

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## **DESARROLLO DE LAS NUEVAS CONDICIONES DE OPERACIÓN PARA LA PRODUCCIÓN DE LIJA 3M, ASEGURANDO LA CALIDAD DEL PRODUCTO MEDIANTE UN ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA**

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Por la Br. Piñero P., Jozy's.,  
Para optar al Título  
de Ingeniero Químico

Caracas, 2013

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## **DESARROLLO DE LAS NUEVAS CONDICIONES DE OPERACIÓN PARA LA PRODUCCIÓN DE LIJA 3M, ASEGURANDO LA CALIDAD DEL PRODUCTO MEDIANTE UN ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA**

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Hermann Lago  
TUTOR INDUSTRIAL: Ing. Luis Dávila. PMP

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Por la Br. Piñero P., Jozy's.,  
Para optar al Título  
de Ingeniero Químico

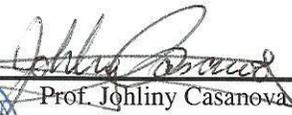
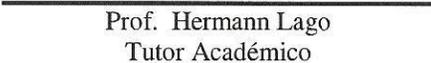
Caracas, 2013

Caracas, Junio 2013

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Química, para evaluar el Trabajo Especial de Grado, presentado por la Bachiller Jozy's Gabriela Piñero Pacheco, titulado:

**“DESARROLLO DE LAS NUEVAS CONDICIONES  
DE OPERACIÓN PARA LA PRODUCCIÓN DE LIJA 3M,  
ASEGURANDO LA CALIDAD DEL PRODUCTO MEDIANTE UN  
ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA”**

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudio coducente al título de Ingeniero Químico, sin que esto signifique que hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran APROBADO:

 Prof. Franca Gambino Jurado		 Prof. Johliny Casanova Jurado
 Prof. Hermann Lago Tutor Académico		 Ing. Luis Dávila. PMP Tutor Industrial

## **DEDICATORIA**

Dedico este Trabajo Especial de Grado principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado a este momento tan importante de mi formación profesional. A mi Madre; por ser el pilar más importante y demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional, sin importan nuestras diferencia de opiniones. A mi Padre; a pesar de nuestra distancia, sé que este momento es tan especial para tí como lo es para mí. A mi Tía María Elena; a quien quiero como una madre, por compartir momentos significativos conmigo y por siempre estar dispuesta a escucharme y ayudarme en todo momento. A Juan José y Adriana, porque los amo infinitamente hermanos. A mi Abuela; que con sus oraciones y consentimientos me ha acompañado en esta camino.

**Piñero P., Jozy's G.**

## AGRADECIMIENTOS

A DIOS; por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente; y por haber puesto en mi camino a todas aquellas personas han sido mi soporte y compañía.

A la UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA “**La Casa que Vence La Sombra**”; por ser la Magna Institución de Educación Superior, que forma día a día profesionales dignos para la sociedad.

A cada uno de los profesores de la UCV; en especial a mi tutor académico el Prof. Hermann Lago y todos los que aportan su grano de arena para graduar Ingenieros(as) Químico(as), y contribuir en mi formación académica y resolver cada interrogante.

A la familia 3M Venezuela; por haberme recibido y nutrirme de múltiples conocimientos.

A mi tutor Ing. Luis Dávila; por su gran apoyo y motivación; por el tiempo compartido y por impulsar el desarrollo de mi formación profesional.

A mis familiares;

A mi Mamá; por su amor, por creer en mí y apoyarme en todo momento. Ejemplo de constancia y lucha.

A mis Hermanos; Adriana C. y Juan José; por ser mis cómplices y fuente de energía en todo lo que hago.

A mi tía y amiga María Elena; por escucharme y darme los consejos más oportunos, por ser mí apoyo en todo momento.

A mi bella Abuela, a mis primos y demás familiares,

Gracias por quererme y apoyarme, Los Amo!

A mis amigos, en especial a Pedro González y Omar Zavaleta; por ser de esos hermanos que se eligen, cómplices y apoyo en todo momento.

¡Gracias a Ustedes!

Piñero P., Jozy's G.

**“DESARROLLO DE LAS NUEVAS CONDICIONES  
DE OPERACIÓN PARA LA PRODUCCIÓN DE LIJA 3M,  
ASEGURANDO LA CALIDAD DEL PRODUCTO MEDIANTE UN  
ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA”**

**Tutor Académico: Prof. Hermann Lago. Tutor Industrial: Ing. Luis Dávila.PMP**

**Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química  
2013. 137 pp.**

**Palabras claves:** Lija Wetordry 3M, Lija de Agua, Calidad, Productividad,  
Abrasivos, AMEF, Seis Sigma, Tunnel Abrasive Maker.

**Resumen.** 3M Manufacturera posee entre sus líneas de producción, la fabricación de Lija Wetordry, conocida como TAM (por sus siglas en inglés-Tunnel Abrasive Maker), siendo esta, la principal línea manufacturera en 3M Venezuela y el negocio más antiguo al cual se ha dedicado esta compañía. Actualmente, existe un plan estratégico en la empresa, orientado al mejoramiento continuo de esta línea de producción, ya que se determina, que el Sistema de Transmisión del TAM esta discontinuado y puede reemplazarse por un Sistema eléctrico nuevo. Se estima con este cambio, la posibilidad de un incremento de productividad directamente relacionado a la velocidad de producción, ocasionando nuevas condiciones de operación asociadas a temperatura, frecuencia y velocidad de la banda transportadora de mineral. 3M, utiliza Seis Sigma como metodología de calidad e inmerso en Seis Sigma, se emplea el Análisis de Modo y Efecto de Fallas (AMEF) como herramienta de prevención de problemas de calidad. En este sentido, se identifica el proceso y el producto; así como, las condiciones de operación actuales, y en base a ello, se proponen ecuaciones de fácil manejo para el operador, que establezcan el comportamiento de las variables de operación. Se propone un incremento de  $\pm 15\%$  de velocidad de operación (Variable Maestra) y en función a ella, haciendo uso de las ecuaciones propuestas, se dejan establecidas las nuevas condiciones de operación. Para validar las condiciones de operación e implícitamente las ecuaciones propuestas, se verifica que la Lija cumpla con las condiciones de Calidad establecidas; analizando el producto que ha sido elaborado bajo las nuevas condiciones de operación. Así, se tiene que la Lija cumple con las especificaciones de Calidad para salir al mercado, validando ecuaciones y condiciones de operación propuestas. Adicionalmente se deja el AMEF; un documento de referencia para recomendar acciones que reduzcan el riesgo de fallas, o bien, detectarlas, y tener acciones correctivas que permitan mantener la calidad de la Lija Wetordry 3M.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO I. FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	3
I.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	3
I.2 ANTECEDENTES.....	5
I.3 OBJETIVOS .....	8
I.3.1 Objetivo general .....	8
I.3.2 Objetivos específicos .....	8
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO .....	9
II.1 LA EMPRESA.....	9
II.1.1 Estructura Organizativa .....	11
II.2 ABRASIVO .....	12
II.2.1 Constitución de un Abrasivo .....	12
II.2.2 Fabricación de Abrasivo.....	15
II.3 CALIDAD.....	18
II.3.1 Normas de Calidad.....	18
II.3.2 Objetivo de las Normas ISO sobre Aseguramiento de la Calidad.....	19
II.3.3 Principales Normas ISO 9000.....	19
II.3.4 Sistema de Gestión de Calidad.....	20
II.3.5 Orígenes de la Metodología Seis Sigma.....	23
II.3.6 Los 8 Principios de Gestión de la Calidad.....	25
II.3.7 3M Políticas de Calidad.....	27
II.3.8 Seis Sigma en 3M Manufacturera.....	28
II.3.9 Herramientas de Mejora de Calidad.....	28
II.3.10 Metodología Sistemática.....	29
II.4 ANALISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA (AMEF).....	32

CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO .....	38
III.1 FASE I:Diagnóstico: Identificación del Proceso y del Producto .....	40
III.2 FASE II: Condiciones de Operación .....	41
III.3 FASE III: Matriz AMEF .....	43
III.4 FASE IV: Validación.....	44
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	47
IV.1 DIAGNÓSTICO: IDENTIFICACIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE LIJA Y CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO FINAL ...	47
IV.1.1 Identificación del Proceso del fabricación de Lija Wetordry 3M.....	49
IV.1.2 Identificación del Producto.....	57
IV.2 CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL TAM: NUEVO RANGO DE VELOCIDADES DE OPERACIÓN EN LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN GARANTIZANDO LAS ESPECIFICACIONES DE LA LIJA.....	64
IV.3 CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL TAM: VARIABLES DEPENDIENTES DE LA VELOCIDAD EN EL PROCESO .....	67
IV.3.1 Temperatura del Horno.....	68
IV.3.2 Velocidad de la banda transportadora de mineral.....	77
IV.3.3 Frecuencia de adhesión del mineral.....	82
IV.4 MATRIZ DE ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA(AMEF) ...	88
IV.5 VALIDACIÓN DE LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN MEDIANTE LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LA LIJA WETORDRY.....	93
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	108
V.1 CONCLUSIONES.....	108
V.2 RECOMENDACIONES.....	111
BIBLIOGRAFÍA.....	112

APÉNDICES .....	114
APÉNDICE A. Shieffer Cut.....	114
APÉNDICE B. Determinación de los Pesos.....	117
APÉNDICE C. Reflectancia.....	119
ANEXOS.....	120
ANEXO 1. Análisis Estadístico para la Temperatura del Horno de curado.....	120
ANEXO 2. Análisis Estadístico para la Velocidad de la banda transportadora de mineral.....	126
ANEXO 3. Análisis Estadístico para la Frecuencia de adhesión del mineral abrasivo.....	132

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1. Organigrama General de 3M Manufacturera de Venezuela.....	11
Figura N° 2. Composición de un abrasivo.....	12
Figura N° 3. Escala para Minerales Abrasivos.....	15
Figura N° 4. Fabricación de Abrasivos.....	16
Figura N° 5. Esquema de la disposición del mineral abrasivo por gravedad o por interacciones electrostáticas.....	16
Figura N° 6. Mejora continua en el sistema de control de calidad.....	22
Figura N° 7. Fases Metodológicas & DMAIC.....	46
Figura N° 8. Mapa de Proceso DMAIC.....	48
Figura N° 9. Diagrama de Flujo para la fabricación de lija.....	51
Figura N° 10. Distribución de Producción de la Lija Wetordry elaborada con Granos Finos.....	55
Figura N° 11. Distribución de Producción de la Lija Wetordry elaborada con Granos Medios.....	55
Figura N° 12. Distribución de Producción de la Lija Wetordry elaborada con Granos Gruesos.....	56
Figura N° 13. Matriz Causa y Efecto.....	61
Figura N° 14. Diagrama de Pareto de Matriz Causa y Efecto.....	62
Figura N° 15. Sistema de quemadores del TAM.....	69
Figura N° 16. Comportamiento de la Temperatura del horno & la Velocidad de Operación del TAM (G-1200).....	72
Figura N° 17. Comportamiento de la Temperatura del horno & la Velocidad de Operación del TAM (G-220).....	73
Figura N° 18. Comportamiento de la Temperatura del horno & la Velocidad de Operación del TAM (G-180).....	73
Figura N° 19. Funcionamiento de la Velocidad de banda transportadora de Mineral.....	77

Figura N° .20. Comportamiento de la Velocidad de la banda transportadora de Mineral & la Velocidad de Operación del TAM (G-1200).....	78
Figura N° .21. Comportamiento de la Velocidad de la banda transportadora de Mineral & la Velocidad de Operación del TAM (G-220).....	79
Figura N° .22. Comportamiento de la Velocidad de la banda transportadora de Mineral & la Velocidad de Operación del TAM (G-180).....	79
Figura N° .23. Adhesión del Mineral abrasivo entre placas paralelas.....	83
Figura N° .24. Frecuencia de onda.....	83
Figura N° .25. Comportamiento de la frecuencia de adhesión de Mineral & la Velocidad de Operación del TAM (G-1200).....	84
Figura N° .26. Comportamiento de la frecuencia de adhesión de Mineral & la Velocidad de Operación del TAM (G-220).....	84
Figura N° .27. Comportamiento de la frecuencia de adhesión de Mineral & la Velocidad de Operación del TAM (G-80).....	85
Figura N° .28. Matriz de Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF).....	89
Figura N° .29. Diagrama de Pareto para el AMEF.....	92
Figura N° .30. Resultados de Shieffer Cut (caliente) para Lija Wetordry G-1200....	96
Figura N° .31. Resultados de Shieffer Cut (frío) para Lija Wetordry G-1200.....	97
Figura N° .32. Resultados del Peso Make para Lija Wetordry G-1200.....	97
Figura N° .33. Resultados del Peso Size para Lija Wetordry G-1200.....	98
Figura N° .34. Resultados de Mineral Abrasivo para Lija Wetordry G-1200.....	98
Figura N° .35. Resultados de Reflectancia para Lija Wetordry G-1200.....	99
Figura N° .36. Resultados de Shieffer Cut (caliente) para Lija Wetordry G-220.....	99
Figura N° .37. Resultados de Shieffer Cut (frío) para Lija Wetordry G-220.....	100
Figura N° .38. Resultados del Peso Make para Lija Wetordry G-220.....	100
Figura N° .39. Resultados del Peso Size para Lija Wetordry G-220.....	101
Figura N° .40. Resultados del Peso de Mineral Abrasivo para Lija Wetordry G-220.....	101
Figura N° .41. Resultados de Reflectancia para Lija Wetordry G-220.....	102
Figura N° .42. Resultados de Shieffer Cut (caliente) para Lija Wetordry G-80.....	102

Figura N° .43. Resultados de Shieffer Cut (frío) para Lija Wetordry G-80.....	103
Figura N° .44. Resultados del Peso Make para Lija Wetordry G-80.....	103
Figura N° .45. Resultados del Peso Size para Lija Wetordry G-80.....	104
Figura N° .46. Resultados del Peso de Mineral Abrasivo para Lija Wetordry G-80.....	104
Figura N° .47. Resultados de Reflectancia para Lija Wetordry G-80.....	105
Figura N° .48. Equipo Shieffer Cut.....	116
Figura N° .49. Equipo Microgloss.....	119

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1. Características de los minerales más utilizados en la manufactura de abrasivos.....	14
Tabla N° 2. Clasificación de los abrasivos según el grano.....	15
Tabla N° 3. Relación de Seis Sigma con los ocho principios de Gestión de la Calidad.....	27
Tabla N° 4. Formato de Matriz AMEF.....	33
Tabla N° 5. Escala AMEF.....	36
Tabla N° 6. Conexiones entre los elementos que conforman la Matriz AMEF.....	37
Tabla N° 7. Lija Wetordry 3M.....	53
Tabla N° 8. Lija Wetordry 3M.....	54
Tabla N° 9. Componentes de Lija Wetordry en estudio.....	58
Tabla N° 10. Escala de votación para la Matriz Causa y Efecto.....	59
Tabla N° 11. Entradas Potencialmente Influyentes.....	63
Tabla N° 12. Velocidad de Operación Máxima del TAM.....	64
Tabla N° 13. Velocidad de Operación Mínima del TAM.....	65
Tabla N° 14. Velocidad del TAM.....	66
Tabla N° 15. Velocidad Media actual y Velocidad de Operación Propuesta.....	67
Tabla N° 16. Temperatura del horno de Curado propuesta.....	76
Tabla N° 17. Velocidad de la banda transportadora de Mineral Abrasivo propuesta.....	82
Tabla N° 18. Frecuencia para la adhesión del Mineral Abrasivo propuesta.....	87
Tabla N° 19. Capacidad Máxima de jumbos de Lija Wetordry según el tipo de grano.....	93
Tabla N° 20. Especificaciones de Calidad de la Lija Wetordry.....	96
Tabla N° 21. Nuevas condiciones de operación asegurando la calidad del producto.....	106
Tabla N° 22. Expresión de resultado para pesos de adhesivos y mineral.....	118



## INTRODUCCIÓN

Ante la globalización de la economía, la competitividad de los bienes en costo y calidad ha sido muy dinámica. En este contexto, el país requiere de profesionales de la Ingeniería preparados para modificar y actualizar sus capacidades instaladas, desarrollar nuevos procesos y tecnologías, para participar con éxito en el mercado internacional.

3M Venezuela no se escapa de esta realidad y continuamente está en la búsqueda de maneras de mejorar los procesos productivos, específicamente en el área de Producción Abrasivos. Es por ello, que ante, el reemplazo de un Sistema de Transmisión Hidráulico discontinuado “Oil Gear” por un Sistema de Transmisión Eléctrico nuevo en la línea de productos abrasivos, surge la necesidad de “Desarrollar las nuevas condiciones de operación en la línea de producción de Lija Wetordry, asegurando la calidad del producto mediante análisis de modo y efecto de fallas”. Para lo cual, se plantean los siguientes objetivos específicos:

- (a) Identificar el proceso de fabricación de Lija Wetordry y características del producto final.
- (b) Establecer el nuevo rango de velocidades de operación en la línea de producción garantizando las especificaciones de la Lija.
- (c) Determinar las variables dependientes de la velocidad en el proceso; el rango de temperatura óptima del horno que integra la línea de producción de Lija, así como también, la velocidad de la banda transportadora de mineral y la frecuencia para la adhesión del mineral abrasivo en la Lija.
- (d) Proponer mediante un análisis de modo y efecto de falla (AMEF) diversas condiciones de operación para asegurar la calidad de la Lija ante las oportunidades y amenazas de incremento de la velocidad de producción.
- (e) Validar las condiciones de operación propuestas en el mediante la evaluación de la calidad de la Lija como producto final.

Con el compromiso de cumplir cada uno de los objetivos planteados, se presenta la estructura general que conforma este Trabajo Especial de Grado:

Capítulo I: Fundamentos de la Investigación: Aquí se plantean los objetivos del trabajo, la importancia o justificación del estudio; adicionalmente comprende una revisión de los estudios previos acerca del tema a desarrollar.

Capítulo II: Marco Teórico: En este capítulo se presenta la serie de conceptos teóricos que son necesarios para el entendimiento de los aspectos involucrados en el desarrollo del presente Trabajo Especial de Grado.

Capítulo III: Marco Metodológico: En esta sección se presentan los pasos que se siguieron para lograr el cumplimiento de los objetivos planteados.

Capítulo IV: Resultados y Discusión de Resultados: En esta sección se presentan cada uno de los resultados obtenidos, para el cumplimiento de los objetivos en el inicio del trabajo especial de grado.

Capítulo V: En este capítulo se presentan las conclusiones y recomendaciones establecidas por los resultados obtenidos.

A continuación es desarrollo de cada una de las secciones previamente descritas.

# CAPÍTULO I

## FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN

### I. 1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La dinámica de globalización en la economía ha llevado a las empresas a mejorar continuamente la competitividad de los bienes reduciendo costos y asegurando la calidad. En este contexto, el país requiere de profesionales de Ingeniería preparados para modificar y actualizar sus operaciones instaladas, desarrollar nuevos procesos e implementar nuevas tecnologías, para así participar con éxito en el mercado internacional.

Para obtener estas mejoras, se debe contar con procesos manufactureros capaces de asegurar la calidad, cumpliendo los requisitos y expectativas del cliente. 3M Manufacturera Venezuela, fabrica Lija de agua (Comercialmente Lija Wetordry) en una línea de producción de abrasivos conocida como TAM (por sus siglas en inglés-Tunnel Abrasive Maker), siendo esta la principal línea manufacturera en 3M Venezuela y el negocio más antiguo al cual se ha dedicado esta compañía.

Desde el año 2010 existe un plan estratégico en la empresa, orientado al mejoramiento continuo de esta línea de producción, ya que se determina que existen varias alternativas de remplazo del sistema de transmisión, es decir, se puede reemplazar el sistema de transmisión hidráulico discontinuado “Oil Gear”, por:

- Un sistema hidráulico nuevo.
- Un sistema eléctrico.
- Un híbrido hidráulico – eléctrico.

Se estima con este cambio, la posibilidad de un incremento de productividad directamente relacionado a la velocidad de producción, dando lugar a nuevas

condiciones de operación asociadas a la temperatura, la frecuencia y la velocidad de la banda transportadora de mineral. Sin embargo, se desconoce cómo podría estar variando la velocidad de operación y demás variables. Es por ello que surge la necesidad de estandarizar las nuevas condiciones de operación; rango de velocidad de operación, temperatura óptima para el horno, frecuencia para la adhesión del mineral, y velocidad de la banda transportadora de mineral.

Para evitar posibles variaciones en las especificaciones del producto y garantizar los parámetros de calidad, resulta imprescindible dejar establecidas las variables de operación en el TAM. 3M Manufacturera a nivel global, utiliza Seis Sigma como metodología de calidad e inmerso en Seis Sigma se emplea el Análisis de Modo y Efecto de Fallas (AMEF) como herramienta de análisis sistemático y prevención de problemas de calidad, siempre enfocados hacia un proceso de mejora continua de la productividad, ofreciendo un costo de producción de Lija competitivo a nivel nacional e internacional.

Por lo que surge la interrogante; ¿Es posible desarrollar las nuevas condiciones de operación para la línea de producción de Lija Wetordry, sin desmejorar la calidad del producto?

## I.2 ANTECEDENTES

Algunas investigaciones previas han sido realizadas en el área de producción de abrasivos, entre las cuales cabe destacar:

◆ **Actualización de los estándares de fabricación de la línea de Producción de Lija Wetordry.**

3M Venezuela en la persona de Vásquez B. (1995) desarrolla un proceso de Actualización de los estándares de fabricación de la línea de Producción de Lija Wetordry, específicamente del peso del adhesivo *make*, *size* y mineral abrasivo; ya que se reportaron algunos problemas de bajo poder de corte en la lija cuando ésta pasaba por el proceso de conversión para su presentación final. Esto condujo a buscar oportunidades de mejoras; y es entonces cuando con la finalidad de encontrar la causa raíz de este problema, se inicia un contacto con el especialista en este producto en la Casa Matriz de 3M, quien además de reafirmar el bajo rendimiento de corte, recomienda la modificación de las variables de control para el peso del adhesivo *make*, peso del adhesivo *size* y peso del mineral abrasivo. Es por ello que en 1996 se realiza la actualización paulatina y progresiva de los estándares de fabricación, investigación que adicionalmente propone:

- Continuar con la estandarización de variables del proceso, tales como abertura de rodillos y variables de trabajo de la placa electrostática.
- Iniciar estudio sobre los rodillos
- Uso de dispositivos durante el proceso que permitan mejores controles en la línea de producción.

◆ **Evaluación de la confiabilidad de Sistema “Oil Gear” en “Producción Abrasivos” (TAM)**

3M Venezuela realiza un estudio siguiendo la Metodología Seis Sigma, liderado por el Dávila L. (2010) de “Evaluación de la confiabilidad de sistema Oil Gear en Producción abrasivos”; donde se busca estimar la confiabilidad del Sistema de Transmisión “Oil Gear” del TAM en el área de Producción Abrasivos, para determinar la probabilidad de falla de dicho equipo en los próximos 2 años, y de esta manera plantear alternativas de mejoras que permitan incrementar su nivel de confiabilidad; logrando evaluar la disponibilidad de producción del TAM y tiempo de ejecución de análisis, para obtener un informe objetivo de la confiabilidad del sistema.

Luego de evaluar las especificaciones de los componentes principales del Sistema “Oil Gear”, el plan de mantenimiento, la disponibilidad de los equipos, los indicadores de falla y modo de falla, y demás condiciones de operación; se esperan al menos 7 fallas en dos años de operación, referidos al sistema hidráulico de transmisión en el TAM.

La evaluación de la confiabilidad de los equipos permitió determinar cuantitativamente la probabilidad de funcionamiento adecuado del equipo. Por su parte, la identificación de las características de los repuestos discontinuados, determinó que existen varias alternativas de reemplazo del sistema, es decir, se puede reemplazar el sistema hidráulico discontinuado “Oil Gear” por:

- Un sistema hidráulico nuevo.
- Un sistema eléctrico.
- Un híbrido hidráulico – eléctrico.

Una vez culminado el estudio, se generaron dos acciones preventivas que permiten reducir fallas latentes en el sistema “Oil Gear”, las cuales son presentadas a continuación:

- Realizar un mantenimiento preventivo acorde a las limitaciones de repuestos y adecuaciones directas, favoreciendo el adecuado funcionamiento del equipo mientras se realiza el diseño e implementación del nuevo sistema.
- Diseñar e implementar un sistema de transmisión que reemplace el sistema “Oil Gear” existente, comenzando por el *Winder* (proceso independiente) y culminando con el *Coater-Sizer-Master* (proceso maestro-esclavo) (Dávila, 2010).

La Evaluación de la confiabilidad de Sistema “Oil Gear” en “Producción Abrasivos” (TAM), está íntimamente relacionado con el presenta Trabajo Especial de Grado, surgiendo la necesidad de establecer las nuevas condiciones de operación se plantean los objetivos de esta investigación.

### **I.3 OBJETIVOS**

En base a la información presentada, en este Trabajo Especial de Grado se plantea el siguiente objetivo general y los objetivos específicos.

#### **I.3.1 Objetivo general**

Desarrollar las nuevas condiciones de operación en la línea de producción de Lija Wetordry, asegurando la calidad del producto mediante análisis de modo y efecto de fallas.

#### **I.3.2 Objetivos específicos**

- (a) Identificar el proceso de fabricación de Lija Wetordry y características del producto final.
- (b) Establecer el nuevo rango de velocidades de operación en la línea de producción garantizando las especificaciones de la Lija.
- (c) Determinar las variables dependientes de la velocidad en el proceso; el rango de temperatura óptima del horno que integra la línea de producción de Lija, así como también, la velocidad de la banda transportadora de mineral y la frecuencia para la adhesión del mineral abrasivo en la Lija.
- (d) Proponer mediante un análisis de modo y efecto de falla (AMEF) diversas condiciones de operación para asegurar la calidad de la Lija ante las oportunidades y amenazas de incremento de la velocidad de producción.
- (f) Validar las condiciones de operación propuestas en el mediante la evaluación de la calidad de la Lija como producto final.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

En este capítulo se presenta la serie de conceptos teóricos que son necesarios para el entendimiento de los aspectos involucrados en el desarrollo de este proyecto.

#### II.1 LA EMPRESA

La compañía 3M (proveniente de sus siglas en inglés de “*Minnesota Mining and Manufacturing*”) se funda en 1902 en la ciudad de Two Harbors, Minnesota, EEUU. Sus inicios fueron como una pequeña compañía minera pero al descubrir que los depósitos minerales de la compañía resultaron de poco valor, los fundadores de la 3M deciden no darse por vencidos y se centraron en la producción de papel de lija, el negocio más antiguo de la compañía.

3M con más de 100 años de trayectoria, se ha caracterizado por ser una empresa innovadora, siendo una firma sólida; fabricante y comercializadora a nivel mundial de productos dirigidos a los siguientes mercados: Cuidado Personal y Salud, Eléctricos y Comunicaciones, Consumo y Oficina, Industrial y Transporte, Imagen y Señalización, Seguridad y Protección. Algunos de sus productos manufacturados y más representativos son: Lija de agua y Selladores, estos alcanzan importantes destinos de exportación en los mercados norteamericanos, europeos, asiáticos y de América Latina. En la actualidad, 3M cuenta con más de 70 mil empleados, trabajando en las 62 subsidiarias y 80 Centros de Investigación alrededor del mundo.

“3M Venezuela” fabrica abrasivos revestidos como la lija de agua, cintas impresas como el *tape* y la cinta de celofán y selladores para uso automotriz. Adicionalmente, produce empaques de productos médicos contribuyendo así con el desarrollo local en conjunto con la satisfacción de sus clientes.

3M en Venezuela, se inicia en el año 1964 cuando la firma norteamericana “Minnesota Mining Manufacturing Company (3M)”, compra todas las acciones de una distribuidora de productos conocida como IMCA, S.A. Esta empresa a partir de 1952 y hasta esa fecha tenía la representación de los productos con la marca 3M, encargándose de su distribución en Venezuela. Así se funda 3M Venezuela con su oficina central en Caracas. A partir del año 1964, se iniciaron los estudios de factibilidad para la producción local y es en el año 1965 cuando se inaugura la planta ubicada en Valencia; comenzando así los primeros productos de fabricación nacional.

Para el año 1967 se instalan las líneas de fabricación de productos abrasivos, entre los cuales se nombra la lija de agua, producto líder en el mercado. Posteriormente se inauguran las líneas de producción *Scotch Brite* y *Tape*, de las cuales se destacan las Esponjas para uso doméstico y *tape* para uso eléctrico. A partir del año 1989 esta planta inicia el proceso de reconversión industrial. Este tiene como objetivo manufacturar solo aquellos productos que puedan ser competitivos por calidad y precio tanto en el mercado nacional como internacional, habiéndose obtenido excelentes resultados.

Durante el año 1990 la empresa inicia la implementación del proceso de calidad Q90'S, el cual fue diseñado por la misma casa matriz, obteniendo considerables mejoras en todas las áreas de la organización. En el año 1992 a fin de iniciar la penetración de sus productos en los mercados internacionales, además de cubrir las expectativas de los clientes locales, la empresa inicia el proceso para la obtención de la certificación COVENIN-ISO 9002. Este proceso contempla la implantación y mantenimiento de un sistema que asegure la calidad de los procesos de manufactura utilizados en la fabricación de productos en la planta. En el año 1996 da los primeros pasos para la planificación de las actividades que deberían ser seguidas para la obtención de la certificación QS9000 para las ensambladoras.

Actualmente 3M ofrece 2.500 productos en el mercado venezolano, certificados y ratificados con varios premios a la calidad y la innovación. Entre los que se pueden destacar: ISO 9001:2000, ISO 14001 y QS9000, premios a la calidad de

Ford Motors y Chrysler, además de órdenes meritorias de Seguridad Laboral y Cuidado al Ambiente de la casa matriz 3M, Minnesota (Villamizar, 2011).

### II.1.1 Estructura Organizativa

3M Manufacturera Venezuela es una organización conformada por gerencias generales, cada una de ellas lideriza una línea de mando, bajo la cual se desplazan todas las unidades restantes que dentro de su ámbito de competencia contribuyen al logro de los objetivos de la organización; tal como puede observarse en el organigrama presentado en la Fig. 1.

