

**Plan de mejoramiento del proceso productivo de postes de Concreto Prefabricados
mediante herramientas de lean manufacturing en PRETECOR LTDA.**

Diego Fernando Lázaro Gutiérrez

Juan Diego Mesa Niño

**Trabajo de grado bajo la Modalidad de práctica empresarial presentado como requisito
Para optar por el título de Ingeniero Industrial**

Director

Ing. Fabio Adolfo Velasco Sossa

Magister en Administración de Empresas

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas

Escuela de Estudios Industriales y Empresariales

Bucaramanga

2017

DEDICATORIA

A mis padres Miguel Enrique y Azucena por ser el motor de mi vida y la motivación para cada día conseguir nuevas metas, por siempre estar presentes y apoyarme con su cariño y compañía.

A mi nonita Flor, mi nonito Julio, mi abuelita Alicia y mi abuelito Luis, esos ángeles que desde el cielo siempre me protegen, siempre me fortalecen cada día y que desde pequeño me guiaron por el camino correcto.

A Paola Serrano, la mujer que mantiene el orden en mi vida, por todo ese amor que me hace ser una mejor persona.

Diego Fernando Lázaro Gutierrez

DEDICATORIA

A mis padres Diego Humberto y Claudia Lucia por ser las personas que me motivaron a realizar este proyecto de vida y quienes nunca han dejado de apoyarme y creer en mí.

A mis abuelos los cuales me brindaron su apoyo incondicional en todo momento, así como su comprensión de las diferentes situaciones que he encontrado a lo largo de esta etapa de mi vida.

Juan Diego Mesa Niño

AGRADECIMIENTOS

A nuestros padres, por su apoyo a lo largo de todo el proceso de realización de este trabajo, y por su colaboración durante toda nuestra etapa de formación como profesionales y personas integras.

A la Universidad Industrial de Santander y a la Escuela de Estudios Industriales y Empresariales, las cuales median te todos sus docentes y recursos brindaron todos los conocimientos requeridos para convertirnos en profesionales.

A Pretector Ltda. y a todos y cada uno de sus trabajadores, especialmente al Ing. Carlos Blanco e Ing. Fernando Chaparro por la oportunidad de formar parte de esta excelente empresa y por sus aportes y conocimientos para el desarrollo del trabajo.

Al Ing. Fabio Adolfo Velasco Sossa por contribuir siendo el guía en la ejecución de este proyecto, por compartirnos todos sus conocimientos y por brindarnos su apoyo y confianza durante todo el proceso.

Tabla de Contenido

| | Pág. |
|---|-------------|
| Introducción | 23 |
| Cumplimiento de objetivos | 26 |
| 1. Generalidades del proyecto | 27 |
| 1.1 Planteamiento del problema..... | 27 |
| 1.2 Alcance y limitaciones del proyecto. | 28 |
| 1.3 Objetivos..... | 29 |
| 1.3.1 Objetivo general..... | 29 |
| 1.3.2 Objetivos específicos. | 29 |
| 1.4 Metodología para la implementación de mejoras y técnicas Lean en el proceso de producción de postes de Concreto Prefabricados | 30 |
| 1.4.1 Fase 1: Identificación del perfil de la empresa y definición del proceso productivo | 31 |
| 1.4.2 Fase 2: Análisis y diagnóstico del proceso productivo de postes de Concreto Prefabricados | 31 |
| 1.4.3 Fase 3: Evaluación de la empresa frente a las técnicas de Lean Manufacturing | 32 |
| 1.4.4 Fase 4: Definición y análisis de mejoras..... | 32 |
| 1.4.5 Fase 5: Implementación de mejoras dentro de la línea de producción | 33 |
| 1.4.6 Fase 6: Actividades de control de las implementaciones y mejora continua..... | 33 |
| 2. Identificación del perfil de la empresa..... | 34 |
| 2.1 Descripción | 34 |
| 2.2 Reseña histórica | 35 |
| 2.3 Estructura organizacional..... | 36 |
| 2.4 Número de empleados..... | 36 |

| | |
|---|----|
| 2.5 Infraestructura | 36 |
| 2.6 Plan estratégico. | 37 |
| 2.6.1 Misión | 37 |
| 2.6.2 Visión al 2018 | 37 |
| 2.7 Políticas y objetivos de calidad..... | 37 |
| 2.8 Objetivos de calidad..... | 39 |
| 2.9 Clientes | 40 |
| 2.10 Mapa de procesos..... | 41 |
| 3. Marco teórico | 41 |
| 3.1 Mejoramiento de procesos | 41 |
| 3.2 Lean Manufacturing..... | 42 |
| 3.3 Principios del Lean Manufacturing..... | 45 |
| 3.4 Despilfarro | 46 |
| 3.5 Beneficios del Lean Manufacturing..... | 48 |
| 3.6 Enfoque PHVA como parte del control y aplicación del Lean Manufacturing | 49 |
| 3.7 Técnicas y herramientas de Lean Manufacturing | 52 |
| 3.7.1 5 s..... | 52 |
| 3.7.2 SMED | 53 |
| 3.7.3 Value Stream Mapping | 54 |
| 3.7.4. Poka yoke..... | 55 |
| 3.7.5 Kanban | 56 |
| 3.8 Estudio de tiempos | 57 |
| 3.8.1 Estudio de tiempos por cronómetro | 58 |
| 3.8.2 Sistemas estándares de tiempos predeterminados..... | 58 |
| 3.8.3 Muestreo de trabajo..... | 58 |

| | |
|---|-----|
| 4. Análisis y diagnóstico inicial de la empresa | 58 |
| 4.1 Descripción del proceso productivo – diagrama de operaciones | 58 |
| 4.2 Diagrama de causa-efecto-diagrama de Ishikawa..... | 59 |
| 4.3 Los cinco ¿Por Qué? | 60 |
| 4.4 Análisis diagrama de Pareto para referencias fabricadas..... | 61 |
| 4.4.1 Grupos de Referencia..... | 64 |
| 4.5 Muestreo de trabajo..... | 64 |
| 4.5.1 Causas de tiempos no contributivos..... | 72 |
| 4.6 Value Stream Mapping | 74 |
| 4.7 Diagrama de recorrido | 77 |
| 4.8 Conclusiones diagnóstico..... | 84 |
| 5. Evaluación de la empresa frente a las técnicas y herramientas de Lean Manufacturing | 87 |
| 6. Definición y análisis de mejoras | 90 |
| 6.1 Sistema Kanban de retirada y señalización de flujo de producción..... | 90 |
| 6.1.1 Definición parcial de sistema Kanban de retirada y señalización de flujo de producción. . | 90 |
| 6.1.2 Ajuste a las mejoras | 93 |
| 6.1.3 Simulaciones | 94 |
| 6.2 Sistema 5s | 99 |
| 6.2.1 Diseño del sistema 5s..... | 99 |
| 6.2.2 Ajustes a la mejora..... | 100 |
| 6.2.3 Simulaciones | 100 |
| 6.3 Mejora para la estandarización del trabajo en puesto de fabricación de espirales y de corte de hierro | 103 |
| 6.3.1 Diseño del flujo de información Gerencia-Operarios | 106 |
| 6.3.2 Diseño de los medios generadores y de transmisión de información | 107 |

| | |
|---|-----|
| Mejoramiento del proceso en Pretecor Ltda. | 12 |
| 6.3.3 Ajustes a la mejora..... | 110 |
| 6.3.4 Simulaciones | 111 |
| 6.4 Estudio y mejoras para los recursos de transporte puente grúa. | 112 |
| 6.4.1 Ejecución del estudio de seguimiento de los puentes grúas de la línea de producción de postes de Concreto Prefabricados | 113 |
| 6.4.2 Ajustes a la mejora..... | 123 |
| 6.4.3 Simulaciones | 124 |
| 6.5 Definición parcial balanceo de línea-Sistema de cuadrillas | 124 |
| 6.5.1 Diseño balanceo de línea parcial..... | 125 |
| 6.5.2 Celda de manufactura-Sistema de cuadrillas | 130 |
| 6.5.3 Ajustes a la mejora..... | 131 |
| 6.5.4 Simulaciones | 134 |
| 6.6 Ubicación de estante de almacenamiento de espirales para los puestos de armado de noyos. | 137 |
| 6.6.1 Implicaciones | 138 |
| 6.6.2 Desplazamientos | 138 |
| 6.6.3 Almacenamiento de espirales | 138 |
| 6.6.4 Ajustes a la mejora..... | 139 |
| 6.6.5 Simulación | 140 |
| 7. Implementación y resultados. | 143 |
| 7.1 Implementación de alternativas de mejora. | 143 |
| 7.1.1 Implementación programa 5s..... | 143 |
| 7.1.2 Implementación estandarización del trabajo en puestos de fabricación de espirales y corte de hierro | 148 |
| 7.1.3 Muestreo de trabajo..... | 151 |
| 8. Indicadores de producción | 158 |

| | |
|---|-----|
| 8.1 Objetivos | 158 |
| 8.2 Diseño de indicadores | 159 |
| 8.3 Selección de indicadores | 159 |
| 8.4 Indicadores para el control y seguimiento de la producción..... | 160 |
| 8.4.1 FFT-First Time Through..... | 160 |
| 8.4.2 RTO. VOL-Rendimiento del volumen | 160 |
| 8.4.3 RTO. MIX-Rendimiento del mix..... | 161 |
| 8.4.4 BTS-Ajuste de la programación..... | 161 |
| 8.4.5 Programa 5's | 162 |
| 8.5 Descripción Formatos de cálculo de los indicadores | 162 |
| 9. Análisis de la capacidad..... | 165 |
| 9.1 Análisis capacidad instalada | 166 |
| 9.2 Análisis de capacidad utilizada | 166 |
| 9.3 Conclusiones análisis de la capacidad utilizada..... | 168 |
| 10. Value Stream Mapping futuro | 168 |
| 11. Conclusiones | 170 |
| 12. Recomendaciones | 172 |
| Referencias Bibliográficas | 174 |

Lista de Figuras

| | Pág. |
|--|-------------|
| Figura 1. Metodología para la implementación de alternativas de mejora en Pretector Ltda..... | 30 |
| Figura 2. Procedimiento de implementación de técnicas Lean y mejoras en Pretector Ltda. | 34 |
| Figura 3. Casa Lean. | 43 |
| Figura 4. Evolución De Los Principios Del Lean Manufacturing. | 44 |
| Figura 5. Ciclo PHVA..... | 50 |
| Figura 6. Técnicas y herramientas de Lean Manufacturing. Adaptado de Vilana (2010-2011)... | 52 |
| Figura 7. Fases cinco Eses. Adaptado de Fabrizio y Tapping (2006)..... | 53 |
| Figura 8. Implementación SMED; Fuente: Adaptado de Shingo (1983)..... | 54 |
| Figura 9. Elaboración de un mapeo de la cadena de valor..... | 55 |
| Figura 10. Diagrama Causa-Efecto..... | 60 |
| Figura 11. Comportamiento de los grupos o familias de productos según proporción de productos fabricados por distribución de formaletas en el período 2014-2016..... | 64 |
| Figura 12. Expresión Matemática número de muestras..... | 66 |
| Figura 13. Diagrama de Porcentaje, tiempos productivos. | 68 |
| Figura 14. Diagrama de Porcentajes, tiempos contributivos. | 70 |
| Figura 15. Diagrama Porcentajes, Tiempos No Contributivos. | 71 |
| Figura 16. Value Stream Mapping Pretector Ltda. | 75 |
| Figura 17. Diagrama planta Pretector Ltda. | 78 |
| Figura 18. Diagrama de Recorrido Corte..... | 80 |
| Figura 19. Diagrama de Recorrido Concreto..... | 81 |
| Figura 20. Diagrama de recorrido Puesto de armado de noyos. | 82 |

| | |
|--|-----|
| Figura 21. Diagrama de Recorrido Puesto de formaletas, resane e inventario final..... | 83 |
| Figura 22. Diagrama Pareto despilfarros. | 86 |
| Figura 23. Resultados del cuestionario de comprensión del enfoque Lean..... | 89 |
| Figura 24. Diseño inicial 2D para las estaciones de formaletas. | 92 |
| Figura 25. Diseño inicial 2D para las estaciones de resane. | 93 |
| Figura 26. Señal ensamblada para las estaciones de formaletas..... | 94 |
| Figura 27. Señal ensamblada para las estaciones de resane..... | 94 |
| Figura 28. VSM durante el ejercicio de simulación de señales..... | 98 |
| Figura 29. Lista de actividades estándar de aseo y orden 5s. | 101 |
| Figura 30. Código de color. | 101 |
| Figura 31. Flujo de información de la programación de la producción antes de mejora..... | 105 |
| Figura 32. Flujo de información de programación de producción establecido por la mejora. ... | 107 |
| Figura 33. Formato para la programación de producción de hierro y espirales. | 108 |
| Figura 34. Formato de distribución de formaletas..... | 109 |
| Figura 35. Porcentaje de tiempo destinado a cada elemento de transporte por parte del puente grúa 1..... | 115 |
| Figura 36. Porcentaje de tiempo destinado a cada elemento de transporte por parte del puente grúa 2..... | 116 |
| Figura 37. Porcentaje de elementos de transporte realizados por el puente grúa 1. | 119 |
| Figura 38. Porcentaje de elementos realizados por el puente grúa 2..... | 120 |
| Figura 39. Comportamiento del puente grúa 1 durante ejecución del estudio de seguimiento. . | 121 |
| Figura 40. Comportamiento del puente grúa 2 durante ejecución del estudio de seguimiento. . | 121 |
| Figura 41. Gato hidráulico..... | 123 |
| Figura 42. Gato hidráulico diseñado en Solid Works..... | 124 |
| Figura 43. Diagrama de secuencia de operaciones..... | 126 |
| Figura 44. Calculo del Takt time. | 127 |

| | |
|---|-----|
| Figura 45. Tiempo de ciclo de postes de ocho y doce metros vs. Takt time. | 128 |
| Figura 46. Flujo de cuadrillas en alistamiento del primer grupo de formaletas. | 136 |
| Figura 47. Leyenda para flujo de cuadrillas..... | 137 |
| Figura 48. Diseño del estante de espirales..... | 140 |
| Figura 49. Simulación de zonas de almacenamiento de espirales. | 140 |
| Figura 50. Diagrama de recorrido puesto de armado de noyos con zona de almacenamiento de espirales..... | 142 |
| Figura 51. Presentación programa 5s..... | 144 |
| Figura 52. Antes y después, programa 5s. | 145 |
| Figura 53. Ejemplo canecas y tableros de herramientas. | 145 |
| Figura 54. Listas de actividades 5s. | 146 |
| Figura 55. Resultados obtenidos en las auditorías al programa mediante la lista de chequeo 5s. | 147 |
| Figura 56. Tableros de distribución de formaletas..... | 148 |
| Figura 57. Producción de espirales vs Necesidad diaria..... | 149 |
| Figura 58. Producción de espirales vs Necesidad diaria Marzo. | 150 |
| Figura 59. Distribución de tiempos puesto de corte. | 154 |
| Figura 60. Distribución de tiempos planta de mezclado..... | 155 |
| Figura 61. Estantes de espirales..... | 156 |
| Figura 62. Distribución de tiempos puestos de armado de noyos..... | 157 |
| Figura 63. Distribución de tiempos puestos resane. | 157 |
| Figura 64. Distribución de tiempos puestos de formaletas. | 158 |
| Figura 65. Ecuación para el cálculo de FTT. | 160 |
| Figura 67. Ecuación para el cálculo de RTO MIX. | 161 |
| Figura 68. Ecuación para el cálculo de BTS..... | 161 |
| Figura 69. Ejemplo encabezado formato de indicadores..... | 163 |

| | |
|---|-----|
| Figura 70. Ejemplo cuerpo del formato de indicadores..... | 163 |
| Figura 71. Formato indicador del programa 5's. | 165 |
| Figura 72. Value Stream Mapping futuro. | 169 |

Lista de Tablas

| | Pág. |
|---|-------------|
| Tabla 1. Definición de despilfarros..... | 47 |
| Tabla 2. Sistemas poka yoke..... | 56 |
| Tabla 3. Sistemas kanban..... | 57 |
| Tabla 4. Resultados aplicación cinco ¿por qué?..... | 61 |
| Tabla 5. Clasificación de familias de productos. | 63 |
| Tabla 6. Número de muestras n tomadas en el estudio por puesto de trabajo. | 66 |
| Tabla 7. Resumen tiempos productivos..... | 67 |
| Tabla 8. Resumen Tiempos Contributivos..... | 69 |
| Tabla 9. Resumen Tiempos no Contributivos..... | 71 |
| Tabla 10. Causas de Tiempos No Contributivos. | 72 |
| Tabla 11. Conclusiones Diagnóstico..... | 84 |
| Tabla 12 Código de colores sistema kanban..... | 91 |
| Tabla 13. Grupos de formaletas y número de formaletas que contienen..... | 95 |
| Tabla 14. Roles para ejecución, control y auditoria del sistema..... | 103 |
| Tabla 15. Consecuencias de la situación de la falta de comunicación..... | 104 |
| Tabla 16. Roles de cada cargo en la generación y flujo de información. | 106 |
| Tabla 17. Tiempos dedicados a cada elemento de transporte por parte del puente grúa 1. | 113 |
| Tabla 18. Tiempos dedicados a cada elemento de transporte por parte del puente grúa 2. | 114 |
| Tabla 19. Cantidad de transportes realizados por el puente grúa 1. | 117 |
| Tabla 20. Cantidad de transportes realizados por el puente grúa 2. | 118 |
| Tabla 21. Tiempos de ciclo y Takt time. | 127 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 22. Causas y consecuencias de las pérdidas de tiempo disponible en formaletas. | 129 |
| Tabla 23. Distribución de puestos de trabajo y operarios en cuadrillas..... | 131 |
| Tabla 24. Roles y encargados del funcionamiento del estante de espirales..... | 139 |
| Tabla 25. Tiempo productivo..... | 151 |
| Tabla 26. Tiempos contributivos. | 152 |
| Tabla 27. Tiempos no contributivo..... | 152 |
| Tabla 28. Partición de tiempos no contributivos. | 153 |
| Tabla 29. Cálculo de la Capacidad utilizada..... | 167 |

Lista de Apéndices

| | Pág. |
|------------------|-------------|
| Apéndice 1..... | 36 |
| Apéndice 2..... | 36 |
| Apéndice 3..... | 41 |
| Apéndice 4..... | 59 |
| Apéndice 5..... | 63 |
| Apéndice 6..... | 67 |
| Apéndice 7..... | 67 |
| Apéndice 8..... | 76 |
| Apéndice 9..... | 76 |
| Apéndice 10..... | 89 |
| Apéndice 11..... | 99 |
| Apéndice 12..... | 102 |
| Apéndice 13..... | 102 |
| Apéndice 14..... | 108 |
| Apéndice 15..... | 112 |
| Apéndice 16..... | 121 |
| Apéndice 17..... | 124 |
| Apéndice 18..... | 125 |
| Apéndice 19..... | 135 |
| Apéndice 20..... | 143 |
| Apéndice 21..... | 149 |
| Apéndice 22..... | 151 |
| Apéndice 23..... | 158 |
| Apéndice 24..... | 160 |
| Apéndice 25..... | 162 |
| Apéndice 26..... | 164 |
| Apéndice 27..... | 166 |

RESUMEN

TITULO: PLAN DE MEJORAMIENTO DEL PROCESO PRODUCTIVO DE POSTES DE CONCRETO PREFABRICADOS MEDIANTE HERRAMIENTAS DE LEAN MANUFACTURING EN PRETECOR LTDA.*

AUTORES: LAZARO GUTIERREZ, DIEGO FERNANDO
MESA NIÑO, JUAN DIEGO**

PALABRAS CLAVES: MEJORAMIENTO, PROCESO, POSTES DE CONCRETO, LEAN MANUFACTURING, DESPILFARROS, IMPLEMENTACIÓN.

DESCRIPCIÓN:

Pretector Ltda. es una empresa dedicada a la producción y comercialización de elementos prefabricados en concreto, además del diseño y construcción de redes eléctricas, telefónicas y obras civiles.

Este proyecto tiene como propósito el estudio del proceso productivo de poste de concreto prefabricado, y a partir de este, diseñar e implementar alternativas de mejora que permitan la eliminación de las actividades que no agregan valor.

En primera medida se realiza una fase de diagnóstico utilizando herramientas de la ingeniería industrial que permiten identificar y determinar cualitativa y cuantitativamente los despilfarros presentes en el proceso, además facilita el conocimiento acerca del funcionamiento del proceso y de los recursos implicados en este. El diseño y análisis de alternativas de mejora se llevan a cabo basados en los resultados de la fase de diagnóstico y comprende periodos de prueba que permiten la verificación del aporte al sistema productivo. La fase de implementación se desarrolla involucrando a todo el personal de la empresa, mediante capacitaciones, entrevistas, y charlas que permitan involucrarlos dentro del desarrollo del proceso, además se encuentra soportada en un nuevo estudio de medición, similar al de la fase inicial, que permite evaluar el impacto de las alternativas de mejora implementadas. Finalmente, se ejecuta la fase de diseño y desarrollo de un sistema de control que se adapte a las necesidades de la organización y permita evaluar el funcionamiento del proceso y de todos los recursos implicados.

El proyecto finaliza con la definición de conclusiones y recomendaciones que permitan seguir enfocado esfuerzo en acciones de mejora continua que aporten a la organización una nueva estrategia competitiva.

* Proyecto de grado. Modalidad práctica empresarial

** Universidad Industrial de Santander; Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Estudios Industriales y Empresariales, Programa de Ingeniería Industrial; Ingeniero Fabio Adolfo Velasco Sossa, Director de Proyecto.

ABSTRACT

TITLE: IMPROVEMENT PLAN FOR PRODUCTION PROCESS OF PREFABRICATED CONCRETE POST USING LEAN MANUFACTURING TOOLS.

AUTHORS: LAZARO GUTIERREZ, DIEGO FERNANDO
MESA NIÑO, JUAN DIEGO**

KEY WORDS: IMPROVEMENT, PROCESS, CONCRETE POSTS, LEAN MANUFACTURING, WASTE, IMPLEMENTATION.

DESCRIPTION:

Pretector Ltda. is a Company dedicated to the production and commercialization of prefabricated concrete elements, beside the design and construction of electrical, telephone and civil networks.

This project aims to study the productions process of prefabricated concrete post beside design and implement improvement alternatives that allow the elimination of activities that do not add value.

In the first part, a diagnostic phase is executed using industrial engineering tools that allow the identification and quantification presence of waste in the process, as well as facilitating the knowledge about the operations of the process and the resources involved in it. The design and analysis of improvement alternatives is performed based on the results of the diagnostic phase and includes test periods that allow the verification of the contribution to the production system. The implementation phase is developed involving all the production personnel, through training and interviews that allow them to be involved in the development of the process, and it is supported by a new measurement study, similar to the one performed in the initial phase, which allows evaluated the impact of the improvement alternatives implemented. Finally, the design and development phase of a control system is executed which is adapted to the needs of the organization and allows to evaluate the operation of the process and the resources involved in it.

The project ends with the definition of conclusions and recommendations that allows to continue with the effort in actions of continues improvement that contribute to the organization a new competitive strategy.

** Universidad Industrial de Santander; Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Estudios Industriales y Empresariales, Programa de Ingeniería Industrial; Ingeniero Fabio Adolfo Velasco Sossa, Director de Proyecto.

Introducción

Actualmente los distintos sectores económicos se enfrentan a nuevos desafíos generados a partir de las condiciones dinámicas y cambiantes de sus mercados objetivos. Las industrias manufactureras por la notoria necesidad de adaptación a estas condiciones, se han visto obligadas a implementar nuevas estrategias de gestión de la producción que permitan obtener ventajas competitivas a través de prácticas de manufactura que mejoren la eficiencia, el uso de recursos disponibles, aumenten el volumen de producción mediante procesos más óptimos, permitan obtener productos a menor costo como resultado de la eliminación de despilfarros y contribuyan con un aumento en la calidad de los bienes que son entregados a los consumidores finales.

La gestión de la producción puede ser una estrategia competitiva por sus implicaciones dentro de una empresa. Competitividad es un término que puede tener muchas variantes, y dentro de estas, se encuentran los bajos costos de manufactura que son en sí una de las consecuencias de la gestión de la producción. Las estrategias que facilitan dicha gestión pueden ser muchas y, de hecho, han tenido una evolución histórica que incluye desde personajes hasta metodologías estructuradas e implementadas por grandes organizaciones a nivel mundial. Dentro de las herramientas y métodos de gestión de la producción, la que mejor se adapta a las necesidades aparentes de las industrias manufactureras es Lean Manufacturing, una filosofía fundamentada en el mejoramiento continuo de los procesos productivos a través de la eliminación de despilfarros presentes en estos y de las actividades que no agregan valor a los productos que son entregados a los clientes.

Debido a la aceptación que ha tenido Lean Manufacturing como filosofía de producción a nivel global por parte de industrias pertenecientes a diversos sectores económicos, por su

contribución en el aumento de la productividad y competitividad, resalta como una alternativa viable para su implementación en empresas manufactureras nacionales. Actualmente se han logrado llevar a cabo proyectos fundamentados en la implementación de técnicas y herramientas de dicha metodología en industrias colombianas de ciertos sectores, ejemplos de estos son: “Modelo para la implementación de técnicas de Lean Manufacturing en empresas editoriales” realizado por Jhon Jairo Cardona Betancurth, y “Propuesta para la reorganización del sistema productivo de la planta 2 de Industrias Partmo S.A. bajo los lineamientos de Lean Manufacturing”. Trabajos que aportan en la realización del presente, que se lleva a cabo en Pretector Ltda.

Pretector Ltda. empresa dedicada a la fabricación, transporte, comercialización de elementos prefabricados en concreto, además del diseño y construcción de redes eléctricas, telefónicas y de obras civiles, planea central sus esfuerzos en la visión propuesta para el año 2018, y considera que la adaptación de sus procesos productivos a las exigencias del mercado nacional e internacional es primordial para la consecución de dichos objetivos.

Las razones expuestas anteriormente motivan la realización de este proyecto al interior de la planta de concreto de Pretector Ltda. el principal propósito es lograr la mejora en aspectos productivos dentro de la instalación. Atraviesa, inicialmente la fase de conocimiento y diagnóstico del proceso productivo de postes de Concreto Prefabricados, fundamentado en herramientas de medición cuantitativas y cualitativas propias de la ingeniería industrial. Seguidamente, profundiza en la identificación de factores generadores de despilfarros y de retrasos en las actividades de la organización. Mediante estudios y simulaciones en tiempo real al interior de la fábrica se concretan las mejoras que continúan para la fase de implementación, la cual es complementada con estudios que funcionan como punto de comparación con los realizados en la parte inicial. Finalmente, se establece un sistema basado en indicadores que permitan la medición y el control de la

productividad, la calidad y la seguridad de los trabajadores. Adicional a estas fases, el cierre del proyecto se da con un capítulo de conclusiones y recomendaciones que permitan a Pretector Ltda. seguir con un proceso de mejora continua.

Cumplimiento de objetivos

| OBJETIVOS GENERAL | |
|--|---------------------|
| Elaborar e implementar un plan de mejora para el proceso de producción de Postes de Concreto Prefabricados en la empresa Pretector Ltda., mediante el uso de las herramientas propias de Lean Manufacturing. | |
| OBJETIVOS | CUMPLIMIENTO |
| Realizar un diagnóstico acerca de la situación actual del proceso de producción de postes de concreto prefabricado de Pretector Ltda. | Capítulo 4. |
| Analizar las causas que generan despilfarros y consecuentemente improductividad en el proceso de fabricación de postes de Concreto Prefabricados. | Capítulo 4. |
| Identificar y analizar alternativas de mejora para el proceso de producción de postes de Concreto Prefabricados mediante herramientas de Lean Manufacturing. | Capítulo 6. |
| Implementar las alternativas de mejora, previamente identificadas, dentro del proceso de producción de postes de Concreto Prefabricados en Pretector Ltda. | Capítulo 7. |
| Diseñar un sistema de control y seguimiento para el proceso mediante la implementación de indicadores previamente determinados. | Capítulo 8. |

1. Generalidades del proyecto

1.1 Planteamiento del problema

Actualmente Pretector Ltda. es una de las empresas líderes en el mercado de producción y comercialización de soluciones prefabricadas, sin embargo, la consolidación en estas posiciones de privilegio requiere por parte de la organización esfuerzos adicionales en el mejoramiento continuo de sus procesos productivos, que permitan obtener ventajas respecto a sus competidores y faciliten su éxito en la incursión en mercados internacionales.

La mejora de los procesos productivos busca además de crear ventajas competitivas, objetivos como la reducción de despilfarros y el aumento en el flujo de productos terminados que permita ofrecer una respuesta rápida a los clientes. Por esto los jefes de planta han desarrollado un interés particular por la implementación de herramientas de Lean Manufacturing que contribuyan en la consecución de dichos logros.

Pretector Ltda. también ve la utilidad de este proyecto en las herramientas de diagnóstico y solución de problemáticas que se presentan eventualmente dentro de la planta de producción. Adicionalmente, entra en consideración la contribución que hace para sentar bases metodológicas de Lean Manufacturing que permitan mantener esta filosofía en el largo plazo y de manera sostenida como parte de la cultura del personal encargado.

1.2 Alcance y limitaciones del proyecto.

El presente proyecto tiene como objetivo principal la mejora del proceso productivo de postes de Concreto Prefabricados al interior de Pretector Ltda. Mas puntualmente, tiene como finalidad la disminución y/o eliminación de despilfarros presentes en las actividades productivas de la empresa, utilizando técnicas de Lean Manufacturing y de ingeniería industrial que integren, en primera medida los altos mandos de la planta con los trabajadores pertenecientes al nivel operativo, y en segundo orden, considera otros recursos utilizados para la producción como lo son: los equipos, herramientas y sistemas de transporte en general.

La consecución de estos objetivos se logra mediante la implementación de técnicas como sistemas 5s, metodología SMED, VSM futuro y otras tratadas a lo largo del documento. Adicionalmente, el proyecto es soportado en otro tipo de mejoras que comprenden la creación de canales de comunicación entre los altos mandos y los niveles operativos de la organización, e involucra otras ramas de la ingeniería para incluir el diseño de herramientas que faciliten las actividades productivas y optimicen el uso de los equipos ya involucrados en el proceso.

Lo mencionado anteriormente está fundamentado en herramientas de medición como lo son: Muestreo de trabajo, diagramas de recorrido, VSM presente. Estudios que permiten sustentar la necesidad de desarrollo de un plan de mejoramiento, al cual le es adjunto un cuadro comparativo en fase post-mejoras que permita evaluar la utilidad del presente proyecto desde el punto de vista académico y empresarial.

Se deben traer a consideración ciertos factores limitantes que dificultan el desarrollo del mismo al interior de Pretector Ltda. Dado que la empresa se encuentra sujeta a condiciones como: demanda versátil influenciada por situaciones de orden económico y político (paros camioneros,

licitaciones, temporadas electorales, etc.), variaciones en la nómina debido a la naturaleza del proceso y al tipo de labores que deben desarrollar los trabajadores del nivel operativo que traen como consecuencia una alta rotación de personal. Nivel académico y limitaciones médicas de algunos de los operarios, e inclusive, la gran cantidad de referencias manejadas en el portafolio de productos ofrecidos por Pretector Ltda.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general. Elaborar e implementar un plan de mejora para el proceso de producción de postes de Concreto Prefabricados en la empresa Pretector Ltda. mediante el uso de herramientas propias de Lean Manufacturing.

1.3.2 Objetivos específicos.

- Realizar un diagnóstico de la situación actual del proceso de producción de postes de Concreto Prefabricados de Pretector Ltda.
- Analizar las causas que generan despilfarros y consecuentemente improductividad en el proceso de fabricación de postes de Concreto Prefabricados.
- Identificar y analizar alternativas de mejora para el proceso de producción de postes de Concreto Prefabricados mediante herramientas Lean Manufacturing.
- Implementar las alternativas de mejora, previamente identificadas, dentro del proceso de producción de postes de Concreto Prefabricados en Pretector Ltda.
- Diseñar un sistema de control y seguimiento para el proceso mediante la implementación de indicadores previamente determinados.

1.4 Metodología para la implementación de mejoras y técnicas Lean en el proceso de producción de postes de Concreto Prefabricados

A partir de las bases teóricas expuestas en el capítulo 3, se establece una metodología general que describe el proceso de implementación de mejoras dentro de la organización, además incorpora los conductos regulares exigidos por parte de Pretector Ltda.

Por medio del ciclo PHVA se adapta esta metodología a los conductos regulares exigidos por Pretector Ltda. La figura 1 representa el ciclo definido entre la empresa y los responsables del proyecto que rige el orden y desarrollo de actividades a realizar para la culminación exitosa del proyecto.

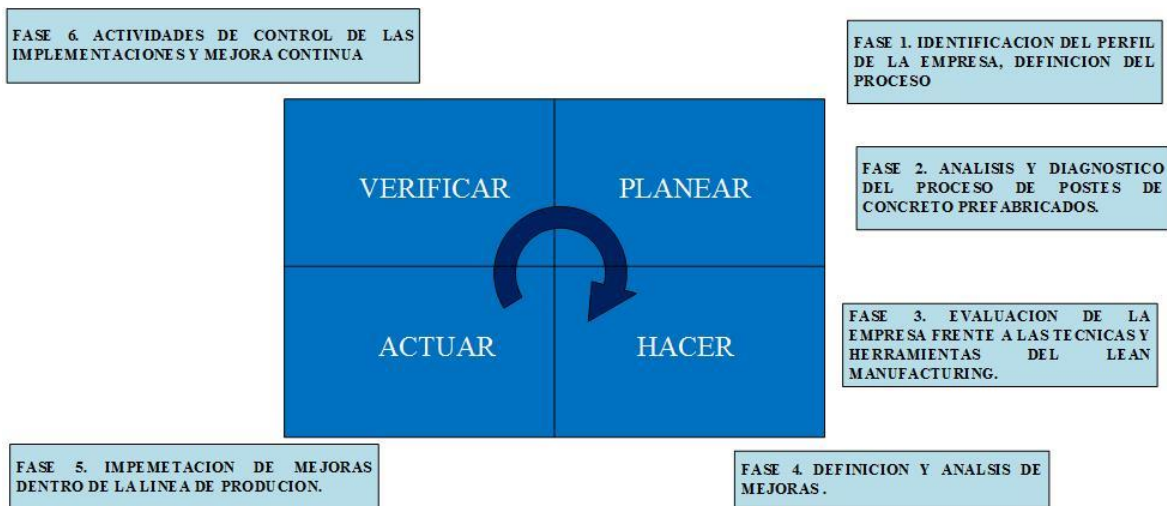


Figura 1. Metodología para la implementación de alternativas de mejora en Pretector Ltda.

1.4.1 Fase 1: Identificación del perfil de la empresa y definición del proceso productivo.

El inicio del proyecto esta demarcado por esta fase. Igualmente, esta se encuentra dividida en dos subfases que consisten en adquirir información y conocimiento sobre el funcionamiento interno de la empresa, facilitando la adaptación de los fundamentos académicos a la práctica misma.

1.4.1.1 Identificación del perfil de la empresa. La identificación y definición del perfil de la empresa se da por medio de información suministrada por parte de los ingenieros y personal administrativo a cargo de la planta, manuales de procedimientos, manual de calidad, observación de la actividad productiva, entrevistas con supervisores y operarios.

1.4.1.2 Definición del proceso. La definición del proceso se establece por medio de la obtención de información suministrada por parte de ingenieros, supervisores, operarios y, en general, de todo el personal que se vea directa o indirectamente involucrado con este. Además, incluye un amplio proceso de observación que permite la identificación de materias primas, maquinaria y herramienta utilizada, sistemas de transporte, puestos de trabajo, ambiente laboral, canales de comunicación entre los distintos niveles de la organización y familias de productos.

1.4.2 Fase 2: Análisis y diagnóstico del proceso productivo de postes de Concreto Prefabricados. Para el desarrollo de esta fase, en primera medida, se establecen las herramientas propias de la ingeniería industrial que pueden llegar a ser útiles para la medición y obtención de datos que permitan soportar la necesidad de la implementación de un plan de mejoramiento al interior de Pretector Ltda. En segundo orden, se aplican las herramientas de medición cualitativas y cuantitativas que faciliten el análisis y conclusión acerca de la situación actual del proceso de

fabricación de postes de Concreto Prefabricados. A continuación, se citan algunas de las herramientas utilizadas:

- Diagrama de causa-efecto.
- Diagramas de recorrido.
- Descripción del proceso productivo mediante diagrama de operaciones.
- Técnica de los cinco ¿Por qué?
- Diagramas de Pareto para la identificación de familias de productos y su relevancia.
- Muestreo del trabajo.
- Value Stream Mapping actual.

Adicionalmente, la culminación de esta fase suministra los datos que permiten la identificación de los despilfarros presentes dentro del proceso productivo, y sus consecuencias. De esta manera, se emiten conclusiones parciales acerca del sistema productivo.

1.4.3 Fase 3: Evaluación de la empresa frente a las técnicas de Lean Manufacturing.

Esta fase pretende evaluar la comprensión teórica y la aplicación de técnicas Lean dentro de Pretector Ltda. A partir de los resultados se obtiene una mejor idea de las necesidades y enfoque de las mejoras que se proponen.

1.4.4 Fase 4: Definición y análisis de mejoras. Esta fase comprende tres subfases, las cuales permiten la definición parcial de alternativas de mejora, para su posterior puesta a punto e implementación.

1.4.4.1 Definición parcial de mejoras. La definición parcial de mejoras se realiza a partir del análisis de la información y los datos obtenidos de las herramientas obtenidas en las fases 2 y 3. Una vez elaboradas estas alternativas son llevadas y sustentadas ante el personal a cargo de la planta.

