

# ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

## CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

### DISEÑO DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE PANELES DE HORMIGÓN PARA CASAS PREFABRICADAS DE INTERÉS POPULAR

Andrés Josué Aguayo Aróstegui, María Denisse Rodríguez Zurita  
Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción  
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)  
Campus Gustavo Galindo, Km. 30.5 Vía Perimetral  
Apartado 09-01-5863, Guayaquil, Ecuador  
[aguayoar@espol.edu.ec](mailto:aguayoar@espol.edu.ec), [mrodri@espol.edu.ec](mailto:mrodri@espol.edu.ec)

#### Resumen

*El presente artículo trata del proyecto de diseño y desarrollo de una línea de producción de paneles de hormigón; el objetivo es mejorar el proceso empírico existente en una empresa que incursiona en una nueva forma de producción distinta a las tradicionales del giro de la empresa. Inicialmente se presenta el proceso empírico y el producto deseado para posteriormente a través del análisis con 9 enfoques realizar las mejoras al producto, proceso y condiciones de trabajo. Con las condiciones adecuadas de trabajo se seleccionó el personal para realizar un estudio de tiempos, considerando ciclos por actividad, factores de desempeño y suplementos obteniendo un tiempo estándar de cada actividad del proceso. Con el tiempo estándar determinado por actividad es posible realizar un balanceo de línea para optimizar recursos y obtener los resultados esperados en función de las metas trazadas por la empresa, resultados los cuales son validados a través de un programa informático de simulación de procesos de producción para con todas las variables obtenidas determinar el desempeño financiero del proyecto.*

**Palabras Clave:** *Línea de producción, análisis con 9 enfoques, estudio de tiempos, tiempo estándar, balanceo de línea, desempeño financiero del proyecto.*

#### Abstract

*This article is about the project of design and development of a production line of concrete panels; the aim is to improve the existing empirical process in a company that ventures into a new way different from the traditional production of the company's turnover. Initially we present the empirical process and the desired product and later through the analysis of 9 approaches make improvements to the product, process and working conditions. With adequate working conditions are selected staff for a study of time, considering cycles per activity, performance factors and supplements to obtain a standard time of each process activity. With the standard time is determined by activity possible line balancing to optimize resources and achieve the expected results depending on the goals set by the company, which results are validated through a software simulation of production processes obtained with all variables to determine the project's financial performance.*

**Key Words:** *production line, analysis of 9 approaches, study of time, standard time, line balancing, project's financial performance.*

## 1. Introducción

Este proyecto nació como una oportunidad de negocio después del anuncio de gobierno de masificar el acceso de la población a viviendas económicas a través del bono de vivienda, siendo que en el mercado actual la cantidad de oferentes no es variada, existiendo nichos de mercado susceptibles de ser capturados a través de este plan.

La empresa en la cual se desarrolló este proyecto tenía como giro de negocio la metalmecánica por lo cual este tipo de proceso era totalmente nuevo dentro de sus actividades, por lo cual se inició a partir de un proceso empírico.

Al iniciarse el proyecto a través de un diseño empírico es necesario desarrollarlo a través de la metodología basada en los 9 enfoques que nos asegurará un proceso estable susceptible de estudios más avanzados como estudios de tiempos y balanceo de línea, los cuales fueron objeto de este proyecto.

## 2. Objetivos

Tecnificar el proceso de producción que actualmente es empírico, asegurando el cumplimiento de la demanda esperada y calidad del producto fijada.

Establecer estándares de tiempo para cada una de las actividades de producción de paneles de hormigón.

Determinar la cantidad de equipos y personal necesario para satisfacer las proyecciones de producción de paneles de hormigón.

Plantear las condiciones de trabajo e instalaciones necesarias para un desenvolvimiento adecuado y seguro para operarios y equipos.

Presentar el resultado económico proyectado de la producción de paneles de hormigón.

## 3. Metodología

La metodología empleada comprende desde el análisis de la situación actual del proceso empírico empleando métodos de Pareto, diagramas de flujo y FODA de la operación para identificar las oportunidades de mejora.

Identificadas las oportunidades de mejor se realizó un análisis de la operación basada en los 9 enfoques que permitió mejorar el diseño del producto, mejorar el proceso, establecer la distribución de la planta, establecer condiciones adecuadas de trabajo.

Con el análisis ejecutado e implementado fue posible realizar un estudio de tiempos para determinar el tiempo estándar de cada actividad de la operación.

Con el estándar de tiempo por actividad se puede realizar un balanceo de línea que optimice los recursos necesarios de acuerdo a los requerimientos de demanda, los cuales fueron validados a través de un simulador de procesos de producción.

Con todas las variables del proceso desarrolladas y definidas fue posible determinar el impacto financiero de la operación y concluir la viabilidad del proyecto.

## 4. Situación actual

Las casas prefabricadas constituyen varios elementos, los más importantes van a ser fabricados por la empresa, mientras otros serán comprados a terceros. Dentro del primer grupo están la estructura metálica y los paneles de hormigón.



Figura 1. Modelo de casa prefabricada

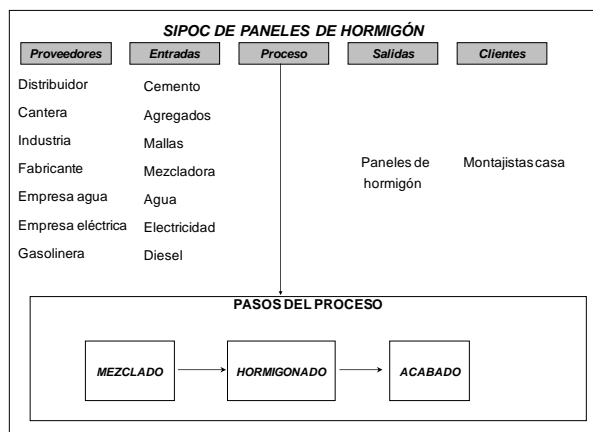
Los paneles de hormigón a su vez son estructuras resultantes de la unión del hormigón fresco con una malla metálica en un molde, el hormigón es preparado en el proceso junto a los moldes mientras que las mallas metálicas son provistas por un tercero.



