

Comparativa entre Construcción Convencional en Puerto Rico y utilizando Paneles Prefabricados con Aislación

*José D. Pérez Fernández
Maestría en Ingeniería Civil
Carlos González, Ph.D.
Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental
Universidad Politécnica de Puerto Rico*

Resumen – Este artículo tienen como propósito mostrar los resultados de varios análisis realizados a una casa construida con un sistema de paneles prefabricados ultra livianos y una casa equivalente, utilizando los métodos convencionales de construcción en Puerto Rico, entiéndase concreto reforzado, mampostería y empañetado. La data del método alterno utilizado se obtuvo de una casa que se construyó en Bayamón, Puerto Rico y que nos permite obtener resultados reales. La comparativa de ambos sistemas se enfoca en el tiempo de ejecución de la obra de la construcción, costos, control de calidad y aislación térmica. Como resultado de la comparativa se puede evidenciar claramente que a pesar de que este sistema alterno de construcción posee ventaja en la mayoría de los renglones comparados, no tiene una economía significativa que permita la amortización de los costos capitales y de los costos fijos, minimizando a su vez el potencial de crecimiento como un alternativa a la construcción en la economía actual.

Términos Claves – Control de Calidad (CC), “Extruded Polystyrene Foam” (EPS), “Insulated Precast Panel” (IPP), Valor de Resistencia Termal (R), Valor F (FF- Floor Flatness / FL- Floor Levelness).

INTRODUCCIÓN

En Puerto Rico el método primario de construcción desde la década de los 40, ha sido utilizando concreto reforzado fundido en sitio y la utilización de bloques de mampostería para las paredes divisoras y elementos que no aportan valor estructural. La utilización de elementos prefabricados se ha utilizado en Puerto Rico desde la década de los 60 pero para esa época fue

principalmente para vigas y columnas para carreteras e infraestructura de transportación. Poco a poco los sistemas prefabricados fueron ganando terreno en los años 70 y precisamente uno de los pioneros que ha trabajado con el diseño, fabricación e instalación de estos elementos desde aquella época es el Arquitecto Oscar Martin, dueño de la fábrica donde se construyeron los “Insulated Precast Panels” (IPP). A pesar de que desde los años 70, los elementos de construcción prefabricados no son extraños en Puerto Rico, no es común la utilización de los mismos para construcciones del día a día, como casas y edificaciones pequeñas.

Buscando poder ofrecer un producto que sirviese como una alternativa a la construcción convencional en Puerto Rico, los Arquitecto Miguel y Manuel Redondo comenzaron a explorar alternativas que pudiesen abaratar costos, reducir el tiempo de construcción y mejorar el control de calidad. Esa visión fue la que los hizo pensar fuera de la caja y lanzarse a diseñar unas casas utilizando sistema IPP adaptándole toda la electricidad, plomerías y otras utilidades que minimizarían la labor que se hace en sitio.

Como primer proyecto para poder probar su producto, se le otorga la construcción de una casa en un solar de la calle Palmer en el mismo centro urbano del municipio de Bayamón. Este solar de por si traía retos adicionales para poder cumplir con el itinerario agresivo de dos semanas, ya que la calle solo contaba con 14 pies de ancho, en una pendiente de 37 grados y con cables eléctricos y de telecomunicaciones entre postes que a apenas estaban a 20 pies de altura del nivel de las aceras. Todo estas características afectaban la logística ya que limitaban las posiciones disponibles para la localización de las dos plataformas de sobre 40 pies de largo, que traerían

todos los elementos prefabricados. Esto a su vez minimizó la disponibilidad de las grúas que podrían utilizarse, ya que la misma debía tener suficiente capacidad en alcance y fuerza, pero que a su vez sus dimensiones y configuración no afectara adversamente los cables de electricidad y telecomunicaciones ni las propiedades colindantes.

Luego de que se pudieron resolver todos los problemas de logística el proyecto confrontó pocos problemas adicionales, la mayoría de ellos errores en fabricación. Tomando en consideración que esta casa fue el primer prototipo y que siempre hay una curva de aprendizaje se entiende a medida que se vaya repitiendo una y otra vez los mismos se disminuirían significativamente, eventualmente eliminándose. En la Figura 1 se puede apreciar la construcción de un IPP en la fábrica.