1.4.4.2 Ajuste a las mejoras. Posterior a la sustentación, se realiza un esfuerzo conjunto entre los responsables del proyecto y los directivos de la planta para ajustar las mejoras.

1.4.4.3 Simulaciones. En esta fase se llevaron a cabo simulaciones reales, este término implica el uso de equipos, espacios y operarios, trabajando de manera conjunta y operando de la manera en que debe funcionar una vez implementada totalmente la mejora. Mediante procesos de observación y medición durante estas simulaciones se corrobora la utilidad y beneficios de las alternativas de mejora propuestas.

1.4.5 Fase 5: Implementación de mejoras dentro de la línea de producción. Esta fase comprende la implementación de mejoras dentro de Pretector Ltda. incluye los procesos de capacitación y ajustes sobre la marcha que se deben realizar.

1.4.6 Fase 6: Actividades de control de las implementaciones y mejora continua. Esta fase se encuentra dividida en dos partes:

1.4.6.1 Parte 1. Se realiza un seguimiento por parte de los encargados del proyecto, donde se resolvían dudas aparentes de los operarios a cerca del funcionamiento de los diferentes formatos, tableros, herramientas, estantes, etc.

1.4.6.2 Parte 2. Se procede con el diseño del sistema de indicadores que permita ejercer la medición y el control correspondientes sobre el proceso productivo. Dicho diseño se ve apoyado en el uso de herramientas ofimáticas.

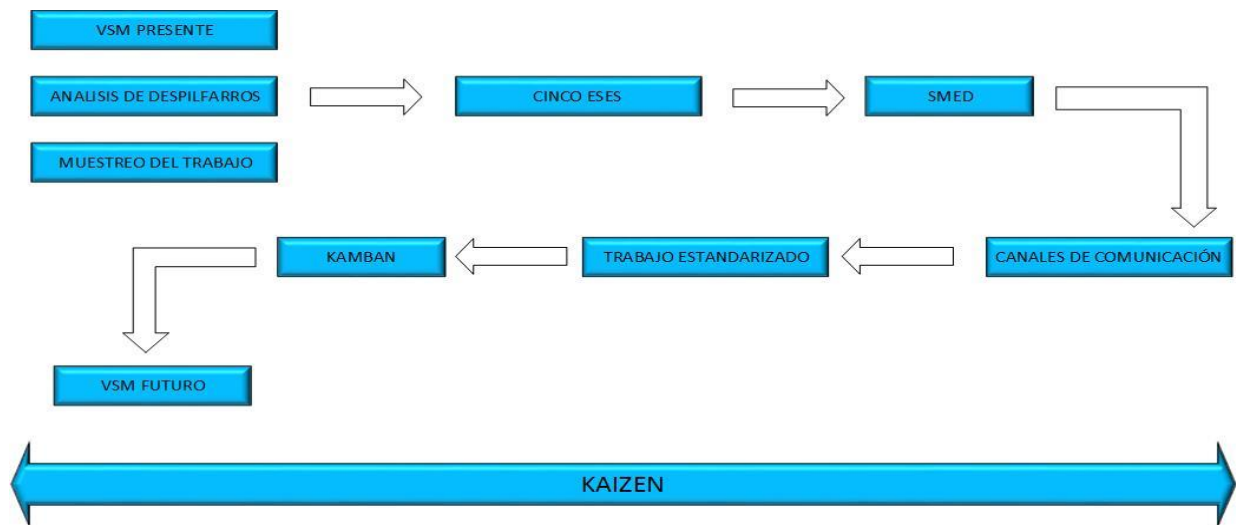


Figura 2. Procedimiento de implementación de técnicas Lean y mejoras en Pretector Ltda.

2. Identificación del perfil de la empresa

2.1 Descripción

Pretector Ltda. es un grupo empresarial el cual ha suministrado estructuras para el soporte de del tejido eléctrico y de telecomunicación colombiano desde 1982, la empresa cuenta con tres

plantas de producción, suministrando postes y estructuras de concreto prefabricadas y fibra de vidrio todo el territorio nacional, esta cuenta con un portafolio amplio de productos que le permite al cliente escoger la opción que mejor se adapte a sus necesidades.

- Razón Social: Pretensor de concreto del oriente Ltda.
- Tipo de Sociedad: limitada.
- Sector: Manufacturero.

2.2 Reseña histórica

Durante la época de los ochenta y en razón a los programas de electrificación rural que el Comité Departamental de Cafeteros de Santander debía adelantar en las zonas cafeteras del departamento, se vio la necesidad de crear una empresa, que suministrara postes de concreto, a fin de dar cumplimiento con las exigencias técnicas para el montaje de las líneas eléctricas requeridas por la Electrificadora de Santander.

Realizados los estudios sobre las diferentes tecnologías para la fabricación de postes de concreto, y tomando como referencia las distintas entidades del sector eléctrico, se determinó que la del pretensado, ofrecida por una firma argentina era la más indicada por las ventajas que brindaba.

Fue así como en 1982, se constituyó en Bucaramanga la empresa Pretensados de Concreto del Oriente Limitada, PRETECOR LTDA., como esfuerzo conjunto de las siguientes organizaciones:

- Comité de Cafeteros de Santander
- Comité de Cafeteros de Norte de Santander
- Corporación Financiera del Oriente – CORFIORIENTE
- Corporación Financiera de Santander – CORFISANTANDER

2.3 Estructura organizacional

La estructura organizacional de Pretector Ltda. se encuentra descrita dentro de su organigrama en el APÉNDICE 1.

2.4 Número de empleados

Pretector Ltda. Cuenta con 96 empleados directos y 16 empleados indirectos para la planta de Postes de Concreto prefabricados, la distribución de los empleados se encuentra en el APÉNDICE 2.

2.5 Infraestructura

Las instalaciones de Pretector Ltda. donde se lleva a cabo este proyecto se encuentra en el kilómetro 10 vía Bucaramanga – Piedecuesta. En sus más de 2000 metros cuadrados de construcción funcionan cuatro líneas de producción de concreto junto a las oficinas, sala de

caldera, zonas de inventarios, taller de mantenimiento, planta mezcladora y zonas de descanso para el personal. Su teléfono es (7) 6396161 y pagina web www.pretecor.com.

2.6 Plan estratégico.

2.6.1 Misión. Brindar soluciones prefabricadas para el desarrollo de los sectores eléctrico, energético, de telecomunicaciones y de la construcción, fundamentadas en un personal competitivo y comprometido; con oportunidades de desarrollo personal y laboral, buscando un rendimiento atractivo para los accionistas.

2.6.2 Visión al 2018. Pretecor Ltda. mantendrá su liderazgo en el suministro de soluciones prefabricadas en concreto para los sectores eléctrico, energético y de telecomunicaciones y será el líder en la fabricación de postes de poliéster reforzado en fibra de vidrio en Colombia. A su vez tendrá presencia en al menos dos países de Centro y Sur América, contando con no menos de cuatro productos de elementos prefabricados producidos con materiales diferentes al concreto.

2.7 Políticas y objetivos de calidad

Pretecor Ltda. define como política de calidad la mejora continua en la eficiencia, eficacia y calidad de los procesos, productos, servicios y talento humano; para lograr una mayor satisfacción del cliente, cumplir sus requisitos y alcanzar un mejor desempeño de la Empresa.

Para garantizar la calidad en todos los procesos y satisfacer las necesidades de los clientes, la Organización basa su Sistema de Gestión de la Calidad en ocho principios los cuales se explican brevemente a continuación:

- **Enfoque al Cliente:** La empresa Pretector Ltda. se preocupa por conocer y satisfacer las necesidades y expectativas de sus clientes, y comprende igualmente que debe estar en una constante evolución, para anticiparse a sus necesidades futuras y exceder sus expectativas.

- **Liderazgo:** Dentro de la organización la alta Gerencia incide sobre cada una de las áreas de la Empresa, enfocando a sus líderes hacia objetivos comunes; buscando con ello, un ambiente interno fortalecido y una visión compartida, que permita la participación de todo el recurso humano que hace parte de la Organización.

- **Participación del Personal:** El personal a todos los niveles es la esencia de una organización, por lo tanto, es prioridad en Pretector Ltda. buscar los mecanismos necesarios para fomentar el desarrollo de las habilidades y capacidades del Recurso humano en beneficio de la organización y de todas las partes interesadas.

- **Enfoque Basado en Procesos:** Pretector Ltda. ha enfocado sus actividades como un proceso, esto permite promover a sus empleados como expertos y responsables de su proceso, enfatizando con ello la creación de equipos autogerenciados, que conlleven a una mayor eficacia y eficiencia dentro de la Organización.

- **Enfoque de Sistemas para la Gestión:** Es importante tener una visión sistémica de la Organización, con un conocimiento del propósito de la misma, sus elementos y sus interrelaciones; para contribuir a la eficacia y eficiencia de la Empresa en el logro de sus objetivos. Por ello Pretector

Ltda. ha establecido procesos que se identifican, entienden, interrelacionan y gestionan como un sistema.

- **Mejora Continua:** En la Organización se tiene claro que este principio debe ser un objetivo permanente, orientado a buscar ventajas competitivas y a satisfacer las necesidades y exceder las expectativas que los clientes y partes interesadas tienen.

- **Enfoque Basado en Hechos para la Toma de Decisiones:** Parte del Sistema de la organización son los datos, indicadores e información que permite conocer el estado real de la misma, su desempeño interno, sus fallas y la percepción que tienen sus clientes de ella, lo que permite un análisis global para tomar decisiones eficaces.

- **Relaciones mutuamente beneficiosas con el proveedor:** Pretector Ltda. entiende que sus proveedores son parte importante dentro de la Empresa y que debe existir una relación mutuamente beneficiosa que aumente la capacidad para crear valor y permita una evolución conjunta.

2.8 Objetivos de calidad

Los objetivos de calidad se derivan de la Política de calidad, y de la planeación estratégica de Pretector Ltda., esta busca su consolidación en el periodo 2013 – 2018; midiéndolos a través de la eficacia del sistema de gestión de la calidad mediante la realización el cálculo del indicador “Eficacia del Sistema de Gestión de la Calidad”.

- Mejorar la rentabilidad de la Organización.
- Mejorar el desempeño operacional de la Organización.
- Aumentar la satisfacción del cliente.

- Mejorar la calidad de los productos.
- Mejorar la eficiencia de los procesos.

2.9 Clientes

Según datos estipulados en el manual de calidad de la empresa, esta presenta una relación de vendedor cliente con entidades como:

- ELECTRICARIBE.
- EMPRESA DE ENERGIA DE BOYACA.
- ELECTRIFICADORA SANTANDER.
- EMPRESAS PÚBLICAS DE MEDELLÍN.
- CENTRALES ELÉCTRICAS DEL NORTE

.

Se describen los principales requerimientos del cliente son:

- Referencia: Longitud y carga de rotura.
- Distribución de las perforaciones.
- Marcas de identificación.
- Cantidad.
- Plazo y sitio de entrega.

2.10 Mapa de procesos

El mapa de procesos que describe las actividades productivas de Pretector Ltda. se encuentra en el APÉNDICE 3.

3. Marco teórico

3.1 Mejoramiento de procesos

El mejoramiento de procesos es el estudio sistemático de las actividades y los flujos de cada proceso a fin de mejorarlo. Tiene como propósito entender los procesos detalladamente para, una vez comprendido, mejorarlo a partir de las debilidades y oportunidades observadas. (KRAJEWSKI & RITZMAN, 2000, pág. 928)

Para llevar a cabo un mejoramiento de procesos dentro de una industria manufacturera, se cuenta con varias técnicas y metodologías que buscan como objetivo la mejora productiva. El presente proyecto es desarrollado bajo los lineamientos de Lean Manufacturing y pretende la implementación de herramientas propias de esta filosofía que logren el objetivo anteriormente mencionado. Adicionalmente, por la naturaleza de esta, considera además de factores inherentes al proceso y a la productividad, otros como los pertenecientes a los trabajadores y su seguridad, la calidad de los productos ofrecidos e inclusive en los costos de fabricación.

De tal forma, a pesar de contar con una filosofía ampliamente estudiada e implementada en organizaciones de todo tipo de sectores económicos, se tienen en cuenta otras herramientas que faciliten las labores de estudio, análisis y diagnóstico de los procesos de Pretector Ltda. Se

consideran entonces herramientas como diagrama de operaciones, diagramas de recorrido, Value Stream Mapping y el muestreo de trabajo. Para concretar las actividades preestablecidas para el desarrollo del presente trabajo.

3.2 Lean Manufacturing

Los grandes cambios en la competencia global han estimulado a muchas firmas manufactureras a adoptar nuevas estrategias en orden a mejorar la eficiencia y a la vez ser más competitivos en sus procesos. Las empresas manufactureras han tomado el Lean Manufacturing como herramienta de mejora de procesos.

El desarrollo de modelos de gestión que contribuyeran al mejoramiento continuo de los procesos productivos se dio a mediados del siglo pasado, como resultado de la creación del sistema de producción Toyota, cuya premisa consistía en producir lo necesario, en las condiciones requeridas y en el momento oportuno (HERNANDEZ & VIZAN, 2013, pág. 174). Su creador Taiichi Ohno es considerado el padre de la filosofía Lean Manufacturing, este concentra su modelo en un enfoque hacia el sentido común, el cual busca la reducción de los costos, mejoras en la calidad y eliminación de desperdicios por medio del uso de herramientas de mejora.

El sistema JIT de Toyota toma fuerza en la década de los setenta y tres durante la crisis petrolera que se vivía en la época, el gobierno de Japón notando la eficiencia de Toyota fomento el modelo a otras industrias, a partir de ese hecho las empresas japonesas comienzan a crear una ventaja competitiva frente a las empresas de occidente y contrario a lo que se podía creer, no es hasta la década de los noventa cuando el modelo japonés tiene influencia en occidente, causado

por el libro “The Machine that Changed the world” de los autores Womack y publicado por International Motor Vehicle Programme. (NORANI, BABA, & Wahab, A Survey on Lean Manufacturing Implementation in Malaysian Automotive Industry., October 2010, pág. 8) En la figura 13 se resume el sistema de producción Toyota como una casa, esta tiene como base diferentes técnicas las cuales tienen como objetivo la eliminación de despilfarros y la mejora continua. Además, soporta dos grandes columnas: Jidoka que tiene como propósito evitar los defectos y su traslado a los demás procesos y Justo a Tiempo, el cual tiene por objetivo principal producir “piezas correctas, en las cantidades correctas, cuando se necesita”. En su parte superior en forma de techo se encuentran las metas de una organización, las cuales son: la mejora de la calidad, reducción de costos, reducción en los tiempos de entrega, el aumento de la seguridad, todo esto sobre las dos columnas JIT y Jidoka. En el centro de ambas columnas se encuentra la mejora continua, que está basada en la participación activa de las personas dentro de la organización, su capacidad para la solución de problemas y su capacidad de liderazgo. (LEAN SOLUTIONS)

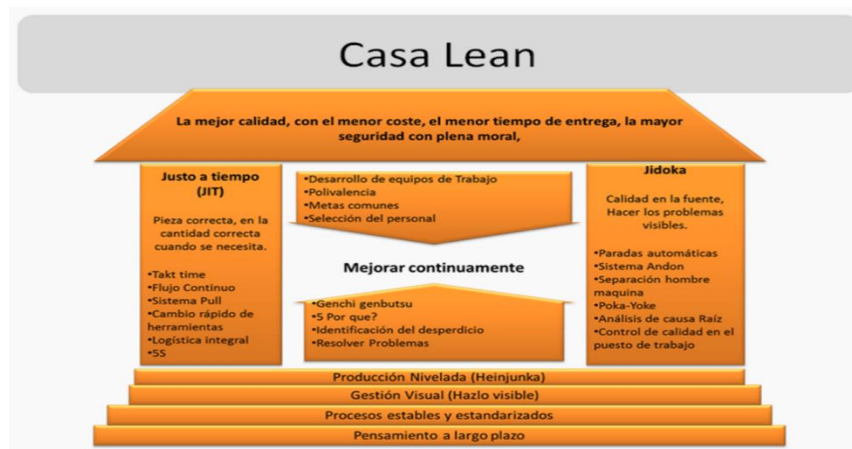


Figura 3. Casa Lean. Tomado de Lean Solutions (2016). Disponible en: <http://www.leansolutions.co/wp-content/uploads/2011/07/Lean-Manufacturing.png>

El concepto de Lean Manufacturing ha ido evolucionado con el paso del tiempo, en la siguiente imagen se muestra la evolución de los principios que se han ido sumando a esta filosofía.

| JIT | JWO | Lean |
|----------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| Reducción producto en curso | Trabajadores multidisciplinares | Jidoka |
| Flujo continuo | Calidad en el puesto | Calidad Total |
| Reducción tiempos de entrega | Mantenimiento en el puesto | Mejora continua |
| Reducción tiempos de fabricación | Mejoras del puesto de trabajo | Compromiso dirección y empleados |

Figura 4. Evolución De Los Principios Del Lean Manufacturing. Tomado de Lean Manufacturing Conceptos, técnicas e implantación (2013).

El Lean Manufacturing es una filosofía de trabajo basada en las personas. Define la forma de mejora y optimización de un sistema de producción focalizándose en identificar y eliminar o reducir todo tipo de despilfarro, entendiendo estos como el uso inadecuado de recursos y actividades o procesos que no generan valor en el producto final. Existen diferentes clasificaciones de despilfarros, los más comunes son: tiempos de espera, transporte, sobreproducción, inventarios, movimientos, sobre procesos y re trabajos. El Lean Manufacturing utiliza un número variado de herramientas y metodologías para eliminar o disminuir estos despilfarros, estas abarcan diferentes áreas operativas como (HERNÁNDEZ & VIZAN, 2013, pág. 174): organización de puestos de trabajo, gestión de la calidad, flujo interno de producción, mantenimiento, gestión de la cadena de suministro, estudios de tiempos y muestreo del trabajo, etc. Todas estas diferentes técnicas también tienen como objetivo la creación de una cultura de mejora continua por medio de la comunicación y el trabajo en conjunto de todas las personas involucradas en el proceso productivo. El Lean Manufacturing debe ser adaptado a cada caso en concreto para su éxito ya que este no es un concepto estático y rígido con una manera única de implementación.

3.3 Principios del Lean Manufacturing

Se definen cinco principios dentro de la filosofía Lean Manufacturing, los cuales son aplicables a todas las operaciones a lo largo de la cadena de valor, estos son (ARTO, 2011, pág. 12):

- Identificar El Valor

Entender quién es el cliente y sus expectativas, es decir, sus necesidades y requerimientos, incorporando estas al proceso productivo para así lo que este percibe como valor.

- Identificar El Flujo De Valor

Identificar la cadena de valor, señalando las actividades que aportan en el cumplimiento de las necesidades de los clientes. El objetivo es identificar todas aquellas actividades que no agreguen valor al proceso, con el fin de eliminarlas, modificarlas o disminuirlas.

- Establecer Flujo

Crear un flujo continuo del producto o asegurar que este se presente sin interrupciones, representadas en máquinas que constituyen cuellos de botella y eliminación de los transportes innecesarios.

- Establecer Un Sistema Pull

La instalación de un sistema Pull que le permita al cliente convertirse en la parte central del proceso, definiendo los requerimientos de producción.

- Buscar La Perfección

Tender y gestionar la perfección entendiéndola no solo como liberarse de despilfarros, ya que también comprende la entrega oportuna de productos a los clientes, que cumplan con los requerimientos de este, con un estándar de calidad alto y un costo bajo, viendo la perfección como el proceso continuo para la eliminación de desperdicios que nunca tiene un fin.

3.4 Despilfarro

Despilfarro es cualquier elemento o actividad que no agrega valor al producto final. Taiichi Ohno lo define como todo lo que esta fuera del mínimo necesario de materiales, equipamiento, partes, espacios y tiempo (BETANCURTH, 2013, pág. 211). De esta manera cuando no se genera valor se crean despilfarros, que no aportan a la meta final de toda organización, la cual es ganar dinero.

Existen diferentes maneras de clasificar los despilfarros encontrados en los distintos procesos productivos, pero todas estas tienen como objetivo final agrupar de una manera clara las ineficiencias que afectan los procesos de una organización. Taiichi Ohno fue el pionero en la clasificación de despilfarros y los definió en siete categorías:

Tabla 1. Definición de despilfarros

| Despilfarro | Definición |
|---------------------------------|--|
| Sobreproducción | Producir antes que el cliente lo requiera, bien sea porque no se va a usar o vender inmediatamente. |
| Esperas | Actividades en las cuales el operario observa la maquina operar, o se espera por algún elemento necesario para su operación. |
| Transporte innecesario | Movimientos que se realizan sin necesidad aparente. |
| Reprocesos | Actividades repetidas, o en las cuales no se identifican los requerimientos del cliente. |
| Inventarios | Son los stocks en exceso de materia prima, inventario de producto en proceso o de producto terminado. |
| Movimientos innecesarios | Actividades que desarrolla el personal que no son pertinentes dentro del proceso. |
| Productos defectuosos | Producción de partes defectuosas, lo que lleva a tiempos adicionales y recursos extras como los humanos, para llevar acabo inspección. |

La identificación clara de los diferentes despilfarros encontrados dentro de un proceso productivo es el primer paso para lograr la implementación de la metodología lean, esta se llevará a cabo con la aplicación de diferentes herramientas las cuales tienen diferentes objetivos y funcionalidades, para esto los gerentes pueden hacer uso de tres estrategias (BETANCURTH, 2013, pág. 211):

- La mejora constante de los procesos la cual puede ser llevada a cabo por medio del equilibrio o ajuste de actividades y operaciones.
- Generar un enfoque de calidad, “hacerlo bien en el primer intento”.

- Crear una activa participación por parte de los empleados a todo nivel para que puedan aportar con ideas de mejora para los procesos de la organización, además de asegurar su plena participación en las mejoras adoptadas por la dirección.

3.5 Beneficios del Lean Manufacturing

La implementación de la metodología Lean Manufacturing trae consigo numerosas mejoras a largo plazo que pueden ser evidenciadas a simple vista dentro de un proceso de manufactura, estas mejoras son el producto del desarrollo de una cultura Lean al interior de una organización, la cual debe estar establecida de manera vertical, pues es necesario el compromiso de todas las partes que integran el proceso productivo.

Algunas de las mejoras que la implementación de la metodología puede traer son (ATEHORTUA, 2010, págs. 34-37):

- Reducción en el Lead Time.
- Reducción en las distancias necesarias para transportar material.
- Tiempos de preparación óptimos.
- Reducción de los inventarios a niveles óptimos de almacenamiento.
- Producción en base a la demanda del mercado.
- Trabajadores multidisciplinarios comprometidos con la solución de problemas.
- Reducción de costos y mejora en calidad.
- Disminución en la contaminación del medio ambiente.

El principal beneficio otorgado por la metodología Lean consiste en la cultura creada alrededor de esta y que nunca culmina, pues consiste en ciclo continuo de mejora.

3.6 Enfoque PHVA como parte del control y aplicación del Lean Manufacturing

La mejora continua o Kaizen es un concepto de origen japonés que consiste en la búsqueda continua de la mejora de los procesos. Las bases de la filosofía del mejoramiento continuo son las convicciones de que prácticamente cualquier aspecto de un proceso puede mejorarse y que las personas que participan más de cerca de él se encuentran en la mejor posición para identificar los cambios que deben hacerse (KRAJEWSKI, RITZMAN, & MALHOTRA, Administración de operaciones Octava edición, 2008, págs. 211-212). La participación del personal es el eje principal para el desarrollo y control de la mejora continua y esto se logra creando un sentimiento de propiedad y orgullo por parte de las personas que conforman la organización, incrementando la calidad de los productos. La mayoría de las empresas dedicadas activamente al mejoramiento continuo capacitan a sus equipos de trabajo en el uso del ciclo de planear-hacer-verificar-actuar para la resolución de problemas; Este método también se conoce como la Rueda de Deming.

El ciclo PHVA o Rueda de Deming se compone de cuatro fases, las cuales plantean tiempos y objetivos diferentes, estos se encuentran dirigidos a una meta común: la aplicación de una metodología sistemática pero flexible de solución de problemas. A continuación, se define cada una de estas fases (BETANCURTH, 2013, pág. 211):

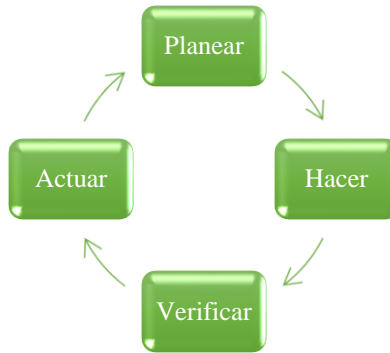


Figura 5. Ciclo PHVA

El ciclo PHVA o Rueda de Deming se compone de cuatro fases, las cuales plantean tiempos y objetivos diferentes, estos se encuentran dirigidos a una meta común: la aplicación de una metodología sistemática pero flexible de solución de problemas. A continuación, se define cada una de estas fases (BETANCURTH, 2013, pág. 211):

- **Planear:** Se elige un proceso ya sea una activada, método, maquina o política que sea necesario u oportuno mejorar, luego se debe analizar el proceso en cuestión para definir metas de mejoramiento, además de permitir la generación y evaluación de posibles ideas de mejora, se fija un plan de acción y métodos cuantitativos de control.
- **Hacer:** Se pone en marcha el plan, se observan y toman datos del proceso a lo largo del tiempo asegurándose de que se realice según lo planeado.
- **Verificar:** Se analizan los datos obtenidos durante la fase del hacer y se comparan con las metas establecidas en el plan, en esta fase se debe verificar si existen grandes dificultades para alcanzar las metas establecidas, lo cual podría concluir con un replanteamiento del plan.
- **Actuar:** Si los resultados de la fase de verificación son positivos el proceso se documenta con su nuevo diseño, permitiendo la expansión de la nueva metodología a los demás empleados.

Además, se inicia el control del mismo gracias a las medidas diseñadas para medir la efectividad previamente utilizada en el hacer y verificar.

La idea de la mejora continua propuesta en el ciclo PHVA no tiene final, por esta razón una vez se aplica el control en fase del actuar, el ciclo reinicia. La metodología PHVA es una herramienta clave para la implementación de cualquier modelo de gestión.

En el ciclo PHVA todas las fases son de gran importancia, aunque se recalca la importancia del primer paso: la identificación y definición del problema, ya que sin una identificación del problema real que afecta al proceso en estudio se puede entrar en especulación y pérdida de recursos, pues la solución solo sería parcial y luego de un tiempo el problema puede regresar o incluso empeorar. El ciclo PHVA presenta una serie de ventajas útiles para la implantación de sistemas de gestión como lo es la metodología Lean Manufacturing, estas son (ATEHORTUA, 2010, págs. 34-37):

- Hay una rutina de administración del individuo y/o del equipo.
- Es un proceso que soluciona problemas.
- Gestión de proyectos.
- Desarrollo continuo.
- Desarrollo del vendedor.
- Desarrollo del recurso humano.
- Desarrollo de productos nuevos y ensayos de procesos.

3.7 Técnicas y herramientas de Lean Manufacturing

Para Implementar principios del pensamiento Lean, existen una variedad de técnicas y herramientas representadas en la figura 16, cuya aplicación combinada facilitará la exitosa implementación de un sistema Lean Manufacturing (ARTO, 2011, pág. 12).

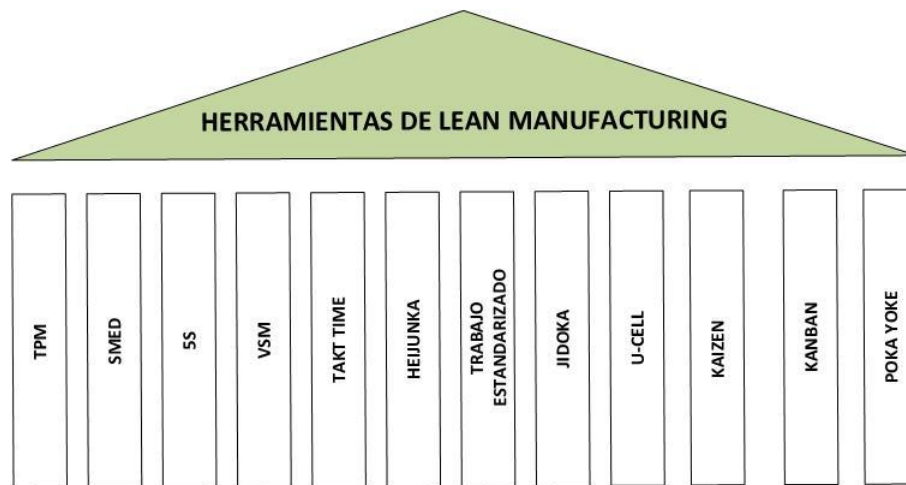


Figura 6. Técnicas y herramientas de Lean Manufacturing. Adaptado de Vilana (2010-2011).

A continuación, se describen la definición teórica y otros aspectos de algunas herramientas y técnicas de Lean Manufacturing:

3.7.1 5 s. “El método 5s es una técnica de gestión de origen japonés utilizada para la creación y el mantenimiento sistemático de la limpieza y el orden en las áreas de trabajo” (CRUELLES, 2012, pág. 119). Es fundamental en un proceso de implementación de Lean Manufacturing dentro de una organización. Los beneficios de un sistema 5s dentro de una fábrica están representados en factores como:

- Aumento de la productividad.
- Aumento de la calidad de los productos y procesos.
- Incremento de la seguridad y salud en el trabajo.

Las 5s pueden ser medidas bajo lineamientos que correspondan a los factores mencionados, utilizando indicadores como: número de accidentes de trabajo, número de unidades producidas, tiempos de respuesta al cliente y unidades defectuosas. En la figura 17 se muestran las fases en un proceso de implementación de 5s.

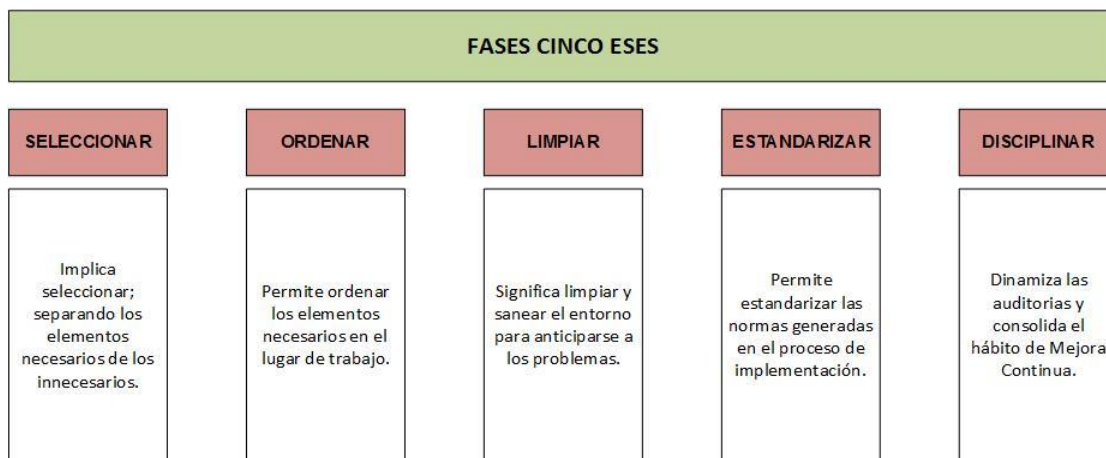


Figura 7. Fases cinco Eses. Adaptado de Fabrizio y Tapping (2006).

3.7.2 SMED. “Es un conjunto de técnicas desarrolladas con el objetivo de disminuir drásticamente los tiempos de preparación de máquinas” (CRUELLES, 2012, pág. 10). SMED nació por la necesidad de reducir los tiempos de alistamiento de máquinas necesarios para producir distintos lotes o referencias de productos. El objetivo primordial de esta metodología es concretar las labores de preparación de máquinas en cifras de un solo dígito, es decir, en menos de diez minutos (SHINGO, 1983, pág. 384). Algunos de los beneficios de SMED son: mejora de la

calidad, la reducción de inventarios, aumento en los tiempos productivos, facilidad para producir pequeños lotes de productos y más referencias. En la figura 8. se representan las fases requeridas para la implementación de un sistema SMED:

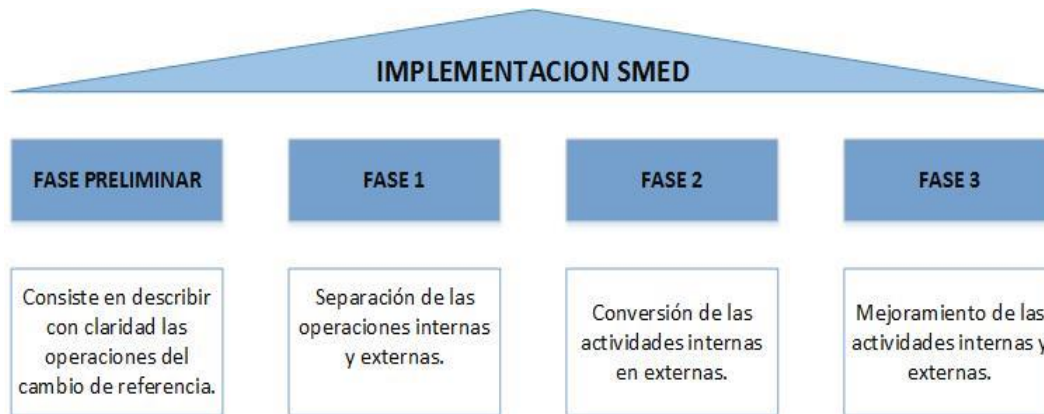


Figura 8. Implementación SMED; Fuente: Adaptado de Shingo (1983).

3.7.3 Value Stream Mapping. Es una técnica que permite visualizar las actividades de fabricación y las actividades de planeación necesarias para llevar un producto a los clientes. Incluye el nivel de inventario y tiempos de espera del material a lo largo del proceso (CHAPMAN, 2006, pág. 11). Por lo general, es considerado para los planes de análisis y mejoramiento de procesos ya que permite identificar las actividades que agregan valor y las actividades que no agregan valor al producto final. La figura 9 representa el proceso para realizar un mapeo de la cadena de valor dentro de una organización.

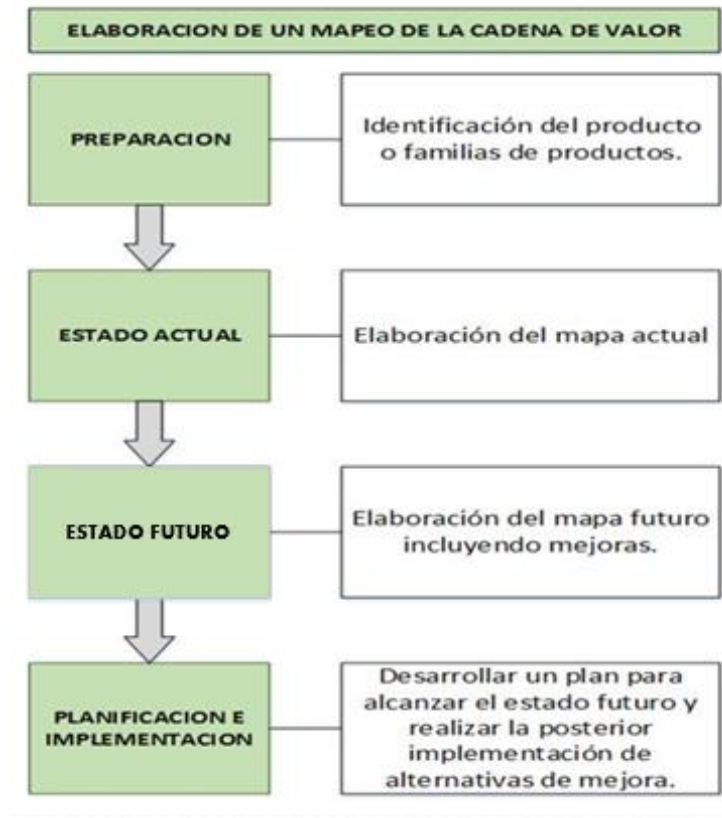


Figura 9. Elaboración de un mapeo de la cadena de valor. Adaptado de DREW A. LOCHER. (2008). Value Stream Mapping for lean development: a how-to guide for streamlining time to market p.2.

3.7.4. Poka yoke. Es una técnica de calidad que significa “a prueba de errores”. Consiste en la creación de dispositivos que detecten los defectos de la producción. El principal objetivo es eliminar los defectos mediante la eliminación o prevención de errores lo antes posible (MIRANDA, 2006, pág. 81). Alcalde [2009] establece que la mayoría de errores presentados en cadenas de producción son debido a errores humanos, sobre todo por la realización de tareas repetitivas que causan una disminución en la atención. Esto evidencia la necesidad de intervenir máquinas, herramientas y proceso en busca de evitar que productos defectuosos se puedan presentar al final de la línea. Para lograr una medición de la aplicación de esta herramienta se

pueden usar indicadores de productos defectuosos. En la tabla 10 se muestran los tipos de sistemas PokaYoke.

Tabla 2. Sistemas poka yoke.

| | |
|------------------------|---|
| Métodos de control | Estos sistemas vigilan permanentemente el proceso de manera automática y en caso de presentarse algún defecto, detienen el proceso o la máquina hasta que el error sea corregido. |
| Métodos de advertencia | En este tipo de sistemas, la presencia de errores activa señales visuales o auditivas que avisan al operario sobre la aparición de defectos para su posterior corrección. |

Nota: *Descripción sistema Poka Yoke. Adaptado de “Shingo” A study of the Toyota production system: From an industrial engineering viewpoint. Tokyo; Japan Management Association, 296 p. (1981).