Figura 2. Vista interior de un panel de hormigón

Del análisis del mercado y la proyección de bonos de vivienda se ha fijado una participación de 200 casas mensuales, dentro de la jurisdicción de las provincias de Guayas y Santa Elena, considerando una participación del 20% de 12000 bonos posibles, siendo que en los últimos años los bonos entregados han estado alrededor de 13000 anuales.

De los materiales que entran al proceso como los actores del mismo es posible presentar un diagrama SIPOC donde se puede identificar la clase de cada material así como el papel de cada tercero y el proceso en sus grandes etapas como se ve a continuación:



**Figura 3.** Diagrama SIPOC de paneles de hormigón

Finalmente dentro del análisis de situación actual fue necesario realizar un FODA que nos ayude a identificar el tipo de Tecnología necesaria así como otros aspectos relevantes en torno al proyecto que serían útiles en el posterior desarrollo del proyecto.

**Tabla 1.** Análisis FODA del proceso de paneles de hormigón

FORTALEZAS	OPORTUNIDADES	DEBILIDADES	AMENAZAS
Control de calidad del producto	Posibilidad de explotar otros nichos de mercado	Sin experiencia previa del proceso	Inestabilidad política que podría detener el plan de vivienda
Producción en diseño y medidas que se ajusten a las necesidades	Apertura a otras provincias para ampliar mercado	20% cobertura de herramientas. 0% equipos para procesar hormigón	Aumento en los costos de materiales de construcción
Volumen de producción de acuerdo a demanda de casas	Sector con mano de obra disponible y suficiente		Vida útil del proyecto indeterminable por las condiciones
Espacio físico suficiente para desarrollar la actividad			Dependencia de las decisiones del MIDUVI

Del análisis FODA se concluyó en la necesidad de diseñar el proyecto como un proceso más dentro de la empresa de tipo artesanal que minimice barreras de salida y altos costos de inversión inicial, aprovechando la alta disponibilidad de mano de obra para este tipo de trabajos y con el positivo impacto social de ser una fuente generadora de empleos.

## 5. Análisis de operaciones (9 enfoques).

El análisis de operaciones constituyó la base del proyecto analizando cada aspecto relevante del proceso.

### 5.1. Propósito del proceso.

El propósito del proceso nos permitió identificar actividades que eran susceptibles de mejora para brindarle beneficios al proceso, los mismos que se muestran a continuación:

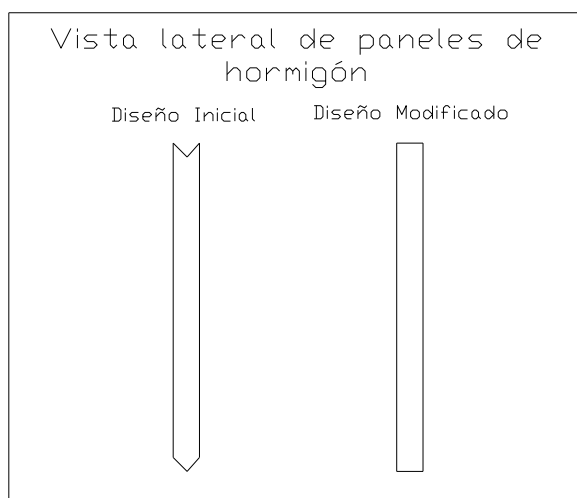
**Tabla 2.** Actividades con oportunidades de mejora en el proceso de paneles de hormigón

ACTIVIDADES	TIPO	OBSERVACIÓN
Operario carga carretilla con piedra	Operación	Susceptible de modificación por falta de control de cantidades de material
Operario carga carretilla con arena	Operación	Susceptible de modificación por falta de control de cantidades de material
Operarios mezclan materiales paleando	Operación	Susceptible de modificación por tiempos de operación y respuesta
Operario verifica cantidad de agua a colocar	Inspección	Susceptible de eliminación, actividad que no agrega valor
Operarios mezclan materiales paleando	Operación	Susceptible de modificación por tiempos de operación y respuesta
Operario espera por baldes vacíos	Demora	Susceptible de eliminación, actividad que no agrega valor
Maestro espera por siguiente viaje de hormigón	Demora	Susceptible de eliminación, actividad que no agrega valor
Maestro retira hormigón regado en los alrededores del molde	Demora	Susceptible de eliminación, actividad que no agrega valor
Operarios verifican e inspeccionan medidas de panel	Inspección	Susceptible de eliminación, actividad que no agrega valor

- La operación de cargar agregados en carretilla fue cambiada debido a que no es susceptible de controlar el consumo de materiales por carga en parihuelas.
- La actividad de mezclar el hormigón fresco fue cambiada debido a que no le daba la consistencia requerida al producto y su alto tiempo de operación, se cambió por una actividad asistida por maquinaria.
- La actividad de verificar la cantidad de agua fue eliminada y se sustituyó por una actividad que controle el agua sin necesidad de hacer una parada por el operario.
- Las actividades de espera se debieron eliminar ya que son tiempos ineficientes en el ciclo, se optimizaron los insumos necesarios.
- La actividad de retirar hormigón fresco de los bordes fue eliminada, incorporando elementos que ayuden a minimizar este problema.
- La actividad de verificar las medidas de los paneles fue sustituida por un control de calidad por lotes que minimice tiempos y costos de esta actividad.

### 5.2. Diseño del producto.

En el diseño del producto se presentó la opción de cambiar la forma del panel de hormigón, cambiando el encastre en V por encastre plano.



