



FACULTAD DE POSTGRADOS

MEJORAMIENTO DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE LOSAS  
ALVEOLARES BAJO METODOLOGÍA Y HERRAMIENTAS LEAN SIGMA  
EN LA EMPRESA PÚBLICA CEMENTERA EPCE.

AUTOR

RAÚL MARCELO CARRERA CABEZAS

AÑO

2018



FACULTAD DE POSTGRADOS

MEJORAMIENTO DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE LOSAS  
ALVEOLARES BAJO METODOLOGÍA Y HERRAMIENTAS LEAN SIGMA EN  
LA EMPRESA PÚBLICA CEMENTERA EPCE.

Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos  
establecidos para obtener el título de Magister en Dirección de Operaciones y  
Seguridad Industrial

Profesor Guía  
MSc. Xavier Marcelo Paz Villalba

Autor  
Raúl Marcelo Carrera Cabezas

Año  
2018

## **DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA**

Declaro haber dirigido el trabajo, Mejoramiento del Proceso de Producción de Losas Alveolares Bajo Metodología y Herramientas Lean Sigma en La Empresa Pública Cementera EPCE, a través de reuniones periódicas con el estudiante Raúl Marcelo Carrera Cabezas, en el primer semestre del año 2018, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación.

---

Xavier Marcelo Paz Villalba  
Máster en Ciencias con Especialidad en  
Sistemas de Calidad y Productividad  
CI: 171054983-1

## **DECLARACIÓN DEL PROFESOR CORRECTOR**

Declaro haber revisado este trabajo, Mejoramiento del Proceso de Producción de Losas Alveolares Bajo Metodología y Herramientas Lean Sigma en La Empresa Pública Cementera EPCE, del estudiante Raúl Marcelo Carrera Cabezas, en el primer semestre del año 2018, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación.

---

Juan Pablo Villalva Chávez

Master of Science in Supply Chain Engineering

CI: 098456495-1

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE**

“Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes”.

---

Raúl Marcelo Carrera Cabezas

CI: 0604236455

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por proveerme de fortaleza, salud y sabiduría para lograr culminar este objetivo.

A mis padres por ser los principales promotores de mis sueños.

De manera especial, mi más sincero agradecimiento a mi hermano Rodrigo Carrera por haberme brindado su apoyo incondicional durante mi permanencia en la ciudad de Quito y que sin ese apoyo no hubiese sido posible todo esto.

**Marcelo**

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a mis padres, quienes siempre están a mi lado brindándome su apoyo y consejos.

Así mismo a las personas especiales en mi vida mis hermanos, mi hija Sofí, mis sobrinos, quienes con su cariño, influencia y sabios consejos me motivan a tomar las mejores decisiones para ejecutar con éxito mis objetivos personales y profesionales.

A ti Marcela por tu amor, tu apoyo, por ser quien hizo posible iniciar este objetivo.

**Marcelo**

## RESUMEN

La generación de producto no conforme, tiempos de espera y sobreproducción de hormigón en la línea de fabricación de losas alveolares, son la problemática que está generando pérdidas a la Empresa Publica Cementera. Surge la necesidad de encontrar la solución para dichos problemas empleado herramientas y metodología Lean Six Sigma, con la finalidad de mejorar el proceso productivo al eliminar la problemática.

La metodología empleada está compuesta por cinco etapas, las cuales son: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar. La metodología se complementa con la utilización de las herramientas de manufactura esbelta en la etapa de mejora.

Para obtener los resultados deseados se diagnosticó la problemática en la fase de definición. Se tomo datos generados en el 2016, se muestreo y se determinó el desempeño del proceso y la aceptación del sistema de medición mediante un estudio de Estadísticas Kappa de Fleiss, estas actividades se las ejecuto en la fase de medir. La causa principal encontrada en la fase de analizar fue la operación, verificación y calibración de la maquina deslizante, definiendo como variables que afectan a la generación de producto no conforme, a la frecuencia de vibración y temperatura de losa previo al corte de cables de la cabeza de tensión.

TPM, JIT y KANBAN fueron las herramientas utilizadas para la mejora, y para la eficacia de las acciones tomadas se definieron controles necesarios para mantener la los resultados obtenidos.

Con la implantación de las mejoras, se evidencio que en la línea de producción de losas alveolares disminuyo el desperdicio, minimizando así los costos de mala calidad con una inversión relativamente baja para él proyecto.

## **ABSTRACT**

The generation of nonconforming product, waiting times and overproduction of concrete in the line of manufacture of alveolar slabs, are the problems that are generating losses to the Cement Public Company. The need arises to find the solution for these problems using Lean Six Sigma tools and methodology, in order to improve the production process by eliminating the problem.

The methodology used is composed of five stages, which are: Define, Measure, Analyze, Improve and Control. The methodology is complemented with the use of lean manufacturing tools in the improvement stage.

To obtain the desired results, the problem was diagnosed in the definition phase. We took data generated in 2016, we sampled, and we determined the performance of the process and the acceptance of the measurement system through a study of Kappa Fleiss Statistics, these activities were executed in the measurement phase. The main cause found in the analysis phase was the operation, verification and calibration of the sliding machine, defining as variables that affect the generation of nonconforming product, the frequency of vibration and temperature of the slab prior to cutting the cables of the head of tension.

TPM, JIT and KANBAN were the tools used for the improvement, and for the effectiveness of the actions taken, the necessary controls were defined to maintain the results obtained.

With the implementation of the improvements, it was evidenced that in the line of production of alveolar slabs, the waste was reduced, thus minimizing the costs of poor quality with a relatively low investment for the project.

# ÍNDICE

INTRODUCCIÓN .....	1
1. Capítulo I.Situación Actual .....	3
1.1 Antecedentes.....	3
1.1.1 Análisis de la industria .....	3
1.1.2 Análisis de la empresa y su entorno social.....	8
1.2 Planteamiento y formulación del problema .....	11
1.3 Objetivos.....	11
1.3.1 Objetivo General.....	11
1.3.2 Objetivos Específicos .....	11
1.4 Planteamiento de la hipótesis.....	12
1.5 Marco metodológico de la investigación .....	12
2. Capítulo II.Marco teórico .....	14
2.1 Marco Referencial .....	14
2.1.1 Catálogo de productos.....	14
2.1.2 Mapa de procesos .....	16
2.1.3 Prefabricados de hormigón.....	16
2.2 Marco Conceptual .....	17
2.2.1 ¿Qué es Six Sigma?.....	17
2.2.1.1 Metodología Seis Sigma .....	18
2.2.1.2 Roles en un proyecto seis sigma .....	19
2.2.1.3 Herramientas de Mejora Seis Sigma.....	20
2.2.2 ¿Qué es Lean? .....	21
2.2.3 Manufactura esbelta (lean manunfaturing) .....	22

2.2.4	Implantación de lean manufacturing .....	22
2.2.5	Beneficios esperados de la producción esbelta.....	23
2.2.6	Herramientas Lean, oportunidades de mejora.....	24
2.2.7	Herramientas Organizativas y Técnicas .....	28
2.2.8	Otras herramientas para la mejora continua.....	29
2.2.9	Mapa del Flujo de Valor (Value Stream Mapping) .....	30
2.2.9.1	Simbología para el VSM.....	31
2.2.9.2	Representación gráfica del VSM.....	33
2.2.10	Lean six sigma(LSS) .....	34
2.2.10.1	Preparación.....	34
2.2.10.2	Identificación .....	35
2.2.10.3	Ejecución.....	35
2.2.10.4	Evaluación.....	38
2.2.11	Losa alveolar .....	39
2.2.11.1	Fabricación de losas alveolares. ....	40
<b>3.</b>	<b>Capítulo III.Aplicación de la Metodología DMAMC:</b>	
	<b>SituaciónActual.....</b>	<b>44</b>
3.1	Selección del Proyecto.....	44
3.1.1	Estimación de los Costos. ....	44
3.2	Definir .....	46
3.2.1	Definición de las Características Críticas .....	46
3.2.2	Definición de Parámetros de Desempeño .....	48
3.2.3	Acta de Constitución de Proyecto.....	49
3.3	Medir.....	49
3.3.1	Diagrama VSM .....	49

3.3.2	Diagrama SIPOC nivel detallado .....	51
	Caracterización del proceso productivo de losas alveolares. ....	51
	Glosario De Términos.....	52
3.3.3	Recopilación de datos .....	54
3.3.4	Definición de métricas para medir el desempeño del proceso. ....	54
3.3.5	Determinación del desempeño del proceso y nivel sigma .....	55
3.3.6	Análisis del sistema de medición aplicado.....	56
3.4	Analizar .....	59
3.4.1	Análisis del proceso productivo de losas alveolares.....	59
3.4.2	Identificación de causas potenciales. ....	60
3.4.3	AMEF. (Análisis de modo de potencial de falla y efecto).....	62
3.4.4	Análisis del problema en el flujo de valor.....	63
3.4.5	Análisis de datos.....	66
	3.4.5.1 Evaluación del defecto de las cangrejeras en las losas. ....	66
	3.4.5.2 Evaluación del defecto de fisuras en las losas.....	68
4.	Capítulo IV.Aplicación de la Metodología DMAMC:	
	Mejorar y Controlar. ....	70
4.1	Mejorar.....	70
4.1.1	Mejoras en el proceso .....	70
4.1.2	Plan de mejora del proceso. ....	72
4.1.3	Implementación de mejoras.....	74
	4.1.3.1 Modificación de carretes porta cables.....	74
	4.1.3.2 Implementación TPM .....	74
	4.1.3.3 Implementación JIT y Kanban.....	78
	4.1.3.4 Procedimiento de izaje seguro de losas.....	79

4.1.4 Métrica Seis Sigma del proceso mejorado. ....	80
4.2 Controlar .....	81
4.2.1 Plan de Control.....	81
5. Capítulo V.Resultados y Evaluación Económica .....	83
5.1 Resultados .....	83
5.2 Evaluación económica. ....	86
6. Conclusiones y Recomendaciones .....	88
6.1 Conclusiones .....	88
6.2 Recomendaciones.....	89
REFERENCIAS.....	90
ANEXOS .....	93

## INTRODUCCIÓN

La satisfacción del cliente en cualquier organización es la prioridad número uno, el éxito de cualquier empresa depende de la calidad y la fijación de precios de productos competitivos. Hoy en día el mercado globalizado no permite espacio para el error. Por lo tanto, *Six Sigma* es necesaria para todas las organizaciones. La teoría de *Six Sigma* demuestra un beneficio económico y la mejora de la satisfacción del cliente. A diferencia de otros programas que se centran sólo en la calidad, *Six Sigma* se enfoca en la satisfacción del cliente y en los problemas de fondo.

La filosofía *Lean* identifica y elimina ineficiencias como el costo sin valor añadido (desperdicio) o el tiempo de espera innecesario dentro del proceso causado por defectos, producción excesiva y otros procesos para expandir cualquier organización. *Lean* se asocia con velocidad, eficiencia y aceleración del proceso. Por lo tanto, al integrar elementos de la metodología de la empresa *Lean* con *Six Sigma*, que carece de herramientas que controlan y reducen el tiempo de entrega, la retroalimentación será más rápida de lo planeado.

La combinación de estas dos poderosas herramientas, la fabricación *Lean* y la estrategia *Six Sigma*, dará como resultado una reducción de la variación del proceso y una mejora dramática en la economía de la empresa. Dado que todas las empresas están en el negocio de lograr un retorno más rápido de las inversiones, en particular para sus accionistas, el uso de principios *Lean* en *Six Sigma* es extremadamente importante.

Ahora es necesario implementar los conceptos de *Lean Six Sigma*, definiéndolo más como una estrategia. *Lean Six Sigma* es una estrategia que se enfoca en reducir costos y aumentar la satisfacción del cliente. La filosofía *Six Sigma* es coherente con el control estadístico de procesos, el control estocástico y el control de ingeniería.

El presente trabajo se enfoca en mejorar el proceso productivo de la línea de producción de losas alveolares en la Empresa Pública Cementera del Ecuador, EPCE, aplicando la metodología *Lean Six Sigma*, a fin de reducir la generación de desperdicios y producto no conforme.

La investigación se desarrolla bajo el modelo DMAIC que define los cinco pasos de la metodología: Six-Sigma. Los pasos son definir, medir, analizar, mejorar y controlar. DMAIC es frecuentemente empleado por equipos de proyectos *Six Sigma*, y es el acrónimo de: Define: Definir oportunidades; Measure: Medir el desempeño; Analyze: Analizar oportunidades; Improve: Mejorar el desempeño; Control: Controlar el desempeño.

## **Capítulo I. Situación Actual**

### **1.1 Antecedentes**

#### **1.1.1 Análisis de la industria**

La industria de prefabricados en Ecuador se encuentra subdesarrollada y su producción se centraliza en la fabricación de bloques de hormigón, adoquines, acueductos celulares, vigas de hormigón pretensado, columnas prefabricadas, pilotes de hormigón, escaleras, estribos para puentes, baldosas, contención de muros, postes, edificios, paneles y bordillos. (Ecuatoriana de Prefabricados, 2012)

La tecnología de construcción con prefabricados de hormigón es nueva en el país, los diseños de edificaciones no los consideran por desconocimiento y por lo tanto no se ha generado todavía una verdadera demanda para las piezas que se fabrican en la empresa. Sin embargo, el mercado está insatisfecho en lo que se refiere a los tiempos empleados, rendimiento de materiales y garantía de calidad. Existen necesidades y expectativas lo que constituye una oportunidad para los productos ofertados por la empresa.

Los sistemas de construcción que incluyen elementos prefabricados de hormigón son desconocidos y existe un cierto nivel de desconfianza injustificada con respecto a la cuestión sísmica, así como a la supuesta limitación de diseño ofrecida por estos sistemas.

#### **Clientes potenciales**

Los clientes potenciales para la industria de prefabricados son aquellos que pueden beneficiarse de las ventajas competitivas ofrecidas por esta tecnología. Es decir, aquellos en el sector privado que buscan mejorar su ganancia y para quienes el ahorro en tiempo representa rentabilidad por la rotación del capital invertido. Principalmente este grupo está compuesto por constructores cuya

área útil comercialmente explotable por proyectos sea igual o superior a 3000 metros cuadrados. Cumplen con condiciones de concentración, volumen, representatividad de los costos, productos indiferenciados o estandarizados.

Otro importante cliente potencial es el gobierno central y los gobiernos seccionales. Pueden beneficiarse del uso de los prefabricados, mejorando sus índices económicos, sociales y ambientales además del impacto político por la rapidez en la ejecución de obras, cumpliendo con las metas principales del gobierno con respecto a los temas emblemáticos tales como la sustitución de importaciones, cambio de la matriz productiva, trabajo digno, entre otros.

Los clientes potenciales del sector privado que cumplen con las condiciones enunciadas anteriormente son las empresas constructoras de mayor tamaño. Sin embargo, las decisiones de construir o no con prefabricados no siempre dependen de los clientes finales. Otros actores tienen influencia al determinar lineamientos de compra.

En el caso de los promotores inmobiliarios, su poder de influencia es inferior por tratarse de empresas que manejan montos inferiores de facturación y por ende de demanda, sin embargo, pueden mostrarse favorables a la utilización de sistemas prefabricados y beneficiarse de la reducción de costos asociados. Por el contrario, los constructores que no son dueños de la obra por realizarse podrían influenciar negativamente al uso de prefabricados puesto que sus ingresos son calculados en proporción al valor de los costos directos, los cuales se verán reducidos en el caso de trabajar con prefabricados.

### **Entorno competitivo**

Al analizar el entorno competitivo se tomará en cuenta las figuras de competencia a nivel de sistemas constructivos, representantes del mercado, además los productos sustitutos y rivalidad.

## Sistemas constructivos

A continuación, se detalla el análisis de los sistemas constructivos existentes en el país, información tomada del PLAN ESTRATÉGICO 2014-2017, Revisión 2016.

- a) La empresa Panecons provee soluciones constructivas con elementos prefabricados, esta empresa es la única que ha tenido aportación en el mercado. Se ha probado la inserción del mercado con productos de un segmento medio como son los de fabricación de paneles conocidos como Hormi2, no obstante, este sistema no es demandado por empresas constructoras debido sus acabados.
- b) El sistema de mampostería se basa en la elaboración de muros estructurales compuestos por bloques de hormigón y varillas de acero. La tecnología empleada solo se estandariza para ciertas actividades, para trabajos a detalle se emplea mano de obra o albañilería, considerando así a este sistema como convencional.
- c) En el país, se utilizan sistemas de estructuras de metal con paneles de fibrocemento, esto se da por a la velocidad de construcción. Las vigas y columnas prefabricadas se pueden sustituir con estructuras metálicas. A pesar de que este teniendo una participación en el mercado existe desventajas que limitan a este sistema tales como costos, riesgos afines con la soldadura y la dependencia tecnológica extranjera.
- d) El llamado sistema de Tipo de túneles un sistema estructural formado por paredes sólidas y placas de hormigón armado con malla electro soldada de alta resistencia. Estos sistemas son adecuados para edificios y para proyectos a escala (Ecuatoriana de Prefabricados, 2012).

## **Proveedores activos en el mercado**

En el país existen pocos actores en la línea de negocios de paneles y otros elementos de construcción.

En términos de producción, cabe destacar que las principales empresas del país no cuentan con el nivel de tecnología necesaria para la producción eficiente de paneles, panales, vigas y columnas, como se puede observar en los mercados más avanzados del continente (Ecuatoriana de Prefabricados, 2012).

Por el momento, solo las empresas Ditelme y Mavisa, por la reputación generada en el mercado (esencialmente Guayaquil) al fabricar y distribuir productos sustitutos (losas, vigas, paneles y columnas y doble T), podrían sentirse amenazados y tener una reacción adversa.

## **Productos sustitutos**

Una alternativa que se utiliza para todos los elementos prefabricados es la construcción artesanal vertiendo hormigón in situ para la producción de losas o bloques y paneles. Sin embargo, hay innumerables sustitutos de productos prefabricados. A continuación, se detalla cuál es la competencia directa del concreto prefabricado relacionado con losas, vigas y paneles estructurales.

El sistema drywall es un método constructivo consistente en placas de yeso (gypsum), fijadas a una estructura reticular liviana de madera o acero galvanizado (Ecuatoriana de Prefabricados, 2012).

El Steel deck reemplaza el encofrado en la fundición de la losa y entrepiso. Es una competencia directa para losas de concreto con la ventaja de que no se necesitan grúas para levantarlos, a diferencia de la losa alveolar, sin embargo, el sistema de cubierta de acero es más costoso. Tampoco tiene la misma

resistencia al fuego ni el nivel de aislamiento acústico de la losa alveolar (Ecuatoriana de Prefabricados, 2012).

En ciertas obras, especialmente parqueaderos o edificación industrial, otros prefabricados de hormigón constituyen una competencia directa para nuestros productos. Por ejemplo, las vigas doble T constituyen competencia directa para la losa alveolar o el sistema de “ossatura” o “esqueleto” que es un sistema de prefabricados de hormigón en base de pilares con ménsulas completado por vigas pretensadas.

Finalmente cabe destacar que, en los sistemas de paneles estructurales, en algunos casos, existen moldes de madera a pie de obra para realizar paneles portantes. Sin embargo, no tienen las garantías de calidad ofrecidas por sistemas industrializados, aunque reducen los costos de transporte de piezas.

### **Rivalidad**

Por el momento, cualquier nuevo competidor podría erigir y operar una planta a su capacidad óptima. No hay barreras para entrar en la probabilidad de que los nuevos competidores constructores que integran la actividad de su cadena de valor atrasada sean insignificantes. Además, actualmente no existe un mayor riesgo por parte de los principales constructores de ingresar a estas actividades debido a la falta de conocimiento de la técnica de prefabricación.

Un hecho interesante es que, a pesar de contar con empresas de prefabricación en otros países, las empresas cementeras presentadas en Ecuador no han mostrado interés en integrarse.

### **Segmentos de mercado**

Los segmentos preferidos en el corto y mediano plazo son: construcción por parte del pública sin excluir al sector privado. En el segmento de la construcción de empresas públicas el principal vínculo que genera

posicionamiento del mercado para la empresa será el, gobierno, que genera proyectos que se detallan a continuación:

- Proyectos de infraestructura social: infraestructura educativa, infraestructura de salud, viviendas sociales multifamiliares y oficinas descentralizadas (Ecuatoriana de Prefabricados, 2012).
- Las preferencias de los clientes del sector público son construcciones completas en la mano, en tanto que, para el sector privado, se pueden proponer elementos constructivos como paneles estructurales, paneles de fachada, losas, losas alveolares (Ecuatoriana de Prefabricados, 2012).

### **1.1.2 Análisis de la empresa y su entorno social**

Mediante el Decreto Ejecutivo N ° 207 de 7 de enero de 2010, se estableció la EMPRESA PÚBLICA CEMENTERA DEL ECUADOR, como una entidad de derecho público, con personalidad jurídica y patrimonio propio, dotada de autonomía presupuestaria, financiera, económica, administrativa y de gestión, con domicilio en el cantón Riobamba, provincia de Chimborazo (Empresa Publica Cementera del Ecuador , 2014).

La EPCE definió su misión y visión como sigue:

#### **Misión**

Desarrollar, industrializar, comercializar materia prima y productos terminados de la cadena de cemento e intervenir de manera efectiva en el sector cementero, aprovechando de manera eficiente nuestros recursos naturales y contribuyendo al desarrollo constructivo del país con responsabilidad social y ambiental (Empresa Publica Cementera del Ecuador , 2014).

## Visión

Ser hasta el 2017 la empresa pública aliada al desarrollo constructivo del país como promotora de la competitividad, sostenibilidad, productividad y eficiencia del sector cementero y sus derivados (Empresa Publica Cementera del Ecuador , 2014).

En marzo del año 2014, la EPCE obtuvo la autorización del Directorio para producir prefabricados mediante la aprobación del Plan Estratégico 2014-2017. En mayo del mismo año obtuvo la aprobación del Plan de Negocios, en junio el Presupuesto y Giro del Negocio, así como también suscribió el Acuerdo Marco de Traspaso de la Planta de Durmientes con UCEM C.E.M.,

En la línea prefabricados, se comercializa durmientes para el ferrocarril y, a través de la marca PREFEA, se ofrece soluciones innovadoras para el sector constructivo mediante piezas prefabricadas de hormigón de alta tecnología, elaboradas en un área industrial eficiente utilización en obra disminuye los costos

PREFEA. Prefabricados de Hormigón de la Empresa Pública Cementera del Ecuador, iniciado el proceso productivo con tres líneas de producción con los siguientes productos: losas alveolares pretensadas, paneles prefabricados y traviesas o durmientes de hormigón, donde su producto principal son las losas alveolares.



*Figura 1. Losas alveolares*

## Localización de la planta

Matriz Planta – Prefabricados, Panamericana Sur km 14, camino a Chiquicaz, Riobamba



Figura 2. Ubicación geográfica de la EPCE planta prefabricados

La losa alveolar es un elemento superficial, plano de hormigón con canto constante, aligerado mediante alvéolos longitudinales. La losa alveolar, puede usarse para cerramientos laterales, ampliación de viales, vallas, pasos elevados, muros de sótano, silos, andenes, pasarelas, gradas entre otros (Powell Jacquier a., 2010).

Los materiales que componen una placa alveolar son el acero pretensado y el hormigón. En casos especiales y en placas de gran peralte, se utiliza un refuerzo de acero convencional longitudinal y transversal para resistir las cargas de fabricación, transporte y montaje.

## 1.2 Planteamiento y formulación del problema

Se ha generado problemas en la producción y calidad del producto, identificando como problemas tiempos muertos, desperdicio y presencia de defectos en el producto en proceso y terminado, ya que en 24 horas se producen 264 m<sup>2</sup> de losas de las cuales 15 m<sup>2</sup> son producto no conforme; en la elaboración de la mezcla de hormigón para las losas existe un sobrante de mezcla, por lo que se desecha debido a que la mezcla de hormigón fragua con rapidez.

Las posibles causas son la falta de puntos de control, supervisión y documentación del proceso productivo. La propuesta a la Empresa Pública Cementera va encaminada a mejorar la productividad en el proceso de producción de losas alveolares.

