

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
ESCUELA DE POSGRADO



**MEJORA DE PROCESOS EN LAS ÁREAS DE MEZCLADO Y MOLIENDA  
DE UNA EMPRESA MANUFACTURERA DE TUBOSISTEMAS PVC Y PEAD  
APLICANDO HERRAMIENTAS DE CALIDAD Y LEAN MANUFACTURING.**

Tesis para optar el grado de Magíster en Ingeniería Industrial con mención en  
Operaciones que presenta

RODY NELSON HUALLA PALO

CARLOS CÁRDENAS ALVAREZ

Dirigido por

JOSÉ RAU ALVAREZ

San Miguel, 2017

## RESUMEN

La presente tesis está orientada a aplicar herramientas Lean en una empresa dedicada a la fabricación de tubosistemas que tiene como mercado el sector construcción, sector económico que ha tenido un gran desarrollo en los últimos años en nuestro país. Al iniciar el estudio La empresa presentaba problemas en la utilización del scrap en los compuestos, su uso no estandarizado trajo como consecuencia altos inventarios de scrap (material rechazado, productos no conformes).

Se desarrolló un análisis de la situación actual de la empresa y se detectaron los principales problemas, una vez seleccionados se aplicó las herramientas lean: 5S, SMED, TPM y Benchmarking, estas herramientas fueron adaptadas a la realidad de la empresa con el fin de mejorar y optimizar los proceso de mezclado compuestos y molienda scrap y de reducir el inventario de scrap mediante el incremento de su consumo y la reducción de su generación.

Como resultado de la implementación de las 5s, disminuyeron los tiempos de tránsito y tiempos muertos, además la estandarización de actividades y se redujeron los casos de contaminación compuesto, a la par generó un cambio de cultura en los colaboradores.

Con el SMED se redujeron los tiempos de abastecimiento a los equipos de molienda, permitiendo incrementar las horas de trabajo efectivo. La aplicación del TPM también incremento las horas de trabajo efectivo en el área debido a la reducción de paros de mantenimiento, el mantenimiento autónomo dio herramientas para ejecutar un mantenimiento preventivo por parte del propio personal del área.

La implementación del benchmarking con empresas de otros países que forman parte del mismo a grupo empresarial de la empresa de estudio, se mejoraron fórmulas de compuesto, se implementó nuevos procedimientos para el uso de equipos incrementando sus rendimientos y vida útil.

La aplicación de las herramientas Lean permitió la estandarización de actividades, incremento de rendimientos, reducción de tiempos muertos trayendo como consecuencia la reducción del inventario de scrap de 323 toneladas en agosto del 2013 a 52 toneladas en julio del 2015, además la disminución de la generación de scrap de 9% en agosto del 2013 a 5.7% en julio del 2015. Económicamente se

justificó el proyecto debido a que se obtuvo un ratio VPN de 379,849 dólares, TIR 40% y un ratio costo beneficio de 1.77.



## ABSTRACT

This study is oriented to apply Lean tools dedicated to the manufacture of pipe systems whose market is the construction industry that has made great progress in recent years in our country sector. At baseline The Company had problems in the use of scrap in the compounds, their use is not standardized resulted in high inventories of scrap (reject material, non-conforming products).

The company developed an analysis of the current situation of and major problems were detected, once selected the lean tools are applied: 5S, SMED, TPM and Benchmarking, these tools were adapted to the reality of the company in order to improve and optimize compounds mixing process and grinding scrap and scrap reduce inventory by increasing consumption and reducing their generation.

As a result of the implementation of 5s, they decreased transit times and downtime, plus standardization activities and cases of compound pollution, also the company generated a culture change in the partners.

With the application of SMED tool, the supply time was reduced, allowing increase hours worked. The application of TPM also increase the hours worked in the area due to reduced maintenance downtime, he gave autonomous maintenance to run preventive maintenance by staff of the area.

The implementation of benchmarking with companies from other countries that are part of the same business group to study the company, compound formulas were improved, new procedures for the use of increasing yields and lifetime equipment was implemented.

The application of Lean tools allowed the standardization of activities, increased yields, reduced downtime consequently resulting inventory reduction of scrap 323 tonnes in August 2013 to 52 tonnes in July 2015 also decreased generation scrap of 9% in August 2013 to 5.7% in July 2015. Financially the project was justified because a VPN ratio of \$ 379.849, TIR 40% and a cost benefit ratio of 1.77 was obtained.

## PALABRAS CLAVE

Lean, scrap, mezclas, compuestos, 5S, SMED, TPM, benchmarking, inventario, estandarización, reducción, equipo.



# ÍNDICE DE CONTENIDO

|   |                               |
|---|-------------------------------|
| ÍNDICE DE TABLAS .....  | 9                             |
| ÍNDICE DE FIGURAS.....  | ¡Error! Marcador no definido. |
| INTRODUCCION .....  | 10                            |
| CAPITULO 1. MARCO TEORICO.....  | 13                            |
| 1.1.    Reseña historica Lean Manufacturing.....                              | 13                            |
| 1.2.    Conceptos de Lean Manufacturing .....                                 | 14                            |
| 1.3.    Los principios de Toyota.....   | 15                            |
| 1.4.    Objetivo y principios de Lean Manufacturing.....                      | 16                            |
| 1.4.1.    Principios de Lean Manufacturing.....                               | 18                            |
| 1.5.    Herramientas y técnicas de Lean Manufacturing .....                   | 19                            |
| 1.5.1.    Value Stream Mapping (VSM) .....                                    | 20                            |
| 1.5.2.    Las 5'S .....   | 23                            |
| 1.5.3.    SMED (cambio rápido) .....  | 25                            |
| 1.5.4.    Benchmarking.....   | 28                            |
| 1.5.5.    Poka Yoke .....   | 29                            |
| 1.5.6.    TPM (Mantenimiento Productivo Total).....                           | 30                            |
| CAPITULO 2. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA .....                                   | 32                            |
| 2.1.    Antecedentes históricos.....  | 32                            |
| 2.2.    Visión, misión y valores de la empresa.....                           | 33                            |
| 2.2.1.    Visión .....  | 33                            |
| 2.2.2.    Misión .....  | 33                            |
| 2.2.3.    Valores .....   | 34                            |
| 2.3.    Definición de negocio .....   | 34                            |
| 2.4.    Clientes .....  | 35                            |
| 2.4.1.    Clientes sector predial .....                                       | 35                            |
| 2.4.2.    Empresas constructoras de vivienda e infraestructura.....           | 35                            |
| 2.4.3.    Las empresas mineras, agroindustriales y comunidades campesinas ... | 35                            |
| 2.5.    La organización .....   | 36                            |
| 2.6.    Productos .....   | 38                            |
| 2.6.1.    Predial .....   | 38                            |
| 2.6.2.    Infraestructura .....   | 38                            |
| 2.6.3.    Agrícola .....  | 39                            |
| 2.6.4.    Minería .....   | 39                            |
| 2.7.    Operaciones industriales .....  | 40                            |
| 2.7.1.    Área de operaciones.....  | 41                            |

|  |     |
|--|-----|
| 2.7.2.    Procesos productivos. ....   | 43  |
| A continuación se presenta los principales procesos productivos de la empresa. ....                        | 43  |
| CAPITULO 3. ANÁLISIS Y DIAGNOSTICO .....   | 55  |
| 3.1.    Selección del área de estudio e indicadores analizados .....                                       | 55  |
| 3.2.    Resultados de los Principales Indicadores Productivos .....  | 56  |
| 3.3.    Identificación de Scrap (Material fuera de especificaciones).....                                  | 64  |
| 3.4.    Análisis de causas raíces de Scrap .....   | 67  |
| 3.5.    Diagnostico general y selección de herramientas de calidad aplicables a la mejora de procesos..... | 73  |
| 3.5.1.    Problemas con compuesto (molinos y mezclas) .....  | 74  |
| 3.5.2.    Paradas por falla de equipos .....   | 76  |
| 3.5.3.    Tiempos largos de Movimiento de Materiales .....   | 76  |
| 3.5.4.    Reducción del Inventario de Scrap en almacenes .....   | 77  |
| 3.5.5.    Adquisición de maquinaria (tecnología nueva).....  | 78  |
| CAPITULO 4. APLICACIÓN DE LAS HERRAMIENTAS DE LEAN MANUFACTURING ..  | 79  |
| 4.1.    Metodología de herramientas a utilizar .....   | 79  |
| 4.2.    Desarrollo de herramientas Lean.....   | 82  |
| 4.2.1.    Aplicación de 5's.....   | 82  |
| 4.2.1.1.    Desarrollo de las 5s .....   | 85  |
| 4.2.1.2.    Impacto de la aplicación de las 5s.....  | 91  |
| 4.2.2.    Aplicación de Benchmarking.....  | 94  |
| 4.2.2.1.    Tratamiento del scrap purga .....  | 94  |
| 4.2.2.2.    Incremento de la capacidad en molinos .....  | 98  |
| 4.2.2.3.    Almacenaje del scrap.....  | 101 |
| 4.2.2.4.    Eliminación de las actividades de fileteo y trozado.....                                       | 102 |
| 4.2.3.    Aplicación herramienta TPM (mantenimiento productivo total) .....                                | 104 |
| 4.2.3.1.    Planteamiento de la situación actual .....   | 104 |
| 4.2.3.2.    Planteamiento de la mejora propuesta .....   | 105 |
| 4.2.3.2.1.    Fases para la programación del Mantenimiento Autónomo.....                                   | 105 |
| 4.2.3.3.    Desarrollar el mantenimiento general.....  | 117 |
| 4.2.3.4.    Impacto de la aplicación TPM .....   | 119 |
| 4.2.4.    Aplicación herramienta SMED .....  | 120 |
| 4.2.4.1.    Planteamiento de la situación actual .....   | 121 |
| 4.2.4.2.    Planteamiento y Beneficios de la mejora propuesta .....  | 122 |
| 4.2.5.    Propuesta de clasificación del scrap.....  | 124 |
| 4.2.5.1.    Planteamiento de la Mejora Propuesta.....  | 124 |
| 4.2.5.2.    Beneficios de la Mejora Propuesta.....   | 125 |
| 4.2.6.    Desarrollo del VSM con la aplicación de las herramientas Lean y Mejora: .....                    | 127 |

|   |     |
|---|-----|
| CAPITULO 5. IMPACTO ECONÓMICO.....              | 129 |
| 5.1. Gastos en implementación .....             | 129 |
| 5.2. Ahorro con propuestas de mejora.....       | 132 |
| 5.3. Indicadores económicos .....               | 134 |
| CAPITULO 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 135 |
| 6.1. Conclusiones.....                          | 135 |
| 6.2. Recomendaciones.....                       | 137 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....                 | 138 |



## ÍNDICE DE TABLAS

|   |     |
|---|-----|
| Tabla 1. Resumen de indicadores Producción 2011-2013, Líneas Extrusión .....        | 56  |
| Tabla 2. Resumen de Equipos Área Molinos.....                                       | 62  |
| Tabla 3. Resumen de Equipos Área Mezclas.....                                       | 63  |
| Tabla 4. Generación de Scrap por Familia.....                                       | 65  |
| Tabla 5. Generación de Scrap por Familia vs Producción Terminada .....              | 66  |
| Tabla 6. Generación de Scrap por Causa de Origen .....                              | 67  |
| Tabla 7. Análisis de las Principales causas de Generación de Scrap – 2013.....      | 71  |
| Tabla 8. Análisis de las Causas de generación de Scrap por Compuestos – 2013.....   | 74  |
| Tabla 9. Propuesta de Clasificación de Scrap por Calidad .....                      | 76  |
| Tabla 10. Principales herramientas a desarrollar por tipo de causa de scrap.....    | 79  |
| Tabla 11. Resumen de Herramientas enfocadas a la mejora de procesos .....           | 81  |
| Tabla 12. Auditoria de nivel de aplicación de 5'S.....                              | 84  |
| Tabla 13. Lista de artículos con tarjeta roja .....                                 | 87  |
| Tabla 14. Resumen de tiempos luego de utilizar 5'S .....                            | 91  |
| Tabla 15. Auditoria de nivel de aplicación de 5'S después de su implementación..... | 93  |
| Tabla 16. Generación de scrap purga versus consumo de scrap purga.....              | 98  |
| Tabla 17. Planilla personal mezclas y molinos .....                                 | 99  |
| Tabla 18. Duración de Cuchillas Equipos Mezclas y Molinos .....                     | 101 |
| Tabla 19. Rendimiento de equipos área Mezclas y Molinos .....                       | 104 |
| Tabla 20. Cronograma de capacitación personal.....                                  | 107 |
| Tabla 21. Cronograma de Implementación del Mantenimiento Autónomo .....             | 116 |
| Tabla 22. Cronograma de mantenimiento de equipos Molinos y Mezclas.....             | 117 |
| Tabla 23. Resumen resultados implementación de TPM .....                            | 120 |
| Tabla 24. Resumen resultados implementación SMED.....                               | 123 |
| Tabla 25. Clasificación de Scrap.....   | 125 |
| Tabla 26. Inventario de Scrap Agosto 2013.....                                      | 126 |
| Tabla 27. Inventario de Scrap 2013 – 2015.....                                      | 126 |
| Tabla 28. Inversión Implementación Herramienta 5'S.....                             | 129 |
| Tabla 29. Inversión Implementación Herramienta Benchmarking .....                   | 130 |
| Tabla 30. Inversión Implementación Herramienta TPM.....                             | 130 |
| Tabla 31. Inversión Implementación Herramienta SMED .....                           | 130 |
| Tabla 32. Resumen Inversión Implementación Herramienta Lean .....                   | 131 |
| Tabla 33. Información de Ahorro en mejora del tratamiento de Scrap Purga .....      | 132 |
| Tabla 34. Resumen de ahorro por Áreas (Mezclas y Molinos) .....                     | 133 |
| Tabla 35. Resumen de ahorro Equipo Desgarrador.....                                 | 133 |
| Tabla 36. Flujo de Caja del proyecto de mejora.....                                 | 134 |
| Tabla 37. Resumen ratios Económicos .....   | 134 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |     |
|---|-----|
| Figura 1: Pirámide “4P” del Modelo Toyota .....                                       | 15  |
| Figura 2: Organigrama de la Empresa .....   | 36  |
| Figura 3: Tubería de presión 110 mm para agua potable con anillo de caucho .....      | 39  |
| Figura 4: Tuberías predial, sanitaria y para agua potable .....                       | 40  |
| Figura 5: Accesorios Uniones universales ½” .....                                     | 40  |
| Figura 6: Diagrama de Procesos de la empresa .....                                    | 41  |
| Figura 7: Organigrama del Área de Operaciones .....                                   | 42  |
| Figura 8: DOP del proceso de extrusión PVC .....                                      | 44  |
| Figura 9: Línea de Extrusión Completa .....   | 45  |
| Figura 10: Líneas de producción EXT PVC .....   | 45  |
| Figura 11: DOP del proceso de extrusión Polietileno .....                             | 47  |
| Figura 12: Línea de producción Extrusión Polietileno .....                            | 48  |
| Figura 13: DOP del proceso de Inyección PVC .....                                     | 49  |
| Figura 14: Planta del proceso de Inyección .....                                      | 50  |
| Figura 15: DOP del proceso de Inyección PVC .....                                     | 51  |
| Figura 16: Equipos de Mezclado .....  | 52  |
| Figura 17: Silos de Almacenamiento de Compuestos .....                                | 52  |
| Figura 18: Alimentador a Molino .....   | 53  |
| Figura 19: DOP del proceso de Molienda .....  | 54  |
| Figura 20: Indicador de Producción Terminada 2011-2013 .....                          | 58  |
| Figura 21: Indicador de % de Sobre peso 2011-2013 .....                               | 59  |
| Figura 22: Nivel de Producción Vs Scrap 2011-2013 .....                               | 59  |
| Figura 23: Generación de Scrap 2011-2013 .....  | 60  |
| Figura 24: Fotos de Almacenaje de Scrap de Planta .....                               | 61  |
| Figura 25: Análisis Pareto generación de Scrap por Familia - 2013: .....              | 66  |
| Figura 26: Diagrama Causa – Efecto Generación de Scrap - 2013 .....                   | 70  |
| Figura 27: Análisis Pareto generación de Scrap por Causa - 2013 .....                 | 72  |
| Figura 28: Apilador Semi Eléctrico área molinos y mezclas .....                       | 77  |
| Figura 29: Grafico VSM situación actual Procesos de Mezclas y Molinos .....           | 81  |
| Figura 30: Mal ubicación de Scrap en las Área de Mezclas y Molino .....               | 83  |
| Figura 31: Situación de las áreas de Mezclas y Molinos antes del plan 5'S .....       | 83  |
| Figura 32: Resumen Evaluación de 5'S antes de su Implementación .....                 | 85  |
| Figura 33: Formato de Tarjeta Roja .....  | 86  |
| Figura 34: Propuesta de Layout - Ubicación de Scrap (Big Bag) .....                   | 88  |
| Figura 35: Orden de las Áreas de Silos .....  | 88  |
| Figura 36: Orden de las Áreas de Mezclas y Molino .....                               | 89  |
| Figura 37: Tarjeta de Oportunidad .....   | 90  |
| Figura 38: Formato de conformidad de limpieza .....                                   | 90  |
| Figura 39: Resumen Evaluación de 5'S después de su Implementación .....               | 94  |
| Figura 40: Evidencia del mal uso del Scrap Purga (correo Jefe Mantenimiento) .....    | 95  |
| Figura 41: Acuerdos tomados para el uso de Scrap Purga .....                          | 97  |
| Figura 42: Recomendaciones para el uso de cuchillas en molinos y pulverizadores ..... | 100 |
| Figura 43: Cajones para el traslado de Scrap .....                                    | 102 |
| Figura 44: Desmenuzador de tuberías .....   | 103 |
| Figura 45: Detección de anomalías desde la limpieza .....                             | 107 |
| Figura 46: Formato Hoja de vida equipo .....  | 108 |
| Figura 47: Formato Control de inspección y limpieza .....                             | 109 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 48: Identificación de fuentes de deterioro en los equipos .....                           | 110 |
| Figura 49: Acciones preventivas para evitar el deterioro en los equipos .....                    | 111 |
| Figura 50: Formato de Instrucción de Mantenimiento .....   | 112 |
| Figura 51: Formato de auditoria 5'S .....  | 113 |
| Figura 52: Formato Check list de Molinos .....   | 114 |
| Figura 53: Gantt Implementación del Mantenimiento Autónomo .....                                 | 116 |
| Figura 54: Plan de Actividades Mantenimiento Preventivo por equipo .....                         | 119 |
| Figura 55: DOP Procesos Molienda de materiales.....  | 122 |
| Figura 56: Apilador eléctrico para áreas de molinos y mezclas.....                               | 123 |
| Figura 57: Formato Calificación de Material Scrap.....   | 125 |
| Figura 58: Indicador de Inventario Acumulado años 2013 – 2015.....                               | 127 |
| Figura 59: Grafico VSM situación luego de las mejoras en los procesos de Mezclas y Molinos ..... | 128 |



## INTRODUCCION

Alrededor del 2002 el sector construcción en nuestro país ha ido creciendo, ha habido fuertes inversiones en el sector inmobiliario y en el sector infraestructura por ejemplo en saneamiento, este sector ha sido muy dinámico y competitivo, esto ha llevado a las empresas que participan en este mercado a buscar eficiencias en sus operaciones

La empresa en estudio es una compañía manufacturera de tubosistemas, es decir se dedica a la fabricación de tuberías y accesorios de PVC y PEAD, su mercado es el sector de la construcción mediante la elaboración de productos que se pueden dar uso en viviendas, infraestructura (saneamiento, proyectos inmobiliarios), agricultura y minería (tuberías de polietileno). El mercado peruano la competencia en este sector es muy fuerte, empresas con presencia en varios países de Latinoamérica, estos grupos son Aliaxis representada en Perú por la empresa Nicoll, el Grupo Mexichem con Mexichem Perú S.A. y Tigre de capitales brasileños, a esta se suma varias empresas locales medianas y pequeñas, esto obliga a la empresa en estudio mejorar sus actividades internas para ser competitiva en el mercado.

La empresa presenta una deficiencia en la reutilización de sus productos no conformes (scrap), teniendo en cuenta que el PVC y PEAD es reciclable, esto a su vez genera un mayor generación scrap y mayor inventario de scrap, es decir se tiene un ciclo donde el scrap tiene la tendencia a seguir incrementándose, todos estos problemas tienen como origen la falta de estandarización en las actividades en los procesos de mezclas y molinos. Es por tal motivo que se plantea el uso de herramientas lean para lograr solucionar la problemática actual de la empresa.

En el capítulo 1 de la presente tesis, se desarrolla el marco teórico del lean manufacturing, describiendo sus principales herramientas y técnicas, en el capítulo 2 se presenta la información de la empresa en estudio, donde se explica las actividades que realiza, sus productos, clientes, los procesos productivos

El capítulo 3, abarca el análisis y diagnóstico de la situación actual de la empresa, para luego en el capítulo 4 detallar la ejecución de las herramientas lean sobre los problemas detectados en el capítulo 3, además se presentan los resultados obtenidos de su aplicación.

Luego en el capítulo 5, se presenta la la evaluación económica de la implementación de las herramientas lean y finalmente en el capítulo 6 se exponen las conclusiones y recomendaciones de la presente tesis.

## CAPITULO 1. MARCO TEORICO

En el presente capítulo se presenta todo marco teórico de las herramientas Lean Manufacturing que serán desarrolladas en la presente tesis.

### 1.1. Reseña histórica Lean Manufacturing

Lean manufacturing es un aporte de la compañía Toyota, Toyota implementó una metodología para producir cuyo objetivo era generar la menor cantidad de desperdicio para así convertirse una compañía capaz de competir de a igual a la industria automotriz americana. Este nuevo sistema consigue ser muy eficiente y eficaz convirtiéndose en un modelo a seguir para otros tipos de industrias (Villaseñor & Galindo, 2007).

La primera vez que se menciona “Lean Manufacturing” es en el libro “La máquina que cambio el mundo” (The machine that changed the World) escrito por James P. Womack, Daniel T. Jones y Daniel Roos, libro que fue publicado en 1990, es aquí donde se exponen las herramientas Lean que hoy se aplican en varias industrias en el mundo (Womack, Jones & Ross, 1991).

Anteriormente estos mismos investigadores en 1984 mediante su libro “El futuro del Automóvil”, analizaban los problemas que ya surgían en la industria del automotriz en esa década (Womack, Jones & Ross, 1991).

Los investigadores determinaron que el proceso de fabricación de automóviles en Estados Unidos y en los países de Europa occidental mantenían casi las mismas metodologías y herramientas que fueron aplicadas en la producción en masa por Henry Ford a inicios del siglo XX, estas técnicas según los autores eran ineficientes para competir con las nuevas formas de producir de la industria japonesa (Womack & Jones, 2005).

Womack, Jones y Ross ejecutaron un estudio minucioso de las nuevas metodologías japonesas, el conjunto de todas ellas la denominaron “Lean Manufacturing” (Manufactura Esbelta), las cuales compararon las técnicas occidentales que aún estaban vigentes en la industria manufacturera (Womack & Jones, 2005).

Toyota logró la excelencia operacional mediante la aplicación de herramientas y métodos que buscaban la mejora de la calidad, pero para conseguir el éxito fue muy

importante para Toyota inculcar a la gente esta nueva filosofía de negocio que se fundamenta en el liderazgo, el trabajo en equipo y la cultura, asimismo implementar una nueva relación con los proveedores y para lograr una organización basado en el aprendizaje (Liker, 2006).

El sistema de producción de Toyota (TPS), que va más allá de ser una forma de gestionar operaciones, busca deliberadamente la excelencia operacional como un arma estratégica y la toma de decisiones es base a una gestión de largo plazo, en lugar de estar enfocado al corto plazo, como sucede con las empresas tradicionales.

## **1.2. Conceptos de Lean Manufacturing**

Existen diversas definiciones de Lean Manufacturing y esta mucho depende a qué tipo de industria se aplica.

Lean Manufacturing se define como un sistema de producción basado en la eliminación del desperdicio, se considera como desperdicio o despilfarro a las actividades que no contribuyen a agregar valor al producto y que el cliente no está dispuesto a pagar. Lean Manufacturing para lograr la eliminación del desperdicio se vale de una serie de herramientas (5S, Kaizen, TMP, Kanban, SMED, Jidoka, etc), las cuales se generaron en Japón. La base del Lean manufacturing es la filosofía de la mejora continua, la eliminación del desperdicio, el control total de la calidad además del aprovechamiento de todo el potencial que se consiga en la cadena de valor y por supuesto la activa contribución de los operadores. (Rajadel & Sánchez, 2011)

La metodología y las herramientas de este sistema se caracterizan por la flexibilidad y la capacidad de adaptar el proceso productivo a la demanda del mercado, así como también el desarrollo de los trabajadores en tener una disciplina, control y compromiso en sus labores.

Para el programa Internacional del Vehículo Motor, (IMVP, por sus siglas en inglés) del Instituto de Tecnología de Massachussets, la palabra Lean se aplica debido a que usa menor espacio de producción, menor inversión en herramientas, menos horas en ingeniería que usaría la industria tradicional para producir un producto. También, la reducción de inventarios, reducción de productos defectuosos y la capacidad de adaptarse para producir una mayor variedad de productos (Krafcik, 1988)

Para James Womack, que también es investigador del IMVP, sustenta que Henry Ford fue uno de los pioneros del Lean Manufacturing, es así que Taiichi Ohno, el padre del Sistema de Producción Toyota, afirma que Ford fue una de las bases para que Toyota desarrollara la metodología y herramientas conocidas ahora como Lean Manufacturing (Womack, 1991).

Taiichi Ohno, define Lean Manufacturing como un sistema orientado a maximizar el potencial de los trabajadores que es el recurso más importante de la compañía. Es transcendental que esta nueva filosofía cale en la gente y así se adapten al cambio, eliminen desperdicios y busquen la mejora continua. Para ello se aplican una serie de herramientas y técnicas que sirven para la lograda la eficiencia de la fuerza laboral (Taiichi Ohno, 1988).

### 1.3. Los principios de Toyota

Jeffrey K. Liker en su obra sobre la claves del éxito de la empresa Toyota describe que el recurso más importante de una empresa es su gente. Plantea catorce principios claves del éxito de Toyota, como se observa en la Figura 1 (Liker, 2004).

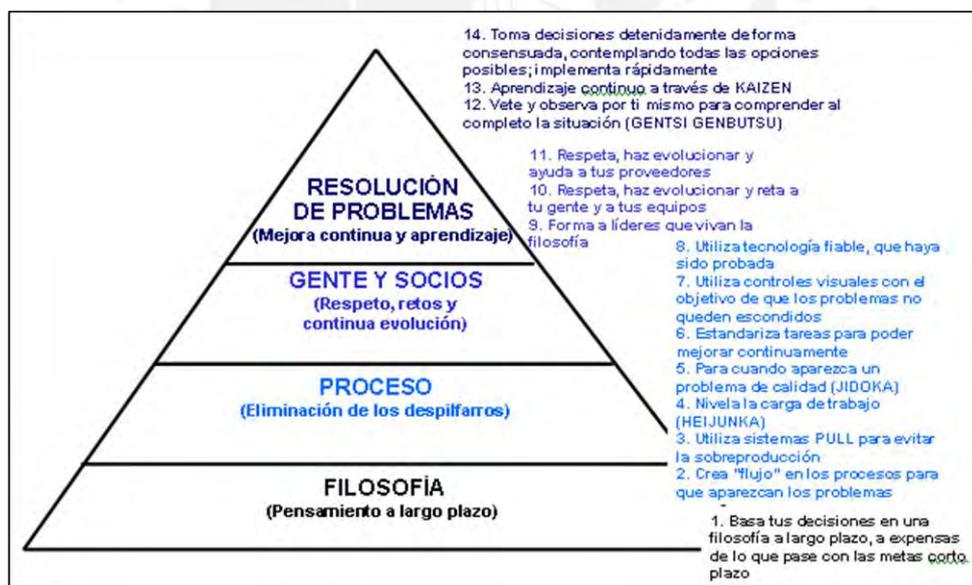


Figura 1: Pirámide "4P" del Modelo Toyota  
Fuente: Jeffrey K. Liker, (2006)

Para Jeffrey K. Liker el éxito del sistema Toyota puede aplicarse a cualquier tipo de industria y para mejorar cualquier área de la empresa como producción, logística, marketing, gestión como también el desarrollo de productos (Liker, 2004).

## I. Filosofía a largo Plazo

1. Las decisiones que tome la compañía se deben basar en una gestión a largo plazo en vez de objetivos de corto plazo.

## II. Un eficiente proceso generará un eficiente resultado

2. Implantar un flujo continuo que permita que los problemas salgan a la superficie
3. Utilizar un sistema Pull para impedir la sobreproducción.
4. Nivelar la producción.
5. Desarrollar una metodología de solución de los problemas de calidad (calidad a la primera).
6. Estandarizar tareas y procedimientos, esto es fundamental para la mejora continua y del empoderamiento de los trabajadores.
7. Implementar los controles visuales para que no tener problemas escondidos.
8. Aplicar solamente tecnología confiable y comprobada que ayudará al personal y al proceso.

## III. Agrega valor a la compañía mediante el desarrollo de tu personal y socios.

9. Formar líderes que conozcan el trabajo, comprometidos con la filosofía y enseñen a los demás.
10. Desarrollar gente excepcional y equipos comprometidos con la filosofía de la organización.
11. Respetar la cadena de proveedores y socios haciéndolos evolucionar y ayudándolos a una constante mejora.

## IV. Buscar constantemente la solución de los problemas en base de la causa raíz lleva al aprendizaje

12. Ver y observar por ti mismo para entender el fondo de una situación.
13. Tomar decisiones pausadamente en base a todas las posibles alternativas e implementa las decisiones al breve plazo.
14. Ser una organización en constante aprendizaje a través de la reflexión y de la mejora continua.

(Liker, 2004).

### **1.4. Objetivo y principios de Lean Manufacturing**

El objetivo de Lean Manufacturing es simplificar los procesos, modificar el flujo actual para incrementar el tiempo de las actividades que generan valor, hacerlos más ligeros, con un mejor flujo, más rápido y con menores costos para los clientes.

Seguidamente se detallan algunas características de este sistema (Womack, Jones & Ross, 1991).

- Flexibilización de la producción con variedad de productos.
- Personal calificado, con capacidad de hacer diferentes funciones y trabajar en equipo.
- Empoderamiento de todos los trabajadores.
- Estandarización del trabajo.
- Aplicación de sistemas Pull.
- Fabricación de pequeños lotes con bajo costo.
- Conseguir una alta calidad, cero defectos.
- Ejecutar la mejora continua en todos los procesos de la organización.
- Desarrollar proveedores confiables y de alta calidad.

Lean Manufacturing se base en menos inventarios, menos espacios, menos fuerza de trabajo y menos tiempo de alistamiento (Ohno, T. 1988). A diferencia del sistema de producción en masa, Lean Manufacturing logra una mayor flexibilidad en la producción y mejor calidad en el producto, así mismo un mayor empoderamiento y contribución del personal, todo esto con la utilización de menos recursos (Pettersen, 2007).

Este sistema se fundamenta la eliminación de toda clase desperdicio. El desperdicio o Muda es todo lo que no agrega valor para el cliente, esta puede ser una tarea o función que consume recursos en el proceso, pero que no genera ningún valor para el cliente. (Shingo, 1993) define siete tipos de Muda.

1. Sobreproducción
2. Tiempo de espera
3. Transporte innecesario
4. Sobre procesamiento
5. Exceso de Inventario
6. Movimiento innecesario
7. Producto Defectuoso

De acuerdo a Womack (2005), algunos de los beneficios de implementar un sistema lean son.

- Duplicar la productividad laboral
- Disminuir los fases de maduración en un 90%
- Disminuir en un 90% los inventarios
- Disminuir las fallas a la mitad
- Disminuir los accidentes en el trabajo a la mitad
- Disminuir el tiempo de lanzamiento a la mitad
- Aumentar las variedades de los productos dentro de una misma familia con un mínimo de incrementos de costos. (Womack, 2005).

#### **1.4.1.Principios de Lean Manufacturing**

James Womak y Daniel Jones, fueron los investigadores que usaron por primera vez el término Lean Manufacturing para denominar al sistema de producción de Toyota, propusieron cinco principios para esta filosofía. Estos principios se enumeran a continuación (Womack & Jones, 2005).

- Es cliente final quien define el valor. Para el Lean Manufacturing valor es todo aquello que el cliente está dispuesto a pagar. Es decir el valor lo genera el productor en base la perspectiva del cliente, esta es la razón de existir para los productores (Womack & Jones, 2005).
- La cadena de valor debe cumplir con tres requisitos, primero determinar la solución de problemas que se presentan desde el desarrollo del producto hasta la entrega del producto al mercado, la gestión de la información para llevar las órdenes de pedido hasta el despacho de los productos y el uso de las materias primas hacia un producto terminado que cumpla con las especificaciones del cliente. Una buena identificación de la cadena de valor permite eliminar las ineficiencias y desperdicios (Womack & Jones, 2005).
- Con la definición de la cadena de valor se debe seguir reduciendo actividades que no dan valor y asegurar que las actividades que si agregan valor fluyan de forma continua con pequeños lotes de producción (Womack & Jones, 2005).

- Asimismo la planificación de la producción debe basarse en la demanda y necesidad del cliente (sistemas pull) (Womack & Jones, 2005).
- La mejora continua (kaizen) implica que mediante los cuatro principios anteriores hacer que el valor fluya más rápido es decir buscar la perfección de los procesos (Womack & Jones, 2005).

### **1.5. Herramientas y técnicas de Lean Manufacturing**

Las principales herramientas que utiliza Lean Manufacturing para la reducción de los desperdicios son (Rivera, 2008; Hirano, 1991; Villaseñor & Galindo, 2007).

- 5 s. Es una técnica basada en el orden y la organización de las actividades del trabajo, con el fin de reducir, eliminar y prevenir los desperdicios (Rivera, 2008; Hirano, 1991; Villaseñor & Galindo, 2007).
- Flexibilización del trabajo. Está basado en la aplicación celdas de trabajo los cuales sirven para producir de productos de características similares. Las celdas incluye operadores multifuncionales consiguiéndose reducción de inventarios en el proceso, mejoras en la calidad y mayor flexibilidad frente a la demanda (Rivera, 2008; Hirano, 1991; Villaseñor & Galindo, 2007).
- Jidoka. La automatización que consiste que el proceso tenga un autocontrol previniendo los errores humanos y de las maquinas con la finalidad de garantizar una alta calidad del producto y del proceso (Rivera, 2008; Hirano, 1991; Villaseñor & Galindo, 2007).
- Benchmarking, consiste en comparar procedimientos, actividades, productos de una organización versus las organizaciones líderes de la industria. Esto es importante para la mejora continua del proceso (Rivera, 2008; Hirano, 1991; Villaseñor & Galindo, 2007).
- TPM. Se basa en el mantenimiento autónomo que tiene como objetivo incrementar la confiabilidad y disponibilidad de las maquinas, para así disminuir los paros inesperados que puedan paralizar el flujo en el proceso (Rivera, 2008; Hirano, 1991; Villaseñor & Galindo, 2007).

- Estandarización del trabajo. Esta se debe basar en la mejora continua, se logra elaborando procedimientos de las actividades del proceso con el objetivo de disminuir la variabilidad en las operaciones (Rivera, 2008; Hirano, 1991; Villaseñor & Galindo, 2007).
- Poka-yoke. es una herramienta elaborada por el investigador japonés Shigeo Shingo en la década de los sesenta que significa "a prueba de errores". Mediante esta técnica se busca eliminar posibles errores deteniendo el proceso de producción antes que esta ocurra (Rivera, 2008; Hirano, 1991; Villaseñor & Galindo, 2007).
- Value Stream Mapping. Es una gráfica en donde se representa el flujo del producto desde que se pone la orden hasta que es entregado al cliente. En este diagrama se van identificando los desperdicios que se presentan en todo en proceso (Rivera, 2008; Hirano, 1991; Villaseñor & Galindo, 2007).
- JIT. Just in time es una filosofía de producción cuyo fin es cumplir con las necesidades del cliente mediante la producción de los productos solo cuando son requeridos y solamente en la cantidad que defina la demanda. Con esto se logra evitar tener máquinas, equipos y personas ocupadas en la fabricación de productos que no se necesitan. También se basa en cumplir con tiempo de entrega de los bienes según la necesidad del cliente. Sus herramientas de implementación son los sistemas pull y kanban (Rivera, 2008; Hirano, 1991; Villaseñor & Galindo, 2007).
- Heijunka. Esta técnica permite adaptar a la producción a la demanda de los clientes, tiene como objetivo la entrega de los productos al cliente pero con pequeños lotes de producción (Rivera, 2008; Hirano, 1991; Villaseñor & Galindo, 2007).

#### **1.5.1. Value Stream Mapping (VSM)**

El Value Stream Mapping es un esquema que permite hacer un mapeo de la cadena de valor del proceso productivo. La cadena de valor está definida por todas las actividades que son necesarias (tanto las que dan valor o no dan valor añadido) para que pase por los dos principales flujos.

- Flujo de producción que empieza con las materias y finaliza en el cliente.
- Flujo de diseño que empieza con concepto o prototipo del producto finaliza con el lanzamiento al mercado.

En conclusión, el VSM es una técnica que ayuda a la organización a poder ver su cadena de suministro y analizar el flujo de materiales y de información del producto.

Con el VSM se detecta los desperdicios que hay en el proceso. Una vez identificados los desperdicios mediante un grupo de trabajo con personal involucrado en el proceso se dan iniciativas para hacer más eficiente el proceso. Para Womack se deben ejecutar los siguientes pasos (Womack, 2005).

PASO 1. Seleccionar el producto o la familia de productos a analizar. El grupo de trabajo debe identificar correctamente el producto o familia de productos que serán analizados, se recomienda una matriz, en las columnas de la matriz se colocan los procesos y en las filas los productos. Luego a cada producto se va relacionando con los procesos que se le aplican. De esta manera identificamos los productos que son familia por tener procesos similares (Womack, 2005).

PASO 2. Elaborar el VSM Actual. El VSM utiliza una serie de iconos estandarizados para identificar cada actividad del proceso, Mediante estos símbolos se ve elaborando el mapeo de la situación actual identificando el flujo del producto y el flujo de la información (Womack, 2005).

PASO 3. Analizar cómo debería ser el VSM futuro. Para poder lograr determinar un VSM futuro se debe ejecutar lo siguiente (Womack, 2005).

