



# Mejoras para el proceso de construcción de viviendas de interés social fabricadas bajo el sistema constructivo de paneles de poliestireno expandido empleando herramientas de manufactura esbelta

Delgado U., Johana E<sup>1</sup>

[jodelgad@ucab.edu.ve](mailto:jodelgad@ucab.edu.ve)<sup>1</sup>

Bermúdez P., Luisa E<sup>2</sup>

[luisabermudezp@gmail.com](mailto:luisabermudezp@gmail.com)<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Profesora de la Universidad de Católica Andrés Bello, Caracas- Venezuela.

<sup>2</sup>Universidad de Católica Andrés Bello, Caracas- Venezuela.

Historia del Artículo

Recibido 18 de Diciembre de 2017

Aceptado 07 de Febrero de 2018

Disponible online: 09 de Febrero de 2018

**Resumen:** El presente estudio de investigación consistió en desarrollar mejoras basadas en los principios de manufactura esbelta, para el proceso de construcción de viviendas de interés social, fabricadas con el sistema constructivo de paneles de poliestireno expandido, usando como caso de estudio el empleado en la construcción del Complejo Residencial de “Tacarigua V”, ubicado en el sector Los Guayos en el edo. Carabobo, Venezuela. El estudio fue elaborado en la modalidad de investigación proyectiva con diseño no experimental, en el cual se caracterizaron y analizaron los procedimientos de interés. Esto se llevó a cabo mediante la observación directa no participativa y entrevistas no estructuradas al personal directivo y obrero que laboran en la obra, involucrados en cada uno de estos procesos, con el objetivo de representar cómo es llevado a cabo el proceso de construcción actual y detectar los principales problemas y situaciones irregulares, que afectan la calidad y tiempos tanto ejecución como de la entrega de las viviendas de interés social que componen el complejo residencial. Durante la ejecución del estudio, entre las herramientas utilizadas se encuentran los Diagramas de Gantt, Diagrama Causa-Efecto, Diagrama de Pareto, Mapeo de la Cadena de Valor (VSM) y un programa de simulación (SIMIO Simulation Software), esto con el fin de plantear escenarios y seleccionar el mejor entre ellos, para solventar los problemas encontrados. Los resultados obtenidos de la investigación para mejorar el proceso de construcción de viviendas, fueron los siguientes: incremento en el número de cuadrillas de trabajadores, la capacitación técnica y práctica de todo el personal obrero en materia del sistema constructivo, disminución del tiempo promedio total de la construcción, empleo de instrumentos para la documentación de información de las etapas del proceso.

**Palabras Clave:** sistema constructivo, paneles de poliestireno expandido, manufactura esbelta, propuesta de mejora, simulación

## Improvements to the construction method based on expanded polystyrene panels, used to build housing solutions for low income people, using the lean manufacturing concept

**Abstract:** The objective of the research was to improve the construction method based on expanded polystyrene panels, used to build housing solutions for low income people. This construction method uses the lean manufacturing concept. The construction at the site Complejo Residencial de “Tacarigua V”, located in Los Guayos, Carabobo state, Venezuela, was used to conduct the investigation, which uses the projective methodology with no experimental design. During which, the key construction procedures were characterized and analyzed. The investigation process also involved the non-participative direct observation as well as non-structured interviews to construction personnel including both, directives and plain workers. Such interviews covered all construction sectors and activities. The idea was to be able to establish the way the work is currently done and detect key problems and irregularities, which affect the quality and time, including execution and complete construction delivery. To solve the problems encountered several techniques were used such as Gantt diagrams, Cause effect

diagrams, Pareto diagrams, Work Value Chain and the software SIMIO which simulates procedures. The aim was to propose different solutions and select the best among them. Results indicate that any solution to the actual situation should include: increase of the work crew members, technical and practical formation of all crew members regarding the construction method, reduction of the overall average construction time, use of documentation tools to provide key information regarding the construction stages.

**Keywords:** Construction method, expanded polystyrene panels, lean manufacturing, improvement proposal, simulation

## I. INTRODUCCIÓN

La vivienda es un derecho consagrado por la Declaración Universal de los Derechos Humanos; sin embargo, el hecho de que la vivienda esté consagrada como tal no implica que, necesariamente, todas las personas cuenten con el acceso a tan básico bien. Con base en las estadísticas del año 2011, fecha del último censo oficial hecho por el Instituto Nacional de Estadísticas (INE) de Venezuela, Alayón (Director de la Asociación Venezolana de Ejecutivos (AVE)) y De Viana (Primer vicepresidente de la AVE) (2012) indican en su trabajo “Vivienda en Venezuela: un problema con solución”, que se estima que el déficit acumulado de nuevas viviendas para ese mismo año, alcanza los 1.94 millones [1]. Igualmente, para este mismo par de autores y de acuerdo con la cifra anterior, 7.56 millones de venezolanos requieren de una vivienda [1].

Como respuesta a este déficit, el expresidente de la República, Hugo Chávez, anuncia el 13 de marzo de 2011, la creación de la Gran Misión Vivienda Venezuela (GMVV), para atender las zonas de “peligro inminente” y ayudar a solventar la crisis habitacional, durante el que era su programa dominical “Aló Presidente”, N° 371 [2].

Según datos oficiales publicados en el sitio web del Ministerio para el Poder Popular para Vivienda y Hábitat (MVH) venezolano, han sido construidas desde el año 2011 hasta el fin del mes de mayo de 2014, 558.156 viviendas [3].

No obstante, Alayón y De Viana sostienen que “cada año, solo por el crecimiento de la población, se suman al déficit 118.000 nuevas viviendas” [1] y que si se quisiera solventar el “déficit habitacional de viviendas nuevas en el año 2027(...) se deberían construir anualmente, a partir del 2012, 275 mil viviendas” [1]; cifras que no coinciden con el número de viviendas registradas por el MVH.

Daniel Müller, arquitecto especialista en sistemas constructivos del MVH, agrega que en los últimos años se han incorporado las estructuras metálicas, en la construcción de viviendas de la GMVV. No obstante, la evolución tecnológica, ha dado paso a los sistemas constructivos modernos, los cuales traen consigo gran cantidad de posibilidades que se traducen en ahorro de costos, tiempos y mayor bienestar. Asimismo, Müller asevera que, en la actualidad, se ha decidido utilizar estos sistemas, “algunos desarrollados recientemente como el sidepanel que tiene SIDOR, compuesto de poliestireno expandido con acero de refuerzo” [4].

Ahora bien, considerando lo urgente que es solucionar esta situación de déficit habitacional en el país, y, además, considerando la existencia de sistemas constructivos que además de ser más eficientes en cuanto a costos y tiempos, es importante buscar herramientas que permitan mejorar aún más los tiempo de entrega de las viviendas y la calidad de la misma; y a su vez, disminuir considerablemente los costos, lo cual es posible a través de la práctica de la manufactura esbelta. Como resultado de la aplicación de las herramientas de manufactura esbelta, Pons Achell, autor del libro Introducción a Lean Construction asegura que [5]:

- “La edificación o infraestructura y su entrega son diseñados juntos para mostrar y apoyar mejor los propósitos de los clientes”.
- “El trabajo se estructurada en todo el proceso para maximizar el valor y reducir los desechos a nivel de ejecución de los proyectos”.
- “Los esfuerzos para gestionar y mejorar el rendimiento están destinados a mejorar el rendimiento total del proyecto, ya que esto es más importante que la reducción de los costos o el aumento de la velocidad de ninguna actividad aislada”.

- “El *Control* se redefine como pasar de "monitorizar los resultados" a "hacer que las cosas sucedan." Los rendimientos de los sistemas de planificación y control se miden y se mejoran”.
- “La notificación fiable del trabajo entre especialistas en diseño, suministro y montaje o ejecución asegura que se entregue valor al cliente y se reduzcan los desperdicios”.
- “La Manufactura Esbelta es especialmente útil en proyectos complejos, inciertos y de alta velocidad (...)”.

Atendiendo a lo planteado, este trabajo de investigación surge en respuesta a la necesidad de buscar mejorar los tiempos de construcción y entrega, la calidad de la obra, la disminución de los desperdicios generados y la reducción de los costos asociados con la fabricación de las edificaciones. Responde también esta investigación a la mejor utilización de los recursos humanos y materiales empleados en las obras, a través del desarrollo de una serie de mejoras basadas en los principios de manufactura esbelta, aplicables al proceso de construcción de viviendas de interés social, fabricadas con el sistema constructivo de paneles de poliestireno expandido; empleado en el Complejo Residencial “Tacarigua V”, ubicado en el sector Los Guayos en el estado Carabobo.

En tal sentido, se propondrán una serie de mejoras en los procesos de interés, a través de la evaluación de una serie de escenarios, con el fin de lograr una reestructuración del proceso de construcción de viviendas bajo sistema constructivo mencionado anteriormente.

## II. OBJETIVOS

### Objetivo general

Desarrollar mejoras basadas en los principios de manufactura esbelta para el proceso de construcción de viviendas de interés social fabricadas con el sistema constructivo de paneles de poliestireno expandido.

### Objetivos específicos

- Caracterizar el sistema constructivo de paneles de poliestireno expandido aplicado al proceso de construcción de viviendas de interés social.
- Determinar las soluciones de manufactura esbelta que apliquen en el sistema constructivo contemplado.
- Diseñar soluciones de manufactura esbelta consideradas para el sistema constructivo contemplado.
- Evaluar las soluciones de manufactura esbelta en el sistema constructivo contemplado.
- Seleccionar las mejores soluciones de manufactura esbelta para el sistema constructivo contemplado.

## III. METODOLOGÍA

A continuación, se presentan los aspectos metodológicos utilizados como referencia para la descripción y análisis de los puntos a estudiar, además de especificar el método y técnicas empleadas en la recolección de datos, necesarias para su resolución.

### a. Tipo de Investigación

En función de los objetivos indicados en el capítulo I, el presente trabajo está enmarcado bajo una investigación de tipo proyectiva, la cual, según Hurtado [6] consiste en:

“La elaboración de una propuesta, un plan, un programa, un procedimiento, un aparato, como solución a un problema o necesidad de tipo práctico, ya sea de un grupo social, de una institución, o de una región geográfica, en un área particular del conocimiento, a partir de un diagnóstico y de las tendencias futuras”[6].

Igualmente, Hurtado [6]indica que, este tipo de investigación, también es llamada investigación tecnológica, ya que ésta, “aborda problemas prácticos, se centra en aplicaciones concretas, en dar respuestas al cómo hacer las cosas, inspirada en los procesos de investigación

Para la elaboración de esta investigación, se llevó a cabo la caracterización, descripción y análisis de la situación actual del proceso de elaboración de viviendas usando el sistema constructivo de paneles de poliestireno en Venezuela; haciendo uso de un modelo de simulación que lo represente. A partir de este, se presentarán una serie de propuestas, que abarquen diversos escenarios, para la mejora de dicho proceso, que a su vez, serán validadas a través del modelo de simulación anteriormente nombrado.

*b. Diseño de la Investigación*

Este estudio, se encuentra dentro de un diseño de investigación no experimental de tipo transversal. De acuerdo a Baptista, Fernández y Hernández [7], la investigación no experimental, es definida como, los “estudios que se realizan sin la manipulación deliberada de variables y en los que solo se observan los fenómenos en su ambiente natural para después analizarlos). De igual manera, explica que, “no se genera ninguna situación, sino que se observan situaciones ya existentes, no provocadas intencionalmente en la investigación por quien la realiza”.

Es de tipo transversal, porque para esta investigación se “recopilan datos en un momento único” y “su propósito es describir variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado” [7].

También, se usó el diseño de investigación de campo, el cual es definido como: “aquel en el que el investigador obtiene la información relacionada con su estudio a partir de fuentes vivas, o materiales, en su contexto natural o habitual” [6]. Tamayo y Tamayo [8], indica que el diseño de campo es:

Cuando los datos se recogen directamente de la realidad, por los denominados primarios, su valor radica en que permiten cerciorarse de las verdaderas condiciones en que se han obtenido los datos, lo cual facilita su revisión o modificación en caso de surgir dudas[8].

IV. CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO

Cansario [9], define a este sistema constructivo como un sistema constructivo prefabricado y ligero. Está constituido por paneles formados por una placa de poliestireno expandido (EPS), entre una malla electrosoldada espacial.

De acuerdo a la empresa EMMEDUE M2 [10], el origen de esta tecnología es italiano, teniendo al menos, una antigüedad de más de 27 años, y es producida en 35 plantas industriales en diversos países alrededor del mundo.

**Paneles**



- Ondulado de poliestireno expandido.
- Lleva adosadas en ambas caras mallas de acero vinculadas entre si mediante 82 conectores electro soldados por m<sup>2</sup> de superficie.
- El espesor del alma de poliestireno expandido puede variar desde 4 cm hasta 320 cm
- La densidad mínima normalmente utilizada es la de Clase III de 15 Kg/m<sup>3</sup> y tipo F (auto extingible), variable (15-35 kg/m<sup>3</sup>).
- El ancho estándar de los paneles es de 1125 mm y su longitud varia de acuerdo a las exigencias técnicas del proyecto.

**Mallas**



- Son de acero galvanizado en caliente, de alta resistencia, con resistencia mediana de tracción superior a 600 MPa y con tensión última de 700 MPa.
- Están conformadas por barras de aceros cuyo diámetro oscila entre 2,5 mm y 5 mm con una separación media de 6,50 por 6,50 cm en la dirección secundaria, formando una retícula cuadrada.
- Sobresalen 50 mm en caras opuestas, de modo tal que al solaparse entre si, aseguran la continuidad por yuxtaposición de las armaduras, sin necesidad de colocar elementos adicionales de empalme.
- Las 2 mallas están unidas mediante conectores metálicos situados a caballo de los nudos.