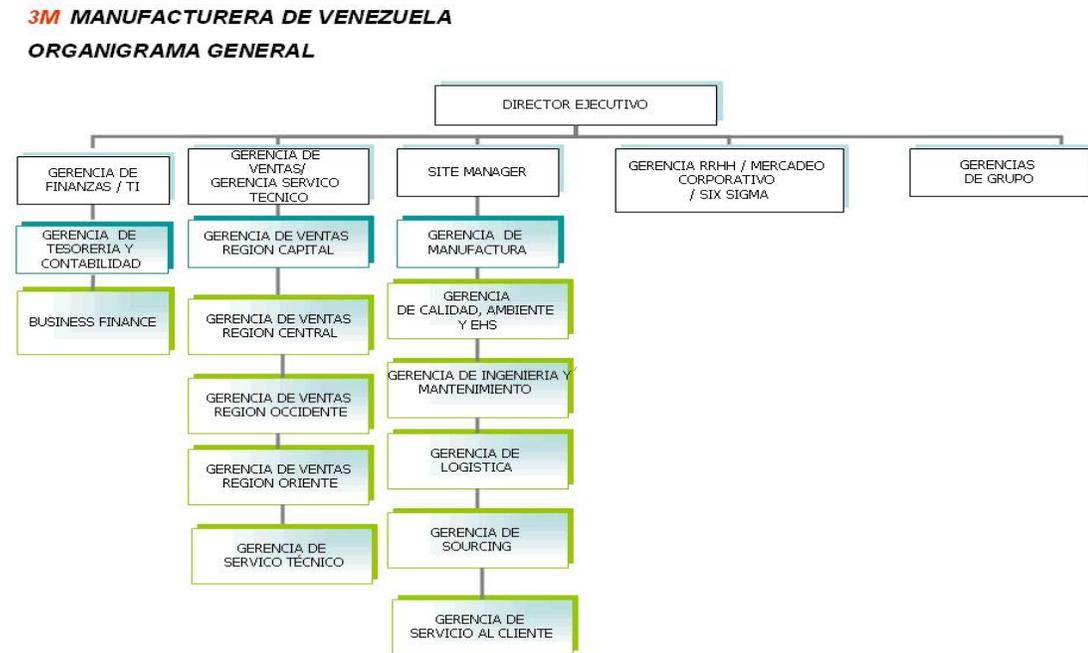


Figura N°.1. Organigrama General de 3M Manufacturera de Venezuela.

Este Trabajo Especial de Grado se desarrolla bajo la figura del “*Site Manager*” (que viene a ser el Director de Manufactura en 3M Venezuela), específicamente en la Gerencia de Ingeniería y Mantenimiento.

## II.2 ABRASIVO

Un abrasivo es una sustancia que tiene como finalidad actuar sobre un determinado material a través de un esfuerzo mecánico. Los abrasivos actúan arrancando material del sustrato por fricción cuando se enfrenta al mineral abrasivo. Entre los abrasivos se encuentran diamantes, esmeriles, areniscas, cuarzos óxido de aluminio, carburo de silicio, zirconio y materiales cerámicos.

La característica fundamental de los abrasivos es la resistencia al desgaste, debido al continuo rozamiento entre la pieza y los granos abrasivos, la resistencia al desgaste es un factor de suma importancia para la calidad del producto. Un grano con baja resistencia al desgaste perdería su filo fácilmente aumentando no solo la fuerza de corte sino también el área de contacto entre la pieza y la herramienta. Esto genera un aumento en la cantidad de calor generado durante el proceso de rectificado, lo cual presenta inconvenientes para la integridad física, dimensional y micro-estructural de la pieza.

### II.2.1 Constitución de Abrasivos

Los abrasivos convencionales se componen de un soporte, adhesivo de fijación, mineral abrasivo y adhesivo de fijación; en diferentes capas tal y como muestra la figura N° 2, no son materiales sencillos de fabricar ya que requieren una serie de materiales que les permitan cumplir con sus requisitos de trabajo.

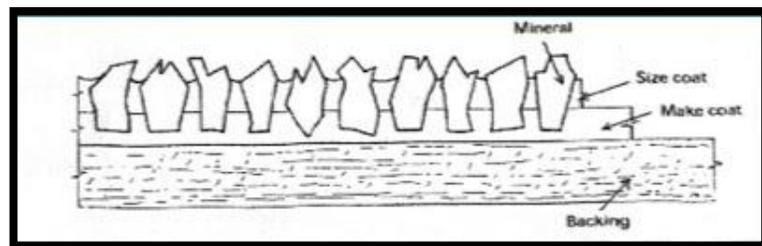


Figura N° 2. Composición de un abrasivo.

El soporte puede ser una superficie de papel, tela, plástico, o fibras. En función de la aplicación para la que se quiera emplear se variará el tipo de soporte consiguiendo modificar la dureza del producto y por tanto la profundidad del roce que acabará produciendo en la superficie a tratar.

Los componentes tradicionales de los abrasivos convencionales son:

**.-Los soportes más habituales son de papel;** y se clasifican por letras desde la letra A hasta la E, dándose un incremento paulatino del gramaje del papel. Los papeles de tipo A se emplean en aplicaciones que requieran mayor flexibilidad y poca resistencia y los papeles de tipo E en operaciones de mayor desgaste. También son muy frecuentes los soportes de fibra vulcanizada, compuestos de papel y plástico procesados químicamente. Se obtiene así un material tenaz, duro, muy resistente y estable.

**.-El adhesivo;** El mineral debe quedar sujeto al soporte y además se deben fijar los granos entre sí. Se usan dos capas de adhesivo para ello. El adhesivo depende de la aplicación para la que se oriente el producto. Así, adhesivos naturales (pegamento, derivado de cartílago y huesos de animales) no se empleará en el lijado en húmedo, mientras que para esos procesos se suele recomendar adhesivos formados a partir de resinas sintéticas de origen epoxídico o fenólico. Estas últimas se caracterizan por su gran resistencia al agua y su excelente poder de adhesión.

Los adhesivos sintéticos son menos flexibles que los naturales. Por eso en operaciones de acabado se suele recomendar abrasivos con este tipo de adhesivo.

**.-El Mineral;** El mineral es uno de los factores claves que definen el tipo de material que se emplea, las cualidades de los minerales más empleados se representan en la tabla N° 1.

El Óxido de aluminio es el más extendido. Posee una gran dureza (9,4 Escala Mohs), con una gran tenacidad y resistencia al choque. Tiene tendencia a arromarse

formando perfiles redondeados que provocan rayas anchas y poco profundas y por eso se recomienda su uso con materiales blandos. El Carburo de Silicio tiene una dureza de 9,4, pero a diferencia del óxido de aluminio su tenacidad es muy baja, rompiéndose fácilmente y dando la formación de nuevas aristas que dan rayas estrechas y profundas. Se presentan las principales características de los minerales más utilizados en la manufactura de abrasivos convencionales, en la tabla N° 1, a continuación:

Tabla N° 1. Características de los minerales más utilizados en la manufactura de abrasivos

Mineral	Dureza	Tenacidad	Fractura	Acabado	Aplicación
Óxido de Aluminio $Al_2O_3$	9,4	75	Aristas romas	Rayas anchas y profundas	Materiales blandos
Carburo de Silicio SiC	9,4	55	Aristas muy vivas	Rayas estrechas y profundas	Materiales duros

Existen otros minerales como el esmeril (que se usa cada vez menos), las mezclas de óxido de aluminio y zirconio o los nuevos materiales de origen cerámico que se emplean en procesos que requieran un gran arranque de materia. En función de la aplicación que se desee se puede elegir un mineral u otro.

**Granulometría:** Como se ha visto, un abrasivo se compone de granos de mineral que al tener unas propiedades de mayor dureza y tenacidad permiten un arranque de materia y un moldeo de la superficie. Sin embargo el acabado que se logra en la superficie depende entre otros factores del tamaño de grano que se esté utilizando en cada operación.

Para tratar de regular los procesos de lijado se han establecido diferentes escalas que indican el tamaño del grano de mineral que se emplea. La escala de los minerales que se usa es la siguiente:

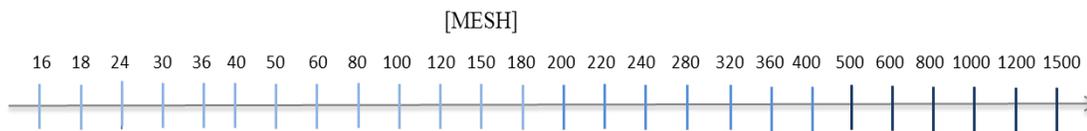


Figura N°. 3. Escala para Minerales Abrasivos

Esta numeración indica el tamaño de grano que se sitúa sobre el soporte siendo éste inversamente proporcional al valor numérico, así los granos de menor numeración son los de mayor tamaño.

Se clasifican usualmente en tres categorías abrasivos de grano fino, de grano medio y de grano grueso; tal como se indica en la tabla N° 2:

Tabla N° 2. Clasificación de los abrasivos según el grano

Abrasivos de grano fino [mesh]	1500-500
Abrasivos de grano medio [mesh]	400-220
Abrasivos de grano grueso [mesh]	180-16

La forma de establecer el tamaño de estos granos es una separación mediante un juego de tamices, estos filtros separan los diferentes tamaños, y a medida que un grano va pasando tamices, su tamaño es menor. En los granos más finos la diferenciación se realiza por ensayos de sedimentación en un líquido que lleva a una diferenciación en función de su peso y tamaño.

### II.2.2 Fabricación de Abrasivos:

A la hora de fabricar un producto abrasivo se debe seleccionar de forma adecuada el soporte, el mineral, el tamaño y la colocación de granos sobre el soporte. Actualmente la fabricación de abrasivos consiste en un proceso totalmente automatizado que consta de las siguientes fases, esquematizadas en la figura N° 4:

-Se fija el soporte en una bobina.

-Se imprime la información de lote, grano y nombre de producto en la parte posterior.  
 -Pasa por la primera fase de aplicación de adhesivo (Encolaje). Se usan adhesivos naturales como aglutinante adecuado para el lijado a mano. En el caso de lijado al agua y a máquina el aglutinante es una resina sintética. En la superficie con pegamento aplicado se anclan los granos de material abrasivo, dejándolos adheridos a la superficie.

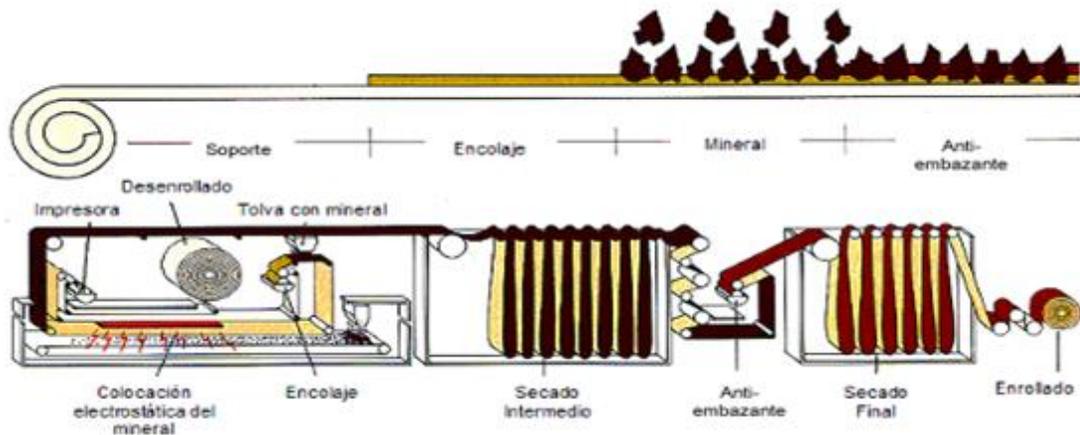


Figura N°. 4. Fabricación de Abrasivos.

A continuación se fija el abrasivo al soporte, bien por gravedad o bien por interacciones electrostáticas. En el caso de la adición por gravedad el mineral queda situado sobre el soporte de una forma aleatoria, mientras que en el caso de la aplicación electrostática se puede ejercer cierto control sobre la capa formada colocando sus aristas orientadas de manera que se crea un superficie más adecuada para la función de corte tal y como muestra la figura N° 5, superficie con la que se busca que la acción de las diferentes partículas sea lo más homogénea posible.

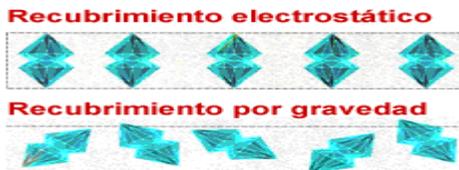


Figura N°. 5. Esquema de la disposición del mineral abrasivo por gravedad o por interacciones electrostáticas.

Una vez dispuesta la capa de mineral sobre el soporte y aplicado el adhesivo se pasa por un horno donde se da un secado del adhesivo. Tras esta etapa se aplica una capa de material antiembazante, que se seca a continuación en un horno. Tras acabar el curado de la capa de esta última capa de material, se enrolla el producto obteniéndose grandes bobinas que deben troquelarse en el formato que se prefiera.

## **II.3 CALIDAD**

La calidad de un producto o servicio es el resultado de un proceso que integra a todos los miembros de la organización de diseño, desarrollo, producción y asistencia técnica desde su venta y hasta el fin de su vida útil, incluyendo su disposición final. En la actualidad, la calidad es un requisito esencial exigido a las empresas para ingresar al mercado: anticipar y satisfacer las expectativas del cliente, construir y mantener la calidad de los productos y servicios de su organización y su infraestructura.

Lerner (2007) hace referencia al diciembre del año 1993, en que el reconocido padre de la “Calidad Total”, el Dr. W. Edwards Deming afirmó: *“la calidad no es algo que puede instalarse, tal como una nueva alfombra o una biblioteca; es algo que se aprende, aquello que se implanta en el alma de la organización y sobre lo cual se reflexiona. Es un continuo y complejo proceso de aprendizaje”*.

Sin duda alguna, el concepto de calidad se reconoce a partir de la necesidad de competir en el mercado, y su definición ha sido cuestionada por parte de expertos en la materia. Si bien es posible coincidir que la calidad es determinada por el cliente (interno, externo o usuario final), aún no se ha logrado consensuar un acuerdo en torno a su alcance para lograr el nivel de calidad demandado por el mercado (Lerner, 2007).

### **II.3.1 Normas de Calidad**

La Organización Internacional de Normalización (ISO), nace luego de la Segunda Guerra Mundial (creada en 1946), la cual se encarga de promover el desarrollo de normas internacionales de fabricación, comercio y comunicación para todas las ramas industriales a excepción de la eléctrica y la electrónica. Su función principal es la de buscar la estandarización de normas de productos y seguridad para las empresas u organizaciones a nivel internacional.

La ISO es una red de los institutos de normas nacionales de 146 países, sobre la base de un miembro por país, con una Secretaría Central en Ginebra, Suiza, que coordina el sistema. La Organización Internacional de Normalización (ISO), está compuesta por delegaciones gubernamentales y no gubernamentales subdivididos en una serie de subcomités encargados de desarrollar las guías que contribuirán al mejoramiento de las organizaciones (Johndany, 2006).

Las normas desarrolladas por ISO son voluntarias, comprendiendo que ISO es un organismo no gubernamental y no depende de ningún otro organismo internacional, por lo tanto, no tiene autoridad para imponer sus normas a ningún país.

### **II.3.2 Objetivo de las normas ISO sobre aseguramiento de la calidad**

Su propósito es asegurar que existe un Sistema de Calidad y que está siguiéndose. Para ello se requieren dos acciones básicas:

- Establecer controles adecuados de gestión de calidad.
- Documentar dichos controles.

La norma no define el Sistema de Calidad a aplicar por las empresas. Lo que hace es describir los requisitos a los que debe dar respuesta dicho Sistema de Calidad.

La empresa, la única forma que tiene para demostrar que realmente cumple con los requisitos establecidos en la norma es mediante la certificación del sistema de calidad (ISO 9001:2008).

### **II.3.3 Principales Normas ISO 9000**

Para poder reflejar los modernos enfoques de gestión y para mejorar las prácticas organizativas habituales se ha considerado muy útil y necesario introducir cambios estructurales en las normas, manteniendo los requisitos esenciales de las normas vigentes.

Para Johndany (2006), la familia de Normas ISO está constituida por tres normas básicas, complementadas con un número reducido de otros documentos (guías, informes técnicos y especificaciones técnicas). Las tres normas básicas son:

- ISO 9000: Sistemas de Gestión de la Calidad - Conceptos y Vocabulario
- ISO 9001: Sistemas de Gestión de la Calidad - Requisitos
- ISO 9004: Sistemas de Gestión de la Calidad - Guía para llevar a cabo la mejora.

### **II.3.4 Sistema de Gestión de Calidad**

Un sistema de Gestión de la Calidad es la forma en que una organización dirige y controla aquellas actividades que están asociadas con la calidad. De una manera más amplia, consiste en la estructura de la organización junto con la planificación, los procesos, los recursos y la documentación que se usa para alcanzar los objetivos de la calidad, para mejorar los productos y servicios y para cumplir los requisitos de los clientes (Vieytes, 2011).

Para que una organización funcione de manera eficaz, tiene que identificar y gestionar numerosas actividades relacionadas entre sí. Una actividad que utiliza recursos y que se gestiona con el fin de permitir que los elementos de entrada se transformen en resultados, se puede considerar como un proceso. Frecuentemente el resultado de un proceso constituye directamente el elemento de entrada del siguiente proceso.

Tal como lo establecen las 4 principales secciones, entre las cuales debe existir un flujo continuo de información y recursos. Las 4 principales Secciones de las Normas ISO, se describen a continuación:

**Sección 5: Compromiso de la Dirección:** Esta sección establece que la Dirección General de la empresa deberá suministrar pruebas para apoyar y desarrollar la implementación del Sistema de Gestión de Calidad y su mejora continua:

Comunicando a la empresa la importancia de satisfacer los requisitos de ley previstos por las normativas para los clientes.

.-Estableciendo la política de calidad.

.-Asegurando que estén establecidos los objetivos de calidad.

.-Conduciendo revisiones de la Dirección.

**Sección 6: La gestión de recursos:** Determina y proporciona los recursos necesarios para implementar, mantener y mejorar el sistema de gestión de calidad y para mejorar la satisfacción del cliente. Pueden ser recursos humanos, infraestructura y ambiente de trabajo.

**Sección 7: Realización del producto:** Es aquí donde se enfatizan los requisitos de planificación. Se debe planificar los procesos, establecer objetivos, documentar y medir resultados, lo que posteriormente servirá como instrumento de mejora. La realización del producto es el proceso efectivo de producción de su producto o suministro de su servicio. Estos procesos deben planificarse.

**Sección 8: Medición, análisis y mejora:** Esto se aplica a todos los procesos claves y los métodos que se utilicen para mejorarlos deben ser coherentes. La intención de esta cláusula es crear la medición y el seguimiento necesario para verificar si el producto es conforme y suministrar la información necesaria para aportar mejoras a los proceso (ISO 9001:2008).

La aplicación de un sistema de procesos dentro de la organización, junto con la identificación de las interacciones de los mismos, así como su gestión, puede denominarse Enfoque Basado en Procesos.

Una ventaja del enfoque basado en procesos es el control continuo que proporciona sobre los vínculos entre los procesos individuales dentro del sistema de procesos, así como sobre su combinación e interacción.

Vieytes (2011), hace referencia a un enfoque de este tipo, cuando se utiliza dentro de un Sistema de Gestión de la Calidad, enfatizando la importancia de:

1. La comprensión y el cumplimiento de los requisitos
2. La necesidad de considerar los procesos en términos que aporten valor
3. La obtención de resultados de desempeño y eficacia del proceso
4. La mejora continua de procesos con base en mediciones objetivas

Se esquematiza la mejora continua en el Sistema de Gestión de Calidad, fundamentado en las 4 principales secciones de las Normas ISO y en el Enfoque basado en Procesos; la cual se presenta en la figura N° 6, a continuación:

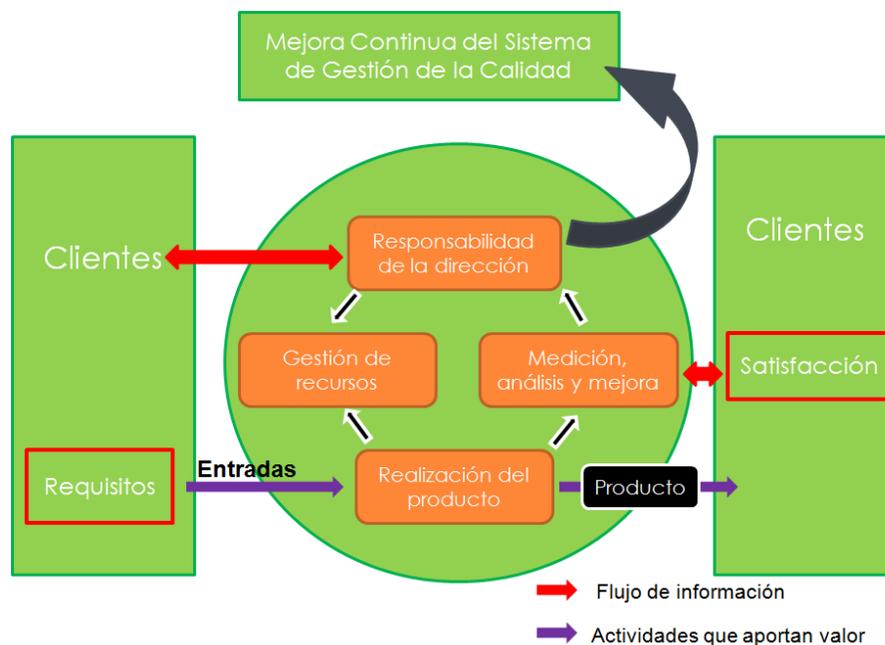


Figura N°. 6. Mejora continua en el sistema de control de calidad

La metodología “Gestión de Calidad Total” (TQM) se enfoca en incrementar la satisfacción del cliente, agregando valor a las actividades desarrolladas orientándose a reducir los costos de una mala calidad como, todo aquello que implique pérdidas operativas, materiales y potenciales clientes.

En síntesis, la Gestión de la Calidad Total implica una aproximación sistémica que integre a la organización a toda la cadena de suministro (clientes internos,

externos y consumidores finales), mediante el aprendizaje continuo y la adecuada gestión del cambio (Lerner, 2007).

En los años ochenta la TQM fue muy popular, pero sufrió un proceso de desgaste y en muchas empresas de agonía. Por ello, se hizo importante, generar un método que motivara un liderazgo por la calidad. Esto se dió con Seis Sigma, una perspectiva contemporánea de calidad empresarial que busca mejorar la calidad de los procesos organizacionales mediante la identificación y eliminación de defectos en los procesos de manufactura y servicios, empleando una orientación primordialmente cuantitativa, cumpliendo con tres características básicas:

- Metodología enfocada al cliente.

- Los proyectos Seis Sigma producen grandes retornos sobre la inversión.

- Seis Sigma cambia el modo que opera la dirección. Es mucho más que proyectos de mejora, aplicando esta Metodología la dirección y los supervisores aprenden nuevos enfoques en la forma de resolver problemas y adoptar decisiones.

### **II.3.5 Orígenes de la Metodología Seis Sigma**

El programa de Calidad Seis Sigma, el cual fue diseñado y dirigido por Bill Smith a finales de la década de los ochenta; tenía como objetivo reducir la variación de los procesos hasta alcanzar una fracción defectuosa media de 3,4 ppm. Esta reducción de la variabilidad se consiguió empleando métodos estadísticos (diseño de experimentos, ANOVA, regresión, gráficos de control, etc.) y también otras herramientas no estadísticas (AMEF, QFD) combinado con técnicas de gestión de procesos. La columna vertebral de esta estrategia gravitaba sobre expertos en la aplicación de estas herramientas, que se denominaron posteriormente “*black belts*”, es decir, “*cinturones negros*” (Rojas y Ruiz, 2009).

De la mano de Mikel Harry y Leonard Schroeder, *Seis Sigma* se extendió con éxito a otras grandes empresas, sobre todo, a la compañía presidida por el famosísimo Jack Welch, General Electric. Jack Welch se convirtió en el primer pregonero de las

“maravillas” de *Seis Sigma*, hasta el punto de incluir en las memorias anuales algunos éxitos económicos alcanzados por GE con *Seis Sigma* (Rojas y Ruiz, 2009).

Si bien no existe una definición de *Seis Sigma* con reconocimiento formal por parte de todos sus practicantes, Rojas y Ruiz (2009) hacen referencia cuando Mikel Harry define *Seis Sigma* como “*un proceso de negocio que permite a las empresas mejorar tremendamente su cuenta de resultados mediante el diseño y seguimiento diario de las actividades cotidianas de manera que se minimice el desperdicio a la vez que se maximiza la satisfacción del cliente*”. Esta definición combina la finalidad del beneficio financiero, propio de una organización empresarial, con el medio para conseguirla (reducción del desperdicio y aumento de la satisfacción del cliente).

Seis Sigma es una perspectiva contemporánea de calidad empresarial que busca mejorar la calidad de los procesos organizacionales mediante la identificación y eliminación de defectos en los procesos de manufactura y servicios, estudia la relación entre la ocurrencia de defectos y el tiempo promedio de fallas.

Seis Sigma se basa, en que si un producto presentaba defectos durante el proceso de producción, era muy probable que otras fallas pasaran inadvertidas y fueran descubiertas por el consumidor durante las primeras etapas de uso. Si el producto se fabricaba sin errores, esto no sucedería.

Entonces, a partir de la realización de cálculos estadísticos que motivaron a llegar al nivel Seis Sigma, se busca cumplir con dos objetivos primordiales: Mayor satisfacción de los clientes; y amplias reducciones de costo tiene como objetivo reducir la variación de los procesos hasta alcanzar a un máximo de 3,4 *defectos* por millón.

Así pues, teniendo como base la metodología Seis Sigma, se está orientado a una filosofía de mejora de procesos, centrada en la reducción de la variabilidad de los mismos, consiguiendo reducir o eliminar los **defectos** o fallas en la entrega de un producto o servicio al cliente. Cabe destacar que esta metodología está perfectamente alineada con los requisitos y consideraciones de la Norma ISO 9001:2008 tanto en su enfoque por procesos y la mejora continua de esos procesos.

### II.3.6 Los 8 Principios de Gestión de la Calidad

#### ➤ Gestión de Calidad y Normas ISO

Se han identificado ocho principios de Gestión de la Calidad, en los cuales están basadas las normas de Sistemas de Gestión de la Calidad de la familia de Normas ISO 9000 (ISO 9001 e ISO 9004 en la versión 2008), que pueden ser utilizados por la alta dirección con el fin de conducir a la organización hacia una mejora en el desempeño. De Vieytes (2011), se toma parte de la descripción de estos 8 principios de la Gestión de Calidad:

Enfoque al cliente: Las organizaciones dependen de sus clientes y por lo tanto deberían comprender las necesidades actuales y futuras de éstos, satisfacer sus requisitos y esforzarse en exceder sus expectativas.

Liderazgo: Los líderes establecen la unidad de propósito y la orientación de la organización. Ellos deberían crear y mantener un ambiente interno, en el cual el personal pueda llegar a involucrarse totalmente en el logro de los objetivos de la organización.

Participación del personal: El personal, a todos los niveles, es la esencia de la organización y su total compromiso posibilita que sus habilidades sean usadas para el beneficio de la organización.

Enfoque basado en procesos: Un resultado deseado se alcanza más eficientemente cuando las actividades y los recursos relacionados se gestionan como un proceso.

Enfoque de sistema para la gestión: Identificar, entender y gestionar los procesos interrelacionados como un sistema, contribuye a la eficacia y a la eficiencia de una organización en el logro de sus objetivos.

Mejora continua: La mejora continua del desempeño global de la organización debería ser un objetivo permanente en ésta.

Enfoque basado en hechos para la toma de decisión: Las decisiones eficaces se basan en el análisis de los datos y de la información.

Relaciones mutuamente beneficiosas con el proveedor: Una organización y sus proveedores son interdependientes, y una relación mutuamente beneficiosa aumenta la capacidad de ambos para crear valor.

➤ **Gestión de Calidad y Seis Sigma**

La metodología Seis Sigma se puede englobar en los ocho principios de gestión de la calidad; presentados a continuación en la tabla N° 3:

Tabla N° 3. Relación de Seis sigma con los ocho principios de gestión de la calidad

PRINCIPIOS DE GESTIÓN DE CALIDAD	RELACIÓN CON SEIS SIGMA
Organización enfocada al cliente	Muestra una forma de alinear la organización como una medida del desempeño de una organización centrada en el cliente.
Liderazgo	Los altos cargos de la organización impulsan y están completamente involucrados en el programa de mejora, que incluye formación en la selección, gestión y liderazgo en los proyectos Seis Sigma.
Participación del personal	Los proyectos están específicamente diseñados para incluir a todos los niveles de la organización. El programa de mejora incluye la formación en técnicas de equipo y en la metodología Seis Sigma
Enfoque basado en procesos	Es un enfoque basado en proyectos cuyo objetivo es la mejora de los procesos.
Enfoque del sistema hacia la gestión	Los proyectos con éxito muestran que las personas y los procesos están interconectados como un sistema de gestión.
Mejora continua	Es un sistema de mejora continua que ve la calidad como un camino de alcanzar el liderazgo en los productos, servicios y procesos.
Toma de decisiones basada en Hechos	Los equipos de mejora centran su energía en recoger y analizar datos que sirven como argumentos para tomar decisiones.
Relación mutuamente beneficiosa con el proveedor	Reconoce a clientes y proveedores como un sistema interconectado, cada uno con unas necesidades que han de ser satisfechas.

### II.3.7 3M Políticas de Gestión de Calidad

3M Manufacturera Venezuela S.A., empresa fabricante y comercializadora de productos dirigidos a los mercados de Cuidado Personal y para la Salud, Industrial, Consumo, Oficina, Automotriz, Petróleo, Eléctricos, Gobierno, Imagen Gráfica y Comunicaciones; inspirada en su visión y misión, se compromete (en su portal 3M Líder en Innovación, 2013) a:

.-Practicar y mejorar continuamente su Sistema de Gestión de la Calidad a fin de suministrar productos, servicios y actitudes que consistentemente satisfagan las expectativas del cliente.

.-Asegurar que los Objetivos de la Calidad de la organización estén alineados con la responsabilidad de cada uno de sus individuos, al fin de alcanzar el logro de los mismos.

### **II.3.8 Seis Sigma en 3M Manufacturera**

3M Manufacturera, en el año 2000, había perdido cierto impulso, por lo que decidieron implantar un modelo de eficiencia con la intención de sistematizar procesos de innovación y recuperar la energía en el lanzamiento de productos. El modelo de eficiencia fue basado en Procesos de Seis Sigma.

3M (2013) en su portal para España incluye a Seis Sigma entre las cinco iniciativas corporativas de 3M (Aceleración, Productividad, Iniciativa global de los procesos de negocios, Efectividad global de compras y Seis Sigma) que hacen de esta manufacturera una corporación aún más fuerte.

3M adoptó el programa Seis Sigma, una metodología de mejora de los procesos de producción, en febrero de 2001, creando un lenguaje común de trabajo para la empresa, gracias al uso de herramientas estadísticas de análisis, para medir las mejoras, consiguiendo resultados sólidos, controlados y consistentes.

### **II.3.9 Herramientas de mejora de calidad**

La metodología Seis Sigma utiliza herramientas estadísticas para mejorar la calidad. Estas herramientas se utilizan para conocer los problemas en el área de producción y saber el por qué de los defectos. Seis Sigma puede utilizar numerosas herramientas, teniendo variedad de opciones, las principales para López (2012) se mencionan a continuación:

.-Diagrama de Flujo de Procesos; con el cual se conocen las etapas del proceso por medio de una secuencia de pasos, así como las etapas críticas.

.-Diagrama de Causa-Efecto; es utilizado como lluvia de ideas para detectar las causas y consecuencias de los problemas en el proceso.

.-Diagrama de Pareto; se aplica para identificar las causas principales de los problemas en proceso de mayor a menor y con ello reducir o eliminar de una en una estas causas (empezando con la mayor y después con las posteriores o con la que sea más accesible).

.-Histograma; con el cual se observan los datos (defectos y fallas) y se agrupan en forma gaussiana conteniendo los límites inferior y superior y una tendencia central.

.-Gráfica de Corrida; es utilizada para representar datos gráficamente con respecto a un tiempo, para detectar cambios significativos en el proceso.

