



UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

VICERRECTORADO ACADÉMICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**“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”**

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

Presentado ante la

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

como parte de los requisitos para optar al título de

INGENIERO INDUSTRIAL

REALIZADO POR

BERMÚDEZ P., LUISA E.

DELGADO U., JOHANA E.

PROFESOR GUIA

ING. ALIRIO J. VILLANUEVA

FECHA

OCTUBRE 2014



UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

VICERRECTORADO ACADÉMICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**“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”**

Este Jurado, una vez realizado el examen del presente trabajo ha evaluado su contenido con el resultado de: _____

JURADO EXAMINADOR

Firma: _____

Firma: _____

Firma: _____

Nombre: _____

Nombre: _____

Nombre: _____

REALIZADO POR

BERMÚDEZ P., LUISA E.

DELGADO U., JOHANA E.

PROFESOR GUIA

ING. ALIRIO J. VILLANUEVA

FECHA

OCTUBRE 2014

AGRADECIMIENTOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL	i
ÍNDICE DE TABLAS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
SINÓPSIS	viii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	3
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.2. JUSTIFICACIÓN	5
1.3. OBJETIVOS	5
1.3.1. Objetivo general	5
1.3.2. Objetivos específicos	5
1.4. ALCANCE	6
1.5. LIMITACIONES	6
1.6. ANTECEDENTES	7
CAPÍTULO II	8
MARCO METODOLÓGICO	8
2.1. Tipo de Investigación	8
2.2. Diseño de la Investigación	9
2.3. Estructura desagregada de trabajo	9
CAPÍTULO III	11
MARCO TEÓRICO	11
3.1. Manufactura Esbelta (Lean Manufacturing)	11
3.1.1. Definición	11
3.1.2. Lean Thinking	11
3.1.3. Seis Sigma	12
3.1.4. Desperdicios (Muda)	12
3.1.5. Técnicas	13
3.2. Sistema Constructivo	14

3.3.	Simulación	15
3.3.1.	Definición	15
3.4.	Determinación del número de replicaciones o corridas óptimas de la simulación.	15
CAPÍTULO IV		16
CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO DE PANELES DE POLIESTIRENO.....		16
4.1.	Sistema constructivo de paneles de poliestireno expandido	16
4.1.1.	Definición	16
4.1.2.	Descripción de los Elementos Componentes.....	17
CAPÍTULO V		19
DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE CONSTRUCCIÓN ACTUAL		19
5.1.	Personal y Horario de Trabajo	19
5.2.	Construcción del Complejo Habitacional Tacarigua V	21
5.2.1.	Número de Torres	21
5.3.	Dimensiones de las Viviendas	22
5.4.	Proceso de Construcción Actual	22
5.4.1.	Delimitar y encofrar perimetralmente la superficie de la losa de cimentación	23
5.4.2.	Colocar las tuberías localizadas en la losa de cimentación	23
5.4.3.	Armaduras de vigas de cimentación y contrapiso (o losa de cimentación).....	23
5.4.4.	Verificar y corregir la verticalidad de las varillas de anclaje	24
5.4.5.	Panelización de paredes, escaleras, techos y losas de entrepiso.....	24
5.4.6.	Colocación de tuberías (ductos) para instalaciones sanitarias y eléctricas.....	28
5.4.7.	Proyectado de mortero y revocado de paneles para muros	29
5.4.8.	Vaciado de concreto para carpeta de compresión de losa	31
5.4.9.	Acabados	32
5.5.	Control de Desperdicios de Paneles y Mallas Electrosoldadas	34
CAPÍTULO VI.....		36
REPRESENTACIÓN DE LA EJECUCIÓN ACTUAL DEL PROCESO CONSTRUCTIVO		36
6.1.	Descripción funcional del modelo de simulación.....	36
6.2.	Verificación y validación del modelo de simulación.....	37

CAPÍTULO VII	39
ANÁLISIS DEL PROCESO DE CONSTRUCCIÓN ACTUAL	39
7.1. Análisis de los factores que influyen directamente en la demora en el tiempo de construcción de las edificaciones.....	39
7.1.1. Mortero Estructural usado en la obra	41
7.1.2. Supervisión del personal de la obra.....	42
7.1.3. Capacitación del personal obrero de la obra.....	42
7.1.4. Personal obrero trabajando en obra	43
7.1.5. Paneles usados en obra	44
7.1.6. Gerencia de Proyectos	44
7.1.7. Otros aspectos no controlables por el ser humano	44
7.2. Resultados de la simulación del proceso de construcción actual.....	44
7.2.1. Porcentaje de utilización del personal obrero.....	46
7.3. Mapeo de la Cadena de Valor (VSM)	47
7.4. Desperdicios Identificados.....	48
7.4.1. Desperdicios por tiempo de espera.....	48
7.4.2. Desperdicios por inventarios	49
7.4.3. Desperdicios por transporte.....	50
7.4.4. Desperdicio de tiempo debido a movimientos innecesarios.....	51
7.4.5. Desperdicios por procesos inapropiados o sobreprocesos.....	51
7.4.6. Desperdicios debido a defectos	52
7.4.7. Desaprovechamiento del Talento Humano.....	53
CAPITULO VIII	54
PROPUESTAS DE MEJORA	54
8.1. Escenarios de Mejora.....	54
8.1.1. Escenario 1: Aumentar sólo el número de recursos humanos empleados.....	54
8.1.2. Escenario 2: Mantener los recursos humanos actuales e implementar el trabajo de horas extras en la jornada laboral.....	56
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.....	58

8.1.4. Escenario 4: Incrementar los recursos humanos y proceder a su capacitación técnica y práctica en el sistema constructivo	59
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	61
8.2. Propuestas de Mejora.....	62
8.2.1. Selección de un Escenario de Mejora.....	62
8.2.2. Herramientas de mejora de Manufactura Esbelta.....	63
8.3. Inversión asociada.....	69
CAPÍTULO IX.....	72
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	72
9.1. Conclusiones	72
9.2. Recomendaciones	74
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y ELECTRÓNICAS	75
Libros	75
Referencias electrónicas.....	75
Publicaciones científicas	76

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Antecedentes de la Investigación	7
Tabla 2. Fases de la Investigación	10
Tabla 3. Cuadrillas de Trabajo en la construcción	20
Tabla 4. Horario de Trabajo en el Conjunto Residencial Tacarigua V	20
Tabla 5. Cantidad de Torre por Constructora	21
Tabla 6. Dimensiones de paneles para paredes, losas de entrepiso, antepechos de escaleras y techos.....	26
Tabla 7. Dimensiones de paneles para los módulos de escaleras	26
Tabla 8. Variación entre el Tiempo proporcionado por FGDC y el Tiempo promedio arrojado por el modelo para 1 edificio.....	37
Tabla 9. Coeficiente de impacto e implementación para la elaboración del Diagrama Pareto ..	39
Tabla 10. Percentiles de Cada una de las Causas Generales para la elaboración del Diagrama de Pareto	40
Tabla 11. Categorías que absorben el 82% de los problemas	41
Tabla 12. Variación entre los tiempos de los procesos de panelización y revoque actual y estándar de cada piso	45
Tabla 13. Porcentaje de Utilización del personal obrero para el Modelo de la Situación Actual	46
Tabla 14. Cambios de modelo para el Escenario 1	55
Tabla 15. Variación entre el Modelo de la Situación actual (Escenario 0) contra el Escenario 1	55
Tabla 16. Cambios en el modelo para el Escenario 2.....	56
Tabla 17. Variación entre el Modelo de la Situación Actual (Escenario 0), con el Escenario 2 57	
Tabla 18. Variación entre el Modelo de Situación Actual (Escenario 0) y el Escenario 3	59
Tabla 19. Variación entre el Modelo de Situación Actual (Escenario 0) y el Escenario 4	60
Tabla 20. Variación entre el Modelo de Situación Actual (Escenario 0) y el Escenario 5	61
Tabla 21. Comparación entre modelo actual (Escenario 0) y los demás Escenarios propuestos	63
Tabla 22. Desperdicios en metros cuadrados de paneles en la actualidad.....	64

Tabla 23. Costos de Capacitación del personal	70
Tabla 24. Tabla de costos totales asociados a la capacitación del personal	70
Tabla 25. Comparación entre los costos asociados a la mano de obra entre el escenario actual y el propuesto	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tipos de desperdicios.....	13
Figura 2. Tipo de desperdicios más específicos	13
Figura 3. Descripción de los Elementos Componentes del Sistema Constructivo de Paneles M2	16
Figura 4. Tipología General de los Paneles M2 para la elaboración de muros	17
Figura 5. Tipología General de los Paneles M2 para la elaboración de losas	17
Figura 6. Ejemplos paneles internos y externos verticales mal elaborados	24
Figura 7. Vista en detalle de los paneles horizontales encima y debajo de la las ventanas	28
Figura 8. Paneles verticales colocados por encima de las ventanas	28
Figura 9. Imagen sobre la pintura exterior aplicada a los edificios del Conjunto residencial Tacarigua V	33
Figura 10. Imagen sobre la pintura exterior aplicada a los edificios del Conjunto residencial Tacarigua V	33
Figura 11. Evidencia de acabados de mala calidad en uno de los Apartamentos del Conjunto Residencial Tacarigua V.....	34
Figura 12. Disposición de los residuos de mallas electrosoldadas en el Conjunto Residencial Tacarigua V	35
Figura 13. Disposición de los residuos de paneles en el Conjunto Residencial Tacarigua V....	35
Figura 14. Diagrama de Pareto.....	41
Figura 15. Tiempo Promedio total del Modelo de la Situación Actual.....	45
Figura 16. Tiempo total Promedio del Proceso en el Escenario 1.....	56
Figura 17. Resultados del tiempo total promedio del proceso para el Escenario 2.....	57
Figura 18. Tiempo Total Promedio del Proceso para el Escenario 3	59
Figura 19. Tiempo Promedio Total del proceso para el Escenario 4	60
Figura 20. Tiempo Total Promedio del proceso para el Escenario 5	61

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

VICERRECTORADO ACADÉMICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

“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”

Autores: Luisa E. Bermúdez P., Johana E. Delgado U.

Tutor: Ing. Alirio J. Villanueva

Fecha: Octubre de 2014

SINÓPSIS

El presente estudio de investigación se basó 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 Precedencia, 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 en la investigación, 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 claves: sistema constructivo, paneles de poliestireno expandido, manufactura esbelta, propuesta de mejora, simulación.

INTRODUCCIÓN

Actualmente en Venezuela, se vive una situación de déficit habitacional, que resulta alarmante no sólo para la población que la padece sino también el Estado, quien debe encargarse de solventarla, al ser la vivienda un derecho universal.

Con el fin de aprovechar de la manera más eficiente todo el conjunto de recursos tanto económicos, materiales y humanos que el Estado tiene a la disposición para contribuir con una solución para este problema habitacional, este se ha visto en la búsqueda de novedosos y tecnológicos sistemas constructivos modernos, como el basado en el uso de paneles de poliestireno expandido, que planteen posibilidades que se traduzcan en ahorro de costos, tiempos de entrega, pero garantizando la calidad de las viviendas a construir y un mayor bienestar para la población.

Es por ello, que este trabajo de investigación surge en respuesta a la necesidad de buscar mejorar los tiempos construcción, los tiempos de entrega, la calidad de la obra, la disminución de los desperdicios generados y la reducción de los costos asociados a la fabricación de las edificaciones, así como la 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, para el proceso de construcción de viviendas de interés social, fabricadas con el sistema constructivo de paneles de poliestireno expandido, específicamente 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.

