y por último al suelo.

2. Aspectos climáticos: La orientación de la vivienda fue establecida de tal manera que el sol de las mañanas fuese aprovechado por las fachadas del este, y el de las tardes por las fachadas del oeste.

3. Aberturas en muros: En cuanto a las aberturas en los muros, fueron hechas de tal forma que la ubicación de éstas favoreciera el control de la incidencia solar y el aprovechamiento de los vientos dominantes, ayudando al control climático de las edificaciones. El rango óptimo para aberturas medianas es de 20% a 40% en los muros norte-sur, y nuestro diseño cumple con esta condición.

C. Materiales

De acuerdo con los requerimientos de la vivienda y cumpliendo con las normas de AGIES NR-4, 2001, capítulo 4, las especificaciones de los materiales de construcción fueron los siguientes:

1. Cemento: El cemento utilizado en la construcción de la vivienda fue Pórtland tipo 1 modificado, tanto para la de mampostería reforzada pineada como para la de muros fundidos.

2. Acero: Las varillas de refuerzo en la vivienda realizada con mampostería integral fueron corrugadas grado 40 de 3/8" y de 1/2". En el otro diseño fue utilizada estructomalla grado 70 con dimensiones 6x6/4.5/4.5 y un traslape de 30 cm.

Para los cimientos y soleras fueron utilizados como refuerzo longitudinal varillas de 3/8" y estribos de 1/4". Los empalmes en las varillas se estandarizaron en 31 cm., esto para varillas de 3/8" y 1/2".

La longitud de desarrollo para los estribos fue 2.5 veces el diámetro de la barra.

3. Concreto: De acuerdo a lo especificado en la norma AGIES NR-4, la mezcla a utilizar debe tener las proporciones indicadas. (Ver anexos, Tablas No. 5)

El piedrín utilizado fue de 3/4" en cimientos y de 3/8" en el resto de elementos estructurales.

4. Bloques de concreto: La resistencia mínima requerida de acuerdo al tipo de edificación establecido por las normas fue de 25 Kg. / cm² para la construcción con mampostería reforzada integral y techo liviano. La dimensión de bloque utilizado en nuestro diseño fue de 14x19x39cm.

5. Mortero: El tipo de mortero utilizado para la construcción de nuestra vivienda de mampostería fue el tipo M, con las siguientes proporciones: 1 parte de cemento, 1/4 de cal y 2 1/4 de arena de río, con lo cual se alcanza una resistencia a la compresión de hasta 175 Kg. / cm².

D. Cimentación.

De acuerdo a los requerimientos de la norma AGIES NR-4, 2001, capítulo 5, se utilizan las siguientes especificaciones:

Para la vivienda diseñada con estructura de mampostería reforzada integral y techo liviano, la cimentación consiste en un cimiento corrido de concreto reforzado con un ancho de 0.35m por 0.20m de peralte. El refuerzo consiste de dos varillas de 3/8" corridas con eslabón de 1/4" a cada 0.15m. En seguida una hilada de bloque "U" con una costilla de 3/8" y eslabón de 1/4" a cada 0.15m.

Para la vivienda diseñada con muros fundidos en el lugar y techo liviano, la cimentación consiste de una losa de cimentación con estructomalla 6*6 10/10 y un espesor de 0.08m. En todos los bordes de la vivienda y bajo todos los muros de

carga se debe hacer un “diente” con la misma estructomalla de 0.10m de ancho y 0.25m de profundidad. Además en estos se debe reforzar la estructomalla con varillas de 3/8” o bien sustituirlas por varillas de 6.2mm de alta resistencia. En este cimiento deben dejarse incrustadas las esperas a las cuales se amarran las mallas electrosoldadas que refuerzan los muros. (Ver anexos, Planos casa)

E. Paredes o muros.

De acuerdo a los requerimientos de la norma AGIES NR-4 2001, capítulo 6, se cumplió con las siguientes especificaciones para paredes:

De acuerdo al diseño estructural de esta vivienda se utilizaron muros de carga y muros de tabique.

El tipo de mampostería utilizada en nuestro diseño es mampostería reforzada integral. En este tipo de muro el acero de refuerzo que se instala tanto en el sentido horizontal como vertical, se coloca en las celdas correspondientes a las unidades con vacíos y/o en el espacio de las áreas libres limitadas por las paredes de las unidades para levantado. Los refuerzos verticales pueden requerir eslabones o estribos en algunas posiciones.

- Según especificación, la altura de cada piso no debe ser mayor que 3.15 m para zona sísmica 3 y 4, teniendo nosotros 2.40m.
- La relación entre la altura total de la construcción y la longitud del lado menor del rectángulo que circunscribe, no deberá ser mayor de 0.90 en la zona sísmica 4.
- Según alguna de las dos direcciones ortogonales principales de la construcción, debe existir como mínimo, dos planos de muros resistentes a cargas laterales, perimetrales y paralelos.
- De acuerdo a la norma y cumpliendo con esta especificación, cada plano de muros puede estar integrado por varios paneles, pero la longitud de cada uno de estos no debe ser menor que el 75% de la altura del piso correspondiente.

- También debe respetarse que el diseño cumpla con la especificación en la cual se establece que cada uno de los planos de los muros esté vinculado a la estructura del techo o entrepiso en por lo menos 50% de la longitud de la planta según la dirección considerada en zona sísmica 4.
- De la misma forma debe cumplirse con la especificación que, según la otra dirección principal de la construcción, deben existir por lo menos dos ejes de muros resistentes, los cuales en conjunto estén vinculados a la estructura del techo o entrepiso en por lo menos 80% en zona sísmica 4.
- Los muros de carga para nuestro diseño, deben tener un espesor no menor de 14cm para casas de mampostería de bloque en zona sísmica 4.
- La distancia libre horizontal máxima entre apoyos verticales de los muros de carga para muro de bloque de 14cm de espesor es de 7m.
- Se cumplió también con la especificación del coeficiente M_o para el cálculo de longitudes mínimas de muros de mampostería en dirección fuerte, con 14cm de espesor, para amenaza sísmica alta, que es de 0.21.
- El refuerzo en muros de carga partió desde el nivel inferior de la cimentación con un gancho de 20cm mínimo y se ancló en la parte superior de la solera de entrepiso o remate.
- Con respecto a refuerzo vertical o pines se respetaron las siguientes especificaciones:
 - Para “muro largo”, el refuerzo vertical es el principal y debe ser como mínimo 0.0008 veces el área bruta del muro, y el refuerzo horizontal debe ser 0.0005 veces el área bruta.
 - Para “muro alto”, el refuerzo horizontal es el principal y debe ser como mínimo 0.0008 veces el área bruta del muro, y el refuerzo vertical debe ser 0.0005 veces el área bruta.
- Para los muros de vivienda de 1 nivel, en los extremos de los muros se debe colocar como mínimo dos varillas de 3/8” en dos agujeros adyacentes más un eslabón de 2/8” en cada hilada (20cm) para el caso de bloques. En la

intersección de muros estructurales en forma de "L", se colocan 3 varillas de 3/8" en los tres agujeros más cercanos a la unión más un eslabón de 2/8" en forma de "L". En la intersección de muros estructurales en forma de "T", se colocan 4 varillas de 3/8" en los cuatro agujeros más cercanos a la unión más un eslabón de 2/8" en forma de "L" y un eslabón recto. El eslabón en forma de "L" debe apoyar 3 varillas y alternar el sentido en cada hilada para darle soporte a la otra varilla vertical.