**Figura 4.** Vista lateral de paneles de hormigón

Este cambio en la forma del panel permitió los siguientes beneficios:

- Simplificó el diseño de los marcos de moldes, requiriendo un 38% menos de material, generando ahorros en la inversión inicial.
- Redujo pasos y tiempos de operación en el armado de moldes, siendo que los marcos corregidos son de una sola pieza cuando antes eran de 2 piezas que requerían de montaje y desmontaje en la preparación.
- Facilita la operación de hormigonado siendo que los maestros de la operación ya no requieren mayor precisión en asegurar mezcla en los filos en V dado que los mismos ya no existen.
- Facilita el almacenamiento de paneles de hormigón, siendo que los mismos con encastre plano son más fáciles de apilar, reduciendo posibilidades de producto perdido por caídas en el almacenamiento.

### 5.3. Tolerancias y Especificaciones.

El proceso de paneles de hormigón no presentaba pruebas para verificar sus características de calidad, para el diseño del hormigón, un instituto técnico determinó que la dureza requerida debía ser de 140 fc (kg/cm<sup>2</sup>) a los 28 días y un asentamiento entre 2.5" y 5" en mezcla fresca, para los cuales se determinaron las pruebas de dureza en bloques de hormigón y de asentamiento en proceso de la mezcla.

Las muestras para prueba de dureza serían tomadas en el proceso y serían 3 probetas a la semana, las cuales deberían tener una probabilidad de 0.05 de no cumplir la dureza especificada.

Las muestras para asentamiento serían tomadas en el proceso 2 veces al día en las horas de mayor temperatura debiendo cumplir las especificaciones planteadas.

Respecto a la geometría del panel de hormigón se establecieron especificaciones las cuales permitirían que cualquier diferencia mínima en el tamaño de los paneles no afectara el montaje de la casa.

Respecto a la longitud se acepta un  $\pm 10$  mm, respecto a la longitud se acepta un  $\pm 5$  mm y en espesor se acepta un  $\pm 3$  mm.

### 5.4. Materiales.

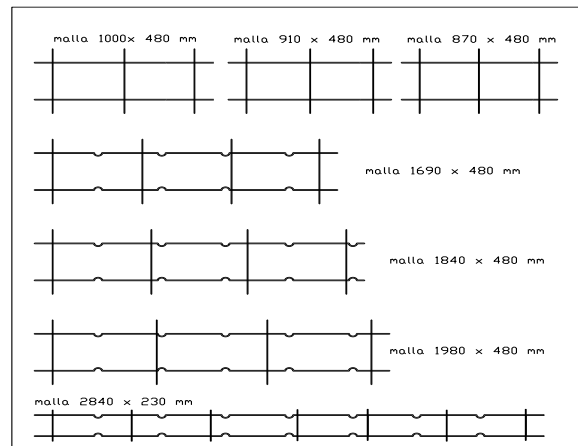
El análisis de materiales incluyó 2 rubros, la malla metálica y la mezcla de hormigón.

La malla de hormigón era inicialmente comprada a un proveedor, pero a través de un análisis detallado se pudo verificar que variando el diseño y fabricándola en planta era más conveniente para el proceso teniendo estas alternativas y resultados:

- La primera alternativa sugería la compra al proveedor de mallas y completas y su procesamiento en planta a las medidas originales,

teniendo un costo de \$ 179.17 por casa y mayor requerimiento de espacio para almacenamiento.

- La segunda alternativa sugería la compra de varillas al proveedor y el armado de mallas al diseño original utilizando soldadura MIG, alternativa que se descartó al no contar con el equipo necesario y tener un costo de \$ 246.58 por casa.
- La tercera alternativa sugirió la modificación al diseño y su fabricación en planta posterior a la compra de varillas de acero al proveedor utilizando soldadura eléctrica, para la cual se obtuvo un costo de \$ 143.97 por casa.



**Figura 5.** Diseño final de mallas metálicas empleado

Para el caso de la mezcla de hormigón se realizó la selección de proveedores en base a factores ponderados que aseguren tanto la calidad en la mezcla y un costo eficiente al proceso; los factores analizados fueron: Tiempo de respuesta del proveedor, precios, lugar de entrega, abastecimiento suficiente, variedad de productos, calidad certificada, plazo de entrega, producto alterno y pedido mínimo. En base a esto los proveedores seleccionados fueron:

**Tabla 3.** Proveedores seleccionados para los materiales

MATERIAL	PROVEEDOR	CALIFICACIÓN
Cemento	Holcim	100%
Arena	Calizas Huayco	91%
Piedra	Calizas Huayco	100%

### 5.5. Proceso de Manufactura.

El proceso de manufactura sufrió algunos cambios desde el diseño inicial, con los cuales se busca la mejora del proceso empírico existente inicialmente.

- Se cambiaron los proveedores de materiales, con los cuales se redujeron pérdidas por mala calidad de los materiales y se mejoró la operación.
- Se cambiaron las carretillas de transporte de materiales agregados por parihuelas dimensionadas a fin de controlar el uso y dosificar adecuadamente la cantidad de material en cada mezcla.

- Se mecanizó la actividad de mezclado siendo que inicialmente era realizada con pala por operarios, con lo cual se mejoró el rendimiento de la operación en tiempos y se obtuvo mayor consistencia en la mezcla de hormigón.
- Se diseñó y empezó a utilizar un balde de agua modificado el cual permitiría agregar solo la cantidad requerida de agua por mezcla y no afectar la calidad final del panel de hormigón.
- Se cambió el lugar de descarga de la mezcla, agrupando la misma en un sector y aprovechando al máximo posible la mezcla para transportar, buscando reducir desperdicios.
- Se estandarizó el medio de transporte de la mezcla fresca, a fin de controlar los viajes requeridos y balancear el peso de trabajo en el área.
- Se implementaron binchas de agarre entre los moldes y los marcos, el cual fija ambos elementos y se evita la sobreutilización de materiales.