3.7.5 Kanban. En su forma más básica funciona como un sistema de tarjetas utilizado para controlar el flujo de producción dentro de una fábrica. Dicha tarjeta se utiliza para obtener del proceso anterior, una cantidad de piezas que deben ser sustituidas por haber sido ya consumidas (HANSEN & GHANE, 1990, pág. 564). Puede definirse como: un sistema que facilita el intercambio de materias primas o productos procesados, entre un puesto de trabajo

Se puede medir la eficiencia de esta herramienta con indicadores que muestren la disminución en las búsquedas de materiales y producto en proceso entre estaciones de trabajo. En la tabla 11 se muestran los tipos de sistemas Kanban.

Tabla 3. Sistemas kanban.

| | |
|----------------------|---|
| Kanban De Retirada | Se utiliza para solicitar la retirada de un lote de producto acabado en un proceso para llevarlo al puesto siguiente o al almacén. |
| Kanban De Producción | Se utiliza para solicitar la producción de un lote de producto, en sustitución de un producto ya acabado y solicitado por el puesto de trabajo siguiente. |

3.8 Estudio de tiempos

Un estudio de tiempos permite conocer la duración de cada una de las actividades que conforman un proceso productivo, y a partir de este, determinar datos referentes a capacidad de producción para establecer cuanto se puede producir. (ORTIZ, 1999, pág. 155)

El estudio de tiempos puede definirse como una técnica que, en base a la medida del contenido de trabajo a realizar siguiendo un método determinado y utilizando un equipamiento, permite establecer los tiempos estándar para la realización de tareas, valorar el rendimiento de un tiempo de esfuerzo y proporcionar una clara justificación para demoras inevitables, descansos personales y fatiga de los trabajadores (FERNÁNDEZ-RÍOS, 2012, pág. 456). Además, el estudio de tiempos y movimientos o medición del trabajo, permite crear normas de trabajo basadas en la opinión de observadores capacitados.

Los métodos formales para llevar a cabo un estudio de tiempos y movimientos, más comúnmente utilizados son:

3.8.1 Estudio de tiempos por cronómetro. Técnica utilizada para establecer la duración de una tarea a partir de un registro de datos de tiempos que son cronometrados y diligenciados en un formato previamente diseñado.

3.8.2 Sistemas estándares de tiempos predeterminados. Esta técnica divide cada elemento del trabajo en micro movimientos comunes para diversas tareas. Posteriormente, se consultan en bases de datos de fácil acceso, los tiempos estándares para cada micro movimiento, y de esta manera se hace posible el cálculo del tiempo normal para cada labor.

3.8.3 Muestreo de trabajo. El muestreo de trabajo implica estimar las proporciones de tiempo total que dedican las personas a las distintas actividades, por medio de un gran número de muestras. La suposición fundamental al llevar a cabo un muestreo de trabajo, es que la proporción de tiempo que ocupa cada actividad observada en la muestra será la proporción del tiempo que dicha actividad requiere en general.

4. Análisis y diagnóstico inicial de la empresa

4.1 Descripción del proceso productivo – diagrama de operaciones

El proceso productivo de Pretector Ltda., está compuesto por:

- 1 estación de corte.
- 1 planta de mezclado.
- 3 estaciones de armado.

- 3 estaciones o grupos de formaletas.
- 2 estaciones de resane.

Para dar inicio al proceso, en la estación de corte, se elaboran los refuerzos internos de acero requeridos por cada poste, los cuales son posteriormente llevados a las estaciones de armado según corresponda. En segundo lugar, en las estaciones de armado, los refuerzos internos de acero son montados en unas estructuras llamadas noyos, que una vez terminados son trasladados a través de un puente grúa al interior de los de las formaletas organizadas en tres grupos de cinco y nueve formaletas. Seguidamente, se vierte el concreto al interior de las formaletas y mediante acciones de vibración, tensionado del refuerzo interno y fraguado utilizando vapor de agua se da forma al poste el cual es extraído nuevamente por el puente grúa para trasladarse a la siguiente estación. Terminada esta actividad, se dan los acabados finales en las estaciones de resane, se retiran restos de concreto y acero, para ser llevado, finalmente, a los lugares predispuestos para el almacenamiento final.

En el APÉNDICE 4 se encuentra el diagrama de operaciones que describe específicamente el proceso de producción de postes de Concreto Prefabricados.

4.2 Diagrama de causa-efecto-diagrama de Ishikawa

El Diagrama de Causa-Efecto o Diagrama de Ishikawa es una herramienta gráfica, que ofrece una visión global de las causas que han generado un problema y los efectos correspondientes. Como las causas están jerarquizadas, es posible identificar de manera concreta las fuentes del problema.

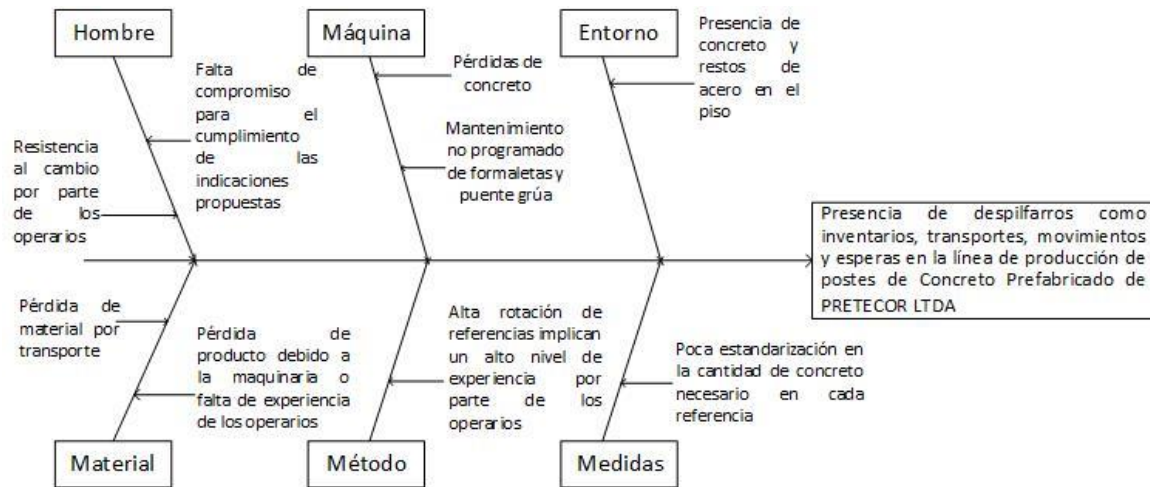


Figura 10. Diagrama Causa-Efecto.

En el diagrama se observan las dificultades que se encuentran en el proceso de manufactura de postes de Concreto Prefabricados, los resultados fueron obtenidos por medio de la observación de los procesos y las entrevistas con los ingenieros y operarios de planta. Se evidencia el problema planteado en la cabeza del diagrama de donde se despliegan sus posibles causas, con base en las intenciones del proyecto, se destacan las causadas por el entorno, métodos y hombre, donde se observan oportunidades que mejoran la productividad del proceso.

4.3 Los cinco ¿Por Qué?

De manera complementaria se utiliza la herramienta de los cinco ¿Por qué? La cual consiste en realizar preguntas de manera intuitiva e iterativa con el fin de evidenciar posibles causas o efectos.

Tabla 4. Resultados aplicación cinco ¿por qué?.

| Pregunta | Respuesta |
|--|---|
| ¿Por qué se quiere implementar técnicas de Lean Manufacturing para la mejora de procesos? | Porque son técnicas y herramientas estadísticamente probadas que permiten de manera sencilla y rápida la eliminación de despilfarros. |
| ¿Por qué estas técnicas y herramientas permiten de manera sencilla la eliminación de despilfarros? | Porque organiza hombres, materiales y máquinas en un sistema que produce de manera efectiva utilizando solo los recursos necesarios. |
| ¿Por qué no se gastan las cantidades necesarias, en cambio se incurre en gastos adicionales? | Porque existe falta de estandarización de los procesos además de un compromiso mayor por parte de los operarios para utilizar solo las cantidades óptimas de recursos ya sea tiempos, materias primas, etc. |
| ¿Por qué no parece haber un compromiso total por parte de los operarios en la disminución del consumo de recursos, generando despilfarros? | Porque la labor realizada consiste en largas horas de trabajo y comprende labores pesadas lo cual puede generar agotamiento llevando al despilfarro de recursos y generación de actividades que no agregan valor. |
| ¿Por qué no se han tomado acciones correctivas para mejorar la situación? | Porque las acciones que se tomaron en el pasado aun cuando fueron efectivas no se cumplieron completamente, lo que llevó a que se dejaran por el esfuerzo que implicaba controlarlas. |

4.4 Análisis diagrama de Pareto para referencias fabricadas

Pretector Ltda., no cuenta con una clasificación específica de sus productos por grupos o familias, esta situación se da por la cantidad de referencias y características que pueden variar entre un bien y otro, por lo tanto, se ha elaborado una clasificación basada en:

- Reglamento Técnico De Instalaciones Eléctricas (RETIE): El cual establece que las estructuras de soporte de redes de distribución deben ser fabricadas bajo dimensiones estandarizadas de 8, 9, 10, 11 12, 14,15, 16, 18, 20 o 22 metros con una tolerancia de más o menos 50, además agrega que los postes de materiales distintos a madera deben ser especificados y probados para cargas de rotura mínimas de 5001 N, 7355 N, 10300 N, 13240 N, 17640 N, 19600 N o sus equivalentes 510, 750, 1050, 1350, 1800 o 2000 Kgf.

- Características del proceso de producción: Existen características que pueden tener ciertas influencias en el proceso productivo. En primera medida, aparecen los requerimientos especiales del cliente y obedecen a características como el número de perforaciones incluidas en el poste. En segunda medida están las variaciones presentes por cambios en necesidades de medidas y cargas de rotura del producto y tienen implicaciones en las actividades de corte, además suponen tiempos adicionales en tareas de alistamiento de máquinas como formaletas, preparación de noyos, transporte y vertimiento de concreto.

- Datos históricos de distribución de formaletas para los años 2014, 2015 Y 2016: Funcionan como medida de referencias y cantidades que se ha producido en el rango de tiempo señalado.

De acuerdo a estos criterios la clasificación de los productos por grupos o familias se da de la siguiente manera:

Tabla 5. Clasificación de familias de productos.

| Clasificación | Productos clasificados | Información técnica |
|---------------|---------------------------------------|---|
| F8 | 8X510, 8X750, 8X1050 Y 8X1350. | Productos que tienen una longitud de 8 m. y una carga de rotura equivalente a 510 Kgf, 750 Kgf, 1050 Kgf o 1350 Kgf. |
| F9 | 9X510, 9X750, 9X1050 Y 9X1350. | Productos que tienen una longitud de 9 m. y una carga de rotura equivalente a 510 Kgf, 750 Kgf, 1050 Kgf o 1350 Kgf. |
| F10 | 10X510, 10x750, 10X1050 Y 10X1350. | Productos que tienen una longitud de 10 m. y una carga de rotura equivalente a 510 Kgf, 750 Kgf, 1050 Kgf o 1350 Kgf. |
| F11 | 11X510, 11X750, 11X1050 Y 11x1350. | Productos que tienen una longitud de 11 m. y una carga de rotura equivalente a 510 Kgf, 750 Kgf, 1050 Kgf o 1350 Kgf. |
| F12 | 12X510, 12X750, 12X1050 Y 12X1350. | Productos que tienen una longitud de 12 m. y una carga de rotura equivalente a 510 Kgf, 750 Kgf, 1050 Kgf o 1350 Kgf. |
| F14 | 14X510, 14X750, 14X1050 Y 14X1350. | Productos que tienen una longitud de 14 m. y una carga de rotura equivalente a 510 Kgf, 750 Kgf, 1050 Kgf o 1350 Kgf. |

Los datos históricos de la distribución de formaletas (APÉNDICE 5) permiten obtener una aproximación a la proporción de cada referencia que ha sido fabricada en el período comprendido entre 2014 y 2016. Estos datos se obtienen a partir de la cantidad de formaletas y de días que son dedicadas a la elaboración de un determinado tipo o referencia de poste.

De acuerdo a lo anterior se comparan las proporciones de referencias producidas y mediante un diagrama de Pareto se identifican los grupos con un nivel más alto de producción, a los cuales se les atribuyen la mayoría de las ventas. Los resultados se exponen en la figura 11 y demuestran que los grupos pertenecientes a las familias F12 y F8 son los más representativos para Pretector Ltda.

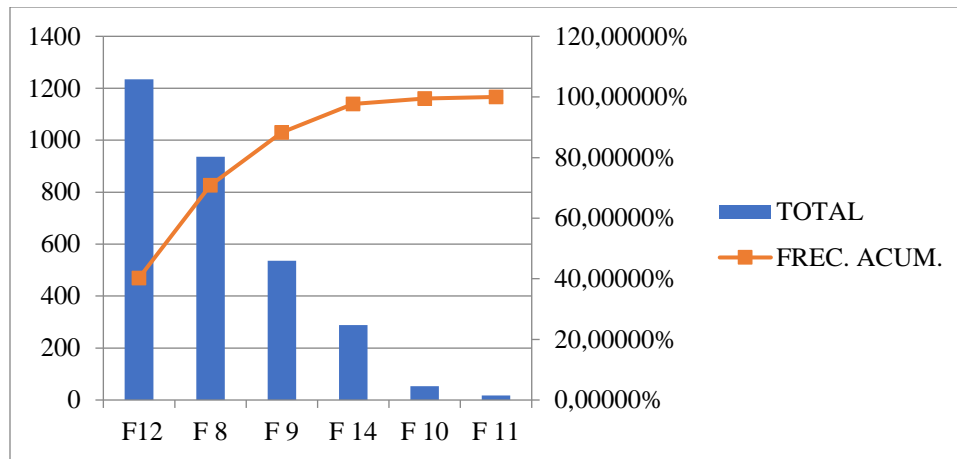


Figura 11. Comportamiento de los grupos o familias de productos según proporción de productos fabricados por distribución de formaletas en el período 2014-2016.

4.4.1 Grupos de Referencia. Existe una clara predominancia del grupo de productos F12, pero se debe mencionar que mediante el análisis de datos se ha logrado determinar un aumento en el volumen de producción del grupo F8, principalmente para el segundo semestre del año 2016.

El anterior planteamiento permite elegir estos grupos como referencia para enfocar el muestreo de trabajo y la implementación de herramientas de Lean Manufacturing. Sin embargo, la poca diferencia existente en los procesos productivos de los distintos grupos, además del hecho de compartir línea de producción permite afirmar que la mejora en ineficiencias productivas en los grupos referencias supondría a su vez mejora en los grupos menos representativos.

4.5 Muestreo de trabajo

El muestreo del trabajo es el proceso de observar al azar el desenvolvimiento de los empleados para determinar cómo aprovechan su tiempo a lo largo de la jornada de trabajo,

mostrando de manera efectiva la utilización de personal y de maquinaria. (MEYERS, 2000, pág. 347)

En un muestreo de trabajo de razones elementales, se define la actividad principal del trabajador como aquella que toma más tiempo de la jornada del mismo y finalmente le da nombre al puesto de trabajo donde este labora. Existen tres categorías para analizar el contenido del trabajo (THOMAS & JEFFREY, 1984, págs. 309-334):

- Trabajo Productivo: Cuando se añade valor por medio de incorporación de elementos o transformaciones físicas al producto.
- Trabajo Contributivo: Trabajo en el que no necesariamente se añade un componente o se realiza una transformación física a lo que está siendo producido, pero es necesario para realizar la actividad. Como por ejemplo tareas como transportar materiales a los frentes de trabajo, recibir y dar instrucciones, leer planos, etc.
- Trabajo No contributivo: Es hacer nada o hacer algo que no es necesario para completar el producto final. Esto incluye actividades como desplazamientos, tiempos de esperas sin explicación (ociosos), etc.

Para la realización del premuestreo se toma una muestra con un tamaño de cincuenta observaciones, el tamaño de esta es definido en base a el nivel de confianza deseado, las características del proceso a estudiar, apoyo literario y consejo de expertos en el tema como profesores planta de la Universidad Industrial de Santander. El ejercicio permite estimar porcentajes de actividad e inactividad junto con el nivel de confianza y exactitud para determinar el número de muestras necesarias para el estudio.

- **Exactitud:** Es que tanto se acerca nuestra razón a la razón real del elemento. Una exactitud del 5% fue definida para el estudio.
- **Nivel de Confianza:** Para una alta confiabilidad por parte del estudio se utilizó un nivel de confianza del 95%, valor del estadístico Z de 1.96.

Una vez definidas las anteriores variables, y finalizado el premuestreo, el cual estima los porcentajes de actividad P_i e inactividad $(1-P_i)$, se determina el número de muestras según se observa en la tabla 6. El estudio realizado en Pretector Ltda. se divide en puestos de trabajo donde se realizaría un muestreo a cada uno.

$$n = \frac{z^2 * (1 - p_i) * p_i}{e^2}$$

Figura 12. Expresión Matemática número de muestras.

n = Número de muestras.

Z = Estadístico Z, con valor de 1.96.

p_i = Porcentaje de actividad en puesto de trabajo i .

e = Porcentaje de Exactitud, con valor del 0,05.

Tabla 6. Número de muestras n tomadas en el estudio por puesto de trabajo.

| Puesto de trabajo | Porcentaje de actividad en puesto de trabajo i (p_i) | | Número de muestras (n) |
|-------------------|--|-----|----------------------------|
| | | 1-P | |
| | | | |

| | | | |
|---------------------------|------|------|-----|
| Planta de mezclado | 0,77 | 0,23 | 269 |
| Armado de noyos | 0,37 | 0,63 | 357 |
| Planta de corte | 0,27 | 0,73 | 302 |
| Formaletas | 0,67 | 0,33 | 338 |
| Resane | 0,45 | 0,55 | 381 |

- **Análisis de Resultados:** Los resultados del muestreo realizado en el proceso de fabricación de Postes de Concreto Prefabricados en la planta de Pretector Ltda. (APÉNDICE 6) revelan los porcentajes de tiempo productivo, tiempos improductivos (contributivos y no contributivos) junto con las causas más comunes que los generan (APÉNDICE 7).

- **TP-% Actividad:** Siguiendo la definición planteada de trabajo productivo, se clasificaron actividades como cortar, armar noyo, armar formaleta, apertura de formaleta, etc. como actividades productivas. Los resultados obtenidos son calculados dividiendo el número de muestras de tiempo productivo sobre el total de muestras (eje. 179/283 donde 283 fueron el total de muestras tomadas al puesto de trabajo).

Tabla 7. Resumen tiempos productivos.

| TP- % Actividad | | | | | |
|-----------------|--------------------|-----------------|------------------------|-------------------|---------------|
| | P. Mezclado | P. Corte | Armado de noyos | Formaletas | Resane |
| Total | 179 | 125 | 198 | 315 | 218 |
| % | 63% | 33% | 60% | 77% | 55% |

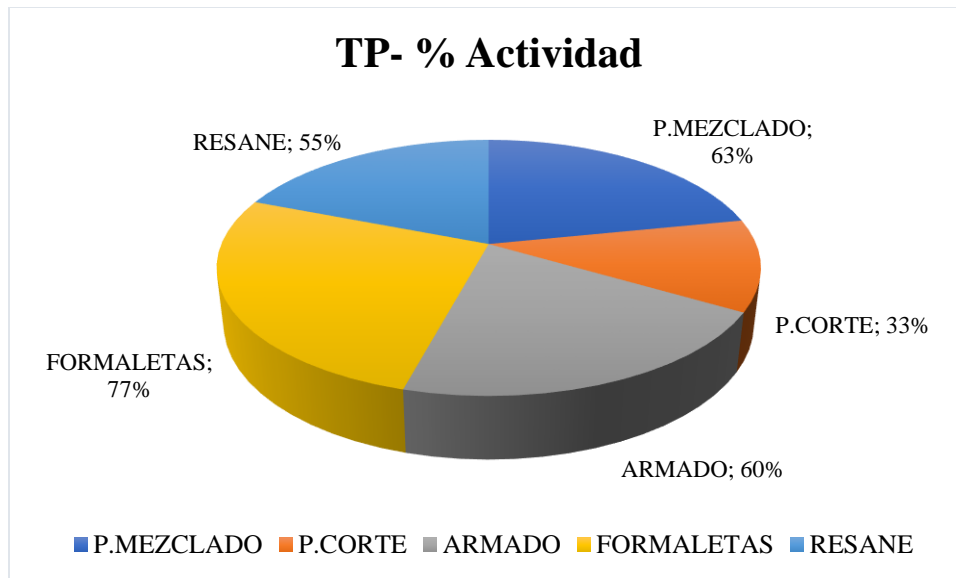


Figura 13. Diagrama de Porcentaje, tiempos productivos.

El porcentaje de actividad fue obtenido después de agrupar los resultados de los diferentes centros:

- 1 Puesto de corte.
- 1 Planta de mezclado.
- 3 Centros de armado.
- 3 Grupos de Formaletas.
- 2 Puestos de resane.

Se observa una fortaleza en la alta tasa de utilización del recurso humano por parte de la empresa Pretector Ltda. atribuido a la rotación que mantienen los operarios desplazándose entre los diferentes puestos de trabajo. Cuatro de los cinco grupos de puestos de trabajo se encuentran con un porcentaje de actividad mayor al 50% mientras que los puestos restantes tienen porcentajes de

actividad menor al 50%. El número de operarios que puede estar en cada puesto de trabajo varía haciendo que para corte se encuentre en promedio un operario, en planta de mezclado se pueden encontrar en promedio cuatro operarios, en los centros de armado se encuentran en promedio dos operarios, en los grupos de formaletas están entre uno hasta once operarios, en los puestos de resane se encuentran en promedio dos operarios.

- TC-%Inactividad: La definición de tiempo contributivo permite establecer actividades que, aunque necesarias para el proceso productivo no están aportando valor al producto final, actividades como: Transportes de materias primas, toma de decisiones, mantenimiento de herramientas, etc. Los resultados obtenidos fueron:

Tabla 8. Resumen Tiempos Contributivos.

TC- % Inactividad

| | P. Mezclado | P. Corte | Armado de noyos | Formaletas | Resane |
|-------|--------------------|-----------------|----------------------------|-------------------|---------------|
| Total | 73 | 146 | 63 | 30 | 29 |
| % | 26% | 39% | 19% | 7% | 7% |

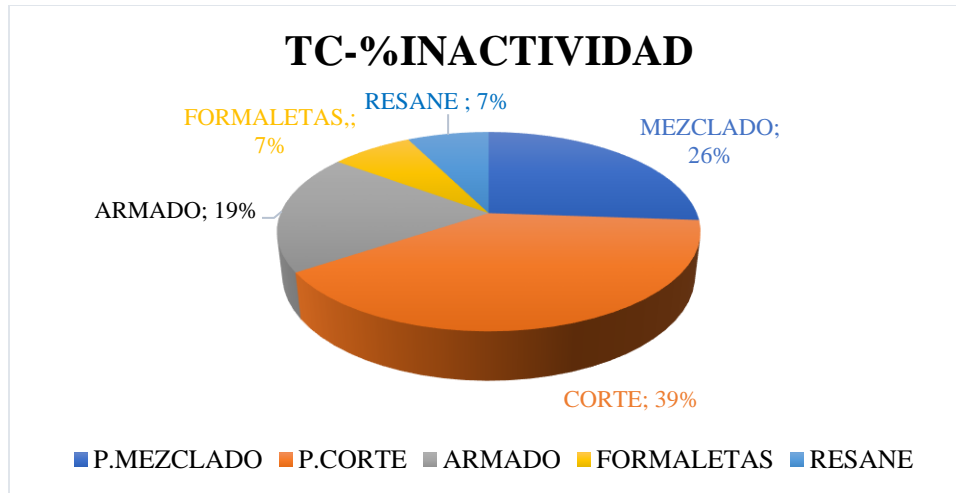


Figura 14. Diagrama de Porcentajes, tiempos contributivos.

Se muestra que el porcentaje de tiempo invertido en estas actividades es escaso, debido a la corta distancia que debe recorrer el producto en proceso y las materias primas al interior de la línea de trabajo, la existencia de un operario encargado que transporta el producto en proceso al interior de la línea y el alto grado de conocimiento del proceso por parte de la mayoría de operarios evitando largos periodos de toma de decisiones o esperas por instrucciones.

El puesto de corte presenta un porcentaje de tiempo contributivo mayor que el de los demás esto causado por número de veces en donde este fue observado realizando alistamientos de materias primas y almacenamientos de producto en proceso actividades que no se presentan de manera regular en los demás puestos de trabajo, de manera similar la planta de mezclado presenta un tiempo contributivo representativo causado por la cantidad de transportes de material que este realiza a los grupos de formaletas, pero a diferencia de corte el número de operarios que realizan este transporte es mayor (entre uno a tres operarios) a los que se encuentran haciendo el alistamiento de materias primas y almacenamiento de producto en proceso.

- TNC-%Inactividad: Los tiempos no contributivos son aquellos en los que no se hace nada o son actividades innecesarias. Entre esas actividades se encuentran todo tipo de esperas como falta o búsqueda de herramientas, necesidades fisiológicas, desplazamientos innecesarios, etc.

Tabla 9. Resumen Tiempos no Contributivos.

| TNC- % Inactividad | | | | | |
|--------------------|----------|-------------|--------------------|------------|--------|
| | P. Corte | P. Mezclado | Armado de noyos | Formaletas | Resane |
| Total | 103 | 31 | 67 | 63 | 147 |
| % | 28% | 11% | 20% | 15% | 37% |

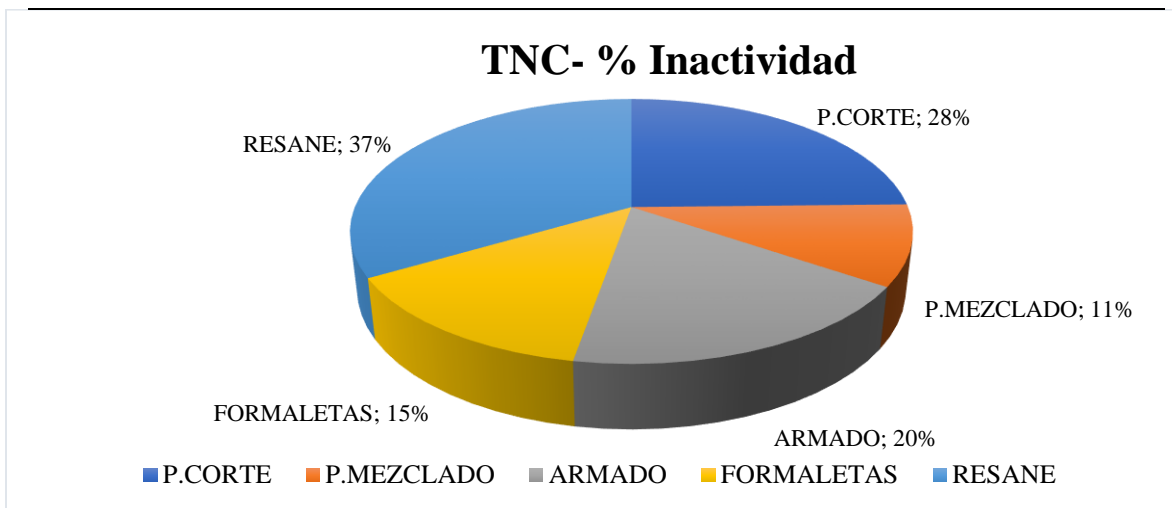


Figura 15. Diagrama Porcentajes, Tiempos No Contributivos.

Se logra determinar que los porcentajes de tiempos no contributivos son menores a los contributivos en la planta de mezclado y en el puesto de corte, pero estos son mayores en comparación con las estaciones de resane, formaletas y armado. Esto se puede atribuir a que estos

tres grupos de centros de trabajo son dedicados únicamente a la línea uno mientras que la planta de mezclado y puesto de corte se encargan de abastecer de manera continua a los demás procesos de la planta.

4.5.1 Causas de tiempos no contributivos.

Tabla 10. Causas de Tiempos No Contributivos.

| Causas de Tiempos No Contributivos General | | | | |
|--|------|---|------------|------------|
| Tipo | Cód. | Nombre | Frecuencia | Porcentaje |
| Esperas | E-1 | Falta de Herramienta | 12 | 3% |
| | E-2 | Falta de Materia prima | 10 | 3% |
| | E-3 | Falta de Instrucciones | 29 | 7% |
| | E-4 | Exceso de Producto en proceso | 8 | 2% |
| | E-5 | Elementos de Transporte en Uso | 21 | 5% |
| | E-6 | Siguiente Estación Ocupada | 41 | 10% |
| | E-7 | Otros | 22 | 6% |
| Tiempo Ocioso | TO-1 | Toma de Decisiones | 7 | 2% |
| | TO-2 | Sobrepoblación | 0 | 0% |
| | TO-3 | Falta de Supervisión o Instrucciones | 1 | 0% |
| | TO-4 | Conversando | 67 | 17% |
| | TO-5 | Otros | 20 | 5% |
| Desplazamientos | D-1 | Búsqueda o Transporte de Herramienta | 44 | 11% |
| | D-2 | Cambio de Centro de Trabajo | 12 | 3% |
| | D-3 | Trasporte Producto en Proceso o Terminado | 38 | 10% |
| | D-4 | Transporte Materia Prima | 25 | 6% |

Causas de Tiempos No Contributivos General

| Tipo | Cód. | Nombre | Frecuencia | Porcentaje |
|--------------------------|-------------|---------------------|-------------------|-------------------|
| Descanso | R-1 | Descanso Programado | 30 | 8% |
| | NF-1 | Hidratación | 7 | 2% |
| Necesidades fisiológicas | NF-2 | Aseo Personal | 1 | 0% |
| | NF-3 | Ir al Baño | 2 | 1% |
| | NF-4 | Otros | 0 | 0% |
| Total | | | 397 | 100% |

Los tiempos no contributivos presentes en un proceso productivo representan todas aquellas actividades en las que no se agrega valor al producto final, por lo tanto, son actividades que suponen una subutilización de recursos, principalmente el humano. Esto hace necesario su identificación con miras a la implementación de alternativas de mejora. En la tabla 10 se observa la clasificación correspondiente asignada a las actividades de este tipo, la frecuencia con que se repiten y el aporte porcentual respectivo, datos obtenidos a partir del muestreo realizado. Tareas como transportes de producto en proceso, búsqueda de herramientas y conversaciones entre operarios, que resaltan por tener duraciones de entre dos y cuatro minutos y pueden llegar a estar formadas por grupos de hasta cuatro operarios, son las principales contribuyentes a los porcentajes de inactividad presentes. En menor medida aparecen actividades como transportes de materia prima, herramientas y necesidades fisiológicas.

Muchos de estos porcentajes son causados por la naturaleza del proceso, que en ciertas estaciones de trabajo como formaletas implican el uso de diversos tipos de herramientas y grandes tiempos de procesamiento que implican esperas en puestos anteriores.

4.6 Value Stream Mapping

El Value Stream Mapping o mapeo de la cadena de valor es una herramienta de tipo gráfica la cual permite la identificación clara de las actividades en la fabricación de un producto. Permite encontrar oportunidades de mejoramiento que puedan tener impacto sobre toda la cadena de valor y no únicamente en procesos aislados, A partir de la figura 16 se logra determinar que el tiempo de ciclo es de 4,28 horas el cual es la suma de todos los tiempos de ciclo de las diferentes actividades.

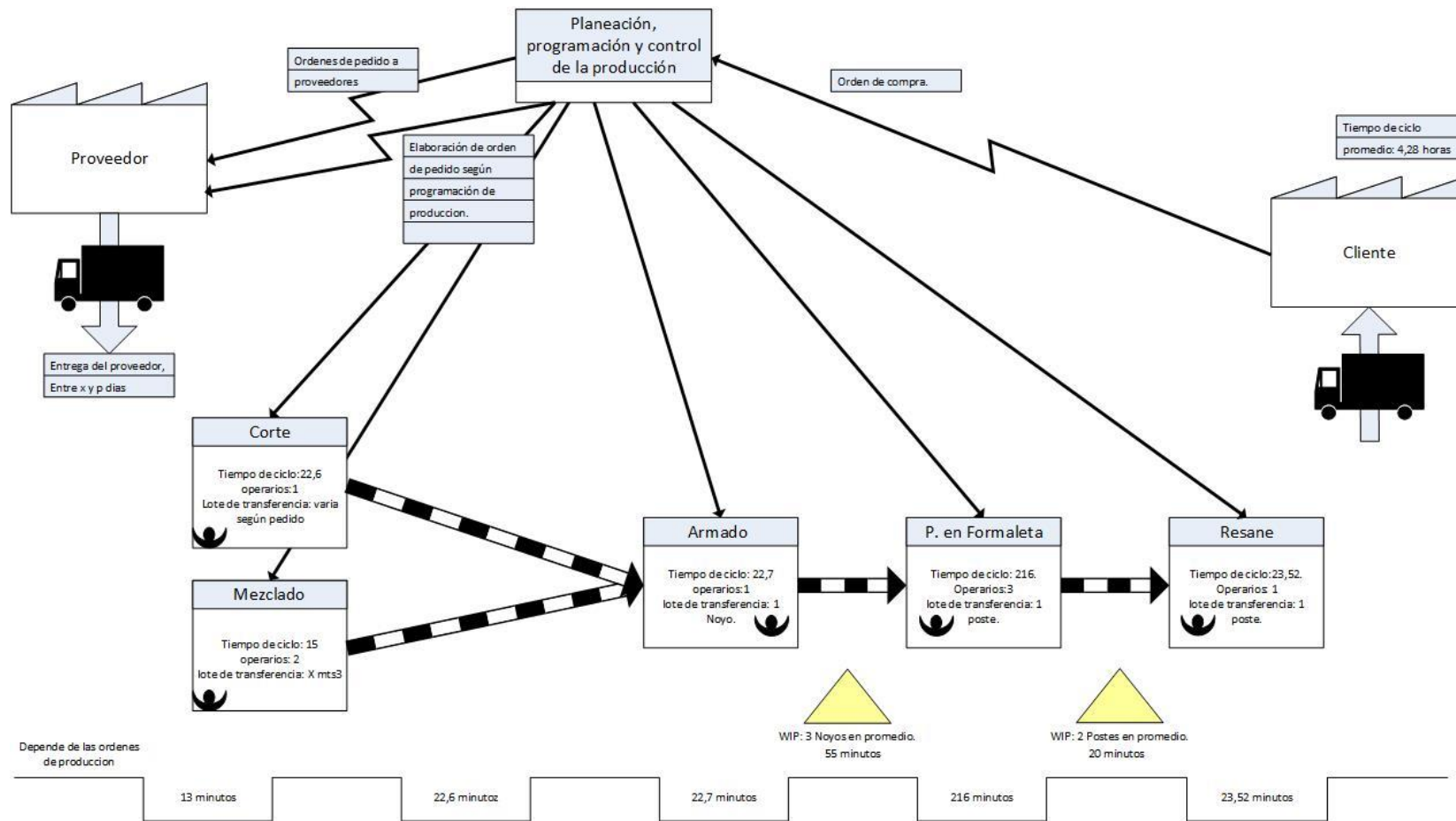


Figura 16. Value Stream Mapping Pretector Ltda.

El cálculo de los respectivos tiempos de ciclo y la duración de los inventarios en proceso se obtuvieron a partir de la observación y medición en la línea, estos permitieron el cálculo de los tiempos asignados y posteriormente los tiempos tipo (APÉNDICE 8), los tiempos que pasan los inventarios en los puestos de trabajo o zonas de carga fueron suministrados por el encargado de despacho y supervisores, el tamaño del lote de transferencia se estipula por la capacidad del siguiente puesto de trabajo la cual solo le permite procesar una unidad a la vez, los tiempos de ciclo descritos en el diagrama se encuentran en el APÉNDICE 9. Además, se puede inferir que el lead time de la planta se compone por tres tiempos: la llegada de materias primas, el proceso de fabricación y el tiempo que el producto dura almacenado para su posterior despacho a los clientes. El primer componente, depende de los procesos de planeación de requerimiento de materias primas y de compras, este se define de acuerdo a los niveles existentes de inventario de estas y de la programación de producción en curso, esto causa variaciones en los tiempos de llegada de dichas materias. El proceso productivo depende netamente de las actividades que lo componen, no presenta grandes variaciones a pesar de que este está sujeto a la clase de referencias que se están realizando, además se ve afectado por retrasos causados por esperas de ser procesados, por transportes excesivos en ciertas estaciones de trabajo, por limitaciones en recursos de transporte y espacio de planta y en algunos casos por la presencia de tiempos ociosos por parte de operarios. El tiempo de almacenamiento de producto terminado depende de los pedidos que deben ser entregados, del espacio de almacenamiento disponible. Esta información es obtenida a través de los estudios y análisis realizados al proceso y de entrevistas con el personal administrativo y operativo de la empresa.

4.7 Diagrama de recorrido

El Diagrama de Recorrido es un diagrama o modelo a escala, que muestra el lugar donde se efectúan actividades determinadas y el trayecto seguido por los trabajadores, los materiales o el equipo a fin de ejecutarla.