- En puntos intermedios el espaciamiento máximo de las varillas verticales debe ser 80cm y el de las varillas de refuerzo horizontal de 50cm. El diámetro mínimo del refuerzo es de 3/8".
- Todos los sillares de ventanas van reforzados con un bloque "U" y una costilla de 3/8" y eslabón de 1/4" a 15cm para muros de 14cm de espesor. Dicho refuerzo debe anclarse por lo menos 60cm más allá de la esquina de la abertura.
- En cuanto a especificaciones sobre las aberturas de muros de carga, se tomaron en cuenta las siguientes especificaciones:
- Las aberturas de los muros estructurales son pequeñas, bien espaciadas y ubicadas lejos de las esquinas o extremos de los muros.
- El área total de los vanos de puertas y ventanas de un muro no es mayor del 35% del área total del muro. Además la suma de las longitudes de todos los vanos son menores que la mitad de la longitud total del muro. En el caso de muros largos en el que el anterior porcentaje permite colocar grandes áreas de ventanas, estas se subdividen en varias ventanas, insertando columnas o muros de tal forma que los dinteles no tengan luces libres mayores de 1m.
- Debe haber una distancia suficiente entre los vanos de un mismo muro. La distancia mínima horizontal entre vanos debe ser mayor que 50cm y en todo caso debe ser mayor que la mitad de la dimensión menor de las aberturas.
- Debe haber una distancia mínima del extremo de un muro al borde de una puerta de 50cm, o a la cuarta parte de la altura de la puerta. También en

ventanas cercanas al extremo de un muro, la distancia mínima será de 50cm o a la mitad de la altura de la ventana.

- No se deben dejar espacios en la parte superior de un muro, cerca de la solera de entrepiso o solera de corona. Un sismo puede hacer fallar fácilmente la columna si el muro no está completo en toda la altura, dado que la fuerza sísmica se concentra en el tramo de columna que no tiene muro.

- La longitud mínima del muro de carga esta dada por:

- $L_m = M_o * A_p = 28.91 (0.67) * 0.21 = 4.06\text{metros}$

- Lo cual se puede observar fácilmente en los planos que se cumple a cabalidad, tanto en dirección norte sur, como en este oeste.

NOTA: Para mejor apreciación de los detalles hacer referencia a los planos en anexos.

F. Muros fundidos.

Para los muros fundidos en el lugar con formales modulares se utilizaron las siguientes especificaciones de diseño:

- El área mínima del refuerzo tanto vertical como horizontal debe ser no menor de 0.002 veces el área transversal del muro y se coloca preferentemente formando camas de refuerzo.
- El espaciamiento máximo no excederá los 45cm o tres veces el ancho o espesor de la pared o muro.
- Este refuerzo vertical y horizontal puede ser a base de camas de varillas de 3/8" armadas en el lugar de la obra o, como en nuestro caso, mallas electrosoldadas de grado 70 en diámetros milimétricos (6*6 6/6).
- Debe colocarse un refuerzo vertical en los extremos de los muros, el cual será de tres varillas de 6.2mm intercaladas entre los cuadros de la malla

electrosoldada y en posición vertical. El uso de eslabones en forma de L y rectos se limita en este diseño por cumplimiento de área de acero y refuerzo horizontal y vertical en esquinas y extremos de muros.

- Todos los bordes verticales de aberturas de puertas y ventanas serán reforzados con una varilla de 3/8" o bien de 6.2mm grado 70.
- Todos los sillares de ventanas irán reforzados con dos varillas de 3/8" y eslabones de 1/4" a cada 15cm., o bien, pueden sustituirse por varillas grado 70 en diámetros milimétricos. Dicho refuerzo deberá anclarse por lo menos 60cm., más allá de la esquina de la abertura. (Ver anexos, Planos casa)

VI. RESULTADOS

**CUADRO COMPARATIVO DE CASAS TIPO AMANECER CON MUROS FUNDIDOS
Y TIPO AMANECER CON MUROS DE BLOCK**

**COMPARACIÓN DE CANTIDAD DE OPERARIOS EN GRUPO DE LEVANTADO O
FUNDICIÓN DE MUROS Y TIEMPOS DE PRODUCCIÓN**

TIPO DE CASA	AREA CONSTRUIDA	LONGITUD DE MUROS	AREA DE MUROS	OPERARIOS X CASA P/ MUROS	TIEMPO REQUERIDO X CASA	TIEMPO TOTAL OBRA X OPERARIO
AMANECEER (muros fundidos)	30.00 m ²	22.90 ml.	53.66 m ²	- 1 albañiles - 6 ayudantes	- 1.25 días (10 horas)	- 10 hrs. Albañil - 60 hrs. ayudantes
AMANECEER (muros de block)	30.00 m ²	22.90 ml.	53.66 m ²	- 4 albañiles - 3 ayudantes	- 1.25 días (10 horas)	- 40 hrs. Albañil - 30 hrs. ayudantes

Fuente: Hojas de tabulación y cálculo de tiempos de ejecución de obra a octubre 2003. URCASA

**CUADRO COMPARATIVO DE CASAS TIPO AMANECEER CON MURROS FUNDIDOS
Y TIPO AMANECEER CON MURROS DE BLOCK**

**COMPARACIÓN DE COSTOS DE MANO DE OBRA POR OPERARIO EN GRUPO DE
LEVANTADO O FUNDICIÓN DE MURROS Y COSTOS TOTALES**

TIPO DE CASA	AREA CONSTRUIDA	LONGITUD DE MURROS	AREA DE MURROS	OPERARIOS X CASA P/ MURROS	COSTO MANO DE OBRA X 10 CASAS MURROS	COSTO TOTAL MURROS X CASA
AMANECEER (muros fundidos)	30.00 m ²	22.90 ml.	53.66 m ²	- 1 albañiles - 6 ayudantes	Q1800.00 albañil Q820.00 ayudante	Q 672.00
AMANECEER (muros de block)	30.00 m ²	22.90 ml.	53.66 m ²	- 4 albañiles - 3 ayudantes	Q1400.00 albañil Q670.00 ayudante	Q 761.00

Fuente: Hojas de tabulación y cálculo de costos mano de obra a octubre 2003. URCASA

METAS DE TRABAJO POR GRUPO CON CANTIDADES DE OPERARIOS

CASA TIPO AMANE CER CON MUROS DE BLOCK (PINEADA)

Semana	Actividad y metas de trabajo	Cantidad Albañiles	Cantidad Ayudantes	Salario Albañiles	Salario Ayudantes	Precio X Meta
0	Armadura	2	2	880.00	520.00	3940.00
1	Trazo-Excavación	1	3	850.00	520.00	3220.00
2	Cimentación(200ml)	2	3	950.00	520.00	4720.00
3	Drenajes e instalaciones	1	2	850.00	520.00	2580.00
4	Levantado	4	3	950.00	550.00	7610.00
5	Resanado	2	2	900.00	520.00	3980.00
6	Techo(lamina)	1	1	900.00	520.00	1990.00
7	Retoques finales	1	2	800.00	520.00	2530.00
		14	18			30570.00

Salario de albañiles + Q450.00 de bonificación; Salario de ayudantes + Q120.00 de bonificación

Precios mano de obra por meta equivalente a 10 casas por catorcena; precio por casa = Q3,057.00

METAS DE TRABAJO POR GRUPO CON CANTIDADES DE OPERARIOS

CASA TIPO AMANECER CON MUROS FUNDIDOS (FORMALETAS MODULARES)

Semana	Actividad y metas de trabajo	Cantidad Albañiles	Cantidad Ayudantes	Salario Albañiles	Salario Ayudantes	Precio X Meta
0	Armadura	1	2	880.00	520.00	2610.00
1	Trazo-Excavación	1	2	850.00	520.00	2580.00
1 y 2	Drenajes e instalaciones	1	2	850.00	520.00	2580.00
2	Cimentación(200ml)	2	3	950.00	520.00	4720.00
3	Levantado	1	6	1350.00	700.00	6720.00
4	Techo(lamina)	1	1	900.00	520.00	1990.00
5	Retocques finales	1	2	800.00	520.00	2530.00
		8	18			23730.00

Salario de albañiles + Q450.00 de bonificación; Salario de ayudantes + Q120.00 de bonificación

Precios mano de obra por meta equivalente a 10 casas por catorce; precio por casa = Q2,373.00

Fuente: Hojas de tabulación y cálculo de cantidad de mano de obra con precios por meta de trabajo a octubre 2003. URCASA

VII. CONCLUSIONES

1. Al realizar el estudio comparativo de los dos sistemas de construcción propuestos para elementos estructurales verticales (muros), se observó que ambos tienen un tiempo de ejecución igual para la vivienda con la cual fue realizado el estudio.
2. Al construir con el sistema de formaletas modulares se reducen el número de metas constructivas, así como la cantidad de personal de mano de obra y de mano de obra calificada.
3. El sistema de construcción con formaletas modulares y muros fundidos representa una ventaja comparativa con respecto al método alternativo propuesto de muros de mampostería integral por el fácil manejo y rápido aprendizaje de los operarios para utilizar la cimbra.
4. Proponer un sistema constructivo que requiere de menor número de personal calificado redundante positivamente en la rentabilidad, y por ende, para los constructores la tasa de retorno de la inversión es recuperable en menor tiempo, lo cual da capacidad de volver a invertir.
5. Ambos sistemas constructivos representan métodos viables para la construcción de vivienda de bajo costo en el país, aunque el método de muros fundidos reduce costos en una producción de vivienda en serie, ya que la inversión inicial que representa la compra de cimbra es alta.