### 5.6. Preparación y herramientas.

De acuerdo al análisis de preparación se pudo identificar que la jornada de trabajo era susceptible de mejora en organización y que parte del día estaba destinado en actividades sin valor para la empresa. De una jornada de 9 horas de trabajo, apenas se empleaba el 66% en tiempo de producción, para mejorar el rendimiento de tiempo se tomaron las siguientes acciones con cada uno de los problemas:

- Para la paralización del personal operativo, se acordó de acuerdo a convenio de trabajo la forma y tiempos de pago así como tiempo de gracia a fin de no paralizar las actividades.
- Para los retrasos en la entrega de materias primas están cubiertos a través de la adecuada selección del proveedor y un plan de requerimiento de materiales.
- Para las averías de los equipos mecánicos se estableció un plan de mantenimiento preventivo.
- Para los cortes de energía eléctrica se invirtió en motores a diesel que puedan suplir la falta de energía mientras la misma dure y se mantenga la operación sin paralización.

Adicionalmente en los tiempos de parada planificadas se excluye de la jornada la vestimenta del personal y la limpieza del área de trabajo, adicionalmente como se extenderá la jornada de trabajo en una hora que se pagará extra como dispone la ley. Todo esto se presenta a continuación:

**Tabla 4.** Disposición y rendimiento de tiempos planificados

ACCIONES X DÍA	Tiempo (min)
Jornada de trabajo diario (08:00 - 18:00)	600
Tiempo diarios de paradas planificadas	50
Tiempo disponible diario planificado producción	550
Disponibilidad tiempo (considerando paradas no planificadas)	97%
Tiempo estimado disponible de producción diario	533.5
% Tiempo total empleado en producción diario	89%

Con estas acciones se consiguió que el tiempo planificado de producción mejore en un 30%, mejorando en un 26% la disponibilidad de tiempo total.

Para el caso de las herramientas se determinaron las necesarios por equipo de trabajo u operario, considerando en ciertos casos mantener un buffer de los mismos con la finalidad de mantener continuidad en la operación.

### 5.7. Manejo de materiales.

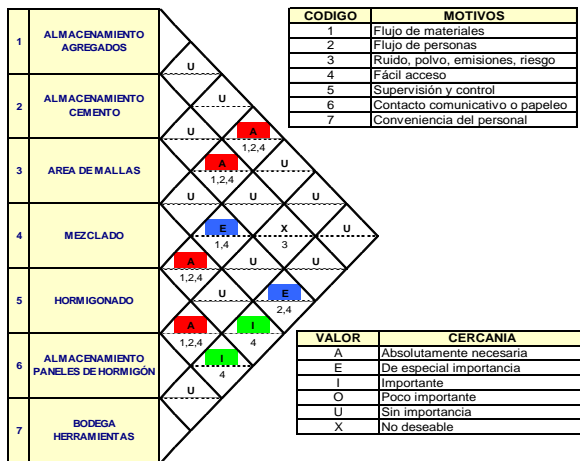
El manejo de materiales hace referencia a los métodos y formas en que se moviliza los materiales, subproductos y productos en el proceso, con la finalidad de facilitar la operación, los mismos que son descritos a continuación:

- El agua, parte de las materias primas son transportadas por tubería hasta su punto de uso en las mezcladoras en el cual se almacenan en tanques y ahí son utilizados con baldes medidos que optimicen su consumo al requerido.
- La arena y la piedra, parte de las materias primas son transportadas de sus puntos de almacenamiento en planta al punto de uso por medio de parihuelas que permiten controlar el consumo de materiales a lo requerido.
- El cemento, parte de las materias primas es transportado de su punto de almacenamiento a un punto temporal de almacenamiento cerca del punto de uso y de ahí transportado unitariamente por personas hasta su punto de uso.
- La malla metálica es transportada unitariamente por personas desde el área de almacenamiento a los puntos de uso en las cantidades requeridas por jornada previo al inicio del proceso de hormigonado.
- La mezcla de hormigón, es un subproducto en estado plástico que es transportado desde la mezcladora hasta cada uno de los puestos de hormigonado por operarios utilizando recipientes estandarizados.
- El panel de hormigón después de un día de fraguado es transportado después de retirarse de los moldes por cargadores asistidos por equipos hasta los puntos de almacenamiento.

### 5.8. Distribución de la planta.

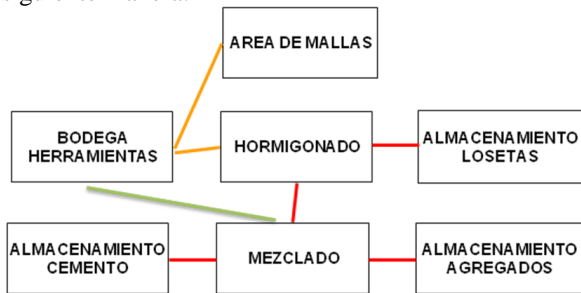
Para la disposición de las áreas de trabajo se utilizó el sistema de distribución de Muther, el cual considera los grados de interrelación entre áreas, y se dispusieron lo más cercanas posibles a fin de minimizar recorridos y maximizar eficiencias en la operación. La graficación de la matriz de relaciones se presenta a continuación:

**MATRIZ DE RELACIONES DE ÁREAS DE PLANTA DE PANELES**



**Figura 6.** Matriz de relaciones de áreas de la planta

De acuerdo a los resultados de la matriz la actividad central dentro del proceso es el hormigonado, por lo cual de acuerdo a esta actividad y las interrelaciones entre áreas se dispuso la distribución de la planta de la siguiente manera:



**Figura 7.** Diagrama de bloques de las relaciones entre áreas.

### 5.9. Diseño del trabajo.

El diseño del trabajo busca garantizar que las actividades generen rendimientos adecuados con las condiciones idóneas, esto se realiza en 3 enfoques:

- La economía de movimientos establece las posturas adecuadas de trabajo por actividad, el peso de la carga a manipular, el ritmo y precisión del trabajo, personal requerido y carga calórica a generarse. Para este proceso la postura de trabajo es de pie con variantes de forma por cada actividad, límite de peso y frecuencia para la carga de mezcla y paneles de hormigón utilizando la ecuación de Niosh se obtuvo el peso en carga de materias primas (7 kg.), de mezcla de hormigón (17.08 kg) y de paneles de hormigón (40 kg), y la carga calórica está dentro de lo rangos de desgaste tolerables en este tipo de operaciones, siendo la máxima carga en las actividades de 307.49 kcal/hora.
- Los principios ergonómicos del lugar de trabajo hacen referencia al desarrollo de los puestos de trabajo, para el cual se utilizó un diseño para

extremos considerando las medidas de 20 operarios. En el diseño del puesto de trabajo se consideraron las áreas de mezclado y hormigonado, en mezclado se diseñó la mesa de soporte de parihuelas con una altura de 80.1 cm usando el percentil 5, en las mesas de hormigonado la altura inicial es de 103.7 cm y puede llegar hasta 121.2 cm por el montaje de molde sobre molde. En el diseño de máquinas no se entra al detalle por cuanto el único equipo utilizado tiene las prestaciones requeridas. El diseño de herramientas considera los requerimientos que deben cumplir las mismas para no afectar el desempeño del operario, siendo cómodos y que no generen fatiga, con mangos que permitan el uso de fuerza, con agarraderas adecuadas y con un peso que no generen un esfuerzo adicional en el operario.

- Las condiciones de trabajo busca que cumplan requerimientos legales y normas internacionales. En iluminación de determinaron 42 luminarias necesarias para cuando se extiendan las jornadas de trabajo, en el día no es requerida iluminación. En temperatura se afecta el trabajo a la intemperie para lo cual se determinó ropa que proteja al operario del sol y un esquema de rotación de personal que disminuya el impacto por este factor. En fuentes de ruido, ventilación y vibración no hay afectación.

### 6. Estudio de tiempos.

El estudio de tiempos se realizó a las actividades diseñadas después del análisis de la operación, se definieron los actores del estudio así como el equipo requerido.

El estudio se llevo a cabo en 7 actividades, en las cuales se analizaron 11 operarios, 2 actividades correspondían trabajos en equipo. Cada una de las actividades fue dividida en elementos los cuales serían objeto de la toma de tiempos.

Antes de la toma de tiempos fue necesario definir los ciclos a estudiarse para cada actividad, dando el siguiente resultado:

**Tabla 5.** Ciclos requeridos de estudio por actividad

ACTIVIDAD	Tiempo promedio observado (min)	Ciclos requeridos de estudio	Ciclo definido
Preparación de moldes	4,98	15	2 moldes listos por equipo
Paleado de agregados	0,87	36	1 parihuela cargada
Mezclado	5,03	10	1 parada de mezcla preparada
Paleado de mezcla	0,22	121	1 balde cargado con mezcla
Transporte de mezcla	0,82	38	1 balde transportado y descargado
Hormigonado	2,95	15	1 panel preparado
Acabado	1,52	25	1 panel acabado

Con los ciclos a ser estudiados se determinó el factor de desempeño de cada uno de los operarios utilizando el sistema Westinghouse, que considera la habilidad, el esfuerzo, las condiciones y la resistencia. A través de este método se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla 6.** Calificación del desempeño por operario

OPERARIO	HABILIDAD	ESFUERZO	CONDICIONES	CONSISTENCIA	FACTOR DE DESEMPEÑO
OPERARIO A	-0.05	0.02	-0.03	0.01	0.95
OPERARIO B	0.00	0.02	-0.03	0.01	1.00
OPERARIO C	0.03	0.00	-0.03	0.00	1.00
OPERARIO D	0.00	0.00	-0.03	0.00	0.97
OPERARIO E	0.03	0.00	-0.03	0.00	1.00
OPERARIO F	0.00	0.02	-0.03	0.03	1.02
OPERARIO G	0.00	0.02	-0.03	0.03	1.02
OPERARIO H	-0.05	0.00	-0.03	0.01	0.93
OPERARIO I	0.00	0.00	-0.03	0.01	0.98
OPERARIO J	0.06	0.00	-0.03	0.00	1.03
OPERARIO K	0.03	0.00	-0.03	0.00	1.00

Adicionalmente a la calificación del desempeño se determinaron suplementos de tiempo en función de los niveles de fatiga con las condiciones de trabajo dadas, de los cuales se obtuvo el siguiente resultado:

**Tabla 7.** Suplementos de tiempo

FATIGA CONSTANTE	FATIGA VARIABLE	ESPECIALES	SUPLEMENTO TOTAL
9%	4%	0%	13%

El siguiente paso fue la toma de tiempos en cada una de las actividades, a cuyos tiempos observados se aplican los factores de desempeño y suplementos para obtener el tiempo estándar por actividad como se presenta a continuación:

**Tabla 8.** Tiempo estándar por actividad

OPERACIÓN	Tiempo observado (seg)	Factor de nivelación	Suplementos	Tiempo estándar (seg)
Preparación de moldes	298.62	95%	13%	320.57
Paleado de piedra	54.18	100%	13%	61.22
Paleado de arena	53.85	97%	13%	59.02
Mezclado	348.76	101%	13%	397.01
Paleado de mezcla	14.19	93%	13%	14.91
Transporte de mezcla	46.31	98%	13%	51.28
Hormigonado	176.94	103%	13%	205.94
Acabado	91.33	100%	13%	103.20

## 7. Balance de línea de operaciones.

El balance de línea de operaciones busca equilibrar los recursos en las actividades de manera que se pueda satisfacer la demanda planteada inicialmente que corresponde a 7.69 casas diarias de producción, utilizando como base el tiempo estándar por actividad determinado previamente, el mismo genera un tiempo de ciclo de 64.31 minutos/casa.