El trabajo de investigación realizado ha de estructurarse de la siguiente manera:

CAPÍTULO I “El Planteamiento del Problema”: Contiene el planteamiento del problema, los objetivos del estudio, así como el alcance, su justificación y sus limitaciones.

CAPÍTULO II “Marco Metodológico”: Contempla el tipo de investigación y diseño de la misma, así como la estructura desagregada de trabajo que fue empleada.

CAPÍTULO III “Marco Teórico”: Contiene el conjunto de definiciones, conceptos y bases teóricas que sustentan la investigación y que fueron referenciadas a lo largo del trabajo.

CAPÍTULO IV “Caracterización del Proceso Constructivo de Paneles de Poliestireno”: muestra la identificación de elementos esenciales necesarios para llevar a cabo el proceso y sus principales características, facilitando su entendimiento.

CAPÍTULO V “Descripción del Proceso de Construcción Actual”: Muestra la descripción de todas las etapas que conforman el proceso de construcción de las edificaciones, destacando cómo es la ejecución de los mismos actualmente.

CAPÍTULO VI “Representación de la Ejecución Actual del Proceso Constructivo”: describe el proceso de diseño, construcción, verificación y validación del modelo de simulación que representa la ejecución actual del proceso de construcción.

CAPÍTULO VII “Análisis del Proceso de Construcción Actual”: se muestra la interpretación de la información, datos obtenidos y factores que afectan el tiempo total del proceso de construcción de las torres del complejo residencial.

CAPÍTULO VIII “Propuestas de Mejora”: se muestra el análisis de los resultados obtenidos y las diferentes propuestas de mejoras que se plantean para solucionar o mejorar los problemas e irregularidades identificadas.

CAPÍTULO IX “Conclusiones y Recomendaciones”: incluye los resultados obtenidos para cada uno de los objetivos de estudio planteados, así como el conjunto de recomendaciones que se plantean para su ejecución en un futuro.

Finalmente se encontrarán las referencias bibliográficas y electrónicas consultadas.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

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 un derecho no implica que necesariamente, todas las personas cuenten con el acceso a tan básico bien. En base a 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. Igualmente, para este mismo par de autores y de acuerdo con la cifra anterior, 7.56 millones de venezolanos requieren de vivienda.

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.

Para la actualidad, 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.

No obstante, Alayón y De Viana (2012), sostienen que "cada año, solo por el crecimiento de la población, se suman al déficit 118.000 nuevas viviendas" 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"; cifras que no coinciden con el número de viviendas registradas por el MVH, mostradas en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Daniel Müller (2012), 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 estos sistemas, “algunos desarrollados recientemente como el sidepanel que tiene SIDOR, compuesto de polietileno expandido con acero de refuerzo”.

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 cuestión de costos y tiempos, tal y como lo es, el sistema constructivo de paneles de poliestireno, es importante buscar herramientas que permitan mejorar aún más, los tiempos de entrega de las viviendas y la calidad de las mismas; y a su vez, disminuir considerablemente los costos. Como respuesta a esto, existe la práctica de la manufactura esbelta.

Como resultado de la aplicación de las herramientas de manufactura esbelta, el Lean Construction Institute (2013), asegura que:

- El proceso de entrega de su instalación y están diseñados en conjunto para revelar y apoyar a los propósitos de los clientes mejor.
- El trabajo está estructurado 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 en particular.
- "Control" se redefine de "resultados de monitoreo" para "hacer que las cosas sucedan." El rendimiento de los sistemas de planificación y control se miden y se mejoró.

El uso de este tipo de tecnologías de construcción rápida, permite mejorar los tiempos y la calidad de entrega, proporcionando la posibilidad brindar respuestas y soluciones más efectivas y eficientes a todos los beneficiados de la GMVV y así, apoyar el desarrollo de la nación.

Es por ello que surge la pregunta, ¿es posible mejorar el proceso de construcción de viviendas de interés social en Venezuela, fabricadas bajo el sistema constructivo de paneles de poliestireno expandido empleando herramientas de manufactura esbelta?

1.2. JUSTIFICACIÓN

Las líneas de investigación, tanto académica como empresarial de una organización o individuo, deben enfocarse en buscar nuevas alternativas que permitan, en este caso, dar solución a diversas problemáticas del entorno donde nos desarrollamos. En Venezuela, actualmente se vive una situación de déficit habitacional, que resulta alarmante tanto para la población como para el Estado.

Con este trabajo se pretende presentar una alternativa de mejora, para ayudar a solucionar la crisis habitacional; aplicando herramientas de manufactura esbelta, que contribuyan a mejorar los tiempos de entrega, la calidad de la obra, la disminución de los desperdicios y la disminución de los costos asociados al uso del sistema constructivo de paneles de poliestireno expandido, para la elaboración de viviendas de interés social en el país.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. 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.

1.3.2. Objetivos específicos

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

1.4. ALCANCE

El presente Trabajo Especial de Grado (TEG) estará orientado a la realización de un análisis y diagnóstico de la situación actual del proceso de construcción de viviendas de interés social en Venezuela fabricadas bajo el sistema constructivo de paneles de poliestireno expandido, para detectar cuáles fallas y variables que afectan al proceso.

Para el estudio y caracterización del sistema constructivo empleado, se tomarán en cuenta diversas variables, tales como la secuencia de operaciones, el tiempo de operación, los insumos y los recursos utilizados; así como las leyes, reglamentos (LOPCYMAT, LOTT, entre otros) y las buenas prácticas, que puedan aplicar para el ejercicio de los principios de la manufactura esbelta.

La información usada para este estudio, será tomada del Proyecto Integral de Construcción y Transferencia Tecnológica de la Empresa Fondo Global de Construcción, quien en conjunto con la Gran Misión Vivienda Venezuela, lo desarrolla en la ciudad de Guacara, en el Estado Carabobo.

Para el análisis y el diseño del sistema constructivo contemplado, así como la evaluación de las soluciones de manufactura esbelta, se hará uso de un modelo de simulación, que permitirá identificar las variables que afectan al proceso y plantear acciones para mejorarlas.

El modelo a simular, asumirá que la preparación del terreno se encuentra lista y el proceso empezará desde el arribo de la materia prima para la construcción de las viviendas.

La realización de este TEG, no implica la implementación de la propuesta de mejoras resultante.

1.5. LIMITACIONES

El estudio tendrá limitaciones de información debido a la falta de estadísticas actualizadas de los entes y organismos tanto oficiales como privados, en materia de construcción de viviendas del país.

Asimismo, no se va a considerar para su uso, la política de inventarios que se maneja actualmente en la construcción, ya que la misma no está ni documentada ni contabilizada por parte de la empresa constructora. Por lo tanto, en el modelo planteado se contará con la premisa de que en la construcción se posee un inventario ilimitado de todos los recursos considerados en él; es decir, paneles y mortero estructural.

Igualmente, la información se puede ver limitada, por las políticas de confidencialidad de las organizaciones constructoras y dependerá de los datos provistos por éstas.

El acceso a ciertos trabajos documentales y de investigación, que servirán para el marco teórico del TEG, es, en algunos casos, restringido.

1.6. ANTECEDENTES

Tabla 1. Antecedentes de la Investigación

Título del TEG	Autor y Tutores	Institución y Fecha	Objetivo General
Propuesta de mejora del flujo de las operaciones de manufactura de una fábrica de casas modulares empleando herramientas de manufactura	<i>Autor:</i> Guillermo J. Velarde Monsalve	Universidad Católica Andrés Bello. Facultad de Ingeniería	Proponer herramientas de Manufactura Esbelta para identificar mejoras en el flujo de las operaciones de una fábrica de viviendas modulares.

Fuentes: TEG consultados. Elaboración Propia. (2014)

CAPÍTULO II

MARCO METODOLÓGICO

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.

2.1. 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 (2012, pg. 567), son las que consisten:

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 una particular del conocimiento, a partir de un diagnóstico y de las tendencias futuras.

Igualmente, Hurtado 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”. (2012, pg. 567).

Para la elaboración de esta investigación, se llevó a cabo, la caracterización o estudio, 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 represente a éste. A partir de éste, se presentarán una serie de propuestas, que abarquen diversos escenarios, para la mejora de este proceso, que a su vez, serán validadas a través del modelo de simulación anteriormente nombrado. Es importante resaltar, que al ser una investigación proyectiva, y de acuerdo al alcance de este estudio, la propuesta finalmente seleccionada.

2.2. 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 (2010, pg. 149), 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”. Baptista, Fernández y Hernández (2010, pg. 151).

También, se usó el diseño de investigación de campo, el cual es definido por Hurtado (2012, pg. 694) 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”. Tamayo y Tamayo (2001), 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.

2.3. Estructura desagregada de trabajo

A continuación, en la , se presenta una estructura desagregada de trabajo, donde se muestran los objetivos específicos, las actividades y herramientas utilizadas para la recolección y análisis de los datos obtenidos en la investigación.

Tabla 2. Fases de la Investigación

Fases	Objetivos	Actividades	Herramientas
I	*Caracterizar el sistema constructivo de paneles de poliestireno expandido aplicado al proceso de construcción de viviendas de interés social.	<ul style="list-style-type: none"> • Trasladarse hasta el lugar de la construcción del Complejo Residencial Tacarigua V, para observar cómo es el proceso de construcción de viviendas de interés social, hechas bajo el sistema constructivo de paneles de paneles de poliestireno expandido. • Entrevistar con los profesionales y miembros de la mano de obra, encargados de la construcción • Descripción del proceso de construcción, de los horarios de trabajo y del personal que son necesarios para llevar a cabo el proyecto. • Recolección de datos e información. • Determinar parámetros y variables de estudio. • Desarrollar la lógica del modelo de simulación. • Analizar la efectividad del proceso constructivo actual. 	<ul style="list-style-type: none"> • Entrevistas no estructuradas • AUTOCAD 2012
II	*Determinar las soluciones de manufactura esbelta que apliquen en el sistema constructivo contemplado.	<ul style="list-style-type: none"> * Identificar cuáles son los principios de manufactura esbelta aplicables a este caso de estudio * Evaluar cuáles son los principios de manufactura esbelta que son aplicables en este caso de estudio, para la mejora del mismo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Consultas bibliográficas y de material electrónico (web) • Diagrama Causa-Efecto • Diagrama de Pareto
III	<ul style="list-style-type: none"> *Diseñar soluciones de manufactura esbelta consideradas para el sistema constructivo contemplado. *Evaluar las soluciones de manufactura esbelta en el sistema constructivo contemplado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Adiestramiento en el software SIMIO, versión 6. • Recolección de datos e información. • Determinar parámetros y variables de estudio. • Desarrollar la lógica del modelo de simulación. • Proponer cambios en la estructura actual de trabajo, que permitan una mejora en la realización del proceso de construcción de este sistema constructivo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Software SIMIO, versión 6 • Mapeo de la Cadena de Valor (VSM) • Edraw Max 7.8
IV	Seleccionar las mejores soluciones de manufactura esbelta para el sistema constructivo contemplado.	* Elegir el escenario que sea más factible, de acuerdo con los principios y herramientas de manufactura esbelta	<ul style="list-style-type: none"> • Software SIMIO, versión 6 • Edraw Max 7.8

Fuente: Elaboración propia (2014)

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO

A continuación, en este capítulo, se procederá a definir y explicar brevemente, todos los conceptos y herramientas de las diversas áreas necesarias para la comprensión de este trabajo de investigación.

3.1. Manufactura Esbelta (Lean Manufacturing)

3.1.1. Definición

Lillian Padilla (2010, pg. 65) define la manufactura esbelta como “un conjunto de técnicas desarrolladas por la Compañía Toyota que sirven para mejorar y optimizar los procesos operativos de cualquier compañía industrial, independientemente de su tamaño. El objetivo es minimizar el desperdicio.”