VIII. RECOMENDACIONES

1. El déficit habitacional de vivienda en el país genera una creciente inestabilidad entre los sectores más populares además de multiplicación de problemas de todo tipo social. Es por esto que se recomienda promover e incentivar a la empresa privada a generar soluciones habitacionales de vivienda popular en todo el país con ayuda de instituciones gubernamentales que ofrezcan soluciones viables para adquisición de vivienda por parte de los más necesitados.
2. Los constructores de vivienda deben poner énfasis en buscar sistemas alternativos para la construcción de manera que les permita mejorar su producción y generar más empleos. El sistema alternativo a la mampostería reforzada propuesto en el presente trabajo es recomendable para todo tipo de vivienda y sobre todo para todo tipo de vivienda popular por sus altos estándares de calidad sismorresistente, velocidad de producción y reducción de costos a largo plazo.
3. Se recomienda a los profesionales de ingeniería y constructores en general dedicados a la construcción de vivienda utilizar el método de formaleas modulares con un exigente sistema de control de uso de las mismas. Esto alargará su vida útil además de su utilización de manera sistemática y en serie, lo cual evita su destrucción y se obtiene un ahorro y por ende mayor beneficio final.
4. Es recomendable una supervisión constante en cualquiera de los métodos constructivos a utilizar, pero sobre todo en el sistema de muros fundidos debe tenerse especial cuidado en el armado, fundición de los mismos con el concreto especificado, vibrado para evitar "ratoneras" y

futuras fisuras y rajaduras que afecten la estructura y tengan una molesta apariencia, curado del concreto y cuidado de la cimbra con desencofrantes y operarios bien elegidos para su utilización.

IX. BIBLIOGRAFÍA

1. Amrhein, James. 1994. *Reinforced Masonry Engineering Handbook*. Editorial Masonry Institute of America. Quinta edición. E.E.U.U.
2. Asociación Guatemalteca de Ingenieros Estructurales AGIES. 2001; *Normas Estructurales de Diseño y Construcción para la República de Guatemala: AGIES NR-4, Requisitos especiales para vivienda y otras construcciones menores*. Guatemala
3. Asociación de Investigación y Estudios Sociales de Guatemala ASIES 2003; *Asentamientos Precarios en la Ciudad de Guatemala, Primera y Segunda Parte*; Ciencias Sociales. Guatemala, Centro América
4. Asociación de Investigación y Estudios Sociales ASIES 1992; *Urgiendo una Política de Vivienda*. Ciudad de Guatemala, Guatemala, C.A.
5. *Boletín Estadístico No. 93 del período enero-marzo 2003*; Cámara Guatemalteca de la Construcción. Guatemala
6. Cementos Progreso; *Proceso de Elaboración del Cemento*. www.cementosprogreso.com ; Guatemala, Ciudad
7. Escribano Tejedor, Gregorio 1963; *Teoría Elemental de Estructuras*. Madrid, España. : Ediciones Castilla S.A.
8. Everard, Noel J., Tanner, John L., 1966. *Reinforced Concrete Design*, E.E.U.U. McGraw-Hill
9. Fomento de Hipotecas Aseguradas FHA 1974; *Normas de Planificación y Construcción para Casos Projectados*. Guatemala
10. Gómez Gonzáles, Carlos 1992; *Viviendas en Bloques Alineados*. México D.F.: Editorial Gustavo Gili, S.A. de C.V.
11. Gross, James G. *Recommended Practice for Engineered Brick Masonry* 1969. McLean, Virginia E.E.U.U.
12. Morelos y Pavón, José Ma. CIMBRAMEX 1997. Huixcuilucan. Edo. De México.

13. O'Brien, James 1971; Zilly, Robert G. *Contractors Management Handbook*. USA. McGraw Hill, Inc.
14. Parker, Harry 1972. *Ingeniería Simplificada Para Arquitectos y Constructores*. México, D.F., Editorial Limusa S.A.
15. Revista de la Cámara Guatemalteca de la Construcción CGC 2002. *Situación Actual del Sector Vivienda y Fideicomiso de Inversión, Fondo Hipotecario para la Vivienda. Una aventura llamada titularización*. Guatemala
16. Rodas, Francisco 1996. *Producción de suelo habitacional y de los servicios básicos en la periferia metropolitana de la Ciudad de Guatemala*. Guatemala, CEUR-CEMCA
17. *Sistemas de Cimbra CIMBRAMEX* 1998. Estado de México
18. *Sistemas de Cimbra para Vivienda CIMBRAMEX* 1998. Huixcuilucan, Estado de México.

X. ANEXOS

A.- TABLAS

TABLAS NO. 1

DIAGNÓSTICO HABITACIONAL

NOTA: Los datos presentados en los siguientes cuadros sólo indican las tendencias de crecimiento poblacional en los municipios y no deben tomarse como exactos debido a las limitaciones que la información obtenida de los censos nacionales presenta. En estudios sobre la calidad de los mismos se han detectado omisiones importantes que alteran los datos. El censo de 1981 por ejemplo, se considera poco confiables pues presenta cifras muy bajas, por lo que se han propuesto correcciones y ajustes.

Crecimiento poblacional de la aglomeración metropolitana de Guatemala

MUNICIPIO	POBLACIÓN URBANA				
	1950	1964	1973	1981	1994
Guatemala	284,922	572,671	700,504	754,243*	823,301
Mixto	4,134	7,756	115,015	180,681*	209,791
Villa Nueva	3,018	7,236	32,494	56,010*	101,295
Petapa	1,359	2,035	2,661	10,224*	12,949
Villa Canales	1,381	2,373	3,356	4,753*	5,525
Amatitlan	6,761	12,248	15,251	21,996*	36,999
Santa Catarina Pinula	1,160	2,212	3,129	5,042*	8,193
San Jose Pinula	1,890	2,554	3,694	5,296	7,225
Fraijanes	1,486	1,769	2,646	3,121	5,048
Palencia	2,593	3,114	3,291	3,818	6,007
San Pedro Ayampuc	2,776	3,340	3,345	3,842	5,679
Chinautla	1,672	2,601	26,762	30,077*	37,102
San Raimundo	1,287	1,624	1,889	2,519	4,579
San Juan Sacatepequez	3,658	5,363	5,820	6,726	8,349
San Pedro Sacatepequez	2,709	3,950	4,770	5,358	8,764

* Municipios donde se ha utilizado datos corregidos y aumentados por el Departamento Demográfico y Socioeconómico del INE (Velásquez, 1989:112).

Fuente: Elaboración con datos tomados de los Censos Nacionales de Población de 1973, 1981 y 1994, Rodas, F., 1996, p.82 y Velásquez, E., 1989, p.112.

