

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

**PROPUESTA Y APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS PARA LA
MEJORA DE LA CALIDAD EN EL PROCESO PRODUCTIVO EN
UNA PLANTA MANUFACTURERA DE PULPA Y PAPEL TISÚ**

Tesis para optar el Título de Ingeniero Industrial, que presenta el bachiller:

Tommy Alejandro Yep Leung

ASESOR: Fernando E. Ormachea Freyre

Lima, abril de 2011

Resumen

El presente trabajo se desarrolla a partir de la situación actual en una empresa del rubro de manufactura de productos higiénicos a base de papel. Este caso de estudio comprende específicamente el proceso de producción de productos higiénicos enrollados a base de papel, dividida a su vez en dos sub-procesos principales, que son: la elaboración de bobinas de papel base y su conversión en producto final empaquetado listo para ser distribuido.

Los análisis realizados se centraron principalmente en las carencias identificadas en el área de calidad como área de soporte a las áreas productivas, tomando como base las diferentes técnicas generales empleadas en las funciones de control, aseguramiento y mejora de la calidad de los procesos y sus productos; las cuales, a su vez, se propusieron como alternativas de mejora al proceso.

Estas bases técnicas utilizadas fueron: control estadístico de procesos mediante cartas de control de variables, control estadístico de procesos mediante cartas de control de atributos; determinación, análisis y mejora de procesos mediante la aplicación de índices de capacidad de procesos; control de calidad de salida del producto final mediante planes de muestreo de aceptación por atributos simple y doble (ISO 2859) a partir de un AQL dado; y verificación de sistemas de medición mediante diseño de experimentos.

Los principales resultados estimados a partir de esta mejora indican una reducción considerable en la cantidad promedio de productos defectuosos, así como una mejor calidad media de salida del producto final. En términos económicos, se estima como resultado un ahorro que asciende los 274 mil nuevos soles a la semana.

ÍNDICE

Introducción.....	1
CAPÍTULO 1: Marco teórico	3
1.1. Generalidades	3
1.1.1. Dimensiones de la Calidad	3
1.1.2. Ingeniería de la calidad.....	4
1.1.3. Métodos estadísticos para el control y mejora de la calidad	5
1.2. El Control Estadístico de Procesos.....	5
1.2.1. Causas naturales y atribuibles de variación	5
1.2.2. Implementación del control estadístico de proceso	6
1.3. Gráficas de control	6
1.3.1. Gráfica de control de Variables	10
1.3.2. Gráfica de control de Atributos	11
1.3.3. Criterios para definir el proceso fuera de control estadístico.....	13
1.4. Capacidad de proceso	15
1.4.1. Índice de capacidad de procesos (C_p)	15
1.4.2. Índice de capacidad de procesos (C_{pm})	16
1.5. Muestreo de aceptación.....	16
1.5.1. Algunas definiciones	17
1.5.2. Formulación de planes de muestreo por Tablas MIL-STD-105E	18
1.6. Estudio de R&R del sistema de medición.....	19
1.6.1. Definiciones.....	19
1.6.2. Método de análisis de varianza (ANOVA).....	20
CAPÍTULO 2: La Empresa.....	22
2.1. Introducción	22
2.2. Descripción de la organización de la Planta.....	22
2.3. Descripción del sistema de producción de papel	24