- Calcular el Takt time para que esté acorde a la necesidad del cliente. Todo el proceso de producción debe ir al ritmo del cliente pone el ritmo de producción para así disminuir los tiempos de paro entre proceso de set up y reducir los desperdicios.

$$Takt\ Time = \frac{Tiempo\ disponible\ de\ trabajo}{Tiempo\ de\ demanda}$$

- Para las líneas de producción de debe implantar un flujo continuo. El flujo continuo en la producción nos va permitir reducir, espacios, reducir trabajos,

combinar procesos, formar celdas de producción y eliminar el trabajo lote por lote el cual genera esperas.

- En casos cuando no es posible instaurar flujo continuo en el proceso se debe optar por implementar “supermercados” de reposición.
- Todo el proceso productivo debe ir al ritmo de las necesidades del cliente.
- Balancear la línea de producción para eliminar los cuellos de botella, una técnica que ayuda a esto es el panel Heijunka. Las tarjetas Kanban que se ubicaran en los puestos de trabajo para sistema pull son colocadas en este panel. En cada cierto espacio de tiempo las tarjetas son retiradas.
- Calcular el tiempo producción de una pieza. Así tendremos el tiempo efectivo de producción y el tiempo de preparación de un equipo para pasar a otro producto. De esta manera se pueden plantear mejoras para reducir los tiempos de cambio. (Womack, 2005).

PASO 4. Elaborar el plan de actividades para implementar la situación futura. Primero se debe identificar las diferencias ente el mapa de valor actual y el VSM futuro. Luego elaborar un plan para ejecutar las nuevas actividades y funciones. Se definen todas las actividades y su secuencia de ejecución. Es importante seguir una la metodología del ciclo PHVA (Planificar, Hacer, Verificar y Actuar) (Womack, 2005).

PASO 5. Ejecutar VSM futuro. Se debe formar un grupo de trabajo donde participe personal involucrado en las diferentes etapas del proceso. De esta forma se tienen diferentes puntos de vista para plantear soluciones a los problemas o formas para hacer las actividades más eficientes. Debe haber un líder en el equipo debe tener autoridad para poner en marcha los cambios planeados (Womack, 2005).

Para el ingeniero Rother las ventajas de la herramienta Lean VSM son (Rother, 1998)

- La grafica VSM actual con la información de tiempos, cantidades, etc. Permite entender mejor la situación presente del flujo de materiales y de la información.
- El equipo de trabajo usará un mismo lenguaje para poder analizar y entender el sistema.
- Las demás herramientas Lean Manufacturing se pueden aplicar en esta técnica..
- El VSM sirve como punto de partida para elaborar un plan de acción para mejorar el proceso productivo. (Rother, 1998)

### 1.5.2. Las 5'S

Las 5'S es una filosofía que implica establecer actividades de orden, limpieza y detección de fallas en el puesto de trabajo, al ser una herramienta de fácil aplicación permite que aplique en un solo individuo, equipos de trabajo o en toda una organización trayendo como resultado un mejor el ambiente de trabajo, mejores condiciones de seguridad para las personas y las maquinas (Rey, 2005).

En Japón tienen como principio que un sistema de producción es eficiente si la planta es impecable en todas las áreas incluyendo a las administrativas. Las maquinas, equipos, materias primas, insumos y herramientas que no se usan solo sirven para estorbar a las actividades operativas, además sin una limpieza apropiada de las maquinas, paredes, pisos y equipos son foco de condiciones inseguras que pueden provocar accidentes. Gracias a esta forma de trabajo resulta más rápido encontrar las herramientas, se evitaría mezclas de productos y generar evitar daños teniendo un impacto positivo en la calidad y el tiempo de entrega de los productos (Gutiérrez, 2004).

Las 5'S derivan de las palabras japonesas, cada palabra tiene un significado transcendental para obtener un lugar digno y seguro donde trabajar. Son cinco palabras las cuales son (Osada, 1991).

- Seiri – organización o clasificación.
- Seiton - orden
- Seiso - limpieza
- Seiketsu - estandarización
- Shitsuke – Concientizar la disciplina

A continuación se desarrolla la implicancia que tiene cada una de estas palabras.

#### Organización

La organización implica eliminar todos los elementos innecesarios en el proceso de producción. Se tiene que clasificar los materiales entre necesarios e innecesarios, para luego eliminar los últimos. Una buena herramienta para hacer esta distinción es el uso de tarjetas, así tenemos se usan tarjetas rojas los elementos que no se utilizan por mucho tiempo, por lo tanto deben desecharse o reubicarse. Para ver el impacto de la

implantación de las 5S's es importante tomar fotografías o grabar videos de la situación anterior y situación actual (Osada, 1991).

#### Orden

El orden involucra organizar los materiales necesarios en el proceso de tal manera sea fácil ubicarlos para su uso. Para lograrlo se puede utilizar señalizaciones en el piso tal como pintar siluetas y contornos del lugar de los materiales, herramientas y puestos de trabajo para su fácil ubicación; usar un código colores para las piezas, herramientas, materiales según la aplicación que se les dan, esto sirve para su fácil identificación (Osada, 1991).

#### Limpieza

Se deben eliminar todos los focos de suciedad para proceder a y mantener los pisos limpios, paredes limpias, limpiar los equipos y máquinas y en general todo el ambiente de trabajo debe mantenerse limpio. Para ello es importante el compromiso del personal involucrado y tener un plan de trabajo para que esta se limpieza se mantenga en el tiempo (Osada, 1991).

#### Estandarización

En esta etapa es donde se debe garantizar que el progreso obtenido en los tres pasos anteriores se mantenga. Para lograrlo se necesita establecer instructivos, procedimientos, documentación y auditorías, en las auditorías se hace uso de listas de verificación (Osada, 1991).

#### Disciplina

Se debe lograr la concientización de todo el personal involucrado en la aplicación de esta nueva filosofía, esto se consigue empleando continuamente las actividades estandarizadas para que se conviertan en una costumbre. La organización se puede apoyar mediante avisos informativos, folletos, paneles visuales, eslogan y un sistema de reconocimientos (Osada, 1991).

Cuando hay un cambio siempre se va encontrar resistencia, algunos ejemplos son los siguientes:

- La producción mantiene su misma capacidad, no debería haber impactos positivos por implementar orden y limpieza.

- Implementar orden y limpieza demanda uso de recursos que hacen que los trabajadores asuman otras funciones.

Con el liderazgo y compromiso de la alta gerencia de la organización se puede desarrollar las 5S's en la empresa.

Con un mercado actual muy competitivo y la globalización ha generado que las organizaciones busquen ser cada vez más eficiente, para esto hacen uso de nuevas tecnologías, metodologías, mejoras de los productos y servicios.

Por tal motivo, las empresas deben buscar nuevas formas ser competitivos en el cambiante mercado global. Para esto, deben dejar los conceptos tradicionales y el estado de confort en las organizaciones y acoger nuevas metodologías que sean más apropiadas para estos tiempos.

Por todo esto la aplicación de las 5S's es el punto de quiebre para el desarrollo de acciones de mejora para garantizar la supervivencia y competitividad de las organizaciones (Hirano, 1991).

Los beneficios que obtendrá la organización con el desarrollo de las 5S's son mejorar la calidad, la mayor variación de productos, confiabilidad en las entregas, disminución de costos, promover la seguridad, incrementar confianza en los clientes y favorecer el crecimiento de la empresa. Otros beneficios que plantea Osada (1991) son.

- Cero defectos produce incrementa la calidad.
- Cero despilfarros reducen los costos.
- Cero cambios de útiles permite la variabilidad de productos.
- Cero reclamaciones aumenta la confianza del cliente y la fiabilidad del producto.
- Cero retrasos incrementa la confiabilidad de las entregas.
- Cero daños promueve la seguridad en el trabajo.
- Cero números rojos conduce al crecimiento de la organización.
- Cero averías aumenta la disponibilidad de uso de equipos.

(Osada, 1991).

### **1.5.3. SMED (cambio rápido)**

El SMED es una herramienta teoría y técnica, el cual esta planteada para ejecutar las proceso de cambio de herramienta y utillaje en un tiempo menor a 10 minutos (Shingo, 1993). El método fue desarrollado por Shigeo Shingo y lo denominó “*Single Minute Exchange of Die*” (SMED).

Cuándo se inició la aplicación del JIT (Just in Time) surgió la necesidad de reducir los tiempos de cambio de utillaje y preparación de máquina, es así que se planteó el sistema SMED como una herramienta importante del sistema Toyota.

Shigeo Shingo, yendo en contra de la metodología vigente en ese momento, señaló que no solo se debe depender de la habilidad de los operarios para los cambios de utillaje sino que se deberían plantear estrategias para mejorar el método de cambio. Es así que Toyota, consiguiendo consigue una gran disminución del tiempo de cambios de utillaje de un periodo de una hora y cuarenta minutos a tan solo tres minutos.

Los principales beneficios que se obtienen con esta herramienta son.

- Lograr fabricar diferentes modelos de productos en la misma línea de producción o maquinaria en el mismo día.
- Disminuir el tamaño del lote de producción.
- Disminuir el tiempo de preparación y el tiempo ganado sea utilización en producir.
- Disminuir el tamaño de los inventarios.

Además de optimizar los tiempos y los costos esta herramienta permite a la organización a tener mayor flexibilidad para adaptarse a los cambios que presenta la demanda del cliente. Asimismo al facilitar la reducción de inventarios los problemas de producción no pueden permanecer ocultos.

Los tiempos que son un despilfarro en el proceso se presentan de la siguiente manera.

- Cuando partes de una máquina que aún no está funcionando son llevadas al área de trabajo.
- Las materia prima se recogen del almacén aun cuando la máquina parada.
- Falta de repuestos y algunas herramientas no son ubicadas cuando se necesitan durante en el cambio de utillaje.

- Excesivos de ajustes y sin un criterio definido.
- Las herramientas, partes de máquina, matrices, etc; no están en condiciones de operación.
- Cuando se para la máquina y recién se trasladan los productos terminados al almacén.

(Shingo, 1993)

Shingo (1993) define seis importantes pasos para disminuir el tiempo de preparación, se describen a continuación.

Diferenciar los procesos de tipo preparación interna de las de tipo externa.

En este paso debemos diferenciar dos clases de operaciones, las que se pueden ejecutar cuando el equipo se encuentra en funcionamiento (externa) con las que necesariamente se tiene que ejecutar cuando el equipo está detenido (interna) (Shingo, 1993).

Convertir las operaciones de preparación de interna en externa

Es el paso más importante de la metodología SMED. Es importante analizar minuciosamente si hay etapas de las operaciones que consideramos internas pero que sin embargo pueden ser modificados para que sean externas. Así se consigue disminuir el tiempo de paro de un equipo (Shingo, 1993).

Utilizar elementos de sujeción que faciliten una rápida intervención

Los pernos con los elementos más comunes que tiene las maquinas, en la operación de intervención de máquinas sin embargo son los que más tiempo toman en ajustar y desajustar es por ello que es importante analizar el reemplazo de pernos por mordazas que son más prácticas, estas usan el método de pera, el método u-slot y el grapado externo (Shingo, 1993).

Estandarizar métodos de trabajo

La estandarización con instructivos y procedimientos ayudaran a disminuir el tiempo de intervención en la maquina (Shingo, 1993).

Mecanización

Se recomienda aplicar procesos mecánicos como sistemas hidráulicos, presión neumática, para ayudar a la disminución del tiempo de preparación. Sin embargo su implantación podría ser costosa (Shingo, 1993).

Aplicar métodos de operación en paralelo

Cuando se interviene en una línea de producción con varios equipos o en una máquina que tiene diferentes lados de preparación, esto implica mayor el tiempo en que el personal pase de un lugar a otro. Para optimizar esta intervención se sugiere colocar otro operador que puede ir trabajando en paralelo en un distinto lugar de la línea (Shingo, 1993).

#### **1.5.4. Benchmarking**

El benchmarking es una herramienta que permite analizar el desempeño de una organización con otra sea competidora o no. Se compara las funciones similares, como por ejemplo la producción, ingeniería, productos, marketing, finanzas, ventas, etc. (Villaseñor & Galindo, 2007). A continuación se clasifican tres tipos de benchmarking.

Tipo 1. Benchmarking interno. Es la que se realiza en la misma organización comparando las diferentes áreas buscando las mejores prácticas.

Tipo 2. Benchmarking competitivo. Se comparan y analizan las actividades de los competidores y es común hacerlo con la empresa líder del mercado.

Tipo 3. Benchmarking funcional o genérico. Se hace un análisis de las mejores prácticas de organizaciones acreditadas de tener óptimos productos y servicios.

El benchmarking se desarrolla en cuatro etapas.

Planificación. Se tiene que seleccionar el proceso o procesos que se compraran y luego identificar que empresas serán usados ejemplos por sus buenas prácticas.

Análisis. Se analiza que tan diferente es el desempeño de nuestra organización con la empresa competidora y determinar cuáles son las restricciones o causas que impiden llegar a su desempeño.

Integración. En esta etapa se definen metas y se gestiona el apoyo de la alta gerencia para que den los recursos para el desarrollo de las actividades.

Acción. Se forman equipos en donde debe participar personas de diferentes áreas y que van ejecutando los cambios, es importante elaborar planes, delegar tareas y hacer seguimiento a las actividades realizadas.

#### **1.5.5. Poka Yoke**

Poka Yoke es una herramienta que ayuda a garantizar calidad de los productos, Shigeo Shingo fue quien desarrollo esta técnica en los años sesentas. Poka Yoke significa "a prueba de errores".

Poka Yoke consiste en detener un proceso productivo antes de que se genere un error, este procedimiento de frenar el proceso se caracteriza por reconocer las causas del error y no permitir que siga el proceso hasta que este causal sea eliminado, es una forma de prevenir errores. Para que esta técnica funcione es primordial detectar todos los posibles causales de error e ir implementando soluciones para que no se repitan, para ello es importante conocer el proceso y hacer participar al personal.

La prevención de un error se hace diseñando dispositivos, instructivos o algún mecanismo que evite que se ejecute el error, estos dispositivos son muy evidentes para que el operador pueda reconocer su error y lo corrija inmediatamente.

Tradicionalmente los errores o fallas son detectados al final del proceso productivo, sin embargo ya poco o nada se puede hacer con un producto defectuosos, lo más eficiente para el proceso es detectarlos anticipadamente y que la inspección de productos cuyo fin es detectar los defectos en el trabajo se pueda desarrollar en pleno proceso.

Las condiciones de las operaciones afectan directamente a las actividades del proceso y al producto final, Por lo tanto la inspección en la producción tiene como función principal el control, es decir una vez generados los errores en una actividad se debe corregir y prevenir que no vuelvan a suceder y así evitar los defectos en el producto.

Según Hirano (2000) el sistema Poka Yoke tiene dos principales funciones.

Función 1. La primera es realizar la inspección del 100% de las piezas producidas.

Función 2. La segunda, si se presentan anomalías se debe dar la respectiva retroalimentación y acción correctiva.

El Poka Yoke presenta ocho principios para las mejoras y los cero defectos. (Hirano, 2000).

- No poner pretextos sino analizar el problema para hallar el cómo hacerlo bien.
- Eliminar todos los errores y defectos inadvertidos.
- Detener el hacer mal un proceso y comience por hacer lo correcto de inmediato.
- Instaurar la calidad dentro del proceso.
- Implementar sus ideas de mejora inmediatamente.
- Trabajar en equipo es más eficiente que el trabajo de una persona.
- Los errores y defectos se reducirán al mínimo si todos trabajan en equipo para eliminarlos.
- Analizar los problemas hasta llegar a la causa raíz.

(Hirano, 2000).

#### **1.5.6. TPM (Mantenimiento Productivo Total).**

Mantenimiento Productivo Total conocido como TPM (por su traducción del inglés Total Productive Maintenance). El TPM se desarrolló en Japón a partir del "mantenimiento preventivo" implementado en la industria de los Estados Unidos (Masaji & Gotoh, 1992)

El TPM es una herramienta que está formada por varias acciones que permiten que una organización sea más eficiente en sus procesos. Es una metodología que elimina de manera sistemática y efectiva las deficiencias en el proceso productivo. Estas mejoras impactan en una mejora en el tiempo de respuesta, disminución de costos, fiabilidad en el abastecimiento y mejorar el conocimiento que posee el personal y la calidad de los productos y servicios finales (Masaji & Gotoh, 1992)

Para Lefcovich (2009) se debe implementar el sistema TPM en toda la empresa, es decir desde la alta gerencia de donde se debe propagar en todos los niveles de la organización. El fin de esta herramienta es logara que los equipos no se detengan de forma innecesaria, es por ello se debe implantar siguiente.

- Las máquinas y equipos no deben trabajar a una velocidad menor a su capacidad
- Las máquinas y equipos no deben generar productos defectuosos o tener las máquinas y equipos trabajando con fallas.
- Eliminar paros de máquina que no den valor agregado.

Con el TPM se logrará incrementar las horas disponibles de los equipo y máquinas, impidiendo que se genere fallas imprevistas y defectos; el objetivo es que el mantenimiento conserve las maquinas actualizada y en óptimas condiciones de operación, para ello se debe trabajar en conjunto con los departamentos de la organización.

Se siguen las siguientes etapas en el TPM.

- Mantenimiento correctivo, corrección de fallas en casos muy puntuales. Mantenimiento autónomo, el operador realiza tareas simples de mantenimiento su máquina.
- Mantenimiento preventivo, se ejecuta un plan con el fin de prevenir posibles fallas por desgaste.
- Mantenimiento predictivo, mediante un análisis de los causales de fallas programa la sustitución de partes críticas
- Mantenimiento proactivo, orientado a actualizar y mejorar las máquinas y equipos.

Para los investigadores Villaseñor & Galindo (2007), para conseguir la implementación de TPM se necesitan tres condiciones.

Condición 1. Para implementar el TPM se requiere involucrar a todo el personal de la organización, pasando por los gerentes, personal de mantenimiento, personal de calidad, ingenieros, etc.

Condición 2. Medir la productividad total del equipo con el indicador OEE (en inglés Overall Equipment Effectiveness), esta se centra seis grandes pérdidas de los equipos (por fallas de los equipos, set up, debido a paros menores, por velocidad reducida, defectos de calidad y reprocesos, y por arranques). Es recomendable hacer esta medición en cada equipo

Condición 3. Estar conscientes que todo equipo un ciclo de vida total es por ello que se deben realizar los programas de mantenimiento y actividades de lubricación, ajuste y limpieza.

El TPM maduro en una organización logra los siguientes beneficios (Lefcovich, 2009).

- Reducción de la pérdida en la productividad de la planta.
- Reducción las horas de paradas en los equipos
- Reducción de costes de mantenimiento.
- Reducción de *set-up* de máquina.
- Incremento de la de horas de productividad.
- Aumento de capacidad de producción.

## **CAPITULO 2. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA**

A continuación se desarrolla toda la información de la empresa de estudio, parte de lo desarrollado en este capítulo está basado en la información pública (historia, misión, visión, productos) que distribuye la empresa tanto en medios impresos como en su página web.

### **2.1. Antecedentes históricos**

La empresa en estudio pertenece a un grupo trasnacional de la industria química y petroquímica, está posicionado como uno de los principales productores de ácido fluorhídrico y es uno de los líderes en la producción de cloro, sosa y PVC (Fuente. Manual del Colaborador 2011 de la empresa).

El Grupo busca crear valor a partir de sus materias primas básicas sal y fluorita mediante te la integración vertical de sus negocios en tres cadenas productivas con el fin de aprovechar sinergias y alcanzar resultados de negocio superiores. Estas tres cadenas de negocios son (Fuente. Manual del Colaborador 2011 de la empresa).

- Cloro-Vinilo, actividad principal producción de resinas de PVC
- Flúor, actividad principal crear productos químicos derivados del el flúor como el ácido fluorhídrico presente en los gases refrigerantes del aire acondicionado.
- Soluciones Integrales, dedicada a la fabricación de accesorios y tuberías de PVC.

(Fuente. Manual del Colaborador 2011 de la empresa).

La empresa pertenece a este grupo empresarial desde marzo del 2007, ubicada en la cadena de soluciones integrales, sin embargo esta empresa fue constituida en el país desde el año 1995 con capitales suizos. El año 1996 inició la construcción de su planta (32 000 m<sup>2</sup>) en la Zona Industrial de El Agustino, Lima; posteriormente en la empresa pasaría a formar parte de un grupo de capitales brasileños.

La empresa cuenta con tres principales procesos productivos.

- Extrusión PVC para la fabricación de tuberías lisas y corrugadas de PVC
- Extrusión PEAD para la fabricación de tuberías lisa de polietileno de alta densidad (PEAD)
- Inyección PVC para la fabricación de accesorios para las tuberías de PVC

Los principales productos se dirigen para dar soluciones para instalaciones de edificación predial, también hacia el sector de infraestructura que son los sistemas públicos de distribución de agua potable, recolección de aguas negras (Alcantarillados) entre otros. Asimismo cuenta con los productos para soluciones Agrícolas con productos de riego por aspersión, riego por compuertas entre otros. Las tuberías de polietileno están dirigidas al sector minero y de telecomunicaciones. Todos estos productos basados en las certificaciones nacionales e internacionales ya que cuenta con la certificación ISO 9001.2008. (Fuente. Manual del Colaborador 2011 de la empresa).

## **2.2. Visión, misión y valores de la empresa.**

La visión es una descripción de qué aspiramos lograr o qué posición pretendemos tener en el futuro; la cual ofrece a todos los que colaboramos en la empresa un sentido de dirección para nuestro trabajo día con día. La misión es la manera en que expresamos qué es lo que necesitamos hacer para alcanzar nuestra aspiración o visión a futuro. Dicho de otra forma, define. qué hacemos, cómo lo hacemos y para quién lo hacemos (Fuente. Manual del Colaborador 2011 de la empresa).

### **2.2.1. Visión**

Ser respetada y admirada mundialmente como una compañía química líder enfocada en generar resultados, contribuir al progreso y mejorar la vida de las personas. (Fuente. Manual del Colaborador 2011 de la empresa)

### **2.2.2. Misión**

Transformar químicos en. productos, servicios y soluciones innovadoras para los diversos sectores industriales, a través de nuestra excelencia operativa y enfoque en las necesidades del mercado, con el propósito de generar valor continuo para nuestros

clientes, colaboradores, socios, accionistas y comunidad, contribuyendo a mejorar la calidad de vida de la gente. (Fuente. Manual del Colaborador 2011 de la empresa).

### **2.2.3. Valores**

Para respaldar la visión y misión, se define los valores que guiarán las actividades de la empresa.

- Liderazgo. Buscamos continuamente impulsar la innovación en nuestros productos, procesos y soluciones, así como generar un impacto positivo en el mercado y en la industria.
- Compromiso. Creemos en la dedicación, el enfoque hacia metas comunes y el trabajo en equipo, para superar las expectativas de nuestros clientes y cumplir los compromisos ofrecidos a nuestros socios, colaboradores y las comunidades de las que formamos parte y en donde operamos.
- Responsabilidad. Actuamos de manera responsable y equitativa en las comunidades en las que participamos. Contribuimos de la mejor manera posible a la preservación del medio ambiente, a través de acciones sustentables.
- Seguridad. La salud y la seguridad de nuestra gente son nuestra prioridad. Nos esforzamos por garantizar la seguridad en nuestras instalaciones, en las comunidades en donde operamos y en el medio ambiente.
- Resultados. Creemos en la eficiencia y la excelencia operacional y financiera; en ofrecer resultados positivos con un crecimiento sostenido, y productos que marcan la diferencia.
- Integridad. Estamos comprometidos a ser un actor ético, honesto y confiable, que actúa de manera apropiada y respetuosa con sus colaboradores.

(Fuente: Manual del Colaborador 2011 de la empresa).

Tanto la visión, misión y valores de la empresa tiene una relación estrecha que nos permite colegir que la organización tiene sus objetivos claros y orientados a resultados económicos respetando la comunidad donde desarrolla sus actividades.

### **2.3. Definición de negocio**

La empresa está orientada a atender al sector de la construcción mediante soluciones integrales que ofrece cada tipo de productos, tanto en el área de predial (uso en viviendas), infraestructura (saneamiento, proyectos inmobiliarios), agricultura y minería (tuberías de polietileno) satisface la necesidad de tener un sistema de tuberías y conexiones para el transporte de fluidos o de elementos como cables eléctricos o

telecomunicaciones básicos para toda edificación que se desea construir. Asimismo cada uno de los vendedores ofrece la asesoría técnica adecuada para seleccionar la mejor opción para el proyecto que tiene el cliente, esto tiene más énfasis en el sector agricultura y minería. Se satisface las necesidades de los clientes ofreciendo productos de alta calidad, producidos cumpliendo los estándares técnicos solicitados y pasando por rigurosas pruebas de calidad y respetando los procedimientos establecidos por las certificaciones obtenidas por la empresa. La empresa busca la estrategia de lograr un alto valor percibido pero asimismo busca la reducción de costos en su proceso.

## **2.4. Clientes**

La empresa segmenta su mercado y ofrece productos y servicios distintos, según las necesidades de cada sector, las cuales no necesariamente son iguales o parecidas, así tenemos los siguientes tipos de cliente.

### **2.4.1. Clientes sector predial**

Corresponde a los centros de distribución de materiales de construcción como las ferreterías y tiendas de mejoramiento del hogar, son los que tienen mayor contacto con el cliente masivo satisfaciendo sus necesidades de contar con un sistema de tuberías tanto para agua, desagüe o electricidad en su vivienda y obtiene la información de la marca mediante la publicidad televisiva o recomendación de la persona que hará los trabajos en su predio.

### **2.4.2. Empresas constructoras de vivienda e infraestructura**

Conformadas por las compañías dedicadas a la construcción de grandes proyectos, e incluye indirectamente a el gobierno central, el gobierno regional y los gobiernos locales de todo el país que buscan mejorar el saneamiento de su comunidades. Estos clientes pueden contactar con los vendedores o por iniciativa propia los vendedores se acercan a sus establecimientos, asimismo estos clientes pueden contactar con los grandes distribuidores.

### **2.4.3. Las empresas mineras, agroindustriales y comunidades campesinas**

Son otros sector muy importante, la empresa les ofrece soluciones integrales para cada proyecto que ellos quieran iniciar, se cuenta con asesoría técnica lo que permite orientar al cliente en seleccionar el mejore producto para satisfacer sus necesidades.

De lo descrito anteriormente podemos concluir que la empresa segmenta su mercado y ofrece productos y servicios distintos, según las necesidades de cada sector, las cuales no necesariamente son iguales o parecidas, esto también se ve reflejado en el tipo de vendedores que tiene la empresa pues para cada sector existe un vendedor especialista.

## 2.5. La organización

En la empresa cuenta con 475 colaboradores repartidos en las siete áreas, siendo el área de Operaciones y Logística donde se concentra el 80% del personal de toda la empresa. La empresa está organizada según el organigrama que se presenta en la figura 2.

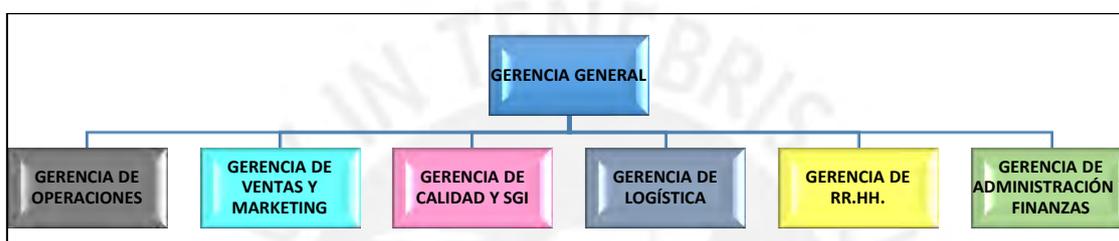


Figura 2: Organigrama de la Empresa  
Fuente: La empresa (2013)

La empresa tiene una departamentalización funcional, es decir esta agrupada por las funciones que desempeña cada área. Las funciones de cada área están bien definidas asimismo se tiene un alto nivel de jerarquización. Así tenemos las actividades de cada área.

- Gerencia general. La gerencia está orientada en generar mayor rentabilidad y ver la perspectiva del mercado para expandir y consolidar los productos de la empresa, apuntando a que se obtenga productos de alta calidad a precios razonables, que satisfagan las necesidades de los clientes.
- Gerencia de operaciones. Operaciones se conforma por el área de mantenimiento que vela por que los equipos y la infraestructura de la empresa este en óptimas condiciones de funcionamiento asimismo de planificar el plan de mantenimiento preventivo, el área de producción que abarca la jefatura y supervisión de los procesos productivos (mezclas. Molinos, extrusión, e inyección), la ingeniería de los procesos para la mejora continua y el mayor rendimiento de los equipos. Administración de la producción que vela por el cumplimiento del plan de producción, el abastecimiento de materiales, el

correcto uso de los materiales, controlar los indicadores históricos de la planta y generar reportes informativos. También Operaciones revisa los proyectos dirigidos a planta, el desarrollo de nuevos productos, inversiones en equipos. La tesis se centrara en está gerencia en el área de mezclas y molinos.

- Gerencia de ventas y marketing. Ve todo lo relacionado a la expansión del mercado, participar de ventas a distribuidores, licitaciones, nuevos mercados y clientes, asimismo recogen la información de los requerimientos del cliente y forman parte para el desarrollo de nuevos productos. También realizan estudio del mercado, proyecciones de la demanda y la promoción de los productos. En esta área también está el servicio de post venta.
- Gerencia de calidad y SGI. Está orientado a velar que cada producto terminado cumpla con las especificaciones técnicas de dimensiones, resistencia y utilización, asimismo es responsable de controlar y hacer cumplir de los procedimientos generados por la trinorma (9001-14001-18001).
- Gerencia de logística. Están orientados a ser más eficiente la cadena de suministro, se encargan de negociar las compras de los insumos y otros requerimientos que la empresa así como su recepción y almacenaje, en esta área esta planeamiento y control de la producción generar al plan de producción de acuerdo a los requerimientos de ventas y la política de inventarios de la empresa, Logística también esta cargo del almacenaje y distribución de los productos terminados.
- Gerencia de recursos humanos. Se encarga del reclutamiento del personal asimismo del pago de salarios al personal, además generar un clima laboral óptimo.
- Contraloría, administración y finanzas. Esta área abarca lo que es finanzas y créditos (financiamiento para la empresa y crédito a clientes), contabilidad (manejo de los costos de las área, manejo del presupuesto asignado, etc.), tecnología de la información (soporte de SAP y equipos tecnológicos), área legal (ve la normativa tributaria, laboral, de licitaciones y demás en la que la empresa se debe establecer) y contraloría (ve que se cumplan con las políticas de la empresa y el adecuado uso de los recursos asignados a cada área).

## **2.6. Productos**

La empresa ofrece productos acorde al tipo segmentación del cliente, así tiene productos para predial (uso en viviendas), infraestructura (saneamiento, proyectos inmobiliarios), agricultura y minería (tuberías de polietileno).

### **2.6.1. Predial**

Se orienta a la venta de tuberías, accesorios y materiales necesarios para la red transporte de agua potable, aguas servidas y conducción del cableado eléctrico en viviendas, está a su vez se divide en.

- Línea Agua Fría, tuberías y accesorios para transporte de agua potable. Fabricadas bajo la norma NTP 399.002 (pegado) y NTP 399.166 (roscado)
- Línea Agua Caliente Agua Caliente (CPVC), Las tuberías y accesorios CPVC sirven para la conducción de agua potable a hasta una temperatura de 82 °C, cumple con lo establecido en la norma ASTM-D 2846
- Línea Sanitaria Desagüe, Accesorios y tuberías fabricadas cumpliendo la norma NTP 399.003.
- Línea Eléctrica Eléctrico, Para conducción de cableado eléctrico cumpliendo con la norma NTP 399.006
- Línea Soldadura, las soldadura líquida PVC y soldadura Líquida CPVC utilizadas para la instalación de tuberías y accesorios. Esta línea de productos es importada de otras de las filiales colombianas y brasileñas, se rigen bajo las normas ASTM D-2564, NTP399.090 y ASTM 493.

### **2.6.2. Infraestructura**

Conformado por tuberías de PVC de Junta Segura con anillos de caucho y almas de acero para la seguridad de una correcta instalación redes públicas de agua potable y alcantarillado, incluye tuberías de PEAD para el transporte de aguas servidas asimismo ductos para líneas de comunicación y geosintéticos. Se subdivide en las siguientes líneas de producto.

- Línea Agua Potable, tuberías con sistema junta segura (NTP ISO 1452), tuberías sistema 3S con una capacidad hidráulica mayor a la tradicional (NTP ISO 4422) y Acueductos PEAD con alta flexibilidad y resistencia a la corrosión, impacto y a la mayoría de productos químicos, útil en terrenos difíciles (NTP ISO 4427).

- Línea alcantarillado, cuenta con tuberías de alcantarillado sistema junta segura (NTP ISO 4435), de sistema 3S (NTP ISO 4435), Alcantarillado PEAD (NTP ISO 4427) y tuberías de alcantarillado corrugado para terrenos difíciles.
- Línea Comunicaciones, Tuberías de polietileno de alta densidad, flexibles y resistentes fabricadas bajo la norma.
- Línea Geosintéticos, Geotextiles correspondiente a la norma ASHTO M288 y geomembranas de la norma ASTM D 5199, usados para la permeabilidad de suelos, la empresa los compra de una filial peruana que pertenece al mismo grupo empresarial.

### 2.6.3. Agrícola

Se ofrece tuberías de la norma NTP ISO 4422 para soluciones de conducción y riego de agua, con un asesoramiento técnico especializado.

### 2.6.4. Minería

Se comercializan tuberías de polietileno de alta densidad, geosintéticos y tuberías PVC minero de alto Impacto para su uso en las actividades mineras.

En las Figuras 3, 4 y 5 se presentan algunos productos comercializados por la empresa.



Figura 3: Tubería de presión 110 mm para agua potable con anillo de caucho

Fuente: La empresa (2013)



Figura 4: Tuberías predial, sanitaria y para agua potable  
Fuente: La empresa (2013)



Figura 5: Accesorios Uniones universales 1/2"  
Fuente: La empresa (2013)

## 2.7. Operaciones industriales

En la figura 6 se resume las áreas y operaciones que realiza la empresa para generar productos terminados resaltando las áreas de estudio en el presente trabajo (mezclas y molinos).

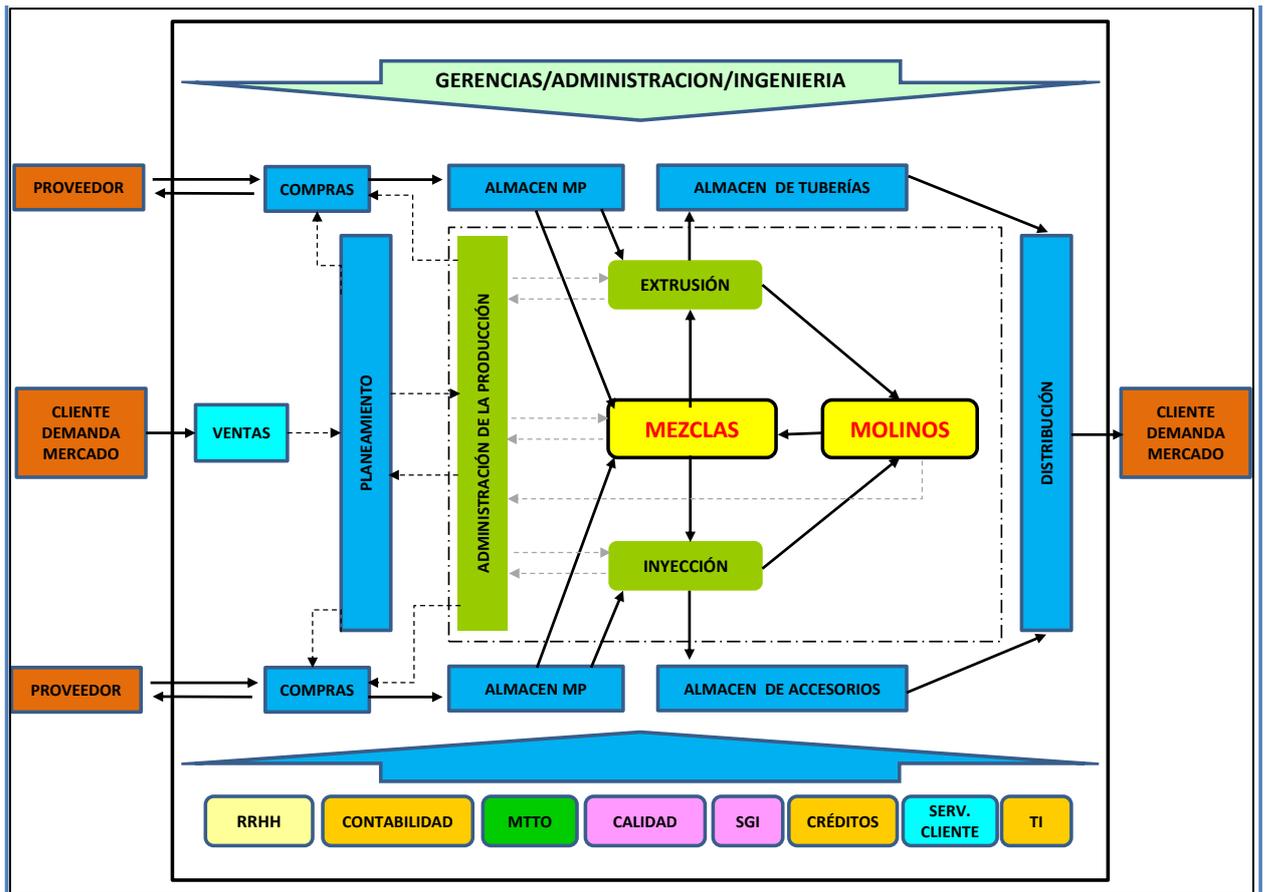


Figura 6: Diagrama de Procesos de la empresa  
Fuente: La empresa (2013)

### 2.7.1. Área de operaciones.

El área de operaciones es la encargada de planear, organizar, dirigir y controlar las actividades productivas de la organización y garantizar la continuidad de los mismos siguiendo las políticas de la empresa. El área está organizada de la siguiente manera representada en la figura 7.



Figura 7: Organigrama del Área de Operaciones  
Fuente: La empresa (2013)

Cada departamento presenta las siguientes funciones:

- Extrusión y taller de procesos especiales, en esta área de elabora mediante el proceso de extrusión tuberías de PVC y PEAD, es la principal actividad productiva de la empresa que cuenta con mayor espacio físico y mayor cantidad de personal y maquinaria, es el área que fabrica mayor tonelaje de productos terminados. A esta área también se ubica el taller de procesos especiales que realiza accesorios de PVC y PEAD mediante proceso de termoformado.
- Inyección, en esta área de elabora accesorios de PVC mediante el proceso de inyección, es la segunda principal actividad productiva de la empresa.
- Mezclas y molinos, es responsable de la elaboración de compuestos utilizados en el proceso de extrusión e inyección, asimismo del manejo y reutilización del scrap.
- Mantenimiento, encargado de garantizar que se mantenga en óptimas condiciones los equipos y maquinarias utilizadas en los procesos productivos.
- Proyectos, tiene que una de sus principales funciones el diseño y fabricación de herramientas necesarios para la elaboración de productos nuevos. También es encargado de realizar los cambios de formatos, pasar de la fabricación de un producto a otro.