Tasa de crecimiento de la población urbana (TCPU) de la aglomeración metropolitana en los distintos periodos inter censales

MUNICIPIO	TCPU			
	1950-64 (%)	1964-73 (%)	1973-81(%)	1981-94 (%)
Guatemala	5.11	2.26	0.92 *	0.67 *
Mixco	4.59	34.93	5.80 *	1.15 *
Villa Nueva	6.44	18.16	7.04 *	4.66 *
Petapa	2.92	3.02	18.32 *	1.83 *
Villa Canales	3.94	3.92	4.44 *	1.16 *
Amatitlán	4.33	2.46	4.68 *	4.08 *
Santa Catarina Pinula	4.71	3.92	6.14 *	3.80 *
San Jose Pinula	2.17	4.18	4.60	2.41
Fraijanes	1.25	4.57	2.08	3.76
Palencia	1.31	0.61	1.87	3.54
San Pedro Ayampuc	1.32	0.02	1.74	3.05
Chinautla	3.20	29.56	1.47 *	1.62 *
San Raimundo	1.67	1.69	3.66	4.70
San Juan Sacatepequez	2.77	0.91	1.82	1.67
San Pedro Sacatepequez	2.73	2.11	1.46	3.85
TCPU promedio de la población Urbana del país	4.46% **	3.49% **	2.3%**	3%

* Municipios donde se ha utilizado datos corregidos y aumentados por el Departamento Demográfico y Socioeconómico del INE (Velásquez, 1989:112).

** Datos tomados de Velásquez, E., 1989, p.113.

Fuente: Elaboración con datos tomados de los Censos Nacionales de Población de 1973, 1981 y 1994, Rodas, F., 1996, p.82 y Velásquez, E., 1989, p.112.

TABLAS NO. 2

EL MORTERO

<i>Material</i>	<i>Peso unitario (lb./pie³)</i>
Cemento Pórtland	94
Cal hidratada	40
Arena	80

La resistencia a la compresión después de 28 días para los diferentes tipos de morteros

<i>Tipo de mortero</i>	<i>Resistencia psi</i>
M	2500
S	1800
N	750
O	350
K	75

Las proporciones de los morteros por volúmenes

<i>Tipo de Mortero</i>	<i>Cemento Pórtland</i>	<i>Cal</i>	<i>Agregados</i>
M	1	$\frac{1}{4}$	No menos de $2\frac{1}{4}$ y no más de 3 veces la suma de los volúmenes de los cementos y cal usados
S	1	$\frac{1}{4}$ a $\frac{1}{2}$	
N	1	$\frac{1}{2}$ a $1\frac{1}{4}$	
O	1	$1\frac{1}{4}$ a $2\frac{1}{2}$	
K	1	$2\frac{1}{2}$ a 4	

TABLAS NO. 3

EL GROUT

Tipo del grout	Máxima altura para verter el grout (pies) (a)	Dimensiones mínimas del área total libre dentro de los espacios del grout y celdas (c,d)	
		Unidad hueca de mampostería	Unidad Multiwythe
Fino	1	$1\frac{1}{2} * 2$	$\frac{3}{4}$
Fino	5	$1\frac{1}{2} * 2$	$1\frac{1}{2} * 2$
Fino	8	$1\frac{1}{2} * 3$	$1\frac{1}{2} * 2$
Fino	12	$1\frac{3}{4} * 3$	$1\frac{1}{2} * 2$
Fino	24	$3 * 3$	2

Grueso	1	1 ½ * 3	1 ½
Grueso	5	2 ½ * 3	2
Grueso	8	3 * 3	2
Grueso	12	3 * 3	2 ½
Grueso	24	3 * 4	3

- (a) Ver también UBC sección 2104
 (b) El espacio del grout debe ser mayor que la suma de: 1) Las dimensiones mínimas del área total libre de la tabla No. 21-C; 2) El ancho de cualquier proyección de mortero dentro del espacio y 3) Las proyecciones horizontales de los diámetros del refuerzo horizontal dentro de la sección transversal del espacio del grout y de la celda.
 (c) Las dimensiones mínimas de área libre total debe ser hecha de uno o más áreas abiertas, con lo menos un área de ¾" o más de ancho.
 (d) UBC Tabla No. 21-C.

TABLAS NO. 4

CONCRETO LIVIANO

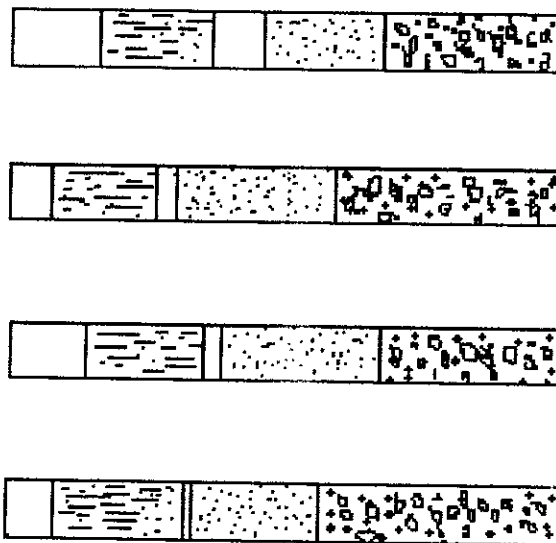
Grupos de concreto liviano

Sin finos	Agregados Livianos	Aireado
Gravas	Esquistos expandidos	Espuma preformada
Piedra triturada	Pizarras expandidas	Polvo de aluminio
Escoria gruesa de hulla	Cenizas sinterizadas	Peróxido de hidrógeno
Arcillas expandidas	Pómez	Cloruro de calcio
Pizarras expandidas	Vermiculita exfoliada	Espuma (inclusión aire)
Cenizas sinterizadas	Arcilla expandida	
Escorias espumosas	Agregados orgánicos	

TABLAS NO. 5

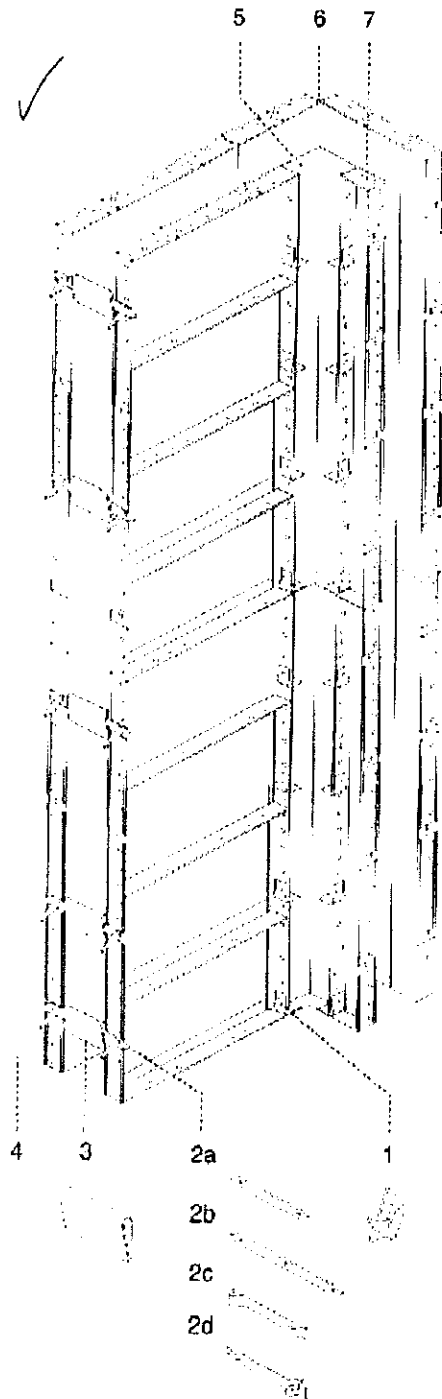
PROPORCIONES DEL CONCRETO AGIES

Elementos	Cemento	Arena	Grava
Cimientos	1 parte	2 partes	2 ½ partes
Columnas, vigas y muros fundidos	1 parte	2 partes	2 partes
Pisos	1 parte	2 partes	3 partes
Dinteles	1 parte	2 partes	3 partes

B.- ILUSTRACIONES**ILUSTRACIÓN NO. 1****EL CONCRETO**

Variación de las proporciones en volumen absoluto de los materiales usados en el concreto. Las barras 1 y 3 representan mezclas ricas con agregados pequeños. Las barras 2 y 4 representan mezclas pobres con agregados grandes.