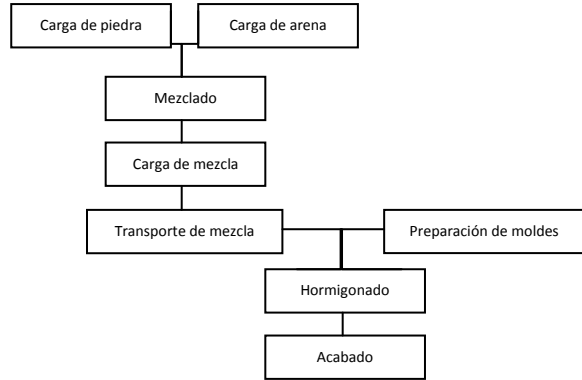
Utilizando como entrada el requerimiento de casas por día se determinó la tasa de producción requerida por actividad con la secuencia necesaria de operaciones como se presenta a continuación.

**Tabla 9.** Tasa de producción requerida por actividad

Tasa de producción esperada	7.69	casas/día
Tiempo disponible diario*	494.7	minutos

\* No considera la hora extra de jornada laboral

OPERACIÓN	TASA X DIA		TASA X MINUTO	
Acabado	621.4	m2/día	1.26	m2/min
Hormigonado	621.4	m2/día	1.26	m2/min
Transporte de mezcla	3538	baldes/día	7.15	baldes/min
Carga de mezcla	3538	baldes/día	7.15	baldes/min
Mezclado	154	paradas/día	0.31	paradas/min
Carga de piedra	615	parihuelas/día	1.24	parihuelas/min
Carga de arena	462	parihuelas/día	0.93	parihuelas/min
Preparación de moldes	808	puestos/día	1.63	puestos/min

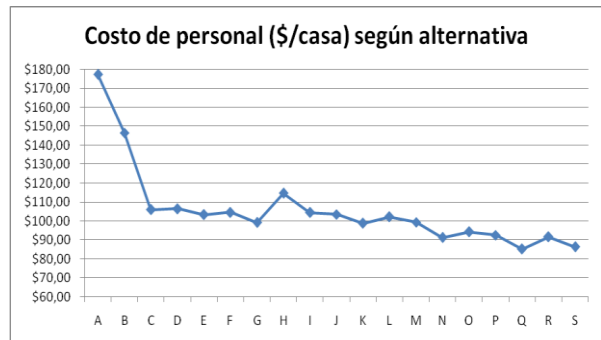


**Figura 8.** Diagrama de secuencia de operaciones

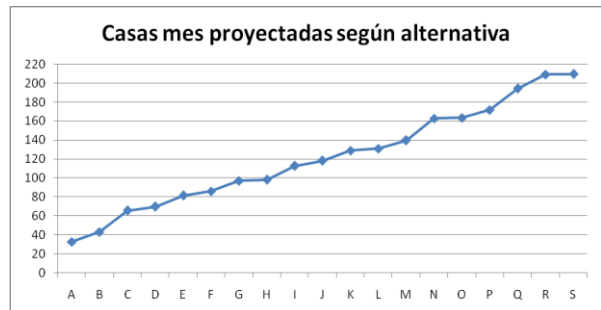
Con los requerimientos definidos se realiza un algoritmo de balanceo que mediante iteraciones permita encontrar la combinación de recursos que minimice el costo y satisfaga los requerimientos de producción.

El esquema inicial considera los requerimientos mínimos para que operen todas las actividades de acuerdo a lo cual se obtienen 11 personas produciendo 33 casas por mes a un costo de \$ 177.25 por casa.

El proceso de iteraciones se mantuvo desde la opción A hasta la opción S, en la cual se determinó la necesidad de trabajar una hora extra a diario con 31 personas a un costo de \$ 86.36 por casa, satisfaciendo la demanda de casas mensuales.



**Figura 9.** Tendencia del costo de personal por casa según alternativa



**Figura 10.** Tendencia casas mes proyectada según alternativa

## 8. Simulación del proceso

La simulación del proceso utilizó como software a Promodel para validar que el proceso definido con los recursos determinados sería capaz de obtener las salidas esperadas.

En este proceso fue necesario definir las locaciones o puestos fijos de trabajo y máquinas, las entidades o elementos a ser procesados, los recursos o personas que interactuaron en el proceso, los arribos que son la tasa de llegada de entidades al sistema. Todo este modelo se presenta en el correspondiente layout.

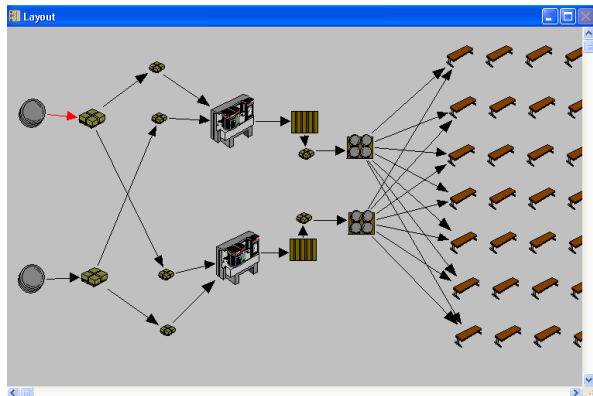


Figura 11. Layout del proceso en la simulación

A través de la simulación se determinó un tiempo de calentamiento de línea de 8 minutos, es decir que después de ese tiempo la línea se encuentra bajo proceso continuo.

En las corridas de tiempo de trabajo, con el tiempo disponible calculado de 533.50 minutos se encontró que se obtendría las salidas esperadas, con la simulación se determinó que en 524 minutos se obtienen las salidas esperadas.

Tabla 10. Total de baldes procesados por corrida en la simulación

PANEL	CORRIDA 1	CORRIDA 2	CORRIDA 3	CORRIDA 4	CORRIDA 5
A	32	32	32	32	32
B	279	279	279	279	279
C	141	141	141	141	141
D	195	195	195	195	195
F	924	924	924	924	924
G	372	372	372	372	370
H	1604	1604	1604	1604	1604
TIEMPO OPERATIVO (Hr)	8,76	8,70	8,65	8,60	8,59
TIEMPO DE CALENTAMIENTO (Hr)					0,13
TIEMPO TOTAL (Hr)	8,89	8,83	8,78	8,73	8,72
TIEMPO TOTAL (min)	533,5	530,0	527,0	524,0	523,4

Al cierre de la jornada se verifica que todas las actividades quedan con material en proceso, lo cual es aceptable para las actividades antes de mezclado, posterior a esta actividad deben quedar en 0.