- Administración de la Producción, es un área que reporta a las jefaturas de extrusión inyección y Mezclas. Se encarga de la parte administrativa del área de producción, coordinaciones con diferentes áreas de la empresa. Dirigir y controlar la ejecución del programa de producción semanal y de las actividades relacionadas directa e indirectamente al proceso productivo. Administrar la información de los procesos productivos y elaboración de informes e indicadores.

### **2.7.2. Procesos productivos.**

A continuación se presenta los principales procesos productivos de la empresa.

- Proceso de extrusión, este proceso permite la elaboración de tuberías de PVC y PEAD.

Extrusión PVC, Todo el proceso de extrusión es de manera continua. Por medio del dosificador el compuesto sale de los silos y alimenta a la extrusora, en forma constante. Una vez el material en la extrusora se inicia el proceso de extrusión donde plastifica el PVC. Una vez que el compuesto se uniformiza va siendo transportada por un tornillo sin fin hacia el cabezal en donde se realiza la formación de la masa plastificada. Formándose una manda con diámetro y espesor dados por el cabezal.

La manga de la tubería pasa a la tina de vacío y enfriamiento donde toma consistencia y se refrigera mediante un sistema de agua helada. Luego la manga es rotulada y cortada a la longitud determinada, conforme va saliendo la tubería.

Dependiendo de las características técnicas del producto se acampanan las tuberías con unión riber o unión flexible, la campana de la tubería sirve para el acoplamiento o embone entre estas.

Las tuberías se agrupan según sea el caso y se amarran con rafias después se registran (cantidad y kg.) En sistema en donde se genera un vale el cual es sellado por control de calidad. Copia del vale es entregado a personal de almacén junto con la tubería para ser almacenado. Los productos no conformes (scrap) se registran en sistema (kg.) en donde se genera un vale, copia de este vale se entrega a personal de molinos junto con el físico. A continuación en la Figura 8 el diagrama de operaciones del proceso (DOP).

### Diagrama del Proceso de Extrusión PVC

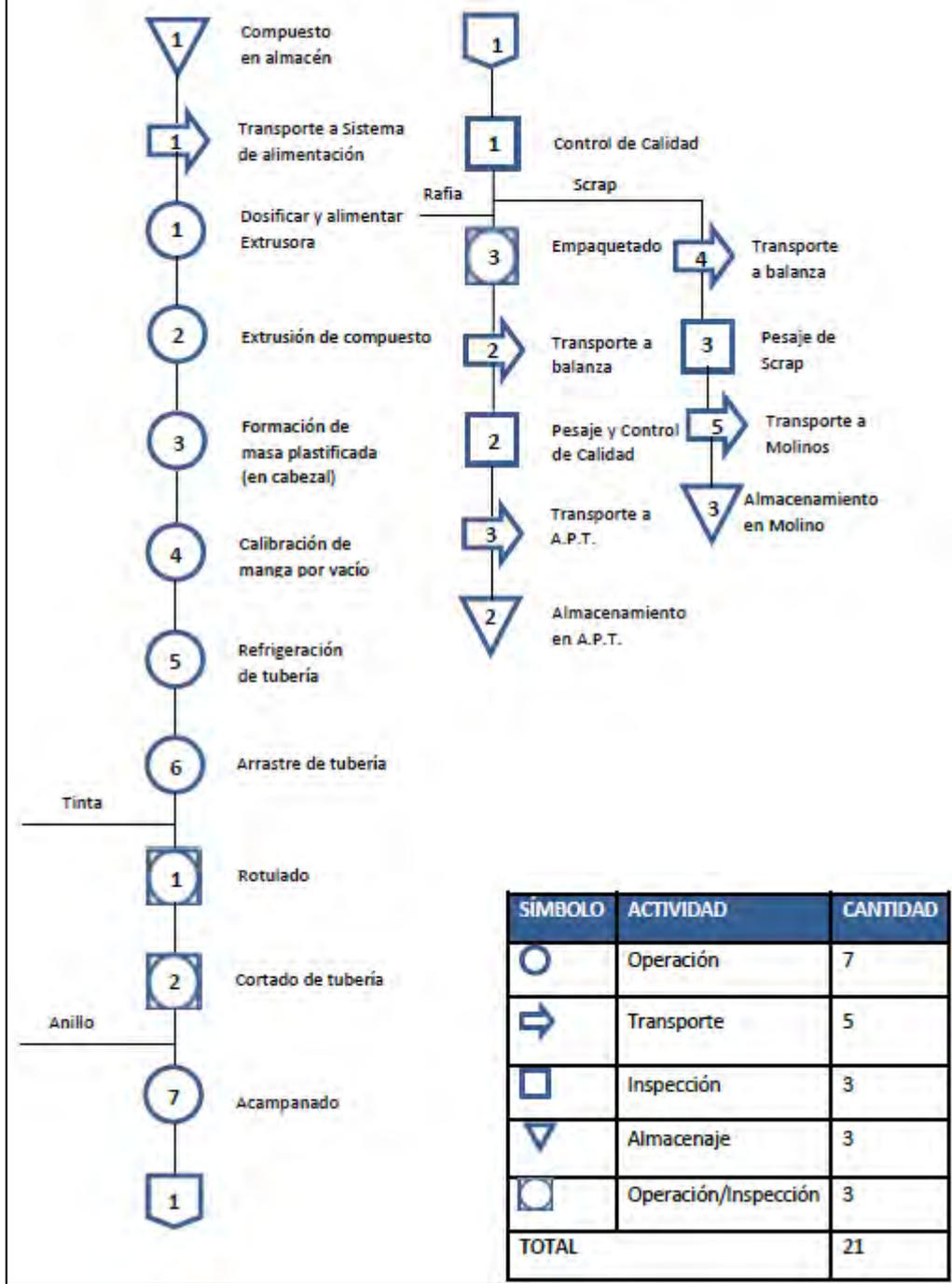


Figura 8: DOP del proceso de extrusión PVC  
Fuente: La empresa (2013)

En las figuras 9 y 10 se presentan algunos equipos del proceso de extrusión PVC



Figura 9: Línea de Extrusión Completa  
Fuente: La empresa (2013)



Figura 10: Líneas de producción EXT PVC  
Fuente: La empresa (2013)

Extrusión de PEAD, es similar al proceso de extrusión PVC, inicia cuando el compuesto pasa de manera continua a un secador y seguidamente pasa a la tolva de alimentación de la extrusora.

En la extrusora mediante alta temperatura se plastifica el compuesto, luego va siendo transportada por un tornillo sin fin hacia el cabezal en donde se realiza la formación de la masa plastificada. Se forma una manga con diámetro y espesor dados por el cabezal.

La manga de la tubería pasa a la tina de enfriamiento donde se refrigera mediante un sistema de agua helada. Luego la tubería es rotulada y cortada a la longitud determinada. Existen algunos productos que su presentación es en rollos por lo que pasan por una etapa de enrollado

Las tuberías de polietileno se les realiza un chaflán y luego se registran (cantidad y kg.) en sistema en donde se genera un vale el cual es sellado por control de calidad. Copia del vale es entregado a personal de APT junto con la tubería para ser almacenado. Los productos no conformes (scrap) se registran en sistema (kg.) en donde se genera un vale, copia de este vale se entrega a personal de molinos junto con el físico. En la figura 11 se aprecia el diagrama de operaciones del proceso (DOP) de extrusión PEAD y en la Figura 12 algunos de sus equipos.

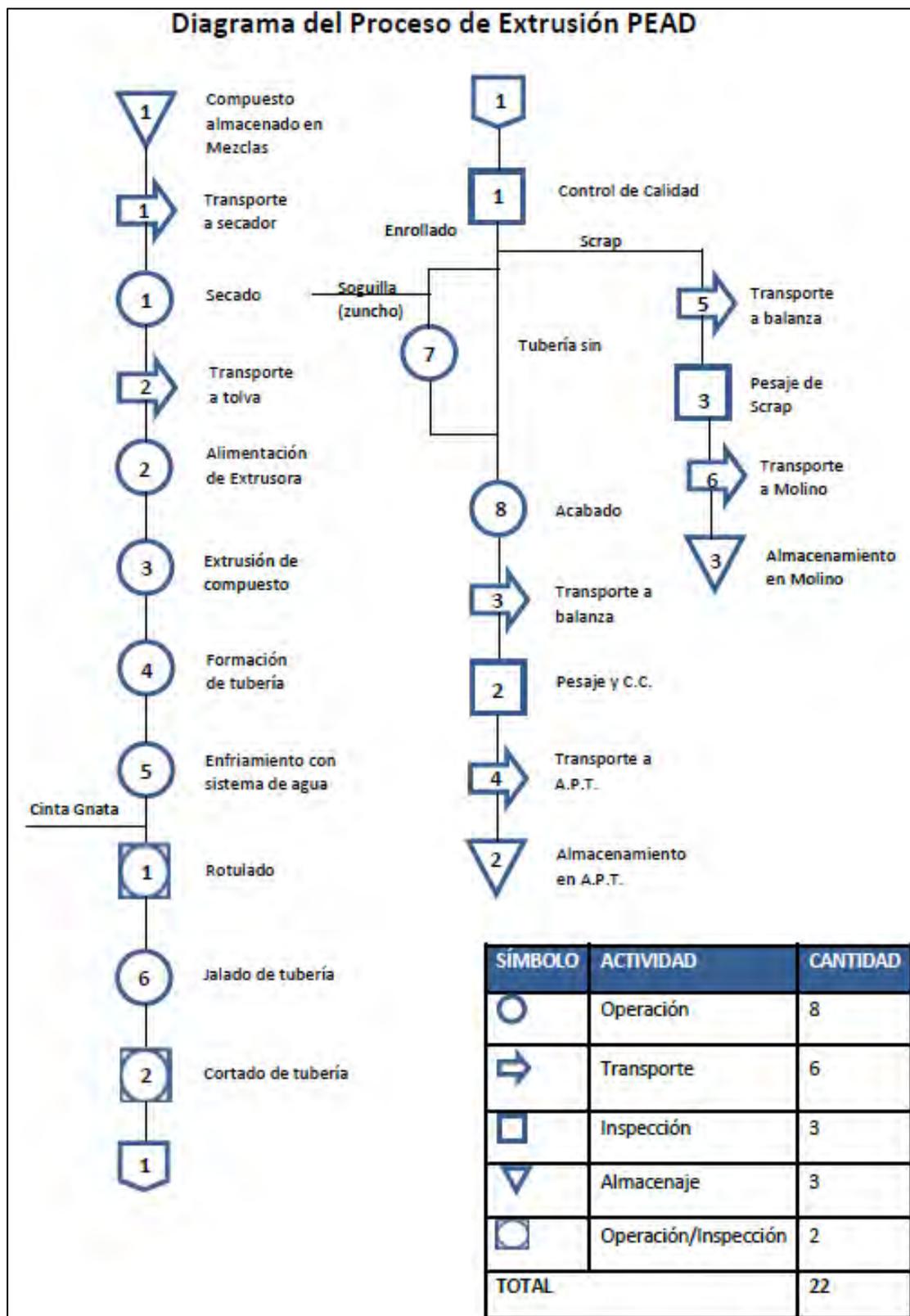


Figura 11: DOP del proceso de extrusión Polietileno  
Fuente. La empresa (2013)



Figura 12: Línea de producción Extrusión Polietileno  
Fuente: La empresa (2013)

- Proceso de inyección. En este proceso de manufactura se elaboran los accesorios de inyección, La inyectora presenta tolvas de alimentación donde se dosifica el compuesto pellet. Una vez en la inyectora el compuesto se calienta hasta plastificarse homogéneamente.

Luego el material ingresa al molde donde toma la forma del producto, el molde tiene de una a más cavidades. Una vez terminado el proceso de inyectado en el molde, este se abre y los accesorios unidos mediante canales caen en una bandeja. Una vez enfriados se procede acortar los canales y dejar solo el accesorio. El material de canales se conoce como scrap de canales o sprut. Según su lista de empaque se va embalando los accesorios para posteriormente ser registrados en sistema en donde se genera un vale el cual es sellado por control de calidad. Copia del vale es entregado a personal de APT junto con los productos para ser almacenado.

Los productos no conformes (scrap) y sprut se registran en sistema (kg.) en donde se genera un vale, copia de este vale se entrega a personal de molinos junto con el físico. A continuación la representación del DOP en la Figura 13 y en la Figura 14 la imagen de las máquinas de la planta de inyección.





Figura 14: Planta del proceso de Inyección  
Fuente: La empresa (2013)

- Proceso de mezclas

En este proceso se junta las diversas materias primas en una mezcla homogénea denominada compuesto la cual es utilizada en los procesos de extrusión e inyección. Se inicia el proceso con la preparación de los paquetes de aditivos de acuerdo a fórmulas entregadas por el área de Calidad, entre los componentes de los aditivos está el pigmento que dará el color característico al compuesto.

Estos paquetes son mezclados con resina de PVC, extrusión o inyección, según sea el caso, además de Carbonato de Calcio, tanto la resina y el carbonato de calcio previamente en sido almacenados en silos. A la mezclas de aditivos, resina y carbonato se le agrega estabilizantes y scrap pulverizado proporcionado por el proceso de molino. Una vez obtenido los compuestos son almacenados en silos los cuales son distribuidos mediante un sistema automatizado a las líneas de extrusión PVC y mediante Big bag al área de extrusión polietileno e inyección.

A continuación en la Figura 15 la representación de DOP. En las Figuras 16 y 17 imágenes de los equipos de mezclado.

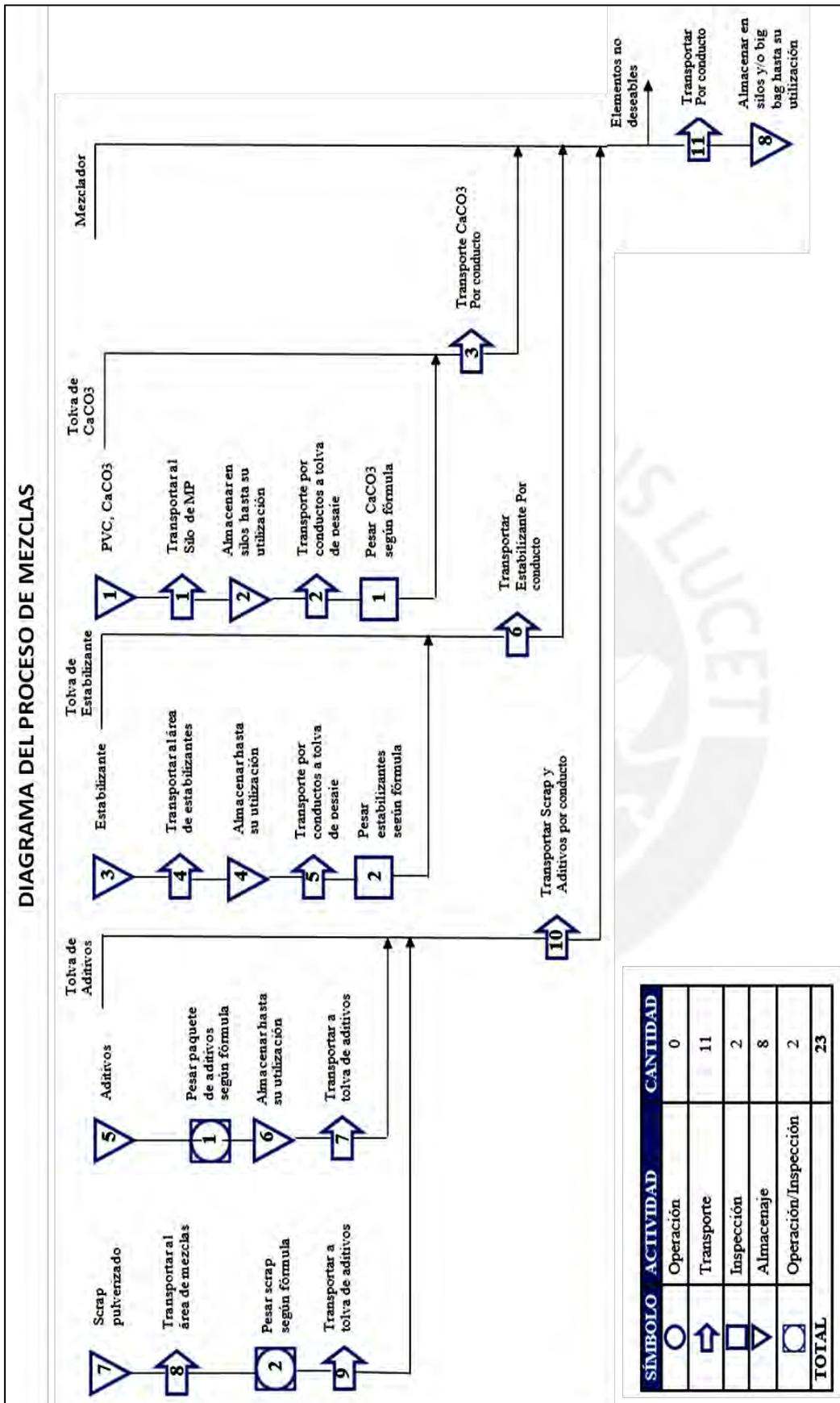


Figura 15: DOP del proceso de Inyección PVC  
Fuente: La empresa (2013)



Figura 16: Equipos de Mezclado  
Fuente: La empresa (2013)



Figura 17: Silos de Almacenamiento de Compuestos  
Fuente: La empresa (2013)

- Proceso de Molienda, Cuando los proceso de extrusión e inyección registran en sistema sus productos no conformes estos son enviados al área de molinos, en estructuras de metales para su transporte o en big bag (en este caso utilizando carretilla hidráulica), una vez en el área de molinos es seleccionado por tipo de compuesto, en caso de tuberías de gran diámetro necesitan ser trozados previamente.

El scrap es ingresado a los granuladores donde el molido de scrap llegan a medir alrededor de 1 cm. Para el caso de los procesos de extrusión de polietileno y de inyección de PVC es suficiente este tamaño de material para poder ser reutilizado.

Una vez molido el scrap pasa al pulverizador para luego ser almacenados en big bag a la espera de ser utilizados por el área de mezclas. Las figuras 18 y 19 muestran equipos de molienda y DOP del proceso respectivamente.



Figura 18: Alimentador a Molino  
Fuente: La empresa (2013)

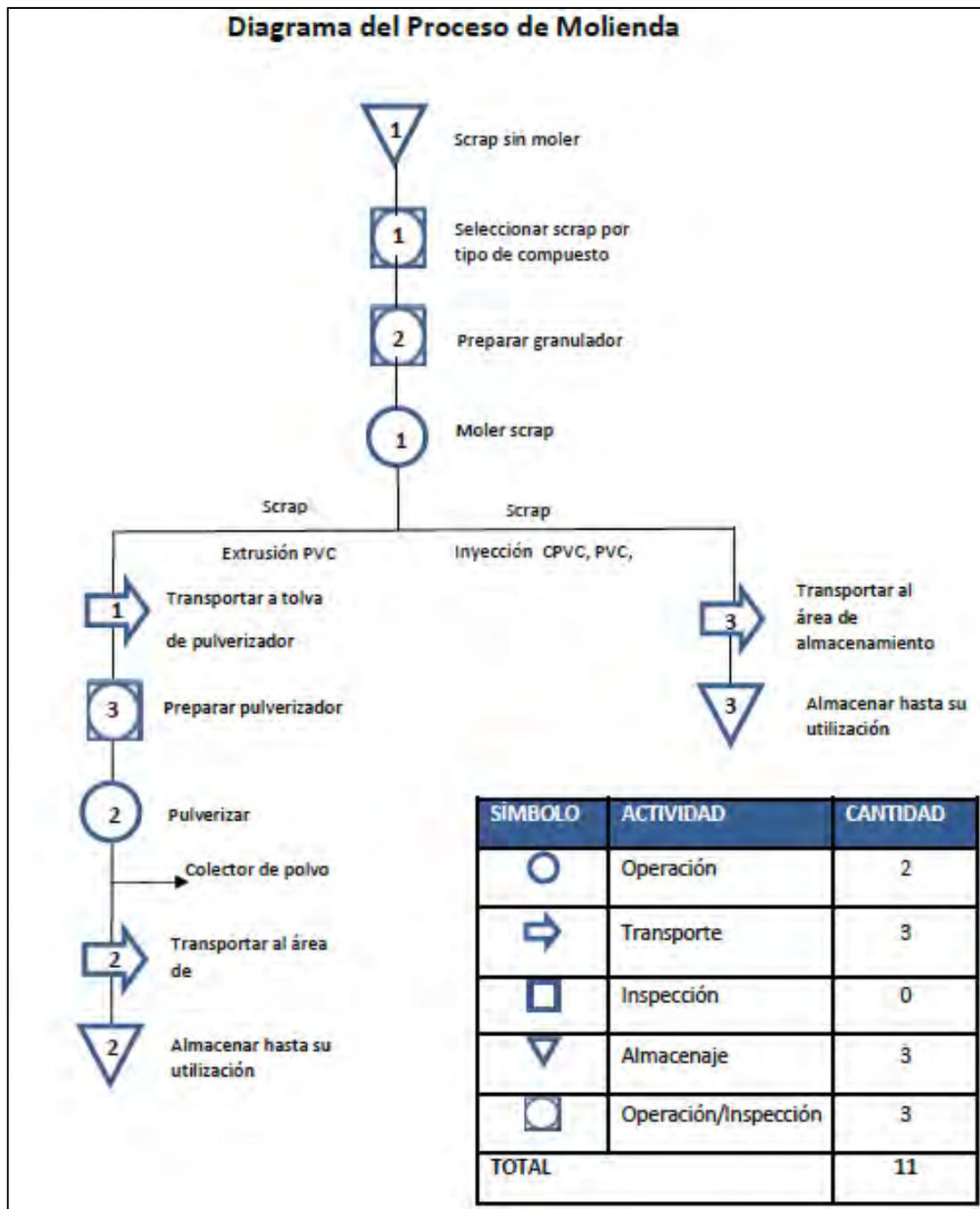


Figura 19: DOP del proceso de Molienda  
Fuente: La empresa (2013)

## CAPITULO 3. ANÁLISIS Y DIAGNOSTICO

En este capítulo se analiza el área de estudio, es decir los procesos de mezclas y molinos, en el punto 3.1. se presentara los principales indicadores del área de producción y se analizara el impacto que tiene la falta de control en sus actividades de recuperación de scrap purga y scrap PVC para ser reutilizados como materia prima.

Toda la información del presente capítulo se ha obtenido del sistema de control de información de la empresa, los datos corresponde del periodo 2011 al 2013. En el punto 3.4. se desarrollan herramientas de análisis tipo diagrama de Ishikawa para determinar las causas raíces de la generación de scrap y mediante el diagrama de Pareto se agrupa las principales causas en donde se enfocara la aplicación de herramientas Lean.

### 3.1. Selección del área de estudio e indicadores analizados

En los últimos años la empresa ha ido creciendo en números de equipos sin embargo esta no ha ido de la mano para mejorar las operaciones internas de la empresa. Se ha dado prioridad a los procesos de extrusión e inyección sin embargo procesos auxiliares no han tenido la misma estandarización que estos, este es el caso del área de mezclas y molinos cuya operatividad y calidad del proceso ha ido empeorando con el pasar de los años, convirtiéndose en un motivo del incremento del costo de producción. El desordenado crecimiento ha traído consigo una serie de problemas entre ellos el incremento de reproceso, materiales de desecho, reclamos por productos defectuosos entre otras cosas.

Con el fin de analizar la situación actual utilizaremos los siguientes indicadores:

- Producción terminada, son las toneladas de productos finales generados en el proceso productivo. La unidad de media es en toneladas.
- Scrap, es generado durante el proceso productivo ya sea por: productos fuera de las especificaciones técnicas, scrap de purga durante los arranques y paros, virutas, productos usados en el laboratorio, recortes, ranurados, roscados, acampanados, etc. El scrap de canales de Inyección es el material restante en los canales de alimentación. Se mide en toneladas mensuales.

El scrap luego pasa por tres estados, por moler (sale de línea productiva), scrap molido y scrap pulverizado. Se mide en toneladas. Se puede medir en porcentaje:

$$\%Scrap = \frac{Tn\ Scrap}{Tn\ producción\ terminada} \times 100$$

- Sobrepeso, Se considera como sobrepeso la diferencia entre el peso de la producción terminada y el peso de la producción teórica. En porcentaje se calcula de la siguiente manera.

$$\%Sobrepeso = \frac{Tn\ Sobrepeso}{Tn\ producción\ teórica} \times 100$$

Nota: El sobrepeso solo se calcula en los procesos de extrusión.

- Inventario de scrap, la existencia de scrap es determinada al final del mes en curso de todo el scrap de cada proceso productivo. Se mide en toneladas.

Estos indicadores son la base para el cálculo de otros indicadores más incisivos que involucran la productividad y el costo.

### 3.2. Resultados de los Principales Indicadores Productivos

El análisis del presente estudio comienza con el levantamiento de información que muestran los reportes de producción de los procesos de extrusión (resinas de PVC), ya que representa el 85% de volumen de producción total, En la Tabla 1. se describe el periodo 2011 – 2013.

Tabla 1. Resumen de indicadores Producción 2011-2013, Líneas Extrusión

| MES    | PRODUCCIÓN TERMINADA | PRODUCCIÓN TEÓRICA | SOB | SC  | % SOB | % SC  | INV SC |
|--------|----------------------|--------------------|-----|-----|-------|-------|--------|
|        | TONELADAS (TON)      |                    |     |     | %     |       | TON    |
| Ene-11 | 1,985                | 1,932              | 52  | 107 | 2.70% | 5.40% | 42     |
| Feb-11 | 1,140                | 1,122              | 18  | 57  | 1.60% | 5.00% | 30     |
| Mar-11 | 1,636                | 1,593              | 43  | 106 | 2.70% | 6.50% | 43     |

|        |       |       |    |     |       |        |     |
|--------|-------|-------|----|-----|-------|--------|-----|
| Abr-11 | 1,806 | 1,744 | 62 | 131 | 3.50% | 7.20%  | 96  |
| May-11 | 2,101 | 2,040 | 61 | 147 | 3.00% | 7.00%  | 173 |
| Jun-11 | 1,952 | 1,894 | 58 | 132 | 3.10% | 6.80%  | 189 |
| Jul-11 | 1,352 | 1,292 | 59 | 114 | 4.60% | 8.40%  | 201 |
| Ago-11 | 1,779 | 1,723 | 56 | 123 | 3.20% | 6.90%  | 185 |
| Sep-11 | 1,865 | 1,809 | 56 | 132 | 3.10% | 7.10%  | 220 |
| Oct-11 | 2,002 | 1,936 | 66 | 129 | 3.40% | 6.50%  | 198 |
| Nov-11 | 1,715 | 1,644 | 71 | 130 | 4.30% | 7.60%  | 197 |
| Dic-11 | 1,923 | 1,858 | 65 | 159 | 3.50% | 8.30%  | 206 |
| Ene-12 | 1,892 | 1,817 | 75 | 113 | 4.20% | 6.00%  | 228 |
| Feb-12 | 2,221 | 2,146 | 75 | 124 | 3.50% | 5.60%  | 243 |
| Mar-12 | 2,005 | 1,944 | 62 | 115 | 3.20% | 5.70%  | 256 |
| Abr-12 | 2,014 | 1,945 | 70 | 166 | 3.60% | 8.20%  | 251 |
| May-12 | 2,050 | 1,985 | 65 | 150 | 3.30% | 7.30%  | 256 |
| Jun-12 | 2,100 | 2,021 | 79 | 140 | 3.90% | 6.70%  | 289 |
| Jul-12 | 2,202 | 2,127 | 75 | 140 | 3.50% | 6.40%  | 264 |
| Ago-12 | 1,931 | 1,861 | 70 | 137 | 3.80% | 7.10%  | 248 |
| Sep-12 | 2,142 | 2,057 | 84 | 154 | 4.10% | 7.20%  | 241 |
| Oct-12 | 1,902 | 1,831 | 70 | 161 | 3.80% | 8.50%  | 262 |
| Nov-12 | 2,123 | 2,044 | 79 | 141 | 3.90% | 6.60%  | 287 |
| Dic-12 | 2,150 | 2,071 | 79 | 99  | 3.80% | 4.60%  | 261 |
| Ene-13 | 2,272 | 2,192 | 80 | 119 | 3.70% | 6.50%  | 278 |
| Feb-13 | 1,860 | 1,805 | 55 | 128 | 3.10% | 8.50%  | 306 |
| Mar-13 | 2,412 | 2,340 | 73 | 153 | 3.10% | 7.60%  | 337 |
| Abr-13 | 2,226 | 2,153 | 73 | 149 | 3.40% | 8.00%  | 310 |
| May-13 | 2,202 | 2,115 | 87 | 156 | 4.10% | 8.50%  | 308 |
| Jun-13 | 2,039 | 1,962 | 77 | 163 | 3.90% | 8.00%  | 303 |
| Jul-13 | 1,650 | 1,602 | 48 | 184 | 3.00% | 11.20% | 319 |
| Ago-13 | 1,876 | 1,809 | 67 | 169 | 3.70% | 9.00%  | 323 |
| Sep-13 | 1,469 | 1,421 | 47 | 137 | 3.30% | 9.40%  | 291 |
| Oct-13 | 2,006 | 1,956 | 50 | 147 | 2.60% | 7.30%  | 262 |
| Nov-13 | 1,408 | 1,370 | 38 | 115 | 2.80% | 8.20%  | 252 |
| Dic-13 | 1,602 | 1,548 | 54 | 135 | 3.50% | 8.40%  | 245 |

Fuente: La empresa (2013)

Donde:

SOB: Sobreproducción (producción terminada - producción teórica, se mide en toneladas)

- SC: Scrap generado en el periodo, se mide en toneladas
- %SOB: Porcentaje de Sobrepeso  $((SOB / producción\ teoría) * 100)$
- %SC: Porcentaje de Scrap generado  $((SC / producción\ terminada) * 100)$
- INV SC: Inventario de Scrap generado en el periodo, se mide en toneladas

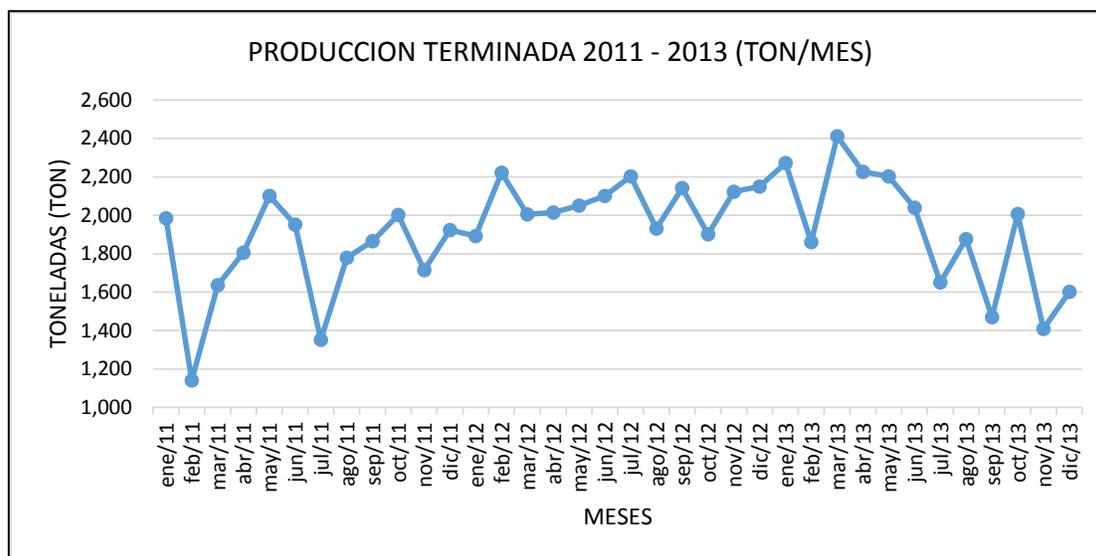


Figura 20: Indicador de Producción Terminada 2011-2013  
Elaboración Propia

Como se puede apreciar en la Figura 20. En el 2011 se empezó a tener meses con producción con picos de 2,000 Toneladas, en el 2012 se mantuvo el crecimiento incrementando el volumen de producción en un 16.4%, para el 2013 se observó una disminución del 6.9% debido a la disminución de obras de infraestructura y la disminución del sector construcción.

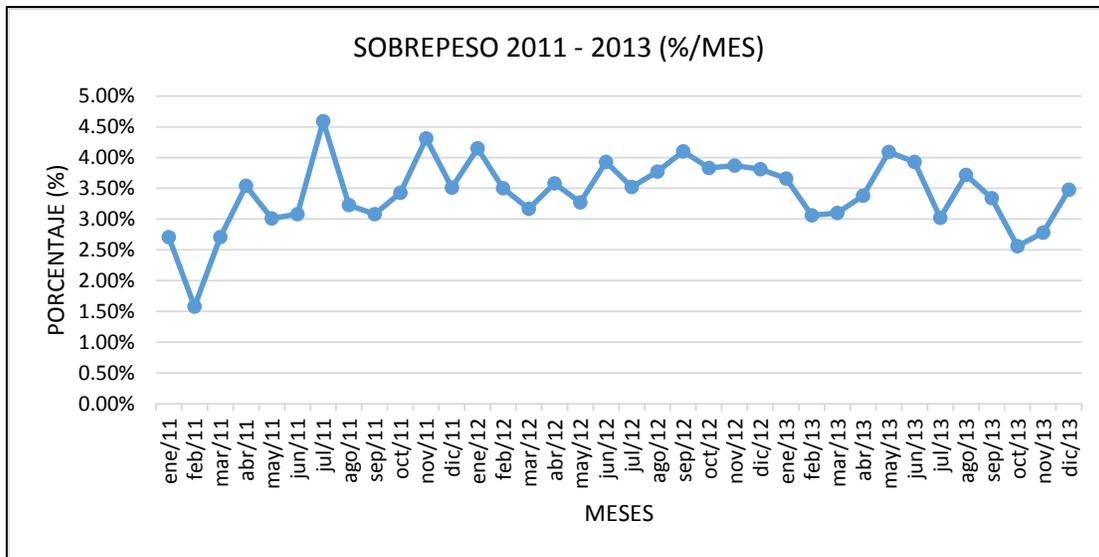


Figura 21: Indicador de % de Sobrepeso 2011-2013  
Elaboración Propia

En la Figura 21. Se observa que el porcentaje de sobrepeso existe una variación entre el 3% y 4%, hay que considerar que por las exigencias de la norma técnica peruana y para que los productos puedan pasar las pruebas de calidad, deben tener un espesor de pared mayor al teórico, es por eso que el sobrepeso es una característica que necesariamente se generara en el proceso productivo. El sobrepeso es material en exceso que se va con el cliente y no regresa, es por ello que su medición es más exigente y tiene mayores controles en el proceso.

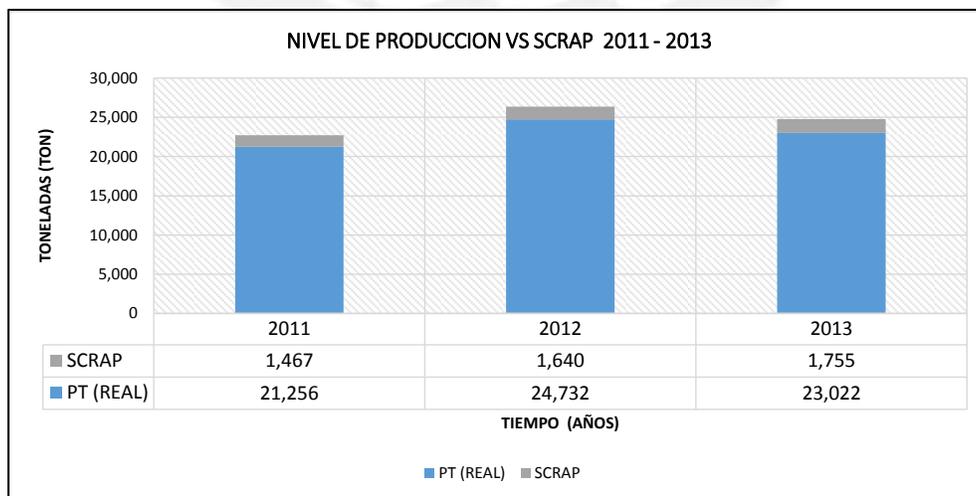


Figura 22: Nivel de Producción Vs Scrap 2011-2013  
Elaboración Propia

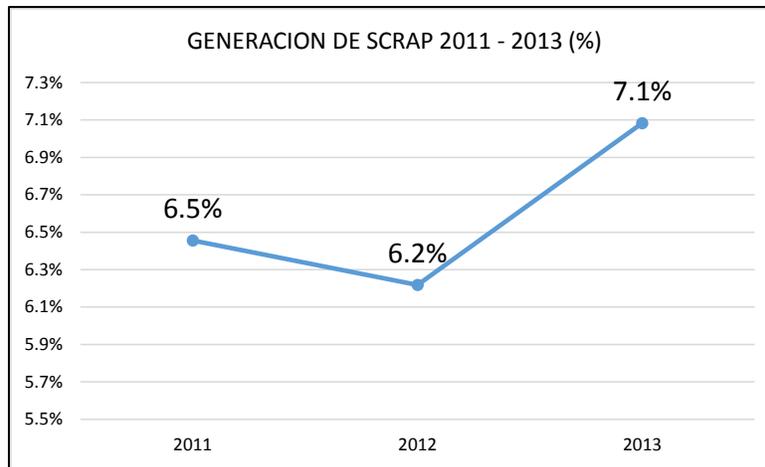


Figura 23: Generación de Scrap 2011-2013  
Elaboración Propia

De los Figuras 22 y 23 podemos identificar dos indicadores que tiene relación el porcentaje (%) de generación de scrap y las toneladas de inventario de scrap. En el indicador % scrap podemos observar que de un promedio menor al 6.5% del 2011 en la generación de scrap se pasó a tener en el 2013 un promedio superior al 7.1%, asimismo el incremento del porcentaje de scrap que solo era de 42 ton ha pasado a ser en su punto más crítico a 337 ton en marzo del 2013, ambos indicadores van de la mano debido a una errónea metodología de recuperación del scrap. En septiembre y octubre del 2013 se ejecutó algunas mejoras en la metodología, se logró reducir el inventario de scrap en 60 toneladas, sin embargo en los meses siguientes no ha llegado a esos niveles.