2.3.1.	Manufactura de pulpa y rollo duro	24
2.3.2.	Conversión de rollo duro en producto terminado	28
2.3.3.	Procesos de Soporte	30
CAPÍTULO 3: El área de Aseguramiento de la Calidad		31
3.1.	Laboratorio de Calidad – Manufactura.....	33
3.1.1.	Inspección de bobinas.....	33
3.1.2.	Inspección visual en línea	36
3.1.3.	Método estándar de inspección – Manufactura.....	37
3.1.4.	Disposición de productos no conformes	38
3.2.	Laboratorio de Calidad – Conversión	39
3.2.1.	Inspección de producto terminado	40
3.2.2.	Inspección visual en línea	42
3.2.3.	Método estándar de inspección – Conversión.....	44
3.2.4.	Disposición de productos no conformes	45
3.3.	Indicadores de desempeño.....	46
3.4.	Diagnóstico de la situación del área de Calidad.....	48
3.4.1.	El diagnóstico	48
3.4.2.	El control del proceso	49
3.4.3.	Registro de inspección en línea.....	50
3.4.4.	Plan de muestreo para el control de calidad	50
3.4.5.	Estudio de tiempos.....	52
3.4.6.	Herramientas de mejoramiento de la Calidad	56
3.4.7.	Indicadores de desempeño	57
3.4.8.	Capacidad del proceso	58
CAPÍTULO 4: Planificación y diseño de alternativas de mejora.....		59
4.1.	Diagrama de Pareto	59
4.1.1.	Manufactura	59

4.1.2. Conversión	60
4.2. Diseño de gráficos de control.....	64
4.2.1. Manufactura.....	64
4.2.2. Conversión.....	69
4.3. Análisis de reproducibilidad y repetibilidad.....	70
4.4. Diseño de planes de muestreo	74
4.4.1. Muestreo de aceptación por atributos	74
4.5. Diseño de indicadores.....	77
4.5.1. Partes por millón (PPM).....	77
4.5.2. Defectos por millón (DPM).....	78
4.5.3. Análisis de Capacidad del Proceso	78
4.6. Revisión del plan de calidad actual.....	80
CAPÍTULO 5: Aplicación de propuestas de mejora y evaluación de resultados esperados.....	81
5.1. Consideraciones en la implementación	81
5.1.1. Diagramas de Pareto	81
5.1.2. Control de procesos.....	81
5.1.3. Plan de muestreo y reinspección.....	83
5.1.4. Indicadores.....	83
5.2. Evaluación de resultados esperados.....	84
5.2.1. Aplicación de cartas de control de variables en Manufactura	85
5.2.2. Calidad media de salida en Conversión (AOQ)	85
5.2.3. Comparación de la capacidad de proceso	91
5.3. Evaluación económica	91
5.3.1. Costos de implementación estimados.....	91
5.3.2. Ahorro por la implementación de propuestas de mejora.	94
CAPÍTULO 6: Conclusiones y recomendaciones	97

6.1.	Conclusiones	97
6.1.1.	Reducción de tiempo por mantenimiento y ajustes (<i>Delay</i>).....	97
6.1.2.	Reducción de productos no conformes (<i>waste</i>).....	97
6.1.3.	Incremento de la productividad.....	97
6.1.4.	Mejor comunicación del estado del proceso	98
6.2.	Recomendaciones y estudios de extensión	98
6.2.1.	Extensión de las propuestas a todo el proceso productivo.....	98
6.2.2.	Implementación de la Ingeniería de Control de Procesos (EPC)	98
6.2.3.	Consideración de planes de muestreo alternativos	99
6.2.4.	Adopción de filosofías de calidad y estrategias de administración.....	99
6.2.5.	Consideraciones de costos de la calidad	99
6.2.6.	Las computadoras y el control de calidad	100
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	101