Figura 1
Construcción de un IPP de Techo en la Fábrica

TECNOLOGÍA

Tanto las paredes como los techos de esta casa se realizaron utilizando un sistema conocido como “Insulated Precast Panels” (IPP) o “Precast Sandwich Panel” (PSP). Estos IPP consisten de dos capas exteriores de concreto de una pulgada que confinan la capa central de EPS de 4” para un espesor de 6”. Estas capas están entrelazadas o unidas por una malla de acero que le brinda propiedades para resistir esfuerzos cortantes en dos direcciones (Ver Figura 2). Adicional a las mallas de acero los paneles cuentan con unos nervios internos en hormigón que ayudan a rigidizar las piezas y su función principal es servir como

estructura para la iza de los mismos en la fábrica y al momento de instalarlos.

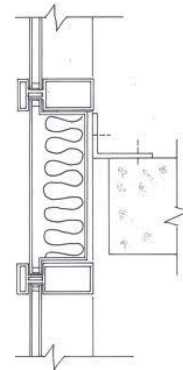


Figura 2
Sección de IPP de Pared

Todas las propiedades previamente mencionadas hacen que estos paneles sean altamente dúctiles, exhibiendo excelentes propiedades de deformación antes de que ocurra una falla y proveyendo una mayor razón de fuerza a peso que el hormigón convencional. A pesar de contar con estas características, para el diseño específico de esta casa, no se le otorgó valor en los cálculos de carga a estos paneles y lo que actúa como los elementos estructurales de la casa es un sistema de pórticos compuestos por columnas entre cada panel de pared y vigas en todo el perímetro y transversalmente en la dirección corta de la casa. Todos los moldes de las vigas y columnas están integrados dentro de los mismos paneles y quedarían permanentemente como parte de la misma estructura.

Estos paneles tienen un peso promedio de 52.67 lb/pc lo que los hace ultra livianos cuando los comparamos con sus contrapartes de concreto. A modo de ejemplo la pared más pesada de la casa (que resultó ser la más distante de la grúa) pesaba 3,424 lbs. Si la misma se hubiese trabajado como un prefabricado 100% de concreto el mismo hubiese pesado 9,750 lbs, o un 284% más. Elementos más pesados hubiesen requerido una grúa de mayor tamaño y capacidad que hubiesen complicado más la instalación en un solar tan pequeño y con las características especificadas. En la Figura 3 podemos apreciar la planta de la casa con su distribución y dimensiones.

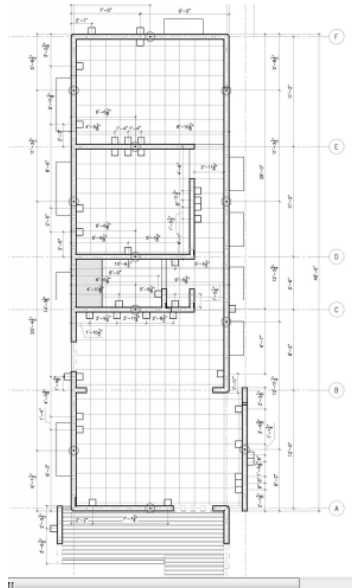


Figura 3

Planta de la Casa donde se Aprecia la Distribución Interior

METODOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN

- i. **Perisología y Fabricación de los IPP-** Este proceso toma entre 2 meses y medios a 3 meses teniendo como diferencia principal que el proceso de “construcción” comienza paralelamente con el proceso de perisología.
- ii. **Preparación y Fundición de Losa Estructural-** Este proceso es muy similar al que se realizaría en una construcción convencional con dos variantes principales. La primera variante es que se tuvieron que instalar unos bloques 8” x 13” de foam en la losa, para posteriormente poder hacer las uniones de las tuberías eléctricas, de telecomunicaciones y de plomería con las ya empotradas dentro de los IPP de pared. La segunda variante es que la terminación de la losa requería un FF ≥ 35 y un FL ≥ 20 , valores muy superiores a los valores estándar en la industria. El FF nos indica cuan liso es un piso y el FL nos indica cuan nivelado está el mismo. La razón primordial de estos requisitos es la necesidad de que IPP de paredes no queden en ángulos que impidan la instalación a nivel de los IPP de techo, con todas las consecuencias que esto implica. También estos valores permiten que no

se tenga que utilizar “topping”, ayudando a acortar el tiempo total de construcción e idóneamente los costos. La Figura 4 muestra la descripción de los valores F, según lo establece el ACI 117 [1].