**Figura 1.** Descripción de los Elementos Componentes del Sistema Constructivo de Paneles M2.

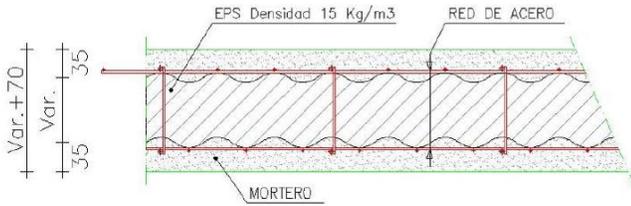
**Fuente:** Manual de Construcción de Emmedue M2. Elaboración Propia

Los paneles Emmedue, de acuerdo con el Manual Técnico de las empresas M2 Emmedue (2008) [11], están compuestos a su vez, por:

- Un núcleo central de poliestireno expandido, no tóxico, autoextingible, químicamente inerte y de densidad y morfología variable según el modelo.
- Una malla de acero electrosoldado, trefilado y galvanizado, colocadas en ambas caras del poliestireno expandido, vinculadas entre sí por conectores del mismo material e iguales características.

Las Figuras 2 y 3 muestran la tipología general de los paneles antes descritos, según el uso para el cual están destinados los mismos.

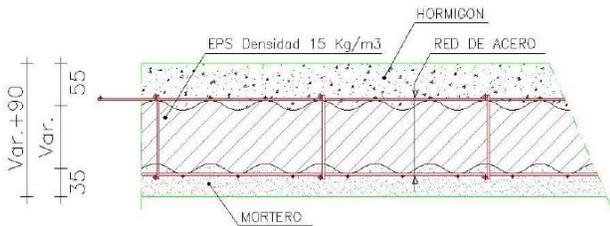
**TIPOLOGÍA GENERAL DE LOS PANELES PARA MUROS**



**Figura 2.** Tipología general de los paneles M2 para la elaboración de muros.

**Fuente:** Manual de Construcción de Emmedue M2 (2012)

**TIPOLOGÍA GENERAL DE LOS PANELES PARA LOSAS**



**Figura 3.** Tipología general de los paneles M2 para la elaboración de losas

**Fuente:** Manual de Construcción de Emmedue M2 (2012)

El sistema de calidad de Emmedue está certificado por la norma UNI EN ISO 9001 [11].

**V. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE CONSTRUCCIÓN ACTUAL**

Se describe cómo es el proceso de construcción actual empleado en la realización de viviendas de interés social hechas de poliestireno expandido, localizadas en el Complejo Residencial Tacarigua V, ubicado en Guacara, edo. Carabobo, Venezuela. Este proceso, involucra a las distintas constructoras contratadas por FONDOGLOBAL de Construcción (FGDC) y su respectivo personal obrero, que laboran en el lugar.

Es importante destacar, que esta descripción se realizó con base en la observación directa no participativa del proceso constructivo en el lugar de estudio, así como por el uso de entrevistas semi-estructuradas tanto con el personal directivo como obrero de la obra. También, se hizo el levantamiento de los diversos procesos

involucrados en la secuencia de trabajo, considerando a todo el personal adscritos a ellos.

*a. Personal y horario de trabajo*

Para la elaboración de este complejo habitacional, son contratadas diferentes constructoras, las cuales, tienen asignadas un número determinado de torres para construir. Igualmente, cada una cuenta con personal de obreros para tareas diversas y específicas dentro del proceso de construcción.

Las constructoras, que actualmente prestan sus servicios en el lugar, se llaman:

- GABOCA C.A
- RANVER
- CONSTRUFUERZA
- D Y D CONSTRUCCIONES

La cuadrilla de obreros por cada constructora mencionada anteriormente, cuenta con aproximadamente 40 personas, repartidas en la realización de actividades según se indica en la Tabla I.

**TABLA I**

**Cuadrillas de Trabajo en la construcción**

	Número de Trabajadores	Actividad que Realizan
Electricistas	6	✓ Instalación de Tuberías Eléctricas
Sanitarios	5	✓ Instalación de Tuberías Sanitarias
Proyectistas	12	✓ Proyección de Mortero Estructural
		✓ Vaciado, Encofrado y Desencofrado de las losas
		✓ Remates de filos, puertas y ventanas
		✓ Acabados de fachadas y paredes (incluye colocación de cerámica, pintura, cableados y apliques)
Panelizadores	17	✓ Delimitar el terreno de construcción
		✓ Impermeabilizar la losa de cimentación
		✓ Colocar amarraduras de las vigas
		✓ Timbrar y perforar líneas de acabados de paredes
		✓ Preparar y colocar varillas de anclaje
		✓ Verificar verticalidad de varillas de anclaje
		✓ Panelización de Estructuras (Escaleras, antepechos, losas de entrepiso y paredes)
✓ Remates y limpieza del área de trabajo		

**Fuente:** Elaboración propia (2014)

De acuerdo con el ingeniero residente actual de la obra, el Ing. Orlando Mujica [12], el horario para todo el personal obrero, es de 40 horas semanales de trabajo, configuradas según se indica en la Tabla II:

**TABLA II****Horario de Trabajo en el Conjunto Residencial Tacarigua V**

	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
<b>Turno</b>	7	7	7	7	7
<b>Mañana</b>	am/12pm	am/12pm	am/12pm	am/12pm	am/12pm
<b>Hora de Descanso</b>	12pm/1pm	12pm/1pm	12pm/1pm	12pm/1pm	12pm/1pm
<b>Turno Tarde</b>	1pm/4pm	1pm/4pm	1pm/4pm	1pm/4pm	1pm/4pm

**Fuente:** Elaboración propia (2014)

Ahora bien, en al menos dos ocasiones, la obra se ha visto paralizada debido a la falta, no sólo de los equipos necesarios para trabajar en la construcción de varias torres de manera simultánea, sino también por la falta de personal en el área de trabajo. Otra de las razones por la cual también se ha visto detenida la obra, fue debido al estado de huelga al que se sumó el personal obrero del lugar, como respuesta al retraso de los pagos de su salario. Esta medida cesaría sólo cuando sus pagos fuesen realizados.

Otra situación con la que también se tuvo que lidiar, fue con el hecho de que a principios del mes de abril de 2014, diferentes contratistas y proveedores disminuyeron e incluso, llegaron a cancelar la prestación de sus servicios. Es importante destacar, que la carencia y disminución del personal obrero, se le atribuye a la falta de cancelación de los pagos pendientes a los contratistas y proveedores que laboran en el lugar.

#### *b. Dimensiones de las viviendas*

El complejo habitacional Tacarigua V, ubicado en Los Guayos, edo. Carabobo, está comprendido, como se mencionó anteriormente, por 24 torres. Cada una de estas torres, consta de 4 pisos, incluyendo la PB. Para este estudio, se tomaron como referencia, los edificios tipo E-1; los cuales, poseen 6 apartamentos de 70 m<sup>2</sup>, por cada piso. Cuando se habla de un (1) módulo, es equivalente a hablar de dos (2) apartamentos contiguos de un mismo piso; los cuales a su vez, se encuentran separados de los otros 2 módulos de ese mismo piso, por un pasillo de escaleras. En total, por cada piso existen 3 módulos y 3 salidas hacia escaleras.

Por otra parte, cada apartamento cuenta con tres (3) habitaciones, un (1) baño, una (1) sala-comedor y un (1) área de cocina.

#### *c. Proceso de construcción actual*

El proceso de construcción de las vivienda, de acuerdo con el ingeniero residente de la obra, el Ing. Mujica [11], se rige básicamente bajo lo indicado en el Manual Técnico M2 proporcionado por la empresa EMMEDUE [11].

Se optó por sólo mencionar en este apartado, las irregularidades o situaciones específicas observadas directamente en la obra o que simplemente fueron conocidas luego de las distintas entrevistas sostenidas con el personal directivo y obrero de la obra. De manera que, si no se indica lo contrario, cualquier actividad que no se mencione en los apartados subsiguientes implica que se está ejecutando de acuerdo a lo previsto en el Manual.

- *Delimitar y encofrar perimetralmente la superficie de la losa de cimentación*

Con respecto a la delimitación del área de trabajo, es importante resaltar que en un comunicado del 11 de junio de 2014 [13], se le exhortó a FONDOGLOBAL de Construcción, que parte de la cerca perimetral del Complejo Habitacional Tacarigua V fuese reubicada; esto en virtud de una solicitud del Consejo Comunal vecino, en donde se expone la imposibilidad del libre paso hacia los hogares de los habitantes de una serie de viviendas que colindaban con la cerca colocada en el lugar de trabajo delimitado.

- *Colocar las tuberías localizadas en la losa de cimentación*

En una comunicación, de principios de julio de 2014 [13], se indica que hubo una omisión en cuanto la colocación del punto de agua caliente para las lavadoras en los distintos apartamentos, situación que fue llamada a corregir por las constructoras a la brevedad posible, mientras las torres aún se encontraban en fase “obra gris”, ya que con el avance del tiempo, su corrección implicaría un retrabajo mayor.

Igualmente, en un informe de fecha 30 de marzo de 2014, llamado Informe Tacarigua V [13], indica que “durante el mes de noviembre y diciembre de 2013 la ejecución de las distintas losas de fundación en

ejecución vio atrasos por falta de material para instalaciones sanitarias y de gas doméstico”, lo que según el Ing. Bejarano, uno de los ingenieros residentes de la obra, trajo consigo demoras en la construcción de las torres del complejo habitacional.

- *Armaduras de vigas de cimentación y contrapiso (o losa de cimentación)*

De acuerdo a palabras del ingeniero residente actual de la obra, el Ing. Mujica indicó que “en varias ocasiones, la construcción se ha visto detenida debido a errores en cuanto a la colocación de las armaduras, al no asegurar correctamente su horizontalidad”. Este hecho, de acuerdo a él mismo, supuso un retrabajo que retrasó todo el desarrollo de la construcción de las torres

- *Verificar y corregir la verticalidad de las varillas de anclaje*

Durante el recorrido por la obra, bajo la guía del Ing. Mujica, éste aseguró que en varias ocasiones, la verticalidad de las varillas de anclaje no es garantizada, lo que ha traído problemas posteriormente al momento de la panelización de la PB y de los pisos superiores; esto debido, a que las paredes quedan torcidas y luego no coinciden con los paneles del siguiente piso a panelizar.



**Figura 3.** Paneles internos y externos mal colocados

**Fuente:** Elaboración propia (2014)

- *Panelización de paredes, escaleras, techos y losas de entrepiso.*

Antes de hablar acerca del proceso de panelización per sé, es necesario mencionar la situación actual que se vive en la obra con el suministro de paneles. De acuerdo a lo reflejado en el “Informe Tacarigua V”[13], la planta proveedora de los paneles M2, ha venido produciendo paneles y refuerzos de mallas de “muy baja calidad”. El Ing. Bejarano le asigna esta situación a diversos factores, tales como: “la falta de materia prima, la baja calidad de materia prima” y “la parada de planta por personal obrero”. Insiste en que además, “esto ha ocasionado durante períodos intermitentes (...) que el despacho de estos materiales no haya podido satisfacer la demanda generada por la obra Tacarigua V”.

Ahora bien, de acuerdo a los planos de ensamblaje proporcionados por FGDC, cada piso tiene una configuración de corte de paneles y armado distinta (excepto el nivel 1 y 2, que comparten la misma). Siguiendo con la metodología descrita en los planos de ensamblaje, FONDOGLOBAL de Construcción, realizó un estimado de paneles, por cada piso, donde indica entre otros aspectos, como dimensiones y usos, cuántos paneles se necesitan para la panelización de paredes, antepechos y módulos de escaleras, así como para las losas de entrepisos y techos de cada uno de ellos.

Sin embargo, por todos los problemas con los proveedores de dichos paneles, las constructoras actualmente no están trabajando con la totalidad de tipos de paneles indicados en los planos de ensamblaje, sino que usan un número reducido de tipos de ellos. Como respuesta a esta problemática y para no detener el progreso de la construcción, FGDC decidió modificar esta metodología. Esta nueva metodología aplicada consiste, en trabajar en función de los tipos de paneles que sí les suministra su proveedor y en base a esto, considerando las dimensiones de los paneles y de la edificación, usarlo para la panelización de cada uno de los sectores de la construcción. Para la selección de los tipos de paneles a usar, también se tomó en cuenta, que preferiblemente fuesen los que tuviesen dimensiones más grandes, para abarcar más superficie de la torre, a la hora de panelizar con un mismo panel.

Así pues, al pedirle a la empresa FGDC, que proporcionara un estimado de cuántos paneles de cada tipo eran usados empleando esta nueva

metodología, se pudo establecer que dicho cálculo no existe como tal. En tal sentido, se procedió a realizar dicho estimado, para utilizarlo en otras fases de esta investigación. El estimado fue realizado por los autores de este trabajo y fue autorizado por la empresa constructora.

Para realizar este cálculo, se partió de la premisa de que con un mismo panel, se abarcará la mayor cantidad de superficie posible, de acuerdo a las dimensiones de cada planta de la torre a panelizar. Estas dimensiones, fueron tomada de los planos estructurales de los edificios tipo E-1, los cuales son los usados como referencia en esta investigación.

Para la panelización de paredes, se tomaría en cuenta que los paneles estarán dispuestos de forma vertical, exceptuando los que se encuentran por debajo y por arriba de los espacios para las ventanas, pues deben colocarse horizontalmente, para asegurar el sostenimiento estructural de la torre.

Para panelizar aquellos espacios más pequeños, antes de usar un nuevo panel para ello, se verificó si no existe entre los residuos de los paneles anteriormente usados en la panelización de ese piso, un pedazo con el que se pudiese trabajar (tal y como se verifica actualmente durante el proceso de panelizado en la obra). Si existe, se toma ese pedazo de panel y se corta de tal forma que encaje con el espacio que falta por panelizar; de no existir, se tomaría un nuevo panel, se corta a la medida y así sucesivamente, hasta panelizar todas las paredes (internas y externas). Para el caso de las losas de entrepiso y del techo del último nivel, se hizo prácticamente de la misma forma, solo que para ambos casos, se consideró que los paneles estarían dispuestos de forma horizontal.

