UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

"PROPUESTA DE MEJORA DEL FLUJO DE LAS OPERACIONES DE MANUFACTURA DE UNA FÁBRICA DE CASAS MODULARES EMPLEANDO HERRAMIENTAS DE MANUFACTURA ESBELTA Y TÉCNICAS DE SIMULACIÓN"

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 Guillermo J. Velarde Monsalve

PROFESOR GUIA Ing. Maximiliano Giunta

FECHA Septiembre 2007

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

"PROPUESTA DE MEJORA DEL FLUJO DE LAS OPERACIONES DE MANUFACTURA DE UNA FÁBRICA DE CASAS MODULARES EMPLEANDO HERRAMIENTAS DE MANUFACTURA ESBELTA Y TÉCNICAS DE SIMULACIÓN"

Este Jurado; una vez realizado el examen del presente trabajo ha evaluado su contenido con el resultado: VEINTE (20) PUNTOS

JURADO EXAMINADOR

Firma:	Firma:	Firma:
Nombre: MAXIMILIANO GIUNTA	Nombre: GUSTAVO COUTINHO	Nombre: SEBASTIAN RIBIS

REALIZADO POR	Guillermo J. Velarde Monsalve
PROFESOR GUIA	Ing. Maximiliano Giunta
FECHA	Septiembre 2007

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA I
AGRADECIMIENTOS II
ÍNDICES III
SINOPSIS IX
INTRODUCCIÓN 1
CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 3
I.1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA 3
I.2 DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL 5
I.3 OBJETIVOS, ALCANCES Y LIMITACIONES DEL ESTUDIO 8
I.3.1 Objetivo General 8
I.3.2 Objetivos Específicos 8
I.3.3 Alcance 8
I.3.4 Limitaciones 9
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA 10
II.1FASE PREVIA 11
II.2 FASE DE RECOPILACIÓN 11
II.3 FASE DE CARACTERIZACIÓN 11
II.4 ETAPA DE DESARROLLO 12
II.5 ETAPA DE RESULTADOS 12
CAPÍTULO III. MARCO TEÓRICO 13
III.1 SIMULACIÓN 13
III.1.1 Definición de simulación 13
III.1.1.1 Tipos de simulación 13
III.1.2 Sistema 14
III.1.3 Modelo 14
III.1.4 Entidades 14
III.1.5 Atributos 14
III.1.6 Recursos 15
III.1.7 Actividad 15
III.1.8 Filas o Colas 15
III.1.9 Eventos 15
III.2 MANUFACTURA ESBELTA 16
III.2.1 Definición de manufactura esbelta 16
III.2.2 Principio de Reducción de Costos 16
III.2.3 Desperdicios 16
III.2.4 Justo a tiempo 17
III.2.5 Automatización (Jidoka) 17
III.2.6 Las 5 S´s 17
III.2.7 La fábrica visual 18
III.2.8 La demanda 18
III.2.8.1 Tiempo de ritmo (takt time) 18
III.2.8.2 Pitch 18

III.2.8.3 La imagen takt 19
III.2.8.4 Almacenadores intermedios 19
III.2.8.5 Supermercado de bienes terminados 19
III.2.8.6 Manufactura con luz apagada 19
III.2.9 El Flujo 19
III.2.9.1 Flujo continuo 20
III.2.9.2 Celdas de trabajo 20
III.2.9.3 Balanceo de líneas 20
III.2.9.4 Trabajo estandarizado 20
III.2.9.5 Cambios rápidos de producción (SMED) 20
III.2.9.6 Mantenimiento autónomo 21
III.2.9.7 Supermercados en proceso 21
III.2.9.8 Sistema de tarjetas (Kanban) 21
III.2.9.9 Primero en entrar primero en salir (FIFO) 22
III.2.10 Nivelar la producción 22
III.2.10.1 La velocidad de transporte 22
III.2.10.2 El Heijunka 22
III.2.10.3 El corredor 23
III.2.11 El mapa de la cadena de valor 23
III.3 CASAS MODULARES 24
CAPÍTULO IV. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO 26
IV. 1 DESCRIPCIÓN GENERAL 26
IV. 2 LA PRODUCCIÓN 27
IV. 3 DESCRIPCIÓN DETALLADA DEL PROCESO PRODUCTIVO 29
IV.3.1 Elaboración de pisos 29
IV.3.2 Baldosas 30
IV.3.3 Plomería 31
IV.3.4 Ensamblaje de paredes y pisos 32
IV.3.5 Unión de techos 33
IV.3.6 Electricidad 34
IV.3.7 Exteriores 35
IV.3.8 Drywall 37
IV.3.9 Acabado final 38
CAPÍTULO V. DESARROLLO DEL MODELO DE SIMULACIÓN 41
V.1 PRIMER MODELO DE SIMULACIÓN: LA PERSPECTIVA DE LOS SUPERVISORES 41
V.1.1 Descripción del sistema 41
V.1.1.1 Entidades 42
V.1.1.2 Eventos 42
V.1.1.3 Recursos 42
V.1.1.4 Colas 42
V.1.1.5 Actividades 42
V.1.2 Objetivo de la simulación 44
V.1.3 Metodología de resolución 44

V.1.4 Construcción del modelo 45
V.1.5 Validación del modelo de simulación 46
V. 1.5.1 Validación gráfica 46
V.1.5.2 Validación estadística 47
V.2 SEGUNDO MODELO DE SIMULACIÓN: DATOS OBTENIDOS EN SITIO 48
V.2.1 Descripción del sistema 48
V.2.2 Objetivo de la simulación 48
V.2.3 Metodología de resolución 48
V.2.4 Construcción del modelo 48
V.2.5 Validación del modelo de simulación datos obtenidos en sitio 49
V.2.5.1 Validación gráfica del área de pisos 50
V.2.5.2 Validación gráfica del área de baldosas 50
V.2.5.3 Validación gráfica del área de fijar paredes 51
V.2.5.4 Validación gráfica del área de fijar topes 52
V.2.5.5 Validación gráfica del área eléctrica 52
V.2.5.6 Validación gráfica del área de techos 53
V.2.5.7 Validación gráfica del área de exteriores 54
V.2.5.8 Validación gráfica del área de drywall 54
V.2.5.9 Validación gráfica del área de acabado final 55
V.2.5.10 Validación gráfica general 56
CAPÍTULO VI. PROPUESTAS DE MEJORA 57
VI. 1 ELIMINACIÓN DE DESPERDICIOS Y BÚSQUEDA DE FLUJO CONTINUO. 57
VI. 2 IMPLEMENTACIÓN DE 5 S´s 59
VI. 3 BALANCEO DE LÍNEA EN BÚSQUEDA DEL TAKT TIME 60
VI. 4 PRINCIPIO DE REDUCCIÓN DE COSTOS BASADO EN NUEVOS USOS DE DESPERDICIOS 63
VI. 5 ELIMINACIÓN DE DESPERDICIOS CON CALIDAD EN LOS PROCESOS 63
CAPÍTULO VII. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS 64
CAPÍTULO IX. CONCLUSIONES 67
CAPÍTULO X. RECOMENDACIONES 69
BIBLIOGRAFÍA 71
ANEXOS X

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Relación de viviendas nuevas y usadas para suplir la demanda de viviendas.. 5
Gráfico 2. Construcciones de viviendas anuales 6
Gráfico 3. Tendencia de precios de las viviendas..... 6
Gráfico 4. Participación de las casas modulares en el sector inmobiliario..... 7
Gráfico 5. Resultados de la primera simulación..... 46
Gráfico 6. Resultados de tiempos del área de pisos de la segunda simulación 50
Gráfico 7. Resultados de tiempos del área de baldosas de la segunda simulación..... 51
Gráfico 8. Resultados de tiempos del área de fijar paredes de la segunda simulación.... 51
Gráfico 9. Resultados de tiempos del área de fijar topes de la segunda simulación 52
Gráfico 10. Resultados de tiempos del área eléctrica de la segunda simulación..... 53
Gráfico 11. Resultados de tiempos del área de techos de la segunda simulación 53
Gráfico 12. Resultados de tiempos del área de exteriores de la segunda simulación..... 54
Gráfico 13. Resultados de tiempos del área de drywall de la segunda simulación 55
Gráfico 14. Resultados de tiempos del área de acabado final de la segunda simulación 55
Gráfico 15. Resultados de módulos producidos semanalmente de la segunda simulación 56
Gráfico 16. Módulos producidos semanalmente con y sin la mejora 1..... 58
Grafico 17. Niveles de producción con y sin la mejora..... 60
Gráfico 18. Comparación de producción por actividades y por estaciones..... 61
Gráfico 19. Mejora con el sistema por estaciones y con almacenadores intermedios..... 61
Gráfico 20. Mejora con redistribución de personal y estaciones con buffers..... 62
Gráfico 21. Tamaño del mercado hipotecario XII
Gráfico 22. Tasa de interés global del mercado hipotecario XIII
Gráfico 23. Pagos atrasados en el mercado total y el subprime XIV

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Relación de actividad, personal y tiempo de la primera simulación 43
Tabla 2 Valores de las distribuciones normales 47
Tabla 3. Distribución de los reconocimientos O.D. 57
Tabla 4. Trabajadores por área 58
Tabla 5. Relación de actividad, personal y tiempo de la segunda simulación..... XX
Tabla 6. Número de trabajadores por grupo XXI
Tabla 7. Tipo de empleado requerido en cada actividad de la primera mejora..... XXXI
Tabla 8. Tiempos de procesamiento con las mejoras XXXIV

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Plano de una casa 4
Figura 2. Resultado del ensamblaje de los módulos 4
Figura 3.División de las instalaciones de manufactura 26
Figura 4. Área de trabajo del departamento de pisos 30
Figura 5. Proceso de aplicar la pega 31
Figura 6. Trabajo realizado en la primera parte de plomería 32
Figura 7. Inicio del proceso de fijar paredes 33
Figura 8. Proceso de fijar el tope de un módulo 34
Figura 9. Detalle de cableado superior de un módulo 35
Figura 10. Protección externa del tope de un módulo 37
Figura 11. Proceso de secado del drywall con ventilación forzada 38
Figura 12. Proceso de acabado final de un módulo de cocina 40
Figura 13. Modelo de simulación de perspectiva de los supervisores 45
Figura 14. Modelo de simulación con tiempos registrados 49
Figura 15. Resultados de las mejoras 64
Figura 16. Mapa de la cadena de valor futuro 66
Figura 17. Diagrama del área de construcción de techos del modelo XVI
Figura 18. Área de electricidad del modelo de simulación XVI
Figura 19. Representación del área de acabado final de la simulación XVII
Figura 20. Diagrama del área de construcción de pisos XXII
Figura 21. Diagrama del área de baldosas XXII
Figura 22. Área de construcción de paredes XXIII
Figura 23. Área de fijar paredes XXIII
Figura 24. Área de construcción de topes y techos XXIV
Figura 25. Área de fijar topes y techos XXIV
Figura 26. Representación del área eléctrica XXV
Figura 27. Representación del área de exteriores XXVI
Figura 28. Representación del área de topes y techos XXVI
Figura 29. Representación del área de drywall XXVII
Figura 30. Representación del área de acabado final de la simulación XXVIII
Figura 31. Logo de energystar XXXVIII
Figura 32. Los componentes típicos requeridos para una vivienda certificada XXXIX

ÍNDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama 1.Departamentos de trabajo en la planta 3
Diagrama 2. Representación gráfica de la metodología 10
Diagrama 3. Representación de las líneas de producción de la planta 28
Diagrama 4. Mapa de la cadena de valor actual 28
Diagrama 5. Flujo de actividades del área de pisos 30
Diagrama 6. Flujo de actividades del área baldosas 31
Diagrama 7. Flujo de actividades del área plomería 32
Diagrama 8. Flujo de actividades del área fijar paredes 33
Diagrama 9. Flujo de actividades del área fijar techo 34
Diagrama 10. Flujo de actividades del área eléctrica 35
Diagrama 11. Flujo de actividades del área de exteriores 36
Diagrama 12. Flujo de actividades en el área Drywall 38
Diagrama 13. Flujo de actividades en el área de acabado final 39

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. CAUSAS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL MERCADO INMOBILIARIO XI
ANEXO 2. RESPUESTAS ANTE LA SITUACIÓN DEL MERCADO XIV
ANEXO 3. SUBMODELOS DE LA PRIMERA SIMULACIÓN XVI
ANEXO 4. DETALLES DE LA SEGUNDA SIMULACIÓN XVII
ANEXO 5. DETALLES DE LAS POSIBLES MEJORAS XXIX
ANEXO 6. RESULTADO DE LAS PRUEBAS ESTADÍSTICAS XXXV
ANEXO 7. COSTOS ASOCIADOS A LAS MEJORAS XXXVII
ANEXO 8 ENERGYSTAR XXXVIII

SINOPSIS

Este trabajo especial de grado abarca desde el estudio del mercado inmobiliario norteamericano, a fin de comprender la situación actual del mercado, para luego centrarse en estudiar el flujo de las operaciones de manufactura de casas modulares y utilizando un programa informático de simulación de procesos hasta proponer posibles mejoras al sistema de manufactura basadas en herramientas de manufactura esbelta.

El objeto de estudio es el flujo de los procesos de manufactura requeridos para fabricar módulos de casas modulares realizados en las instalaciones de HandCrafted Homes, una empresa ubicada en el estado de Carolina del Norte, Estados Unidos de Norteamérica.

El mercado inmobiliario actualmente se encuentra con una disminución de la demanda debido a problemas de pago de las hipotecas lo cual ha afectado la oferta de créditos y por ende la compra de casas nuevas.

La empresa HandCrafted Homes se ha visto afectada por esta situación, hasta el punto de ser necesario un estudio de sus procesos productivos para mejorarlos y lograr ser competitivos en el mercado.

La simulación de los procesos de la fábrica permite la representación del sistema productivo y la posibilidad de estudiar alternativas de mejoras sin tener que invertir en ellas. Metodológicamente se analizan y estudian las diversas alternativas de mejora para determinar cuales son las más adecuadas. Algunas de las propuestas de mejora se analizan sin la utilización del modelo de simulación.

Al final del trabajo se presentan alternativas de mejora que logran aumentar los niveles de producción cerca de un 40%, realizar una reducción de los costos de mano de obra asociados a cada módulo, obtener una reducción de gastos operativos e incrementos de ventajas competitivas al incorporar nuevas características al producto.

INTRODUCCIÓN

El mercado inmobiliario norteamericano ha estado en crecimiento durante la presente década a una tasa promedio de 1,8%. A partir de mediados del 2006 el mercado ha sufrido una caída debido a problemas en los pagos hipotecarios y al cumplimiento de los mismos. Esta situación ha afectado a todos los sectores de la producción de viviendas compuesto por viviendas construidas en sitio (tradicionales), viviendas hechas en fábrica y viviendas transportables.

El sector de viviendas modulares igualmente se ha visto afectado pero a menor escala que el sector de viviendas construidas tradicionalmente. A pesar de existir hoy una disminución en la cantidad de viviendas modulares producidas anualmente, el porcentaje de participación de este sector en el mercado inmobiliario se encuentra en el 2007 en su mejor nivel histórico de 2,35% debido a los beneficios que ofrece este tipo de construcción sobre el tradicional.

La situación actual del mercado le ha brindado la oportunidad al sector de viviendas modulares de continuar con el aumento de su participación de mercado, pero por la alta competitividad existente se requiere una mejora continua en sus procesos y sistemas.

Con base en estudios preliminares se ha detectado que los principales factores que deben mejorar las fábricas pertenecientes a este sector son los flujos y controles de sus procesos, los estándares de calidad y los costos asociados a la fabricación de las viviendas.

HandCrafted Homes es una empresa manufacturera de viviendas que se encuentra en la necesidad de mejorar muchas de las características de su producción para obtener una ventaja competitiva y aumentar su participación de mercado.

El presente trabajo especial de grado, realizado con la ayuda de la Universidad del estado de Carolina del Norte, busca dar opciones de respuesta a los requerimientos demandados por el sector de construcción modular, específicamente, mediante la aplicación de la filosofía de manufactura esbelta y mediante la utilización de herramientas de simulación por computadoras, con la finalidad de mejorar el flujo de las operaciones de manufactura.

CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

I.1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

HandCrafted Homes (HCH) es una empresa manufacturera de casas modulares perteneciente al grupo HHHunt desde 1998. En sus instalaciones de manufactura de 11.600 m^2 ubicada en Henderson, Carolina del Norte, Estados Unidos de Norteamérica, se producen módulos, principalmente, para cinco estílos diferentes de casas: Ranch, Cape Cod, Traditional, Craftsman, Executive y Dream Homes. Los módulos fabricados pueden ser utilizados para crear casas familiares, multifamiliares o comerciales. Los destinos finales de las casas fabricadas son los estados Delaware, Georgia, Maryland, North Carolina, South Carolina, Tennessee y Virginia.

La empresa cuenta con 228 trabajadores de los cuales 153 trabajan directamente en el área de manufactura. Los 153 trabajadores se encuentran distribuidos en 8 departamentos dentro de la planta y cada una de las áreas está a cargo de un supervisor. Los trabajadores de la planta tienen un horario de trabajo de lunes a jueves desde las 6:00 a.m. hasta las 4:30 p.m. cubriendo así en 4 días 40 horas laborales a la semana. El sobretiempo es frecuente en diversas áreas de la planta. Los trabajadores administrativos tienen un horario diferente de lunes a viernes. Los departamentos en que se divide la planta se muestran en el diagrama 1.

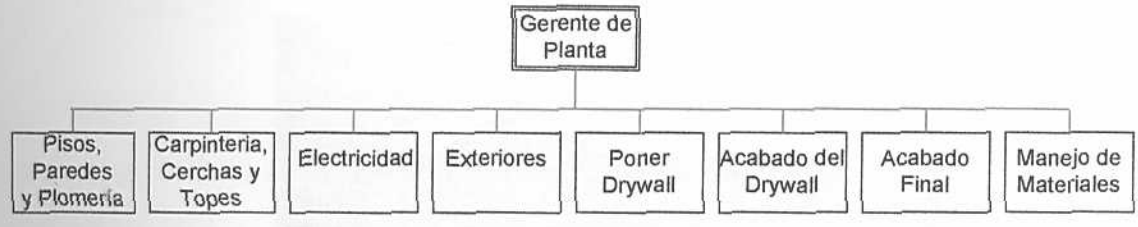

Diagrama 1.Departamentos de trabajo en la planta

El tiempo promedio de entrega de casas, estimado por la empresa, es de 4 a 8 semanas y el nivel de personalización de las casas abarca desde el diseño hasta el tipo de grifería a ser instalado.

La planta anuncia una producción de entre 3 y 4 módulos diarios; las casas en

promedio tienen 3 módulos. Las ventas anuales de la empresa están en el orden de 14 millones de dólares, su productividad (medida en función de ventas por empleado) es de $81.143 por empleado y el precio estimado de venta de cada módulo es de $22.997 (todos los valores monetarios están calculados a una tasa de cambio de Bs.2150=$1). Las figuras 1 y 2 muestran el plano y la vivienda terminada de uno de los modelos de casas modulares fabricados por HCH.

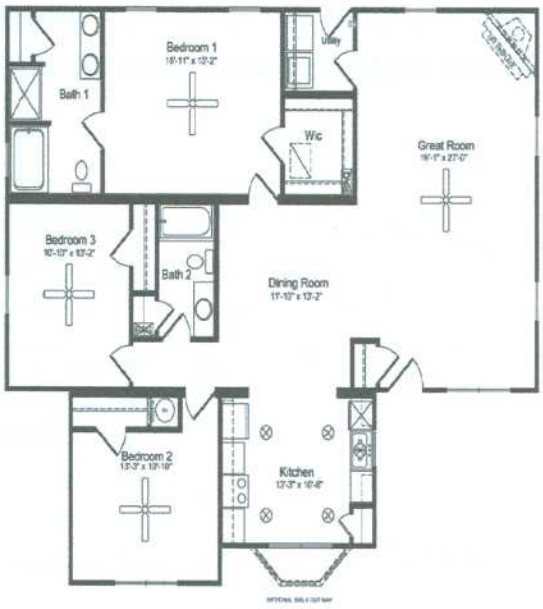

Figura 1. Plano de una casa

Figura 2. Resultado del ensamblaje de los módulos

I.2 DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL

La demanda de viviendas en el mercado norteamericano ha estado en aumento desde el año 2002 y las estimaciones realizadas indican que la crisis actual será superada a partir del primer trimestre del año 2009. La demanda del mercado puede ser suplida por dos vías, viviendas nuevas y viviendas usadas. Las viviendas nuevas suplen en el mejor de los casos hasta un 15% de la demanda total en un año y en un escenario reducido como el estimado para el año 2007 un 12,3%. La relación entre viviendas nuevas y viviendas usadas, así como su demanda desde el año 2000 se muestra en el gráfico 1.

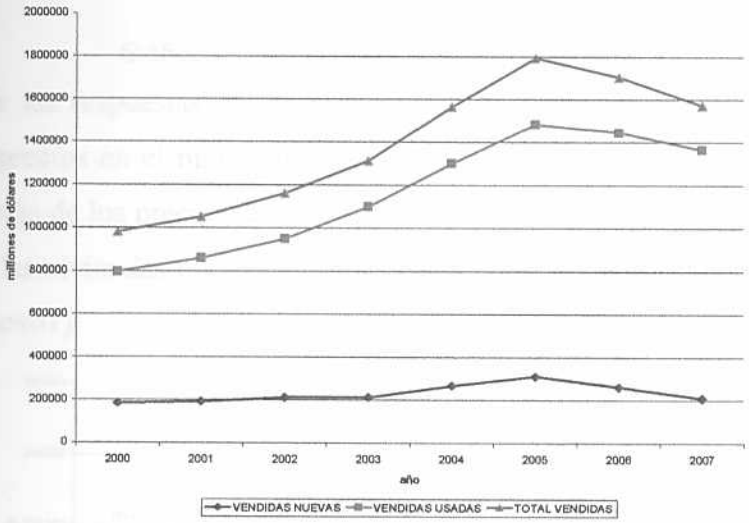

Gráfico 1. Relación de viviendas nuevas y usadas para suplir la demanda de viviendas

Como se muestra en el gráfico 2 la construcción de viviendas ha estado en aumento en los Estados Unidos durante los últimos 15 años pero a partir del año 2006 se observa una caída en las viviendas construidas anualmente.

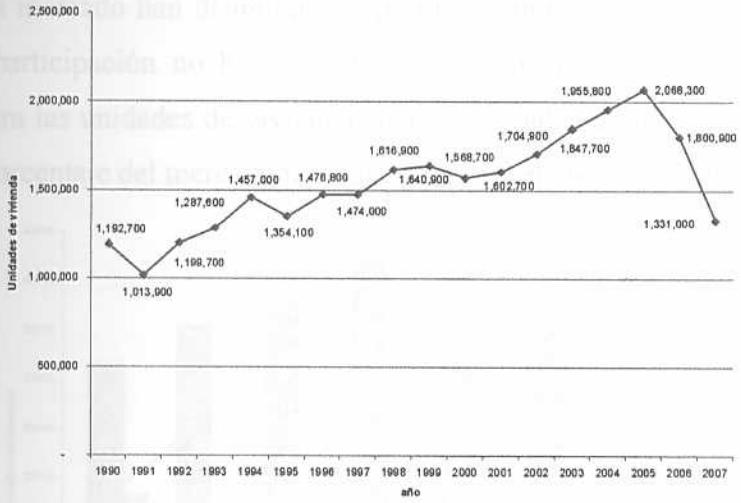

Gráfico 2. Construcciones de viviendas anuales

Unas de las respuestas del mercado ante esta situación ha sido la tendencia a estabilizar los precios en el nivel alcanzado en el año 2006 y ya se puede observar la tendencia a la baja de los precios de las viviendas usadas. En el gráfico 3 se muestra esta tendencia para las viviendas nuevas y usadas (para otras respuestas ante la situación del mercado ver anexo1).

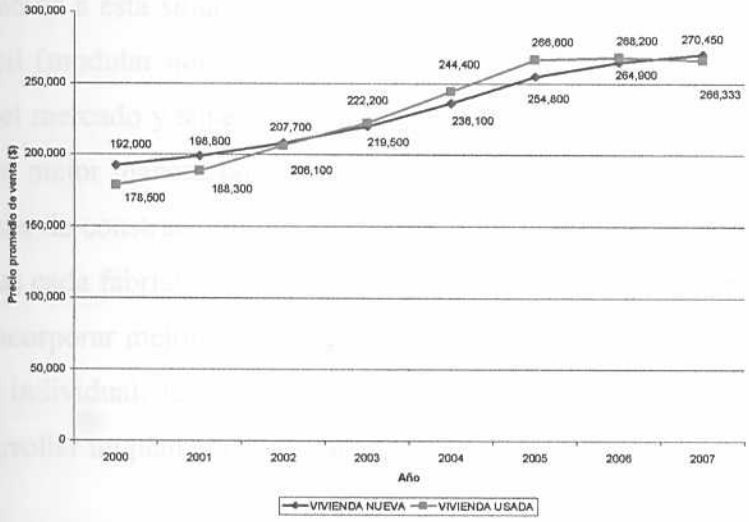

Gráfico 3. Tendencia de precios de las viviendas.

Hablando específicamente del sector de casas modulares, el impacto de la situación actual del mercado inmobiliario no ha sido tan fuerte. Las cantidades de casas

modulares en el mercado han disminuido a partir del año 2005 pero a pesar de esto el porcentaje de participación no ha disminuido a la misma tasa de decrecimiento. El gráfico 4 muestra las unidades de viviendas manufacturadas desde el año 2000 hasta el año 2007 y el porcentaje del mercado total que esas viviendas representan.

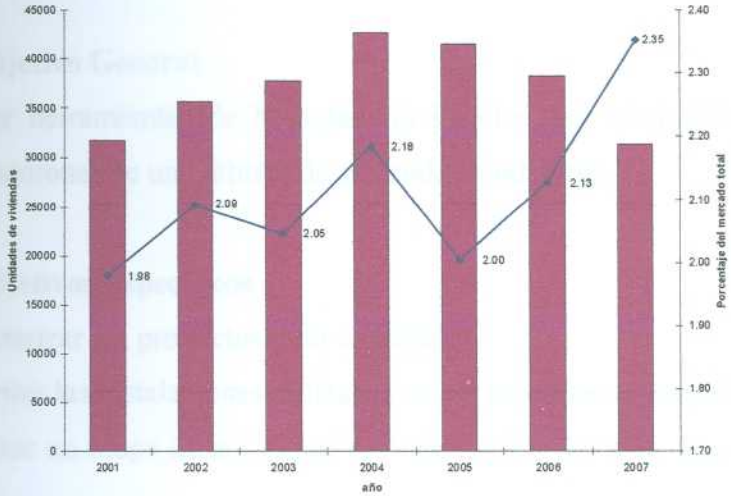

Gráfico 4. Participación de las casas modulares en el sector inmobiliario

Con relación a esta situación el Sr. Steve Like, Chairman del National Modular Housing Council (modular housing news, summer 2007), ha sugerido que la vía para mantenerse en el mercado y superar las dificultades es concentrarse en lo que se puede hacer hoy, de la mejor manera posible, para satisfacer las expectativas de los clientes, sean las empresas de construcción intermediarias o los compradores finales. Igualmente ha propuesto que cada fábrica revise sus procesos y analice cómo lo está haciendo, a fin de que pueda incorporar mejoras y alcanzar sus metas empresariales. Plantea que con el fortalecimiento individual, la industria de fabricación de viviendas modulares pudiera abocarse a desarrollar un plan agresivo para captar nuevos clientes.

I.3 OBJETIVOS, ALCANCES Y LIMITACIONES DEL ESTUDIO

Los objetivos, el alcance y las limitaciones del estudio se indican de manera detallada en los siguientes puntos.

I.3.1 Objetivo General

Proponer herramientas de Manufactura Esbelta para identificar mejoras en el flujo de las operaciones de una fábrica de viviendas modulares.

I.3.2 Objetivos Específicos

1. Caracterizar los productos a ser analizados.
2. Describir las instalaciones utilizadas en los procesos de manufactura.
3. Realizar un Mapa de la Cadena de Valor actual del área de manufactura de la empresa.
4. Desarrollar un modelo de simulación del área en estudio (paredes, pisos, techos, ensamblaje, pintura, acabados, instalaciones eléctricas y sanitarias).
5. Validar el modelo de simulación.
6. Proponer posibles oportunidades de mejoras basadas en las técnicas de manufactura esbelta a partir de los resultados obtenidos.
7. Elaborar un Mapa de la Cadena de Valor futuro del área de manufactura de la empresa a partir de la simulación de sus operaciones.
8. Estudiar la factibilidad técnica y económica de aplicar dichas mejoras.

I.3.3 Alcance

El estudio sólo incluirá las actividades de manufactura de la línea de producción de la planta en estudio. Adicionalmente, el estudio no contempla el análisis de las actividades administrativas ni de aprovisionamiento de la instalación. No se analizará la cadena de suministro aguas arriba o aguas abajo de la fábrica de viviendas modulares. Ambos tópicos podrán ser temas de futuros trabajos especiales de grado.

I.3.4 Limitaciones

El estudio tendrá limitaciones de información debido a políticas de confidencialidad de la empresa y dependerá de los datos provistos por esta.

Existirá la limitante de la variabilidad de demanda de casas durante el tiempo de realización del trabajo lo cual pudiera afectar el levantamiento de los datos.