Floor Classification	FF	FL
Conventional Bull floated	15	13
Conventional Straightedge	20	15
Flat	30	20
Very Flat	50	30

Figura 4

Números F según establecido en el ACI 117, Sección 4.5.6

- iii. **Instalación de los IPP de Paredes-** Este proceso tuvo ciertos retos por las características del sitio. Estos IPP llegaron en una plataforma de 40 pies de largo, en una calle de 14 pies de ancho, con una pendiente de 37° y con los cables del tendido eléctrico a menos de 20 pies de altura. Para la instalación de los mismos se contemplaba utilizar una grúa tipo “Cherry Picker” pero no se consiguió ninguna que fuera maniobrable bajo las condiciones antes descritas. Es por esto que se tuvo que utilizar una grúa tipo “Boom Truck”, que aunque de menor capacidad y más lenta podía maniobrar bajo las condiciones antes descritas e instalar los IPP en un solar de 200 metros cuadrados. El primer día solo se montaron 4 IPP de pared incluyendo la relocalización de la mayoría de estos dentro del mismo solar. Esta producción aumento sustancialmente luego de haber pasado la curva de aprendizaje en la obra. El sistema de refuerzo temporero utilizado a lo que se fundía las columnas fueron 4 x 4 de madera Douglas Fir con “turnbuckles” de acero.
- iv. **Fundición de Columnas entre IPP de Paredes-** Como descrito anteriormente para el diseño específico de esta casa no se le asignó valor estructural a los componentes de IPP. Los componentes estructurales de la casa están compuestos por columnas y vigas perimetrales y transversales. La diferencia principal entre el sistema convencional y este sistema es que no se requiere un sistema de encofrados ni se

- requiere descimbrar el mismo. El sistema de encofrado está incorporado a los mismos IPP y se completa en la unión de los IPP contiguos.
- v. **Instalación de los IPP de Techo-** La instalación de los IPP de techo fue mucho más simple ya que se tenían instaladas las paredes que servían como reglas. El mayor conflicto fue que hubo que rediseñar el acero de refuerzo de las vigas ya que las dimensiones variaron en muchas ocasiones y en algunos casos no se fabricaron según plano. El sistema de refuerzo temporero utilizado fue uno de puntales de 4,000 lbs de capacidad colocados en el perímetro y entre la junta de IPP de techos.
- vi. **Fundición de Vigas entre IPP de Techo-** La fundición de las vigas perimetrales y transversales fue uno relativamente sencillo. Al igual que las columnas el sistema de encofrado está incorporado dentro de los mismos IPP de Techo, por lo cual no hay que moldear ni descimbrar. La otra variante cuando se compara con la construcción convencional fue la mezcla de hormigón utilizada. Para poder cumplir con el itinerario que teníamos se tuvo que diseñar una mezcla que pudiera obtener el 75% de la resistencia (3,000psi) en menos de 24 horas. Aparte de esta característica se pidió fluida ya que en ciertas secciones de las vigas solo había 4 pulgadas para insertar el vibrador y se complicaba aún más por la cantidad de varilla #4 y #5 utilizada. En la Figura 5 muestra las propiedades de la mezcla utilizada para las vigas.
- vii. **Trabajos Eléctricos y de Plomería-** Al recibir la confirmación de que el hormigón excedió su capacidad de diseño por parte del laboratorio que realizó las pruebas de resistencia en compresión, se descimbró y comenzaron los trabajos eléctricos y de plomería. Estos se hicieron sumamente rápido ya que la mayor parte de los mismos estaban ya incorporados en los IPP.
- viii. **Terminaciones-** Los trabajos de terminación, entiéndase resanado, masilla, instalación de loza de piso, instalación de accesorios de baño, instalación de ventanas, pintura entre otros, se realizaron en solo 5 días. La clave en poder realizar estos trabajos en tan poco tiempo fue el control de calidad que se obtiene en la fábrica para todos los IPP y el control de calidad que hubo en la obra. En las Figuras 6 a la 10 se podrá observar el proceso desde la primera semana de la obra hasta el producto final.

Descripción	3,000 PSI @ 24 HRS
Resistencia de diseño	4,000 psi
Razón Agua/Cemento	0.32
Total de Agregados	2,698 lbs
Arena	0.48
% Aire	2.00%
Rendimiento	27
Peso Unitario	146.5 (PCF)
Aditivos Utilizados	Recover HS C494, Daratard C494, ADVA 190 & WRDA 60

Figura 5
Números F según establecido en el ACI 117, Sección 4.5.6



Figura 6
Día 3- Fundición de la Losa



Figura 7
Día 6- IPP de Pared en Proceso de Instalación



Figura 8
Día 11- IPP de Techo en Proceso de Instalación



Figura 9
Día 20- Terminaciones Interiores y Exteriores



Figura 10
Día 22- Producto Final

COMPARACIÓN DE SISTEMAS

Para poder determinar si el sistema de IPP aventaja o no al sistema de construcción convencional, se realizaron varios análisis y pruebas para poder compararlos. La comparativa que se realizó entre ambos sistemas fue en:

- Control de Calidad
- Tiempo de Ejecución
- Costos
- Aislación Térmica

Control de Calidad- El control de calidad en la construcción se define como el proceso de verificar que el proyecto se ejecuta según planificado, dentro de las tolerancias establecidas en la industria y en los estándares de ingeniería [4]. El propósito es que el producto final (y todas las fases requeridas para llegar a él) obtengan la calidad esperada por los arquitectos, ingenieros y dueños de la obra [3]. Como regla general en las fábricas y talleres se obtiene un mejor control de calidad que el que se obtiene en el “site” de un proyecto de construcción. En el caso de los IPP no es la excepción ya que los mismos se fabrican en un ambiente controlado donde:

- Se mantienen fácilmente homogeneidad en los materiales utilizados entendiéndose: piedra, arena, cemento, acero de refuerzo, etc.
- Mano de obra especializada que realiza la misma tarea una y otra vez.
- El proceso de verificación de medidas y localización de utilidades se hace fácilmente previo a la fundición de los IPP.
- En caso de errores se pueden rehacer trabajos sin impactar la ruta crítica, eliminando el problema de aceptación de baja calidad por falta de tiempo.



Figura 11
IPP de Pared con Panel y Cajas Eléctricas mientras se le Aplica Sellador en la Fábrica.

Por otro lado el control de calidad en una obra de construcción convencional es significativamente más complejo y en muchas ocasiones se requiere que un mismo trabajo se realice en múltiples ocasiones. A modo de ejemplo si el ingeniero o el supervisor que está encargado del control de calidad no estuvo en el momento que se cerró una pared para su fundición (ya que en una obra hay múltiples actividades ejecutándose a la misma vez) es posible que se quedara sin instalar alguna tubería o caja. A lo que se termina de moldear, se funde y se descimbra pudieran pasar varios días e inclusive semanas antes de uno poder percatarse del error y poder corregirlo (Ver Figura 11).

En el caso específico de la casa se construyó el 50% en la fábrica y el otro 50% se realizó en el “site”. En el caso de la construcción convencional el 100% de la obra se ejecuta en sitio y según hablamos anteriormente se tiende a tener un control de calidad inferior. En la Tabla 1 se podrá observar una comparativa entre los problemas típicos en una obra convencional y como se atienden en el sistema de IPP.

Tiempo de Ejecución- En cualquier obra de construcción el tiempo de ejecución siempre forma parte de los elementos que determinan:

- Modelo Financiero
- Viabilidad de la Obra
- A quien se le Adjudica la Construcción
- Plan de Mercadeo (si aplicara)

Partiendo de esta premisa fue que los arquitectos Redondo determinaron que el sistema de IPP podría ofrecer una ventaja significativa en el tiempo de ejecución de una obra, cuando se comparaba con los métodos utilizados convencionalmente.

Para cualquier construcción es necesario poder obtener todos los permisos y endosos de múltiples agencias gubernamentales y municipales. Este proceso actualmente en Puerto Rico fluctúa entre 2 y 3 meses, tiempo que coincide con el tiempo máximo de fabricación y entrega de los IPP desde la fábrica hasta la obra. En otras palabras, con el sistema de IPP se puede comenzar la construcción de

paredes y techos, paralelamente con el proceso de perisológica. Esto sin embargo no se puede realizar con el sistema convencional de construcción.

Tabla 1
Tabla Comparativa entre Problemas Típicos de Bajo CC y Contraparte en IPP

Problemas Típicos por un Pobre CC	Solución de IPP
Desaplomo en las Paredes	Al ser un solo elemento, liviano y rígido se facilita la nivelación de los apoyos temporeros hasta la fundición de las columnas
Empañetados Huecos	No hay empañetados. La terminación es 100% lisa en el mismo concreto (no en otro material).
Empañetados con Terminaciones Onduladas	No hay empañetados. La terminación es 100% lisa.
Tamaño de Huecos para Ventanas	El hueco se hace con una plantilla de la ventana en la fábrica, asegurando la medida exacta.
Tamaños de Huecos para Puertas	Por la naturaleza del sistema (tipo LEGO) los huecos de puertas salen
Filtraciones por Grietas Naturales en el Concreto	Ya que la fundición y el curado son en un ambiente techado y controlado, las grietas que ocurren naturalmente se disminuyen significativamente. Las micro grietas se corrigen con un sellador.
Filtraciones por Juntas	Las juntas están preestablecidas desde el día 1 por lo cual se pueden atender antes de que ocurra cualquier filtración.
Detalles Arquitectónicos	Las fundiciones en los moldes se realizan en "camas", lo cual facilita la incorporación de los mismos en el concreto ayudando a su alineación con respecto a los paneles, durabilidad y calidad.