Todas las técnicas, enmarcadas dentro de la manufactura esbelta, actualmente se usan para la optimización de todas las operaciones de una empresa u organización, para de esta forma, de acuerdo con Padilla (2010, pg. 66), “obtener tiempos de reacción más cortos, mejor atención, servicio al cliente, mejor calidad y costos más bajos. Al disminuir los desperdicios, se incrementa la productividad”.

3.1.2. Lean Thinking

Womack y Jones (1996) proponen 5 pasos para guiar las empresas a transformarlas en una empresa Lean Manufacturing.

- 1. Definir valor, por cada familia de productos, desde el inicio hasta el cliente final*
- 2. Identificar todos los pasos del mapa de valor para cada familia de productos, eliminando donde sea posible los pasos que no agreguen valor*
- 3. Hacer que los pasos que crean valor ocurran en secuencia estricta para hacer que los productos fluyan en forma suave a través de todo el proceso hasta llegar al cliente*
- 4. Introducir el flujo y dejar que el cliente jale el producto (actividades que*

agreguen valor) de las estaciones de trabajo anteriores

5. *Si el valor agregado es especificado, los pasos del proceso son identificados, el desperdicio es minimizado, el flujo y el sistema pull son implementados; vuelve a iniciar el proceso y continua haciéndolo hasta que alcance el estado de la perfección, donde prácticamente no existen desperdicios*

3.1.3. Seis Sigma

General Electrics define Seis Sigma como:

Un proceso altamente disciplinado que nos ayuda a enfocarnos en crear y entregar productos y servicios casi perfectos. ¿Por qué Sigma? La palabra es un término estadístico que mide que tan desviado está un proceso de la perfección. La idea central detrás de Seis Sigma es que si tú puedes medir cuántos “defectos” se tienen en un proceso, se puede determinar sistemáticamente como eliminarlos y estar lo más cerca de los “cero defectos” posible.

3.1.4. Desperdicios (Muda)

3.1.4.1. Definición

De acuerdo con Cardona (pg. 5),

Es lo que no agrega valor y por lo cual el cliente no está dispuesto a pagar, se convierte en un costo pero no en un valor. Es una de las claves fundamentales de la manufactura esbelta, es así como dentro de la estructura Lean se identifican como desperdicio las siguientes acciones.

Tipo de Desperdicio	Descripción
<ul style="list-style-type: none"> Sobreproducción 	Producir antes que el cliente lo requiera, bien sea porque no se va a usar o vender inmediatamente.
<ul style="list-style-type: none"> Esperas 	Actividades en las cuales el operario bien sea observa la maquina operar o se espera por algún elemento necesario para su operación.
<ul style="list-style-type: none"> Transporte innecesario 	Movimientos que se realizan sin necesidad aparente.
<ul style="list-style-type: none"> Reprocesos 	Actividades repetidas, o en las cuales no se identifican los requerimientos del cliente.
<ul style="list-style-type: none"> Inventarios 	Son los stocks en exceso de materia prima, inventario de producto en proceso o de producto terminado.
<ul style="list-style-type: none"> Movimiento innecesario 	Actividades que desarrolla el personal que no son pertinentes dentro del proceso.
<ul style="list-style-type: none"> Productos defectuosos 	Producción de partes defectuosas, lo que llevan a tiempos adicionales y recursos extras como los humanos para inspección.

Figura 1. Tipos de desperdicios

Fuente: Cardona (2011). Lean Manufacturing: aproximación a la aplicación de la efectividad global del equipo en la industria gráfica

Galindo y Villaseñor (2007, pg. 30) incluyen un octavo tipo de desperdicio, llamado información: “falta o exceso de información; también se refiere al mal uso que se haga de ella”.

Así mismo se pueden encontrar otros tipos de desperdicios más específicos los cuales se pueden agrupar de esta forma:

NIVEL UNO-GRANDES DESPERDICIOS	NIVEL DOS-DESPERDICIOS DE PROCESOS Y METODOS	NIVEL TRES-DESPERDICIOS MENORES EN LOS PROCESOS.
Trabajo en proceso: <ul style="list-style-type: none"> Pobre Layout de la planta Rechazos Retrabajo Producto dañado Tamaño del lote Pobre iluminación Equipo sucio El material no se entrega en los puntos que se requiere. 	Cambios entre productos muy largos. <ul style="list-style-type: none"> Pobre diseño del lugar de trabajo. Falta de mantenimiento. Almacenes temporales Problemas con los equipos Métodos inseguros. 	Surtir y alcanzar: <ul style="list-style-type: none"> Doble manejo. Caminar en exceso para almacenar Trabajo de papel Velocidad de producción y alimentación de materiales.

Figura 2. Tipo de desperdicios más específicos

Fuente: Villaseñor (2007). Manual de Lean Manufacturing

3.1.5. Técnicas

Entre las diferentes técnicas usadas para el mejoramiento de los procesos, se encuentran, según Herrera, Martínez y Posada (2010):

1. *Las 5s: técnica utilizada para el mejoramiento de las condiciones del*

trabajo de la empresa. Aquí se desarrollan diferentes pasos orientados hacia el logro de una excelente organización, orden y limpieza en el puesto de trabajo.

2. **Los sistemas Poka Yoke:** *técnica empleada para disminuir los errores en el lugar de trabajo.*
3. **La administración visual:** *técnica empleada para presentar visualmente y al alcance de todo el personal los indicadores de desempeño de la empresa.*
4. **Los grupos Kaizen:** *técnica que busca el mejoramiento permanente mediante el aporte de ideas de las personas involucradas.*
5. **Diagrama Causa-Efecto:** *técnica empleada para analizar gráficamente las causas de algún problema*
6. **Los procesos de mejoramiento basados en 6 sigma:** *técnica que busca obtener reducir la tasa de defectos menor a un defecto por cada millón de unidades fabricadas.*
7. **Los sistemas TPM:** *consiste en la implementación del mantenimiento productivo total, para disminuir el tiempo de paro de las máquinas.*
8. **El análisis de valor del proceso (Value Stream Mapping):** *técnica que se aplica para detectar en qué punto del sistema productivo se presentan los mayores desperdicios durante el proceso.*

Para un detalle más a fondo de éstas técnicas, referirse al Anexo 67.

3.2. Sistema Constructivo

3.2.1. Definición:

Según el Ministerio del Medio ambiente y de la Calidad de vida de Francia (1978), el sistema constructivo es: “un conjunto de componentes a partir de los cuales es posible construir casi totalmente edificios de arquitecturas variadas.

3.3. Simulación

3.3.1. Definición

De acuerdo con Kelton, Sadowski, Sturrock (2008, pg. 1), la simulación “se refiere a un gran conjunto de métodos y aplicaciones que buscan imitar el comportamiento de sistemas reales, generalmente en una computadora con un software apropiado.”

Los tipos de simulación se encuentran en el Anexo 70.

3.4. Determinación del número de replicaciones o corridas óptimas de la simulación.

Cuando se genera un modelo asemejando un proceso de la vida real, es de suma importancia lograr que estos sean estadísticamente iguales al sistema real. Para esto, se debe tomar en cuenta el tamaño y la cantidad de replicaciones que son necesarias para obtener datos confiables.

Para verificar y validar el modelo, es necesario calcular el número de replicaciones necesarias para reducir su desviación a un 5%. Para determinar este valor, se utilizará un método estocástico en el que se realiza una muestra piloto (n'), con la que se obtendrán los datos requeridos para calcular la sumatoria de los valores al cuadrado, y finalmente obtener el número de replicaciones necesarias para disminuir el error del modelo.

Cuando el número de datos obtenidos son insuficientes para ajustarlos a una distribución Normal, se aplica la siguiente fórmula para un nivel de confianza de 95% y un error del 5% (aproximadamente).

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

Ecuación 1

En donde:

n = Tamaño de la muestra que se desea determinar

n' = Número de observaciones del estudio preliminar

$\sum X$ = Suma de los valores

X = Valor de las observaciones.

CAPÍTULO IV

CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO DE PANELES DE POLIESTIRENO

Para comprender de una mejor forma cómo se compone el sistema constructivo, se procede describir cómo se define, cuáles son los elementos componentes, estableciendo alguna de las ventajas y desventajas que trae su utilización.

4.1. Sistema constructivo de paneles de poliestireno expandido

4.1.1. Definición

Cansario (2005, pg 16), lo define de la siguiente manera:

Este sistema constructivo puede catalogarse 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 (2012), 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.

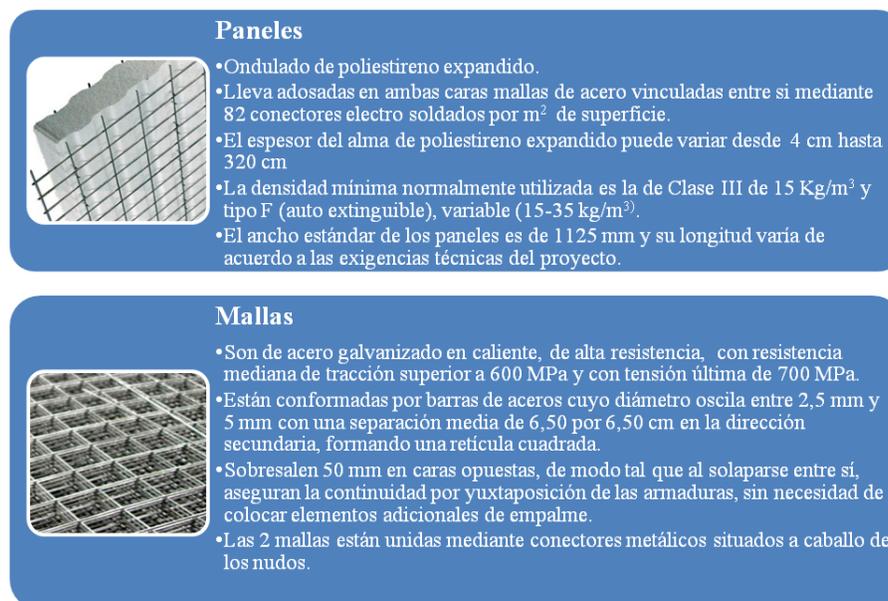


Figura 3. Descripción de los Elementos Componentes del Sistema Constructivo de Paneles M2

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

4.1.2. Descripción de los Elementos Componentes

Los paneles Emmedue, de acuerdo al Manual Técnico de las empresas M2 Emmedue (2008), 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”.

A continuación, se presentan unas figuras donde se muestran la tipología general de los paneles, según el uso para el cual están destinados los mismos.