Las empresas que desean optimizar sus procesos ya sean de producción o de servicio, generalmente se enfocan en la búsqueda de herramientas tecnológicas de punta. Algunos métodos, como los ofrecidos por *Lean Manufacturing*, que permiten la creación de nuevas maneras de trabajo, permiten definir, corregir y optimizar el proceso de producción en base a un sistema de pasos de comunicación de una manera simple, que busca eliminar cualquier actividad que no agregue valor al producto. (Pérez, 2016)

## 1.3 Objetivos

### 1.3.1 Objetivo General

Mejorar el proceso de producción de losas alveolares bajo metodología y herramientas lean sigma en la empresa pública cementera EPCE.

### 1.3.2 Objetivos Específicos

- Diagnosticar la situación actual del proceso productivo de losas.
- Evaluar el desempeño del proceso productivo en condiciones iniciales.
- Analizar los principales parámetros susceptibles para mejora en el proceso productivo de losas.
- Establecer las herramientas de manufactura esbelta idóneas que pueden ofrecer una solución a los puntos de mejora.
- Evaluar el impacto económico y financiero una vez implementado el proyecto.

#### **1.4 Planteamiento de la hipótesis**

Utilizando metodología y herramientas Lean Sigma se mejorará el proceso de producción de losas alveolares en la Empresa Pública Cementera del Ecuador, EPCE.

#### **1.5 Marco metodológico de la investigación**

La metodología aplicada para el desarrollo de la propuesta de aumento de productividad en la línea de producción de losas alveolares es Exploratoria. Exploratorio porque involucra el análisis del fenómeno que genera una baja productividad, estableciendo entornos, causas, efectos, interrelaciones y repercusiones al aumentar la productividad.

Este tema presentado abarca con los lineamientos de los módulos cursados de la Maestría en Dirección de Operaciones y Seguridad Industrial, debido a que al aumentar de la productividad y optimizar recursos en la empresa, avanza hacia un estado más eficiente.

La metodología *six sigma* desarrollada por Motorola en los años 80, se basa en el enfoque al cliente. Esta metodología utiliza métodos estadísticos y DMAIC, a fin de:

- Definir los problemas y escenarios a mejorar
- Medir para generar información y datos
- Analizar la información obtenida
- Implementar las mejoras a los procesos y finalmente
- Controlar los procesos o productos para alcanzar resultados.

Esto nos llevara a un ciclo de mejoramiento continuo(Mantilla Celis & Sánchez García, 2012).

Para alcanzar un aumento en la productividad se pretende levantar la información de la empresa para así generar un diagnóstico y un punto de partida de las posibles soluciones que se podrán ejecutar. Una vez hecho este análisis se aplicará la herramienta lean sigma como solución para el incremento de la productividad, si esta herramienta se adapta al proceso se habrá cumplido con los objetivos.

## Capítulo II. Marco teórico

### 2.1 Marco Referencial

#### 2.1.1 Catálogo de productos

La oferta PREFA, incluye soluciones constructivas completas realizadas en asociación con empresas constructoras, así como la venta de piezas: losas alveolares pretensadas, pre losas, paneles portantes o de mampostería. También se produce piezas especiales bajo pedido tales como dados de hormigón, plintos, bordillos o cualquier pieza cuyo diseño sea realizable con nuestros equipos.



*Figura 3. Productos PREFA*

Complementando la oferta de bienes, también se ofrece servicios como: Soporte técnico especializado para la modulación a prefabricado incluyendo el diseño arquitectónico y cálculo estructural; asesoría técnica para montaje de las piezas para la edificación de la obra gris, así como también servicios de alquiler de equipo o herramienta específica para manipulación e izaje de las piezas.

En la línea “Materias Primas” está la comercialización de los productos extraídos de las concesiones de las cuales la EPCE es titular, por el momento

estamos en condición de comercializar puzolana, así como próximamente yeso.

En la línea “Comercialización de Cemento”, la EPCE comercializa el cemento de marca Cemento Chimborazo y Guapán a instituciones públicas en el marco de un contrato de distribución mayorista firmado con la empresa UCEM C.E.M., de la cual la EPCE es accionista.

Finalmente, en la línea Asesorías Técnicas especializadas, la EPCE comercializa servicios de experticia en temas relacionados con la cadena de valor del cemento. En la actualidad, esta línea de negocio incluye la asesoría técnica especializada contratada por parte de la Empresa Pública Productiva Cementos de Bolivia ECEBOL referente al: “Servicio de control y monitoreo del proyecto ‘diseño green field, provisión de maquinaria, equipos, construcción, montaje, puesta en marcha, capacitación y transferencia intelectual, para una planta de cemento en el departamento de Oruro”.

## 2.1.2 Mapa de procesos

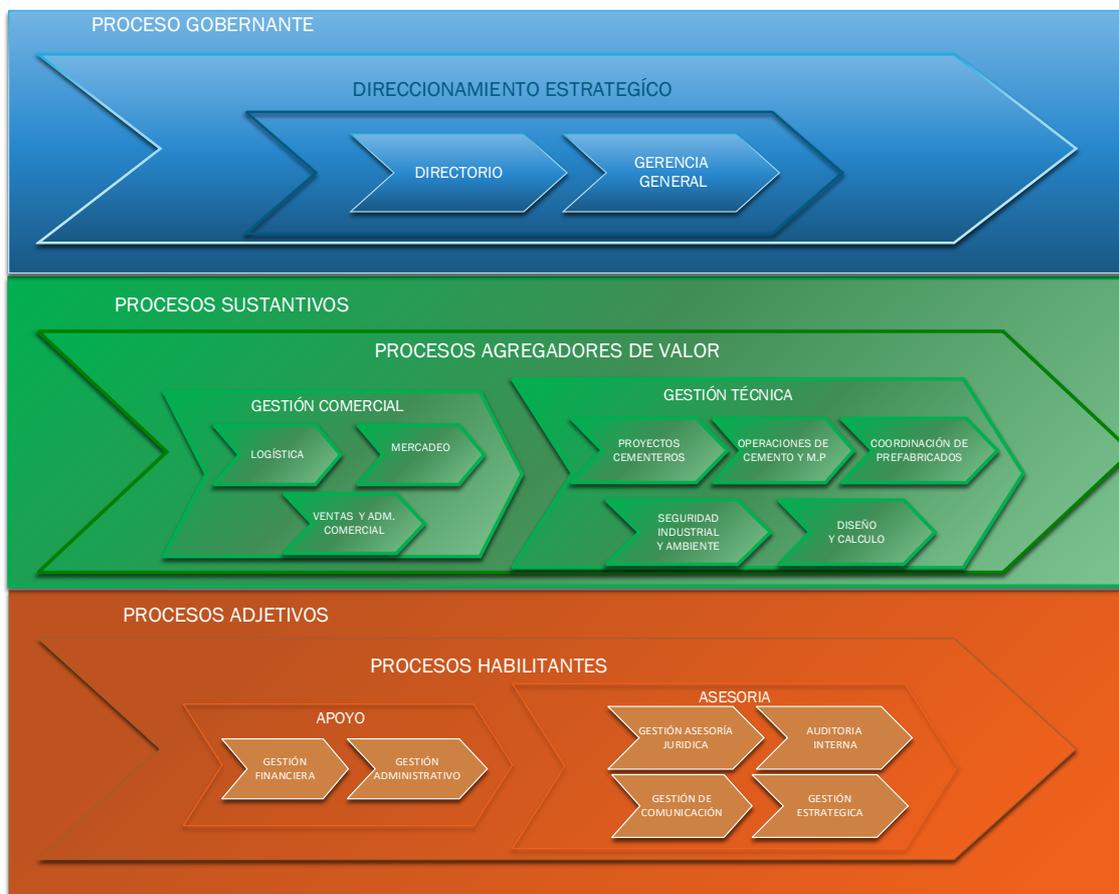


Figura 4. Mapa de procesos EPCE

## 2.1.3 Prefabricados de hormigón

Luego de atender la demanda de durmientes de hormigón por parte de la Empresa de Ferrocarriles del Ecuador, la EPCE recibió la disposición presidencial de reconvertir la planta para la elaboración de prefabricados para la construcción.

Posteriormente la EPCE obtuvo la autorización de su Directorio, para asumir la fabricación de prefabricados de hormigón, se reformó el giro de negocio y se aprobó el Plan de Negocios adquiriendo la maquinaria y arrancando así el proceso de producción de losas y paneles a prueba que permitirían la suscripción del primer contrato en diciembre del año 2015.

En el año 2016, la EPCE ya dispone de diseños e ingenierías para infraestructura educativa pública con prefabricados de hormigón. Se ha insistido en los acercamientos con SECOB y MINEDUC y se espera que estos elementos prefabricados puedan ser de utilidad para agilizar la reconstrucción de infraestructura afectada por el terremoto del pasado 16 de abril de 2016. Además, como resultado de la exitosa utilización de las losas alveolares en el parqueadero de la Universidad Católica de Guayaquil, la EPCE ha recibido decenas de solicitudes de cotizaciones para empresas privadas interesadas en concretar nuevos contratos.

## 2.2 Marco Conceptual

### 2.2.1 ¿Qué es Six Sigma?

Se lo puede definir como un parámetro estadístico que mide la variación de grupos de datos, asociado a una característica de calidad, de su promedio ( $\bar{X}$ ). Técnicamente, si un grupo muy grande de datos (o población) está involucrado, su promedio se llama  $\mu$  y su desviación estándar es  $\sigma$ . Una muestra tomada de una población tan grande tiene su promedio designado como  $\bar{X}$  y su desviación estándar se llama  $s$ . Se ha convertido en convencional usar tanto  $\bar{X}$  como promedio y  $\sigma$  como desviación estándar en ambos casos. Una distribución es una curva en forma de campana de ese parámetro o característica (ver Figura 1-1) que muestra el área bajo una curva normal típica que cae. (Bhote, Keki R., 2001)

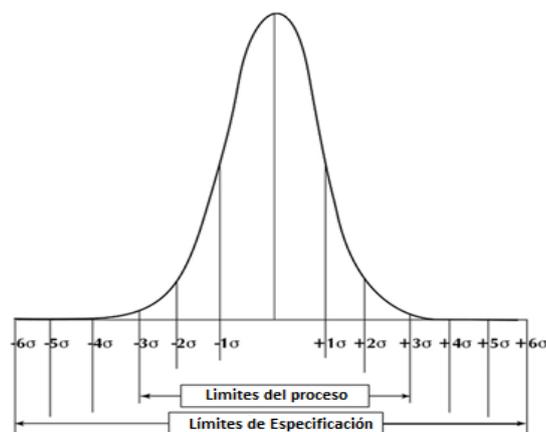


Figura 5. Límites. Relación de área dentro / fuera de una curva normal y sigma

La letra del alfabeto griego  $\sigma$  se usa para sigma para identificar la variabilidad. Según Lefcovich & Mauricio León (2009); Seis Sigma es una manera inteligente y eficiente de dirigir una empresa, ubica al cliente en primer lugar utilizando hechos y datos para impulsar mejores resultados. Se plantea algunas definiciones de seis sigma que serán útiles en el trascurso del presente trabajo.

Un nivel de calidad sigma indica con qué frecuencia es probable que se produzcan defectos. Mayor nivel de calidad sigma es una señal de que el proceso produciría menos defectos. Una forma de leer y hablar el lenguaje de Six Sigma es a través de la determinación del número de defectos por millones de oportunidades DPMO.

Una oportunidad se define como cualquier posibilidad de no conformidad o no cumple con las especificaciones requeridas. Con el programa Six-Sigma implementado en una organización, la alta gerencia puede generar ahorros extraordinarios en minimización de costos y de residuos. Se cree que la mayoría de las organizaciones operan en  $3\sigma$ , que se interpreta como 66.000 errores \*millón. Estadísticamente, la calidad six sigma define que cualquier medición de calidad de producto o proceso, no habrá más de 3.4 defectos producidos por cada 1.000.000 de oportunidades.(Mehrerdi, 2011)

### **2.2.1.1 Metodología Seis Sigma**

Seis Sigma utiliza una metodología conocida como DMAIC que son las iniciales de Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar, así también emplea herramientas estadísticas para el trabajo de los equipos. Six Sigma como metodología para resolver problemas, se desarrolla en un enfoque estructurado de implementación a través de DMAIC, que nos ayuda a desarrollar el uso integrado de los mejores métodos y herramientas de análisis en proyectos de mejora que apuntan a reducir la variabilidad de los parámetros importantes para la satisfacción del cliente. Este enfoque se aprecia en la Figura 6.



Figura 6. Metodología Seis Sigma

Lefcovich, & Mauricio León(2009); menciona que es esencial verificar mediante un control definido la estabilidad de los procesos. Para lo cual se plantea varios indicadores a fin de monitorear el proceso. Entre ellos podemos tener a indicadores:

- Relacionados con operaciones.
- Relacionados con costos
- Relacionados con el tiempo ciclo.
- Relacionados con satisfacción de clientes.

### 2.2.1.2 Roles en un proyecto seis sigma

Membrado Martínez, 2013, menciona que la metodología Seis Sigma emplea un esbozo organizativo que certifica a que se dedican los recursos y el soporte necesario para lograr finalizar de manera exitosa un proyecto. El cambio requiere nuevos comportamientos de todos los involucrados. Sin embargo, cuatro roles específicos aparecen comúnmente durante los procesos de cambio más exitosos y que se expresan en la figura 7.

<p><b>Black Belt (cinturón negro)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Es el papel más crítico en Seis Sigma.</li> <li>• Es un empleado que trabaja a tiempo completo en proyectos Seis Sigma.</li> <li>• Es un experto en herramientas de mejora y posee dotes de liderazgo para animar y dirigir a sus colegas.</li> </ul>	<p><b>Green Belt (cinturón verde):</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Es un empleado formado en las herramientas Seis Sigma y que simultanea su trabajo habitual con el desarrollo de proyectos Seis Sigma.</li> </ul>	<p><b>Champion o Esponsor</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ejecutivo de la organización que patrocina un proyecto de mejora y que es el responsable de alcanzar los ahorros previstos.</li> </ul>	<p><b>Máster Black Belt (maestro de cinturones negros):</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Es un especialista en Seis Sigma que actúa como entrenador y líder de los Black Belts.</li> </ul>
--	--	---	--

Figura 7. Roles del proyecto seis sigma

### 2.2.1.3 Herramientas de Mejora Seis Sigma

Las herramientas empleadas en los proyectos Seis Sigma no son diferentes de las utilizadas en cualquier programa de mejora. La formación es un elemento clave de la metodología. El equipo de mejora adopta una formación en las herramientas Seis Sigma, seguidamente después de la constitución del equipo y cada cierto tiempo durante las labores del equipo. (Thomas Pyzdek & Paul Keller, 2014)

La metodología seis sigma, emplea elementos estadísticos que ayudan a mejorar la calidad de los procesos. Estos elementos se emplean como herramientas y definen la problemática, dando a conocer la causa de la

variación presentada. Las herramientas que son más utilizadas en la metodología se describen a continuación en la Figura 8.



Figura 8. Herramientas de mejora seis sigma

### 2.2.2 ¿Qué es *Lean*?

Los conceptos de *Lean* están profundamente enraizados en el Sistema de Producción de Toyota. *Lean* trata de la eliminación de desechos y el aumento de la velocidad y el flujo. Aunque se trata de una reducción de alto nivel, el objetivo final de *Lean* es eliminar el desperdicio de todos los procesos. De acuerdo con la teoría *Lean*, en la parte superior de la lista de residuos conocidos se encuentra el exceso de inventario. *Lean* es un grupo de herramientas que ayudan a la:

- Caracterización y eliminación de desperdicios
- Mejora en la calidad

- Reducción del tiempo
- Reducción de costos.

A diferencia de otras metodologías, el *lean* afecta a cada aspecto del trabajo y a todos los trabajadores. Se trata de producir más con menos, no sólo trabajadores, sino de todos los recursos. Además, los trabajos *lean* es disciplina y cumplimiento de estándares.

### **2.2.3 Manufactura esbelta (*lean manufacturing*)**

Entendemos por *lean manufacturing*, a la búsqueda de una mejora del sistema productivo mediante la eliminación del desperdicio entendiendo como desperdicio a todas aquellas acciones que no aportan valor al producto y por las cuales el cliente no está dispuesto a pagar (Rajadell, C. M., & Sánchez, G. J. L, 2009).

### **2.2.4 Implantación de *lean manufacturing***

La implantación de *lean manufacturing*, plantea requisitos para iniciar con el proyecto, para lo cual es de vital importancia conocer los conceptos, herramientas y técnicas que se emplean, a fin de alcanzar objetivos en términos de rentabilidad, competitividad y satisfacción los clientes. La implantación de *lean manufacturing* se sustenta en tres pilares específicos; Kaizen, filosofía de la mejora continua, Control total de la calidad (TQM) y JIT justo a tiempo.

A continuación, se describen brevemente cada pilar en la Figura 9.

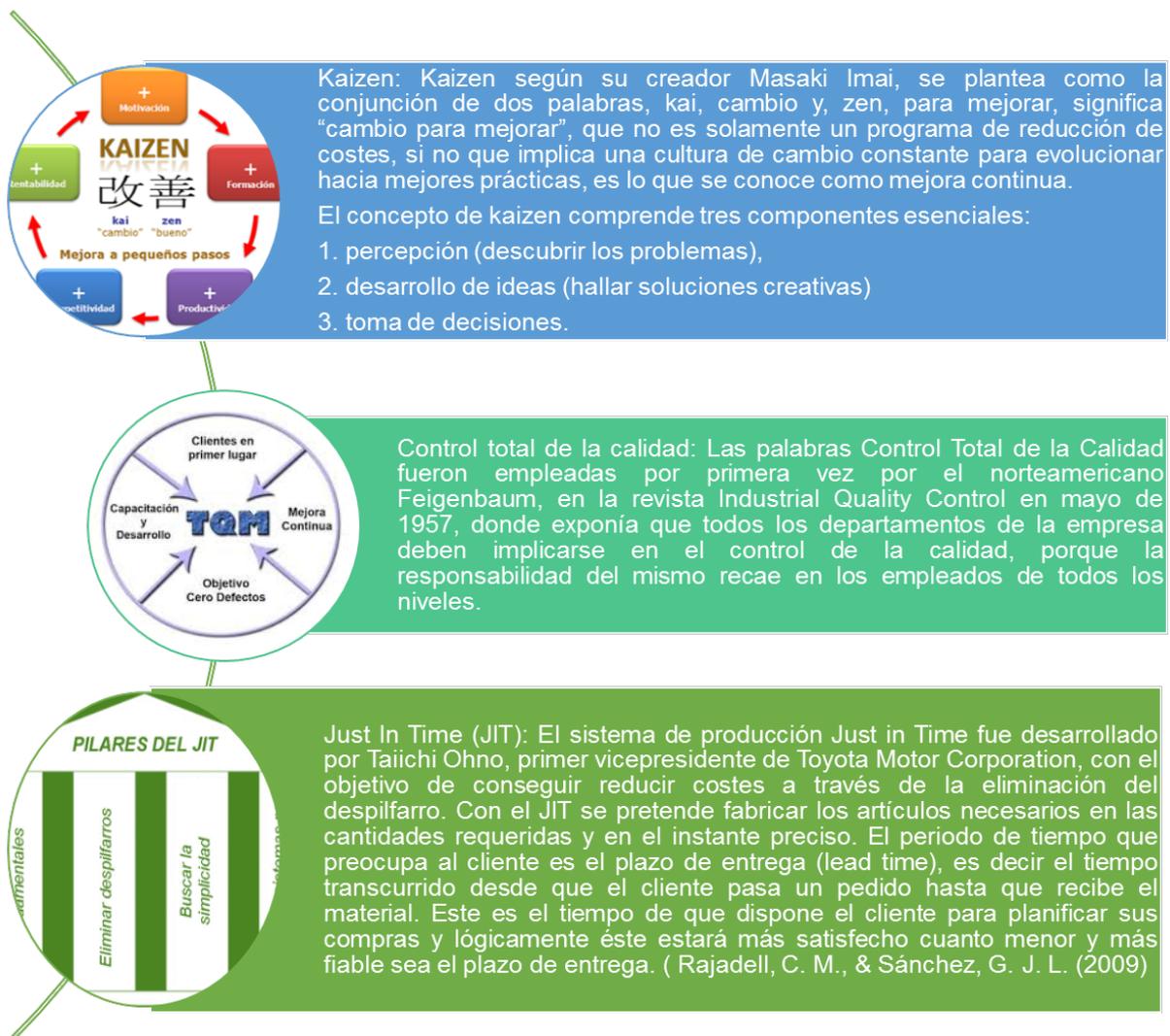


Figura 9. Pilares de Lean Manufacturing

## 2.2.5 Beneficios esperados de la producción esbelta.

Patxi, R. D. (2013) menciona que los beneficios esperados de un proyecto lean son:

- **Reducción del lead time.** Reducción del tiempo en que tarda el producto desde que entra el proceso hasta que sale.
- **Reducción de stocks en curso.** Una disminución en el lead time generara una reducción inmediata del stock.

- **Aumento de la productividad.** Aumenta cuando el proceso se vuelve más eficiente obteniéndose más unidades producidas en un tiempo y mano de obra óptimos.
- **Disminución del espacio necesario.** Al implementar *lean* aparece un beneficio, que es el ahorro de espacio que se optimiza al minimizar al menor espacio posible a los que ocupan los procesos.
- **Disminución de los costes de no calidad.** Cuando en una empresa se genera controles en cada etapa del proceso productivo hace que los fallos encontrados en los productos finales disminuyan de manera relevante.
- **Aumento de la flexibilidad.** Implementada la gestión lean y eliminados los despilfarros, el paso siguiente es la introducción de la flexibilidad que permita que, manteniendo el proceso altamente eficiente en todos los aspectos (tiempos de proceso bajos, ausencia de stocks, ausencia de tiempo de paro, equilibrado y productividad elevada), el tiempo de ciclo pueda variar a fin de adaptarlo al takt time.

### 2.2.6 Herramientas Lean, oportunidades de mejora.

Nofuentes, P. S. 2013, menciona a las siguientes herramientas como oportunidades de mejora

#### 1. Las 5S

Gestión visual, estándares y disciplina. Esta herramienta tiene sus inicios en la mejora continua en talleres, se identifica como una técnica que puede ser utilizada en cualquier ambiente de trabajo como oficinas, servicios entre otros. Plantea el hecho de que no es posible trabajar adecuadamente en un ambiente sucio o desordenado o ambos.

El nombre proviene de iniciales en japonés y consiste en:

- Organización: eliminar y separar lo innecesario,
- Orden: un lugar para cada cosa o elemento,
- Limpieza: un puesto de trabajo debe estar en buenas condiciones.
- Estandarización: la forma en que se trabaja,
- Disciplina: mantener y respetar lo obtenido.



Figura 10. 5S

## 2. El Poka-Yoke.

Significa Evitar (*yokeru*) errores sin intención (*poka*). Hay múltiples causas que pueden generar un error: desconocimiento, olvido, inexperiencia, malentendidos, etc.

Al aplicar esta técnica genera un cambio en las tareas repetitivas o acciones que dependen de la vigilancia, inspección de los trabajadores liberándolos de ellas, para así dedicar el tiempo a la búsqueda de actividades de valor agregado (Nofuentes, P. S. 2013,).

Se debe generar la idea de que los errores son inevitables, pero los defectos deben prevenirse. Incorpora sistemas de control desde el inicio de la

producción, prestación del servicio, así como elementos que previenen los errores incluidos también en los equipos utilizados. Durante el proceso puede llegar a pararse la actividad al detectar un defecto para evitar que este continúe aguas abajo.

El poka joke:

- Refuerza la aplicación de los procedimientos estándar.
- Previene el daño en productos/procesos.
- Previene el daño en la maquinaria/ sistema.
- Identifica o para un proceso si se produce un defecto.
- Elimina la variación.

### **3. AMFE (Análisis Modal de Fallos y Efectos)**

Se aplica para el diseño, el proceso o el desarrollo de requisitos de manipulación de materiales. Se analizan los modos de fallos potenciales y se definen las causas y los efectos de cada posible fallo. Para cada causa se valora:

- Gravedad del efecto del fallo. (G)
- Probabilidad de ocurrencia del fallo. (O)
- Probabilidad de no detectar de la causa/modo del fallo.(D)

Se calcula el NPR (Número de Prioridad de Riesgo), multiplicando la gravedad del efecto de fallo, por la ocurrencia del fallo y por la probabilidad de detección del fallo. Para realizar acciones correctivas se priorizan aquellas causas que tenga un mayor NPR.