Originalmente se quería realizar la construcción de la casa en un periodo de dos semanas. Siendo esta la primera casa o el modelo “beta” y con los retos que representó la localización y el “site” este itinerario no se pudo cumplir y tomó un total de 22 días calendarios. Como se puede apreciar en las Figuras de la 12 a la 14, claramente el tiempo de ejecución de la casa utilizando el sistema de IPP es significativamente inferior al que tomaría construir la misma casa en igualdad de condiciones con el sistema el sistema de construcción convencional.

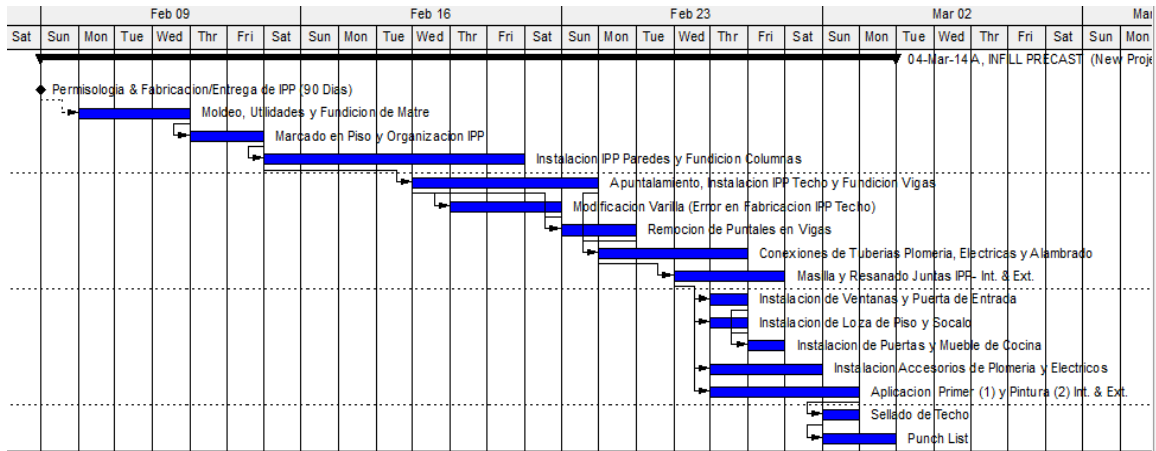


Figura 12
Diagrama Gannt según se Ejecutó Obra con IPP

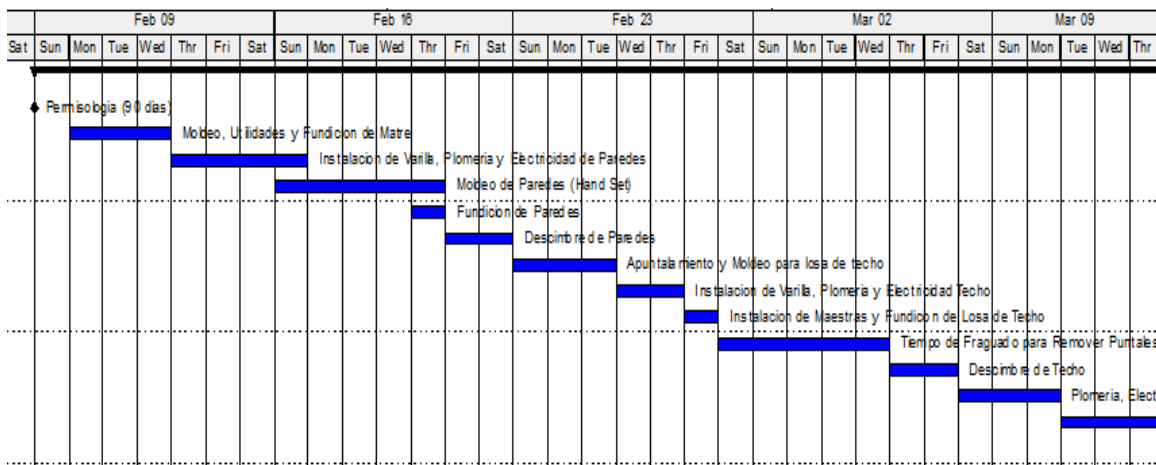


Figura 13
Diagrama Gannt para CC

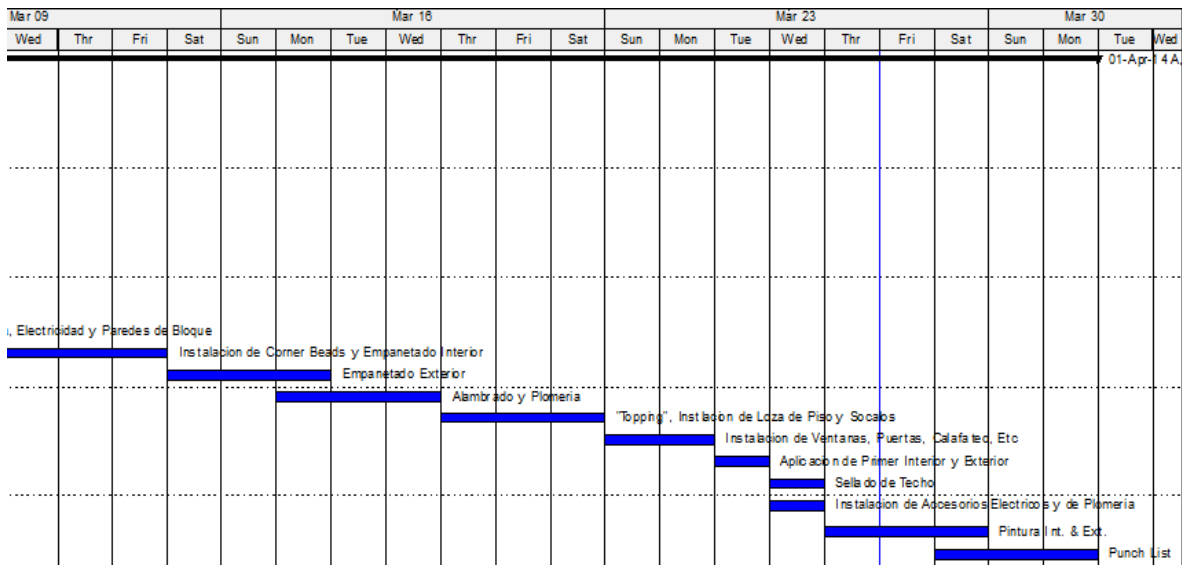


Figura 14
Continuación del Diagrama de Gannt para CC

Costos- Por lo general el costo de una obra es el factor principal al determinar si la misma se ejecuta o no. Aunque se tenía una idea del valor aproximado de construcción, este era una incógnita ya que ninguna de las partes había realizado un trabajo de este tipo. Para poder comparar los costos entre los dos métodos se utilizaron las 16 divisiones de construcción según se define en el formato maestro del Instituto de Especificaciones de Construcciones (CSI por sus siglas en ingles) y resumido en la Tabla 2. En la Figura 15 se observa un grafica de columnas en la cual la Serie 1 (verde claro) representa los costos reales por la construcción de la casa con el sistema de IPP. La Serie 2 (verde oscuro) representa los costos estimados de la misma residencia en igualdad de condiciones, pero utilizando el método de CC.