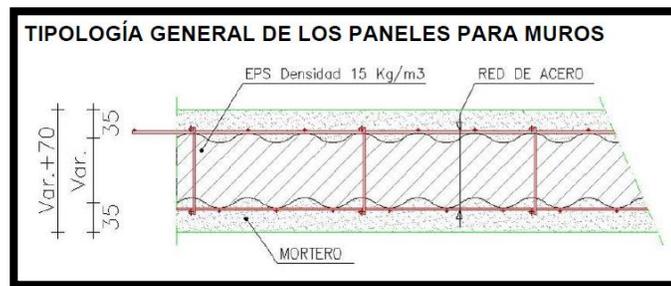


Figura 4. Tipología General de los Paneles M2 para la elaboración de muros

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

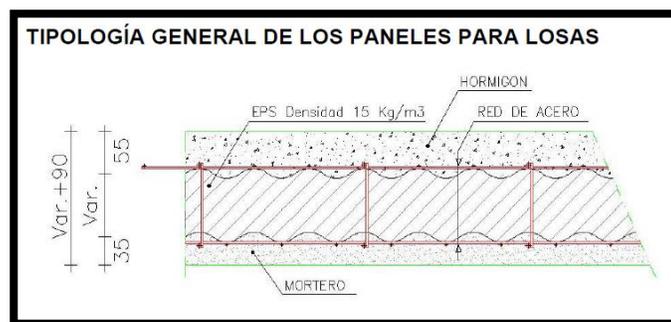


Figura 5. Tipología General de los Paneles M2 para la elaboración de losas

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

Cabe destacar, que Emmedue M2 (2012), asegura que “todos los procesos que intervienen en la fabricación de los elementos que componen M2 son sometidos en forma

permanente a los controles que exige la normativa ISO vigente” y es debido a esto que, “se ha obtenido el Certificado de conformidad a la Norma UNI EN ISO 9001:2000, por el organismo de Certificación TÜV”.

Este sistema constructivo ofrece ventajas como aislamiento térmico, resistencia a los sismos y ahorro energético, resistencia a la carga, resistencia al fuego, resistencia a las explosiones, conveniencia, rápida instalación, ligereza, versatilidad, compatibilidad con los demás sistemas constructivos, amplia selección de acabados y resistencia a los ciclones. Para ver en detalle estas ventajas, referirse al Anexo 71.

De acuerdo con el magazine de arquitectura y construcción Edificae Vilssa (2013):

La principal desventaja de este tipo de sistemas, al igual que cualquier sistema modular, es que los diseños de los espacios están limitados por la resistencia mecánica de las placas. Se trata de un sistema modular que debe ser diseñado con precisión en la etapa de proyecto, para evitar errores durante el proceso constructivo.

CAPÍTULO V

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE CONSTRUCCIÓN ACTUAL

En este capítulo, se describirá 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. Asimismo, abarca desde la delimitación del terreno donde serán hechas las viviendas, hasta los acabados finales de las torres.

Es importante destacar, que esta descripción se realizó en base a 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.

5.1. 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 40 personas, repartidas en la realización de actividades de la siguiente forma:

Tabla 3. 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	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 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	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 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 entepiso 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, el horario para todo el personal obrero, es de 40 horas semanales de trabajo, configuradas de la siguiente manera:

Tabla 4. Horario de Trabajo en el Conjunto Residencial Tacarigua V

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

Fuente: Ing. Orlando Mujica. Ingeniero Residente en la obra Tacarigua V (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. Esto se puede ver evidenciado en el Anexo 19.

Otra de las razones por la cual también se vio 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. Existe un documento adjunto bajo el Anexo número 20, que muestra fotografías donde se evidencia la inasistencia del personal de trabajadores a la obra.

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. Esto se puede ver evidenciado en el Anexo 21.

Es importante destacar, que en este memo, la falta 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.

5.2. Construcción del Complejo Habitacional Tacarigua V

5.2.1. Número de Torres

Partiendo de los datos obtenidos a través de los distintos diagramas Gantt (colocados en el Anexo 14), proporcionados por la empresa, se conoció la cantidad de torres que se estimaron construir por cada constructora contratada. Para inicios del año 2014, específicamente en los meses de enero y marzo, se tenía como estimado, el comienzo de la construcción de 17 torres, de las 24 totales que comprenden todo el complejo habitacional Tacarigua V.

Tabla 5. Cantidad de Torre por Constructora

Nombre de la Constructora	Número de Torres a Construir	Torres
GABOCA C.A	5	5,7,8,9 y 10
RANVER	4	13, 14, 16 y 18
CONSTRUFUERZA	4	11, 12, 19 y 20
D Y D CONSTRUCCIONES	4	21, 22, 23 y 24

Fuente: Elaboración propia (2014)

Sin embargo, hasta la fecha de la última visita a la obra, el 27 de agosto de 2014, sólo se encontraban culminadas 4 de estas 24 torres, lo que representa menos del 17% la culminación de la totalidad de las edificaciones.

5.3. 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 tomó como referencia, los edificios tipo E-1; los cuales, poseen 6 apartamentos de 70 m², por cada piso. Para mayor detalle de las dimensiones de este tipo de edificios, ver Anexo 16.

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.

5.4. Proceso de Construcción Actual

El proceso de construcción de las vivienda,, de acuerdo al ingeniero residente de la obra, el Ing. Mujica, se rige básicamente bajo lo indicado en el Manual Técnico M2 proporcionado por la empresa EMMEDUE. (Anexo 32)

En el anexo número 64, se muestra un diagrama de precedencia, donde se muestra de forma secuencial, cómo son realizadas las actividades y tareas que conforman el proceso de construcción actual.

Ahora bien, para hacer más clara y concisa la descripción del proceso de construcción actual de las edificaciones que comprenden el Complejo Habitacional Tacarigua V, 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. Para ver un desglose más amplio, acerca de cómo se efectúan otros aspectos de este proceso de construcción, se recomienda ver el anexo número 65.

A continuación, se hace un desglose de éstas, de acuerdo a la fase del proceso constructivo donde fueron evidenciadas.

5.4.1. 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, 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. Para mayor información sobre este hecho, se recomienda ver el Memorándum sobre la reubicación de la cerca perimetral, anexado bajo el número 2.

5.4.2. Colocar las tuberías localizadas en la losa de cimentación

En una comunicación, de principios de julio de 2014, 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. (Anexo número 3)

Igualmente, en un informe de fecha 30 de marzo de 2014, llamado Informe Tacarigua V (Anexo 15), 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 trajo consigo demoras en la construcción de las torres del complejo habitacional.

5.4.3. 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, durante una conversación sostenida con él, 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

5.4.4. 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.

Igualmente, existe un informe fotográfico, anexado bajo el número 10, donde se constata esto.

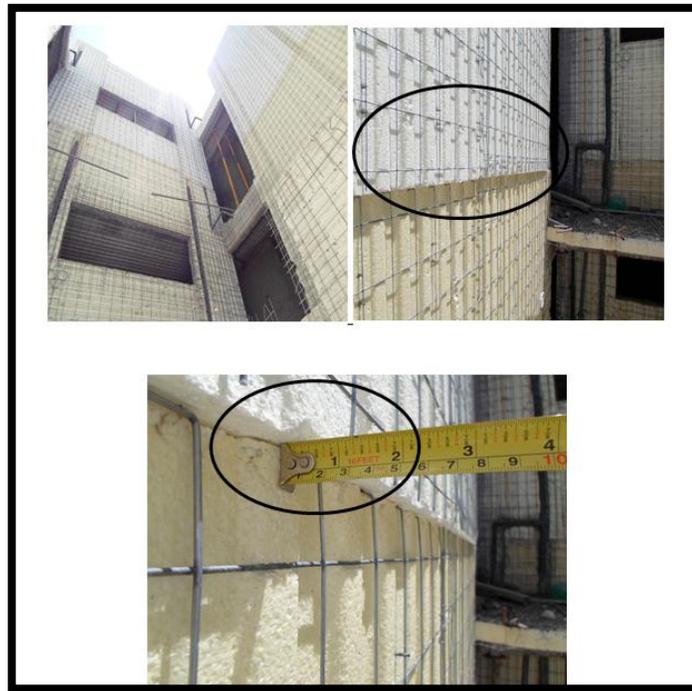


Figura 6. Ejemplos paneles internos y externos verticales mal elaborados

Fuente: FONDOGLOBAL de Construcción (2014)

5.4.5. 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”, 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 ha podido satisfacer la demanda generada por la obra Tacarigua V”. (Anexo 15)

Ahora bien, de acuerdo a los planos de ensamblaje proporcionados por FGDC, (ver Anexo 33), 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 entresijos y techos de cada uno de ellos. En los Anexos 34, 35 y 36, se muestran los documentos proporcionados por la empresa, donde indican lo anteriormente mencionado.

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 con 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.

A continuación, se describen las diferentes tipologías (estos números de paneles son colocados por la empresa fabricante y proveedora de paneles) de los paneles EMMEDUE M2 usados en la obra, sus respectivas áreas de aplicación, así como sus dimensiones:

Para la panelización de paredes, losas de entresijos, antepechos de escaleras y techos de las edificaciones:

Tabla 6. Dimensiones de paneles para paredes, losas de entrepiso, antepechos de escaleras y techos.

Tipo de Panel	Densidad del Panel (kg/m ³)	Espesor (cm)	Dimensiones del Panel	
			Ancho (m)	Alto (m)
1	15	10	1,20	5,14
7	15	10	1,20	4,50
17	15	8	1,20	3,72
70	15	4	1,20	2,48

Fuente: Elaboración propia (2014)

Para la panelización de los módulos de escaleras:

Tabla 7. Dimensiones de paneles para los módulos de escaleras

Tipo de Panel	Ancho (m)	Huella (cm)	Contrahuella (cm)	Escalones (número)
7E	1,20	28	17,66	7
8E	1,20	28	17,66	8

Fuente: Elaboración propia (2014)

Así pues, al pedirle a la empresa FGDC, que nos proporcionara un estimado de cuántos paneles de cada tipo eran usados empleando esta nueva metodología, nos pudimos percatar que dicho cálculo no existe como tal. En tal sentido, nosotras las investigadoras y con la autorización y posterior aprobación, por parte de los ingenieros Ramírez y Mujica, procedimos a realizar este estimado, que posteriormente será usado en otras fases de esta investigación.

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 tomadas de los planos estructurales de los edificios tipo E-1, los cuales son los usados como referencia en esta investigación. Estos planos se encuentran en el Anexo 33.

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 a 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 estimados de paneles por cada tipo de panel usado a los Ing. Mujica y al Ing. Ramírez, quienes lo aprobaron como válido. (Las tablas donde se muestran el estimado calculado se encuentran en el los Anexos 37 y 38)

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. (Anexo 22)

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.

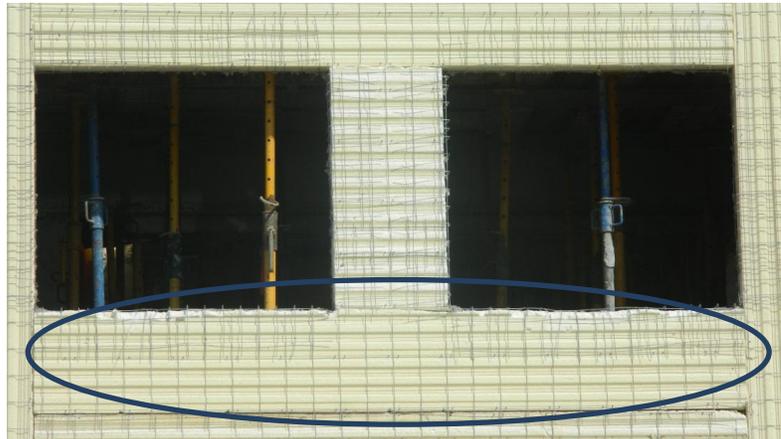


Figura 7. Vista en detalle de los paneles horizontales encima y debajo de la las ventanas

Fuente: Elaboración propia (2014)

No obstante, se pudo evidenciar durante la visita a la obra, que esto no es hecho siempre de esta manera, tal y como se evidencia en la siguiente imagen:

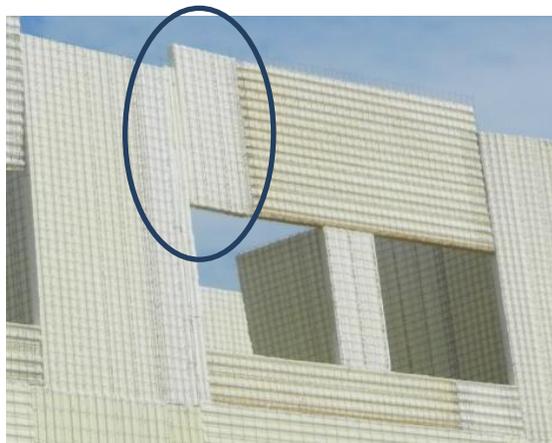


Figura 8. Paneles verticales colocados por encima de las ventanas

Fuente: Elaboración propia (2014)

Existe igualmente otro informe, que documenta la ya mencionada falta de material para panelización en obra, tanto de las mallas de refuerzo como paneles en su diversidad de medidas. (Anexo 21)

5.4.6. Colocación de tuberías (ductos) para instalaciones sanitarias y eléctricas

Al menos en una oportunidad, tal y como lo muestra el “Memo de Irregularidades GABOCA C.A” (Anexo 49), se cometió un error de procedimiento en la colocación de las tuberías, a través de las paredes que conforman los apartamentos de las torres. Este hecho,

afectó directamente en el comportamiento estructural de las edificaciones donde se llevó a cabo dicho procedimiento

5.4.7. Projectado de mortero y revocado de paneles para muros

Para esta actividad, en la obra es usada una máquina Turbosol modelo miniAvant, la cual garantiza el eyectado de mortero a la presión necesaria para este proceso.