La validación de la fase inicial del trabajo especial de grado estará limitada por el tiempo de duración del estudio.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

La metodología del estudio comprende 5 etapas: la fase previa, la etapa de recopilación, la etapa de caracterización, la etapa de desarrollo y la etapa de resultados. En cada etapa se alcanzan uno o varios objetivos a través de diversas actividades y acciones.

El diagrama 2 representa de forma esquemática la relación entre las diversas etapas así como también los diversos objetivos, actividades y acciones involucradas en cada etapa.

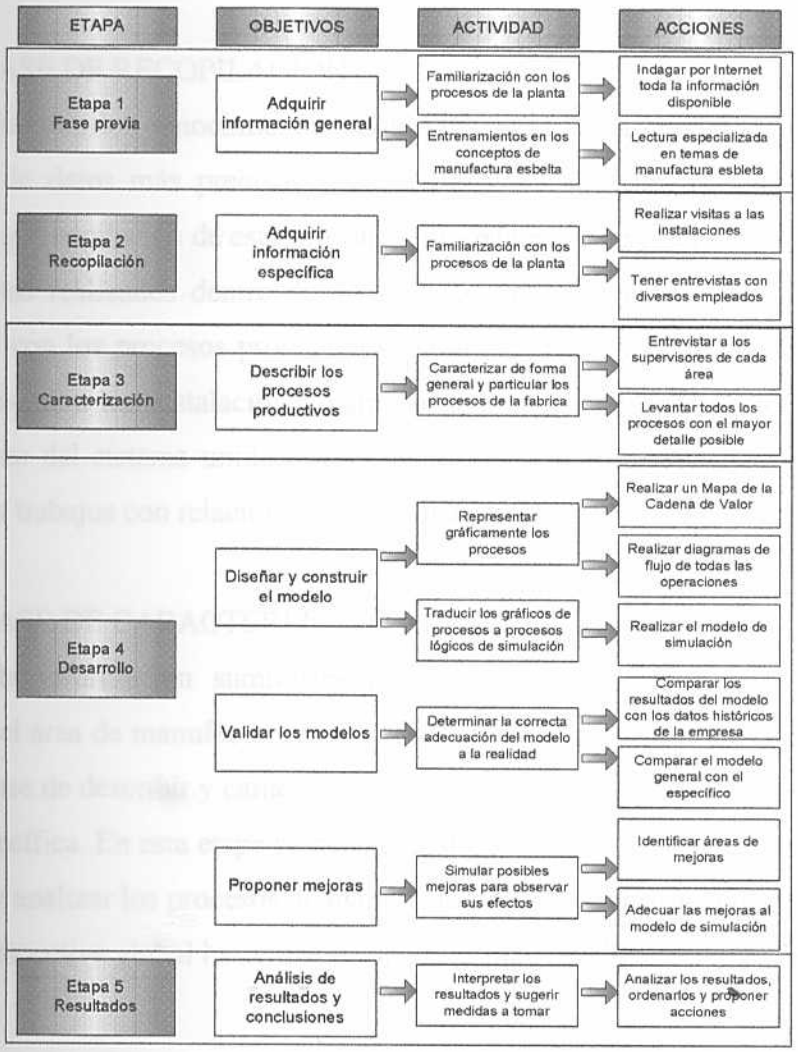

Diagrama 2. Representación gráfica de la metodología

II.1FASE PREVIA

En la primera etapa del trabajo, la fase previa, se plantea para poder adquirir todos los conocimientos, habilidades y destrezas necesarios para la correcta culminación del trabajo especial de grado. Esta fase se divide en dos grandes ramas: los conocimientos relacionados con la filosofía de manufactura esbelta y de los procesos relacionados con la fabricación de casas modulares, con especial detalle en las manufacturadas por HCH.

Esta fase consiste principalmente en la recopilación de información a través de diversas fuentes en las dos ramas. La principal fuente de información fue el Internet.

II.2 FASE DE RECOPILACIÓN

Partiendo de los conocimientos adquiridos en la etapa previa se prosigue con la recopilación de datos más precisos y específicos. La fase previa ayuda a la rápida comprensión y recopilación de esta información. Esta etapa se centra en el conocimiento de los procesos realizados dentro de las instalaciones. Se busca estar completamente familiarizado con los procesos productivos, administrativos y de operaciones. Consiste en realizar visitas a las instalaciones para poder adquirir una percepción personal del funcionamiento del sistema unido a diversas entrevistas para entender la visión de la empresa y sus trabajos con relación a su funcionamiento.

II.3 FASE DE CARACTERIZACIÓN

Con la información suministrada en la etapa anterior y con una continua presencia en el área de manufactura y con frecuentes entrevistas a diversos trabajadores se pasa a la fase de describir y caracterizar los procesos productivos de manera general y de forma específica. En esta etapa se debe contar con toda la información necesaria para comprender y analizar los procesos de manufactura para la construcción de las viviendas desde una perspectiva global hasta una perspectiva bien detallada.

II.4 ETAPA DE DESARROLLO

Esta es la etapa más compleja del trabajo especial de grado. Inicia con la entrada de información de las etapas anteriores para poder realizar una representación gráfica del funcionamiento de la planta y así comenzar la construcción del modelo de simulación. Se debe generar todo el modelo en función de la información recolectada y luego validarlo con la información suministrada por la empresa. Luego de haber alcanzado estos objetivos se comienza a plantear posibles mejoras que puedan ser reflejadas o no en el modelo de simulación. Es necesario adecuar el modelo para incorporar las mejoras y así verificar el impacto de dichas mejoras en el sistema

II.5 ETAPA DE RESULTADOS

Por último, en la etapa final, la etapa de resultados, se realizan todos los análisis e interpretaciones de los resultados obtenidos en los modelos de simulación. A partir de ellos se elabora una lista de prioridades con las medidas correctivas a tomar para mejorar el sistema de producción. Finalmente se realizan las conclusiones respectivas del presente trabajo especial de grado.

CAPÍTULO III. MARCO TEÓRICO

El marco teórico comprende todos aquellos conceptos y definiciones básicas requeridas para la completa compresión del presente trabajo de grado. Esta sección se encuentra dividida en 3 partes: la simulación, la manufactura esbelta y las casas modulares.

III.1 SIMULACIÓN

Esta sección hace referencia a todos los conceptos relacionados con la simulación del proceso productivo señalado en el capítulo V.

III.1.1 Definición de simulación

La simulación se refiere a una serie de métodos y aplicaciones que imitan el comportamiento de un proceso o de sistemas, en un período de tiempo, generalmente con la ayuda de herramientas informáticas.

III.1.1.1 Tipos de simulación

Los distintos tipos de simulación por computadoras aceptados universalmente son:

- Estática: hace referencia a los sistemas cuyos estados permanecen invariables en el tiempo.
- Dinámica: en este caso los sistemas cambian de estado con el tiempo.
- Continua: en estos sistemas los cambios de estados ocurren en todo momento.
- Discreta: los sistemas realizan cambios de estado en momentos puntuales del tiempo, los cambios de estado se dan en saltos.
- Determinística: son sistemas en los cuales la solución para determinada situación es siempre única.
- Estocástica: en estos sistemas la solución no es única, los procesos siguen

una distribución probabilística en donde se conoce la probabilidad de ocurrencia de un evento y las distribuciones probabilísticas asociadas.

III.1.2 Sistema

Un sistema es un conjunto de cosas que relacionadas entre si ordenadamente contribuyen a determinado objetivo. Puede ser desde instalaciones hasta operaciones actuales o planeadas que abarcan desde plantas de manufactura hasta vías de comunicación. Los sistemas suelen ser estudiados para determinar su desempeño, mejorar sus operaciones o para diseñarlo en caso de que no exista.

III.1.3 Modelo

Un modelo se define como un esquema teórico, generalmente en forma matemática, de un sistema o de una realidad compleja que se elabora para facilitar su comprensión y el estudio de su comportamiento.

III.1.4 Entidades

Las entidades son los objetos dinámicos de una simulación. Usualmente son creados, trasladados y desechados. Las entidades pueden cambiar de estatus, afectar y ser afectadas por otras entidades y por el sistema y afectan el resultado final del desempeño de los sistemas.

III.1.5 Atributos

Los atributos son características o cualidades de las entidades que permiten diferenciarlas entre ellas. Los atributos de las entidades pueden ir cambiando a lo largo del trayecto que realicen en una simulación. Los atributos pudieran ser características como color, prioridad o fecha de culminación.

III.1.6 Recursos

Los recursos son representaciones del personal, maquinaria, espacio y cualquier otro elemento que requiera una entidad para poder realizar una actividad, proceso o

cambiar de valor a uno de sus atributos. Generalmente las entidades hacen uso de los recursos para luego dejarlos disponibles para las otras entidades que lo requieran.

III.1.7 Actividad

Una actividad es un proceso que tiene relacionado un período de tiempo de duración conocido y normalmente también a uno o más recursos relacionados.

III.1.8 Filas o Colas

Las filas o colas en un modelo de simulación aparecen justo antes de una actividad en la cual no pueden ingresar más entidades, principalmente por limitaciones de recursos. El propósito de las colas es mantener a las entidades en espera por los recursos disponibles para realizar la actividad en cuestión.

III.1.9 Eventos

Un evento hace referencia a cualquier suceso que ocurra en un determinado instante en el tiempo. Los eventos pueden ser la llegada de una entidad, la salida de una entidad de algún proceso, el cambio de un atributo, la salida de una entidad del sistema y el fin de una simulación. Los eventos son utilizados para mostrar gráficamente ciertos instantes de tiempo durante una simulación.

III.2 MANUFACTURA ESBELTA

Esta sección hace referencia a los conceptos asociados a la filosofía de producción propuesta para el desarrollo de las mejoras del sistema de producción de la empresa.

III.2.1 Definición de manufactura esbelta

Manufactura esbelta es una filosofía de producción basada en la eliminación planeada de todo tipo de desperdicios, el respeto por los trabajadores y la mejora continua de la calidad y la productividad. Esta filosofía nació como el Sistema de Producción Toyota y de los autores como Edward Deming, Taiichi Ohno y Shigeo Shingo.

La manufactura esbelta está fundamentada en las siguientes metodologías: el principio de reducción de costos, los 7 desperdicios, el justo a tiempo (J.I.T.), la automatización (JIDOKA), las 5 S´s, la fábrica visual y las 3 etapas de aplicación de manufactura esbelta: la demanda, el flujo y la nivelación.

III.2.2 Principio de Reducción de Costos

El principio de reducción de costos se basa en un cambio de metodología de cálculo de los costos de los productos. Tradicionalmente se pensaba en el precio como la suma de los costos más el margen de ganancia. De esta manera para aumentar las utilidades se incrementaba el margen de ganancia y los costos permanecían invariables. Con el pensamiento esbelto la ecuación cambió, ahora se define el margen de ganancia como la diferencia entre el precio de venta y los costos. Con esta visión se observa que si se desea aumentar las utilidades es necesario reducir los costos.

III.2.3 Desperdicios

Los desperdicios o mudas son definidos como todo aquello que agregue costos o tiempo sin haber añadido valor al producto final. Los desperdicios se pueden clasificar

dentro de los siguientes 7 tipos: la sobreproducción, las demoras, transportes innecesarios, excesos de procesamiento, exceso de inventarios, exceso de movimientos y productos defectuosos o dañados.

III.2.4 Justo a tiempo

El sistema justo a tiempo (J.I.T.) se asocia al término de producción continua. El enfoque de este sistema es proveerle a cada cliente productos de la mayor calidad posible, cumpliendo con requerimientos de entregar sólo los productos ordenados, en el momento preciso en que son requeridos y en las cantidades especificadas.

III.2.5 Automatización (Jidoka)

Jidoka se refiere al uso práctico de la automatización para la detección de fallas de manera confiable y para liberar a los trabajadores de realizar múltiples actividades dentro de sus puestos de trabajo. Las funciones del Jidoka son separar el trabajo humano del automatizado, desarrollar sistemas de prevención de defectos y aplicar automatización a los procesos de ensamblaje.

III.2.6 Las 5 S´s

Las 5 S´s es un sistema diseñado para lograr organización y estandarización de cualquier lugar de trabajo. Las 5 S´s provienen de las palabras en japonés que significan: Seiri que significa clasificar, organizar o arreglar apropiadamente, Seiton que significa ordenar, Seiso que significa limpieza, Seiketzu que significa estandarizar y Shitsuke que significa disciplina.

Este sistema es el punto de partida para la implementación de la filosofía esbelta dentro de una empresa. Al implementar este sistema se logra enseñar a todos los involucrados los principios básicos del mejoramiento, brindar un punto de partida para eliminar todos los desperdicios, remover muchos obstáculos para el mejoramiento y proporcionar a los trabajadores control sobre sus lugares de trabajo.

III.2.7 La fábrica visual

La fábrica visual es una herramienta basada en la premisa de que una imagen dice más que mil palabras. Lo ideal es tener una imagen exactamente cuando es requerida, en el sitio en que sea requerida y con la cantidad de información necesaria. La esencia de esta herramienta es un sistema de información justo a tiempo. La fábrica visual está enfocada a brindarle al trabajador un control progresivo sobre los puestos de trabajo.

III.2.8 La demanda

En la primera etapa de las aplicaciones esbeltas se encuentra la demanda. El propósito de esta etapa es comprender al cliente en todos los aspectos para lograr determinar y ajustarse a la demanda. Entre las herramientas de esta etapa están el takt time, pitch, imagen takt, los buffers e inventarios de seguridad, el finished-goods supermarket y el lights-out manufacturing.

III.2.8.1 Tiempo de ritmo (takt time)

Takt, palabra proveniente del alemán cuyo significado es ritmo, hace referencia al ritmo de producción. El takt time es la relación entre el tiempo disponible para la producción y la cantidad total de producción requerida, usualmente diaria.

III.2.8.2 Pitch

El Pitch es una herramienta para convertir el takt time porque en los sistemas pull no siempre puede haber un flujo unitario de piezas debido a que los clientes no ordenan los productos uno a uno. En resumen, el pitch es la cantidad de tiempo requerido por una operación aguas arriba para que pueda liberar un lote de productos en proceso a una estación aguas abajo. El pitch se calcula como el takt time por el tamaño del lote.

III.2.8.3 La imagen takt

La imagen takt es la visión del estado ideal en el cual se han eliminado los desperdicios y se ha logrado el flujo unitario de productos. Esta visión sirve de ayuda visual a los trabajadores para saber hacia donde dirigirse y centrar sus esfuerzos.

III.2.8.4 Almacenadores intermedios

Los almacenadores intermedios y los inventarios de seguridad son herramientas temporales que se utilizan para cumplir con la demanda mientras se realizan importantes cambios en los sistemas. Estas herramientas permiten contrarrestar cambios inesperados en la demanda así como también problemas internos como confiabilidad de equipos, problemas laborales y fallas eléctricas.

III.2.8.5 Supermercado de bienes terminados

El supermercado de bienes terminados es utilizado igualmente cuando no se logra establecer un sistema puro de flujo continuo. La característica de esta herramienta es que funciona como un supermercado en el cual no ocurre un reemplazo de productos en el anaquel a menos que un producto sea retirado por un cliente. Este proceso es el inicio de un sistema halar (pull).

III.2.8.6 Manufactura con luz apagada

La manufactura con luz apagada o manufactura desatendida es el proceso de elaboración de productos sin tener a algún operador presente. Este procedimiento puede ser considerado como un mecanismo para cumplir con la demanda de productos ya que se plantea su funcionamiento durante tiempos de descanso o almuerzos.

III.2.9 El Flujo

Con la demanda estable y asegurando su cumplimiento se pasa a una segunda etapa, la etapa del flujo. Esta etapa busca que los clientes reciban los pedidos correctos en el tiempo correcto y en las cantidades correctas. Los conceptos y herramientas necesarias para establecer el flujo son los siguientes: flujo continuo, celdas de trabajo,

balanceo de líneas, trabajo estandarizado, cambio rápido (SMED), mantenimiento autónomo, supermercados en proceso, sistemas Kanban, líneas primero en entrar primero en salir (FIFO) y plan de producción.

III.2.9.1 Flujo continuo

El sistema de flujo continuo se sintetiza en mover uno, producir uno o mover un pequeño lote y producir un pequeño lote. El sistema de flujo continuo se centra en producir sólo lo que es requerido, en el momento preciso y en la cantidad justa.

III.2.9.2 Celdas de trabajo

Las celdas de trabajo son un rediseño de las estaciones de trabajo en la cual se configuran equipos y personal en una secuencia determinada para minimizar los transportes innecesarios y mantener el flujo continuo.

III.2.9.3 Balanceo de líneas

El balanceo de líneas es el proceso mediante el cual se ajustan las cargas de trabajo de diferentes estaciones para que todas ellas tengan un mismo tiempo de procesamiento, idealmente se ajustan al tiempo de ritmo.

III.2.9.4 Trabajo estandarizado

El trabajo estandarizado es una serie de procedimientos mediante el cual todos los trabajadores que realicen un mismo trabajo lo hagan de la misma manera siguiendo unos procedimientos e instrucciones previamente definidos. Esto se realiza para evitar tener cambios en los tiempos de trabajo y tiempos de ciclo dependiendo del trabajador que se encuentre en ese turno.

III.2.9.5 Cambios rápidos de producción (SMED)

Los cambios rápidos son una serie de procedimientos que se utilizan para realizar cambios rápidos de los equipos que se utilizan en el sistema productivo. Estos procedimientos se realizan para evitar tener parada la producción largos períodos de

tiempo por estar cambiando o ajustando algún equipo o maquinaria. Este procedimiento se centra en separar los procedimientos que tienen que realizarse obligatoriamente cuando la máquina se encuentre detenida y aquellos que se pueden realizar simultáneamente con la producción.

III.2.9.6 Mantenimiento autónomo

El mantenimiento autónomo es un elemento básico del Mantenimiento Productivo Total que se basa en mantener condiciones óptimas de los equipos para evitar fallas de los equipos y problemas de calidad en los productos. Las etapas del mantenimiento autónomo son: limpieza e inspección de los equipos, eliminar las fuentes de contaminación, lubricar los componentes y establecer parámetros de limpieza y lubricación, entrenar a los operarios en inspecciones de sus sistemas, realizar inspecciones con regularidad, establecer un manejo y control del área de trabajo y realizar actividades de mejora de los procesos.

III.2.9.7 Supermercados en proceso

Como medida temporal para mejorar el flujo de procesos mientras se logra llegar al estado ideal (flujos de entidades individuales) se suelen utilizar supermercados en proceso. Un supermercado de trabajo en proceso se utiliza cuando hay obstáculos para realizar flujo continúo y de esta manera asegurar que el flujo sea posible. Esto suele estar presente cuando existen múltiples demandas en una máquina o un proceso. Toyota utiliza esta herramienta como alternativa para programar procesos aguas arriba que no puedan realizar flujo continuo. A medida que se mejoren los procesos y los flujos de la planta los supermercados en proceso deben irse eliminando.

III.2.9.8 Sistema de tarjetas (Kanban)

Tarjetas, señales o signos traducidos al japonés son Kanban. Los sistemas Kanban suelen ser conocidos como el corazón de los sistemas halar. Los Kanbans son tarjetas que se encuentran adheridas a contenedores que almacenan tamaños de lotes estandarizados de productos o materiales. Cuando estos contenedores son utilizados la

tarjeta actúa como señal para indicar que material adicional es requerido y de esta manera lograr que el suministro se realice sólo cuando es requerido y en las cantidades que es requerido. Los Kanban pueden ser de 3 tipos: de producción, de retiro y de señal. Los de producción indican el número de partes que deben ser procesadas para cumplir con la demanda del consumidor. Los de retiro indican las cantidades de materiales retirados de los almacenes o supermercados para ser utilizados en las operaciones. Las de señal indican el número de partes que deben ser producidas para reponer los niveles de los almacenes o supermercados.

III.2.9.9 Primero en entrar primero en salir (FIFO)

Los sistemas FIFO (first in first out) o primero en entrar es la primera en salir, siguen una metodología de control de inventarios que asegura que los primeros materiales que lleguen a un proceso serán los primeros en salir. Este sistema es especialmente útil cuando varias líneas de procesos convergen en una misma actividad común.

III.2.10 Nivelar la producción

Una vez determinada la demanda y establecido el flujo de las operaciones es necesario nivelar la producción. Esto se refiere a la distribución en turnos o en días de trabajo de los procesos productivos para poder cumplir con la demanda.

III.2.10.1 La velocidad de transporte

La velocidad de transporte es un sistema para mover pequeños lotes de producción para ayudar a nivelar la producción. Esto suele usarse cuando la variabilidad de los procesos productivos es baja y cuando la demanda de productos viene mejor definida por lotes que por unidades.

III.2.10.2 El Heijunka

El Heijunka es otro sistema que ayuda a la nivelación de la producción. Este sistema permite, con la ayuda de la tabla Heijunka, planificar y nivelar la producción en

función del volumen y la variedad a lo largo del día. Este procedimiento consiste en buscar la relación de producción entre los diversos productos y organizar la producción en función de dichas relaciones y de los tiempos de "pitch".

III.2.10.3 El corredor

El corredor es una función que se le da a un trabajador para ayudar a balancear la línea de ensamblaje. Su principal función es mantener los tiempos de "pitch", recoger kanbans, herramientas y componentes y llevarlos hasta los sitios apropiados. Su importancia radica en la habilidad que presenta para prevenir problemas de flujo y para poder corregirlos con suficiente tiempo de antelación.

III.2.11 El mapa de la cadena de valor

El mapa de la cadena de valor es una herramienta gráfica dentro de la filosofía de manufactura esbelta que permite comprender la secuencia de actividades y el flujo de información utilizado para producir un determinado producto o realizar algún servicio. Esta herramienta permite identificar las principales fuentes de tiempo sin valor agregado, visualizar un estado futuro sin desperdicios y desarrollar planes de implementación de futuras herramientas de manufactura esbelta.

III.3 CASAS MODULARES

La construcción modular, usualmente considerada como el futuro de la industria de la construcción, tiene raíces de más de un siglo de antigüedad. En el año 1908, la empresa Sears Roebuck y compañía comenzaron a construir "kits" de casas por catálogo. A pesar que estas casas no eran construidas antes de llegar a la locación final, fueron las primeras casas en tener todos sus sistemas de materiales transportados al sitio de construcción. Un comprador podía recibir por tren sus paquetes con treinta mil piezas y su manual de instrucciones.

En 1913, el pionero Henry Ford introdujo el concepto de la línea de ensamblaje. Cerca de medio siglo después se juntaron las ideas de Ford y de Sears Roebuck para dar paso a la industria de casas modulares.

En los años 1950s, para adaptarse a la demanda de casas, las compañías comenzaron a manufacturar casas en fábricas. Estas casas fueron las actuales casas movibles y no casas modulares. La industria de casas modulares inició en 1958 cuando se fabricó por primera vez una casa de dos secciones que cumplió con las regulaciones de construcción existentes en la época.

En la siguiente década la industria de casas modulares trabajó arduamente para diferenciarse de las casas movibles. A lo largo de los 1970s la mayor parte de las casas modulares eran simplemente estructuras rectangulares de 2 o 4 módulos.

Las casas modulares les permiten a sus clientes mudarse en muy poco tiempo desde el momento en que realizan la compra. Los procesos, por estar bien estandarizados y con una buena eficiencia, han promovido un incremento de los niveles de calidad final de los productos. Por las características del manejo de materiales, control de los procesos y los sistemas de distribución, los costos de las casas tienen un amplio control y por ende disminuciones importantes. Los desarrollos tecnológicos en materia de programas de

dibujo asistido por computadora han permitido tener una amplia flexibilidad de los diseños de casas y por ende una gran versatilidad de los productos finales. Igualmente, los controles de procesos y las condiciones de trabajo permiten obtener casas con mejor eficiencia energética debido a mejores sistemas aislantes.

En la actualidad las casas modulares compiten con cualquier casa construida en sitio. Los avances tecnológicos les han permitido a los clientes diseñar prácticamente cualquier casa de forma modular. Por todos los beneficios mencionados las casas modulares se han posicionado, actualmente, como la forma de construcción más atractiva.

Los principales materiales de construcción de las casas son madera para todas las estructuras (columnas y vigas), drywall para las paredes, plástico para las tuberías y fibra como aislante.

Al manufacturar casas modulares se evita un gran número de problemas en comparación con la construcción tradicional en sitio, como variaciones en el clima, rendimiento del personal, transporte de materiales de construcción, falta de materiales por mala planificación y pérdida o daño de los materiales entre otros. Al manufacturar casas modulares se pueden elevar los estándares de calidad en muchos aspectos clave en las características de las viviendas, se puede controlar mucho más el proceso productivo con el fin de reducir costos, mejorar productividad y calidad del producto final.

CAPÍTULO IV. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO

IV. 1 DESCRIPCIÓN GENERAL

Las instalaciones de HandCrafted Homes están compuestas por un galpón (área de manufactura), una casa (área administrativa), un patio de almacenamiento, un área de herrería para los transportes y un área de exhibición de casas modulares completamente terminadas. Todo el proceso productivo a ser estudiado es realizado en el área de manufactura.

El área de manufactura se encuentra dividida teóricamente en 27 estaciones de trabajo con actividades específicas a ser realizadas en cada una de ellas; en 4 de esas estaciones no se realiza ninguna actividad y se utilizan como estaciones de inventario en proceso. En la realidad se utilizan aproximadamente 12 estaciones de trabajo y por ende las actividades no se encuentran delimitadas por las estaciones.

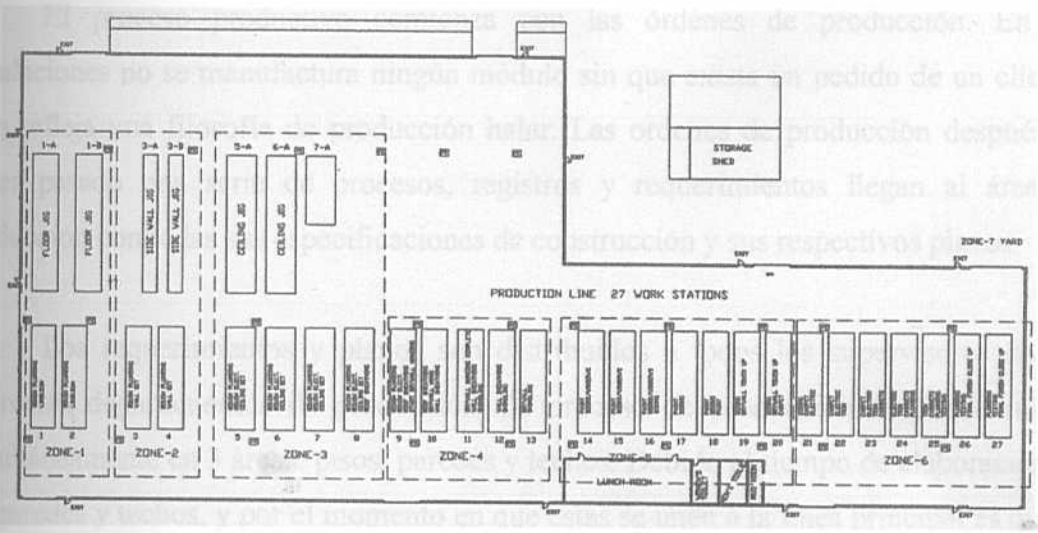

Figura 3.División de las instalaciones de manufactura

Los inventarios de materiales se encuentran distribuidos en 28 áreas alrededor de toda la línea de ensamblaje de los módulos. El equipo encargado de todo el manejo de materiales está formado por sólo 5 trabajadores.

Luego de pasar por todas las estaciones de trabajo los módulos se encuentran listos para ser transportados, sin embargo estos son almacenados en el patio de las instalaciones como inventario de producto terminado o en inventario por ser despachado hasta que el constructor autorice a la compañía a despachar los módulos de acuerdo al cronograma de ensamblaje de los mismos. En promedio se encuentran aproximadamente 80 módulos en el patio y 50 de ellos pasan allí, en promedio, más de 14 días. Para poder despachar un módulo de las instalaciones es necesario que las bases y fundaciones de la casa se encuentren listas en el sitio de construcción.

El área de manufactura contaba, inicialmente, con un ambiente controlado por medio de aire acondicionado, ventiladores y calefacción. Actualmente el sistema de aire acondicionado no se encuentra en funcionamiento.

IV. 2 LA PRODUCCIÓN

El proceso productivo comienza con las órdenes de producción. En las instalaciones no se manufactura ningún módulo sin que exista un pedido de un cliente. Esto refleja una filosofía de producción halar. Las ordenes de producción después de haber pasado una serie de procesos, registros y requerimientos llegan al área de producción con todas sus especificaciones de construcción y sus respectivos planos.

Los requerimientos y planos son distribuidos a todos los supervisores de los diferentes departamentos de producción. El proceso de producción se puede iniciar simultáneamente en 3 áreas: pisos, paredes y techos. Debido al tiempo de elaboración de las paredes y techos, y por el momento en que estas se unen a la línea principal es que el inicio de la producción de un módulo viene determinado por el comienzo de la elaboración del piso y no de los otros 2 componentes. Adicionalmente, el piso constituye la base fundamental del módulo. Por simplicidad las paredes y techos pueden considerarse como materiales en espera a ser ensamblados en la línea principal.

Las 3 líneas de producción: pisos, paredes y techos, y la localización de la unión de los componentes se muestra en el diagrama 3.