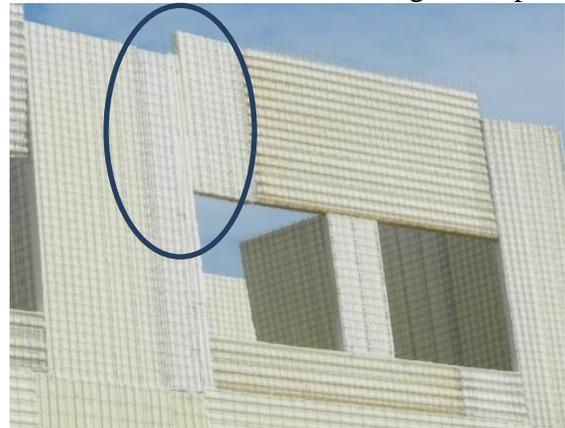
El tipo de panel usado para cada tarea, bien sea para la panelización de paredes tanto internas como externas; así como, para las losas de entrepiso y el techo de la torre, está regido de acuerdo con los criterios de construcción que actualmente se siguen en la obra; donde las losas de entrepiso, poseen un espesor mayor (de 10 cm), con respecto a las paredes externas (de 8cm), mientras que las internas tienen a su vez, un espesor menor que éstas (4 cm). Los techos del último nivel por su lado, tienen un espesor de 10 cm.

Una vez listo, se le presentó este cálculo estimado de paneles por cada tipo de panel usado a los Ing. Mujica y al Ing. Ramírez, quienes lo aprobaron como válido.

Sin embargo, también es necesario tomar en cuenta, la existencia de una comunicación electrónica donde se autoriza usar paneles de 8 cm, en vez de 10 cm, para la panelización del nivel de PB, al no contar con inventario suficiente de éste último tipo de panel y así no tener la necesidad de paralizar más la construcción por este motivo.

No obstante, como esto fue una medida temporal, que sólo fue aplicado azarosamente para algunos pisos de algunas de las torres del Complejo Habitacional, no fue tomada en cuenta para el cálculo estimado de paneles anteriormente mencionado.

Como ya se ha mencionado anteriormente, para garantizar el sostenimiento estructural de la edificación y evitar su derrumbe, es importante verificar que los paneles que se encuentren justo debajo y encima de la abertura que conforman las ventanas de los apartamentos, esté colocada de forma horizontal, sirviendo como viga de soporte.



**Figura 4.** Paneles verticales colocados por encima de las ventanas

**Fuente:** Elaboración propia (2014)

- *Vaciado de concreto para carpeta de compresión de losa*

Para el 09 de mayo de 2014, se presentó una irregularidad en este proceso: se hizo necesaria la construcción de varios sobrepisos en distintas torres (la torres 5 y 8, en ambas los pisos: PB, P1 y P2) en las áreas internas de los apartamentos, debido a “una mala ejecución del proceso y obtención de

acabados de mala calidad, procedimiento que no debería de ser necesario”, ya que, las losas de entrapiso deben vaciarse con “acabado liso”.

Además, de acuerdo al ingeniero residente no están en capacidad de despachar en un día de vaciado las cantidades de concreto necesaria para justificar un día de alquiler de bombeadora, lo que les está generando gastos adicionales en alquiler diario de la misma con vaciado de menor cantidad a lo planificado[11].

- *Acabados internos y externos*

Para este procedimiento, es recomendable aplicar 2 tratamientos de revestimiento: primero una capa tipo empaste elástico a base de resina acrílica fotoreticulante y luego la pintura elástica o elastomérica fabricadas a base de resinas acrílicas en dispersión acuosa. Sin embargo, en la construcción actual de edificaciones, este procedimiento no es el que se está siguiendo, debido a que, por motivos de falta de materiales y por la necesidad y presión que se tiene por entregar la obra culminada lo antes posible, se está prescindiendo de la colocación de esa primera capa sellante.

- *Revestimientos*

El Ing. Bejarano , muestra de acuerdo a su criterio profesional, cómo las torres, “muestra repetidos errores en las proyecciones tanto internas como externas, falta y mal amarrado de solapes en los paneles de las paredes, escaleras, marcos, puertas y ventanas (lo que hace que se doblen), fallas en la verticalidad de la panelización, falta de uniones entre paneles, aparición del fenómeno de pandeo en paneles de losas y paredes, acabados de muy mala calidad, tuberías partidas a lo largo de la edificación e incluso déficit de ellas, inestabilidad de la estructura.

- *Control de desperdicios de paneles y mallas electrosoldadas*

En la actualidad, de acuerdo al ingeniero residente del lugar, no existe un control o documentación acerca de cuánto es el desperdicio de paneles o malla electrosoldada promedio, que hasta ahora se ha desechado en la construcción de esta obra. De

igual forma, tampoco existe un lugar especialmente diseñado para la disposición de estos residuos, así que simplemente son tirados a un lado del terreno de trabajo, tal y como se observa en la Figura 5, lugar donde se van apilando sin ningún orden en específico, a medida de que son colocados allí.



**Figura 5.** Disposición de los residuos de paneles en el Conjunto Residencial Tacarigua V  
**Fuente:** Elaboración propia (2014)

## VI. REPRESENTACIÓN DE LA EJECUCIÓN ACTUAL DEL PROCESO DE CONSTRUCCIÓN

### *6.1. Descripción funcional del modelo de simulación*

Mediante el modelo de simulación propuesto, se muestra cómo es llevado a cabo actualmente el proceso de construcción de viviendas de interés social, hechas bajo el sistema constructivo de paneles de poliestireno expandido, realizadas en el Complejo Residencial Tacarigua V, ubicado en Guacara, edo. Carabobo, Venezuela.

El modelo fue hecho con la finalidad primordial de conocer cuánto es el tiempo que toma la construcción de un edificio completo, es decir, una torre, de dimensiones anteriormente especificadas, bajo el sistema constructivo de paneles de poliestireno, en el lugar de estudio tomado. Asimismo, busca conocer cuál es el porcentaje de utilización promedio de los recursos humanos destinados para tal fin, así como cuánto es el desperdicio promedio de tiempos de procesamiento, entre otros, que existen en la obra; y de esta manera, proponer mejoras basadas en las herramientas de manufactura esbelta, que ayuden a no solo reducir tiempos o desperdicios, sino también mejorar la calidad y efectividad del producto final.

Es importante destacar, que el modelo sólo abarca la construcción de cuatro (4) torres; este criterio estuvo basado en que en una entrevista con el ingeniero residente, Ing. Mujica, el cual nos comunicó que solo 4 de las 24 torres que conformarán el complejo habitacional Tacarigua V, estaban totalmente completas para la fecha de nuestra visita a la obra. Los datos proporcionados por este, acerca de la fecha de culminación de las torres, son los que nos servirían de referencia para la verificación de la lógica de nuestro modelo (los cuales son 545 días).

#### *El tiempo de simulación*

De acuerdo a lo investigado y a los datos proporcionados por el personal de FGDC, para el modelo de simulación usado se toma la jornada de trabajo de 40 horas semanales, repartidas de acuerdo a los horarios estipulados en la Tabla II de este artículo. Ahora bien, los tiempos de cada uno de los procesos involucrados en la construcción de las torres fueron tomados con base en la información proporcionada por el Ing. Mujica (ingeniero residente de la construcción) y por la Arq. Mayerling Finol junto con los diagramas de Gantt facilitados por FGDC elaborados por cada una de las constructoras participantes en el proyecto. Es importante destacar que cada una de las duraciones de los distintos procesos se ajustaron a distribuciones estadísticas triangulares, cuyo valor mínimo es el menor tiempo que se puede tardar cualquiera de las cuatro (4) constructoras realizando una actividad; mientras que el máximo corresponde al mayor tiempo que puede tardar cualquiera de estas haciendo esa misma actividad.

#### *La representación del modelo*

El modelo de simulación fue realizado utilizando el software SIMIO versión 6. En un primer modelo se usan distintas lógicas empleadas para la representación de la construcción de los cuatro pisos que constituyen una torre del complejo residencial, desde la delimitación y el encofrado de la losa de cimentación, pasando por la elaboración del techo hasta la inclusión de la instalación de piezas sanitarias de cada apartamento, culminando con los remates de la infraestructura y limpieza del lugar del trabajo.

Existe un segundo modelo, cuya lógica se enfoca en la construcción de las cuatro torres del complejo habitacional en simultáneo. Cabe destacar, que se toma la construcción en paralelo de solo cuatro de las 24 torres que conforman el complejo residencial Tacarigua 5, considerando para ello el uso de una sola cuadrilla de 40 personas distribuidas en las distintas actividades a realizar; ya que, para la fecha de la visita a la obra, solo estas se encontraban totalmente culminadas.

#### *El número de replicaciones*

Para determinar el número de replicaciones necesarias se utilizó un método de tipo estocástico, en el cual a partir de una muestra piloto  $n'$  se obtienen los datos requeridos para calcular la sumatoria de los valores al cuadrado y posteriormente, el número de replicaciones necesarias. Como el número de datos obtenidos son insuficientes para ser ajustados a una distribución Normal, se aplicó la ecuación 1 para un nivel de confianza de 95, 45% y un error de 5%.

#### **Ecuación 1**

$$n_m = \frac{40 * \sqrt{n' * \sum X^2 - (\sum x)^2}}{\sum x}$$

Donde:

- n: tamaño de la muestra que se desea determinar
- $n'$ : número de observaciones del estudio preliminar
- $\sum x$ : sumatoria de los valores de las observaciones del estudio preliminar
- x: valores de las observaciones del estudio preliminar
- m: modelo de simulación

Para la verificación del primer modelo propuesto, se tomó una muestra de 15 medidas de tiempo dadas por los resultados de modelo de simulación, cuyos datos se muestran en la tabla III.

**TABLA III**

Resultados de la duración total del proceso de construcción generados por las diferentes repeticiones para el segundo modelo de simulación

Número de la replicación	Duración total promedio del proceso (horas)
1	12632,99
2	12198,28
3	12366,97
4	12362,06
5	12674,53
6	12316,76
7	12607,67
8	12462,73
9	12508,37
10	12096,62
11	12530,75
12	12314,37
13	12481,67
14	12291,94
15	12336,81

**Fuente:** Elaboración propia (2014)

Una vez obtenida esta muestra piloto de 15 datos, haciendo el cálculo correspondiente de acuerdo a la ecuación se obtiene que:

$$n_1 = 40,0042 \cong 41$$

Teniendo el número de observaciones necesarias, se procede a usar un factor de conversión (ecuación 2) que permite calcular el número de repeticiones necesarias para el modelo, obteniéndose que:

**Ecuación 2**

$$\text{Número de repeticiones}_m = \frac{1}{n_m} * n_m$$

Aplicando la ecuación 2 se obtiene:

$$\begin{aligned} \text{Número de repeticiones}_1 &= 2,7\hat{3} \\ &\cong 3 \text{ repeticiones} \end{aligned}$$

Se siguió el mismo procedimiento para el cálculo del número de repeticiones necesarias para garantizar la validez del modelo número dos.

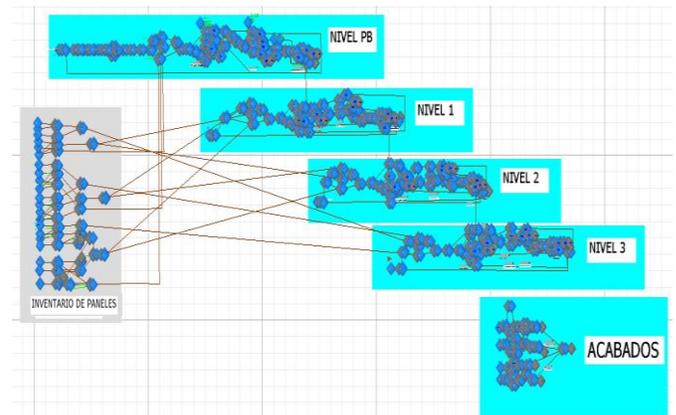
Haciendo uso de la ecuación 1 se obtiene que el número de observaciones necesarias es de :

$$n_2 = 154,57 \cong 155$$

Asimismo, usando la ecuación 2 para el cálculo de las repeticiones se obtiene que:

$$\begin{aligned} \text{Número de repeticiones}_2 &= 10,33 \\ &\cong 11 \text{ repeticiones} \end{aligned}$$

En la figura 6, por su parte, se muestra una imagen con la lógica elaborada por los investigadores para el modelo de simulación propuesto.



**Figura 6.** Lógica usada para el modelo de simulación propuesto del proceso de construcción (Captura de pantalla de SIMIO)

**Fuente:** Elaboración propia (2014)

*6.2.Verificación y validación del modelo de simulación*

Para la verificación del modelo de simulación, se realizó una comparación entre los valores de tiempo de construcción total que se demora hacer una torre obtenidos del reporte que genera SIMIO, contra el valor de este mismo indicador, facilitado por la empresa FGDC de acuerdo a los reportes históricos de avance de la obra. Esta comparación, fue cuantificada con el uso del error relativo porcentual existente entre estos 2 valores. Es importante resaltar, que se trabajará con una confianza del 95% y un margen de error de 5%.

En la tabla IV se muestra la variación entre el tiempo promedio proporcionado por FGDC y los valores arrojados por el modelo 1, el que considera la construcción de solo una torre:

**TABLA IV**

Variación entre el tiempo proporcionado por FGDC y el tiempo promedio arrojado por el modelo para 1 edificio

Valor proporcionado por FGDC (horas)	Valor arrojado por el modelo (horas)	Porcentaje de Error (%)
4080	4248,66	-4,13%
4080	4326,48	-6,04%
4080	4321,74	-5,92%
4080	4176,88	-2,37%
4080	4227,84	-3,62%
4080	4251,72	-4,21%
4080	4249,26	-4,15%
4080	4200,36	-2,95%
4080	4199,44	-2,93%
4080	4323,88	-5,98%
4080	4225,23	-3,56%
4080	4252,48	-4,23%
4080	4156,68	-1,88%
4080	4229,93	-3,67%
4080	4203,52	-3,03%

**Fuente:** Elaboración propia (2014)

Tal y como se evidencia en la anterior, los porcentajes de error no exceden, en general, el 5%, excepto en 3 casos específicos.