En base a la información mostrada, la presente investigación se centrará en las áreas de molinos y mezclas, a continuación se detalla su situación actual.

Molinos, el área de molinos permite procesar el scrap generado en planta para que sea reutilizado como materia prima en el área de mezclas. El almacenaje de este scrap es en big bags como se parecía en la Figura 24.



Figura 24: Fotos de Almacenaje de Scrap de Planta  
Fuente: La empresa (2013)

Esta inadecuada forma de almacenajes es alrededor de toda la parte externa de la planta. En el caso del scrap de extrusión de PVC y extrusión polietileno para tuberías de diámetros mayores a 250 mm estas tiene que pasar por un proceso de trozado y fileteo.

- El proceso de trozado, es totalmente manual, donde el operador mediante un machete parte la tubería defectuosa en trozos los cuales luego son procesados en los granuladores.
- El proceso de fileteo, es para tuberías de 250 mm con espesor de pared mayor a 30 mm, mediante un equipo de sierra circular de mesa tres operadores cortan en fragmentos los cuales posteriormente pasan a los granuladores.

El scrap de extrusión PVC pasa a los granuladores y son almacenados en big bag para luego ser procesado en los pulverizadores donde alcanzan el tamaño de una micra, se almacena en big bag para luego ser utilizados en el área de mezclas. (NOTA: El scrap de extrusión de polietileno y de inyección PVC solo pasa por los granuladores, se almacenan en big bag.

Tabla 2. Resumen de Equipos Área Molinos

| EQUIPO       | MODELO          | AÑO DE FABR | MATERIAL A PROCESAR | RENDIM TEORICO (KG/H) | RENDIM REAL (KG/H) | DURACION CAMBIO CUCHILLAS (HORAS) | DURACIÓN DE USO CUCHILLAS (DÍAS) |
|--------------|-----------------|-------------|---------------------|-----------------------|--------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| Granulador   | PSR 4 - 5 F3/S9 | 2001        | Scrap Ext Pvc       | 450                   | <b>250</b>         | 10                                | 14                               |
| Granulador   | GSH 500/600     | 2008        | Scrap Ext Pvc       | 500                   | <b>280</b>         | 10                                | 14                               |
| Pulverizador | PKM 600 CCS/V   | 2001        | Scrap Ext Pvc       | 500                   | <b>220</b>         | 7                                 | 35                               |
| Pulverizador | PM 800          | 2008        | Scrap Ext Pvc       | 850                   | <b>280</b>         | 7                                 | 35                               |
| Granulador   | GSH 700/1000    | 2008        | Scrap Ext Pead      | 600                   | <b>300</b>         | 14                                | 14                               |
| Granulador   | PSR 4 - 5 F3/S9 | 2001        | Scrap lny Pvc       | 400                   | <b>150</b>         | 12                                | 14                               |

Fuente: La empresa (2013)

Como se puede apreciar en la Tabla 2. Hay equipos con más de 10 años de antigüedad, y otros en un rango de 5 años, pero en general el rendimiento real que se tiene en los equipos está muy lejos del rendimiento establecido por el fabricante. Esto genera que la capacidad de procesamiento de scrap sea casi igual a la generación de scrap, siendo un cuello de botella cuando la planta llega a utilizar el 100% de su capacidad instalada. No se tiene un programa de mantenimiento de los equipos ni stock de repuestos de los mismos.

Asimismo se toma mucho tiempo el cambio de cuchillas en cada molino, no existe una metodología adecuada para esta actividad, y la durabilidad de las mismas es de pocos días, cuando según el estimado del fabricante en los granuladores las cuchillas deberían durar 30 días y en los pulverizadores 45 días.

Actualmente no se tiene un instructivo para el manejo del scrap, el almacenaje es inadecuado, es al aire libre. Los big bag que se utilizan son en muchos casos inestables y poco prácticos para su manipulación. Esto ocasiona que no haya control en el procesamiento del scrap, haciendo que se mezclen colores, materiales degradados y no degradados, se contamine con facilidad del polvo, lluvia y otros elementos.

Mezclas, el área de mezclas se encarga de procesar las materias primas y genera los compuestos para cada proceso, el scrap es incluido al compuesto. Mezclas recibe el scrap del área de molinos, no existe un control de calidad o una revisión de los mismos, tampoco un instructivo o procedimiento que estandarice esta actividad. No existe una proporción definida de cuanto scrap se debe incluir en los compuestos, esto está a criterio del operador según como vea el estado del scrap.

El en el caso de extrusión PVC el scrap pulverizado se adiciona al compuesto ya formulado, se tiene silos de almacenaje de capacidad entre 25 a 35 toneladas donde están los compuestos formulados, hay un silo para cada tipo de compuesto, de ahí mediante un sistema de alimentación automático van las extrusoras. El compuesto que se genera ingresa a los silos, esto dificulta la trazabilidad para determinar cuándo un silo se contamina. Cuando la extrusora genera tuberías contaminadas se determina que hubo una deficiente mezcla. Algunas extrusoras no se alimentan directamente de los silos sino que mediante big bags con compuestos.

Para el proceso de extrusión polietileno se utilizan materias primas que son pellet y estos se mezclan con scrap granulado, es sistema de mezclas es mecánico, no hay puntos de fusión u otra característica química para su generación. El compuesto se almacena en big bags. La dificultad en la utilización de scrap está en que el material debe estar a una temperatura alrededor de los 30 °C para garantizar que este seco, a diferencia de las materias primas que viene en empaques totalmente hermetizados, esto motiva que sea tenga que moler el scrap en simultaneo cuando se está utilizando en el compuesto.

En mezcla de inyección se usa el scrap cuando el compuesto dry blend (polvo) es utilizado en la pelletizadora (tipo de extrusora), el scrap se va dosificando a este compuesto o en algunos casos se pelletiza el 100% scrap. Para que no haya problemas se tiene que garantizar que el scrap sea del mismo color y calidad.

En la siguiente Tabla 3. se muestran los principales equipos de mezclado:

Tabla 3. Resumen de Equipos Área Mezclas

| PROCESO                    | EXT PVC                 | EXT PEAD                      | INY PVC                 | INY PVC                         |
|----------------------------|-------------------------|-------------------------------|-------------------------|---------------------------------|
| Modelo                     | Paper Meller            | Mezclador A                   | Plasmec                 | Pelletizadora                   |
| Año de Fabricación         | 2004                    | 2008                          | 2010                    | 2013                            |
| Rendimiento Teorico (Kg/h) | 5000                    | 700                           | 1000                    | 700                             |
| Rend Real (Kg/h)           | <b>4000</b>             | <b>635</b>                    | <b>900</b>              | <b>600</b>                      |
| Material procesado         | Materias primas Ext PVC | Materias primas Pead (Pellet) | Materias primas Iny PVC | Compuesto Iny dry blend (polvo) |

|                                  |                   |                             |                                 |                      |
|----------------------------------|-------------------|-----------------------------|---------------------------------|----------------------|
| Material Generado                | Compuesto Ext PVC | Compuesto Ext Pead (pellet) | Compuesto Iny dry blend (polvo) | Compuesto Iny Pellet |
| Tipo de scrap que puede utilizar | Scrap Ext Pvc     | Scrap Ext Pead              | -                               | Scrap Iny Pvc        |

Fuente: La empresa (2013)

Los equipos presentan un rendimiento real muy próximo al del fabricante, en general la capacidad de mezclado es superior a la capacidad de fabricación de cada proceso productivo. Sin embargo al igual que el área de molinos no existe un plan de mantenimiento de los equipos ni tampoco un stock de seguridad de repuestos.

En base a los indicadores de producción mostrados, la organización plantea mejorar los procesos en las áreas de mezclas y molinos, con ello se reducirá los inventarios de scrap y su control del mismo. Por lo tanto con el uso de las herramientas lean se identificarán y se plantearán las soluciones para eliminar el origen de los desperdicios.

### 3.3. Identificación de Scrap (Material fuera de especificaciones)

Para poder iniciar un análisis de las causas del origen de la generación de scrap, se hace necesaria la utilización de los registros del sistema, el cual los clasifica en las siguientes familias:

- Equipos, por fallas en las maquinarias, equipos y herramientas
- Arranque y paradas de líneas, scrap generado por el arranque y parada de los equipos de una línea que se da cuando se cambia de formato de producto, intervención de mantenimiento, etc.
- Compuestos, por falla en la formulación del compuesto o compuestos contaminados, principalmente por el uso de scrap.
- Pruebas de Calidad, son las muestras que se toma para ensayos de laboratorio, está incluida el desarrollo de nuevos productos.
- Operatividad, es scrap generado por ser propio del proceso productivo, por ejemplo la generación de virutas en el cortado de la longitud de las tuberías.
- Falla operativa, es la generación de scrap por falla del método de trabajo por parte del personal operativo.

- Falla energía, generación por cortes intempestivos de energía, sea por causa externa o interna.

La Tabla 4. se muestra el resumen del periodo 2011 – 2013 en generación de Scrap.

Tabla 4. Generación de Scrap por Familia

| GRUPO DE FAMILIA       | TONELADAS (TON)  |                  |                  |                  | %              |
|------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|----------------|
|                        | 2011             | 2012             | 2013             | TOTAL            |                |
| Equipos                | 642,254          | 774,176          | 767,031          | 2,183,461        | 45.30%         |
| Arranque/Paro de línea | 440,161          | 425,497          | 406,947          | 1,272,604        | 26.40%         |
| Compuesto              | 220,418          | 330,377          | 462,989          | 1,013,784        | 21.00%         |
| Pruebas de Calidad     | 78,302           | 97,996           | 72,884           | 249,182          | 5.20%          |
| Operatividad           | 13,015           | 18,730           | 16,929           | 48,673           | 1.00%          |
| Falla Operativa        | 10,422           | 8,069            | 21,810           | 40,301           | 0.80%          |
| Falla energía          | 3,685            | 5,733            | 7,188            | 16,606           | 0.30%          |
| <b>TOTAL</b>           | <b>1,408,256</b> | <b>1,660,578</b> | <b>1,755,777</b> | <b>4,824,611</b> | <b>100.00%</b> |

Elaboración Propia

Como se puede apreciar la principal causa de generación de scrap es por la falla con los equipos, en el acumulado representa un 45.3% de todo el volumen de scrap generado. Su incremento anual se puede explicar debido a que cada año los equipos van perdiendo sus características y condiciones originales.

El Arranque/Paro de línea representa un 26.4% acumulado en los últimos tres años, sin embargo vemos que a partir del 2011 ha ido disminuyendo hasta que en el 2013 ha pasado a ser la tercera causa de generación de scrap, esto se puede explicar a la capacitación constante para mejorar este proceso. Mientras que la generación de scrap por problemas de compuesto representa el 21.0% en los últimos tres años, paso de ser la tercera causa en el 2011 ha ser la segunda causa principal de la generación de scrap.

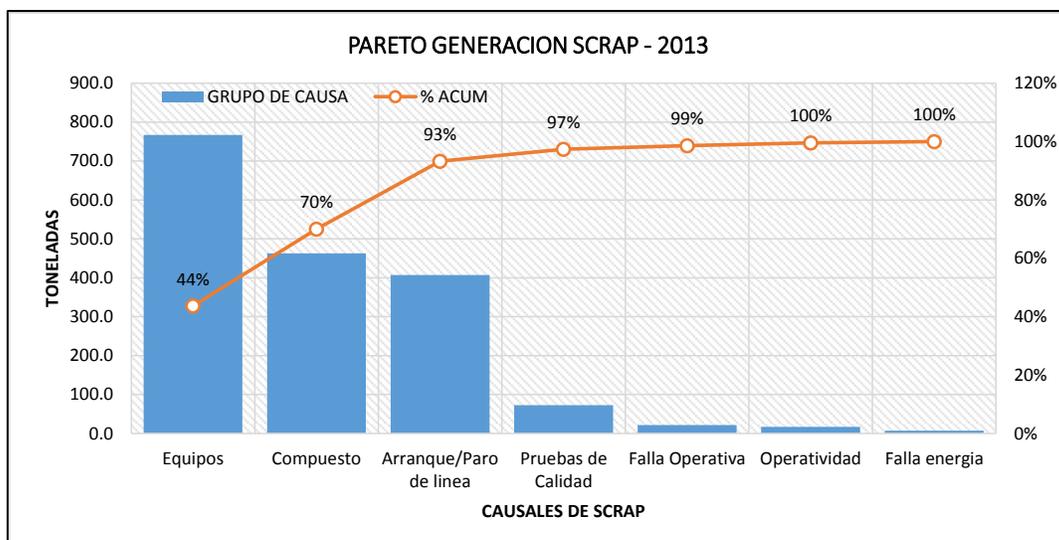


Figura 25: Análisis Pareto generación de Scrap por Familia - 2013:  
Elaboración Propia

En la figura 25. en el periodo 2013, se realiza un Pareto con el fin de identificar las causas principales del incremento del inventario de scrap, como se vio en los párrafos anteriores, las causas de equipos y arranque/paro de línea es algo inherente en el proceso ya que la generación de los mismos siempre estará presente. Caso aparte es la causa de compuesto ya que este puede reducirse si se emplea la metodología adecuada para su mejora. Para entender mejor esta causa se analizara las toneladas producidas del periodo 2011 al 2013, y se evaluara su incidencia sobre la producción total.

Tabla 5. Generación de Scrap por Familia vs Producción Terminada

| PRODUCCION TOTAL (TON) | 21,256                | 24,732       | 23,022       |                            |              |              |               |
|------------------------|-----------------------|--------------|--------------|----------------------------|--------------|--------------|---------------|
| GRUPO DE CAUSA         | TONELADAS SCRAP (TON) |              |              | TONELADAS SCRAP (SCRAP/PT) |              |              | DIFERENCIA    |
|                        | 2011                  | 2012         | 2013         | 2011                       | 2012         | 2013         | 2013-2011 (%) |
| Equipos                | 642.3                 | 774.2        | 767.0        | 3.00%                      | 3.10%        | 3.30%        | 0.30%         |
| Arranque/Paro de línea | 440.2                 | 425.5        | 406.9        | 2.10%                      | 1.70%        | 1.80%        | -0.30%        |
| <b>Compuesto</b>       | <b>220.4</b>          | <b>330.4</b> | <b>463.0</b> | <b>1.00%</b>               | <b>1.30%</b> | <b>2.00%</b> | <b>1.00%</b>  |
| Pruebas de Calidad     | 78.3                  | 98           | 72.9         | 0.40%                      | 0.40%        | 0.30%        | -0.10%        |
| Operatividad           | 13                    | 18.7         | 16.9         | 0.10%                      | 0.10%        | 0.10%        | 0.00%         |
| Falla Operativa        | 10.4                  | 8.1          | 21.8         | 0.00%                      | 0.00%        | 0.10%        | 0.00%         |
| Falla energía          | 3.7                   | 5.7          | 7.2          | 0.00%                      | 0.00%        | 0.00%        | 0.00%         |

Elaboración Propia

Como se puede observar en la Tabla 5. si analizamos el impacto de cada grupo de causas sobre el total de producción por año, no existe mayor cambio en el porcentaje en cada uno de ellos, a diferencia del compuesto, ya que este se incrementa de 220 a 463 toneladas siendo su variación mayor a un 100%.

Por lo tanto, se puede asumir que al mejorar las actividades que se interrelacionan con la causa compuesto, se lograra reducir la producción de scrap, a la vez que se mejorara la eficiencia de la producción en las líneas de extrusión, logrando reducir los indicadores de costos y tiempos.

### 3.4. Análisis de causas raíces de Scrap

Con referencia a la Tabla 4. donde se clasifico el scrap por grupo de familia, a continuación en la Tabla 6. se detalla las causas originales que se han obtenido en el periodo 2013. A partir de esta data se realizara un diagrama de causa efecto sobre la generación de Scrap.

Tabla 6. Generación de Scrap por Causa de Origen

| ITEM | CAUSAS DE SCRAP                        | GRUPO DE FAMILIA       | AÑO 2013 |
|------|--|------------------------|----------|
|      |  |                        | (TON)    |
| 1    | Inicio/fin de medida                   | Arranque/Paro de línea | 343,118  |
| 2    | Compuesto con problemas                | Compuesto              | 286,928  |
| 3    | Compuesto contaminado                  | Compuesto              | 132,020  |
| 4    | Falla mecánicaacampanadora             | Equipos                | 115,670  |
| 5    | Matricería mal estado (cabezal/útiles) | Equipos                | 85,280   |
| 6    | Falla bomba agua(tanque/batea enfria)  | Equipos                | 69,538   |
| 7    | Falla eléctrica impresora              | Equipos                | 68,529   |
| 8    | Arranque y parada de planta            | Arranque/Paro de linea | 63,829   |
| 9    | Falla mecánica sierra                  | Equipos                | 49,414   |
| 10   | Muestras calidad de producto           | Pruebas de Calidad     | 46,734   |
| 11   | Falla eléctrica sierra                 | Equipos                | 37,101   |
| 12   | Falla resistencia cabezal              | Equipos                | 31,543   |
| 13   | Falla puesta pto/ctrl/verif cabezal    | Equipos                | 23,708   |
| 14   | Falla ctrl nivel (batea/tanque enfria) | Equipos                | 23,090   |
| 15   | Falla sistema agua (Bombas y Red)      | Equipos                | 17,574   |
| 16   | Falla eléctricaacampanadora            | Equipos                | 17,529   |
| 17   | Scrap con problemas                    | Compuesto              | 17,410   |
| 18   | Calibrador con problemas               | Equipos                | 17,119   |

|    |  |                    |        |
|----|--|--------------------|--------|
| 19 | Virutas                                  | Operatividad       | 16,929 |
| 20 | Pruebas/Ensayos compuestos               | Pruebas de Calidad | 14,114 |
| 21 | Limpieza filtro bomba de desgase         | Equipos            | 13,886 |
| 22 | Falla control y verif. alimentación      | Equipos            | 13,427 |
| 23 | Scrap contaminado                        | Compuesto          | 13,315 |
| 24 | Falla bomba vacío (tanque/batea enfria)  | Equipos            | 12,722 |
| 25 | Scrap de desarrollo                      | Pruebas de Calidad | 12,036 |
| 26 | Scrap Adicional                          | Falla Operativa    | 11,628 |
| 27 | Falla mecánica impresora                 | Equipos            | 11,066 |
| 28 | Falla eléctrica extrusora                | Equipos            | 10,465 |
| 29 | Falla mecánica sacador (arrastre)        | Equipos            | 10,390 |
| 30 | Método no adecuado de medición           | Falla Operativa    | 10,182 |
| 31 | Falla bomba desgase                      | Equipos            | 10,028 |
| 32 | Falla enfriamiento acampanadora          | Equipos            | 9,683  |
| 33 | Falla eléctrica medidor de longitud      | Equipos            | 9,300  |
| 34 | Falla eléctrica batea/tanque enfria      | Equipos            | 9,086  |
| 35 | Falla mecánica cargador materiales       | Equipos            | 8,901  |
| 36 | Falla termocupla sensado cabezal         | Equipos            | 6,806  |
| 37 | Falla puesta pto/ctrl/verif acampanado   | Equipos            | 6,779  |
| 38 | Compuesto con plate-out                  | Compuesto          | 6,563  |
| 39 | Falla eléctrica dosificador              | Equipos            | 6,108  |
| 40 | Energía Eléctrica Interna                | Falla energía      | 6,107  |
| 41 | Falla eléctrica sacador (arrastre)       | Equipos            | 6,099  |
| 42 | Falla puesta pto/ctrl/verif calibración  | Equipos            | 5,522  |
| 43 | Falta de stock de compuesto              | Equipos            | 5,475  |
| 44 | Cambio de compuesto                      | Compuesto          | 5,442  |
| 45 | Falla instrumento ctrl temp extrusora    | Equipos            | 4,890  |
| 46 | Falla resistencia camisa-barril          | Equipos            | 4,760  |
| 47 | Falla puesta pto/ctrl/verif extrusora    | Equipos            | 4,543  |
| 48 | Falla mecánica dosificador               | Equipos            | 4,509  |
| 49 | Falla sistema enfriamiento agua          | Equipos            | 3,985  |
| 50 | Vacio cilindro                           | Equipos            | 3,430  |
| 51 | Falla mecánica medidor de longitud       | Equipos            | 3,287  |
| 52 | Falla puesta pto/ctrl/verif marcación    | Equipos            | 3,124  |
| 53 | Problema con la mesa                     | Equipos            | 2,800  |
| 54 | Falla sistema de aire comprimido         | Equipos            | 2,395  |
| 55 | Falla sistema traslac batea/tanque vacío | Equipos            | 2,321  |
| 56 | Falla eléctrica cargador materiales      | Equipos            | 1,872  |

|    |  |               |       |
|----|--|---------------|-------|
| 57 | Falla mecánica extrusora                 | Equipos       | 1,669 |
| 58 | Falla Puesta Pto Máquina y Cond Oper     | Equipos       | 1,639 |
| 59 | Falla puesta pto/ctrl/verif sacador(arra | Equipos       | 1,426 |
| 60 | Instrumento descalibrado                 | Equipos       | 1,269 |
| 61 | Falla sistema enfriamiento camisa-barril | Equipos       | 1,237 |
| 62 | Scrap de purga                           | Compuesto     | 1,141 |
| 63 | Energía Eléctrica Externa                | Falla energía | 1,082 |
| 64 | Limpieza de impresoras                   | Equipos       | 981   |
| 65 | Falla termocupla sensado camisa-barril   | Equipos       | 956   |
| 66 | Falla PLC                                | Equipos       | 944   |
| 67 | Falla sistema enfriamiento tornillos     | Equipos       | 849   |
| 68 | Perfil dañado o fuera especificación     | Equipos       | 767   |
| 69 | Falla ctrl y verif hoja especif de produ | Equipos       | 616   |
| 70 | Falla eléctrica zunchadora               | Equipos       | 396   |
| 71 | Cambio/regulación herramental sierra     | Equipos       | 225   |
| 72 | Falla puesta pto/ctrl/verif enfriamiento | Equipos       | 201   |
| 73 | Scrap de purga contaminada               | Compuesto     | 171   |
| 74 | Problema con la canasta                  | Equipos       | 74    |

Elaboración Propia

En base a la tabla de generación de scrap, el siguiente paso es identificar y agrupar las causas raíces que influyen en la generación de scrap, por lo que en la Figura 26. se generara un diagrama Causa-efecto.

Este diagrama agrupa las causas en las siguientes variables: métodos, materia prima, maquinaria, métricas, mano de obra y medio ambiente.

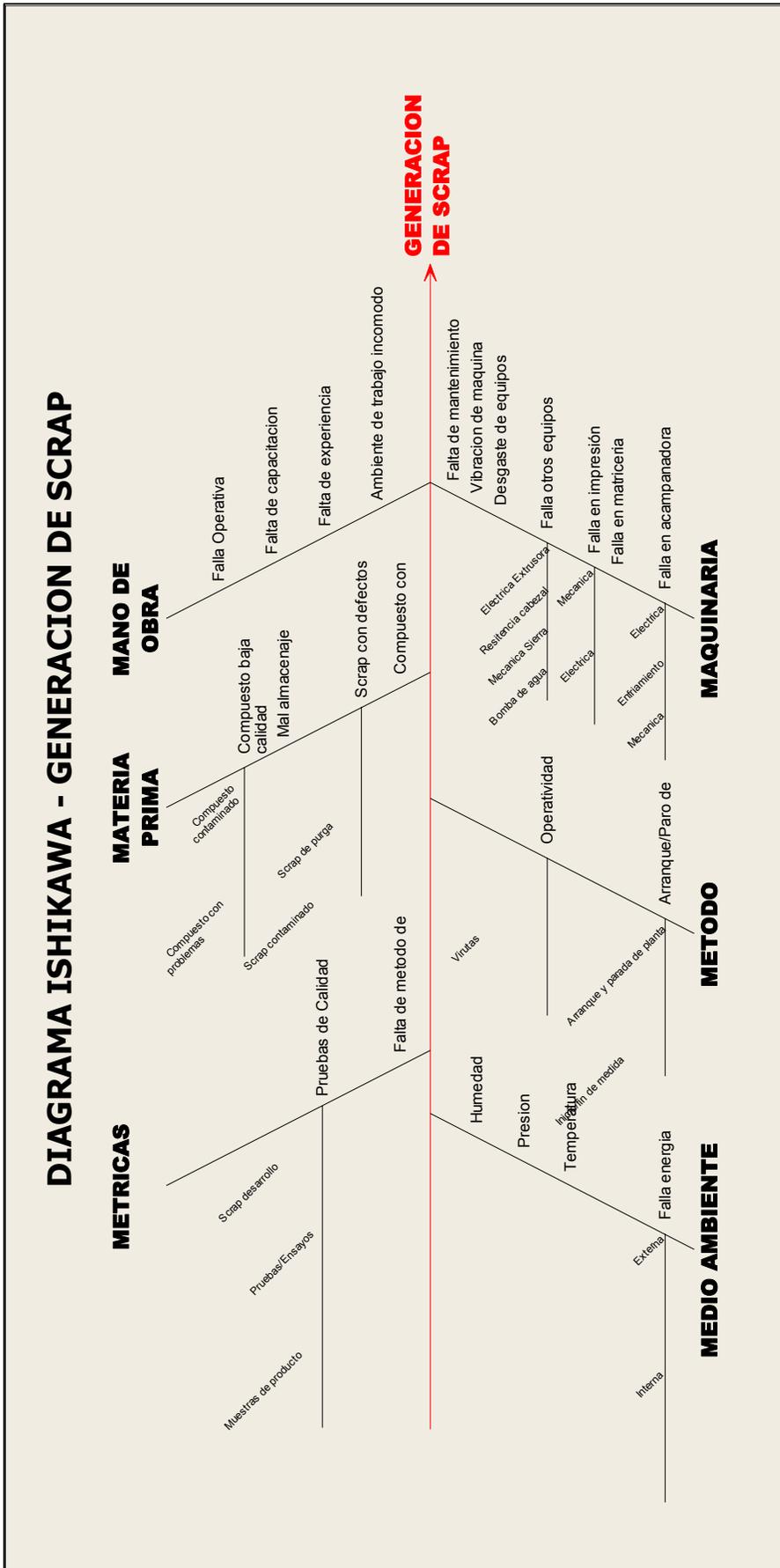


Figura 26: Diagrama Causa – Efecto Generación de Scrap - 2013  
Elaboración Propia

Para dar un peso numérico a cada una de las causas descritas en el diagrama de Ishikawa, se desarrolla en la Tabla 7. un análisis de Pareto, el cual permite tener información de forma cuantitativa de la generación de scrap del periodo 2013, de esta forma se genera en la Figura 27. un diagrama de Pareto que determina cuál es el 20% de las actividades o causas, a las cuales se les debe dar prioridad para lograr eliminar el 80% de los problemas que causan la generación de scrap , de tal forma se podrá identificar las causas más influyentes que afectan el problema principal.

Debido a que existen 74 causas, se tomaran los primeros 25 ya que representan el 90% de toda la generación de todo el scrap, ver cuadro siguiente.

Tabla 7. Análisis de las Principales causas de Generación de Scrap – 2013

| ITEM | CAUSAS DE SCRAP                         | FAMILIA DE CAUSAS      | ISHIKAWA      | AÑO 2013 (TON) | %      |
|------|---|------------------------|---------------|----------------|--------|
| 1    | Inicio/fin de medida                    | Arranque/Paro de línea | METODO        | 343.1          | 22.20% |
| 2    | Compuesto con problemas                 | Compuesto              | MATERIA PRIMA | 286.9          | 18.60% |
| 3    | Compuesto contaminado                   | Compuesto              | MATERIA PRIMA | 132            | 8.60%  |
| 4    | Falla mecánica acampanadora             | Equipos                | MAQUINARIA    | 115.7          | 7.50%  |
| 5    | Matricería mal estado (cabezal/útiles)  | Equipos                | MAQUINARIA    | 85.3           | 5.50%  |
| 6    | Falla bomba agua(tanque/batea enfria)   | Equipos                | MAQUINARIA    | 69.5           | 4.50%  |
| 7    | Falla eléctrica impresora               | Equipos                | MAQUINARIA    | 68.5           | 4.40%  |
| 8    | Arranque y parada de planta             | Arranque/Paro de línea | METODO        | 63.8           | 4.10%  |
| 9    | Falla mecánica sierra                   | Equipos                | MAQUINARIA    | 49.4           | 3.20%  |
| 10   | Muestras calidad de producto            | Pruebas de Calidad     | METRICAS      | 46.7           | 3.00%  |
| 11   | Falla eléctrica sierra                  | Equipos                | MAQUINARIA    | 37.1           | 2.40%  |
| 12   | Falla resistencia cabezal               | Equipos                | MAQUINARIA    | 31.5           | 2.00%  |
| 13   | Falla puesta pto/ctrl/verif cabezal     | Equipos                | MAQUINARIA    | 23.7           | 1.50%  |
| 14   | Falla ctrl nivel (batea/tanque enfria)  | Equipos                | MAQUINARIA    | 23.1           | 1.50%  |
| 15   | Falla sistema agua (Bombas y Red)       | Equipos                | MAQUINARIA    | 17.6           | 1.10%  |
| 16   | Falla eléctrica acampanadora            | Equipos                | MAQUINARIA    | 17.5           | 1.10%  |
| 17   | Scrap con problemas                     | Compuesto              | MATERIA PRIMA | 17.4           | 1.10%  |
| 18   | Calibrador con problemas                | Equipos                | MAQUINARIA    | 17.1           | 1.10%  |
| 19   | Virutas                                 | Operatividad           | METODO        | 16.9           | 1.10%  |
| 20   | Pruebas/Ensayos compuestos              | Pruebas de Calidad     | METRICAS      | 14.1           | 0.90%  |
| 21   | Limpieza filtro bomba de desgase        | Equipos                | MAQUINARIA    | 13.9           | 0.90%  |
| 22   | Falla control y verif. alimentación     | Equipos                | MAQUINARIA    | 13.4           | 0.90%  |
| 23   | Scrap contaminado                       | Compuesto              | MATERIA PRIMA | 13.3           | 0.90%  |
| 24   | Falla bomba vacío (tanque/batea enfria) | Equipos                | MAQUINARIA    | 12.7           | 0.80%  |

## Elaboración Propia

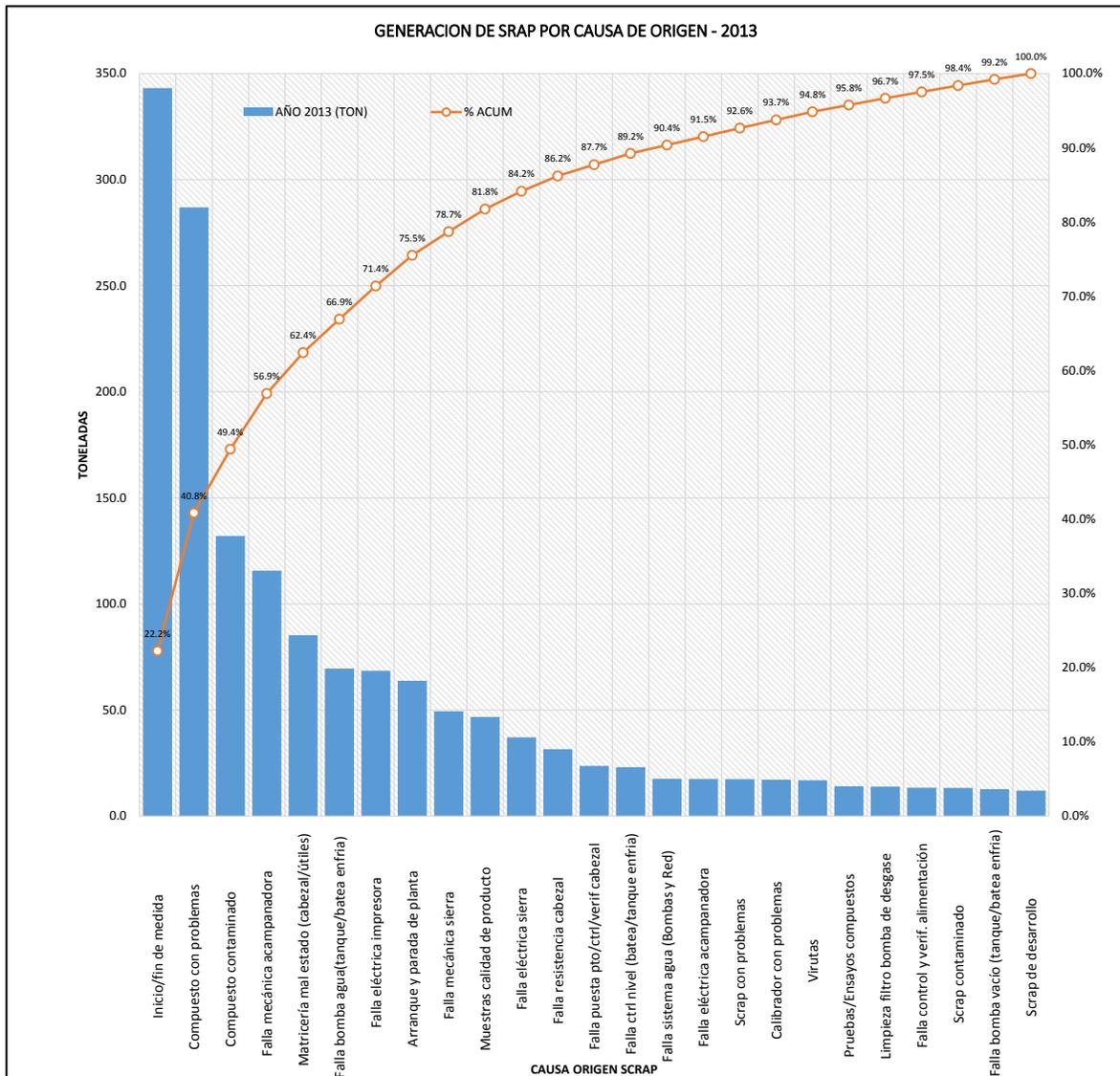


Figura 27: Análisis Pareto generación de Scrap por Causa - 2013  
Elaboración Propia

En este análisis vemos que existen mayor cantidad de causales de scrap por problemas con los equipos siendo el principal el inicio y fin de medida con un 22.2%, esta causa es un scrap que se va generar siempre que se hace un cambio de producción por producto.

Las siguientes dos causas son los identificados en el compuesto y vemos que ocupan un 27.2% acumulado, La determinación eficaz de acciones de mejora se centrara en la reducción de su generación, para lo cual contamos con las herramientas Lean que nos ayudarán a visualizar el problema desde diferentes enfoques.

Las siguientes causas pueden ser agrupados, ya que son asignados a los equipos de planta, teniendo un acumulado de 15 causas que representan el 38.6% total, las fallas encontradas en su mayoría son generadas por no contar con un plan de mantenimiento productivo, la organización realiza las correcciones cuando los equipos presentan fallas, por lo tanto será necesario implementar un sistema de control de mantenimiento (TPM).

Otras causas asignadas son las muestras y ensayos que son necesarias para validar los lotes de producción, los cuales representan el 5.0% del total, la organización ve por necesario su generación ya que con esto se garantiza los productos tengan la calidad aceptable para su comercialización.

Por ultimo existe la causa de falla por operatividad, que quiere decir por falla por parte del personal de planta, el cual representa el 1.1% del global, esta causa puede ser corregida con la correcta capacitación en clasificar un orden y limpieza de las áreas (5S)

Toda esta información será útil para proponer el uso de las herramientas Lean que servirán para eliminar o disminuir los desperdicios del proceso de fabricación por extrusión de resinas de pvc

Las herramientas más indicadas que se deberían usar en el plan de acción para la mejora son las siguientes: 5S, TPM, SMED y Benchmarking. Estas herramientas permitirán atacar los problemas detectados anteriormente

### **3.5. Diagnostico general y selección de herramientas de calidad aplicables a la mejora de procesos**

De la información presentada observamos que existe la necesidad de mejorar y optimizar la gestión de las operaciones del proceso de mezclado compuestos y molienda de productos no conformes (scrap). El buen tratamiento en la reutilización del scrap de purga y scrap de PVC permitirá la reducción del inventario de scrap mediante el incremento de su consumo y la reducción de su generación en los proceso de extrusión e inyección.

Además las herramientas a ser aplicadas permitirán mejorar rendimiento de las líneas de extrusión, lo cual traerá como beneficio la disminución del scrap, que está asociado

directamente al costo de sobreprocesamiento, inventarios muertos, movimientos innecesarios, entre otros.

El presente estudio de tesis no podrá dar respuesta a todas las 25 causas originales presentadas en la Tabla 7. Ya que la organización solo da prioridad a las causas que están directamente involucradas a las áreas de mezclas y molinos y a la vez porque en estos procesos se tiene la documentación necesaria para su implementación. Por lo tanto el alcance de herramientas lean a aplicar solo se darán en los puntos 2, 3, 4, 5, 16, 17 y 23 de la Tabla 7. Los cuales representan el 43.3% de la generación de scrap, los restantes 56.7% se aplicaran en una segunda etapa de investigación (NOTA: del 56.7% el 31.1% es generado por el arranque/parada de equipos y pruebas de calidad, los cuales siempre están inherentes en proceso de extrusión, el restante 25.6% es debido a problemas de equipos).

### 3.5.1. Problemas con compuesto (molinos y mezclas)

Siendo el que mayor crecimiento ha tenido en los últimos años, será necesario contar con un plan de mejora que garantice su adecuado uso. A continuación en la Tabla 8. se detalla las causas asignadas al compuesto en el periodo 2013.

Tabla 8. Análisis de las Causas de generación de Scrap por Compuestos – 2013

| ITEM         | CAUSAS DE SCRAP            | AÑO 2013 (TON) | AÑO 2013 (%)   |
|--------------|----------------------------|----------------|----------------|
| 1            | Compuesto con problemas    | 286.9          | 62.00%         |
| 2            | Compuesto contaminado      | 132            | 28.50%         |
| 3            | Scrap con problemas        | 17.4           | 3.80%          |
| 4            | Scrap contaminado          | 13.3           | 2.90%          |
| 5            | Compuesto con plate-out    | 6.6            | 1.40%          |
| 6            | Cambio de compuesto        | 5.4            | 1.20%          |
| 7            | Scrap de purga             | 1.1            | 0.20%          |
| 8            | Scrap de purga contaminada | 0.2            | 0.00%          |
| <b>TOTAL</b> |                            | <b>463</b>     | <b>100.00%</b> |

Elaboración Propia

En general se puede decir que el 90% se origina debido al mal uso del compuesto, al realizar un análisis más exhaustivo sobre el control de estos materiales a los molinos, se

puede identificar que el problema mayor es que no existe una metodología para clasificar los materiales en función a la calidad, el cual incluye:

- La falta de selección del material que es ingresado a los molinos
- La falta de limpieza y orden de área de molinos,
- El material que es molido o pulverizado según sea el caso, es mal almacenado estando en contacto con otros materiales (humedad, tierra, etc.) lo cual contamina el compuesto.
- Una vez que el material es ingresado a los almacenes, el ingreso a formulación de planta es considerado como material virgen, no se considera la degradación del material.
- No existe un control de calidad que permita clasificar el material compuesto de acuerdo a sus propiedades físicas, es decir el material compuesto debería de ser analizado y clasificado antes de ingresar al proceso de mezclas.