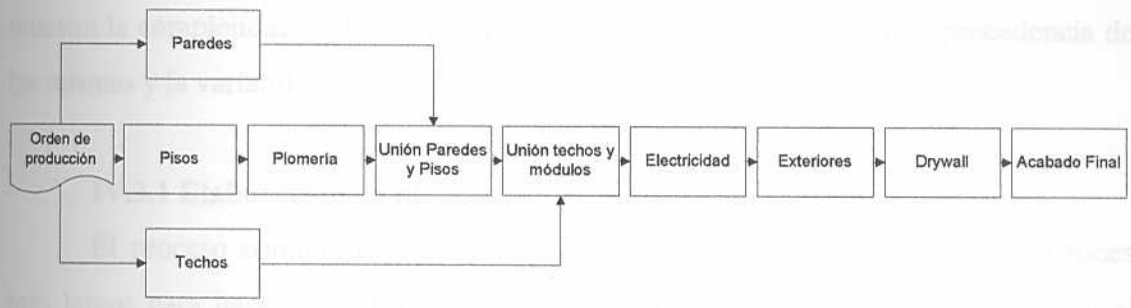

Diagrama 3. Representación de las líneas de producción de la planta

En el diagrama número 4 se muestran las relaciones de todo el sistema de producción de la empresa, la vinculación entre cada actividad y los inventarios existentes entre ellas, la cantidad de empleados por actividad, el flujo de información presente en la producción, la relación con los proveedores y los clientes.

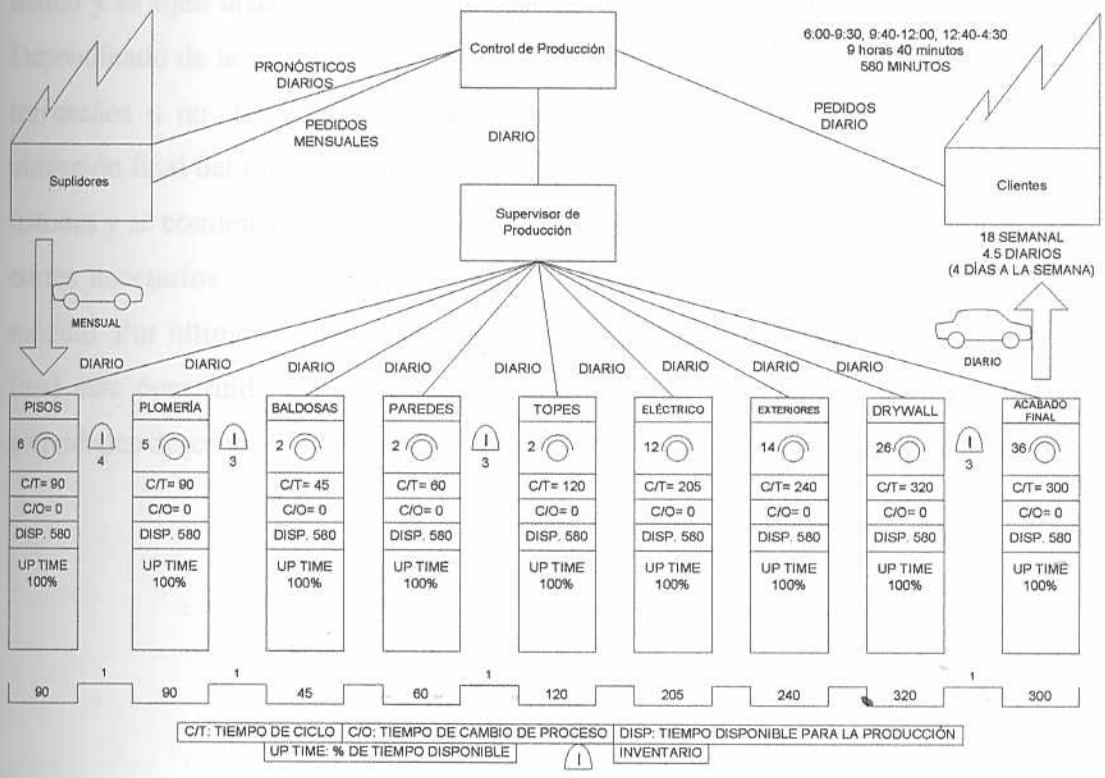

Diagrama 4. Mapa de la cadena de valor actual

IV. 3 DESCRIPCIÓN DETALLADA DEL PROCESO PRODUCTIVO

La descripción detallada de los procesos de manufactura de las casas modulares muestra la complejidad de las actividades realizadas en cada proceso, la procedencia de las mismas y la variabilidad de algunas actividades.

IV.3.1 Elaboración de pisos

El proceso comienza con la unión de listones de madera para obtener listones más largos para hacer el marco del piso. Los tablones que harán de travesaños en el marco se colocan sobre un mesón y luego estos se fijan a los listones largos utilizando martillos neumáticos. Los módulos que se encuentren en un piso distinto al primero puede que lleven unas estructuras de madera por travesaños en vez de los listones; esto ocurre por necesidad de poner plomería y por regulaciones de no poder abrir huecos en los listones de pisos superiores. Luego se fija un segundo listón largo en ambos lados del marco y se fijan unas uniones de metal entre todos los travesaños y los listones largos. Dependiendo de la estructura del módulo se colocan unos listones intermedios entre los travesaños o no. Luego se procede a colocar el aislante requerido en función de la ubicación final del módulo y de las características del mismo. Se le aplica pega roja a los listones y se comienza a cerrar el marco con tablones de madera. Se le realizan todos los cortes necesarios a los tablones y luego se le coloca un número de identificación del módulo. Por último se realiza una inspección del marco asegurándose que el producto final esté construido según las especificaciones. El diagrama 5 muestra el flujo de actividades descritos y la figura 4 muestra el área de trabajo de elaboración de pisos.

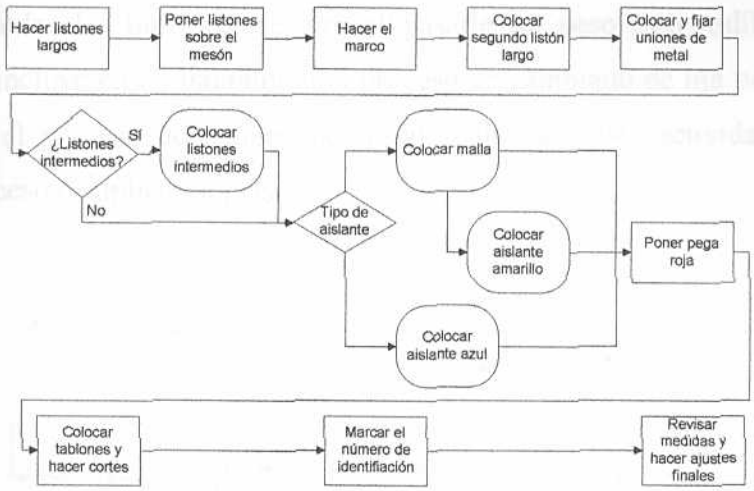

Diagrama 5. Flujo de actividades del área de pisos

Figura 4. Área de trabajo del departamento de pisos

IV.3.2 Baldosas

Después de pasar por el proceso de hacer los marcos del piso el módulo es trasladado hasta el área de baldosas o vinilo. En esta área se pegan las baldosas de vinilo a las zonas de piso que lo requieran. El flujo de actividades de esta área es el que se muestra en el diagrama 6. Inicia el proceso con la medición y marcado de las zonas que llevan baldosas. Luego se lijan, con una lijadora eléctrica, las uniones de los tablones del piso. Se limpia el piso con una pistola de aire comprimido y manualmente se le aplica la pega al piso. Hay una demora que va entre 5 y 15 minutos para esperar el secado de la pega y luego se vuelve a marcar el piso y se colocan las baldosas de vinilo. Por último se

le remueven todas las burbujas de aire al pasarle un peso tipo rodillo por toda la superficie. Se incluye en el diagrama 6 el proceso de cambiado de lija por la frecuencia de veces que el proceso de detiene por estar realizando esta actividad. La figura 5 muestra el proceso de aplicar la pega.

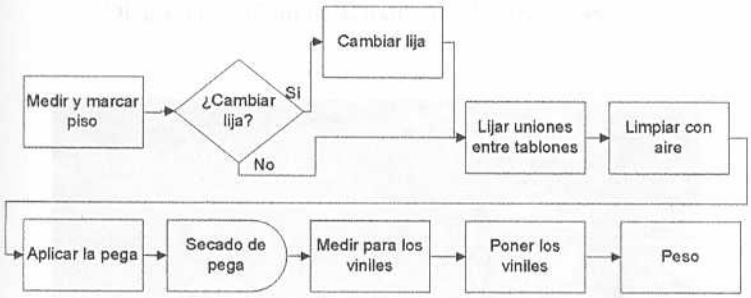

Diagrama 6. Flujo de actividades del área baldosas

Figura 5. Proceso de aplicar la pega

IV.3.3 Plomería

El área siguiente es la de plomería. Comienzan las actividades midiendo y marcando los requerimientos de plomería en el piso y luego se abren los huecos necesarios y se colocan tubos con el extremo superior cerrado. Luego se traslada el módulo a una plataforma para poder trabajar la plomería por debajo. Se añaden todos los tubos necesarios, se hacen las uniones, se perforan las vigas del piso cuando es requerido y se fijan los tubos a las vigas. Por último se realiza una verificación de la tubería utilizando aire comprimido a 100psi. El diagrama 7 muestra el flujo de actividades

descritas y la figura 6 muestra un módulo por se trasladado.

Diagrama 7. Flujo de actividades del área plomería

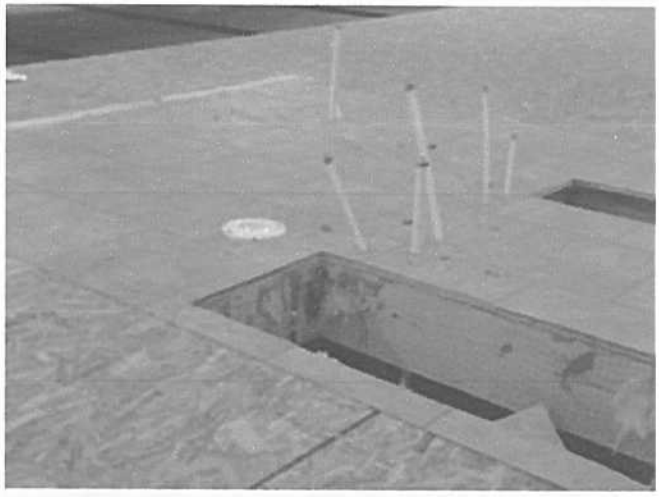

Figura 6. Trabajo realizado en la primera parte de plomería

IV.3.4 Ensamblaje de paredes y pisos

El proceso continúa con el ensamblaje de las paredes con el piso. Comienza por medir y marcar en el piso la ubicación de las paredes y luego se cubre todo el piso con plástico. Se trasladan todas las paredes ya fabricadas y se fijan al piso y entre ellas. Durante este tiempo también se introducen las duchas y las bañeras al módulo, de no hacerlo en este momento sería más complicado meterlas debido a las dimensiones de las mismas. Igualmente se trabaja en puertas corredizas y en la estructura de la chimenea si así el módulo lo incluyera. El diagrama 8 muestra el flujo de actividades del área de fijar paredes y la figura 7 muestra una pared siendo levantada para trasladarla.

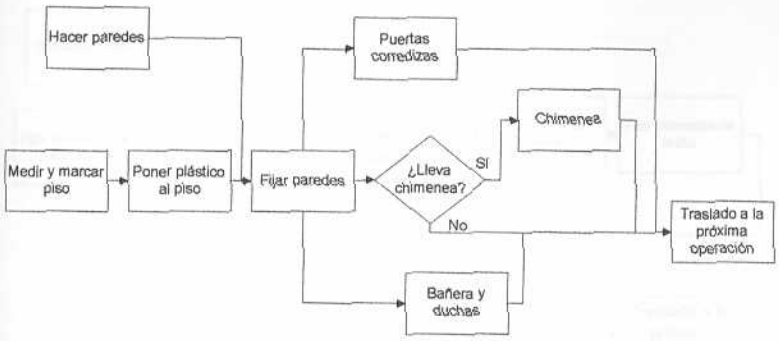

Diagrama 8. Flujo de actividades del área fijar paredes

Figura 7. Inicio del proceso de fijar paredes

IV.3.5 Unión de techos

Una vez que las paredes ya están fijas en el piso y entre ellas se coloca en el tope de las paredes externas un pequeño listón de madera que servirá de guía para colocar el techo que ya está construido. Se realiza el traslado del techo mediante el uso de una grúa y se procede a fijar el techo. En aquellos casos que sea requerido también se traslada una extensión del techo y se fija al techo principal. Por último, si estuviese dentro de los requerimientos, se fijaría una estructura para colocar un techo interno con doble profundidad. El diagrama 9 representa el flujo de actividades del área de fijar techos y la figura 8 muestra el proceso de fijar el techo.

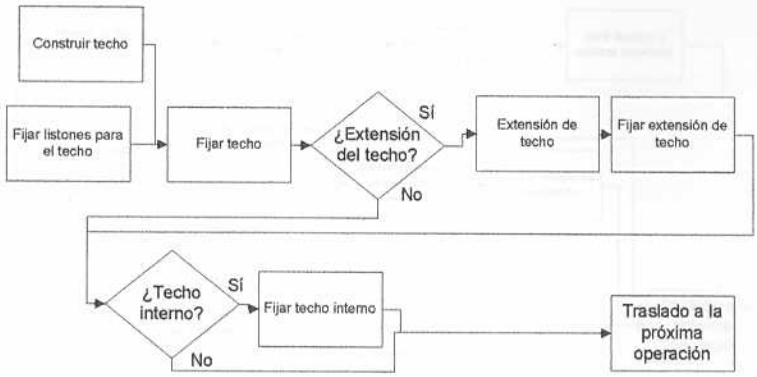

Diagrama 9. Flujo de actividades del área fijar techo

Figura 8. Proceso de fijar el tope de un módulo

IV.3.6 Electricidad

Luego de tener el techo fijo en su posición, el módulo pasa al área de electricidad. El proceso comienza por marcar los cortes necesarios en las paredes para que el cableado pueda pasar y luego marcar los requerimientos eléctricos en el piso y paredes internas para abrir todos los huecos necesarios. Se comienza a realizar el tendido eléctrico en la parte inferior del módulo, luego comienza el tendido eléctrico en la parte superior del módulo. Se fijan y se le coloca aislante a los cajetines, se colocan las lámparas y huecos de ventilación, se protegen los cables y se realiza la unión de cables "tipo breakers" que servirán de unión eléctrica entre módulos. El diagrama 10 muestra el flujo de actividades y la figura 9 el detalle del cableado superior de un módulo.

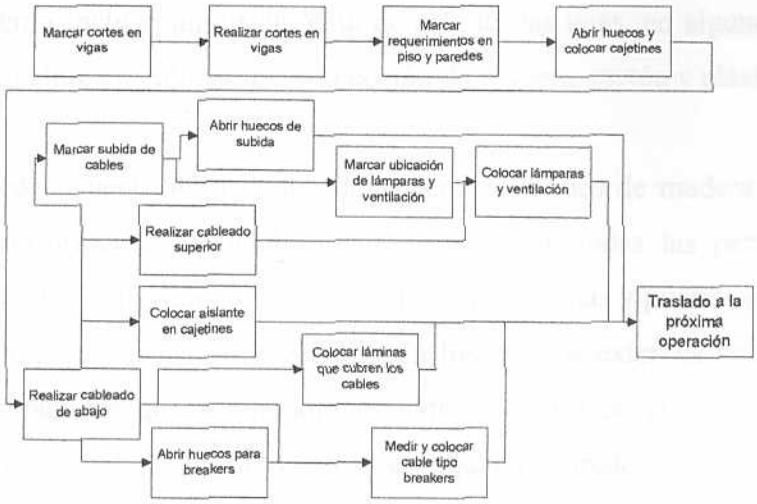

Diagrama 10. Flujo de actividades del área eléctrica

Figura 9. Detalle de cableado superior de un módulo

IV.3.7 Exteriores

Una vez que los módulos ya tienen todo el cableado, plomería y ventilación en su lugar se puede proceder a cerrar el techo y las paredes externas. Esta área se denomina exteriores. Comienza el proceso de colocar aislante a las paredes externas y al techo. Dependiendo de la complejidad y ubicación del techo se realiza un procedimiento simple o complejo. Cuando los módulos son de la primera planta simplemente se le coloca una protección de madera, cartón y plástico. Cuando el módulo es de la planta superior y el techo va a ser el techo de la casa es necesario hacer el acabado del techo.

Este procedimiento incluye un aislamiento de asfalto, las tejas, en algunos casos poner piso al ático e igualmente colocar una protección de madera, cartón y plástico.

Las paredes, luego del aislante, llevan unos tablones de madera como paredes externas y posteriormente un recubrimiento plástico en todas las paredes. Sobre el recubrimiento, en los sitios donde se van a ubicar las ventanas y puertas se colocan unas membranas para evitar filtraciones. Se colocan los marcos externos de las ventanas y puertas. En las paredes que serán uniones entre módulos se coloca una goma para proteger las uniones del medio ambiente y en aquellas paredes que permanecerán sin modificaciones en la ubicación final se coloca el acabo final de la pared. El diagrama 11 muestra el flujo de actividades de esta área y la figura 10 la protección externa del tope de un módulo.

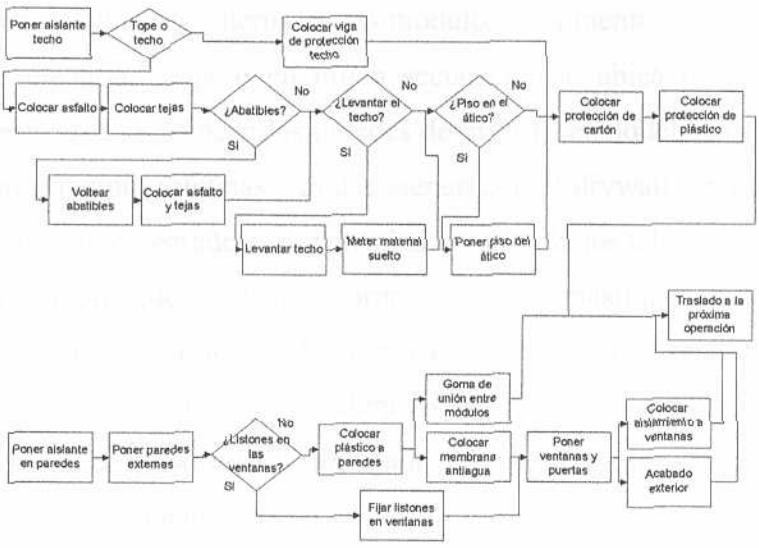

Diagrama 11. Flujo de actividades del área de exteriores

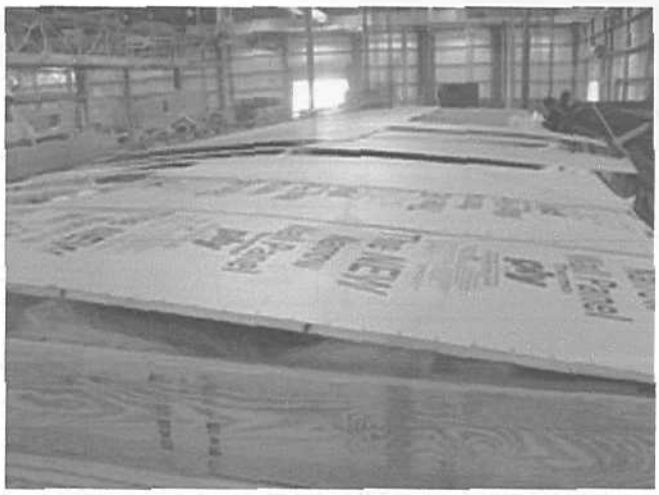

Figura 10. Protección externa del tope de un módulo

IV.3.8 Drywall

El acabado de la parte interna de los módulos igualmente puede comenzar luego del proceso de electricidad pero en orden secuencial se ubica después del área de exteriores. En esta área se colocan las paredes de drywall en aquellas paredes que no lo tengan desde un principio (algunas paredes vienen con el drywall incorporado desde el proceso de fabricación de paredes), se tapan las uniones de los tablones con dos tipos de teipe diferentes y se procede a colocar la primera capa de mastique. En total son 4 capas de mastique con una demora de secado entre cada capa. Las dos primeras demoras son las más significativas y el proceso se acelera con la ayuda de ventiladores y a veces de quemadores a gas. Luego se realiza un lijado eléctrico seguido de uno manual para comenzar el proceso de pintado con un aerógrafo y luego con rodillos. De ser necesario se marcan los defectos de pintura y se corrigen todos los defectos encontrados. El diagrama 12 muestra el flujo de actividades de esta área y la figura 11 muestra el proceso de secado con ventilación forzada.

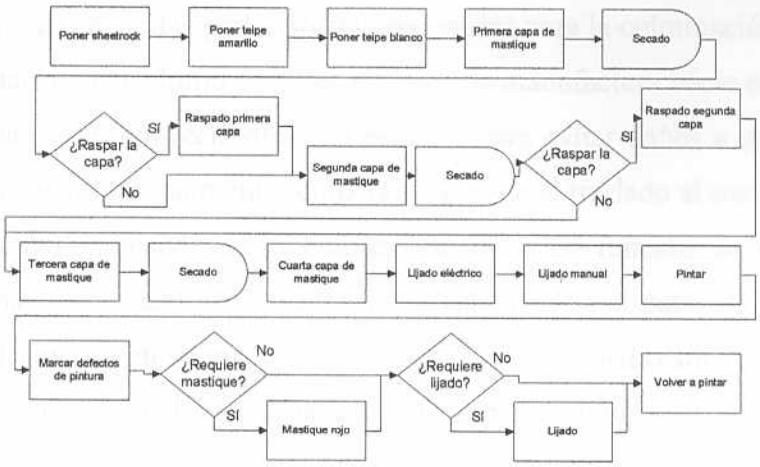

Diagrama 12. Flujo de actividades en el área Drywall

Figura 11. Proceso de secado del drywall con ventilación forzada

IV.3.9 Acabado final

La última área del proceso es la de acabado final. Esta es el área en que trabajan más personas simultáneamente. Aquí se colocan los gabinetes, se termina de instalar toda la parte eléctrica de la casa, se colocan los marcos internos de ventanas y puertas, se realiza la última parte de plomería, se terminan las paredes, se colocan los moldeados, se colocan repisas, se coloca la chimenea y las escaleras, se le hace el acabado a todas las piezas, se realiza la pintura final y se limpia todo el módulo.

Se realiza una inspección final y se realizan los ajustes necesarios, se introducen

en los módulos todas aquellas partes sueltas necesarias para la culminación de la casa en sus destinos finales y por último se sacan del área de manufactura hacia el patio una vez que son embalados con un recubrimiento especial para evitar daños a causa del medio ambiente durante el almacenamiento temporal o durante el traslado al sitio.

El principal indicador de la empresa se lleva en función de la cantidad de módulos semanales que salen del área de manufactura hacia el patio de almacenaje. Es importante destacar que en su mayoría los módulos salen al patio sin estar completados por alguna razón (necesidad de vaciar la línea de producción, falta de requerimientos especiales, fallas detectadas al final del proceso, mejorar los indicadores, etc.). En muchas oportunidades el trabajo continúa en el patio hasta el mismo día en que son despachados a su destino final. El diagrama 13 muestra el flujo de las actividades en el área de acabado final y la figura 12 los procesos en un módulo de cocina.

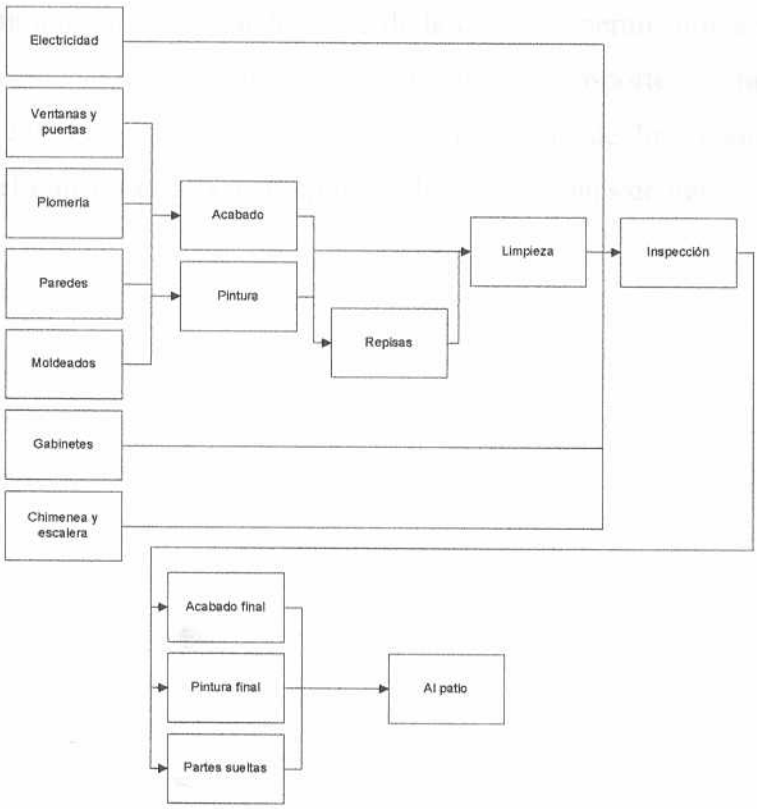

Diagrama 13. Flujo de actividades en el área de acabado final

Figura 12. Proceso de acabado final de un módulo de cocina

Luego de tener los módulos almacenados por el tiempo que requiera el constructor para tener listo las fundaciones de la casa y la permisología requerida, estos son transportados a su localización final por medio de transportes anchi-largos y luego son ubicados con grúas. Este proceso limita el tamaño de los módulos ya que las dimensiones del transporte deben cumplir con las regulaciones de tránsito terrestre.

CAPÍTULO V. DESARROLLO DEL MODELO DE SIMULACIÓN

En este capítulo se presentan dos modelos de simulación realizados para estudiar y analizar los procesos de manufactura de casas modulares de la empresa HCH. El primer modelo contiene la representación general del sistema de producción donde la información que allí se refleja fue provista por los supervisores. El segundo modelo representa de forma detallada al sistema; los tiempos y actividades utilizados provienen de la toma de datos realizada en la empresa. La validación de la información de este último modelo es realizada con los datos del modelo anterior y el segundo modelo es utilizado para desarrollar las mejoras.

V.1 PRIMER MODELO DE SIMULACIÓN: LA PERSPECTIVA DE LOS SUPERVISORES

Este primer modelo de simulación sirve como marco referencial. Permite observar el comportamiento del sistema desde la perspectiva de los supervisores de cada área de manufactura de la planta.

V.1.1 Descripción del sistema

El sistema a modelar consiste en la fabricación de módulos que forman parte de casas modulares. Las órdenes de producción son distribuidas entre todos los departamentos del área de manufactura y va avanzando por los diversos procesos y áreas hasta completar la manufactura de cada módulo. La división de actividades, la cantidad de recursos por actividad, y los tiempos de cada proceso fueron suministrados por los supervisores de cada área de manufactura.

La descripción de cada uno de los elementos que conforman el modelo de simulación se realiza a continuación:

V.1.1.1 Entidades

Las entidades del modelo comienzan como órdenes de producción de los módulos a ser fabricados y a medida que avanzan por los diferentes procesos se transforman en módulos semi-elaborados hasta obtener los módulos finales.

V.1.1.2 Eventos

Los eventos que se pueden ver representados en el modelo son la llegada de entidades, el inicio del procesamiento de una entidad, la culminación del procesamiento y la salida de las entidades del sistema.

V.1.1.3 Recursos

Los recursos en este modelo representan principalmente al personal de trabajo requerido para efectuar todas las operaciones en cada proceso de la planta.

V.1.1.4 Colas

Las colas se forman frente a cada estación de trabajo cuando los recursos que allí operan se encuentran ocupados, las colas tienen en su mayoría una longitud finita determinada por la capacidad de la planta. Las únicas colas que no tienen longitud finita son las que parten de las órdenes de producción.

V.1.1.5 Actividades

El modelo comienza con la llegada de entidades que representan las órdenes de producción. Las órdenes se ramifican hacia 5 actividades iniciales: la construcción de pisos, la construcción de paredes largas, la construcción de paredes cortas, la construcción de las bases para las bañeras y la construcción de los techos o topes de módulos.

Las órdenes de producción al pasar por los diferentes procesos pasan a ser módulos en construcción hasta obtener el producto final. Los procesos por los cuales debe pasar cada módulo, en el orden requerido, son los siguientes: construcción de pisos,

puesta de las baldosas, inicio de plomería, segundo paso de plomería, fijar las paredes e insertar las bañeras y duchas, fijar el techo, realizar el cableado eléctrico, hacer los exteriores (laterales y superior), proceso de drywall, pintado, colocar puertas y ventanas, mejora de la pintura, detalles de paredes, acabado final de paredes y acabado final general. La parte eléctrica y la de acabado final son la imagen de una serie de actividades más detalladas. La tabla número 1 muestra la relación de actividad, trabajadores y tiempo requerido de cada proceso.