.-Gráfica de control; se aplica para mantener el proceso de acuerdo a un valor medio y los límites superior e inferior.

.-Diagrama de Dispersión; con el cual se pueden relacionar dos variables y obtener un estimado del coeficiente de correlación.

.-Modelo de Regresión; es utilizado para generar un modelo de relación entre una respuesta y una variable de entrada.

### **II.3.10 Metodología sistemática**

3M Manufacturera (Venezuela Green Belts Training, 2007) tiene a Seis Sigma como metodología global para proyectos de mejoramiento continuo de la calidad de

sus productos y procesos. Inmerso en esta metodología existe un proceso llamado DMAIC que consiste en: Definición del problema. Medición de las variables. Análisis de los datos. Implementación de las mejoras y control de las mejoras implementadas.

Para DMAIC se utiliza una herramienta llamada Análisis del Modo y Efectos de Fallas (AMEF), la cual ofrece una excelente alternativa para el análisis de posibles fallas y evaluación de alternativas.

Seis Sigma es una metodología sistemática que permite reducir costos de forma proactiva, concentrándose en la mejora de los procesos, más que reaccionando corrigiendo fallos una vez ocurridos. Seis Sigma se basa en mediciones más que en experiencias pasadas, por ello es una metodología aplicable a un amplio campo de actividades empresariales. Conceptualmente Seis Sigma exige que cada problema se resuelva a partir de una relación de la forma:

$$Y=f(x, y,...z); \text{ donde } Y \text{ es la variable dependiente}$$

**x, y,..z: variables independientes.**

Cualquier trabajo de mejora de calidad requiere actuaciones sistemáticas y que la ayuda de la estadística, sean a largo o a corto plazo.

El presente proyecto se lleva a cabo implementando la metodología de procesos DMAIC de Seis Sigma, ya que es un sistema que brinda mejoras medibles y significativas a procesos existentes que caen por debajo de sus especificaciones. Siguiendo las etapas de DMAIC, se tiene:

**1°.- Definir:** En esta etapa se procede a delimitar el proceso y espacio físico a estudiar, es la apertura del proyecto en sí y se da como culminada esta fase cuando el líder del proyecto resulta conforme con el planteamiento.

**2°.- Medir:** Se levanta un registro de todo aquello que está produciendo condiciones de riesgos operativos de la línea de producción, costos excesivos o cualquier otra falla

en el proceso. A partir de ello, es preciso determinar qué variables medir. Esta etapa se da por terminada con la asignación de un porcentaje de error de los defectos del sistema.

En esta etapa se levanta la información necesaria para completar:

.-Mapa del proceso; que describe: Principales actividades o tareas, Sub-procesos, Fronteras del proceso, Variables de entrada (X's) y Variables de salida (Y's). Además debe ser revisado frecuentemente y actualizado

.-Matriz de Causa y Efecto: Relaciona las entradas clave (X's) del proceso con las salidas clave (Y's) utilizando como primera fuente de información el Mapa de Proceso. A las variables claves se les asigna un puntaje según la prioridad de importancia.

**3°.- Analizar el proceso:** Se evalúa detenidamente los datos medidos a partir de un riguroso trabajo estadístico. Comprende:

.-Completar el AMEF

Una vez completado el AMEF y su respectivo Pareto, se logra identificar las entradas potencialmente críticas y desarrollar el plan para la siguiente fase.

**4°.- Implementar:** Se trata de resolver la causa-raíz del problema. Con ese fin se efectúa el proceso experimental, a su vez se debe:

- Verificar las Entradas Críticas
- Optimizar las Entradas Críticas

**5°.- Controlar:** comienza con un plan de verificación para asegurar la implementación de los resultados. Se debe:

- Implementar el Plan de control.
- Verificar la capacidad a largo plazo.
- Mejora Continua del Proceso.

Cuando todo está realmente bajo control y se obtienen beneficios económicos mensurables, puede decirse que el proyecto ha concluido.

La implementación de un proyecto de Seis Sigma, incluye la ejecución; etapa de realización exige medir exhaustivamente los ahorros conseguidos en conjunto con el área financiera. Estas dos instancias permiten, al final del proceso, y luego de aproximadamente tres meses, determinar si la labor ha sido exitosa o no.

#### **II.4 ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA (AMEF)**

La matriz de análisis de modo y efecto de falla, identifica modos en los cuales las variables de entrada a un proceso (X's) pueden fallar y determinar qué efecto tiene eso en las salidas del proceso (Y's). Estima el riesgo asociado con causas específicas, permitiendo priorizar las acciones que deberían tomarse para prevenir que las entradas al proceso fallen, lo cual genera acciones para un plan de control. Gracias a la versatilidad de aplicación del AMEF, 3M adecua este análisis de acuerdo a las necesidades propias de la empresa, a continuación se presentan los tipos de AMEF según lo reflejado en *3M Venezuela Green Belts (2007)*, información que es parte de la propiedad intelectual de 3M Manufacturera.

##### **Tipos de AMEF**

.-AMEF en Sistemas: Utilizada para analizar sistemas y subsistemas al inicio de las etapas de conceptualización y diseño; se enfoca en modos potenciales de falla asociados con la funciones de un sistema causados por el diseño.

.-AMEF en Diseño: Se enfoca en la función de un producto. Usado para analizar diseños de productos antes de que sean liberados para la producción.

.-AMEF en Procesos: Usado para analizar fallas potenciales en procesos existentes, enfocándose en las entradas del proceso.

A continuación se presenta la tabla N° 4, con el Formato Tipo para la AMEF enfocada a procesos:

Tabla N° 4. Formato de Matriz AMEF

Ubertool, herramienta de DMAIC de Seis sigma para 3M Manufacturera.

Etapa del Proceso	Entrada al proceso	Modo de Falla	Efecto de Falla	S E V	Causa de la falla	O C	Controles Actuales	D E T	R P N	Acciones Recomendadas	Resp.
¿Cuál es la etapa del proceso?	¿Cuál es la entrada?	¿Cómo puede fallar esta entrada?	¿Cuál es el Efecto de la falla en las salidas (Y's)?	¿Cuán malo es?	¿Cuáles son las causas raíces del modo de falla?	¿Con qué frecuencia?	¿Cómo se detecta la causa ó previene el modo de falla actualmente?	¿Cuán bueno es?		¿Qué se puede hacer?	¿Quién es el responsable de la acción?

La forma de presentar el AMEF varía según las necesidades de estudio, el formato que se presentó en la tabla N° 4, es el utilizado en 3M Manufacturera, el cual resulta ser propiedad intelectual de la empresa; es por ello que se describirán brevemente, algunos elementos que se encuentran en el Formato de Matriz AMEF:

**Modo de falla:**

Son las razones que dan origen a las fallas. Son las condiciones que se presentan, como desgaste, fractura, pérdida de calibración, suciedad, ruptura, obstrucción, entre otras, es decir, lo que hace que el activo no realice la función deseada. Cada falla funcional puede ser originada por más de un modo de falla. Cada modo de falla tendrá asociado ciertos efectos, que son básicamente las consecuencias de que dicha falla ocurra.

Responde a la interrogante ¿Qué estuvo mal en el proceso?, donde se puede encontrar la forma en que una entrada específica del proceso falle. Podrían estar asociados con un defecto o variable de entrada al proceso que se sale de especificación. Cualquier cosa que un operador puede ver que esté mal puede considerarse un modo de falla.

Si no es detectado y / o corregido o removido, hará que el efecto se produzca.

**Efecto de falla:**

Son simplemente los eventos o hechos que pueden observarse si se presenta un modo de falla en particular. La descripción de un efecto de falla debe cumplir con:

.-Tener información necesaria para determinar consecuencias y tareas de mantenimiento. Debe describirse como si no estuviera haciéndose algo para prevenirlos. Debe considerarse que el resto de los dispositivos y procedimientos operacionales funcionan o se llevan a cabo.

.-Los efectos de falla responden a la interrogante: ¿Cuáles son los impactos en las salidas si la falla ocurre?, obteniendo:

- Impacto sobre los requerimientos del Cliente o salidas claves del proceso.
- Se necesita enfocarse en qué efecto produce la falla de X en el Proyecto de Y's.

**Causa de la falla:**

Debe responder a la interrogante: ¿A qué se debe que haya ocurrido la falla?  
Fuente de variación que resulta en el modo de falla.

**Controles actuales:**

Indica que controles o procedimientos existen para prevenir la causa o modo de falla, entre ellos:

Métodos / dispositivos existentes en el lugar para prevenir o detectar modo de falla o causas. Controles que consisten en auditorías, checklists, inspecciones, pruebas en laboratorio, entrenamiento, mantenimiento preventivo, bases de datos, etc.

### **Equipo de trabajo:**

Se requiere un enfoque multidisciplinario para completar exitosamente un AMEF. El experto en el tema debe estar presente y proveer conocimiento al equipo, sin embargo; se recomienda la intervención del mínimo número de personas para comprender como fallan las entradas del proceso y qué impacto tienen en las salidas, ya que demasiados miembros incrementa la confusión y frena el proceso.

### **Número de prioridad de riesgo:**

El RPN (de sus siglas en inglés- Risk Priority Number), se calcula basado en información que se provee en cuanto a: potenciales modos de fallas, efectos y habilidades actuales del proceso para detectar las fallas antes de que llegue al Cliente. Se obtiene mediante la ecuación:

$$\text{RPN: Severidad * Ocurrencia * Detección} \quad (\text{Ec. 1})$$

Dónde:

RPN: Risk Priority Number/ Número de prioridad de Riesgo (adimensional)

Severidad (del efecto): Importancia del efecto para el Cliente o los requerimientos del proceso – debería relacionarse con las Y's del proyecto.

1: ninguno ó bastante menor; 10: muy Severo

Ocurrencia (de causa) : Frecuencia con la cual una determinada causa ocurre y genera el modo de falla. (Algunas veces puede referirse a la frecuencia de un modo de falla).

1: no es frecuente que suceda; 10: ocurre muy frecuentemente

Detección (capacidad de los controles actuales): Habilidad de los controles actuales para detectar o prevenir:

- .-Las causas antes de crear el modo de falla ó;
  - .- El modo de fallas antes de causar el efecto
- 1: fácil de detectar; 10: muy difícil de detectar

**Puntuación en AMEF:**

Existe una gran variedad de escalas cuantitativas y cualitativas para el análisis de riesgo, las escalas numéricas típicas son 1-5 ó 1-10; la escala 1-5 hace más fácil la decisión del equipo, la escala 1-10 permite mayor precisión en la estimación y mayor variación en los puntajes (esta es la escala utilizada en 3M Manufacturera).

La escala de puntuación seguida en esta investigación, será la utilizada en 3M, y se presenta a continuación en la tabla N° 5, para cada uno de los casos a evaluar:

Tabla N° 5. Escala AMEF

Ubertool, herramienta de DMAIC de Seis sigma para 3M Manufacturera.

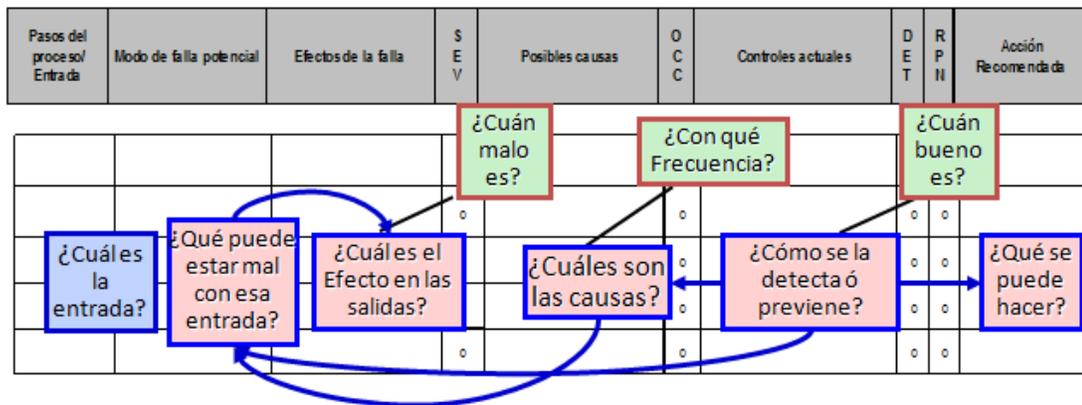
Puntuación	Severidad de Efecto	Probabilidad de Ocurrencia	Capacidad de Dección
10	Peligroso sin advertencia	Muy alta: El fracaso es casi inevitable	No se puede detectar
9	Peligroso con advertencia		Posibilidad muy remota de detección
8	Pérdida de función primaria	Alta: Fracasos repetidos	Posibilidad remota de detección
7	Función primaria reducida		Muy baja posibilidad de detección
6	Pérdida de función secundaria	Moderados: Fracasos ocasionales	Baja posibilidad de detección
5	Función secundaria reducida		Posibilidad moderada de detección
4	Defecto menor notado por la mayor parte de clientes		Moderadamente alta posibilidad de detección
3	Defecto menor notado por algunos clientes	Bajo: Relativamente pocos fracasos	Alta posibilidad de detección
2	Defecto menor desaprecibido por el cliente		Muy alta posibilidad de detección
1	Ningún efecto	Remoto: Fracaso es improbable	Detección

## Conexiones internas en un AMEF

Cada uno de los elementos mencionados anteriormente se relacionan y engranan para desarrollar un exitoso Análisis de Modo y Efecto de Falla, pudiéndose esquematizar en la tabla N° 6:

Tabla N° 6. Conexiones entre los elementos que conforman la Matriz AMEF.

Ubertool, herramienta de DMAIC de Seis Sigma para 3M Manufacturera.



El AMEF es una herramienta que permite identificar los efectos o consecuencias de los modos de falla de cada activo en su contexto operacional. La mejor manera de ejecutar un proceso de AMEF es a través de un Equipo Natural de Trabajo (ENT), el cual debe ser integrado por personal familiarizado y conocedor del activo (planta, proceso, sistema, equipo, componente) objeto de análisis, y por el facilitador, especialista en la aplicación de la metodología del AMEF, y quien conducirá el análisis para garantizar que se cumplan con éxito cada una de las etapas.

## CAPÍTULO III

### MARCO METODOLÓGICO

El marco metodológico especifica los aspectos referentes al conjunto de métodos requeridos para dar respuesta a las interrogantes y alcanzar los objetivos propuestos en el presente Trabajo Especial de Grado.

Para Tamayo M. (2001), “La metodología es un procedimiento general para lograr de una manera precisa el objetivo de la investigación. En este sentido, se estructuran cuatro fases metodológicas, las cuales están relacionadas directamente con cada meta propuesta, todo esto con el fin de lograr el objetivo general de Desarrollar las nuevas condiciones de operación en la línea de producción de Lija Wetordry, asegurando la calidad del producto mediante análisis de modo y efecto de fallas.

Siendo la investigación de campo según Arias (1999) aquella que “consiste en la recolección de datos directamente de la realidad donde ocurren los hechos, sin manipular o controlar variable alguna”. Los datos necesarios para llevar a cabo el desarrollo del trabajo, se obtienen directamente del sitio donde se realiza la investigación, 3M Manufacturera, planta Valencia en la línea de producción de abrasivos: TAM.

3M saca al mercado Lija de 14 granos distintos, siendo estas 14 presentaciones el universo en estudio. Para Tamayo M. (2001), es definida como “la totalidad del fenómeno a estudiar en donde las unidades de población poseen una característica común, la cual se estudia y da origen a los datos de la investigación”.

Ahora bien, para el cumplimiento de cada uno de los objetivos planteados en el presente TEG se debe seleccionar una muestra, que viene a ser, “Un subconjunto representativo de un Universo o Población” Tamayo M. (2001). Y es que, la calidad de un trabajo estriba en delimitar claramente la población.

El método para seleccionar la muestra es del tipo no probabilística, a conveniencia. De esta forma, se seleccionan aquellas lijas que tienen mayor demanda en el mercado y por ende, se producen con mayor frecuencia en el TAM. Esta selección de la muestra le otorga relevancia a la investigación.

En este sentido, se definirá la muestra de acuerdo a la Lija que más se produzca en el TAM; tomando en cuenta la clasificación de la Lija según el tipo de grano que la conforma. Específicamente se tomará como muestra, la Lija que más se produzca entre los granos finos, la que más se produzca entre granos medios, y la que más se produzca entre los granos gruesos. Teniendo una muestra de tres tipos de Lija Wetordry, una de grano fino, una de grano medio y una de grano grueso; teniendo como criterio de selección: la demanda de producción del producto, que viene a reflejar la demanda real que tiene el producto en el mercado; adicionalmente permite reflejar la repetitividad del proceso.

El propósito del presente Trabajo Especial de Grado es lograr la resolución del problema, es decir, los resultados aportados de la investigación resultan fundamentales para la solución de una problemática que se presenta en el TAM, que requiere acciones a implementar. En este sentido Sabino (1993), se refiere a que la investigación es aplicada “si los conocimientos a obtener son insumos necesarios para proceder luego a la acción”.

En la búsqueda de solucionar el problema que rige esta investigación, se establecen las fases metodológicas. Específicamente se busca el cumplimiento de cada uno de los objetivos específicos planteados.

De acuerdo con lo expuesto el Marco Metodológico está estructurado por las siguientes fases:

**Fase I: Diagnóstico**

**Fase II: Condiciones de operación de TAM**

**Fase III: Matriz AMEF**

**Fase IV: Validación**

A continuación se desarrolla cada fase:

### **III.1 FASE I: Diagnóstico: Identificación del proceso y del producto.**

En esta fase se recurre a la observación directa del proceso y a la revisión documental, observación directa con la idea de poder conocer las maneras en que se realizan las actividades dentro del proceso y poder ir observando las posibles debilidades pueden presentarse en el mismo.

La observación directa, de modo general, es aquella donde se tiene un contacto directo con los elementos o caracteres en los cuales se presenta el fenómeno que se pretende investigar.

Esta actividad se desarrolla específicamente en el área de conversión abrasivos, de donde se levanta información del proceso productivo; lo que permite identificar los factores que influyen en el estudio.

La entrevista, según Arias, F (1999), es una técnica basada en un diálogo o conversación cara a cara, entre el entrevistador y el entrevistado acerca de un tema previamente determinado, de tal manera que el entrevistador pueda obtener la información requerida. La entrevista puede ser:

- ◆ Estructurada: cuando el entrevistador elabora una lista de preguntas las cuales plantea siempre en igual orden (existe un formulario preparado).
- ◆ No estructurada: el investigador hace preguntas abiertas, no estandarizadas, por lo cual esta técnica deja mayor libertad a ambas partes; sin embargo, tiene el inconveniente de que dificulta el procesamiento de los datos recogidos.

Para la aplicación de la entrevista se empleó la del tipo no estructurada, la cual se aplica a los diferentes expertos responsables del proceso: Supervisores, coordinadores de Producción y los Operarios.

Los datos secundarios según Sabino (1993) "son registros escritos que proceden también de un contacto con la práctica, pero que ya han sido recogidos y muchas veces procesados por otros investigadores".

En ESTÁNDAR DE PROCESO de producción de lija, 3M Manufacturera Venezuela, S.A, que es un documento donde se encuentran todos los requerimientos, procedimientos y condiciones de operación que se requieren para operar el TAM; se identifican las características finales de la producción de lija Wetordry 3M, así como las pruebas de control de calidad que debe cumplir el producto para que se introduzca en el mercado. El Estándar de Proceso resulta ser datos secundarios de la investigación, un documento de revisión obligatoria para entender y familiarizarse con el proceso de fabricación de lija 3M.

Al culminar esta fase se debe conocer plenamente el proceso de producción y las características de la lija Wetordry que produce 3M, incluyendo las variables de operación, así como, métodos de análisis de calidad y demás procedimientos establecidos. Para entonces, se debe estar completando las fases de Definir y Medir de las etapas de DMAIC.

### **III.2 FASE II: Condiciones de operación del TAM**

En busca de cumplir los objetivos planteados en esta investigación, cumpliendo con la Etapa de "Analizar" de DMAIC, se concentra en esta fase las actividades referidas a las variables de operación, las cuales se describen a continuación:

#### **.-Identificar los límites de la velocidad de operación**

Para identificar los límites en los cuales puede trabajar la línea de producción de lija, se debe proceder de forma manual a manipular la velocidad de operación del TAM a través de una perilla ubicada en el tablero al inicio de la línea de producción.

Se requiere identificar cual es la mínima y máxima velocidad a la cual puede llegar a operar el TAM, y en vista, de que este procedimiento es netamente empírico, basado justamente en la experiencia de equipo; se establece que durante 5 días (una semana laborable), antes de culminar el turno, se procederá a manipular la velocidad hasta llegar a la mínima y máxima velocidad a la cual puede operar el TAM, sin presentar fallas.

Al manipular la velocidad del TAM fuera de los rangos que se opera comúnmente, se debe considerar las posibles fallas que puede presentar la línea. Esto implica sacrificar la producción para el análisis del proceso, es por ello; que bastará con una semana de estudios para concluir entre que valores se puede manipular la velocidad de operación.

Una vez, se tiene determinado el rango para la velocidad de operación, se procede a establecer las demás variables que controlan el proceso, todas ellas dependientes de la velocidad de operación.

#### **.- Calcular las Variables dependientes**

Una vez se obtiene el rango en el cual puede variar la velocidad de operación; se toma información de los registros de producción del comportamiento de la temperatura del horno de curado, frecuencia de adhesión de mineral y velocidad de la banda transportadora de mineral abrasivo. Se evalúa el comportamiento de cada variable con respecto a la Velocidad de Operación del TAM, y en base a ello, se establecen los nuevos posibles rangos de operación.

Para establecer los nuevos rangos de operación de las variables dependientes, se debe tener en cuenta, tanto un incremento como disminución de la velocidad de operación del TAM.

Cabe destacar que se está adecuando el proceso de fabricación de lija, y se debe asegurar la calidad de la Lija, ante las oportunidades y amenazas que pueda presentar en el cambio del sistema de transmisión del TAM.

Si bien, la principal razón de reemplazo del Sistema “Oil Gear” es por ser un sistema discontinuado, implícito se pronostica un aumento de la productividad relacionado directamente con un incremento de la velocidad de operación. Sin embargo, es pertinente considerar la posibilidad de una disminución en la velocidad de operación, siendo necesario dejar establecidas las variables de operación para uno de los casos.

Con los registros de producción, se estudia el comportamiento de las variables de operación; siendo este comportamiento, el punto de partida para predecir entre que valores estarían oscilando la temperatura del horno de curado, la frecuencia con que se adhiere el Mineral y Velocidad de la banda que transporta el mineral abrasivo, una vez se reemplace el sistema de transmisión.

Los valores obtenidos pasan a una fase de validación, donde se verifican o descartan nuevos intervalos de variables de operación propuestos para el proceso de fabricación de lija 3M.

### **III.3 FASE III: Matriz AMEF**

Se sigue en la etapa de “Analizar” de DMAIC; en esta fase se recurre a la herramienta del control de calidad AMEF: Análisis de Modo y Efecto de Falla; siendo una moderna herramienta en el sistema de análisis relativo a la producción.

Luego se identifica que en las etapas del proceso pueden existir potenciales fallas, para desarrollar procedimientos que permitan solucionar cualquier eventualidad. Se construye una matriz de datos y se completa la información que ésta requiere, específicamente la Matriz AMEF orientada a procesos, que se presentó en la tabla N° 4 del Marco Teórico.

A partir de la matriz de diseño y finalmente con la matriz AMEF que incluye todas las características que pueden influir en las potenciales fallas, se logra identificar las posibles acciones correctivas antes de que ocurra cualquier evento en la línea de producción.

### III.4 FASE IV: Validación

La Fase de Validación en este Trabajo Especial de Grado, incluye las etapas de “Implementar Mejoras” y “Control” de DMAIC; ya que, además de *implementar* en la línea de producción las condiciones de operación propuestas, se realiza el análisis de *control* de calidad al producto obtenido.

Identificado el nuevo rango de la Velocidad de operación de TAM, la temperatura óptima del horno de curado, la frecuencia de adhesión del mineral y velocidad de la banda transportadora de mineral abrasivo; y una vez reemplazado el sistema de transmisión TAM; se realizan las respectivas corridas de prueba a la línea de producción.

Para verificar la puesta en marcha de la máquina, se realiza la primera corrida con las condiciones de operación que trabajaba el Sistema de Transmisión antiguo; validando que con el reemplazo del discontinuado sistema “Oil Gear” por un nuevo Sistema de Transmisión Eléctrico, aumenta la confiabilidad del sistema. Una vez se valida la confiabilidad del nuevo sistema de transmisión, se comienzan a verificar las condiciones de operación propuesta en este TEG.

Se procede a manipular las variables de operación, ubicándolas dentro de los rangos que se proponen en este TEG, verificando que el TAM no presente problemas operativos. Este proceso incluye a: Ing. de Proyectos, Ing. de Producto, Inspector de Control de Calidad, Mecánicos de Planta y Operarios que laboran en la línea.

Para cumplir con la validación, el producto debe estar en las especificaciones que establece el Estándar de Proceso ( Documento de 3M Manufacturera ) ; para ello, se realiza a la lija pruebas de control de calidad que permitan al producto ser aprobado y enviado al mercado local.

Para validar la calidad del producto, y verificar que éste salga al mercado con las especificaciones de calidad que especifica el estándar de proceso; se analiza en promedio y a conveniencia el 15% de la muestra en estudio, abarcando a los tres niveles de tamaño de grano de lija estudiado (fino, medio y grueso)

Cabe destacar, que durante el proceso de validación, la línea se considera “de parada” para efectos de producción y salida de producto al mercado, es por ello, que se busca validar las condiciones de calidad en el menor tiempo posible y requiriendo la menor cantidad de producto posible.

Sin bien la fase de diagnóstico, presentará cuales son los procedimientos y las características específicas de calidad con que debe salir la lija 3M al mercado. Se presenta, a continuación las pruebas con las cuales se validará la calidad de la Lija Wetordry, una vez se reemplace el Sistema de transmisión discontinuado del TAM.

Las pruebas de control de Calidad que se realizan son las siguientes:

**.-Apariencia:** Este método de análisis es visual y verifica que el material esté libre de arrugas, rayas, manchas, sin mineral, sin impresión o con exceso de adhesivo (3M Calidad, 2011).

**.-Peso de los componentes:** Este método corresponde al procedimiento operacional que realiza la unidad de Calidad, para determinar los pesos secos de los adhesivos de fijación y de recubrimiento, y mineral que han sido adheridos a Lija Wetordry en el TAM (3M Calidad, 2011). Se establece específicamente tres pruebas:

- Peso de *Make* seco (adhesivo de fijación)
- Peso de *Size* seco (adhesivo de recubrimiento)
- Peso de mineral abrasivo

**.-Reflectancia:** Este procedimiento permite medir el brillo de la lija como producto final, siendo la luz dirigida hacia la superficie de la muestra a un ángulo definido y la luz reflejada es medida fotoeléctricamente (3M Calidad, 2011).

**.-Shieffer Cut Test (Agresividad de la lija):** Consiste en medir la masa desbastada por una muestra de lija en una pieza estándar de acrílico. Esta propiedad es crítica de

la calidad de la lija; ya que se refiere específicamente a la agresividad y desempeño final del mineral abrasivo revestido (3M Calidad, 2011).

Así, quedan establecidas las cuatro Fases Metodológicas, engranadas perfectamente con cada una de las etapas de la Metodología DMAIC; tal como se muestra en la figura N° 7, presentada a continuación:

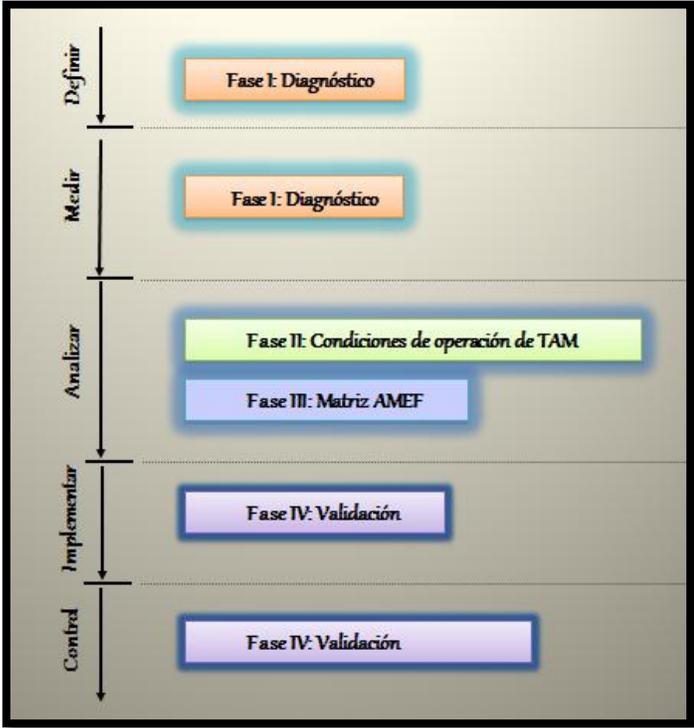


Figura N°. 7. Fases Metodológicas & DMAIC

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

En esta sección se presentan cada uno de los resultados obtenidos, para el cumplimiento de los objetivos específicos planteados en el presente Trabajo Especial de Grado

#### **IV.1 DIAGNÓSTICO: IDENTIFICACIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE LIJA Y CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO FINAL.**

La fase Diagnóstico, como bien se mencionó en el Marco Metodológico, viene de la mano con las Fase Definir y Medir de la Metodología DMAIC.

Para efectos del presente Trabajo Especial de Grado, la Fase “Definir” de DMAIC, ya fue completada; esto comprende apertura del proyecto en sí, especificando cada uno de los objetivos y delimitando el espacio físico donde se desarrolla la investigación. Estos puntos, ya fueron abordados en el Capítulo I, específicamente en el Planteamiento del Problema y en los Objetivos que deben ser alcanzados una vez culmine esta investigación.

Siguiendo con la Fase “Medir” de DMAIC, se identifican los subprocesos, con sus requerimientos (Entradas) y resultados (Salidas), para lograr el Objetivo General del presente TEG. Así se construye el Mapa de Proceso; herramienta que permite estructurar cada una de actividades que se deben realizar para culminar el proyecto de forma exitosa.