Hay recursos con utilización superior al 90%, lo cual no es crítico considerando que se utilizan tiempos estándar que consideran factores de desempeño y suplementos de tiempo.

Todos los moldes quedan utilizados al 100%, sin salidas en la corrida inicial ya que permanecerán en pre fraguado hasta el día siguiente.

## 9. Evaluación económica de la actividad

La evaluación económica permitió determinar la viabilidad del proyecto, a través de 4 indicadores básicos: VAN, TIR, PRI y análisis de sensibilidad.

Antes de determinar el impacto a través de los indicadores se presenta la estimación de costos del proceso por rubro y su impacto contra el presupuesto inicial, teniendo mejoras positivas ya que considera los cambios positivos en el proceso, presentando un incremento en la utilidad por casa del 46%.

Tabla 11. Costo de fabricar paneles de hormigón excluyendo mallas

DESCRIPCIÓN	ABREVIATURA	VALOR POR CASA
MATERIALES DIRECTOS	MD	\$ 184,35
MANO DE OBRA DIRECTA	MOD	\$ 121,17
COSTOS INDIRECTOS DE FABRICACIÓN	CIF	\$ 74,98
<b>TOTAL</b>		<b>\$ 380,50</b>

Tabla 12. Impactos de costos estimados contra costos presupuestados

DESCRIPCIÓN	PRESUPUESTO	REAL PROYECTO	VARIACIÓN
FABRICACIÓN DE PANELES DE HORMIGÓN	\$ 410,48	\$ 380,50	-7%
FABRICACIÓN DE MALLAS METÁLICAS	\$ 159,89	\$ 143,97	-10%
TRANSPORTE DE PANELES	\$ 70,00	\$ 70,00	0%
ESTIBAJE PANELES	\$ 20,00	\$ 20,00	0%
INDIRECTOS	\$ 13,21	\$ 13,21	0%
<b>TOTAL COSTOS</b>	<b>\$ 673,58</b>	<b>\$ 627,68</b>	<b>-7%</b>
UTILIDAD	\$ 99,05	\$ 144,95	46%
<b>TOTAL PRESUPUESTADO</b>	<b>\$ 772,63</b>	<b>\$ 772,63</b>	<b>0%</b>

El valor actual neto (VAN) presenta un resultado positivo, considerando la inversión inicial realizada, el tiempo de vida útil del proyecto estimado de 2 años y una tasa de rentabilidad esperada del 80% anual, que garantice el pronto retorno de la inversión, el valor al final del período es de \$ 191.643,49. De este mismo indicador se pudo obtener que se necesiten al menos 3.41 casas diarias para tener el punto de equilibrio.

Tabla 13. Valor Actual Neto del proyecto

<b>Inversión inicial</b>	\$ 152.700,00
<b>Rentabilidad esperada mensual</b>	6,67%
<b>Períodos</b>	24
<b>Suma de Fci</b>	\$ 344.323,49
<b>VAN</b>	<b>\$ 191.623,49</b>

La tasa interna de retorno nos presenta el interés al cual el flujo de ingresos cubre la inversión realizada y se compara con la tasa mínima esperada de rentabilidad, que en resultado ser positiva, por lo tanto aceptando el proyecto.

Tabla 14. Tasa interna de retorno del proyecto

<b>VAN</b>	\$ -
<b>TIR</b>	<b>224,6%</b>
<b>r</b>	80,0%

<b>CONCLUSIÓN</b>	<b>RENTABILIDAD MAYOR A LA ESPERADA</b>
-------------------	---

El período de recuperación de la inversión, considera el tiempo que toma cubrir la inversión realizada con el flujo de caja proyectado, en este caso se considero adicionalmente liquidar el tiempo restante



del préstamo realizado por concepto de compra de terreno, para lo cual se obtuvo un tiempo de recuperación de 8 meses, por lo cual se acepta el proyecto en este punto.

**Tabla 15.** Período de recuperación de la inversión

PERIODO	Flujo de caja	Acumulado ingresos	Inversión por cubrir
1	\$ 29.018,99	\$ 29.018,99	\$ 220.082,35
2	\$ 26.786,76	\$ 55.805,75	\$ 189.651,85
3	\$ 30.135,11	\$ 85.940,86	\$ 155.827,66
4	\$ 30.135,11	\$ 116.075,96	\$ 121.657,25
5	\$ 29.018,99	\$ 145.094,95	\$ 89.156,27
6	\$ 29.018,99	\$ 174.113,94	\$ 56.308,01
7	\$ 30.135,11	\$ 204.249,05	\$ 22.295,77
8	\$ 29.018,99	\$ 233.268,04	\$ -10.648,83

\* La inversión por cubrir considera adicional al pago mensual del préstamo por el concepto del terreno el costo de liquidar el saldo del préstamo al banco.

El análisis de sensibilidad presenta la volatilidad en los resultados de proyecto a variaciones en las condiciones de mercado, como demanda y costos de materiales, y se tomaron los siguientes escenarios: reducción de casas asignadas, incremento en costos de materiales directos, incremento en salarios, incremento en costos indirectos de fabricación.