Proceso	N° de trabajadores	Tiempo (min)
Construcción de pisos	6	triangular (60, 90, 120)
Puesta de baldosas	2	triangular (0, 45, 120)
Inicio de plomería	2	triangular (30, 45, 210)
Segundo paso de plomería	3	triangular (30, 45, 210)
Fijar paredes	2	triangular (45, 60, 90)
Fijar el techo	2	triangular (45, 120, 180)
Realizar cableado eléctrico		-
Abrir agujeros	1	uniforme (30, 45)
Realizar cortes	1	uniforme (45, 65)
Instalar lámparas	2	uniforme (20, 60)
Instalar breakers	1	uniforme (45, 65)
Tender cableado superior	2	uniforme (70, 120)
Tender cableado inferior	1	uniforme (60, 90)
Instalar cajetines	2	uniforme (20, 40)
Terminar breakers	1	uniforme (45, 65)
Terminar interruptores	1	uniforme (45, 70)
Terminar receptores	1	uniforme (30, 50)
Hacer exteriores		-
Superior (techo)	7	triangular (60, 240, 360)
Lateral (paredes)	3	triangular (60, 120, 180)
Drywall		-
Fijar paneles	4	triangular (30, 45, 120)
Primera capa	3	triangular (60, 60, 120)
Segunda capa	2	triangular (45, 60, 90)
Capa final	3	triangular (45, 45, 120)
Lijado	3	triangular (60, 60, 90)
Pintado	2	triangular (30, 30, 90)
Colocar puertas y ventanas	4	triangular (120, 140, 180)
Mejoría de pintura	2	triangular (30, 30, 60)
Detalles de paredes	4	constante (30)
Acabado final de paredes	1	triangular (15, 20, 20)
Acabado final general		-
Ajustes finales	5	uniforme (120, 240)
Gabinetes	3	triangular (0, 180, 240)
Pintado final	6	triangular (120, 120, 240)
Plomería final	3	uniforme (60, 120)
Repisas	2	uniforme (60, 120)
Cierre final	1	uniforme (60, 120)
Limpieza final	3	uniforme (60, 120)
Puertas y ventanas finales	1	uniforme (60, 120)
Partes sueltas	4	uniforme (60, 120)

Tabla 1. Relación de actividad, personal y tiempo de la primera simulación

V.1.2 Objetivo de la simulación

Determinar la validez de la información y de los datos suministrados por el personal de supervisión que labora en la fábrica, en función de la tasa de producción de módulos semanales; para luego poder utilizar esa información como referencia para el siguiente modelo.

V.1.3 Metodología de resolución

Se utiliza el paquete ARENA 5.0 de la empresa Rockwell Automation para representar el sistema. Se realizan 134 replicaciones del modelo para tener la misma cantidad de semanas de producción en el modelo y en la data histórica. El modelo de simulación contiene los siguientes módulos lógicos dentro de su construcción.

- Create: para la creación de las órdenes de producción.
- Assign: para asignarle un número de identificación a cada entidad y para asignarle una imagen de forma aleatoria.
- Separate: para duplicar entidades y lograr realizar actividades simultáneas en una misma entidad.
- Batch: para unir las entidades que son duplicadas.
- Hold: para controlar el sistema de producción y evitar tener colas internas entre los procesos.
- Process: para representar cada actividad o proceso que le es realizado a los módulos.
- Decide: para lograr que los módulos sigan un orden lógico de actividades en especial en aquellos sitios en donde se encuentren actividades variables que dependen del tipo de módulo a ser fabricado.
- Dispose: permita la salida de las entidades del sistema, representa la salida de los módulos hacia el patio de almacenamiento.
- Readwrite: permite almacenar en una hoja de cálculo diversos valores del modelo para luego ser analizados.

V.1.4 Construcción del modelo

La representación gráfica del sistema se muestra a continuación en la Figura 13. Las actividades del área eléctrica, construcción de techo y de acabado final se muestran en el anexo 3.

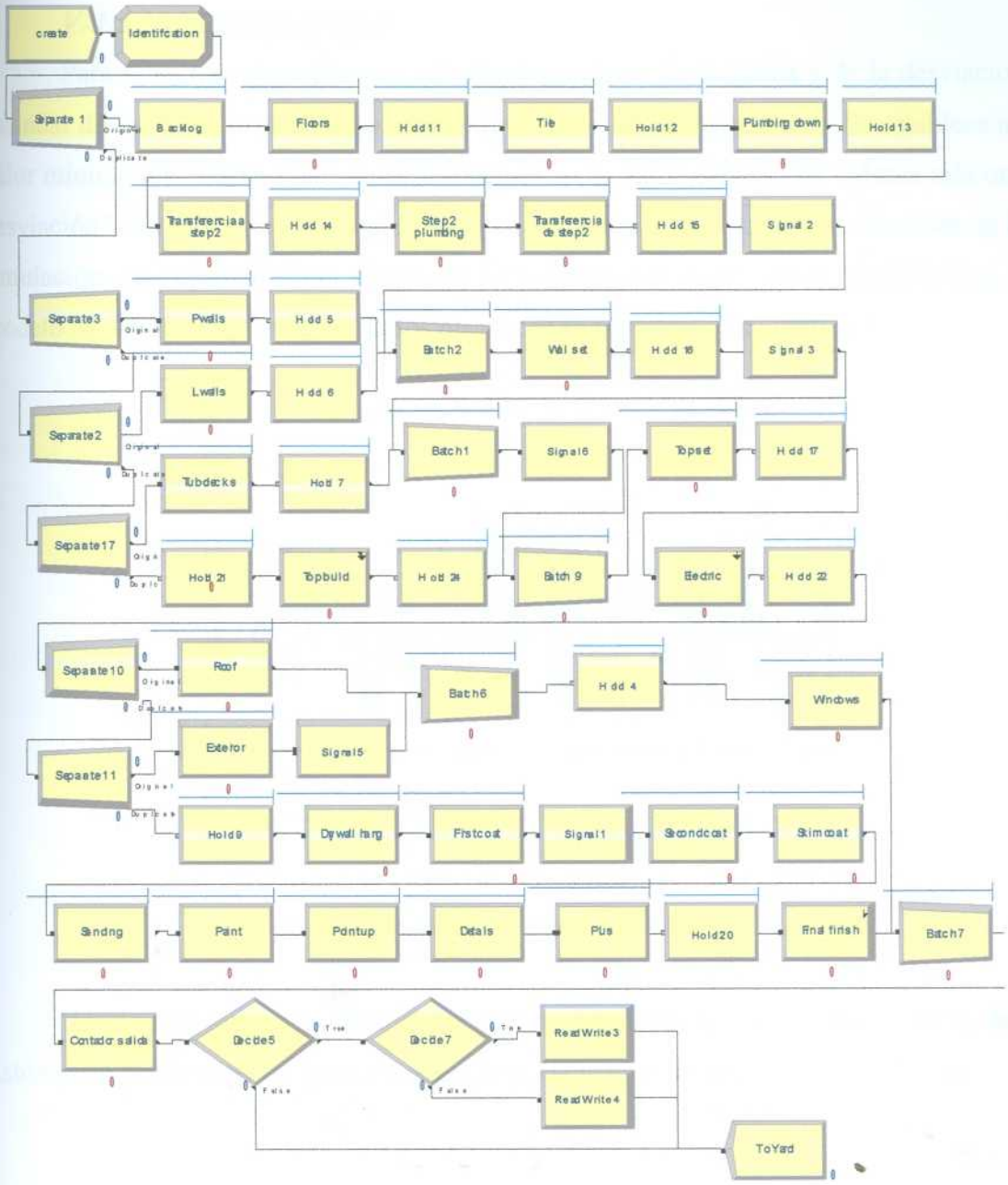

Figura 13. Modelo de simulación de perspectiva de los supervisores

V.1.5 Validación del modelo de simulación

Para validar el modelo se utiliza el principal indicador de la empresa, los módulos producidos semanalmente. Existen 134 datos históricos de este indicador.

V. 1.5.1 Validación gráfica

Para la validación gráfica se calculan los valores de la media y de la desviación estándar de los datos históricos de cantidades producidas semanalmente. Se establece un valor mínimo de "Media menos una desviación" y de valor máximo de "Media más una desviación". Estos valores son los límites de comparación para los datos obtenidos de la simulación. La representación gráfica de la comparación de los datos obtenidos en el modelo de simulación versus los datos históricos se muestran en el gráfico 5.

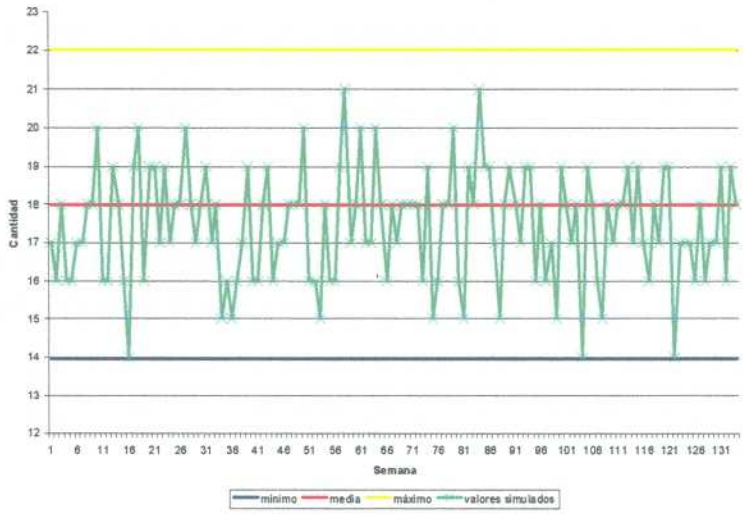

Gráfico 5. Resultados de la primera simulación

Al obtener todos los datos simulados dentro del rango determinado por la data histórica se puede concluir que el modelo sí se encuentra validado de forma gráfica.

V.1.5.2 Validación estadística

Para la validación estadística se realiza un estudio de normalidad de la data histórica y de los datos simulados. Ambos grupos de datos se ajustan a una distribución normal con las siguientes características.

	Datos Históricos	**Datos Simulados**
Media	17.9851	17.4552
Varianza	4.0373	1.4644
Error cuadrático	0.009212	0.00524

Tabla 2 Valores de las distribuciones normales

Con ambas distribuciones se realiza un estudio de comparación de medias de la siguiente forma:

$$H_o: \mu_R = \mu_S \qquad H_1: \mu_R \neq \mu_S$$

Donde H_o es la hipótesis nula y H_1 es la hipótesis alterna; μ_r es la media histórica y μ_s es la media de los datos simulados.

De esta prueba se obtiene que con un nivel de confianza de 95% y un p-valor de 0,158 se acepta la hipótesis nula lo cual implica que ambas medias sí son iguales y por ende se valida el modelo de forma estadística.

V.2 SEGUNDO MODELO DE SIMULACIÓN: DATOS OBTENIDOS EN SITIO

Este modelo de simulación va a modelar con el mayor detalle posible las actividades y procesos de manufactura de la planta. En algunos casos se utiliza el modelo ya validado de los supervisores como referencia.

V.2.1 Descripción del sistema

El sistema a modelar consiste, al igual que el modelo anterior, en la fabricación de módulos que forman parte de casas modulares. La principal diferencia es una mayor división de las actividades con la finalidad de poder estudiarlas con más detalle y así poder identificar las posibles mejoras del flujo de las operaciones.

La descripción de las entidades, eventos, recursos, colas y actividades son iguales a las del primer modelo. La lista de actividades y su correspondiente personal y tiempo y la relación de la cantidad de personas que trabajan en cada grupo de trabajo se muestra en el anexo 4.

V.2.2 Objetivo de la simulación

Modelar de la forma más detallada posible todos los procesos de manufactura de la planta de producción para luego proponer mejoras en función de este sistema.

V.2.3 Metodología de resolución

La metodología de resolución del modelo es igual a la del primer modelo de simulación.

V.2.4 Construcción del modelo

La representación gráfica del sistema se muestra en la Figura 14. Las actividades del área de pisos, baldosas, construcción de paredes, fijar paredes, construcción de techos, fijar el techo, eléctrica, exteriores, techos, drywall y acabado final se muestran

con detalle en el anexo 2 por haber sido modelados como subsistemas.

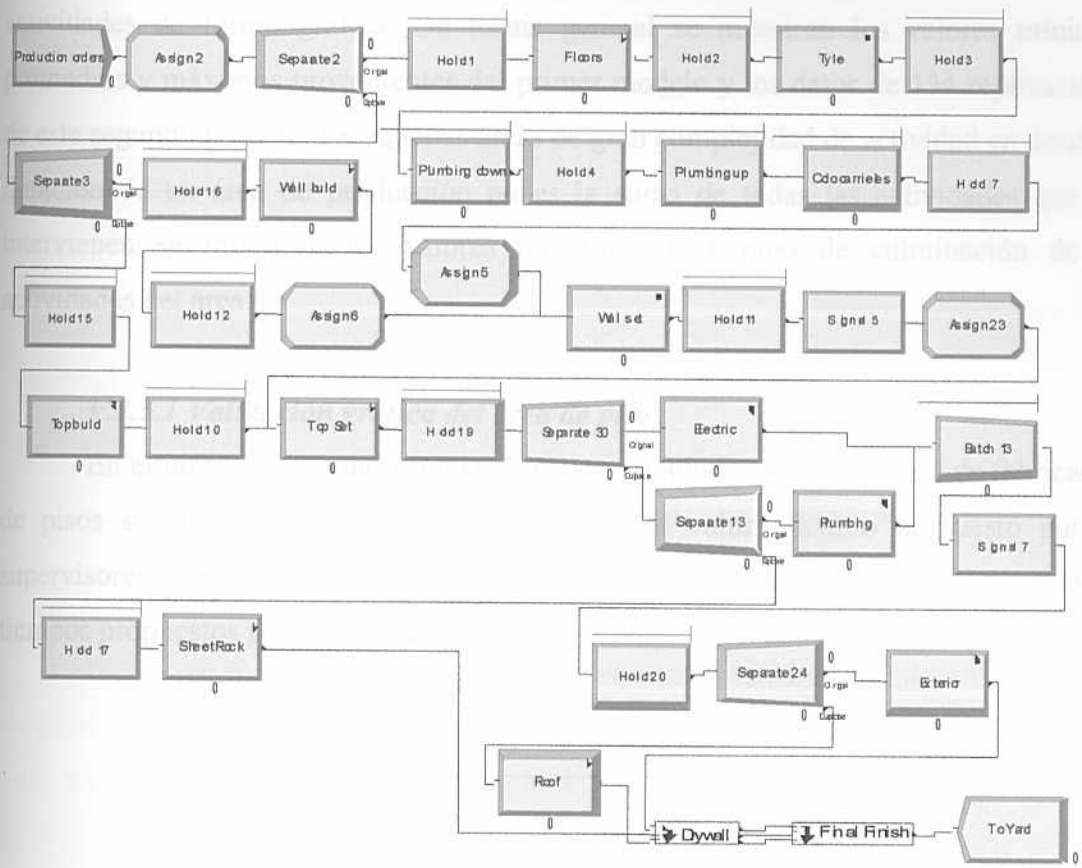

Figura 14. Modelo de simulación con tiempos registrados

Adicionalmente a los bloques de procesos se muestran en la Figura 15 los bloques lógicos utilizados para obtener la data a ser analizada como resultado del modelo.

V.2.5 Validación del modelo de simulación datos obtenidos en sitio

En esta validación se comparan los datos obtenidos de la simulación datos obtenidos en sitio con los proporcionados por supervisores y validados en el modelo anterior. De esta forma se validan las muestras de datos tomadas en la empresa.

Se utiliza esta metodología para asegurar de forma parcial la correcta representación de las diferentes actividades de manufactura.

Se presentan a continuación todos los datos que validan los tiempos de las actividades de forma gráfica. De forma general se muestran los valores mínimos, promedios y máximos provenientes del primer modelo y los datos de 134 replicaciones de este segundo modelo. En aquellas áreas de gran complejidad de actividad en donde la duración de un área de producción no es la suma de todas las actividades que allí intervienen se muestran los valores máximos de tiempo de culminación de las actividades del área.

V.2.5.1 Validación gráfica del área de pisos

En el gráfico 6 se muestra que el tiempo simulado para el proceso de fabricación de pisos se encuentra entre el valor medio y el valor máximo propuesto por los supervisores. De esta manera se asegura la validez de la distribución de actividades y tiempos propuestos para esta área.

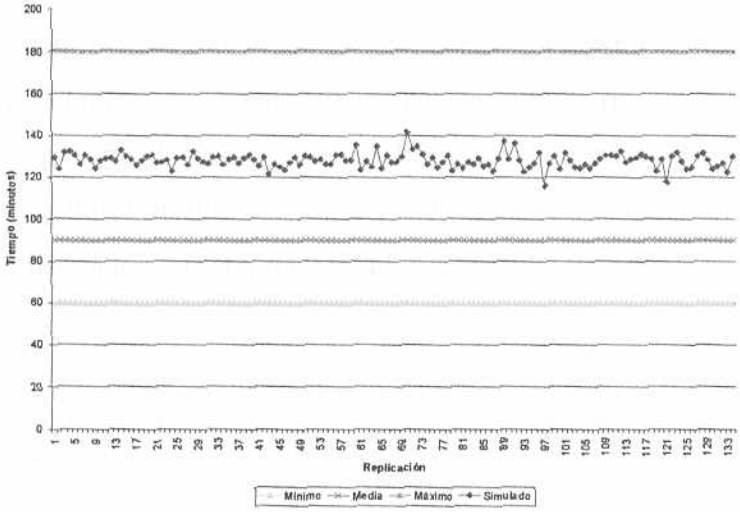

Gráfico 6. Resultados de tiempos del área de pisos de la segunda simulación

V.2.5.2 Validación gráfica del área de baldosas

El gráfico 7 muestra los datos simulados del tiempo del proceso de baldosas dentro del rango estipulado por los supervisores.

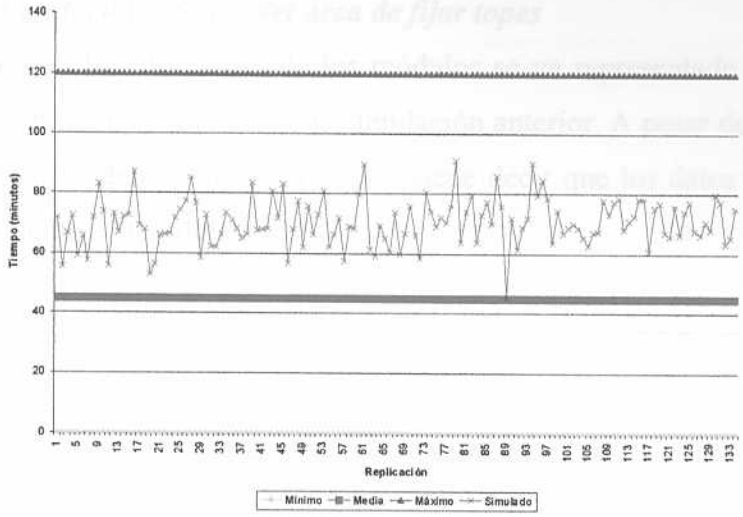

Gráfico 7. Resultados de tiempos del área de baldosas de la segunda simulación

V.2.5.3 Validación gráfica del área de fijar paredes

El tiempo simulado de fijar las paredes excede ligeramente al tiempo máximo propuesto por los supervisores. A pesar de esto, como lo muestra el gráfico 8, el tiempo tiene tendencia constante. Este fenómeno puede presentarse por incluir en este tiempo algunas labores que pueden no estar incluidas en el tiempo expuesto por los supervisores. Un ejemplo de una actividad puede ser el poner puertas corredizas cuya labor la realiza el personal de plomería y no el personal de fijar paredes.

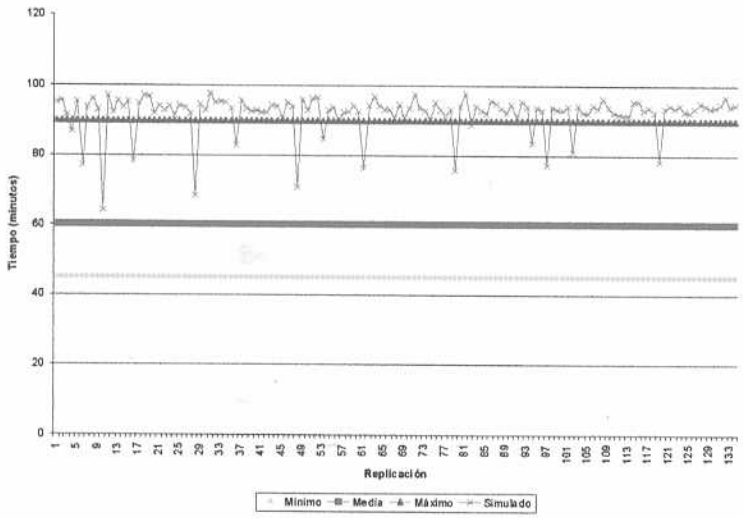

Gráfico 8. Resultados de tiempos del área de fijar paredes de la segunda simulación

V.2.5.4 Validación gráfica del área de fijar topes

El tiempo de fijar los topes de los módulos se ve representado en el gráfico 9 entre los valores mínimos y medios de la simulación anterior. A pesar de tener todos los valores simulados por debajo de la media se puede decir que los datos simulados sí se ajustan correctamente a la realidad.

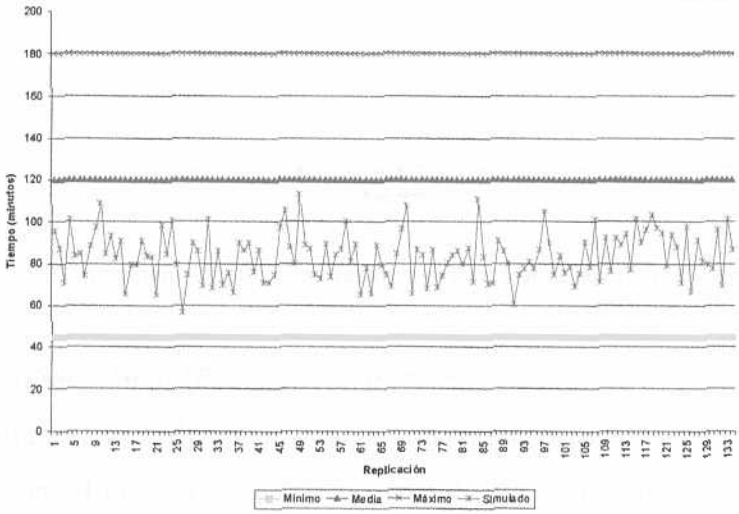

Gráfico 9. Resultados de tiempos del área de fijar topes de la segunda simulación

V.2.5.5 Validación gráfica del área eléctrica

Los datos suministrados por los supervisores no contemplan al sector eléctrico como una sola actividad, por lo tanto se determina a partir de la información suministrada por los supervisores unos valores mínimos y máximos. Estos valores se encuentran representados en el gráfico 10 y permiten afirmar la correcta distribución de los tiempos de las actividades dentro del modelo de simulación.

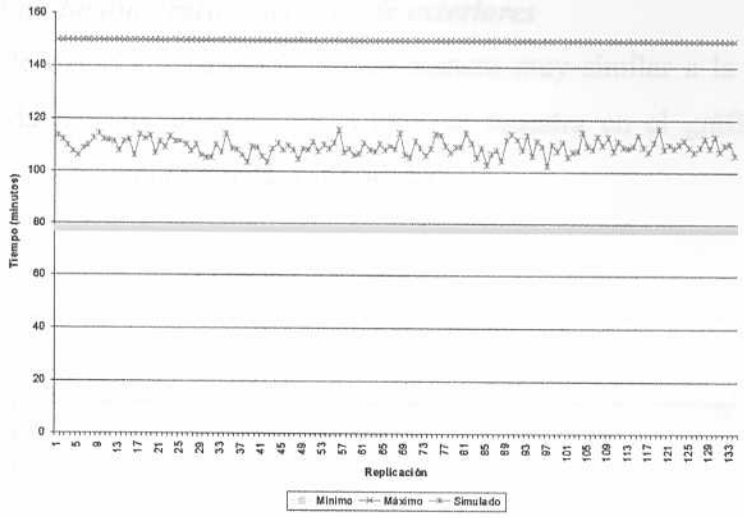

Gráfico 10. Resultados de tiempos del área eléctrica de la segunda simulación

V.2.5.6 Validación gráfica del área de techos

Los resultados obtenidos de la simulación para el área de techos o fijar los topes, como se observa en el gráfico 11, se encuentran dentro de los límites mínimo y medio propuestos por los supervisores. De igual manera a pesar de no ubicarse los datos en todo el rango establecido se puede aceptar la distribución de los tiempos como válida.

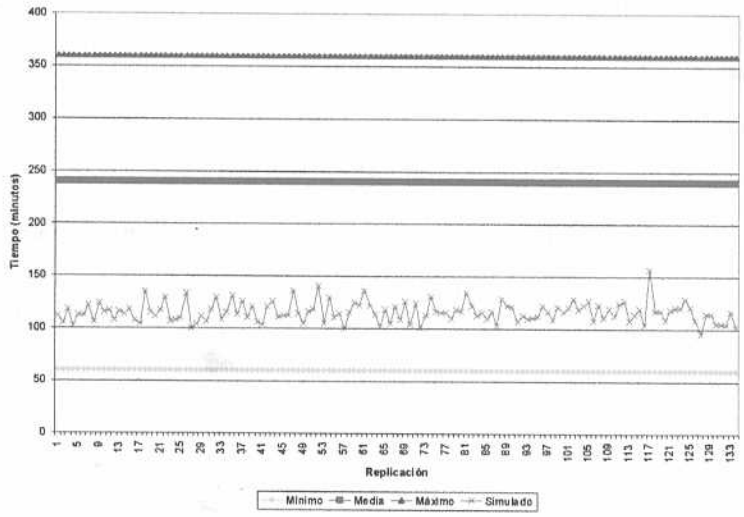

Gráfico 11. Resultados de tiempos del área de techos de la segunda simulación

V.2.5.7 Validación gráfica del área de exteriores

El área de exteriores se comporta de manera muy similar a la distribución de tiempos planteada por los supervisores. Como se muestra en el gráfico 12 la única diferencia es que no presentan mucha variabilidad.

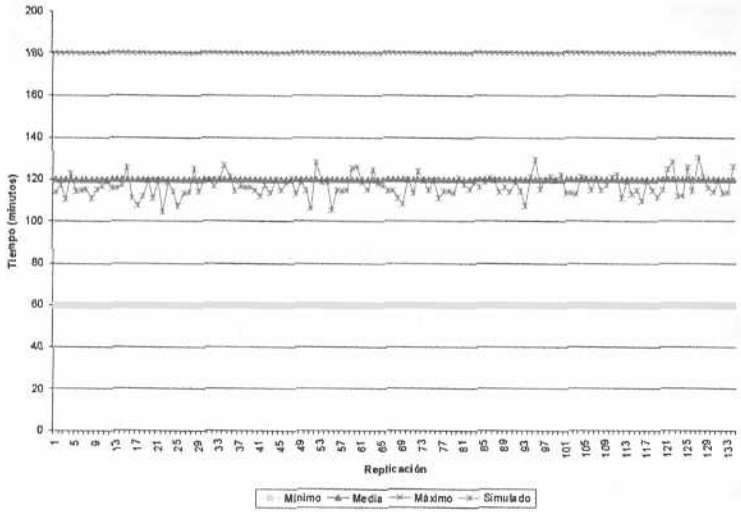

Gráfico 12. Resultados de tiempos del área de exteriores de la segunda simulación

V.2.5.8 Validación gráfica del área de drywall

En el área de drywall ocurre algo similar al área eléctrica, los supervisores no definen a toda esta área como una única actividad. El valor mínimo, medio y máximo de duración para esta actividad proviene de una serie de actividades realizadas consecutivamente. En este caso los resultados obtenidos de la simulación, gráfico 13, se ubican entre el valor medio y el máximo pero encontrándose muy lejano al valor máximo.

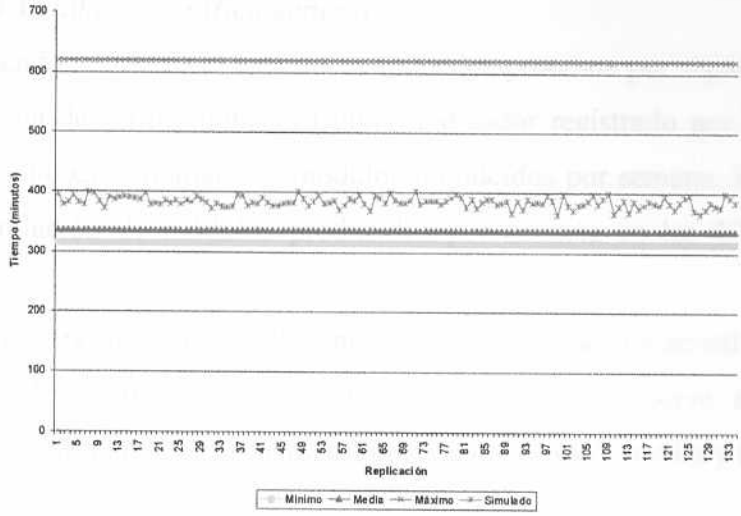

Gráfico 13. Resultados de tiempos del área de drywall de la segunda simulación

V.2.5.9 Validación gráfica del área de acabado final

Al igual como ocurre en el área de drywall el tiempo estimado por los supervisores para el área de acabado final viene dado por la suma de diversas actividades. Como se muestra en el gráfico 14 los valores de tiempo obtenidos de la simulación se distribuyen completamente dentro del rango mínimo-máximo de la simulación anterior.