ILUSTRACIONES NO. 2
SISTEMAS DE CONSTRUCCIÓN
ELEMENTOS DE FORMALETAS MODULARES



1. CERROJOS son elementos de sujeción que unen los marcos de los paneles entre sí con esquineros y otros accesorios.

2. TIRANTES de acero, absorben la carga transmitida por el concreto y garantizan la medida exacta del espesor del muro.

2a. Planos: Son recuperables y tienen una vida útil de 30 usos aproximadamente.

2b. Planos Dobles: Son utilizados en muros de colindancia y son recuperables.

2c. Media Oreja: Se utilizan en muros cabeceros, y enraques de muros. También son recuperables.

2d. Oreja: Se utilizan en muros de cisternas, en fronteras de losa, etc. No son recuperables, ya que se quedan ahogados en el concreto.

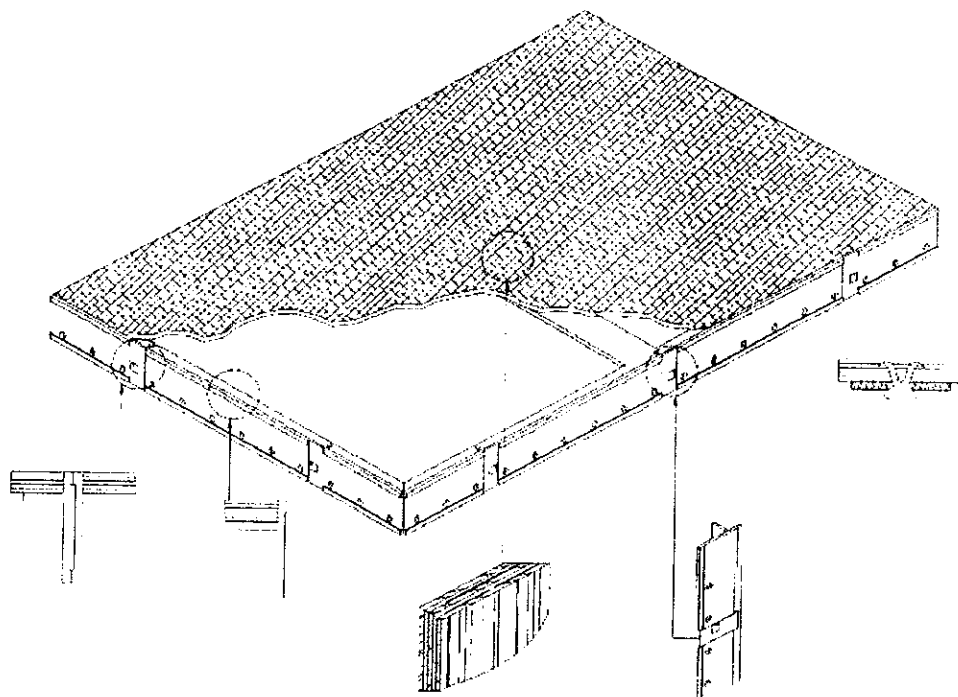
3. FUNDAS, se utilizan para evitar la entrada de lechada durante el colado y así recuperar los tirantes después del descimbrado, logrando hasta 30 usos de los tirantes. Estas fundas quedan ahogadas en el concreto.

4. CUÑAS de acero templado, fijan los tirantes a los paneles y evitan cualquier movimiento en el espesor de los muros.

5. ESQUINEROS INTERIORES se utilizan para cambiar la dirección del muro de 90° ó 135° , se colocan de manera rápida embonando perfectamente con cualquier panel.

6. ESQUINEROS EXTERIORES, se utilizan para formar ángulos de 45° ó 90° .

7. CANALES con cara de contacto metálica, se utilizan para compensar longitudes de los muros que no se pueden modular con paneles estándar, o bien, para unir dos paneles cuyas bases estén apoyadas a distinto nivel, así como también, para el ajuste de la circunferencia exterior de muros circulares.

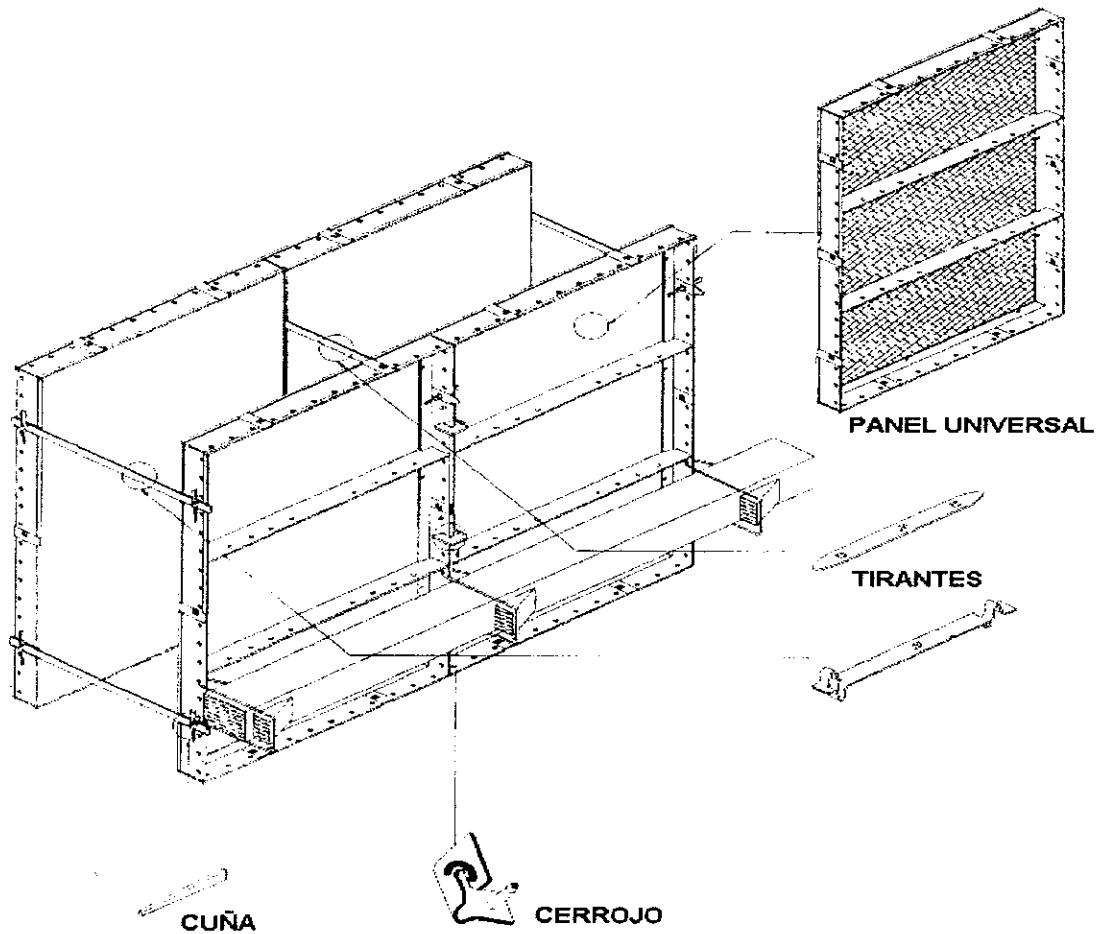


El marco de los paneles está fabricado de un perfil de acero que nos proporciona lados derechos y ángulos rectos en las esquinas para dar un contacto preciso entre paneles. Además, el marco metálico protege los cantos del triplay lo que asegura la larga vida y la máxima reutilización del mismo.

El triplay es de 12mm., de espesor con una cara de contacto tratada. Existen proveedores de triplay que garantizan hasta 80 usos.

La profundidad y el tamaño del fresado en el perfil del marco, nos permite la colocación justa de los tirantes para evitar cualquier movimiento en el ancho de los muros.