En la Tabla V, por su parte, se muestra la variación entre el tiempo promedio proporcionado por FGDC y los valores arrojados por el modelo 2, el cual considera la construcción de cuatro (4) torres en simultáneo-

**TABLA V**

Variación entre el tiempo proporcionado por FGDC y el tiempo promedio arrojado por el modelo para 4 edificios

Valor proporcionado por FGDC (horas)	Valor arrojado por el modelo (horas)	Porcentaje de Error (%)
13080	13016,99	0,48%
13080	12582,28	3,81%
13080	12750,97	2,52%
13080	12746,06	2,55%
13080	13058,53	0,16%
13080	12700,76	2,90%
13080	12991,67	0,68%
13080	12846,73	1,78%
13080	12892,37	1,43%
13080	12480,62	4,58%
13080	12914,75	1,26%
13080	12698,37	2,92%
13080	12865,67	1,64%
13080	12675,94	3,09%
13080	12720,81	2,75%

**Fuente:** Elaboración propia (2014)

En este caso, todos los porcentajes de error, arrojan cifras inferiores al 5%, lo que implica que el modelo está arrojando resultados de tiempo coherentes con los datos suministrados por la empresa.

VII. ANÁLISIS DEL PROCESO DE CONSTRUCCIÓN  
ACTUAL

7.1. *Análisis de los factores que influyen directamente en la demora en el tiempo de construcción de las edificaciones*

A través de un diagrama Causa-Efecto, se procedió a la realización de un análisis que sirvió para la identificación de los problemas que afectan la construcción de estas edificaciones. Algunas causas pueden tener relación directa con el origen del problema y otras, por su parte, con los efectos que este produce.

Para un mejor manejo de la información cada posible causa, estas fueron reducidas a bloques más grandes, donde un mismo tipo de causa más general contiene otras más específicas. Asimismo, se usó una tabla para asignar un determinado coeficiente a cada una de las causas generales, de acuerdo con su grado de dificultad para su implementación así como de su impacto en el tiempo total de la construcción de las edificaciones. Estos coeficientes fueron dados según la opinión de uno de los profesionales vinculados a la construcción, específicamente el Ing. Mujica, quien luego de calificarlas, les asignó junto con los investigadores, un valor específico a cada una de las causas generales seleccionadas de acuerdo a los valores de la Tabla VI.

Se contabilizaron el número de incidencias de cada una y se tabularon. A partir de esto datos, las causas fueron ordenadas de forma descendente, de acuerdo con el valor total obtenido luego de haber multiplicado su número de incidencias por el coeficiente que se le asignó, para posteriormente calcular su porcentaje relativo con respecto al total de incidencias consideradas.

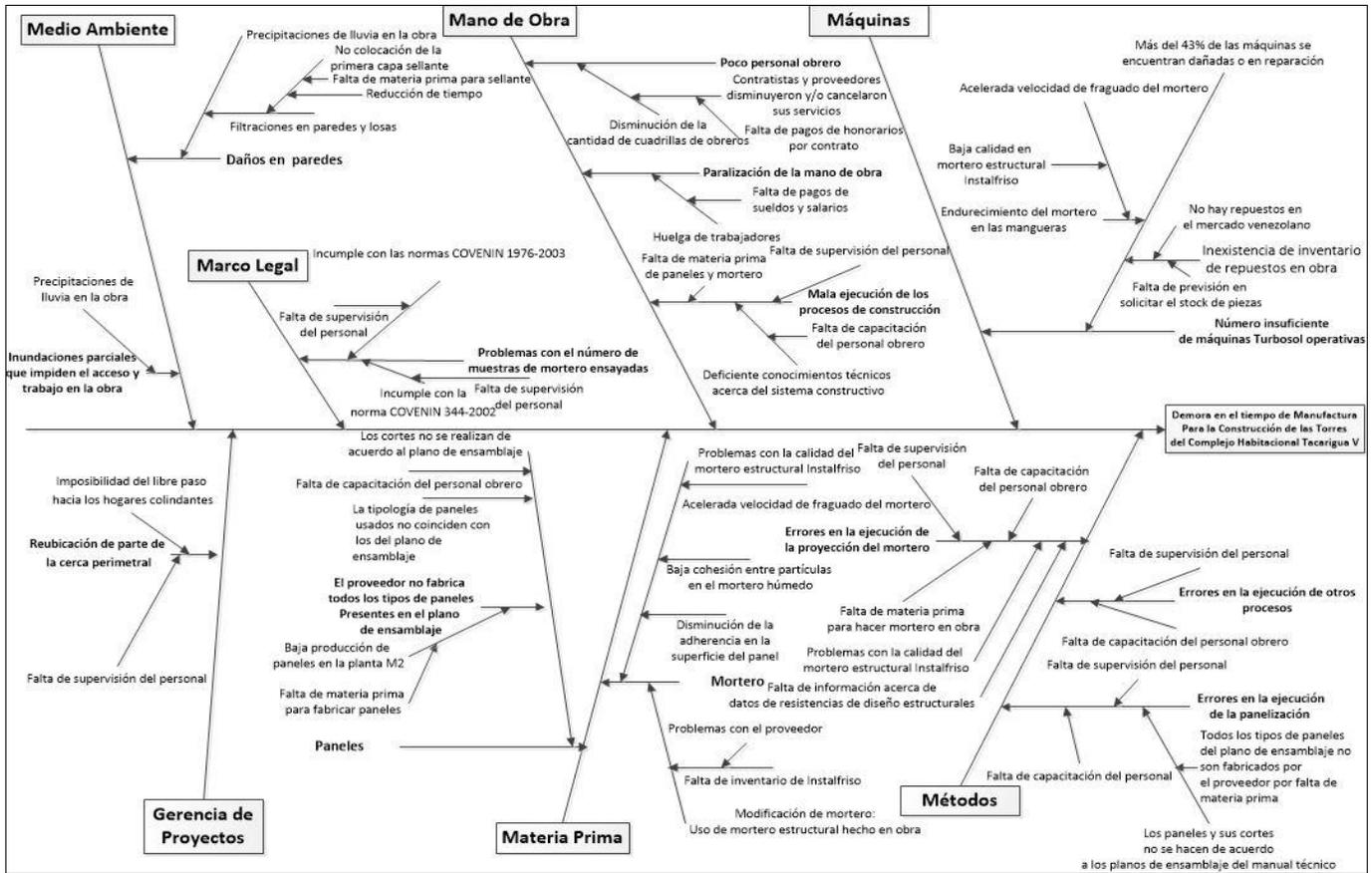
Una vez calculados los valores anteriores, se procedió a calcular los percentiles de cada una de las causas generales consideradas, que servirían como base para la elaboración de un Diagrama de Pareto. Se muestra la tabla VII con los valores y cálculos anteriormente mencionados

**TABLA VI**

Coficiente de impacto e implementación para la elaboración del Diagrama Pareto

		Impacto		
		Bajo (1)	Medio (2)	Alto (3)
Implementación	Fácil (3)	3	6	9
	Medio (2)	2	4	6
	Difícil (1)	1	2	3

**Fuente:** Elaboración propia (2014)



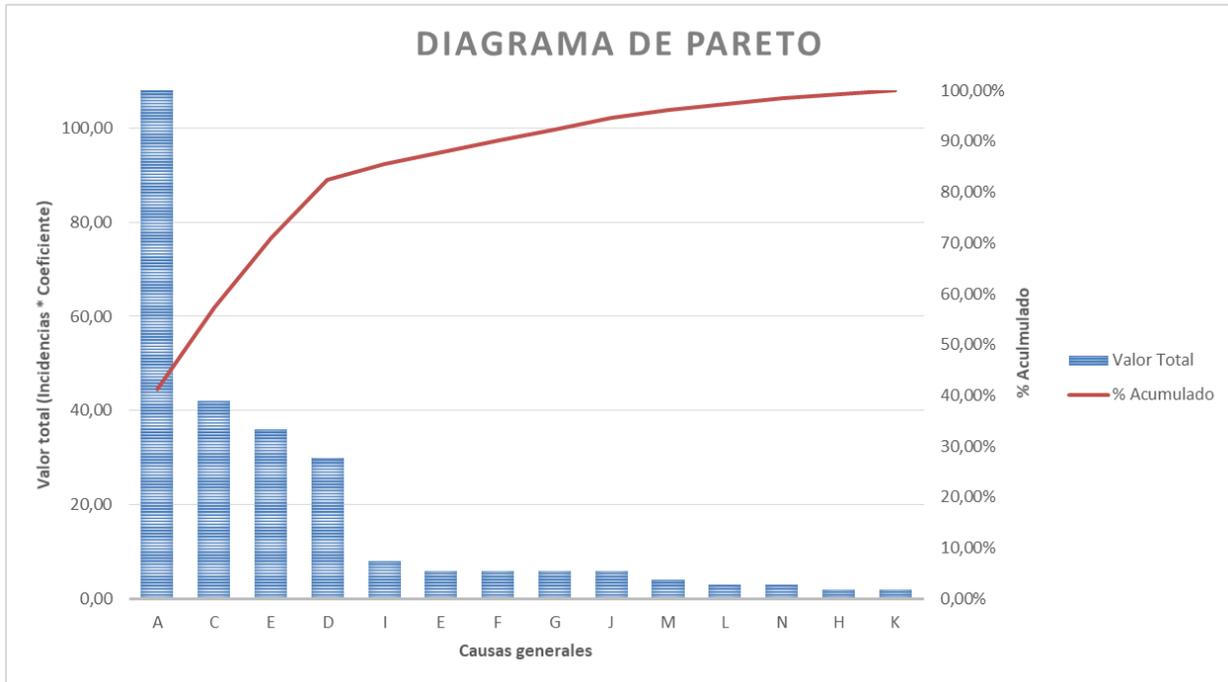
**Figura 7. Diagrama Causa-Efecto**  
**Fuente: Elaboración propia (2014)**

**TABLA VII**

Percentiles de cada una de las causas generales para la elaboración del Diagrama de Pareto

Causas Generales	Letra Indicativa	Número de Incidencias	Coefficiente	Valor Total	% Relativo	% Acumulado
Problemas con el mortero estructural	A	12,00	9,00	108,00	41,22	41,22
Falta de supervisión del personal	C	7,00	6,00	42,00	16,03	57,25
Falta de capacitación del personal obrero	E	6,00	6,00	36,00	13,74	70,99
Poco personal obrero trabajando en obra	D	5,00	6,00	30,00	11,45	82,44
Falta de inventario de mortero estructural Instalfriso	I	2,00	4,00	8,00	3,05	85,50
Falta de materia prima para fabricar paneles	B	3,00	2,00	6,00	2,29	87,79
Los cortes no se realizan de acuerdo al plano de ensamblaje	F	3,00	2,00	6,00	2,29	90,08
Máquinas para proyección dañadas	G	3,00	2,00	6,00	2,29	92,37
Filtraciones en paredes y losas de las edificaciones	J	3,00	2,00	6,00	2,29	94,66
Falta de información acerca de los datos de resistencia de diseño	M	1,00	4,00	4,00	1,53	96,18
Imposibilidad del libre paso hacia los hogares colindantes	L	1,00	3,00	3,00	1,15	97,33
Reubicación de parte de la cerca perimetral de la obra	N	1,00	3,00	3,00	1,15	98,47
Precipitaciones de lluvia en la obra	H	2,00	1,00	2,00	0,76	99,24
Problemas con el proveedor de mortero estructural Instalfriso	K	1,00	2,00	2,00	0,76	100,00
<b>TOTAL</b>		<b>50,00</b>		<b>262,00</b>		

**Fuente: Elaboración propia (2014)**



**Figura 8.** Diagrama de Pareto  
**Fuente:** Elaboración propia (2014)

Tal y como se puede evidenciar en la Figura 8. Diagrama de Pareto, más del 82% de las irregularidades totales presentados, corresponden a solo las primeras 4 categorías, las cuales equivalen a aproximadamente 28,6% de las causas generales seleccionadas para este estudio. Estas 4 categorías, tal y como lo muestra la Tabla VIII, ordenadas de forma decreciente de acuerdo al porcentaje relativo que representa, corresponden a:

**TABLA VIII**

Categorías que absorben el 82% de los problemas encontrados

Causas Generales	Letra Indicativa	Porcentaje Acumulado (%)
Problemas con el mortero estructural	A	41,22
Falta de supervisión del personal	C	57,25
Falta de capacitación del personal obrero	E	70,99
Poco personal obrero trabajando en obra	D	82,44

**Fuente:** Elaboración propia (2014)

Con base a las principales causas generales encontradas que afectan directamente en la en el tiempo de construcción de las edificaciones, a continuación se hace un desglose de cada una de ellas:

#### 7.1.2. Mortero estructural empleado

En primer lugar, con el mayor porcentaje de incidencia, los problemas con el mortero estructural usado en la obra. Si bien se cuenta con un proveedor usual de mortero estructural previamente hecho y listo para usar, Instalfriso, en ocasiones la empresa FGDC, se ha percatado de su baja calidad, que incluye entre otras cosas, problemas al momento de su preparación, ya que el material se notaba disgregado y no con las propiedades regulares.

Igualmente, significó un problema para llevar a cabo el proceso de proyección de paredes y losas, porque la adherencia en la superficie del panel se vio afectada, lo que ocasionó bajos rendimientos no sólo en el tiempo de ejecución de las actividades debidos a los retrabajos realizados; sino en el uso de los recursos materiales para la

preparación del mortero, ya que esta irregularidad obligaba al personal obrero a usar más cantidad de mezcla que la estimada inicialmente.