Aislación Térmica – Las altas temperaturas que predominan la mayor parte del año en Puerto Rico y los altos costos energéticos, hacen realmente atractiva las construcciones en materiales con buenas propiedades de Aislación Térmica. Para poder determinar dichas propiedades en el sistema de IPP se realizaron varias mediciones de temperatura en el interior y exterior de la residencia

y de esta manera poder comparar el diferencial si alguno. Para aumentar la confiabilidad de los resultados, siempre se realizaron la pruebas en el mismo panel (cara interior y exterior), a una altura de cinco pies del piso terminado y a seis pulgadas de separación Utilizando el termómetro infrarrojo que aparece en la Figura 16, se realizaron mediciones en 5 días.

Tabla 2
Comparativa entre Costo Real de Construcción de Casa con IPP y Estimado de Casa utilizando CC

División	Descripción	IPP	CC
1	Requisitos Generales	\$ 10,400.00	\$ 9,100.00
2	Construcción del "site"	\$ 1,000.00	\$ 1,000.00
3	Concretos	\$ 15,900.00	\$ 40,900.00
4	Mampostería	\$ -	\$ 4,400.00
5	Metales	\$ -	\$ -
6	Madera y Plásticos	\$ 1,900.00	\$ 1,900.00
7	Protección Termal y de Humedad	\$ 2,100.00	\$ 2,100.00
8	Puertas y Ventanas	\$ 8,300.00	\$ 8,300.00
9	Terminaciones	\$ 13,000.00	\$ 26,700.00
10	Especialidades	\$ -	\$ -
11	Equipos	\$ 600.00	\$ 600.00
12	Muebles	\$ 1,200.00	\$ 1,200.00
13	Construcción Especial	\$ 45,800.00	\$ -
14	Sistema de Transporte	\$ -	\$ -
15	Mecánica	\$ 4,600.00	\$ 5,900.00
16	Electricidad	\$ 4,100.00	\$ 5,400.00
TOTAL:		\$ 108,900.00	\$ 107,500.00