El Mapa de Proceso seguido en este Trabajo Especial de Grado, se muestra en la figura N° 8, presentada a continuación:

Entradas	Etapas del Proceso	Salidas
	<b>ALTO NIVEL</b>	
Tunnel Abrasive Maker (TAM)	<b>DESARROLLO DE LAS NUEVAS CONDICIONES DE OPERACIÓN PARA LA PRODUCCIÓN DE LIJA 3M, ASEGURANDO LA CALIDAD DEL PRODUCTO MEDIANTE UN ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA</b>	Estandar con nuevos rangos de condiciones de operación
Documentación del sistema		Producto cumpliendo las especificaciones de calidad a partir de las nuevas condiciones de operación
Condiciones de operación de producción abrasivos		
	<b>BAJO NIVEL</b>	
Tunnel Abrasive Maker (TAM)	<b>Identificación del proceso de fabricación de lija.</b>	Componentes operativos de la línea de producción
Documentación del sistema		Materia prima requerida
Operadores de producción abrasivos		Flujo de material
Técnicos de mantenimiento		Funcionamiento de la línea de producción abrasivos
Condiciones de operación de producción abrasivos	<b>Determinar los nuevos rangos de variación de velocidad en el proceso de fabricación de lija.</b>	Nuevos rangos de velocidad de operación para la producción de lija
Materia prima requerida		Calidad del producto
Flujo de material		
Nuevos rangos de velocidad de operación para la producción de lija	<b>Proponer rangos de temperatura de operación para el Horno del TAM.</b>	Nuevos rangos de temperatura de operación para el secado del mineral abrasivo
Condiciones de operación de producción abrasivos		Calidad del producto
Influencia de la temperatura en otras variables de operación		
Nuevos rangos de velocidad de operación para la producción de lija	<b>Proponer rangos de operación para la frecuencia de adhesión del mineral abrasivo.</b>	Nuevos rangos de frecuencia de operación para la adhesión del mineral abrasivo
Condiciones de operación de producción abrasivos		Calidad del producto
Influencia de la frecuencia en otras variables de operación		
Nuevos rangos de velocidad de operación para la producción de lija	<b>Proponer rangos de velocidad de operación para la banda que transporta el mineral abrasivo.</b>	Nuevos rangos de Velocidad de operación para la banda transportadora de mineral
Condiciones de operación de producción abrasivos		Calidad del producto
Influencia de la Velocidad de la banda transportadora de mineral en otras variables de operación		
Nuevos rangos de velocidad de operación para la producción de lija	<b>Pruebas Operativas</b>	Rangos de Velocidad de operación validados
Nuevos rangos de temperatura de operación para el secado del mineral abrasivo		Rangos de temperatura de operación validados
Nuevos rangos de frecuencia de operación para la adhesión del mineral abrasivo		Rangos de frecuencia de operación validados
Nuevos rangos de Velocidad de operación para la banda transportadora de mineral		Rangos de la velocidad de la banda transportadora validados
Tunel Abrasive Maker (TAM)		Calidad del producto
Estandares de calidad para producto	<b>Validación de la calidad del producto.</b>	Producto cumpliendo las especificaciones de calidad a partir de las nuevas condiciones de operación
Lija producida según nuevas condiciones de operación		Estandar con nuevos rangos de condiciones de operación
Inspectores de control de calidad		Aumento de la producción del TAM
Operadores de Planta		

Figura N°. 8. Mapa de Proceso DMAIC

Ubertool, herramienta de DMAIC para llevar proyectos Seis sigma en 3M Manufacturera.

Una vez desglosadas las actividades que se deben realizar para el cumplimiento de cada uno de los objetivos planteados, el Mapa de Proceso refleja los resultados que se deben obtener. En este sentido, una vez que se cumpla la fase de validación, tal como lo indica el Mapa de Proceso, se debe obtener:

1. Nuevos rangos de las condiciones de operación.
2. Producto cumpliendo con las especificaciones de Calidad.
3. Aumento de la Producción del TAM.

Se busca determinar las condiciones de operación (punto 1), para medir la calidad y productividad de la línea (puntos 2 y 3 medibles); estos son los elementos necesarios para asignarle peso a la Matriz Causa y Efecto (CALIDAD Y PRODUCTIVIDAD).

Una vez se plantea el Mapa de Proceso, se identifica cuales son los principales aspectos a considerar en el “*Diagnóstico del Proceso y del Producto*”; es por ello que partiendo de la observación directa, encuestas de tipo no estructuradas y de revisiones documentales, se presenta la información del proceso y del producto:

#### **IV.1.1 Identificación del Proceso de fabricación de Lija Wetordry 3M:**

El espacio físico donde se desarrolla este Trabajo Especial de Grado es conocido como el TAM, que no es más que la línea de producción de la cual se obtiene la Lija Wetordry en la planta 3M Venezuela.

El proceso de fabricación de lija, o como se le conoce en planta TAM (Túnel fabricante de Abrasivos) se divide en 3 estaciones o zonas:

1.- Estación Coater: Proveniente del inglés “recubridor”, y es donde se recubre el papel con adhesivo y seguidamente con mineral.

2.- Estación Sizer: Donde se le aplica el adhesivo *Size* (a ello se le debe el nombre), este adhesivo se aplica para fijar el mineral y evitar su desprendimiento.

3.-Estación *Winder*: Proviene del inglés “devanar”, y es aquí donde se devana o bien se hace girar sobre un eje fijo el producto del TAM.

El proceso de fabricación comienza en la estación *Coater* del TAM; el objetivo principal de esta estación es la de aplicar la primera capa de adhesivo y la capa de mineral correspondiente al papel de lija a producir. Así como también la identificación del producto con el logo de 3M, número de grano y número de lote que corresponda.

En la estación *Coater* se controla el funcionamiento de las principales variables del TAM (Velocidad, Alto Voltaje, Temperatura del Horno, velocidad de la banda que transporta mineral y Paradas de Emergencias). En esta estación se cuenta con los siguientes equipos: los paneles de control respectivos, imprenta, fosa, quemadores, rodillos de goma y acero, carrete de desenrollado.

Las bobinas del papel base para la elaboración de Lija Wetordry son colocadas en esta estación, donde se procede al sellado en el dorso de la información 3M, luego se aplica una película de un adhesivo *Make* en base a resinas epóxicas que permitirá la colocación y sujeción del mineral respectivo a la cara del papel. Luego de este proceso el mismo es introducido entre dos placas cargadas electromagnéticamente que atraen el mineral. Luego de poseer ya la capa de mineral el papel de lija es introducido en un horno para la primera etapa de secado y pasar a la estación *Sizer*.

La estación *Sizer* forma parte de las tres estaciones independientes que conforman un mismo flujo de proceso. Esta estación está conformada por una serie de rodillos que permiten dar continuidad al proceso y mediante los cuales se logra aplicar la segunda capa de adhesivo *Size* a la lija de agua según las especificaciones del estándar, con el objetivo de proporcionarle firmeza al mineral, asegurándose de cumplir con las expectativas de productividad, seguridad y calidad planteadas por la organización.

Inmediatamente, luego de terminado este proceso, la lija es llevada de nuevo hacia los hornos para una segunda etapa de secado y llegar a la estación *Winder*. La estación *Winder* tiene por finalidad enrollar el material semiterminado obtenido del

proceso en jumbos de Lija (de aproximadamente 55 pulgadas/1,4 metros de ancho) y dejarlos listos para enviarlo al área de conversión.

Esta estación está conformada por una serie de rodillos de acero y de goma que permiten añadirle suavidad y flexibilidad al material mediante la aplicación de vapor por el respaldo.

El recorrido que hace el producto desde que el papel (base de la lija) inicia su debobinado, hasta que se forman los jumbos de lija, es de 165 metros.

El proceso se esquematiza en la figura N° 9, donde se indica el flujo del proceso, indicando numéricamente la secuencia de las operaciones que se sigue para obtener Lija Wetordry 3M.

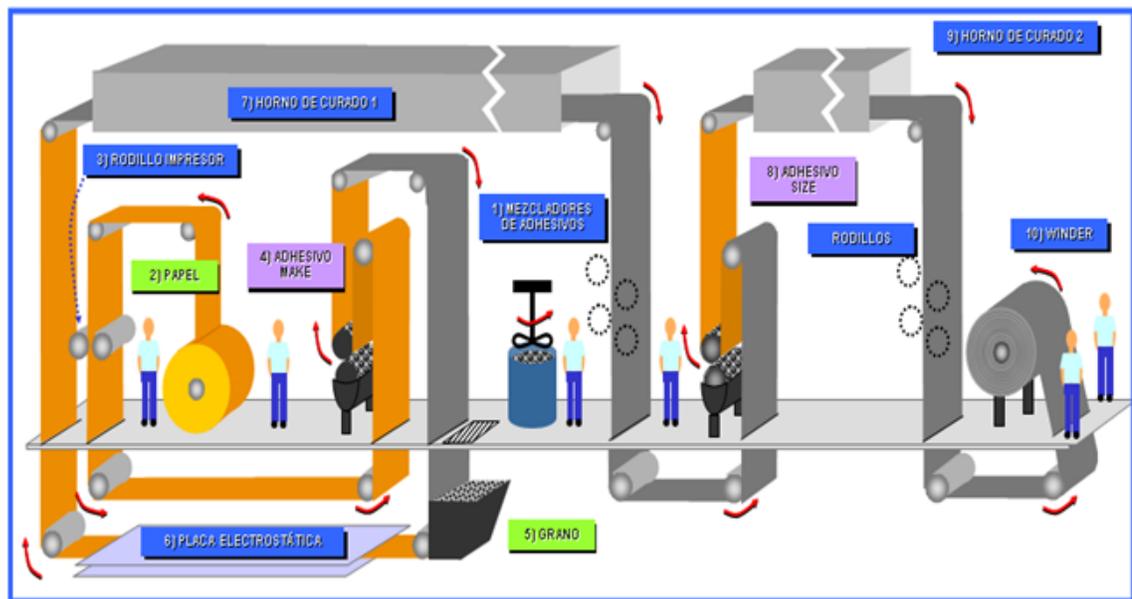


Figura N° .9. Diagrama de Flujo para la fabricación de lija.

Tal como se muestra en la figura N° 9. La línea requiere de seis operadores; dos de ellos se ubican en la estación *Coater*, responsables del montaje de la bobina de papel que será la base para la lija en producción; así como también, de mantener llena la bandeja de adhesivo *Make* y ser vigilantes de la variables de operación del proceso

(tomando como guía el Estándar de Proceso para la fabricación de Lija Wetordry). Un operador se encuentra preparando los adhesivos que requiere la línea y los dispone en tambores para el respectivo llenado de las bandejas. Un operador se encuentra en la estación *Size*, encargado de mantener el nivel de la bandeja de adhesivo *Size*. Los dos operadores restantes, se ubican en la estación *Winder*, responsables del correcto bobinado del producto y encargados de desplazar el jumbo de lija, a través de un sistema mecánico al área de almacenado. A cada jumbo se le realiza pruebas de control de Calidad, estas pruebas las ejecuta uno de los operadores de la estación *Winder*, una vez que retira las muestras del jumbo.

La producción del TAM se planifica por “corridas”. El término “corridas”, se utiliza operativamente para indicar la producción *corrida* desde la Lija de grano más fino hasta la Lija de grano más grueso, para seguidamente hacer una limpieza de línea. La producción se planifica de esta forma, para evitar que granos grueso se filtren al proceso de producción de Lijas de grano fino (lo contrario, no representa problemas en la calidad del producto).

3M tiene como base 21 días laborables al mes, es por ello que las corridas de Lija Wetordry, tienen en promedio, una duración de 18 días, así lo estima el Departamento de Planificación; dejando un lapso de 3 días para la limpieza de la línea (rodillos, bandejas de adhesivos, tolva de mineral, banda transportadora de mineral, horno y demás componentes del TAM), así como también, dentro de estos tres días, se puede incluir algún mantenimiento preventivo por parte del Departamento de Mantenimiento. Así se identifica que el TAM, se planifica para realizar una corrida mensual, incluyendo la limpieza de la línea.

Del TAM se obtiene Lija Wetordry 3M, específicamente aquella que requiere como materia prima mineral abrasivo de los siguientes granos: 1500-1200-600-500-400-360-320-280-240-220-180-150-120-100-80; y justamente en el orden que se presenta, se realizan las “corridas” de producción (No siendo indispensable la producción de Lija en todos los granos). Así pues, 3M Venezuela, ofrece al mercado los siguientes tipos de Lija Wetordry, presentadas en la tabla N° 7 clasificadas según el tipo de grano.

Tabla N° 7. Lija Wetordry 3M.

<b>G-1500</b>	Lija Wetordry de Grano fino
<b>G-1200</b>	
<b>G-600</b>	
<b>G-500</b>	
<b>G-400</b>	Lija Wetordry de Grano Medio
<b>G-360</b>	
<b>G-320</b>	
<b>G-280</b>	
<b>G-240</b>	
<b>G-220</b>	
<b>G-180</b>	Lija Wetordry de Grano grueso
<b>G-150</b>	
<b>G-120</b>	
<b>G-100</b>	
<b>G-80</b>	

Para identificar que tipo de lija es la más comercial en el mercado local, y por ende, la que más produce 3M Venezuela, se levanta el registro de la producción que el TAM ha realizado en 6 meses. Cabe destacar que esta producción, se realiza en base la planificación que realizan los expertos en la materia, quienes ejecutan un estudio de mercado y evalúan la demanda e inventarios del cada producto que ofrece la compañía.

En la tabla N° 8, se muestra la producción realizada por el TAM en 6 meses, a continuación:

Tabla N° 8. Lija Wetordry 3M.

Lija Wetordry según tipo de grano	Producción en mts <sup>2</sup>							Promedio mensual
	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Total	
<b>G-1500</b>								
<b>G-1200</b>				7.168	7.168		14.336	2.389
<b>G-600</b>						7.168	7.168	1.195
<b>G-500</b>						5.018	5.018	836
<b>G-400</b>	10.752						10.752	1.792
<b>G-360</b>	29.498			8.100	12.186		49.784	8.297
<b>G-320</b>	24.480	30.000		12.903	21.362		88.745	14.791
<b>G-280</b>				5.018	5.018		10.036	1.673
<b>G-240</b>	10.968	10.960		10.394			32.322	5.387
<b>G-220</b>	34.336	11.469		17.921	32.257	7.527	103.510	17.252
<b>G-180</b>	21.505	21.505	17.921	51.468	20.145	30.465	163.009	27.168
<b>G-150</b>	11.039	16.953	17.921	16.272	17.562	7.168	86.915	14.486
<b>G-120</b>	9.355	14.337	18.638	35.196	28.673	9.319	115.518	19.253
<b>G-100</b>		8.600		7.166	7.381		23.147	3.858
<b>G-80</b>	13.603	36.764	36.764	98.307	12.586	106.616	304.640	50.773

En la tabla N° 8 se observa que no todos los tipos de lija se producen en cada uno de los meses evaluados. Adicionalmente, se diferencian 3 grupos de abrasivos producidos. En azul los de tamaño de grano fino, en amarillo los de grano medio y en verde los de grano grueso. Por otra parte, se puede indicar, de manera general que los tamaños de granos más comúnmente producidos durante el periodo analizado, fueron la lija 80, 180, 120, 220, 320, 150, 360, 240, 100 y 1200, respectivamente. Esto permitió delimitar la población objeto del estudio de este trabajo.

Tal como se indica en el Marco Teórico, es necesario determinar cuál será la muestra en estudio. Como se planteó previamente, se selecciona como muestra el tipo de Lija de mayor producción, según el grano que la conforme.

Se evalúan por separado, las producciones de grano fino, grueso y medio; seleccionando la lija que más se produzca en cada una de estas clasificaciones en promedio mensual.

En la figura N° 10, se presenta la distribución de producción para la Lija Wetordry elaborada con granos finos durante el período estudiado, a continuación:

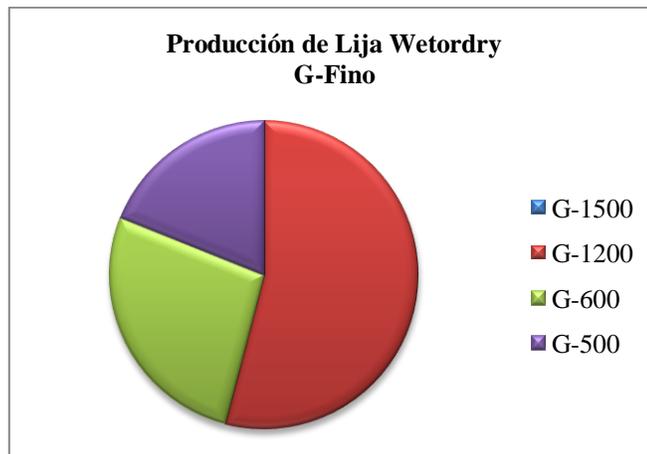


Figura N° .10. Distribución de Producción de la Lija Wetordry elaborada con Granos Finos.

Tal como lo muestra la figura N° 10, la Lija de mayor producción de grano fino es aquella que es elaborada con G-1200, representado por más del 50% de la producción.

De forma análoga, se tiene en la figura N° 11, la distribución de producción para la Lija Wetordry elaborada con granos medios, presentada a continuación:

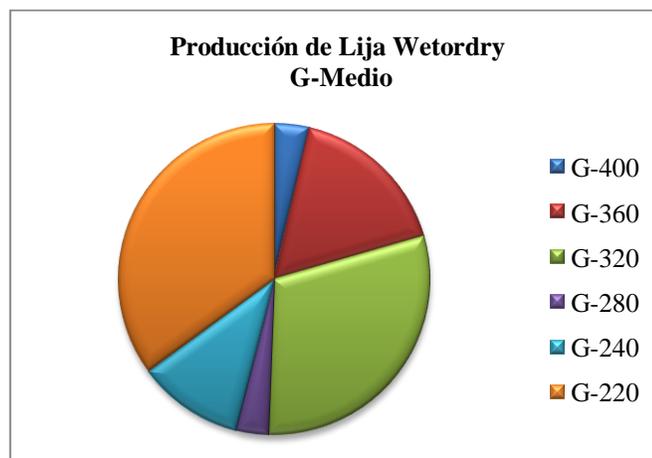


Figura N° .11. Distribución de Producción de la Lija Wetordry elaborada con Granos Medios.

Resultando la Lija elaborada con G-220, la de mayor producción entre los granos medios.

Por último, se presenta la figura N° 12 con la distribución de producción para la Lija Wetordry elaborada con granos gruesos, a continuación:

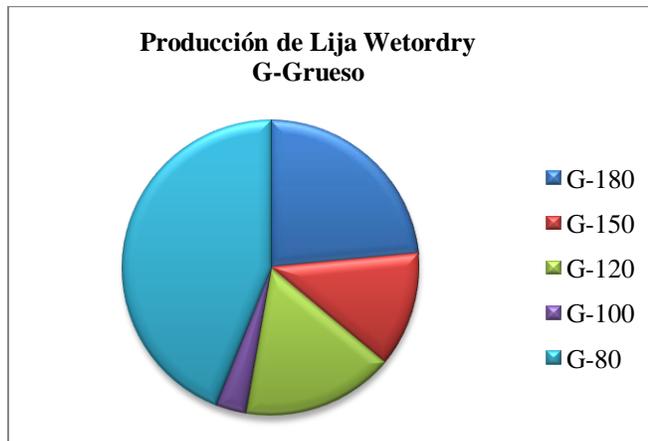


Figura N° .12. Distribución de Producción de la Lija Wetordry elaborada con Granos Gruesos.

Entre las Lijas elaboradas con grano grueso, destaca la producción de Lija Wetordry de G-80, siendo una de las lijas con más demanda en el mercado local.

En busca de obtener resultados de calidad, queda establecido por criterio de mayor producción, que las Lijas Wetordry objeto de estudio son:

- .-3M Lija Wertordry G-1200
- .- 3M Lija Wertordry G-220
- .- 3M Lija Wertordry G-80

Así surge la necesidad de identificar el producto, especialmente la Lija que se realiza con los G-1200, G-220 y G-80.

#### **IV.1.2 Identificación del producto:**

El papel de lija o simplemente lija, es una herramienta que consiste en un soporte de papel sobre el cual se adhiere algún material abrasivo. En específico la Lija Wetordry 3M, es un abrasivo desarrollado especialmente para el trabajo en cualquier tipo de pintura, recubrimientos o superficies metálicas, y superficies afines, para realizar trabajos de uniformizado en textura y eliminar defectos, presenta excelente resistencia al agua.

Disponible en 14 granos distintos, de los cuales se tiene como objeto de estudio la Lija Wetordry de granos 1200, 220 y 80.

Para la fabricación de Lija Wetordry 3M, se requiere la siguiente materia prima:

.- Papel: que es la base de la lija, y dependiendo del grano que se desee fabricar se utiliza un tipo de papel específico con ciertas características. 3M produce lija con papel fabricado con celulosa, recubierto, lo que le da al producto resistencia al agua.

.-Adhesivos: Los cuales permiten la adhesión, fijación y rigidez del producto. Preparado a base de resinas epóxica y solventes.

.-Mineral Abrasivo: El cual le da la característica de abrasividad al producto, y aunque comercialmente son numerosos los minerales que se utilizan en la fabricación de lija. 3M saca al mercado Lija de Óxido de Aluminio y Carburo de Silicio.

Cabe destacar que las características específicas de la materia prima, forma parte de la propiedad intelectual de la empresa. En la tabla No. 9, sólo se muestran algunas características básicas de los componentes de la lija:

Tabla N° 9. Componentes de Lija Wetordry en estudio.

<b>3M Lija Wetordry</b>	<b>Tipo de papel</b>	<b>Mineral</b>	<b>Adhesivos empleados</b>
<b>G-1200</b>	Wod Paper Premium Tipo A	Carburo de Silicio	Adhesivo <i>Make</i> y Adhesivo <i>Size</i>
<b>G-220</b>	Wod Paper Premium Tipo A	Carburo de Silicio	
<b>G-80</b>	Wod Paper Premium Tipo C	Óxido de Aluminio	

Hasta ahora, se ha venido identificando el producto de acuerdo a la materia prima que lo compone; sin embargo la identificación más relevante del producto, es aquella que verifica sus condiciones de calidad para la salida al mercado.

Tal como se establece en el Marco Metodológico, se requiere que el producto pase por una serie de pruebas de control de calidad. Una vez se realiza la revisión documental pertinente, se tienen los métodos de análisis para la Lija Wetordry:

- Schieffer Cut Test (Agresividad de la Lija): Este método describe el procedimiento operacional para utilizar el Equipo Schieffer Cut. Consiste en medir la masa desbastada por una muestra de lija en una pieza estándar de acrílico. Esta propiedad es crítica de la calidad de la lija, ya que se refiere específicamente a la agresividad y desempeño final desempeño final del mineral abrasivo revestido. (Ver APÉNDICE A).
- Determinación de los Pesos: Este método describe el procedimiento operacional para determinar los pesos secos de los adhesivos Make, Size y del Mineral que han sido adheridos a la Lija Wetordry en el TAM. (Ver APÉNDICE B).

- Reflectancia (Medición del brillo): Este procedimiento permite medir el brillo de ciertas superficies como revestimientos, plásticos, papel y similares. La luz es dirigida hacia la superficie de la muestra a un ángulo definido y la luz reflejada es medida fotoeléctricamente. (Ver APÉNDICE C).

Una vez, se tiene conocimiento del proceso y del producto, se procede a asignarle un valor numérico a cada una de las entradas del Mapa de Proceso. Siguiendo con los principios de Seis Sigma de detectar las posibles fallas y así, minimizar los defectos en los procesos de Manufactura.

Para completar la fase *Medir* de DMAIC, sólo resta construir la Matriz Causa y efecto; en esta matriz, se coloca cada una de las entradas que se identificaron en el Mapa de Proceso, y se procede con el Ing. de Producto, Supervisor de Proyectos y un Miembro del Departamento de Mantenimiento, a asignarle un valor numérico, según la influencia que tenga cada entrada en la CALIDAD del producto y PRODUCTIVIDAD de la línea. La escala de votación que se utiliza en la Matriz Causa y Efecto, se presenta en la tabla N° 10, presentada a continuación:

Tabla N° 10. Escala de votación para la Matriz Causa y Efecto.

<b>Escala de votación</b>	
Valor numérico	Importancia
9	Alto
3	Medio
1	Bajo
0	Nulo

Antes de realizar la votación según la escala presentada en la tabla N° 10, se establece del 1 al 10 que peso tendrá la CALIDAD y la PRODUCTIVIDAD en la Matriz. La calidad no debe desmejorar, es por ello que le asigna 10 puntos de peso; por su parte, siendo el aumento de la productividad un valor agregado con el reemplazo del Sistema de Transmisión discontinuado, se le asigna 6 puntos de peso en la Matriz.

El resultado de la Matriz causa y efecto se calcula según la ecuación N° 2, presentada a continuación:

$$\text{TOTAL} = (\text{CALIDAD} \times I_E) + (\text{PRODUCTIVIDAD} \times I_E) \quad \text{Ec. 2.}$$

Dónde:

**TOTAL:** Valor que representa la importancia de cada entrada en el Proceso de Manufactura.

**CALIDAD:** Peso que se asignó a esta variable debido a su importancia en el proceso (10 puntos).

**I<sub>E</sub>:** Importancia asignada a la entrada según la escala presentada en la tabla N° 10.

**PRODUCTIVIDAD:** Peso que se asignó a esta variable debido a su importancia en el proceso (6 puntos).

En la figura N° 13. Se presenta la Matriz Causa y Efecto de este TEG, en la cual, los resultados fueron previamente ordenados de forma descendente, para visualizar cual es la entrada con más influencia en el cumplimiento del Objetivo General de la investigación.

Nº	Proceso	Entradas	Calidad	Productividad	Total
1	Determinar los nuevos rangos de variación de velocidad en el proceso de fabricación de lija.	Condiciones de operación de producción abrasivos	9	9	144
2	Proponer rangos de temperatura de operación para el Homo del TAM.	Influencia de la temperatura en otras variables de operación	9	3	108
3	Proponer rangos de operación para la frecuencia de adhesión del mineral abrasivo.	Influencia de la frecuencia en otras variables de operación	9	3	108
4	Proponer rangos de velocidad de operación para la banda que transporta el mineral abrasivo.	Influencia de la Velocidad de la banda transportadora de mineral en otras variables de operación	9	3	108
5	Proponer rangos de operación para la frecuencia de adhesión del mineral abrasivo.	Nuevos rangos de velocidad de operación para la producción de lija	3	9	84
6	Proponer rangos de temperatura de operación para el Homo del TAM.	Nuevos rangos de velocidad de operación para la producción de lija	3	9	84
7	Proponer rangos de velocidad de operación para la banda que transporta el mineral abrasivo.	Nuevos rangos de velocidad de operación para la producción de lija	3	9	84
8	Proponer rangos de velocidad de operación para la banda que transporta el mineral abrasivo.	Nuevos rangos de Velocidad de operación para la banda transportadora de mineral	3	9	84
9	Proponer rangos de temperatura de operación para el Homo del TAM.	Condiciones de operación de producción abrasivos	3	3	48
10	Proponer rangos de operación para la frecuencia de adhesión del mineral abrasivo.	Condiciones de operación de producción abrasivos	3	3	48
11	Proponer rangos de velocidad de operación para la banda que transporta el mineral abrasivo.	Condiciones de operación de producción abrasivos	3	3	48
12	Proponer rangos de velocidad de operación para la banda que transporta el mineral abrasivo.	Nuevos rangos de velocidad de operación para la producción de lija	3	3	48
13	Proponer rangos de velocidad de operación para la banda que transporta el mineral abrasivo.	Tunel Abrasive Maker (TAM)	3	3	48
14	Validación de la calidad del producto.	Lija producida según nuevas condiciones de operación	3	3	48
15	Validación de la calidad del producto.	Operadores de Planta	3	3	48
16	Determinar los nuevos rangos de variación de velocidad en el proceso de fabricación de lija.	Materia prima requerida	3	1	36
17	Validación de la calidad del producto.	Estandares de calidad para producto	3	1	36
18	Validación de la calidad del producto.	Inspectores de control de calidad	3	0	30
19	Proponer rangos de velocidad de operación para la banda que transporta el mineral abrasivo.	Nuevos rangos de temperatura de operación para el secado del mineral abrasivo	1	3	28
20	Proponer rangos de velocidad de operación para la banda que transporta el mineral abrasivo.	Nuevos rangos de frecuencia de operación para la adhesión del mineral abrasivo	1	3	28
21	Determinar los nuevos rangos de variación de velocidad en el proceso de fabricación de lija.	Flujo de material	1	3	28
22	Identificación del proceso de fabricación de lija.	Tunel Abrasive Maker (TAM)	1	1	16
23	Identificación del proceso de fabricación de lija.	Documentación del sistema	1	1	16
24	Identificación del proceso de fabricación de lija.	Operadores de producción abrasivos	1	1	16
25	Identificación del proceso de fabricación de lija.	Técnicos de mantenimiento	1	1	16

Figura N° .13. Matriz Causa y Efecto

Ubertool, herramienta de DMAIC para llevar proyectos Seis sigma en 3M Manufacturera

A la información presentada en la Matriz Causa y Efecto, se aplica el Diagrama de Pareto enfocado a la calidad, o bien, la llamada regla del 80/20. Según Martínez, M. (2006), la base de este concepto, es que si se tiene un problema con muchas causas, se puede decir que el 20% de las causas resuelven el 80% del problema.

En este sentido, se busca aproximadamente el 20% de las entradas más influyentes, para establecer acciones que permitan mitigar los riesgos o fallas que se puedan presentar en el proceso de Manufactura de Lija, si las entradas realmente influyentes fallaran.

El Diagrama de Pareto para la Matriz Causa y Efecto, se presenta en la figura N° 14, a continuación:

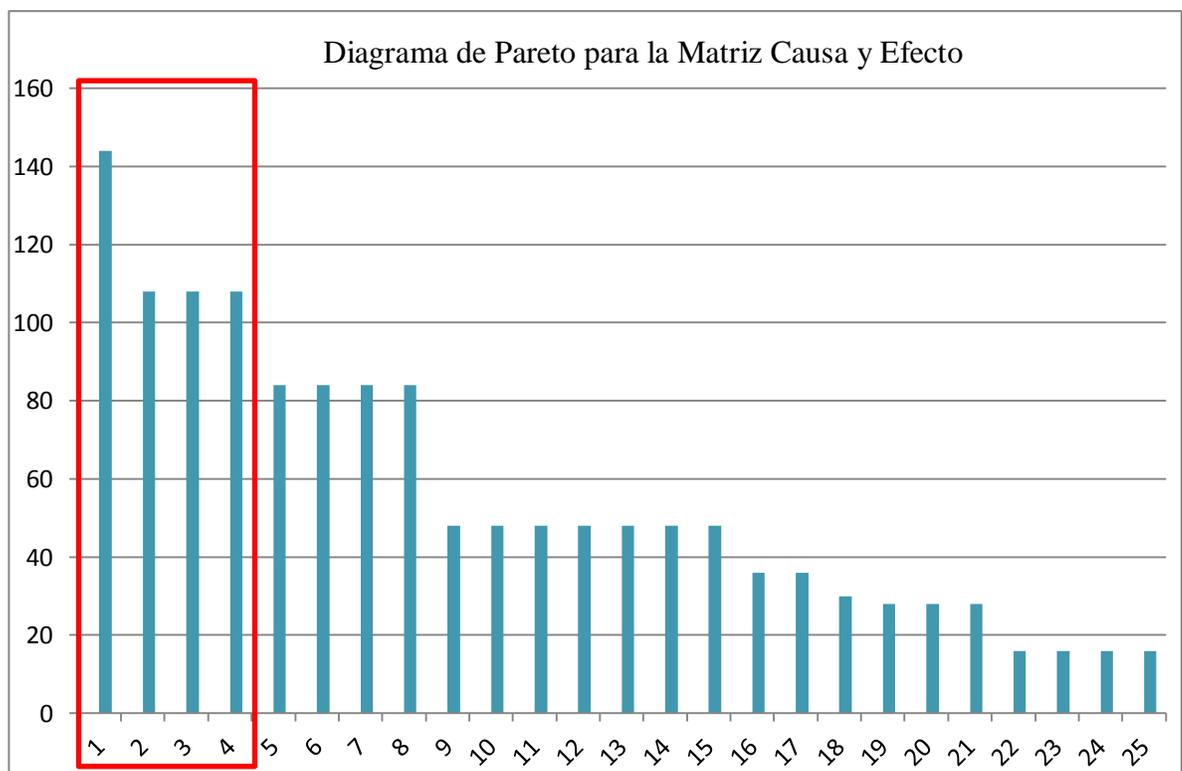


Figura N° .14. Diagrama de Pareto de Matriz Causa y Efecto  
 Ubertool, herramienta de DMAIC para llevar proyectos Seis sigma en 3M Manufacturera

En el Diagrama de Pareto presentado en la Figura N° 14, se identifican 4 entradas realmente influyentes; representando el 16% de las entradas al proceso, y aunque no llegan a cumplir la relación 80/20, se determinan que son influyentes por obtener una puntuación superior a 100, en la Matriz Causa y Efecto.