Para poder corregir estas deficiencias se debe de aplicar las siguientes herramientas Lean en los procesos de Mezclas y Molinos.

Limpieza y orden del área de trabajo. Este punto será corregido con la aplicación de 5S, el cual permite tener el área de molinos más ordenado y limpio, a la vez que ayudara a que se dispongan de áreas marcadas para la disposición de los materiales para su posterior almacenaje, de tal forma el material compuesto no estará en contacto con otros impurezas.

Procedimientos e Instructivos. El personal de molinos debe de ser capacitado en la correcta selección de materiales antes del ingreso a los molinos, a la vez que se deben de crear los instructivos de trabajo y los check list de uso de los mismos.

Método de Calificación del compuesto. El área de calidad debe de crear la metodología de muestreo de los big bags, de tal forma que se pueda clasificar el material en función a sus propiedades físicas, actualmente los big bags no tienen ningún tipo de control, la propuesta es identificar cada uno de ellos con una letra del abecedario según sea su calidad. En la Tabla 9. La propuesta de clasificación de scrap.

Tabla 9. Propuesta de Clasificación de Scrap por Calidad

| CALIDAD ESPERADA | LETRA   |
|------------------|---------|
| BUENO            | B       |
| REGULAR          | C       |
| MALO             | D       |
| NO UTILIZAR      | NO USAR |

Elaboración Propia

Control de Calidad en el compuesto. Se debe de asignar a un personal que pueda seleccionar el material triturado o pulverizado, realizar el muestreo y calificar según sea su calidad.

### 3.5.2. Paradas por falla de equipos

Las fallas mecánicas y eléctricas que se dan en el flujo de trabajo de la planta, son ejemplos de la falta de un plan de mantenimiento de equipos. Para corregir esta deficiencia se propone implementar las herramientas Lean TPM o mantenimiento productivo total, el cual se enfocara en la eliminación de perdidas asociados a los paros, calidad y costos en el proceso de extrusión. Como se explicó en el alcance del estudio de tesis, solo se realizaran los planes de mantenimiento en los equipos de mezclas, molinos y equipos asociados a la acampanadora de tubos.

Estas fallas suelen suceder por una falta de conocimiento del TPM (mantenimiento autónomo) por parte de los colaboradores de producción.

Por otra parte se aplicaran herramientas 5S también para mejorar la secuencia de reparaciones, teniendo las herramientas mecánicas a la vista y de fácil acceso.

### 3.5.3. Tiempos largos de Movimiento de Materiales

Actualmente el movimiento de los materiales está restringido al uso de montacargas, por lo que el personal operativo se ha acostumbrado a dejar sus lotes de trabajo en lugares que no son destinados para su almacenaje, lo que trae consigo desorden y limitación en las operaciones. Una vez más se aplicara las 5S para dejar áreas de circulación establecida, orden y limpieza de estas áreas.

Para eliminar esta deficiencia se propone utilizar herramientas SMED, con lo cual se pretende utilizar otro medio que no sea el uso de montacargas, se ha visto por conveniente la utilización de un variante de equipo eléctrico que es mucho menor en

espacio pero igual de efectivo para el traslado de materiales, por medio de un apilador eléctrico, el cual estará solo a disposición del área de molinos y mezclas. En la Figura 28. la propuesta del equipo de traslado de material.



Figura 28: Apilador Semi Eléctrico área molinos y mezclas  
Fuente: Internet

Por otra parte existe un problema mayor por el cual el material es contaminado, y es por el uso del apilado del molido o triturado de compuestos, actualmente se utilizan big bags, que son contenedores flexibles hechos en base a polipropileno lo cuales son expuestos a roturas o contaminación, se propone variar el depósito de los materiales molidos en cajas especiales que son fáciles de mover y de apilar, a la vez que protegen al material de contaminación. Esta idea se utilizara gracias al Benchmarking de las compañías de otros países del grupo.

#### **3.5.4. Reducción del Inventario de Scrap en almacenes**

Como se vio en el cuadro de inventarios de scrap, se debe priorizar el uso del scrap de los almacenes de planta, actualmente se tiene más de 250 toneladas de material estacionado, ocupando lugar y sin dar un uso del mismo. La propuesta es realizar un análisis de todo este material, clasificarlo de acuerdo a sus propiedades físicas de tal forma que se puedan separar el material que aún puede ser recuperado del que debe de ser desechado. De esta forma se dosificaran en la fórmula del compuesto.

### **3.5.5. Adquisición de maquinaria (tecnología nueva)**

El proceso de corte de tuberías tiene deficiencias ya que actualmente son cortados de manera manual es decir existe un operario que por medio de una machete va trozando el material, lo cual ocasiona un cuello de botella debido a la restricción de la operación manual a la vez que la geometría de los cortes no tiene un estándar, en varias oportunidades se ha detenido los molinos debido a fallas mecánicas por sobrecalentamiento o rotura de cuchillas. La propuesta de mejora es cambiar el corte por un equipo mecánico.

La inversión de comprar un desgarrador, traerá el beneficio de recuperar todo tipo de scrap sin que ocasione fallas en los molinos. El inventario de scrap ha ido aumentando debido a las paradas de los equipos por rotura, con los nuevos equipos de molienda se asegurará tener la capacidad de reproceso necesaria para el nivel de inventario actual de scrap y del scrap que se genera.

Con la aplicación de estas propuestas de mejora, la organización pretende dar solución al alto nivel de Scrap que se ha estado generando en los últimos años, a la vez que se desea implementar las metodologías necesarias para la reducción del sobreprocesamiento, dar un plan de acción en la reducción del inventario actual y finalmente garantizar que estas propuestas por implementar se mantengan activas y controladas.

## CAPITULO 4. APLICACIÓN DE LAS HERRAMIENTAS DE LEAN MANUFACTURING

En el capítulo 3 se identificaron cuáles son las principales causas relevantes de generación de Scrap, en este capítulo se justificara y se desarrollara las herramientas Lean aplicables solo a la mejora de procesos en las áreas de Mezclas y Molinos, al analizar la Tabla 10 las causas que no han sido consideradas en el alcance de la presente Tesis, serán mencionadas como oportunidades de mejora para un siguiente estudio.

### 4.1. Metodología de herramientas a utilizar

Para definir la metodología del presente estudio de tesis, se ha aplicado dos tipos de análisis, la primera en base a las causas presentadas en la Tabla 6 y segundo mediante la herramienta Lean Value Streaming Mapping (VSM).

En la Tabla 10 se analiza el plan de acción para reducir o eliminar cada causa de generación de Scrap. El alcance de las propuestas solo será aplicado según se vio en el punto 3.5, las mismas que están resaltados en color amarillo.

Tabla 10. Principales herramientas a desarrollar por tipo de causa de scrap

| ITEM | CAUSAS DE SCRAP                        | PROPUESTO LEAN + HERRAMIENTAS CALIDAD  |
|------|--|--|
| 1    | Inicio/fin de medida                   | No se desarrollara este punto  |
| 2    | Compuesto con problemas                | 5S (limpieza y orden), Benchmarking, Estandarización de Procedimientos                       |
| 3    | Compuesto contaminado                  | 5S (limpieza y orden), Benchmarking, Estandarización de Procedimientos                       |
| 4    | Falla mecánica acampanadora            | TPM (Retomar mantenimiento Productivos), SMED (problemas de regulación y desgaste de piezas) |
| 5    | Matricería mal estado (cabezal/útiles) | TPM (descromado por falta de evaluación en el compuesto)                                     |
| 6    | Falla bomba agua(tanque/batea enfria)  | RECOMENDACIÓN: TPM - (cambio de chiller de enfriamiento)                                     |
| 7    | Falla eléctrica impresora              | RECOMENDACIÓN: Buscar políticas con proveedores  |
| 8    | Arranque y parada de planta            | No se desarrollara este punto  |
| 9    | Falla mecánica sierra                  | RECOMENDACIÓN: TPM (mantenimiento preventivo)  |
| 10   | Muestras calidad de                    | No se desarrollara este punto  |

|    | producto  |  |
|----|---|--|
| 11 | Falla eléctrica sierra                          | RECOMENDACIÓN: TPM (mantenimiento preventivo)                          |
| 12 | Falla resistencia cabezal                       | RECOMENDACIÓN: Mantenimiento (mejora de proveedores)                   |
| 13 | Falla puesta pto/ctrl/verif cabezal             | RECOMENDACIÓN: Metodología   |
| 14 | Falla ctrl nivel (batea/tanque de enfriamiento) | RECOMENDACIÓN: Chiller (encode)  |
| 15 | Falla sistema agua (Bombas y Red)               | RECOMENDACIÓN: TPM (mantenimiento preventivo)                          |
| 16 | Falla eléctrica acampanadora                    | TPM (kit de repuestos)   |
| 17 | Scrap con problemas                             | 5S (limpieza y orden), Benchmarking, Estandarización de Procedimientos |
| 18 | Calibrador con problemas (cabezal)              | RECOMENDACIÓN: Poka Yoque  |
| 19 | Virutas   | No se desarrollara este punto  |
| 20 | Pruebas/Ensayos compuestos                      | No se desarrollara este punto  |
| 21 | Limpieza filtro bomba de desgaste               | RECOMENDACIÓN: TPM   |
| 22 | Falla control y verif. alimentación             | RECOMENDACIÓN: Calibracion de equipos                                  |
| 23 | Scrap contaminado                               | 5S (limpieza y orden), Benchmarking, Estandarización de Procedimientos |
| 24 | Falla bomba vacío (tanque/batea enfria)         | RECOMENDACIÓN: TPM Chiller   |
| 25 | Scrap de desarrollo                             | No se desarrollara este punto  |

Elaboración Propia

En la Figura 29., se ha desarrollado un VSM de los procesos de mezclas y molinos, con el objetivo de proporcionarnos una representación gráfica del flujo de actividades y darnos información de los tiempos que se desperdician en cada actividad en la cadena de valor y así poder reducirlos y mejorar el rendimiento de las operaciones.

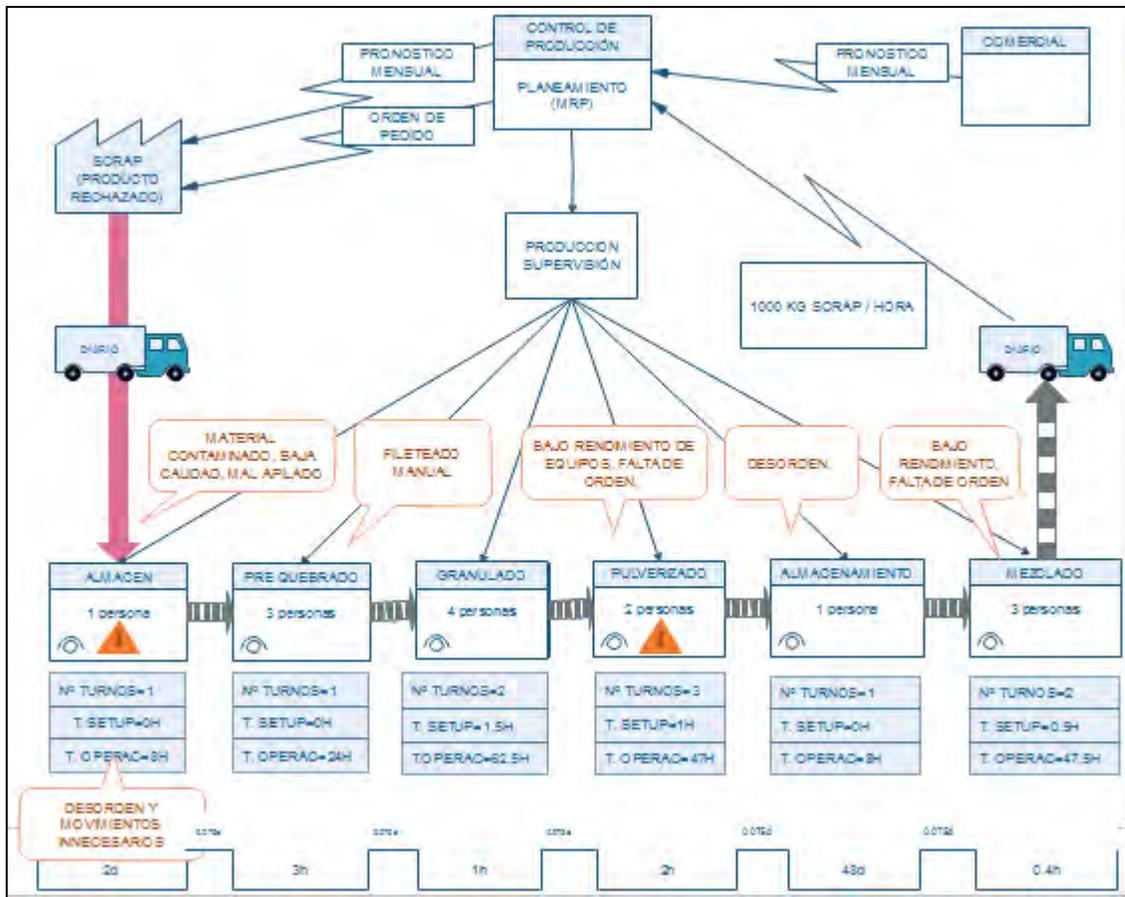


Figura 29: Grafico VSM situación actual Procesos de Mezclas y Molinos  
Elaboración Propia

En resumen se presenta la Tabla 11. donde se describen las herramientas de mejora aplicadas a la reducción de las causas de generación Scrap, teniendo solo como alcance los procesos de mezcla y molinos.

Tabla 11. Resumen de Herramientas enfocadas a la mejora de procesos

| PROBLEMÁTICA SCRAP             | HERRAMIENTA DE MEJORA  |
|--------------------------------|--|
| Problemas compuesto            | 5S<br>Procedimientos e Instructivos<br>Metodología de Calificación |
| Paradas de equipos             | TPM, 5S  |
| Tiempos Movimiento de Material | SMED, 5S, BENCHMARKING y VSM                                       |
| Inventarios de Scrap           | Metodología de Calificación, Formulación                           |
| Sistema de corte               | Equipo desmenuzador  |

Elaboración Propia

## 4.2. Desarrollo de herramientas Lean

A continuación se expondrá la aplicación de las herramientas lean y los resultados obtenidos, estas se han tenido que adaptar a la realidad de los procesos y de la empresa.

### 4.2.1. Aplicación de 5's

Al tener mapeado el proceso de fabricación de los distintos productos de PVC, se procede a planificar la implementación de esta herramienta. Cabe resaltar que en el desarrollo del plan deben de estar involucrados todos los colaboradores, de manera tal que el cumplimiento sea eficiente. El objetivo principal es crear una cultura del orden y control visual.

En las Figuras 30. y 31., se puede visualizar la situación actual de las áreas de mezclas y molinos, donde no existe un orden determinado para los diferentes productos que se generan en la planta, a la vez que no está delimitado las zonas de tránsito lo cual impide el libre desplazamiento de los equipos.

Por otra parte los compuestos al no estar adecuadamente apilados y almacenados, son contaminados por el polvo y la humedad lo que genera scrap al momento de ser dosificados en las máquinas extrusoras.





Figura 30: Mal ubicación de Scrap en las Área de Mezclas y Molino  
Fuente: La empresa (2013)



Figura 31: Situación de las áreas de Mezclas y Molinos antes del plan 5'S  
Fuente: La empresa (2013)

Sera necesario realizar una auditoria diagnóstico, donde se podrá evaluar cuantitativamente el nivel actual de implementación, la metodología es responder un cuestionario por cada "S", la ponderación será de 0 a 3 donde 0 representa no hay

implementación, 1 un 30% de cumplimiento, 2 cumple un 65%, 3 un 95% de cumplimiento.

En la Tabla 12. Se puede observar la calificación obtenida en las áreas de molino y mezclas de PVC.

Tabla 12. Auditoria de nivel de aplicación de 5'S

| ITEM                | FORMATO DE EVALUACIÓN  | CALIF |
|---------------------|--|-------|
| <b>CLASIFICAR</b>   |  |       |
| 1                   | Las herramientas de trabajo se encuentran en buen estado para su uso                           | 2     |
| 2                   | Los equipos se encuentra en buenas condiciones de uso  | 2     |
| 3                   | Existen objetos sin uso en los pasillos  | 2     |
| 4                   | Pasillos libres de obstáculos  | 1     |
| 5                   | Las mesas de trabajo están libres de objetos sin uso   | 0     |
| 6                   | Se cuenta con solo lo necesario para trabajar  | 0     |
| 7                   | Los cajones se encuentran bien ordenados   | 2     |
| 8                   | Se ven partes o materiales en otras áreas o lugares diferentes a su lugar asignado             | 1     |
| 9                   | Es difícil encontrar lo que se busca inmediatamente  | 0     |
| 10                  | El área de está libre de cajas de papeles u otros objetos                                      | 0     |
| <b>ORDENAR</b>      |  |       |
| 11                  | Las áreas están debidamente identificadas  | 0     |
| 12                  | No hay unidades encimadas en las mesas o áreas de trabajo                                      | 0     |
| 13                  | Los botes de basura están en el lugar designado para éstos                                     | 2     |
| 14                  | Lugares marcados para todo el material de trabajo (Equipos, carpetas, etc.)                    | 0     |
| 15                  | Todas las sillas y mesas están el lugar designado  | 2     |
| 16                  | Los cajones de las mesas de trabajo están debidamente organizados y sólo se tiene lo necesario | 1     |
| 17                  | Todas las identificaciones en los estantes de material están actualizadas y se respetan        | 0     |
| <b>LIMPIAR</b>      |  |       |
| 18                  | Los equipos se encuentran limpios  | 1     |
| 19                  | Las herramientas de trabajo se encuentran limpias  | 2     |
| 20                  | Piso está libre de polvo, basura, componentes y manchas  | 0     |
| 21                  | Las gavetas o cajones de las mesas de trabajo están limpias                                    | 1     |
| 22                  | Las mesas están libres de polvo, manchas y componentes de scrap o residuos.                    | 1     |
| 23                  | Los planes de limpieza se realizan en la fecha establecida                                     | 1     |
| <b>ESTANDARIZAR</b> |  |       |
| 24                  | Todos los contenedores cumplen con el requerimiento de la operación                            | 2     |
| 25                  | El personal usa la vestimenta adecuada dependiendo de sus labores                              | 2     |
| 26                  | Todas las equipos sillas y carritos son iguales  | 1     |
| 27                  | Todo los instructivos cumplen con el estándar  | 1     |
| 28                  | La capacitación está estandarizada para el personal del área                                   | 0     |

Elaboración Propia

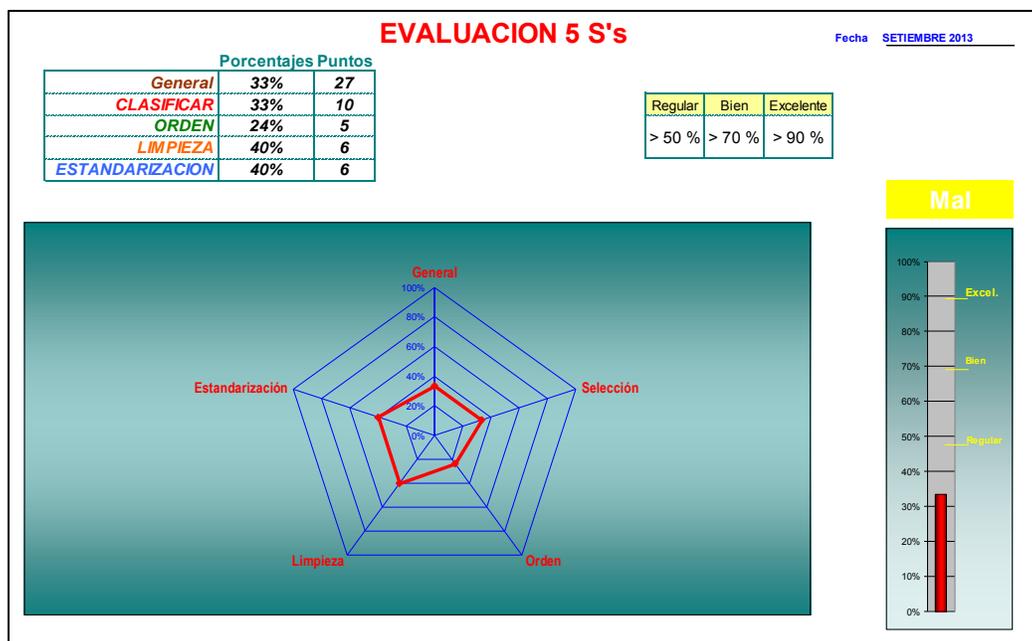


Figura 32: Resumen Evaluación de 5'S antes de su Implementación  
Elaboración Propia

Como podemos observar en la Figura 32, luego de la auditoria inicial en las áreas de mezclas y molinos se obtuvo un 33% en el nivel de buenas prácticas de 5S, el nivel requerido mínimo debe de ser mayor al 65%.

#### 4.2.1.1. Desarrollo de las 5s

Sera necesario destinar recursos como: capacitación del personal, materiales (ejemplo tarjetas visuales), tiempo destinado a la limpieza y orden, auditorias y finalmente políticas de buenas prácticas.

Seiri (clasificar)

El fin de clasificar es separar los elementos innecesarios que no generan valor en las operaciones de trabajo, para este punto el personal operativo debe conocer aquellos equipos y/o materiales que deben ser separados, por lo que se les proporciono tarjetas rojas, estos fueron colocados en cada equipo y/o material, en la Figura 33, se muestra el diseño de la tarjeta.

| TARJETA ROJA              |        |
|---------------------------|--------|
| Fecha:                    | Folio: |
| Descripción:              |        |
| Responsable:              |        |
| Fecha:                    | Folio: |
| Descripción:              |        |
| CATEGORÍA                 |        |
| Accesorios o herramientas |        |
| Cubetas, recipientes      |        |
| Equipo de oficina         |        |
| Instrumentos de medición  |        |
| Librería, papelería       |        |
| Maquinaria                |        |
| Materia prima             |        |
| Material de empaque       |        |
| Producto terminado        |        |
| Producto en proceso       |        |
| Refacciones               |        |
| Otro (especifique)        |        |
| RAZÓN                     |        |
| Contaminante              |        |
| Defectuoso                |        |
| Descompuesto              |        |
| Desperdicio               |        |
| No se necesita            |        |
| No se necesita pronto     |        |
| Uso desconocido           |        |
| Otro (especifique)        |        |
| Responsable               |        |
| Fecha decisión            |        |
| Destino final             |        |
| Fecha                     |        |

Figura 33: Formato de Tarjeta Roja  
Elaboración Propia

Una vez puesto las tarjetas, el personal realizo una lista maestra con todos los artículos innecesarios, para tomar la decisión de su eliminación se tuvo una reunión con la gerencia general, en la Tabla 13. se describe el inventario realizado y la propuesta del plan de acción, con la aprobación de gerencia se ejecutó el plan en un 90%. Los materiales separados fueron correctamente identificados (cajas de cartón rotulados) con su trazabilidad respectiva.

Tabla 13. Lista de artículos con tarjeta roja

| ITEM | DESCRIPCION DEL ARTICULO | CANTIDAD | ACCION             |
|------|--------------------------|----------|--------------------|
| 1    | Pelletizadora            | 1        | Transferir de área |
| 2    | Gavetas                  | 15       | Reubicar           |
| 3    | Sacos                    | NA       | Reubicar           |
| 4    | Cartones                 | NA       | Eliminar           |
| 5    | Balanza                  | 1        | Transferir de área |
| 6    | Repuestos                | NA       | Transferir de área |
| 7    | Mesa                     | 2        | Reubicar           |
| 8    | Cajonería                | 4        | Cambiar            |
| 9    | Ventiladores             | 1        | Transferir de área |
| 10   | Equipos varios           | NA       | Eliminar           |

Elaboración Propia

Seiso (ordenar)

Una vez retirado los elementos innecesarios, se debe reestructurar la ubicación y destino final de los equipos y/o materiales, por lo que se debe definir la nueva distribución del área, teniendo en cuenta la distancia y tiempos de recorrido del personal. A la vez se debe generar procedimientos e instructivos.

Con referencia a los patios de almacenamiento se delimitara el perímetro de trabajo mediante la marcación de líneas amarillas en el suelo, cabe resaltar que la delimitación nunca se había realizado en la empresa, por lo que se inició desde cero, en la Figura 34. se observa el layout propuesto y en las Figuras 35 y 36 se aprecia la ejecución del pintado de las líneas.

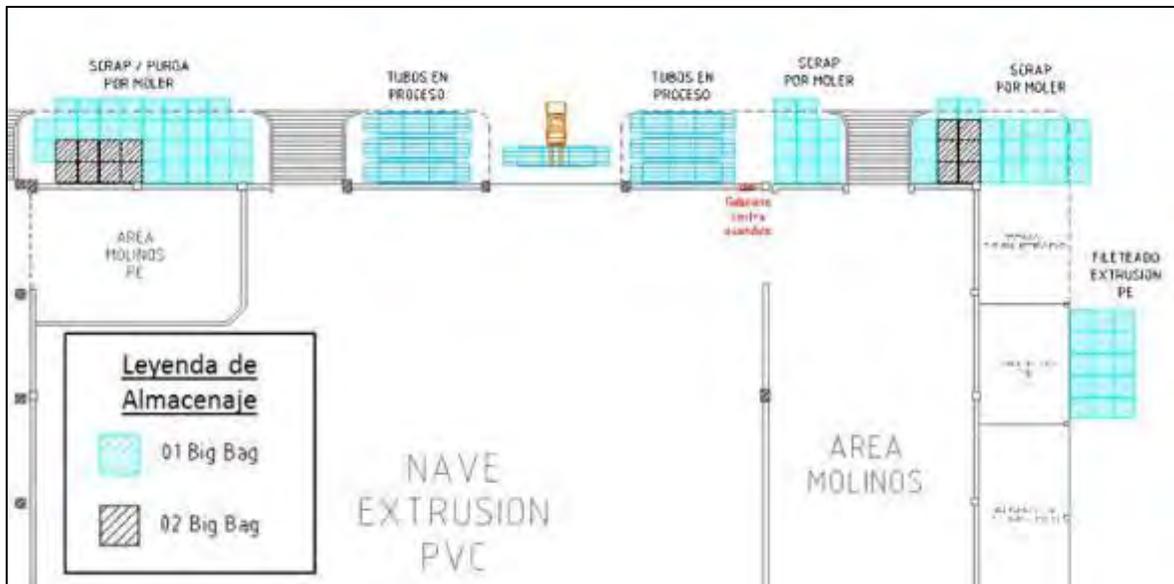


Figura 34: Propuesta de Layout - Ubicación de Scrap (Big Bag)  
Elaboración Propia



Figura 35: Orden de las Áreas de Silos  
Fuente: La Empresa (2014)



Figura 36: Orden de las Áreas de Mezclas y Molino  
Fuente: La Empresa (2014)

#### Seiton (limpiar)

Su ejecución partió con una reunión general, donde se determinó un plan de ejecución que tenía como prioridad realizarlo en el menor tiempo posible para que no retrase las operaciones de la empresa, se planteó ejecutarlos los fines de semana con un supervisor responsable. Durante la ejecución se registro todos los movimientos mediante formatos e informes.

#### Seiketsu (estandarización)

El objetivo de estandarizar es mantener controlados las tres primeras “S”, es decir la clasificación, orden y limpieza deben de continuar en el tiempo, para ello se deben de crear normas de convivencia, donde cada operario debe ser responsable de que el orden y limpieza se mantengan en su lugar de trabajo, para ello fue importante enseñarles a detectar de manera autónoma oportunidades de mejora por medio de las tarjetas verdes, como se observa en la Figura 37., esto añade responsabilidad y compromiso de mejora continua.

| TARJETA DE OPORTUNIDAD |            |
|------------------------|------------|
| Fecha:                 | Folio:     |
| Area:                  |            |
| Oportunidad:           |            |
| Actividad a realizar:  | Propuesta: |
| Equipo:                |            |
| Observaciones:         |            |

Figura 37: Tarjeta de Oportunidad  
Elaboración Propia

- Con el fin de garantizar y que el personal se sienta involucrado se propuso llenar un ckeck list de conformidad de limpieza, en la Figura 38. el formato.

| FORMATO DE CONFORMIDAD DE LIMPIEZA  |       |                              |  |             |    |    |  |  |                              |  |  |                        |  |  |                            |  |  |                |  |  |                    |  |
|---|-------|------------------------------|--|-------------|----|----|--|--|------------------------------|--|--|------------------------|--|--|----------------------------|--|--|----------------|--|--|--------------------|--|
| Fecha   | _____ | Operarios _____              |  |             |    |    |  |  |                              |  |  |                        |  |  |                            |  |  |                |  |  |                    |  |
| Turno   | _____ |                              |  |             |    |    |  |  |                              |  |  |                        |  |  |                            |  |  |                |  |  |                    |  |
| Hora  | _____ |                              |  |             |    |    |  |  |                              |  |  |                        |  |  |                            |  |  |                |  |  |                    |  |
| Linea de Envasado   | _____ |                              |  |             |    |    |  |  |                              |  |  |                        |  |  |                            |  |  |                |  |  |                    |  |
| <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">CUMPLE</th> <th rowspan="2">ACTIVIDADES</th> </tr> <tr> <th>SI</th> <th>NO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td>Materiales en lugar asignado</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Mesa de Trabajo Limpia</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Piso limpio y sin derrames</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Maquina limpia</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Basura clasificada</td> </tr> </tbody> </table> |       | CUMPLE                       |  | ACTIVIDADES | SI | NO |  |  | Materiales en lugar asignado |  |  | Mesa de Trabajo Limpia |  |  | Piso limpio y sin derrames |  |  | Maquina limpia |  |  | Basura clasificada |  |
| CUMPLE  |       | ACTIVIDADES                  |  |             |    |    |  |  |                              |  |  |                        |  |  |                            |  |  |                |  |  |                    |  |
| SI  | NO    |                              |  |             |    |    |  |  |                              |  |  |                        |  |  |                            |  |  |                |  |  |                    |  |
|   |       | Materiales en lugar asignado |  |             |    |    |  |  |                              |  |  |                        |  |  |                            |  |  |                |  |  |                    |  |
|   |       | Mesa de Trabajo Limpia       |  |             |    |    |  |  |                              |  |  |                        |  |  |                            |  |  |                |  |  |                    |  |
|   |       | Piso limpio y sin derrames   |  |             |    |    |  |  |                              |  |  |                        |  |  |                            |  |  |                |  |  |                    |  |
|   |       | Maquina limpia               |  |             |    |    |  |  |                              |  |  |                        |  |  |                            |  |  |                |  |  |                    |  |
|   |       | Basura clasificada           |  |             |    |    |  |  |                              |  |  |                        |  |  |                            |  |  |                |  |  |                    |  |

Figura 38: Formato de conformidad de limpieza  
Fuente: La Empresa

## Shitsuke (disciplina)

La disciplina es alcanzada si se logra cumplir con políticas de buenas prácticas, por lo que en este punto es necesario crear cultura en el personal de orden y limpieza, por tal razón se desarrollaron las siguientes:

Políticas:

1. Nosotros debemos conocer y aplicar el programada de mejoramiento 5'S
2. Nuestra obligación es mantener nuestro ambiente limpio y ordenado.
3. Debemos capacitar a todo el personal los beneficios de usar 5'S, ya que nos ayuda a mejorar continuamente.
4. Al terminar cada turno, cada trabajador debe dejar su lugar limpio y ordenado.
5. Toda herramienta de trabajo tiene su lugar, por lo que una vez sea utilizado debe regresar a su lugar de origen.
6. Las líneas amarillas deben estar claramente identificadas, se debe de realizar inspecciones semanales.
7. Se debe de realizar inspecciones del correcto llenado del formato de conformidad de limpieza.
8. Los suelos siempre deben estar limpios, una vez se realice un mantenimiento no debe de haber restos de aceite y/o otro liquido, la seguridad es tarea de todos.
9. Respetar el destino final de los desperdicios, reciclar de acuerdo al color del material.

### 4.2.1.2. Impacto de la aplicación de las 5s

La evaluación de esta implementación de esta herramienta dos dio los siguientes resultados de la Tabla 14.

Tabla 14. Resumen de tiempos luego de utilizar 5'S

| OPERACIÓN          | TIEMPO (HRS) |         | REDUCCION |
|--------------------|--------------|---------|-----------|
|                    | ANTES        | DESPUES |           |
| Tiempo de Set-up   | 2.00         | 1.50    | 25.0%     |
| Tiempo de Limpieza | 0.15         | 0.08    | 46.7%     |

Elaboración Propia

El nivel de cumplimiento luego de la auditoria fue de un 88% (ver Tabla 15. y Figura 39.), la mejora fue evidente en las operaciones, ya que el personal logra realizar sus tareas de forma más rápida y eficiente (labores de set-up y limpieza). Los beneficios de esta herramienta son los siguientes:

- Reducción de tiempos, al momento de realizar las operaciones de traslado de materiales a los molinos y áreas de mezcla.
- Reducción de mantenimientos correctivos de maquinaria, debido a que los trabajadores realizan la limpieza y el check list de inspección.
- Mejora de la calidad del producto, debido a que ya no se presenta material contaminado, y este está claramente identificado.
- Reducción de accidentes de trabajo.
- Imagen de la planta, visualmente se ve un ambiente limpio.

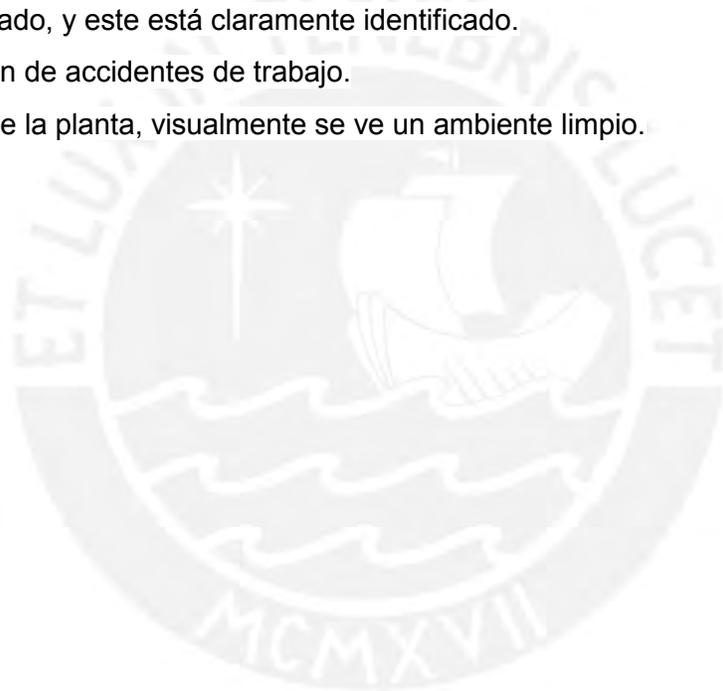


Tabla 15. Auditoria de nivel de aplicación de 5'S después de su implementación

| ITEM                | FORMATO DE EVALUACIÓN  | CALIF |
|---------------------|--|-------|
| <b>CLASIFICAR</b>   |  |       |
| 1                   | Las herramientas de trabajo se encuentran en buen estado para su uso                           | 3     |
| 2                   | Los equipos se encuentra en buenas condiciones de uso  | 2     |
| 3                   | Existen objetos sin uso en los pasillos  | 3     |
| 4                   | Pasillos libres de obstáculos  | 3     |
| 5                   | Las mesas de trabajo están libres de objetos sin uso   | 3     |
| 6                   | Se cuenta con solo lo necesario para trabajar  | 2     |
| 7                   | Los cajones se encuentran bien ordenados   | 3     |
| 8                   | Se ven partes o materiales en otras áreas o lugares diferentes a su lugar asignado             | 2     |
| 9                   | Es difícil encontrar lo que se busca inmediatamente  | 2     |
| 10                  | El área de está libre de cajas de papeles u otros objetos                                      | 3     |
| <b>ORDENAR</b>      |  |       |
| 11                  | Las áreas están debidamente identificadas  | 2     |
| 12                  | No hay unidades encimadas en las mesas o áreas de trabajo                                      | 3     |
| 13                  | Los botes de basura están en el lugar designado para éstos                                     | 3     |
| 14                  | Lugares marcados para todo el material de trabajo (Equipos, carpetas, etc.)                    | 2     |
| 15                  | Todas las sillas y mesas están el lugar designado  | 2     |
| 16                  | Los cajones de las mesas de trabajo están debidamente organizados y sólo se tiene lo necesario | 3     |
| 17                  | Todas las identificaciones en los estantes de material están actualizadas y se respetan        | 2     |
| <b>LIMPIAR</b>      |  |       |
| 18                  | Los equipos se encuentran limpios  | 3     |
| 19                  | Las herramientas de trabajo se encuentran limpias  | 3     |
| 20                  | Piso está libre de polvo, basura, componentes y manchas  | 2     |
| 21                  | Las gavetas o cajones de las mesas de trabajo están limpias                                    | 3     |
| 22                  | Las mesas están libres de polvo, manchas y componentes de scrap o residuos.                    | 2     |
| 23                  | Los planes de limpieza se realizan en la fecha establecida                                     | 2     |
| <b>ESTANDARIZAR</b> |  |       |
| 24                  | Todos los contenedores cumplen con el requerimiento de la operación                            | 3     |
| 25                  | El personal usa la vestimenta adecuada dependiendo de sus labores                              | 3     |
| 26                  | Todas las equipos sillas y carritos son iguales  | 2     |
| 27                  | Todo los instructivos cumplen con el estándar  | 2     |
| 28                  | La capacitación está estandarizada para el personal del área                                   | 3     |

Elaboración Propia

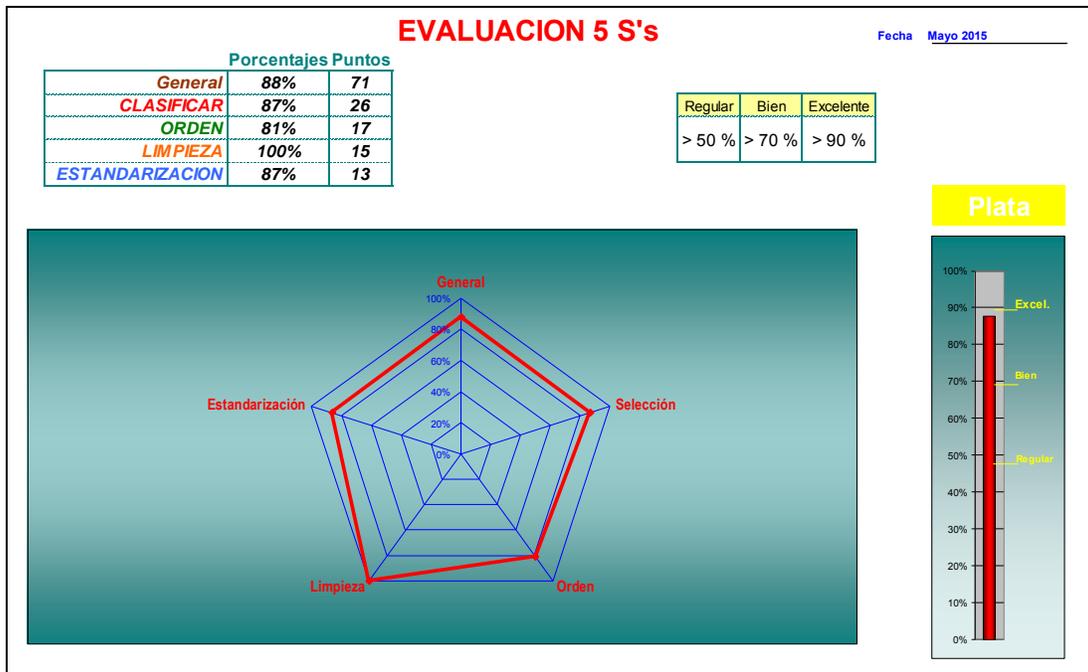


Figura 39: Resumen Evaluación de 5'S después de su Implementación  
Elaboración Propia

#### 4.2.2. Aplicación de Benchmarking

La organización del presente estudio forma parte de un grupo empresarial con presencia en casi todos los países de Latinoamérica, muchos de los problemas detectados también ocurrieron en plantas de otros países y fueron solucionados satisfactoriamente.