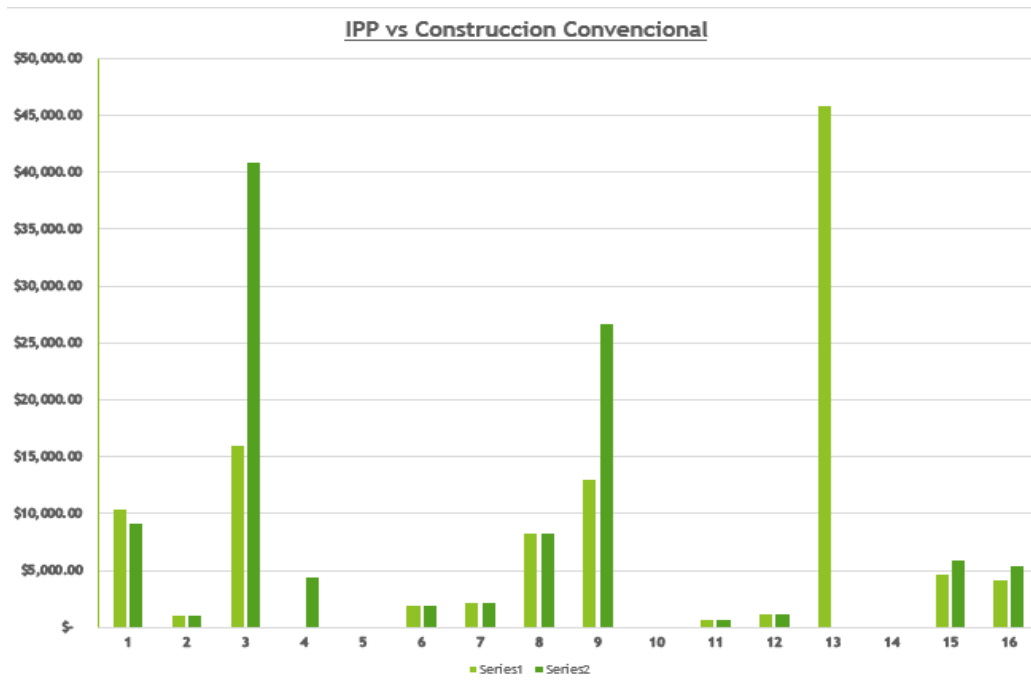


Figura 15
Comparativa de Costos entre IPP y CC utilizando 16 Divisiones



Figura 16

IPP de Pared con Panel y Cajas Eléctricas mientras se le Aplica Sellador en la Fábrica

Como se puede apreciar en la Figura 17, hubo diferencias marcadas entre las mediciones interiores y exteriores, teniendo como promedio un diferencial de 10.48 grados Fahrenheit y un máximo de 12.10 grados Fahrenheit. Este diferencial se puede atribuir a su propiedad de resistencia termal (R) que a su vez es directamente proporcional a la conductividad termal (k). En el caso de esta pared compuesta, su valor R puede ser calculado sumando los valores R individuales de cada sección que son el largo de la sección (normal al plano de transferencia) y dividido entre el valor k y el área seccional. Utilizando valores de k de $1 \frac{W}{m \times K}$ para el concreto y de $0.033 \frac{W}{m \times K}$ para el EPS se obtienen valores R de $.1063 \frac{m^2 \times K}{W}$ para la pared compuesta de IPP y de $.0143 \frac{m^2 \times K}{W}$ para una sección equivalente en

concreto [2]. A pesar de que en la casa no hay una pared 100% de concreto para poder comparar, podemos deducir que el diferencial entre las temperaturas interiores y exteriores de una pared equivalente en hormigón con exactamente la misma localización debería ser muy inferior debido a su valor R.

CONCLUSIÓN

En esta comparativa claramente se pudo evidenciar que ventajas y desventajas que tiene este sistema de los Paneles Prefabricados con Aislación (IPP) cuando se compara con el método de Construcción Convencional (CC) que utilizamos en Puerto Rico.

Sobre la primera comparativa del Control de Calidad ciertamente podemos concluir que un sistema de IPP provee una gran ventaja sobre el de CC, ya que al realizar un 50% del producto final en una fábrica, se minimizan los errores y las terminaciones se realizan en un mismo material homogéneamente (en el concreto). Evidencia de esto lo fue la terminación en general de las paredes (100% lisas), las escuadras en las losas de piso y el no tener ningún problema con la instalación de puertas y ventanas, ya que los huecos quedaron exactos a la medida.