En la tabla N° 11, se muestran las 4 entradas que pueden influir en el proceso y objeto de la matriz AMEF:

Tabla N° 11. Entradas Potencialmente Influyentes.

1	Determinar los nuevos rangos de variación de velocidad en el proceso de fabricación de lija.
2	Proponer rangos de temperatura de operación para el Horno del TAM.
3	Proponer rangos de operación para la frecuencia de adhesión del mineral abrasivo.
4	Proponer rangos de velocidad de operación para la banda que transporta el mineral abrasivo.

Una vez completadas las Fases de *Definir* y *Medir* DMAIC, se da por cumplida la Fase Metodológica de **Diagnóstico** y el primer Objetivo específico del presente Trabajo Especial de Grado "Identificar el proceso de fabricación de Lija Wetordry y las características del producto final".

## IV.2 CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL TAM: NUEVO RANGO DE VELOCIDADES DE OPERACIÓN EN LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN GARANTIZANDO LAS ESPECIFICACIONES DE LA LIJA.

Se inicia la fase “Analizar” de la Metodología DMAIC, con el análisis de las condiciones de operación actuales del TAM, y en base a ello, se establecen las nuevas condiciones de operación de la línea de producción de Lija Wetordry.

Tal como se establece en el Marco Metodológico, se identifica cual es la velocidad mínima y máxima a la cual puede llegar a operar el TAM. Durante una semana, 40 minutos previos a culminar la jornada laboral, se dedica la línea a verificar entre que rango de velocidad puede operar la línea, manteniendo las especificaciones del producto.

Se busca, encontrar los valores límites a los cuales puede operar el TAM; sin embargo, se sabe que para garantizar la calidad del producto y por seguridad del equipo (alineamiento de rodillos, entre otros), no se debe trabajar permanentemente en estos valores. En este sentido, se manipula la velocidad de operación, verificando la calidad de la lija exclusivamente por control visual. Esto basado en la experiencia de los operadores de la línea de producción.

Se procede a aumentar la velocidad de operación de la máquina, y es por ruptura del papel, que se obtiene el valor límite superior, hasta el cual, puede ser llevada la velocidad de operación. Se obtiene, para la semana de prueba cinco valores, en los cuales, el aumento de velocidad de operación ocasionó rupturas en el papel lija. Los valores de velocidad, se presentan en la tabla N°12, a continuación:

Tabla N° 12. Velocidad de Operación Máxima del TAM

Velocidad de Operación del TAM (m/min)					V <sub>TAM</sub> Media (m/min)
58	61	58	61	60	60

Se toma la media de los cinco valores obtenidos, como la velocidad máxima a la cual puede trabajar la línea, verificando la calidad por control visual del producto.

De igual forma, se procede a disminuir la velocidad de la máquina; en este caso, las limitantes presentadas fueron:

.-Curado excesivo del producto (Papel tostado), ya que permanece más tiempo en el horno de curado.

.-Aglomerado de material en algunas zonas de la línea. Se observa, que al disminuir la velocidad el papel no pasa completamente “extendido”; formando ondas y aglomerados que causan atascamiento del material, en los rodillos que conforman la línea.

Las velocidades de operación mínima se muestran en la tabla N° 13, presentada a continuación:

Tabla N° 13. Velocidad de Operación Mínima del TAM

Velocidad de Operación del TAM (m/min)					V <sub>TAM</sub> Media (m/min)
16	14	15	15	14	15

La velocidad promedio de 15 m/min es la velocidad a la cual se observan fallas en el producto (sobrecalentamiento del papel y aglomerado del mineral abrasivo)

Así se establece, que los límites operativos de la línea de producción, referidos a la velocidad de operación se encuentran entre 60m/min a 15m/min.

Aumentar la productividad de la línea (implícitamente velocidad de operación del TAM), es uno de los beneficios que plantea el reemplazo del sistema de transmisión del TAM; para ello, es fundamental conocer el punto de partida. En este sentido, se toman de los registros de producción, los valores de velocidad a los cuales suele operar la línea de producción.

En la tabla N° 14, se presentan las velocidades de operación para la lija grano 1200, 220 y 80:

Tabla N° 14. Velocidad del TAM

Velocidad de la máquina (m/min)		
G-1200	G-220	G-80
30	30	26
31	32	27
32	33	28
33		
34		

En busca de satisfacer las demanda de Lija Wetordry 3M en el mercado y garantizar el inventario requerido en planta, después de una reducción de la jornada laboral de 44 a 40 horas semanales (tal como lo establece la Ley Orgánica del Trabajo LOT); se tomó como beneficio el reemplazo del Sistema de Transmisión, para reponer la producción que se realizaba en estas 4 horas, que se eliminaron después del ajuste en la jornada laboral.

La reducción de cuatro horas semanales, representa un 11% de reducción de la producción; es por ello que el reemplazo del sistema “Oil Gear”, es una excelente oportunidad para mitigar esta reducción de la jornada laboral y producir de acuerdo a los requerimientos del mercado. En este sentido se establece, aumentar la velocidad de operación en un 15% en busca, de atenuar los efectos de la reducción de la jornada laboral y de satisfacer las necesidades del mercado que incrementa continuamente.

Cada uno de los valores propuestos en esta sección, se debe validar posteriormente. Por lo cual en la Fase de Validación se verifica, no sólo un incremento en la velocidad de operación de la máquina, sino también una disminución de esta variable. Dejando reportado, no sólo un incremento del 15% en la velocidad de operación, sino también, una disminución en el mismo porcentaje.

En vista, de que se tienen varios valores de velocidad para cada grano de Lija Wetordry, se trabaja con la media de estos. Y es a la media de las velocidades de operación, a las cuales se le calcula un incremento y disminución del 15%. Esta información es presentada en la tabla N° 17, a continuación:

Tabla N° 15. Velocidad Media actual y Velocidad de Operación Propuesta

Velocidad de Operación del TAM (m/min)			
Lija Wetordry Grano	1200	220	80
Velocidad Media Actual	32	32	27
Incremento del 15%	37	36	31
Descenso del 15%	27	27	23

La velocidad de operación es la variable matriz en el TAM, un cambio en ésta influye en las demás variables del proceso. Es por ello, que en el análisis de la temperatura del horno de curado, de la frecuencia y velocidad de la banda transportadora de mineral; se realiza en función de la velocidad de operación propuesta para el TAM.

### **IV.3 CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL TAM: VARIABLES DEPENDIENTES DE LA VELOCIDAD EN EL PROCESO.**

Para establecer los rangos óptimos de las variables que dependen de la velocidad de operación del TAM; temperatura el horno de curado, frecuencia de adhesión de mineral, y velocidad de operación de la banda transportadora de mineral, se evaluó la influencia que tenía el cambio de los parámetros establecidos, en el funcionamiento correcto de la línea de producción; siendo el punto de partida para realizar los ajustes acertados en las variables de operación, que garantice la calidad de la lija Wetordry y demás requerimientos operativos de la línea de producción.

Se recopiló la información necesaria para identificar el comportamiento de las variables actuales, y en función a ello, se busca establecer las nuevas variables que operación, regidas por ecuaciones sencillas, que sean de fácil manejo para el operador.

A continuación se presentan los resultados donde se pueden diferenciar tres variables de operación, las cuales se abordarán de forma individual, siempre recordando la dependencia que tienen cada una de estas variables de la velocidad de operación del TAM:

### IV.3.1 Temperatura del Horno

Los quemadores de combustibles fósiles suelen utilizarse como fuente principal de energía en hornos industriales, en este sentido, la temperatura del Horno en el TAM es producto del calor de combustión generada al quemar gas metano; reacción que ocurre en tres quemadores que se distribuyen a lo largo de la línea de producción de lija (uno en cada estación de la línea). La combustión del gas metano ocurre en pasos; en primer lugar el metano reacciona con el oxígeno para formar formaldehído (HCHO o H<sub>2</sub>CO). Acto seguido el formaldehído se descompone en el radical formil, que a continuación da dióxido de carbono e hidrógeno. Este proceso es conocido en su conjunto como pirólisis oxidativa.



Siguiendo la pirolisis oxidativa, el H<sub>2</sub> se oxida formando H<sub>2</sub>O, desprendiendo calor.



Finalmente el CO se oxida, formando CO<sub>2</sub> y liberando más calor. Este proceso generalmente es más lento que el resto de pasos.

En cada zona existe un quemador de gas metano, el cual se encuentra acoplado a una turbina, que impulsa el aire caliente hacia el horno de curado, y es aquí donde se toma lectura y controla la temperatura del proceso.

En la figura N° X se observa un esquema general del sistema de quemadores del TAM, la cual se presenta a continuación:

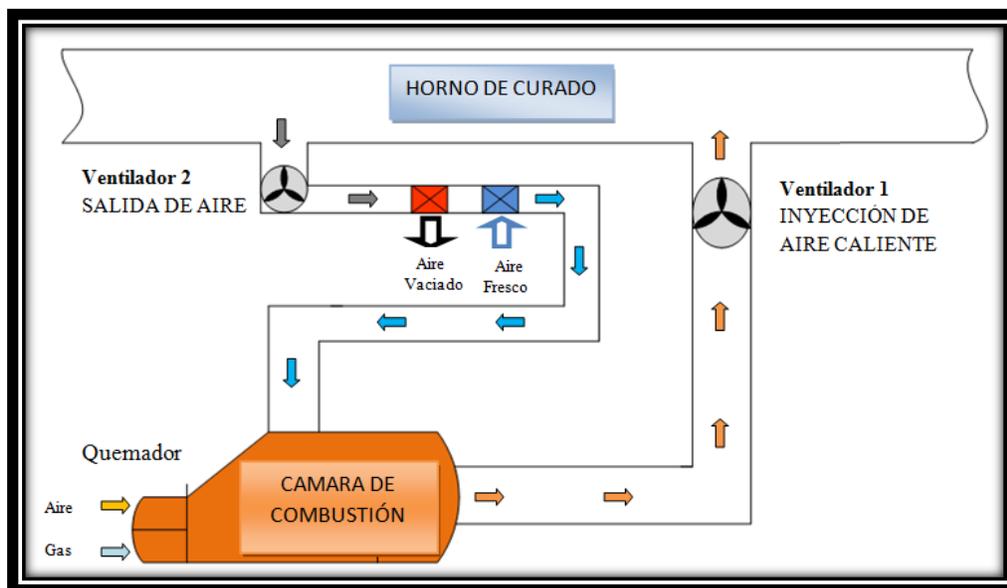


Figura N° .15. Sistema de quemadores del TAM

El horno de curado del TAM o también conocido operativamente como el sistema de quemadores del TAM, es un sistema de calentamiento de aire, seguido de líneas que inyectan aire caliente al horno de secado en sus diferentes zonas. Este sistema cuenta con una serie de componentes que se mencionan a continuación:

- .- Los quemadores de gas tienen incorporados turbinas de aire.
- .- Cámara de combustión: Lugar donde se produce la mezcla de aire y gas para el proceso de combustión.
- .- Quemador: Es un generador de llama el cual posee un piloto y un ventilador de combustión. Este último es el que suministra el aire necesario para iniciar y mantener el proceso de combustión.
- .- Ventiladores:
  - De alimentación: Inyectan el aire caliente al horno.
  - De extracción: Extraen el aire caliente del horno para ser expulsado a la atmósfera y/o reciclado.

.- Transformador de ignición: Donde se produce la chispa para el proceso de combustión.

.- Programador: Encargado de poner en funcionamiento (paso a paso) los componentes del generador de calor (cámara de combustión, quemador, ventiladores, válvulas, etc) y siempre en el orden programado. En otras palabras el programador arranca el horno automáticamente.

.- Detector de Flama: Actúa análogamente a un interruptor. Cuando este observa que el piloto del quemador está prendido, capta la luz ultravioleta de la flama y deja pasar la señal de regreso hacia el programador.

.- Amplificador: como su nombre lo indica amplifica la señal proveniente del detector de flama y lo lleva al programador.

.- El Modulador o modutrol: Se encarga de controlar proporcionalmente la entrada de flujo de gas y aire a la cámara de combustión, para aumentar o disminuir la capacidad de la flama del quemador y así mantener la temperatura prefijada en el dialatrol.

.- Dialatrol: Se encarga de controlar la temperatura dentro del horno por medio de una termocupla y dependiendo de la temperatura seleccionada en el dial, este compara y ordena al modutrol. El dialatrol se activa por medio de programador.

.- Termocupla: Es la que capta la temperatura del horno y envía una señal al dialatrol para que este se encargue de controlar la temperatura a través del modutrol.

.- Válvula piloto: Permite el paso de gas al piloto principal con el cual se inicia el proceso de calentamiento de aire.

.- Pressure switch: Es un sistema de seguridad de alta presión de gas.

.- Válvula motorizada: permite el paso de gas a través de la tubería mientras el sistema esté en funcionamiento.

.- Flujo switches: Captan el flujo de aire de los ventiladores, bloqueando o permitiendo el paso del voltaje de alimentación al programador.

.- Termostato: Captan las temperatura del horno y del quemador, permitiendo o bloqueando la alimentación del programador.

.- Termómetro: capta e indica la temperatura del horno.

.- Redes de control: Controlan y protegen el sistema de calentamiento de aire, permitiendo o no el paso de corriente de un sitio a otro.

Todo este sistema se encuentra acoplado, para alertar al operador de un incremento o falla en el sistema de los quemadores. Actualmente el TAM trabaja a  $165^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$ , y así lo establece el Estándar de Proceso para la fabricación de Lija Wetordry. Es por ello, que para mantener la calidad del producto, se tiene como parámetros  $160^{\circ}\text{C}$  y  $170^{\circ}\text{C}$ ; así, cuando la temperatura en el horno de curado alcance cualquiera de estos valores límites, se envía una señal que alerta al operador a verificar las condiciones de operación y la calidad del producto. Sin embargo, el horno puede trabajar por encima de estos valores de temperatura, teniendo una temperatura máxima permisible por condiciones de seguridad del equipo de  $300^{\circ}\text{C}$ .

El curado adecuado de la Lija 3M depende del tiempo de residencia que tenga el material en el horno de curado a la temperatura apropiada, de ahí la importancia de establecer los rangos de temperatura óptima de curado para operar el TAM, siendo la velocidad de operación de la máquina la variable directamente relacionada con la temperatura del horno. Un incremento en la temperatura de operación sin ajustar la velocidad de operación, generaría un exceso de curado y posiblemente un producto fuera de las especificaciones de calidad establecidas, por lo cual; se puede decir que la temperatura del horno de curado es proporcional a la velocidad de la máquina, lo que se puede representar, a través de la ecuación 5:

$$T_{\text{Horno}} = K * V_{\text{TAM}} \quad \text{Ec. 5}$$

Dónde:

$T_{\text{Horno}}$ : Temperatura del horno de curado ( $^{\circ}\text{C}$ )

K: Constante de proporcionalidad ( $^{\circ}\text{C min/m}$ )

$V_{\text{TAM}}$ : Velocidad de operación del TAM (m/min)

Sin embargo, se requiere ser más específicos al estudiar el comportamiento de la temperatura en función de la velocidad de operación, por lo cual, se procede a recopilar los datos de los registros de producción de esta variable; para ello:

- Se recolectan cincuenta valores de temperatura para cada velocidad de operación.
- Se trabaja con la media de estos cincuenta valores de temperatura.
- Se realiza un análisis estadístico, que permite darle validez a los datos recolectados.

(Ver ANEXO 1)

A continuación, se presenta el comportamiento de la temperatura del horno de curado en relación a la velocidad de operación del TAM. Para cada grano en estudio, de acuerdo al histórico, se tiene:

- ◆ Lija Wetordry Grano 1200 (Figura N° 16):

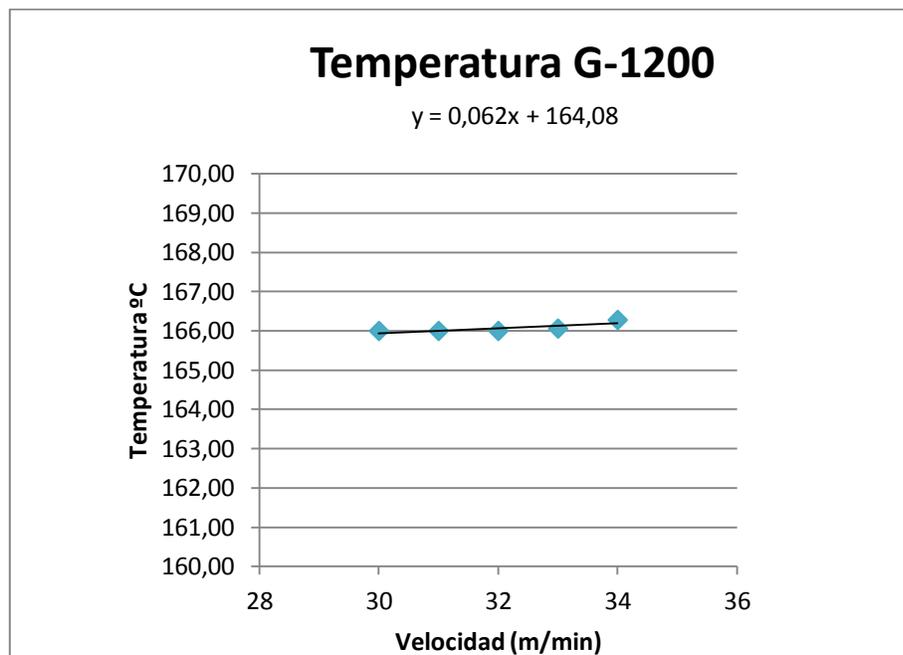


Figura N° .16. Comportamiento de la Temperatura del horno & la Velocidad de Operación del TAM (G-1200)

- ◆ Lija Wetordry Grano 220 ((Figura N° 17):

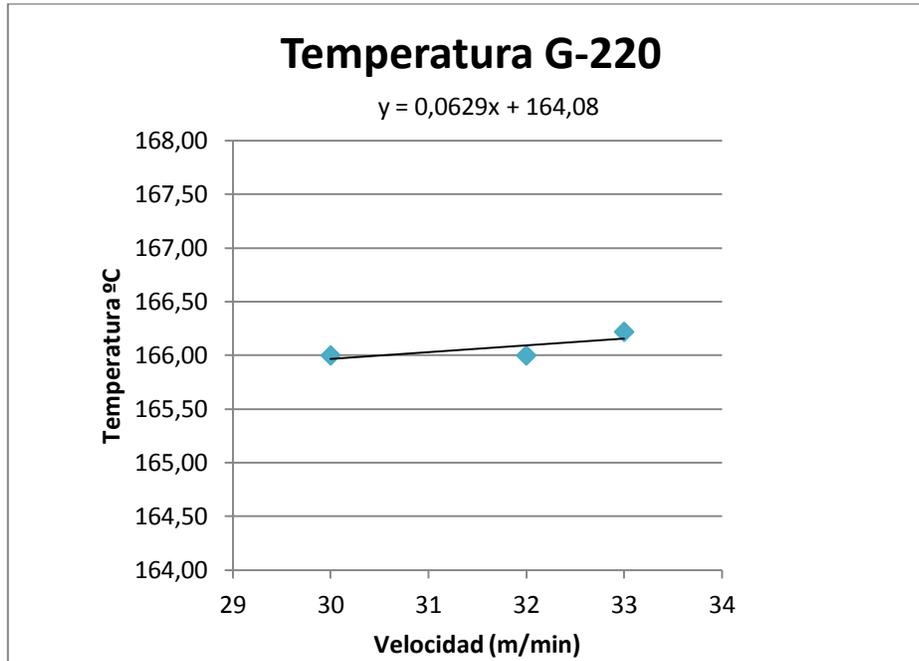


Figura N° .17.Comportamiento de la Temperatura del horno & la Velocidad de Operación del TAM (G-120)

- ◆ Lija Wetordry Grano 80((Figura N° 18):

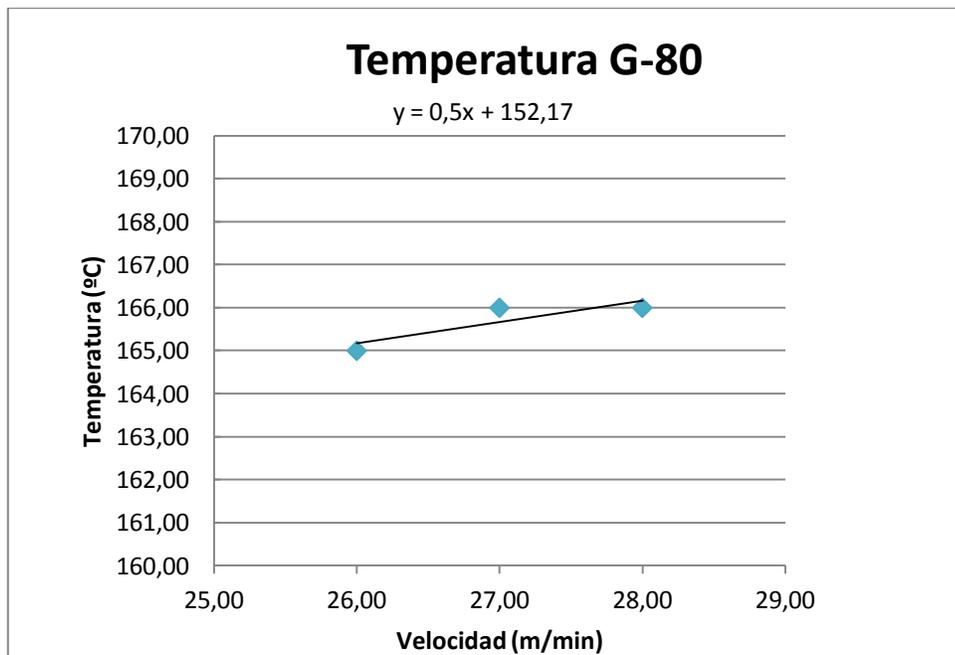


Figura N° .18.Comportamiento de la Temperatura del horno & la Velocidad de Operación del TAM (G-80)

Para cada grano se tiene una recta de ajuste correspondiente, cuya pendiente siempre será positiva, reflejando la necesidad de un incremento gradual en la temperatura a medida que se aumente la velocidad. Quedando establecido que la temperatura tiene una dependencia lineal con velocidad de operación, representado de la forma:

$$T_{\text{Horno}} = m * V_{\text{TAM}} + b_0 \quad \text{Ec.6}$$

Donde:

$T_{\text{Horno}}$

$T_{\text{Horno}}$ : Temperatura del horno de curado (°C)

$m$ : Constante (°C min/m)

$V_{\text{TAM}}$ : Velocidad de operación del TAM (m/min)

$b_0$ : Constante de temperatura (°C)

Específicamente para grano resulta:

- ◆ Lija Wetordry Grano 1200:

$$T_{\text{Horno}} = 0,062 \text{ °C min/m} * V_{\text{TAM}} + 164,08 \text{ °C} \quad \text{Ec.6.1}$$

- ◆ Lija Wetordry Grano 220:

$$T_{\text{Horno}} = 0,0629 \text{ °C min/m} * V_{\text{TAM}} + 164,08 \text{ °C} \quad \text{Ec.6.2}$$

- ◆ Lija Wetordry Grano 80:

$$T_{\text{Horno}} = 0,5 \text{ °C min/m} * V_{\text{TAM}} + 152,17 \text{ °C} \quad \text{Ec.6.3}$$

En general las rectas hacen un seguimiento bastante bueno a los datos; la pendiente de la recta indica que por cada unidad que se incrementa la velocidad de operación corresponde incrementar  $m_0$  °C en la temperatura del horno. El origen de la recta sugiere que a velocidad 0 el horno debe mantener una temperatura  $b_0$  °C, refiriéndose a la temperatura mínima a la cual debe estabilizar el horno para iniciar la producción o corrida del material por el TAM. Sin embargo el aporte significativo que da el origen de la recta, está referido a lo que podría ocurrir si se extrapola la

velocidad de operación hasta llegar a una velocidad inferior o superior a la cual se viene trabajando en TAM.

En este sentido, se deja reportado los valores de temperatura para un incremento del 15% de la Velocidad de operación para cada grano. Aportando adicionalmente, las ecuaciones que representan en el comportamiento de la temperatura en función de la velocidad.

Cuando consideramos un incremento del 15% en la velocidad de operación del TAM, se obtienen los valores de temperatura que requiere el horno para producir el abrasivo con la adecuada calidad. Esto se determinó haciendo uso de las ecuaciones 6.1, 6.2 y 6.3:

◆ Lija Wetordry Grano 1200:

Haciendo uso de la Ecuación N° 6.1, se tiene:

.- Los cálculos para un aumento del 15% de la velocidad de operación del TAM, se presentan a continuación:

$$T_{\text{Horno}} = 0,062 \text{ } ^\circ\text{C min/m} * 37 \text{ m/min} + 164,08 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{Horno}} = 166,37 \text{ } ^\circ\text{C}$$

.- Los cálculos para una disminución del 15% de la velocidad de operación del TAM, se presentan a continuación:

$$T_{\text{Horno}} = 0,062 \text{ } ^\circ\text{C min/m} * 27 \text{ m/min} + 164,08 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{Horno}} = 165,75 \text{ } ^\circ\text{C}$$

◆ Lija Wetordry Grano 220:

Haciendo uso de la Ecuación N° 6.2, se tiene:

.- Los cálculos para un aumento del 15% de la velocidad de operación del TAM, se presentan a continuación:

$$T_{\text{Horno}} = 0,0629 \text{ } ^\circ\text{C min/m} * 36 \text{ m/min} + 164,08 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{Horno}} = 166,34 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

.- Los cálculos para una disminución del 15% de la velocidad de operación del TAM, se presentan a continuación:

$$T_{\text{Horno}} = 0,0629 \text{ }^{\circ}\text{C min/m} * 27 \text{ m/min} + 164,08 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{Horno}} = 165,78^{\circ}\text{C}$$

◆ Lija Wetordry Grano 80:

Haciendo uso de la Ecuación N° 6.3, se tiene:

.- Los cálculos para un aumento del 15% de la velocidad de operación del TAM, se presentan a continuación:

$$T_{\text{Horno}} = 0,5 \text{ }^{\circ}\text{C min/m} * 31 \text{ m/min} + 152,17 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{Horno}} = 167,67^{\circ}\text{C}$$

.- Los cálculos para una disminución del 15% de la velocidad de operación del TAM, se presentan a continuación:

$$T_{\text{Horno}} = 0,5 \text{ }^{\circ}\text{C min/m} * 23 \text{ m/min} + 152,17 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{Horno}} = 163,67^{\circ}\text{C}$$

Así en la tabla N° 16 quedan establecidas las temperaturas de operación, para la producción de Lija Wetordry, con un incremento y disminución del 15% de la velocidad de operación actual, presentadas a continuación:

Tabla N° 16. Temperatura del horno de Curado propuesta

Temperatura del Horno de curado ( $T \pm 0,01^{\circ}\text{C}$ )			
Lija Wetordry Grano	1200	220	80
Con un Incremento del 15% en la Velocidad de Operación	166,37	166,34	167,67
Con un Descenso del 15% en la velocidad de Operación	165,75	165,78	163,67

### IV.3.2 Velocidad de la banda transportadora de mineral

Bajo la superficie de la estación *Coater*; se encuentra la conocida “fosa del TAM”, en la cual, se dispone el mineral que le da abrasividad al producto. El mineral se dispone en una tolva (manualmente por los operadores), y ésta dispensa el material a una banda transportadora que pone en contacto el mineral con el papel, que viene con el adhesivo aplicado previamente. Este proceso se presenta en la figura N° 19:

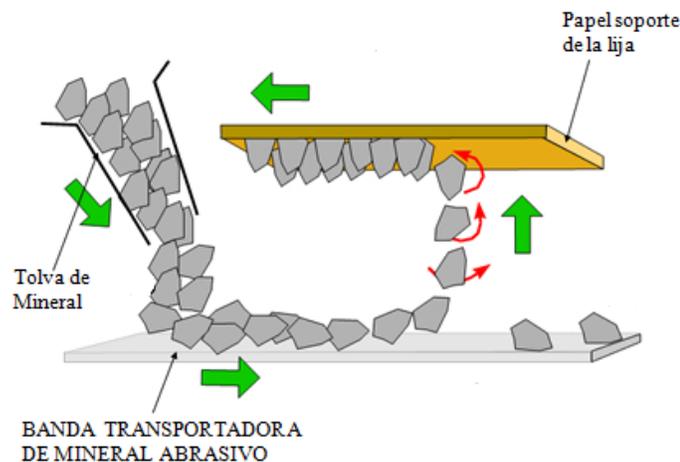


Figura N° .19. Funcionamiento de la Velocidad de banda transportadora de Mineral

Un aumento en la velocidad de operación (aumento de la velocidad del papel soporte de la lija), influye directamente en la velocidad de la banda transportadora de mineral. Tal es el caso; que si se desea aumentar la velocidad de operación, cada área ( $\text{mts}^2$ ) del papel soporte de la lija, tendrá menos tiempo de contacto con la banda transportadora de mineral, y por tanto, el producto puede no cumplir con las especificaciones de mineral establecidas.

Para establecer la velocidad de la banda transportadora con un aumento y disminución de la velocidad de operación en un 15%, se procede a evaluar el comportamiento de la velocidad de la banda (actual) en función de la velocidad de operación (actual). Para ello:

.-Se recolectan cincuenta valores de velocidad de la banda transportadora para cada velocidad de operación.

.- Se trabaja con la media de estos cincuenta valores de velocidad de la banda.