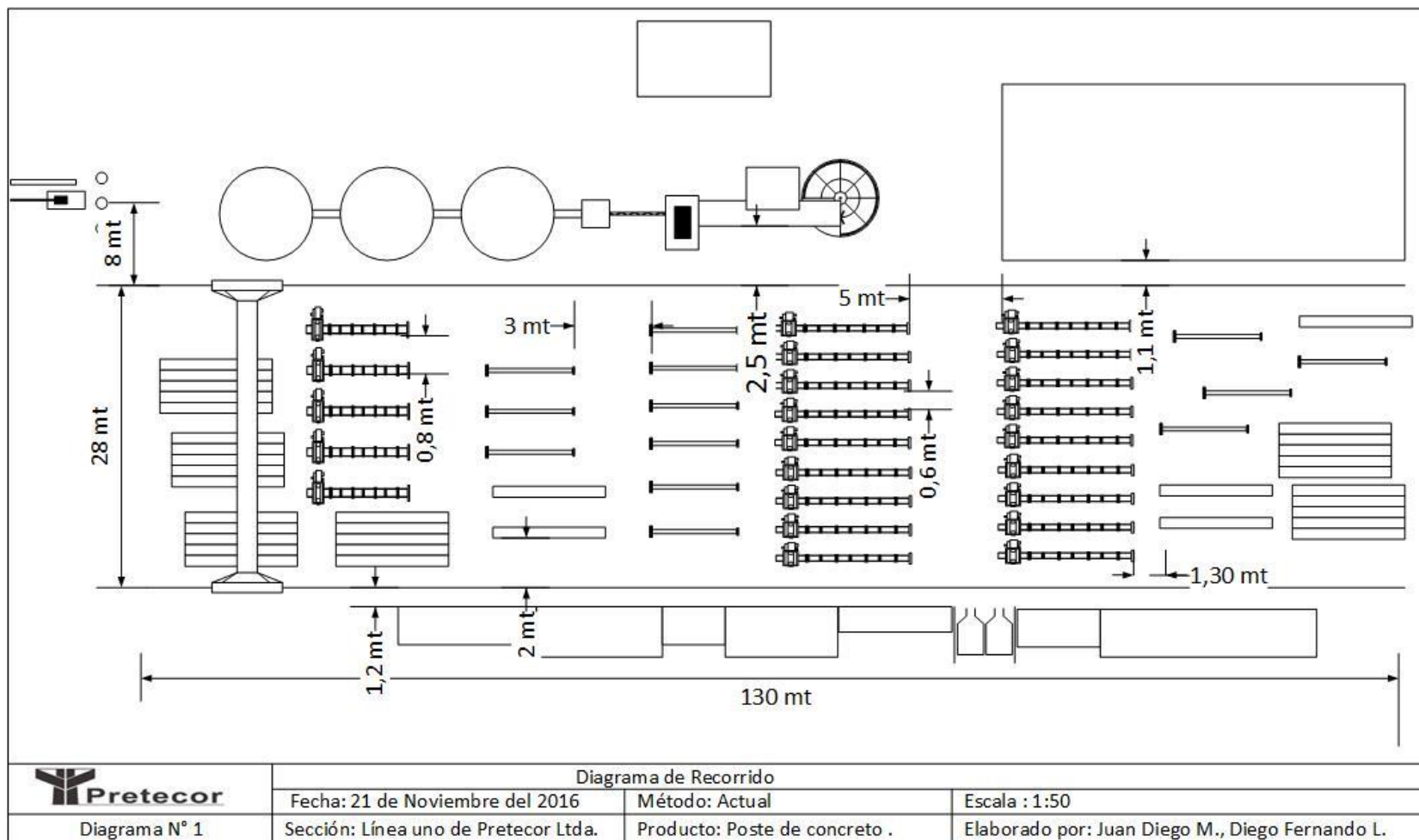


Figura 17. Diagrama planta Pretector Ltda.

La figura 17 representa el Diagrama de Recorrido realizado por materias primas, operarios y producto en proceso durante la tarea de corte, comprende las labores de alistamiento, procesamiento y transporte. A partir de este diagrama se logra determinar la existencia de despilfarros por transportes excesivos, que se llevan a cabo a lo largo de toda la línea de producción, son realizados por parte del operario de esta estación y requieren grandes rangos de tiempo. La consecuencia de esta situación se manifiesta en la aparición de tiempos no productivos en la estación de trabajo, además supone una sobrecarga en el encargado de la labor.

El Diagrama de Recorrido del proceso de mezclado de materias como cemento, arena, gravilla, aditivos y agua se observa en la figura 19, de este se puede inferir que existen transportes en vehículos montacargas desde las zonas de almacenamiento de materiales hasta la planta mezcladora. Existen además transportes manuales a través de carretillas desde la planta de mezclado hasta las formaletas para el posterior vertimiento del concreto.

Los recorridos de los procesos de armado, formaleta y resane se muestran en la figura 21. Los transportes requeridos por estas labores se realizan a través puente grúa. Actualmente la línea cuenta con dos máquinas de transporte de este tipo, una destinada al transporte desde estación de resane a la zona de almacenamiento de producto terminado de la parte superior, y otra encargada del transporte de noyos a formaletas, de formaletas a resane, de resane a la zona de almacenamiento de producto terminado inferior, además de transportes en la zona superior y transporte de producto terminado de la zona inferior a los puestos de cargue

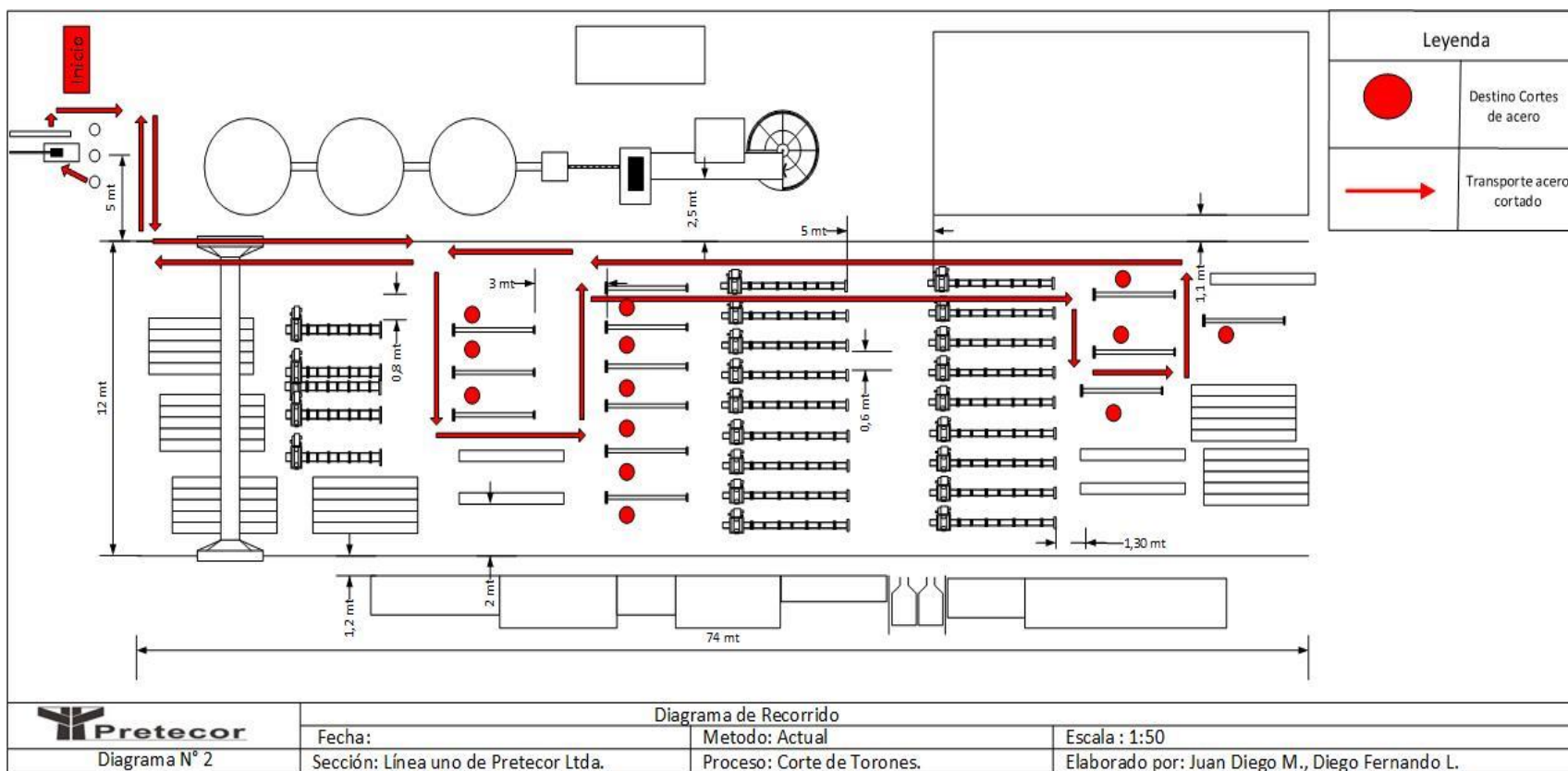


Figura 18. Diagrama de Recorrido Corte.

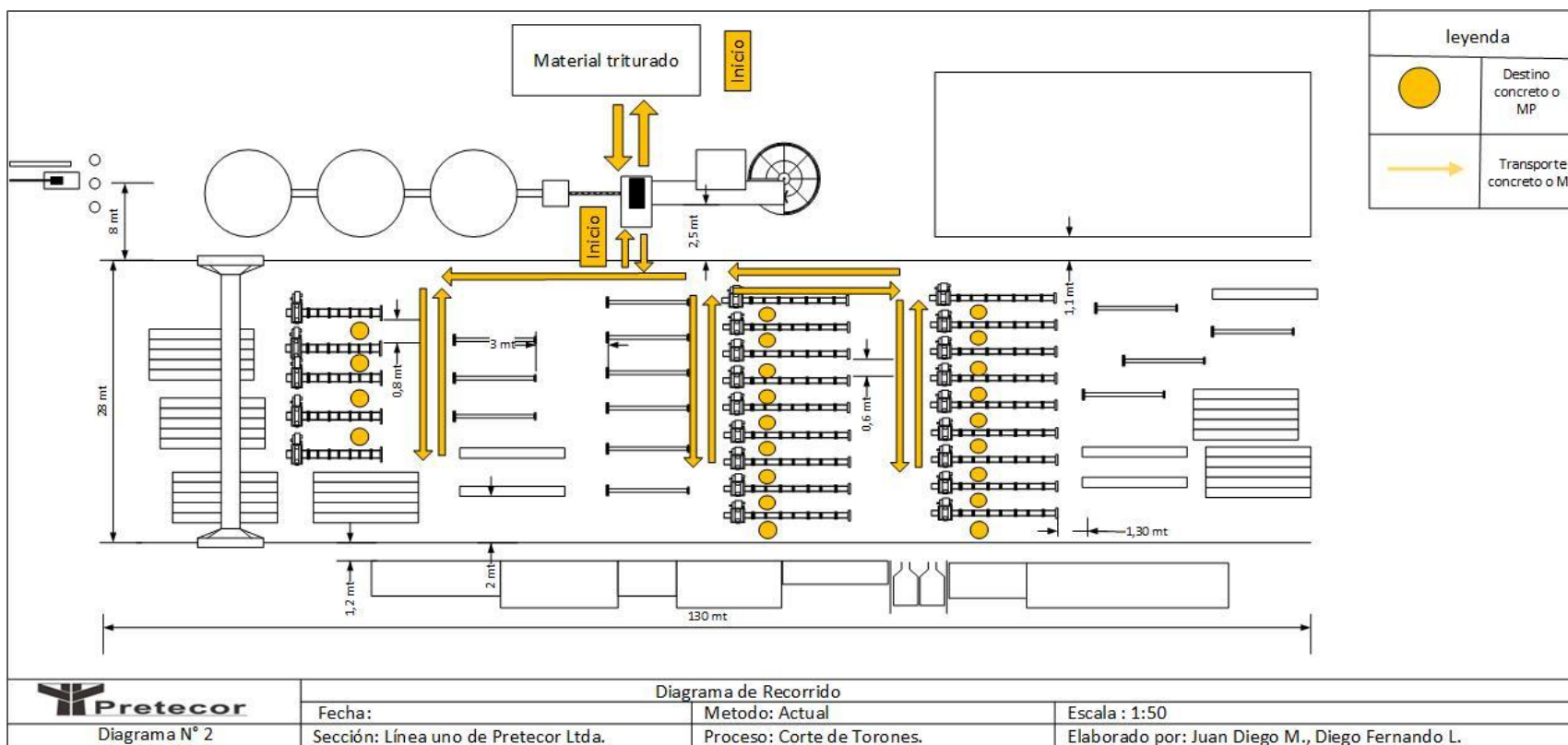


Figura 19. Diagrama de Recorrido Concreto.

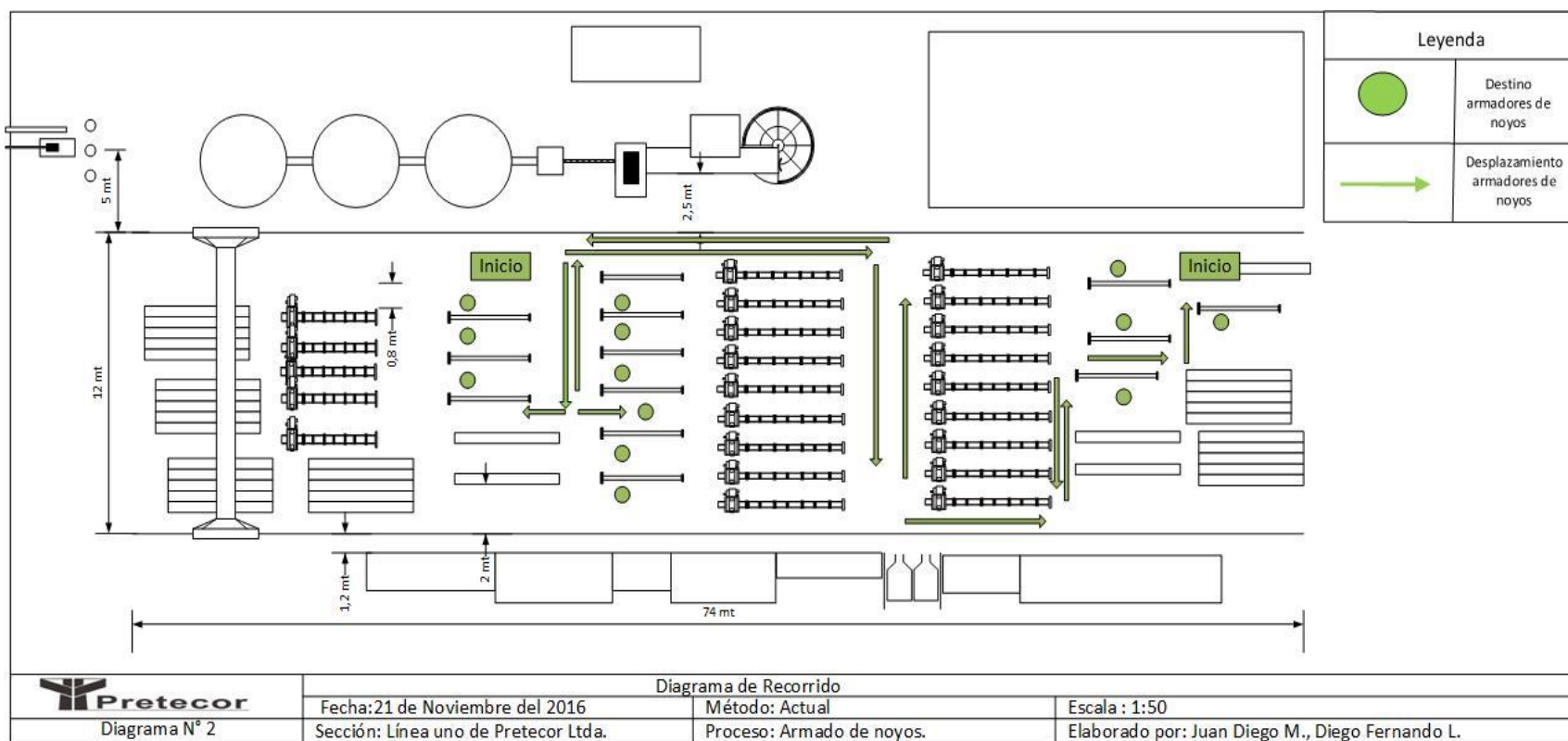


Figura 20. Diagrama de recorrido Puesto de armado de noyos.

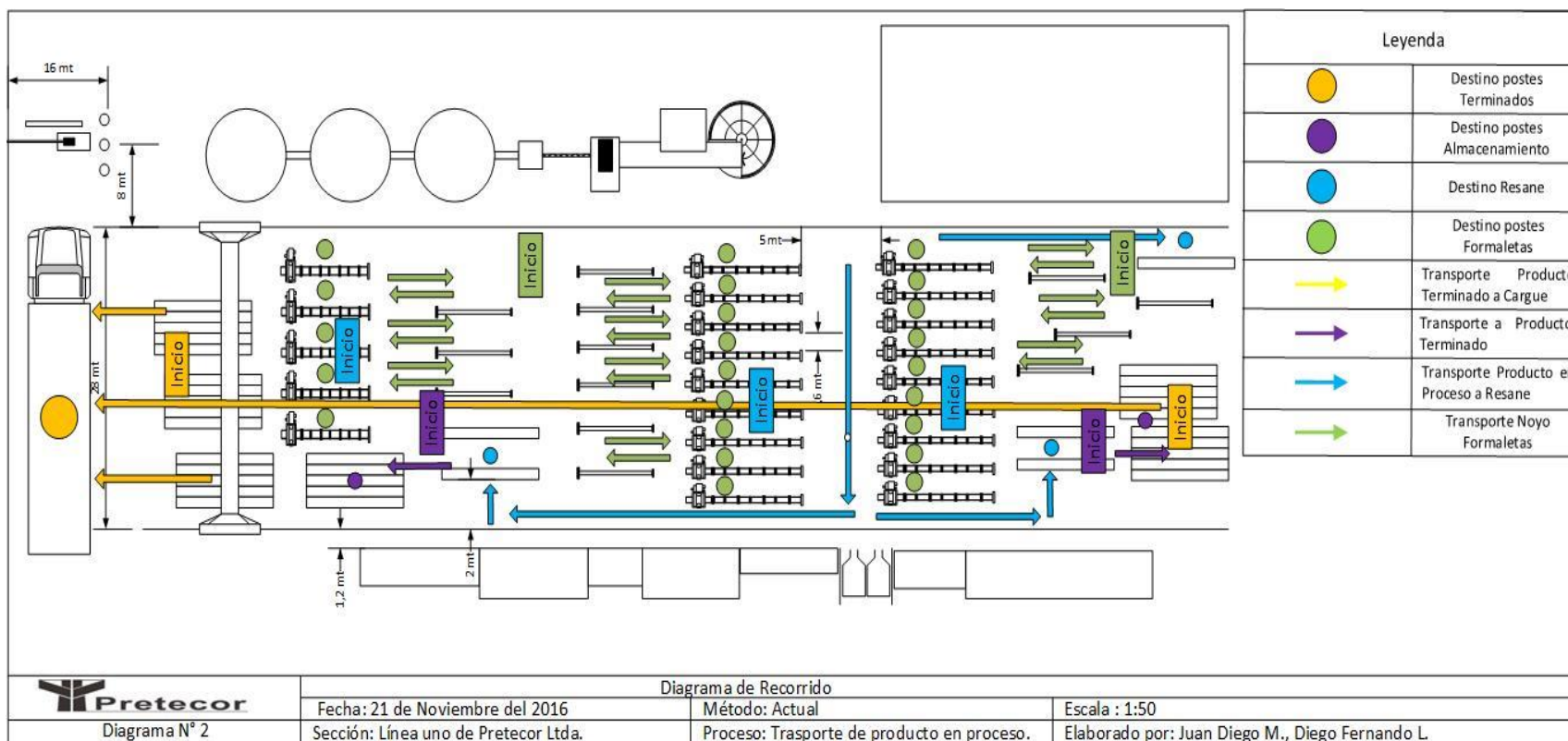


Figura 21. Diagrama de Recorrido Puesto de formaletas, resane e inventario final.

4.8 Conclusiones diagnóstico

De los diferentes despilfarros encontrados en base a las actividades de diagnóstico realizadas durante la aplicación de las diferentes herramientas de análisis descritas en los anteriores apartados, se concluye que existe presencia de cuatro despilfarros: transportes, esperas, movimientos e inventarios. La explicación y el respectivo análisis de estos se da en la Tabla 11 donde se describen las causas y las diferentes implicaciones que estos generan dentro del proceso de manufactura de postes de Concreto Prefabricados.

Tabla 11. Conclusiones Diagnóstico.

| Tipo de Despilfarro | Descripción de Despilfarro | Causas que lo Generan | Implicaciones |
|------------------------|--|--|--|
| Transportes | Transporte de refuerzos pasivos a los puestos de armado por parte de los operarios. | Ubicación de los inventarios de refuerzos pasivos. | Pérdida de tiempos productivos en desplazamientos innecesarios de operarios. Pérdidas en recursos de transporte como los puentes grúa, debido a los altos tiempos de utilización del puente grúa. |
| Esperas | Esperas de noyos y postes que están aguardando a pasar a la siguiente estación de trabajo, la cual se encuentra vacía. | Búsqueda de herramientas, Maquinaria de transporte en uso, falta de señalización de tipo | Pérdida de tiempos productivos que llevan a retrasos en el proceso y posteriormente en la entrega de pedidos. |

| Tipo de Despilfarro | Descripción de Despilfarro | Causas que lo Generan | Implicaciones |
|---------------------|---|--|--|
| | | visual, tiempos ociosos de los operarios. | |
| Tipo de Despilfarro | Descripción de Despilfarro | Causas que lo Generan | Implicaciones |
| Movimientos | Las condiciones de la planta obligan a los operarios a realizar movimientos que pueden resultar perjudiciales para su salud. Búsqueda de herramientas e implementos de trabajo. | Espacios reducidos debido al apilamiento de producto terminado al interior de la línea. Falta de orden por parte de los operarios. | Accidentes o enfermedades laborales de los operarios además de la disminución de la productividad. Desorden y aumento de desplazamientos innecesarios. |
| Inventarios | Exceso de materias primas como torones los cuales se encuentran almacenados en diferentes partes de la planta. Exceso de producto terminado almacenado en la línea de producción. Almacenamiento de bases y cuñas que no se utilizan en la línea. | Falta de políticas de compras adecuadas. Falta de espacio para el almacenamiento de producto terminado en la línea, labores de carga final lentos y complejos. Falta de orden y limpieza (5s) El apilamiento prolongado de | Degradación de materias primas por exposición a elementos externos, desorden y uso inadecuado de espacios de almacenamiento. Pérdida y limitación de espacio en la línea, reprocesos, pérdidas de producto por prolongados tiempos de almacenamiento. Perdida de producto terminado y generación de sobrecostos en el proceso. |

| Tipo de Despilfarro | Descripción de Despilfarro | Causas que lo Generan | Implicaciones |
|---------------------|--|---|---------------|
| | Perdidas de productos terminados por las condiciones de almacenamiento | producto terminado genera fallas estructurales del mismo. | |

La identificación de despilfarros en el proceso productivo permitirá el análisis de potenciales mejoras que tendrán como objetivo resolver o disminuir estos, creación de metodologías de control y análisis adaptados a las actividades de la empresa.

La figura 22 representa, mediante el modelo de Pareto la relevancia de cada uno de los despilfarros encontrados al interior de la planta. La información se obtuvo a través del muestreo de trabajo realizado y datos históricos otorgados directamente del personal, por ejemplo, unidades defectuosas causadas por inventarios y condiciones de almacenamiento.

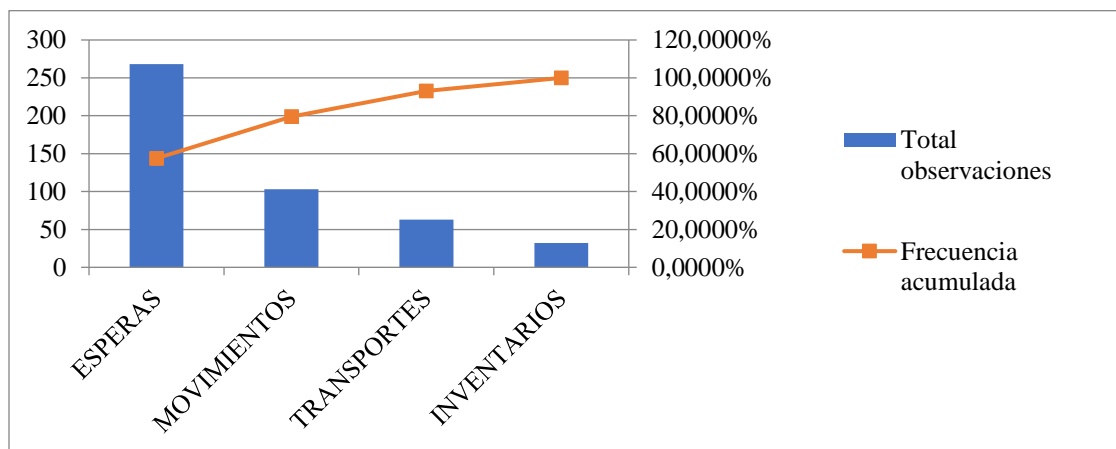


Figura 22. Diagrama Pareto despilfarros.

Del anterior, se puede concluir que los despilfarros asociados a esperas son los más representativos dentro de Pretector Ltda. Por lo tanto, son considerados como los principales elementos a mejorar durante las de estudio de mejoras y posterior implementación.

5. Evaluación de la empresa frente a las técnicas y herramientas de Lean Manufacturing

El cuestionario de evaluación Lean tiene como fin determinar el nivel de preparación o el nivel de aplicación de las técnicas de Lean Manufacturing. El cuestionario evalúa siete categorías basadas en la metodología Lean: comprensión del enfoque Lean, Pull, Poka yoke, Kaizen, 5's, SMED, trabajo estandarizado.

Para los diferentes aspectos a evaluar se diseñan una serie de preguntas asociadas a estos, las cuales se distribuyen de la siguiente manera:

- Comprensión del Lean Manufacturing - 11 preguntas.
- 5's - 8 preguntas.
- Mejora continua - 10 preguntas.
- Trabajo estandarizado - 6 preguntas.
- SMED - 5 preguntas.
- Poka yoke - 4 preguntas.
- Pull - 4 preguntas.

Con las preguntas diseñadas se procede a definir los criterios y/o rangos de valoración sobre los cuales se evaluarán, de esta manera se establecen las siguientes categorías:

- 0%-20%, la condición es inexistente o se debe realizar un cambio en la operación.
- 21%-40%, la condición es inexistente, pero es conocida, requiere de asistencia para iniciar la operación Lean.
- 41%-60%, se tiene la comprensión del enfoque Lean, pero requiere reforzar los conceptos y su aplicación de manera eficiente.
- 61%-80%, se cuenta con aplicación de los procedimientos y se tiene acciones de seguimiento verificación, estando en la vía correcta.
- 81%-100%, Las actividades están enfocadas de manera estructurada y demuestra mejoramiento continuo con un trabajo estructurado.

La siguiente grafica muestra los resultados del cuestionario el cual fue aplicado con ingenieros a cargo de la planta, posteriormente las respuestas de estos fueron confirmadas o refutadas por charlas con el personal e inspecciones visuales realizadas por los responsables del proyecto dentro de la planta de Pretector Ltda.

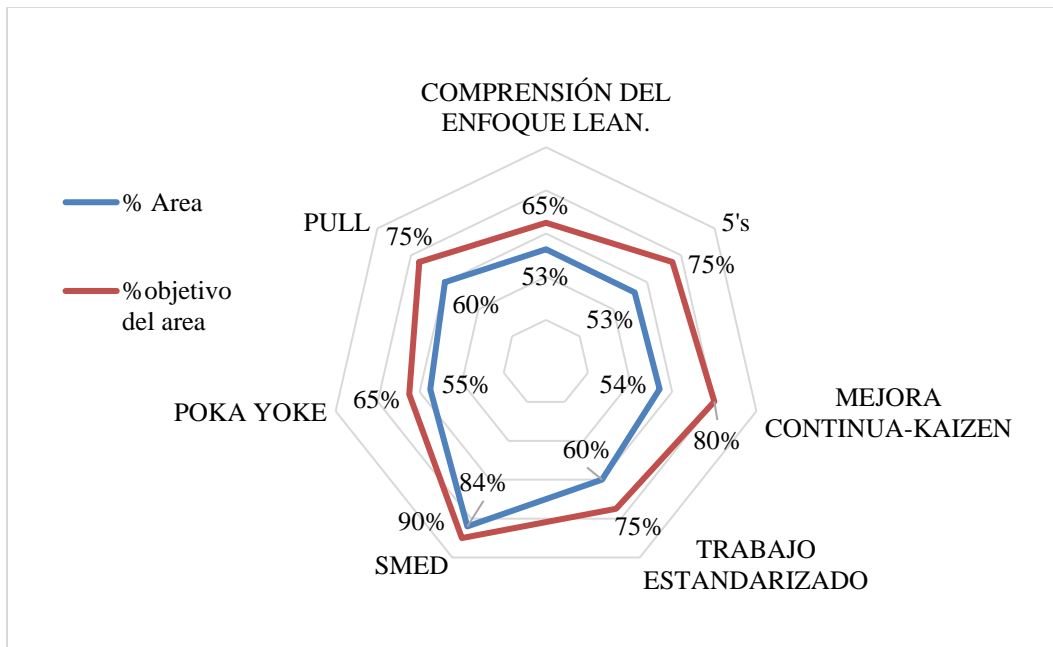


Figura 23. Resultados del cuestionario de comprensión del enfoque Lean.

El cuestionario y los resultados de su aplicación se encuentran en el APÉNDICE 10. De la anterior grafica se observa que ninguno de los aspectos evaluados se encuentra por debajo del 50%, pero de manera paralela no se encuentra por encima del 90%. Demostrando el conocimiento y aplicación parcial de las técnicas y conceptos del Lean Manufacturing. Cuatro de las siete categorías evaluadas no alcanzan el 60%, indicando una idea clara de los conceptos adquiridos por medio de la práctica, pero también la necesidad del refuerzo de los conceptos y planificación de la aplicación de técnicas de manera eficiente.

El trabajo estandarizado y sistema Pull se encuentran en el 60%, logrando un mejor nivel que las áreas ya mencionadas, pero con oportunidades de mejora presentes. SMED presenta un porcentaje de cumplimiento de 84%, debido a la manera en que están estructuradas las actividades de alistamiento del puesto de trabajo.

Se concluye la existencia de oportunidades de mejora tanto de manera interna del proceso como de manera externa (relacionado a las personas que no se involucran directamente con el proceso). De esta manera el proyecto se centra en atacar las diferentes áreas que permitan alcanzar los objetivos de implementación de las diferentes técnicas propuestas por medio del ciclo PHVA, el cual tiene como objetivo llevar de manera controlada la aplicación de mejoras y poder medir su rendimiento, demostrando así el mejoramiento de los procesos de postes de Concreto Prefabricados.

6. Definición y análisis de mejoras

A partir de los estudios y análisis realizados al interior de Pretector Ltda., contando con el apoyo del cuestionario Lean y bases teóricas, se establecen las mejoras a implementar en su fase inicial. Su posterior evolución y consolidación se da en tres subfases siguientes.

6.1 Sistema Kanban de retirada y señalización de flujo de producción.

6.1.1 Definición parcial de sistema Kanban de retirada y señalización de flujo de producción. Esta fase se encuentra soportada en los datos obtenidos a partir de los estudios y análisis que se desarrollaron como parte del análisis del proceso de producción de postes de Concreto Prefabricados.

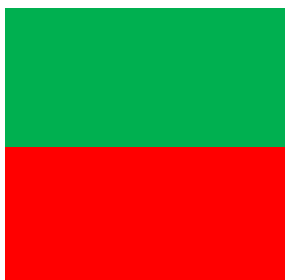
El sistema de Kanban de advertencia funciona como alarma, mediante señales visuales, para indicarle a este la necesidad de transferir el producto en proceso de una fase del proceso a la inmediatamente siguiente.

Con esta mejora se buscan eliminar los tiempos de inventario y esperas de producto en proceso en estaciones como formaletas y resane, que se presentan por alteraciones en el flujo debido a distracción de operarios encargados del funcionamiento de estas estaciones y de los recursos de transporte de la línea de producción. En la figura 16 se observan los tiempos de inventario dados en las fases de transferencia de producto Formaletas-Resane y Resane-Almacenaje, los cuales buscan ser eliminados como objetivo de la mejora. Además, existen otros tipos de esperas a remover tales como: espera por equipos de transporte, esperas por falta de instrucciones a los operarios o por estaciones siguientes ocupadas, las cuales se encuentran descritas con su respectivo porcentaje de presencias durante el muestreo de trabajo realizado, en la tabla 10 en el numeral 4.5.4.

6.1.1.1 Diseño de sistema. El diseño del sistema comprende tres fases.

- **Diseño del código de colores:** Mediante un sistema de tarjetas al interior de las señales se establecen los colores que indicaran a los operarios el trámite que se debe dar a la respectiva unidad de producto en proceso. De esta manera, se seleccionan los colores:

Tabla 12 Código de colores sistema kanban.



Indica la disposición del producto para ser trasladado a estaciones siguientes.

Indica que el producto aún se encuentra en proceso, por lo cual aún no debe ser trasladado a estaciones siguientes.

- **Diseño del funcionamiento:** Para los operarios en estaciones de formaletas la primera señal entra en uso una vez el poste ha terminado su fraguado y la formaleta esta lista para ser abierta. Una vez abierta por parte de los encargados de la apertura de formaletas, la siguiente señal es colocada para advertir el requerimiento de transporte por parte del puente grúa, el cual traslada el poste hacia la estación de resane. Finalizadas las labores de resane, los operarios deben colocar la señal de sección circulas sobre el poste para indicar la disponibilidad del producto para ser trasladado hacia los lugares de apilamiento, transporte que es realizado nuevamente por parte del puente grúa.

- **Diseño de señal según su ubicación:** Teniendo en cuenta la posición en que deben ir ubicadas las señales, se diseñan las estructuras que darán la estabilidad para ser colocadas tanto en formaletas, como en postes que están listos para dejar la estación de resane. En la figura 24 se muestra el diseño inicial en 2D de la señal para las estaciones de formaletas, y en la figura 24 se muestra la misma situación para las estaciones de resane.

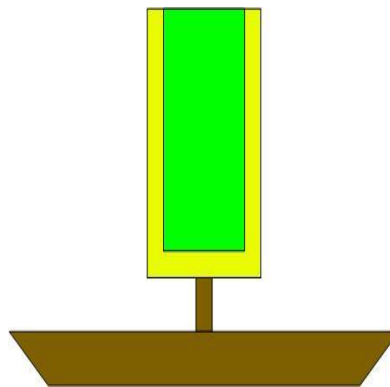


Figura 24. Diseño inicial 2D para las estaciones de formaletas.

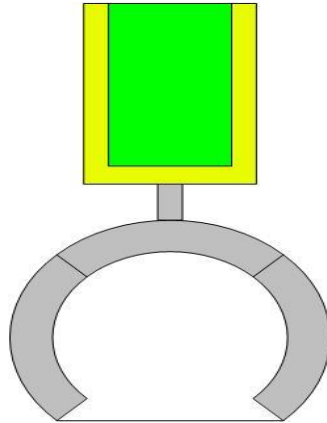


Figura 25. Diseño inicial 2D para las estaciones de resane.

6.1.2 Ajuste a las mejoras. Esta fase involucra a los responsables del desarrollo del proyecto, ingenieros, directivos a cargo de la planta y al departamento de mantenimiento. Es presentado el sistema para la evaluación y estudio de viabilidad para puesta en marcha por parte de Pretector Ltda., adicionalmente, el departamento de mantenimiento emite su concepto a cerca de las posibilidades para el ensamble final de las señales. De esta manera se hacen ajustes finales sobre los colores que faciliten la percepción por parte de los operarios, tipo de material que soporte las condiciones ambientales de la planta y el diseño que facilite la ubicación y estabilidad sobre las superficies donde permanecerá la señal durante su uso. La figura 26 muestra la señal para las estaciones de formaletas una vez ha sido ensamblada por parte del departamento de mantenimiento y la figura 27 representa la señal para las estaciones de resane.



Figura 26. Señal ensamblada para las estaciones de formaletas.



Figura 27. Señal ensamblada para las estaciones de resane.

6.1.3 Simulaciones. En este punto, son involucrados los trabajadores pertenecientes al nivel operativo dentro del diseño de la mejora. Inicialmente, se identifican los operarios que están a cargo de las fases del proceso involucradas directamente en el uso del sistema de señalización y retirada. De esta manera se consideran operarios en estaciones de formaletas, operarios en resane, cortadores de bases y cimas, pulidores y operadores de puente grúa.

No se realiza un procedimiento formal de capacitación, por la simplicidad en el uso de la señalización, sin embargo, son reunidos para poder ser advertidos y formados sobre todo en los

momentos en que deben ser ubicadas y en el significado de cada uno de los colores de las tarjetas contenidas.

6.1.3.1 Observaciones simulación. A continuación, se describen las observaciones por estación y operarios involucrados.

- Estación de formaletas: Dentro de la línea de producción de postes de Concreto Prefabricados existen tres grupos de formaletas conformados como se describe en la tabla 13.

Tabla 13. Grupos de formaletas y número de formaletas que contienen.

| Grupo de formaletas | Cantidad de formaletas |
|---------------------|------------------------|
| 1 | 9 |
| 2 | 8 |
| 3 | 5 |

Con el funcionamiento de las señales se observa un flujo más rápido de los productos que tienen que abandonar estas estaciones, debido a la asistencia rápida por parte del vehículo puente grúa encargado del traslado de postes desde las formaletas hacia las estaciones de resane, inclusive la señal en formaletas advierte a los operarios en puestos de resane de la necesidad de alistar los equipos y materiales requeridos para trabajar sobre el poste que está próximo a llegar. Sin embargo, la complejidad y los tiempos requeridos para las labores de apertura de formaleta, alteran este flujo luego de destapadas dos unidades de estas, se concluye la limitación en el recurso humano para el desarrollo de estas labores en cuanto al flujo que se persigue como objetivo.

Al terminar la apertura del grupo de formaletas sobre el cual se centran las operaciones y finalizar también el uso de señales en ese punto del proceso, se observan dificultades en la ubicación y predisposición de las señales, por la inexistencia de tableros de herramientas o lugares predestinados para el almacenamiento de estas, lo cual influye en otros factores y esperas ocasionadas por situaciones de este tipo.