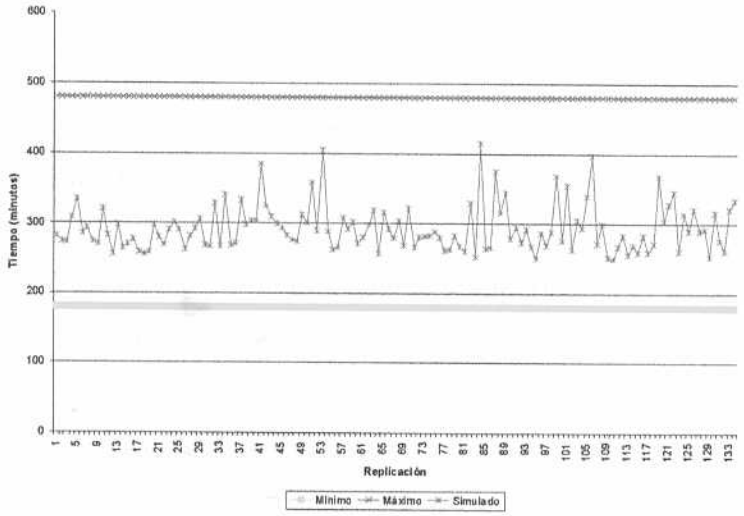

Gráfico 14. Resultados de tiempos del área de acabado final de la segunda simulación

V.2.5.10 Validación gráfica general

Ya habiendo realizado el estudio de todos los procesos por separado se requiere estudiar el sistema de forma global. El único indicador registrado por la empresa que permite este estudio es el número de módulos producidos por semana. En el gráfico 15 se muestra la relación de módulos producidos por semana en las 134 replicaciones realizadas.

Para corroborar los datos de la simulación con la situación actual se toman como referencia los valores históricos del año 2007. Como se observa todos los datos simulados se encuentran enteramente distribuidos entre el valor medio y una amplitud de una desviación.

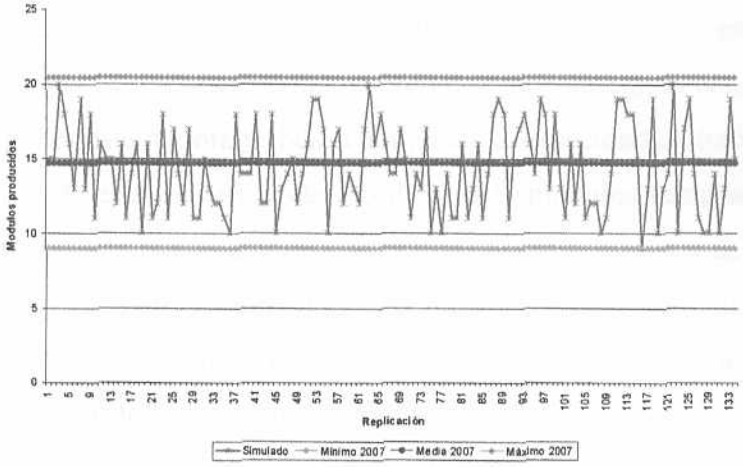

Gráfico 15. Resultados de módulos producidos semanalmente de la segunda simulación

Partiendo de la necesidad de modelar el comportamiento actual del sistema de producción se valida el modelo de simulación anterior a partir de todos los estudios gráficos realizados.

CAPÍTULO VI. PROPUESTAS DE MEJORA

En este capítulo se presentan las diversas propuestas de mejora partiendo del segundo modelo de simulación y comenzando por aquellas que se pueden ver reflejadas en la simulación.

VI. 1 ELIMINACIÓN DE DESPERDICIOS Y BÚSQUEDA DE FLUJO CONTINUO.

Centrados en la eliminación de desperdicios de tiempo de los operadores y en la búsqueda de nivelar las actividades para lograr un flujo continuo la primera propuesta de mejora consiste en adiestrar y asignar a los trabajadores para poder realizar múltiples actividades. Esta propuesta va acorde a una filosofía de mejora que está presente en la empresa. HandCrafted Homes premia a los trabajadores multidisciplinarios con un reconocimiento de O.D. (over delivering, sobre entregar) entregado con una frecuencia mensual. Al proponer esta mejora se busca aumentar la capacidad de trabajo de las áreas de forma general y de esta manera poder producir más módulos semanales. A partir de información suministrada por la empresa se obtiene la siguiente lista de empleados por área de manufactura que han recibido el reconocimiento O.D. En general a partir del año 2004 sólo el 20% de los empleados ha recibido este reconocimiento. La tabla 3 muestra los O.D. entregados por departamento.

Departamento	Cantidad de O.D.	%
Pisos	1	3.23
Paredes	3	9.68
Eléctrico	1	3.23
Drywall	8	25.81
Topes y techos	1	3.23
Exteriores topes	8	25.81
Exteriores	5	16.13
Acabado final	4	12.90

Tabla 3. Distribución de los reconocimientos O.D.

La distribución del personal es igual a la del modelo pero se modifica el tipo de personal requerido para cada actividad. La nueva lista de personal para la propuesta

realizada se observa en la tabla 4 y la asignación de personal por actividad se encuentra en el anexo 5.

Grupo de trabajadores	N° de trabajadores
Piso y Baldosas	8
Plomería A	2
Plomería B	1
Plomería C	1
Paredes cortas	4
Paredes largas	4
Fijar paredes	2
Construir topes	17
Fijar topes	2
Eléctrico	9
Exteriores topes	7
Exteriores	7
Drywall	24
Acabado final	33

Tabla 4. Trabajadores por área

Los resultados comparativos de los módulos producidos semanalmente con la mejora y sin la mejora se muestran en el gráfico 16. Como se muestra existe una considerable mejora en la cantidad de módulos producidos con esta alternativa.

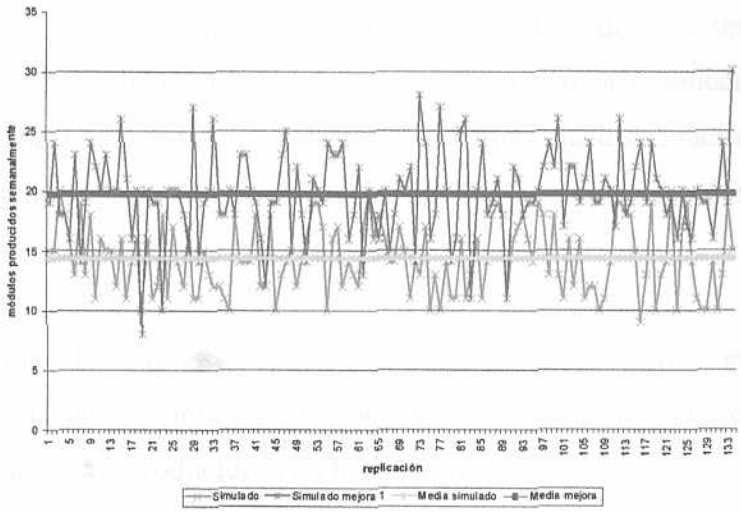

Gráfico 16. Módulos producidos semanalmente con y sin la mejora 1

Se realiza una comparación de medias para asegurar que el resultado obtenido se

deba a mejoras en los procesos y no a variaciones estadísticas de la simulación. El resultado de esta comparación es que con un nivel de confianza de 95% y con un p-valor de 0,00 el promedio de la mejora es distinto al promedio de la simulación sin mejora (se acepta la diferencia como una mejora).

Con este resultado se incrementan los niveles de producción en un 37,44% y de esta manera los costos de mano de obra pueden ser distribuidos entre más módulos. Los costos de personal mensuales son de Bs.743.644.150,00 ($345.881, $1=Bs.2150). Inicialmente se tiene un costo por módulo de mano de obra de Bs.12.954.799,28 ($6.025,48) y con la mejora este valor disminuye en un 27.24% para un valor de Bs.9.425.682,57 ($4.384,03). Anualmente se obtiene un ahorro de Bs. 2.430.982.01,35 ($ 1.130.689,31).

VI. 2 IMPLEMENTACIÓN DE 5 S´s

Basado en resultados obtenidos al implementar 5 S´s en el sector construcción se conoce que las mejoras en los tiempos de proceso van entre 5 y 10% (información obtenida del IGLC). En esta mejora se busca el impacto de la disminución de los tiempos de proceso de cada actividad para así incrementar la producción de módulos semanales. Se trabaja bajo dos condiciones, la primera es una disminución del 5% de los tiempos y la segunda opción es la reducción del 10%. En el anexo 5 se muestran los nuevos tiempos de realización de cada actividad

En el gráfico 17 se muestra la relación de módulos producidos semanalmente sin la mejora y en las dos opciones de mejora. Como se observa no existe una mayor variación de los módulos producidos con las mejoras propuestas.

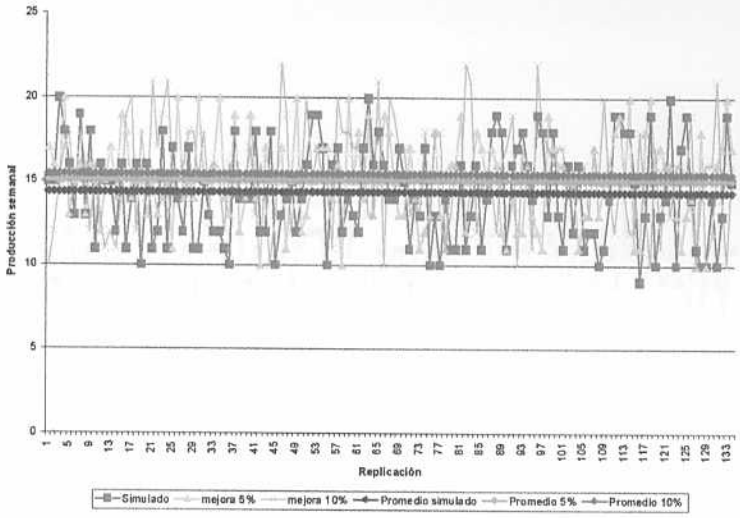

Grafico 17. Niveles de producción con y sin la mejora

Para corroborar el impacto que presentan las mejoras en los niveles se realiza una prueba de hipótesis de comparación de medias entre los datos con mejora y sin mejora. En ambos casos se determina con un nivel de confianza de 95% que los valores promedios de las mejoras son diferentes a la de la simulación sin mejora. En el primer caso se tiene un p-valor de 0,025 y en el segundo de 0,007. Los costos mensuales de mano de obra se ven reducidos, respectivamente, de Bs.12.954.799,28 ($6.025,48) a Bs.12.332.712,39 y Bs.12.058.121,50. Obteniéndose de esta manera un ahorro anual totalizado de Bs.428.515.737,92 ($ 199.309,65) y Bs. 617.663.776,09 ($ 287.285,48) para la propuesta de 5% y 10% respectivamente.

VI. 3 BALANCEO DE LÍNEA EN BÚSQUEDA DEL TAKT TIME

Conocido la meta de producción de la empresa de 20 módulos semanales y la tasa de producción de 1 módulo cada 2 horas se plantea un sistema en estaciones de trabajo que duren aproximadamente ese tiempo en el procesamiento de cada módulo. Sin alterar el sistema de asignación de recursos y planteando un sistema perfectamente halar se obtiene el resultado que se muestra en el gráfico 18.

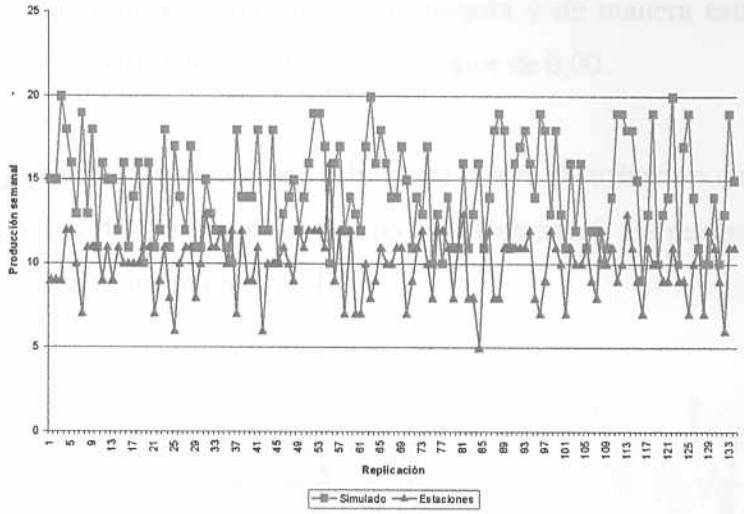

Gráfico 18. Comparación de producción por actividades y por estaciones

Utilizando herramientas estadísticas se corrobora con un nivel de confianza de 95% y un p-valor de 0,00 que no existe mejora al modificar el sistema a estaciones puras.

Para estudiar más profundamente este sistema se permite la incorporación de almacenadores intermedios. Se incorporan los buffers como una medida temporal para ayudar a lograr el flujo continúo. De esta manera se obtiene el siguiente resultado mostrado en el gráfico 19.

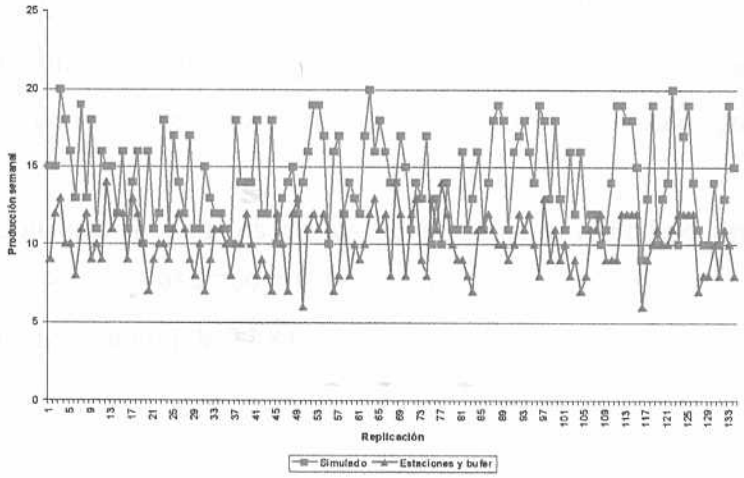

Gráfico 19. Mejora con el sistema por estaciones y con almacenadores intermedios

En este caso se observa que no existe mejora y de manera estadística esto se ratifica con un nivel de confianza de 95% y un p-valor de 0,00.

Para mejorar este resultado se realiza una nueva distribución del personal para intentar disminuir los desperdicios de tiempo en el personal. El resultado obtenido al realizar esta mejora se muestra en el gráfico 20.

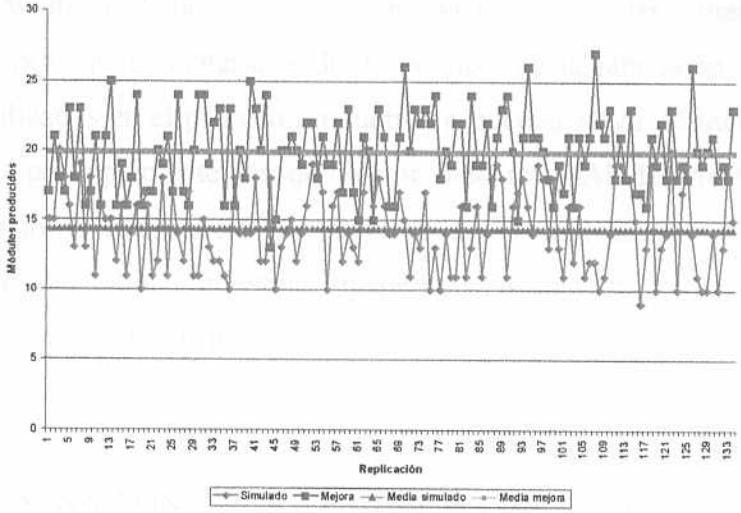

Gráfico 20. Mejora con redistribución de personal y estaciones con buffers

Se puede observar en esta propuesta que sí se logra una mejora. De igual forma se realiza un estudio de diferencias entre medias para verificar los datos obtenidos de la mejora. Con un nivel de confianza de 95% y un p-valor de 0,00 se afirma una diferencia entre las medias. De manera porcentual la mejora lograda es de un 38.58% con respecto a los niveles de módulos producidos.

Con esta mejora los costos de personal por módulo producido se ven reducidos de Bs.12.954.799,30 ($6.025,48) a Bs.9.347.872,05 ($4.347,84), esto representa una mejora de 27,84%.

VI. 4 PRINCIPIO DE REDUCCIÓN DE COSTOS BASADO EN NUEVOS USOS DE DESPERDICIOS

Los desperdicios de producción no se encuentran incluidos en la simulación ya que el modelo no contempla valores monetarios. Por medio de los balances de la empresa se pudo determinar que los gastos asociados al manejo de desperdicios al mes son de Bs.19.780.000 ($9.200) y esto representa un 5% de las ganancias estimadas mensuales. Los principales materiales de desperdicio de la fábrica son materiales que pueden ser reutilizados en el proceso productivo o pueden servir de materia prima para otras industrias, principalmente las del sector maderero. Al desarrollar una sencilla política de manejo de desperdicios se puede reducir completamente este gasto. En el peor de los casos otras industrias madereras aceptarían retirar los desechos completamente gratis, en el mejor de los casos estarían dispuestos a pagar por llevárselos.

VI. 5 ELIMINACIÓN DE DESPERDICIOS CON CALIDAD EN LOS PROCESOS

Las faltas de calidad en la empresa generan un costo mensual de Bs.14.312.550 ($6.657,00). Los niveles y los desperfectos de calidad no se encuentran reflejados en el modelo de simulación; en la realidad sí ocurren fallas, pero el modelo sólo representa la fabricación de módulos con los niveles de calidad aceptados. Al realizar un programa de calidad, como el TQM que se encuentran desarrollando en estos momentos, se pueden reducir estos costos al mínimo y así aumentar las ganancias mensuales en un 4% (valor referencial proveniente del balance general de la empresa).

CAPÍTULO VII. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

En este capítulo se muestran de forma esquemática los resultados obtenidos de las propuestas de mejora. Se observan los valores monetarios asociados a cada alternativa así como también el nivel de importancia de cada una.

Los resultados de todas las propuestas de mejora se muestran de forma esquemática en la siguiente Figura 15.

MEJORA	AUMENTO DE PRODUCCIÓN	DISMINUCIÓN DE COSTOS	ACUMULADO ANUAL	COSTOS ASOCIADOS
ELIMINACIÓN DE DESPERDICIOS Y FLUJO CONTINUO	37,44% DE 14,35 A 19,72 MÓDULOS PRODUCIDOS SEMANALMENTE	27,24% DE Bs.12.954.788,28 A Bs.9.425.682,57 POR MÓDULO	Bs. 2.430.982.011,35 ($ 1.130.689,31)	Bs. 123.453.00,00 ($ 57.420,00)
IMPLANTACIÓN 5 S´s 5%	5,04% DE 14,35 A 15,07 MÓDULOS PRODUCIDOS SEMANALMENTE	4,80% DE Bs.12.954.788,28 A Bs.12.332.712,39 POR MÓDULO	Bs. 428.515.737,92 ($ 199.309,65)	Bs. 25.907.500 ($ 12.050,00)
IMPLANTACIÓN 5 S´s 10%	7,43% DE 14,35 A 15,41 MÓDULOS PRODUCIDOS SEMANALMENTE	6,92% DE Bs.12.954.788,28 A Bs.12.058.121,50 POR MÓDULO	Bs. 617.663776,09 ($ 287.286,48)	Bs. 75.250.000,00 ($ 35.000,00)
BALANCEO DE LÍNEA	NO HAY MEJORA	NO HAY MEJORA	NO HAY MEJORA	Bs. 10.750.000,00 ($ 5.000,00)
BALANCEO DE LÍNEA CON BUFFERS	NO HAY MEJORA	NO HAY MEJORA	NO HAY MEJORA	Bs. 10.750.000,00 ($ 5.000,00)
BALANCEO DE LÍNEA CON BUFERS Y ELIMINACIÓN DE DESPERDICIOS	38.58% DE 14,35 A 19,89 MÓDULOS PRODUCIDOS SEMANALMENTE	27,84% DE Bs.12.954.788,28 A Bs.9.347.872,05 POR MÓDULO	Bs. 2.484.580.679,77 ($ 1.155.618,92)	Bs. 134.203.000,00 ($ 62.420,00)
PRINCIPIO DE REDUCCIÓN DE COSTOS BASADO EN NUEVOS USOS DE LOS DESPERDICIOS	NO	Bs.19.780.000 AL MES	Bs. 237.360.000,00 ($ 110.400,00)	Bs. 33.282.000,00 ($ 15.480,00)
ELIMINACIÓN DE DESPERDICIOS CON CALIDAD EN LOS PROCESOS	NO	Bs.14.312.550 AL MES	Bs. 171.750.600,00 ($ 79.884,00)	T.Q.M. ACTUAL + Bs. 37.006.875,00 ($ 17.212,50)

Figura 15. Resultados de las mejoras

(Para mayor información de los costos asociados ver anexo 7)

Con respecto a las mejoras planteadas para mejorar los niveles de producción de la empresa se obtiene el siguiente orden de mayor a menor impacto en los resultados: La distribución de la producción en estaciones de trabajo con la incorporación de almacenadores intermedios y una distribución de empleados de manera multidisciplinaria, seguido de la distribución de empleados de manera multidisciplinaria sin cambiar otra característica y ambos entrenamientos a los trabajadores. Como se observa de los resultados el factor determinante para conseguir una mejora es la modalidad de trabajadores multidisciplinarios, los demás factores para incrementar los niveles de producción causan un efecto muy pequeño en comparación con este.

Todas las otras propuestas de mejora son importantes de realizar a pesar de que no afecten los niveles de producción pero marcan una mejora en la empresa. Desde el punto de vista de mejoras internas a la empresa se tiene la posibilidad de realizar el manejo de desperdicios y desde el punto de vista externo e interno se tiene la mejora de la calidad.

En la figura 16 se muestra la propuesta de relaciones de todo el sistema de producción. El sistema está configurado para contar con 16 estaciones de trabajo con 24 módulos en almacenadores intermedios. Se busca obtener una tasa de producción de 1 módulo cada 2 horas y una producción semanal de 20 módulos. Se busca maximizar la ocupación de los trabajadores y se le asignan múltiples tareas a cada empleado. El flujo de información permanece invariable al igual que la recepción de materia prima. Esta configuración es producto de los análisis de las propuestas de mejora.

En ninguna de las propuestas de mejora es necesario calcular los indicadores financieros de valor presente neto, tasa interna de retorno o período de recuperación de capital debido a que los costos asociados a la mejora se realizan sólo una vez y la reducción de costos anual que se obtiene es comparativamente muy superior a la inversión. Si se realizan estos cálculos el resultado financiero indicaría que sí se deben implementar las mejoras.

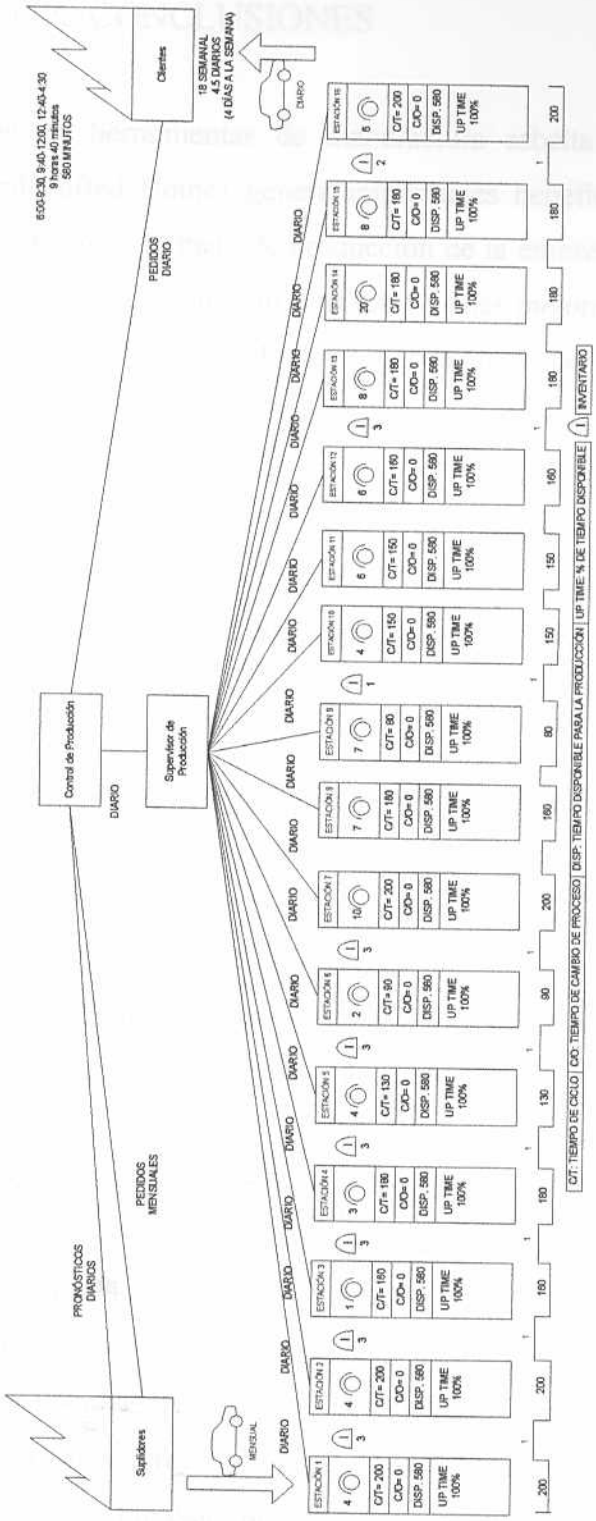

Figura 16. Mapa de la cadena de valor futuro

CAPÍTULO IX. CONCLUSIONES

La aplicación de herramientas de manufactura esbelta en los procesos de manufactura de HandCrafted Homes genera importantes beneficios. Utilizando estas herramientas se logra alcanzar la meta de producción de la empresa y al mismo tiempo disminuir sus costos. El ahorro alcanzado a través de estas mejoras es de más de 2.400 millones de bolívares anuales ($ 1.155.618,92, la tasa de cambio utilizada es $1=Bs.2150).

La principal mejora a implantar es realizar un balanceo de línea con buffers y eliminación de desperdicios ya que esta es la mejor vía para lograr un incremento en los niveles de producción y por ende una reducción de los costos de mano de obra asociados a cada módulo.

Las mejoras que no se ven reflejadas en los niveles de producción representan un factor adicional que permite mejorar la situación financiera de la empresa y atraer a una mayor cantidad de clientes en un mercado cada vez más competitivo.

La combinación de las mejoras proporciona el mejor camino a seguir para fortalecer la empresa y destacarse sobre la competencia.

Las principales características de las mejoras enfocadas en manufactura esbelta es que son sencillas y de mucho sentido común, con un bajo costo de implantación pero requieren de un alto compromiso de toda la empresa.

La correcta implantación de las herramientas de manufactura esbelta requiere un profundo estudio de las nociones teóricas. Por la simplicidad de las nociones teóricas es sencillo desviar los esfuerzos realizados y nunca obtener los resultados esperados.

A pesar de observar un bajo impacto de algunas mejoras relacionadas con manufactura esbelta se deben llevar acabo porque la filosofía debe dirigirse a lograr ser

completamente esbelto.

La simulación sirve como una valiosa herramienta en la mejora de actividades y procesos. La gama de posibilidades de exploración de los sistemas simulados permite realizar múltiples escenarios y poder estudiar los impactos de cada una de las acciones que se planteen realizar.

Las etapas claves del modelaje de sistemas son la recopilación de información y toma de datos, la verificación del modelo y la adecuada validación del mismo.

CAPÍTULO X. RECOMENDACIONES

Adicional a las conclusiones planteadas en el capítulo anterior se realizan las siguientes recomendaciones basadas en la información obtenida de la empresa que no se encuentran reflejadas en el presente trabajo especial de grado.

Para poder atraer a un mercado en recesión es necesario diferenciarse positivamente de la competencia. Una de las posibilidades para diferenciarse es con energystar. El sello de energystar en viviendas nuevas significa que son significativamente más eficientes que las tradicionales. Para poder recibir la certificación los constructores deben cumplir con una serie de características. HandCrafted Homes ya se encuentra certificada como un constructor autorizado y ya han manufacturado algunas casas con estas características. La recomendación es cambiar toda su producción a los estándares de energystar y de esa manera diferenciarse positivamente de la competencia y agregarle una valor adicional al producto final (para mayor información de energystar ver anexo 8).

Un esfuerzo en conjunto del área gerencial y de producción es un factor clave para lograr las mejoras aquí planteadas. Para asegurar el involucramiento del área de producción se recomiendan aplicar mejoras en las políticas de recursos humanos, incentivar al personal y disminuir la alta rotación de trabajadores.

Para realizar un correcto estudio de los sistemas de funcionamiento de la empresa es requerido sincerar los indicadores utilizados. El principal es el número de módulos producidos semanalmente. Esto comienza con mejores controles de producción y evitar la realización de actividades o retrabajos en las áreas de almacenamiento de productos terminados.

Igualmente es necesario mejorar los sistemas de control contables, incorporando cálculos precisos de los costos y evitando la realización de estimaciones simplificadas.