Índice de tablas

Tabla 1.1. Valores mínimos recomendados para el índice de capacidad del proceso.	15
Tabla 1.2. Tabla ANOVA.	20
Tabla 1.3. Tabla de evaluación del sistema de medición.	21
Tabla 3.1. Formato de inspección de bobinas Manufactura	34
Tabla 3.2. Formato de inspección de producto terminado.....	41
Tabla 3.3. Evaluación de escenarios Inspección en línea	53
Tabla 3.4. Evaluación de escenarios Inspección en laboratorio Conversión	54
Tabla 4.1. Valoración de defectos	61
Tabla 4.2. <i>Lotes de inspección</i> nivel II – inspección simple	75
Tabla 4.3. <i>Lotes de inspección</i> nivel II – inspección doble	75
Tabla 4.4. Planes de muestreo. AQL de 2.5% e inspección normal. Nivel II - simple	76
Tabla 4.5. Planes de muestreo. AQL de 2.5% e inspección rigurosa. Nivel II - simple	76
Tabla 4.7. Planes de muestreo. AQL de 2.5% e inspección normal. Nivel II - doble	76
Tabla 4.8. Planes de muestreo. AQL de 2.5% e inspección rigurosa. Nivel II - doble	77
Tabla 4.9. Planes de muestreo. AQL de 2.5% e inspección reducida. Nivel II - doble	77
Tabla 5.1. Comparación entre la situación actual y mejorada.....	91
Tabla 5.2. Ahorro por plan de muestreo propuesto	96

Índice de figuras

Figura 1.1. Mejora de procesos utilizando cartas de control	7
Figura 1.2. Pruebas para causas atribuibles carta I-RM.....	14
Figura 1.3. Pruebas para causas atribuibles carta u.....	14
Figura 2.1. Organigrama de la Gerencia de Planta	23
Figura 2.2: Diagrama de Operaciones Manufactura	25
Figura 2.3. Diagrama de Operaciones Conversión	29
Figura 3.1. Organigrama del área de Aseguramiento de la Calidad	32
Figura 3.2. Lado Mando de bobina en <i>Línea 1</i>	37
Figura 3.3. Bosquejo empaque secundario.....	43
Figura 3.4. Ecuación de T_i	47
Figura 3.5. Ecuación de C_i	47
Figura 4.1. Diagrama de Pareto de NC bobina 16g econ. – Línea 1	62
Figura 4.2. Diagrama de Pareto de NC Rollo Económico – línea S65.....	62
Figura 4.3. Diagrama de Pareto de NC valorado bobina 16g econ. – Línea 1	63
Figura 4.4. Diagrama de Pareto de NC valorado Rollo Económico – línea S65.....	63
Figura 4.5. Prueba de Normalidad AD Bobina 16g Econ. Punto b – línea 1.....	65
Figura 4.6. Prueba de Normalidad AD Bobina 16g Econ. Resistencia CDH – línea 1	66
Figura 4.7. Gráficos de control Bobina 16g Econ. Punto b – línea 1.....	66
Figura 4.8. Gráficos de control Bobina 16g Econ. Resistencia CDH – línea 1	67
Figura 4.9. Gráfico de control C Bobina 16g Econ. – línea 1.....	69
Figura 4.10. Gráfico de control u rollos. PLUS 30MT CL – Línea F1	71
Figura 4.11. Gráfico de control u paquetes. PLUS 30MT CL – Línea F1	71
Figura 4.12. Reporte de análisis de Gage R&R Bobina 16g Econ. b – línea 1.....	73
Figura 5.1. Aplicación de cartas de las cartas de control a datos reales en CDH - Línea 1	86

Figura 5.2. Aplicación de las cartas de control a datos reales en punto b – Línea 1 86

Figura 5.3. Curva AOQ plan de muestreo actual 88

Figura 5.4. Curva ATI plan de muestreo actual..... 88

Figura 5.5. Curva AOQ plan de muestreo propuesto – muestro simple..... 89

Figura 5.6. Curva AOQ plan de muestreo propuesto – muestreo doble 89

Figura 5.7. Curva ATI comparativo para rollos..... 90

Figura 5.8. Curva AOQ comparativo para rollos 90



Introducción

La industria de pulpa de celulosa y papel es una de las más complejas debido al gran costo que implica mantener la sostenibilidad del negocio y el gran esfuerzo que se necesita para mantener los estándares de calidad del producto final frente a un mercado cada vez más exigente en términos de satisfacción.