Posteriormente se hace un seguimiento y se vuelve a valorar, para comprobar si efectivamente el riesgo ha disminuido y tenemos un servicio más fiable.

#### 4. TPM(Mantenimiento Productivo Total)

TPM, es un enfoque compartido por todas las funciones de la empresa para la mejora continua de la calidad del producto, la eficiencia, la capacidad, la disponibilidad y la seguridad. Significa la involucración del empleado. La característica diferencial es la redistribución de tareas, especialmente el preventivo, que incrementa la responsabilidad del operador sobre el funcionamiento del equipo. El personal de mantenimiento pasa a tener una función de diagnóstico y de especialista. Los cinco pilares del TPM son:

- El mantenimiento autónomo (AM).
- La mejora de las instalaciones (OEE).
- La mejora focalizada (FI).
- Prevención del mantenimiento (PM)
- Educación y formación.

#### 5. Cambio rápido de utillaje (SMED)

Es una herramienta eficaz para reducir los tiempos de preparación de máquinas y de cambio de útiles que se invierte en realizar un cambio de formato. El tiempo *Set-Up* es el que transcurre entre la producción de las últimas variables de salida del lote precedente y la primera del lote posterior. El tiempo de cambio de molde en Toyota, pasa en unos años de 8 horas a 3 minutos. Esta herramienta es útil por ejemplo para los cambios de tipo de intervención en un quirófano.

El Smed permite:

- Producir en lotes pequeños.
- Producir sobre pedidos reales y no sobre previsiones.
- Eliminación de inventarios.
- Estandarizar las acciones a realizar para hacer el “*set-up*”.

## **2.2.7 Herramientas Organizativas y Técnicas**

### **1. Proceso de preparación de la producción (3P)**

Su utilidad está en diseñar sistemas productivos que aseguren la mejor calidad del producto, en la cantidad requerida, cuando el mercado lo pide y al coste correcto. Se han de eliminar la muda en los flujos que afectan las actividades productivas (flujos de operaciones, de materiales, de las informaciones, de la calidad, de los utillajes y de las máquinas).

### **2. Spaghetti Chart**

El rediseño de los desplazamientos, organización del trabajo, permite obtener disminuciones muy sustanciales en los metros y tiempo que el personal pasa desplazándose.

### **3. Sistema Pull**

Es un método para controlar el flujo de recursos mediante la reposición de aquello que ha sido consumido. Una fase de trabajo (cliente) aprovisiona los materiales que necesite de la fase anterior (proveedor). El objetivo de la fase proveedor es producir lo que se ha consumido por la fase siguiente (cliente). La definición de estándares es el éxito del trabajo Pull.

### **4. Kanban**

Es una tarjeta o señal visual que regula la producción "Pull" en el sistema, mandando una señal "aguas arriba" que inicia una producción o una entrega. El kanban es un sistema sencillo y visual que transfiere el control a producción. Tiene una serie de reglas que se han de respetar

para que funcione correctamente (por ejemplo, no suministrar nunca material defectuoso).

### **5. Producción equilibrada, *Heijunka*.**

Es el alisado de la producción en volumen o en mix para un periodo de tiempo dado. Con este sistema los productos no son directamente fabricados según las necesidades del cliente, sino que los volúmenes son tomados sobre un período de tiempo dado y alisados para asegurarse de fabricar cada día la misma cantidad y el mismo mix. Nivelada demanda y producción. Como ventajas están la gestión más fácil de los recursos humanos, evitar horas extras y horas ociosas, estabilidad en los proveedores o programas previsible de fabricación.

### **6. Automatización inteligente, *Jidoka***

La automatización inteligente permite que un único trabajador supervise el trabajo de varias máquinas. Separa los ciclos de trabajo de la persona y de la máquina. Utiliza la gestión visual.

## **2.2.8 Otras herramientas para la mejora continua**

La mejora continua debe apoyarse en la utilización de todos los niveles de un enfoque metodológico estructurado. A continuación, se representa un enfoque sistemático para la mejora y contrastado mundialmente.

### **1. Análisis de la causa raíz.**

Método orientado a solucionar problemas, al identificar la causa de estos. Combina diferentes técnicas con el fin de eliminar la causa origen de un problema determinado. Se aplica a cinco áreas fundamentalmente:

- Seguridad, análisis de accidentabilidad y seguridad e higiene.
- Producción, control y prevención de errores y defectos en procesos.
- Procesos, control y prevención de errores y defectos en procesos transaccionales.
- Fallos, análisis de fallos y efectos. Sistemas, gestión del cambio, del riesgo y análisis de sistemas.

Como técnicas asociadas tenemos: 5 porqué, AMFE, análisis de Pareto, diagrama de Ishikawa, análisis de árbol de fallo, inferencia Bayesiana, entre otras.

## **2. Matriz en X**

Es una herramienta muy útil para que, de forma resumida en una página, podamos conocer cualquier proyecto que estemos realizando. En la misma se muestran las áreas de mejora, las acciones a desarrollar, los objetivos a conseguir y una valoración económica. También se observan las interrelaciones entre estas cuatro áreas e incorpora una planificación de tiempo para realizar el proyecto.

## **3. Hoja A3**

Herramienta muy utilizada para cualquier tipo de problema o proyecto. En una hoja DIN A3 tenemos toda la información del problema: Descripción y datos actuales, objetivos previstos, causas del problema, propuestas y plan de acción y el seguimiento 30/60 días.

### **2.2.9 Mapa del Flujo de Valor (*Value Stream Mapping*)**

Rajadell, C. M., & Sánchez, G. J. L. (2009), define al VSM como un instrumento original y muy potente para ver los procesos con valor agregado y despilfarro. El flujo de valor es un conjunto de acciones o actividades necesarias para producir un producto/servicio a través de un flujo, desde el inicio del proceso hasta la entrega al usuario. En la figura 11 de plantea un ejemplo de un VSM.

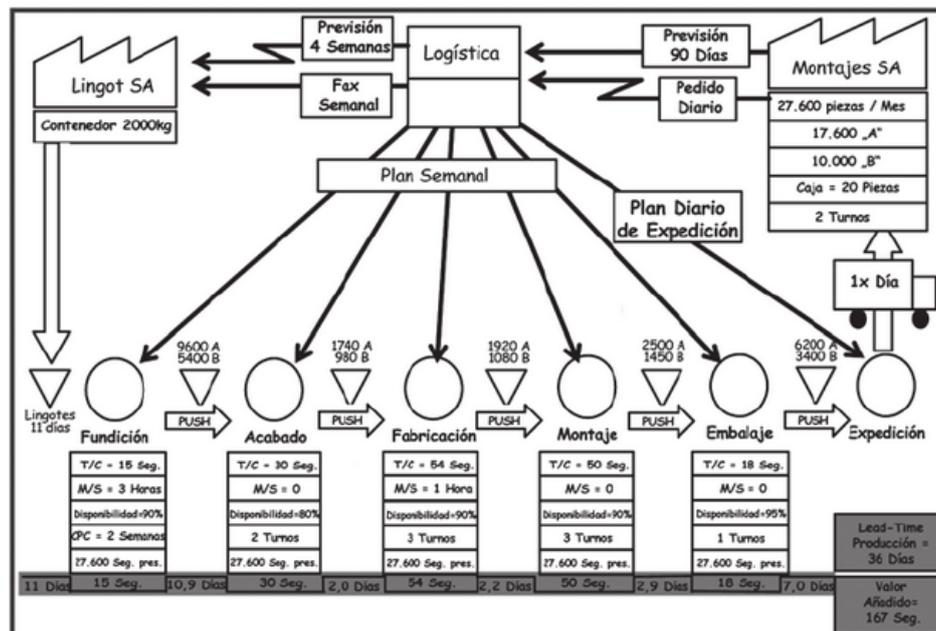


Figura 11. Mapeo de flujo de valor VSM, Tomado de Rajadell, C. M., & Sánchez, G. J. L. (2009).

El VSM se ejecuta en dos fases:

- Definir gráficamente cómo fluye hacia el estado actual del servicio, asemejando cada fase a fin de que llegue al interesado.
- Representar el estado futuro de la manera que se quisiera que vaya el proceso, eliminando los desperdicios presentes en el estado actual.

### 2.2.9.1 Simbología para el VSM

A fin de establecer el VSM se presenta un sistema de símbolos que permiten representar todos los procesos encontrados en un sistema productivo (Rajadell, C. M., & Sánchez, G. J. L, 2009).

Se presenta en la figura Figura 12, la simbología definida para flujo de materiales.

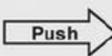
Símbolos del Flujo de Materiales	 Operación de Valor Añadido	 Operación de Control	 1000 piezas 1,3 días Material Parado	 Movimiento de Materiales Empujado
 Movimiento de Material Tirado	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">             T/C: 65 seg.              C/S: 400 seg.              2 Turnos              OEE: 60%           </div> Datos de Proceso	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">             máx. 30 Piezas              —FIFO—           </div> Flujo de Materiales en Secuencia	 Localizaciones Externas	
<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">             Viernes &amp; Miércoles           </div>  Transporte por Camión	 Transporte interno	 Supermercado		

Figura 12. Simbología de flujo de materiales. Tomado de Rajadell, C. M., & Sánchez, G. J. L. (2009).

Una vez representado en mapa con la situación actual del flujo de materiales, se debe definir la información de los clientes, el proceso productivo y los proveedores. Hay que establecer si la comunicación es por vía electrónica o física. La simbología que se utiliza para la identificar el flujo de la información se presenta en la Figura 13.

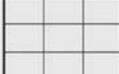
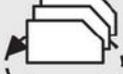
Simbolos del Flujo de Información				
	Flujo de Información Manual	Flujo de Información Electrónico	Plan de Producción	Caja de Nivelado
				
	Kanban de Lote de Producción	Kanban de Movimiento	Kanban de Producción	Movimiento de Kanban en Lote
				
	Secuenciador	Ajustes "Informales" del Plan de Producción		

Figura 13. Simbología de flujo de información, Tomado de Rajadell, C. M., & Sánchez, G. J. L. (2009).

### 2.2.9.2 Representación gráfica del VSM

Obtenido los datos iniciales se procede a graficar el mapa de la siguiente manera:

- Se dibuja un cuadro de datos debajo del ícono del cliente y se anotan todos los requisitos o condiciones. Debe incluir las necesidades mensuales y diarias de cada producto y la cantidad de contenedores necesarios por día (Rajadell, C. M., & Sánchez, G. J. L., 2009).
- Las frecuencias de los camiones deben registrarse con precisión en las frecuencias de entrega.
- Colocar las diferentes operaciones indicadas en la hoja "Análisis del flujo del proceso". Junto con todos los datos numéricos que se han obtenido. Cada proceso está representado por un icono, que está etiquetado y se dibujan cuadros para los datos debajo de cada icono de proceso (Rajadell, C. M., & Sánchez, G. J. L., 2009).
- Una vez representados todos los procesos con sus respectivos datos numéricos, se añade el flujo de información, tanto electrónica como manual. (Rajadell, C. M., & Sánchez, G. J. L., 2009).
- Se dibujan los iconos de inventarios donde estos aparecen.

- Se anotan todas las cantidades y obtiene el mapeo deseado.

### 2.2.10 Lean six sigma(LSS)

Jiménez & Amaya, (2014); proporciona una metodología para la implantación de LSS, que está compuesto de cuatro fases y estas son: Preparación, Identificación, Ejecución y Evaluación. La fase de la metodología se puede ver en la Figura 14 y a continuación se desarrollará cada una de ellas.

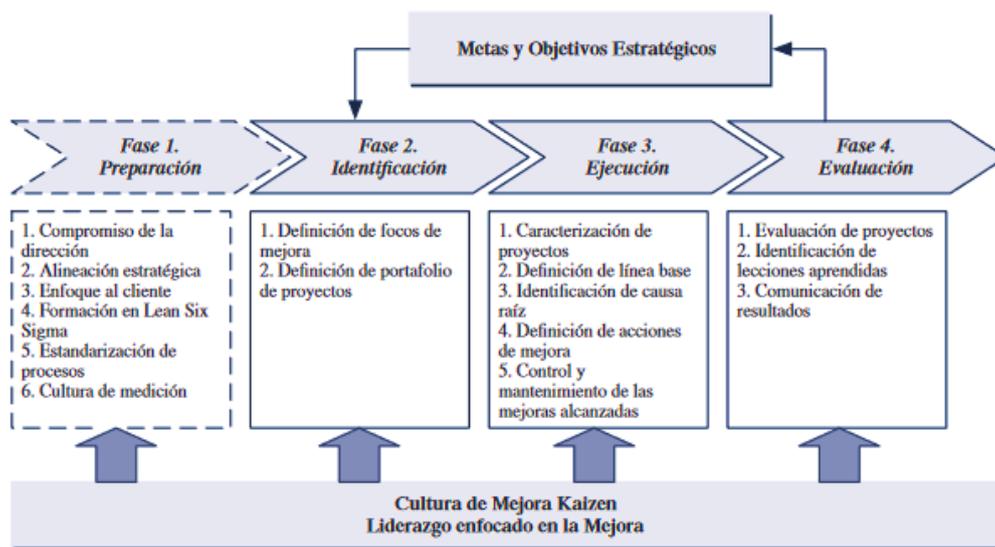


Figura 14. Implementación LEAN SIX SIGMA

#### 2.2.10.1 Preparación.

La organización debe impulsar una serie de acciones que garanticen el cumplimiento de las características o condiciones necesarias para implementar con éxito la metodología (Jiménez & Amaya, 2014).

A continuación, en la Figura 15 se detalla las condiciones necesarias para iniciar un proyecto lean six sigma.



Figura 15. Condiciones iniciales de un proyecto LSS

### 2.2.10.2 Identificación

La organización debe tomar la decisión para dar el enfoque de los proyectos LSS. Se deben definir las oportunidades de mejora y crear con esa información una cartera de proyectos, del cual saldrán la mejor propuesta para iniciar con la siguiente etapa. A continuación, se presenta las dos etapas de identificación:

- Identificación de oportunidades de Mejora
- Definición de un Portafolio de Proyectos: para la obtención de las oportunidades de mejora se debe:
  1. Identificar posibles proyectos.
  2. Evaluar los proyectos previamente identificados.

### 2.2.10.3 Ejecución

La organización ejecuta y da seguimiento a los proyectos previamente seleccionados, para esto se utiliza como base la metodología DMAIC de Six Sigma y las herramientas de la Manufactura Esbelta (Jiménez & Amaya,2014).

#### **Etapa 1.**Definir

Esta fase comprende básicamente tres actividades:



Figura 16. Actividades fase definir.

## Etapa 2. Medir

La toma de decisiones y el diseño de estrategias de mejora se enfoca en la información y datos generados. Las actividades en esta etapa son:

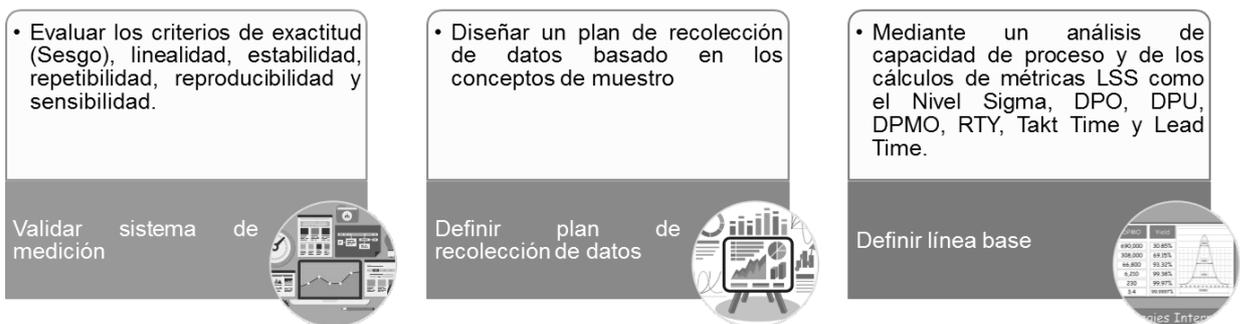


Figura 17. Actividades fase Medir.

## Etapa 3. Analizar

Para identificar la causa raíz primero se debe identificar las causas potenciales para después validar dichas causas la ayuda de métodos estadísticos y análisis por los equipos de trabajo, finalizando al definir las causas que tienen mayor impacto sobre el problema (Felizzola Jiménez & Luna Amaya, 2014).

A continuación, presentan las actividades claves:

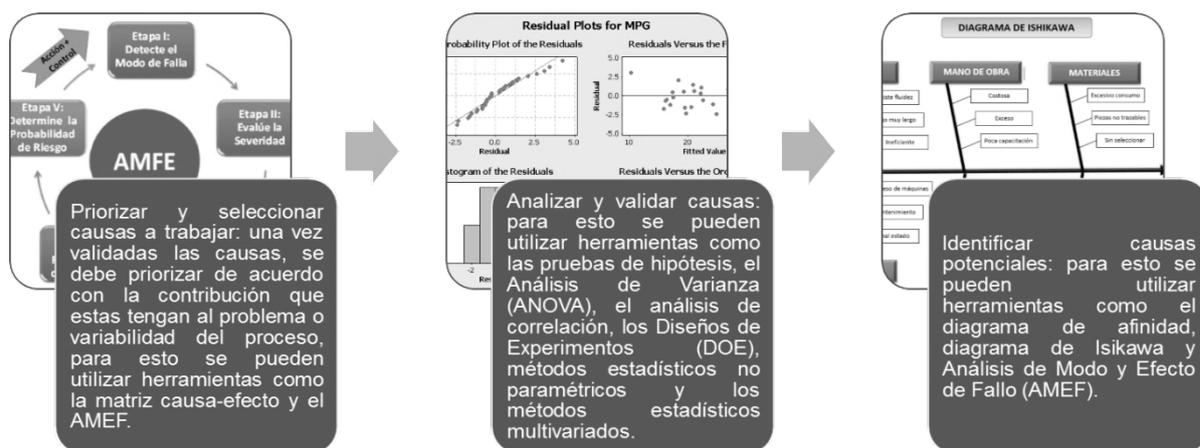


Figura 18. Actividades Fase Analizar.

#### Etapa 4. Mejorar

Tomado en cuenta la causa raíz identificada en la etapa anterior, se debe definir acciones específicas para dar solución al problema y alcanzar el objetivo propuesto con el desarrollo del proyecto.

En este punto las herramientas de Manufactura Esbelta cumplen un papel fundamental porque permiten analizar y diseñar soluciones. Al final, todas las acciones se deben consolidar en un plan piloto en el que se pueda dar seguimiento y control (Felizzola Jiménez & Luna Amaya, 2014).

Las actividades claves en esta etapa son:

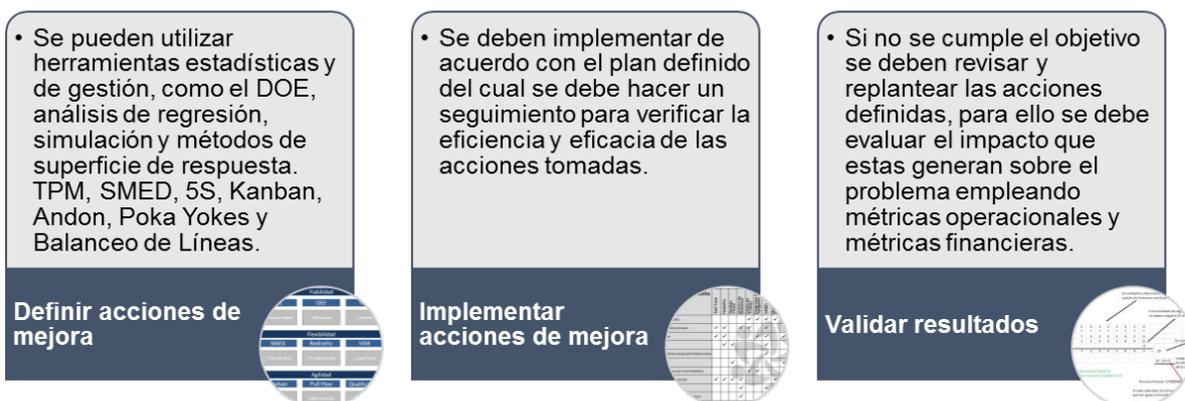


Figura 19. Actividades Fase Mejorar.

## Etapa 5. Controlar

Se necesita estandarizar los todos los cambios implementados en la etapa de mejora. Es importante documentar los procesos o procedimientos modificados, y para esto se puede utilizar el enfoque dela calidad a través de la ISO 9001 (Felizzola Jiménez & Luna Amaya, 2014).

Adicionalmente se deben diseñar mecanismos para garantizar que los cambios y mejoras alcanzadas se mantengan a lo largo de tiempo, con el fin de darle continuidad más allá del cierre del proyecto (Felizzola Jiménez & Luna Amaya, 2014).

Las actividades de relevancia de esta etapa son:

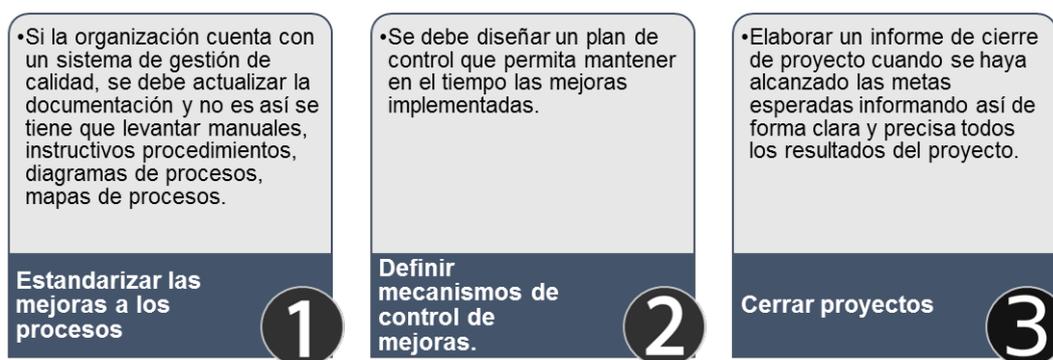


Figura 20. Actividades Fase Controlar.

### 2.2.10.4 Evaluación

La evaluación de los resultados permite identificar nuevas oportunidades de mejora y lecciones aprendidas que pueden generar de nuevos proyectos LSS.

Un punto importante a tratar esta última etapa es evaluar los resultados de los proyectos teniendo en cuenta el grado de cumplimiento de los objetivos, impacto financiero, impacto en los producto, eficiencia y productividad de los procesos y la satisfacción de los clientes (Felizzola Jiménez & Luna Amaya, 2014).

Y otro punto se refiere a la retroalimentación y evaluación de cada proyecto a fin de evitar la reincidencia en equivocaciones de anteriores proyectos (Felizzola Jiménez & Luna Amaya, 2014).

### 2.2.11 Losa alveolar

La losa alveolar, es un elemento superficial plano de hormigón pretensado con canto constante y aligerado mediante alveolos longitudinales que, en la ejecución de la estructura, ofrece la máxima economía de materiales, mano de obra y tiempo, que se traduce en una importante reducción de costes en esta fase (ANDECE, 2010).

En la Figura 21 se establece los tipos de losas que se produce.

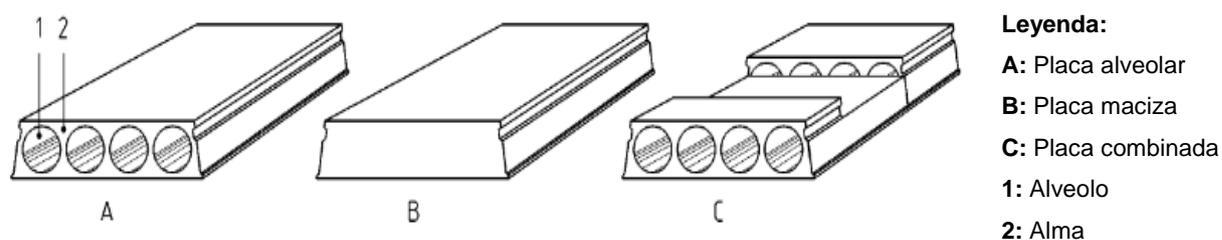


Figura 21. Placa Alveolar

- Placa maciza: Placa alveolar en la que durante la fabricación no se realizan huecos. Esta placa se fabrica de la misma forma que las placas alveolares con huecos.
- Placa combinada: placa alveolar que tiene parcialmente una sección transversal maciza el canto de la sección transversal puede variar por encima de la longitud del elemento
- Alveolo: hueco longitudinal producido por técnicas específicas de fabricación industrial (ANDECE, 2010).
- Alma: parte vertical de hormigón entre dos alveolos adyacentes o almas intermedias. (ANDECE, 2010)

El sistema para losas huecas pretensadas resiste un peralte bajo, fácil de manejar y flexible para soportar instalaciones colgantes. Este sistema de se vuelve cada vez más popular en los países desarrollados. El fácil almacenamiento, montaje, la reducción de tiempos, costos de edificación y la capacidad de aislamiento térmico son factores determinantes para el incremento en la demanda del producto en el país.