Para ayudar a mejorar los sistemas de control contables y de producción es requerido implantar algún sistema de control de inventarios y de manejo de materiales. De esta forma se podrá tener un control sobre la producción y vincular esa información con el sistema contable.

Es de gran importancia y relevancia realizar un estudio para implantar un correcto sistema halar. Se recomienda realizar la producción para que satisfaga en cantidad, calidad y tiempo a las necesidades del mercado y de esa manera disminuir al mínimo el inventario de productos terminados en el patio de la planta. Es necesario contrarrestar la falsa creencia que tener tiempo ocioso es malo para la producción.

Se debe realizar un esfuerzo especial en mejorar los procesos administrativos y los del área de ingeniería para que la información enviada a producción sea la más correcta y precisa posible. De esta forma se pueden evitar una gran cantidad de fallas de producción. El personal administrativo y de ingeniería debe considerar a producción como un cliente que debe satisfacer en calidad, cantidad y tiempo requerido. Bajo esta perspectiva el área de producción debe ser consultada continuamente sobre sus requerimientos y de esta manera mejorar el flujo de información.

El adiestramiento al personal de producción en la importancia de los niveles de calidad para poder elevar los estándares y también el incorporar la concepción de producción bajo un esquema global y no algo separado por actividades permitirá a la empresa mejorar su desempeño. Se debe evitar la culminación de la jornada laboral de unos trabajadores antes que otros así como la extensión de la jornada laboral para algunos trabajadores.

BIBLIOGRAFÍA

Libros

KELTON, W. David , SADOWSKI, Randall P., STURROCK, David T. Simulation with Arena. Singapore, 2003, Third Edition.

LIKER, Jeffrey K. The Toyota Way. McGraw-Hill. United States of America, 2004.

TAPPING, Don; LUYSTER, Tom; SHUKER, Tom. Value Stream Management. New York, 2002.

PÉREZ, César. Problemario de Simulación. Caracas, 2003.

PÉREZ, César. Proyecto de Simulación Terminal de Pasajeros. Caracas, 2003.

Publicaciones digitales

INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION 2005, 2006 & 2007 CONFERENCE PAPERS, www.iglc.net, Julio-Octubre 2007, Publicado por: International Group for Lean Construction.

BRENNAN, Maya y LIPMAN, Barbara. The Housing Landscape for America`s Working Families, 2007. www.nhc.org/pdf/pub_landscape2007_08_07.pdf . Washington, Agosto 2007. Publicado por National Housing Conference. Center for Housing Policy.

FRATANTONI, Michael; DUNCAN, Douglas G.; BRINKMANN, Jay; VELZ, Orawin; WOODWELL, James. Housing and Mortgage Markets: An Analysis. www.mbaa.org. 6 Septiembre 2005. Publicado por Mortgage Bankers Association,.

LUBOVE, Seth y TAUT, Daniel. The Subprime Sinkhole. : www.bloomberg.com/news/markets,ag/subprime.html. Julio 2007. Publicado por Bloomberg.com

ROBBINS, John M. Chairman of the Mortgage Bankers Association. Statement of before the Subcommittee on Housing, Transportation and Community Development, United States Senate. www. mbaa.org. 26 Junio 2007. Publicado por The Mortgage Bankers Association.

ROBBINS, John M. Chairman of the Mortgage Bankers Association. Statement of before the Committee on Financial Services, United States House of Representatives. www. mbaa.org. Publicación digital. 20 septiembre 2007. Publicado por the Mortgage Bankers Association.

Annual Performance Plan Fiscal Year 2007. www.hud.gov. Agosto 2006. Publicado por U.S. Department of Housing and Urban Development.

Consumer Handbook on Adjustable-Rates Mortgages. Diciembre 2006. www.federalreserve.gov/pubs/arms/armsbrochure.pdf. Publicado por The Federal Reserve Board.

From Factory to Finish: A Guide to Residential Modular Construction. 2004. www.modularhousing.org. Publicado por Modular Building Systems Association.

From Rural to Suburban in Less Than a Century: Changes in Housing Density in North Carolina From 1940-2030. 17Julio 2007. www.ctnc.org. Publicado por Conservation Trust for North Carolina.

Housing Facts, Figures and Trends. www.nahb.org/publication_details.aspx?publicationID=2028. Mayo 2007. Producido por NAHB Public Affairs y NAHB Economics. Publicado por National Association of Home Builders.

Housing Policy for the 21st Century. www.nahb.org/publication_details.aspx?sectionID=702&publicationID=1548. Septiembre 2004. Publicado por National Association of Home Builders.

Interim State Population Projections. www.census.gov/population/projections/summarytaba1.pdf. 2005. Publicado por U.S. Census Bureau.

Issue Papers on Demographic Trends, Important to Housing. www.huduser.org/publications/econdev/demographic_trends.html. Febrero 2003. Publicado por U.S. Department of Housing and Urban Development, Office of Policy Development and Research.

Realtors Confidence Index Highlights. Julio 2007. www.realtors.org. Publicado por National Association of Realtors.

Statistical Abstract of the United States 2007. www.census.gov/compendia/statab/ranking.html. 2007. Documento por capítulos. Publicado por U.S. Census Bureau.

The State of the Nation's Housing 2007. www.jchs.harvard.edu/son/. Publicación digital. Cambridge, Massachusetts, Junio 2007. Publicado por el Joint Center for Housing Studies de Harvard University, 44 pag.

The State of Housing in North Carolina. Septiembre 2007. www.nchfa.com/Forms/Forms/statehousing.pdf. Tríptico. Publicado por North Carolina Housing Finance Agency.

United States housing bubble. www.en.wikipedia.org/wiki/United_States_housing_bubble. Octubre 2007. Publicado en Wikipedia.org

U.S. Housing Market Conditions 2nd Quarter 2007. huduser.org/periodicals/ushmc/summer07/index.html. Agosto 2007. Publicado por US Department of Housing and Urban Development, Office of Policy Development and Research.

2007 Office of Federal Housing Enterprise Oversight Report to Congress. 15Junio 2006. www.ofheo.gov/media/annualreports/OFHEOReporttoCongress07.pdf. Publicado por Office of Federal Housing Enterprise Oversight.

Dípticos digitales

Advanced Lightting Package. Junio 2006. www.energystar.gov/ia/new_homes/features/AdvanceLighting_062906.pdf. Publicado por U.S. Environmental Protection Agency.

Change for the better with energy star. Abril 2004. www.energystar.gov/ia/partners/downloads/consumer_brochure.pdf. Publicado por Publicado por U.S. Environmental Protection Agency.

Efficient Duct Systems. Junio 2006. www.energystar.gov/ia/new_homes/features/DuctSystems_062906.pdf. Publicado por U.S. Environmental Protection Agency.

Energy Star Qualified Windows. Junio 2006. http://www.energystar.gov/index.cfm?c=bldrs_lenders_raters.nh_features. Publicado por U.S. Environmental Protection Agency.

High Efficiency Water Heaters. Junio 2006. www.energystar.gov/ia/new_homes/features/WaterHtrsr_062906.pdf. Publicado por U.S. Environmental Protection Agency.

Independet Inspection and Testing. Junio 2006. www.energystar.gov/ia/new_homes/features/HERSrater_062906.pdf. Publicado por U.S. Environmental Protection Agency.

Mechanical Ventilation. Junio 2006. www.energystar.gov/ia/new_homes/features/MechVent_062906.pdf. Publicado por U.S. Environmental Protection Agency.

Properly Installed Insulation. Junio 2006. www.energystar.gov/ia/new_homes/features/Insulation_062906.pdf. Publicado por U.S. Environmental Protection Agency.

Qualified Appliances. Junio 2006. www.energystar.gov/ia/new_homes/features/Appliances_062906.pdf. Publicado por U.S. Environmental Protection Agency.

Qualified Cooling Equipment. Junio 2006. www.energystar.gov/ia/new_homes/features/Cooling_062906.pdf. Publicado por U.S. Environmental Protection Agency.

Qualified Heating Equipment. Junio 2006. www.energystar.gov/ia/new_homes/features/Heating_062906.pdf. Publicado por U.S. Environmental Protection Agency.

Qualified Lighting. Junio 2006. www.energystar.gov/ia/new_homes/features/Lighting_062906.pdf. Publicado por U.S. Environmental Protection Agency.

Notas

Nota explicativa. Explanation of How Option Arms Work. web www.bubbleinfo.com/option-arms-how-they-work/. Septiembre 2007. Publicado por bubbleinfo.com

Nota de prensa. Bush Administration To Help Nearly one-quarter of a million homeowners refinance keep their homes. 31 Agosto 2007. www.hud.gov.news. Publicado por U.S. Department of Housing and Urban Development.

Notas de prensa. Modular Housing News. www.modularcouncil.org/mc/mh_news/default.asp. 2004, 2005, 2006 y 2007. Publicado por National Modular Housing Council.

Nota de prensa. The HSH Two-Month Forecast for Mortgage Rates. www.hsh.com/2month4cast.html. Septiembre 2007. Publicado por Market Trends, The weekly newsletter from HSH Associates Financial Publishers.

Nota de prensa. The State of the Nation's Housing 2007, Fact Sheet. www.jchs.harvard.edu/media/son2007/fact_sheet.pdf. Publicación digital. Cambridge, Massachusetts, Junio 2007. Publicado por el Joint Center for Housing Studies de Harvard University.

Nota de prensa. US Economy " A Near Recession Experience". www.uclaforecast.com/contents/archive/media_9_07_1.asp. 12 septiembre 2007. Publicada por UCLA Anderson Forecast.

ANEXOS

ANEXO 1. CAUSAS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL MERCADO INMOBILIARIO

La forma de pago de las viviendas se divide en dos grupos: de contado y financiado. De manera general y así fue en el 2005, el 67% de las viviendas se compró a través de financiamientos con préstamos hipotecarios y el 33% restante fue adquirido de contado.

Es oportuno señalar que los préstamos hipotecarios tienen dos grandes grupos: Prime y Non-prime. En el caso de Prime los préstamos pueden tener tasa fija y variable para plazos entre 10 y 30 años de amortización, y algunos llegan a 40 años, con mejores tasas de interés en función de la historia crediticia de los solicitantes. Para los préstamos Non-prime, igualmente con tasas fijas y variables, la diferencia es que en el tiempo las tasas resultarán más altas. Dentro de esta categoría está el préstamo "Subprime" (que significa préstamos no preferenciales o de alto riesgo) disponible para personas que tienen una historia crediticia precaria o no tienen historia crediticia; estos préstamos permiten a las personas tener acceso a créditos, si bien, en esa situación les habría sido imposible obtenerlos. El aumento de la tasa de interés depende de factores como la puntuación crediticia, el monto del pago inicial y la severidad de la imperfección de la historia crediticia.

Otro tipo de préstamo que se encuentra dentro de los Non-prime es "Alt-A", creado para las personas cuya historia crediticia presenta dificultades. Un préstamo Alt-A sólo significa que la historia crediticia del solicitante no recibe la calificación de A+ o preferencial. Un préstamo también puede recibir esta calificación por la magnitud del monto solicitado o por otras características, por ejemplo, cuando la persona trabaja por cuenta propia (trabajador autónomo) o cuando el dinero está destinado a financiar una propiedad que no cumple con los requisitos establecidos. Una definición común del Alt-A es NINA (que significa poco o ningún documento y no income/no assets).

Los préstamos con tasas variables son conocidos como ARM (Adjustable Rate Mortgage), tienen una tasa y un pago que cambia periódicamente en el tiempo de acuerdo a índices especificados en el contrato y que tienen que ver con las tasas de

interés del mercado norteamericano. Por lo general, la oferta del préstamo es con una tasa de interés fijo durante algunos años, que puede durar 2, 3, 7 ó 10 años. Una vez transcurrido ese lapso, la tasa de interés y el monto del pago se tornan variables. Por lo general, el préstamo variable de 2 o 3 años conocido como 2/28 o 3/27 tiene el interés fijo durante 2 o 3 años y luego se ajusta por los próximos 28 o 27 años. Al comienzo la tasa es menor que la usada para préstamos con tasa fija, pero cuando vence el tiempo se ajustan las tasas a valores por encima de la tasa fija. La magnitud de los préstamos en el mercado hipotecario durante la presente década se muestra a continuación en el gráfico 21.

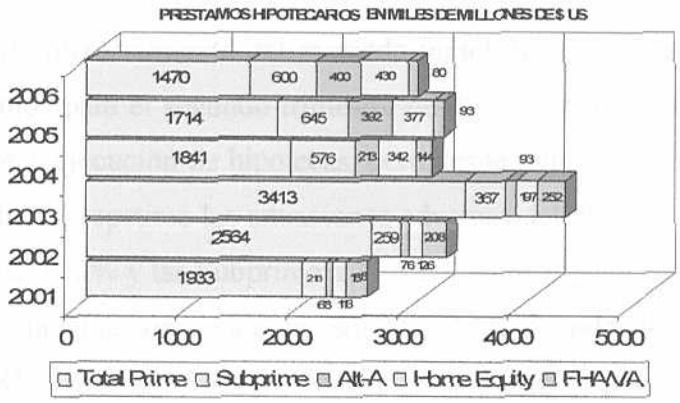

Gráfico 21. Tamaño del mercado hipotecario

. Como se observa, el menor valor menor está presente en el año 2001 y a medida que decrece la tasa de interés promedio del mercado hipotecario como se observa en el gráfico 22, se incrementa el monto en el otorgamiento de préstamos para llegar a más de 4.000 miles de millones de dólares en el 2003. Además de las menores tasas de interés, el crecimiento de los préstamos fue posible por las facilidades para obtener créditos con hipotecas tipo Subprime y Alt-A, que aumentaron de 9% a 20% y de 3% a 13%, respectivamente en el período analizado, reduciendo la participación de los préstamos preferenciales o Prime. También se incrementó el Home Equity (hipotecas de segundo grado) de 5% a 14%.

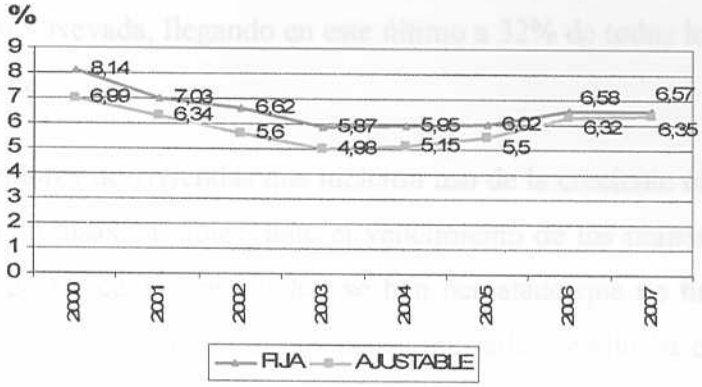

Gráfico 22. Tasa de interés global del mercado hipotecario

El sistema de financiamiento del mercado inmobiliario, con una clientela de 48 millones de préstamos para el segundo trimestre de 2007, registra índices históricos de atrasos en los pagos y ejecución de hipotecas, pero desde junio 2007 la situación fue de alarma porque pudieran repetirse las situaciones adversas del 2002, ya que el índice de atraso global subió a 5,12% y las Subprime a 14,82%. El Mortgage Bankers Association en un análisis sobre la situación señala que sólo el 12,5% de todos los préstamos tienen tasa ajustable (ARM) y el 4,9% del total son Subprime (equivalente a 2.500.000 préstamos). Se estimaba para junio 2007 que sólo un 10% de ese total, es decir unos 250.000 préstamos pudieran tener problemas severos de pago o llegar a ser ejecutadas las hipotecas, principalmente porque los compradores se habían quedado sin trabajo, afrontaban enfermedades familiares o tenían gastos excesivos, entre otras muchas razones.

Por otra parte, una hipoteca califica para ejecución cuando tiene un atraso en los pagos entre 30 y 90 días; y cuando es mayor a 90 adquiere la condición de severidad. El índice global de ejecución de hipotecas subió a 1,40% y según el Mortgage Bankers Association y en su análisis mencionan que los Non-prime con tasa ajustable alcanzaron el 6,46%.

En un análisis de la misma Asociación del 20 de septiembre mencionan que tomaría tiempo estabilizar el mercado inmobiliario y que continuarían los altos índices

de atraso en los pagos hasta el año 2008, citando como ejemplo los casos de Florida, California, Arizona y Nevada, llegando en este último a 32% de todos los préstamos y a 24% en los Subprime.

Los compradores de viviendas que hicieron uso de la creciente oferta de créditos no preferenciales con tasas variables, ante el vencimiento de los plazos con tasa fija y frente al aumento de las cuotas mensuales, se han percatado que no tienen suficientes ingresos para cumplir con el monto de los pagos ajustados, y ello ha causado grandes estragos en el mercado inmobiliario por la falta de liquidez, que se expresa, según los índices de atrasos en los pagos del grafico 23, en miles de millones de dólares que los prestamistas no reciben de los compradores.

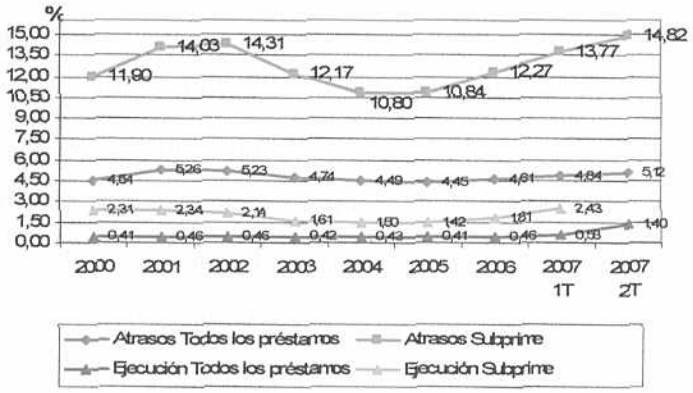

Gráfico 23. Pagos atrasados y ejecución de hipotecas en el mercado total y el Subprime

ANEXO 2. RESPUESTAS ANTE LA SITUACIÓN DEL MERCADO

La situación del mercado inmobiliario norteamericano no sólo ha afectado a su economía sino ha tenido repercusiones en varias economías mundiales. Como ejemplo de esto se tiene una nota de prensa difundida por la agencia EFE de noticias el 8 de septiembre de 2007 proveniente de Alemania, diciendo que las "bolsas europeas cayeron esta semana después de que se publicaran varios datos económicos negativos de EE.UU. que aumentaron el temor a que la crisis de las hipotecas de alto riesgo haya alcanzado la

economía real".

Entre las acciones realizadas ante esta situación del mercado inmobiliario norteamericano se pueden mencionar las siguientes:

El presidente norteamericano George W. Bush el 31 de agosto de 2007 anunció desde la Casa Blanca que la Administración de Vivienda Federal (FHA, por sus siglas en inglés) ayudará a aproximadamente 240 mil familias a evitar la ejecución hipotecaria mediante un perfeccionamiento en su programa de refinanciamiento.

La Reserva Federal anunció un plan, el 18 de septiembre de 2007, para crear un programa piloto con la participación de The Board of Governors of the Federal Reserve with the Office of Thrift Supervision, the Federal Trade Commission, y State Agencies representados por The Conference of State Bank Supervisors y The American Association of Residential Mortgage Regulators, dirigido a proteger al consumidor mediante la revisión de las condiciones de contratación de préstamos, en especial, los de alto riesgo. También recientemente redujo en medio punto las tasas de interés, llevándola a 4,75 la tasa básica; y le ha inyectado al sistema unos 19.700 millones de dólares mediante la compra de instrumentos financieros, para mejorar la liquidez.

El Congreso, por su parte, ha venido realizando diferentes iniciativas para elaborar Leyes de protección a quienes estén en situación de perder sus viviendas, y a la vez convocar como lo hizo Christopher Dodd, miembro demócrata por el estado de Connecticut, quien preside el "Senate Banking Committee", que reunió a representantes de las empresas Wells Fargo & Co., Countrywide Financial Corp., HSBC Holdings PLC, Citigroup Inc., y los grandes financistas hipotecarios Fannie Mae and Freddie Mac, quienes estuvieron de acuerdo en ayudar a los adquirientes de préstamos antes de que sean ajustados con nuevas tasas de interés.

Otras acciones del Congreso fue la aprobación de 300 millones de dólares para fortalecer a los especialistas en prevención de ejecutar hipotecas y 100 millones para

HUD Housing Counseling programs in the Transportation, Housing and Urban Development y agencias relacionadas, para ayudar a quienes puedan estar en la situación de perder su vivienda. También, con fecha de 18 de septiembre de 2007 el Senado aprobó las reformas al FHA que habían sido solicitadas por el Presidente Bush el pasado 31 de agosto.

ANEXO 3. SUBMODELOS DE LA PRIMERA SIMULACIÓN

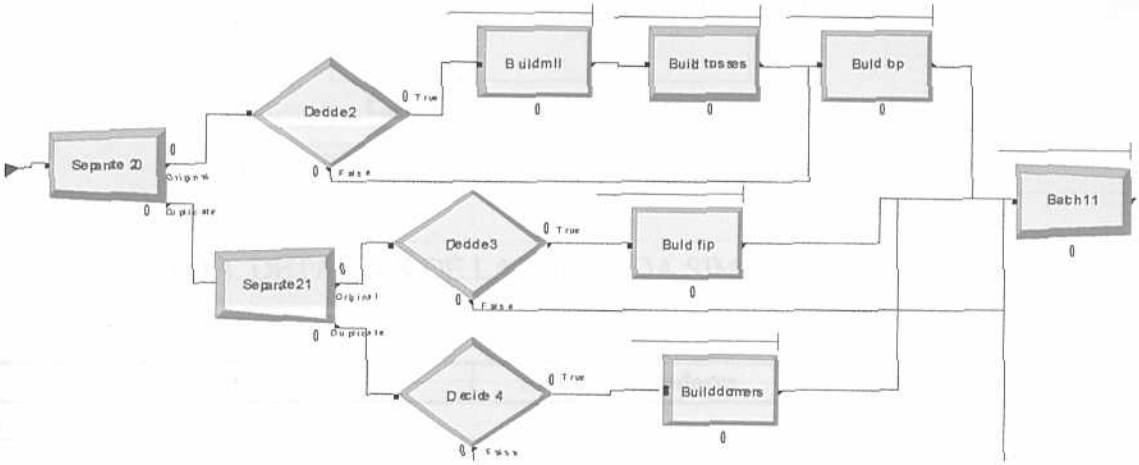

Figura 17. Diagrama del área de construcción de techos del modelo

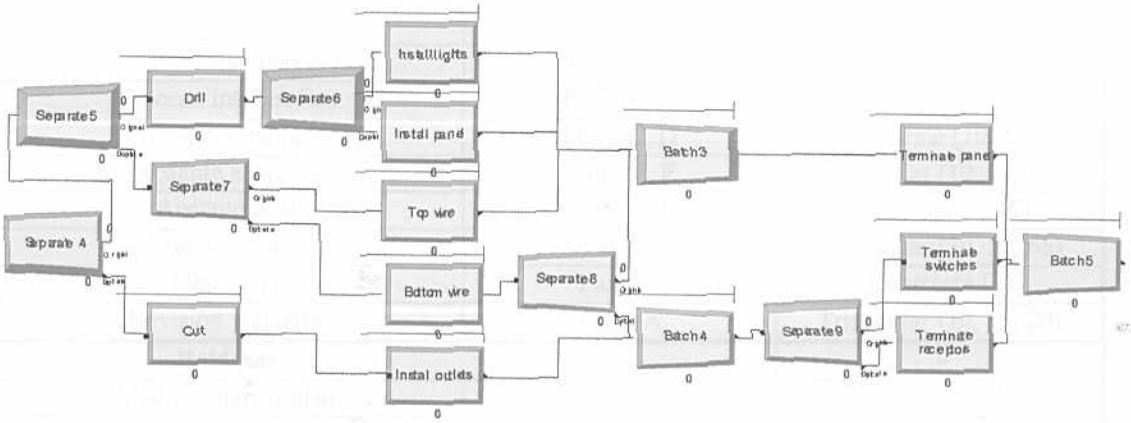

Figura 18. Área de electricidad del modelo de simulación

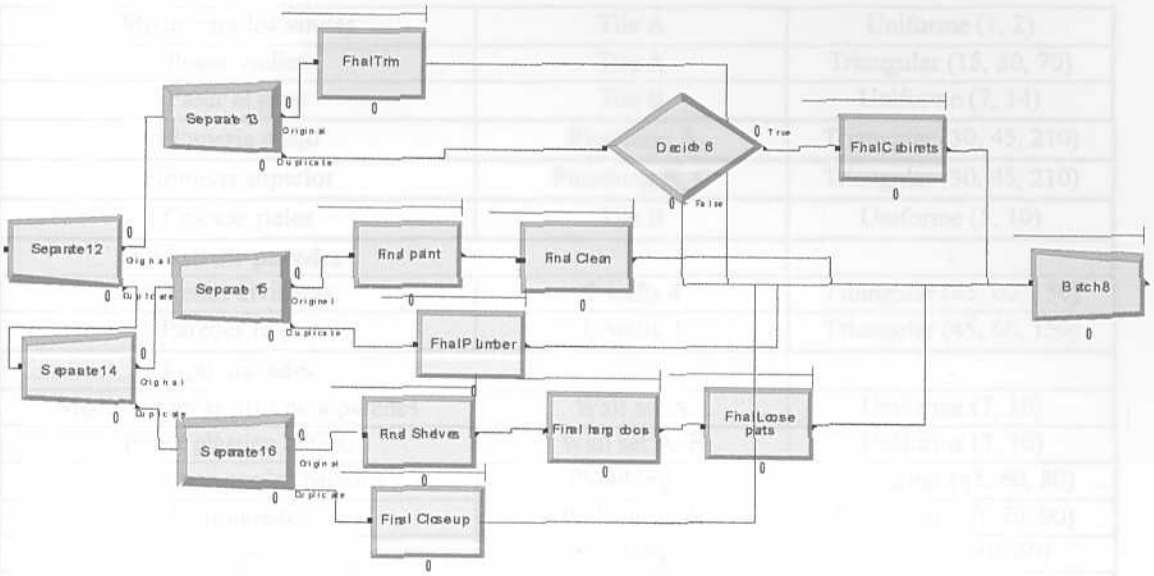

Figura 19. Representación del área de acabado final de la simulación

ANEXO 4. DETALLES DE LA SEGUNDA SIMULACIÓN

Proceso	N° de trabajadores	Tiempo (min)
Pisos		-
Listones largos	Floor B	Uniforme (5, 10)
Poner listones en el mesón	Floor A, B	Uniforme (10,15)
Hacer el marco	Floor A, B, C, D	Uniforme (7,9)
Segundo listón	Floor A, B, C, D	Uniforme (2, 5)
Láminas de metal	Floor E, F	Uniforme (2, 6)
Fijar Láminas	Floor E, F	Uniforme (5, 10)
Listones intermedios	Floor C, D	Uniforme (20, 25)
Colocar malla	Floor C, D	Uniforme (10, 13)
Aislante amarillo	Floor E, F	Triangular (10, 12, 17)
Aislante azul	Floor E, F	Uniforme (5, 10)
Pega y listones	Floor C, D, E, F	Triangular (30, 50, 65)
Identificar	Floor B	Constante (2)
Revisión y ajustes	Floor A	Triangular (10, 15, 20)
Baldosas		-
Medir y marcar piso	Tile A	Uniforme (5, 10)
Cambiar lija	Tile B	Uniforme (5, 15)
Lijar uniones	Tile B	Uniforme (5, 10)
Limpiar con aire	Tile B	Uniforme (1, 2)
Aplicar la pega	Tile A	Triangular (5, 10, 15)
Secado de la pega	-	Triangular (5, 10, 15)

Medir para los viniles	Tile A	Uniforme (1, 2)
Poner viniles	Tile A	Triangular (15, 30, 70)
Pasar el peso	Tile B	Uniforme (7, 14)
Plomería abajo	Plumbing A	Triangular (30, 45, 210)
Plomería superior	Plumbing B, C	Triangular (30, 45, 210)
Colocar rieles	Tile B	Uniforme (5, 10)
Construir paredes		-
Paredes divisoras	P walls 4	Triangular (45, 60, 150)
Paredes largas	L walls 4	Triangular (45, 60, 150)
Fijar paredes		-
Medir y marcar piso para paredes	Wall set A	Uniforme (7, 10)
Poner plástico al piso	Wall set A, B	Uniforme (7, 10)
Subir tubos por las paredes	Plumbing A	Triangular (45, 60, 80)
Fijar paredes	Wall set A, B	Triangular (60, 70, 90)
Puertas corredizas	Plumbing A	Uniforme (40, 60)
Poner paredes chimenea	P walls 1	Uniforme (10, 20)
Fijar paredes chimenea	P walls 1	Triangular (5, 10, 15)
Bañera y duchas	Plumbing A	Triangular (30, 50, 70)
Construir topes		-
Taller de madera	Build mill 5	Triangular (105, 120, 150)
Construir cerchas	Build trusses 3	Triangular (90, 120, 180)
Construir abatibles	Build flip 2	Triangular (120, 180, 240)
Construir buheras	Build dormers 1	Triangular (180, 270, 360)
Construir tope	Build top 6	Triangular (60, 150, 360)
Fijar topes		-
Colocar y fijar listones	Top set A, B	Uniforme (3, 5)
Traslado del tope	Top set A	Uniforme (5, 10)
Fijar el tope	Top set A, B	Uniforme (40, 80)
Trasladar extensión	Top set A	Uniforme (4, 7)
Fijar extensión	Top set A, B	Uniforme (30, 40)
Pegar techo interno	Build flip 1	Uniforme (30, 40)
Poner sheetrock a techo interno	Drywall A	Uniforme (15, 20)
Eléctrico		-
Marcar cortes abajo	Electric B	Triangular (5, 8, 15)
Realizar cortes abajo	Electric A	Uniforme (10, 15)
Marcar requerimientos	Electric C	Uniforme (10, 25)
Abrir huecos y colocar cajetines	Electric C	Triangular (20, 30, 45)
Realizar cableado abajo	Electric A, C, G, I	Triangular (65, 90, 135)
Abrir hueco para breakers	Electric D, H	Triangular (15, 25, 40)
Marcar subida de cables	Electric C	Uniforme (5, 10)
Abrir huecos de subida	Electric A	Triangular (8, 10, 20)
Realizar cableado arriba	Electric B, G	Triangular (50, 80, 100)
Colocar aislante a cajetines	Electric A	Triangular (4, 5, 7)
Medir y colocar cables tipo breakers	Electric D, H	Triangular (15, 25, 30)