- Estación de resane: El flujo en esta estación mejora de manera considerable al eliminar totalmente los tiempos de inventario en que incurren los postes una vez terminadas estas labores. Sin embargo, el tiempo de duración de las tareas de la estación anterior y del transporte por parte del vehículo puente grúa hace incurrir a los operarios en tiempos inutilizados por falta de producto sobre el cual trabajar. La mejora en el flujo también se da por los tiempos de alistamiento de equipo y materias primas reducidos debido a la percepción de la señal en estaciones de formaletas.

Al finalizar las tareas de resane sobre el lote de producto transferido y el uso de las señales en este punto del proceso, se observan las mismas dificultades sobre los puntos de ubicación y almacenamiento de las señales, presentadas en las estaciones de formaletas.

- Vehículo puente grúa: Durante el ejercicio, este recurso es uno de los principales implicados, y es primordial para que se dé correctamente el flujo deseado. Se observa un mayor porcentaje de utilización llegando, inclusive, a limitar la llegada de producto de las estaciones de resane.

6.1.3.2 Conclusiones simulación. Con la finalización del ejercicio se observan tanto los puntos positivos, como los puntos negativos mencionado en numerales anteriores. La figura 28 representa el VSM durante el ejercicio, resultado de la eliminación de tiempos de inventarios en

los puntos del proceso que representan transferencias de producto en proceso entre las estaciones involucrada

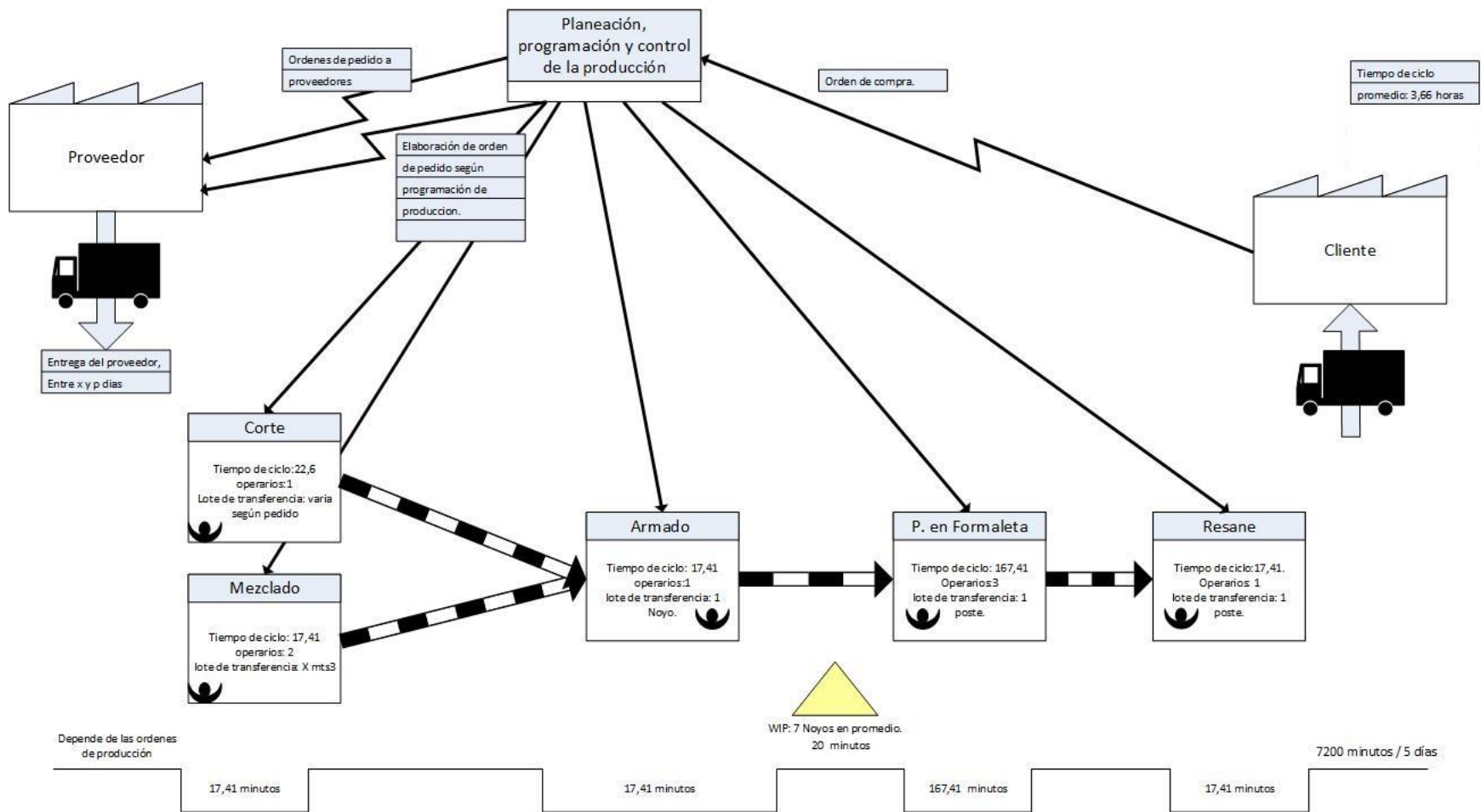


Figura 28. VSM durante el ejercicio de simulación de señales.

Como resultado del ejercicio se decide no continuar con la fase de implementación de esta mejora, al considerar más relevantes los puntos negativos que esta desencadena. Sin embargo, a partir de esta se formulan otras alternativas de mejora que serán descritas en capítulos siguientes.

6.2 Sistema 5s

Durante las fases de conocimiento, estudio y análisis del proceso productivo de postes de Concreto Prefabricados se determina la necesidad del diseño, implementación y seguimiento de un sistema 5s que permita mantener el orden dentro de la planta, y de esta manera, contribuir en la mejora que involucre aspectos inherentes a la productividad, la calidad de los productos y la seguridad de los trabajadores.

Con esta mejora se persigue eliminar los despilfarros asociados a esperas, búsquedas y transportes realizados por falta y búsqueda de herramientas, materias primas y elementos de transportes, excesos de producto en proceso almacenado dentro de la línea que dificultan la movilidad de los operarios al interior de esta. De esta manera se espera lograr una reducción en los tiempos de operación o tiempo tipo en cada uno de los puestos de trabajo.

6.2.1 Diseño del sistema 5s. El proceso de producción de postes de concretos prefabricados presenta características que suponen un esfuerzo mayor de parte de todas las partes de la empresa para lograr el funcionamiento óptimo del sistema 5s. Dichas características involucran, por ejemplo, el tipo de materias primas utilizadas (concreto, grasas, desmoldantes, etc.), el tipo de equipo, herramientas, maquinaria utilizada o las prácticas habituales de los operarios. Estos factores generan entre otras cosas: presencia de herramientas en el suelo por falta de lugares para su almacenamiento, ambiente con sustancias como concreto, polvo de concreto, grasas y aceites.

6.2.1.1 Inspección en estaciones de trabajo. Durante esta fase se identifican todas las estaciones de trabajo que componen el sistema productivo, y mediante entrevistas con los operarios se logra obtener información precisa y necesaria como: herramientas utilizadas, materias primas utilizadas, equipos utilizados y tipos de residuos. En el APÉNDICE 11 se muestra la caracterización de cada uno de los puestos de trabajo, resultante del proceso de inspección.

6.2.1.2. Establecimiento inicial de actividades 5s. Una vez caracterizados los puestos de trabajo, se establecieron las actividades a realizar en cada uno, en miras de mantener el orden y aseo al interior de la planta. De esta manera se logran emitir actividades estándar que involucran todos los puestos de trabajo, presentadas en forma de instrucción y enlistadas para su fácil acceso por parte de los operarios.

6.2.2 Ajustes a la mejora. Se involucran a los responsables del desarrollo del proyecto, supervisores e ingenieros para la revisión de las actividades 5s previamente establecidas, se asignan responsabilidades para temas de auditoría, medición y control de sistema 5s y, finalmente, se definen los conductos regulares y fechas para realizar las capacitaciones al personal operativo.

6.2.3 Simulaciones. En esta fase se estandarizan de manera definitiva, en primera medida, las actividades 5s para cada uno de los puestos de trabajo del sistema productivo incluyendo al departamento de mantenimiento, en segundo orden, los métodos de control para la realización de las actividades por parte de operarios y para la auditoría al sistema y su funcionamiento, y finalmente, se establecen los roles de cada uno de los elementos mencionados.

6.2.3.1 Actividades 5s estandarizadas. Estas actividades están identificadas con un código único para facilitar el control del sistema. Adicionalmente se establece un código de colores para demarcar la frecuencia de cada una de las actividades 5s de la siguiente manera:

| Puesto de trabajo | Actividades de limpieza | Código | Actividad diaria | |
|-------------------|--|--------|------------------|----|
| | | | SI | NO |
| Corte de hierro | 1. Recoger, limpiar y colocar en su lugar herramientas. | CH1 | X | |
| | 2. limpiar pulidora y cajón de la pulidora, guardar disco de pulido, organizar discos de pulido, envases plásticos y herramientas. | CH2 | X | |
| | 3. Vaciar contenedores de desechos en las zonas de desperdicios según corresponda a chatarra o otros residuos, colocar contenedores de desechos en su lugar. | CH3 | X | |
| | 4. Barrer todos los pasillos alrededor del puesto de corte de hierro, tirar desechos, elementos defectuosos o rotos. | CH4 | X | |

Figura 29. Lista de actividades estándar de aseo y orden 5s.

| | |
|--|--|
| | Actividades que se realizan a lo largo de la jornada de trabajo. |
| | Actividades que se realizan al finalizar la jornada laboral. |

Figura 30. Código de color.

Se incluye la frecuencia diaria con que deben realizarse las actividades, teniendo en cuenta la complejidad e innecesaridad de algunas labores como, por ejemplo, la limpieza de vehículos de transporte. En el APÉNDICE 12 se muestran las actividades 5s a realizar para cada uno de los puestos de trabajo pertenecientes al sistema productivo.

6.2.3.2 Métodos de control sistema 5s. Se establecen los siguientes métodos de control:

- Registro de actividades 5s por operario y puesto de trabajo: Mediante este método se pretende realizar un seguimiento individual a los operarios y a las actividades de limpieza que este debe realizar. Su desarrollo se apoya en el uso de la herramienta ofimática Microsoft Excel. El formato de control enlista los operarios, y mediante listas desplegables permite diligenciar las actividades que cada uno realiza, con el código correspondiente, y relacionarlas con el puesto de trabajo en que se encuentra el personal, teniendo en cuenta la rotación de estos. En el APÉNDICE 13 se encuentra el formato de registro de actividades 5s por operario y puesto de trabajo.

- Lista de chequeo visual para seguimiento y auditoría de sistema 5s: Este método de control establece las directrices para la medición del sistema 5s al interior de la planta, y facilita su medición a través de un sistema de calificaciones previamente establecidas que funcionan en un rango comprendido entre 0 y 4 puntos. Cuenta con un total de 25 elementos o criterios de evaluación, y su mínima y máxima puntuación total es 0 y 100 puntos respectivamente. Además, mediante el apoyo de la herramienta Microsoft Excel automatiza el análisis de información para graficar y, de esta manera, ejercer un control visual sobre la evolución del indicador. La lista de chequeo se encuentra descrita en el capítulo correspondiente a indicadores.

6.2.3.3 Asignación de roles ejecución, control y auditoría del sistema 5s. El sistema 5s funciona al interior de la línea de producción, sin embargo, además de la ejecución de actividades 5s, se realizan actividades de seguimiento y auditoría de las mismas, por lo tanto, la asignación de roles a personal no operativo se establece de la siguiente manera:

Tabla 14. Roles para ejecución, control y auditoría del sistema.

| Rol | Cargo responsable |
|--|-------------------|
| Ejecutores de actividades 5s en línea de producción. | Operarios |
| Seguimiento individual a operarios y puestos de trabajo. | Supervisores |
| Auditoría al sistema 5s. | Ingeniero HSEQ. |

6.2.3.4 Conclusiones simulación. Una vez ha sido establecido el sistema 5s, junto con sus mecanismos de control y los roles de las partes participantes e involucradas en su funcionamiento al interior de la línea de producción, se decide conservarla y transferirla a la fase de implementación.

6.3 Mejora para la estandarización del trabajo en puesto de fabricación de espirales y de corte de hierro

Las fases relacionadas con el conocimiento de la empresa y estudio del proceso, logran suministrar información relacionada con temas inherentes la programación de la producción para la línea de fabricación de postes de concreto prefabricado. Por la naturaleza del tipo de productivo y su amplia gama de referencias, el sistema productivo se ve sujeto a cambios que permiten dar

las características al producto según son establecidas por el cliente. Entre dichas características se encuentran:

- Longitud del poste.
- Capacidad de carga.
- Cantidad de perforaciones del poste.

Características de este tipo implican cambios en estaciones como: formaletas, donde se da forma al poste, en los puestos encargados de la fabricación de refuerzos internos, los cuales varían según la resistencia y capacidad de carga del poste. La estandarización del trabajo considera estos puestos: puesto de fabricación de espirales y puesto de corte de hierro.

Durante la reunión de programación de producción se establecen, los niveles de inventario existentes, cantidades de producto a fabricar a diario durante la semana y los traslados o cambios en formaletas, realizados por el departamento de mantenimiento. De esta manera, los participantes de la reunión son: gerencia de planta o producción, supervisores y gerencia de mantenimiento.

Aunque la reunión establece las cantidades y tipos de producto que se van a fabricar, existen puestos aislados que no cuentan con ningún tipo de programación de la producción, por lo operan según la experiencia del trabajador a cargo.

Tabla 15. Consecuencias de la situación de la falta de comunicación.

| Causas | Consecuencias |
|--------|--|
| | <ul style="list-style-type: none"> • Producción en cantidades imprecisas. • Exceso de refuerzos para algunas unidades. |

- Los puestos no cuentan con programación de producción.
- Operan según experiencia del operario.
- No existen canales de comunicación entre la gerencia y los operarios.
- Operarios no conocen las decisiones de la gerencia.
- Falta de refuerzos para otras unidades.
- Esperas de los operarios de armado (noyos) por falta de material.
- Inventario de hierro que no cuenta con espacio de almacenamiento asignado.
- Exceso de inventario de hierro al interior de la línea.
- Impacto en el orden de la línea (5s).

Considerando que las imprecisiones en la producción de los puestos de fabricación de espirales y corte de hierro influyen en el funcionamiento la siguiente estación (armado), y consecuentemente, en todo el proceso productivo, se establece la mejora para estandarización del trabajo en dichas estaciones.

Se decide desarrollar la mejora que establece el canal de comunicación entre la gerencia de planta y los puestos de fabricación de espirales y corte de hierro. La figura 31 representa el flujo de información antes de establecida la mejora.



Figura 31. Flujo de información de la programación de la producción antes de mejora.

El diagrama señala la falta de un canal de comunicación directo entre la gerencia de producción y los niveles operativos, especialmente para el puesto de fabricación de espirales y de corte de hierro.

Identificada la situación, los factores causantes y las consecuencias; se inicia el proceso de diseño de un canal de información directo entre la gerencia de la producción y los operarios. La fase se desarrolla de la siguiente manera:

6.3.1 Diseño del flujo de información Gerencia-Operarios. A partir de las deficiencias encontradas y del análisis del flujo de información existente hasta el momento, se inicia el diseño de un nuevo canal de información que involucra directamente la gerencia de planta, supervisores, auxiliares y operarios. Adicionalmente, se establecen los roles para la generación y transferencia de la información generada.

Tabla 16. Roles de cada cargo en la generación y flujo de información.

| Cargo | Rol |
|---|--|
| Gerencia de producción | <ul style="list-style-type: none"> • Generador de la programación de producción para puesto de fabricación de espirales y corte de hierro. • Emite órdenes de producción a supervisores. |
| Supervisores | <ul style="list-style-type: none"> • Comparte información a los auxiliares. |
| Auxiliares | <ul style="list-style-type: none"> • Consigna la información de programación de producción en los medios establecidos para la comunicación con los operarios. |
| Operarios encargados de los puestos de fabricación de espirales y de corte de hierro. | <ul style="list-style-type: none"> • Ejecuta labores según indica la información entregada. |

Una vez establecidos los roles para la generación y transferencia de información, se diseña el flujo de esta. La figura 32 representa el flujo de información desde la programación de la producción por parte de la gerencia, hasta la recepción de los operarios.

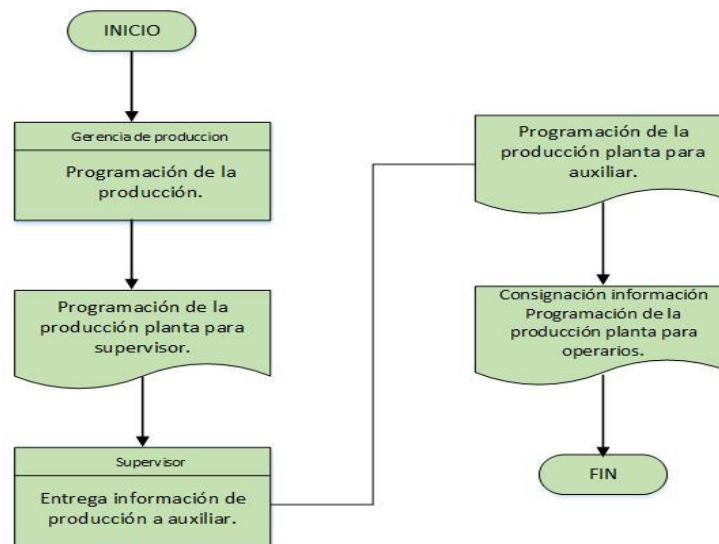


Figura 32. Flujo de información de programación de producción establecido por la mejora.

6.3.2 Diseño de los medios generadores y de transmisión de información. La mejora contiene dos tipos de medios, en primera medida, se encuentran los medios generadores de información, y en segundo orden, los medios que transfieren y comunican la información de manera visual a los operarios.

6.3.2.1 Medios generadores de información. La información contenida en este medio se generada a partir de la programación de la producción que realiza la gerencia, con la finalidad de emitir órdenes precisas de producción para los puestos de fabricación de espirales y corte de hierro. Esto se logra a través del uso de un formato de producción diseñado específicamente para los puestos a tratar.

• Formato para la programación de producción de hierro y espirales: El desarrollo de este formato se apoya en el uso de herramientas ofimáticas (Microsoft Excel). Su funcionamiento considera los postes según su longitud y su capacidad de carga, despreciando otras características que no influyen en el tipo de refuerzos internos del producto, como lo son las perforaciones, número de polos a tierra, etc. Realiza el conteo de los postes según las características necesarias y automáticamente organiza las cantidades de producción por día, referencia y cantidad. En el APÉNDICE 14 se adjunta el formato de programación de la producción para la planta de Pretector Ltda. junto con el formato de programación de producción de hierro y espirales. Se debe resaltar que este formato genera la programación para los puestos de manera automática, a partir del actualmente utilizado para la programación general de la producción. La figura 33 muestra el formato para la programación de producción de hierro y espirales.

| Pretector | | | Producción Programada en Unidades | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|-----------|------------|-----------------------------------|-------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|-----------|
| | | | Actualización | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | Lunes, 27 de febrero de 2017 | | | | | | | | | | | | | | |
| Tipo | Día | Fecha | 8-510 | 8-750 | 8-1050 | 8-1350 | 11-1324 | 12-300 | 12-500 | 12-510 | 12-750 | 12-735 | 12-1500 | 14-1050 | 14-1500 | 14-2000 | 16.5-3000 |
| Festivo | Domingo | 15/01/2017 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Laboral | Lunes | 16/01/2017 | 13 | 18 | 9 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 3 | 0 | 12 | 0 | 0 | 0 |
| Laboral | Martes | 17/01/2017 | 13 | 18 | 9 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 1 | 0 | 12 | 0 | 0 | 0 |
| Laboral | Miércoles | 18/01/2017 | 12 | 18 | 9 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 3 | 0 | 12 | 0 | 0 | 0 |
| Laboral | Jueves | 19/01/2017 | 12 | 18 | 9 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 4 | 0 | 12 | 0 | 0 | 0 |
| Laboral | Viernes | 20/01/2017 | 12 | 18 | 9 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 6 | 0 | 12 | 0 | 0 | 0 |
| Laboral | Sábado | 21/01/2017 | 12 | 18 | 9 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 7 | 0 | 12 | 0 | 0 | 0 |
| Festivo | Domingo | 22/01/2017 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Laboral | Lunes | 23/01/2017 | 13 | 18 | 9 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 3 | 0 | 12 | 0 | 0 | 0 |
| Laboral | Martes | 24/01/2017 | 13 | 18 | 9 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 1 | 0 | 12 | 0 | 0 | 0 |
| Laboral | Miércoles | 25/01/2017 | 12 | 18 | 9 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 3 | 0 | 12 | 0 | 0 | 0 |
| Laboral | Jueves | 26/01/2017 | 12 | 18 | 9 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 4 | 0 | 12 | 0 | 0 | 0 |
| Laboral | Viernes | 27/01/2017 | 12 | 18 | 9 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 6 | 0 | 12 | 0 | 0 | 0 |
| Laboral | Sábado | 28/01/2017 | 12 | 18 | 9 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 7 | 0 | 12 | 0 | 0 | 0 |
| Festivo | Domingo | 29/01/2017 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Laboral | Lunes | 30/01/2017 | 15 | 18 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 0 | 0 | 8 | 0 | 0 | 0 |

Figura 33. Formato para la programación de producción de hierro y espirales.

6.3.2.2 Medio de transmisión de información. Este medio es utilizado para entregar la información por parte de los auxiliares a los operarios encargados de fabricar las órdenes de producción.

• Formato de distribución de formaletas en planta Pretector Ltda.: El diseño y elaboración de este medio tienen cuenta las siguientes consideraciones:

- ✓ Distribución de las formaletas.
- ✓ Estados posibles de las formaletas: Produciendo, detenida, en traslado.
- ✓ El alto número de traslados en las formaletas.
- ✓ Los lapsos de tiempo en los que se dan los traslados.
- ✓ La facilidad para ser interpretado por cualquier operario.

La figura 34 muestra el formato inicial utilizado para mostrar al operario la programación y el estado en que se encuentran las formaletas.

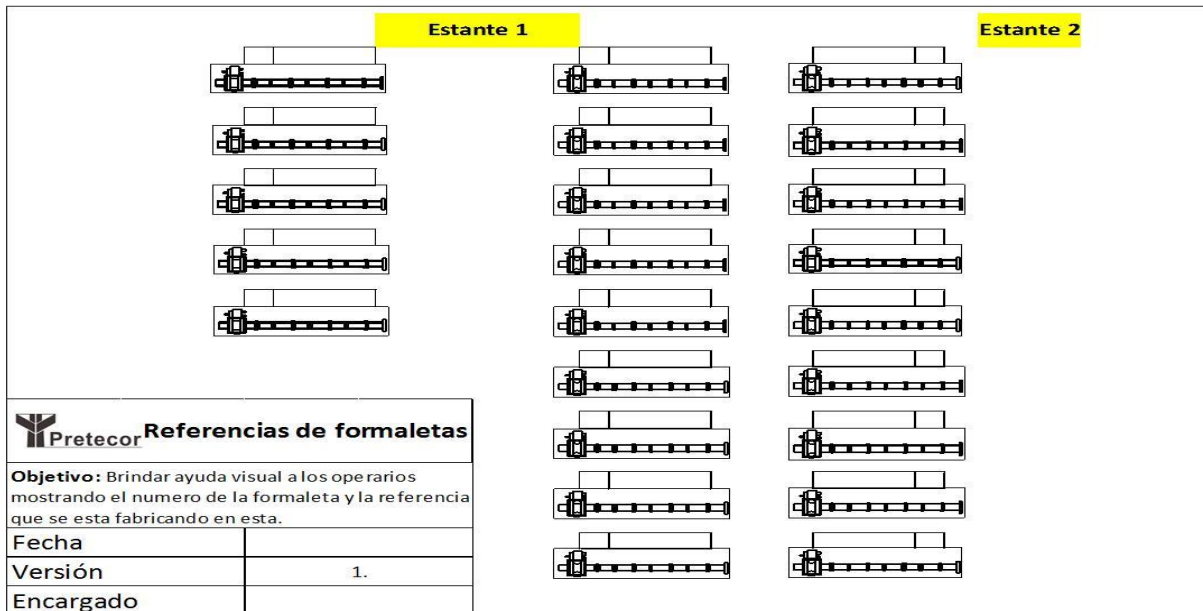


Figura 34. Formato de distribución de formaletas.

El formato contiene los tres grupos de formaletas al interior de la línea de producción de postes de Concreto Prefabricados. Se entregan a los operarios de corte de hierro y fabricación de espirales, contienen la referencia en la cual se encuentra programada la formaleta y la cantidad que se produce al día según el número de fraguados programados. Se entrega de manera impresa al operario y debe ser renovado y diligenciado por parte del auxiliar cada vez que se presenta un cambio en el estado de la formaleta o de la referencia que va a producir.

6.3.3 Ajustes a la mejora. Esta fase está enfocada principalmente en la mejora del formato de distribución de formaletas, teniendo en cuenta el número y el costo en que se incurre por la impresión del formato cada vez que se da una rotación en la referencia y/o estado de alguna de las formaletas. Además, se considera una mejora útil para las otras líneas de producción. De esta manera, se establece el formato en forma de tablero, que facilita su diligenciamiento, funciona como un medio más didáctico para los operarios y puede involucrar las otras líneas dentro de la planta. El tablero contiene los siguientes elementos:

- Las cuatro líneas de producción.
- Las formaletas contenidas en cada línea de producción.
- El estado de cada una de las formaletas en código de colores: Azul-Formaleta programada en esa referencia, Verde-Formaleta en traslado con la referencia a la que entra, Rojo-Formaleta detenida.
- Resumen de producción diario por referencia de poste.
- Fecha y hora de última actualización por parte del auxiliar encargado.

6.3.4 Simulaciones. Esta fase pone a prueba el nuevo canal de comunicación para los puestos de fabricación de espirales y corte de hierro. Se realiza un proceso de seguimiento a los formatos y ejecutores dentro del canal.

6.3.4.1 Observaciones de operarios. Durante la ejecución de la simulación se recogen comentarios de operarios de diferentes puestos de trabajo.

- Operario puesto de fabricación de espirales: La mejora facilita la organización del trabajo del puesto de fabricación de espirales, permitiendo conocer al operario que producir y en qué cantidades.
- Operario puesto de corte de hierro: De igual manera, la mejora permite estandarizar las cantidades de corte de hierro que se producen al día, además, se presenta una reducción en la cantidad de transportes realizados a diario, debido a una mejor adaptación del volumen de producción de este puesto al del resto de la planta.
- Operadores de puente grúa y despachos: El tablero permite identificar el estado y la referencia fabricadas por cada una de las formaletas, esto facilita las labores de cargue y despachos de producto terminado pues permite al operario hacerse a una idea de donde se encuentran almacenados los postes que son extraídos de cada una de las formaletas.
- Operarios de armado de noyo: El nuevo método de producción de los puestos de fabricación de espirales y corte de hierro, elimina las esperas presentadas por falta de material. La producción precisa permite que estos puestos fabriquen lo necesario para las referencias que se fabrican, y no para otras que ya se han dejado de producir. Adicionalmente, la reducción de hierro

almacenado en los puestos de armado de noyos facilita el trabajo de los armadores, e funciona como una buena actividad para la mejora del sistema 5s.

6.3.4.2 Conclusiones simulaciones. La mejora continua para fase de implementación, de esta manera, se introduce el formato dentro de la programación de la producción por parte de la gerencia de planta.

La estandarización del trabajo para los puestos de fabricación de espirales y corte de hierro considera la programación de producción para estos. Con esta mejora se pretende indicar a los operarios que producir, cuando producirlo y en qué cantidades hacerlo.

6.4 Estudio y mejoras para los recursos de transporte puente grúa.

La línea de producción de postes de Concreto Prefabricados cuenta con dos vehículos puente grúa encargados de realizar distintos transportes requeridos para su operación. La optimización en su uso y funcionamiento, representa una mejora que tiene repercusiones en todos los puestos que dependen directa o indirectamente de este.

El planteamiento de mejoras alrededor del recurso puente grúa implica, inicialmente, llevar a cabo estudios que permitan conocer su comportamiento a lo largo de la jornada laboral. Consecuentemente, se plantea el estudio de seguimiento de los vehículos puente grúa. En el APÉNDICE 15 se establece la metodología para el estudio de los recursos puente grúa.

6.4.1 Ejecución del estudio de seguimiento de los puentes grúas de la línea de producción de postes de Concreto Prefabricados. La ejecución de este estudio tiene como objetivo principal, el seguimiento minuto a minuto de los vehículos puentes grúa al interior de la línea de producción de postes de Concreto Prefabricados, para identificar los tipos de transporte que realiza, el número de transportes que realiza, los tiempos que toma cada transporte e identificar un tipo de comportamiento. A partir del conocimiento de estos elementos se formulan mejoras que apoyan el funcionamiento de otras ya planteadas e implementadas.

6.4.1.1 Resultados y análisis del estudio de seguimiento de los puentes grúa de la línea de producción de postes de Concreto Prefabricados. Los resultados del estudio consideran, inicialmente, la cantidad de transportes realizados por los vehículos, y el porcentaje de estos transportes que es dedicado a cada uno de los elementos preestablecidos como posibles a realizar por parte de los puentes grúa. La tabla 17 y tabla 18 muestran los tiempos dedicados a cada elemento de transporte, durante el estudio, por parte del puente grúa 1 y el puente grúa 2 respectivamente.

La tabla 19 muestra la cantidad de transportes realizados, durante el estudio, por el puente grúa 1, la tabla 20 contiene la misma información para el puente grúa 2, clasificados según la hora y el elemento correspondiente.

Tabla 17. Tiempos dedicados a cada elemento de transporte por parte del puente grúa 1.

| Puente grúa 1 | |
|----------------------|---------------------|
| Elementos transporte | Total, por elemento |
| N-F | 0:41:21 |
| F-R | 0:36:30 |

Puente grúa 1

| Elementos transporte | Total, por elemento |
|----------------------------------|----------------------------|
| R-T(IF) | 0:13:25 |
| T-(IF) | 0:00:00 |
| Mant. | 0:28:13 |
| Ext N. | 0:36:01 |
| C.F. | 0:37:41 |
| Desp | 0:00:00 |
| FS | 0:00:00 |
| Total, Tiempo utilización | 3:13:11 |

Tabla 18. Tiempos dedicados a cada elemento de transporte por parte del puente grúa 2.**Puente Grúa 2**

| Elementos transporte | Total por elemento |
|----------------------------------|---------------------------|
| N-F | 0:00:00 |
| F-R | 0:03:46 |
| R-T(IF) | 0:28:38 |
| T-(IF) | 0:00:00 |
| Mant. | 0:34:04 |
| Ext N. | 0:00:00 |
| C.F. | 0:00:00 |
| Desp | 0:00:00 |
| FS | 0:00:00 |
| Total, Tiempo utilización | 1:06:28 |

A partir de estas se obtienen las figuras 35 y 36, que muestran los porcentajes correspondientes al tiempo dedicado a cada elemento de transporte realizado por los puentes grúa 1 y 2, respectivamente.

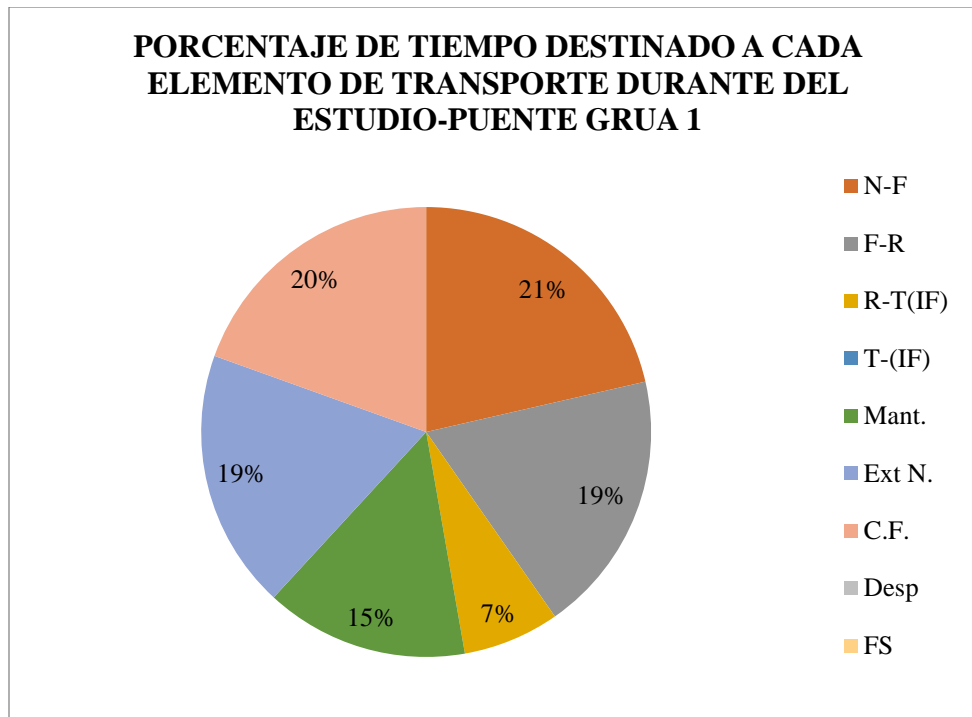


Figura 35. Porcentaje de tiempo destinado a cada elemento de transporte por parte del puente grúa 1.

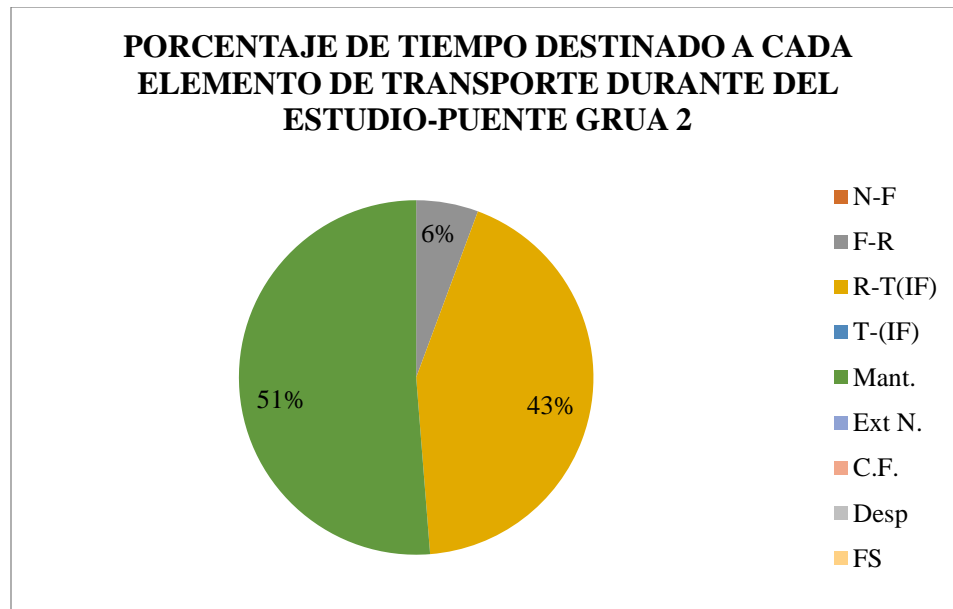


Figura 36 .Porcentaje de tiempo destinado a cada elemento de transporte por parte del puente grúa 2.

Tabla 19. Cantidad de transportes realizados por el puente grúa 1.*Transportes Puente Grua 1*

| <i>Hora</i> | Total, Transportes | N-F | F-R | R- T(IF) | T- (IF) | Mant. | Ext. N. | C.F. | Desp. | Deten. | FS |
|--|---------------------------|------------|------------|---------------------|--------------------|--------------|--------------------|-------------|--------------|---------------|-----------|
| <i>8-9 AM</i> | 0 | | | | | | | | | | |
| <i>9-10 AM</i> | 2 | | | | | 1 | 1 | | | | |
| <i>10-11 AM</i> | 18 | 5 | 5 | 2 | | 1 | | 5 | | | |
| <i>11-12 AM</i> | 17 | 3 | 3 | 2 | | 1 | 6 | 2 | | | |
| <i>2-3 PM</i> | 12 | 5 | 2 | | | | 1 | 4 | | | |
| <i>3-4 PM</i> | 4 | | | 1 | | | 3 | | | | |
| <i>4-5 PM</i> | 7 | 3 | 1 | | | | | 3 | | | |
| <i>5-6 PM</i> | 0 | | | | | | | | | | |
| <i>Total, Transportes Durante Estudio</i> | 60 | 16 | 11 | 5 | 0 | 3 | 11 | 14 | 0 | 0 | 0 |
| | Porcentajes | 27% | 18% | 8% | 0% | 5% | 18% | 23% | 0% | 0% | 0% |

Tabla 20. Cantidad de transportes realizados por el puente grúa 2.

| <i>Transportes Puente Grúa 2</i> | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|-----------------------|-----------|------------|------------|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Hora | Total, Transportes | N-F | F-R | R-T(IF) | T-(IF) | Mant. | Ext. N. | C.F. | Desp | Deten. | FS |
| 8-9 AM | 2 | | | 2 | | | | | | | |
| 9-10 AM | 2 | | | | | 2 | | | | | |
| 10-11 AM | 1 | | | | | 1 | | | | | |
| 11-12 AM | 0 | | | | | | | | | | |
| 2-3 PM | 0 | | | | | | | | | | |
| 3-4 PM | 0 | | | 1 | | | | | | | |
| 4-5 PM | 1 | | 1 | | | | | | | | |
| 5-6 PM | 0 | | | | | | | | | | |
| TOTAL, TRANSPORTES | 6 | 0 | 1 | 3 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| DURANTE ESTUDIO | | | | | | | | | | | |
| | Porcentajes | 0% | 17% | 50% | 0% | 50% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |

Las tablas anteriores permiten obtener la cantidad de veces que se realiza cada uno de los elementos de transporte por parte de los vehículos y, a partir de estos, la asignación porcentual para cada uno. La figura 37 y la figura 38 muestran los porcentajes correspondientes a la cantidad de transportes, separados por elementos, realizados por el puente grúa 1 y el puente grúa 2, respectivamente.