#### **2.2.11.1 Fabricación de losas alveolares.**

Según Héctor Saura Arnau, 2015, plantea la siguiente descripción del proceso productivo de losas alveolares.

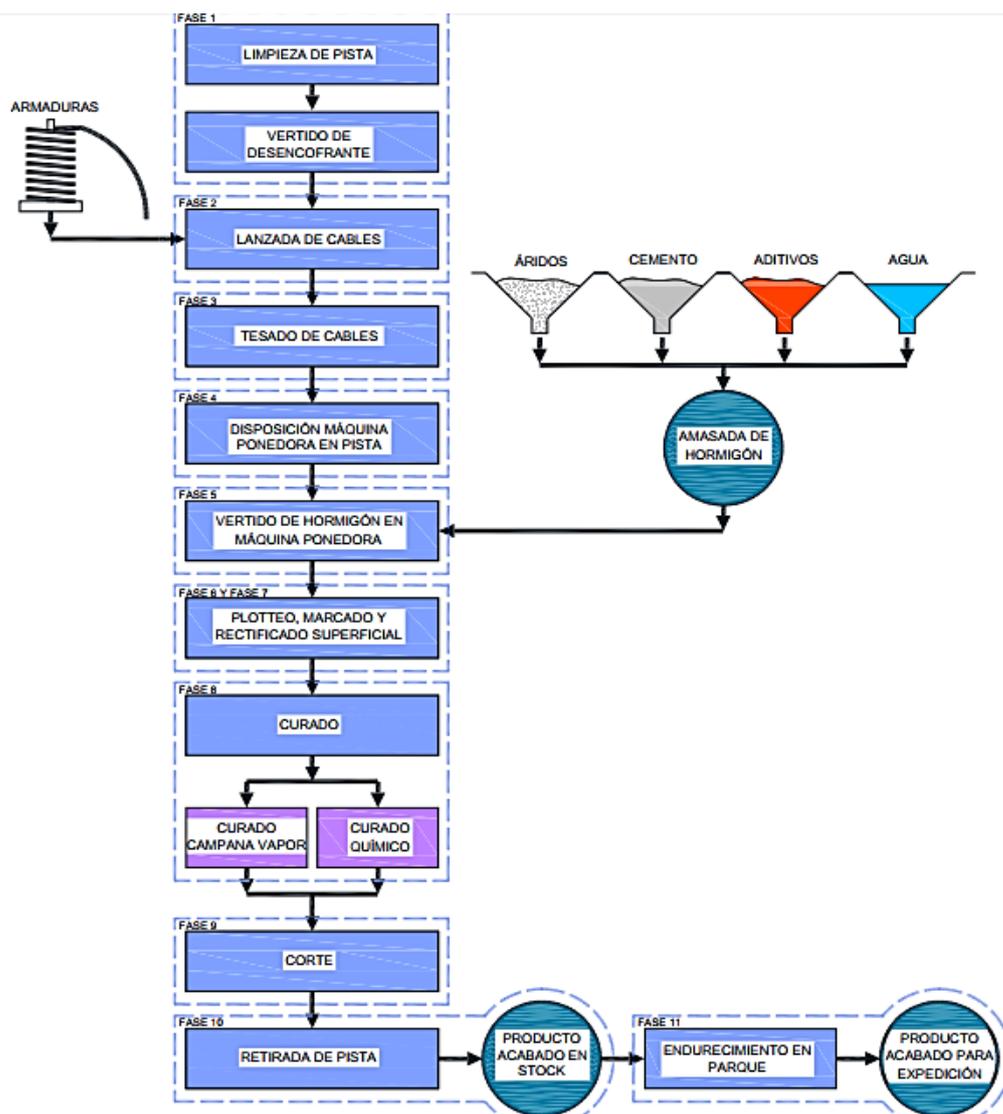


Figura 22. Proceso de fabricación de losas. Héctor Saura Arnau, 2015.

Las placas alveolares pretensadas se confeccionan en pistas de fabricación de 110 metros lineales o más. En esta primera fase se preparan las pistas limpiando las mismas, una vez limpia se dispone sobre la pista aceite desencofrante (Arnau, 2015).

### 1. Disposición de los cables.

Se disponen en las cabeceras de la pista el patrón de armado, a través del que se lanzan los cables y tranzas, llevándolos hasta el final de la pista, siendo los mismos generalmente de ida y vuelta. (Arnau, 2015, p. 163)

## **2. Tensado de cables.**

Los cables se disponen en una pista, son tesados generalmente de forma simultánea, aunque se puede realizar esta operación de forma individual cable a cable. Una máquina de tesado es la que permite la realización de esta operación. (Arnau, 2015, p. 163)

(Arnau, 2015) Menciona que el desplazamiento de este equipo se realiza de forma transversal a la pista. Una vez tensados los cables, estos se anclan en las plantillas de las cabeceras a través de cuñas de anclaje por penetración.

## **3. Disposición en pista de la máquina deslizante.**

Se sitúa en la cabecera de la pista la máquina la cual descansa sobre la pista de hormigón con la geometría transversal de placa. (Arnau, 2015, p. 165)

## **4. Transporte del hormigón.**

El hormigón necesario para generar la placa, se fabrica en la central de hormigonado de la planta, que se encuentra por regla general situada en el lateral de las pistas. Para alimentar la máquina deslizante, se desplaza el hormigón con canastas desde la central de hormigonado hasta la tolva de alimentación de la propia máquina. (Arnau, 2015, p. 166)

## **5. Ploteo y marcado.**

Se marcan todos los huecos y aperturas que se van a realizar en las placas, así como los puntos donde se deben cortar las placas. En esta fase también se disponen en cada placa sus datos identificativos, para una correcta trazabilidad de esta (Arnau, p. 167). Existen máquinas de ploteo que realizan estas operaciones de forma automatizada, teniendo las mismas un desplazamiento a lo largo de la pista. Una vez dispuesto todo el hormigón a lo largo de la pista, y estando el hormigón fresco, se

pasa a realizar las llaves de corte. Estos huecos se pueden realizar a mano o bien con una máquina. (Arnau, 2015, p. 167)

#### **6. Curado.**

Dependiendo de los requerimientos necesarios, puede ser requerido el curado del hormigón se lo realiza en por transferencia de calor de las pistas calefactadas, con el fin de controlar la pérdida de humedad y la temperatura del hormigón. (Arnau, 2015, p. 167)

#### **7. Corte de la losa en la pista.**

Una vez alcanzada la resistencia mínima requerida en el hormigón para poder extraer y manipular las placas de las pistas, se cortan los cables en las cabeceras y se procede al corte de las placas. (Arnau, 2015, p. 168)

#### **8. Extracción de losa y disposición en acopio.**

Después de cortar, las placas son retiradas con pinzas, y dispuestas sobre sistemas de apilamiento, para retirarlas del interior de la nave. El siguiente paso es su disposición en el patio de producto terminado que se encuentra generalmente al aire libre. (Arnau, 2015, p. 168)

#### **9. Despacho de losas.**

Contempla todas las operaciones que inciden sobre la placa desde su retirada patio de producto terminado, transporte y disposición en obra. (Arnau, 2015, p. 169)

## **Capítulo III. Aplicación de la Metodología DMAMC: Situación Actual**

Se presentará en este capítulo la descripción detallada de los pasos a seguir para metodología DMAMC, que está conformada por los siguientes elementos: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar. Mismo a ser aplicada en el proceso de prefabricados de la Empresa Pública Cementera del Ecuador, en la fabricación de losas alveolares.

### **3.1 Selección del Proyecto**

Es la primera fase de la metodología la cual se enfoca en las oportunidades de mejora dentro del proceso productivo de la línea fabricación de losas alveolares, se refiere a establecer los requisitos del cliente, entender cuáles son los procesos afectados y su alcance.

El proyecto surge por la identificación de tiempos muertos, desperdicio y presencia de defectos en el producto en proceso y terminado. Debido a que el producto es nuevo en el mercado la empresa busca lo mejor para sus clientes. La situación actual de la empresa requiere la creación de un proyecto que solucione la problemática.

El plan del proyecto LSS, fue presentado en reunión a la coordinación de prefabricados generándose un gran interés en la propuesta y la aceptación de esta. El proyecto tiene una duración de 6 meses.

#### **3.1.1 Estimación de los Costos.**

Al definir los costos se basó en la cantidad de producto no conforme que se genera por mes, así como la producción mensual, el desperdicio de hormigón y el costo de este. La sobreproducción de hormigón genera un costo

representativo y que es objeto de análisis, no influye directamente en la disminución de producto no conforme, pero aporta al costo de la producción. Generar producto no conforme es crítico para la empresa debido a que no se puede tomar acciones como reprocesar o realizar concesión, debido a que las especificaciones de las losas para el proyecto no pueden variar ya que son únicas para cada proyecto y se lo deposita en la escombrera.

El costo de fabricar un metro cuadrado de losa es de 75\$, este valor se toma como referencia para calcular el costo de desperdicio generado por mes.

Para aproximarnos al cálculo real, se ha considerado un resultado promedio mensual de los defectos encontrados en las losas y por ende producto no conforme, se definió 3,8% producto no conforme por mes.

En la tabla 1, se muestran los rubros considerados para estimar los costos de calidad.

*Tabla 1.*

*Costos de calidad situación actual.*

Costo de losa por m <sup>2</sup> (\$/m <sup>2</sup> )	Producción Mensual (m <sup>2</sup> )	Producto no conforme	Costo de m3 de hormigón (\$/m <sup>3</sup> )	Sobreproducción de hormigón (m <sup>3</sup> )
75	4240	3.8%	94	1.78
			<b>MENSUAL</b>	<b>ANUAL</b>
	<b>Costo desperdicio producto no conforme (\$)</b>	US\$12,084.00	<b>US\$108,756.00</b>	
	<b>Costo de sobreproducción de hormigón (\$)</b>	US\$167.32	<b>US\$1,505.88</b>	

Es de vital importancia mencionar que los costos expresados en la tabla 1, son una estimación de los datos requeridos para el proyecto y únicamente nos una idea de la extensión del problema.

## **3.2 Definir**

En esta etapa se debe definir los focos de mejora, las características críticas de calidad de la losa alveolar, el equipo y alcance del proyecto. Este es un informe en el cual detalla de manera general el proceso que se va a mejorar, de manera que la Dirección de la empresa obtenga una idea sobre los beneficios económicos que se puede adquirir a lo largo de la implementación de la metodología en dicho proceso.

Para mejorar la productividad en la línea de losas alveolares, el proyecto se enfocará en minimizar los defectos del producto, identificando las causas de tales defectos y las soluciones para las mismas.

### **3.2.1 Definición de las Características Críticas**

Uno de los puntos fundamentales en la etapa Definir, es el entendimiento de que afecta y es crítico para la calidad del producto, es indispensable identificar las variables de entrada o variables del proceso con las cuales se relaciona (Mena Arrata, 2013)

Estas se denominan críticas para la satisfacción CTS (*critical to satisfaction*), y son el conjunto de características que hacen que el cliente quede totalmente satisfecho. En la siguiente figura se puede observar un diagrama de árbol el cual permite identificar los CTQ (*critical to quality-característica*) las claves para los clientes.

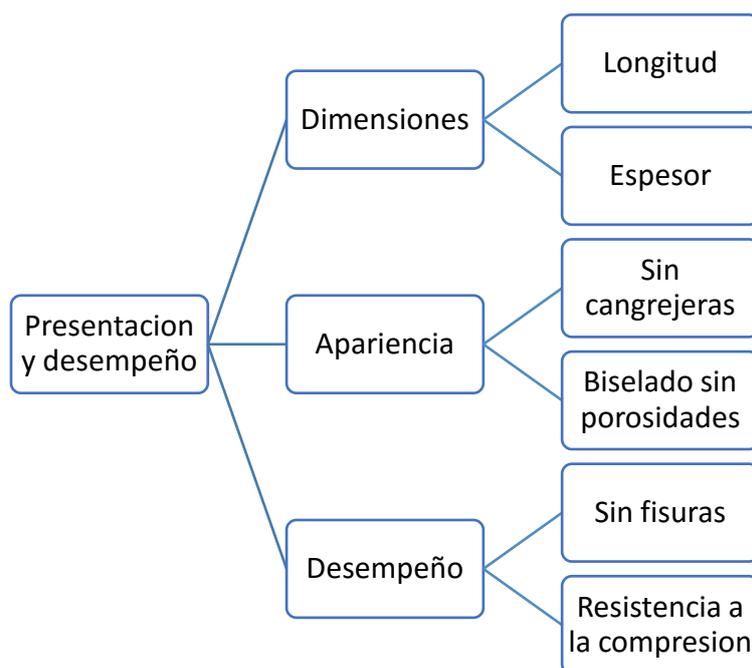


Figura 23. Definición de características críticas

Para determinar las características más relevantes de debe priorizar los criterios, Índice de importancia del cliente (IIC); y el Grado de no conformidad(GNC). El producto de estos valores corresponde al índice de prioridad. La escala de valoración fue la siguiente:

Tabla 2.

*Priorización de criterios.*

ICC	GNC
Mucho poco importante =1	Muy bajo =1
Poco importante = 3	Bajo = 3
Medianamente importante = 5	Medio = 5
Importante=7	Alto = 7
Muy importante = 9	Muy alto = 9

A continuación, se detalla el resultado de la aplicación del análisis en la matriz CTS:

Tabla 3.

*Resultado matriz CTS.*

	<b>Características</b>	<b>IIC</b>	<b>GNC</b>	<b>CTS</b>
1	Longitud	9	3	27
2	Espesor	3	1	3
3	Sin cangrejas	7	5	35
4	Biselado sin porosidades	5	3	15
5	Sin fisuras	9	7	63
6	Resistencia a la mecánica	9	1	9

Las características críticas con alto puntaje son:

1. Sin fisuras
2. Sin cangrejas

### **3.2.2 Definición de Parámetros de Desempeño**

A continuación, se detalla los parámetros de desempeño de la losa alveolar:

1. Resistencia mecánica del hormigón
2. Geométrica de losas:
  - Longitud
  - Ancho de placa
  - Canto
  - Alma
  - Ala superior
  - Ala inferior
  - Recubrimiento de hormigón
  - Posición vertical de la armadura sometida a tracción
  - Deslizamiento de cable superior e inferior
  - Medida de la junta
3. Longitud de los cordones salientes de la losa

#### 4. Acero pretensado (modulo elástico)

### 3.2.3 Acta de Constitución de Proyecto

Esta herramienta detalla los aspectos fundamentales y decisivos de todo Proyecto. El acta de constitución de proyecto se puede Ver en el Anexo 1: *Project Charter*, en que se detalla los siguientes aspectos:}

- El alcance;
- Los objetivos:
- Los entregables;
- Los puestos del proyecto (*Stakeholder*, Clientes);
- Asignación de responsabilidades;
- Los planes Financieros, Recursos, Calidad;
- Las consideraciones de riesgos y restricciones.

## 3.3 Medir

La finalidad de esta etapa es recopilarla información que describa la naturaleza y la extensión del problema, caracterizarlo de tal manera que permita identificar potenciales causa de la problemática, para esto se usara herramientas que ayuden a la recolección de información.

### 3.3.1 Diagrama VSM

Con el uso de esta herramienta se logra observar de manera detallada cómo funciona el proceso, cada etapa de este, tiempo de producción y los factores que afectan directamente al proceso. El objetivo principal de esta herramienta es tener una visión clara de los aspectos posibles a mejorar dentro del proceso productivo de losas alveolares.

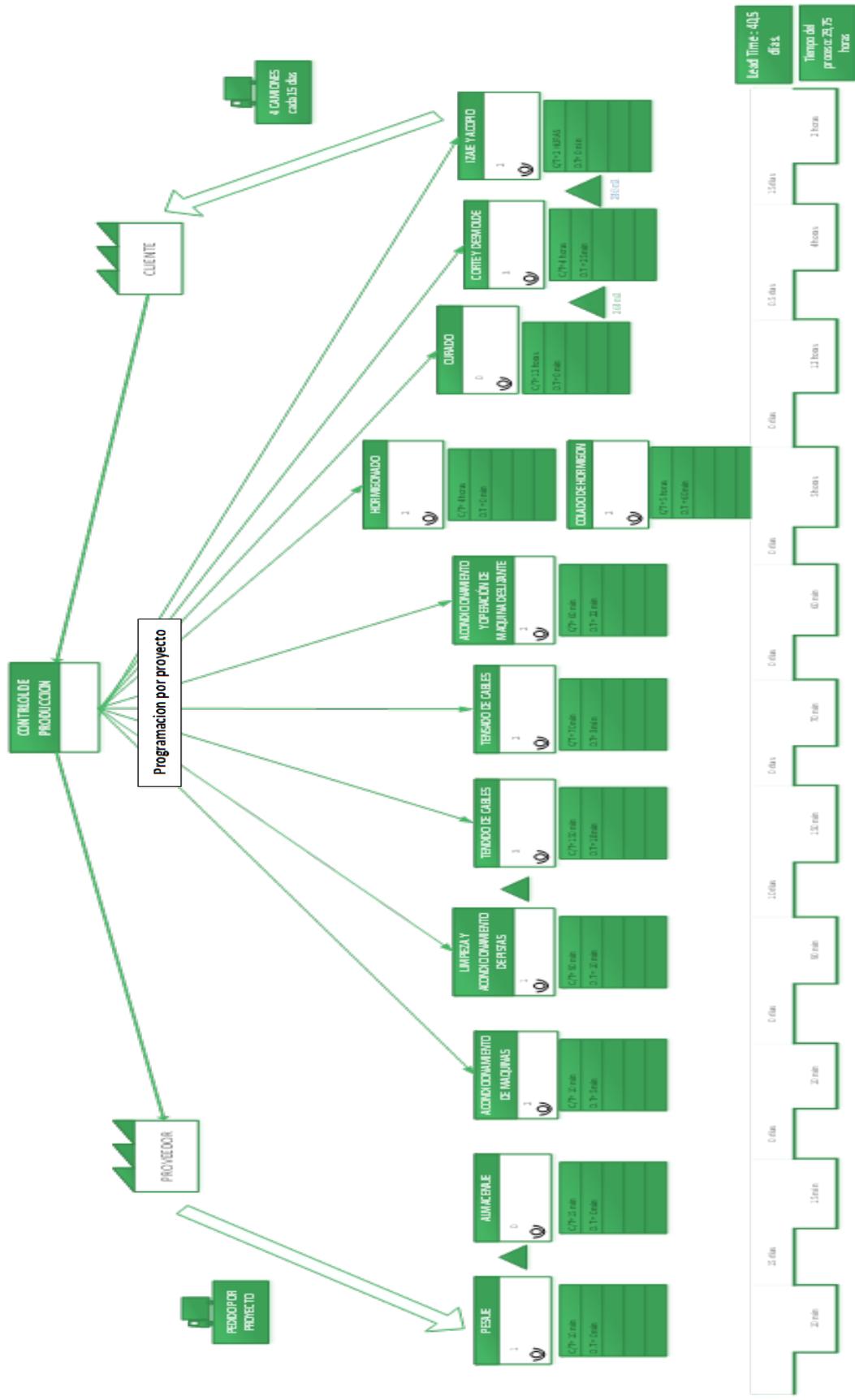


Figura 24. VSM Situación actual

En el mapa de flujo de valor actual de la Figura 24, el proceso tiene un lead time de 40.5 días, el mayor tiempo empleado se encuentra al final de la línea. Además, se determinó el tiempo que agrega valor siendo estas 29,75 horas, se evidencia que en la etapa de tendido de cables no se tiene la herramienta adecuada para el tender varios cables a la vez, ya que el diámetro de las estructuras portables no coincide con el diámetro de los rollos de cable. Para las demás etapas de producción se tiene tiempos no planificados que aumentan el tiempo de producción y generan horas extras.

### 3.3.2 Diagrama SIPOC nivel detallado

#### Caracterización del proceso productivo de losas alveolares.

En la tabla 4, se encuentra la información del proceso indicando cuáles son sus entradas, responsables entre otros.

Tabla 4.

#### *Información Básica SIPOC*

PROCESO	FABRICACION DE PREFABRICADOS: LOSAS
<b>Descripción</b>	<p>PROPÓSITO: Producir Losas Alveolares Pretensadas cumpliendo especificaciones de ingeniería, diseño y calidad.</p> <p>ALCANCE: El proceso abarca desde el control de calidad de materias primas, operación de la maquinaria hasta la entrega de producto terminado "Losas"</p> <p>ENTRADAS:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Programación Diaria</li> <li>• Orden de Trabajo</li> <li>• Materias Primas Insumos</li> <li>• Especificaciones</li> </ul>

---

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Planos de Fabricación</li> <li>• Ficha Técnica</li> </ul>
<b>Productos / servicios del proceso.</b>	<p>Producto Terminado Losas</p> <p>Hoja de Ruta</p> <p>Informe de Producción</p>
<b>Tipo de Proceso</b>	Sustantivo
<b>Responsable del Proceso</b>	<p>Operador Hormigonera</p> <p>Operador de Maquina Multifunción</p> <p>Operador Tensador</p> <p>Operador de Moldeadora</p> <p>Operador de Puente Grúa</p> <p>Técnico de Laboratorio</p> <p>Operador Maquina Cortadora</p> <p>Técnico Ingeniero Civil</p> <p>Técnicos</p> <p>Bodeguero</p>
<b>Políticas</b>	El Producto terminado debe contar con sus Registros de Trazabilidad, Certificado de Análisis y Etiqueta de Liberado.
<b>Referencias</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Normas Instituto Nacional Ecuatoriano de Normalización INEN Hormigones, Áridos y Morteros</li> <li>• Normas INEN 2514 Durmiente Monobloque Hormigón</li> <li>• Norma UNE-EN 1168:2006</li> <li>• Manual de Calidad de laboratorio EPCE</li> </ul>

---

## Glosario De Términos

- **Acondicionar.** -Disponer de una máquina, equipo, condiciones de ambientes para cumplir una finalidad específica.
- **Bachada:** comprende el ciclo de operación de máquina de Hormigonado, 1 ciclo = 1m<sup>3</sup>.
- **Calibrar.** - Graduar una máquina o equipo según una unidad de medida.
- **Desmoldante:** Agente químico que se usa para evitar que de adhiera hormigón al metal, protegiéndolos con su acción impermeabilizante y como inhibidor de corrosión.