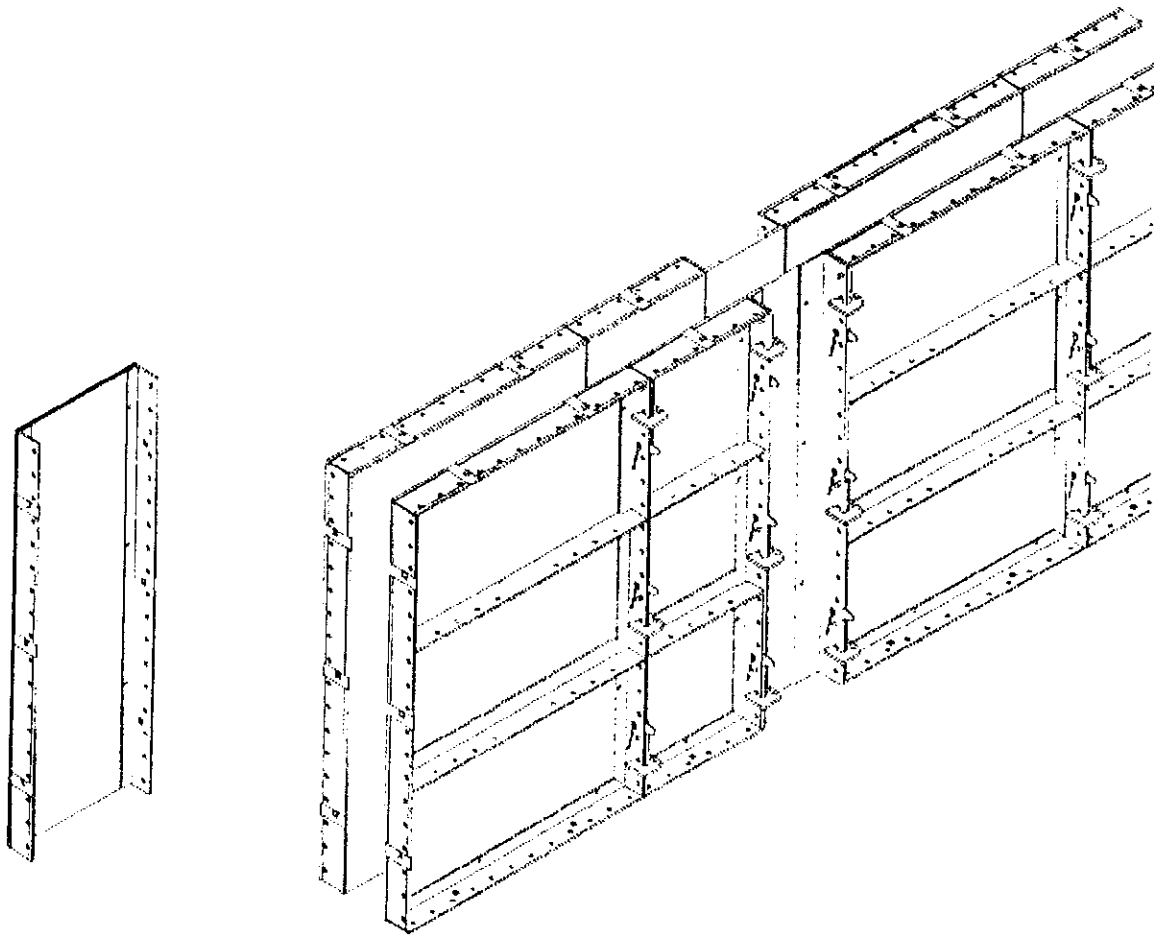
El triplay es asegurado al marco metálico por medio de remaches bifurcados metálicos, los cuales son fácilmente removibles para cambiar el triplay.



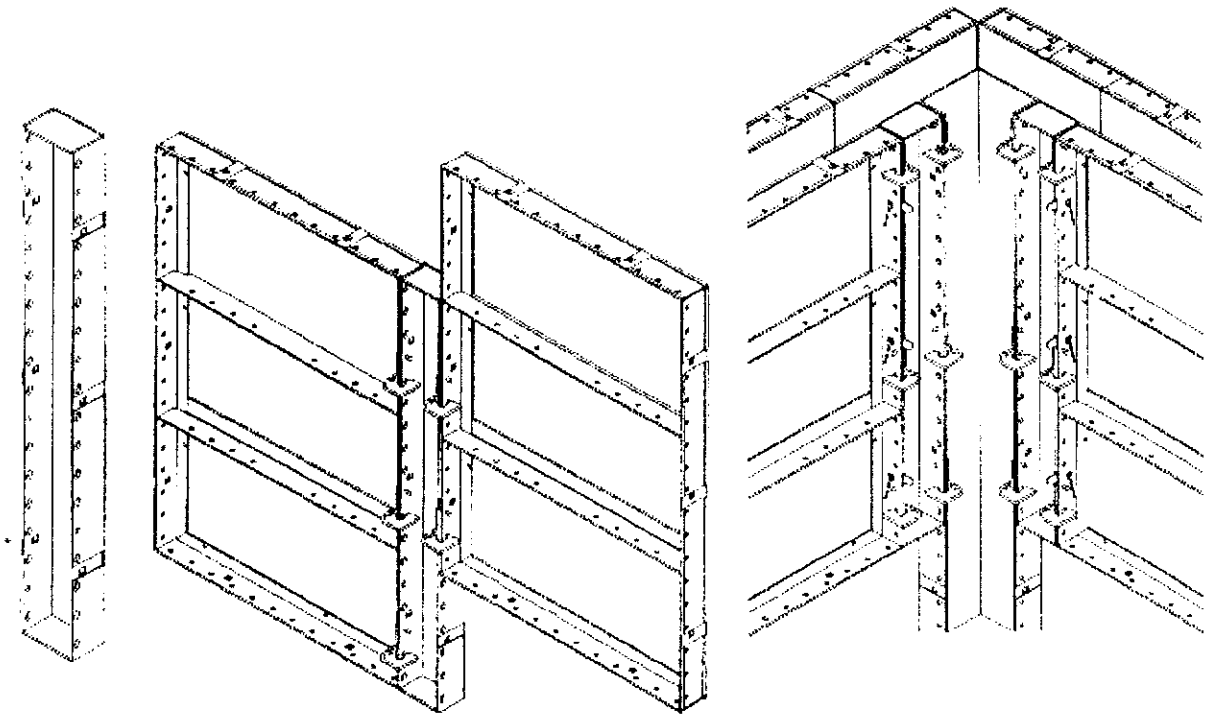
CUÑA: Las cuñas de acero templado, fijan los tirantes a los paneles y evitan cualquier movimiento en el espesor de los muros.

CERROJO: El cerrojo es un accesorio de sujeción que sirve para unir las esquinas, ciertos accesorios y fijar paneles con paneles.

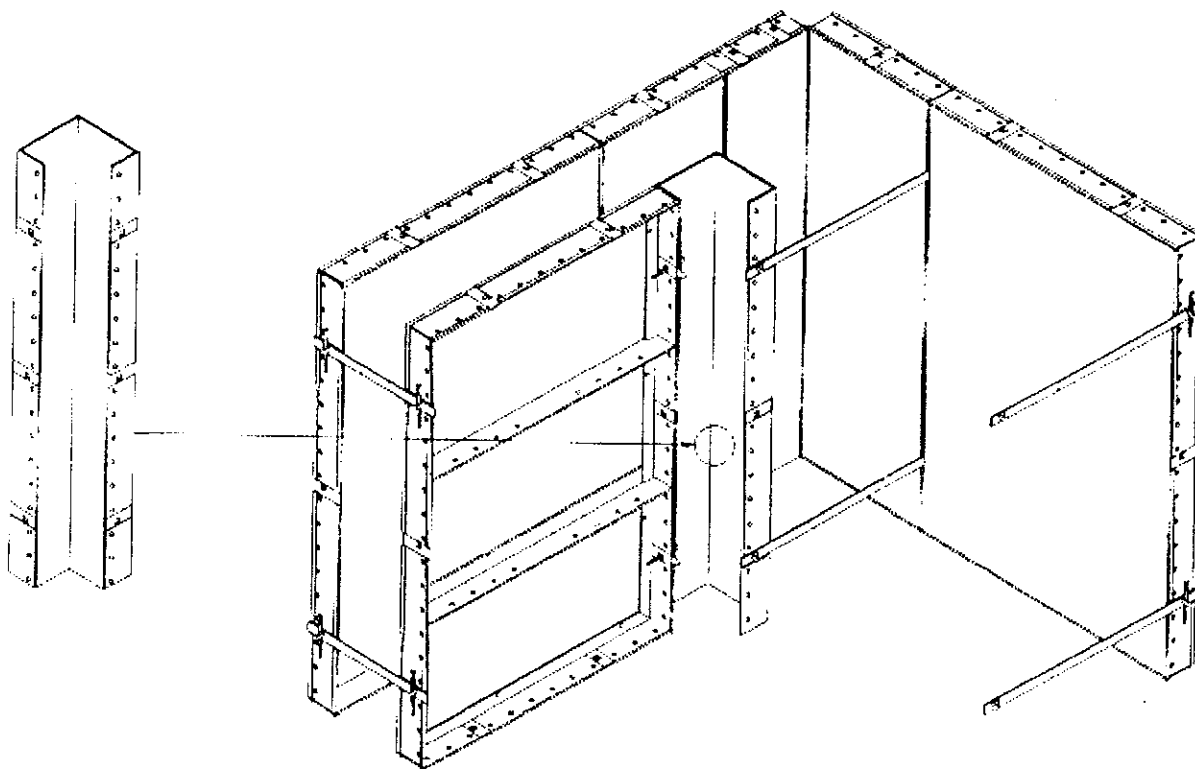
TIRANTES: Los tirantes de acero, absorben la carga transmitida por el concreto, dan la medida exacta del espesor del muro y suprimen la pérdida de tiempo, al no tener que verificarse las medidas. Los tirantes planos son recuperables, tienen una vida de 30 usos aproximadamente y son para muros. Los tirantes de oreja tienen un solo uso y se utilizan en muros que vayan a contener líquidos, en cabezas de muro y en ciertas medidas de columnas.