De acuerdo al análisis de sensibilidad el proyecto es positivo en reducción de demanda hasta 150 casas mensuales, sea cual sea el incremento en costos, para una reducción a 100 casas mensuales hay que evaluar las condiciones de mercado y para una reducción a 50 casas mensuales el proyecto no es viable

**Tabla 16.** Análisis de sensibilidad del proyecto

TIR DEL PROYECTO POR CADA POSIBILIDAD						
INCREMENTO PORCENTUAL EN COSTOS POR RUBRO			CONDICIÓN DE MERCADO: CASAS ASIGNADAS VERSUS PROGRAMADAS			
MATERIALES DIRECTOS	MANO DE OBRA	CIF	100%	75%	50%	25%
0%	0%	0%	225%	164%	97%	14%
5%	10%	5%	170%	120%	63%	0%
10%	20%	10%	112%	72%	24%	0%

## 10. Conclusiones y recomendaciones

### 10.1. Conclusiones

Las principales conclusiones del proyecto son:

- La línea de producción diseñada y balanceada tiene una reducción del 7% en los costos implícitos contra el presupuesto asignado.
- El proceso inicial 100% artesanal fue tecnificado siendo asistido por maquinarias, herramientas y elementos de transporte para facilitar la operación.
- Modificar el diseño de los paneles de hormigón permitió reducir la inversión en moldes, reducir tiempos de preparación y simplificar operaciones de producción y almacenamiento.
- La selección de proveedores permitió reducir el costo y asegurar disponibilidad de materiales.
- Modificar y fabricar la malla metálica permitió mejorar el costo del proceso y controlar el mismo.

- Se diseñaron puestos de trabajo utilizando criterios ergonómicos que aseguren seguridad y eficiencia de los operarios.
- Se estableció peso de manipulación de cargas de manera que permita maximizar el tiempo de trabajo posible.
- La distribución de planta diseñada minimiza los cruces entre operaciones y distancias recorridas entre operaciones directamente relacionadas.
- Se evaluaron las cargas calóricas por proceso por persona para conocer los esfuerzos físicos requeridos y que los mismos no excedan la capacidad humana.
- Las condiciones de trabajo planteadas consideran aspectos ergonómicos que cuiden la seguridad y el buen desempeño del operario.
- El tiempo estándar se determinó por actividad y la misma considera factores de desempeño y suplementos de tiempo.
- Se determinó el personal necesario mediante el balanceo de línea siendo el requerimiento de 43 personas y 2 mezcladoras de hormigón.
- El tiempo de ciclo después del balanceo de línea se determinó en 61.44 minutos por casa.
- El proceso de producción presentó un costo de \$ 380.50 por casa, 7 % por debajo de lo presupuestado, y el costo de mallas metálicas presentó un costo de \$ 143.97, 10 % por debajo de lo presupuestado.
- La utilidad proyectada se incrementó a \$ 144.95 por casa, un 46 % por encima de lo esperado.
- Los indicadores financieros generaron un VAN positivo, una TIR superando la esperada y un período de recuperación de 8 meses, por lo cual se consideró viable el proyecto.
- El análisis de sensibilidad nos presentó que el proyecto es rentable en cualquier condición del mercado hasta en un 75 % de la demanda esperada, en el 50 % de demanda esperada es necesario analizar el entorno del mercado y en el 25 % el proyecto no es viable.

### 10.2. Recomendaciones

Una vez finalizado el proyecto, se identificaron aspectos que pueden ser mejorados, que no estuvieron incluidos en el alcance del proyecto y que pueden generar más beneficios en el proyecto, los cuales se presentan dentro de las recomendaciones a continuación:

- Se recomienda realizar un estudio profundo del proceso de producción de mallas metálicas a fin de que se puedan generar mayores beneficios al proyecto.
- Se recomienda encaminar el proceso a certificaciones de calidad para lo cual es necesario

estandarizar el proceso y levantar manuales de funciones y perfiles de cargo.

- Se recomienda evaluar la factibilidad de ampliar el alcance del proyecto a mercados privados.
- Se recomienda que con el proceso instaurado y el personal seleccionado de dote de uniformes al personal.
- Se recomienda realizar evaluaciones semestrales del entorno de mercado, tanto en costos como en demanda esperada a fin de determinar acciones preventivas.

<http://www.nrmca.org/aboutconcrete/cips/CIP8es.pdf> (Enero/2010)

- Centro Canadiense de Seguridad y Salud Ocupacional, respuestas de ergonomía a trabajo con palas. <http://www.ccsso.ca/oshanswers/ergonomics/shovel.html> (Enero/2010)

## 11. Referencias

- Niebel Benjamin – Freivalds Andis, Ingeniería Industrial: Métodos, estándares y diseño del trabajo, Alfaomega Grupo Editor, México, 2004.
- Rodríguez Zurita Denisse, Dispositivas clase de Ingeniería de Métodos, ESPOL, Ecuador, 2006
- Águila Soto Antonio, Procedimiento de evaluación de riesgos ergonómicos y psicosociales. [www.cepis.opsoms.org/bvsacd/cd49/aguilasoto.pdf](http://www.cepis.opsoms.org/bvsacd/cd49/aguilasoto.pdf)
- Rodríguez Zurita Denisse, Dispositivas clase de Ergonomía, ESPOL, Ecuador, 2006
- Nogareda Silvia – Canosa María del Mar, NTP 477: Levantamiento manual de cargas: ecuación del NIOSH. [http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/401a500/ntp\\_477.pdf](http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/401a500/ntp_477.pdf)
- Chase Richards – Jacobs Robert – Aquilano Nicholas, Administración de la producción y operaciones para una ventaja competitiva, McGraw-Hill Interamericana, México, 2005.
- Sule Dileep, Instalaciones de Manufactura, Thomson Editores, México, 2001.
- Universidad Nacional de Colombia, Tutorial para el modelado de sistemas de manufactura con Promodel, Bogotá, 2004. <http://www.unal.edu.co/salacam/tutorialpromodel/index.htm>
- Lavanda Diana, Evaluación económica y financiera del proyecto de ampliación de la textil San Cristóbal S.A. <http://www.monografias.com/trabajos26/proyecto-ampliacion/proyecto-ampliacion.shtml>
- UNE 12464-1, Normativa europea sobre iluminación para interiores.
- Análisis de sensibilidad de proyectos de inversión. <http://www.gilbertorojas.co.cc/index35.html> (Enero/2010)
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, Subsecretaría de Vivienda <http://www.miduvi.gov.ec/Default.aspx?tabid=62> (Enero/2010)
- National Ready Mixed Concrete Association, discrepancias con el rendimiento