.- Se realiza un análisis estadístico, que permite darle validez a los datos recolectados (Ver ANEXO 2)

Se presenta histórico de la velocidad de la banda transportadora de mineral según el grano de la lija:

◆ Lija Wetordry Grano 1200 (Figura N° 20):

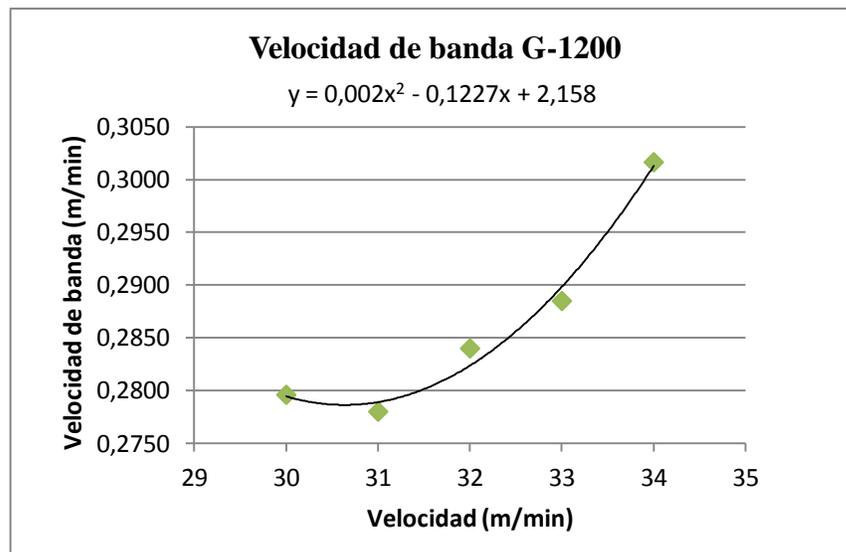


Figura N° .20. Comportamiento de la Velocidad de la banda transportadora de Mineral & la Velocidad de Operación del TAM (G-1200)

- ◆ Lija Wetordry Grano 220 (Figura N° 21):

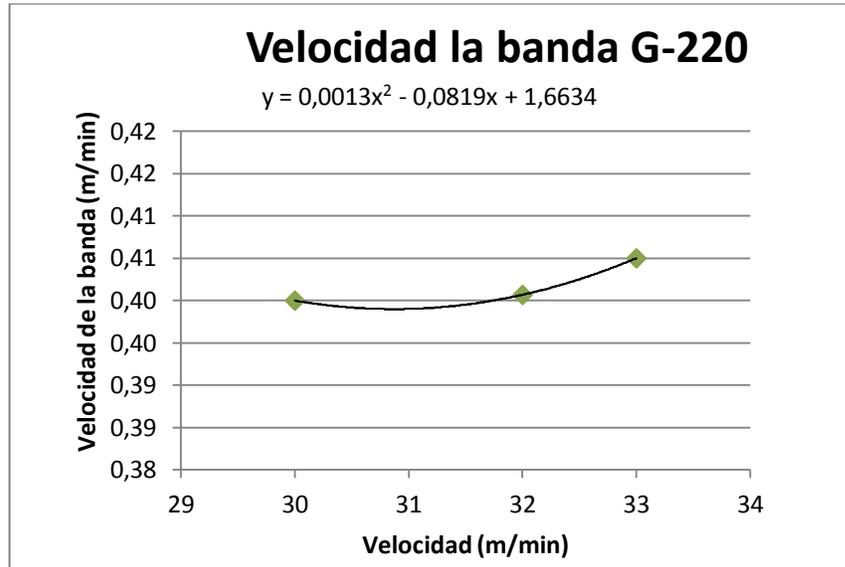


Figura N° .21. Comportamiento de la Velocidad de la banda transportadora de Mineral & la Velocidad de Operación del TAM (G-220)

- ◆ Lija Wetordry Grano 80 (Figura N° 22):

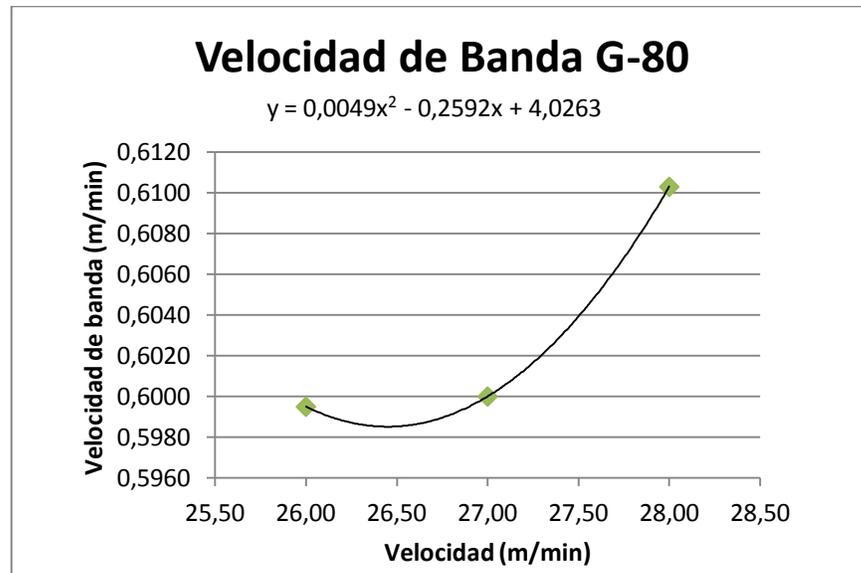


Figura N° .22. Comportamiento de la Velocidad de la banda transportadora de Mineral & la Velocidad de Operación del TAM (G-80)

Tal como lo indican las figuras N° 20, 21 y 22, se define el comportamiento con una ecuación de segundo grado para la velocidad de la banda transportadora de mineral. También se puede observar que independientemente del tipo de grano que se fabrica el comportamiento es el mismo, sólo que se manejan mayores velocidades de la banda transportadora para granos más gruesos y esto se debe a que los tamaños más finos tienen una mayor área superficial. Ajustando muy bien los datos de los registros de producción, se obtiene que el comportamiento de velocidad de la banda de mineral sea de un polinomio de segundo grado de la forma:

$$V_{\text{Mineral}} = a \cdot V_{\text{TAM}}^2 - b \cdot V_{\text{TAM}} + c \quad \text{Ec.7}$$

Dónde:

$V_{\text{Mineral}}$ : Velocidad de la banda transportadora de mineral (m/ min)

$a, b$  y  $c$ : Constantes  $\neq 0$  ; siendo  $a$  (min/m).  $b$  (adimensionales).  $c$  ( m/min)

$V_{\text{TAM}}$ : Velocidad de Operación del TAM (m/min)

Cada tipo de grano evaluado resulta:

- ◆ Lija Wetordry Grano 1200:

$$V_{\text{Mineral}} = 0,002 \cdot V_{\text{TAM}}^2 - 0,1227 \cdot V_{\text{TAM}} + 2,158 \text{ m/min} \quad \text{Ec.7.1}$$

.-Los cálculos para un aumento del 15% de la velocidad de operación del TAM, se presentan a continuación:

$$V_{\text{Mineral}} = 0,002 \text{ min/m} \cdot (37 \text{ m/min})^2 - 0,1227 \cdot 37 \text{ m/min} + 2,158 \text{ m/min}$$

$$V_{\text{Mineral}} = 0,3561 \text{ m/min}$$

.-Los cálculos para una disminución del 15% de la velocidad de operación del TAM, se presentan a continuación:

$$V_{\text{Mineral}} = 0,002 \text{ min/m} \cdot (27 \text{ m/min})^2 - 0,1227 \cdot 27 \text{ m/min} + 2,158 \text{ m/min}$$

$$V_{\text{Mineral}} = 0,3031 \text{ m/min}$$

◆ Lija Wetordry Grano 220:

$$V_{\text{Mineral}} = 0,0013 * V_{\text{TAM}}^2 - 0,0819 * V_{\text{TAM}} + 1,6634 \text{ m/min} \quad \text{Ec. 7.2}$$

.- Los cálculos para un aumento del 15% de la velocidad de operación del TAM, se presentan a continuación:

$$V_{\text{Mineral}} = 0,0013 \text{ min/m} * (36 \text{ m/min})^2 - 0,0819 * 36 \text{ m/min} + 1,6634 \text{ m/min}$$

$$V_{\text{Mineral}} = 0,3998 \text{ m/min}$$

.- Los cálculos para una disminución del 15% de la velocidad de operación del TAM, se presentan a continuación:

$$V_{\text{Mineral}} = 0,0013 \text{ min/m} * (27 \text{ m/min})^2 - 0,0819 * 27 \text{ m/min} + 1,6634 \text{ m/min}$$

$$V_{\text{Mineral}} = 0,3998 \text{ m/min}$$

◆ Lija Wetordry Grano 80:

$$V_{\text{Mineral}} = 0,0049 * V_{\text{TAM}}^2 - 0,2592 * V_{\text{TAM}} + 4,0263 \text{ m/min} \quad \text{Ec. 7.3}$$

.- Los cálculos para un aumento del 15% de la velocidad de operación del TAM, se presentan a continuación:

$$V_{\text{Mineral}} = 0,0049 \text{ min/m} * (31 \text{ m/min})^2 - 0,2592 * 31 \text{ m/min} + 4,0263 \text{ m/min}$$

$$V_{\text{Mineral}} = 0,7000 \text{ m/min}$$

.- Los cálculos para una disminución del 15% de la velocidad de operación del TAM, se presentan a continuación:

$$V_{\text{Mineral}} = 0,0049 \text{ min/m} * (23 \text{ m/min})^2 - 0,2592 * 23 \text{ m/min} + 4,0263 \text{ m/min}$$

$$V_{\text{Mineral}} = 0,6568 \text{ m/min}$$

Quedan establecidos los valores para la velocidad de la banda transportadora en la fosa del TAM, los cuales se presentan en la tabla N° 17, a continuación:

Tabla N° 17. Velocidad de la banda transportadora de Mineral Abrasivo propuesta

Velocidad de la banda Transportadora de Mineral ( $V_{\text{banda}} \pm 0,0001\text{m/min}$ )			
Lija Wetordry Grano	1200	220	80
Con un Incremento del 15% en la Velocidad de Operación	0.3561	0.3998	0.7000
Con un Descenso del 15% en la velocidad de Operación	0.3031	0.3998	0.6568

En la tabla N° 17 se observa que el impacto o la influencia de una variación de la velocidad de operación del TAM (máxima y mínima velocidad) es mucho mayor sobre el tipo de lija de grano fino respecto a las de grano medio y grueso; siendo las partículas pequeñas más vulnerables a un cambio en la velocidad de la banda transportadora de mineral.

#### IV.3.3 Frecuencia de Adhesión del Mineral.

Como se menciona en el Marco Teórico existen dos formas de adherir del mineral a la superficie base del abrasivo. 3M utiliza la aplicación electrostática; siendo esta, la mejor forma de disponer el mineral para obtener un producto de calidad. Para ello, el TAM cuenta con dos placas ubicadas en paralelo; una con carga positiva y la otra con carga negativa.

La placa con carga negativa se dispone debajo de banda transportadora de mineral abrasivo; mientras que la placa con carga positiva, se ubica por encima de papel soporte de la lija, creando un campo electromagnético entre las placas, que polarizan al mineral y permite su adhesión al papel base de la lija. Este proceso se muestra en la figura, N° 23, a continuación:

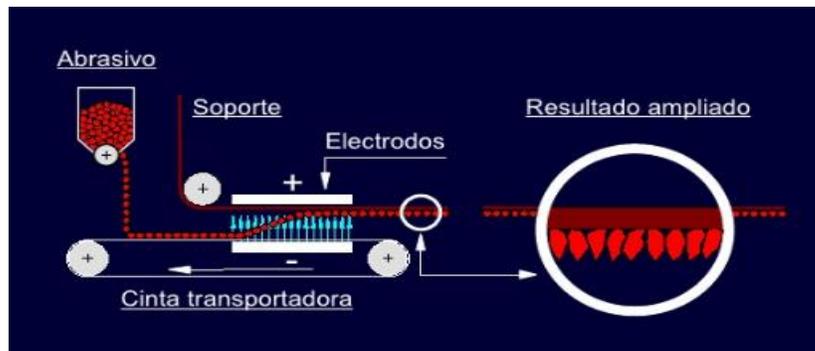


Figura N° .23. Adhesión del Mineral abrasivo entre placas paralelas.

Una de las principales magnitudes que caracterizan un campo electromagnético (CEM) es su frecuencia, o la correspondiente longitud de onda. Las ondas electromagnéticas, son una serie de ondas muy uniformes que se desplazan a una velocidad enorme: la velocidad de la luz. La frecuencia simplemente describe el número de oscilaciones o ciclos por segundo, mientras que la expresión “longitud de onda” se refiere a la distancia entre una onda y la siguiente. Por consiguiente, la longitud de onda y la frecuencia están inseparablemente ligadas: cuanto mayor es la frecuencia, más corta es la longitud de onda. Tal como lo indica la figura N° 24, mostrada a continuación:

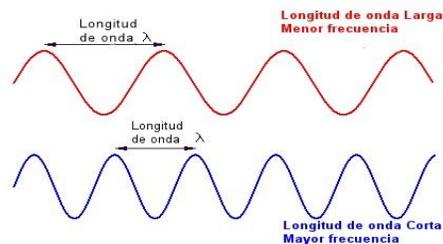


Figura N° .24. Frecuencia de onda.

Es por ello que la frecuencia es una de las variables controladas en el TAM; esta variable nos indica justamente con que “frecuencia”, el mineral está elevándose y adhiriéndose a la base de la lija producto del campo que se genera entre las placas.

Se presenta el comportamiento de la frecuencia en el proceso de adhesión de mineral; y al igual que para la temperatura y velocidad de la banda, se debe:

- .- Recolectar cincuenta valores de frecuencia para cada velocidad de operación.
- .- Se trabaja con la media de estos cincuenta valores de frecuencia.

.- Se realiza un análisis estadístico, que permite darle validez a los datos recolectados (Ver ANEXO 3).

Para cada grano estudiado se tiene:

- ◆ Lija Wetordry Grano 1200 (Figura N° 25):

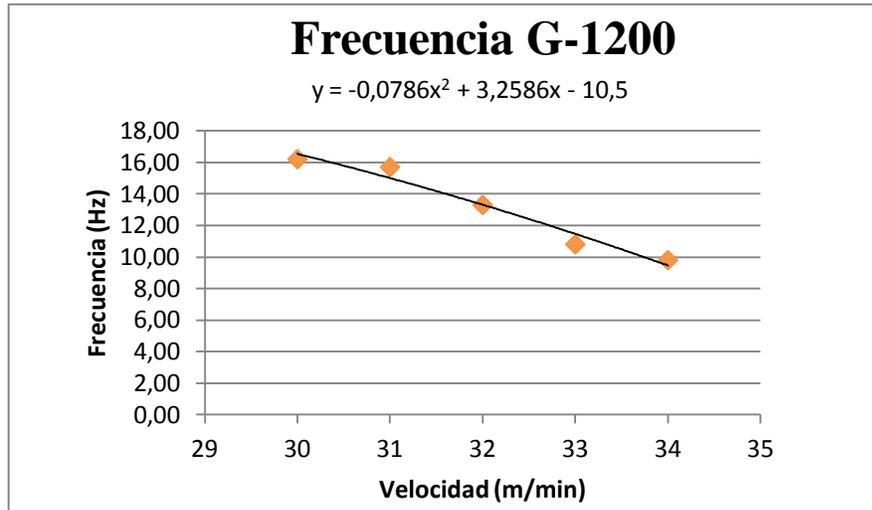


Figura N° .25. Comportamiento de la frecuencia de adhesión de Mineral & la Velocidad de Operación del TAM (G-1200)

- ◆ Lija Wetordry Grano 220 (Figura N° 26):

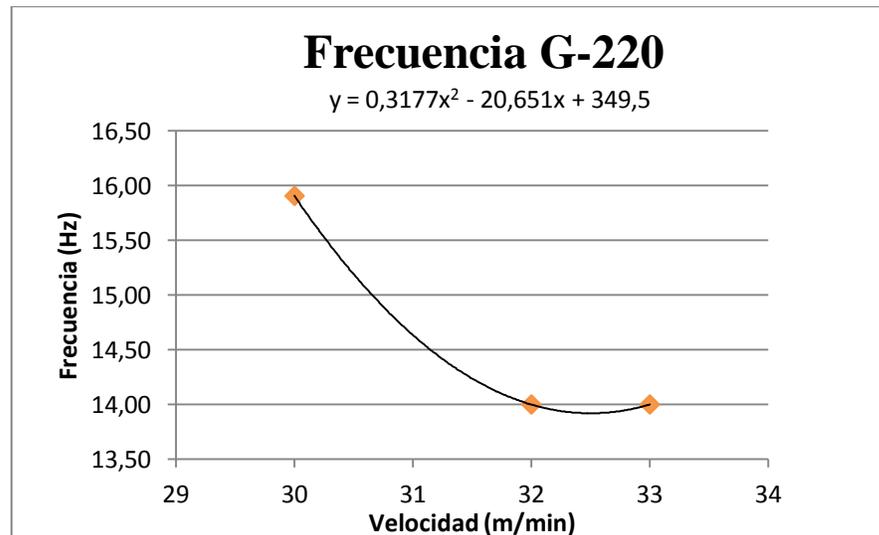


Figura N° .26. Comportamiento de la frecuencia de adhesión de Mineral & la Velocidad de Operación del TAM (G-220)

- ◆ Lija Wetordry Grano 80 (Figura N° 27)::

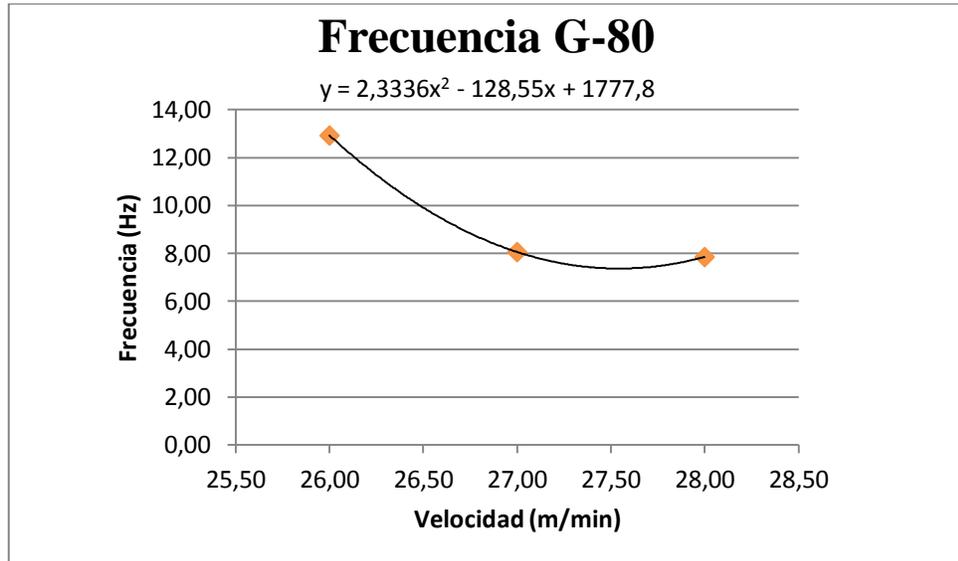


Figura N° .27. Comportamiento de la frecuencia de adhesión de Mineral & la Velocidad de Operación del TAM (G-80).

Se puede observar que la frecuencia es inversa a la velocidad de operación del TAM, siguiendo un ajuste polinómico de segundo grado, tal como lo indican las figuras N° 25, 26 y 27.

Sin duda la velocidad de operación es la variable maestra del proceso de fabricación de lija; previamente quedó reflejado que la velocidad de la banda aumenta con la velocidad de operación, esto, por la necesidad que tiene el proceso de cubrir más área del papel base. Se observa que la frecuencia disminuye al aumentar la velocidad de operación; esto ocurre para compensar el aumento de la velocidad de operación y no sobresaturar el papel base de la lija con mineral abrasivo.

Del comportamiento actual se tiene:

$$f = a \cdot V_{TAM}^2 - b \cdot V_{TAM} + c \quad \text{Ec. 8}$$

*Dónde:*

*f*: Frecuencia de adhesión de mineral abrasivo (Hz)

*a, b y c*: Constantes  $\neq 0$  ; siendo *a* ( Hz\*(min/m)<sup>2</sup> ). *b* (Hz\*(min/m)). *c* ( Hz)

*V<sub>TAM</sub>*: Velocidad de Operación del TAM (m/min)

Para cada grano se tiene:

◆ Lija Wetordry Grano 1200:

$$f = -0,0786 \text{ Hz (min/m)}^2 * V_{TAM}^2 + 3,2586 \text{ Hz(min/m)} * V_{TAM} - 10,5 \text{ Hz} \quad \text{Ec. 8.1}$$

.- Los cálculos para un aumento del 15% de la velocidad de operación del TAM, se presentan a continuación:

$$f = -0,0786 \text{ Hz (min/m)}^2 * (37 \text{ m/min})^2 + 3,2586 \text{ Hz(min/m)} * 37 \text{ m/min} - 10,5 \text{ Hz}$$
$$f = 2,46 \text{ Hz}$$

.- Los cálculos para una disminución del 15% de la velocidad de operación del TAM, se presentan a continuación:

$$f = -0,0786 \text{ Hz (min/m)}^2 * (27 \text{ m/min})^2 + 3,2586 \text{ Hz (min/m)} * 27 \text{ m/min} - 10,5 \text{ Hz}$$
$$f = 20,18 \text{ Hz}$$

◆ Lija Wetordry Grano 220:

$$f = 0,3177 \text{ Hz (min/m)}^2 * V_{TAM}^2 - 20,651 \text{ Hz (min/m)} * V_{TAM} + 349,5 \text{ Hz} \quad \text{Ec. 8.2}$$

.- Los cálculos para un aumento del 15% de la velocidad de operación del TAM, se presentan a continuación:

$$f = 0,3177 \text{ Hz (min/m)}^2 * (36 \text{ m/min})^2 - 20,651 \text{ Hz(min/m)} * 36 \text{ m/min} + 349,5 \text{ Hz}$$
$$f = 17,80 \text{ Hz}$$

.- Los cálculos para una disminución del 15% de la velocidad de operación del TAM, se presentan a continuación:

$$f = 0,3177 \text{ Hz (min/m)}^2 * (27 \text{ m/min})^2 - 20,651 \text{ Hz(min/m)} * 27 \text{ m/min} + 349,5 \text{ Hz}$$

$$f = 23,53 \text{ Hz}$$

◆ Lija Wetordry Grano 80:

$$f = 2,3336 \text{ Hz (min/m)}^2 * V_{\text{TAM}}^2 - 128,55 \text{ Hz (min/m)} * V_{\text{TAM}} + 1777,8 \text{ Hz} \quad \text{Ec. 8.3}$$

.- Los cálculos para un aumento del 15% de la velocidad de operación del TAM, se presentan a continuación:

$$f = 2,3336 \text{ Hz (min/m)}^2 * (31 \text{ m/min})^2 - 128,55 \text{ Hz (min/m)} * 31 \text{ m/min} + 1777,8 \text{ Hz}$$

$$f = 35,34 \text{ Hz}$$

.- Los cálculos para una disminución del 15% de la velocidad de operación del TAM, se presentan a continuación:

$$f = 2,3336 \text{ Hz(min/m)}^2 * (23 \text{ m/min})^2 - 128,55 \text{ Hz(min/m)} * 23 \text{ m/min} + 1777,8 \text{ Hz}$$

$$f = 55,62 \text{ Hz}$$

Quedando establecida la frecuencia para la adhesión del mineral abrasivo con una variación de la velocidad en  $\pm 15\%$ . Esta información se presenta en la tabla N° 18, a continuación:

Tabla N° 18. Frecuencia para la adhesión del Mineral Abrasivo propuesta

Frecuencia de adhesión de mineral ( $f \pm 0,01 \text{ Hz}$ )			
Lija Wetordry Grano	1200	220	80
Con un Incremento del 15% en la Velocidad de Operación	2,46	17,80	35,34
Con un Descenso del 15% en la velocidad de Operación	20,18	23,53	55,62

Cada uno de los valores propuestos; tanto de temperatura, velocidad de la banda transportadora y de frecuencia de adhesión de mineral pasan a la fase de validación en corridas de prueba, donde se verifica la operatividad de la máquina y la calidad de la lija Wetordry que sale de la línea una vez modificadas las variables de operación del proceso.

#### **IV.4 MATRIZ DE ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA (AMEF)**

El Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF), es una herramienta de máxima utilidad en el desarrollo del producto que permite, de una forma sistemática, asegurar que han considerado y analizado las fallas potencialmente concebibles en el proceso.

Es un método dirigido a lograr el Aseguramiento de la Calidad, que mediante el análisis sistemático, contribuye a identificar y prevenir los modos de falla, tanto de un producto como de un proceso, evaluando su gravedad, ocurrencia y detección, mediante los cuales, se calculará el Número de Prioridad de Riesgo, para priorizar las causas, sobre las cuales habrá que actuar para evitar que se presenten dichos modos de fallo.

Se procede a realizar un análisis completo de la línea de producción y el producto, se levanta las fallas, causa raíz, efecto de la falla y detección actual; y seguidamente se reúne al equipo de trabajo para verificar las acciones recomendadas y responsables. Una vez completada la Matriz AMEF, el equipo de trabajo realiza la votación respectiva, siguiendo la escala presentada en la tabla N° 5, para obtener el Número de prioridad de riesgo, que justamente permite priorizar, las entradas y acciones potencialmente críticas en el proceso.

A continuación la Matriz AMEF, presentada para este Trabajo Especial de Grado en la figura N° 28, donde previamente se ha dispuesto la información ordenada en formas descendiente, según el Número de Prioridad de Riesgo:

Nº	Etapa del Proceso	Entrada al proceso	Modo de Falla	Efecto de Falla	S E V	Causa de la falla	O C	Controles Actuales	D E T	R P N	Acciones Recomendadas	Resp.
	¿Cuál es la etapa del proceso?	¿Cuál es la entrada?	¿Cómo puede fallar esta entrada?	¿Cuál es el Efecto de la falla en las salidas (Y's)?	¿Cuán malo es?	¿Cuáles son las causas raíces del modo de falla?	¿Con qué Frecuencia?	¿Cómo se detecta la causa ó previene el modo de falla actualmente?	¿Cuán bueno es?		¿Qué se puede hacer?	¿Quién es el responsable de la acción?
1	Proponer rangos de temperatura de operación para el horno de curado	Influencia de la temperatura en otras variables de operación	Temperatura en horno de secado superior a lo establecido e el Estándar de Proceso	Sobrecurado del producto	7	Secado excesivo del producto a lo largo de toda la línea de producción de lija	6	Observación continua del operador	6	252	Aumentar la velocidad de operación del TAM	Operador
2	Determinar los nuevos rangos de variación de velocidad en el proceso de fabricación de lija	Condiciones de operación de producción abrasivos	Velocidad de operación del TAM superior a lo establecido en el Estándar de Proceso	Desprendimiento del mineral abrasivo	9	Recorrido acelerado del producto con mineral recién adherido	5	Observación continua del operador	4	180	Disminuir la Velocidad de Operación	Operador
3	Proponer rangos de operación para la frecuencia de adhesión del mineral abrasivo	Influencia de la frecuencia en otras variables de operación	Frecuencia de adhesión de mineral inferior a lo establecido en Estándar de proceso	Distribución irregular del mineral abrasivo (Operativamente conocido como costillas de perro)	9	Fallas en la frecuencia de adhesión del mineral	8	Observación continua del operador	2	144	Aumentar la velocidad de la banda transportadora de mineral	Operador
4	Proponer rangos de temperatura de operación para el horno de curado	Influencia de la temperatura en otras variables de operación	Temperatura del horno de secado inferior a lo establecido en Estándar de Proceso	La láminas de producto se adhieren entre sí cuando se realiza el bobinado en jumbos	10	Bajo curado del producto	2	Observación continua del operador	6	120	Rechazo del Producto	Operador, Inspector de Calidad e Ing. de Producto
5	Proponer rangos de velocidad de operación para la banda que transporta el mineral abrasivo	Influencia de la Velocidad de la banda transportadora de mineral en otras variables de operación	Velocidad de la banda transportadora de mineral superior a lo establecido en el Estándar de Proceso	Peso del mineral mayor al especificado en Estandar del Proceso	5	Exceso de mineral abrasivo en contacto con el papel y el adhesivo aplicado	4	Prueba primaria de Control de Calidad donde se evalúa el peso del mineral en los primeros metros de corrida del producto	3	60	Aumentar la velocidad de operación del TAM	Operador
6	Determinar los nuevos rangos de variación de velocidad en el proceso de fabricación de lija	Condiciones de operación de producción abrasivos	Velocidad de operación del TAM superior a lo establecido en el Estándar de Proceso	Capacidad de desbaste del producto menor a lo establecido en Estándar de Proceso	9	Adhesión insuficiente del mineral abrasivo	4	Prueba Primaria de Control de Calidad Test Shieffer Cut en los primeros metros de corrida del producto	1	36	Aumentar la velocidad de la banda transportadora de mineral	Operador

Figura N° .28. Matriz de Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF)

Ubertool, herramienta de DMAIC para llevar proyectos Seis sigma en 3M Manufacturera

Nº	Etapa del Proceso	Entrada al proceso	Modo de Falla	Efecto de Falla	S E V	Causa de la falla	O C	Controles Actuales	D E T	R P N	Acciones Recomendadas	Resp.
	¿Cuál es la etapa del proceso?	¿Cuál es la entrada?	¿Cómo puede fallar esta entrada?	¿Cuál es el Efecto de la falla en las salidas (Y's)?	¿Cuán malo es?	¿Cuáles son las causas raíces del modo de falla?	¿Con qué Frecuencia?	¿Cómo se detecta la causa ó previene el modo de falla actualmente?	¿Cuán bueno es?		¿Qué se puede hacer?	¿Quién es el responsable de la acción?
7	Proponer rangos de temperatura de operación para el horno de curado	Influencia de la temperatura en otras variables de operación	Temperatura del horno de secado inferior a lo establecido en Estándar de Proceso	Capacidad de desbaste del producto menor a lo establecido en Estándar de Proceso	9	Desprendimiento del mineral abrasivo a causa del mas secado del adhesivo size	4	Prueba Primaria de Control de Calidad Test Shieffer Cut en los primeros metros de corrida del producto	1	36	Disminuir la velocidad de operación del TAM	Operador
8	Proponer rangos de operación para la frecuencia de adhesión del mineral abrasivo	Influencia de la frecuencia en otras variables de operación	Frecuencia de adhesión de mineral superior a lo establecido en el Estándar de Proceso	Capacidad de desbaste del producto menor a lo establecido en Estándar de Proceso	9	Poca adhesión de mineral	4	Prueba Primaria de Control de Calidad Test Shieffer Cut en los primeros metros de corrida del producto	1	36	Disminuir la Velocidad de Operación	Operador
9	Proponer rangos de velocidad de operación para la banda que transporta el mineral abrasivo	Influencia de la Velocidad de la banda transportadora de mineral en otras variables de operación	Velocidad de la banda transportadora de mineral inferior a lo establecido en Estándar de Proceso	Capacidad de desbaste del producto menor a lo establecido en Estándar de Proceso	9	Poca adhesión de mineral	4	Prueba primaria de Control de Calidad: Test de shieffer cut en los primero metros de corrida del producto	1	36	Disminuir la velocidad de operación del TAM	Operador
10	Determinar los nuevos rangos de variación de velocidad en el proceso de fabricación de lija.	Condiciones de operación de producción abrasivos	Velocidad de operación del TAM superior a lo establecido en el Estándar de Proceso	Peso de Mineral menor al especificado	5	Contacto insuficiente entre el mineral y el papel	4	Prueba primaria de Control de Calidad donde se evalua el Peso del mineral en los primeros metros de corrida del producción	1	20	Aumentar la velocidad de la banda transportadora de mineral	Operador
11	Determinar los nuevos rangos de variación de velocidad en el proceso de fabricación de lija.	Condiciones de operación de producción abrasivos	Velocidad de operación del TAM inferior a lo establecido en el Estándar de Proceso	Peso mineral mayor al especificado	5	Adhesión excesiva del mineral abrasivo al papel con adhesivo aplicado	4	Prueba primaria de Control de Calidad donde se evalua el Peso del mineral en los primeros metros de corrida del producto	1	20	Disminución de la velocidad de operación de la banda transportadora de mineral	Operador
12	Proponer rangos de temperatura de operación para el Horno del TAM	Influencia de la temperatura en otras variables de operación	Temperatura del horno de secado inferior a lo establecido en Estándar de Proceso	Peso del mineral especificado en el Estandar de Procesos	5	Poco secado del adhesivo de recubrimiento del mineral (size), causando desprendimiento del mineral	4	Prueba primaria de Control de Calidad donde se evalua el peso del mineral en los primeros metros de corrida del producto	1	20	Disminuir la velocidad de operación del TAM	Operador

Figura N° .28. Matriz de Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF) (Continuación)

Ubertool, herramienta de DMAIC para llevar proyectos Seis sigma en 3M Manufacturera

Nº	Etapa del Proceso	Entrada al proceso	Modo de Falla	Efecto de Falla	S E V	Causa de la falla	O C	Controles Actuales	D E T	R P N	Acciones Recomendadas	Resp.
	¿Cuál es la etapa del proceso?	¿Cuál es la entrada?	¿Cómo puede fallar esta entrada?	¿Cuál es el Efecto de la falla en las salidas (Y's)?	¿Cuán malo es?	¿Cuáles son las causas raíces del modo de falla?	¿Con qué Frecuencia?	¿Cómo se detecta la causa ó previene el modo de falla actualmente?	¿Cuán bueno es?		¿Qué se puede hacer?	¿Quién es el responsable de la acción?
13	Proponer rangos de operación para la frecuencia de adhesión del mineral abrasivo	Influencia de la frecuencia en otras variables de operación	Frecuencia de adhesión de mineral Mayor a lo establecido en el Estándar de Proceso	Peso de mineral Menor al especificado	5	Poca capacidad de levante y adhesión del mineral abrasivo	4	Prueba primaria de Control de Calidad donde se evalúa el peso del mineral en los primeros metros de corrida del producto	1	20	Disminuir la velocidad de operación de la máquina	Operador
14	Proponer rangos de operación para la frecuencia de adhesión del mineral abrasivo	Influencia de la frecuencia en otras variables de operación	Frecuencia de adhesión de mineral Inferior a lo establecido en Estándar de proceso	Peso de Mineral mayor al especificado	5	Excesiva elevación del mineral abrasivo	3	Prueba primaria de Control de Calidad donde se evalúa el peso del mineral en los primeros metros de corrida del producto	1	15	Aumentar la velocidad de la banda transportadora de mineral	Operador
15	Proponer rangos de velocidad de operación para la banda que transporta el mineral abrasivo	Influencia de la Velocidad de la banda transportadora de mineral en otras variables de operación	Velocidad de la banda transportadora de mineral inferior a lo establecido en Estándar de Proceso	Peso del mineral menor al especificado en el Estándar de Procesos	5	Poco mineral dispuesto en a banda transportadora	3	Prueba primaria de control de calida donde se evalúa el peso del mineral abrasivo en los primeros metros de corrida del producto	1	15	Disminuir la velocidad de operación del TAM	Operador
16	Proponer rangos de temperatura de operación para el Horno del TAM	Influencia de la temperatura en otras variables de operación	Temperatura en horno de secado Superior a lo establecido en el Estándar de Proceso	Brillo del producto (Reflectancia) superior a lo especificado en el Estándar de Proceso	3	Secado excesivo del Adhesivo Size, generando una capa de menor espesor del adhesivo de recubrimiento.	3	Prueba primaria de control de calidad donde se evalúa la Reflectancia del producto en los primeros metros de corrida del producto	1	9	Aumentar la velocidad de Operación del TAM	Operador
17	Proponer rangos de temperatura de operación para el Horno del TAM	Influencia de la temperatura en otras variables de operación	Temperatura del horno de secado inferior a lo establecido en Estándar de Proceso	Brillo del producto (Reflacracia) menor a lo especificado en el Estándar de Proceso	3	Última capa de adhesivo gruesa	3	Prueba de control de calidad donde se evalúa la Reflectancia en los primeros metros de corrida el producto	1	9	Disminuir la velocidad de operación del TAM	Operador

Figura N° .28. Matriz de Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF) (Continuación)  
 Ubertool, herramienta de DMAIC para llevar proyectos Seis sigma en 3M Manufacturera

Si bien, en Marco Teórico se indicó que al completar la Matriz AMEF se debe colocar el nombre y apellido de las personas responsables; esto es información confidencial de la empresa, por ello, se coloca el cargo de la persona responsable para efectos de este Trabajo Especial de Grado.