Colocar láminas protectoras	Electric A	Triangular (5, 10, 15)
Marcar ubicación de lámparas	Electric E, F	Triangular (5, 10, 15)
Colocar lámparas y ventilación	Electric E, F	Triangular (10, 15, 25)
Subir tubos al tope	Plumbing A	Triangular (30, 45, 65)
Medir paredes	Drywall A	Triangular (10, 20, 25)
Techo		-
Poner aislante al tope	Exterior R 4	Triangular (15, 35, 50)
Colocar viga de protección	Exterior R 3	Triangular (15, 40, 70)
Colocar asfalto	Exterior R 4	Triangular (20, 35, 50)
Colocar tejas	Exterior R 4	Triangular (15, 30, 40)
Voltear abatibles	Exterior R 2	Uniforme (10, 15)
Colocar asfalto y tejas	Exterior R 2	Triangular (30, 50, 90)
Levantar techo	Exterior R 4	Triangular (15, 20, 30)
Meter material suelto	Exterior R 3	Uniforme (8, 10)
Poner piso al ático	Exterior R 3	Uniforme (15, 20)
Colocar protección de cartón	Exterior R 3	Triangular (5, 10, 15)
Colocar protección de plástico	Exterior R 3	Triangular (10, 15, 30)
Exteriores		-
Poner aislante a paredes	Exterior E 2	Triangular (10, 35, 45)
Poner paredes externas	Exterior E 3	Uniforme (25, 50)
Poner plástico a paredes	Exterior W 2	Uniforme (15, 25)
Colocar membrana antiagua	Exterior W 1	Uniforme (10, 15)
Fijar listones en ventanas	Exterior W 1	Uniforme (5, 10)
Goma de unión entre módulos	Exterior E 1	Uniforme (30, 40)
Drywall		-
Cubrir ducto	Drywall A 1	Uniforme (5, 10)
Poner sheetrock interno	Drywall A 5	Triangular (30, 45, 120)
Poner teipe amarillo	Drywall A 5	Triangular (5, 10, 15)
Poner teipe blanco	Drywall A 5	Triangular (5, 10, 15)
Primera capa de mastique	Drywall B 3, C 2	Triangular (20, 30, 40)
Lijado primera capa	Drywall B 3, C 2	Triangular (15, 20, 25)
Segunda capa de mastique	Drywall B 3, C 2	Triangular (20, 30, 40)
Lijado de segunda capa	Drywall B 3, C 2	Triangular (5, 10, 15)
Tercera capa de mastique	Drywall D 3	Triangular (20, 35, 50)
Cuarta capa de mastique	Drywall D 3	Triangular (20, 25, 35)
Lijado eléctrico	Drywall E 3	Triangular (5, 10, 15)
Lijado manual	Drywall E 3	Triangular (5, 15, 20)
Pintar	Drywall G 2	Triangular (30, 45, 90)
Marcar defectos de pintura	Drywall F 2	Triangular (5, 10, 15)
Mastique rojo	Drywall F 2	Triangular (10, 15, 20)
Lijado	Drywall H 4	Triangular (10, 15, 20)
Volver a pintar	Drywall H 4	Triangular (20, 25, 30)
Chimenea y escaleras	Final finish F 2	Triangular (300, 300, 330)
Poner ventanas y puertas	Exterior W 1	Triangular (60, 95, 180)

Colocar aislamiento a ventanas	Exterior W 1	Triangular (5, 10, 20)
Acabado lateral	Exterior W 2	Triangular (40, 50, 60)
Acabado final		-
Electricidad AF	Final finish J 3	Triangular (70, 150, 260)
Plomería AF	Final finish H 1	Triangular (40, 90, 130)
Paredes AF	Drywall H 4	Triangular (70, 100, 200)
Moldeados AF	Final finish A 3	Triangular (45, 65, 95)
Gabinetes AF	Final finish B 3	Triangular (65, 90, 400)
Acabado final AF	Final finish A 5	Triangular (100, 120, 180)
Pintura AF	Final finish C 6	Triangular (70, 100, 200)
Repisas AF	Final finish E 2	Uniforme (45, 80)
Limpieza AF	Final finish G 3	Triangular (80, 150, 200)
Inspección AF	Final finish K 1	Uniforme (10, 15)
Acabado final	Final finish A 1	Uniforme (30, 45)
Pintura final	Final finish C 1	Triangular (30, 45, 90)
Partes sueltas	Final finish I 4	Uniforme (60, 120)

Tabla 5. Relación de actividad, personal y tiempo de la segunda simulación

Grupo de trabajadores	N° de trabajadores
Floor A	1
Floor B	1
Floor C	1
Floor D	1
Floor E	1
Floor F	1
Tile A	1
Tile B	1
Plumbing A	2
Plumbing B	1
Plumbing C	1
P walls	4
L walls	4
Wall set A	1
Wall set B	1
Build mill	5
Build trusses	3
Build flip	2
Build dormers	1
Build top	6
Top set A	1
Top set B	1
Electric A	1

Electric B	1
Electric C	1
Electric D	1
Electric E	1
Electric F	1
Electric G	1
Electric H	1
Electric I	1
Exterior R	7
Exterior E	3
Exterior W	4
Drywall A	5
Drywall B	3
Drywall C	2
Drywall D	3
Drywall E	3
Drywall F	2
Drywall G	2
Drywall H	4
Final finish A	5
Final finish B	3
Final finish C	6
Final finish D	3
Final finish E	2
Final finish F	2
Final finish G	3
Final finish H	1
Final finish I	4
Final finish J	3
Final finish K	1

Tabla 6. Número de trabajadores por grupo

La Figura 20 representa la elaboración de los pisos de los módulos. Comienza el proceso con la elaboración de listones largos, continúa con el proceso de hacer el marco, seguidamente se le añade los aislamientos, se tapa el marco con los tablones de madera y se culmina el proceso con la identificación del módulo y su inspección. En este subproceso como en todos los que se describen a continuación están presentes 3 bloques de actividades lógicas que permite y asegura un sistema FIFO.

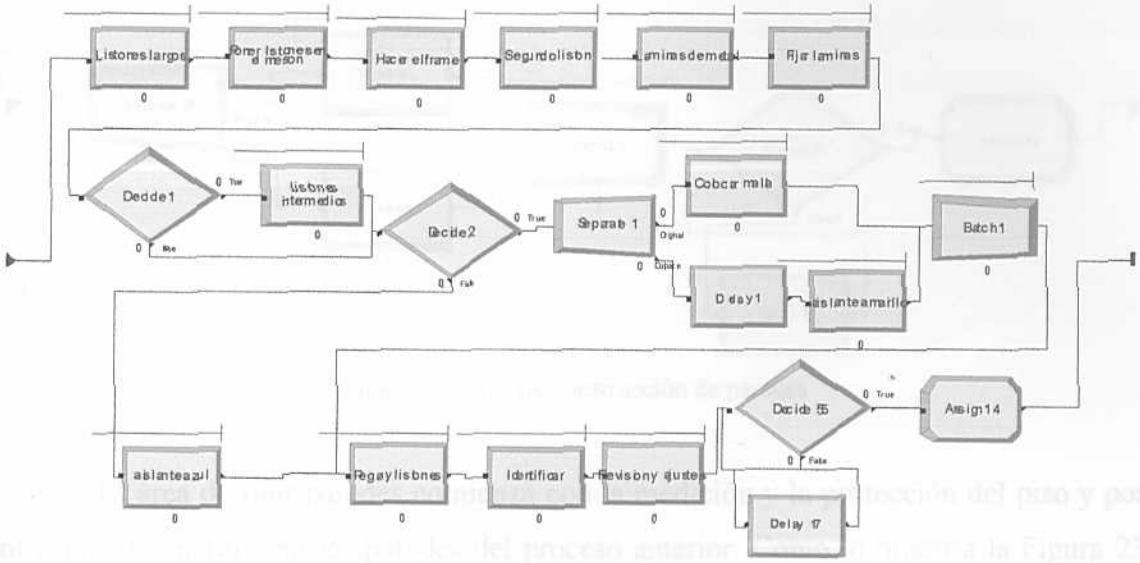

Figura 20. Diagrama del área de construcción de pisos

La actividad de lijado y baldosas se ve representada en la Figura 21. Aquí el proceso inicia con una medición y marcación del módulo, se realiza el proceso de lijado, luego se le aplica la pega en las zonas requeridas y luego se le colocan las baldosas y se les pasa un peso para un mejor acabado.

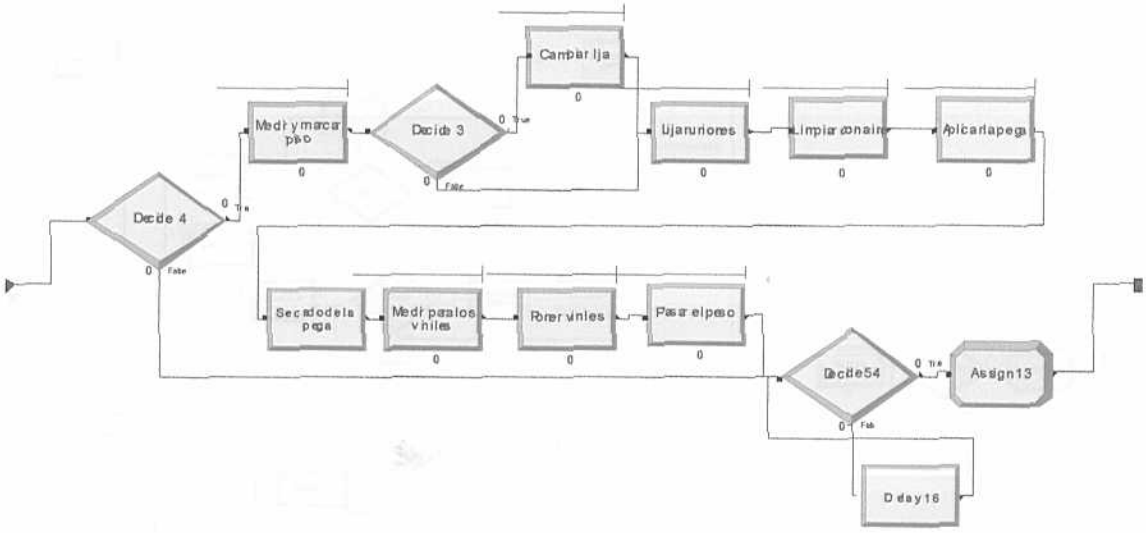

Figura 21. Diagrama del área de baldosas

La construcción de paredes se divide en dos grupos: las paredes cortas y las paredes largas. En la Figura 22 se ven representadas ambos grupos

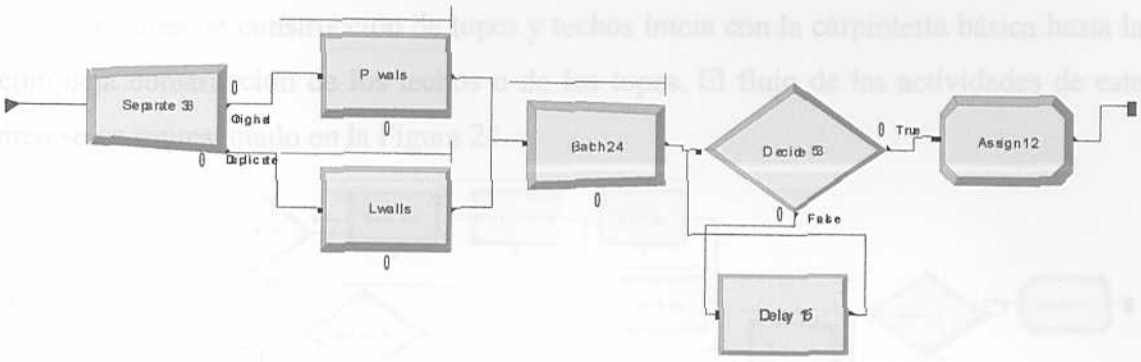

Figura 22. Área de construcción de paredes

El área de fijar paredes comienza con la medición y la protección del piso y por otro lado se incorporan las paredes del proceso anterior. Como lo muestra la Figura 23 se realizan muchos procesos de forma simultánea. Las labores realizadas son: fijar las paredes, labores de plomería, instalar puertas corredizas, fijar las paredes de la chimenea y en algunos casos colocar las bañeras y las duchas.

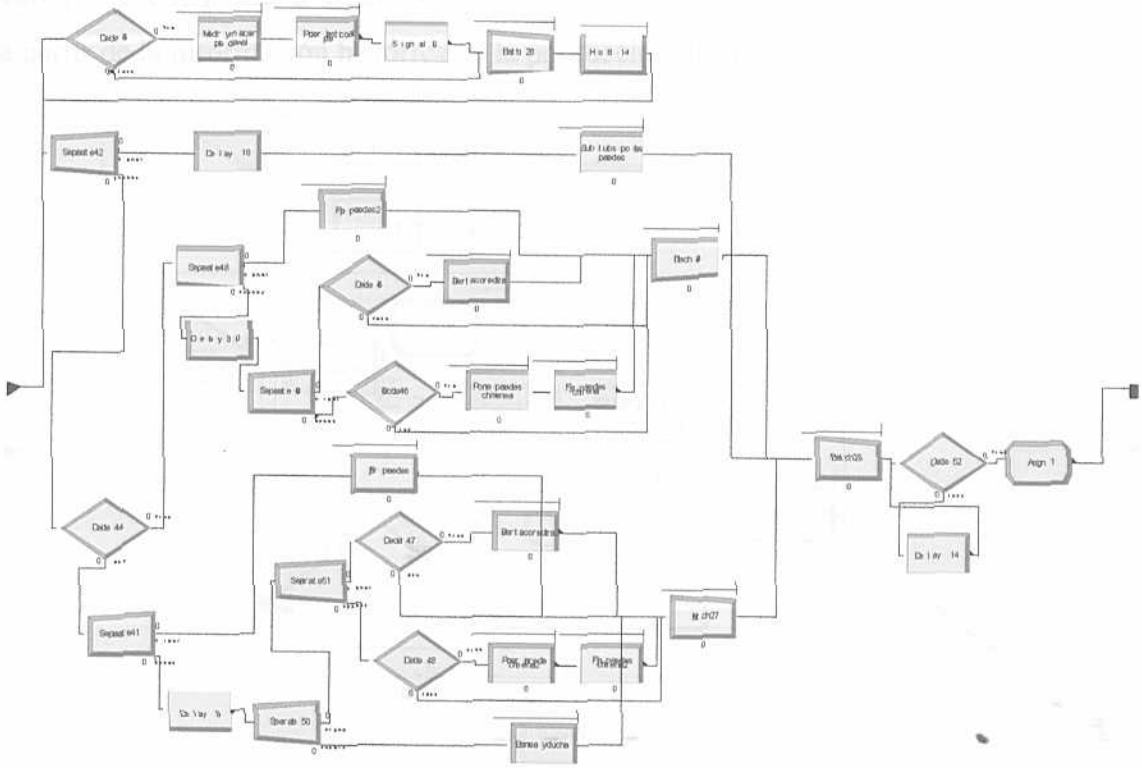

Figura 23. Área de fijar paredes

El área de construcción de topes y techos inicia con la carpintería básica hasta la compleja construcción de los techos o de los topes. El flujo de las actividades de esta área se ve representado en la Figura 24.

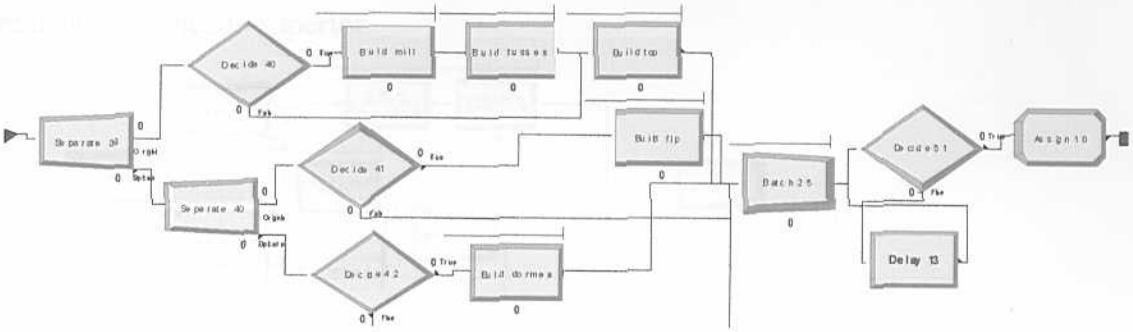

Figura 24. Área de construcción de topes y techos

El área de fijar los topes o techos varía en complejidad dependiendo del tipo de estructura a fijar. Ambas alternativas se ven representadas en la Figura 25. La variabilidad de la ruta a seguir en estas alternativas es determinada de forma probabilista a partir de la información histórica de la producción de la empresa.

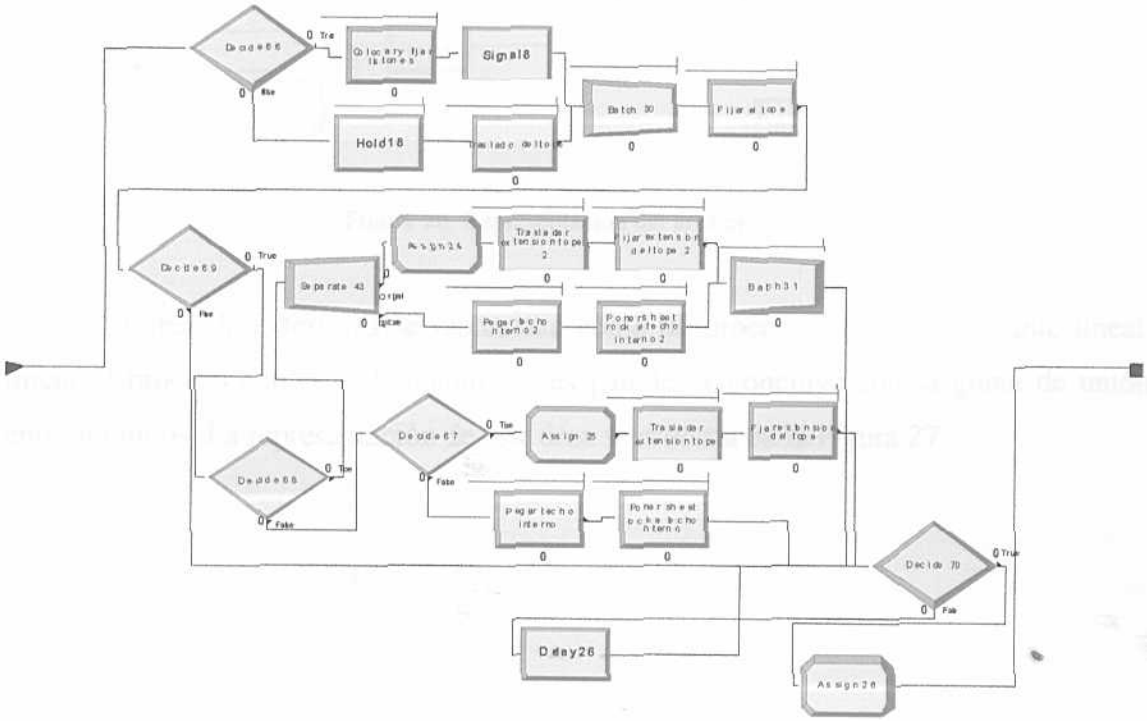

Figura 25. Área de fijar topes y techos

El área eléctrica representada en la Figura 26 es uno de los submodelos más

complejos de modelar. Allí se observan múltiples actividades realizándose simultáneamente. El proceso inicia por marcar los requerimientos eléctricos en las paredes y pisos y culmina con diversos procesos, entre ellos, el más complejo es el realizar el cableado superior.

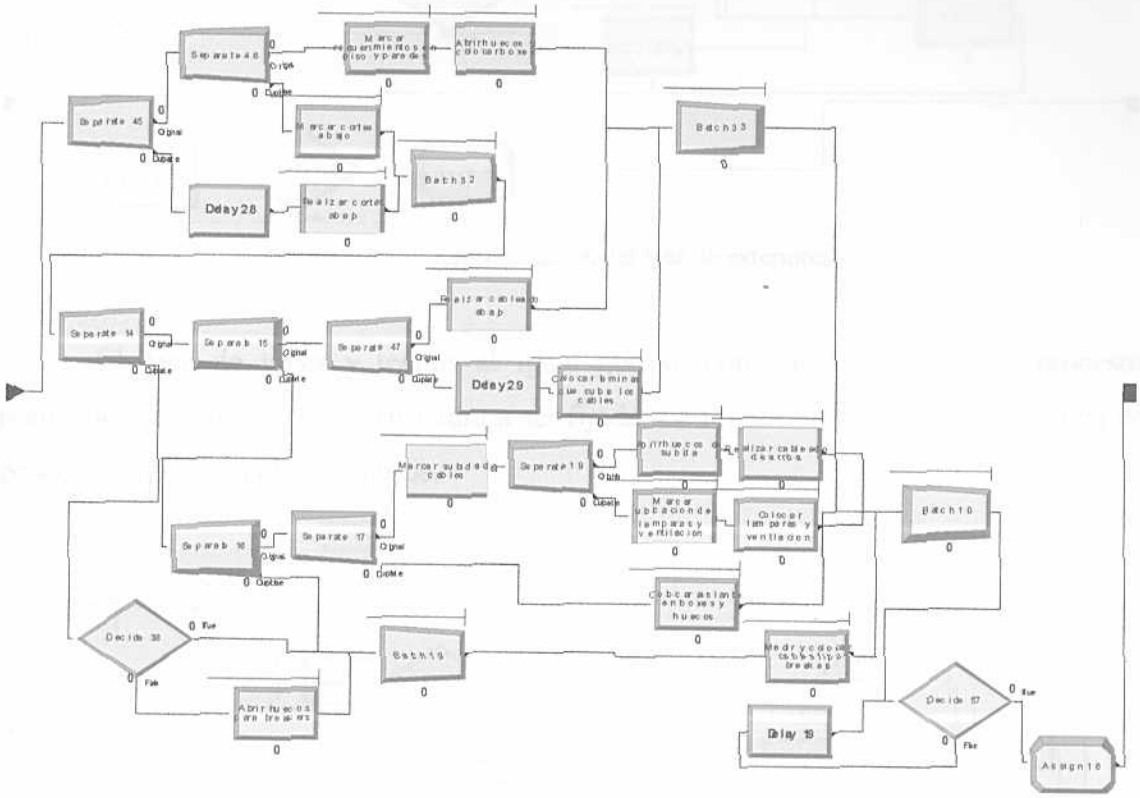

Figura 26. Representación del área eléctrica

El área de exteriores se representa como un proceso sencillo y bastante lineal. Inicia el proceso con el aislamiento de las paredes y concluye con la goma de unión entre módulos. La representación de esta área se muestra en la Figura 27.

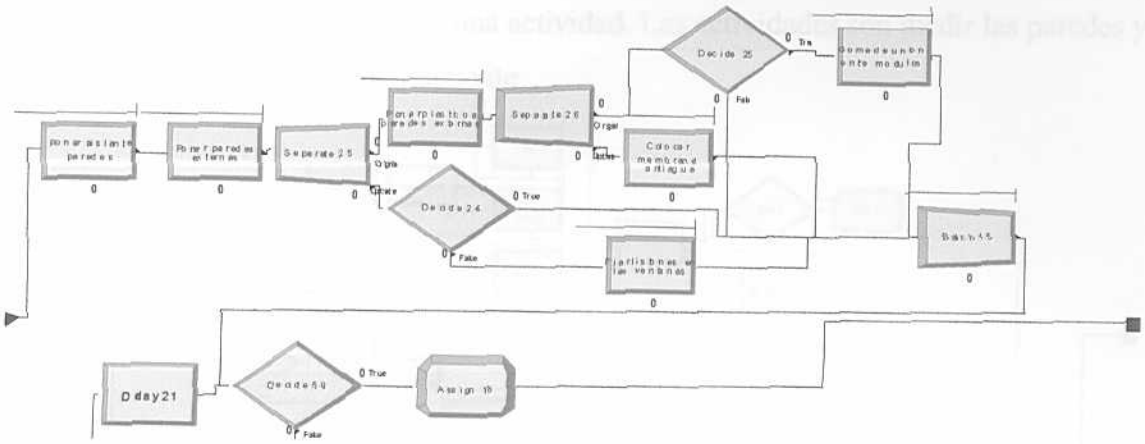

Figura 27. Representación del área de exteriores

El área de topes y techos al igual que su construcción varían los procesos realizados en función de la estructura a ser fijada. La Figura 28 muestra la diferencia de procesos entre un techo y un tope.

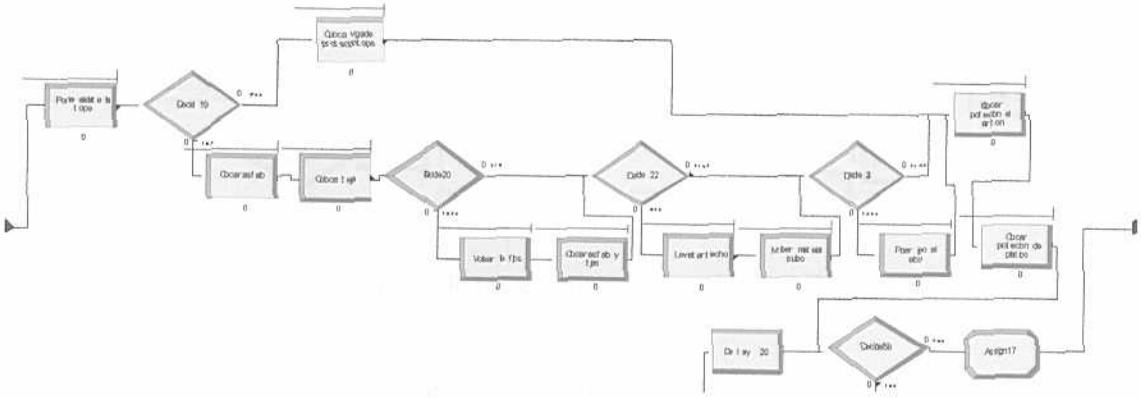

Figura 28. Representación del área de topes y techos

En el área de drywall se realiza una gran cantidad de actividades pero en su gran mayoría ocurren de forma lineal y no simultáneas. En la Figura 29 se representan actividades del área de exteriores que por motivos lógicos de simulación se incluyen en esta área. El proceso de drywall comienza con la colocación de todos los tablones de drywall y termina con un segundo proceso de pintado de las paredes.

El proceso de cartón piedra así como también el de plomería que se muestran previos a este proceso en la figura general del modelo no se estudia de forma detallada

ya que cada proceso sólo contiene una actividad. Las actividades son medir las paredes y subir los tubos al techo respectivamente.