- **Operador.** Persona encargada de poner en marcha, regular, mantener, limpiar, reparar o transportar una máquina

### Mapa de interrelación de procesos

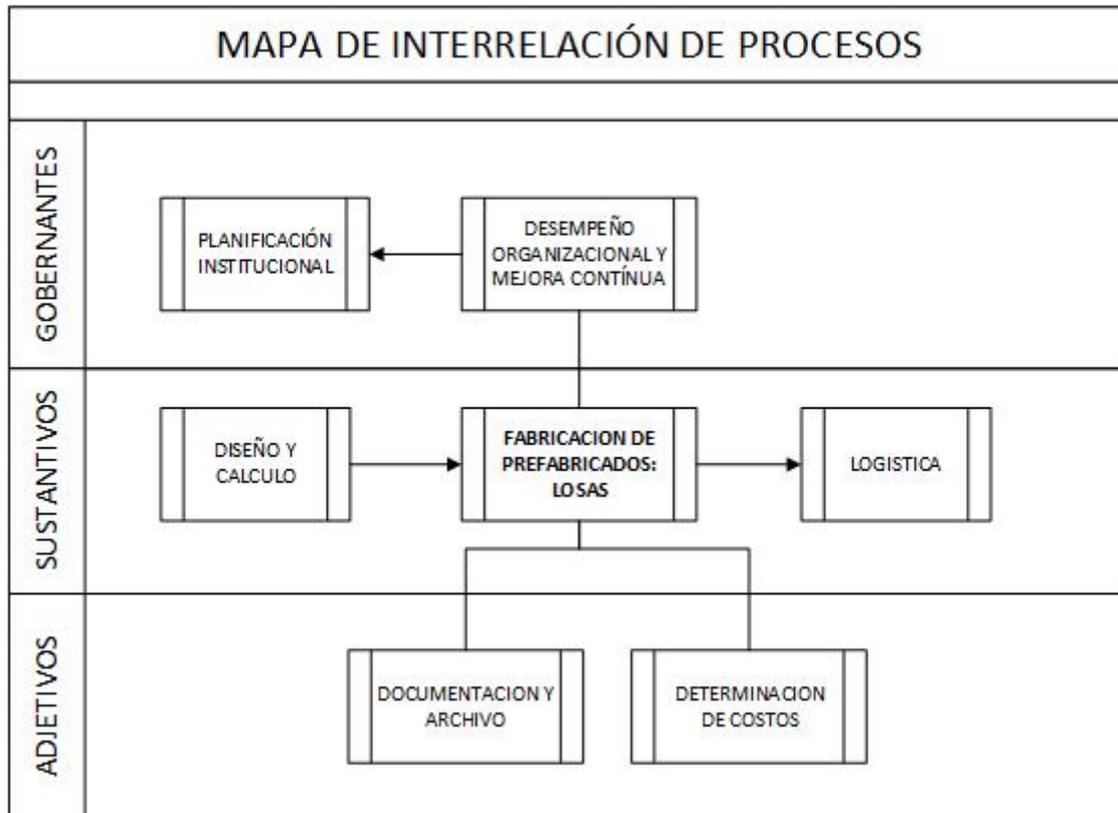


Figura 25. Mapa de interrelación de procesos

### Diagrama de flujo del proceso “SIPOC”



### **3.3.3 Recopilación de datos**

Se utilizaron los siguientes lineamientos para recolectar la información:

- Se medirá la número de defectos en losas de lotes de producto terminado. Se recolectará datos referentes el año 2016.
- La información se obtendrá de los reportes de las inspecciones realizadas por el técnico de control de calidad de enero a noviembre 2016. En observaciones de los registros de inspección de producto terminado se encuentra el número de defectos en las muestras inspeccionadas de cada lote.
- El número de defectos se medirá mediante la inspección final realizada a los lotes de producto terminado por parte del técnico de control de calidad.

Para identificar el tamaño de la muestra se utilizó un muestreo aleatorio definido y el departamento de calidad. A continuación, se detalla los datos recopilados de los registros:

- Tamaño de la muestra: 279
- Numero de oportunidades por defecto de unidad:10
- Numero de defectos observados: 56

### **3.3.4 Definición de métricas para medir el desempeño del proceso.**

Desde que la losa está fabricada hasta que la losa se entrega, sobre camión, en la obra, ésta está sujeta a distintos procesos de desmoldado, manipulación en fábrica, transporte etc. que pueden dar lugar a desperfectos en las piezas prefabricadas.

Tabla 5.

*Definición de métricas de desempeño del proceso.*

	<b>Definición</b>
<b>Unidad</b>	Se considerará como unidad de medición a la losa alveolar
<b>Oportunidad</b>	las oportunidades por unidad serán las CTQ.
<b>Defecto</b>	Losas que no cumplen cualquiera de las especificaciones definidas en los CTQ y los parámetros de inspección de la geometría de la losa.
<b>Métrica</b>	se medirá la cantidad de defectos presentados en una muestra de lotes de producto terminado.

**3.3.5 Determinación del desempeño del proceso y nivel sigma**

Para determinar el desempeño del proceso al definir, a los defectos como variable discreta se plantea utilizar el número de defectos por un millón de oportunidades (DPMO), que es una métrica que expresa el funcionamiento del producto o proceso en base al número de defectos. Elegir la métrica de calidad apropiada ayuda a evaluar el rendimiento de las expectativas del cliente. Adicional a esto es posible crear una línea base los objetivos de mejora.

En el cálculo del DPMO, se consideró todos los defectos identificados en los muestreos del departamento de control calidad durante el período de análisis, así como la cantidad de losas muestreadas. Los cálculos se muestran a continuación en el cual se podrá conocer el indicador DPMO del proceso.

Para calcular el nivel sigma, o capacidad del proceso, se utilizó una calculadora del Nivel Seis Sigma y DPMO. Esta es una herramienta que permite ingresar información sobre los defectos hallados, oportunidades y losas muestreadas a fin de emitir un resultado del nivel sigma del proceso:

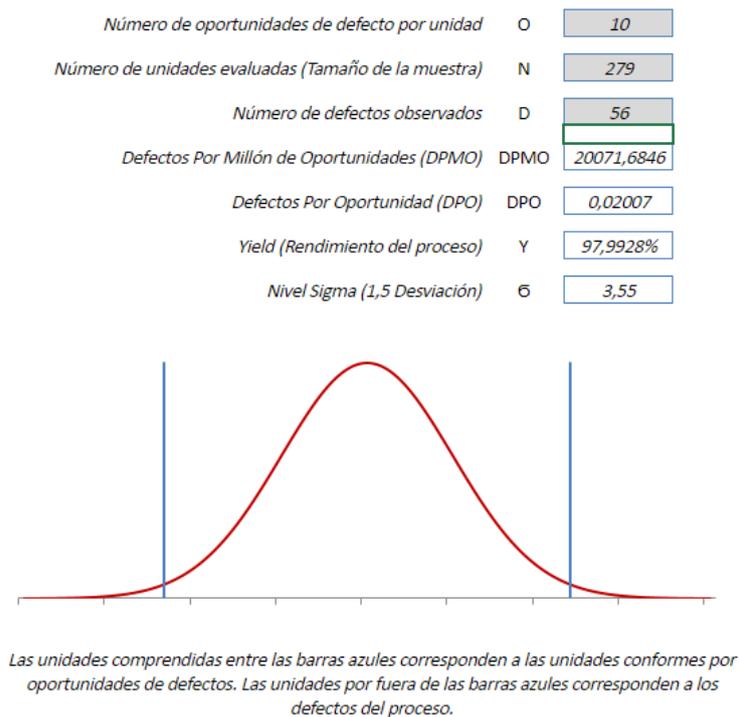


Figura 27.Cálculo del Nivel Sigma y DPMO, IngenieríaIndustrialonline.com.

El estado actual del proceso y la primera aproximación utilizando esta métrica nos da un nivel sigma de 3,55. Se espera una vez implementada la metodología obtener un nivel sigma de 4,5.

### 3.3.6 Análisis del sistema de medición aplicado.

Al proceder con la medición de los procesos, es necesario realizar una evaluación del sistema de medición, con el fin de descartar posibles errores debido a una posible mala identificación de los atributos sujetos a este proceso.

Al ser los defectos de las losas una variable de tipo discreta es indispensable definir la herramienta para evaluar la identificación de los defectos por parte de los técnicos y ayudantes de control de calidad, que realizan la tarea de inspección de producto terminado.

Para validar el sistema de medición se utilizó las Estadísticas Kappa de Fleiss.

Kappa mide el grado de concordancia de las evaluaciones nominales u ordinales realizadas por múltiples evaluadores cuando se evalúan las mismas muestras (Mena Arrata, 2013).

El coeficiente kappa refleja la concordancia entre observadores y puede ser calculado en tablas de cualquier dimensión, siempre y cuando se contrasten dos observadores, para la evaluación de concordancia de tres o más observadores se utiliza el coeficiente kappa de Fleiss (Mena Arrata, 2013).

El objetivo de este estudio es identificar si el técnico de control de calidad y los ayudantes de control de calidad tienen el criterio de clasificación adecuado, es decir, si encontraron losas con defectos, efectivamente esa losa tiene defecto.

Para el análisis, se tomaron 10 losas con defecto y 10 sin defecto, fueron enumerados de 1 a 20 para llevar control del estándar correcto. A cada evaluador se le llevo al acopio de producto terminado, se explicó la actividad a ejecutar con las muestras seleccionadas para que emitan su criterio final, si la losa tiene defectos se la identificara como No conforme y si no tiene defectos se identifica como Conforme. A continuación, se detalla el análisis realizado ingresando los datos obtenidos en Minitab arrojando los siguientes resultados:

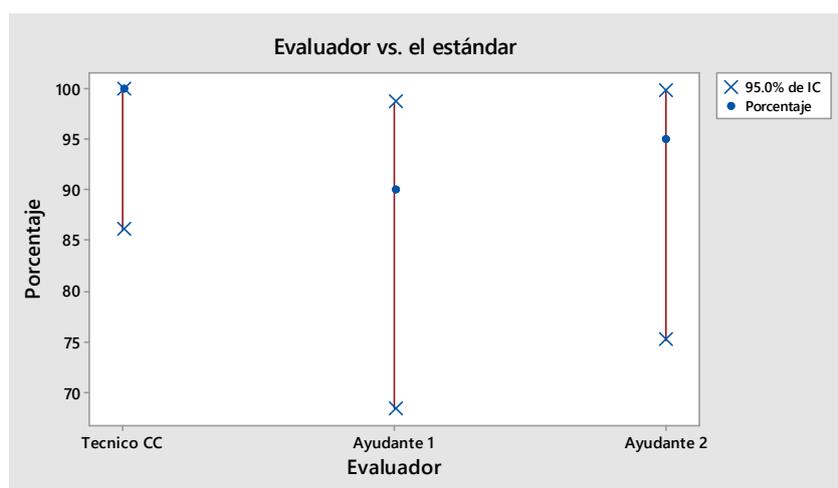


Figura 28. Uniformidad de las respuestas de cada evaluador, (minitab)

En la gráfica se muestra cómo los resultados de cada evaluador se comparan con el estándar establecido. El técnico de control de calidad califico con un

100% de exactitud, mientras que el Ayudante de control de calidad 1, califico dieciocho de las veinte partes de manera correcta con un 90%de exactitud y el Ayudante de control de calidad 2, califico diecinueve de las veinte partes de forma correcta, dando un 95%.de exactitud.

De acuerdo con el análisis de concordancia de atributos para evaluadores se obtuvo los siguiente:

## Hoja de trabajo de análisis de concordancia de atributos

### Método

Muestras: 20      Evaluadores: 3  
 Réplicas: 1      Total de corridas: 60

### Análisis de concordancia de atributos para Evaluaciones

#### Cada evaluador vs. el estándar

##### Acuerdo de evaluación

Evaluador	No. de inspeccionados	No. de coincidencias	Porcentaje	IC de 95%
Tecnico CC	20	20	100.00	(86.09; 100.00)
Ayudante 1	20	18	90.00	(68.30; 98.77)
Ayudante 2	20	19	95.00	(75.13; 99.87)

*No. de coincidencias: La estimación del evaluador en los diferentes ensayos coincide con el estándar conocido.*

##### Discrepancia en la evaluación

Evaluador	# No conforme /		# Conforme /		No. de combinados	Porcentaje
	Conforme	Porcentaje	No conforme	Porcentaje		
Tecnico CC	0	0.00	0	0.00	0	0.00
Ayudante 1	0	0.00	2	20.00	0	0.00
Ayudante 2	0	0.00	1	10.00	0	0.00

*# No conforme / Conforme: Evaluaciones a través de ensayos = No conforme / estándar = Conforme.*

*# Conforme / No conforme: Evaluaciones a través de ensayos = Conforme / estándar = No conforme.*

*No. de combinados: Las evaluaciones de los ensayos no son idénticas.*

##### Estadísticos Kappa de Fleiss

Evaluador	Respuesta	Kappa	Error estándar de Kappa	Z	P(vs > 0)
Tecnico CC	Conforme	1.00000	0.223607	4.47214	0.0000
	No conforme	1.00000	0.223607	4.47214	0.0000
Ayudante 1	Conforme	0.79798	0.223607	3.56867	0.0002
	No conforme	0.79798	0.223607	3.56867	0.0002
Ayudante 2	Conforme	0.89975	0.223607	4.02380	0.0000
	No conforme	0.89975	0.223607	4.02380	0.0000

Figura 29. Análisis de concordancia de atributos (minitab).

El análisis del sistema empleado de medición es confiable de acuerdo las directrices de la AIGA en su manual de *Measurement Systems Analysis - MSA*

cuarta edición, sugieren que “valores de Kappa mayores que 0.75 indican una concordancia de buena a excelente (con un Kappa máximo = 1); los valores menores que 0.40 indican poca concordancia”.

### 3.4 Analizar

El objetivo de esta etapa es identificar las principales fuentes de variación de las características críticas de control. Se busca recoger todos los datos y tablas que se obtuvieron en la fase de medir, para así poder observar paso a paso las causas por las cuales se producen defectos, variaciones, atrasos y muchas otras dentro del proceso.

#### 3.4.1 Análisis del proceso productivo de losas alveolares.

EN la tabla 6 se analizarán las causas que generan demoras en el proceso y paradas no planificadas.

Tabla 6.

#### *Identificación de desperdicios*

IDENTIFICACIÓN DE DESPERDICIOS		
Sobreproducción	Espera	Defectos
Este desperdicio se refleja en la producción de hormigón en la central de hormigonado, ya que se prepara un promedio de 0,3 m <sup>3</sup> de hormigón en exceso.	Es un desperdicio generado en todas las áreas desde el acondicionamiento de equipos hasta el acopio de losas. Se presenta mayormente en dos etapas, la primera es la de tendido de cables y la segunda al momento de elaborar el hormigón y transportarlo a las pistas, generando espera en la formación de la losa en la maquina deslizante al no tener hormigón.	La generación de los productos defectuosos interrumpe la producción y requiere una costosa repetición de trabajo. Las posibles causas se las define en el punto siguiente.

### 3.4.2 Identificación de causas potenciales.

En esta parte se busca determinar razones por las cuales se producen los defectos en el producto terminando, para esto hay varias herramientas tales como Diagrama de Ishikawa, Árbol de Causa y Efecto entre otros.

Durante una reunión convocada entre los involucrados del proyecto se realizó una lluvia de ideas para identificar la posible causa raíz del porque se presentan defectos en las losas. Al organizar todas las ideas lo más óptimo es utilizar el diagrama de causa-efecto para el análisis de la presencia de defectos en las losas. En la figura 30 detallada a continuación, se presenta el diagrama causa efecto.



Figura 30. Causa Raíz defectos en losas (minitab)

Una vez definas las causas del problema, se utilizará una matriz de Causa Efecto para determinar qué causas potenciales tienen un mayor impacto en el efecto medido.

Para ello con la información del Diagrama Causa Efecto se forma una matriz para que dichas causas analizadas anteriormente se les pueda colocar en una

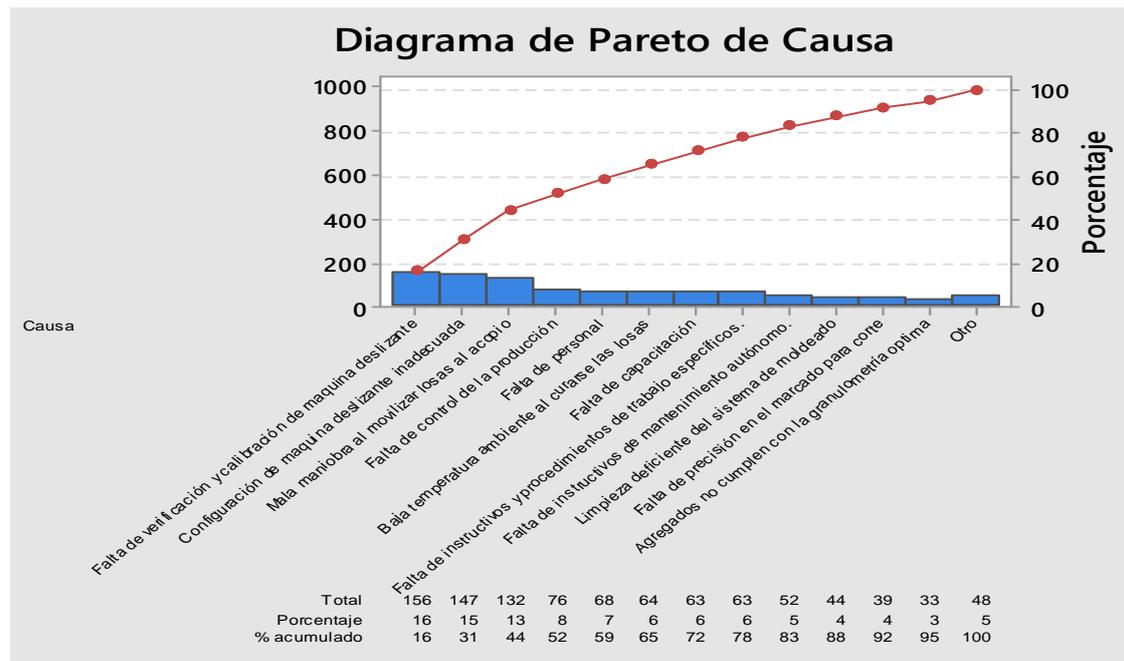
importancia cuantitativa. En la tabla 7 se presenta la matriz causa efecto del proyecto.

Tabla 7.

*Matriz causa efecto*

Ratio de importancia para el cliente		10	9	5	TOTAL
		1	2	3	
CAUSAS	CTQ Relacionados	Sin fisuras	Sin cangrejeras	Longitud	
	Falta de precisión en el marcado para corte		1	1	4
Falta de control de la producción		3	4	2	76
Agregados no cumplen con la granulometría optima		1	2	1	33
Agregados contaminados		1	1	1	24
Falta de personal		4	2	2	68
Falta de capacitación		4	2	1	63
Limpieza deficiente del sistema de moldeado		3	1	1	44
Mala maniobra al movilizar losas al acopio		10	3	1	132
Baja temperatura ambiente al curarse las losas		5	1	1	64
Falta de instructivos y procedimientos de trabajo específicos.		4	2	1	63
Falta de comunicación		1	1	1	24
Falta de instructivos de mantenimiento autónomo.		2	3	1	52
Configuración de maquina deslizante inadecuada		7	8	1	147
Falta de verificación y calibración de maquina deslizante		7	9	1	156

Con la información obtenida se desarrollará un diagrama de Pareto que nos ayudará a determinar la prioridad de cada causa para así ser tratada.



*Figura 31.* Diagrama de Pareto de causa.(minitab)

El Diagrama de Pareto mostró la existencia de varias causas que requieren ser tratadas. Resulta evidente cuales son las causas frecuentes por las cuales ocurre los defectos. De acuerdo con la gráfica y a la experiencia del equipo, se decidió dar tratamiento a las siguientes:

- Falta de verificación y calibración de maquina deslizante
- Configuración de maquina deslizante inadecuada
- Mala maniobra al movilizar losas al acopio

### 3.4.3 AMEF. (Análisis de modo de potencial de falla y efecto)

La aplicación de esta herramienta se la realiza mediante una matriz que contiene tres criterios de evaluación: Severidad, Ocurrencia, Detección. En base a la experiencia del equipo se evalúa los criterios de acuerdo con la ponderación definida en el Anexo 2, que van de 1 hasta 10.

Esta herramienta enfoca al equipo en el defecto que requiere atención inmediata a fin de mejorarlo, a continuación, en la Anexo 3. se detalla este análisis.

Al desarrollarse el AMEF, el equipo se enfocó básicamente en las actividades que eran potencialmente más riesgosas en base a la calificación de la matriz. Esta herramienta confirmó las causas detalladas de los defectos que se presentan en las losas mismo que se detallan en el punto anterior.

#### **3.4.4 Análisis del problema en el flujo de valor.**

A continuación, se realizará un análisis del flujo de valor agregado de la línea de producción de losas, con el fin de encontrar y comprobar las causas determinadas en el punto 3.4.2.



Los problemas en el flujo de valor encontrados son los siguientes:

Tabla 8.

*Problemas y causas encontrados en el flujo de valor.*

<b>Problemas</b>	<b>Causas</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• No se registra ni se ejecuta de manera correcta la preparación de los equipos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Falta de verificación y calibración de maquina deslizante</li> <li>• Configuración de maquina deslizante inadecuada</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Demora en el tendido de cables</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Herramienta porta cables no cumplen con el diámetro requerido del rollo de cable para su adaptación y uso.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mala operación de maquina deslizante</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Falta de verificación y calibración de maquina deslizante</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Volumen de hormigón sobrante en exceso</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No se define la cantidad del ultimo Bach de hormigón a producir. Se lo produce de acuerdo con el sobrante de pista que falta de colar.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maniobras Inadecuadas al de sacar la losa de la pista.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mala maniobra al movilizar losas al acopio</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Losas fisuradas y golpeadas en el patio de producto terminado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mala maniobra de izaje</li> </ul>

Mediante el análisis correspondiente se ha determinado que varias causas que llevan al proceso de producción de losas alveolares a tener defectos son los determinados en el análisis del punto 3.4.2.

Una vez encontradas y validadas las causas que se habrían planteado, se continua con la siguiente fase de la metodología la cual nos llevara a solucionar la causa de la manera más apropiada.

### 3.4.5 Análisis de datos.

Los datos recopilados para análisis fueron obtenidos durante el periodo enero-marzo de 2017. Se analizarán estadísticamente cuales son las variables que influyen significativamente en la aparición de defectos en las losas.

Ya identificados los defectos en el proceso de fabricación de losas, en la tabla 7 se detallan las variables vitales que pueden provocar defectos.

Tabla 9

*Variables que generan defectos.*

<b>Defecto</b>	<b>Variable de entrada</b>	<b>Variable de Salida</b>
Cangrejeras	Hz vibrador delantero y posterior de alta frecuencia	Numero de losas con cangrejeras
Fisuras	Temperatura de losas en el corte de cables	Numero de losas fisuradas.

Para relacionar el defecto con la variable de entrada, se utilizó la herramienta de diseño de experimentos. El principio de esta herramienta es realizar varias pruebas, en las cuales se presentan cambios en variables de entrada del proceso y ver su efecto en la variable de salida. A continuación, se realizará la experimentación para cada uno de los defectos y sus variables de entrada.

#### 3.4.5.1 Evaluación del defecto de las cangrejeras en las losas.

El objetivo de este análisis es confirmar si tanto la causa como el efecto estadísticamente están relacionados. Para ello se generó una reunión entre los integrantes del proyecto, definiendo los rangos recomendados por el fabricante para la frecuencia de vibración delantero como posterior oscilan entre los 78-87 Hz.

Se utilizará un Análisis de Varianza “ANOVA” como herramienta estadística, la misma que evalúa la importancia de uno o más factores al comparar las medias de la variable de respuesta en los diferentes niveles de los factores.

El equipo decidió probar en dos valores distintos frecuencia de vibración a fin de observar los resultados de defecto.



*Figura 34.* Ajuste de frecuencia de vibración.

Para el análisis de esta variable se fabricó una pista losas con frecuencia de vibración de 78 Hz y la otra pista con una frecuencia de vibración de 87 Hz durante 5 días de producción días de producción, 1 diaria. En la figura 34 se evidencia el análisis de varianza obteniendo así los siguientes datos:

## ANOVA de un solo factor: Respuesta vs. Frecuencia(Hz)

### Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Frecuencia(Hz)	2	78. 87

### Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Frecuencia(Hz)	1	1,6000	1,6000	16,00	0,004
Error	8	0,8000	0,1000		
Total	9	2,4000			

### Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,316228	66,67%	62,50%	47,92%

### Medias

Frecuencia(Hz)	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
78	5	0,200	0,447	(-0,126. 0,526)
87	5	1,000	0,000	(0,674. 1,326)

*Desv.Est. agrupada = 0,316228*

Figura 35. Análisis ANOVA para presencia de cangrejas.

Los resultados de informe ANOVA que el Minitab arroja, al interpretarlo mediante el valor de P, se dice que si es menor 0.05 en valor P, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, es decir la frecuencia de vibración influye en la presencia de cangrejas.

### 3.4.5.2 Evaluación del defecto de fisuras en las losas.

Una vez culminado el proceso de curado antes de la liberación de la pista, se controla la temperatura de la losa previo al corte de cables sujetos a la cabeza de tensión. Esta temperatura tiene que estar cerca a la temperatura ambiente, para esto el equipo de trabajo en reunión planifico liberar la pista entre una temperatura de 20-35° C. Mediante este análisis se buscó identificar si existe relación estadística entre la variable y el efecto.