Por otro lado, los problemas con la calidad del mortero contribuyeron con el endurecimiento del material en las mangueras de las máquinas proyectadoras, causando no solo pérdidas de tiempo por retrabajos, sino daños serios en dichos equipos y su posterior inoperatividad.

#### 7.1.3. *Supervisión del personal en la obra*

En esta función, convergen todas las etapas de dirección del proyecto, ya que de una supervisión efectiva dependerá también el correcto desarrollo de la obra, tales como la productividad del personal para lograr los objetivos planteados, el acatamiento de las tareas y de los parámetros de comunicación instaurados, la relación establecida entre los jefes y los subordinados, así como la corrección de errores técnicos a tiempo, la disciplina y la supervisión del grado de motivación existente entre el personal obrero. Sin embargo sería ideal que la supervisión de cada proceso, fuese hecha por el mismo trabajador que lo ejecute, siendo éste el que verifique el cumplimiento de los objetivos.

A lo largo de la descripción del proceso actual, se puede ver cómo la incorrecta ejecución de los procesos ha traído consigo situaciones donde se ha hecho necesario el rehacimiento de tareas, ocasionando una inversión de tiempo y de recursos innecesarios, que no estaba contemplado.

#### 7.1.4. *Capacitación del personal obrero*

La capacitación del personal debe ser vista como una inversión y no un gasto, ya que el tiempo que las constructoras empleen para dicho fin, luego se verá reflejado en el buen desarrollo del proyecto de construcción, al preparar al personal para que sepa exactamente lo que debe y va a hacer en su trabajo, y así evitar errores y confusiones posteriores, que se traduzcan en un mayor gasto de recursos materiales y humanos, así como en un gasto de tiempo innecesario en retrabajos dentro de la obra.

Es de vital importancia mantener al personal en constante capacitación, de tal manera que la

empresa constructora pueda apoyarse en ello como una ventaja competitiva. La capacitación a largo plazo, permitirá preparar al personal y encomendarle diversos grados de responsabilidad, generando a su vez mayores índices de motivación, fidelidad hacia la empresa, reduciendo de esta forma, los niveles de rotación de los empleados. En tal sentido, la función supervisora de la dirección también necesita ser evaluada.

#### 7.1.5. *Personal trabajando en la obra*

Otro aspecto importante, a tomar en consideración, es la baja contratación de personal obrero para trabajar en la obra. En este caso, la falta de este personal, está atada directamente a la prestación de servicios de las distintas contratistas independientes que trabajan para la obra.

Sería ideal contar con un plan de contingencia en este aspecto, pues estos eventos si son abordados de un momento para otro, pueden afectar los niveles de productividad y calidad de la obra. El hecho de no contar con una cuadrilla de trabajo, con el número de empleados necesarios, retrasa el tiempo de entrega del proyecto, debido a que se estaría excediendo la capacidad del trabajador, bien sea por cansancio, desmotivación, entre otros. El presupuesto representa otro elemento clave, por ello se hace necesario analizar qué necesidades de empleados existen y qué costo acarrearía tomar la decisión de contratar adicionales, en comparación con el beneficio que traería consigo dicha determinación.

La consecutiva falta de pagos de sueldos y contratos, por parte de la empresa contratante, FGDC, ha hecho que las cuadrillas hayan demostrado su descontento a través de huelgas laborales, y en caso más graves, que las constructoras hayan suspendido sus servicios. Esta situación genera incertidumbre en cuanto al tiempo de entrega de las torres, así como una modificación no prevista en la logística de recursos y tiempos manejada en obra, ya que tanto el inventario de paneles, el de mortero estructural así como el de los demás recursos materiales, se verían acumulados en mayor medida, el despacho y recepción de materiales se vería alterado, así como toda la planificación, el cronograma y los

tiempos de ejecución de los procesos de construcción de las edificaciones.

7.1.6. *Paneles usados en obra*

Aunado a todos las irregularidades anteriormente mencionadas, la falta de materia prima para elaborar los paneles de poliestireno usados en la obra es uno aspectos que más incide en la demora de la entrega de las viviendas. Se constató a través de la visita a la obra, conjuntamente con la consulta a los ingenieros encargados del proyecto (Ing. Mujica e Ing. Ramírez), que no son usados estrictamente la tipología de paneles destacados en los planos de ensamblaje suministrados por la empresa EMMEDUE M2; esto motivado, a falta de materia prima y la baja producción de paneles que actualmente sufre la empresa manufacturera de estos.

7.1.7. *Gerencia de Proyectos*

Dentro de las causas generales que afectan el tiempo de entrega de las viviendas, se encuentran otras vinculadas con una mala puesta en práctica de los procedimientos de una buena gerencia de proyectos. Estos eventos, se pudieron haber evitado, si existiese un buen desempeño de esta labor: si el coordinador y su personal de trabajo, hubiese investigado y verificado de una manera más adecuada y exhaustiva, todos los aspectos legales, del terreno de trabajo y del conjunto de *stakeholders* o partes interesadas que se verían afectados con este nuevo proyecto, no hubiese existido la necesidad de reubicar parte de la cerca perimetral que delimita el lugar de la obra.

7.1.7. *Otros aspectos no controlables por el ser humano*

Aunque en el período de lluvias, las constantes precipitaciones hacen que el acceso y el desarrollo de las actividades dentro del lugar de trabajo, se hagan prácticamente imposibles, el medio ambiente es un factor que el ser humano no puede controlar. Sin embargo, podría considerarse realizar un plan de respaldo en caso de lluvias, donde se arregle el plan de trabajo, considerando los posibles retrasos ocasionados por este evento ambiental.

7.2. *Resultados de la simulación del proceso de construcción actual*

Luego de correr el modelo de simulación propuesto, se pudo constatar que el proceso de construcción actual de cuatro (4) torres en simultáneo, se realiza aproximadamente en 517, 72 días tal y como se observa en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** Si a este valor que ya contabiliza el número de fines de semana existentes dentro del período de simulación, se le agregan los días no laborables (feriados y vacaciones reglamentarias) que indican las legislaciones venezolanas que se encuentran dentro de ese período de tiempo, se obtiene un tiempo total de 535 días para realizar este proceso.

Scenario			Replications		Responses
✓	Name	Status	Required	Completed	Total (Days)
▶	Scenario0	Idle	6	6 of 6	517,719

**Figura 9.** Tiempo total promedio del proceso para el Escenario 0 el cual modela la situación actual (Captura de pantalla del reporte de resultados del modelo de simulación )

**Fuente:** Elaboración propia (2014)

VIII. PROPUESTAS DE MEJORA

Una vez identificados y evaluados los diferentes aspectos que conforman el proceso de construcción actual de las edificaciones que componen el complejo habitacional Tacarigua V, en este capítulo se procede a proponer una serie de escenarios y alternativas de mejora, empleando el uso herramientas vinculadas con la manufactura esbelta y la simulación del proceso constructivo.

8.1. *Escenarios de Mejora*

Haciendo uso del software de simulación SIMIO, se procedió a la realización de distintos escenarios a través de la modificación manual de un conjunto de controles en el modelo que representa la situación actual; para posteriormente analizar los resultados que éstos arrojen y compararlos. Los controles modificados fueron: el número de

recursos humanos empleados, el número de horas que labora el personal obrero en la obra y la modificación del tiempo empleado para realizar cada actividad del proceso de construcción. Es importante mencionar, que la puesta en práctica de éste último parámetro contempla, que el tiempo empleado para cada actividad se ajuste a los tiempos estándares establecidos por la empresa EMMEDUE M2 en su manual técnico,. Además, se le agrega a cada escenario, los días no laborables (feriados y vacaciones reglamentarias) que indican las legislaciones venezolanas que se encuentran dentro de ese período de tiempo.

*8.1.1. Escenario 1: Aumentar sólo el número de recursos humanos empleados*

Con el fin de reducir los porcentajes de utilización promedio de cada conjunto de trabajadores que conforma la cuadrilla de trabajo en obra, se aumentó la cantidad de éstos. A continuación, se muestra en una tabla el número de trabajadores que se adicionaron a cada conjunto de obreros que laboran en la obra.

**TABLA IX**

Cambios de modelo para el Escenario 1

Cambios	Modelo del Proceso Actual	Escenario 1
Cantidad de panelistas	17	33
Cantidad de proyectistas	12	27
Cantidad de sanitarios	6	11
Cantidad de electricistas	5	9
<b>TOTAL</b>	<b>40</b>	<b>80</b>

**Fuente:** Elaboración propia (2014)

Luego de aplicar estos cambios en el modelo de simulación, se registró en una tabla los nuevos porcentajes de utilización promedio, arrojados por las estadísticas de SIMIO, así como la comparación entre los resultados de la situación actual y el escenario 1 propuesto

**TABLA X**

Variación entre el Modelo de la Situación actual (Escenario 0) contra el Escenario 1

Escenarios	Respuestas						Variaciones		
	Tiempo Total Prom (Días)	Tiempo Total Prom con Feriados (Días)	Porcentajes de Utilización				% Variación del Tiempo Total	Variación% Utilización de los Trabajadores	
			Panelizadores	Proyectistas	Electricistas	Sanitarios			Promedio
0	517.72	535.00	140.48%	186.92%	145.53%	125.13%	153.25%	8.66%	41.28%
1	472.90	489.00	100.73%	82.14%	86.32%	84.66%	89.99%		

**Fuente:** Elaboración propia (2014)

Al probar este escenario se puede evidenciar cómo el porcentaje de utilización promedio de los trabajadores disminuye en más del 41% con respecto al que se tiene para el Escenario 0, o situación actual, colocándose en un valor de prácticamente 90%.

Igualmente, el tiempo total que toma el proceso de construcción en su totalidad, también se vio modificado, tal y como se muestra en la Figura 10:



**Figura 10.** Tiempo total Promedio del Proceso en el Escenario 1 (Captura de pantalla del reporte de resultados del modelo de simulación)

**Fuente:** Elaboración propia (2014)

Igualmente, en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se puede observar que al comparar el tiempo total promedio del proceso constructivo obtenido para el Escenario 0, con respecto al Escenario 1 planteado, se evidencia que éste último, se reduce en casi 45 días, lo que equivale a una disminución porcentual del 8,66%.

*8.1.2. Escenario 2: Mantener los recursos humanos actuales e implementar el trabajo de horas extras en la jornada laboral*

Este escenario consiste en mantener la cantidad de trabajadores que actualmente se encuentran laborando en cada departamento especializado, pero aumentar el tiempo de trabajo de la jornada laboral, es decir, implementar horas extras de trabajo. A cada día de trabajo, desde el día lunes hasta el viernes, se le sumarán 2 horas de trabajo adicionales; lo que conlleva a que el horario diario de trabajo en la obra, sea de 7 am a 12 m; y de 1pm hasta las 6pm, contando igualmente con 1 hora de descanso, desde las 12m hasta la 1pm.

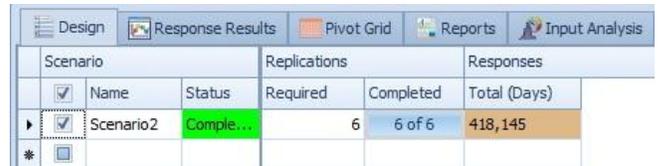
Sin embargo, esta decisión implica un aumento en los costos, debido a la contratación de mano de obra adicional, así como su posterior capacitación. Los cambios generados en el modelo, en cuanto al número de horas de trabajo semanal, se muestran en la Tabla XI:

**TABLA XI**

Cambios en el modelo para el Escenario 2

Horario de Trabajo	Modelo Actual	Escenario 2
Horas de Trabajo a la Semana	40	50

Se presenta la figura 11, donde se muestran los resultados del escenario planteado, arrojados por SIMIO, que indica el número total de días, que tarda el proceso de construcción bajo las condiciones del Escenario 2.



**Figura 11.** Tiempo total promedio del proceso en el Escenario 2 (Captura de pantalla del reporte de resultados del modelo de simulación)

**Fuente:** Elaboración propia (2014)

A continuación, se muestra una tabla donde se comparan los porcentajes de utilización promedio de los trabajadores y la duración total del proceso de construcción dado en la obra, con respecto al Escenario 0.

**TABLA XII**

Variación entre el Modelo de la Situación Actual (Escenario 0), con el Escenario 2

Escenarios	Respuestas							Variaciones	
	Tiempo Total Prom (Días)	Tiempo Total con Feriados (Días)	Porcentajes de Utilización					% Variación del Tiempo Total	Variación% Utilización de los Trabajadores
			Panelizadores	Proyectistas	Electricistas	Sanitarios	Promedio		
0	517.72	535.00	140.48%	186.92%	145.53%	125.13%	153.25%	19.23%	20.70%
2	418.15	432.00	113.05%	147.01%	116.73%	94.93%	121.52%		

**Fuente:** Elaboración propia (2014)

Si bien el tiempo total de construcción de la obra, se vería disminuido a aproximadamente 419 días, lo que equivaldría a una reducción del 19,23%, el porcentaje de utilización de los trabajadores, sigue siendo alto. Esto quiere decir que, aunque

igualmente el porcentaje de utilización promedio de los trabajadores disminuye con respecto al de la situación actual, en casi un 21%, este valor aún se encuentra por encima de los cien puntos porcentuales, ubicándose en 121,52%; indicando

que, colocar a trabajar 2 horas extras diarias al personal obrero durante cada día de los 5 laborales que hay a la semana, no sería suficiente para solventar por completo este problema.