Pero, en el Informe de solicitud de repuestos del equipo Turbosol, anexado bajo el número 4, se puede conocer que muchas de las piezas con las que funciona la máquina de proyectado, no se encuentran en el mercado nacional, y algunas de las mismas (membrana de separación, pistón y deflector D.14 660) se acabaron del inventario original”. Es por ello, que el hecho de que no se cuente con estas piezas en obra, originaron la paralización de diversas máquinas y ninguno de las contratistas, de acuerdo con el Ing. Bejarano y el Ing. Mujica, logró conseguirlas con proveedores locales y/o nacionales, hasta hoy en día, por lo que cuentan con menos inventario de estas, disponibles para su uso.

Ahora bien, de acuerdo con el ingeniero residente, en diversas ocasiones debido a la falta de personal proyectista disponible para realizar este trabajo, dicha actividad comienza sin tener a todos los obreros necesarios. Esto acarrea, de acuerdo a sus palabras, que la actividad se dilate y que, por lo tanto, la mezcla del mortero tenga más oportunidad para secarse en el lugar de trabajo, implicando que no pueda reusarse y que se generen más desperdicios, así como un mayor consumo de este recurso.

Según un documento proporcionado por la empresa FGDC, actualmente 16 de las 37 máquinas Turbosol Miniavant designadas a la obra, no se encuentran operativamente activas, lo que representa que más del 43% de la maquinaria total se encuentra dañada o en reparación. (Ver Anexo 23)

Por otro lado, esta obra trabaja con un proveedor fijo de mortero estructural ya preparado, llamada Morteros de Venezuela C.A., listo para emplear en el proceso, comercializado bajo la marca Instalfriso. Sin embargo, en junio de 2014, debido a “grave situación en cuanto a la disponibilidad de Instalfriso”, se propuso la utilización de mortero hecho en obra, luego de una reunión acordada por las distintas constructoras que participan en este proyecto. (Ver Anexo 5)

En este mismo documento, se resalta el hecho de que para realizar el mortero en la obra, era necesario la compra y disponibilidad de ciertos componentes por separado, como: arena lavada, arena cernida, cemento y agua. Además de resultados de pruebas y ensayos para avalar la calidad del mortero, se propuso la utilización de una serie de aditivos: aditivo superplastificante y microfibra de polipropileno.

Otra situación importante de recalcar, es que desde mediados del año 2013, se estuvieron presentando problemas con la calidad del mortero estructural Instalfriso, usado en el proceso de revoque de las torres de la obra. Existe un informe (Anexo 9), donde el ingeniero Bejarano, alega una caída de la resistencia a la compresión del material Instalfriso, además de presentar tendencia a seguir disminuyendo de valor. También indican esta caída en la resistencia representaba, un problema al momento de comparar la resistencia estructural mínima requerida con respecto a la otorgada por el mortero estructural a la obra, debido a que ellos no cuentan con informaciones acerca de:

- ✓ Resistencia mínima a la compresión requerida por el proyecto estructural de la obra del complejo habitacional Tacarigua V.
- ✓ Resistencia de diseño del material proveniente de Morteros Venezolanos “Instalfriso”, despachado a obra.

Por otra parte, para inicios del año 2014, de acuerdo a las notas de despacho obtenidas desde el 06/06/2013, se habían despachado a obra un aproximado de 5.000 toneladas de mortero estructural “Instalfriso”, de las cuales sólo se sometieron a ensayo un total de treinta y ocho (38) muestras. La empresa estableció el número de muestras necesarias para los ensayos de ruptura a compresión del mortero, usando lo establecido en las “Normas COVENIN 1976-2003 Concreto. Evaluación y métodos de ensayo” y “344-2002 Concreto fresco. Toma de muestras”, sería una (1) muestra cada ochenta y un (81) toneladas de este material. Para mayor detalle acerca de cómo fue hecho este cálculo y acerca de las normas a las que se remite, consultar en Anexo 9.

Por lo tanto, tener solo 38 muestras ensayadas representaría solo 1 muestra cada 131 toneladas; lo cual los ingenieros encargados de la obra indican, que no corresponde con la normativa.

Alguno de los problemas e inconvenientes que trajo consigo esta baja calidad en mortero estructural, de acuerdo a FGDC, son los siguientes: (Anexo 1)

- Baja cohesión entre partículas en el mortero húmedo, ya que al momento de la preparación, el material se notaba disgregado y no con las propiedades cohesivas regulares del material y de cualquier otro mortero a base de cemento.
- Disminución de la adherencia en la superficie de EPS de panel, lo que ocasionó bajos rendimientos en las actividades de proyección.
- Acelerada velocidad de fraguado lo que ocasionó el endurecimiento del material en las mangueras de las máquinas proyectadoras, causando pérdidas de tiempo y daños en dichos equipos.

De igual forma, FGDC asegura en este mismo documento, que existen otras circunstancias que tienen que ver con la paralización de la mano de obra y la falta de inventario de materiales; y que han contribuido con el retraso en el levantamiento de la obra; citando,

“es de hacer notar además que en las semanas anteriores no se ha dado lugar a un despacho 100% satisfactorio de las necesidades de la obra Tacarigua V, tiempo en el que en ciertos momentos se paralizaron algunas cuadrillas, esto a pesar que el rendimiento de las cuadrillas de revoque de la obra ha bajado significativamente por horarios y personal disminuido a causa de la situación actual de nuestro país y otras razones internas”.

También es necesario tomar en cuenta, que se le fue informado a FGDC, en una oportunidad, por parte de la gerencia de contratación de la empresa, que la solicitud de la semana en curso de Instalfriso (mortero estructural), en la fecha 04/04/2013, no podría ser cubierta en su totalidad debido a que el proveedor Morteros Venezolanos tenía pagos atrasados; hecho que también dilató la duración de este proceso. (Anexo 6)

5.4.8. 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 entrepiso deben vaciarse con “acabado liso”. Este hecho se puede constatar con la lectura del “Notificación sobre la construcción de sobrepisos Gaboca C.A” (Anexado bajo el número 39).

También está el hecho importante, en donde FONDOGLOBAL de Construcción asevera en un memorándum del 11 de abril de 2014, que se encuentra en los Anexos bajo el número 24, que, la empresa que suministra actualmente el concreto premezclado y bombeadora, *“no está en capacidad de cubrir la demanda de esta obra y mucho menos la obra de Tacarigua V y Las Vegas en simultáneo, debido a la cantidad de camiones que poseen y la capacidad de la bomba, pues (...) actualmente no cuenta con una bomba en operación para cumplir este requerimiento.”*

Además, “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”.

5.4.9. Acabados

5.4.9.1. Pintura exterior e interior

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.



Figura 9. Imagen sobre la pintura exterior aplicada a los edificios del Conjunto residencial Tacarigua V

Fuente: Elaboración propia (2014)

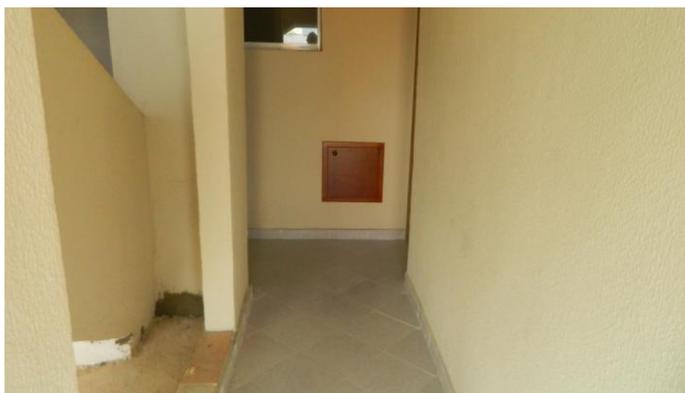


Figura 10. Imagen sobre la pintura exterior aplicada a los edificios del Conjunto residencial Tacarigua V

Fuente: Elaboración propia (2014)

5.4.9.2. Revestimientos de la pared

En el “Informe de Torre 5 a Torre 10” (Anexo 10) , hecho por el Ing. Bejarano, muestra de acuerdo a su criterio profesional, cómo las torres, “muestran 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”.



Figura 11. Evidencia de acabados de mala calidad en uno de los Apartamentos del Conjunto Residencial Tacarigua V

Fuente: Elaboración propia (2014)

También se cuenta con otro informe, de tipo fotográfico, Anexo 7 “Informe fotográfico, Torre 19 y 20” donde los encargados de la obra por parte de FGDC adjuntan imágenes, que según su criterio, muestran algunas deficiencias en la calidad y ejecución en la construcciones de otras dos (2) torres, tales como fallas en la panelización, grietas en frisos de paredes y bordes de ventanas.

Todas las áreas en donde se presentaron las situaciones descritas anteriormente, de acuerdo a la empresa, fueron luego inspeccionadas por FONDOGLOBAL de Construcción, junto con la residencia de obra por parte de Gaboca C.A, en donde se establecieron cuáles áreas debían ser demolidas a causa de “la mala praxis estructural ejecutada por la constructora”. Es importante aclarar que los gastos relativos, a material, mano de obra y equipos necesarios para estas demoliciones y la nueva reconstrucción fueron pagados por la constructora.

5.5. 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, donde se van apilando sin ningún orden en específico, a medida de que son colocados allí. A continuación, se muestran imágenes que constata dicha aseveración.

Figura 12. Disposición de los residuos de mallas electrosoldadas en el Conjunto Residencial Tacarigua V



Fuente: Elaboración propia (2014)

Figura 13. Disposición de los residuos de paneles en el Conjunto Residencial Tacarigua V



Fuente: Elaboración propia (2014)

CAPÍTULO VI

REPRESENTACIÓN DE LA EJECUCIÓN ACTUAL DEL PROCESO CONSTRUCTIVO

En el siguiente capítulo se procederá a describir cuál fue el proceso de diseño, construcción, verificación y validación del modelo de simulación hecho, para representar cómo es 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 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 saber cuánto es el tiempo que se tarda construir un edificio completo, es decir, una torre, de dimensiones anteriormente especificadas en el capítulo IV de este tomo al igual que se pueden encontrar en los planos Anexos (Ver Anexo 33), 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, la representación del modelo y el número de repeticiones se encuentran anexados bajo el número 69.