Se utilizará un Análisis de Varianza “ANOVA” como herramienta estadística, la misma que evaluará los factores al comparar las medias de la variable de respuesta a los diferentes niveles de los factores.

Para esta evolución realizo 4 corridas en 4 días de producción, 1 cada día, liberando cada pista a diferente temperatura, se presenta los siguientes resultados.

## ANOVA de un solo factor: Respuesta vs. Temperatura de Losa (°C)

### Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Temperatura de Losa (°C)	4	20. 25. 30. 35

### Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Temperatura de Losa (°C)	3	1,688	0,5625	3,86	0,038
Error	12	1,750	0,1458		
Total	15	3,438			

### Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,381881	49,09%	36,36%	9,49%

### Medias

Temperatura de Losa (°C)	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
20	4	1,000	0,000	(0,584, 1,416)
25	4	1,000	0,000	(0,584, 1,416)
30	4	0,500	0,577	(0,084, 0,916)
35	4	0,250	0,500	(-0,166, 0,666)

*Desv.Est. agrupada = 0,381881*

Figura 36. Análisis ANOVA para presencia de fisuras.

Los resultados de informe ANOVA que el Minitab arroja, al interpretarlo mediante el valor de P, se dice que si es menor 0.05 en valor P, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, es decir la temperatura de losas en el coteo de cables influye en la en la generación de fisuras.

## **Capítulo IV. Aplicación de la Metodología DMAMC: Mejorar y Controlar.**

### **4.1 Mejorar**

En esta fase de la metodología se define un plan de acción enfocado a atacar las causas raizales, proponiendo cambios en el proceso que es afectado por ella. Una vez planteadas las posibles mejoras, se validan mediante el monitoreo con las herramientas estadísticas para poder comprobar su efectividad.

#### **4.1.1 Mejoras en el proceso**

La generación de soluciones en el proceso, se las realiza levantando un mapeo de Flujo Futuro a través del análisis correspondiente los defectos producidos en las losas.

A continuación, se presentan el mapeo de flujo con las respectivas mejoras levantadas a partir del análisis realizado anteriormente. Con todos los problemas encontrados se buscan herramientas y métodos de la producción Lean que ayuden a disminuir y si es posible eliminar estos problemas.

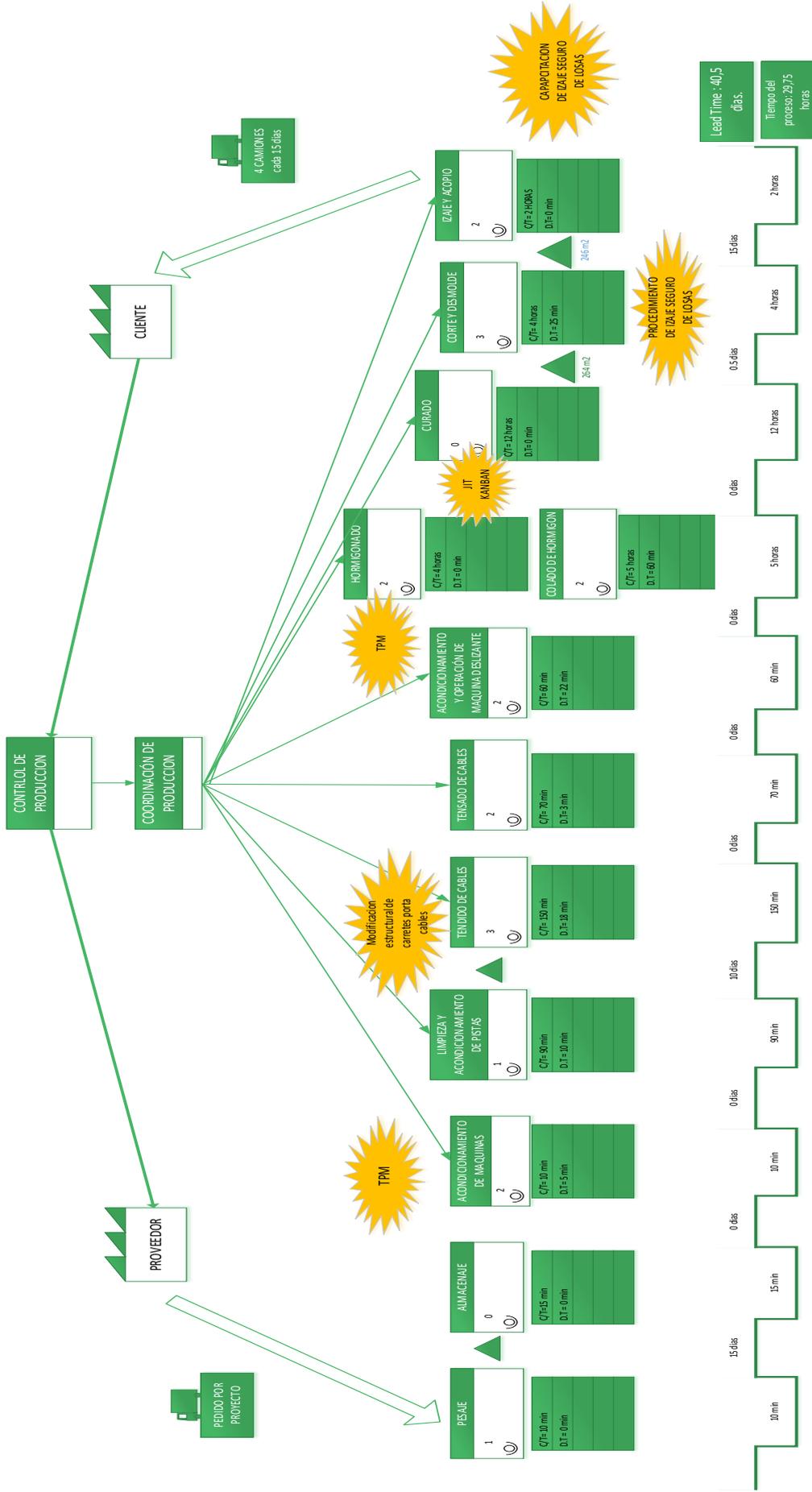


Figura 37. VSM de mejoras

Como se observa en el mapeo de flujo de valor, entre las soluciones planteadas tenemos:

- Modificación de carretes porta cables,
- Implementación Kanban,
- Implementación JIT,
- Implementación TPM,
- Elaboración de procedimiento de izaje seguro.
- Capacitación izaje seguro de losas.

#### **4.1.2 Plan de mejora del proceso.**

A continuación, se detalla el plan de mejoras que se implementara en la línea de producción de losas a fin mejorar la productividad minimizando defectos, estableciendo métricas y controlando.

Tabla 10.

*Plan de Mejoras.*

PLAN DE MEJORAS			
Tarea	Responsable	Actividad	Fecha
Modificación de carretes porta cables.	Coordinadora de prefabricados, Compras	Presentar análisis de benéficos a gerencia técnica	14-02-2017
		Contratar empresa proveedora	
Implementación TPM	Black Belt, Técnico de mantenimiento.	Capacitar a todas las personas involucradas en los principios de TPM, sus características y ventajas.	16-02-2017
		Verificar pre requisitos e identificar restricciones del proceso de fabricación de losas,	16-02-2017
		Establecer el alcance de la herramienta	16-02-2017
		Establecer un programa de mantenimiento autónomo para los operarios	20-02-2017
		Conducir entrenamiento para mejorar capacidades de operación y mantenimiento	23-02-2017
		Desarrollar una serie de mecanismos o un procedimiento claro que facilite la detección y prevención de anomalías en los equipos en la línea de producción.	8-03-2017
Implementación JIT	Black Belt, Especialista de prefabricados, Técnico de mantenimiento	Educar a todo el personal en los principios de características primordiales de just in time.	16-02-2017
		Establecer el alcance y objetivos de la herramienta	9-03-2017
		Definir los cambios físicos del proceso de fabricación que mejorarán el flujo de trabajo.	14-03-2017
		Proporcionar mecanismo de control de fabricación: Sistema tipo arrastre, Control estadístico del proceso y Calidad en el origen (autocontrol, programas de sugerencias, etc.).	16-03-2017
		Desarrollar una relación cliente-proveedor.	9-03-2017
Implementación kanban	Black Belt, Especialista de prefabricados.	Formación de todo el personal en los principios de KANBAN, y los beneficios de usar KANBAN	16-02-2017
		Implementar tarjetas KANBAN y Kanban de producción en la central de hormigonado.	20-03-2017
		Revisión del sistema KANBAN, los puntos de reorden y los niveles de reorden.	22-02-2017
Elaboración de procedimiento de izaje seguro.	Black Belt, Especialista de prefabricados	Mediante reunión realizar procedimiento de izaje seguro de losas	27-03-2017
Capacitación izaje seguro de losas.	Black Belt, Especialista de prefabricados	Adiestrar constantemente de acuerdo con el procedimiento de izaje seguro de losas	29-03-2017

### 4.1.3 Implementación de mejoras.

#### 4.1.3.1 Modificación de carretes porta cables.

Al adecuar los carretes para el diámetro del rollo del cable, se generó una disminución de tiempo al tender todos los cables a la vez, de 150 minutos que se empleaba para las dos pistas ahora se emplea solamente 30 min por cada pista. Para la adaptación se requirió contratar a una empresa metalmecánica que modificó tres carretes de acuerdo con las especificaciones dadas, el tiempo de que demora en adaptar los carretes fue de cinco días. Debido a que la empresa es pública se tuvo que realizar el proceso de contratación con un mes de anticipación para evitar retrasos. Los carretes modificados y la ubicación de los carretes en la pista se observan continuación en la figura 25.



Figura 38. Carretes modificados.

#### 4.1.3.2 Implementación TPM

Para la implantación de TPM en la línea de producción de losas, como primer paso dado fue la concienciación del personal que se encuentra en la planta. Se capacito al personal de acuerdo con la siguiente temática:

##### Definición del TPM

- Mantenimiento planificado

- Mantenimiento predictivo

Ventajas de la ejecución de un correcto mantenimiento

- Seguridad para los trabajadores
- Disminución de los tiempos no productivos derivados de averías, deterioro.
- Incremento en la formación de los trabajadores
- Localización de cuellos de botella y posibles mejoras definidas por los trabajadores.

Difundido la metodología al personal operativo de la planta, se presenta el siguiente sistema de gestión integral de mantenimiento.

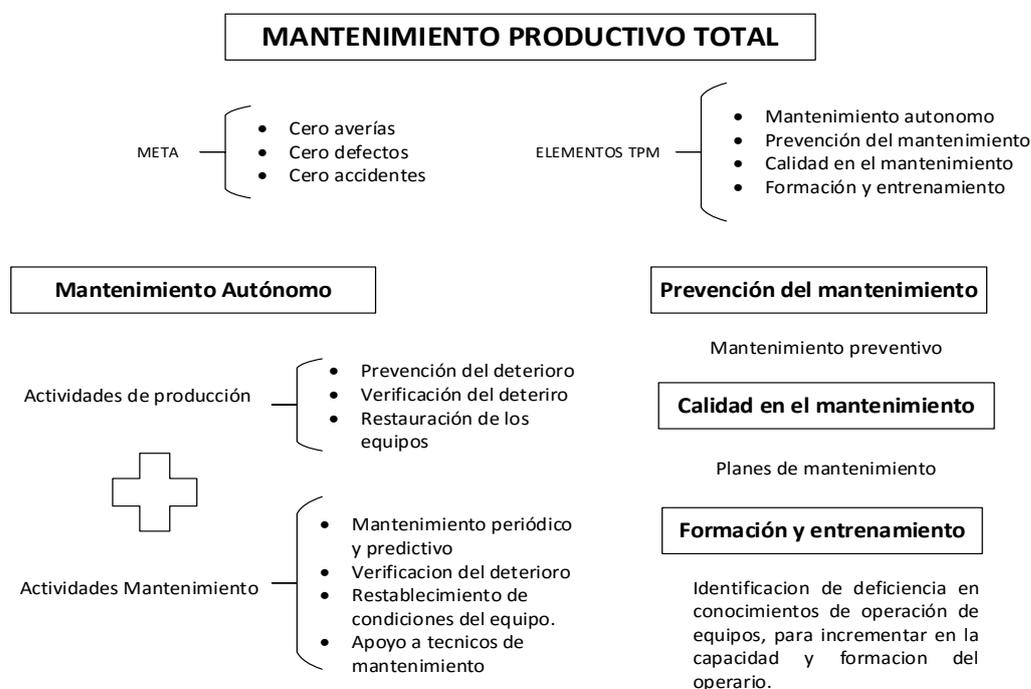


Figura 39. Sistema de gestión integral de mantenimiento.

Una vez ejecutado el sistema integral de mantenimiento, se plantea el seguimiento de las actividades realizadas por los operarios en el mantenimiento autónomo, para lo cual se generó un registro de las actividades a ejecutar por maquinaria, de acuerdo con el análisis realizado anteriormente se ejecutará este seguimiento comenzado por la máquina deslizante y posteriormente a los demás máquinas. En el Anexo 4, se detalla el formato de

registro de las actividades de mantenimiento autónomo para la maquina deslizante.

Para realizar una adecuada aplicación metodológica de mantenimiento autónomo se utilizó dos herramientas que generaran un mejor resultado.

La primera es la utilización de **Tarjetas TPM**, es una herramienta de apoyo visual utilizada para señalización de anomalías detectadas.

Es una técnica de inspección en otro nivel, en la cual se inspecciona la línea en conjunto a nivel no tan detallado como la inspección programada y buscando defectos importantes que podrían causar fallas futuras, defectos de calidad o razones de inseguridad para los operadores (GANCEDO, 2007).

El mecanismo de uso de las tarjetas inicia cuando un operario identifica un fallo en la línea de producción que él mismo no puede reparar, ubica una tarjeta cercadeldefecto, así como se muestra en la figura a continuación (GANCEDO, 2007).

Mediante una simple inspección visual la persona encargada de reparar el defecto puede darse cuenta de dónde se encuentran los posibles fallos.



*Figura 40.* Aplicación de tarjetas TPM

Para usar las tarjetas TPM y este uso sea eficiente al visualizarlo, se asignó un código de colores a las mismas, siendo así los detalles en la figura 40.



Figura 41. Código de colores tarjetas TPM

- Azul: Identifica a las anomalías que deben ser solucionadas por el área de producción. Son colocadas solo por personal de Producción o Mantenimiento en zonas operativas.
- Roja: Identifica las anomalías que deben ser solucionadas por el área de Mantenimiento o Terceros. Estas tarjetas solo pueden ser colocadas por personal de producción y mantenimiento en zonas operativas.
- Verde: Identifica a las anomalías que afectan a las seguridad de las personas o al medio ambiente. Pueden ser instaladas por cualquier trabajador de planta en cualquier zona. Esta tarjeta debe ser gestionada por la unidad de seguridad industrial.

La segunda herramienta utilizada es la OPL (Lección Puntual- *One Point Lesson*), Esta herramienta se utiliza cuando se quiere establecer un procedimiento para cualquier tipo de acción a ejecutar (GANCEDO, 2007).

Las normas que se indiquen deben ser claras y sencillas y los pasos deben ser secuenciales y fáciles de seguir.

Se estableció un OPL para cada máquina de la línea de producción de losas siendo de mayor prioridad la maquina deslizante, misma que se observa en el Anexo 5.

Definido los fallos más frecuentes y que alteren a la calidad del producto se establecerá un matriz de calidad, esta información se incorpora en las últimas páginas de los manuales de mantenimiento de cada máquina adaptándola de tal forma que se reflejen los problemas de calidad relacionados con el mantenimiento y con cada máquina (GANCEDO, 2007).

#### **4.1.3.3 Implementación JIT y Kanban**

De acuerdo con la planificación de mejoras, como primera actividad ejecutada fue la capacitación al personal de la metodología. La capacitación abarco los siguientes temas:

- Conceptos JIT y Kanban, aplicaciones en la línea de producción de losas.
- Objetivo JIT y Kanban
- Etapas de implementación

A fin de poder mejorar el rendimiento de la productividad de la línea de producción de losas, se ha determinado la aplicación del JIT en la central de hormigonado, para en proyectos futuros implementarlo en toda la planta.

Al implementar JIT se disminuyó el exceso de hormigón producido, luego de haber sido colado en las dos líneas de losas. Se preparaba en promedio 13,8 m<sup>3</sup> de hormigón para cada línea, obteniéndose un total de 27,4 m<sup>3</sup> por las dos pistas o moldes de línea de producción de losa con un desperdicio de 0,3 m<sup>3</sup>. Una vez implementado JIT en la central de hormigonado se solicita preparar 13,6 m<sup>3</sup> de hormigón y se obtuvo 0,09 m<sup>3</sup> en exceso. A continuación, se detalla la mejora obtenida en el mes de febrero marzo abril de 2017, comparándola con la del año 2016.

Tabla 11.

*Disminución de sobreproducción de hormigón.*

EXCESO DE HORMIGÓN(m <sup>3</sup> )			
Año	Febrero	Marzo	Abril
2016	1.98	2.95	1.18
2017	0.09	0.06	0.08

Se eliminó, además todas aquellas actividades que agregan un costo al producto que los clientes no lo notan es decir que no añaden valor.

### Sistema de tarjetas Kanban

El sistema de tarjetas Kanban implementado en la línea de producción de losas será de transporte o movimiento, indicando cuánto material se retirará de la central de hormigonado para ser colado en las pistas.

Para establecer un sistema de formación e implementación, se empleó las carteleras donde se detalla lo descrito a continuación:

- No se enviar material defectuoso al siguiente proceso.
- Los siguientes procesos requieren solo lo necesario.
- Producir cantidad exacta requerida.
- Balancear la producción para los procesos subsiguientes
- Estabiliza y racionaliza el proceso

#### 4.1.3.4 Procedimiento de izaje seguro de losas.

A fin de evitar la manipulación inadecuada de losas para la etapa de desmolde y acopio, se definió un procedimiento en cual detalle la manera óptima de izar las losas al retirarlas de las pistas de producción y al llevarlas al acopio. Así mismo se capacitó al personal en manipulación de losa alveolar, en la fabricación, almacenamiento, durante el transporte y en la obra a fin de garantizar la seguridad en la manipulación de la placa alveolar y que no genere defectos. En el Anexo 6. se presenta el procedimiento elaborado.

#### 4.1.4 Métrica Seis Sigma del proceso mejorado.

Una vez implementado las mejoras, se identificará si el proceso productivo genero cambios al aumentar el nivel sigma determinando en el punto 3.1.3.5, se consideró todos los defectos identificados en los muestreos del departamento de control calidad durante un periodo de análisis de dos meses, siendo estos del mes de abril y mayo de 2017, obteniendo así lo siguiente:

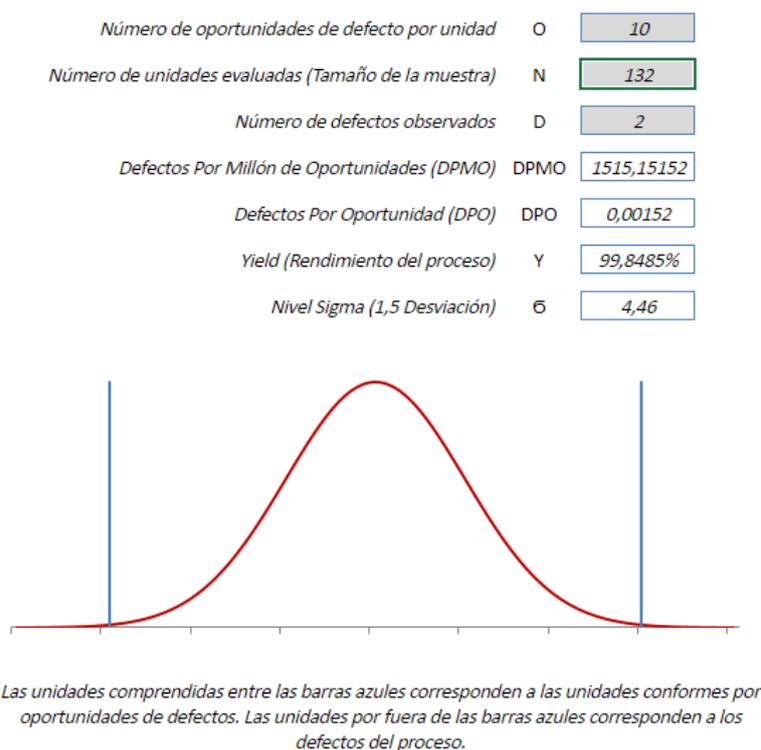


Figura 42. Calculo de Nivel sigma y DPMO del proceso mejorado. IngenieriaIndustrialOnline.com.

En la figura 32 se observa una mejora considerable al proceso, más evidente aún, se detalla en la tabla 12.

Tabla 12.

Comparación situación actual vs esperada

Métrica	Situación actual	Situación esperada
DPMO	20071,68	1515,15
DPO	0,020	0,00152
nivel sigma	3,35	4,46

Es importante señalar que los períodos de análisis no son los mismos, tanto de la situación actual como el período implementado, sin embargo, hay suficientes indicios de mejora considerable. El equipo del proyecto considera esperar un tiempo prudente para evidenciar que la mejora continua permanezca efectivamente con resultados a largo plazo.

## **4.2 Controlar**

Una vez implementado las mejoras, se debe definir una metodología que permita que los resultados obtenidos se mantengan con la misma eficacia a lo largo del tiempo. También será importante contar con herramientas que alerten cuando ocurra una desviación o error en el proceso establecido. En esta fase para concluir un proyecto DMAIC, se estandariza, documenta y monitorea los controles con el fin de lograr una permanencia en el tiempo de los resultados obtenidos.

### **4.2.1 Plan de Control.**

El plan de control es un instrumento práctico que contiene la información necesaria para controlar el proceso de producción de losas, que se genera con el fin de evitar defectos de producción y mantener en óptimas condiciones la línea de producción. En el plan de control (ver anexo 7.) se detalla el tipo de inspección, la variable a medir, frecuencia, responsable, registro y tolerancia. Como complemento se sugirió medir la eficiencia y eficacia de las acciones tomadas mediante los siguientes indicadores.

Tabla 13.

*Propuesta de indicadores para el control del proyecto.*

<b>No.</b>	<b>Indicador</b>	<b>Fórmula de cálculo</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Responsable de medición</b>	<b>Frecuencia de medición</b>
1.	Productividad Losas	Kilos producidos/ kilos programados	Producto Terminado	Coordinadora de prefabricados	Mensual
2.	Desperdicio	Restos y desperdicios / insumos	Kg	Coordinadora de prefabricados	Mensual
3.	Tiempo de producción	Tiempo real / tiempo programado	Horas producción	Coordinadora de prefabricados	Mensual
4.	OEE	Disponibilidad*Rendimiento*Calidad	Tiempo	Coordinadora de prefabricados	Mensual

## CAPITULO V. Resultados y Evaluación Económica

### 5.1 Resultados

La productividad mejorada se evidencia en la reducción de producto no conforme, espera y sobreproducción de hormigón. Una vez implementado el proyecto, diariamente se produce 263 m<sup>2</sup> de losas, en comparación con la producción antes de la mejora de 249 m<sup>2</sup>.

Las mejoras realizadas se aplicaron en la línea de producción de losas alveolares. En la tabla 14, se muestra el cuadro de resumen de mejoras, donde se encuentran los valores estimados después de la mejora. Los datos presentados a continuación para compararlos se tomaron los meses que los que fue implementado el proyecto y los mismos meses antes del proyecto a fin de relacionarlos, teniendo en cuenta que equipo del proyecto daría seguimiento para que la mejora se evidencie y se mantenga a largo plazo.

Tabla 14.

*Resumen de mejoras.*

		Producto no conforme (m <sup>2</sup> )	Sobreproducción de hormigón (m <sup>3</sup> )	Tiempo de proceso (horas)
<b>Actual 2016</b>	Febrero	343.47	1.98	
	Marzo	818.994	2.95	
	Abril	73.89	1.18	
	Mayo	37.53	2.6	29.75
<b>Mejorado 2017</b>	Febrero	18	0.09	
	Marzo	2.5	0.06	
	Abril	4.8	0.08	
	Mayo	1	0.1	22.58

Uno de los problemas que tuvo el equipo del proyecto fue la falta de información, misma que se solicitó a la empresa fabricante de la maquinaria para un mejor lineamiento en la etapa de implementación de TPM. Con la implementación de las herramientas lean el personal se sentía parte de la

empresa, no presentaron resistencia a los cambios más bien adoptaron la metodología no como una obligación más bien como una oportunidad de crecimiento.