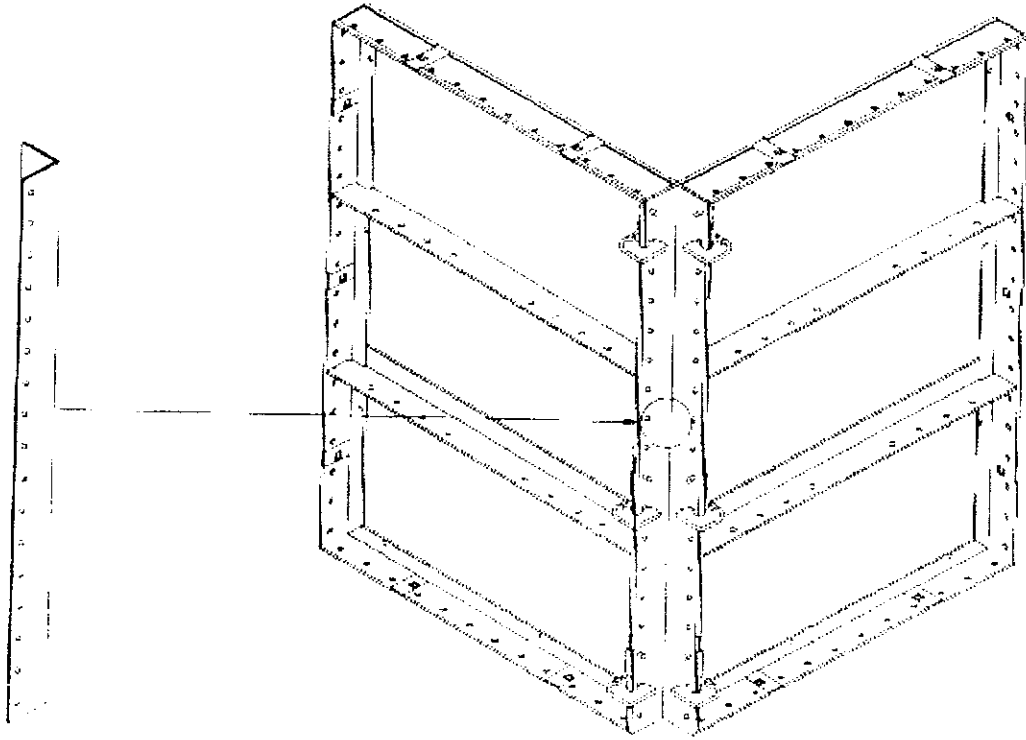
COMPLEMENTO ANGULAR: Los ajustes que no se puedan hacer con paneles, se pueden hacer con los Complementos Angulares. A estos se les coloca un triplay de 12 mm., de espesor en la medida que sea necesaria para dichos ajustes.



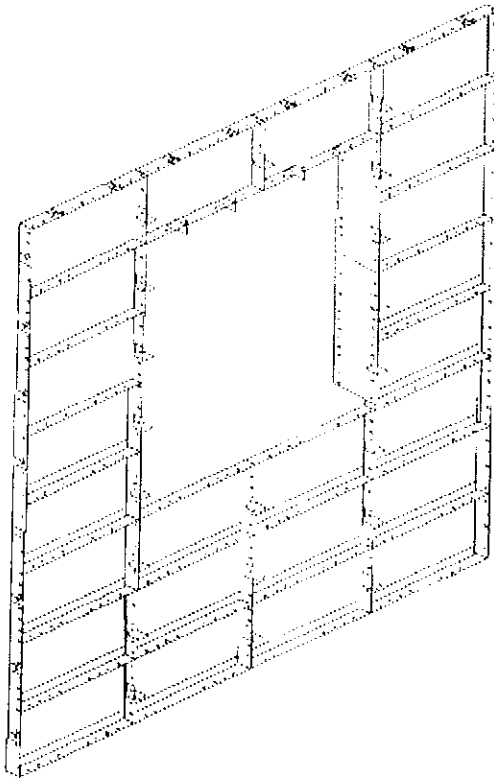
CANALES: Los canales pueden ser utilizados al cimbrar muros para compensar distintas longitudes de los muros. Además, se pueden emplear para unir dos paneles cuyas bases estén apoyadas a distinto nivel. También son usados en la construcción de muros circulares.



ESQUINERO INTERIOR: Las esquinas interiores son formadas con los esquineros interiores que embonan perfectamente con cualquier Panel Universal.



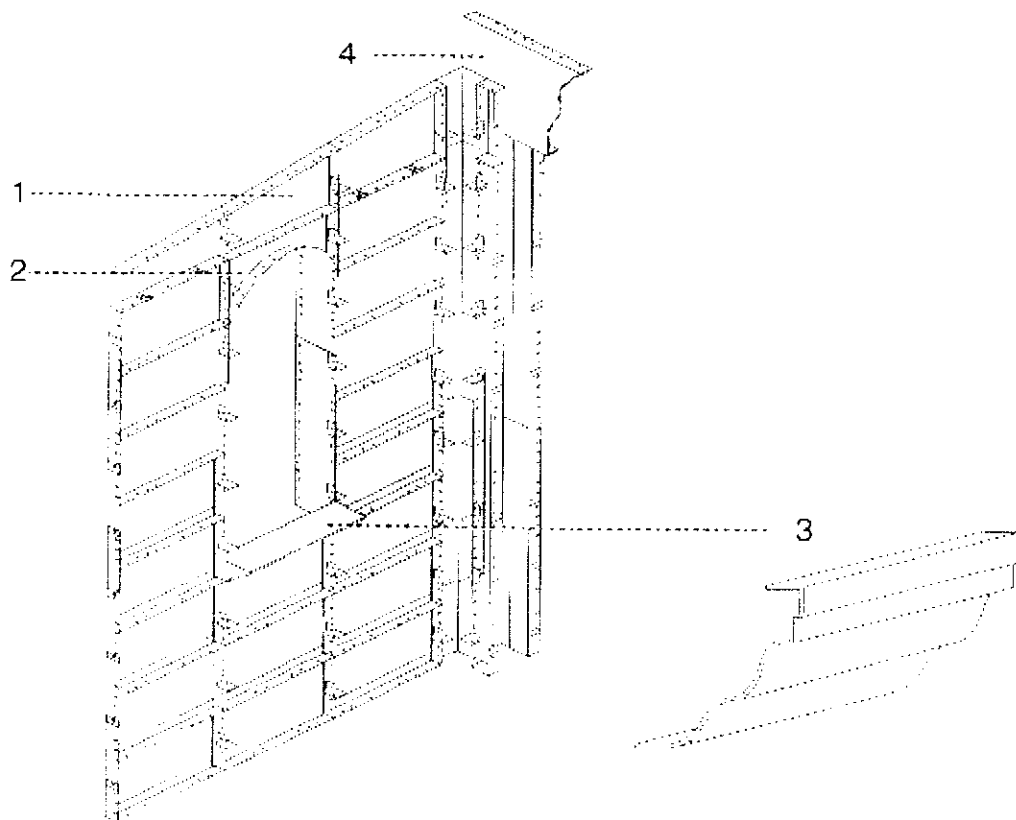
ESQUINERO EXTERIOR: Las esquinas exteriores se forman de una manera rápida, simple y segura utilizando los Esquineros Exteriores. Basta unirlos con cerrojos a los Paneles.