Se procede a ordenar la información del AMEF de forma descendiente según el número de prioridad de riesgo; seguidamente se analiza el diagrama de Pareto que se muestra en la figura N° 29, a continuación:

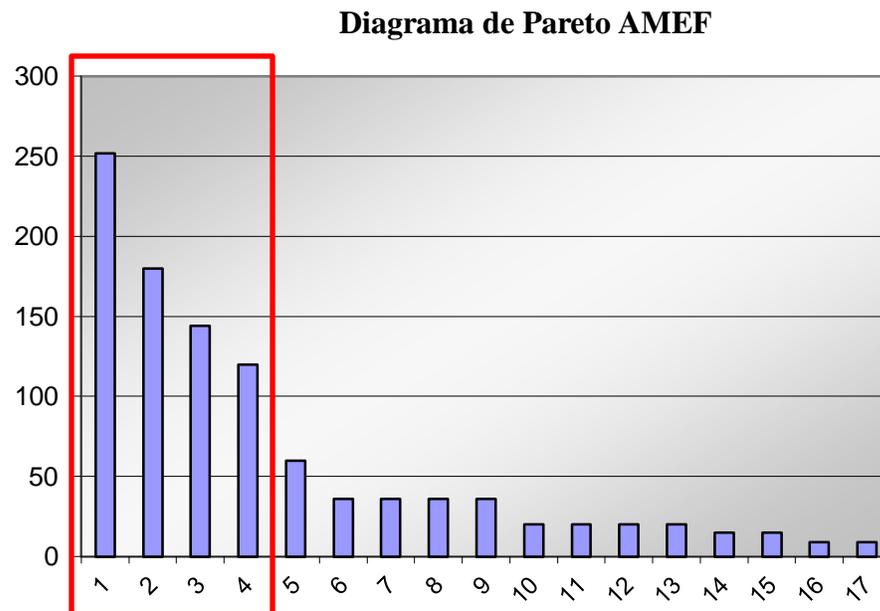


Figura N° .29. Diagrama de Pareto para el AMEF

Ubertool, herramienta de DMAIC para llevar proyectos Seis sigma en 3M Manufacturera

El Diagrama de Pareto presentado en la figura N° 29, permite a través del índice de prioridad de riesgo, reconocer que entradas son más vulnerables a fallas. Para el análisis de modo y efecto de falla, se toma como prioridad, a los cuatro Números de Prioridad de Riesgo más altos, que representan el 23,5% de las entradas consideradas en el AMEF.

Este 23,5 % de las entradas con sus respectivas fallas asociadas, se analiza en detalle durante el proceso de validación y en el proceso de fabricación de lija permanentemente.

Completando el AMEF, se da por culminada la fase de “Análisis” de DMAIC.

#### **IV.5 VALIDACIÓN DE LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN MEDIANTE LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LA LIJA WETORDRY.**

Para validar las condiciones de operación propuestas previamente, se evaluó la calidad de la Lija Wetordry que se produce bajo estas nuevas condiciones de operación; siendo fundamental el conocimiento de los métodos de análisis para evaluar la calidad del producto (presentados en los APÉNDICES A, B y C), cantidad de muestras requeridas y cantidad de producto que se valida con las muestras tomadas.

Tal como se indica en los métodos de análisis, en la actualidad se toman 4 muestras por jumbo para verificar la calidad de la lija que sale al mercado (2 al inicio y 2 al finalizar el jumbo). A estas muestras, se procede a analizarle la capacidad de desgaste (Shieffer), pesos de los adhesivos y peso del mineral, además del control visual que se realiza permanentemente. En este sentido, se tienen 4 valores para cada método de análisis para verificar la calidad de un jumbo de Lija Wetordry.

No todos los jumbos bobinan la misma cantidad de producto, específicamente cuando se trata de Lija Wetordry de diversos granos; los jumbos de lija de grano grueso bobinan menos cantidad de material, debido a que las partículas de mineral abrasivo son más grandes y hacen que el producto sea de mayor espesor, siendo todo lo contrario para la lija de grano fino. A continuación, la tabla N° 19, donde se muestra la cantidad de producto que bobina un jumbo a máxima capacidad para cada grano en estudio:

Tabla N° 19. Capacidad Máxima de jumbos de Lija Wetordry según el tipo de grano

Lija Wetordry	m <sup>2</sup> por jumbo
G-1200	12400
G-220	7500
G-80	3000

El análisis de 4 muestras es representativo y valida la cantidad de  $m^2$  que se presenta en la tabla N° 19, así lo establece el Estándar de Proceso de fabricación de Lija Wetordry.

Para verificar la calidad del producto con las nuevas condiciones de operación propuestas, se debía aumentar la toma de muestras, validando la concordancia entre los resultados de las mediciones sucesivas, efectuadas bajo las mismas condiciones de muestreo y de análisis.

Sin embargo, no es rentable y por lo que a conveniencia del Departamento se dispone de la materia prima que requiere la elaboración de un jumbo, para la validación de las condiciones de operación y calidad del producto. Es por ello que a conveniencia, el Departamento de Planificación, aprueba la materia prima necesaria, para la realización de  $2800m^2$ , de cada tipo de Lija Wetordry en estudio (G-1200, G220 y G-80), lo cual, resulta bastante representativo para la producción; sin embargo es justificable, ya que, al cuantificar un incremento del 15% en la productividad de la principal línea de manufactura de 3M Venezuela, se estima beneficios económicos tangibles.

Se dispone, de  $1400m^2$  para la validación de las condiciones de operación asociadas a un incremento de la velocidad de operación, y  $1400m^2$  para validar un descenso de la misma variable.

Para validar las condiciones de operación y la calidad del producto se procede a:

.-Realizar la disposición de la materia prima en la línea de producción (Ensarte de papel base, tinta de impresión, preparación de adhesivos y disposición de mineral abrasivo correspondiente)

.-Se enciente la máquina y se efectúa el ajuste de las condiciones de operación propuestas.

.-Se inicia la corrida de  $700 m^2$ , en los cuales se toma un total de 6 muestras (2 al inicio, 2 intermedias y 2 al finalizar los  $700 m^2$ )

.- Se realiza la parada de la máquina.

.-Nuevamente se enciende la máquina y se efectúa el ajuste de las condiciones de operación propuestas.

.- Se realiza la corrida de los restantes 700 m<sup>2</sup> disponibles para el análisis. De igual forma se toma un total de 6 muestras (2 al inicio, 2 intermedias y 2 al finalizar los 700 m<sup>2</sup>).

.- Se realiza la parada de la máquina.

NOTA 1: Se realiza la corrida de los 1400 m<sup>2</sup> dividida en dos partes, para validar la puesta en marcha de la máquina y ajuste de las nuevas condiciones de operación.

NOTA 2: Se realiza el análisis en *caliente* del Shieffer, pesos de los adhesivos y del mineral. Pasadas 24 horas se realiza el análisis del Shieffer en *frío*, para la verificación de la calidad del producto.

De esta forma, se obtienen 12 valores para verificar la calidad de la lija 1400m<sup>2</sup> de lija. Estos 12 valores fueron tomados a conveniencia y se recogen en pares (para verificar la calidad de la lija en cada extremo del jumbo). Teniendo 12 valores asociados a un incremento de la velocidad de operación del TAM y 12 valores asociados a un descenso de la misma.

Se disponen de 1400m<sup>2</sup> de producto para ser analizados y se sabe que el jumbo de lija tiene 1,4m de ancho; es decir, se dispone de 1000m lineales para tomar 6 pares de muestras. Esto indica que cada aproximadamente 166m, se toma un par de muestras para analizar la calidad del producto.

Adicionalmente, se sabe que el recorrido del producto (desde el debobinado del papel base de la lija hasta el bobinado del producto en el *Winder*) es de 165m, y sí, se está tomando un par de muestras cada 166m, se puede decir, que “*se analiza el producto un par de veces cada vez que se cumple un ciclo en la línea de producción*”.

En la tabla N° 20, se presentan las especificaciones que debe cumplir la lija para ser aprobada por Control de Calidad:

Tabla N° 20. Especificaciones de Calidad de la Lija Wetordry.

Especificación de la Lija Wetordry	Shieffer Cut ( $S \pm 0,01\text{gr}$ )		Peso Make ( $Pm \pm 0,01\text{Grains}$ )		Peso Size ( $Ps \pm 0,01\text{Grains}$ )		Peso de Mineral ( $PM \pm 0,01\text{Grains}$ )		Reflectancia ( $\% \pm 0,01\%$ )	
	Mínima (caliente)	Mínima (frío)	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima
G-1200	0,46	0,55	0,30	1,20	2,60	4,00	5,00	6,00	1,00	4,00
G-220	1,25	1,65	0,60	1,80	11,00	14,00	19,50	20,90	0,50	2,50
G-80	1,90	1,96	8,00	11,00	16,00	19,00	56,00	60,00	0,30	2,00

A continuación, se presentan los resultados obtenidos una vez se realiza el muestreo y el análisis de Control de Calidad, a la Lija Wetordry elaborada bajo las condiciones de operación propuesta; en cada gráfico se ubican 12 valores asociados a un aumento de 15% de la velocidad de operación y 12 valores asociados a un descenso de esta misma variable. La información se presenta de acuerdo al grano que conforma la Lija:

- ◆ Para Lija Wetordry G-1200:

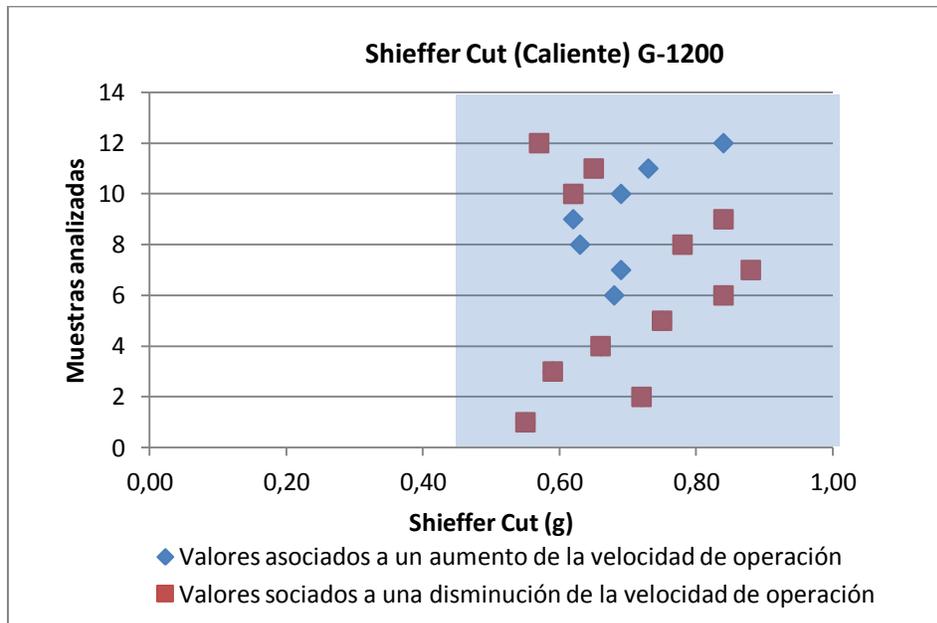


Figura N° .30. Resultados de Shieffer Cut (caliente) para Lija Wetordry G-1200.

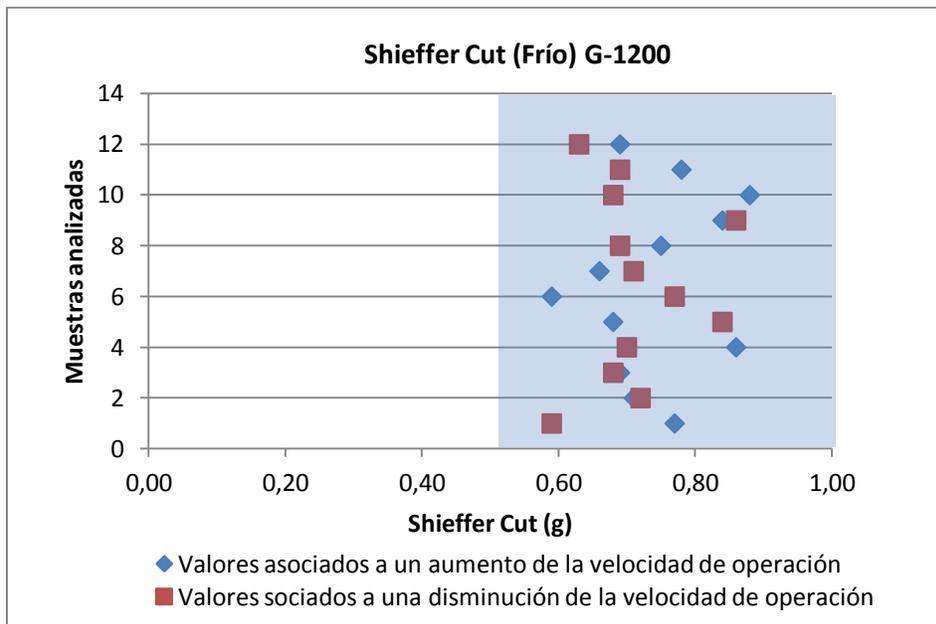


Figura N° .31. Resultados de Shieffer Cut (frío) para Lija Wetordry G-1200.

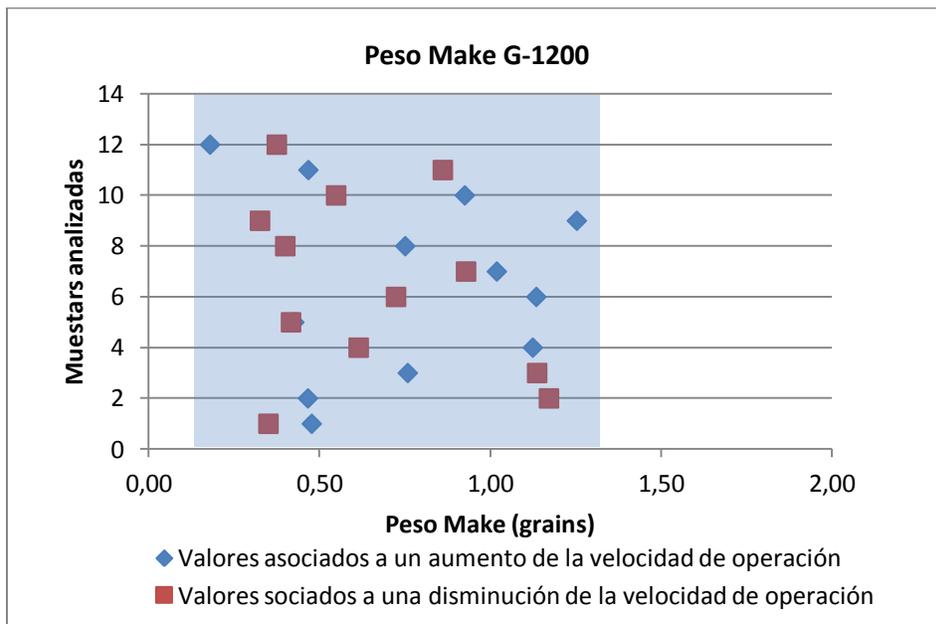


Figura N° .33. Resultados del Peso Make para Lija Wetordry G-1200.

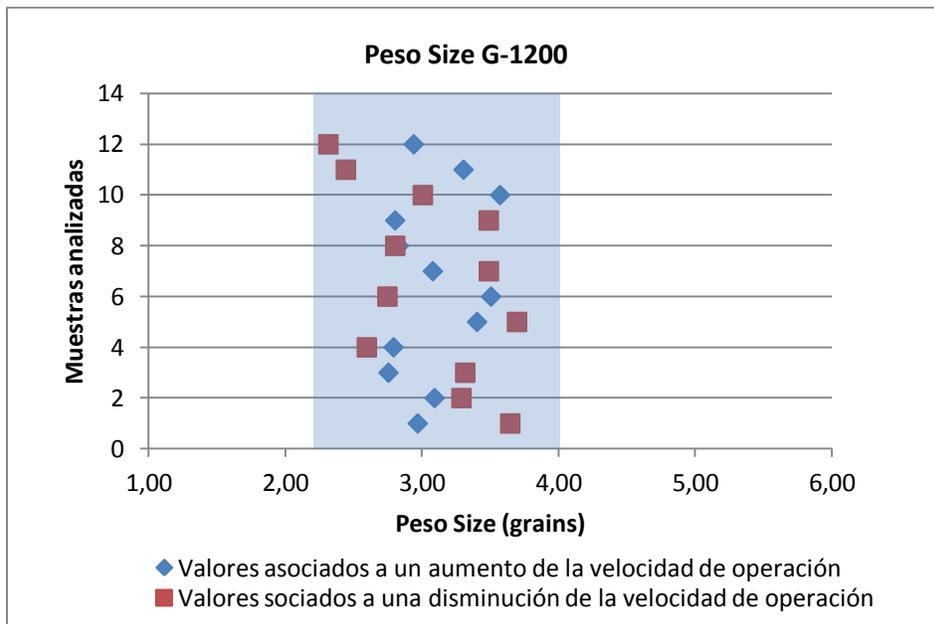


Figura N° .33. Resultados del Peso Size para Lija Wetordry G-1200.

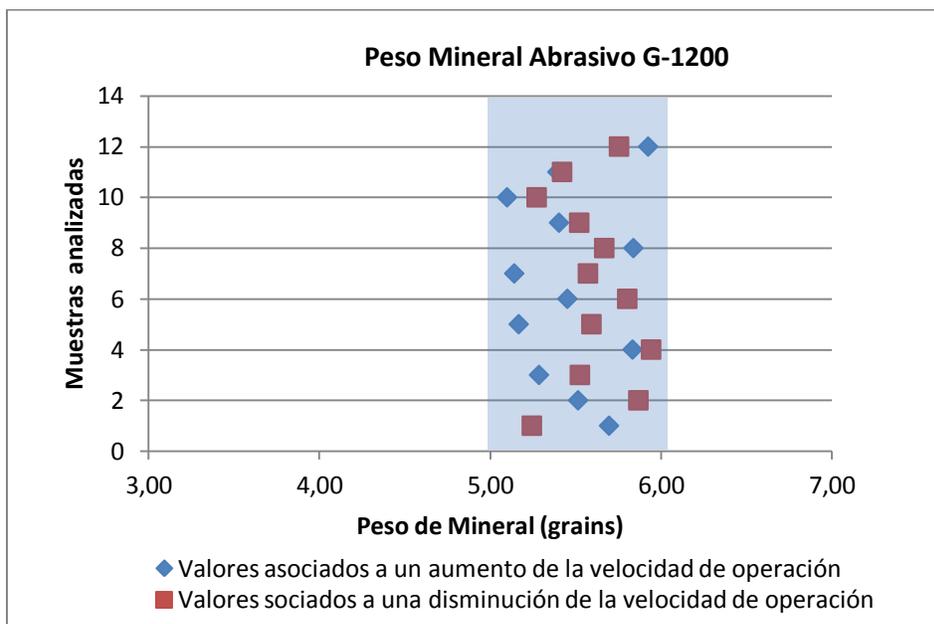


Figura N° .34. Resultados de Mineral Abrasivo para Lija Wetordry G-1200

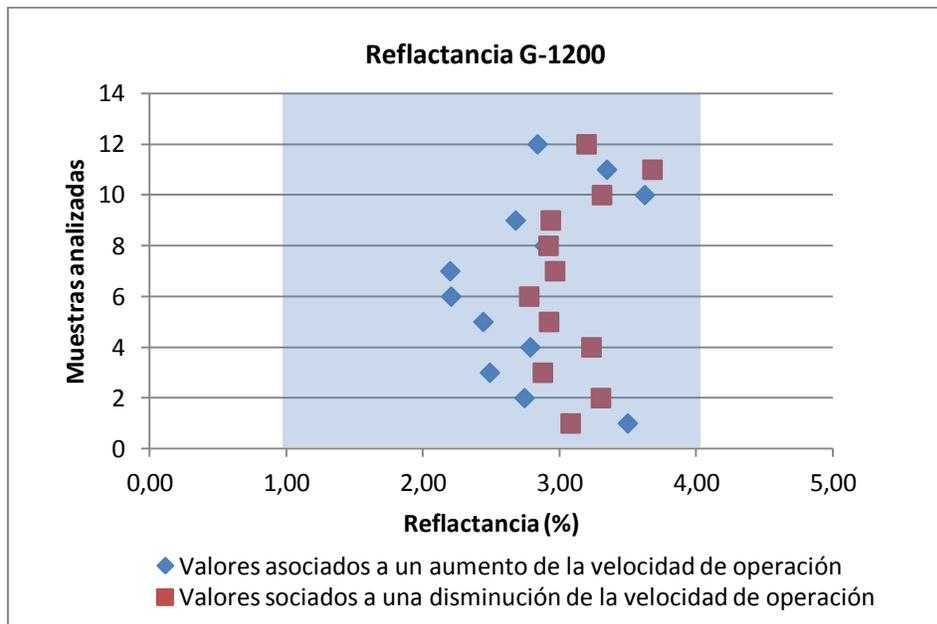


Figura N° .35. Resultados de Reflectancia para Lija Wetordry G-1200

◆ Para Lija Wetordry G-220

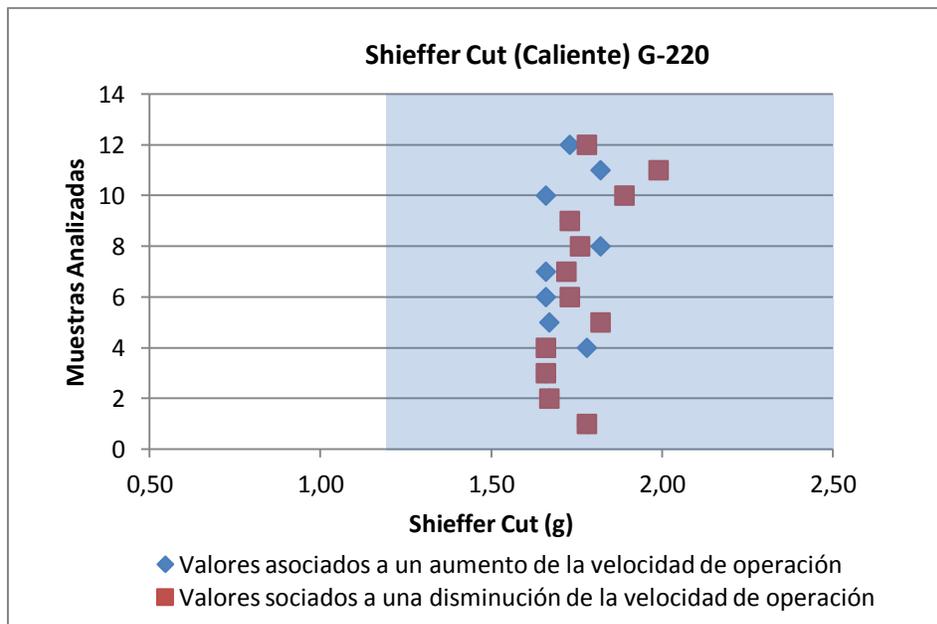


Figura N° .36. Resultados de Shieffer Cut (caliente) para Lija Wetordry G-220.

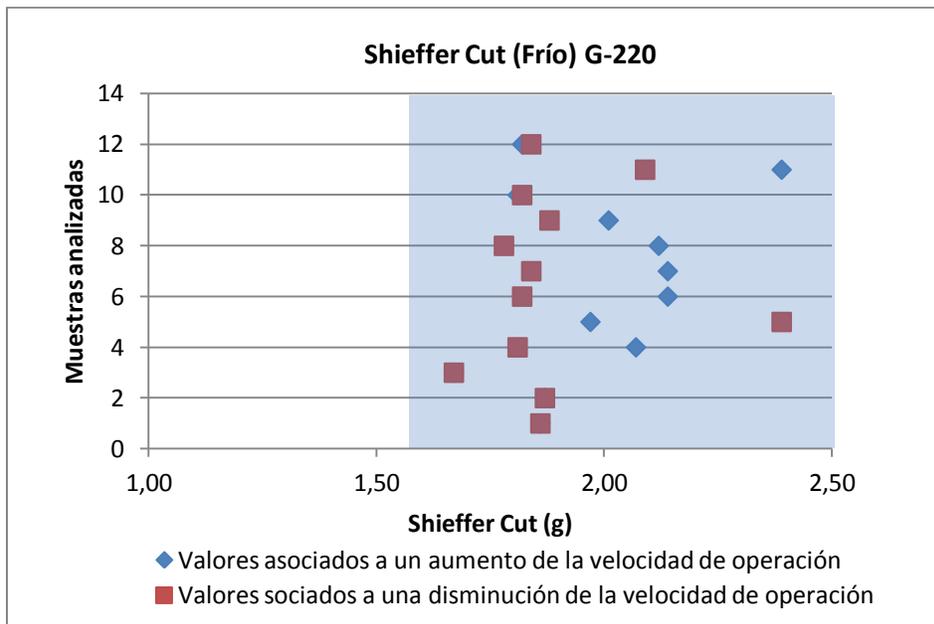


Figura N° .37. Resultados de Shieffer Cut (frío) para Lija Wetordry G-220

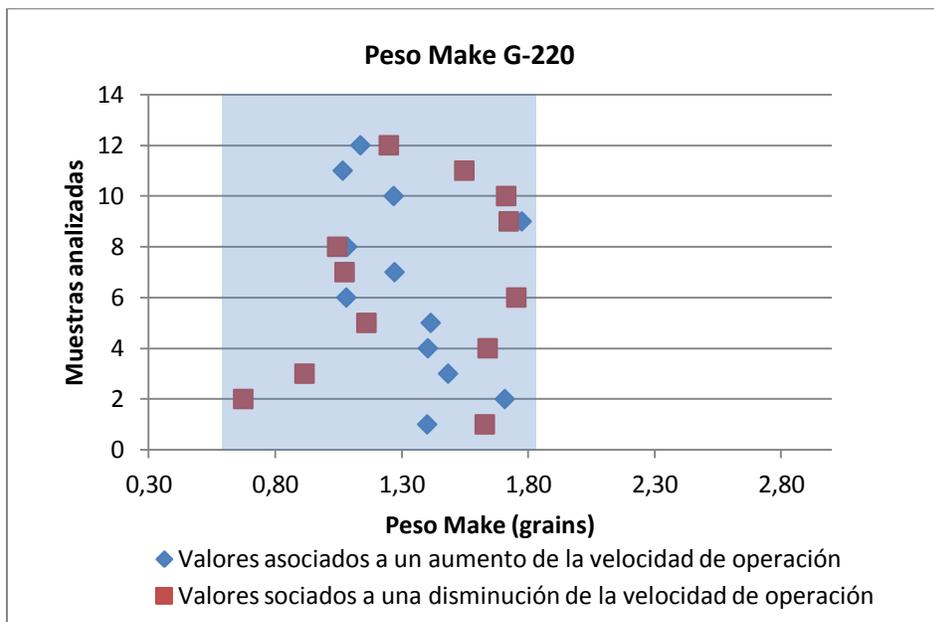


Figura N° .38. Resultados del Peso Make para Lija Wetordry G-220.