En la Figura 42, se muestra el VSM mejorado. En el mapa de flujo de valor mejorado, se ha aplicado herramientas de manufactura esbelta como TPM, JIT y KANBAN en la línea de fabricación de losas alveolares. En el VSM mejorado se aprecia, que el tiempo de proceso disminuyó de 29.75 a 22.58 horas, este cambio se dio debido a que la modificación de los carretes portables generara un tiempo de tendido de 30 min por pista, anteriormente se empleaba 75 minutos por pista.

Además, con la implantación de TPM se estandarizó la operación, limpieza y mantenimiento de los equipos que son empleados en la producción de losas, eliminándose así el proceso de Acondicionamiento de máquinas que se ejecutaba en 60 minutos, con la implementación de TPM estas actividades se plantaron como mantenimiento autónomo encargadas a cada operador que las ejecutaban una vez terminaban la producción del día. Jit y Kanban aplicado a la central de hormigonado generó una cultura de producir lo justo y en un tiempo definido evitando que la máquina deslizante quede sin hormigón y genere tiempos muertos, se obtuvo una disminución de 30 minutos en el colado del hormigón debido a que cada Bach de hormigón se producía cada 10 min y dos Bach iniciales cargados ya en las tolvas de la máquina deslizante antes iniciar el colado.

La línea de producción de losas cuenta con 13 operarios Divididos en dos turnos, con la implantación de las mejoras se requiere para el turno de la mañana 6 operarios y 6 para la tarde, el operario faltante se lo incluyó en el área de mantenimiento debido a su apoyo con la implementación de TPM y la formación que mantiene.

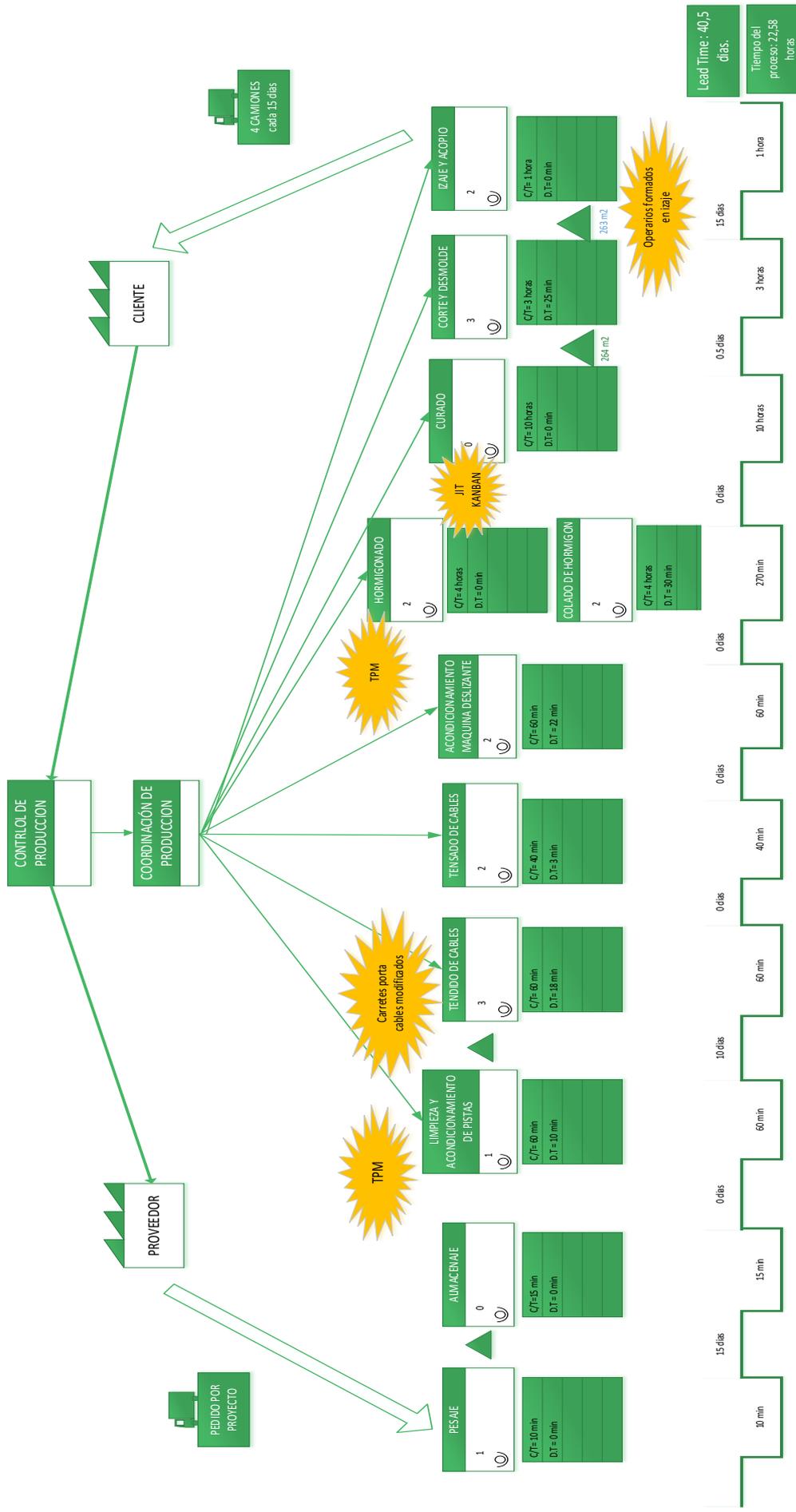


Figura 43. VSM Mejorado

Gracias a la aplicación metodológica y cambios favorables de la línea de producción de losas se definió certificar el producto bajo NORMA UNE EN 1168 2006A3 LOSAS PREFABRICADAS, norma española adquirida por el INEN para el proceso de auditoría al producto para la certificación.

## 5.2 Evaluación económica.

Como respuesta a la implantación se evalúa el estado económico-financiero de las soluciones y las mejoras propuestas. El proyecto LSS se ha implementado en la línea de losas alveolares. En la Tabla 15, se muestra los costos generados por problemas definidos y solventados utilizando la metodología, donde se evidencia una disminución de los costos de los problemas detectados.

Tabla 15.

*Costos situación actual y mejorada*

Situación	Costo de losa por m <sup>2</sup> (\$/m <sup>2</sup> )	Producción Mensual (m <sup>2</sup> )	Producto no conforme	Costo de m <sup>3</sup> de hormigón (\$/m <sup>3</sup> )	Exceso de hormigón (m <sup>3</sup> ) *	Costo desperdicio producto no conforme (US\$)	Costo exceso de hormigón (US\$)	Costos totales por pérdidas (US\$)
<b>Actual</b>	75	4240	3.60%	94	1.78	12,084	167.32	12,251.32
<b>Mejorado</b>	75	4240	0.40%	94	0.08	1,272	7.52	1,279.52
<b>AHORRO</b>								<b>US\$10,971.80</b>

Nota: \*sobreproducción de hormigón

En la tabla 15, se observa como la implementación de la metodología fue favorable y se lo evidencia en el análisis financiero, por mes se produce 4240 m<sup>2</sup>, el costo de \$75 es el valor estandarizado luego de haber analizado todos los costos que se generan para producir 1 m<sup>2</sup> de losa. Comparando el costo total de producir producto no conforme y sobreproducción de hormigón una vez mejorado el proceso se tiene un ahorro de \$10,971.80por mes.

En la Tabla 16, se muestra la inversión requerida para el proyecto LSS, el cual es \$ 6720, durante 6 meses que fue el tiempo de duración del proyecto. Los costos para capacitación, el caso de TPM en temas de operación de máquinas fue realizado por la empresa proveedora de las máquinas, el costo no resulto alto debido a que la empresa planifico asesoramiento de otras líneas de producción y se aprovechó la presencia de los asesores para el adiestramiento del personal para la línea de fabricación de losas.

Para cada una de las herramientas lean utilizadas, las realizo el Black belt en este caso el autor del proyecto que solo requirió costos de material de difusión y de transporte. En la capacitación de izaje seguro de losas se determinó que era de vital importancia que las personas involucradas en dicha actividad tengan licencia en prevención de riegos, ya que los mismo trabajan en el montaje de losas en obra, adicionalmente se los capacito en manejo de puentes grúa y adiestramiento en acopio de producto terminado.

Tabla 16.

*Inversión del Proyecto LSS.*

Descripción	Cantidad	Costo (\$)	Inversión total
Modificación de carretes	2	1780	3560
TPM			
Impresión de tarjetas TPM	1500	0.10	150
Material de apoyo		100	100
Capacitación y entrenamiento del personal		1000	1000
JIT Y KANBAN			
Impresión de tarjetas Kanban	200	0.05	10
Capacitación y entrenamiento del personal		100	100
Capacitación en izaje seguro de losas	5	500	2500
		Total	7420

La inversión requerida se recupera en el primer mes de implementación de mejoras, debido a que el ahorro generado por las mejoras supera el valor de la inversión por lo tanto no es necesario hacer un análisis de tasa interna de retorno.

## 6. Conclusiones y Recomendaciones

### 6.1 Conclusiones

Se ha demostrado la mejora en la línea de producción de losas alveolares, evidenciado en la disminución de producto no conforme, tiempos de espera y sobreproducción de hormigón, generando una disminución en los costos por desperdicios.

La situación actual del proceso productivo de losas está generando pérdidas a la empresa, al diagnosticar el problema en la fase de definición, se identificó como principal problema la generación de producto no conforme debido a que un promedio de 3.8% de la producción al día estaba fuera de especificación, para lo cual se genera el Project charter que establece como se va desarrollar el proyecto, además se plantea el VSM donde se visualiza el proceso productivo identificando el tiempo de proceso.

El desempeño del proceso fue evaluado mediante el cálculo del nivel sigma en la fase de medición, obteniéndose un nivel de 3.5 mismo que define la capacidad del proceso, concluyendo que está dentro de especificación, pero se requiere mejorarlo a 4.5, para tener confiabilidad en la medición y determinar que el sistema de medición es aceptable se realizó un estudio de Estadísticas Kappa de Fleiss.

Las variables susceptibles al proceso de mejora se las establece la fase de análisis, identificando cuales son las causas a los problemas presentados en la primera fase de la metodología, se analizó todas las causas posibles siendo la principal la operación, verificación y calibración de la maquina deslizante, definiendo como variables que afectan a la generación de producto no conforme a la frecuencia de vibración y temperatura de losa previo al corte de cables de la cabeza de tensión.

Se estableció como herramientas lean para mejora al TPM, JIT y KANBAN las mismas que implementadas generaron en la etapa de mejora en el proceso productivo tanto en la disminución de producto no conforme, tiempos de espera y sobreproducción de hormigón.

Se evaluó financieramente el proyecto LSS, con una duración de 6 meses, evidenciándose una inversión relativamente pequeña en comparación a los gastos por desperdicios, definiendo así que las mejoras generaron un impacto económico positivo al generar un ahorro a la empresa.

## **6.2 Recomendaciones**

Se recomienda a la alta dirección motive al personal de planta, con la finalidad de que colaboren en nuevos objetivos propuestos, sabiendo que las otras dos líneas de producción podrían mejorar con esta metodología.

Es aconsejable que para la implementación del proyecto se recurra a la ayuda de un experto en el tema, para dar seguimiento y soporte en las áreas que lo requieran.

La implementación eficiente y eficaz, así como el desarrollo de la filosofía de manufactura esbelta, depende del seguimiento que se dé a la implementación, por lo tanto, es de vital importancia que se genere un programa de auditoras al sistema de herramientas implementadas.

Se recomienda aplicar la herramienta 5 S en bodega, debido a que existen materiales que no se encuentran identificados y distribuidos en diversos lugares del hangar.

## REFERENCIAS

- ANDECE. (2010). Asociación Nacional de la Industria de prefabricado de hormigón. Recuperado el 15 de marzo de 2017 de [http://www.andece.org/forjados/images/stories/Alex/placas\\_alveolares\\_c\\_e.pdf](http://www.andece.org/forjados/images/stories/Alex/placas_alveolares_c_e.pdf)
- Arbulo López Patxi Ruiz. (2013). La gestión de costes en Lean manufacturing: cómo evaluar las mejoras en costes en un sistema lean. La Rioja: Universidad Internacional de La Rioja, S. A. (UNIR). Recuperado el 5 de septiembre de 2017 de <http://site.ebrary.com.bibliotecavirtual.udla.edu.ec/lib/udlasp/reader.action?docID=11230932>
- Arnau, H. S. (2015). OPTIMIZACIÓN DE LOSAS ALVEOLARES PRETENSADAS EN SITUACIÓN ACCIDENTAL DE INCENDIO. Tesis Doctoral. Valencia, España: Universitat Politècnica de València. Recuperado el 24 de octubre de 2017 de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/57954/Saura%20-%20OPTIMIZACI%c3%93N%20DE%20LOSAS%20ALVEOLARES%20PRETENSADAS%20EN%20SITUACI%c3%93N%20ACCIDENTAL%20DE%20INCENDIO.pdf?isAllowed=y&sequence=1>
- Bhote, K. R. (2001). Ultimate Six Sigma. Saranac Lake: AMACOM. Recuperado el 25 de abril de 2017 de <https://ebookcentral.proquest.com/lib/udlap/detail.action?docID=3001730>
- Ecuatoriana de Prefabricados. (2012). Planificación estratégica. Recuperado el 9 de mayo de 2017 de [www.cemento.gob.ec](http://www.cemento.gob.ec)
- Empresa Pública Cementera del Ecuador . (2014). Prefa prefabricados de hormigón. Recuperado el 9 de mayo de 2017 de <http://cementointranet.ec/web/>
- Felizzola Jiménez, H., & Luna Amaya, C. (2014). Lean Six Sigma en pequeñas y medianas empresas: un enfoque metodológico. Ingeniare. Revista chilina de ingeniería, 22(2), 263-277. Recuperado el 5 de mayo de 2017 de <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052014000200012>

- GANCEDO, A. E. (2007). *Implantación de la Filosofía TPM en una Planta de Producción y Envasado*. Proyecto de fin de carrera. Madrid: UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS.
- Goldsby, T. J., & Martichenko, R. (2005). *Lean Six Sigma Logistics*. Boca Raton, US: J. Ross Publishing, Incorporated. Recuperado el 11 de julio de 2017 de <http://www.ebrary.com.bibliotecavirtual.udla.edu.ec>
- Jiménez, H. F., & Amaya, C. L. (2014). *Lean Six Sigma en pequeñas y medianas empresas: un enfoque metodológico/Lean Six Sigma in small and medium enterprises: a methodological approach*. *Ingeniare : Revista Chilena de Ingeniería*; Arica, 22(2), 263-277.
- Lefcovich, & Mauricio León. (2009). *Seis SIGMA "Hacia un nuevo paradigma en gestión*. El Cid Editor | apuntes. Recuperado el 25 de abril de <http://site.ebrary.com.bibliotecavirtual.udla.edu.ec/lib/udlasp/reader.action?docID=10312014>
- Mantilla Celis, O. L., & Sánchez García, J. M. (2012). *Modelo tecnológico para el desarrollo de proyectos logísticos usando Lean Six Sigma*. *Estudios Gerenciales*, 28(124), 23-43. Recuperado el 28 de agosto de 2016 de [https://doi.org/10.1016/S0123-5923\(12\)70214-0](https://doi.org/10.1016/S0123-5923(12)70214-0)
- Mehrjerdi, Y. Z. (2011). *Six-Sigma: methodology, tools and its future*. *Assembly Automation*, 31(1), 79-88. Recuperado el 25 de abril de 2017 de <https://doi.org/http://dx.doi.org.bibliotecavirtual.udla.edu.ec/10.1108/01445151111104209>
- Membrado Martínez. (2013). *Metodologías avanzadas para la planificación y mejora*. Ediciones Díaz de Santos. Recuperado el 25 de abril de 2017 de <http://site.ebrary.com.bibliotecavirtual.udla.edu.ec/lib/udlasp/reader.action?docID=10862444>
- Mena Arrata, C. (2013). *APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA SEIS SIGMA PARA LA REDUCCIÓN DE LAS VARIACIONES DE CALIDAD EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN DE PAÑALES DESECHABLES PARA BEBÉ. CASO MÁQUINA 8*. Tesis pregrado. Quito, Ecuador: Universidad de las Americas.

Nofuentes Pérez Santiago. (2013). Más calidad menos coste: la vía Lean Healthcare. Madrid: Ediciones Díaz de Santos. Recuperado el 9 de mayo de 2017 de

<http://site.ebrary.com/bibliotecavirtual.udla.edu.ec/lib/udlasp/reader.action?docID=10862153>

Powell Jacquier a. (2010). Losas y Paneles Alveolares Prefabricados Pretensados. Recuperado el 21 de julio de 2016 de [http://www.weilerprecast.com/docs/LosasAlveolaresPretensadas\\_Ventajas\\_Ejemplos\\_Weiler.pdf](http://www.weilerprecast.com/docs/LosasAlveolaresPretensadas_Ventajas_Ejemplos_Weiler.pdf)

Rajadell Carreras Manuel, & Sánchez García José Luis. (2009). Lean Manufacturing, la evidencia de una necesidad. Madrid: Ediciones Díaz de Santos. Recuperado el 21 de julio de 2016 de <http://site.ebrary.com/bibliotecavirtual.udla.edu.ec/lib/udlasp/reader.action?docID=10526533>

Reference Manual,. (2010). AIAG Measurement System Analysis (MSA) (4ta edition). Automotive Industry Action Group. Recuperado el 2 de noviembre de 2017 de <https://es.slideshare.net/aniuxppi/aiag-msa-4th-ed>

Thomas Pyzdek, & Paul Keller. (2014). The Six Sigma Handbook. McGraw-Hill Education. Recuperado el 26 de abril de 2017 de [http://s3.amazonaws.com/academia.edu/documents/41061193/The\\_six\\_sigma\\_handbook.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1493251471&Signature=dWY5xgd6T%2BjHpn18jfWh4hdQcuo%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DThe\\_Six\\_Sigma\\_Handbook.pdf](http://s3.amazonaws.com/academia.edu/documents/41061193/The_six_sigma_handbook.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1493251471&Signature=dWY5xgd6T%2BjHpn18jfWh4hdQcuo%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DThe_Six_Sigma_Handbook.pdf)

## **ANEXOS**

## ANEXO 1

### *Project Charter*

#### Información del proyecto

Empresa / Organización	EMPRESA PÚBLICA CEMENTERA DEL ECUADOR
Proyecto	MEJORAMIENTO DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE LOSAS ALVEOLARES BAJO METODOLOGÍA Y HERRAMIENTAS LEAN SIGMA.

#### Descripción del problema

Se ha generado problemas en la producción y calidad del producto, identificación como problemas tiempos muertos, desperdicio y presencia de defectos en el producto en proceso y terminado, ya que en 24 horas se producen 220 m lineales de losas de las cuales 15 m son producto no conforme; en la elaboración de la mezcla de hormigón para las losas existe un sobrante de mezcla, por lo que se desecha debido a que la mezcla de hormigón fragua con rapidez.

#### Objetivo del proyecto

Mejorar el proceso de producción de losas alveolares bajo metodología y herramientas lean sigma, disminuyendo el lead time, desperdicio y defectos en producto en proceso y terminado.

#### Alcance

Desde el acopio de materias primas hasta el almacenamiento de producto terminado para la línea de producción de losas alveolares.

#### Beneficio

Disminución de producto no conforme.  
Disminución de desperdicio de hormigón.  
Reducción de lead time.  
Aumento del rendimiento de producción de losas.

**Miembros del equipo.**

<b>CARGO</b>	<b>ROL EN EL PROYECTO</b>
Gerencia Técnica	Patrocinador
Coordinadora de prefabricados	Team Coach
Especialista de prefabricados	Dueño de Proceso
Técnico de mantenimiento	Experto maquinaria
Operador de maquinas	Experto operación
Autor	Black Belt

**Cronograma**

Inicio del proyecto: 10-octubre-2016

Fin del proyecto: 24-abril-2017

Metodología DMAMC Etapas	Tiempo
Definir	10-octubre-2016 hasta 15-noviembre-2016
Medir	20-noviembre-2016 hasta 13-enero-2017
Analizar	16-enero-2017 hasta 10-febrero-2017
Mejorar	14-febrero-2017 30-marzo-2017
Controlar	3-abril-2017 hasta 24-abril-2017

## ANEXO 2

### Criterios de calificación para número de prioridad de riesgo

Efecto	Efecto de Severidad	Valor
Peligroso sin alerta	Valor de severidad muy alto cuando un modo de Problema potencial afecta la operación del sistema sin alerta	10
Peligroso con alerta	Valor de severidad muy alto cuando un modo de Problema potencial afecta la operación del sistema con alerta	9
Muy alto	Identificar modos de Problema potenciales y su impacto en la confiabilidad del proceso o actividad	8
Alto	Sistema inoperable con equipo dañado	7
Moderado	Sistema inoperable con daños menores	6
Bajo	Sistema inoperable sin daños	5
Muy bajo	Sistema operable con una significativa degradación de rendimiento	4
Menor	Sistema operable con una degradación de rendimiento	3
Muy menor	Sistema operable con mínima interferencia	2
Ninguno	No hay efectos	1

Detección	Probabilidad de la DETECCIÓN	Valor
Absoluta incertidumbre	El control del diseño <b>no puede</b> detectar una causa potencial/mecanismo y modo de fallo subsecuente	10
Muy remota	<b>Muy remota</b> la probabilidad del control de diseño para detectar causas potenciales/mecanismos y modos de fallos	9
Remota	<b>Identificar modos de Problema potenciales y su impacto en la confiabilidad del proceso o actividad</b>	8
Muy baja	<b>Muy baja</b> la probabilidad del control de diseño para detectar causas potenciales/mecanismos y modos de fallos	7
Baja	<b>Baja</b> la probabilidad del control de diseño para detectar causas potenciales/mecanismos y modos de fallos	6
Moderada	<b>Moderada</b> la probabilidad del control de diseño para detectar causas potenciales/mecanismos y modos de fallos	5
Muy moderada	<b>Muy moderada</b> la probabilidad del control de diseño para detectar causas potenciales/mecanismos y modos de fallos	4
Alta	<b>Alta</b> la probabilidad del control de diseño para detectar causas potenciales/mecanismos y modos de fallos	3
Muy alta	<b>Muy alta</b> la probabilidad del control de diseño para detectar causas potenciales/mecanismos y modos de fallos	2
Casi seguro	Control de diseño <b>detectará</b> causas potenciales/mecanismos y modos de fallos subsecuentes	1

PROBABILIDAD de fallo	Prob. Fallo	VALOR
Muy alta : Problemas casi inevitables	>1 in 2	10
	1 in 3	9
Alta: Fallos repetitivos	es y su impacto e	8
	1 in 20	7
Moderadas: Problemas ocasionales	1 in 80	6
	1 in 400	5
	1 in 2,000	4
Baja: Pocas Problemas relativamente	1 in 15,000	3
	1 in 150,000	2
Remota: Problema inverosímil	<1 in 1,500,000	1