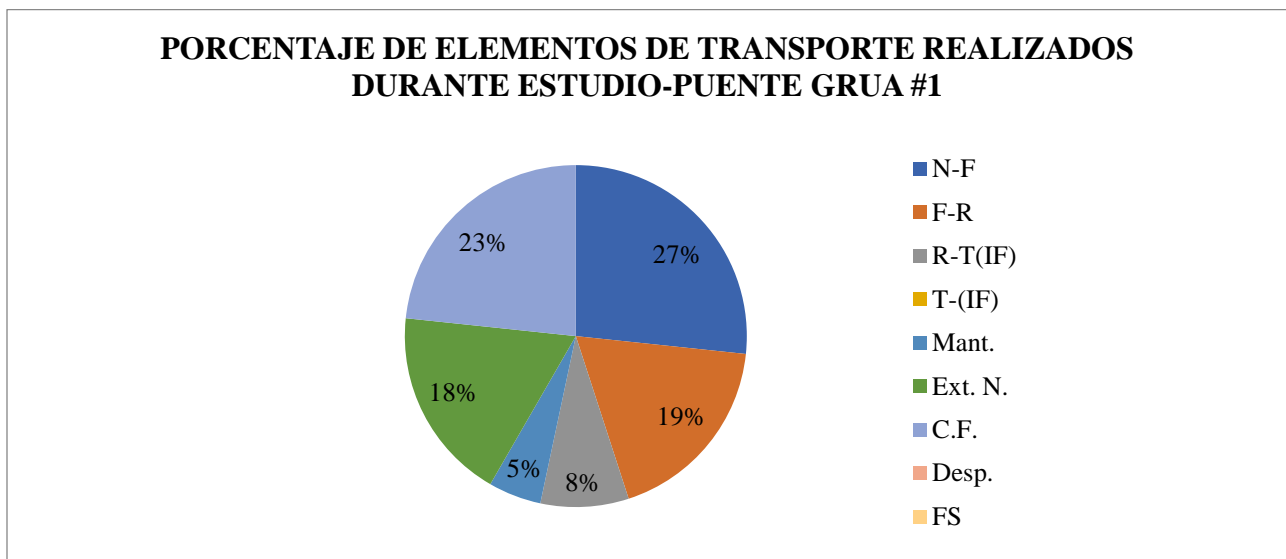


Figura 37. Porcentaje de elementos de transporte realizados por el puente grúa 1.

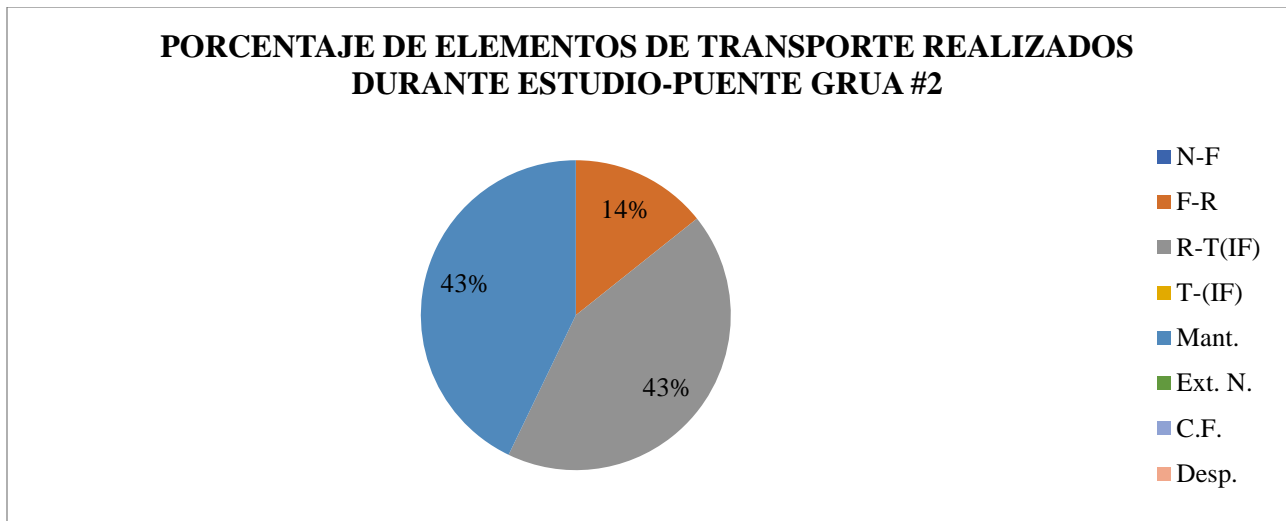


Figura 38. Porcentaje de elementos realizados por el puente grúa 2.

Adicionalmente, se logra identificar una tendencia en el comportamiento de los vehículos a lo largo de la jornada laboral, dicho comportamiento se obtiene de tabular el total de transportes realizados y agrupados, si cumplen con las condiciones para hacerlo (que se presenten de manera seguida o con detenciones pequeñas entre sí), y el momento durante el estudio en que se presentan. La figura 39 muestra el comportamiento del puente grúa 1 a durante la duración del estudio y la figura 40 muestra la misma información para el puente grúa 2.

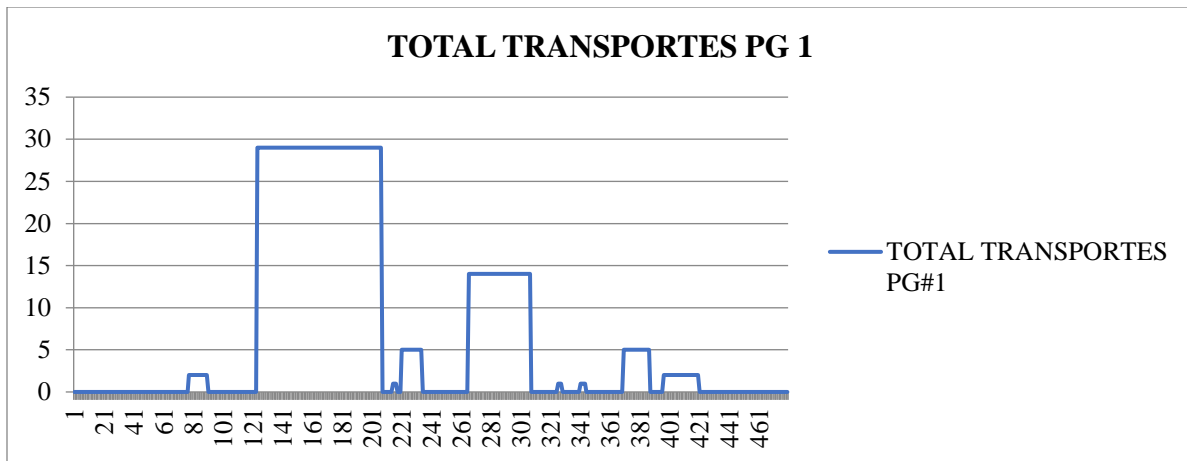


Figura 39. Comportamiento del puente grúa 1 durante ejecución del estudio de seguimiento.

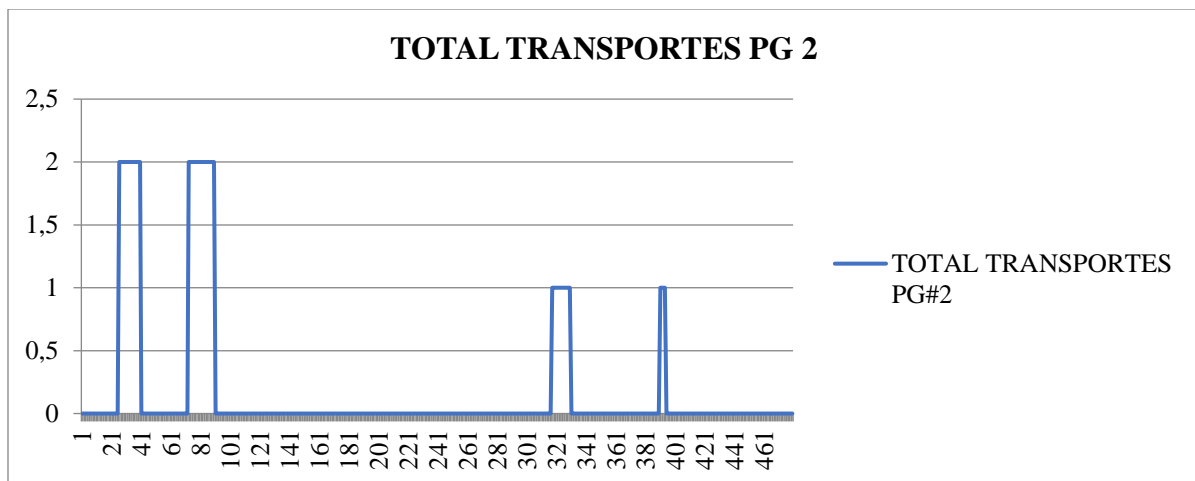


Figura 40. Comportamiento del puente grúa 2 durante ejecución del estudio de seguimiento.

A partir de los resultados obtenidos luego de ejecutado el estudio de seguimiento, se formulan alternativas de mejora que permitan utilizar este recurso de manera que mejore la productividad en los puestos de trabajo que dependen directamente del funcionamiento de este.

El APÉNDICE 16 contiene el estudio de seguimiento a los puentes grúa de la línea de producción de postes de Concreto Prefabricados.

6.4.1.2 Conclusiones estudio. El estudio permite identificar, entre otras, las siguientes situaciones:

- El funcionamiento de la línea no involucra a los dos puentes grúa, operando de manera conjunto, es decir que mientras uno de ellos opera sobre un grupo de formaletas u otro que requiera transportes por parte de este vehículo, el otro puede estar, en la mayoría de los casos, detenido o realizando que no se consideran de prioridad o que influyan en la labor productiva.

- En relación con lo anterior, por información suministrada por el personal de Pretector Ltda. se identifica que uno de los vehículos está destinado a las labores de despacho, y puede ser el puente grúa 1 o 2 dependiendo de la zona de la línea desde donde se realiza el envío.

- La limitación y las demoras de este recurso realizando transportes, retrasan el funcionamiento de las cuadrillas en formaletas, es decir, el personal encargado del armado de estas incurre en esperas por falta de noyos, necesarios para realizar la labor asignada.

- A partir de lo anterior, y del comportamiento del recurso, que denota picos de uso en ciertos momentos del estudio, se identifican actividades que puedan ser realizadas por otros equipos y que suavizan estos picos de uso.

Se formulan las siguientes alternativas de mejora para los recursos de transporte:

- Reconfiguración de las labores de ambos vehículos: Una vez se encuentra abierto un grupo de formaletas, uno de los vehículos se encarga de realizar los elementos F-R, N-F y C.F, mientras el otro vehículo realiza el elemento R-T(IF), es decir, operan los dos recursos de manera conjunta. Este tipo de configuración debe dejarse de lado, únicamente, si uno de los recursos se encuentra en labores de despacho o detenido por razones fortuitas (en mantenimiento, ocupado por

el departamento de mantenimiento, etc.). La mejora no resulta viable desde el punto de vista de los ingenieros a cargo de la planta.

- El uso de un gato hidráulico que se encargue del elemento C.F. y operado por uno de los integrantes de la cuadrilla de cierre de formaletas. Se procede con el diseño del gato hidráulico.

La segunda alternativa implica la búsqueda de un equipo que se adapte a las condiciones de la planta. Inicialmente, se plantea un gato hidráulico convencional con capacidad para levantar 5 toneladas. La figura 41 muestra el gato hidráulico propuesto inicialmente.



Figura 41. Gato hidráulico.

6.4.2 Ajustes a la mejora. Las condiciones y especificaciones del trabajo a realizar por el gato hidráulico, requieren un mayor alcance sobre la superficie de levantamiento. En consecuencia, se realiza un nuevo diseño que permita satisfacer estas necesidades.

Mediante software especializado en CAD (Solid Works), se consolida un nuevo diseño, el cual se adapta a los requerimientos previamente establecidos.

6.4.3 Simulaciones. En esta fase se determinan las piezas, medidas, mecanismo y funcionamiento de la nueva herramienta. Esto permite obtener una idea más clara del equipo, al departamento de mantenimiento encargado de la fabricación y ensamblaje final.

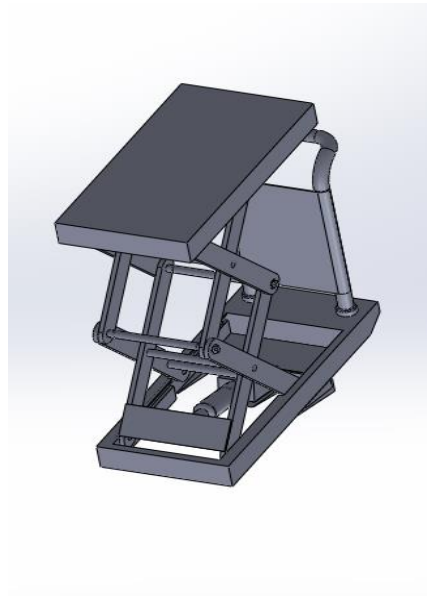


Figura 42. Gato hidráulico diseñado en Solid Works.

El ensamblaje del dispositivo, junto con sus piezas y especificaciones (en formato original), validado por el departamento de mantenimiento, se encuentra en el APÉNDICE 17.

6.5 Definición parcial balanceo de línea-Sistema de cuadrillas

Como parte de un ejercicio de mejora se diseña el balanceo de línea parcial para las actividades de la línea de postes de Concreto Prefabricados de Pretector Ltda. Este se estructura utilizando la información obtenida durante la fase de estudio y análisis del proceso; tiene como

objetivo el mejoramiento del flujo y disminución del tiempo usado en actividades que no agregan valor tales como esperas y desplazamientos.

6.5.1 Diseño balanceo de línea parcial. Durante la fase de estudio del proceso se definen los tiempos de ciclo, el tiempo disponible de producción real y la demanda diaria, permitiendo catalogar las actividades y su carga de trabajo, de esta manera se logra el diseño de una distribución de actividades, la cual tenga en cuenta la cantidad y flujo de personal necesarios para la ejecución de las labores productivas. La medición de los diferentes tiempos de ciclo y disponibilidad se encuentra en el APÉNDICE 18.

Debido a características únicas del mercado en las que opera la empresa Pretector Ltda. la información referente a la demanda de los productos tiene un comportamiento errático y no aportaba en la creación de una solución metódica y de fácil cumplimiento. Teniendo en cuenta estas características, se define la demanda diaria como los estándares de producción planteados por los ingenieros de planta, estos obedecen a un carácter personal y como respuesta a necesidades anteriores de producción, el estándar se establece en la producción de **setenta unidades diarias**.

El diseño del balanceo de línea parcial comprende las siguientes fases:

6.5.1.1 Definición de actividades y flujo del proceso. Durante esta fase se identifican las actividades y el flujo del producto en proceso a través de ellas utilizando un diagrama de distribución de actividades, las actividades descritas en la figura 43 son:

1. Corte.
2. Fabricación de espirales de acero.

3. Armado de noyos (Incluye todo lo necesario para armar un noyo).
4. Mezclado de concreto.
5. Armado de formaletas.
6. Tensionado de torones.
7. Distribución de concreto en formaleta.
8. Curado y Fraguado.
9. Pulido.
10. Apertura de formaleta.
11. Corte de base y cima.
12. Resane.

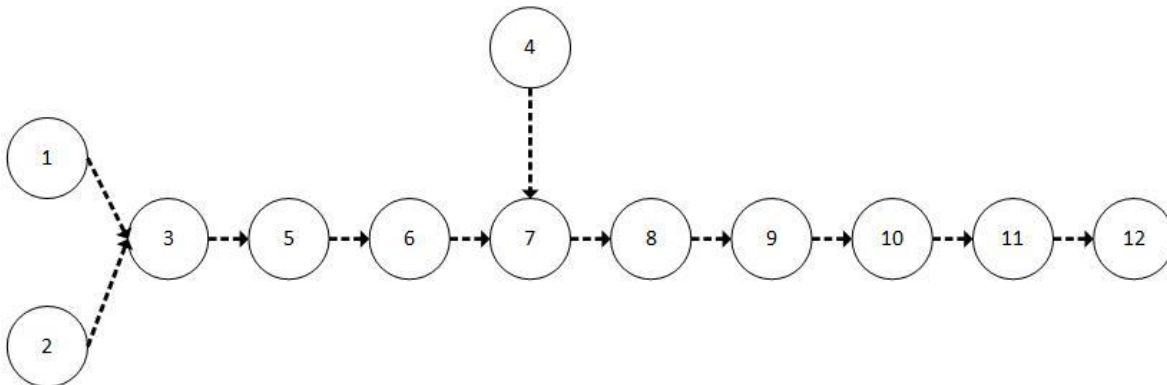


Figura 43. Diagrama de secuencia de operaciones.

6.5.1.2 Calculo Takt time. Con la definición del estándar de producción equivalente a setenta unidades por día y el tiempo disponible de producción se calcula el indicador de tiempo Takt time. Este muestra el tiempo dentro del cual los operarios deben ser capaces de realizar una unidad del producto para cumplir con el estándar de producción. En la figura 44 se muestra la expresión para el cálculo del indicador.

$$Takt\ time = \frac{630 \frac{Minutos}{Día}}{70 \frac{Unidades}{Día}} = 9 \frac{Minutos}{Unidad}$$

Figura 44. Calculo del Takt time.

6.5.1.3 Comparación del Takt time y el tiempo de ciclo. Para la comparación se utiliza una tabla resumen, el diagrama de barras del Takt time y los tiempos de ciclo medidos para postes de doce y ocho metros. En la tabla 21 se observan las comparaciones entre estas magnitudes, de igual manera que en la figura 45.

Tabla 21. Tiempos de ciclo y Takt time.

| | Tiempo de ciclo | Takt Time |
|--------------------------|-----------------|-----------|
| Corte | 15 | 9,0 |
| Mezclado | 15 | 9,0 |
| Fabricación espirales | 9 | 9,0 |
| Armado de noyo | 15 | 9,0 |
| Armado de formaleta | 15 | 9,0 |
| Tensionado | 5 | 9,0 |
| Distribución de concreto | 14 | 9,0 |
| Fundición | 150 | 9,0 |
| pulido | 3 | 9,0 |
| Apertura de formaleta | 11 | 9,0 |
| Corte de bases y cima | 5 | 9,0 |
| Resane | 8 | 9,0 |
| Transporte a inventario | 4,25 | 9,0 |

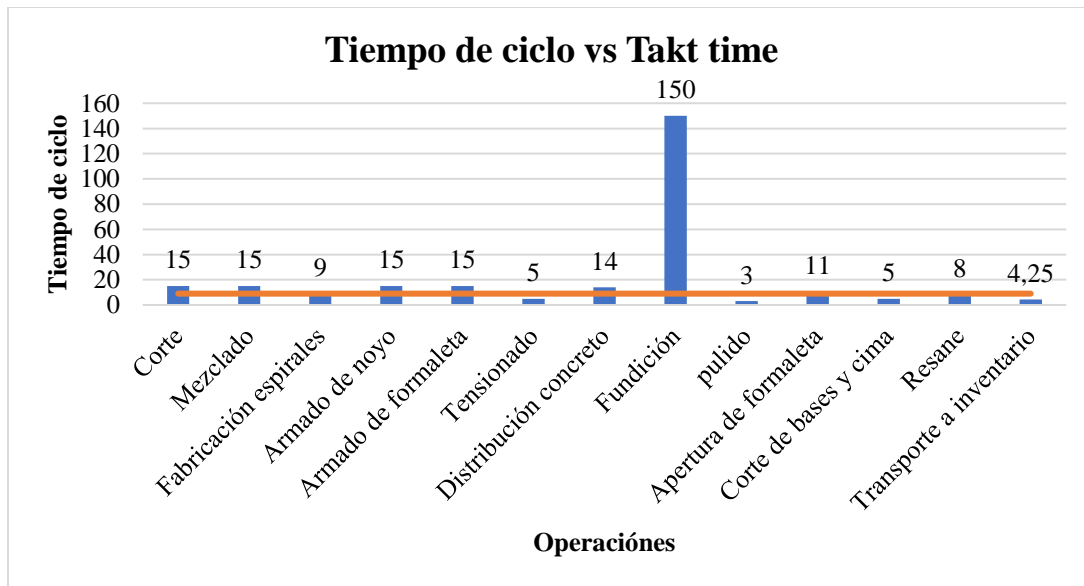


Figura 45. Tiempo de ciclo de postes de ocho y doce metros vs. Takt time.

6.5.1.4 Conclusiones. De la información graficada durante la comparación se concluye que:

- El Takt time de 9 minutos por unidad indica que las operaciones se encuentran desbalanceadas, un caso especial es la operación de fundición la cual tiene como característica ser un cuello de botella del proceso.
- Siete de las actividades pueden ser intervenidas para intentar disminuir sus tiempos de actividad y ajustarse al Takt time, de igual manera seis actividades se encuentran por debajo del Takt time, esto debido al uso de equipos especializados que agilizan las actividades reduciendo los tiempos empleados para la realización de estas.
- Según muestra la gráfica la actividad de fundición está alejada de una manera significativa del Takt time, esto es debido a que este es el proceso por el cual el concreto se endurece. Es catalogada entonces como la actividad de mayor consumo de tiempo y uno de los cuellos de botella del proceso.

- Se debe reorganizar la manera en la que es llevado el trabajo para lograr la disminución en las diferentes actividades descritas. Se dispone de una nueva configuración de la producción para lograrla.

A partir de las mediciones realizadas y de la observación del proceso productivo se logra determinar que los recursos que marcan el ritmo de producción y restringen la cantidad de postes que el sistema puede producir en unidad de tiempo, es decir, los recursos cuellos de botella, son las formaletas. Consecuentemente se identifican alternativas de mejora que permitan aprovechar este recurso al máximo.

El análisis de estos recursos permite determinar ciertas situaciones que limitan la capacidad y alteran el flujo del producto en esta fase del proceso.

Tabla 22. Causas y consecuencias de las pérdidas de tiempo disponible en formaletas.

| Causas | Consecuencias |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Tiempos de fraguado distintos. • Operarios trabajan sobre una formaleta, y no sobre un grupo de formaletas. • Limitaciones en los recursos de transporte. • Alteraciones en la continuidad del flujo de producción. | <ul style="list-style-type: none"> • Horas de apertura en formaletas desordenadas. • Aumento en desplazamientos realizados por operarios. • Tiempos de ocupación de formaletas en actividades no productivas. • Almacenamiento de producto no terminado en formaletas. |

6.5.2 Celda de manufactura-Sistema de cuadrillas. El sistema de celdas de manufactura o cuadrillas de trabajo en la línea de producción de postes de Concreto Prefabricados plantea las siguientes condiciones:

- Busca aprovechar al máximo el tiempo disponible de las formaletas.
- Opera sobre un grupo de formaletas, no sobre formaletas de manera individual.
- Se trabaja con grupos de operarios.
- Recursos productivos, materias primas, recursos de transporte y recursos humanos trabajan de manera conjunta sobre un grupo de formaletas.
- Las cuadrillas dan asistencia inmediata al lote de productos saliente de las estaciones de trabajo.
- Las cuadrillas no abandonan las estaciones de trabajo, hasta que todas las unidades que requieren procesamiento se encuentren totalmente terminadas.

Se debe resaltar que el correcto funcionamiento de este tipo de sistema requiere la coordinación de todos los recursos que se encuentran directamente involucrados con las labores que se realizan en las estaciones de formaletas, incluyendo por ejemplo, los puestos de armado que deben asegurar la existencia de noyos armados para su uso en formaletas, los vehículos puentes grúa que deben tener disponibilidad para realizar los transportes requeridos, la planta de mezclado encargada de proveer el concreto vertido dentro de las formaletas, adicionalmente, los puestos de resane deben operar de manera rápida para permitir el almacenamiento de postes que abandonan las formaletas.

6.5.3 Ajustes a la mejora. La reconfiguración del sistema productivo implica cambios en la manera de operar de varios puestos de trabajo en la línea de producción. A continuación, se explica la manera en que operan las estaciones del proceso, incluyendo operadores de recursos de transporte, mediante este sistema.

Tabla 23. Distribución de puestos de trabajo y operarios en cuadrillas.

| Puesto | Operarios fijos | Operarios en cuadrilla |
|---|-----------------|------------------------|
| Corte de hierro | 1 | |
| Fabricación de espirales | 1 | |
| Armado de noyos | | 3 |
| Mezclado de concreto | 2 | 3 |
| Apertura de formaletas | | 2 |
| Alistamiento, cierre y puesta en marcha de formaletas. | | 11 |
| Resane y corte de bases y cimas. | | 2 |
| Puente grúa. | 1 | |

6.5.3.1 Puesto de corte de hierro. El puesto de corte de hierro funciona con un operario fijo, encargado del corte del refuerzo activo y transporte a las estaciones de armado de noyos.

6.5.3.2 Puesto de fabricación de espirales. Trabaja con un operario fijo encargado de la fabricación de refuerzos pasivos.

6.5.3.3 Armado de noyos. Cuenta con dos tipos de operarios agrupados en cuadrilla móvil que se desplazan por las estaciones de armado de noyos de la línea de producción.

- **Auxiliar de armado:** Va al frente de la cuadrilla, y es el encargado del transporte de refuerzos pasivos desde el puesto de fabricación de espirales hasta las estaciones de armado, además realiza el alistamiento de herramientas y limpieza de noyos.
- **Armadores:** Cierran la cuadrilla, y son los encargados del armado del noyo, uniendo los refuerzos activos y pasivos, asegurando cuñas, bases y cimbras.

6.5.3.4 Mezclado de concreto. Cuenta con dos tipos de operarios fijos: Operador de mezcladora y operario para el alistamiento de mezcla. En segunda media, cuenta con tres operarios agrupados en cuadrillas, denominados carreteros.

- **Operador de mezcladora:** Este operario se encarga del funcionamiento de la planta de mezclado. Trabaja desde la cabina de mando.
- **Operario para alistamiento de mezcla:** Se ubica en la tolva de la dosificadora, desde allí se encarga del vertimiento de concreto a las carretillas.
- **Carreteros:** Se encuentran agrupados en cuadrillas. Son los encargados del transporte y vertimiento del concreto a la estación de formaletas sobre la cual se está trabajando.

6.5.3.5 Apertura de formaletas. Funciona con dos operarios agrupados en formando una cuadrilla. Son los primeros en trabajar sobre un grupo de formaletas, y se encargan de la inspección que confirma la disponibilidad del poste para ser trasladado a estación de resane, y a partir de esta realizar la apertura.

6.5.3.6 Alistamiento, cierre y puesta en marcha de formaletas. Esta cuadrilla funciona con once operarios, cantidad determina por el número y complejidad de las labores que se deben realizar en esta fase del proceso. Se moviliza por toda la línea trabajando sobre el grupo de formaletas que lo requiere.

- **Limpieza de formaletas:** Operarios encargados de la remoción de restos de concreto de la formaleta y de la aplicación de grasa para desmoldar mezcla de concreto. El número de trabajadores para esta tarea varía según avanza el alistamiento de un grupo de formaletas. Inicialmente se destinan dos operarios para la ejecución de esta labor.

- **Armadores de formaletas:** Después de colocado el noyo dentro de la formaleta, se encargan del acomodamiento de este, del cierre de las tapas, pasadores y colocación de noyos. El número de armadores también varía durante el desarrollo de las labores en un grupo de formaletas, aunque inicialmente se destinan cuatro operarios a esta tarea.

- **Tensionador:** Se encarga de operar el equipo tensionado de refuerzos activos una vez se encuentra armada y cerrada la formaleta.

- **Chuzadores:** Operan en conjunto con los carreteros de la planta de mezclado. Se encargan de distribuir la mezcla uniformemente en toda la formaleta, operan los controles para iniciar el vibrado de mezcla y manipulan las llaves y mangueras de fraguado. Inicialmente se destinan dos operarios para esta labor.

- **Pulidor:** Realiza los acabados finales a la mezcla fresca para eliminar imperfecciones en el concreto vertido al interior de la formaleta.

- Noyero: Es el ultimo integrante de la cuadrilla, encargado de la extracción de los noyos, minutos después de iniciado el fraguado.

6.5.3.7 Resane y corte de bases y cimas. Funciona con dos operarios agrupados en cuadrilla que operan sobre las estaciones de resane a donde son trasladados los postes que abandonan un grupo de formaletas: Un resanador y un cortador de bases y cimas.

- Resanador: Encargado de la aplicación de mortero seco, remoción de impurezas en el concreto y relleno de imperfecciones en la superficie del poste.
- Cortador de bases y cimas: Retira las bases y las cimas de acero que son colocadas durante el armado de noyos, además, se encarga de la remoción de cuñas y de cable de hierro sobrante del refuerzo activo.

6.5.3.8 Puente grúa. Cuenta con un operario encargado del funcionamiento del recurso de transporte, el cual realiza los transportes entre noyos a formaletas, formaletas a resane y resane a inventario final.

6.5.4 Simulaciones. La eficiencia de esta nueva configuración de la producción depende en sí de la sincronización de todos los recursos con que cuenta la planta, involucrando puestos de trabajo, operarios, equipo, herramientas, disponibilidad de materias primas, etc.

6.5.4.1 Flujo del sistema de cuadrillas. El orden establecido para el sistema de cuadrillas, sin tener en cuenta los puestos que funcionan con operadores fijos, es el siguiente:

1. Auxiliar de armado ejecuta sus labores en el primer grupo de noyos y al terminar sus labores avanza al segundo.
2. Armadores ejecutan sus labores en primer grupo de noyos, puesto a punto por el auxiliar de armado, Terminadas sus labores pasan al siguiente grupo de noyos.
3. La cuadrilla de apertura de formaletas inicia sus labores sobre el primer grupo de formaletas, una vez listas, avanzan al grupo siguiente.
4. La cuadrilla de alistamiento, cierre y puesta en marcha de formaletas ejecuta labores conjuntas con la cuadrilla de carreteros en el primer grupo de formaletas, una vez ejecutadas sus labores avanza al segundo grupo.
5. La cuadrilla de resane y corte de bases y cimas opera sobre los postes que han salido del primer grupo de formaletas, terminado este lote pasa a procesar el lote extraído del grupo siguiente.

La continuidad de esta secuencia sobre los tres grupos de formaletas, demarca la finalización del ciclo de producción. La figura 46 representa el flujo de cuadrillas en el momento en el que se realiza el alistamiento, cierre y puesta en marchas del primer grupo de formaletas. En el APÉNDICE 19 se representa gráficamente fase a fase el ciclo de producción completo ejecutado por el sistema de cuadrillas.

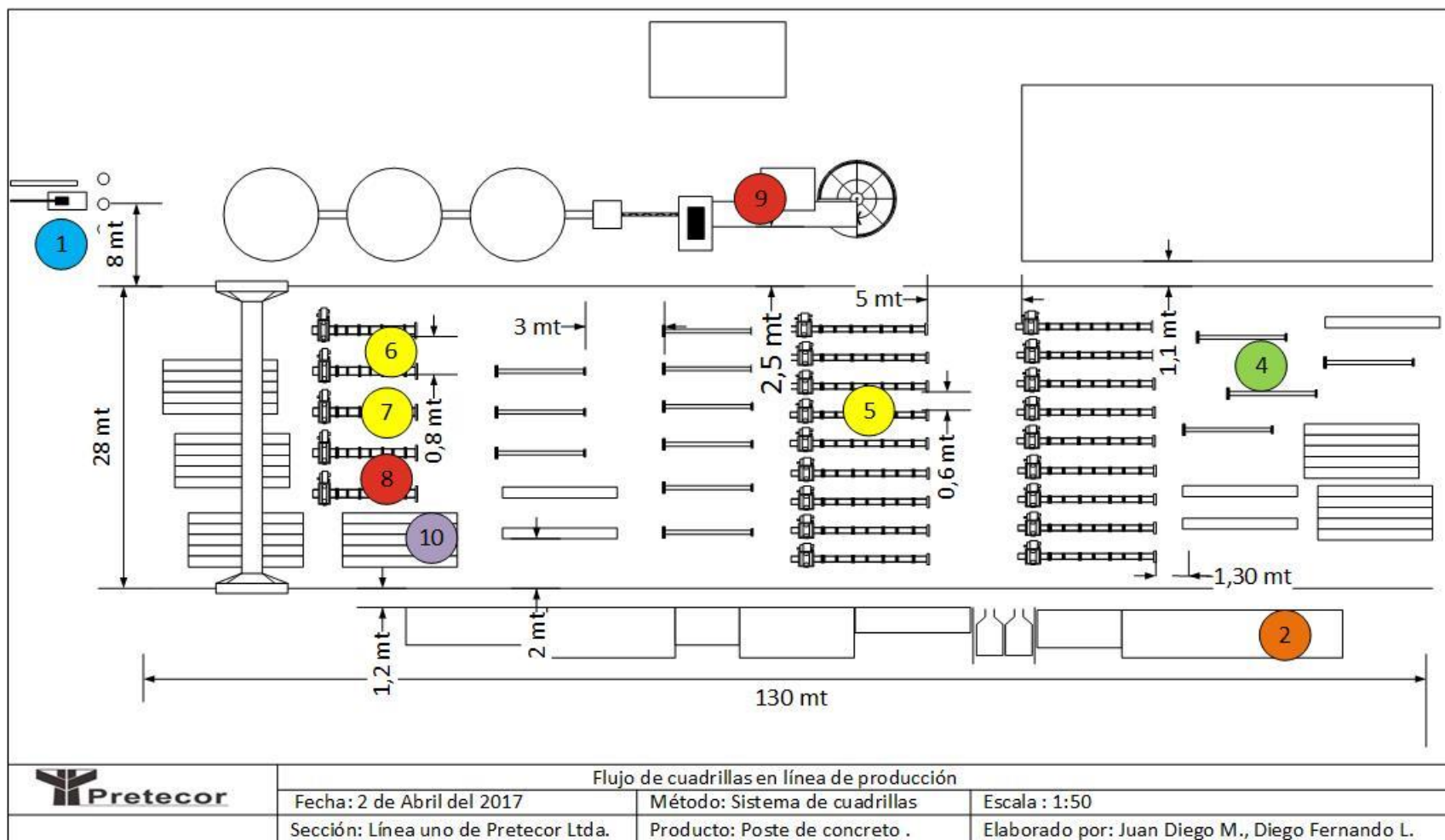


Figura 46. Flujo de cuadrillas en alistamiento del primer grupo de formaletas.

| PUESTO/CUADRILLA | FIGURA |
|-----------------------------------|--------|
| Operario Corte | 1 |
| Operario puesto de espirales | 2 |
| Auxiliar armado de noyos | 3 |
| Armadores de noyos | 4 |
| Apertura de formaletas | 5 |
| Puente grúa | 6 |
| Armado formaletas | 7 |
| Carreteros | 8 |
| Operadores fijos mezcladora | 9 |
| Resane y corte de bases y cimbras | 10 |

Figura 47. Leyenda para flujo de cuadrillas.

6.6 Ubicación de estante de almacenamiento de espirales para los puestos de armado de noyos.

El sistema de cuadrillas planteado en mejoras anteriores y la necesidad del mayor aprovechamiento posible de las formaletas, requiere que los puestos que se encuentran antes de estas en el ciclo de producción funcionen de manera eficiente, para prevenir esperas en el recurso cuello de botella por falta de noyos armados. Adicionalmente, detenciones en los puestos de armado implican esperas en todo el resto de proceso.

Para poder llevar a cabo el armado de un noyo, se requieren dos materias primas; en primer lugar, el refuerzo activo y en segundo orden, el refuerzo pasivo.

- Refuerzo activo: Se fabrica en el puesto de corte hierro. Es llevado a las estaciones de armado por el operario de corte.

- Refuerzo pasivo: Se produce en el puesto de fabricación de espirales. Es llevado a las estaciones de armado por los operarios de armado de noyos.

6.6.1 Implicaciones. La búsqueda y posterior transporte de los refuerzos pasivos, requiere en el operario de armado de noyos la realización de transportes largos y repetitivos, especialmente cuando las zonas de armado sobre las cuales se desarrollan las labores, son las correspondientes al primer y segundo grupo de formaletas, los cuales se encuentran más alejados del puesto de fabricación de espirales.

6.6.2 Desplazamientos. El diagrama de recorrido de los operarios de armado representado en la figura 20 muestra los desplazamientos ejecutados por los operarios.

6.6.3 Almacenamiento de espirales. Se establece la alternativa de mejora a partir de la ubicación de una zona de almacenamiento de espirales cercana a las zonas de armado de noyos.

El desarrollo de la mejora comprende las siguientes fases.

- Identificación de la zona de almacenamiento: La selección de la zona adecuada para la ubicación del nuevo almacenamiento considera, en primera medida, la cercanía a los puestos de armado y las condiciones de espacio disponible dentro de la planta.

- Selección de medio de transporte: Teniendo en cuenta que la propuesta establece el transporte de espirales suficientes para dos armados por cada uno de los noyos, se selecciona la carretilla como el medio de transporte indicado para surtir los refuerzos a los puestos de armado.

- **Ejecutor del transporte:** Se establece al operario de fabricación de espirales como el encargado de la ejecución del transporte y de mantener la cantidad de espirales necesarias para realizar los armados.

6.6.4 Ajustes a la mejora

6.6.4.1 Transportes. Las limitaciones médicas del operario de fabricación de espirales impiden el levantamiento de cargas superiores a 5 kg. En consecuencia, se selecciona al operario auxiliar de armadores de noyos como el ejecutor del transporte.