8.1.3. *Escenario 3: Capacitar a los obreros, de tal forma que en la ejecución de sus actividades se acerquen al tiempo estándar requerido para los procesos de revoque y panelización*

La aplicación del sistema constructivo de paneles de poliestireno M2, busca permitir alcanzar rendimientos óptimos en tiempos cortos de ejecución de sus actividades. Existen una serie de parámetros que sirvieron de guía para el cálculo de los tiempos de procesamiento estándares de los procesos de revoque y panelización de este tipo de

viviendas dados por los estándares de rendimiento de la mano de obra en horas hombre (HH) por m<sup>2</sup>, tabulados en el Manual Técnico de Construcción Sistema Constructivo M2@[14]; para en función de dichos cálculos, se pudiesen reducir estos tiempos en el proceso de construcción actual. Esto se puede lograr, a través de la capacitación de los trabajadores, en materia de conocimientos técnicos y prácticos acerca del sistema constructivo, buscando así que los tiempos de ejecución de los procesos se asemejen en la mayor medida posible a estos estándares.

La modificación en los tiempos de los procesos de revoque y panelización de la situación actual con respecto al Escenario 3, se muestran en la tabla XIII colocada a continuación:

**TABLA XIII**

Variación entre los tiempos de los procesos promedio de panelización y revoque actual y estándar de cada piso

Tiempo de Proceso Promedio (Horas)						
Proceso		PB	N1	N2	N3	
Panelización	Actual	263,04	307,42	307,26	314,60	
	Escenario 3	71,84	55,20	55,20	41,34	
	% Variación	73	82	82	0,87	80,91%
Revoques	Actual	279,32	189,10	208,85	186,20	
	Escenario 3	93,09	79,39	79,39	68,26	
	% Variación	66,67%	58,02%	61,99%	63,34%	62,50%

**Fuente:** Elaboración propia (2014)

Es importante destacar que, al cambiar los tiempos de estos dos (2) procesos, igualmente fue afectado el tiempo total que se toma la construcción de las cuatro torres en simultáneo, así como el porcentaje de utilización promedio de los trabajadores. En la figura 12 se muestran los resultados obtenidos para el escenario 3 en cuanto a la duración total en días de la simulación.

Scenario	Name	Status	Required	Completed	Total (Days)
Scenario3		Comple...	6	6 of 6	409,188

**Figura 12.** Tiempo Total Promedio del Proceso para el Escenario 3 (Captura de pantalla del reporte de resultados del modelo de simulación )

**Fuente:** Elaboración propia (2014)

Al comparar el porcentaje de utilización promedio de los trabajadores en la situación actual en contraposición con los obtenidos bajos los

parámetros del Escenario 3, en la Tabla XIV se tiene que:

**TABLA XIV**

Variación entre el Modelo de Situación Actual (Escenario 0) y el Escenario 3

Escenarios	Respuestas						Variaciones		
	Tiempo Total Prom (Días)	Tiempo Total con Feriados (Días)	Porcentajes de Utilización				% Variación del Tiempo Total	Variación% Utilización de los Trabajadores	
			Panelizadores	Proyectistas	Electricistas	Sanitarios			Promedio
0	517.72	535.00	140.48%	186.92%	145.53%	125.13%	153.25%	20.96%	-1.68%
3	409.19	421.00	85.32%	220.54%	195.56%	177.09%	155.83%		

Fuente: Elaboración propia (2014)

Ahora bien, aunque el tiempo total promedio del proceso se ve disminuido en un 20,96%, ya que el número de días disminuye a poco más de 409, el porcentaje de utilización de los trabajadores en cambio, se ve incrementado en casi 2% más. Esto implica, que aunque se les capacite a los trabajadores de las diferentes áreas y se disminuya por lo tanto, el tiempo de ejecución de los procesos de panelización y revoque de la obra, igualmente el personal obrero se encontraría trabajando por encima de su máxima capacidad; lo que llevaría a necesitar igualmente de horas extras para finalizar su trabajo sin demoras.

tiempos de procesamiento de panelización y revoque, asemejándose en la mayor medida posible a los tiempos estándares.

A continuación, se coloca la figura 13 donde se muestra la nueva duración del tiempo promedio total del proceso de construcción, de acuerdo con las especificaciones de este escenario.

Scenario	Name	Status	Required	Completed	Total (Days)
Escenario4		Comple..	6	6 of 6	346,88

**Figura 13.** Tiempo Promedio Total del proceso para el Escenario 4 (Captura de pantalla del reporte de resultados del modelo de simulación)

Fuente: Elaboración propia (2014)

8.1.4. *Escenario 4: Incrementar los recursos humanos y proceder a su capacitación técnica y práctica en el sistema constructivo*

En este escenario básicamente, se unieron las condiciones propuestas en los Escenarios 1 y 3; por ende, se pasa de tener 40 trabajadores a tener 80 trabajando en obra, y además, se busca con la capacitación técnica de éstos, modificar los

Al cotejar los resultados del Escenario 0, con los del Escenario 4, se tiene en la Tabla XV que:

**TABLA XV**

Variación entre el Modelo de Situación Actual (Escenario 0) y el Escenario 4

Escenarios	Respuestas						Variaciones		
	Tiempo Total Prom (Días)	Tiempo Total con Feriados (Días)	Porcentajes de Utilización				% Variación del Tiempo Total	Variación% Utilización de los Trabajadores	
			Panelizadores	Proyectistas	Electricistas	Sanitarios			Promedio
0	517.72	535.00	140.48%	186.92%	145.53%	125.13%	153.25%	33.00%	44.78%
4	346.88	355.00	45.93%	105.96%	125.18%	112.96%	84.63%		

Fuente: Elaboración propia (2014)

De acuerdo con la tabla anterior, al poner en práctica las medidas consideradas en este escenario, tanto el porcentaje de utilización promedio de los trabajadores, así como el tiempo total promedio necesario para la construcción de 4 torres de manera simultánea se reducen. En primera instancia, hubo una reducción de al menos 170 días en el tiempo total promedio del proceso de construcción, lo cual equivale a una reducción del 33% con respecto a la situación actual. En el caso del porcentaje de utilización promedio, también hubo una disminución equivalente al 44,78%, con respecto al Escenario 0.

8.1.5. *Escenario 5: Incrementar el número de horas de trabajo a la semana (implementar el trabajo de horas extras en la jornada laboral) y capacitar al personal obrero*

Para este escenario, se acoplaron el Escenario 2 con el Escenario 3; por consiguiente, se pasa de trabajar 40 horas a la semana a laborar 50 horas (2 horas adicionales diarias, de lunes a viernes).

Igualmente, como respuesta a la capacitación técnica y práctica que se le proporciona al personal obrero, los tiempos de los procesos de panelización y revoque, se adecuan a los tiempos estándares de trabajo.

Se presenta a continuación, la figura 14 que contiene los resultados con respecto al tiempo total promedio del proceso, de acuerdo al escenario planteado:

Escenario		Replicaciones		Responses
Name	Status	Required	Completed	Total (Days)
Scenario5	Comple...	6	6 of 6	331,272

**Figura 14.** Tiempo Total Promedio del proceso para el Escenario 5 (Captura de pantalla del reporte de resultados del modelo de simulación )

**Fuente:** Elaboración propia (2014)

En la Tabla XVI se muestra la contraposición de los resultados de la simulación, de los Escenarios 0 y 5:

**TABLA XVI**

Variación entre el Modelo de Situación Actual (Escenario 0) y el Escenario 5

Escenarios	Respuestas							Variaciones	
	Tiempo Total Prom (Días)	Tiempo Total con Feriados (Días)	Porcentajes de Utilización						
			Panelizadores	Proyectistas	Electricistas	Sanitarios	Promedio	% Variación del Tiempo Total	Variación% Utilización de los Trabajadores
0	517.72	535.00	140.48%	186.92%	145.53%	125.13%	153.25%	35.91%	16.71%
5	331.82	339.00	73.54%	176.08%	169.53%	155.89%	127.64%		

**Fuente:** Elaboración propia (2014)

Tal y como se evidencia en la tabla XVI, el Escenario 5, arroja datos que comparados con los del Escenario 0, disminuyen su valor en cuanto a la duración total del proyecto y el porcentaje de utilización promedio de los recursos humanos. Por una parte, el tiempo total que conlleva la construcción de las cuatro (4) torres en simultáneo, se acorta en casi un 36%, ya que su valor se ubica en aproximadamente 332 días. Sin embargo, aunque este valor de 332 días, es el menor tiempo total arrojado de todos los escenarios planteados para la construcción de las

edificaciones, el porcentaje de utilización de los trabajadores asociado a este mismo escenario, aun cuando se reduce en un 16,71% con respecto al actual, supera los cien puntos porcentuales, colocándose en un valor de 127,64%. El hecho de que sea mayor a 100%, ya indica que el personal obrero tendría que trabajar por encima de su capacidad máxima e incluso recurrir a horas adicionales de trabajo para cumplir con el proyecto.

8.2. *Propuestas de Mejora*

8.2.1. *Selección de un escenario de mejora*

Con el propósito de hacer pleno uso de los recursos tanto materiales como humanos, de cada una de las áreas específicas que componen el proceso de construcción mencionados anteriormente y además, tomando en consideración el tiempo que toma cada actividad, se propone seleccionar aquel escenario que genere el mejor porcentaje promedio de utilización de los trabajadores, y que además, en la medida de lo posible, posea el menor tiempo total necesario

para la culminación de las edificaciones de la obra.

A continuación, se muestra la Tabla XVII que de acuerdo a los resultados obtenidos mediante las corridas de los modelos de simulación, muestra una comparación entre ciertos parámetros, de los cinco (5) escenarios propuestos, en comparación a la situación actual. Se comparan los porcentajes de utilización promedio, así como el tiempo de duración total necesario para culminar la construcción de cuatro (4) torres del complejo habitacional

**TABLA XVII**

Comparación entre modelo actual (Escenario 0) y los demás escenarios propuestos

Escenarios	Respuestas							Variaciones	
	Tiempo Total Prom (Días)	Tiempo Total con Feriados Prom (Días)	Porcentajes de Utilización					% Variación del Tiempo Total	Variación% Utilización de los Trabajadores
			Panelizadores	Proyectistas	Electricistas	Sanitarios	Promedio		
0	517.72	535.00	140.48%	186.92%	145.53%	125.13%	153.25%		
1	472.90	489.00	100.73%	82.14%	86.32%	84.66%	89.99%	8.66%	41.28%
2	418.15	432.00	113.05%	147.01%	116.73%	94.93%	121.52%	19.23%	20.70%
3	409.19	421.00	85.32%	220.54%	195.56%	177.09%	155.83%	20.96%	-1.68%
4	346.88	355.00	45.93%	105.96%	125.18%	112.96%	84.63%	33.00%	44.78%
5	331.82	339.00	73.54%	176.08%	169.53%	155.89%	127.64%	35.91%	16.71%

Fuente: Elaboración propia (2014)

El escenario escogido, corresponde al escenario número 4, en donde se propone incrementar los recursos humanos al doble, y simultáneamente, garantizar su capacitación técnica y práctica en el sistema constructivo de paneles de poliestireno expandido. Es importante destacar, que aunque es la opción con el segundo menor tiempo total necesario para la culminación de las torres, con un valor de aproximadamente 347 días de trabajo (lo cual representa, una reducción del 33% con respecto a la forma de trabajo actual), es la alternativa que reduce en mayor medida, el porcentaje de utilización promedio del personal obrero, ubicándolo en 84,63%. Este último valor, representa un 44,73% menos, comparado con el valor arrojado por el Escenario 0.

8.2.2. *Herramientas de mejora de Manufactura Esbelta*

Para poder poner en práctica cualquier tipo de mejora, que provenga de una herramienta de manufactura esbelta, es necesario cambiar la forma en la que se concibe la manera de trabajar dentro de la obra. A continuación, se muestran las propuestas planteadas:

8.2.2.1. *Just In Time (JIT)*

Heizer y Render [15] indican que el Just In Time es una filosofía de resolución continua y forzosa de problemas. Agregan que mediante el sistema JIT, los suministros y componentes se obtienen por la estrategia de tirar (pull) a través de un sistema para que lleguen donde se necesita cuando se necesitan. Adicionalmente, indican que como en este tipo de sistemas no hay inventarios ni tiempo sobrante, se eliminan los costes asociados al inventario innecesario y se mejora el rendimiento. [15]

8.2.2.1.1. *Reducción de los Desperdicios de los Paneles*

Para lograr una reducción de los metros cuadrados de paneles, que se generan como desperdicios, se propone que los cortes de éstos, se realicen de acuerdo a los planos de ensamblaje proporcionados por la empresa EMMEDUE M2, reduciendo también la variabilidad de los materiales usados con respecto al manual.

En primer lugar, debería estudiarse un posible cambio de proveedor, por uno que sí garantice el cubrimiento de la demanda de toda la tipología de paneles que se requiere de acuerdo a los planos de ensamblaje anteriormente mencionados para la construcción de las viviendas. Igualmente, habría que investigar si existe en el mercado venezolano otra empresa que pueda garantizar la manufactura

y el despacho a obra de estos diversos tipos de paneles y evaluar el impacto económico que traería a la obra esta medida.

Para que se garantice que el proceso sea ejecutado correctamente, es necesario proveerles una serie de conocimientos técnicos y prácticos acerca de esta adaptación del sistema constructivo, a través de un proceso de capacitación y disminuir los retrabajos por falta de experticia.

Ahora bien, a continuación se muestra la Tabla XVIII, donde se cotejan la cantidad de metros cuadrados en desperdicios de paneles que se generan en la actualidad, con respecto a los que se generan implementando la mejora propuesta:

**TABLA XVIII**

**Desperdicios en metros cuadrados de paneles en la actualidad**

Cantidad de Metros Cuadrados de Desperdicios en Paneles en el Proceso de Panelización			Metros Cuadrados	% Disminución de Metros Cuadrados
Planta Baja	Paredes	Actual	185,87	59,93%
		Mejora	74,48	
	Entrepiso N1	Actual	164,15	90,14%
		Mejora	16,18	
Nivel 1	Paredes	Actual	474,29	93,33%
		Mejora	31,63	
	Entrepiso N2	Actual	164,15	96,50%
		Mejora	5,75	
Nivel 2	Paredes	Actual	474,29	93,33%
		Mejora	31,63	
	Entrepiso N3	Actual	164,15	96,50%
		Mejora	5,75	
Nivel 3	Paredes	Actual	266,14	75,59%
		Mejora	64,98	
	Techo	Actual	162,04	97,02%
		Mejora	4,83	
<b>% Disminución Promedio de Metros Cuadrados</b>				<b>87,79%</b>

**Fuente:** Elaboración propia (2014)

Comparando el escenario actual con respecto a las mejoras que se indican en este apartado, se puede evidenciar que existe en una reducción promedio de aproximadamente 88% en la cantidad de

metros cuadrados de paneles que se desechan al construir una torre.