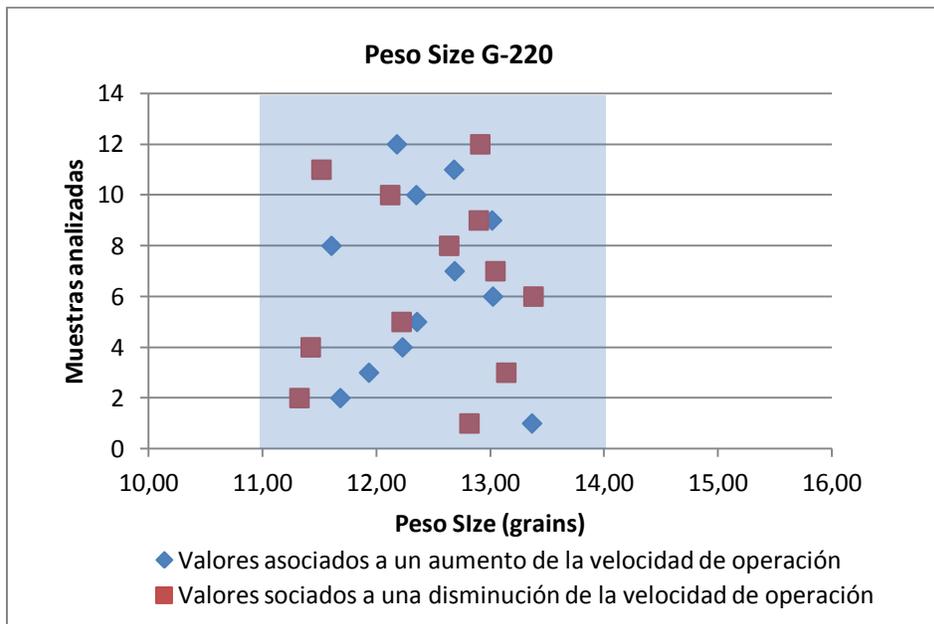


Figura N° .39. Resultados del Peso Size para Lija Wetordry G-220.

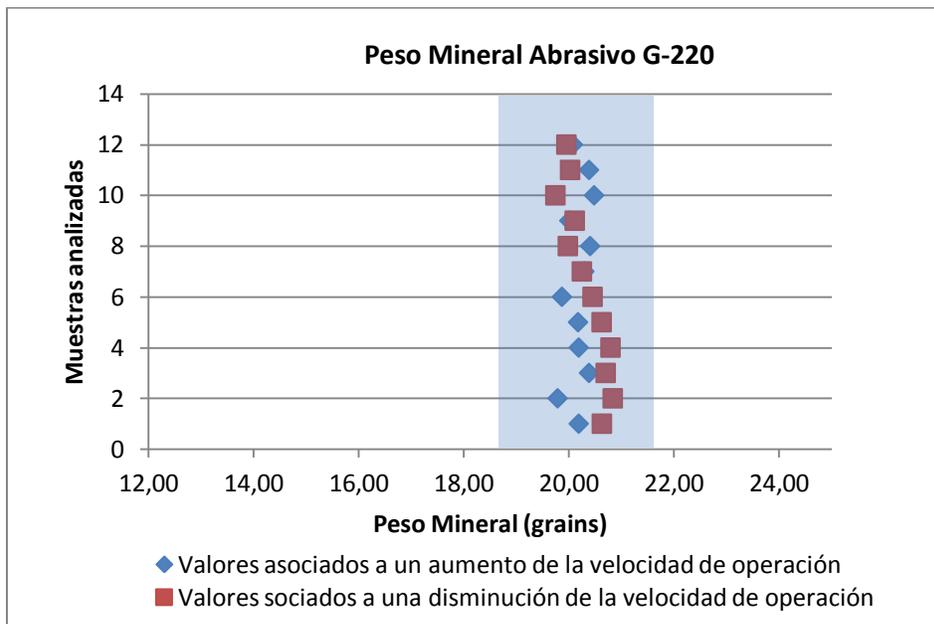


Figura N° .40. Resultados del Peso de Mineral Abrasivo para Lija Wetordry G-220.

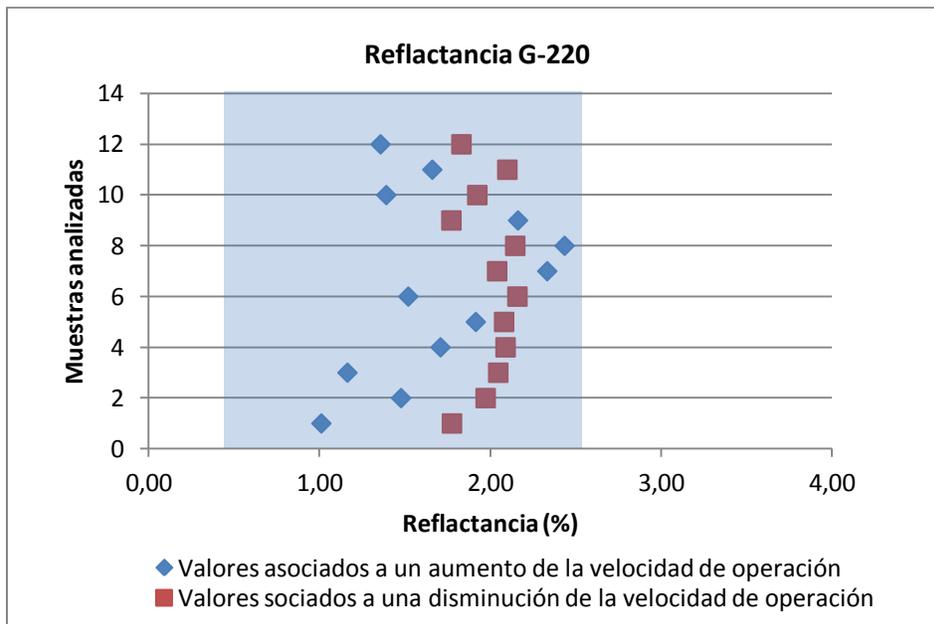


Figura N° .41. Resultados de Reflectancia para Lija Wetordry G-220.

◆ Para Lija Wetordry G-80:

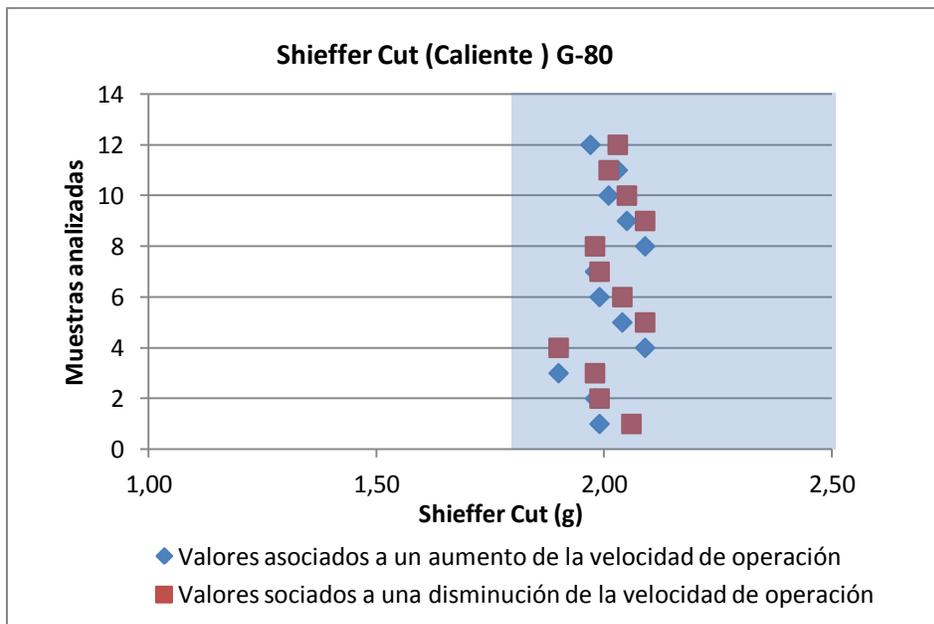


Figura N° .42. Resultados de Shieffer Cut (caliente) para Lija Wetordry G-80.

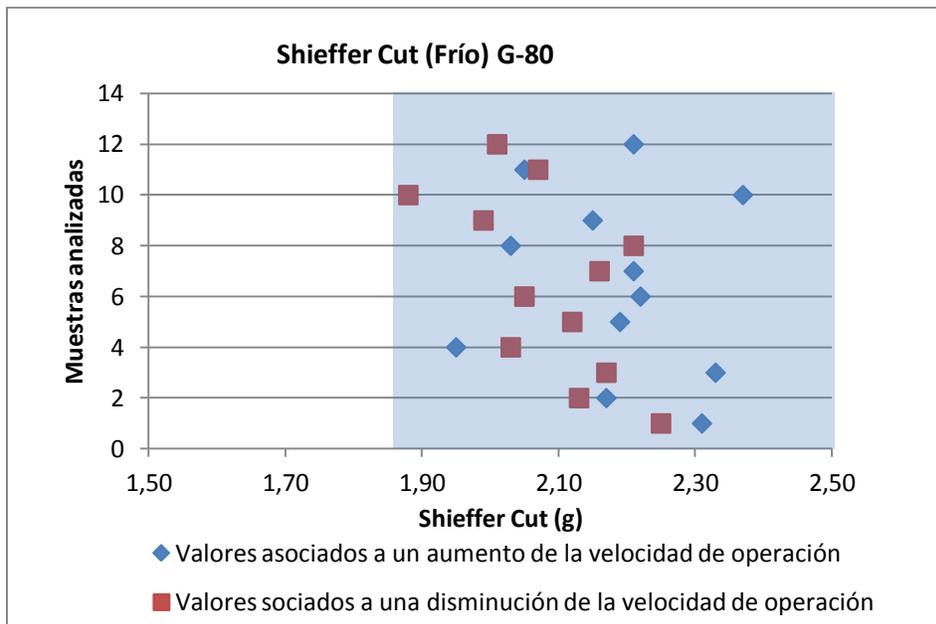


Figura N° .43. Resultados de Shieffer Cut (frío) para Lija Wetordry G-80.

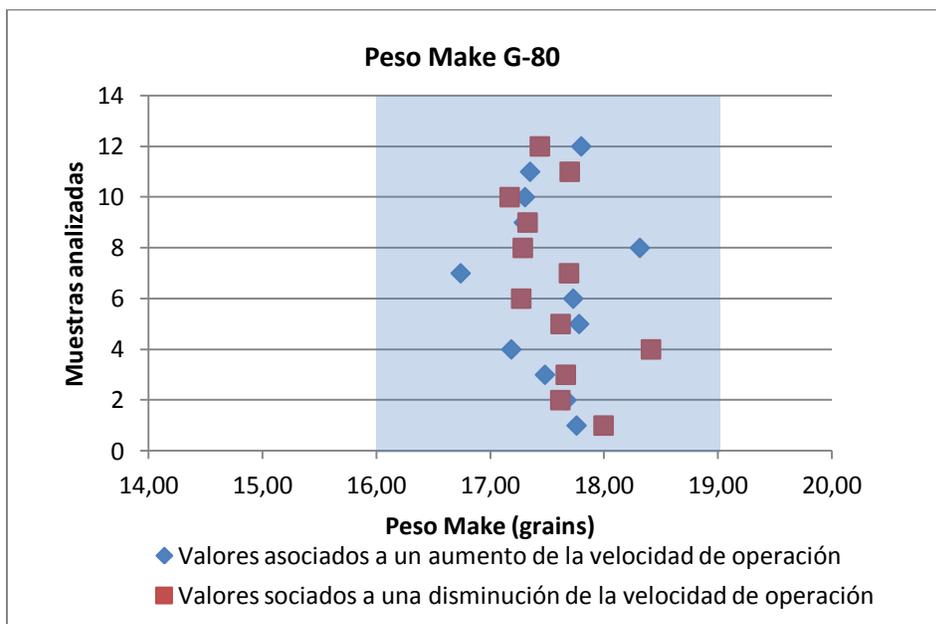


Figura N° .44. Resultados del Peso Make para Lija Wetordry G-80.

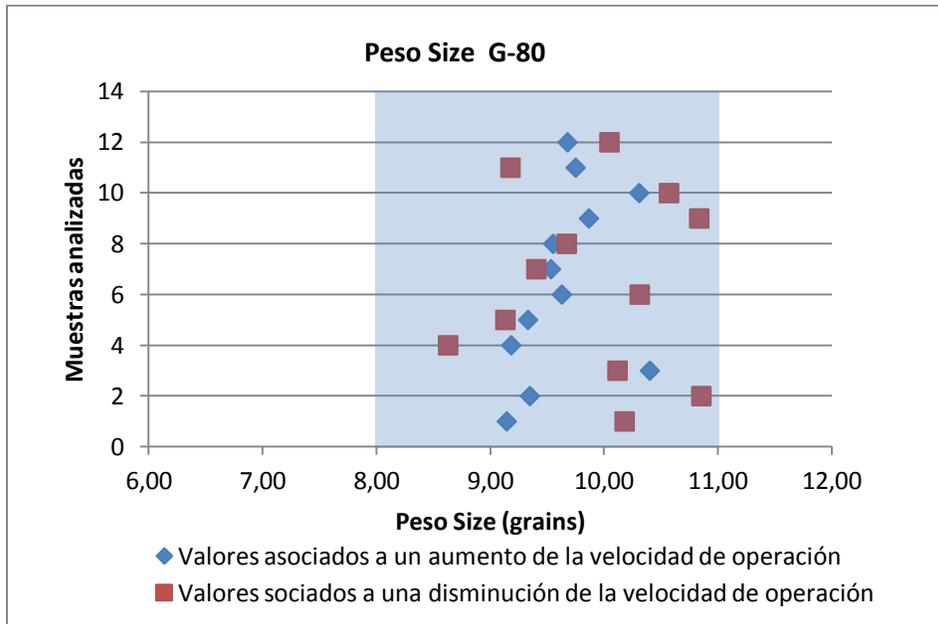


Figura N° .45. Resultados del Peso Size para Lija Wetordry G-80.

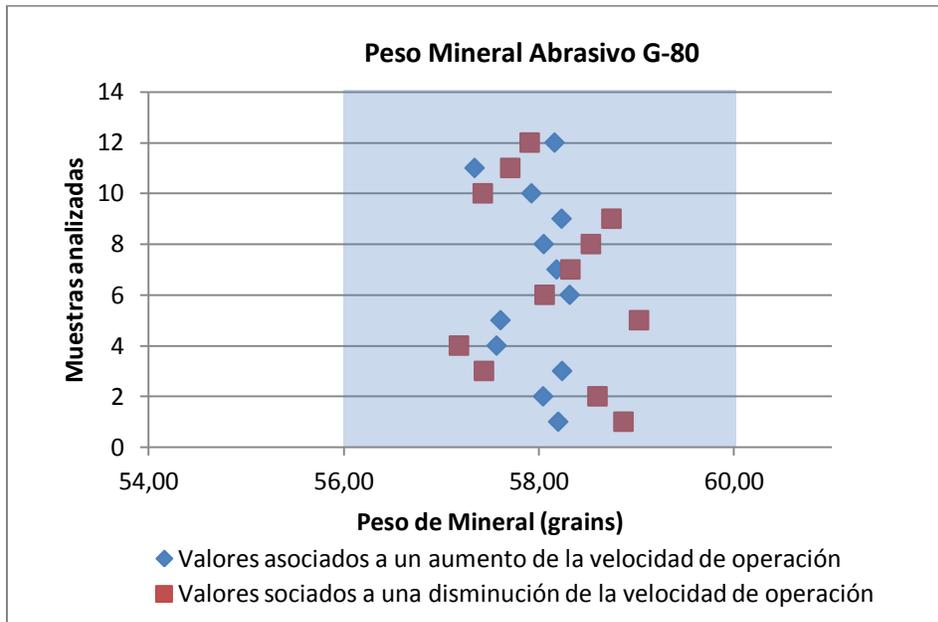


Figura N° .46. Resultados del Peso de Mineral Abrasivo para Lija Wetordry G-80.

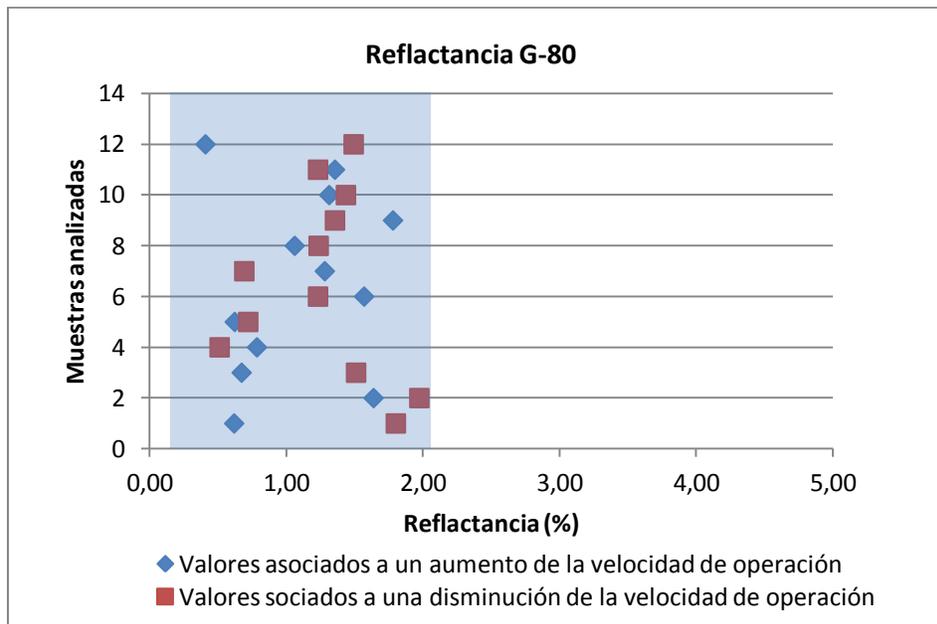


Figura N° .47. Resultados de Reflectancia para Lija Wetordry G-80.

Como se puede observar en cada una de las gráficas, los resultados de las muestras analizadas se encuentran dentro de las especificaciones que exhibe la tabla N° 22, lo que indica, que el producto cumple con las especificaciones de calidad para salir al mercado.

Cabe destacar, que la prueba crítica de control de calidad es el Shieffer Cut; en este sentido (como bien se indica en el APÉNDICE A), se realiza esta prueba tanto “en caliente”, referida al análisis de la muestra una vez sale de la línea de producción, y “en frío”, esta prueba se realiza al menos 24 horas después que la muestra sale de la línea de producción, esto es, para verificar que la lija siga cumpliendo con la agresividad necesaria para ser aprobada por el Departamento de Calidad.

Verificar las condiciones de calidad, viene directamente asociado a la validación de las condiciones de operación propuestas en este Trabajo Especial de Grado. Así mismo, del trabajo se desprenden cada una de las ecuaciones que describen el comportamiento de la temperatura del horno de curado, velocidad de la banda transportadora de mineral y frecuencia de adhesión de mineral, en función de la velocidad de operación del TAM.

En este sentido, se dejan expresadas cada una de las ecuaciones que rigen el comportamiento de las variables de operación, y los nuevos valores de las condiciones de operación que aseguran la calidad de la Lija Wetordry 3M:

◆ Lija Wetordry Grano 1200:

$$T_{\text{Horno}} = 0,062 \text{ } ^\circ\text{C min/m} * V_{\text{TAM}} + 164,08 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \text{Ec. 6.1}$$

$$V_{\text{Mineral}} = 0,002 * V_{\text{TAM}}^2 - 0,1227 * V_{\text{TAM}} + 2,158 \text{ m/min} \quad \text{Ec. 7.1}$$

$$f = -0,0786 \text{ Hz (min/m)}^2 * V_{\text{TAM}}^2 + 3,2586 \text{ Hz (min/m)} * V_{\text{TAM}} - 10,5 \text{ Hz} \quad \text{Ec. 8.1}$$

◆ Lija Wetordry Grano 220:

$$T_{\text{Horno}} = 0,0629 \text{ } ^\circ\text{C min/m} * V_{\text{TAM}} + 164,08 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \text{Ec. 6.2}$$

$$V_{\text{Mineral}} = 0,0013 * V_{\text{TAM}}^2 - 0,0819 * V_{\text{TAM}} + 1,6634 \text{ m/min} \quad \text{Ec. 7.2}$$

$$f = 0,3177 \text{ Hz (min/m)}^2 * V_{\text{TAM}}^2 - 20,651 \text{ Hz (min/m)} * V_{\text{TAM}} + 349,5 \text{ Hz} \quad \text{Ec. 8.2}$$

◆ Lija Wetordry Grano 80:

$$T_{\text{Horno}} = 0,5 \text{ } ^\circ\text{C min/m} * V_{\text{TAM}} + 152,17 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \text{Ec. 6.3}$$

$$V_{\text{Mineral}} = 0,0049 * V_{\text{TAM}}^2 - 0,2592 * V_{\text{TAM}} + 4,0263 \text{ m/min} \quad \text{Ec. 7.3}$$

$$f = 2,3336 \text{ Hz (min/m)}^2 * V_{\text{TAM}}^2 - 128,55 \text{ Hz (min/m)} * V_{\text{TAM}} + 1777,8 \text{ Hz} \quad \text{Ec. 8.3}$$

Tabla N° 21. Nuevas condiciones de operación asegurando la calidad del producto.

Lija Wetordry	Velocidad de operación del TAM (Voperación ± 1 m/min)		Temperatura del Horno de Curado (T±0,01°C)		Velocidad de la banda transportadora de Mineral (Vbanda±0,0001m/min)		Frecuencia para la adhesión de Mineral (f±0,01Hz)	
	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima	Máxima	Mínima
G-1200	27	37	165,75	166,37	0,3031	0,3561	20,18	2,46
G-220	27	36	165,78	166,34	0,3998	0,3998	23,53	17,8
G-80	23	31	163,67	167,67	0,7000	0,7000	55,62	35,34

En la tabla N° 21 se presentan las condiciones de operación y se muestra especial interés, en las condiciones de operación asociadas a las velocidades de operación máximas para cada grano, ya que implica, un aumento de la productividad de la línea en un 15%, lo cual trae beneficios financieros a la compañía.

Una vez cumplida la fase de Validación, se dan por cumplidos cada uno de los objetivos específicos planteados, y con ellos, el Objetivo General de este Trabajo Especial de Grado.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este capítulo se presentan las conclusiones y recomendaciones establecidas por los resultados obtenidos.

#### V.1 CONCLUSIONES

Al reemplazar el sistema de transmisión discontinuado del proceso de fabricación de Lija Wetordry, se desarrollan las nuevas condiciones de operación de esta línea, orientadas al mejoramiento continuo y al aseguramiento de la calidad del producto mediante análisis de modo y efecto de fallas. Con el AMEF, se logra identificar las fallas potenciales que pueden presentar el proceso y el producto con el reemplazo del sistema de transmisión, y así establecer controles que permitan detectar la falla antes de que ocurra, o en su defecto, tener acciones correctivas que permitan mantener la calidad del producto.

En este sentido el Análisis de Modo y Efecto de Falla, deja establecido como deben manipularse cada una de las variables de operación, en busca de asegurar la calidad del producto; para ello, se abordan cada una de las Etapas de DMAIC, como herramienta de Calidad de Seis Sigma.

- Se delimita el espacio físico a estudiar; siendo el TAM (Tunnel Abrasive Maker), la línea de producción que requieren el desarrollo de nuevas condiciones de operación, estimando un aumento de la productividad de la línea, directamente relacionado con la velocidad de operación.
- Se levanta la información necesaria que permite identificar el proceso de fabricación y características de la Lija Wetordry, midiendo las variables actuales del proceso y con ello, se determinan las entradas que son potencialmente críticas para mantener la Calidad y aumentar la

Productividad de la línea, que viene directamente relacionada con la velocidad de operación del TAM.

- Siendo la velocidad de operación la variable Matriz del proceso, se propone trabajar a  $\pm 15\%$  de la velocidad de operación actual; en busca de mitigar la reducción de la jordanada laboral y verificar la calidad del producto con un aumento y disminución de la velocidad del TAM. La Etapa Analizar de DMAIC, permite encontrar ecuaciones que se ajustan al comportamiento de las variables, ya que se levantan con valores que tienen validez estadística.
- Las ecuaciones planteadas, se construyen utilizando la media de valores recolectados en los registros de producción. Estos valores, presentan una distribución normal, por lo cual, resulta válido estadísticamente describirlos con la media de la distribución. En este sentido, se dejan propuestas las condiciones de operación asociadas a un incremento y disminución de la velocidad de operación, haciendo uso de las ecuaciones planteadas.
- Se identifican las posibles fallas de las entradas potencialmente críticas en el proceso, dejando acciones recomendadas en la Matriz de Análisis de Modo y Efecto de Falla, directamente relacionadas con cada una de las variables de operación en estudio. El AMEF, resulta ser un documento de referencia para recomendar acciones que reduzcan el riesgo de fallas, o bien, detectarlas, y tener acciones correctivas que permitan mantener la calidad del producto en fabricación.
- La evaluación de control de calidad de la Lija, certifica las condiciones de operación propuestas, donde se busca Implementar y Controlar las condiciones y ecuaciones propuestas en este Trabajo Especial de Grado. Se verifica la obtención del producto, bajo las especificaciones de calidad que establece el Estándar del Proceso de Fabricación de Lija 3M. En este sentido, se tiene Lija Wetordry G-1200, G-220 y G-80, con valores de Shieffer Cut, Peso de adhesivos, Peso de mineral abrasivo y Reflectancia,

dentro de las especificaciones requeridas, que permiten la aprobación del producto por el Departamento de Control de Calidad. Así, se verifica las condiciones de operación propuestas, y reafirma la validez de las ecuaciones, que representan el comportamiento de las variables de operación.

- Desarrollar este Trabajo Especial de Grado, cumpliendo cada una de las fases de la Herramienta DMAIC de la Metodología Seis Sigma, permite asegurar la calidad del producto mientras se implementan mejoras al proceso. DMAIC, resulta una herramienta útil, para lograr mantener la satisfacción del cliente en la mejora y diseño de procesos productivos.

## V.2 RECOMENDACIONES

Una vez concluido este Trabajo Especial de Grado, se proponen las siguientes recomendaciones, en busca de promover mejoras continuas en los procesos productivos, especialmente de Producción y Conversión de Abrasivos:

- Realizar un plan de control para las condiciones de operación propuesta, que permita comprobar su validez, asegurando la calidad del producto, transcurridos seis meses de la implementación. Siendo entonces, después de seis meses de registro, que se recomienda actualizar es Estándar del Proceso con las nuevas condiciones de Operación del TAM.
- Completar el estudio para demás tipos de Lija Wetordry. Si bien, se realizó el estudio para la Lija compuesta por los granos abrasivos de mayor demanda en el mercado (G-1200, G-220 y G-80), es conveniente propagar el estudio a los demás tipo de Lija que 3M saca al mercado local.
- Dadas las condiciones del mercado y el aumento continuo de la demanda del producto, se propone realizar el estudio para un incremento del 30% de la velocidad de operación, acentuando el aumento de la productividad de la línea de fabricación de productos abrasivos.
- Realizar un estudio AMEF en el área de Conversión de Abrasivos, asociado a un incremento en la conversión de Lija Wetordry. Es fundamental, evitar los “Cuello de Botella” en las áreas productivas, es por ello, que una vez aumentada la productividad del TAM, resulta conveniente aumentar la productividad del área de Conversión de Abrasivos, para mantener el flujo continuo del producto desde la disposición de la materia prima hasta su presentación final.

## BIBLIOGRAFÍA

- ◆ Arias, F (1999). *El proyecto de Investigación*. Guía para su Elaboración. Caracas, Venezuela.
- ◆ Dávila, L (2010). *Evaluación de la confiabilidad de sistema “Oil Gear” en Producción Abrasivos*. Ubertool, herramienta de DMAIC de Seis sigma para 3M Manufacturera. Valencia, Venezuela.
- ◆ Johndany S (2006). *ISO9001.Normas ISO. Sistema ISO*. [Documento WWW] URL [http://www.liderazgoymercadeo.com/liderazgo\\_tema.asp?id=122#](http://www.liderazgoymercadeo.com/liderazgo_tema.asp?id=122#)
- ◆ Lerner, A (2007). *Calidad: TQM y Seis sigma .Una revisión comparada sobre prácticas de mejoramiento continuo en el ámbito de la gestión empresarial*. Caracas, Venezuela.
- ◆ Ley Orgánica del Trabajo (LOT). *Gaceta Oficial Extraordinaria N° 6.076*. Venezuela, 7 de mayo de 2012.
- ◆ López, G (2012). *Metodología Six-Sigma: Calidad Industrial*. Investigación del Instituto de Ingeniería. UABC.
- ◆ Organización Internacional del Normalización (ISO 9001:2008). *Sistema de Gestión de Calidad-Requisitos*. Cuarta edición. Ginebra Suiza. 2008-11-15.
- ◆ Rivas, I (1995). *Técnicas de Documentación Investigación I*. UNA. Caracas, Venezuela.
- ◆ Rojas F & Ruiz A. (2009). *“Introducción a 6 sigma, nivel 6”*. Universidad pontificia. Madrid: Comillas
- ◆ Sabino, C (1993). *Introducción a la Metodología de la Investigación*. Caracas Venezuela.
- ◆ Tamayo, M. (2001). *El Proceso de Investigación Científica*. México: Grupo Noriega.
- ◆ Vasquez, B. (1995) *Wetordry Paper de 3M Venezuela*. Laboratorio de Abrasivos.

- ◆ Vieytes S. M (2011). *La Calidad y las Normas ISO*. Consultora Internacional: Infolizer.
- ◆ Villamizar, D (2011). *Propuesta de mejora en redistribución en el área de conversión tape con el fin de reducir los recorridos y el tiempo de desarrollo de los productos*. 3M Manufacturera. Valencia, Venezuela.
- ◆ 3M Calidad (2011). *Manual de Laboratorio de Control de Calidad*. Aseguramiento de Calidad. Valencia, Venezuela.
- ◆ 3M Estándar de Proceso de Abrasivos (2013). *Proceso de Fabricación de 3M Lija Wetordry*. Ingeniería de Producto. Valencia, Venezuela.
- ◆ 3M (2013) España. *Claves Económicas*. [Documento WWW]. URL [http://solutions.productos3m.es/wps/portal/3M/es\\_ES/about-3M/information/corporate/responsibility/economic/](http://solutions.productos3m.es/wps/portal/3M/es_ES/about-3M/information/corporate/responsibility/economic/)
- ◆ 3M Líder en Innovación (2013) *100 años después de su creación*. [Documento WWW] URL <http://egkafati.bligoo.com/content/view/179793/3M-el-lider-de-la-innovacion-100-anos-despues-de-su-creacion.html#.URfr3PJsuWE>.
- ◆ 3M Venezuela Green Belts Training (2007). *Análisis de Modo y Efectos de Fallas (AMEF/FMEA)*. Lean Seis Sigma. Metodología DMAIC para Green Belts. 3M Manufacturera, Venezuela.
- ◆ 3M Venezuela (2013). *Historia: 100 años de Innovación*. [Documento WWW]. URL [http://solutions.3m.com.ve/wps/portal/3M/es\\_VE/about-3M/information/more-info/history](http://solutions.3m.com.ve/wps/portal/3M/es_VE/about-3M/information/more-info/history).