A continuación se presenta la aplicación de estas experiencias positivas en la planta de Perú.

##### 4.2.2.1. Tratamiento del scrap purga

La purga es un material con mayor estabilidad térmica que se usa para la limpieza del conjunto de plastificación de la extrusora, se emplea en cada inicio o paro de un tipo de producción. Este proceso según sea el tipo de producción se realiza a 150°C, una vez que el material paso por todo el proceso de limpieza se convierte en scrap sin moler de purga. Este tipo de scrap al igual de los demás pasa luego por un proceso de molienda y pulverizado.

Para este proceso se utilizaba dos tipos de purga, la primera se denomina purga virgen porque no contiene scrap pulverizado de purga. El otro tipo de purga se denomina purga mix que es una mezcla de 80% de purga virgen y 20 % scrap pulverizado de purga, este scrap puede ser de una a mas pasadas.

Para la purga mix el scrap que se utiliza puede haber pasado hasta dos veces por el proceso de limpieza del conjunto de plastificación. Luego de esto este tipo de scrap es utilizado en los compuesto, representando del total de la formula un 5%. Hay que resaltar que cada vez que el scrap purga volvía a pasar por el proceso de limpieza cada vez se iba degradando.

Debido a los altos volúmenes de scrap purga en la práctica el proceso de limpieza solo se hacía con purga mix y no con purga virgen.

Este tipo de tratamiento de la purga trajo como consecuencia lo siguiente:

Descromado de los cabezales, los cabezales forman parte del conjunto de plastificación, es el molde que da forma a la tubería, es muy importante que este herramental este cromado, sin embargo al utilizar purga mix que podía contener scrap purga con degradación generaba que la purga mix se quemara y pegara en el cabezal ocasionado que el cromado del mismo se diluyera, obligando a que el herramental saliera a un taller externo para ser nuevamente cromado, el costo según el tamaño del cabezal iba entre los \$ 100 a \$ 500. En la siguiente Figura 40. se ve un evento sobre el problema con los cabezales.

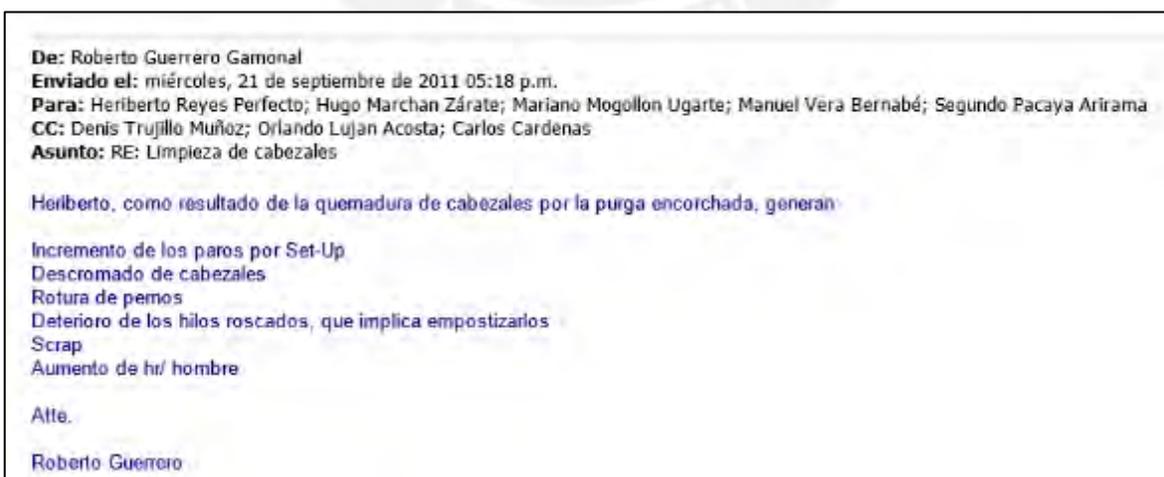


Figura 40: Evidencia del mal uso del Scrap Purga (correo Jefe Mantenimiento)  
Fuente: La empresa (2011)

En consecuencia al mal uso del scrap purga, trajo complicaciones al proceso productivo, siendo los más resaltantes:

Contaminación de compuesto, el scrap purga que no se podía utilizar en el proceso de limpieza era dosificado en los compuestos, su utilización generaba en el aspecto de la tubería puntos de degradación los cuales no eran aceptados por control de calidad, también generaba rotura de las mangas de las tuberías en el proceso productivo ocasionado que nuevamente se tenga que reiniciar la producción.

Desgaste prematuro de las cuchillas de granuladores y pulverizadores, el scrap purga en su composición presenta un 25% adicional de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) con respecto al scrap convencional de PVC, la mayor presencia de este componente trae como consecuencia que al pasarlo por el granulador y pulverizador genera un desgaste mayor en las cuchillas de estos equipos, generando un costo por su reducción de vida útil.

Incremento del scrap degradado, debido a que su consumo en el compuesto era bajísimo mientras que su generación era mayor ocasiono que su inventario crezca y no se reduzca.

Debido a estos resultados negativos se realizaron consultas a países del grupo como Ecuador y Guatemala teniendo en ambos casos la misma recomendación no utilizar purga mix, para la limpieza del conjunto de plastificación solo se debe usar purga virgen, y el scrap que se genere al ser de una sola pasada se puede utilizar con mejores resultados al emplearse en los compuestos, se aplicaron las siguientes acciones:

Cambio de formulación de la purga, la purga que se utilizaba tenía demasiada fluidez lo que ocasionada que generarse scrap con formas irregulares, planta de Ecuador nos recomendó una formulación diferente , al aplicar la nueva fórmula el scrap salía en forma de una tubería esto ayudaba a un mejor manejo para el proceso de granulado. Esta nueva formulación era 4% más barata que la formulación actual de purga virgen. En la Figura 41. se muestra un extracto de los acuerdos tomados para el uso de scrap purga.

Orlando:

Según lo solicita el Ingeniero Contreras adjunto la fórmula de Purga que se utiliza ya en varias operaciones de la Región Norte desde hace varios años

- Esta es una purga DE UNA SOLA PASADA y su objetivo principal, aunado al de tener una fórmula que limpie y proteja los cabezales para PVC al momento de un paro o arranque, está el de evitar generar desperdicios y salidas de materiales de las plantas como purgas quemadas o ir generando los inventarios de purga inservible que pierden su valor y que eventualmente hay que dar de baja.
- La purga se pasa únicamente una vez por el cabezal o molde de forma virgen, y por el tipo de formulación y sus ingredientes, todo el material que sale de un proceso de purga normal, se recoge y se reprocesa de la misma forma en la que se hace con un scrap de PVC convencional (pre quebrado, molido, y pulverizado), y a su vez se utiliza tal como una fórmula de PVC convencional en la fabricación de la misma tubería donde se utilizaría el scrap, y que el color le permita regularmente son tuberías de alcantarillado, drenaje, pluviales, etc. no se hace tubo 100% con formula de purga si no lo que se hace es meter la cantidad de material de este tipo que se genera con el scrap que se genera a lo largo de una corrida de produccion y asi se consume como te comento.
- Esta purga como te comento se utiliza en cabezales desde ½" de tubería convencional PVC hasta cabezales complejos de 42" de Novafort con los resultados que ya te he comentado, es de fácil implementación y solo requiere un buen manejo de la purga ( evitar que se contamine con materiales ajenos al caer al suelo, evitar que se degrade por fallas en tiempos de arranque, termo coplas, etc) y una buen proceso de recuperado.

Figura 41: Acuerdos tomados para el uso de Scrap Purga

Fuente: La empresa (2011)

Se procedió con el nuevo uso de fórmula de purga, y a la vez se prohibió el uso de purga mix para la limpieza de cabezales. Se disminuyó el uso de purga debido a que al no ser mix era más fácil el limpiado del cabezal, por lo que se redujo de 25 ton de generación scrap purga mensual a 22.5 ton (reducción del 10%). A continuación en la Tabla 16. se presenta una comparación entre la generación de scrap purga versus el consumo de scrap purga:

Tabla 16. Generación de scrap purga versus consumo de scrap purga

| Periodo                  | Ton Scrap purga generado | Ton Scrap purga Consumido |
|--------------------------|--------------------------|---------------------------|
| Promedio ene-11 a jun-11 | 19.1                     | 13.4                      |
| Promedio jul-11 a dic-11 | 24.4                     | 14.6                      |
| Promedio ene-12 a jun-12 | 26.6                     | 14.8                      |
| Promedio jul-12 a dic-12 | 27.8                     | 14.3                      |
| Promedio ene-13 a jun-13 | 26.7                     | 14.9                      |
| Promedio jul-13 a dic-13 | 24.2                     | 16.3                      |
| Promedio ene-14 a jun-14 | 22.6                     | 16.6                      |
| Promedio jul-14 a dic-14 | 21.4                     | 18.5                      |

Fuente: La empresa

El scrap purga generado de la purga virgen se utilizó como un scrap convencional en los compuestos, es decir su dosificación podía llegar hasta un 20%.

Se identificó y se separó por niveles de degradación el scrap purga generado de la purga mix, y según sea este nivel se dosificaron en un 5% a 2%, para los de mayor de gradación se decidió venderlo o enviarlo a los rellenos sanitarios.

Estas acciones trajeron como consecuencia que el cromado de los cabezales tenga mayor vida útil, se disminuya la generación de compuesto contaminado por la utilización de scrap purga, y la reducción del inventario de scrap purga. Lo que quedo pendiente fue como hacer para que la purga sea procesada sin generar mayor desgaste en las cuchillas, para ellos se realizaron otras acciones que se detallaran más adelante.

#### 4.2.2.2. Incremento de la capacidad en molinos

En el área de molinos se presentaba los siguientes problemas que reducción la mayor capacidad de procesamiento de scrap.

Desgaste prematuro del filo de las cuchillas en los granuladores, cuando las cuchillas de los granuladores son nuevas están pueden estar en el equipo 35 días sin ser afiladas, en su primera afilada duraban 30 días aproximadamente, en las demás afiladas llegaban a durar 20 días, la vida útil de la cuchilla llegaba a ser de un año. Sin embargo en los últimos meses se observó que las cuchillas solo duraban 14 días incluso a llegar a ser 10 días. Se observó que a diferencia de otros meses ahora procesaban mayor cantidad de

tuberías de diámetros mayores a 250mm, esto debido a que se incrementó la demanda de estas tuberías mientras que disminuyeron las denominadas tuberías para predial, también que se procesaba mayor cantidad de scrap de purga. Desgaste prematuro del filo de las cuchillas en los pulverizadores, cuando las cuchillas en los equipos son nuevas están pueden estar 50 días sin ser afiladas, en su primera afilada duraban 45 días aproximadamente, en las demás afiladas llegaban a durar 40 días, la vida útil de la cuchilla llegaba a ser de un año y medio. Sin embargo en los últimos meses al igual que los granuladores se observó que las cuchillas solo duraban 35 días, esto era muy crítico pues debido a la estructura que presentan las cuchillas de los pulverizadores su afilado duraba 30 días aproximadamente, ha sido indispensable tener siempre un back up afilado y otro en el taller. En este caso los granulos que pulverizaban no interesaban el diámetro de la tubería pero si era un problema el procesamiento de scrap molido de purga. Se tenía casi un 50% de personal operativo nuevo en el área.

Rendimientos por debajo de los estimados por el fabricante, en el área de molinos los principales equipos tenían un rendimiento muy por debajo del estimado considerando su antigüedad. Al no existir un método de trabajo esto ocasionaba un mal uso del equipo y como se mencionó el 50% del personal tenía menos de dos años en el área, esto se aprecia en la Tabla 17.

Tabla 17. Planilla personal mezclas y molinos

| Código Persona | Fecha Ingreso | Código Persona | Fecha Ingreso |
|----------------|---------------|----------------|---------------|
| 5000110        | 15/11/2007    | 5000342        | 06/11/2011    |
| 5000117        | 15/11/2007    | 5000343        | 06/11/2011    |
| 5000242        | 17/06/2008    | 5000357        | 13/04/2012    |
| 5000294        | 23/01/2009    | 5000360        | 04/05/2012    |
| 5000302        | 16/05/2009    | 5000363        | 21/06/2012    |
| 5000306        | 02/07/2009    | 5000367        | 06/10/2012    |
| 5000322        | 15/11/2009    | 5000371        | 01/12/2012    |
| 5000324        | 15/11/2010    | 5000405        | 12/12/2013    |
| 5000325        | 15/11/2010    | 5000423        | 05/08/2014    |
| 5000327        | 15/11/2010    | 5000428        | 15/12/2014    |
| 5000332        | 08/01/2011    | 5000429        | 15/12/2014    |
| 5000333        | 17/01/2011    | 5000431        | 15/12/2014    |

Elaboración propia

Para buscar una solución a estos caso se hizo contacto con plantas como Ecuador o Colombia para que nos asesoraran, de este análisis conjunto se obtuvo las siguientes acciones.

Para los equipos pulverizadores solo se debía procesar material con 24 horas de reposo, esto antes no sucedía porque los operadores siempre buscaban los materiales recién granulados porque estaban a la mano, para ejecutar esta acción se sensibilizo al personal y además que se estableció espacios donde estarían los materiales aptos para ser procesados en los pulverizadores. Esta acción era importante porque se garantizaba que material a la temperatura ambiente pasaba por las cuchillas de los pulverizadores no desgastándolos como si los desgastaba si los materiales estaban calientes. Así mismo indicaron entre otras recomendaciones como se puede ver en la Figura 42. adjunta los comentarios en rojo de las respuestas de la planta de Colombia.

Estimado Juan

Como te comente tenemos problemas con nuestro Pulverizador Zerma PM800

En menos de un año hemos tenido rotura de 03 Juegos de Segmentos de corte (Cuchillas).

Adicionalmente a la rotura, también tenemos una Pérdida de filo muy Acelerada.

Agradeceremos saber la experiencia de Uds. con el Pulverizadores Zerma PM 800 respecto a lo siguiente:

Han tenido roturas de segmentos de corte? Cual fue la causa?

Hemos tenido una rotura de segmento debido a un desgaste excesivo del mismo, igualmente tuvimos otra rotura al cambiar los tornillos de fijación de acero al carbono por acero inoxidable estos últimos se partieron y se salió el segmento; es de hacer notar que este cambio se realizó porque los tornillos originales se oxidan, por tal motivo regresamos a tornillos de acero y los cambiamos en cada cambio de cuchillas.

Frecuencia de afilado (cada cuantos días o ton producidas?)

Se desmontan para afilarlas cada 20 días, que es equivalente a 240 ton en esos 20 días con un promedio de productividad de 500 kg/hr.

Experiencia en fabricación local de los segmentos de corte?

No hemos fabricado las cuchillas localmente siempre las hemos importado.

Granulometría de la partícula a la entrada y salida / Abertura (luz) entre los platos de los segmentos de corte

Las partículas de entrada vienen de una malla número 10 y a la de salida del pulverizador tiene una malla número 14; la luz entre platos es de 0.8 mm, dando esto un tamaño de grano pulverizado entre 180 y 400 micras.

El Enfriamiento es con agua potable o agua de Chillers (que temperatura?)

La refrigeración la hacemos con agua helada a 19 °C.

Controlan la temperatura del Material Pulverizado y en qué punto?

Controlamos la temperatura del material pulverizado a la salida del equipo ajustándola a un máximo de 75 °C.

Parámetros de operación / Rendimiento / Temperatura del agua de enfriamiento

- Amperaje máximo del motor ajustado a 120.
- Amperaje mínimo del motor ajustado a 70.
- Temperatura del material a la salida 75° C.
- Temperatura del agua de enfriamiento 19° C. al final de los 20 días a 300 kg/hr.

Figura 42: Recomendaciones para el uso de cuchillas en molinos y pulverizadores  
Fuente: La empresa (2013)

Cuando se aplicó las recomendaciones se realizó un seguimiento para determinar el nuevo tiempo de durabilidad, en el siguiente Tabla 18. se compara la situación antes y después de las mejoras.

Tabla 18. Duración de Cuchillas Equipos Mezclas y Molinos

| EQUIPO       | MODELO          | AÑO DE FABR | DURACIÓN DE USO CUCHILLAS (DÍAS) | DURACIÓN DE USO CUCHILLAS MEJORAS (DÍAS) |
|--------------|-----------------|-------------|----------------------------------|--|
| Granulador   | PSR 4 - 5 F3/S9 | 2001        | 14                               | 23                                       |
| Granulador   | GSH 500/600     | 2008        | 14                               | 23                                       |
| Pulverizador | PKM 600 CCS/V   | 2001        | 35                               | 55                                       |
| Pulverizador | PM 800          | 2008        | 35                               | 55                                       |
| Granulador   | GSH 700/1000    | 2008        | 14                               | 25                                       |
| Granulador   | PSR 4 - 5 F3/S9 | 2001        | 14                               | 20                                       |

Elaboración Propia

Como se aprecia en el cuadro se ha tenido una mejora en los tiempos de duración de las cuchillas en un 60%. Para mantener esta mejora de manera permanente se han desarrollado instructivos para estandarizar las actividades involucradas en esta actividad.

Además para incrementar la capacidad en molinos se recomendó aplicar la metodología TPM (Mantenimiento productivo total) a los equipos, este punto se desarrollara en el punto 4.2.3.

#### 4.2.2.3. Almacenaje del scrap

El scrap que se generaba en planta de inyección se almacenaba en big bags, el almacenamiento en esta forma era difícil de manipular, debido a su inestabilidad y su dificultad de retirar el material para alimentar a los granuladores debido a la fricción entre el scrap y las paredes de los big bags.

Se planteó diseñar algunos coches sin embargo se hicieron consultas a la planta de Brasil sobre su metodología de almacenaje en su planta de inyección. Ahí se nos propuso unos cajones apilables de 80cm por 90 cm los cuales eran de fácil manejo por una carretilla hidráulica.

Se compraron dos de prueba (importados de Brasil, no se encontró localmente) y se evidenció que daba mayor orden para el almacenaje y lo principal que al ser sus paredes lisas estas permitían mayor facilidad en el retiros del scrap, disminuyendo tiempos para alimentar al granulador, en la Figura 43. se muestras las cajas compradas luego de comprobar las facilidades a la operación. Cada alimentación manual con los big bags tomaba dos minutos, con las cajas se redujo a medio minuto.



Figura 43: Cajones para el traslado de Scrap  
Fuente: La empresa (2014)

#### 4.2.2.4. Eliminación de las actividades de fileteo y trozado

Se detectaron cuellos de botella en procesos manuales, como ya se mencionó se incrementó los pedidos de tuberías con diámetro de 250 mm a más , para este tipo de tuberías antes de pasar al proceso de granulado debe ser primero trozado o fileteado, para el trozado el operador mediante un machete troza la tubería en partes más pequeñas para el granulador pueda procesar el scrap , en el fileteado mediante un equipo de sierra cinta tres operados van pasando las tuberías dejando en trozos para que pase luego al proceso de molienda. Debido a la complejidad de ambos procesos y considerando la seguridad de los operadores ambas actividades solo se realizan en el primer turno, teniendo que dejar material suficiente para los otros dos turnos.

Al ser las consultas a varias plantas de grupo como ellos optimizan sus actividades de fileteo y trozado de tuberías debido que para nosotros era un cuello de botella, nos dimos

con la sorpresa que en ninguna planta existía este tipo de actividades. Todas ellas antes del proceso de granulado presentan un desmenuzador para scrap de tuberías de diámetros no procesables directamente por los granuladores.

El equipo desgarrador tiene dos partes principales, una bandeja de 9 metros de largo y 90 cm de ancho en donde se deposita las tuberías y un tambor circular donde están unos filos inclinados en 45 grados, un pistón empuja las tuberías de la bandeja al tambor empezando a desgarrar el material en trozos de 10 cm aproximadamente. El costo solo del equipo es de 300 mil dólares. En la Figura 44. se aprecia el equipo instalado en la planta de molinos.

Par las actividades de trozado y fileteado implica tener tres personas por turno y apoyo de montacargas, en el equipo desgarrador solo se utilizará un personal y apoyo de montacargas (el personal sobrante será destinado a apoyar las mejoras 5S y otras actividades en planta).

El rendimiento del fileteo y trozado es de 1.2 tonelada en cuatro horas, con este equipo desgarrador en una hora se procesara una tonelada.

Adicionalmente se gasta mensualmente \$ 300 en equipos de sierra cinta y sierra circular, este gasto es equivalente al gasto que se tendrá en repuesto de este nuevo equipo.



Figura 44: Desmenuzador de tuberías

Fuente: La empresa (2015)

#### 4.2.3. Aplicación herramienta TPM (mantenimiento productivo total)

Como propuesta de solución al problema encontrado en el análisis del capítulo anterior se propone aplicar las herramientas del Mantenimiento productivo Total (TPM), en el área de Mezclas y Molinos, desarrollar actividades de mantenimiento general a los equipos granuladores, pulverizadores, mezcladores y acampanadoras debido a su baja eficiencia productiva y sus años de operación, a la vez se propone un programa de capacitación al personal. Cabe mencionar que la planta ya cuenta con el plan general de 5'S. (Cinco S) que es la base fundamental del TPM, que nos dará facilidad para diseñar un programa de mantenimiento autónomo.

##### 4.2.3.1. Planteamiento de la situación actual

Como se ha descrito en la herramienta benchmarking, la empresa no cuenta con un programa de mantenimiento estructurado que garantice el buen y continuo funcionamiento de los equipos del área de mezclas y molinos, no se lleva un registro y/o trazabilidad de los mantenimientos correctivos que se han tenido en cada uno de ellos., la actual cultura es llevar los equipos a reparación cuando estos sufran algún desperfecto, o su rendimiento sea menor. En esos casos hay que detenerlos por completo, tiempo que es perdido y genera un cuello de botella. La información que si se tiene es el costo y tiempo de equipos parados (mantenimientos correctivos).

Tabla 19. Rendimiento de equipos área Mezclas y Molinos

| EQUIPO       | MODELO          | AÑO FABR | MATERIAL A PROCESAR             | RENDIM TEORICO (KG/H) | RENDIM REAL (KG/H) | EFICIENCIA % (KG /H) | DIFERENCIA REND % (KG /H) |
|--------------|-----------------|----------|---------------------------------|-----------------------|--------------------|----------------------|---------------------------|
| Granulador   | PSR 4 - 5 F3/S9 | 2001     | Scrap Ext Pvc                   | 450                   | 250                | 55.6%                | 49.8%                     |
|              | GSH 500/600     | 2008     | Scrap Ext Pvc                   | 500                   | 280                | 56.0%                |                           |
|              | GSH 700/1000    | 2008     | Scrap Ext Pead                  | 600                   | 300                | 50.0%                |                           |
|              | PSR 4 - 5 F3/S9 | 2001     | Scrap Iny Pvc                   | 400                   | 150                | 37.5%                |                           |
| Pulverizador | PKM 600 CCS/V   | 2001     | Scrap Ext Pvc                   | 500                   | 220                | 44.0%                | 38.5%                     |
|              | PM 800          | 2008     | Scrap Ext Pvc                   | 850                   | 280                | 32.9%                |                           |
| Mezclador    | Paper Meller    | 2004     | Materias primas Ext PVC         | 5000                  | 4000               | 80.0%                | 86.6%                     |
|              | Mezclador A     | 2008     | Materias primas Pead (Pellet)   | 700                   | 635                | 90.7%                |                           |
|              | Plasmec         | 2010     | Materias primas Iny PVC         | 1000                  | 900                | 90.0%                |                           |
|              | Pelletizadora   | 2013     | Compuesto Iny dry blend (polvo) | 700                   | 600                | 85.7%                |                           |

Elaboración Propia

De la Tabla 19. Se pueda identificar que los equipos no trabajan al 100% de su capacidad instalada, debido a tiempos muertos por mantenimientos correctivos, la falta de capacitación del personal involucrado y al mal uso de los repuestos instalados (cuchillas, pernos, etc.). La valoración de esta pérdida por hora de trabajo se calculará en función a su rendimiento teórico siendo:

|                  |         |
|------------------|---------|
| Granulador (4)   | 970 kg  |
| Pulverizador (2) | 850 kg  |
| Mezclador (4)    | 1265 kg |

Como se informó en el marco teórico, el proceso de molinos inicia con la recepción del producto no conforme (big bag), el cual es enviado a ser trozado (granulador), cuando este scrap es homogenizado a un tamaño mínimo, la siguiente etapa será volverlo polvo (pulverizador). Finalmente es almacenado y cuando sea requerido será mezclado con los otros aditivos para formar el compuesto según orden de producción (mezclador).

Como se observa el proceso que alimenta a las maquinas pulverizador y mezclador es el granulador, pero este solo trabaja a un 49.8% de su capacidad real, siendo una pérdida de 7.8 toneladas por día (considerando un solo turno de 8 horas). El objetivo de implementar el TPM será maximizar el rendimiento real de los equipos, además que se garantizara cubrir o solventar la demanda, aumentando la productividad.

#### **4.2.3.2. Planteamiento de la mejora propuesta**

Analizado el problema, se tomó la decisión de iniciar con la herramienta del Mantenimiento Autónomo (M.A.) de la metodología Mantenimiento Productivo Total (TPM), como una iniciativa hasta que la empresa madure y pueda con el tiempo completar la implementación total del TPM como herramienta para la Gerencia del Mantenimiento.

##### **4.2.3.2.1. Fases para la programación del Mantenimiento Autónomo.**

La programación del Mantenimiento Autónomo comprenderá las siguientes fases:

- Preparación del personal
- Introducción.
- Implantación.
- Consolidación.

#### Preparación del personal (Educación y formación)

Por ser un programa tan amplio se procederá a enviar a dos miembros de la Empresa a capacitarse para que obtengan conocimientos básicos, sólidos y comprendan sus fundamentos y técnicas; y que a su vez divulgarán la información requerida al resto de empleados.

El M.A. se promoverá a través de una estructura grupal autónoma que estará conformada de la siguiente manera:

- Superintendente de Mantenimiento.
- Supervisor de Planta.
- Técnico Mecánico.
- Técnico Eléctrico.
- Operador.

Las funciones deben incluir elaborar un plan maestra de M.A. y su posterior ejecución, generar procedimientos e instructivos de todos los equipos, capacitar al personal, generar políticas de mantenimiento preventivo y predictivo, crear afiches y tener un plan de 5'S

#### Introducción del M.A.

Se establecerá un cronograma de introducción y capacitación de M.A. al personal involucrado en el área piloto (personal de producción y mantenimiento) por dos horas diarias durante cinco semanas en horarios de 15:00 a 17:00 detallado en la Tabla 20.

Tabla 20. Cronograma de capacitación personal

| PERSONAL              | SEMANA 1 |        |           |        |         | SEMANA 2 |        |           |        |         | SEMANA 3 |        |           |        |         | SEMANA 4 |        |           |        |         | SEMANA 5 |        |           |        |          | TIEMPO DE CAPACITACIÓN |  |
|-----------------------|----------|--------|-----------|--------|---------|----------|--------|-----------|--------|---------|----------|--------|-----------|--------|---------|----------|--------|-----------|--------|---------|----------|--------|-----------|--------|----------|------------------------|--|
|                       | LUNES    | MARTES | MIÉRCOLES | JUEVES | VIERNES | LUNES    | MARTES | MIÉRCOLES | JUEVES | VIERNES | LUNES    | MARTES | MIÉRCOLES | JUEVES | VIERNES | LUNES    | MARTES | MIÉRCOLES | JUEVES | VIERNES | LUNES    | MARTES | MIÉRCOLES | JUEVES | VIERNES  |                        |  |
| Producción            |          |        |           |        |         |          |        |           |        |         |          |        |           |        |         |          |        |           |        |         |          |        |           |        | 10 HORAS |                        |  |
| Mantenimiento         |          |        |           |        |         |          |        |           |        |         |          |        |           |        |         |          |        |           |        |         |          |        |           |        | 10 HORAS |                        |  |
| <b>TEMAS A TRATAR</b> |          |        |           |        |         |          |        |           |        |         |          |        |           |        |         |          |        |           |        |         |          |        |           |        |          |                        |  |
| Introducción al TPM   |          |        |           |        |         |          |        |           |        |         |          |        |           |        |         |          |        |           |        |         |          |        |           |        | 4 HORAS  |                        |  |
| Introducción al M.A.  |          |        |           |        |         |          |        |           |        |         |          |        |           |        |         |          |        |           |        |         |          |        |           |        | 4 HORAS  |                        |  |
| Beneficios M.A.       |          |        |           |        |         |          |        |           |        |         |          |        |           |        |         |          |        |           |        |         |          |        |           |        | 8 HORAS  |                        |  |
| Etapas del M.A.       |          |        |           |        |         |          |        |           |        |         |          |        |           |        |         |          |        |           |        |         |          |        |           |        | 8 HORAS  |                        |  |

Elaboración Propia

Esta etapa de introducción del M.A. supone un cambio sustancial en la mentalidad del personal, que evitará la resistencia de adoptar nuevos sistemas de gestión.

Implantación de Mantenimiento Autónomo.

La descripción secuencial de esta filosofía quedará reflejada en la Figura 45. en la que puede apreciarse que una mejora en la limpieza facilita la inspección, y gracias está podrán detectarse anomalías que pueden incidir en el tiempo de vida del equipo, la mejora de la calidad, mejorar en el medio ambiente en que se trabaja y en la reducción en general en tiempos de producción perdidos.



Figura 45: Detección de anomalías desde la limpieza  
Fuente: Lluís Cuatrecases (2010)

PASO 1. Limpieza e inspección.

Se debe de generar un plan de orden y limpieza de los equipos (granulador, pulverizador y mezcladores), estableciendo un programa de 5'S, con referencia a la inspección este es importante porque se puede descubrir y anticipar fallas en el funcionamiento de los equipos.

Como se vio en el punto 4.2.1. la implementación de la herramienta 5'S trajo como beneficio lugares limpios libres de contaminación y seguros para el personal, las herramientas tienen definido un lugar y se mantiene el orden, el traslado de material es menor. En general se ve una mejora en las operaciones no solo productivas sino del área de mantenimiento.

Para desarrollar la inspección de equipos, se tuvo que levantar información de los mismos, se creó hojas de vida de cada equipo, donde se especifica toda la información técnica necesaria para sus mantenimientos. En las Figuras 46 y 47 se muestran los formatos utilizados.

|  |   | <b>HOJA DE VIDA DE EQUIPO</b>            |                 |                        |               | PLASTNORT-F-P-20-LI<br>Versión:00<br>Fecha : 14/04/2015 |                                     |       |      |
|---|---|--|-----------------|------------------------|---------------|---|-------------------------------------|-------|------|
| EMPRESA:  |   | SEDE: LIMA                               |                 |                        |               | CANT. PAG: 1/1  |                                     |       |      |
| ELABORADO POR:  |   | ANALISTA DE PRODUCCIÓN - CARLOS CÁRDENAS |                 |                        |               |   |                                     |       |      |
| 1. IDENTIFICACION DE EQUIPO   |   |  |                 | 2. DESCRIPCION TECNICA |               |   |                                     |       |      |
| NOMBRE  | Granulador                              | CODIGO                                   | PSR 4 - 5 F3/S9 | VOLTAJE                | 220 V         | ELECTRICO   | <input checked="" type="checkbox"/> |       |      |
| MARCA   | Domenech                                | MODELO                                   | EHV-001         | CORRIENTE              | -             | NEUMATICO   | <input checked="" type="checkbox"/> |       |      |
| AÑO DE FABRICACION  | 2001                                    | N° DE SERIE                              | DHV011015-01    | FRECUENCIA             | 60 Hz         | HIDRAULICO  | <input type="checkbox"/>            |       |      |
| FABRICANTE  | Aleman                                  | PRIORIDAD                                | CRITICO         | POTENCIA               | 2.2 KW        | ELECTRONICO   | <input checked="" type="checkbox"/> |       |      |
| REPRESENTANTE   | -                                       |  |                 | CAPACIDAD              | Di 3" a 6"    | MECANICO  | <input checked="" type="checkbox"/> |       |      |
| UBICACIÓN   | Molinos                                 |  |                 | PESO                   | -             | INFORMATICO   | <input type="checkbox"/>            |       |      |
| OTRAS CARACTERISTICAS   | Material a procesar Scrap Ext Pvc       |  |                 | ALIMENTACION           | Trifasico     | TERMICO   | <input checked="" type="checkbox"/> |       |      |
| 3. CARACTERISTICAS DE LOS MOTORES   |   |  |                 |                        |               |   |                                     |       |      |
| ITEM  | DESCRIPCION                             | CODIGO                                   | MARCA           | SERIE                  | ALIMENTA      | H.P.  | R.P.M.                              | VOLT. | AMP. |
| 1   | Motoreductor del equipo (Tren superior) | TLE01C01                                 | SIEMENS         | Y86SL-2                | Trifasico     | 2.2 KW  | 2900                                | 220   | 4,4  |
| 2   |   |  |                 |                        |               |   |                                     |       |      |
| 3   |   |  |                 |                        |               |   |                                     |       |      |
| 4   |   |  |                 |                        |               |   |                                     |       |      |
| 5   |   |  |                 |                        |               |   |                                     |       |      |
| 4. ORDENES DE TRABAJO   |   |  |                 |                        |               |   |                                     |       |      |
| O.T. N°   | FECHA INGRESO                           | PROCEDIMIENTO EJECUTADO                  | FECHA SALIDA    | REPUESTOS INVOLUCRADOS | OBSERVACIONES |   |                                     |       |      |
|   |   |  |                 |                        |               |   |                                     |       |      |
|   |   |  |                 |                        |               |   |                                     |       |      |
|   |   |  |                 |                        |               |   |                                     |       |      |
|   |   |  |                 |                        |               |   |                                     |       |      |
|   |   |  |                 |                        |               |   |                                     |       |      |
|   |   |  |                 |                        |               |   |                                     |       |      |
|   |   |  |                 |                        |               |   |                                     |       |      |

Figura 46: Formato Hoja de vida equipo  
Elaboración Propia

| FECHA:                   |                          | CONTROL DE INSPECCION Y LIMPIEZA                              |                              |                                 |                       |                       |                                |                            |                 |   |                        |                                  |                     |                                     |           | PLASTNORT-F-P-21-LI<br>Versión:00<br>Fecha : 14/04/2015 |                               |   |   |   |   |   |   |    |
|--------------------------|--------------------------|---|------------------------------|---------------------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------------|----------------------------|-----------------|---|------------------------|----------------------------------|---------------------|-------------------------------------|-----------|---|-------------------------------|---|---|---|---|---|---|----|
| EMPRESA:                 |                          | SEDE: LIMA  |                              |                                 |                       |                       |                                |                            |                 |   |                        |                                  |                     |                                     |           | CANT. PAG: 1/1  |                               |   |   |   |   |   |   |    |
| ELABORADO POR:           |                          | ANALISTA DE PRODUCCIÓN - CARLOS CÁRDENAS                      |                              |                                 |                       |                       |                                |                            |                 |   |                        |                                  |                     |                                     |           |   |                               |   |   |   |   |   |   |    |
| 1. CHECK LIST DE EQUIPOS |                          |   |                              |                                 |                       |                       |                                |                            |                 |   |                        |                                  |                     |                                     |           |   |                               |   |   |   |   |   |   |    |
| FECHA:                   | MAQUINA: PSR 4 - 5 F3/S9 | Limpiar el área de trabajo                                    | Verificar el nivel de aceite | Verificar temperatura de aceite | Cables de resistencia | Cables de Termocuplas | Puertas y guardas de seguridad | Pernos de acople del molde | Micros y Lavras | Interferencia Mecánicas con cables y pernos | Seguridades Eléctricas | Componentes del sistema expulsor | Mangueras y Acoples | Alarmas Indicadoras de Filtro sucio | Presiones | Revisar temperatura del equipo                          | Chequeo del motor de la bomba | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |    |
| DIA                      | TURNO                    | Marcar con una letra (ver leyenda) de acuerdo a la inspección |                              |                                 |                       |                       |                                |                            |                 |   |                        |                                  |                     |                                     |           |   |                               |   |   |   |   |   |   |    |
| Lunes                    | 1ER                      | OK  | OK                           | OK                              | OK                    | B3                    | OK                             | OK                         | OK              | OK  | B3                     |                                  | C1                  | OK                                  | OK        | OK  | OK                            |   |   |   |   |   |   |    |
|                          | 2DO                      | OK  | OK                           |                                 |                       | B2                    | B4                             | OK                         | OK              |   | B2                     | B4                               |                     | C2                                  | OK        |   |                               |   |   |   |   |   |   |    |
|                          | 3ER                      | OK  |                              | OK                              | OK                    |                       | OK                             |                            |                 | OK  | OK                     | OK                               |                     | OK                                  |           |   | OK                            |   |   |   |   |   |   |    |
| Martes                   | 1ER                      | OK  |                              |                                 |                       |                       |                                | OK                         |                 | OK  | OK                     |                                  |                     |                                     | OK        | OK  | OK                            |   |   |   |   |   |   |    |
|                          | 2DO                      | OK  |                              |                                 | OK                    | OK                    | OK                             |                            | OK              | OK  | OK                     |                                  |                     | OK                                  |           |   | OK                            |   |   |   |   |   |   |    |
|                          | 3ER                      | OK  |                              | OK                              |                       |                       | OK                             |                            |                 | OK  | OK                     |                                  |                     | OK                                  |           |   | OK                            |   |   |   |   |   |   | B2 |
| Miércoles                | 1ER                      | B2  | OK                           |                                 |                       | OK                    |                                | OK                         |                 | OK  | OK                     |                                  |                     | OK                                  | OK        | OK  |                               |   |   |   |   |   |   |    |
|                          | 2DO                      | OK  |                              | OK                              |                       |                       | OK                             |                            | OK              |   | OK                     |                                  |                     | OK                                  |           |   | OK                            |   |   |   |   |   |   |    |
|                          | 3ER                      |   | OK                           |                                 |                       |                       |                                |                            | OK              | OK  | OK                     |                                  |                     | OK                                  |           |   | OK                            |   |   |   |   |   |   |    |
| Jueves                   | 1ER                      | OK  |                              |                                 |                       | OK                    |                                | OK                         |                 | B2  | OK                     |                                  |                     | B2                                  | OK        | OK  |                               |   |   |   |   |   |   |    |
|                          | 2DO                      | OK  |                              | OK                              |                       | OK                    | B2                             | OK                         | OK              |   | OK                     |                                  |                     | OK                                  | OK        | OK  |                               |   |   |   |   |   |   | OK |
|                          | 3ER                      | OK  |                              |                                 |                       |                       |                                |                            |                 | OK  | OK                     |                                  |                     | OK                                  |           |   | OK                            |   |   |   |   |   |   | OK |
| Viernes                  | 1ER                      | OK  | OK                           |                                 | OK                    |                       | OK                             | OK                         |                 | OK  | OK                     |                                  |                     | OK                                  | OK        | OK  |                               |   |   |   |   |   |   |    |
|                          | 2DO                      | OK  |                              | OK                              |                       | OK                    | OK                             |                            |                 | OK  | OK                     |                                  |                     | OK                                  |           |   | OK                            |   |   |   |   |   |   | OK |
|                          | 3ER                      | OK  |                              |                                 |                       |                       |                                | OK                         |                 | OK  | OK                     |                                  |                     | OK                                  |           |   | OK                            |   |   |   |   |   |   |    |
| Sábado                   | 1ER                      | OK  |                              |                                 |                       | OK                    |                                | OK                         |                 | OK  | OK                     |                                  |                     |                                     | OK        | OK  | OK                            |   |   |   |   |   |   |    |
|                          | 2DO                      | OK  | OK                           |                                 | OK                    |                       | OK                             | OK                         |                 | OK  | OK                     |                                  |                     | OK                                  |           |   | OK                            |   |   |   |   |   |   | OK |
|                          | 3ER                      | OK  |                              | OK                              |                       |                       | OK                             |                            |                 | OK  | OK                     |                                  |                     | OK                                  |           |   | OK                            |   |   |   |   |   |   | OK |
| Domingo                  | 1ER                      | OK  |                              |                                 | B2                    | OK                    |                                | OK                         |                 | OK  | OK                     |                                  |                     |                                     | OK        | OK  | OK                            |   |   |   |   |   |   |    |
|                          | 2DO                      | B2  | OK                           |                                 |                       |                       | OK                             | OK                         |                 | OK  | OK                     |                                  |                     |                                     | OK        |   | OK                            |   |   |   |   |   |   | OK |
|                          | 3ER                      | OK  |                              | OK                              |                       |                       |                                | OK                         |                 | OK  | OK                     |                                  |                     | OK                                  |           |   | OK                            |   |   |   |   |   |   | OK |
| A1                       | OK                       |   | B1                           |                                 | REQUIERE LUBRICACION  |                       | C1                             |                            | FUGA DE ACEITE  |   | D1                     |                                  | TEMPERATURA ALTA    |                                     | E1        |   | FLOJO                         |   |   |   |   |   |   |    |
| A2                       | VIBRACION EXCESIVA       |   | B2                           |                                 | REQUIERE AJUSTE       |                       | C2                             |                            | FUGA DE AGUA    |   | D2                     |                                  | TEMPERATURA BAJA    |                                     | E2        |   | ROTO                          |   |   |   |   |   |   |    |
| A3                       | RUIDO EXCESIVO           |   | B3                           |                                 | REQUIERE LIMPIEZA     |                       | C3                             |                            | FUGA DE AIRE    |   | D3                     |                                  | PRESION ALTA        |                                     | E3        |   |                               |   |   |   |   |   |   |    |
| A4                       |                          |   | B4                           |                                 | REQUIERE CAMBIO       |                       | C4                             |                            | FUGA MECANICA   |   | D4                     |                                  | PRESION BAJA        |                                     | E4        |   |                               |   |   |   |   |   |   |    |
| A5                       |                          |   | B5                           |                                 |                       |                       | C5                             |                            |                 |   | D5                     |                                  |                     |                                     | E5        |   |                               |   |   |   |   |   |   |    |

Figura 47: Formato Control de inspección y limpieza  
Elaboración Propia

PASO 2. Establecer fuentes de deterioro en los equipos con el apoyo y experiencia técnica del personal operativo.