Asimismo, para poder implementar todo este conjunto de mejoras, se propone que en primer

lugar, se plantee y se ponga en práctica un control o documentación, donde se lleve un registro y se cuantifique cuánto es el desperdicio generado no sólo de paneles o malla electrosoldada, sino de cada recurso material empleado en las diversas etapas de la construcción de esta obra.

Del mismo modo, se propone que para evitar costos de mantenimiento de inventarios, se cuente con una mejor planificación y gestión de las compras de las materias primas necesarias, así como una mejor sincronía con los proveedores, haciendo una “explosión de materiales”.

#### 8.2.2.1.2. Reducción de la variabilidad

Se propone, en pro de reducir la variabilidad de los tiempos de las actividades del proceso constructivo, unificar y estandarizar los procedimientos a emplear, de tal forma que se hagan de la forma correcta, siguiendo los parámetros de calidad y elaboración establecidos en el manual constructivo.

#### 8.2.2.1.2. Empleo del KANBAN

El Kanban (palabra japonesa que significa etiqueta o tarjeta) es un mecanismo para gestionar y asegurar la producción justo a tiempo, que autoriza y da instrucciones para la producción o para la retirada de artículos o partes elaboradas o semi-elaboradas dentro de un sistema *pull* [5]. En la mayoría de los casos, un kanban es un pedazo pequeño de papel plastificado o dentro de una funda de plástico, que tiene toda la información necesaria para la retirada de material o montaje.

Cada tarjeta contiene información sobre el proveedor externo o el proceso de suministro interno, cantidad que se necesita (a suministrar o a pedir), ubicación o proceso donde se requiere o donde se ha de realizar el pedido. [5]

Siguiendo con la línea de herramientas de soluciones de manufactura esbelta, se propone la implementación de:

- Tarjetas de movimiento: que permitan un seguimiento del movimiento del panel desde su salida del almacén temporal, sólo cuando sea requerido, hasta el lugar de trabajo donde sea necesario, en vez de tenerlo allí desde un principio ocupando un espacio de trabajo. Esta cantidad de paneles correspondería únicamente a los que se requieren para la panelización de cada apartamento, evitando así el exceso de inventario estorbando en el lugar.
- Tarjeta de producción: la cual posea un señalador, que indique cuántos paneles se necesitan de forma precisa, para la elaboración de cada apartamento según el piso a donde corresponde, y así solo enviar mandar la cantidad exacta de paneles.

Ambas medidas contribuirían a evitar y disminuir los desperdicios por la existencia de inventario innecesario. A continuación se muestran la figura 15, la cual sirve de referencia del diseño propuesto para la tarjeta de producción *Kanban*

KANBAN	
Código del Panel	
Descripción	
Cantidad a Pedir	
Punto de Reorden	
Torre a Llegar	
Nivel en el que se utilizará	

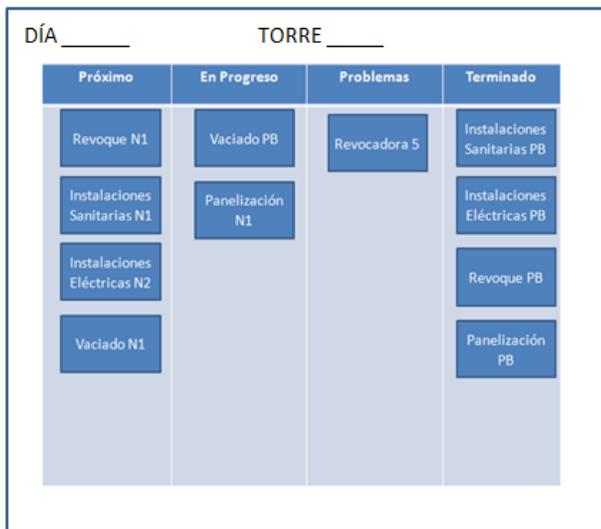
**Figura 15.** Diseño propuesto para la tarjeta de producción *Kanban*

**Fuente:** Elaboración propia (2014)

#### 8.2.2.3. Empleo de la Administración Visual (*Kanban Dashboard*)

Con el fin de minimizar los desperdicios debido a la ejecución de movimientos innecesarios, se propone colocar indicadores, que a través de su documentación, vaya indicando si ha habido fallas, demoras (y la razón que la produjo) y que permita identificar en qué etapa del proceso constructivo se encuentra cada torre. De esta manera, cualquier empleado que quiera o necesite saber alguno de estos datos o estados, puede verla, revisarla y emplearla para su propio beneficio, sin

tener que preguntarle a ninguna otra persona. En la figura 16 se muestra el diseño propuesto de un *Kanban Dashboard* para que sea usado en la construcción.



**Figura 16.** Diseño de la propuesta de mejora *Kanban Dashboard*

**Fuente:** Elaboración propia (2014)

8.2.2.4. *Empleo del Sistema TPM (Mantenimiento Productivo Total)*

Igualmente, con el fin de disminuir los desperdicios existentes en la obra, con la aplicación del sistema TPM, se propone:

Enfocar todos los recursos, en conseguir el uso más eficaz de los equipos, procesos y layout necesarios para llevar a cabo la construcción, a través de un trabajo en conjunto organizado, que centra su atención en la eliminación de cualquiera de los tipos de desperdicios presentes en la obra.

Implementar la práctica del mantenimiento autónomo, planeado, predictivo y de la calidad de todos los procesos y recursos de la obra; a través de la correcta gestión de la motivación de los empleados.

Trabajar para que las mejoras incluyan el involucramiento de todos los departamentos involucrados en la construcción de las viviendas, desde la alta dirección hasta la mano de obra; de esta manera se aprovecharía el talento humano que forma parte de este proyecto, logrando un equilibrio entre las actividades primarias de la cadena de valor y las actividades de soporte.

8.2.2.5. *Empleo de las 5S*

Las 5S es una metodología japonesa que se inició en Toyota en los años 60, denominado así por la primera letra que en japonés designa cada una de las 5 etapas de esta técnica de gestión [5]:

*Seiri* (Organizar): la organización significa retirar de la estación de trabajo (de la planta de montaje, la obra de construcción y de la oficina o almacén) todos los elementos que no son necesarios para las operaciones de producción.

*Seiton* (Ordenar): el orden puede definirse como la organización de los elementos necesarios de modo que sean de uso fácil y etiquetarlos de modo que se encuentren y retiren fácilmente. Un eslogan que define esta “S” es “un lugar para cada cosa y cada cosa en su lugar”.

*Seiso* (Limpiar): mantener el área de trabajo limpia y en buenas condiciones de seguridad y salud. Seiso también implica “hacer inspección a través de la limpieza”.

*Seiketsu* (Estandarizar): la estandarización es el estado que existe cuando se mantienen los tres primeros pilares (organización, orden y limpieza).

*Shitsuke* (Disciplina): la disciplina significa convertir en hábito el mantenimiento apropiado de los procedimientos correctos.

En tal sentido, se propone identificar con una tarjeta roja, que deberá ser colocada a cada artículo que se considera innecesario, para ser trasladados a un área de almacenamiento transitorio. Una vez ahí, estos se dividirán en dos clases, donde se identificarán los que son utilizables en otro proceso u operación y los que serán descartados permanentemente.

También se propone crear e implementar un sistema de guardado eficiente y efectivo, delimitando claramente las áreas de trabajo y ubicaciones de los recursos, colocando estanterías para su almacenamiento, de tal forma que todo el que los necesite lo encuentre por sí solo.

Mantener el lugar de trabajo en obra limpio a fin de conservar el buen aspecto y comodidad dentro de las diversas áreas de la obra. Esto ayudará a proveer un buen sentido de la propiedad en los trabajadores, con respecto a su lugar de trabajo, e identificar problemas que antes podrían estar ocultos por el desorden y suciedad.

Es necesario estandarizar las mejores prácticas y procedimientos de trabajo, de acuerdo con las

especificaciones establecidas por los manuales técnicos, dentro del área de trabajo. Para ello, como ya se ha mencionado antes, es necesario permitirle a todos los trabajadores participen en el desarrollo de estos estándares o normas de los procesos.

Para lograr la estandarización de las operaciones, se propone establecer una lista de comprobación de rutina para cada área de trabajo, de tal manera que durante las auto-auditorías que se hagan los empleados, puedan verificar por sí solos si todos los procedimientos han sido realizados a cabalidad.

También se propone, establecer y documentar detalladamente cada uno de los métodos estándares aplicados en las áreas de trabajo similares.

Crear un *layout* o una disposición del material que se utilizará en la construcción al principio del proyecto, para así identificar la ubicación de los materiales, equipos y accesos, con el fin de reducir los desperdicios, al igual que el tiempo de búsqueda del material y el de colocación de éste.

Por último, se propone crear una forma sistemática para prevenir la reincidencia de la puesta en práctica de procedimientos erróneos y el no tomar en cuenta el fomento de la mejora continua. Para que esto no ocurra, se plantea:

- Determinar el nivel de logro de las “5S” obtenido en la obra, con la aplicación de sus diversos planteamientos conforme pasa el tiempo.
- Realizarle a los trabajadores, una serie de controles de rutina del “5S”, usando una lista de verificación para ello.
- Aplicar de forma programada, varios chequeos de rutina liderados por el líder del grupo de trabajadores de la construcción o incluso por personas ajenas al grupo de trabajo usual.

#### 8.2.2.6. Empleo del Poka Yoke

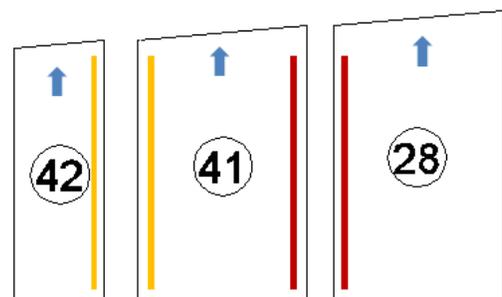
Los *Poka Yoke* son mecanismos instalados en una máquina o proceso, capaces de distinguir entre condiciones normales y anormales, los cuales impiden que se fabriquen productos defectuosos, ya que cuando detectan la situación anormal para

la cual han sido programados detienen automáticamente la máquina o el proceso, evitando así que se sigan fabricando piezas defectuosas de manera masiva o que el proceso siga avanzando [5].

Durante el proceso de construcción estudiado, aunque existen ensamblajes y otras operaciones que suelen ser simples, también es cierto que son muy repetitivas e involucran gran cantidad de piezas. En estos casos, el riesgo de cometer algún error tiende a ser alto, independientemente de la complejidad de las operaciones.

Es por ello, que se propone la creación e implementación de un diseño que sólo permita ensamblar los paneles de la forma correcta, considerando que los cortes de los paneles se realizan de acuerdo a los planos de ensamblaje. Con este diseño, se busca que las piezas no encajen, si se intenta encajar al revés, con la orientación indebida o en un sitio equivocado, reduciendo así los desperdicios por retrabajos o por defectos en la obra.

Aunado a lo anterior, se propone la creación de códigos de colores, que permitan identificar a los paneles que serán enviados a un mismo piso con una marca de un determinado color, y así evitar errores, contribuyendo con la disminución de los desperdicios por transporte y por movimientos e inventarios innecesarios. Igualmente, los extremos que sirven de superficie conectora para los paneles, pueden ser identificados con un color diferente y con flechas e indicaciones para facilitar su montaje. La figura 17, muestra un diseño propuesto para el uso del *Poka Yoke* para facilitar y evitar errores al momento del ensamblaje de los paneles en la construcción.



**Figura 17.** Diseño de la propuesta de mejora “Poka Yoke”

**Fuente:** Elaboración propia (2014)

### 8.3. *Inversión asociada*

Motivado a que la elección del Escenario 4, conlleva duplicar el número de obreros contratados a la obra, siendo este número 80 personas en total; y que además, se requiere una inversión para la capacitación técnica y práctica de estos, se requiere de una inversión asociada a la implementación de esta mejora:

#### 8.3.3.1. *Costos de la mano de obra*

Cada obrero contratado, de acuerdo a Decreto Presidencial número 935, de fecha 29/04/2014, publicado en la Gaceta Oficial N. 40.401, indica que por jornada diurna se pagan Bs. 141,71 diarios; lo cual representa el pago de un salario semanal de aproximadamente BsF. 708,55. Adicionalmente, por cada hora extra de trabajo que realice, conlleva al pago de un 10% adicional a su salario.

De acuerdo a ello, para sacar el cálculo del costo de cada trabajador, se usa la siguiente ecuación (1):

$$\text{Costo de Mano de Obra (Bs.)} = nS * nT * (SS + hE * 10\%SS)$$

Siendo:

nS=Número de semanas de trabajo

nT=Numero de trabajadores contratados

SS=Salario semanal por trabajador

hE= Número de horas extra hechas por cada trabajador

Aplicando la fórmula anterior, se tiene que el costo total promedio relacionado con la contratación de mano de obra es de Bs. 2.890.884.

#### 8.3.3.2. *Costos de la capacitación de obra*

De acuerdo a la consulta a expertos, el tiempo mínimo necesario en función de las horas necesarias para llevar a cabo dicha capacitación, es de 40 horas.