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. 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%.

Para el modelo 1, el que considera la construcción de solo una torre, se tiene que:

Tabla 8. 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 Tabla 8, los porcentajes de error no exceden, en general, el 5%, excepto en 3 casos específicos; por lo tanto, se puede aseverar que los resultados arrojados por el modelo, son representativos pues coinciden con lo previsto en esta investigación.

En el caso del modelo 2, el que considera la construcción cuatro (4) torres en simultáneo, se tiene que:

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.

La descripción de la elaboración de las lógicas del modelo se encuentran detalladas en los Anexos bajo el número 45.

CAPÍTULO VII

ANÁLISIS DEL PROCESO DE CONSTRUCCIÓN ACTUAL

En el siguiente capítulo, se desdobra el análisis de los datos e información mostrada en el capítulo anterior. Este análisis servirá, junto con la descripción del proceso de construcción actual, para revelar aquellos principales problemas que puedan encontrarse afectando el proceso de construcción de edificaciones hechas de paneles de poliestireno en el complejo habitacional Tacarigua V, en Los Guayos.

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. Esta tabla se encuentra en los Anexos, bajo el número 47

Asimismo, se usó una tabla para asignar un determinado coeficiente a cada una de las causas generales, de acuerdo a 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 las opiniones de expertos en el tema, específicamente el Ing. Mujica, quien luego de calificarlas, les asignó junto con las investigadoras, un valor específico a cada una de las causas generales seleccionadas.

Tabla 9. Coeficiente de impacto e implementación para la elaboración del Diagrama Pareto

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

Fuente: Elaboración propia (2014)

Ahora bien, una vez planteado esto, 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 al 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. A continuación, se muestra una tabla con los valores y cálculos anteriormente mencionados:

Tabla 10. Percentiles de Cada una de las Causas Generales para la elaboración del Diagrama de Pareto

Causas Generales	Letra Indicativa	Número de Incidencias	Coeficiente	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
TOTAL		50,00		262,00		

Fuente: Elaboración propia (2014)

Como se mencionó en el apartado anterior, a partir de los valores establecidos en la Tabla 9 junto con los de la tabla 13, se procedió a realizar un Diagrama de Pareto, para identificar cuáles son los factores que contribuyen de mayor manera con la demora en el tiempo de construcción.

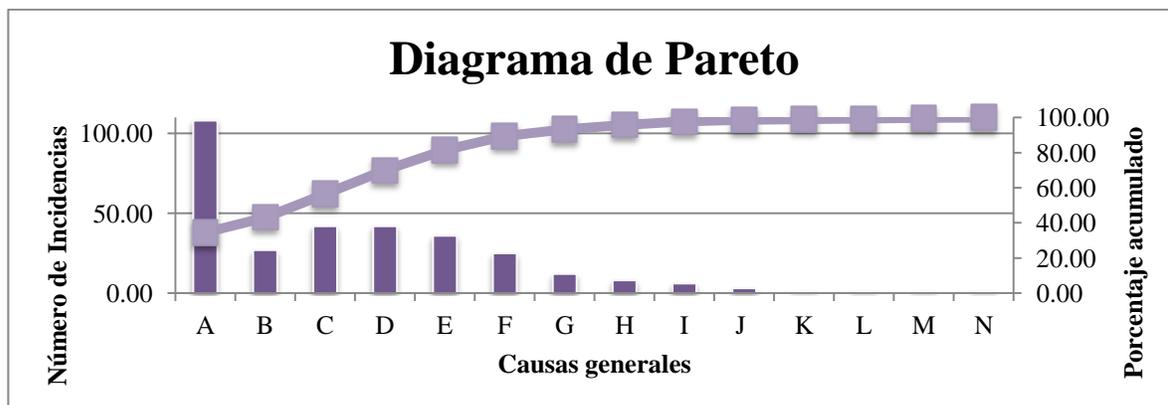


Figura 14. Diagrama de Pareto

Fuente: Elaboración propia (2014)

Existen 15 categorías de situaciones, irregularidades o problemas (Ver Anexo 47) que contribuyen con la demora en el tiempo de construcción de las edificaciones que conforman el complejo Tacarigua V. Sin embargo, tal y como se puede evidenciar en la Figura 14. 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, ordenadas de forma decreciente de acuerdo al porcentaje relativo que representa, corresponden a:

Tabla 11. Categorías que absorben el 82% de los problemas

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)

7.1.1. Mortero Estructural usado en la obra

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 cohesivas 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, trajeron consigo una velocidad de fraguado mayor, lo que ocasionó 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.

7.1.2. Supervisión del personal de la obra

Otra situación resaltante que se vincula directamente, con la segunda categoría con mayor incidencia en el Diagrama de Pareto realizado: la falta de supervisión del personal que labora 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, sea 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.

7.1.3. Capacitación del personal obrero de la obra

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.

7.1.4. Personal obrero trabajando en 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.

7.1.5. Paneles usados en obra

Aunado a todas las irregularidades anteriormente mencionadas, este aspecto que más incide en la demora de la entrega de las viviendas. Se comprobó 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 éstos.

7.1.6. 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* 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.

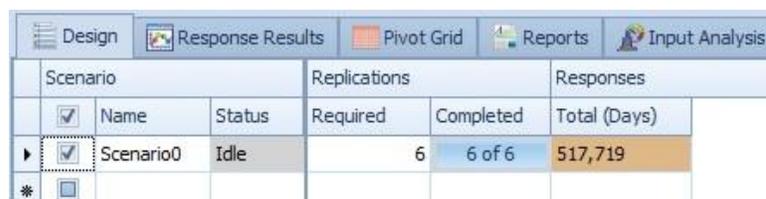
7.1.7. Otros aspectos no controlables por el ser humano

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 más complejos, 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 ejecute 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

Figura 15. Tiempo Promedio total del Modelo de la Situación Actual 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. Para mayor detalle de este cálculo, ver el Anexo 18.



Scenario		Replications		Responses	
<input checked="" type="checkbox"/>	Name	Status	Required	Completed	Total (Days)
<input checked="" type="checkbox"/>	Scenario0	Idle	6	6 of 6	517,719

Figura 15. Tiempo Promedio total del Modelo de la Situación Actual

Fuente: Elaboración propia (2014)

Ahora bien, es importante destacar, que los datos de tiempo estándares con los que se cuenta, corresponden únicamente a los de los proceso de panelización y revoque de las edificaciones, registrados en el Manual Técnico de Construcción del Sistema Constructivo M2, en la página 53, de la empresa Casa Pronta (Anexo 13). Comparando estos datos de valores estándares (calculados en función de la cantidad de trabajadores con la que se cuenta para cada departamento de trabajo), con los valores de tiempo promedio arrojados por el modelo que simula el proceso de construcción actual (para ver estos valores, remitirse al Anexo 25) con respecto a los procesos de panelización y revoque, se tiene que:

Tabla 12. Variación entre los tiempos de los procesos de panelización y revoque actual y estándar de cada piso

		Tiempo de Proceso (Horas)			
Proceso		PB	NI	N2	N3
Panelización	<i>Actual</i>	263.04	307.42	307.26	314.60
	<i>Escenario 3</i>	71.84	55.20	55.20	41.34
	<i>% Variación</i>	72.69%	82.04%	82.03%	86.86%
Revoques	<i>Actual</i>	279.32	189.10	208.85	186.20
	<i>Escenario 3</i>	93.09	79.39	79.39	68.26
	<i>% Variación</i>	66.67%	58.02%	61.99%	63.34%

Fuente: Elaboración propia (2014)

Para ver con más detalles, el cálculo de estos valores, dirigirse al Anexo 27.

Tal y como se observa en la Tabla 12, en primer lugar, el número de horas que se toma el proceso de panelización actualmente en obra, está aproximadamente un 80.91% por encima de los valores de tiempo estándar que, de acuerdo al manual técnico de la empresa Casa Pronta (Anexo 13), debería tomarse dicha actividad. Igualmente, en el caso del proceso de revoque, excede en aproximadamente un 62.50% lo recomendado. Esto demuestra que el proceso de construcción actual se encuentra demorado, en por lo menos la ejecución de estos dos procesos. Sin embargo, es importante recordar que esta construcción se ejecuta en exactamente las mismas condiciones que se indican en el manual constructivo, empezando porque ni los paneles ni los cortes que se les hacen a éstos, coinciden con los planos de ensamblaje. Otro aspecto importante a considerar, es que esta diferencia de tiempo, también puede deberse en gran parte, al hecho de que la mano de obra que labora en el sitio, no tenga la suficiente capacitación y conocimientos técnicos con respecto al sistema constructivo, lo que conlleva mayor número de retrabajos y lentitud en la ejecución de estos procesos.

7.2.1. Porcentaje de utilización del personal obrero

Igualmente, se pudo corroborar que el personal obrero está trabajando actualmente por encima de su capacidad, ya que los porcentajes de utilización promedio que arroja el sistema, exceden en todos los casos el 100%. Para observar un mejor desglose de los resultados obtenidos para la situación actual, ver Anexo 48.

Tabla 13. Porcentaje de Utilización del personal obrero para el Modelo de la Situación Actual

Escenarios	Respuestas						
	Tiempo Total Prom (Días)	Tiempo Total con Feriados Prom (Días)	Porcentajes de Utilización				
			Panelizadores	Proyectistas	Electricistas	Sanitarios	Promedio
0	517.72	535.00	140.48%	186.92%	145.53%	125.13%	153.25%

Fuente: Elaboración propia (2014)

Sin embargo, es importante destacar que el hecho de que los porcentajes de utilización de los trabajadores excedan el 100%, no implica que debe tomarse la lectura de estos valores de forma literal. Al ser SIMIO, un software de simulación orientado a objetos, toma a los trabajadores como un recurso material y no humano; por lo tanto, admite que su capacidad de trabajo sea de esas magnitudes. El hecho de que exceda los cien puntos porcentuales, solo es un

indicativo para identificar qué grupo de trabajadores no está trabajando bajo un ritmo adecuado y cuáles necesita de la adición de obreros dentro de la cuadrilla del personal. Igualmente indica que, para poder cumplir con el período de tiempo estimado y establecido en el diagrama Gantt (Anexo 8) es necesario trabajar horas extras a las establecidas en el horario laboral con el que actualmente se trabaja (Tabla 4 del Capítulo V).

Ahora bien, de acuerdo a la Tabla 13, el grupo de trabajadores de mayor sollicitación, con más de 186% de utilización, es el grupo de proyectistas, el cual cuenta actualmente con 12 trabajadores a su disposición. Seguidamente, los electricistas y panelistas, con más de 145% y 140% de utilización; actividades que cuentan con 6 y 17 trabajadores respectivamente. Por último, con poco más del 125%, se encuentran el grupo de trabajadores sanitarios, quienes cuentan con 5 personas para la realización de sus actividades. Dichos valores indican, que es necesaria la adición de un número determinado de trabajadores a cada grupo de especialistas, que contribuyan con la disminución del porcentaje promedio de utilización de los obreros que conforman esta cuadrilla.

7.3. Mapeo de la Cadena de Valor (VSM)

A través del uso de una herramienta visual de la manufactura esbelta, llamada *Value Stream Mapping* (VSM) o mapeo de la cadena de valor, se logró identificar todas las actividades que componen la planeación y la fabricación de las viviendas, con el fin de encontrar oportunidades de mejoramiento que tengan un impacto sobre toda la cadena y no solo sus procesos aislados.