Tabla 24. Roles y encargados del funcionamiento del estante de espirales.

| Roles | Encargado |
|--|---|
| Fabricación de espirales requeridos en los puestos de armado de noyos. | Operario en puesto de fabricación de espirales. |
| Ejecución de transporte de espirales a puestos de armado de noyos. | Auxiliar de armadores de noyos. |
| Uso de espirales en armado de noyos. | Armadores de noyos. |

6.6.4.2 Diseño del estante de almacenamiento. La figura 48 muestra el diseño inicial del estante destinado al almacenamiento de espirales cercano a las zonas de armado de noyos.

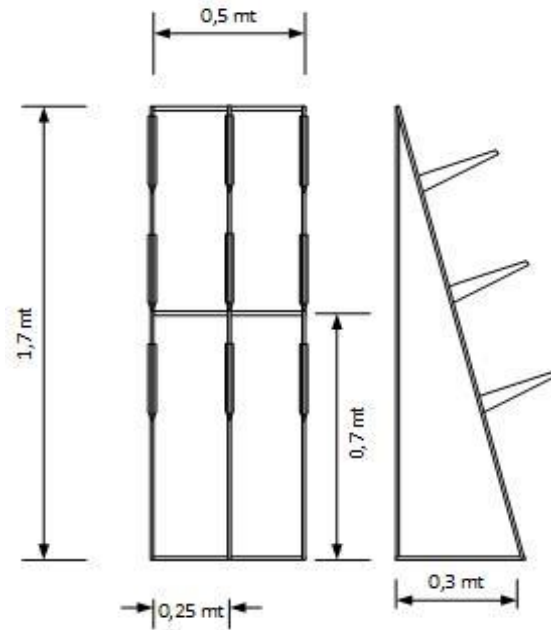


Figura 48. Diseño del estante de espirales.

6.6.5 Simulación. La fase de simulación y observación de utilidad de las mejoras se lleva a cabo teniendo en cuenta la ubicación sugerida para el estante, y los ejecutores de los roles previamente establecidos.



Figura 49. Simulación de zonas de almacenamiento de espirales.

El diagrama de recorrido de los armadores de noyo, con la zona de almacenamiento de espirales establecida se muestra en la figura 50.

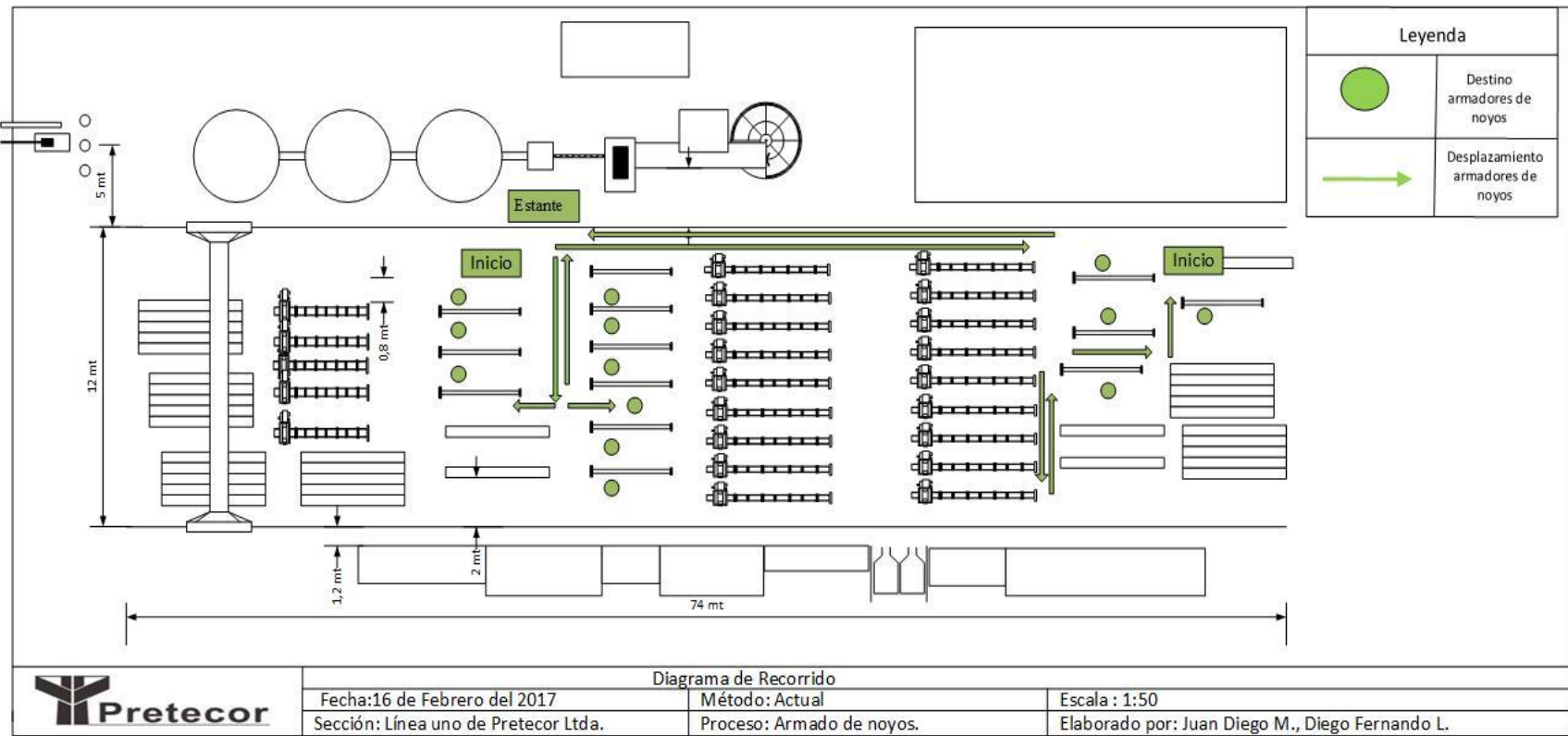


Figura 50. Diagrama de recorrido puesto de armado de noyos con zona de almacenamiento de espirales.

7. Implementación y resultados.

7.1 Implementación de alternativas de mejora.

7.1.1 Implementación programa 5s. El proceso de implementación del programa 5s inicia una vez definidas las actividades, los medios de control y los roles encargados del funcionamiento del sistema. Este proceso comprende, en primera medida, planes de capacitación, seguido de la puesta en marcha y, finalmente, medición y auditoria del programa realizado, por parte de los autores.

7.1.1.1 Capacitaciones. Las capacitaciones se establecen en forma de charlas magistrales, las cuales son dictadas a operarios, supervisores y personal de los turnos del día y la noche, en la zona destinada para el descanso de estos al interior de la planta de producción de Pretector Ltda. En el APÉNDICE 20 se encuentra la lista de asistencia a las capacitaciones por parte del personal operativo.



Figura 51. Presentación programa 5s.

7.1.1.2 Puesta en marcha Programa 5s.

- **Seleccionar:** Implica retirar de los puestos de trabajo elementos que no resultan útiles para el desarrollo de la actividad operativa. A partir de la caracterización de los puestos de trabajo se logran determinar objetos necesarios para el funcionamiento del puesto, y eliminar los sobrantes, los cuales son posteriormente trasladados a zonas de almacenamiento de chatarra y de otros tipos de desechos.



Figura 52. Antes y después, programa 5s.

- Ordenar: Para ordenar los elementos correspondientes a los puestos de trabajo como herramientas, maquinarias y elementos de protección personal se disponen zonas, canecas y tableros de herramientas, los cuales, a pesar de su existencia, no se encontraban en uso por parte de los operarios. Se decide promover el uso de estos elementos, que permitan brindar a los trabajadores un lugar de trabajo organizado y la facilidad de identificar la ubicación de todos sus implementos de trabajo para cuando sean requeridos.



Figura 53. Ejemplo canecas y tableros de herramientas.

- **Limpiar:** Implica establecer actividades estandarizadas de limpieza que permitan mantener el orden dentro de los puestos de trabajo y el buen estado en maquinaria y herramientas. Se establecen las listas de actividades 5s estándar que permia lograr la consecución de una línea de producción ordenada, compartidas en las carteleras de la planta y socializadas con todos los operarios en planes de capacitaciones.

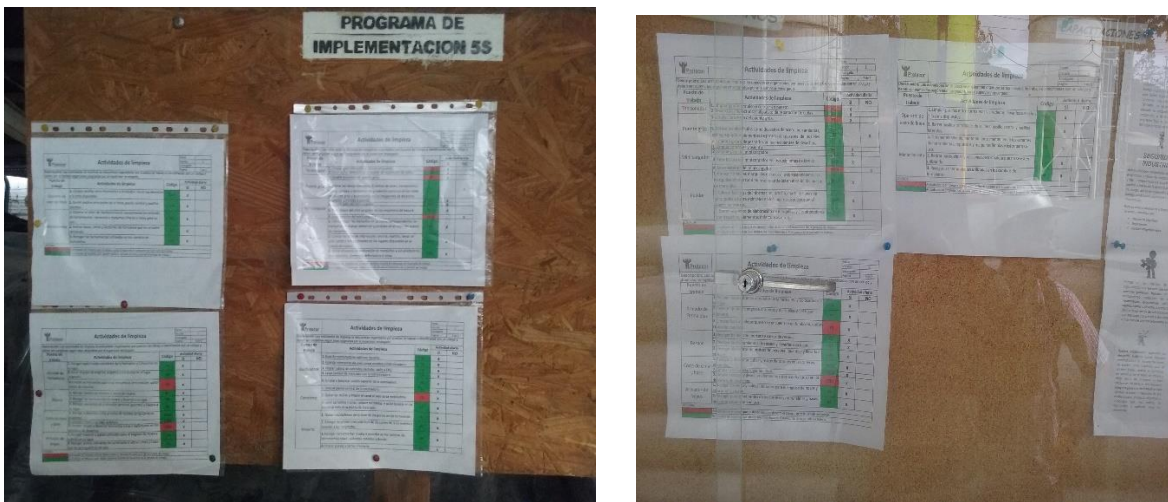


Figura 54. Listas de actividades 5s.

- **Estandarizar:** Esta fase comprende conservar la utilidad de las tres fases anteriores, de esta manera se hace uso de las actividades estándar 5s, a partir de estas se implementan los mecanismos de control del funcionamiento del programa, los cuales permiten realizar un seguimiento individual a los operarios ejecutores de las actividades 5s al interior de la línea de producción y controlar el avance del programa.

- **Disciplinar:** Esta fase involucra a los diferentes niveles de la organización involucrados en la producción, es decir operarios, supervisores e ingenieros para establecer la continuidad en

las actividades 5s y en el monitoreo de estas, a cargo de los roles establecidos y mediante los mecanismos diseñados.

7.1.1.3 Evaluación y seguimiento programa 5s. Una vez culminada la fase de puesta en marcha del sistema, se evalúan los resultados con base en el mecanismo de control diseñado para la auditoría del sistema. Se realiza la medición y recolección de datos durante 6 semanas. En la figura 55 se muestran los resultados obtenidos en las auditorías al programa mediante la lista de chequeo 5s.

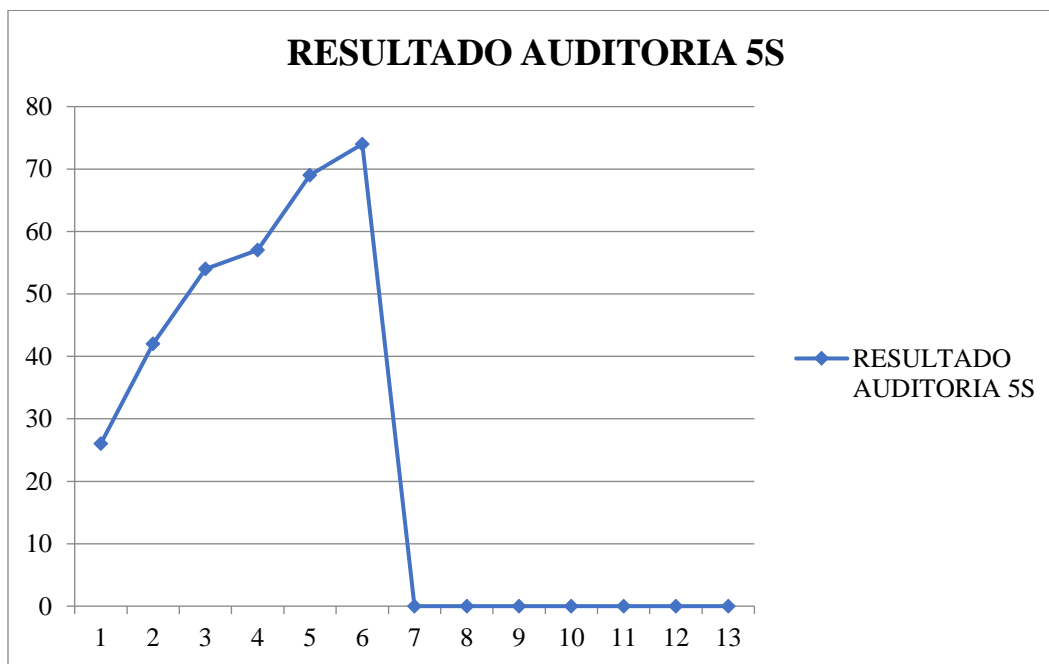


Figura 55. Resultados obtenidos en las auditorías al programa mediante la lista de chequeo 5s.

7.1.2 Implementación estandarización del trabajo en puestos de fabricación de espirales y corte de hierro. Esta mejora está compuesta de los siguientes elementos:

- Canal de comunicación que establece el flujo de información de programación de la producción desde la gerencia de planta hasta los puestos de fabricación de espirales y corte de hierro.
- Formato de programación de producción para puestos de fabricación de espirales y corte de hierro, el cual funciona a partir de la programación realizada para todo el sistema.
- Tableros de distribución de formaletas.

Esta alternativa de mejora pretende mantener volúmenes de producción ajustados a los requerimientos de la programación en los puestos de fabricación de espirales y corte de hierro. La implementación incluye la elaboración e instalación de los tableros de distribución de formaletas, útiles como medio de transmisión de información para los operarios. La figura 56 muestra los tableros instalados en cada uno de los puestos de trabajo a intervenir.

| LINEA #1 | | LINEA #2 | | LINEA #3 | | LINEA #4 | |
|----------|---------|----------|---------|----------|--------|----------|--------|
| 1 | 19X1300 | 10 | 14X1250 | 30 | 8X1250 | 31 | 8X1250 |
| 2 | 18X1200 | 11 | 13X1200 | 32 | 8X1250 | 32 | 8X1250 |
| 3 | 18X1200 | 12 | 12X1150 | 33 | 8X1250 | 33 | 8X1250 |
| 4 | 18X1200 | 13 | 12X1150 | 34 | 8X1250 | 34 | 8X1250 |
| 5 | 18X1200 | 14 | 12X1150 | 35 | 8X1250 | 35 | 8X1250 |
| 6 | 18X1200 | 15 | 12X1150 | 36 | 8X1250 | 36 | 8X1250 |
| 7 | 18X1200 | 16 | 12X1150 | 37 | 8X1250 | 37 | 8X1250 |
| 8 | 18X1200 | 17 | 12X1150 | 38 | 8X1250 | 38 | 8X1250 |
| 9 | 18X1200 | 18 | 12X1150 | 39 | 8X1250 | 39 | 8X1250 |
| 10 | 18X1200 | 19 | 12X1150 | 40 | 8X1250 | 40 | 8X1250 |
| 11 | 18X1200 | 20 | 12X1150 | 41 | 8X1250 | 41 | 8X1250 |
| 12 | 18X1200 | 21 | 12X1150 | 42 | 8X1250 | 42 | 8X1250 |
| 13 | 18X1200 | 22 | 12X1150 | 43 | 8X1250 | 43 | 8X1250 |
| 14 | 18X1200 | 23 | 12X1150 | 44 | 8X1250 | 44 | 8X1250 |
| 15 | 18X1200 | 24 | 12X1150 | 45 | 8X1250 | 45 | 8X1250 |
| 16 | 18X1200 | 25 | 12X1150 | 46 | 8X1250 | 46 | 8X1250 |
| 17 | 18X1200 | 26 | 12X1150 | 47 | 8X1250 | 47 | 8X1250 |
| 18 | 18X1200 | 27 | 12X1150 | 48 | 8X1250 | 48 | 8X1250 |
| 19 | 18X1200 | 28 | 12X1150 | 49 | 8X1250 | 49 | 8X1250 |
| 20 | 18X1200 | 29 | 12X1150 | 50 | 8X1250 | 50 | 8X1250 |
| 21 | 18X1200 | 30 | 12X1150 | 51 | 8X1250 | 51 | 8X1250 |
| 22 | 18X1200 | 31 | 12X1150 | 52 | 8X1250 | 52 | 8X1250 |
| 23 | 18X1200 | 32 | 12X1150 | 53 | 8X1250 | 53 | 8X1250 |
| 24 | 18X1200 | 33 | 12X1150 | 54 | 8X1250 | 54 | 8X1250 |
| 25 | 18X1200 | 34 | 12X1150 | 55 | 8X1250 | 55 | 8X1250 |
| 26 | 18X1200 | 35 | 12X1150 | 56 | 8X1250 | 56 | 8X1250 |
| 27 | 18X1200 | 36 | 12X1150 | 57 | 8X1250 | 57 | 8X1250 |
| 28 | 18X1200 | 37 | 12X1150 | 58 | 8X1250 | 58 | 8X1250 |
| 29 | 18X1200 | 38 | 12X1150 | 59 | 8X1250 | 59 | 8X1250 |
| 30 | 18X1200 | 39 | 12X1150 | 60 | 8X1250 | 60 | 8X1250 |
| 31 | 18X1200 | 40 | 12X1150 | 61 | 8X1250 | 61 | 8X1250 |
| 32 | 18X1200 | 41 | 12X1150 | 62 | 8X1250 | 62 | 8X1250 |
| 33 | 18X1200 | 42 | 12X1150 | 63 | 8X1250 | 63 | 8X1250 |
| 34 | 18X1200 | 43 | 12X1150 | 64 | 8X1250 | 64 | 8X1250 |
| 35 | 18X1200 | 44 | 12X1150 | 65 | 8X1250 | 65 | 8X1250 |
| 36 | 18X1200 | 45 | 12X1150 | 66 | 8X1250 | 66 | 8X1250 |
| 37 | 18X1200 | 46 | 12X1150 | 67 | 8X1250 | 67 | 8X1250 |
| 38 | 18X1200 | 47 | 12X1150 | 68 | 8X1250 | 68 | 8X1250 |
| 39 | 18X1200 | 48 | 12X1150 | 69 | 8X1250 | 69 | 8X1250 |
| 40 | 18X1200 | 49 | 12X1150 | 70 | 8X1250 | 70 | 8X1250 |
| 41 | 18X1200 | 50 | 12X1150 | 71 | 8X1250 | 71 | 8X1250 |
| 42 | 18X1200 | 51 | 12X1150 | 72 | 8X1250 | 72 | 8X1250 |
| 43 | 18X1200 | 52 | 12X1150 | 73 | 8X1250 | 73 | 8X1250 |
| 44 | 18X1200 | 53 | 12X1150 | 74 | 8X1250 | 74 | 8X1250 |
| 45 | 18X1200 | 54 | 12X1150 | 75 | 8X1250 | 75 | 8X1250 |
| 46 | 18X1200 | 55 | 12X1150 | 76 | 8X1250 | 76 | 8X1250 |
| 47 | 18X1200 | 56 | 12X1150 | 77 | 8X1250 | 77 | 8X1250 |
| 48 | 18X1200 | 57 | 12X1150 | 78 | 8X1250 | 78 | 8X1250 |
| 49 | 18X1200 | 58 | 12X1150 | 79 | 8X1250 | 79 | 8X1250 |
| 50 | 18X1200 | 59 | 12X1150 | 80 | 8X1250 | 80 | 8X1250 |
| 51 | 18X1200 | 60 | 12X1150 | 81 | 8X1250 | 81 | 8X1250 |
| 52 | 18X1200 | 61 | 12X1150 | 82 | 8X1250 | 82 | 8X1250 |
| 53 | 18X1200 | 62 | 12X1150 | 83 | 8X1250 | 83 | 8X1250 |
| 54 | 18X1200 | 63 | 12X1150 | 84 | 8X1250 | 84 | 8X1250 |
| 55 | 18X1200 | 64 | 12X1150 | 85 | 8X1250 | 85 | 8X1250 |
| 56 | 18X1200 | 65 | 12X1150 | 86 | 8X1250 | 86 | 8X1250 |
| 57 | 18X1200 | 66 | 12X1150 | 87 | 8X1250 | 87 | 8X1250 |
| 58 | 18X1200 | 67 | 12X1150 | 88 | 8X1250 | 88 | 8X1250 |
| 59 | 18X1200 | 68 | 12X1150 | 89 | 8X1250 | 89 | 8X1250 |
| 60 | 18X1200 | 69 | 12X1150 | 90 | 8X1250 | 90 | 8X1250 |
| 61 | 18X1200 | 70 | 12X1150 | 91 | 8X1250 | 91 | 8X1250 |
| 62 | 18X1200 | 71 | 12X1150 | 92 | 8X1250 | 92 | 8X1250 |
| 63 | 18X1200 | 72 | 12X1150 | 93 | 8X1250 | 93 | 8X1250 |
| 64 | 18X1200 | 73 | 12X1150 | 94 | 8X1250 | 94 | 8X1250 |
| 65 | 18X1200 | 74 | 12X1150 | 95 | 8X1250 | 95 | 8X1250 |
| 66 | 18X1200 | 75 | 12X1150 | 96 | 8X1250 | 96 | 8X1250 |
| 67 | 18X1200 | 76 | 12X1150 | 97 | 8X1250 | 97 | 8X1250 |
| 68 | 18X1200 | 77 | 12X1150 | 98 | 8X1250 | 98 | 8X1250 |
| 69 | 18X1200 | 78 | 12X1150 | 99 | 8X1250 | 99 | 8X1250 |
| 70 | 18X1200 | 79 | 12X1150 | 100 | 8X1250 | 100 | 8X1250 |

ACUADRETE
FECHA 2/1/13
TIPO 006

DISTRIBUCION FORMALETAS

PRODUCCION

| | | | | | |
|----|---------|----|---------|----|---------|
| 1 | 18X1200 | 19 | 12X1150 | 35 | 12X1150 |
| 2 | 18X1200 | 20 | 12X1150 | 36 | 12X1150 |
| 3 | 18X1200 | 21 | 12X1150 | 37 | 12X1150 |
| 4 | 12X1050 | 22 | 12X1150 | 40 | 12X1150 |
| 5 | 18X1200 | 23 | 12X1150 | 41 | 12X1150 |
| 6 | 12X1050 | 24 | 12X1150 | 42 | 12X1150 |
| 7 | 12X1050 | 25 | 12X1150 | | |
| 8 | 12X1050 | 26 | 12X1150 | | |
| 9 | 12X1050 | 27 | 12X1150 | | |
| 10 | 12X1050 | 28 | 12X1150 | | |
| 11 | 12X1050 | 29 | 12X1150 | | |
| 12 | 12X1050 | 30 | 12X1150 | | |
| 13 | 12X1050 | 31 | 12X1150 | | |
| 14 | 12X1050 | 32 | 12X1150 | | |
| 15 | 12X1050 | 33 | 12X1150 | | |
| 16 | 12X1050 | 34 | 12X1150 | | |
| 17 | 12X1050 | 35 | 12X1150 | | |
| 18 | 12X1050 | 36 | 12X1150 | | |

Figura 56. Tableros de distribución de formaletas.

Cada tablero brinda la siguiente información:

- Las formaletas contenidas en cada línea de producción.
- El estado de cada una de las formaletas en código de colores: Azul para formaletas programadas en esa referencia, verde para formaletas en traslado con la referencia a la que entra a producir, rojo para formaletas detenidas.
- Resumen de producción diario por referencia de poste.
- Fecha y hora de última actualización por parte del auxiliar encargado.

7.1.2.1 Seguimiento de mejora para la estandarización del trabajo en los puestos de fabricación de espirales y corte de hierro. Para realizar el seguimiento una vez implementada la mejora se toma como referencia al puesto de fabricación de espirales, el cual se analiza según su volumen de producción diaria y el ajuste de este a los requerimientos de la programación. Los datos correspondientes al análisis se encuentran en el APÉNDICE 21.

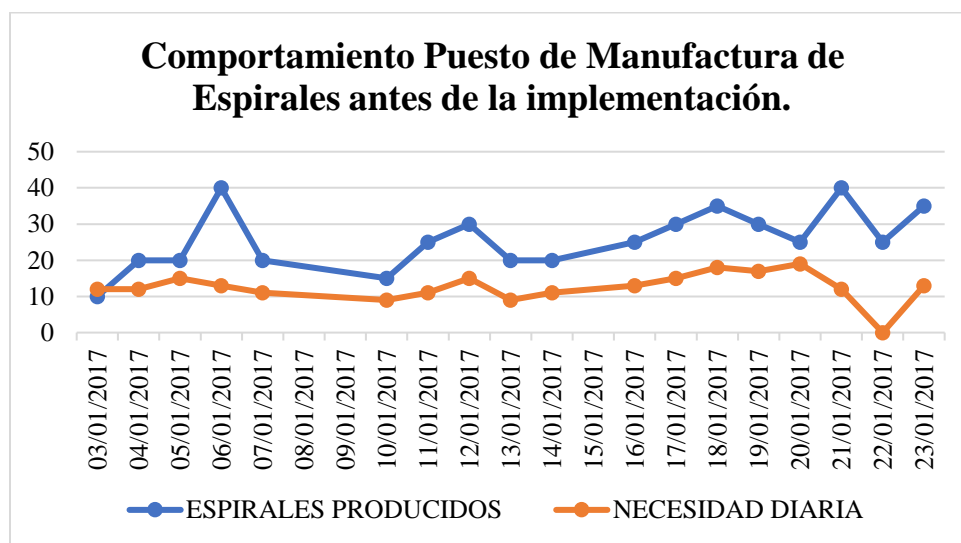


Figura 57. Producción de espirales vs Necesidad diaria.

La figura 57 representa los datos de producción del puesto de fabricación de espirales versus Los requerimientos diarios para el mes de enero de 2017, a partir de los cuales se puede afirmar el desajuste entre ambos rubros, lo cual señala la presencia de sobreproducción de espirales en el proceso.

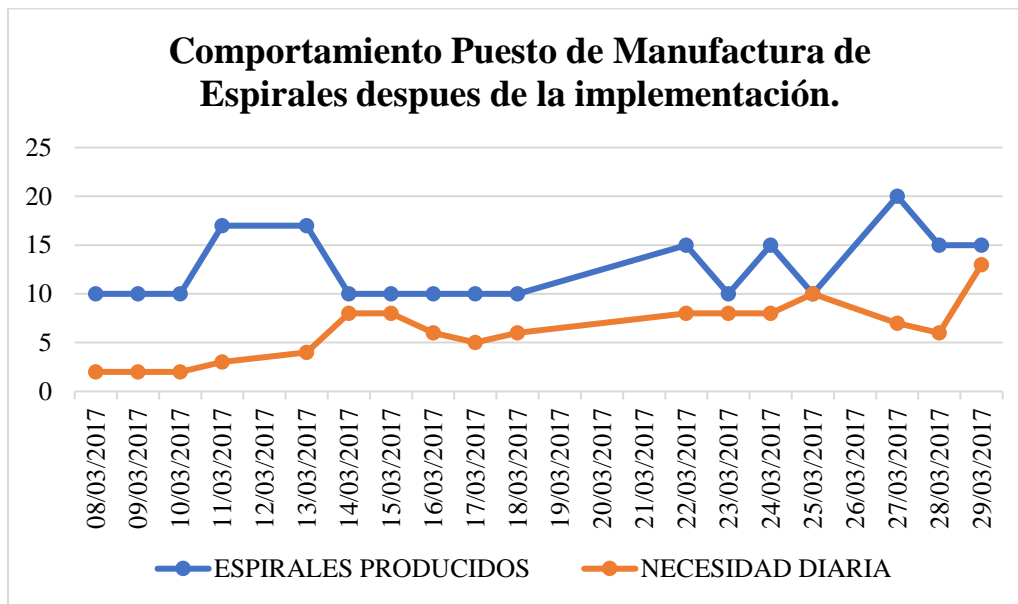


Figura 58. Producción de espirales vs Necesidad diaria Marzo.

Los datos de producción del mes de marzo de 2017 una vez se ha implementado la mejora se muestran en la figura 58, de los cuales se puede inferir la reducción en la proporción de la sobreproducción de espirales, los que implica un mejor ajuste a los requerimientos diarios de este tipo de refuerzo. Además, se espera lograr un mejor ajuste en los meses siguientes.

7.1.3 Muestreo de trabajo. El seguimiento y evaluación de todas las herramientas implementadas y enfocadas en mejorar el proceso productivo de postes de concreto prefabricado, comprende inicialmente el estudio de muestreo del trabajo, el cual se ejecuta bajo los mismos lineamientos y parámetros del estudio llevado a cabo en la fase de diagnóstico, incluyendo las divisiones y naturaleza de las actividades realizadas por los operarios. Los datos recolectados se encuentran en el APÉNDICE 22.

7.1.3.1 Resultados muestreo del trabajo.

- **Tiempo Productivo-% Actividad:** La tabla 25 muestra los tiempos productivos de cada uno de los puestos de trabajo luego de la fase de implementación.

Tabla 25. Tiempo productivo.

| | P. Mezclado | P. Corte | Armado de noyos | Formaletas | Resane |
|-------|--------------------|-----------------|------------------------|-------------------|---------------|
| Total | 181 | 161 | 269 | 391 | 342 |
| % | 53% | 52% | 75% | 87% | 79% |

Se observa un aumento, con respecto al estudio anterior, en el porcentaje de actividad de la mayoría de estaciones, incluyendo entre estas a los puestos de corte de hierro, armado de noyos, formaletas y resane, sin embargo, se presenta una disminución en los tiempos de actividad para la estación de mezclado.

- Tiempo Contributivo-% Inactividad. La tabla 26 muestra el porcentaje de inactividad atribuido a tiempos contributivos de cada uno de los puestos de trabajo luego de la fase de implementación.

Tabla 26. Tiempos contributivos.

| | <i>P. Corte</i> | <i>P. Mezclado</i> | <i>Armado de noyos</i> | <i>Formaletas</i> | <i>Resane</i> |
|--------------|-----------------|--------------------|------------------------|-------------------|---------------|
| Total | 76 | 67 | 36 | 11 | 29 |
| % | 22% | 22% | 10% | 2% | 7% |

Se evidencia la disminución en este tipo de actividades en todas las estaciones de trabajo que conforman el proceso productivo, siendo la menos significativa la presente en el puesto de resane.

- Tiempo No Contributivo-% Inactividad: La tabla 27 muestra el porcentaje de inactividad atribuido a tiempos no contributivos de cada uno de los puestos de trabajo luego de la fase de implementación

Tabla 27. Tiempos no contributivo

| | <i>P. Corte</i> | <i>P. Mezclado</i> | <i>Armado de noyos</i> | <i>Formaletas</i> | <i>Resane</i> |
|--------------|-----------------|--------------------|------------------------|-------------------|---------------|
| Total | 79 | 87 | 52 | 45 | 60 |
| % | 26% | 25% | 15% | 10% | 14% |

Todos los puestos de trabajo logran una disminución en el porcentaje de este tipo de actividades, exceptuando la planta de mezclado, la cual presenta un aumento del 14%. Las actividades no contributivas observadas durante el muestreo y su porcentaje de participación se muestran en la tabla 28.

Tabla 28. Partición de tiempos no contributivos.

| Causas de tiempos no contributivos General | | | | |
|---|------------|--|-------------------|-------------------|
| Tipo | Cod | Nombre | Frecuencia | Porcentaje |
| Esperas | E-1 | Falta de herramienta | 1 | 0% |
| | E-2 | Falta de Materia prima | 19 | 8% |
| | E-3 | Falta de instrucciones | 1 | 0% |
| | E-4 | Exceso de Producto en proceso | 3 | 1% |
| | E-5 | Elementos de trasporte en uso | 0 | 0% |
| | E-6 | Siguiente estación ocupada | 1 | 0% |
| | E-7 | otros | 0 | 0% |
| Tiempo ocioso | TO-1 | Toma de decisiones | 8 | 4% |
| | TO-2 | Sobrepoblación | 3 | 1% |
| | TO-3 | Falta de supervisión o instrucciones | 0 | 0% |
| | TO-4 | Conversando | 51 | 23% |
| | TO-5 | Otros | 16 | 7% |
| Desplazamientos | D-1 | Búsqueda o transporte de herramienta | 13 | 6% |
| | D-2 | Cambio de centro de trabajo | 15 | 7% |
| | D-3 | Transporte producto en proceso o terminado | 36 | 16% |
| | D-4 | Transporte materia prima | 2 | 1% |
| Descanso | R-1 | Descanso programado | 55 | 25% |
| Necesidades fisiológicas | NF-1 | Hidratación | 0 | 0% |
| | NF-2 | Aseo personal | 0 | 0% |
| | NF-3 | Ir al baño | 0 | 0% |
| | NF-4 | Otros | 0 | 0% |
| Total | | | 224 | 100% |

Comparando la tabla anterior con la tabla 10, obtenida a partir del muestreo desarrollado en la fase de diagnóstico, se observa una disminución en el número de observaciones que aportan para el aumento de los tiempos no contributivos. Existen ciertas actividades que presentan un aumento en su valor porcentual, ejemplo de esto es el tiempo ocioso por conversaciones, el cual es observado principalmente en la estación de mezclado, debido a la espera de los carreteros en la dosificadora por mezcla, esto implica esperas en las cuadrillas de formaletas por el retraso en la labor de verticiónh de concreto. Elementos como la sobrepoblación, los cambios de puesto de trabajo o los transportes de materia prima y producto en proceso, son una consecuencia del sistema de cuadrillas, el cual concentra mayor cantidad de operarios en sitios específicos de la línea y moviéndose a través de ella y requiere un mayor flujo de concreto desde la planta dosificadora hasta la estación de formaletas sobre la cual se desarrollen labores.

- Puesto de corte de hierro: Presenta un aumento en la actividad productiva del 19%, disminución en actividades contributivas y no contributivas del 17% y 2% respectivamente.

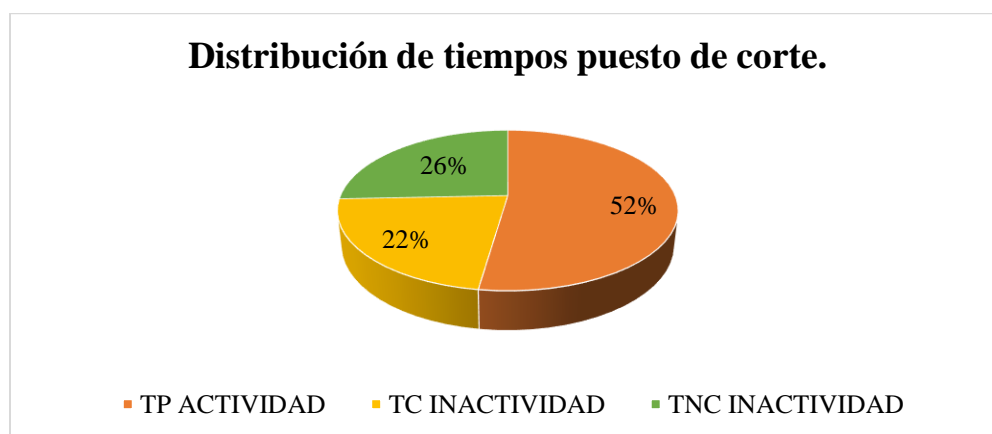


Figura 59. Distribución de tiempos puesto de corte.

- Mezclado: La estación de mezclado presenta una disminución en la actividad productiva del 10%, esta situación es causada por la presencia de operarios que incurren en esperas por materia prima, transportes de mezcla de concreto y tiempos ociosos en su mayoría por conversaciones, los cuales generan un aumento en los tiempos no contributivos del 14%. La disminución en tiempos contributivos es del 4%.

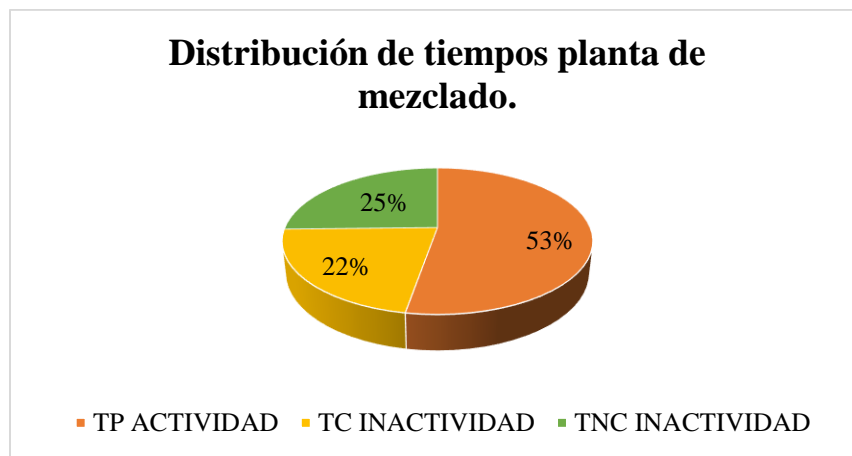


Figura 60. Distribución de tiempos planta de mezclado.

- Armado de noyo, Resane, Formaletas: Presenta un aumento en actividades productivas del 15%, y una disminución en los tiempos contributivos y no contributivos del 9% y el 5% respectivamente. Esta situación se presenta como efecto del sistema de cuadrillas el cual mejora el flujo de producción y de la implementación de los estantes de espirales (figura 61) que mantienen la actividad continua de los operarios, se ve potenciado con la reducción de esperas relacionadas con la búsqueda y falta de herramientas, y desplazamientos atribuidos a la búsqueda y transporte de materias primas.



Figura 61. Estantes de espirales.