Antes de definir el programa de mantenimientos preventivos, se vio la necesidad de obtener toda la información de las fuentes que originan el deterioro de los equipos para luego desarrollar un plan de acción, con el apoyo del personal operativo se identificaron las fuentes de suciedad y desgaste. En las siguientes Figuras 47 y 48 se puede observar al personal identificando los lugares de deterioro.



Figura 48: Identificación de fuentes de deterioro en los equipos  
Fuente: La Empresa (2014)

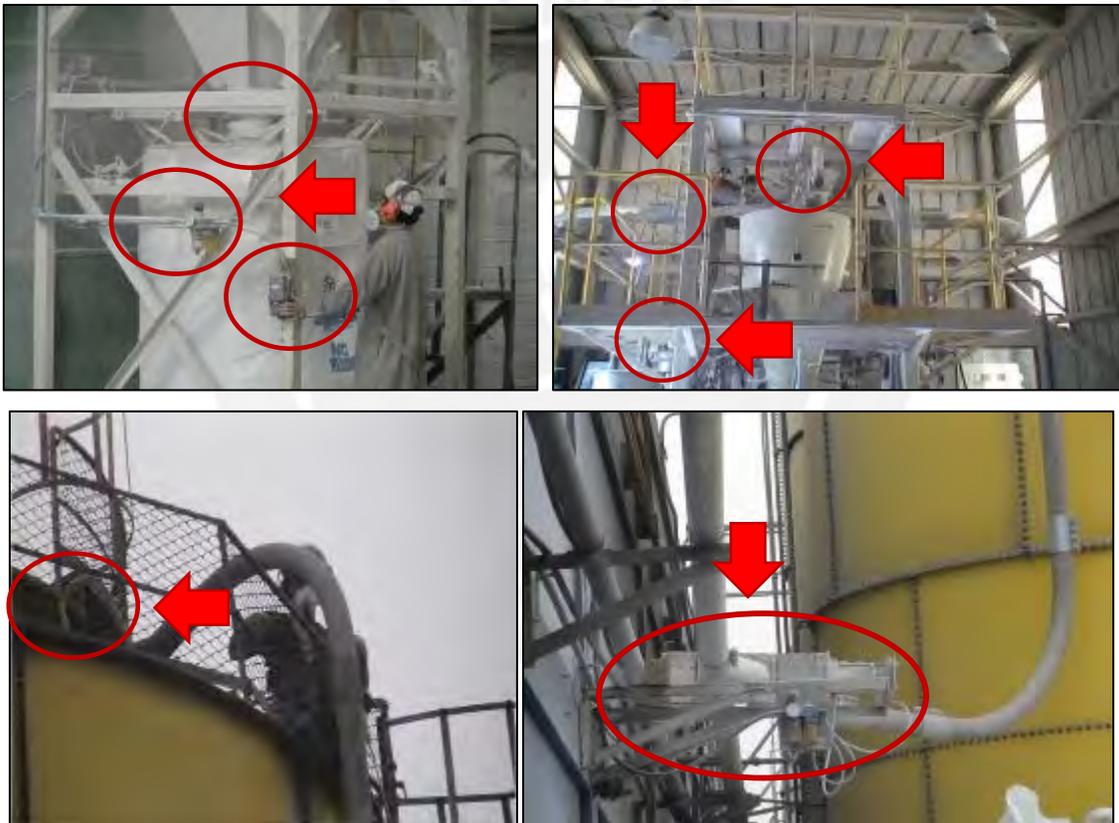




Figura 49: Acciones preventivas para evitar el deterioro en los equipos  
Fuente: La Empresa (2014)

### PASO 3. Crear estándares de limpieza e inspección

La finalidad de este paso es generar estándares simples y fáciles de entender, tanto en las tareas diarias como en las periódicas. Se vio por conveniente crear instructivos y procedimientos donde se explique los elementos a inspeccionar, el cual incluye: los posibles problemas que puedan ocurrir, la metodología de inspección (incluye limpieza, aprieta y lubricación), las herramientas necesarias, la frecuencia y el personal responsable, en la Figura 50. se ve un un ejemplo de ficha de instrucción de mantenimiento.

|   |  |                                     |   |
|---|--|-------------------------------------|---|
|  |  | <b>INSTRUCCIÓN DE MANTENIMIENTO</b> | PLASTNORT-F-P-22-LI<br>Versión:00<br>Fecha : 14/04/2015 |
| EMPRESA:  | SEDE: LIMA   |                                     | CANT. PAG: 1/1  |
| ELABORADO POR:  | ANALISTA DE PRODUCCIÓN - CARLOS CÁRDENAS   |                                     |   |
| <b>1. IDENTIFICACIÓN DE EQUIPO</b>  |  |                                     |   |
| <b>CODIGO</b>   | <b>DESCRIPCION</b>   |                                     |   |
| <b>PSR 4 - 5 F3/S9</b>  |    |                                     |   |
|   | <p><b>I. ELEMENTOS DEL EQUIPO A INSPECCIONAR:</b><br/>MOLINO PARA MATERIAL DE PVC - AREA DE MOLINOS Y MEZCLAS</p> <p><b>II. PUNTOS DE POSIBLES PROBLEMAS</b><br/>FUGA DE ACEITE POR ACOPLER, VERIFICACION DE MOTOR (TEMPERATURA Y VIBRACION), VERIFICACION DE FAJAS, VERIFICACION DE CUCHILLAS Y VERIFICACION DE SUBSIONADOR DE MATERIAL.</p> <p><b>III. METODO DE INSPECCION DE LA LIMPIEZA, APRIETE Y LUBRICACION</b><br/>OBSERVACION DE CADA UNA DE SUS PARTES Y SU CONDICION FISICA.USO DE HERRAMIENTAS ADECUADAS, ASEGURARSE QUE LA MAQUINA ESTE APAGADA EN EL INSTANTE DE LA INSPECCION.</p> <p><b>IV. HERRAMIENTAS NECESARIAS:</b><br/>DESTORNILLADORES, PIROMETROS, EQUIPO DE VIBRACION, MARTILLO Y BARRA DE BRONCE</p> <p><b>V. FRECUENCIA:</b><br/>CUANDO RECIBE LA MAQUINA DEL TURNO SALIENTE</p> <p><b>VI. RESPONSABLE:</b><br/>OPERADOR</p> |                                     |   |

Figura 50: Formato de Instrucción de Mantenimiento  
Elaboración Propia

Una forma de garantizar los estándares de trabajo, es mediante una auditoria de verificación, en la Figura 51. se presenta el formato utilizado en una inspección.

|  |  | <b>FORMATO DE AUDITORIA DE PASO DEL MANTENIMIENTO AUTONOMO - SECCION MOLINOS / MEZCLAS</b> |   |   |   |   | PLASTNORT-F-P-23-LI<br>Versión:00<br>Fecha :<br>14/04/2015 |
|---|--|--|---|---|---|---|--|
| EMPRESA:  |  | SEDE: LIMA   |   |   |   | CANT. PAG: 1/1  |  |
| ELABORADO POR:  |  | ANALISTA DE PRODUCCIÓN - CARLOS CÁRDENAS   |   |   |   |   |  |
| FECHA DE AUDITORIA:   |  |  |   |   |   |   |  |
| 5'S   |  | INSTALACION  |   | CRITERIO DE EVALUACION  |   |   | CALIF.   |
|   |  |  |   | RANGO   |   |   |  |
|   |  | 0  | 5   | 10  | 15  | 20  |  |
| Entendimiento de las 5'S  |  | No se entiende porque se necesita 5'S  | Una vez explicadas se apegan a las instrucciones            | Entendimiento de la meta de la empresa                                      | Se siguen las metas de la empresa y es despulgada en cada trabajador  | Se establecieron metas propias de que hacer y como hacer                    |  |
| Uniforme  |  | Uniformes o ropa sucia   | Algunas veces se encuentran uniformes rotos o desabrochados | Siempre se usa identificación en las áreas específicas                      | Uniformes y zapatos siempre limpios                                   | Se limpia incluso los suelas de los zapatos para mayor control del producto |  |
| Comportamiento  |  | Se comportan bien  | No se observa personal con mal comportamiento               |   |   | Personal motivado y proactivo   |  |
| Conciencia de tiempo  |  | A nadie le importa la puntualidad  | Cierto personal no tiene conocimiento de la puntualidad     | Cuando se puede cumplir el itinerario, a todos se les avisa anticipadamente | Se exige puntualidad tanto para empezar como para terminar las juntas | Siempre puntuales tanto para juntas como para cualquier otra cosa           |  |
| Implementacion 5'S  |  | Se ignora como implementar los procedimientos  | Limpian a veces   | Las 5'S han sido explicadas y se comprende la forma de implementarlas       | Las metas de las 5'S se implementan despues de la instrucción         | Concepto de implementación con controles visuales                           |  |
| TOTAL:  |  |  |   |   |   |   |  |
| OBSERVACIONES   |  |  |   |   |   |   |  |
| REALIZADO POR:  |  |  |   |   |   |   |  |

Figura 51: Formato de auditoria 5'S  
Elaboración Propia

PASO 4. Formación del personal en la inspección general del equipo.

Es importante que el personal tenga claro el conocimiento de mantenimiento de sus equipos, por lo que se debe de desarrollar un plan de capacitación de acuerdo a su puesto de trabajo, el cual incluye: mecánica básica, uso de herramientas de medición, lubricación de equipos, electricidad básica, simbología eléctrica, entre otros.

El personal debe tener un entrenamiento, donde identifique el funcionamiento de los equipos, sepa identificar fallas y finalmente pueda corregirlas, para el correcto funcionamiento se han desarrollado check list, en la Figura 52. se presenta un formato.

|   |  |   |
|---|--|---|
|  | <b>CHECK LIST DE MOLINOS</b>             | PLASTNORT-F-P-24-LI<br>Versión:00<br>Fecha : 14/04/2015 |
| EMPRESA:  | <b>SEDE: LIMA</b>                        | CANT. PAG: 1/1  |
| ELABORADO POR:  | ANALISTA DE PRODUCCIÓN - CARLOS CÁRDENAS |   |
| <b>1. DATOS DE INGRESO</b>  |  |   |
| OPERADOR  | <input type="text"/>                     | FECHA <input type="text"/> TURNO <input type="text"/>   |
| <b>2. CHECK LIST MANTENIMIENTO EQUIPOS</b>  |  |   |
|   | <b>V°B°</b>                              | <b>OBSERVACIONES</b>                                    |
| <b>AL INGRESO</b>   |  |   |
| 1. Verificar la zona trabajo  |  |   |
| 2. Verificar la existencia diaria de Scrap.                                       |  |   |
| 3. Verificar el Scrap por moler   |  |   |
| <b>GRANULADORES</b>   |  |   |
| 1. Verificar las fajas del motor principal  |  |   |
| 2. Verificar el subsionador del material  |  |   |
| 3. Verificar el chute   |  |   |
| 4. Verificar el cumplimiento del Mantt. Preventivo                                |  |   |
| <b>PULVERIZADOR</b>   |  |   |
| 1. Verificar el estado de colector de polvo                                       |  |   |
| 2. Limpiar el filtro del subsionador de material                                  |  |   |
| 3. Verificar el motor principal (fajas)   |  |   |
| 4. Verificar las unidades de mantenimiento  |  |   |
| 5. Limpiar el imán de la caída de material molido                                 |  |   |
| 6. Verificar la alimentación del pulverizador                                     |  |   |
| 7. Verificar el sistema de enfriamiento   |  |   |
| 8. Verificar la malla del pulverizador  |  |   |
| <b>OTROS</b>  |  |   |
| 1. Verificar el stock de herramientas   |  |   |
| 2. Verificar el estado de la vitrina y el armario                                 |  |   |
| 3. Verificar actualización de la vitrina  |  |   |

Figura 52: Formato Check list de Molinos

## Elaboración Propia

Con el fin de ayudar a que en esta etapa se desarrollen estas competencias, se han generado los siguientes documentos y acciones:

- Implementar una biblioteca de documentos, que incluya manual de funcionamiento, manual de partes, fichas técnicas, fichas de funcionamiento, check de uso y plan de mantenimientos.
- Desarrollar competencias del personal, dando capacitación teórico / práctico.
- Evaluar al personal constantemente.
- Desarrollar un plan de auditoria.

### PASO 5. Inspección Autónoma.

La finalidad de este paso es obtener un plan de inspección eficiente, que incluya el maestro de formatos

### PASO 6. Control autónomo total.

Se trata de generar empoderamiento a todo el personal involucrado, que se ve reflejado en la participación y cooperación de logros de metas y objetivos, El trabajador puede tomar decisiones que puedan generar valor, a la vez que participa en proyectos de mejora continua.

### Consolidación

Una vez culminada todas las actividades se pueden desarrollar las metas que la empresa ha de proponer con el pilar a mediano plazo así como comprometer actividades de mejora continua y mejorar el equipo con base el registro cuidadoso y análisis

Las actividades se observa en la Tabla 21. y el desarrollo del Gantt en la Figura 53. donde se contemplan la propuesta.

Tabla 21. Cronograma de Implementación del Mantenimiento Autónomo

| Actividad   | Área Responsable         | Duración (días) |
|---|--------------------------|-----------------|
| <b>Cronograma de Implementación de MA.</b>            | Jefe de Producción       | <b>289</b>      |
| <b>Anuncio de la Dirección</b>                        | Gerente General          | <b>2</b>        |
| <b>Preparación</b>                                    | J. Producción            | <b>80</b>       |
| Programa de Educación y Formación                     | Empresa Tercero          | 20              |
| Crear Grupo Autónomo (Comité)                         | J. Producc. / J. Manten. | 15              |
| Establecer Metas y Políticas                          | J. Producc. / J. Manten. | 15              |
| Lanzamiento de una Campaña Educativa                  | J. Producc. / J. Manten. | 30              |
| <b>Introducción</b>                                   | J.Producción             | <b>17</b>       |
| Anuncio de la Dirección Formal                        | Gerente General          | 2               |
| Inducción inicial TPM                                 | J. Producc. / J. Manten. | 15              |
| <b>Programa de Educación y Entrenamiento MA</b>       | J. Producc. / J. Manten. | <b>55</b>       |
| Revisión 5'S  | J. Producc. / J. Manten. | 15              |
| Capacitación Técnica                                  | Tercero / Interna        | 40              |
| <b>Etapas de MA</b>                                   | Grupo Autonomo           | <b>135</b>      |
| Nivel Básico  | Grupo Autonomo           | 30              |
| Nivel de Eficiencia                                   | Grupo Autonomo           | 45              |
| Nivel de Plena Implantación                           | Grupo Autonomo           | 60              |
| <b>Control y Monitoreo / Culminación del Proyecto</b> | Grupo Autonomo           |                 |

Elaboración Propia

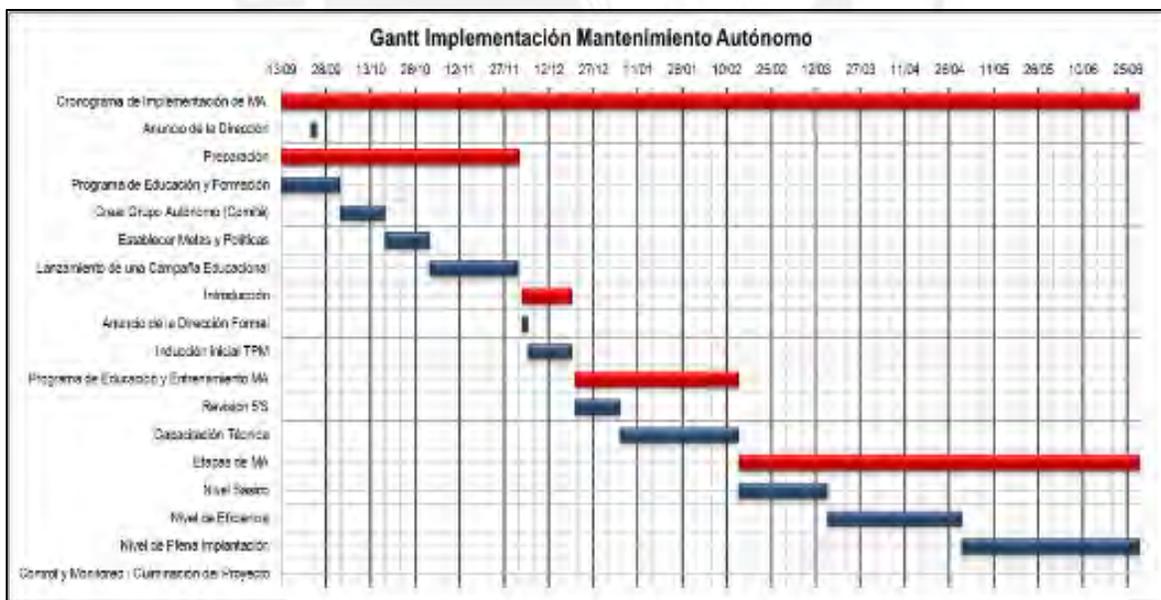


Figura 53: Gantt Implementación del Mantenimiento Autónomo

Elaboración Propia



|  |   | <b>PLAN DE ACTIVIDADES PARA MANTENIMIENTO PREVENTIVO - GRANULADOR</b> |            |       |   |   |   |         |   |   |   |       |   | PLASTNORT-F-P-25-LI<br>Versión:00<br>Fecha : 14/04/2015 |   |       |   |   |   |      |   |   |   |       |   |   |   |
|---|---|---|------------|-------|---|---|---|---------|---|---|---|-------|---|---|---|-------|---|---|---|------|---|---|---|-------|---|---|---|
| EMPRESA:  |   | SEDE: LIMA  |            |       |   |   |   |         |   |   |   |       |   | CANT. PAG: 1/1  |   |       |   |   |   |      |   |   |   |       |   |   |   |
| ELABORADO POR:  |   | ANALISTA DE PRODUCCIÓN - CARLOS CÁRDENAS                              |            |       |   |   |   |         |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |      |   |   |   |       |   |   |   |
| 1. ACTIVIDADES DEL MANTENIMIENTO  |   |   |            |       |   |   |   |         |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |      |   |   |   |       |   |   |   |
| ITEM  | ACTIVIDADES                                     | TIPO  | FRECUENCIA | ENERO |   |   |   | FEBRERO |   |   |   | MARZO |   |   |   | ABRIL |   |   |   | MAYO |   |   |   | JUNIO |   |   |   |
|   |   |   |            | 1     | 2 | 3 | 4 | 1       | 2 | 3 | 4 | 1     | 2 | 3   | 4 | 1     | 2 | 3 | 4 | 1    | 2 | 3 | 4 | 1     | 2 | 3 | 4 |
| 1   | Revisar el ajuste de los racores                | PREVENTIVO  | Semanal    |       |   |   |   |         |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |      |   |   |   |       |   |   |   |
| 2   | Inspeccionar filo de cuchillas                  | PREVENTIVO  | Trimestral |       |   |   |   |         |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |      |   |   |   |       |   |   |   |
| 3   | Verificar estado de rodamientos de motoreductor | PREVENTIVO  | Semestral  |       |   |   |   |         |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |      |   |   |   |       |   |   |   |
| 4   | Inspeccion del sistema eléctrico                | PREDICTIVO  | Mensual    |       |   |   |   |         |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |      |   |   |   |       |   |   |   |

| ITEM | ACTIVIDADES                                     | TIPO       | FRECUENCIA | JULIO |   |   |   | AGOSTO |   |   |   | SEPTIEMBRE |   |   |   | OCTUBRE |   |   |   | NOVIEMBRE |   |   |   | DICIEMBRE |   |   |   |
|------|---|------------|------------|-------|---|---|---|--------|---|---|---|------------|---|---|---|---------|---|---|---|-----------|---|---|---|-----------|---|---|---|
|      |   |            |            | 1     | 2 | 3 | 4 | 1      | 2 | 3 | 4 | 1          | 2 | 3 | 4 | 1       | 2 | 3 | 4 | 1         | 2 | 3 | 4 | 1         | 2 | 3 | 4 |
| 1    | Revisar el ajuste de los racores                | PREVENTIVO | Semanal    |       |   |   |   |        |   |   |   |            |   |   |   |         |   |   |   |           |   |   |   |           |   |   |   |
| 2    | Inspeccionar filo de cuchillas                  | PREVENTIVO | Trimestral |       |   |   |   |        |   |   |   |            |   |   |   |         |   |   |   |           |   |   |   |           |   |   |   |
| 3    | Verificar estado de rodamientos de motoreductor | PREVENTIVO | Semestral  |       |   |   |   |        |   |   |   |            |   |   |   |         |   |   |   |           |   |   |   |           |   |   |   |
| 4    | Inspeccion del sistema eléctrico                | PREDICTIVO | Mensual    |       |   |   |   |        |   |   |   |            |   |   |   |         |   |   |   |           |   |   |   |           |   |   |   |

|  |   | <b>PLAN DE ACTIVIDADES PARA MANTENIMIENTO PREVENTIVO - PULVERIZADOR</b> |            |       |   |   |   |         |   |   |   |       |   | PLASTNORT-F-P-26-LI<br>Versión:00<br>Fecha : 14/04/2015 |   |       |   |   |   |      |   |   |   |       |   |   |   |
|---|---|---|------------|-------|---|---|---|---------|---|---|---|-------|---|---|---|-------|---|---|---|------|---|---|---|-------|---|---|---|
| EMPRESA:  |   | SEDE: LIMA  |            |       |   |   |   |         |   |   |   |       |   | CANT. PAG: 1/1  |   |       |   |   |   |      |   |   |   |       |   |   |   |
| ELABORADO POR:  |   | ANALISTA DE PRODUCCIÓN - CARLOS CÁRDENAS                                |            |       |   |   |   |         |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |      |   |   |   |       |   |   |   |
| 1. ACTIVIDADES DEL MANTENIMIENTO  |   |   |            |       |   |   |   |         |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |      |   |   |   |       |   |   |   |
| ITEM  | ACTIVIDADES                                       | TIPO  | FRECUENCIA | ENERO |   |   |   | FEBRERO |   |   |   | MARZO |   |   |   | ABRIL |   |   |   | MAYO |   |   |   | JUNIO |   |   |   |
|   |   |   |            | 1     | 2 | 3 | 4 | 1       | 2 | 3 | 4 | 1     | 2 | 3   | 4 | 1     | 2 | 3 | 4 | 1    | 2 | 3 | 4 | 1     | 2 | 3 | 4 |
| 1   | Verificar estado de rodamientos motor             | PREVENTIVO  | Semestral  |       |   |   |   |         |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |      |   |   |   |       |   |   |   |
| 2   | Limpiar filtros de succión del blower             | PREVENTIVO  | Semanal    |       |   |   |   |         |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |      |   |   |   |       |   |   |   |
| 3   | Inspeccion de alineamiento y afilado de cuchillas | PREVENTIVO  | Bimestral  |       |   |   |   |         |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |      |   |   |   |       |   |   |   |
| 4   | Afilado de cuchillas                              | PREVENTIVO  | Trimestral |       |   |   |   |         |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |      |   |   |   |       |   |   |   |
| 5   | Inspeccion de poleas                              | PREVENTIVO  | Trimestral |       |   |   |   |         |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |      |   |   |   |       |   |   |   |
| 6   | Verificar tensionamiento correas                  | PREVENTIVO  | Trimestral |       |   |   |   |         |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |      |   |   |   |       |   |   |   |

| ITEM | ACTIVIDADES                                       | TIPO       | FRECUENCIA | JULIO |   |   |   | AGOSTO |   |   |   | SEPTIEMBRE |   |   |   | OCTUBRE |   |   |   | NOVIEMBRE |   |   |   | DICIEMBRE |   |   |   |
|------|---|------------|------------|-------|---|---|---|--------|---|---|---|------------|---|---|---|---------|---|---|---|-----------|---|---|---|-----------|---|---|---|
|      |   |            |            | 1     | 2 | 3 | 4 | 1      | 2 | 3 | 4 | 1          | 2 | 3 | 4 | 1       | 2 | 3 | 4 | 1         | 2 | 3 | 4 | 1         | 2 | 3 | 4 |
| 1    | Verificar estado de rodamientos motor             | PREVENTIVO | Semestral  |       |   |   |   |        |   |   |   |            |   |   |   |         |   |   |   |           |   |   |   |           |   |   |   |
| 2    | Limpiar filtros de succión del blower             | PREVENTIVO | Semanal    |       |   |   |   |        |   |   |   |            |   |   |   |         |   |   |   |           |   |   |   |           |   |   |   |
| 3    | Inspeccion de alineamiento y afilado de cuchillas | PREVENTIVO | Bimestral  |       |   |   |   |        |   |   |   |            |   |   |   |         |   |   |   |           |   |   |   |           |   |   |   |
| 4    | Afilado de cuchillas                              | PREVENTIVO | Trimestral |       |   |   |   |        |   |   |   |            |   |   |   |         |   |   |   |           |   |   |   |           |   |   |   |
| 5    | Inspeccion de poleas                              | PREVENTIVO | Trimestral |       |   |   |   |        |   |   |   |            |   |   |   |         |   |   |   |           |   |   |   |           |   |   |   |
| 6    | Verificar tensionamiento correas                  | PREVENTIVO | Trimestral |       |   |   |   |        |   |   |   |            |   |   |   |         |   |   |   |           |   |   |   |           |   |   |   |



paralizaciones constantes en los equipos, se ha logrado reducir el tiempo de paralización a tan solo 8 horas al mes ( cambio de cuchillas y encendido de equipos).

Con referencia al rendimiento actual que como se informó solo llegaba al 49.8% de su capacidad real, luego de la aplicación del TPM este mejora hasta un 94.0%, el plan incluyo un mantenimiento general con abastecimiento de repuestos, y el cambio de parámetros de funcionamiento (incremento en el amperaje de los motores).

Los repuestos críticos como son cuchillas y consumibles, se gestionaron con mejores proveedores, lo que permiten tener un mayor tiempo de vida útil, lo que impacto en la reducción de costos.

En la Tabla 23. Se describe los resultados obtenidos luego de desarrollar esta herramienta. Los equipos trabajan en condiciones ideales por lo que solo requiere el seguimiento de los chequeos diarios.

Tabla 23. Resumen resultados implementación de TPM

| Actividad                             | Antes    | Después | Observación                                     |
|---------------------------------------|----------|---------|---|
| Paradas de equipo por Mes (horas/mes) | 28 horas | 8 horas | Reducir el nivel de paradas en 20 horas por mes |
| Rendimiento Equipo (kg/ hora)         | 980 kg   | 1755 kg | Mejora en el rendimiento de equipos en un 79%   |
| Reducción de personal (personas)      | 3        | 2       | Ahorro en planilla                              |

Elaboración Propia

#### 4.2.4. Aplicación herramienta SMED

Con la aplicación de esta herramienta vamos a eliminar los desperdicios de espera en el traslado del material de producción (material rechazado por no pasar el control de calidad) hacia las áreas de mezclas y molinos.

#### 4.2.4.1. Planteamiento de la situación actual

El material que no cumple con las características de calidad es rechazado y enviado a las áreas mezclas y molinos, pero ocurre que debido a la falta de capacidad de montacargas el tiempo de entrega no se da en secuencia, lo que trae los siguientes problemas:

- El material es contaminado con polvo o mezclado con otros materiales, lo que trae consigo luego un problema en la formulación del compuesto, se ha verificado que este es una causa por el cual se siguen generando productos rechazados, ya que la formulación tiene presente impurezas.
- El material está estacionado en las áreas de cercanas a producción, lo que trae un problema a las áreas almacén para que puedan verificar los stocks de reprocesados, debido a la falta de material compuesto, producción solo pide material virgen, lo que ocasiona que se acumulen el inventario de scrap.
- Las áreas de acceso de los molinos son muy estrechos por lo que no se puede trasladar los materiales en big bag (en la herramienta benchmarking se optimizó por carros de Polipropileno)
- El uso de carretillas hidráulicas, es un problema para el personal de almacén y molinos, ya que se pierde tiempo de mano de obra en estibar y trasladar el material.

Para tener mayor claridad de este proceso en la Figura 55. Se grafica el DOP del proceso una vez más.

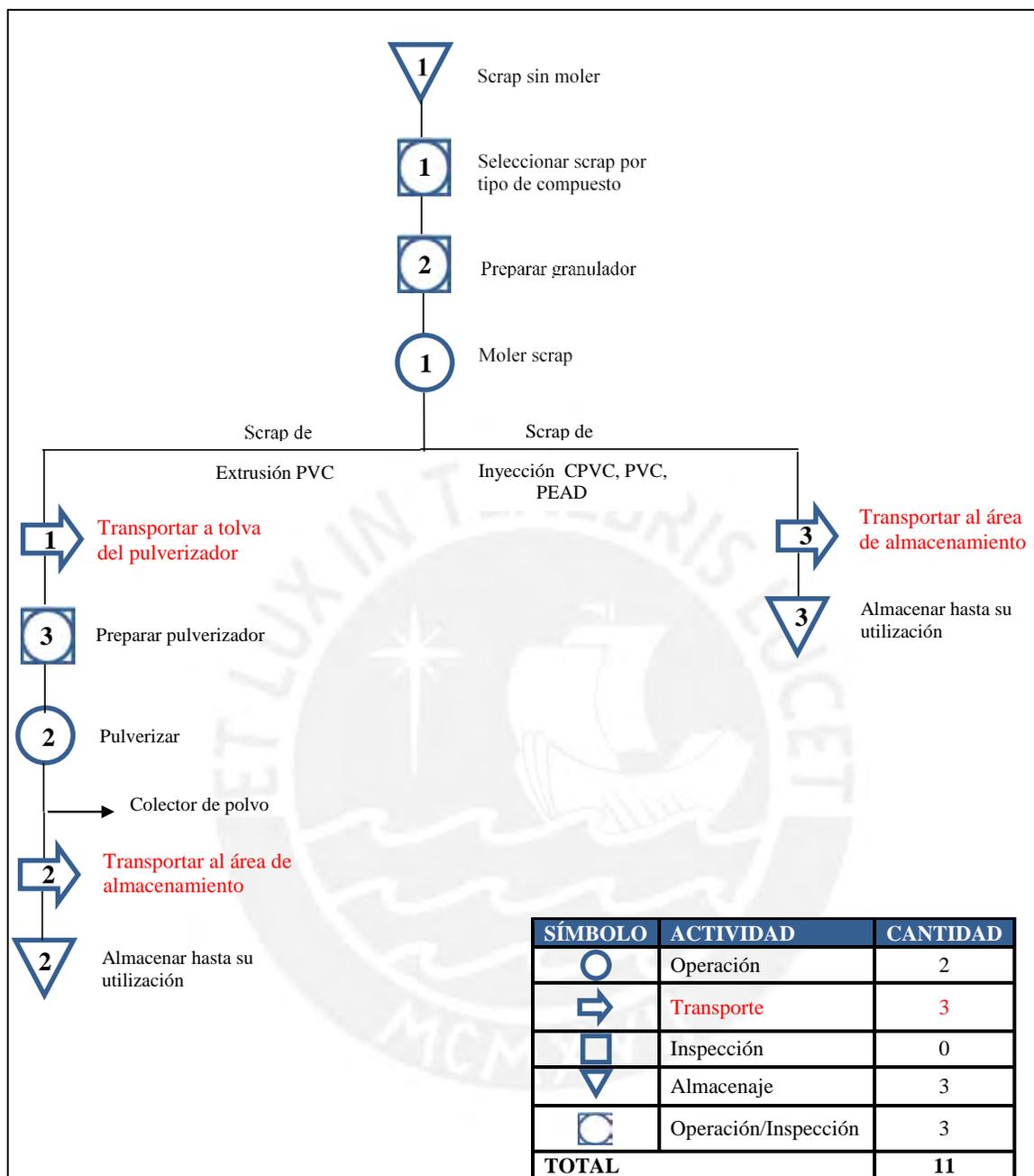


Figura 55: DOP Procesos Molienda de materiales  
Fuente: La Empresa

#### 4.2.4.2. Planteamiento y Beneficios de la mejora propuesta

Considerando un sistema que no cueste tanto y pueda acceder a los pasillos de las áreas de molienda, no fue necesario la compra de un montacargas nuevo, sino que se vio una opción alternativa que fue la adquisición de un apilador eléctrico de la Figura 56.



Figura 56: Apilador eléctrico para áreas de molinos y mezclas  
Fuente: La empresa (2014)

Luego de la adquisición del apilador se vieron los siguientes beneficios que se resumen en la Tabla 24.

- Tiempo ganado en el traslado de los productos rechazados al área de molinos (granuladores), al tener el material a disposición de los molinos, el personal pueda trabajar el tiempo completo y no dedicarse a otras labores que no son parte de sus funciones.
- Utilización del 96% de la capacidad de los equipos, ya que ahora al tener el scrap a disposición es fácil su envío a almacén para que pueda ser registrado a los stocks para su posterior formulación.
- El control de orden y limpieza del plan de 5'S, es fundamental con el uso del apilador, ya que ahora los materiales son enviados a sus áreas que corresponden, evitando la contaminación del scrap.
- Los tiempos se mejoraron en el uso de mano de obra, ya el personal aprovecha el 100% de su capacidad en el molido de scrap. Adicional se redujo un personal menos ya que el apilador ahorra tiempo en el movimiento del compuesto.