Ahora bien, de acuerdo a la información proporcionada por consultores de la empresa de consultoría, UCAB Consulting C.A., se muestra en la Tabla XIX los gastos implicados en la capacitación:

**TABLA XIX**

Costos de capacitación del personal

<b>Costo de la hora de capacitación (BsF./hora)</b>	450
<b>Gastos Operativos (BsF.)</b>	10000
<b>Otros Gastos (BsF.)</b>	5000

**Fuente:** UCAB Consulting, C.A. (2014)

Ahora bien, realizando una serie de cálculos a partir de la Tabla XIX, se muestra en la Tabla XX

los costos totales asociados a la capacitación del personal:

**TABLA XX**

Tabla de costos totales asociados a la capacitación del personal

		Horas de Capacitación	Factor	Costo Total (BsF.)
Costo de la hora de capacitación (BsF./hora)	450	40	1,5	27000
Gastos Operativos (BsF.)	10000	-	-	10000
Otros Gastos (BsF.)	5000	-	-	5000
<b>Total de la Inversión (BsF./facilitador)</b>				<b>42.000</b>

**Fuente:** Elaboración propia (2014)

Es importante destacar que el valor total del costo total por las horas empleadas en la capacitación, fue multiplicado por un factor de 1,5. Esto se debe, a que al ser un grupo tan numeroso, los talleres de formación y capacitación deben dictarse en varios grupos, de máximo 20 personas. Sin embargo, a través de la consulta a expertos, se conocio que son necesarios al menos 2 facilitadores para los cursos de capacitación, puesto a que deben dictarse en al menos en 4 grupos, debido a la cantidad de operarios. Esto trae como consecuencia, que el costo total, se vea duplicado y se ubique finalmente en BsF. 84.000. Finalmente, es importante destacar que estos costos deben verse como una inversión que se le está realizando al proyecto constructivo y no como un gasto; porque, aunque implica un aumento de casi 32% en los costos asociados a la mano de obra, el tiempo total de la obra disminuye en más de un 34% con respecto al escenario inicial; esto sin incluir otras disminuciones de tiempo debido a la reducción de los diferentes tipos de mejoras de manufactura esbelta anteriormente mencionadas.

**TABLA XXI**

Comparación entre los costos asociados a la mano de obra entre el escenario actual y el propuesto

Escenario	Número de Semanas Totales Promedio para el Proceso de Construcción	Cantidad de Trabajadores por Cuadrilla laborando	Costo Asociado Aprox. (Bs./Cuadrilla)
0	77	40	2182334,00
4	51	80	2874688,57
<b>% Variación entre escenarios</b>	34,14%	100,00%	31,73%

**Fuente:** Elaboración propia (2014)

## IX. CONCLUSIONES

Se evaluó el sistema constructivo de paneles de poliestireno expandido que es aplicado actualmente en el proceso de construcción de las viviendas del complejo residencial Tacarigua V, obteniéndose un tiempo total promedio para la culminación de cuatro torres de forma simultánea, de aproximadamente 535 días, contabilizando fines de semana y feriados.

Los tiempos promedios que actualmente se emplean en los procesos de revoque y panelización, se encuentran 80,91% y 62,50%, respectivamente, por encima de los estimados de horas que indica en manual constructivo de M2 [14].

Entre los factores que abarcan aproximadamente un 82,44% de las incidencias que influyen en la demora en el tiempo de construcción de las viviendas del complejo habitacional Tacarigua V se encuentran:

- Problemas con el mortero estructural usado en la obra; los cuales abarcan desde problemas con su calidad, incumplimiento de las normas de muestreo y falta de materia prima para su elaboración.
- Falta de supervisión del personal obrero, en la ejecución de sus operaciones.
- Deficiente conocimientos técnicos acerca del sistema constructivo por parte de la mano de obra, lo que se traduce en falta de capacitación en esta materia.
- El poco personal obrero que conforma las cuadrillas que actualmente trabajan en la construcción.

Se representaron todas las actividades que conforman el proceso actual de construcción, a través del uso de un modelo de simulación que posteriormente fue verificado y validado, corroborando que verdaderamente representa la situación actual con un nivel de confianza del 95,45% y un margen de error de  $\pm 5\%$ .

Se determinaron las soluciones de manufactura esbelta que aplican para el sistema constructivo en cuestión, al igual que las que sirvieron para

el diagnóstico de los principales problemas e irregularidades que afectan la demora en el tiempo total que afecta el proceso de construcción y la ejecución de las operaciones que lo conforman. Entre ellas destacan el sistema TPM (Mantenimiento Productivo Total), las 5S, diagrama causa-efecto, la Administración Visual, *el kaizen*, *el Poka Yoke*, *el Dashboard Kaizen*.

La ficha de Movimiento y la ficha de Procesamiento de *Kanban* que se diseñaron, contribuyen a evitar y disminuir los desperdicios por la existencia de inventario innecesario ya que indican cuál panel hay que movilizar, a dónde y cuándo se debería hacer. Asimismo, el ejemplo del diseño donde se practica la herramienta *Poka Yoke*, solo permite ensamblar los paneles de acuerdo al plano de ensamblaje, reduciendo los desperdicios por retrabajos o defectos en la obra

La evaluación del impacto de la aplicación de los instrumentos ejemplos diseñados de las herramientas de manufactura esbelta (*Kanban* y *Poka Yoke*), no se pudo evaluar, ya que se requeriría la puesta en marcha de ellas por parte de la empresa en a obra.

Se realizó un estimado de la cantidad de metros cuadrados de desperdicios que se generan actualmente, lo cual equivale aproximadamente a 2055,08 m<sup>2</sup>; lo que representa un 38,78% del total de metros cuadrados de paneles que se necesitan para la construcción de una torre. Entonces, se propone que los cortes de los paneles se realicen de acuerdo a los planos de ensamblaje que proporciona la empresa EMMEDUE M2, ya que, al hacerlo de esta manera, los desperdicios disminuyen en un 87,79%.

Haciendo uso del software SIMIO se hicieron dos modelos de simulación para representar el proceso actual de construcción de las torres del complejo habitacional. En tal sentido, se evaluaron cuatro escenarios distintos a través de la modificación manual de un conjunto de controles en el modelo de la situación actual,

para posteriormente analizar los resultados arrojados y hacer comparaciones entre ellos, con el fin de establecer cómo la modificación de estas variables influía tanto en la duración total del proceso constructivo como en el porcentaje de utilización promedio de los recursos humanos involucrados. Los controles modificados fueron: el número de recursos humanos empleados, el número de horas que trabajan los obreros en la obra y la modificación del tiempo que toma realizar cada actividad del proceso de construcción.

Al evaluar los diferentes escenarios de mejoras, se seleccionó el Escenario 4 debido a que este reduce tanto el porcentaje promedio de utilización de los trabajadores como el tiempo promedio total necesario para la culminación de las edificaciones de la obra. Así pues, la duración total promedio del proceso de construcción, pasa a durar 347 días de trabajo, lo cual representa, una reducción del 33% con respecto a la situación actual. Igualmente, el porcentaje de utilización promedio del personal obrero disminuye en un 44, 73% comparado con el valor arrojado por el Escenario 0, lo que lo sitúa en un valor del 84,63% (Valor que se encuentra por debajo del máximo valor admitido, que equivale a 89%, de acuerdo al análisis de suplementos hecho).

Debido a que el escenario 4 consiste en contratar 40 personas adicionales a la plantilla de trabajo actual, y de forma conjunta, proceder a su capacitación técnica y práctica en todos los aspectos necesarios del sistema constructivo de paneles de poliestireno, es necesario invertir una suma de dinero, para la contratación de los nuevos obreros y para el pago a los facilitadores de los cursos de capacitación. Estos costos se totalizan en: un costo total aproximado de Bs. 35.427,50 por concepto del pago de los salarios de los 80 trabajadores totales de la plantilla y en un costo único de aproximadamente Bs. 84.000, por la capacitación técnica y práctica.

## X. RECOMENDACIONES

Realizar un proyecto a largo plazo, que con la ayuda de pasantes académicos, permitiera la implementación de las herramientas e instrumentos propuestos para la recolección de información y del proceso de control.

Se recomienda que se ejecuten e implementen el escenario y las propuestas de mejora de manufactura esbelta planteadas en la investigación.

Evaluar el impacto de la aplicación del escenario y las propuestas de mejora de manufactura esbelta planteadas en la investigación

Se propone unificar y estandarizar los procedimientos a emplear, de tal forma que se hagan de la forma correcta, siguiendo los parámetros de calidad y elaboración establecidos en el manual constructivo M2, que contribuya con la mejora de calidad de gestión del proceso de construcción.

Se recomienda evaluar un posible cambio de proveedor de paneles, por otro que pueda ofrecer y garantizar el despacho continuo de toda la tipología de paneles necesario para la construcción de las viviendas de acuerdo a los planos de ensamblajes M2.

Se exhorta a implementar el uso de un instrumento donde se lleve un registro cualitativo y cuantitativo de cada uno de los tipos de desperdicio generados en la obra, en cada etapa del proceso constructivo.

Realizar un estudio más exhaustivo que permita diseño de un *layout* de trabajo que cumpla con las indicaciones y principios de la manufactura esbelta, que proporcione la distribución de áreas de trabajo y de almacenamiento de herramientas y recursos de manera ordenada y limpia.

Aplicar de forma programada, varios chequeos de rutina liderados por el líder del grupo de trabajadores de la construcción o incluso por personas ajenas al grupo de trabajo usual.

## REFERENCIAS

- [1] Vivienda en Venezuela: un problema con solución. Alayón, A., De Viana, J. (2012).. Disponible en: <https://issuu.com/globovision/docs/100387806-caso-ave-construccion-cvc-final-13072012>
- [2] Ministerio de Vivienda y Hábitat. “Gran Misión Vivienda Venezuela, legado del Comandante Eterno”. Recuperado de: [http://www.mvh.gob.ve/fmh/index.php?option=com\\_content&view=article&id=598:gran-mision-vivienda-venezuela-legado-del-comandante-eterno&catid=91&Itemid=792](http://www.mvh.gob.ve/fmh/index.php?option=com_content&view=article&id=598:gran-mision-vivienda-venezuela-legado-del-comandante-eterno&catid=91&Itemid=792)
- [3] Consulado General de la Republica Bolivariana de Venezuela en San Francisco (2014). Gran Misión Vivienda continúa entregando viviendas a familias venezolanas. Recuperado de; [http://embavenez-us.org/\\_sanfrancisco/\\_spanish/index.php?pagina=news.php&nid=5798](http://embavenez-us.org/_sanfrancisco/_spanish/index.php?pagina=news.php&nid=5798)
- [4] Entralgo, J. (s. f.) GMVV y Sistemas Constructivos 26 de septiembre de 2014. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/136857636/GMVV-y-Sistemas-Constructivos>
- [5] Pons Achell, J. (2014). Introducción a *Lean Construction* (1st ed., p. 26). Madrid: Fundación Laboral de la Construcción. Obtenido de <http://www.fundacionlaboral.org/documento/introduccion-al-leanconstruction>
- [6] Hurtado de Barrera, J. (2010). Metodología de la Investigación Holística Guía para la comprensión holística de la ciencia. Cuarta Edición. Caracas, Ciea-Sypal, 2010, pp. (567, 694)
- [7] Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. Metodología de la Investigación. México, McGraw, 2003, pp. (149, 151)
- [8] Tamayo y Tamayo, M. (1999). El Proceso de la Investigación Científica. México: Editorial Limusa.
- [9] Cansario, María; Aguado, Antonio, (2005). Sistema constructivo de paneles aligerados con poliestireno expandido y malla electrosoldada espacial: estudio estructural y optimización. Tesis doctoral. Universitat Politècnica de Catalunya, Departamento de Ingeniería de la Construcción. España.
- [10] EMMEDUE M2 (2012). Ventajas del Sistema Constructivo. 13 de septiembre de 2014 Disponible en: <http://es.mdue.it/sistema-constructivo/modalidad-constructivas/ventajas/>
- [11] Manual Técnico M2 Venezuela.. 26 de Septiembre de 2014 Disponible en: [http://www.m2venezuela.com.ve/pdf/manual\\_tecnico\\_m2.pdf](http://www.m2venezuela.com.ve/pdf/manual_tecnico_m2.pdf)
- [12] Entrevista a Orlando Mujica. Fecha (12/09/2014)
- [13] Fondo Global de Construcción (2014). Informe Tacarigua V
- [14] MANUAL TÉCNICO DE CONSTRUCCIÓN Sistema Constructivo M2®. Casapronta. 24 de septiembre de

2014. Disponible en [http://casapronta.com.bo/wp-content/uploads/2017/02/manual\\_tecnico-CP.pdf](http://casapronta.com.bo/wp-content/uploads/2017/02/manual_tecnico-CP.pdf)
- [15] Heizer, B. y Heizer J. (2001) Dirección de la producción: Decisiones Tácticas. (Sexta Edición). Madrid: Prentice Hall.

## OTRAS REFERENCIAS

- Cardona, J. (2011). Lean Manufacturing: aproximación a la aplicación de la efectividad global del equipo en la industria gráfica. Colombia: Universidad nacional de Colombia.
- General Electrics. What Is Six Sigma? The Roadmap to Customer Impact. Recuperado el 3 de Septiembre de 2014 de: <http://www.ge.com/sixsigma/SixSigma.pdf>
- Kelton D., Sadowski R. y Sturrock D. (2008). Simulación con software Arena. (Cuarta Edición). México: Editorial McGrawHill
- Ríos, D., Ríos S., Martín J. y Jiménez M. (2009) Simulación Métodos y Aplicaciones. (Segunda Edición). Madrid: Editorial Alfaomega
- Velarde, G. (2007). Propuesta de mejora de flujo de las operaciones de manufactura de una fábrica de casas modulares aplicando herramientas de manufactura esbelta y técnicas de simulación. Universidad Católica Andrés Bello, Venezuela (Tesis)