La relación entre las estaciones de formaletas y de resane muestra mejoras con características similares a las descritas en el puesto de armado, esto es atribuido al sistema de cuadrillas, programa 5s, elementos adicionales como estante de espirales y tableros de producción implementados en la línea, para los puesto de formaletas se evidencia un aumento de la actividad productiva igual a 10%, y una disminución en los tiempos contributivos y no contributivos del 5%, en la estación de resane se puede inferir un aumento de la actividad productiva del 24% con una disminución en los tiempos no contributivo igual a 23%.

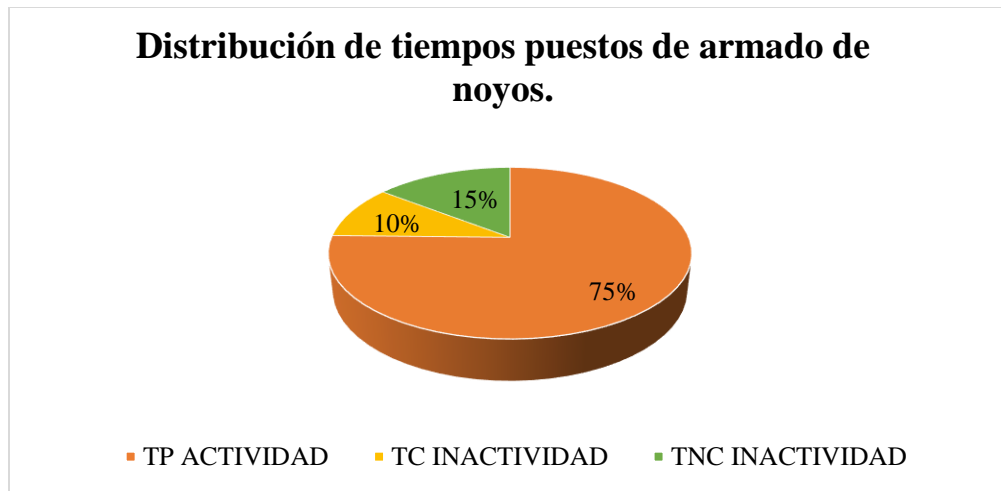


Figura 62. Distribución de tiempos puestos de armado de noyos.

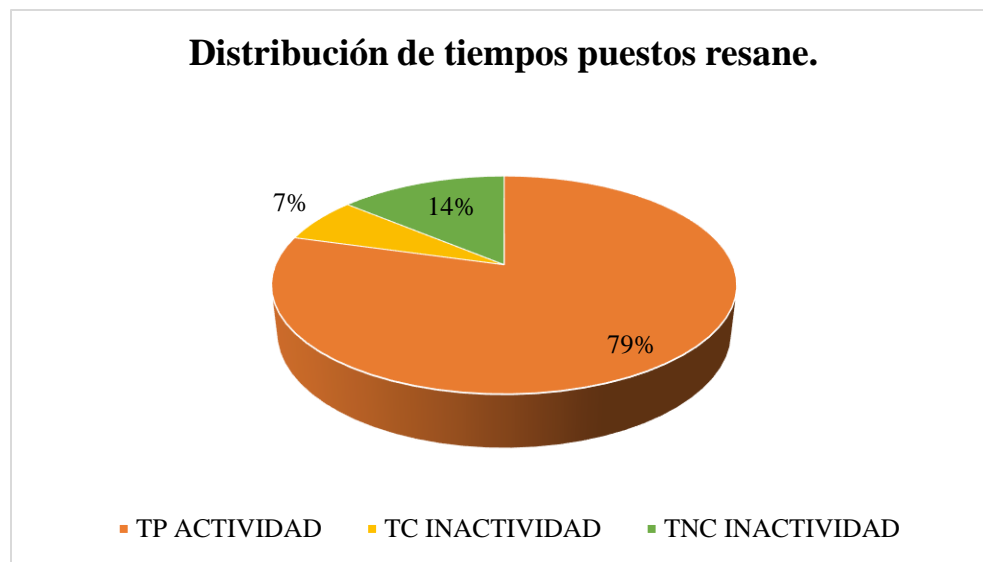


Figura 63. Distribución de tiempos puestos resane.

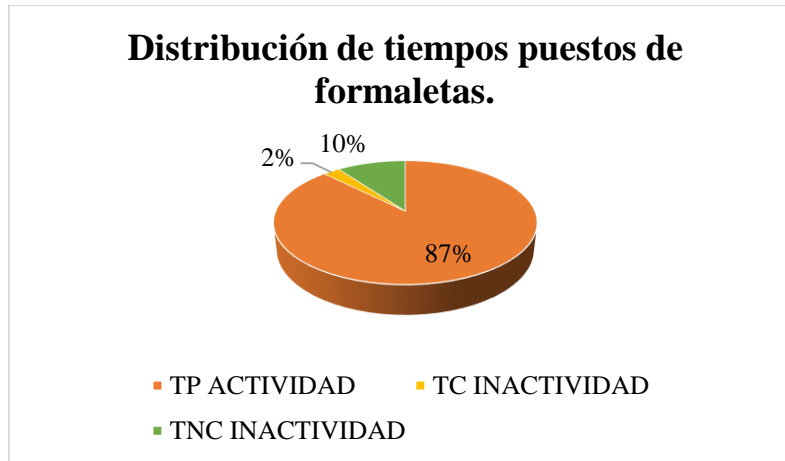


Figura 64. Distribución de tiempos puestos de formaletas.

Los resultados del muestreo se encuentran en el APÉNDICE 23.

8. Indicadores de producción

Como parte del proceso de mejora continua planteado por los involucrados del proyecto, se desarrollan un sistema de indicadores que permita actuar sobre el proceso, evaluando su desempeño y ajuste a las decisiones de producción planteadas por la gerencia de la planta.

8.1 Objetivos

- Crear un sistema de indicadores de desempeño utilizando la herramienta ofimática Excel.

- Generar información oportuna para los ingenieros de planta que permita generar los ajustes adecuados para lograr cumplir con las órdenes de producción.

8.2 Diseño de indicadores

El diseño de indicadores comienza con el entendimiento de los indicadores de control actualmente utilizados, comprendiendo la matemática y los resultados obtenidos del cálculo de estos. Se define un nuevo grupo de indicadores que realizan seguimiento a información que no es tenida en cuenta, medida por sistema actual, pero que es de especial utilidad para el manejo de la producción.

8.3 Selección de indicadores

La selección de los indicadores de desempeño toma en cuenta cuatro aspectos para su selección, estos son:

- Facilidad en la interpretación y uso por parte de los entes controladores de la producción como supervisores e ingenieros de producción.
- Facilidad en la obtención de la información y herramientas informáticas necesarias para formular el indicador.
- Efectividad de las decisiones que pueden ser tomadas en base a la información obtenida a partir del cálculo del indicador.
- Características únicas del proceso de producción como grandes variaciones de referencias de fabricación y cantidad de operarios utilizadas.

8.4 Indicadores para el control y seguimiento de la producción

La descripción de cada indicador, objetivo, forma de cálculo, frecuencia, responsable, unidad y fuente de información se encuentra en la ficha técnica de indicadores APÉNDICE 24.

8.4.1 FFT-First Time Through. Este indicador permite medir el porcentaje de piezas que finalizan el proceso de producción sin ser reprocesadas o presentar fallas en calidad que impidan ser entregadas a los clientes. El cálculo de este indicador se realiza mediante la siguiente fórmula:

$$FTT = \frac{\text{unidades entrantes} - \text{scrap} - \text{unidades retrabajadas}}{\text{unidades entrantes}}$$

Figura 65. Ecuación para el cálculo de FTT.

- Unidades entrantes: Unidades de producto que entran o inician el proceso productivo.
- Scrap: Unidades de producto que tienen que ser desechadas por defectos de calidad.
- Unidades retrabajadas: Unidades de producto que deben ser reprocesadas en cualquiera de las fases del proceso.

8.4.2 RTO. VOL-Rendimiento del volumen. Permite medir el ajuste entre las unidades producidas y las unidades programadas teniendo en cuenta las cantidades, pero no las referencias.

$$RTO\ VOL = \frac{\text{Piezas reales}}{\text{Piezas programadas}}$$

Figura 66. Ecuación para el cálculo de RTO VOL.

- Piezas reales: Cantidad de unidades producidas.
- Piezas programadas: Cantidad de unidades que se deben producir según la programación de la producción.

8.4.3 RTO. MIX-Rendimiento del mix. Mediante este indicador se mide el ajuste entre las unidades producidas y las unidades programadas teniendo en cuenta las referencias de fabricación. Tiene en cuenta la falta de producción de acuerdo a lo programado y la sobreproducción.

$$RTO\ MIX = \frac{Piezas\ producidas\ para\ el\ mix}{Piezas\ reales}$$

Figura 67. Ecuación para el cálculo de RTO MIX.

- Piezas producidas para el mix: Unidades producidas por referencia, ajustadas a la programación de producción, es decir, sin tener en cuenta la sobreproducción de cualquier tipo de referencia.
- Piezas reales: Cantidad de unidades producidas.

8.4.4 BTS-Ajuste de la programación. Permite medir el ajuste del proceso productivo a los planes o programación de la producción, teniendo en cuenta volúmenes y referencias producidas, y calculados mediante los indicadores anteriores.

$$BTS = RTO.VOL \times RTO.MIX$$

Figura 68. Ecuación para el cálculo de BTS.

- RTO.VOL: Indicador de rendimiento del volumen.
- RTO MIX: Indicador del rendimiento del mix.

8.4.5 Programa 5's. Permite medir el nivel porcentual del avance del programa 5's al interior de Pretecor Ltda. Funciona como complemento a la lista de chequeo para la auditoria del programa.

$$\% = \frac{\% \text{ final} - \% \text{ inicial}}{\% \text{ inicial}}$$

- %final=Puntaje en lista de chequeo 5's de ultima auditoria.
- %inicial=Puntaje en lista de chequeo 5's de auditoria anterior.

8.5 Descripción Formatos de cálculo de los indicadores

El formato de cálculo de indicadores se encuentra programado en la herramienta ofimática Excel APÉNDICE 25, el formato cuenta con una serie de tablas las cuales son alimentadas por la información recolectada de manera diaria por los formatos de producción utilizados en Pretecor Ltda. Los formatos de cálculo de los indicadores se ven en las siguientes figuras:

FFT//First Time Through

Objetivo

Muestra el porcentaje correcto de piezas que se hacen bien a la primera, sin necesidad de retrabajos adicionales.

$$FFT = \frac{\text{Unidades entrantes} - \text{scrap} - \text{piezas retrabajadas}}{\text{Unidades entrantes}}$$

Instrucciones de uso:

1. Identifique la información solicitada para el cálculo del indicador.
2. Una vez obtenida la información, digite los diferentes datos solicitados en la tabla de cálculo del indicador.
3. Interprete el resultado obtenido en la tabla con ayuda del cuadro de interpretación al final del formato.

Figura 69. Ejemplo encabezado formato de indicadores.

Todos los formatos de indicadores tienen la misma estructura, nombre del indicador, objetivo del cálculo, forma de cálculo y las instrucciones de uso del formato.

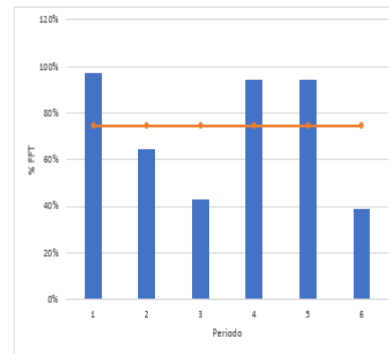
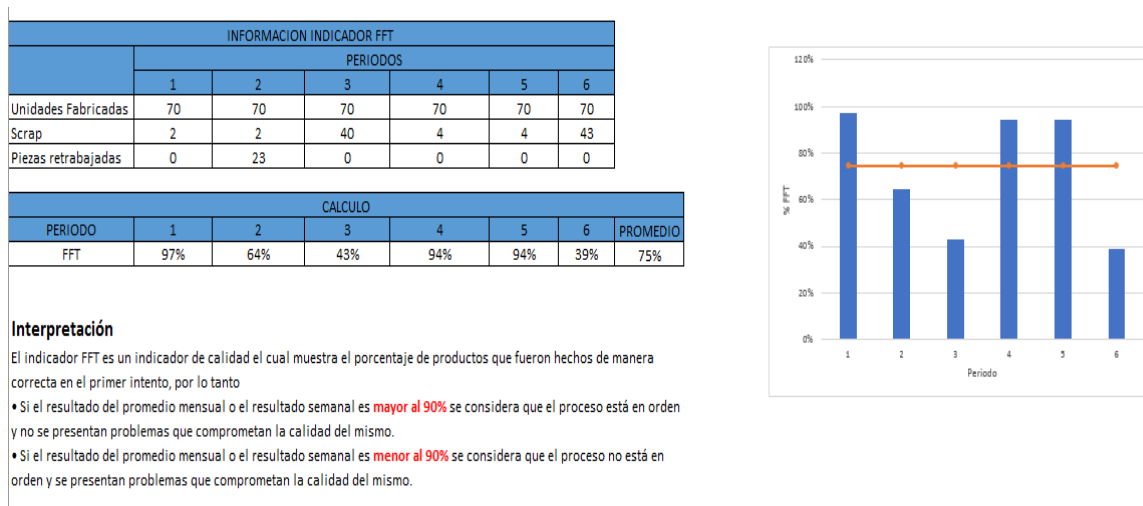


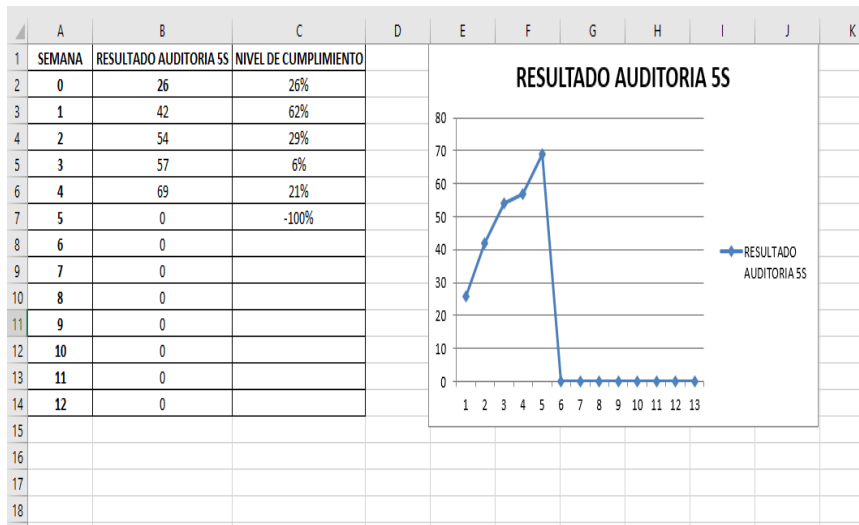
Figura 70. Ejemplo cuerpo del formato de indicadores.

El cuerpo de los diferentes formatos contiene una tabla donde se encuentran los datos necesarios para el cálculo del indicador, estas están programadas para seis periodos de tiempo ya

sea semanal o diario, información de cómo se debe interpretar el indicador y una gráfica que muestra la información calculada.

El formato principal de indicadores diseñados para el control y seguimiento del proceso productivo en Pretector Ltda. funcionan con la consignación manual de datos obtenidos de los informes de producción diaria, además, indicadores como el RTO.MIX obtiene de manera automática los datos consignados en el formato de programación diaria de la producción manejado por la gerencia y actualizado en las reuniones semanales de programación de la producción.

El indicador del programa 5's se encuentra en el formato del APÉNDICE 26 el cual contiene las listas de chequeo para la evaluación de la metodología 5's este consta de una tabla resumen de las puntuaciones obtenidas de manera semanal y el cálculo del indicador, complementariamente y para una fácil lectura del indicador los resultados obtenidos de las auditorias 5's son graficados como se puede ver en la figura 71.



| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N |
|----|----------------------------------|-----|-------------------------------------|---|---|---|---|--------------|------------------------------------|---|---|---|---|-------|
| 1 | | | | | | | | | EVALUACION Y CONTROL DE SISTEMA 5S | | | | | FECHA |
| 2 | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | LISTA DE CHEQUEO 5S (PRODUCCION) | | AUDITOR: | | CALIFICACION: ___/100 | | | CALIFICACION | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | 5 s | No. | ITEM A EVALUAR | | CRITERIO DE EVALUACION | | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | | |
| 6 | CLASIFICAR | 1 | Materiales y partes | | Existencia de trabajos en proceso innecesarios. | | | X | | | | | | |
| 7 | | 2 | Máquinas y equipos | | Todas las máquinas y partes de equipos están regularmente en uso. | | | | X | | | | | |
| 8 | | 3 | Herramientas, moldes y plantillas | | Todas las herramientas de ajustes, cortes, moldes, etc., están regularmente en uso. | | | | X | | | | | |
| 9 | | 4 | Control visual | | Todo lo que es innecesario en el área de trabajo, se puede distinguir a simple vista. | | | | | X | | | | |
| 10 | | 5 | Estándares para descartar artículos | | Hay estándares claros para eliminar excesos. | | | | X | | | | | |
| 11 | | 6 | Rotúlos y áreas de almacenamiento | | Rotúlos que identifican todas las áreas de almacenamiento. | | | | | X | | | | |
| 12 | | | | | | | | | | | | | | |
| 13 | | | | | | | | | | | | | | |
| 14 | | | | | | | | | | | | | | |
| 15 | | | | | | | | | | | | | | |
| 16 | | | | | | | | | | | | | | |
| 17 | | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | | | | | | | | | | | | | | |

Figura 71. Formato indicador del programa 5's.

9. Análisis de la capacidad

El análisis de capacidad de un proceso productivo brinda las herramientas para la elaboración de pronóstico y proyecciones de la producción, ante las diferentes situaciones que pueda generar la demanda. La capacidad instalada es el nivel de producción que se logra en el sistema trabajando

al máximo de la capacidad de su recurso restrictivo o cuello de botella, esta muestra la necesidad de mejoras o un incremento en el número de recursos disponibles.

Para el análisis de la capacidad de Pretector Ltda. se utiliza la información obtenida mediante el muestreo del trabajo y el cálculo de los tiempos tipos de cada operación estos se encuentran en el APÉNDICE 27.

9.1 Análisis capacidad instalada

Para el cálculo de la capacidad instalada se determina el tiempo real disponible de producción, a partir de la implementación de la mejora de cuadrillas de producción la jornada laboral en la planta de Pretector Ltda. comienza a las 6:00 am con 30 minutos para descanso, 60 minutos para almorzar y finaliza a las 6:00 pm, es decir un tiempo real de producción es de 630 minutos, los tiempo de preparación de las diferentes formaletas no se toma en cuenta durante el análisis ya que las actividades de preparación se realiza durante el turno nocturno. A partir de los tiempos tipo, la observación y análisis del proceso se identifica la actividad de fraguado como el cuello de botella de la operación.

Utilizando un modelo de pareto se identificaron las referencias de ocho y doce metros como las de mayor recurrencia y por lo tanto mayor importancia, el tiempo de fraguado de los postes de ocho y doce metros es de 150 minutos, esto permite obtener 4 postes al día por formaleta.

9.2 Análisis de capacidad utilizada.

Para el análisis de la capacidad utilizada se hace uso los tiempos estándar o tiempos tipos de producción, el número de maquinarias (recursos) disponibles y el número de operarios que se

establecieron para la realización de producción según el ideal planteado en las cuadrillas de producción, en la tabla 29 se observa

Tabla 29. Cálculo de la Capacidad utilizada.

| <i>Proceso</i> | <i>Tiempo tipo</i> | <i>Maquinaria</i> | <i>Maq. Disp</i> | <i>No. Operarios día</i> | <i>Tiempo disp. Día (min)</i> | <i>Postes</i> |
|-----------------|--------------------|-------------------|------------------|--------------------------|-------------------------------|---------------|
| Corte de hierro | 5,8 | Pulidora de corte | 1 | 1 | 630 | 108,5 |
| P. mezclado | 17,4 | Mezcladora | 1 | 5 | 3150 | 180,8 |
| Armado de noyos | 17,4 | Noyos | 23 | 3 | 1890 | 108,5 |
| Formaletas | 17,4 | Formaletas | 23 | 11 | 6930 | 397,8 |
| Fraguado | 150,0 | Formaletas | 23 | 2 | 14490 | 96,6 |
| Resane | 17,4 | Burros de resane | 10 | 2 | 1260 | 108,5 |

El anterior cálculo se realiza teniendo las siguientes consideraciones.

- La jornada productiva es de 10,5 horas en el turno diurno.
- La valoración promedio del trabajo en los puestos de trabajo a excepción del puesto de corte de hierro y resane es de 90%.
- La valoración promedio del trabajo que realmente se ajusta en el puesto de corte es de 30%, esto se debe a que el operario de corte pasa la mayoría de su actividad realizando labores que no agregan valor como transportes.
- La valoración promedio del trabajo para los puestos de resane se definió en 60%, debido al ritmo de trabajo mostrado por los trabajadores los cuales siempre mostraron encontrarse atrás del nivel promedio de trabajo de los demás puestos en la línea.

9.3 Conclusiones análisis de la capacidad utilizada.

De los valores de la tabla 29 se puede concluir que, la capacidad para referencias con alturas menores a doce metros:

- El nivel de producción está restringido por el recurso cuello de botella, este recurso es el fraguado el cual restringe la producción diría a un máximo posible de 96,6 postes o 4 postes por formaleta.
- Los puestos de trabajo se encuentran en la capacidad de cumplir el estándar de producción definido por los ingenieros de planta en setenta unidades diarias.
- La capacidad de los diferentes puestos de trabajo cambia para las referencias de mayor tamaño, la capacidad de producción de la línea se verá definida por el tiempo de fraguado de estas referencias, el tiempo real de producción disponible y el número de formaletas dispuestas para su elaboración.

10. Value Stream Mapping futuro

En la figura 72 se observa el VSM futuro el cual contiene los tiempos de ciclo después de la aplicación de las mejoras basadas en herramientas de Lean Manufacturing, este muestra la disminución del tiempo de ciclo de 4,28 horas a 3,66 horas, mostrando una mejora de 14,48 %. El lead time no muestra un cambio significativo debido al tiempo de embarque de los productos el cual puede tomar hasta cinco días.

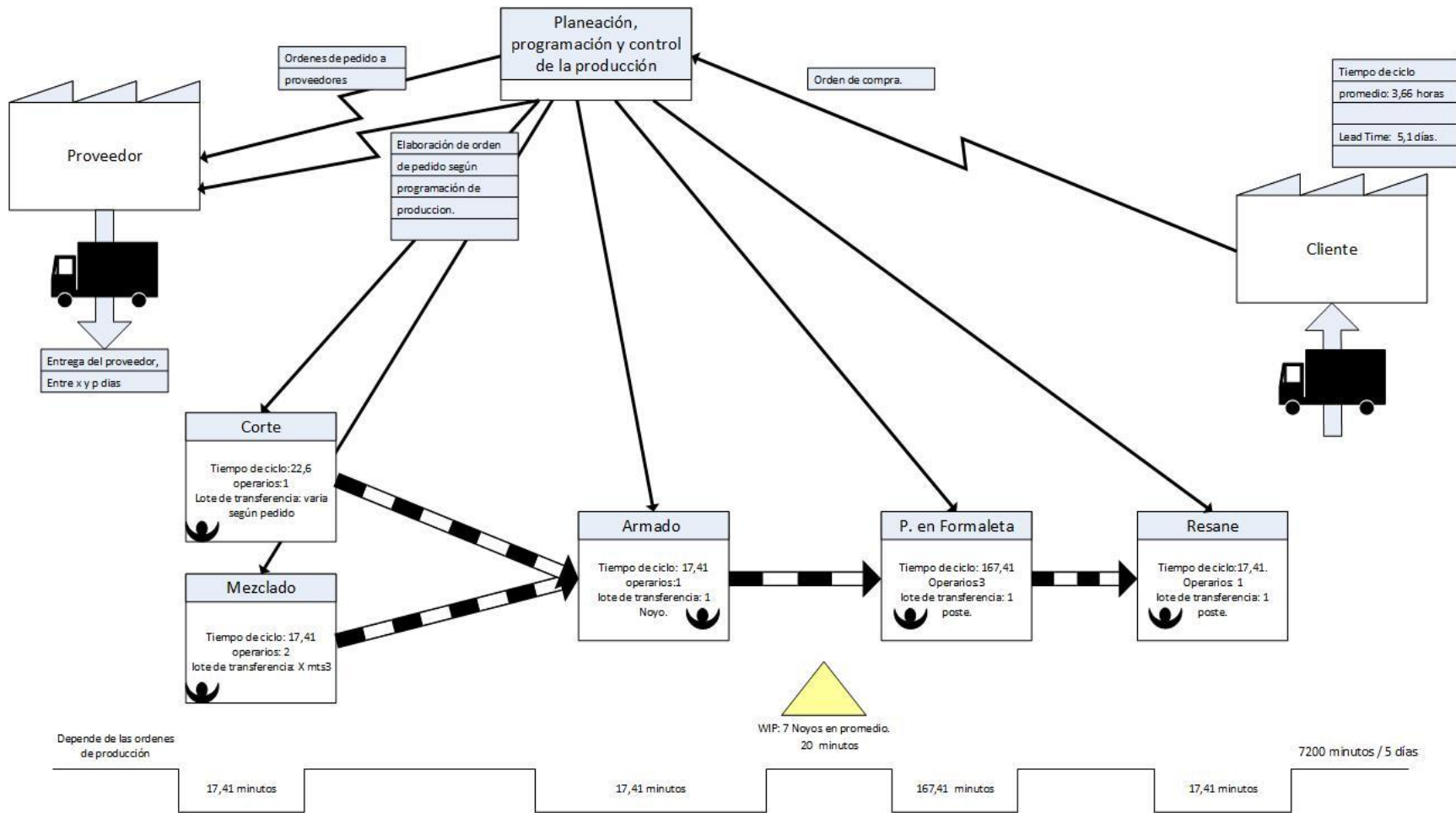


Figura 72. Value Stream Mapping futuro.

11. Conclusiones

- Las herramientas de análisis usadas en la fase de diagnóstico e identificación de despilfarros son un elemento fundamental en el desarrollo del trabajo, ya que permiten conocer el funcionamiento del proceso en general, y de todos los elementos que lo conforman, incluyendo puestos de trabajo, elementos de transporte y la gestión que la dirección ejerce sobre el sistema productivo.

- La identificación de las familias de productos más representativas permite enfocar los esfuerzos de análisis, medición y mejora. Aunque por la naturaleza del proceso la fase de mejora es fácilmente aplicable a cualquier producto que sea fabricación en la línea.

- Con base en el diagnóstico ejecutado en la fase inicial del proyecto se identifican elementos específicos del proceso como: interacción entre puestos de trabajo, entre operarios, entre el nivel gerencial y el nivel operativo, lo cual permite la formulación de mejoras que involucren cada uno de estos elementos.

- La socialización continua de los resultados obtenidos durante la ejecución del proyecto funciona como herramienta de apoyo para ajustar alternativas de mejora, formuladas de manera conjunta entre los responsables del desarrollo del proyecto y la dirección.

- La consolidación de las mejoras realizadas al proceso de fabricación de postes de Concreto Prefabricados se realiza mediante estudios fundamentados en herramientas cuantitativas y cualitativas propias de la ingeniería industrial.

- La implementación de alternativas de mejora logra disminuir el tiempo de ciclo del producto en un 14,48%.

- La inclusión de los operarios dentro de las fases de diagnóstico e implementación, permite obtener datos específicos a cerca del proceso que no son fácilmente identificables con labores de observación o información suministrada por la dirección de la planta. Involucrar a los trabajadores dentro de procesos de mejoramiento permite un mayor compromiso con proyectos de este tipo por parte de ellos. Las actividades de capacitación y entrevistas directas con operarios incrementan sus aportes en cuanto a sugerencias que resultan útiles para la culminación del trabajo.

- Lean Manufacturing como estrategia de gestión de la producción es útil para Pretecor Ltda. empresa que requiere procesos flexibles, operarios multifuncionales, disminución de desperdicios y eliminación de actividades que no agregan valor a los productos que son entregados a los clientes. Lograr mejoras representativas en un sistema productivo requiere un esfuerzo conjunto de todos los niveles de la organización, desde los niveles gerenciales y administrativos hasta los niveles operativos.

- Resulta de gran utilidad la adaptación de las metodologías seguidas para el desarrollo de procesos de mejoramiento al ciclo PHVA, de esta manera se atraviesan todas las fases necesarias que aseguren el monitoreo constante sobre el proceso y su mejora continua.

- Asegurar la continuidad del ciclo PHVA dentro de la organización requiere un sistema de control sobre el proceso, que para Pretecor Ltda. se encuentra diseñado en base a indicadores adaptados a los requerimientos de su sistema productivo.

- La mejora relacionada con los recursos de transporte (puentes grúa) se encuentra actualmente en fase de validación, para proceder al ensamblaje final por parte del departamento de mantenimiento. La culminación de esta mejora dentro de los plazos establecidos se ve afectada, principalmente por la necesidad de involucrar otras ramas de la ingeniería en fases de implementación.

- Las limitaciones médicas y los niveles académicos de algunos de los operarios dificultan e implican un replanteamiento de algunas de las alternativas de mejora inicialmente formuladas.

12. Recomendaciones

- Realizar el seguimiento a las mejoras, que asegure su continuidad en el tiempo y permita llevar a cabo su implementación en las demás líneas de producción que conforman la planta de concreto de Pretector Ltda.

- Fortalecer la cultura de mejora continua dentro de la organización por medio de una disciplina consolidada en operarios, supervisores e ingenieros, que apunte objetivamente a la formulación y desarrollo de mejoras que representen beneficios para la empresa.

- Crear un comité 5s encargado de velar por el cumplimiento de cada una de las actividades planteadas en el programa, y asegurar el funcionamiento de este y realice auditorias periódicas que garanticen los estándares establecidos.

- Apoyar el proceso de toma de decisiones en la medición realizada por el sistema de indicadores implementado.

- Culminar la fase de ensamblaje y puesta en marcha del equipo diseñado (gato hidráulico) para el apoyo en la operación de los vehículos puentes grúa.

- Implementar mejoras sugeridas y no implementadas durante el proceso, por ejemplo, el aumento en capacidad de almacenamiento de las estaciones de resane que permita suavizar los picos de uso de los vehículos puentes grúa.

- Involucrar a los operarios en la toma de decisión y fortalecer las líneas de comunicación existentes entre la gerencia y los operarios.

- Considerar alternativas de rediseño de planta que permitan mejorar el flujo del producto de tal manera que este se de en una sola dirección.
- Plantear alternativas para la reubicación del puesto de corte que facilite el traslado del producto fabricado a las líneas de producción que lo requieren.
- Implementar programas de motivación al talento humano que permitan fortalecer el vínculo entre los operarios y la empresa.

Referencias Bibliográficas

- Aldavert, Jaume; Aldavert, Xavier; Lorente, Jordi y Vidal, Eduard. (2016). 5S para la mejora continua, 1 ed. Barcelona, España: Editorial Cims-Midac.
- Arto, José Ramón. (2011). Fundamentos del Lean Manufacturing, ficha técnica N° 3.01. Madrid España: Escuela de organización industrial.
- Atehortua, Yeison. (2010) Estudio y aplicación del Kaizen. Pereira, Colombia: Facultad de ingeniería industrial, universidad tecnológica de Pereira.
- Betancurth, Jhon Jairo. (2013). Modelo para la implementación de técnicas Lean Manufacturing en empresas editoriales. Bogotá. Colombia: Universidad nacional de Colombia, sede Manizales departamento de ingeniería y arquitectura, departamento de ingeniería industrial.
- Brajas, Cindy; Lozano, María. (2013). Mejoramiento de los procesos productivos en la empresa Manufacturas Sandoval E.U de Bucaramanga. Bucaramanga. Colombia: Universidad Industrial de Santander.
- Cifuentes, Héctor. (2014). Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology (LACCEI'2014)". Bogotá. Colombia: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Companys, Ramón, Fonollosa, Joan. (1999) Nuevas técnicas de gestión de stocks: MRP y JIT, 1 ed. Barcelona: Marcombo. 1999, 152 p.
- Cruelles, José. (2012). Productividad en las tareas administrativas: la oficina eficiente, 1 ed. Barcelona. España: Marcombo S.A.
- Cruelles, José. (2012). Despilfarro cero: la mejora continua a partir de la medición y la reducción del despilfarro, 1 ed. Barcelona. España: Marcombo S.A.

- Chavez, Jorge. Torres-rabello, Rodolfo. (2012). Supply chain management, 2 ed. Santiago de Chile. Chile: RIL Editores.
- Chapman, Stephen. (2006). Planificación y control de la producción, 1 ed. México D.F. México: Pearson educación.
- García, Ángel. (1998). Conceptos de organización industrial. Barcelona. España: Marcombo S.A.
- Heizer, Jay. Render, Barry. (2008). Dirección de la producción y de operaciones: Decisiones Tácticas. Octava edición. Madrid. España: PEARSON EDUCACIÓN.
- Hernandez, Juan. Vizan, Antonio. (2013). Lean Manufacturing: Conceptos, técnicas e implantación. Madrid. España: Escuela de organización industrial.
- Hirano, Hiroyuki. (2010). JIT implementation manual: Complete guide to just-in-time manufacturing, 2 ed. Boca Ratón. U.S.A: CRC Press.
- Henry, John. (2010). Achieving lean changeover: Putting SMED to work. Boca Raton. U.S.A: CRC Press.
- Hansen, Bertrand. Ghane, Prabhakar. (1990). Control de la calidad: teoría y aplicaciones. Madrid. España: Ediciones Díaz de Santos S.A.
- Janania, Camilo. (2008). Manual de tiempos y movimientos: ingeniería de métodos. México D.F. México: Editorial Limusa S.A.
- Krajewski, Lee. Ritzman, Larry. (1999). Administración de operaciones, estrategia y analisis, 5ed. Massachusetts. U.S.A: Pearson education company.
- Krajewski, Lee. Ritzman, Larry; Malhotra, Manoj. (2008). Administración de operaciones. Octava edición. México D.F. México: PEARSON EDUCACIÓN.
- Kumar, R. Senthil. (2015) Process management in spinning. Boca Raton. U.S.A: CRC Press.

- Lean solutions. (2016). La casa Lean. Recuperado de <http://www.leansolutions.co/wp-content/uploads/2011/07/Lean-Manufacturing.png>.
- Locher, Drew. (2008). Value stream mapping for lean development: A how-to guide for streaming time to market. Nueva York. Estados Unidos: CRC Press.
- Miranda, Luis. (2006). Seis sigmas: guía para principiantes, 1 ed. México D.F. México: Panorama editorial S.A.
- Meyers, Fred E. (2000). Estudios de tiempos y movimientos para la manufactura ágil. Segunda edición. México D.F. México: PEARSON EDUCACIÓN.
- Moreno, Frank; Gallo, Eliseo. (2011). Propuesta del mejoramiento de la metodología de Manufactura Esbelta por medio de optimización de sistemas de manufactura y modelación de eventos discretos. Bucaramanga. Colombia: Grupo de investigación CAYPRO, Universidad Santo Tomás.
- Mantilla, Yenny. (2009). Mejoramiento del sistema productivo de la empresa calzado y marroquinería Valery Collection. Bucaramanga. Colombia: Universidad industrial de Santander, Facultad de ingeniería físico mecánicas, escuela de estudios industriales y empresariales.
- Norani, Nordin; Baba, Deros; Dzuraidah Wahab. (2010). A Survey on Lean Manufacturing Implementation in Malaysian Automotive Industry. Malaysia: International Journal of Innovation, Management and Technology.
- Olavarrieta, Jorge. (1999). Conceptos generales de productividad, sistemas, normalización y competitividad para la pequeña y mediana empresa, 1 ed. México D.F. México: Universidad Iberoamericana.

- Ortega, Daniel. (2013). Propuesta de reorganización del sistema productivo de la planta 2 de Industrias Partmo bajo los lineamientos de la lean Manufacturing. Bucaramanga. Colombia: Universidad Industrial de Santander.
- Rother, Mike y Shook, John. (2003). Learning to see: Value stream mapping to add value and eliminate muda. Cambridge. Inglaterra: The Lean Enterprise Institute.
- Shingo, Shigeo. (1985). Zero quality control; source inspection and the poka-yoke system. Tokyo. Japon: Productivity Press.
- Shingo, Shigeo. (1981). A study of the Toyota production system: From an industrial engineering viewpoint. Tokyo. Japon; japan management association.
- Shingo, Shigeo. (1983). A revolution in the manufacturing: The SMED system. Tokyo. Japon: Shinguru Dandori.
- Thomas, Randolph; Jeffrey, Daily. (1984). Crew performance measurement via activity sampling. Virginia. Estados Unidos: American Society of Civil Engineers.
- Vargas, Martha. Aldana, Luzangela. (2006). Calidad y servicio: conceptos y herramientas. Bogotá. Colombia: Ecoe ediciones.
- Wang, John. (2010). Lean manufacturing: Business Bottom-Line based, 1 ed. Boca Raton. U.S.A: CRC Press.
- Alcalde, Pablo. (2009). Calidad, 1 ed. Madrid. España: Editores Paraninfo S.A.
- Arrieta, Juan. (2007). Interacción y conexiones entre las técnicas 5s, SMED y Poka Yoke en procesos de mejoramiento continuo. Medellín. Colombia: Departamento de ingeniería de producción, Universidad EAFIT.
- Fabrizio, Tom. Tapping. (2006). Don. 5S for the office. Organizing the workplace to eliminate waste. Nueva York. U.S.A: Productivity.

Moulding, Edward. (2010). 5S: A visual control system for the workplace. Milton Keynes: Authorhouse.

Rey, Francisco. (2005). Las 5S. Orden y limpieza en el puesto de trabajo. Madrid. España: Fundación Confemetal.