CIMBRADO DE VENTANAS Y PUERTAS

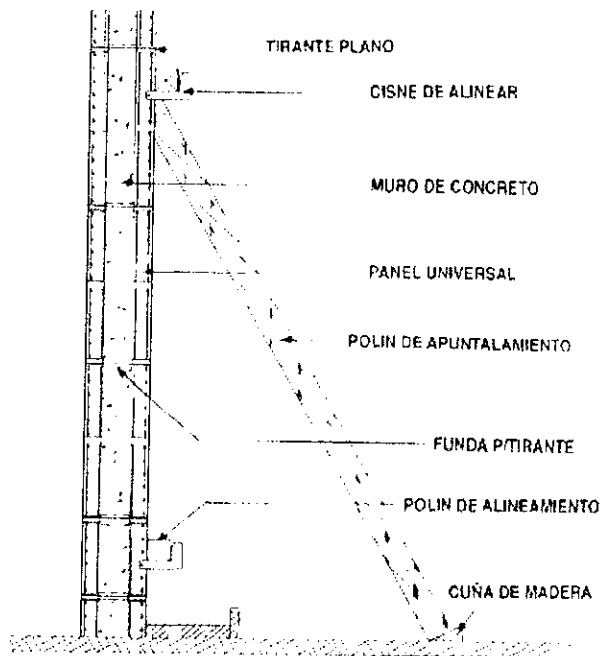
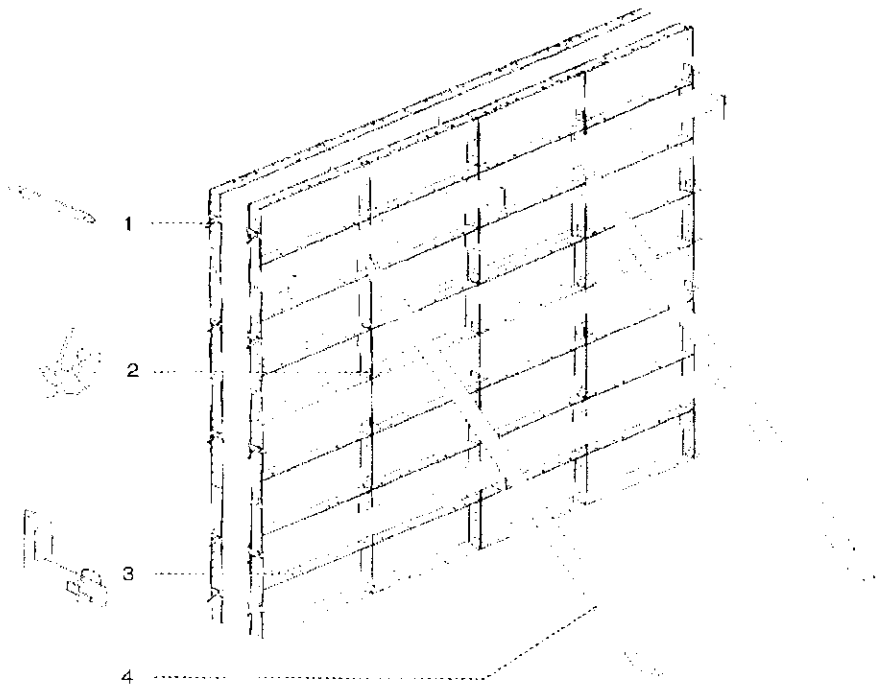
Se pueden construir todo tipo de claros de puertas y ventanas con gran facilidad y rapidez.

1. **CERRAMIENTOS** de puertas y ventanas, se forman con paneles colocados horizontalmente.
2. Las ventanas se arman utilizando placas **tapón**, colocadas verticalmente para los laterales. La placa tapón estándar para muro de 10cm puede ser de 60, 90 y 120cm de largo.
3. **ANTEPECHOS**, se cimbran con paneles cuyas dimensiones varían según las especificaciones de cada caso.



Es posible hacer detalles especiales como: cumbreras, cerramientos, molduras y fronteras, con solo utilizar los accesorios especiales que se fijan con cerrojos.

1. **CUMBRERAS**, se utilizan en muros para losa inclinada, de acuerdo a la pendiente de la losa.
2. **CERRAMIENTOS DE ARCO**, para puertas y ventanas que así lo requieran.
3. **PECHOS DE PALOMA**, se utilizan en los antepechos de ventanas o como cornizas en los muros de fachadas.
4. **FRONTERAS**, son para el perímetro de las losas y su peralte será determinado por el espesor de las mismas.



Se pueden construir los muros de una viviendas de interés social tal como la Amanecer (30 M² de construcción) cimbrando y fundiendo en una jornada de trabajo, con un equipo de 6 o menos cimbreros (operadores de cimbra) según la experiencia.

Antes de cimbrar es indispensable limpiar adecuadamente el área de contacto de los paneles y aplicarle una capa de desmoldante.

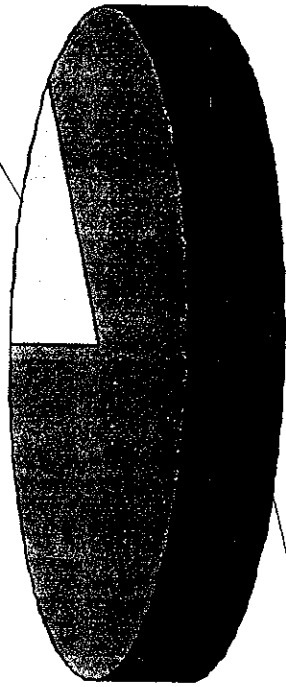
Además, a diferencia del sistema tradicional, el sistema de formaletas modulares, permite la construcción, como se menciona anteriormente, de por lo menos 80 muros de viviendas con un solo juego, sin necesidad de cambiar triplay.

1. En muros do 2.40m de altura se colocan 5 **TIRANTES**.
2. **CERROJOS**, se deben colocar cada 30cm.
3. La alineación de los muros se hace con el **CISNE** en una sola cara de la cimbra y en dos líneas de polines de alineamiento.
4. El plomeo se asegura colocando a cada 1.20m un **PUNTAL DE PLOMEO**.

C.- GRAFICAS

**Tiempo Total Obra X Operario
Formaletas Modulares**

Tiempo
Total Obra
X Operario,
Albañiles,
10 horas



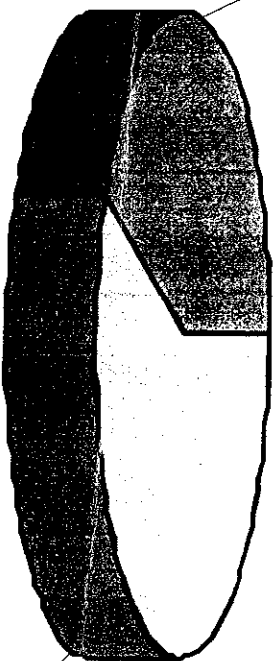
Tiempo
Total Obra
X Operario,
Ayudantes ,
60 horas

Tiempo Total Obra X Operario Mampostería Reforzada Integral

Tiempo

Total Obra

X Operario,
Ayudantes,
30 horas



Tiempo

Total Obra

X Operario,
Albañiles,
40 horas