A cada una de las operaciones o procesos se le asignan indicadores o medidas de desempeño que permitan conocer y visualizar el estado actual del proceso. En este caso, el VSM hecho, el cual se puede observar en el Anexo 17, contiene: el tiempo promedio de ciclo de cada proceso, el número de trabajadores necesarios por cada operación realizada, así como el porcentaje de utilización promedio para cada uno. Es necesario mencionar, que no se cuenta con cifras que cuantifiquen todos los desperdicios generados para cada recurso usado, ya que la empresa no contempla la recolección de esta información. Es por ello, que solo se colocó la estimación hecha por los investigadores (Anexos 49 y 50), donde se calcula la cantidad de

metros cuadrados (m^2) de panel que se desechan en promedio, al ejecutar el proceso de panelización para la construcción de una (1) torre.

En función de esto, se recomienda diseñar e implementar, algún tipo de instrumento que permita recolectar los tiempos de caída, actividades que no generan valor al proceso, tiempos de ciclo, tiempo de alistamiento y cambio de referencia, número de operadores por equipo, porcentaje de rechazos, disponibilidad del equipo, tiempo de paradas, eficiencia, entre otros; para llevar un mejor control de estos indicadores.

Ahora bien, una vez que fueron asignados los indicadores dados y diagramado el VSM de la situación actual (Anexo 17), se identificaron las oportunidades de mejoramiento, que de una u otra forma, tienen un impacto en la reducción de los costos, de los desperdicios de paneles, así como el mejoramiento de la productividad y la calidad a través de todo el proceso constructivo. Finalmente, se dibujó el mapa futuro, que se encuentra en el anexo 63, el cual ayudó a visualizar cómo se encontraría el proceso, luego de las mejoras que se plantearan.

7.4. Desperdicios Identificados

7.4.1. Desperdicios por tiempo de espera

En términos de manufactura, se refiere a los “cuellos de botella”, los cuales hacen que se genere una espera en el proceso productivo debido a que una fase del proceso de construcción se ejecuta más rápidamente que la que le sigue, haciendo que los trabajadores de esta siguiente etapa se encuentren inactivos más cantidad de tiempo.

Para eliminar este tipo de desperdicios, es necesario promover la maximización de la eficiencia de los trabajadores. Las causas de esta espera radican en:

- Llevar a cabo el mantenimiento no planeado de las máquinas, en especial la de revoque, que obligue a detener el proceso constructivo, para limpiar o arreglar una avería en el equipo.
- La espera de un largo tiempo de arranque del proceso de construcción, cada día de trabajo.

- No contar con una planificación adecuada, que sirva para regirse acerca de cuál es el cronograma que se debe seguir para la construcción de las diversas torres del complejo habitacional.

- Una distribución de la manufactura de las torres, que no se encuentre equilibrada en el tiempo; es decir, cuando una parte de un proceso se ejecuta más rápido que un paso anterior de esta misma cadena de trabajo, lo que hace que los trabajadores se encuentren inactivos por períodos de tiempo.

- Problemas de calidad en los procesos que conforman la construcción de las viviendas, que a su vez, genera otro tipo de desperdicios y retrabajos.

- Cantidad de tiempo que el personal obrero de la obra debe esperar para que los supervisores lleguen, si es que llegan, al lugar de trabajo y realicen su inspección de calidad.

- Una mala gestión de las compras o poca sincronía con los proveedores, sobre todo de paneles y mortero estructural, que obliga a detener la construcción, debido a falta de insumos y materiales para realizar el trabajo.

7.4.2. Desperdicios por inventarios

Este tipo de desperdicio, se refiere a la cantidad de recursos materiales acumulados por el proceso construcción de las edificaciones y su movimiento dentro de la obra, que no afecta solo a los materiales, sino también a las diversas partes del proceso t al producto final (torres).

Tener un inventario de paneles de poliestireno que exceda lo estrictamente necesario para cubrir las necesidades de la obra, es considerado como una fuente de pérdidas, debido que tenerlos a la intemperie, hace que puedan sufrir posibles daños, que se envejeczan y disminuyan su calidad, que se emplee tiempo en recuento y control de calidad. Las causas de esta pérdida pueden ser:

- Pedir y almacenar mayor cantidad de materiales, sobre todo de paneles, como consecuencia de la prevención de la compañía constructora, por posibles casos de ineficiencia o problemas inesperados en el proceso de manufactura de las viviendas y de los proveedores de los materiales.

- Una mala planificación de la manufactura de las torres, que no registre verdaderamente la cantidad de materiales que se necesitan para construir un número determinado de torres, de acuerdo a la capacidad de los trabajadores.

7.4.3. Desperdicios por transporte

Este tipo de desperdicios, en el caso de esta construcción, al no estar los recursos y las maquinarias necesarias por el proceso de construcción en el lugar preciso de trabajo, que va a depender de la torres y del piso que se esté realizando, se hacen necesarios varios viajes para traerlos desde donde están almacenados hasta donde se está construyendo.

Es por ello, que hay que prever un recorrido eficiente, ya sea dentro de la propia obra como en el exterior, en el caso de la llegada de la materia prima de recursos necesarios para el proceso constructivo. La aplicación de un transporte conlleva a una serie de costos en dinero, equipos, combustible y mano de obra, e incluso aumentar los plazos de entrega.

Además, es necesario considerar el hecho de que cada vez que se mueve un material, como los paneles de poliestireno, aumenta la posibilidad de que éstos puedan ser dañados; es por ello, que asegurar el material dentro el transporte, también requiere de personal y materiales que ayuden con dicha tarea. De igual forma, recursos como paneles y máquinas de revoque son colocadas en un espacio inadecuado de forma temporal, que conlleva a volver a moverlos en un corto periodo de tiempo al ser requeridos constantemente, lo que ocasiona nuevamente la utilización de mano de obra y costes innecesarios.

El transporte ineficiente de material es causado por:

- La inexistencia de un *layout*, de las áreas que conforman en lugar de trabajo dentro de la obra.

- Los materiales y maquinarias necesarios para la construcción, no fluyen continuamente.

7.4.4. Desperdicio de tiempo debido a movimientos innecesarios

Cuando el trabajador se encuentra en la necesidad de moverse a través de la construcción buscando algún documento o a otro compañero de trabajo, escoger una herramienta, agacharse o incluso caminar un tramo innecesariamente en busca de alguna herramienta, documento, material o persona, constituye un desperdicio. Esto implica un aumento del cansancio del operario, ocasionando dolencias, desmotivación, así como una disminución del tiempo dedicado a realizar las tareas y procesos que realmente aportan valor al proceso constructivo.

Entre las causas evidenciadas en la obra, que generan desperdicios por movimientos innecesarios se encuentran:

- En el hecho de que, como se puede observar en la Tabla 12, al ser el tiempo que ellos usan para realizar los distintos procesos, superior al establecido por la empresa EMMEDUE M2. Otra situación donde se refleja estos, es el no aprovechamiento de un mismo viaje a una zona determinada de la obra, para hacer o buscar todo lo necesario allí de una sola vez.

- Empleo de métodos de trabajo erróneos o no estandarizados; lo que trae como resultados un flujo de trabajo y materiales poco eficiente, métodos de trabajo inconsistentes o mal documentados, también por falta de capacitación técnica y práctica de todo el personal de trabajadores.

- Inexistente distribución de las distintas áreas y herramientas de trabajo dispuestas en la obra, que no organice adecuada y eficientemente en lugar de trabajo.

- La falta de orden, limpieza y organización, de las herramientas y áreas de trabajo de la obra; lo cual ocasiona movimientos innecesarios de los obreros para buscarlas.

7.4.5. Desperdicios por procesos inapropiados o sobreprocesos

La realización de trabajo extra en cualquier área a construir dentro de la obra, o el rehacimiento de cualquier proceso innecesariamente, es uno de los tipos de desperdicios que más se observa en el proceso de construcción actual. (hechos que se mencionan en el Capítulo V).

Es importante analizar el porqué de la existencia de un proceso, si realmente es necesario o no.

Las causas que generan este tipo de pérdidas incluyen:

- El uso de una lógica de trabajo “Just In Case”, la cual implica realizar alguna acción de trabajo “por si acaso”; y no limitarse a realizar correctamente, solo las actividades establecidas en el manual técnico especializado.

- Cambios repentinos en las especificaciones de diseño arquitectónicas y estructurales, sin que haya un cambio en las de tipo procedimental para llevarlas a cabo.

- Los requerimientos del cliente, en este caso el Estado venezolano, no están definidas claramente; lo cual induce a constante cambios en las especificaciones y plazos que se requieren para la entrega final del complejo habitacional.

- Una mala comunicación, no solo entre la empresa FGDC, las diversas contratistas y empleados que laboran en el lugar y los representantes del Estado; sino entre el mismo personal obrero, que no permite identificar adecuadamente qué actividades ya están listas y cuáles faltan por hacer para llevar adelante la construcción.

- Aprobaciones o supervisiones innecesarias por parte de los encargados de la obra. En realidad, lo ideal sería que cada trabajador velara porque su trabajo sea de calidad y esté ajustado a los parámetros exigidos en el manual constructivo.

7.4.6. Desperdicios debido a defectos

Los defectos en la manufactura de las torres, evidentemente no aportan valor a la construcción e igualmente producen un desperdicio considerable, debido a que se consumen una cantidad de materiales y mano de obra para reprocesar las actividades ya hechas que no se había estimado, y sobre todo, provocan una insatisfacción por parte del cliente final. Las causas de estos defectos radican en:

- Falta de control en el desarrollo de las diferentes actividades que componen proceso constructivo.

- Baja calidad no solo en los recursos materiales que se emplean, sino en la ejecución de los procesos por parte del personal que labora en la obra.

- Un mantenimiento de los equipos mal planeado o incluso, inexistente, de las máquinas de revoque.

- Fallas en formación y capacitación técnica y práctica insuficiente en el sistema constructivo, de los trabajadores.

- Mal diseño arquitectónico y estructural de las edificaciones del complejo residencial, como consta en los informes que corresponden a los Anexos 7, 10, 40, entre otros.

7.4.7. Desaprovechamiento del Talento Humano

Actualmente, el desaprovechamiento del talento humano, también es considerado como un tipo de desperdicio. Esto se debe a diversas causas:

- La existencia de una cultura de trabajo y política por parte de la empresa, donde se subestiman las opiniones y conocimientos de los trabajadores que componen el personal obrero.

- Insuficiente entrenamiento y formación de la mano de obra, lo que no les permite participar oportunamente en pro del mejoramiento de los procesos ejecutados; al igual que poca motivación por parte del personal encargado de la obra hacia el personal obrero.

- Insatisfacción por parte de los trabajadores con respecto al salario que perciben por su trabajo

- Posibles desajustes entre el plan estratégico de la empresa constructora responsable (FGDC) y la comunicación de éste, al resto del personal que participa en la obra.

A pesar de haber identificado toda esta serie de situaciones y acciones que corresponden a la generación los diversos tipos de desperdicios anteriormente mencionados, es importante destacar que no se pudo cuantificar la cantidad de tiempo, dinero o material que implica tenerlos en la construcción de esta obra. Esto se debe, a que la empresa no posee el histórico de datos que se hace necesario para valorizar cuantitativamente los desperdicios, pues dentro de su política de documentación no se encuentra registrar estos tipos de datos.

CAPITULO 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, anexado a este trabajo bajo el número 13. 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 14. 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
TOTAL	40	80

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 15. 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)

Para ver en detalle los resultados arrojados por el modelo de simulación, remitirse a los Anexo 52, 53 y 54.