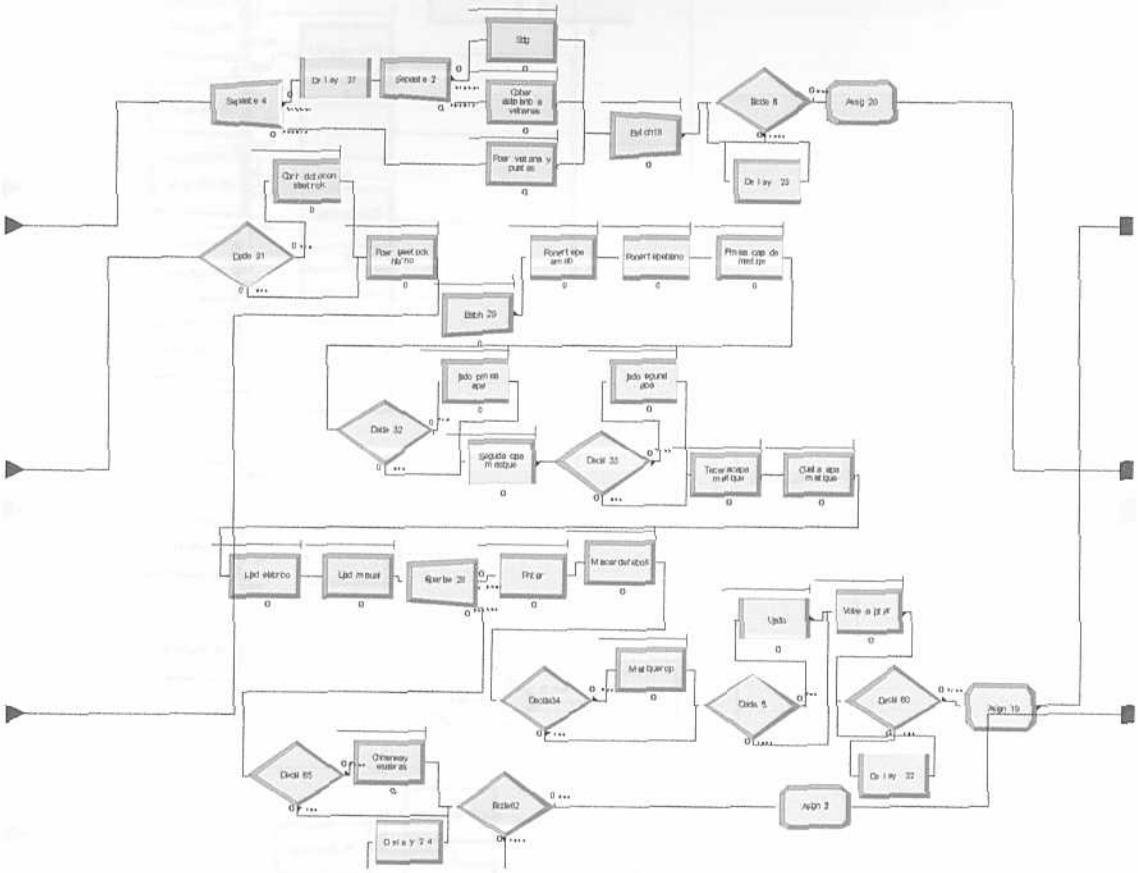

Figura 29. Representación del área de drywall

En el área de acabado final se realizan una gran cantidad de actividades en forma simultánea. Como lo muestra la Figura 30 los procesos abarcan desde el acabado a ciertas partes de madera, la culminación de los procesos eléctricos y de pintado hasta la limpieza del módulo y la incorporación de partes sueltas.

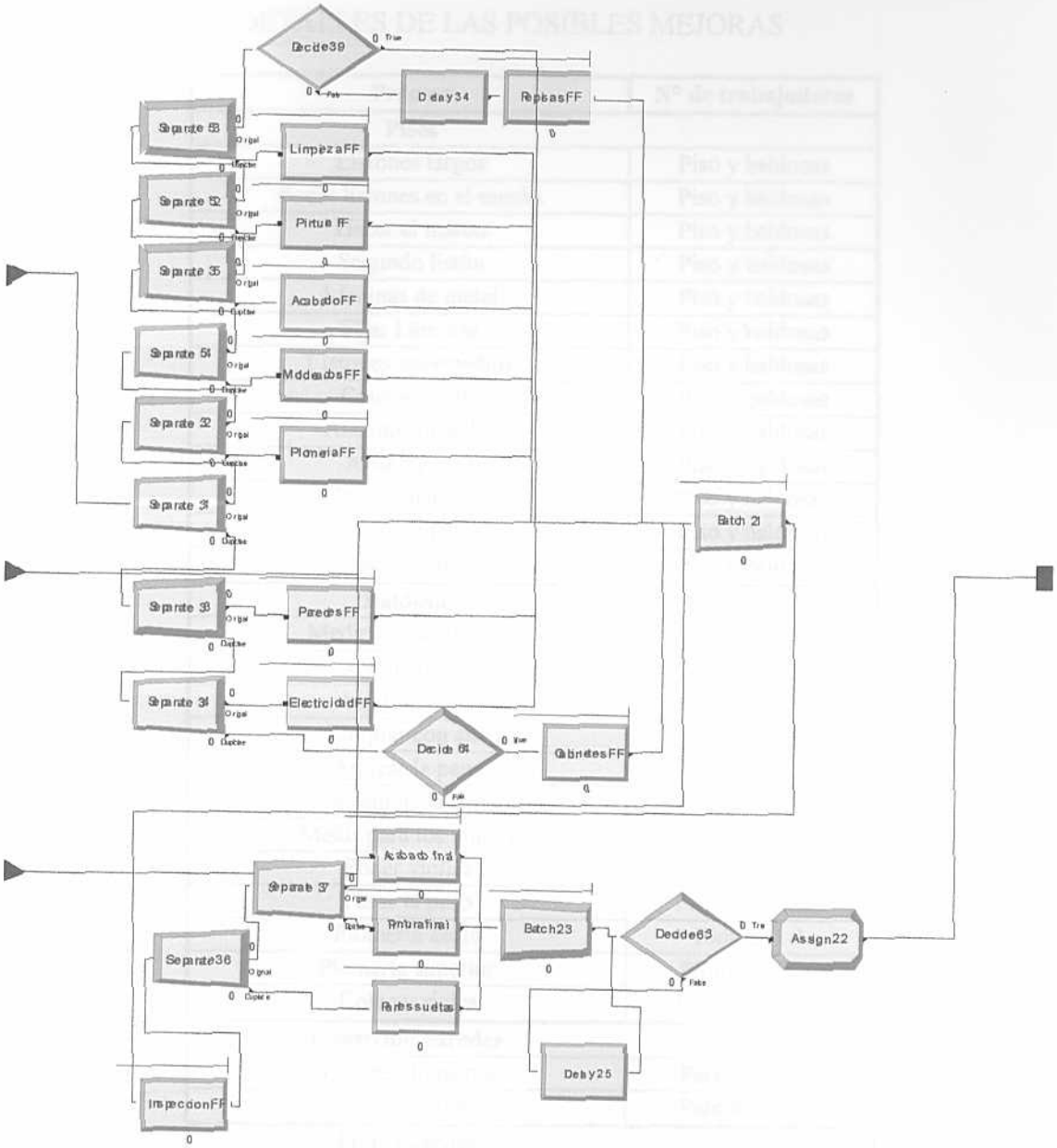

Figura 30. Representación del área de acabado final de la simulación

ANEXO 5. DETALLES DE LAS POSIBLES MEJORAS

Proceso	N° de trabajadores
Pisos	
Listones largos	Piso y baldosas
Poner listones en el mesón	Piso y baldosas
Hacer el marco	Piso y baldosas
Segundo listón	Piso y baldosas
Láminas de metal	Piso y baldosas
Fijar Láminas	Piso y baldosas
Listones intermedios	Piso y baldosas
Colocar malla	Piso y baldosas
Aislante amarillo	Piso y baldosas
Aislante azul	Piso y baldosas
Pega y listones	Piso y baldosas
Identificar	Piso y baldosas
Revisión y ajustes	Piso y baldosas
Baldosas	
Medir y marcar piso	Piso y baldosas
Cambiar lija	Piso y baldosas
Lijar uniones	Piso y baldosas
Limpiar con aire	Piso y baldosas
Aplicar la pega	Piso y baldosas
Secado de la pega	Piso y baldosas
Medir para los viniles	Piso y baldosas
Poner viniles	Piso y baldosas
Pasar el peso	Piso y baldosas
Plomería abajo	Plomería A
Plomería superior	Plomería B, C
Colocar rieles	Piso y baldosas
Construir paredes	
Paredes divisoras	Paredes cortas
Paredes largas	Paredes largas
Fijar paredes	
Medir y marcar piso para paredes	Fijar paredes
Poner plástico al piso	Fijar paredes
Subir tubos por las paredes	Plomería A
Fijar paredes	Fijar paredes
Puertas corredizas	Plomería A
Poner paredes chimenea	Paredes cortas
Fijar paredes chimenea	Paredes cortas
Bañera y duchas	Plomería A
Construir topes	
Taller de madera	Construir topes

Construir cerchas	Construir topes
Construir abatibles	Construir topes
Construir buheras	Construir topes
Construir tope	Construir topes
Fijar topes	
Colocar y fijar listones	Fijar topes
Traslado del tope	Fijar topes
Fijar el tope	Fijar topes
Trasladar extensión	Fijar topes
Fijar extensión	Fijar topes
Pegar techo interno	Construir topes
Poner sheetrock a techo interno	Drywall
Eléctrico	
Marcar cortes abajo	Eléctrico
Realizar cortes abajo	Eléctrico
Marcar requerimientos	Eléctrico
Abrir huecos y colocar cajetines	Eléctrico
Realizar cableado abajo	Eléctrico
Abrir hueco para breakers	Eléctrico
Marcar subida de cables	Eléctrico
Abrir huecos de subida	Eléctrico
Realizar cableado arriba	Eléctrico
Colocar aislante a cajetines	Eléctrico
Medir y colocar cables tipo breakers	Eléctrico
Colocar láminas protectoras	Eléctrico
Marcar ubicación de lámparas	Eléctrico
Colocar lámparas y ventilación	Eléctrico
Subir tubos al tope	Plomería A
Medir paredes	Drywall
Techo	
Poner aislante al tope	Exteriores topes
Colocar viga de protección	Exteriores topes
Colocar asfalto	Exteriores topes
Colocar tejas	Exteriores topes
Voltear abatibles	Exteriores topes
Colocar asfalto y tejas	Exteriores topes
Levantar techo	Exteriores topes
Meter material suelto	Exteriores topes
Poner piso al ático	Exteriores topes
Colocar protección de cartón	Exteriores topes
Colocar protección de plástico	Exteriores topes
Exteriores	
Poner aislante a paredes	Exteriores
Poner paredes externas	Exteriores
Poner plástico a paredes	Exteriores

Colocar membrana antiagua	Exteriores
Fijar listones en ventanas	Exteriores
Goma de unión entre módulos	Exteriores
Drywall	
Cubrir ducto	Drywall
Poner sheetrock interno	Drywall
Poner teipe amarillo	Drywall
Poner teipe blanco	Drywall
Primera capa de mastique	Drywall
Lijado primera capa	Drywall
Segunda capa de mastique	Drywall
Lijado de segunda capa	Drywall
Tercera capa de mastique	Drywall
Cuarta capa de mastique	Drywall
Lijado eléctrico	Drywall
Lijado manual	Drywall
Pintar	Drywall
Marcar defectos de pintura	Drywall
Mastique rojo	Drywall
Lijado	Drywall
Volver a pintar	Drywall
Chimenea y escaleras	Acabado final
Poner ventanas y puertas	Exteriores
Colocar aislamiento a ventanas	Exteriores
Acabado lateral	Exteriores
Acabado final	
Electricidad AF	Acabado final
Plomería AF	Acabado final
Paredes AF	Drywall
Moldeados AF	Acabado final
Gabinetes AF	Acabado final
Acabado final AF	Acabado final
Pintura AF	Acabado final
Repisas AF	Acabado final
Limpieza AF	Acabado final
Inspección AF	Acabado final
Acabado final	Acabado final
Pintura final	Acabado final
Partes sueltas	Acabado final

Tabla 7. Tipo de empleado requerido en cada actividad de la primera mejora

Proceso	Mejora 5%	Mejora 10%
Pisos	**Tiempo (min.)**	**Tiempo (min.)**
Listones largos	Uniforme (5, 10)	Uniforme (5, 9)
Poner listones en el mesón	Uniforme (10,14)	Uniforme (9,14)
Hacer el marco	Uniforme (7,9)	Uniforme (6,8)
Segundo listón	Uniforme (2, 5)	Uniforme (2, 5)
Láminas de metal	Uniforme (2, 6)	Uniforme (2, 5)
Fijar Láminas	Uniforme (5, 10)	Uniforme (5, 9)
Listones intermedios	Uniforme (19, 24)	Uniforme (18, 23)
Colocar malla	Uniforme (10, 13)	Uniforme (9, 12)
Aislante amarillo	Triangular (10, 12, 16)	Triangular (9, 11, 15)
Aislante azul	Uniforme (5, 10)	Uniforme (5, 9)
Pega y listones	Triangular (29, 48, 62)	Triangular (27, 45, 59)
Identificar	Constante (2)	Constante (2)
Revisión y ajustes	Triangular (10, 14, 19)	Triangular (9, 14, 18)
Baldosas	-	-
Medir y marcar piso	Uniforme (5, 10)	Uniforme (5, 9)
Cambiar lija	Uniforme (5, 15)	Uniforme (5, 14)
Lijar uniones	Uniforme (5, 10)	Uniforme (5, 9)
Limpiar con aire	Uniforme (1, 2)	Uniforme (1, 2)
Aplicar la pega	Triangular (5, 10, 14)	Triangular (5, 9, 14)
Secado de la pega	Triangular (5, 10, 15)	Triangular (5, 10, 15)
Medir para los viniles	Uniforme (1, 2)	Uniforme (1, 2)
Poner viniles	Triangular (14, 29, 67)	Triangular (14, 27, 63)
Pasar el peso	Uniforme (7, 13)	Uniforme (6, 13)
Plomería abajo	Triangular (29, 43, 200)	Triangular (27, 41, 189)
Plomería superior	Triangular (29, 43, 200)	Triangular (27, 41, 189)
Colocar rieles	Uniforme (5, 10)	Uniforme (5, 9)
Construir paredes	-	-
Paredes divisoras	Triangular (43, 57, 143)	Triangular (41, 54, 135)
Paredes largas	Triangular (43, 57, 143)	Triangular (41, 54, 135)
Fijar paredes	-	-
Medir y marcar piso para paredes	Uniforme (7, 10)	Uniforme (6, 9)
Poner plástico al piso	Uniforme (7, 10)	Uniforme (6, 9)
Subir tubos por las paredes	Triangular (43, 57, 76)	Triangular (41, 54, 72)
Fijar paredes	Triangular (57, 67, 86)	Triangular (54, 63, 81)
Puertas corredizas	Uniforme (38, 57)	Uniforme (36, 54)
Poner paredes chimenea	Uniforme (10, 19)	Uniforme (9, 18)
Fijar paredes chimenea	Triangular (5, 10, 14)	Triangular (5, 9, 14)
Bañera y duchas	Triangular (29, 48, 67)	Triangular (27, 45, 63)
Construir topes	-	-
Taller de madera	Triangular (100, 114, 143)	Triangular (95, 108, 135)
Construir cerchas	Triangular (86, 114, 171)	Triangular (81, 108, 162)

Construir abatibles	Triangular (114, 171, 228)	Triangular (108, 162, 216)
Construir buheras	Triangular (171, 257, 342)	Triangular (162, 243, 324)
Construir tope	Triangular (57, 143, 342)	Triangular (54, 135, 324)
Fijar topes	-	-
Colocar y fijar listones	Uniforme (3, 5)	Uniforme (3, 5)
Traslado del tope	Uniforme (5, 10)	Uniforme (5, 9)
Fijar el tope	Uniforme (38, 76)	Uniforme (36, 72)
Trasladar extensión	Uniforme (4, 7)	Uniforme (4, 6)
Fijar extensión	Uniforme (29, 38)	Uniforme (27, 36)
Pegar techo interno	Uniforme (29, 38)	Uniforme (27, 36)
Poner sheetrock a techo interno	Uniforme (15, 19)	Uniforme (14, 18)
Eléctrico	-	-
Marcar cortes abajo	Triangular (5, 8, 14)	Triangular (5, 7, 14)
Realizar cortes abajo	Uniforme (10, 14)	Uniforme (9, 14)
Marcar requerimientos	Uniforme (10, 24)	Uniforme (9, 23)
Abrir huecos y colocar cajetines	Triangular (19, 29, 43)	Triangular (18, 27, 41)
Realizar cableado abajo	Triangular (62, 86, 128)	Triangular (59, 81, 122)
Abrir hueco para breakers	Triangular (14, 24, 38)	Triangular (14, 23, 36)
Marcar subida de cables	Uniforme (5, 10)	Uniforme (5, 9)
Abrir huecos de subida	Triangular (8, 10, 19)	Triangular (7, 9, 18)
Realizar cableado arriba	Triangular (48, 76, 95)	Triangular (45, 72, 90)
Colocar aislante a cajetines	Triangular (4, 5, 7)	Triangular (4, 5, 6)
Medir y colocar cables tipo breakers	Triangular (14, 24, 29)	Triangular (14, 23, 27)
Colocar láminas protectoras	Triangular (5, 10, 14)	Triangular (5, 9, 14)
Marcar ubicación de lámparas	Triangular (5, 10, 14)	Triangular (5, 9, 14)
Colocar lámparas y ventilación	Triangular (10, 14, 24)	Triangular (9, 14, 23)
Subir tubos al tope	Triangular (29, 43, 62)	Triangular (27, 41, 59)
Medir paredes	Triangular (10, 19, 24)	Triangular (9, 18, 23)
Techo	-	-
Poner aislante al tope	Triangular (14, 33, 48)	Triangular (14, 32, 45)
Colocar viga de protección	Triangular (14, 38, 67)	Triangular (14, 36, 63)
Colocar asfalto	Triangular (19, 33, 48)	Triangular (18, 32, 45)
Colocar tejas	Triangular (14, 29, 38)	Triangular (14, 27, 36)
Voltear abatibles	Uniforme (10, 14)	Uniforme (9, 14)
Colocar asfalto y tejas	Triangular (29, 48, 86)	Triangular (27, 45, 81)
Levantar techo	Triangular (14, 19, 29)	Triangular (14, 18, 27)
Meter material suelto	Uniforme (8, 10)	Uniforme (7, 9)
Poner piso al ático	Uniforme (14, 19)	Uniforme (14, 18)
Colocar protección de cartón	Triangular (5, 10, 14)	Triangular (5, 9, 14)
Colocar protección de plástico	Triangular (10, 14, 29)	Triangular (9, 14, 27)
Exteriores	-	-
Poner aislante a paredes	Triangular (10, 33, 43)	Triangular (9, 32, 41)
Poner paredes externas	Uniforme (24, 48)	Uniforme (23, 45)

Poner plástico a paredes	Uniforme (14, 24)	Uniforme (14, 23)
Colocar membrana antiagua	Uniforme (10, 14)	Uniforme (9, 14)
Fijar listones en ventanas	Uniforme (5, 10)	Uniforme (5, 9)
Goma de unión entre módulos	Uniforme (29, 38)	Uniforme (27, 36)
Drywall	-	-
Cubrir ducto	Uniforme (5, 10)	Uniforme (5, 9)
Poner sheetrock interno	Triangular (29, 43, 114)	Triangular (27, 41, 108)
Poner teipe amarillo	Triangular (5, 10, 14)	Triangular (5, 9, 14)
Poner teipe blanco	Triangular (5, 10, 14)	Triangular (5, 9, 14)
Primera capa de mastique	Triangular (19, 29, 38)	Triangular (18, 27, 36)
Lijado primera capa	Triangular (14, 19, 24)	Triangular (14, 18, 23)
Segunda capa de mastique	Triangular (19, 29, 38)	Triangular (18, 27, 36)
Lijado de segunda capa	Triangular (5, 10, 14)	Triangular (5, 9, 14)
Tercera capa de mastique	Triangular (19, 33, 48)	Triangular (18, 32, 45)
Cuarta capa de mastique	Triangular (19, 24, 33)	Triangular (18, 23, 32)
Lijado eléctrico	Triangular (5, 10, 14)	Triangular (5, 9, 14)
Lijado manual	Triangular (5, 14, 19)	Triangular (5, 14, 18)
Pintar	Triangular (29, 43, 86)	Triangular (27, 41, 81)
Marcar defectos de pintura	Triangular (5, 10, 14)	Triangular (5, 9, 14)
Mastique rojo	Triangular (10, 14, 19)	Triangular (9, 14, 18)
Lijado	Triangular (10, 14, 19)	Triangular (9, 14, 18)
Volver a pintar	Triangular (19, 24, 29)	Triangular (18, 23, 27)
Chimenea y escaleras	Triangular (285, 285, 314)	Triangular (270, 270, 297)
Poner ventanas y puertas	Triangular (57, 90, 171)	Triangular (54, 86, 162)
Colocar aislamiento a ventanas	Triangular (5, 10, 19)	Triangular (5, 9, 18)
Acabado lateral	Triangular (38, 48, 57)	Triangular (36, 45, 54)
Acabado final	-	-
Electricidad AF	Triangular (67, 143, 247)	Triangular (63, 135, 234)
Plomería AF	Triangular (38, 86, 124)	Triangular (36, 81, 117)
Paredes AF	Triangular (67, 95, 190)	Triangular (63, 90, 180)
Moldeados AF	Triangular (43, 62, 90)	Triangular (41, 59, 86)
Gabinetes AF	Triangular (62, 86, 380)	Triangular (59, 81, 360)
Acabado final AF	Triangular (95, 114, 171)	Triangular (90, 108, 162)
Pintura AF	Triangular (67, 95, 190)	Triangular (63, 90, 180)
Repisas AF	Uniforme (43, 76)	Uniforme (41, 72)
Limpieza AF	Triangular (76, 143, 190)	Triangular (72, 135, 180)
Inspección AF	Uniforme (10, 14)	Uniforme (9, 14)
Acabado final	Uniforme (29, 43)	Uniforme (27, 41)
Pintura final	Triangular (29, 43, 86)	Triangular (27, 41, 81)
Partes sueltas	Uniforme (57, 114)	Uniforme (54, 108)

Tabla 8. Tiempos de procesamiento con las mejoras

ANEXO 6. RESULTADO DE LAS PRUEBAS ESTADÍSTICAS

Primer modelo de simulación

Paired T-Test and CI: Datos historicos, Simulacion

Paired T for Datos historicos - Simulacion

	N	Mean	StDev	SE Mean
Datos histor	134	17.985	4.037	0.349
Simulacion	134	17.455	1.464	0.127
Difference	134	0.530	4.325	0.374

95% CI for mean difference: (-0.209, 1.269)
T-Test of mean difference = 0 (vs not = 0): T-Value = 1.42 P-Value = 0.158

Primera propuesta de mejora

Paired T-Test and CI: Simulado, Simulado mejora 1

Paired T for Simulado - Simulado mejora 1

	N	Mean	StDev	SE Mean
Simulado	134	14.351	2.941	0.254
Simulado mej	134	19.724	3.694	0.319
Difference	134	-5.373	4.801	0.415

95% CI for mean difference: (-6.193, -4.553)
T-Test of mean difference = 0 (vs not = 0): T-Value = -12.96 P-Value = 0.000

Segunda propuesta de mejora

Paired T-Test and CI: Simulado, mejora 5%

Paired T for Simulado - mejora 5%

	N	Mean	StDev	SE Mean
Simulado	134	14.351	2.941	0.254
mejora 5%	134	15.075	2.646	0.229
Difference	134	-0.724	3.698	0.319

95% CI for mean difference: (-1.356, -0.092)

T-Test of mean difference = 0 (vs not = 0): T-Value = -2.27 P-Value = 0.025

Tercera propuesta de mejora

Paired T-Test and CI: Simulado, mejora 10%

Paired T for Simulado - mejora 10%

	N	Mean	StDev	SE Mean
Simulado	134	14.351	2.941	0.254
mejora 10%	134	15.418	2.957	0.255
Difference	134	-1.067	4.529	0.391

95% CI for mean difference: (-1.841, -0.293)
T-Test of mean difference = 0 (vs not = 0): T-Value = -2.73 P-Value = 0.007

Cuarta propuesta de mejora

Paired T-Test and CI: Simulado, Estaciones puras

Paired T for Simulado - Estaciones puras

	N	Mean	StDev	SE Mean
Simulado	134	14.351	2.941	0.254
Estaciones p	134	9.970	1.785	0.154
Difference	134	4.381	3.409	0.294

95% CI for mean difference: (3.798, 4.963)
T-Test of mean difference = 0 (vs not = 0): T-Value = 14.88 P-Value = 0.000

Quinta propuesta de mejora

Paired T-Test and CI: Simulado, Estaciones y buffers

Paired T for Simulado - Estaciones y buffers

	N	Mean	StDev	SE Mean
Simulado	134	14.351	2.941	0.254
Estaciones y	134	10.172	1.821	0.157
Difference	134	4.179	3.216	0.278

95% CI for mean difference: (3.630, 4.729)
T-Test of mean difference = 0 (vs not = 0): T-Value = 15.04 P-Value = 0.000
Sexta propuesta de mejora

Paired T-Test and CI: Simulado, Estaciones mejora y buffers

Paired T for Simulado - Estaciones mejora y buffers

	N	Mean	StDev	SE Mean
Simulado	134	14.351	2.941	0.254
Estaciones m	134	19.888	2.865	0.247
Difference	134	-5.537	3.996	0.345

95% CI for mean difference: (-6.220, -4.855)
T-Test of mean difference = 0 (vs not = 0): T-Value = -16.04 P-Value = 0.000

ANEXO 7. COSTOS ASOCIADOS A LAS MEJORAS

Para la determinación de los costos asociados a la mejora de eliminación de desperdicios y flujo continuo se toma en cuenta la instrucción de los supervisores por 160 horas más 40 horas de todo el personal de manufactura.

Para la implantación de 5 S´s 5% se incluye los costos de tener a los supervisores en un curso por 1 semana y para la de 10 % se le añade una semana de enseñanza por parte de los supervisores dado a todos los trabajadores.

El balanceo de línea y el balanceo de línea con buffers requieren de una inversión aproximada de Bs. 10.750.000,00 para delimitar y marcar perfectamente cada área de trabajo de la empresa. El balanceo de línea con buffers y eliminación de desperdicios incluye este costo más el estimado en la primera mejora.

El principio de reducción de costos basado en nuevos usos de los desperdicios contempla una inversión aproximada de Bs. 6.450.000,00 para modificar las estructuras de las papeleras y depósitos de desperdicios, unos Bs. 25.800.000,00 en realizar todos

los convenios necesarios y los costos de entrenamiento del supervisor de manejo de materiales por una semana.

La mejora de eliminación de desperdicios con calidad en los procesos aparte de incluir las sesiones de T.Q.M. que se encuentran llevando a cabo en la empresa se le adicionan 15 horas adicionales de sesiones a todo el personal de manufactura.

ANEXO 8 ENERGYSTAR

Energystar es un símbolo de eficiencia energética respaldado por el gobierno norteamericano. Es utilizado para identificar un nuevo tipo de viviendas y más de 40 tipos de productos. Entre los productos que pueden obtener el sello de energystar se encuentran electrodomésticos, iluminación, equipos de oficina, equipos electrónicos, sistema de enfriamiento y de calefacción.

Figura 31. Logo de energystar

Las características requeridas para obtener la certificación de energystar son: aislamiento efectivo, ventanas de alto desempeño, construcción y ductos firmes, sistemas de refrigeración eficientes y controles independientes.

El aislamiento efectivo comprende el aislamiento de paredes, techos y áticos para asegurar una temperatura constante en todos los ambientes utilizando menos energía y con menores niveles de ruido.

Las ventanas y tragaluces energystar incorporan una gran cantidad de nuevas tecnologías que permiten entre otras cosas bloquear al menos un 70% del calor externo en el verano así como reflejar las radiaciones de calor durante el invierno y bloquear al menos el 90% de los dañinos rayos ultravioletas.

La construcción firme y de los ductos, con la ayuda de buenos sellantes, permite

reducir las corrientes de aire, la humedad, suciedad, polillas, pestes y ruido. Las viviendas bien cerradas mejoran los niveles de confort y la calidad del aire.

La utilización de equipos de refrigeración y calefacción más eficientes es otra de las características que deben cumplir las viviendas para obtener la certificación. Igualmente existe una gama adicional de características y productos que se pueden utilizar para mejorar la eficiencia de la vivienda. Entre ellos se encuentran los calentadores de agua, iluminación aprobada, neveras y congeladores, lavaplatos, lavadoras y secadoras.

El último proceso necesario para lograr la certificación es pasar una inspección realizada por inspectores especializados que son independientes a las compañías constructoras. La Figura 17 muestra las diferentes características requeridas para obtener una certificación de energystar.

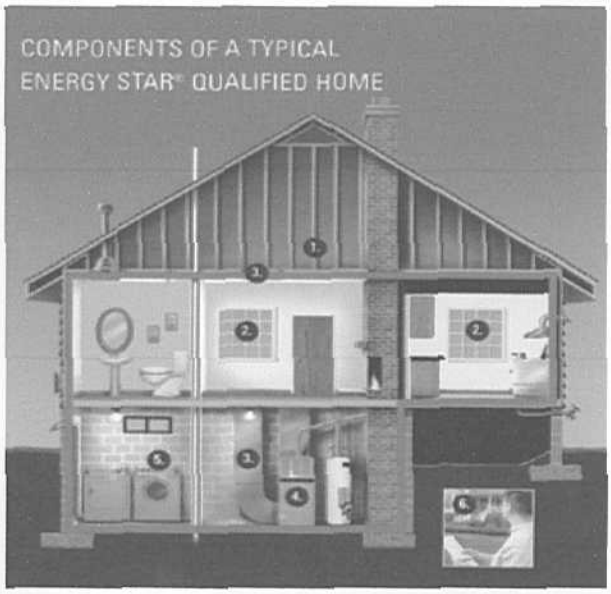

Figura 32. Los componentes típicos requeridos para una vivienda certificada

Este tipo de certificación en las viviendas está siendo cada vez más demandada debido al incremento de la conciencia ambientalista y por los ahorros monetarios que se obtienen anualmente. De manera general se puede hablar de un ahorro de más de Bs. 645.000 ($300) anualmente sobre unos costos de Bs.1.651.200 ($768), es decir, un

39,06%.

Actualmente HandCrafted Homes se encuentra certificada como productor de casas energystar. Los procesos de fabricación de los módulos no varía casi nada al producir un módulo energystar, la principal carga adicional de trabajo es realizada por los constructores al momento de realizar las uniones de los módulos y los acabados finales necesarios. Por este motivo el manufacturar toda la producción de la empresa con la certificación energystar no representa una dificultad sino más bien una oportunidad.