Tabla 24. Resumen resultados implementación SMED

| Actividad                                       | Antes   | Después | Observación  |
|---|---------|---------|--|
| Traslado de materiales (Toneladas / día)        | 4 ton   | 8 ton   | Al tener el apilador, el scrap es enviados directamente a las áreas de molinos, el Plan de 5'S mantiene el orden y libres de obstáculos. |
| Tiempo de espera de Montacargas por día (horas) | 3 horas | 0 horas | El apilador es de libre uso para el personal de molinos y mezclas  |

#### **4.2.5. Propuesta de clasificación del scrap**

En este punto se buscara la metodología para garantizar el aseguramiento de las fórmulas de los compuestos, para que puedan mantener las propiedades físicas y dimensionales de los productos que son comercializados, como se ha visto en el diagnóstico del capítulo 3, con el paso de los años, el scrap ha ido incrementándose llegando a tener un inventario de 343 Toneladas. El objetivo es utilizar el inventario acumulado en la formulación de los compuestos, para esto se ha considerado tener una metodología de clasificación (control de calidad)

##### **4.2.5.1. Planteamiento de la Mejora Propuesta.**

El reciclado es usado para recuperar sobrantes de tuberías y accesorios que no cumplieron el control de calidad dimensional, o simplemente no son conformes con los estándares de los productos. El PVC al igual que otros materiales termoplásticos puede recuperarse triturándolo y mezclándolo con material virgen.

Estrategia de solución.

Establecer parámetros de evaluación y análisis sobre la calidad del scrap de inventario, esto implica analizar el comportamiento de los materiales en el Área del Laboratorio (control de calidad).

Con el uso de los equipos del Laboratorio se verificara dos parámetros fundamentales para la extrusión, los cuales son índice de fluidez y calentamiento en horno (verificación de presencia de impurezas en el scrap), para ambas pruebas se debe de generar un instructivo que se practicó y sencillo para clasificar el material.

Prueba de Índice de Fluidez, consiste en verificar la fluidez de un polímero (PVC) haciéndolo pasar bajo una carga prescrita a través de una boquilla de dimensiones estandarizadas. La cantidad de polímero en gramos que emerge en un tiempo de 10 minutos a una temperatura dada. Este parámetro es controlado y de acuerdo al rango del resultado será clasificado si es óptimo, regular o debe de ser rechazado.

Prueba de horno, sirve para estimar la calidad del scrap, consiste en poner la muestra en un horno de aire a 180°C, el aire caliente debe circular por todas las paredes del horno. Con esta prueba se ve el nivel de fluidez, el resultado se clasifica si en óptimo, regular o debe de ser rechazado.

El resultado del análisis permite evaluar el scrap en forma cuantitativa, para identificar cada big bag, con el resultado obtenido se coloca un rotulo con la calificación, en la Tabla 25 se muestra el nivel de calidad esperado, y en la Figura 57. un ejemplo del rotulo.

Tabla 25. Clasificación de Scrap

| CALIDAD ESPERADA | LETRA   |
|------------------|---------|
| BUENO            | B       |
| REGULAR          | C       |
| MALO             | D       |
| NO UTILIZAR      | NO USAR |

Elaboración Propia

**CALIFICACION DE SCRAP**

1. DATOS GENERALES  
PROCEDENCIA:  (  )

2. DATOS DE PRODUCCION  
# PARIHUELA: \_\_\_\_\_ FECHA: \_\_\_\_\_  
TURNO: 1ER TURNO | 2DO TURNO | 3ER TURNO  
OPERADOR: \_\_\_\_\_  
SUPERVISOR: \_\_\_\_\_

3. DATOS DE LABORATORIO  
CODIGO C. CALIDAD: \_\_\_\_\_  
OBSERVACIONES  
CONTIENE PARTICULA DE CARBON  
CONTIENE PARTICULA DE ALUMINIO  
PRESENTA CONTRACCION  
PRESENTA FLUIDEZ  
CONTIENE IMPURIZAS  
OTROS: \_\_\_\_\_

5. CALIFICACION  
**B**

Figura 57: Formato Calificación de Material Scrap  
Elaboración Propia

#### 4.2.5.2. Beneficios de la Mejora Propuesta

Luego de tener la metodología de muestreo, se hizo las coordinaciones con el área de control de calidad para que puedan realizar los muestreos y calificación de las 323 toneladas de scrap, dando como resultado la siguiente distribución de la Tabla 26.

Tabla 26. Inventario de Scrap Agosto 2013

| SCRAP (TON) | BUENO | REGULAR | MALO | NO USAR |
|-------------|-------|---------|------|---------|
|             | B     | C       | D    |         |
| 323         | 160   | 60      | 20   | 83      |

Elaboración Propia

La siguiente etapa es trabajar con el área de laboratorio para que puedan generar las fórmulas de los compuestos, considerando la mezcla de los materiales “B”, “C” y “D”, en la máximo porcentaje posible sin que afecte las propiedades físicas y químicas de las tuberías de PVC.

El caso del scrap “No usar”, se realizó las consultas con la gerencia del área para tomar la decisión de vender el compuesto o en todo caso utilizarlo como relleno, ya que se verifico que las 83 toneladas no son recomendables para la formulación de los compuestos, ya que se encuentran muy contaminadas (fallas en el control del proceso y producto final). Se tomó la decisión de vender 30 toneladas a un proveedor (en 3 meses consecutivos) y los restantes 53 serían desechados o utilizados como rellenos en el lapso de 10 meses (aproximadamente 5 toneladas por mes).

A continuación se muestra en las Tabla 27. y figura 58. el desarrollo del uso del material en los años 2013 a 2015.

Tabla 27. Inventario de Scrap 2013 – 2015

| SCRAP            | 2013 |      |      |      | 2014 |      |      |       |      |      |      |      | 2015 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------------------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                  | AGO  | OCT  | NOV  | DIC  | ENE  | FEB  | MAR  | ABR   | MAY  | JUN  | JUL  | AGO  | SEP  | OCT  | NOV  | DIC  | ENE  | FEB  | MAR  | ABR  | MAY  | JUN  | JUL  |
| INV. FINAL (TON) | 323  | 291  | 262  | 252  | 240  | 226  | 209  | 180   | 162  | 151  | 130  | 114  | 106  | 86   | 65   | 62   | 70   | 51   | 49   | 55   | 43   | 48   | 52   |
| % SCRAP          | 9.0% | 7.3% | 8.2% | 8.4% | 9.8% | 7.8% | 9.0% | 10.3% | 8.5% | 8.1% | 7.6% | 4.7% | 5.5% | 7.2% | 6.4% | 6.7% | 6.1% | 5.8% | 5.5% | 5.8% | 5.9% | 5.1% | 5.7% |

Elaboración Propia

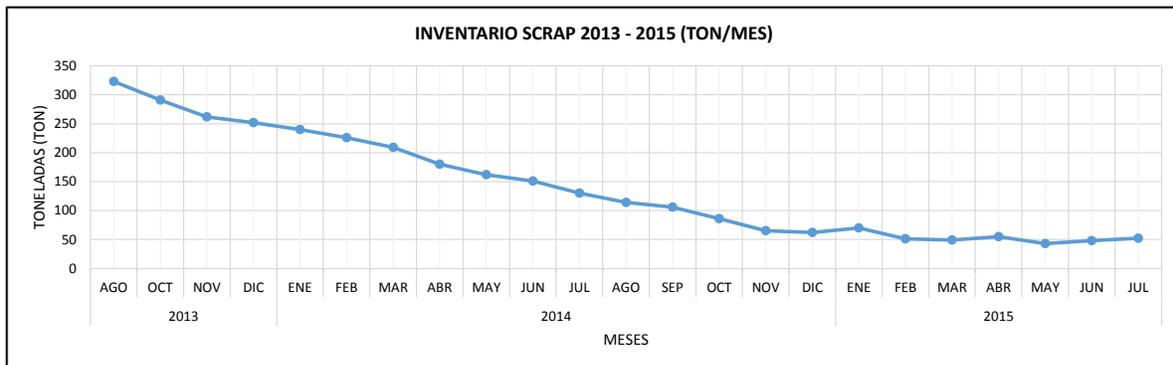


Figura 58: Indicador de Inventario Acumulado años 2013 – 2015  
Elaboración Propia

En cuanto a la aplicación de esta metodología vemos que desde el año 2013 se ha ido consumiendo todo el inventario en la formulación de los compuestos, llegando a estabilizarse su consumo en el mes de noviembre 2014 a partir de esta fecha el inventario siempre se ha mantenido en un promedio de 55 toneladas, es de considerar que el control de proceso de producción se ha estabilizado debido a que se tienen formulas controladas y el material scrap ya es clasificado para su adecuado uso.

Se puede concluir que al tener un buen control de ingreso de materiales, el proceso de estabilización de los equipos es más rápido, por lo cual la generación de scrap también ha descendido.

#### 4.2.6. Desarrollo del VSM con la aplicación de las herramientas Lean y Mejora:

Luego de aplicar las herramientas Lean en los diferentes actividades del proceso de mezclas y molinos, se ha desarrollado una mejora importante en los tiempos acumulados de las operaciones, en la Figura 59. se ven desarrollados los ratios de tiempo mejorados, en general se observa un proceso más eficiente con la maximización de rendimientos reales de los equipos que incluye el Set up, un programa de mantenimientos, la reducción de un 35% del personal, implementación de nuevos sistemas (desgarrador).

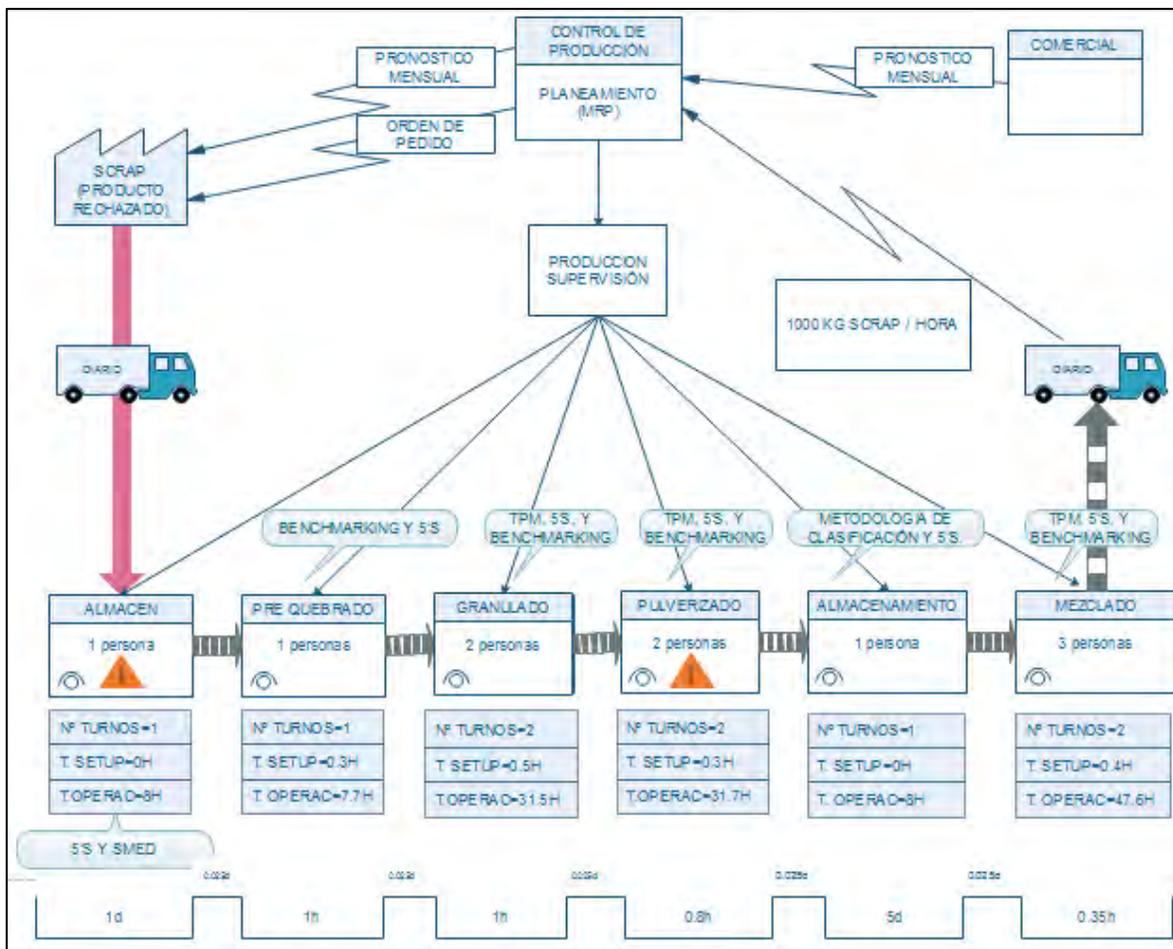


Figura 59: Grafico VSM situación luego de las mejoras en los procesos de Mezclas y Molinos

Elaboración Propia

## CAPITULO 5. IMPACTO ECONÓMICO

En este capítulo se evaluará cual sería el impacto económico de la implementación de: 5'S, Benchmarking, TPM, SMED y la solución del inventario acumulado en la empresa. Primero se detallará los gastos incurridos para implementar las herramientas, seguidamente se determinará el ahorro que se obtiene en la ejecución de las mejoras. También se presentará el flujo de caja y los ratios, VAN, TIR y B/C.

En cada caso se ha analizado de manera semestral, considerando que no en todos los periodos se incurre en los mismos gastos o ahorros.

### 5.1. Gastos en implementación

Para poder implementar y ejecutar las mejoras se ha tenido que realizar reuniones, capacitaciones, comprar utensilios, contratar a un practicante de apoyo entre otros gastos, esto para poder medir los resultados de las mejoras y concientizar al personal en aplicar estas herramientas de manera permanente en sus actividades laborales. Asimismo la compra de nuevas herramientas como las cajas apilables, repuestos, equipos como la apiladora. Las inversiones que se prestan están consideradas en el periodo de un mes.

A continuación en la Tabla 28. se muestra las inversiones incurridas en la implementación de las herramientas 5S:

Tabla 28. Inversión Implementación Herramienta 5'S

| Descripción de actividad                                 | USD          |
|--|--------------|
| Capacitación Personal 5S                                 | 170          |
| Tiempo Invertido en Campo                                | 566          |
| Impresión de rótulos 5S                                  | 100          |
| Practicante  | 258          |
| Útiles varios  | 63           |
| Uso de PC, cámaras                                       | 63           |
| Compra de Cajas apilables para almacenamiento de scrap   | 350          |
| Otros (utensilios de limpieza, pinturas, etc)            | 1,000        |
| <b>Total gasto por implementación de Herramientas 5S</b> | <b>2,568</b> |

Elaboración Propia

Para la implementación de las recomendaciones del Benchmarking se invirtió en las siguientes actividades de la Tabla 29.

Tabla 29. Inversión Implementación Herramienta Benchmarking

| Descripción de actividad   | USD            |
|--|----------------|
| Capacitación Personal Nuevas metodologías                          | 85             |
| Tiempo Invertido en Campo  | 566            |
| Compra de equipo Desgarrador                                       | 300,000        |
| <b>Total gasto por implementación de Herramientas Benchmarking</b> | <b>300,651</b> |

Elaboración Propia

En el desarrollo de las herramientas TPM se tuvieron que incidir en las siguientes inversiones. Vistas en la Tabla 30.

Tabla 30. Inversión Implementación Herramienta TPM

| Descripción de actividad                                  | USD          |
|---|--------------|
| Capacitación Personal TPM                                 | 170          |
| Capacitación externa en TPM                               | 1,000        |
| Impresión de nuevos formatos                              | 450          |
| Practicante   | 258          |
| Útiles varios   | 63           |
| Uso de PC, cámaras  | 63           |
| Stock de repuestos (TPM)                                  | 1,200        |
| Herramientas para labores de mantenimiento                | 1,000        |
| <b>Total gasto por implementación de Herramientas TPM</b> | <b>4,203</b> |

Elaboración Propia

Asimismo para las herramientas SMED se invirtió en las siguientes actividades. vistas en la Tabla 31.

Tabla 31. Inversión Implementación Herramienta SMED

| Descripción de actividad                                   | USD          |
|--|--------------|
| Capacitación Personal Nuevas metodologías                  | 85           |
| Apilador eléctrico   | 3,000        |
| <b>Total gasto por implementación de Herramientas SMED</b> | <b>3,085</b> |

Elaboración Propia

Todas estas inversiones incurridas lo podemos resumir en la siguiente Tabla 32., además estas se agrupan el periodo de estudio:

Tabla 32. Resumen Inversión Implementación Herramienta Lean

| Descripción de actividad                                   | USD     | Semestre 0     | Semestre 1    | Semestre 2    | Semestre 3    | Semestre 4    | Semestre 5    | Semestre 6    |
|--|---------|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Capacitación Personal 5S                                   | 170     | 1,019          | 1,019         | 1,019         | 1,019         | 1,019         | 1,019         | 1,019         |
| Capacitación Personal TPM                                  | 170     | 1,020          | 1,020         | 1,020         | 1,020         | 1,020         | 1,020         | 1,020         |
| Capacitación Personal Nuevas metodologías                  | 170     | 1,020          | 1,020         | 1,020         | 1,020         | 1,020         | 1,020         | 1,020         |
| Capacitación externa en TPM                                | 1,000   | 3,000          | 3,000         | 3,000         | 3,000         | 3,000         | 3,000         | 3,000         |
| Tiempo Invertido en Campo                                  | 1,132   | 6,793          | 3,397         | 1,132         | 1,132         | 1,132         | 1,132         | 1,132         |
| Impresión de rótulos 5S                                    | 100     | 600            | 600           | -             | -             | -             | -             | -             |
| Impresión de nuevos formatos                               | 450     | 2,700          | 2,700         | 1,000         | 1,000         | 1,000         | 1,000         | 1,000         |
| Practicante  | 515     | 3,091          | 3,091         |               |               |               |               |               |
| Útiles varios  | 125     | 750            | 750           | 750           | 750           | 750           | 750           | 750           |
| Uso de PC, cámaras   | 125     | 750            | 750           | 750           | 750           | 750           | 750           | 750           |
| Compra de Cajas apilables                                  | 350     | 8,750          | 8,750         | -             | -             | -             | -             | -             |
| Apilador eléctrico   | 3,000   | 3,000          | -             | -             | -             | -             | -             | -             |
| Compra de equipo Desgarrador                               | 300,000 | 300,000        | -             | -             | -             | -             | -             | -             |
| Stock de repuestos (TPM)                                   | 1,200   | 7,200          | 7,200         | 7,200         | 7,200         | 7,200         | 7,200         | 7,200         |
| Herramientas para labores de mantenimiento                 | 1,000   | 6,000          | 6,000         | 6,000         | 6,000         | 6,000         | 6,000         | 6,000         |
| Otros (utencilios de limpieza, pinturas, etc)              | 1,000   | 6,000          | 1,000         | 1,000         | 1,000         | 1,000         | 1,000         | 1,000         |
| <b>Total gasto por implementación de Herramientas Lean</b> |         | <b>351,693</b> | <b>40,296</b> | <b>23,891</b> | <b>23,891</b> | <b>23,891</b> | <b>23,891</b> | <b>23,891</b> |

Elaboración Propia

## 5.2. Ahorro con propuestas de mejora

En la siguiente tabla está el análisis de gastos que se incurre de manera mensual por la generación de scrap purga. Los costos que se genera es propio costo de generar scrap purga, el costo de almacenar estos materiales, el costo de enviar el scrap purga degradado al relleno sanitarios, el costo que se incurre en contaminar compuestos y por quemadura de cabezales cromados.

Ahora mejorado la formula también implica encarecer el compuesto purga pero esto en comparación a la eliminación de scrap purga degradada nos genera ahorros mensuales que se detallan en la Tabla 33., se deja de incurrir en gastos de almacenaje, envío a relleno sanitario, contaminación de compuestos y quemaduras de cabezales cromados. Solo se considera en los primeros dos semestres del periodo de estudios, pues luego este forma parte de un costo normal del proceso (deja de ser una mejora).

Tabla 33. Información de Ahorro en mejora del tratamiento de Scrap Purga

| TABLA DE INFORMACION DE AHORRO EN MEJORA DEL TRATAMIENTO DEL SCRAP PURGA |  |               |                |                |
|--|--|---------------|----------------|----------------|
| Item   | Detalle de costos de Compuesto Purga   | USD/Kg        | Semestre 1     | Semestre 2     |
| 1  | Costo Actual de Formula de Purga (virgen)                                    | 1.06          | 1.06           | 1.06           |
| 2  | Costo Actual de Formula de Purga mix   | 0.80          | 0.80           | 0.80           |
| 3  | Costo Actual de Nueva Formula de Purga (virgen)                              | 1.02          | 1.02           | 1.02           |
| 4  | Ahorro o Gasto adiconal \$/Kg (3-2)  | 0.23          | 0.23           | 0.23           |
| Item   | Informacion de scrap purga   | Valor         | Semestre 1     | Semestre 2     |
| 5  | Generación promedio Scrap Purga (Kg)   | 25,000        | 150,000        | 150,000        |
| 6  | Generacion promedio de scrap purga degradada (Kg por mes)                    | 12,000        | 72,000         | 72,000         |
| Item   | Detalle de costos por generación de scrap Purga                              | Valor         | Semestre 1     | Semestre 2     |
| 7  | Costo de Generacion scrap (costo de transformacion) \$/Kg                    | 1.5222        | 1.522          | 1.522          |
| 8  | Costo de almacenaje \$/Kg  | 0.007         | 0.007          | 0.007          |
| 9  | Costo envio a relleno sanitario \$/Kg  | 0.060         | 0.060          | 0.060          |
| 10   | Costo por contaminacion y generar scrap \$/Kg y no reprocesabilidad (0.75*7) | 1.142         | 1.142          | 1.142          |
| 11   | Costo de scrap degradado \$/Kg (7+8+9+10)                                    | 2.731         | 2.731          | 2.731          |
| 12   | <b>Costo mensual de generacion de scrap purga degardada \$ (6*11)</b>        | <b>32,773</b> | <b>196,638</b> | <b>196,638</b> |
| Item   | Costos Mensuales actuales por generación de scrap purga                      | USD           | Semestre 1     | Semestre 2     |
| 13   | Costo mensual de scrap purga sin degradación ((5-6)*7)                       | 19,788        | 118,730        | 118,730        |
| 14   | Costo mensual de scrap purga con degradación (12)                            | 32,773        | 196,638        | 196,638        |
| 15   | Costo Promedio mensual de cromado adiconal por quemaduras                    | 3,500         | 21,000         | 21,000         |
| 16   | <b>Total Costo Mensual</b>   | <b>56,061</b> | <b>336,367</b> | <b>336,367</b> |
| Item   | Costos Mensuales con mejora de formula en generación de scrap purga          | USD           | Semestre 1     | Semestre 2     |
| 17   | Costo mensual de scrap purga sin degradación (5*1.1*7)                       | 41,860        | 251,159        | 251,159        |
| 18   | Costo mensual de scrap purga con degradación                                 | -             |                |                |
| 19   | Costo mensual por cambio de formulación y uso de purga virgen (4*5)          | 5,625         | 33,750         | 33,750         |
| 20   | Envio a relleno sanitario desaldo scrap purga degradado (50 ton)             |               |                | 3,000          |
| 21   | <b>Total Costo Mensual</b>   | <b>47,485</b> | <b>284,909</b> | <b>287,909</b> |
| 22   | <b>Ahorro mensual \$ (20-16)</b>   | <b>8,576</b>  | <b>51,458</b>  | <b>48,458</b>  |

Elaboración Propia

En las áreas de Mezclas y Molidos se ha medido ahorros importantes por la implementación de las herramientas Lean, estas han sido medidas de manera mensual y su mando ambas áreas se tiene un ahorro de más de 45 mil dólares mensual, lo que es muy significativo para la organización y justifica futuras inversiones para mejorar aún más las áreas, a continuación en la Tabla 34. el resumen de ahorro en cada área:

Tabla 34. Resumen de ahorro por Áreas (Mezclas y Molinos)

| Costos Mensuales actuales en area de Mezclas               | USD | \$ MES        | Mejoras                  | \$ MES Mejora |
|--|-----|---------------|--------------------------|---------------|
| Eventos de contaminacion compuestos \$ (20 ton)            | 1.5 | 18,000        | 5S, TPM, OTROS           | 7,500         |
| Costo Kg/h procesamiento Mezclas Kg/h                      | 5   | 3,060         | 5S, TPM, OTROS           | 2,815         |
| Tiempos muertos debido a desorden del area (5% de 8 horas) | 6.7 | 241           | 5S                       | 48            |
| Tiempos muertos por mantenimiento (5% de 8 horas)          | 6.7 | 241           | 5S, TPM, OTROS           | 48            |
| <b>TOTAL COSTO MENSUAL ACTUAL</b>                          |     | <b>21,060</b> | <b>COSTO CON MEJORAS</b> | <b>10,315</b> |
|  |     |               | <b>AHORRO MENSUAL</b>    | <b>10,745</b> |
|  |     |               | <b>AHORRO SEMESTRAL</b>  | <b>64,469</b> |

| Costos Mensuales actuales en area de Molinos      | USD   | \$ MES        | Mejoras                  | \$ MES Mejora |
|---|-------|---------------|--------------------------|---------------|
| Afilado de cuchillas granuladores                 | 500   | 5,000         | 5S, TPM, OTROS           | 2,000         |
| Afilado de cuchillas Pulverizadores               | 1500  | 3,750         | 5S, TPM, OTROS           | 1,500         |
| Costo Kg/h procesamiento granuladores             | 3     | 1,836         | 5S, TPM, OTROS           | 275           |
| Costo Kg/h procesamiento pulverizadores           | 5     | 3,060         | 5S, TPM, OTROS           | 459           |
| Tiempos muertos debido a desorden del area (5% de | 6.7   | 241           | 5S                       | 48            |
| Tiempos muertos por mantenimiento (5% de 8 horas) | 6.7   | 241           | 5S, TPM, OTROS           | 48            |
| Almacenaje de scrap sin moler en big bag \$/kg    | 0.008 | 2,800         | 5S, TPM, OTROS           | 400           |
|   |       |               | Reducción de personal    | 1,500         |
| <b>TOTAL COSTO MENSUAL ACTUAL</b>                 |       | <b>16,928</b> | <b>COSTO CON MEJORAS</b> | <b>4,731</b>  |
|   |       |               | <b>AHORRO MENSUAL</b>    | <b>12,198</b> |
|   |       |               | <b>AHORRO SEMESTRAL</b>  | <b>73,185</b> |

Elaboración Propia

La compra del equipo desgarrador para eliminar actividades de fileteo y trozado además que es más seguro para los operadores, como se aprecia en la Tabla 35. se observa que se tiene ahorro es importantes, pero solo consideraremos estos ahorros en dos semestres porque posteriormente es un una actividad rutinaria en el nuevo escenario en el área.

Tabla 35. Resumen de ahorro Equipo Desgarrador

| Ahorros mensuales Por desgarrador | USD           |
|-----------------------------------|---------------|
| Personal (2 personas menos)       | 1,000         |
| Mayor procesabilidad              | 7,560         |
| No uso de equipos sierra cinta    | 300           |
| Energia (hay un incremento)       | -100          |
| <b>Ahorro mensual</b>             | <b>8,760</b>  |
| <b>Ahorro semestral</b>           | <b>52,560</b> |

Elaboración Propia

### 5.3. Indicadores económicos

A continuación en la Tabla 36. se presenta el flujo de caja de las mejoras, se ha considerado periodos semestrales, que hace un intervalo de tiempo de tres años.

Tabla 36. Flujo de Caja del proyecto de mejora

| \$ USD               | Semestre 0      | Semestre 1     | Semestre 2     | Semestre 3     | Semestre 4     | Semestre 5     | Semestre 6     |
|----------------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Ingresos             | -               | 241,672        | 238,672        | 128,654        | 128,654        | 128,654        | 128,654        |
| Egresos              | -351,693        | -40,296        | -23,891        | -23,891        | -23,891        | -23,891        | -23,891        |
| <b>Flujo de Caja</b> | <b>-351,693</b> | <b>201,376</b> | <b>214,781</b> | <b>104,763</b> | <b>104,763</b> | <b>104,763</b> | <b>104,763</b> |

Elaboración Propia

Seguidamente se calcula los principales ratios económicos, para ello se ha considerado una tasa de interés pasiva del 4.60%, esta tasa está definida en las políticas financieras de la empresa en estudio para cualquier proyecto que se desee ejecutar en sus plantas. Se obtuvieron los siguientes resultados de la Tabla 37.

Tabla 37. Resumen ratios Económicos

|                    |                |
|--------------------|----------------|
| <b>VPN (\$USD)</b> | <b>379,840</b> |
| <b>TIR</b>         | <b>40.10%</b>  |
| <b>B/C</b>         | <b>1.77</b>    |

Elaboración Propia

Del resultado del valor presente neto podemos interpretar que tenemos un resultado positivo en la ejecución de las mejoras.

La TIR de 40.10% es mayor a la tasa de interés pasiva, lo que indica que tenemos un proyecto rentable, eso se confirmará con el ratio costo beneficio al ser mayor a 1.

## **CAPITULO 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

De acuerdo al análisis y diagnóstico de la situación actual en los procesos de mezclas y molinos se detectaron los problemas más críticos, según la naturaleza de cada uno de ellos se aplicó las herramientas lean.

En el presente capítulo se exponen las conclusiones y recomendaciones derivadas de la implementación de las herramientas lean.

### **6.1. Conclusiones**

La aplicación de las 5's fue el punto de inflexión para iniciar la estandarización de los procesos, se inculco una nueva cultura de trabajo tanto al personal operativo y a las gerencias medias y altas, sin el apoyo de estas últimas hubiera sido imposible llevar adelante estas y las demás herramientas Lean.

Como resultado de la implementación de las 5s, entre otras cosas, se logró:

- La disminución de los tiempos de tránsito de los materiales y herramientas en las actividades del área, es así que el impacto en costo de tiempos muertos por el desorden en mezclas y molinos era de 482 dólares mensuales paso a 96 dólares mensuales (Tabla 34).
- Se evidenció menores casos de contaminación de materia prima y generación de scrap como consecuencia de una mejor información, señalización y localización de los materiales de trabajo, esto lo vemos en la Tabla 27. de 323 toneladas de inventario de scrap en agosto del 2013 se llegó a 52 toneladas en julio del 2015.
- Además mejoró el compromiso del personal con sus labores al ver que tenían un mejor ambiente de trabajo y que sus funciones estaban claras, estandarizadas y bien definidas las responsabilidades.

Se logró implementar el Benchmarking de la corporación, las acciones derivadas de este intercambio de experiencias permitió lo siguiente:

- Se planteó una nueva fórmula para la purga y un nuevo tratamiento en uso del scrap purga en los compuestos, como consecuencia disminuyó la generación de scrap degradado, es así que a julio del 2015 solo se tenía 5 toneladas de scrap degradado.
- Se implementó nuevos procedimientos para el uso de equipos y actividades del área trayendo como resultado un mayor rendimiento y vida útil en los equipos, es por eso el gasto mensual de afilado de cuchillas de granuladores y pulverizadores llegaba a los 8,759 dólares, actualmente es de solo 3,500 dólares (tabla 33).
- Se implementaron nuevas formas de almacenamiento de scrap.
- Se detectó la necesidad por contar con un equipo desgarrador gracias a este nuevo equipo se mejora la seguridad en las labores del área además de incrementar la capacidad de procesamiento, como consecuencia se obtuvo un ahorro de 8760 dólares mensuales (Tabla 34).

Con la implementación del TPM se tuvo como beneficios:

- La reducción de 28 horas a 8 horas al mes de paros por mantenimiento de los equipos, incrementar el rendimiento real de las máquinas de un 49% del rendimiento teórico a un 94% del rendimiento teórico.
- Asimismo al tener una planificación del mantenimiento se pudo establecer stock de repuestos, así eliminando los tiempos muertos a la espera del proceso de compra de los mismos.
- Mejoras de su ambiente de trabajo y de entrega de producción de calidad

Como resultado del análisis del SMED se procedió a:

- La compra de un apilador eléctrico, este nuevo equipo trajo como resultado menor tiempo de traslado del scrap al área de molinos por lo que incrementó al 96% de la utilización capacidad de los equipos, pues tenían a tiempo el material a procesar. Este equipo ayudo en la clasificación, evitando la contaminación.
- La clasificación del scrap basado en pruebas de calidad y la estandarización de fórmulas benefició en el incremento del consumo de scrap y la disminución de

su generación, así tenemos que el porcentaje de generación de scrap en agosto del 2013 era de 9% mientras que en julio del 2015 es de 5.7% (Tabla 27).

La ejecución de las herramientas lean ha sido viable económicamente, tal como se explica en el Capítulo 5, se justifica debido a que el ratio VPN es de 379,849 dólares además el proyecto tiene una tasa de retorno de alrededor al 40% y un ratio costo beneficio de 1.77.

## **6.2. Recomendaciones**

Del desarrollo de proyecto se pueden dar las siguientes recomendaciones:

- El personal que está directamente involucrado, tiene que tomar conocimiento de este proyecto y se le debe de explicar que es un cambio no solo de los métodos de trabajos sino de una cultura laboral y que es un proceso que se mantendrá en el tiempo con mejoras continuas.
- Para mantener los logros alcanzados se recomienda que la organización designe un responsable que realice el seguimiento mensual de los objetivos logrados, es importante seleccionar al personal más destacado y empoderarlos dándole responsabilidades en las actividades.
- Se ha logrado mejorar los rendimientos en los procesos de Mezclas y Molinos, para estudios posteriores se recomienda implementar las propuestas de mejora propuestas en la Tabla 10 que incluye toda la línea de producción.
- La recopilación de la información debe ser de manera constante para poder evidenciar los progresos, es importante exponer tanto a la gerencia como al personal los beneficios que se están obteniendo, esto mediante reuniones y publicaciones (murales) además de retroalimentar en donde se puede mejorar.
- Las mejoras deben estar sustentadas principalmente con datos es decir de manera objetiva, más que de manera subjetiva o basada en percepciones.
- Cualquier modificación de actividades deben quedar por escrito en documentos, instructivos, procedimientos, manuales, etc. Para que estos se mantengan en el tiempo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRAVO, J. (2009). *Gestión por procesos*. Santiago (Chile). Editorial Evolución
- CUATRECASAS, L. (2010). *TPM en un entorno Lean management. estrategia competitiva*. Barcelona.profit
- EVANS, J. & LINDSAY W. (2008). *Administración y control de calidad*. Séptima Edición. México D.F.. Editorial Cengage Learning.
- GUTIERREZ, H. (2004). *Control estadístico de Calidad y Seis Sigma*. México. Editorial Mc Graw Hill.
- HIRANO, H. (1991). *Manual para la implantación del JIT*, Madrid (España). Editorial Tecnologías de gerencia y producción.
- HIRANO, H. (2000). *Poka-Yoke*. Primera edición. México. Productivity
- IMAI, M. (2001). *Kaizen la clave de la ventaja competitiva japonesa*. Mexico D.F.. compañía editorial continental.
- KRAFCIK, J. (1988). Triumph of the lean production system. *Sloan management review*, 30(1), 41-52.
- KRAJEWSKI, L. & RITZMAN, L. & MALHOTRA, M. (2008). *Administración de operaciones. procesos y cadenas de valor*. Octava edición. México D.F.. Editorial Pearson Educación.

- LEFCOVICH, M. (2009) *Sistema de Producción Justo a Tiempo-JIT*. Argentina. El Cid Editor
- LIKER, J. (2004). *The Toyota Way. 14 Management Principles from the World's greatest manufacturer*. USA. Editorial McGraw Hill.
- LIKER, J. (2006). *Las claves del éxito de Toyota 14 principios de gestión del fabricante más grande del mundo*. Barcelona. Editorial GESTION 2000.
- LIKER, J & MEIER, D. (2008). *El talento Toyota*. Mexico D.F.. Editorial McGraw Hill
- MALDONADO VILLALVA GUILLERMO (2008). *Herramientas y Tecnicas Lean Manufacturing en Sistemas de Producción y Calidad*. Tesis para optar por el título de Ingeniero Industrial. Mexico: Universidad Autonoma del estado de Hidalgo
- MASAJI, T. & GOTOH, F. (1992). *Autonomous Maintenance in seven steps. Implementing TPM on the shop floor*. Productivity Press.
- OHNO, TAIICHI. (1988). *Toyota Production System. Beyond Large Scale Production*. USA. Editorial Productivity Press.
- OSADA, T. (1991). *The 5S's. five keys to a total quality environment*. Tokyo. Asian Productivity Organization.
- PALOMINO ESPINOZA MIGUEL ALEXIS (2012). *Aplicación de herramientas de Lean Manufacturing en las líneas de envasado de una planta envasadora de lubricantes*. Tesis para optar el Título de Ingeniero Industrial Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ingeniería Industrial.
- PETTERSEN, J. (2007). *Defining Lean Production. Some Conceptual and Practical Issues*. Recuperado el 10 de Noviembre 2013 de <http://www.ep.liu.se/ecp/033/025/ecp0803325.pdf>.
- RAJADEL, M. & SÁNCHEZ, J. (2011). *Lean Manufacturing. La evidencia de una necesidad*. España. Editorial Díaz de santos.

- REY, F. (2005). *Las 5s. Orden y limpieza en el puesto de trabajo*. Primera edición. España. Editorial FD.
- RIVERA, L. (2008). *Justificación Conceptual de un Modelo de Implementación de Lean Manufacturing*. Heurística. Recuperado el 13 de Noviembre del 2013 de <ftp://ftp.icesi.edu.co/leonardo/Lean-Manufacturing/Lecturas/Justificacion-Conceptual.pdf>.
- ROTHER, M. Y SHOOK, J. (1998). *Learning to see. Value stream mapping to add value and eliminate muda*. Massachusetts, EE.UU.. Lean Enterprise Institute.
- SHIMBUN, K. (1991) *Poka-yoke. mejorando la calidad del producto evitando los defectos*. Editado por Nikkan Kogyo Shimbun, Hiroyuki Hirano. Madrid. Tecnologías de Gerencia y Producción.
- SHINGO, S. (1993). *El sistema de producción de Toyota. desde el punto de vista de la Ingeniería*. Madrid. Tecnología de Gerencia y Producción
- TARI, J. (2000). *Calidad Total. Fuente de ventaja competitiva*. Alicante (España). Publicaciones Universidad Alicante
- VALDES ATENCIO JORGE LUIS (2009) *Diseño de un plan de mantenimiento preventivo-predictivo aplicado a los equipos de la empresa Remaplast*. Trabajo de grado para optar el Título de Administrador Industrial. Colombia: Universidad de Cartagena, Facultad de ciencias económica
- VILLASEÑOR, A. & GALINDO E. (2007). *Conceptos y reglas de Lean Manufacturing*. Primera edición. México D.F.. Editorial Limusa.
- WOMACK, J. & JONES, D. & ROSS D. (1991). *The Machine that Changed the World*. New York. Editorial Harper Perennial.
- WOMACK, J. & JONES, D. (2005). *Lean Thinking. Como utilizar el pensamiento lean para eliminar los despilfarros y crear valor en la empresa*. Barcelona. Editorial Gestión 2000.

CUATRECASES, LI. (200). TPM en un entorno Lean Management. Editorial Profit .