Al implementar 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 se dilata el proceso de construcción en su totalidad, también se vio modificado, tal y como se muestra en la

Figura 16:

Scenario		Replications		Responses	
<input checked="" type="checkbox"/>	Name	Status	Required	Completed	Total (Days)
<input checked="" type="checkbox"/>	Scenario 1	Comple...	6	6 of 6	472,904
* <input type="checkbox"/>					

Figura 16. Tiempo total Promedio del Proceso en el Escenario 1

Fuente: Elaboración Propia (2014)

Igualmente, en la Tabla 15, 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.

Los cambios generados en el modelo, en cuanto al número de horas de trabajo semanal, se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 16. Cambios en el modelo para el Escenario 2

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

Fuente: Elaboración Propia (2014)

Se presenta a continuación una figura, donde se muestra la tabla de 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.

Scenario		Replications		Responses	
<input checked="" type="checkbox"/>	Name	Status	Required	Completed	Total (Days)
<input checked="" type="checkbox"/>	Scenario2	Comple...	6	6 of 6	418,145

Figura 17. Resultados del tiempo total promedio del proceso para el Escenario 2

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. Para ver un desglose más amplio de los resultados obtenidos al correr el Escenario 2 en SIMIO, ver el Anexo 51.

Tabla 17. Variación entre el Modelo de la Situación Actual (Escenario 0), con el Escenario 2

Escenarios	Respuestas								
	Tiempo Total Prom (Días)	Tiempo Total con Feriados (Días)	Porcentajes de Utilización					Variaciones	
			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%	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, los cuales se encuentran especificados en un conjunto de tablas (Anexo 26), 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; 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 colocada a continuación:

Tabla 12. Variación entre los tiempos de los procesos de panelización y revoque actual y estándar de cada piso

		Tiempo de Proceso (Horas)				
Proceso		<i>PB</i>	<i>NI</i>	<i>N2</i>	<i>N3</i>	
Panelización	<i>Actual</i>	263.04	307.42	307.26	314.60	
	<i>Escenario 3</i>	71.84	55.20	55.20	41.34	
	<i>% Variación</i>	72.69%	82.04%	82.03%	86.86%	80.91%
Revoques	<i>Actual</i>	279.32	189.10	208.85	186.20	
	<i>Escenario 3</i>	93.09	79.39	79.39	68.26	
	<i>% Variación</i>	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.

Scenari		Replications		Responses
<input checked="" type="checkbox"/>	Name	Status	Required	Completed
<input checked="" type="checkbox"/>	Scenari3	Comple...	6	6 of 6
			Total (Days)	
			409,188	

Figura 18. Tiempo Total Promedio del Proceso para el Escenario 3

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, se tiene que:

Tabla 18. 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.

Para mayor detalle acerca de los porcentajes de utilización del personal obrero, bajo el Escenario 3, remitirse a revisar al Anexo 55.

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 (la adición de

trabajadores, se hace de acuerdo a la Tabla 14, en donde se especifica la configuración para añadidura de estos empleados), y además, se busca con la capacitación técnica de éstos, modificar los tiempos de procesamiento de panelización y revoque, asemejándose en la mayor medida posible a los tiempos estándares (Tabla 12. **Variación entre los tiempos de los procesos de panelización y revoque actual y estándar de cada piso del Escenario 3**).

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

Scenario		Replications		Responses	
<input checked="" type="checkbox"/>	Name	Status	Required	Completed	Total (Days)
<input checked="" type="checkbox"/>	Scenario4	Comple...	6	6 of 6	346,88
*					

Figura 19. Tiempo Promedio Total del proceso para el Escenario 4

Fuente: Elaboración propia (2014)

Al cotejar los resultados del Escenario 0, con los del Escenario 4, se tiene que:

Tabla 19. 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				Promedio	% Variación del Tiempo Total	Variación% Utilización de los Trabajadores
			Panelizadores	Proyectistas	Electricistas	Sanitarios			
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 19, 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.

Si se desea ver los pormenores de las cifras de los porcentajes de utilización de la mano de obra correspondiente a este escenario, revisar los Anexos 56, 57 y 58.

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 (Tabla 16 y Tabla 12).

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

Scenario		Replications		Responses	
<input checked="" type="checkbox"/>	Name	Status	Required	Completed	Total (Days)
<input checked="" type="checkbox"/>	Scenario5	Comple...	6	6 of 6	331,272

Figura 20. Tiempo Total Promedio del proceso para el Escenario 5

Fuente: Elaboración propia (2014)

Contraponiendo los resultados de la simulación, de los Escenarios 0 y 5, se tiene que:

Tabla 20. 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				Promedio		
			Panelizadores	Proyectistas	Electricistas	Sanitarios			
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 20, el Escenario 5, arroja datos que comparados con los del Escenario 0, disminuyen su valor. 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.

Si se desea ver, de forma más precisa los resultados arrojados por el modelo, para este Escenario 5, dirigirse al Anexo 59.

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 se dilata 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 cuenta con una **Tabla 21**, que de acuerdo a los resultados obtenidos mediante las corridas de los modelos de simulación, la cual 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 21. 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

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 a los obreros 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 22, 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 22. 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	
% Disminución Promedio de Metros Cuadrados				87,79%

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.

Para una comparación más detallada acerca del número de paneles se usan actualmente en el proceso de panelización de una torre, así como el número de metros cuadrados de desechos de paneles que se generan por cada piso, se encuentra en los Anexos 60, 61 y 62. Igualmente, en los anexos 28, 29, 30 y 31, se muestra unas imágenes, donde se especifican los cortes de los paneles que generan los desperdicios si se usa la metodología descrita en los planos de ensamblaje de M2.

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” y utilizando herramientas de Ingeniería Económica como por ejemplo el Flujo de Caja.

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.

8.2.2.2. Empleo del KANBAN

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 y mortero 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 y de Instalfriso correspondería únicamente a los que se requieren para la panelización y revoque 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 y mortero se necesitan de forma precisa, para la elaboración de cada apartamento según el piso a donde corresponde, y así solo enviar la cantidad exacta de paneles y mortero.

Ambas medidas contribuirían a evitar y disminuir los desperdicios por la existencia de inventario innecesario.

8.2.2.3. Empleo de la Administración Visual

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.

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 porque 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

En primer lugar, 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 donde para su almacenamiento, de tal forma que todo el que los necesite lo encuentre por sí solo.

Mantener el lugar de trabajo en orden, limpio a fin de evitar accidentes, contribuir con la motivación de los empleados, 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 a 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* 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

Durante estas actividades de construcción, 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 es muy 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 (Anexo 33). Con este diseño, se busca que las piezas no encajen, si se intenta encajarlas al revés, con la orientación indebida o en un sitio equivocado en forma distinta a la preconcebida, 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.

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 (2):

$$\text{Costo de Mano de Obra (Bs.F)} = nS * nT * (SS + hE * 10\%SS) \quad \textbf{Ecuación 2}$$

Siendo:

nS=Número de semanas de Trabajo

SS=Salario Semanal por trabajador

nT=Numero de Trabajadores contratados

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 BsF. 35.427,5.

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., los gastos implicados en la capacitación se reducen a:

Tabla 23. Costos de Capacitación del personal

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

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

Ahora bien, realizando una serie de cálculos a partir de la Tabla 23, se tiene que:

Tabla 24. Tabla de inversión total asociada 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
Total de la Inversión (BsF./facilitador)				42.000

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 nos fue indicado 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 de la Tabla 24, 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 25. 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. (BsF./Cuadrilla)
0	77	40	2182334,00
4	51	80	2874688,57
% Variación	34,14%	100,00%	31,73%

Fuente: Elaboración Propia. (2014)

CAPÍTULO IX

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

9.1. Conclusiones

La presente investigación, se orientó a estudiar el proceso de construcción de viviendas de carácter social fabricadas bajo el sistema constructivo de paneles de poliestireno, ubicada en Los Guayos, con el fin de diseñar soluciones de manufactura esbelta para las irregularidades o problemas identificados. A partir del diagnóstico realizado, se propuso una serie de escenarios y mejoras para el proceso de construcción actual; llegando a las siguientes conclusiones:

➤ Se caracterizó 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 toman 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.

➤ 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. Sin embargo es importante destacar, que esta validación se hizo con consultas a expertos, teniendo al menos una medida

como referencia, por lo que no es 100% confiable.

➤ 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 demora el proceso de construcción y la ejecución de las operaciones que lo conforman. Entre ellas destacan el sistema TPM, las 5's, el VSM, diagrama Ishikawa, la administración visual, *el kaizen*, etc.

➤ La ficha de Movimiento y la ficha de Procesamiento de “Kanban” que se diseñaron (Anexos 74 y 73), 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” (Anexo 72), 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 cuantificar, 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 m²; 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%.

➤ Al evaluar los diferentes escenarios de mejoras, se seleccionó el Escenario 4: Aumento del personal y capacitación del mismo, 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 BsF. 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 BsF. 84.000, por la capacitación técnica y práctica.

9.2. 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 para el posterior proceso completo de control de las actividades.
- 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.
- Se recomienda evaluar un posible cambio de proveedor de mortero estructural, por otro que pueda ofrecer y garantizar el despacho continuo de todo el material necesario.
- 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 BIBLIOGRÁFICAS Y ELECTRÓNICAS

Libros

- Ríos, D., Ríos S., Martín J. y Jiménez M. (2009) *Simulación Métodos y Aplicaciones*. (Segunda Edición). Madrid: Editorial Alfaomega.
- Galgano, A (1992). *Los siete instrumentos de la calidad total*. (Primera edición). España: Editorial Díaz Santos.
- Kelton D., Sadowski R. y Sturrock D. (2008). *Simulación con software Arena*. (Cuarta Edición). México: Editorial McGrawHill
- Galindo E. y Villaseñor A. (2007). *Conceptos y reglas de Lean Manufacturing*. (Primera Edición). México: Editorial Limusa.
- Riggs, J. (1998). *Sistema de producción: planeación, análisis y control*. (Tercera Edición). México: Editorial Limusa.
- Heizer, B. y Heizer J. (2001) *Dirección de la producción: Decisiones Tácticas*. (Sexta Edición). Madrid: Prentice Hall.
- Cardona, J. (2011). *Lean Manufacturing: aproximación a la aplicación de la efectividad global del equipo en la industria gráfica*. Colombia: Universidad nacional de Colombia.
- Bernard, P. (1982). *La Construcción por componentes compatibles*. (Primera Edición). España: Editores Técnicos Asociados.

Referencias electrónicas

- 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>
- EMMEDUE M2. *Ventajas del Sistema Constructivo*. Recuperado el 13 de Septiembre de 2014 de:
<http://es.mdue.it/sistema-constructivo/modalidad-constructivas/ventajas/>
- Edificae Vilssa. *Paneles de poliestireno y cemento armado. Un sistema constructivo muy interesante*. Recuperado el 29 de Septiembre de 2014 de:
<http://www.construccion-y-reformas.vilssa.com/articulos/paneles-de-poliestireno-y->

cemento-armado-un-sistema-constructivo-muy-interesante

- Casa Pronta. (2011) *Manual Técnico de Construcción. Sistema Constructivo M2*. Recuperado el 20 de Septiembre de 2014 de:
http://www.casapronta.com.bo/uploads/files/manual_tecnico-CP.pdf
- M2 Venezuela. *Manual Técnico*. Recuperado el 26 de Septiembre de:
http://www.m2venezuela.com.ve/pdf/manual_tecnico_m2.pdf

Publicaciones científicas

- Cansario; María, Aguado; Antonio, (2005). *Sistema constructivo de paneles aligerados con poliestireno expandido y malla electrosoldada espacial: estudio estructural y optimización*. Universitat Politècnica de Catalunya, España (Paper)
- Velarde; Guillermo. (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)