# ANEXO 3

## AMEF

ANÁLISIS DE MODOS DE FALLO Y SUS EFECTOS (AMFE)															
Nombre del Sistema (Título):		Línea de producción de losas										Fecha AMFE:		25/01/17	
Responsable (Dpto. / Área):		Especialista de prefabricados										Fecha Revisión			
Responsable de AMFE (persona)		Técnico de mantenimiento, Analista Calidad Seguridad y Ambiente, Especialista de prefabricados													
Etapa del Proceso	Modo de Fallo	Efecto	Causas	Método de detección	S severidad	O ocurrencia	D detección	NPR inicial	Acciones recomendadas.	Responsable	Acción Tomada	G gravedad	O ocurrencia	D detección	NPR final
Acondicionamiento de máquina multifunción:	Equipo sin batería	No se limpia ni se acondiciona las pistas	No dejar cargando la maquina	Inspección visual	7	2	3	42							
	Raspadores de goma y rodillo en mal estado	defecto en cara lisa de losa	Mantenimiento preventivo y autónomo deficiente	Inspección visual	7	1	2	14							
	Taponamiento de válvula y orificios de pulverización	losa adherida al molde	Mala distribución de desmoldante por taponamiento de válvula y orificios de pulverización	Inspección visual	8	3	2	48							
Limpieza y acondicionamiento de pistas	Losa adherida al molde	retraso en la producción	Protocolo de limpieza de pistas deficiente	Inspección visual	7	4	2	56							
Tendido los cables	Equipo sin batería	retraso en la producción	No dejar cargando la maquina	Revisión de equipo	7	1	3	21							
	Cable doblado	Rotura de cable	Remordimiento de cable en base porta cables	Inspección visual	7	5	1	35							
Tensado de cables	Ruptura de cable	Retraso en la producción, desperdicio de cable, accidente	torsión de cable superior a 60°	Verificación	6	3	2	36							
	Máquina de Paul sin calibración ni verificación	pretensado fuera de especificación	falta de calibración de equipo	Verificación	7	2	1	14							
Acondicionamiento y operación de maquina deslizando	ajuste inadecuado de molde al equipo	canto irregular	Fanta de mantenimiento preventivo y autónomo	Inspección visual	10	7	7	490	Implementación TPM	Black Belt, Técnico de mantenimiento.					
Hormigonado	sobredosificación de fórmula	Hormigón fuera de parámetros de calidad, coste elevado de calidad	Falta de verificación de tolv dosificadoras	Inspección visual	8	2	2	32							
	hormigón húmedo	aparición de orificios en las losas	Desconcentración del operador	Inspección visual	10	3	2	60							
	hormigón seco	compactación deficiente de hormigón	Desconcentración del operador	Inspección visual	10	3	2	60							
Colado de hormigón	Falta de control de aspersor de agua	cangrejeras en las losas	Operación, verificación y calibración de la maquina deslizando deficiente	Verificación	10	8	8	640	Implementación TPM	Black Belt, Técnico de mantenimiento.					
	velocidad de equipo fuera especificación	biselado defectuoso	Operación, verificación y calibración de la maquina deslizando deficiente	Verificación	10	8	2	160	Implementación TPM	Black Belt, Técnico de mantenimiento.					
	Exceso de agua	Orificios en losas	Falta de control de aspersor de agua de maquina deslizando	Inspección visual	10	6	7	420	Implementación TPM	Black Belt, Técnico de mantenimiento.					
Curado	Falta de temperatura	Losa no fraguada	Falla en el caldero	Inspección visual	8	3	3	72							
	cortar cables de losas pretensada a temperatura superior a la ambiente	Fisuras	falta de control de temperatura de la losa antes de liberar	Inspección visual	7	4	2	56							
Corte y desmolde	Corte irregular de losa	losa fuera de parámetros de longitud	Disco de corte defectuoso	Inspección visual	10	2	2	40							
	Operación deficiente de izaje	Fisuras, Golpes	Falta de formación en maniobra de izaje	Inspección visual	10	8	6	480	Formación del personal	Black Belt, Especialista de prefabricados					
Izaje y acopio	Operación deficiente de izaje	Fisuras, Golpes	Falta de formación en maniobra de izaje	Inspección visual	10	8	7	560	Formación del personal	Black Belt, Especialista de prefabricados					

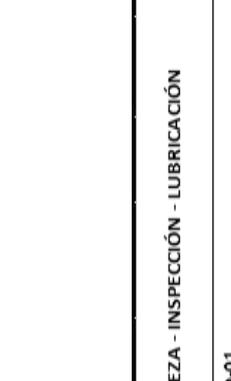
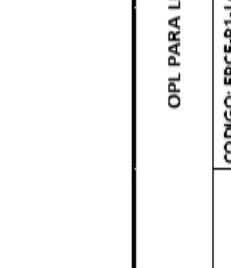
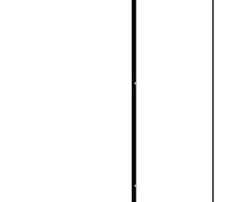
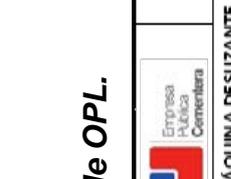
## ANEXO 4

### Registro de Mantenimiento Autónomo

 <b>MANTENIMIENTO AUTÓNOMO</b>		FECHA		REVISION	HORÓMETRO
<b>MAQUINA:</b> DESLIZANTE		<b>MODELO:</b> 2014	<b>MARCA:</b> ECHO PRECAST		<b>SERIE:</b> 55.50..339
ACTIVIDAD	PROCEDIMIENTO	TIEMPO (mint)	FRECUENCIA	OBSERVACIONES	
<b>LIMPIEZA</b>					
PARTE SUPERIOR	vibradores	LAVADO	25 MINT	DIARIA	
	tolva				
	alizador				
PARTE INFERIOR	moldes	LAVADO	25 MINT	DIARIA	
	entre moldes				
	alizador				
<b>TOLVA PRINCIPAL</b>	<b>LAVADO</b>	10 MINT	DIARIA		
<b>EXESO DE GRASA</b>	<b>RETIRO</b>	5 MINT	SEMANAL		
<b>LIMPIEZA TOTAL</b>	ELIMI. RESIDUOS	4 H	MENSUAL		
<b>INSPECCIÓN</b>					
AJUSTE TODOS LOS TORNILLOS	CHEQUEO	10 MINT	SEMANAL		
CONTROL DE NIVEL DE ACEITE	CHEQUEO	2 MINT	DIARIO		
CONTROL DE FUGAS DE ACEITE	CHEQUEO	1 MINT	DIARIO		
<b>LUBRICACIÓN</b>					
COJINETES	ENGRASADO	30 MINT	SEMANAL		
	CADA 5h				
TABLAS DE DESLIZAMIENTO	DE				
	FUNCIONAMIENTO				
COJINETES DEL ALIZADOR	ENGRASADO	1 H	MENSUAL		
	CADA 25h				
COJINETES DE LA EXCÉNTRICA	DE				
	FUNCIONAMIENTO				
<b>OPERADOR</b>		<b>RESPONSABLE</b>			

ANEXO 5

Formato de OPL.

		<p style="text-align: center;"><b>OPL PARA LIMPIEZA - INSPECCIÓN - LUBRICACIÓN</b></p>				
<p><b>EQUIPO: MÁQUINA DESUZANTE</b></p>		<p><b>CODIGO: EPCF-P1-LA-MD-01</b></p>				
ACTIVIDAD	PROCEDIMIENTO	MAT./HERRAMIENTAS/EQUIPOS	CANTIDAD	FRECUENCIA	TIEMPO [H]	IMAGEN DE ELEMENTOS
LIMPIEZA	(A) Limpiar acumulación de hormigón en la parte izquierto y derecho del sistema de moldeo (B) Limpiar acumulación de hormigón en el alisador (C) Limpiar acumulación de hormigón de las tolvas (D) Limpiar acumulación de hormigón en los tubos (E) Limpiar acumulación de hormigón en el tren de tracción y la viga-pelina (F) Untar aditivo en el alisador, tubos, tren de tracción y la viga-pelina	Espátula Agua a alta presión Espátula Agua a alta presión Espátula Agua a alta presión Espátula Agua a alta presión Espátula Agua a alta presión Desmoldante		Diaria Diaria Diaria Diaria Diaria	0,4 h 0,3 h 0,5 h 0,5 h 0,5 h	
Limpiar ruedas de desplazamiento	(1) Limpiar placa de auto limpieza de hormigón de las ruedas	Espátula		Diaria	0,25 h	
limpieza neal de la máquina	(2) Limpiar acumulación de material de hormigón y polvo	Guape y aire a presión		Semanal	0,5h	
LUBRICACIÓN	(A) Liberar tapa de grasa (B) Lubricar (C) Colocación de la tapa de la grasa  (1) Lubricar (2) Lubricar (3) Lubricar (4) Lubricar (5) Lubricar (6) Lubricar	Ujaves exagonales, Lubricación neumática Engrasador manual Engrasador neumática Engrasador neumática Engrasador neumática Engrasador manual Engrasador neumática	4 gramos	Se manual Diaria Diaria Se manual Se manual Se manual	0,25h 0,25h 0,25h 0,25h 0,25h 0,20h	
AJUSTES, CALIBRACIONES Y CAMBIOS	(1) Cambio de juego de tubos actuales (2) Calibración de la tolva posterior (3) Calibración de la tolva de lamara (4) Calibración del vibrador de laminado (5) Ajustar alisador (6) Cambio del soporte del alambre superior					
INSPECCION VISUAL	(1) Inspeccionar visual de toda la estructura antes del funcionamiento (2) Verificar que el equipo de moldeo esté en buen estado			Diaria Semanal	0,20h 0,20h	

## ANEXO 6.

### ***Procedimiento de Seguridad en la manipulación de losa alveolar***

#### 1. INFORMACIÓN BÁSICA

PROCESO	SEGURIDAD EN LA MANUPULACION DE PLACA ALVEOLAR
Descripción	PROPÓSITO: Garantizar la seguridad en la manipulación de la placa alveolar ALCANCE: Se emite las disposiciones para la manipulación de losa alveolar, en la fabricación, almacenamiento, durante el transporte y en la obra.
Responsable del Proceso	Especialista de prefabricados.
Referencias	UNE EN 13369 REGLAS COMUNES PARA PRODUCTOS PREFABRICADOS DE HORMIGON

#### 2. GLOSARIO DE TÉRMINOS

**Izaje.** –es una operación mecánica que se realiza para mover objetos grandes y /o pesados que no pueden ser transportados manualmente.

**Estrobo.** – pedazo de cable unido por sus extremos que sirve para suspender cosas pesadas.

**Pinza.** – Instrumento para sujetar cosas que consiste en dos piezas alargadas, unidas con un muelle o pequeñas palancas.

#### 3. PROCEDIMIENTO DEL PROCESO

##### 3.1. Indicaciones Iniciales.

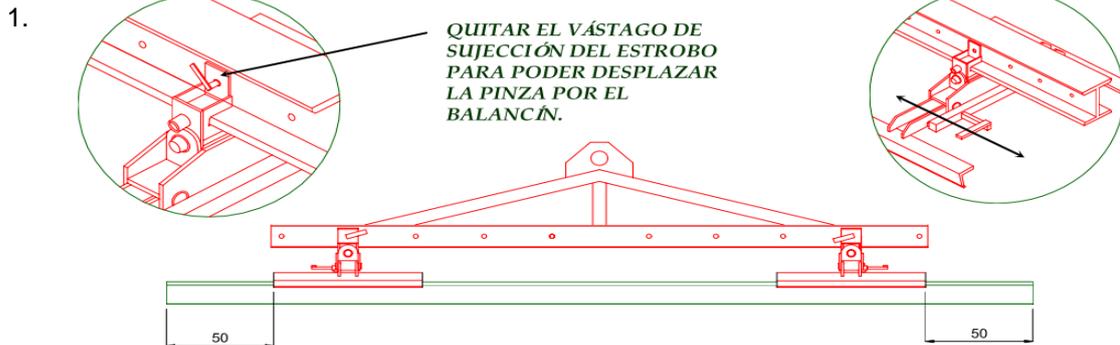
Asegúrese de haber comprendido en toda su extensión las siguientes instrucciones. En caso de surgir alguna duda, consultar con el responsable de seguridad de la obra o directamente con el responsable de seguridad y salud ocupacional.

##### 3.2. Enganchado e Izado.

1. En primer lugar, verificar el terminado del borde superior de la placa alveolar, comprobar que la placa alveolar a elevar no presenta defectos ocasionados por el transporte o almacenamiento que puedan poner en peligro la seguridad de las operaciones de enganche e izado.

- Comprobar que la pinza y balancín elegidos son adecuados para las dimensiones y peso de la placa a elevar. En particular deben comprobarse tanto que la anchura de la pinza es capaz de admitir la anchura de la placa, como que la placa sea inferior o igual a la carga máxima admisible que figura en la placa correspondiente del balancín de elevación, como se indica en la figura siguiente:

**COLOCAR LAS PINZAS A LA DISTANCIA ADECUADA PARA LA CORRECTA SUJECCIÓN TENIENDO EN CUENTA LA LONGITUD DE LA PLACA ( VUELO MÁXIMO RECOMENDADO 50 cm )**

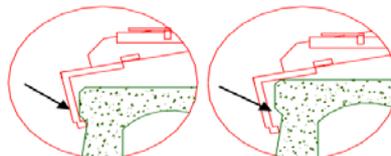


que la carga nominal elevable por la grúa a utilizar es igual o superior al peso que se debe elevar: placa, balancín con pinzas, estrobo y cadenas de seguridad juntos.

- Enganchar un estrobo adecuado a una carga de trabajo mínima de 6000 Kg. En cada uno de los lugares establecidos a tal efecto en el balancín de elevación.
- Verificar el correcto estado de los grilletes y apriete de sus tuercas, antes de iniciar las maniobras.
- Enganchar los estrobo al gancho de la grúa de izado, verificando que **EN NINGÚN CASO** el ángulo que forma cada uno de los estrobo con el balancín es inferior a 60°.
- Enganchar el retenedor de cierre de la pinza y después elevar ligeramente el balancín por encima de la placa colocándolo tan centrado respecto a la misma como sea posible. De acuerdo con la siguiente Figura

**Colocación de las pestañas**

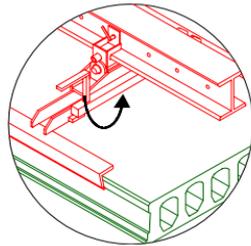
**BIEN MAL**



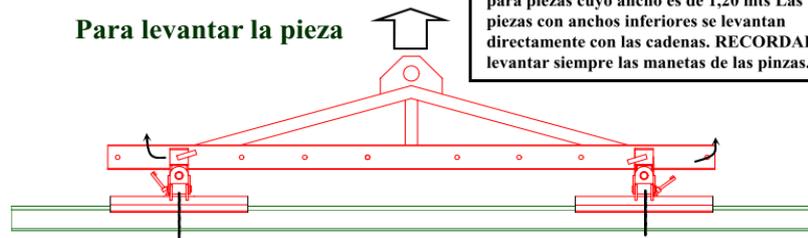
- Ajustar la mordaza al lateral (canto) de la placa hasta que ambos patines se ajusten al mismo y soltar el retenedor de cierre de la pinza para permitir que se ajuste bien al canto de la placa. Como se indica en la figura siguiente:

7. *COLOCAR EL BALANCÍN SOBRE LA PIEZA A ELEVAR Y COLOCAR LAS CADENAS DE SEGURIDAD. LEVANTAR RETENEDOR DE CIERRE DE LAS PINZAS. ATENCIÓN A LA COLOCACIÓN DE LAS PESTAÑAS. (FIGURA 5)*

7.



**Para levantar la pieza**

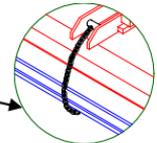


**Importante:** Las pinzas **SOLAMENTE** sirven para piezas cuyo ancho es de 1,20 mts. Las piezas con anchos inferiores se levantan directamente con las cadenas. **RECORDAR** levantar siempre las manetas de las pinzas.

ligeramente el conjunto la mínima altura suficiente para permitir el paso de las cadenas de seguridad. Pasar las mismas por debajo de la placa y proceder a su enganche en la pinza en los soportes establecidos a tal efecto, como se indica en la Figura siguiente:

**ES OBLIGATORIO EL USO DE LAS CADENAS DE SEGURIDAD PARA EL MANEJO DE CUALQUIER TIPO DE PLACA.**

**Colocación de las CADENAS**



- Una vez bien enganchadas las cadenas de seguridad, iniciar el izado del conjunto en velocidad lenta, evitando en todo momento movimientos bruscos.
- Compruébese y oblíguese a que ninguna persona permanezca en **NINGÚN MOMENTO** debajo de la placa o de su trayectoria de movimiento.

### 3.3. Colocación de la Placa

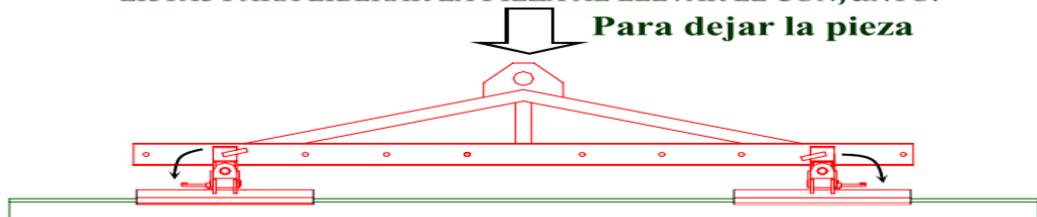
- El desplazamiento de la placa sujeta por el balancín se realizará en todo momento **A VELOCIDADES LENTAS**, evitando movimientos bruscos.
- Una vez que la placa se encuentre próxima al lugar donde debe ser colocada, verifíquese que el operario está del lado de la placa en el que las cadenas de seguridad pueden ser desenganchadas. En caso contrario se girará lentamente la

placa, previa detención de su bajada, hasta que quede alcanzable sin peligro para el manejo de operario.

3. Se aproximará después la placa al lugar exacto de emplazamiento. El guiado se realizará con cuidado y lentamente, bajando una vez colocada en vertical la pieza en velocidad lenta y sin movimientos bruscos, hasta que se apoye la pieza a colocar sobre las vigas.
4. A continuación, se procederá al desenganche de la cadena de seguridad
5. Se colocará el retenedor para permitir a la pieza su desplazamiento y que se suelte la placa, como en la siguiente figura:

6. 

***PARA DEJAR LA PIEZA SE HA DE BAJAR EL BALANCÍN HASTA QUE DESCANSE SOBRE LA PIEZA Y EL RETENEDOR DE CIERRE, AL BAJAR, DEJARÁN LAS PINZAS ABIERTAS Y LISTAS PARA LIBERAR LA PIEZA AL ELEVAR EL CONJUNTO.***

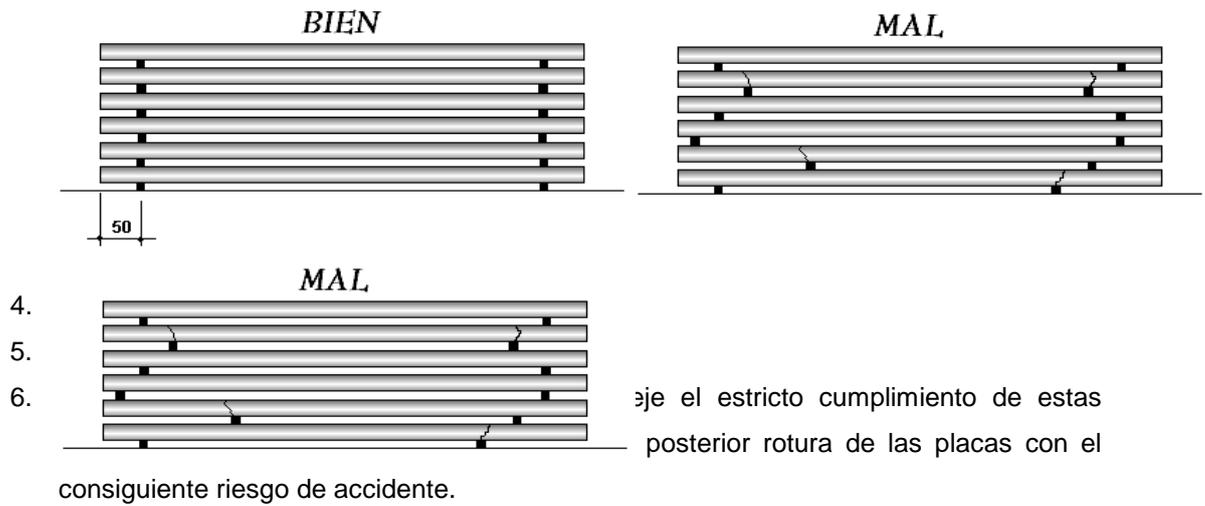


z terminada la manipulación se depositará el balancín en lugar seguro

7. En caso de deterioro o accidente, notifíquese inmediatamente a ña persona responsable de seguridad y salud ocupacional.

### 3.4. Acopio.

1. El acopio se realizará en un lugar cuya superficie esté acondicionada para ello y suficientemente plana.
2. La primera placa alveolar se apoyará sobre tacos de madera de manera que no apoye en el suelo directamente en ningún punto de su superficie inferior. Estos tacos deben colocarse paralelos y a una distancia de los extremos de la placa, tal que no supere en ningún caso los 50 cm.
3. El resto de muros deberán también apoyar sobre la anterior sobre tacos de madera dispuestos de forma regular, es decir perfectamente alineados uno debajo de otro, y por lo tanto también en paralelo y a una distancia máxima de los extremos de 50 cm.



4. 5. 6. se el estricto cumplimiento de estas posterior rotura de las placas con el consiguiente riesgo de accidente.

7. El número de placas alveolares que se pueden acopiar en una misma pila viene dado por el canto nominal de la placa. Según la tabla adjunta.

i.	Espesor: 10 cm	7 Placas
ii.	Espesor: 15 cm	7 Placas
iii.	Espesor: 20 cm	6 Placas
iv.	Espesor: 25 cm	5 Placas
v.	Espesor: 30 cm	5 Placas

# ANEXO 7

## Plan de Control.

		MUESTRA				ANALISIS	RESULTADOS	
PROCESO	ETAPA DE PROCESO	 Tipo de inspeccion	 variable	 Responsable	 Frecuencia	 Responsable	 Registros	 TOLERANCIA
PRODUCCIÓN DE LOSAS ALVEOLARES	TENDIDO y TENSADO (CABLES Y CORDONES)	inspección visual	tiempo de tendido de cables	Tecnico de laboratorio	en cada lote entregado	Especialista de prefabricados	Control de producto Terminado- acero refuerzo	
	HORMIGONADO	inspección visual de desviaciones e imperfecciones	m <sup>3</sup> de hormigon producido	operador de central de hormigonado	en cada bachada	Especialista de prefabricados	Control de producto en proceso : -Hormigón	± 0,1 m <sup>3</sup> de hormigon
	COLADO DE HORMIGON	inspección visual de desviaciones e imperfecciones	Tiempo de Producción Tiempo de Operación m <sup>2</sup> producidos	tecnico de mantenimiento	cada lote	Especialista de prefabricados, Tecnico de mantenimiento	HOJA DE EFICIENCIA GENERAL DE EQUIPOS (OEE)	
	CURADO	inspección visual	Temperatura	Tecnico de laboratorio	Diario	Especialista de prefabricados	control de curado acelerado	Temperatura en pistas (40 - 42 °C)
	FORMA, MEDIDAS Y ACABADO	inspección visual de desviaciones e imperfecciones	Longitud	Tecnico de laboratorio	Diario	Especialista de prefabricados	control de producto en proceso	Revisar en NORMA UNE EN 1168 ANEXO A (NORMATIVO)
	ALMACENAJE Y ACOPIO	deslizamiento inicial de cordones	Longitud	Tecnico de laboratorio	3 cordones por pista por día de producción	Especialista de prefabricados	Control de producto terminado	Revisar en NORMA UNE EN 1168 ANEXO A (NORMATIVO)
		Sección trasversal y longitudinal	Longitud	Tecnico de laboratorio	cada dos semanas de producción	Especialista de prefabricados	Control de producto terminado	Revisar en NORMA UNE EN 1168 ANEXO A (NORMATIVO)
		Finales de pieza	Longitud	Tecnico de laboratorio	Inspección visual, cada final de corte	Especialista de prefabricados	Control de producto terminado	Revisar en NORMA UNE EN 1168 ANEXO A (NORMATIVO)
		Características de la superficie superior, de contacto rugosa o dentada en caso de uso con capa de compresión in situ	Numero de defectos	Tecnico de laboratorio	inspección visual, como para la sección transversal	Especialista de prefabricados	Control de producto terminado	Revisar en NORMA UNE EN 1168 ANEXO A (NORMATIVO)
	 <b>MEDIDAS DE SEGURIDAD.-</b> El personal debera utilizar el Equipo de Protección Personal Necesario							
 <b>PUNTOS CRITICOS.-</b> El personal deberá mantener el orden y limpieza en su lugar de trabajo, asegurarse que los equipos estén calibrados.								