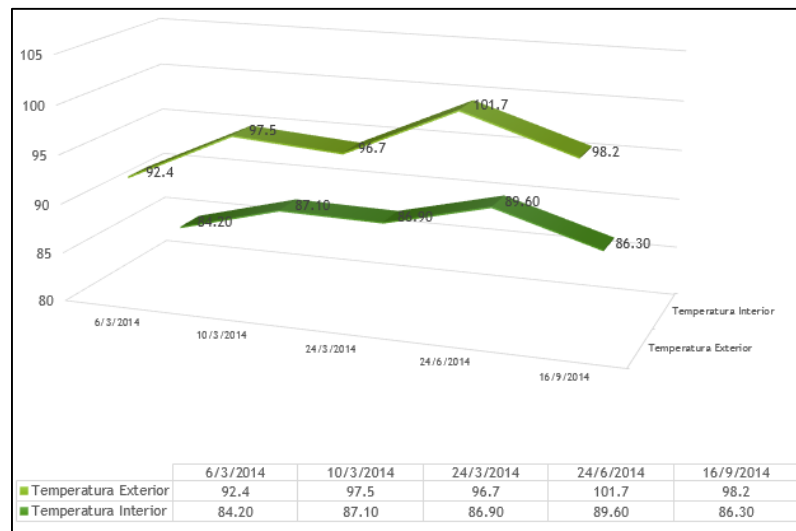


Figura 17

Termómetro Infrarrojo tomando Temperatura Exterior

El sistema de IPP también mostró tener una enorme ventaja en el tiempo de ejecución de la obra al compararse con el de CC. Sin lugar a duda el poder comenzar la construcción en la fábrica, concurrentemente con el proceso de obtener los permisos, permite entregar el producto final al cliente en un tiempo que de otra forma no sería posible. Esto queda evidenciado en los 22 días que tomo en construir la obra y el tiempo de 50 días que tomaría construir la misma casa en igualdad de condiciones pero bajo el método convencional.

Al comparar los costos de construcción la ventaja la tiene el sistema convencional, aunque para efectos prácticos los costos son virtualmente iguales. La casa utilizando el sistema de IPP costo apenas un 1.31% más que lo que costaría construirla bajo CC. Este costo pudiera reducirse significativamente a la medida que el sistema se siga optimizando, pero a esta escala nunca llegará a ser proporcional a la disminución en tiempo.

Finalmente el sistema demostró que posee altas propiedades de aislación térmica, como evidenciaron las medidas que se tomaron en sitio y que llegaron a tener diferencia de hasta 12 grados Fahrenheit entre la temperatura interior y la temperatura exterior. A pesar de no haber hecho una comparativa exacta con la misma casa en el mismo lugar utilizando el método de CC (porque no existe la casa), cuando comparamos los valores de conductividad termal de la pared compuesta (IPP) con los de una pared de 6" de espesor en concreto, podemos concluir que el diferencial en temperatura sería muy inferior al que se obtuvo con el sistema de IPP. Esta propiedad cada día tendrá un peso mayor en las consideraciones que tienen las personas al adquirir una residencia ya que ayuda a mitigar los altos costos energéticos que afectan adversamente a Puerto Rico.

RECOMENDACIONES

Como quedó evidenciado el sistema de IPP mostró tener ventaja en tres de las cuatro áreas comparadas. Para desdicha del sistema el costo fue la partida donde no tuvo ventaja (esencialmente

igual) y con la actual situación económica del país cualquier sistema fuera de lo convencional debe proveer ahorros en los costos que llamen la atención de los potenciales clientes. Para poder obtener un ahorro significativo en este sistema es esencial poder tener un volumen grande de viviendas que amorticen el costo operacional tanto en la fábrica como en el sitio de construcción. Esto permitirá maximizar la utilización de equipo rentado, grúa, baños portátiles, seguridad y otros que tienen costos fijos y que aunque se necesitan para la construcción de una casa, no son proporcional a la cantidad adicionales requeridas. Esto mismo aplica para diluir los costos administrativos y de personal en el campo incluyendo los más altos que son los supervisores e ingenieros.

REFERENCIAS

- [1] American Concrete Institute (ACI), "Specification for Tolerances for Concrete Construction and Materials", *ACI 117-10*, June 2010.
- [2] Roger, G. & Mayhew, Y., *Engineering Thermodynamics: Work & Heat Transfer*, 4th Edition, 1992.
- [3] Dell'Isola, A., *Value Engineering: Practical Applications... for Design, Construction, Maintenance & Operations*, John Wiley & Sons, Inc., 1st Edition, 1997.
- [4] Ramsey & Sleeper, *Architectural Graphic Standards, The American Institute of Architects*, 11th Edition, 2007.