El producto final del proceso consta de productos higiénicos a base de papel (higiénicos, toallas, servilletas, paños faciales, etc.) considerados bienes de consumo masivo. De ellos se desprenden muchas características con las cuales los consumidores evalúan su satisfacción al utilizarlos. Por ejemplo, para algunos un papel higiénico de calidad es aquel de gran blancura y suavidad, para otros puede ser un papel de gran resistencia, etc. Sin embargo, el control de estas características requiere de grandes esfuerzos debido a las distintas variaciones que ocurren en el proceso, controlables e inherentes al mismo. Debido a esto, es necesario contar con un plan de calidad adecuadamente estructurado, que establezca bases de actuación, partiendo desde los elementos de control de calidad hasta los de gestión de calidad para poder asegurar la misma calidad de producto al consumidor final, cada vez que lo utilice.

Según Juran (1990), la falta de una buena planificación de la calidad tiene efectos en muchos resultados importantes como¹:

- Pérdida de ventas: La preferencia del público se inclina hacia productos competidores.
- Costos de la mala calidad: Más productos serán devueltos, reprocesados o mermados.
- Amenazas a la sociedad: Sobre todo a la salud porque se trata de productos que tienen un contacto directo con las personas.

A partir de esto, el presente trabajo identificó algunas carencias en el sistema de control de la calidad en el caso de estudio y se definieron propuestas de mejora, enfocándose principalmente en la calidad de los productos higiénicos enrollados.

¹ Juran, J.M. JURAN Y LA PLANIFICACIÓN PARA LA CALIDAD. Cap. 1, pág. 1. Díaz de Santos, Madrid 1990.

Asimismo, el presente trabajo se centra principalmente en el análisis y mejoras a partir de las características del producto. El control a partir de variables de proceso no es un tema abarcado en esta tesis pero que debe ser considerada de manera complementaria. Para ello, se recopilaron todos los datos provenientes de las inspecciones rutinarias, así como los reportes y casos de productos, tanto semielaborados como terminados, fuera de especificación, registrados en la primera mitad del año 2010. El análisis y cálculos estadísticos se realizaron con la ayuda del programa *Minitab 15*.

En el primer capítulo, se presentarán los conceptos sobre los cuales se basa el presente trabajo. Se tratarán temas principalmente relacionados con los sistemas de control de la calidad (control estadístico de procesos, muestreo por aceptación, diseño de experimentos, etc.).

En el segundo capítulo, se presentarán los procesos principales y se identificarán las etapas críticas en las que se originan los diversos problemas de la calidad en el producto final.

En el tercer capítulo, se presentará el plan de calidad actual y las políticas del área encargada en el control de la calidad. Asimismo, se realiza un diagnóstico de la situación actual y se proponen alternativas de mejora preliminares.

En el cuarto capítulo, se desarrollarán propuestas a partir de las oportunidades de mejora identificadas en el diagnóstico anterior, explicando detalladamente la metodología seguida en cada caso y calculados preliminarmente con los datos recopilados en la primera mitad del año 2010.

En el quinto capítulo, se presentan los resultados esperados de la implementación de las propuestas anteriormente descritas, basados en indicadores e impacto económico estimado. En el último capítulo, se concluye la presente tesis con los resultados del estudio realizado sobre el caso elegido, y se presentan recomendaciones para complementarlo.

CAPÍTULO 1: Marco teórico

1.1. Generalidades

Según Juran (1990), la Calidad refiere a la característica o conjunto de características de un producto que cumple con los requerimientos del consumidor y, por tanto, le entrega satisfacción. En este sentido, una calidad más alta se obtiene cuando posee mejor capacidad de satisfacer las necesidades del consumidor; sin embargo, esta calidad superior a su vez implica mayores costos. Por otro lado, el mismo autor menciona que bien puede ser definida como la ausencia de deficiencias, en cuyo caso, se ahorrarían reprocesos y correcciones, lo que implica al final una reducción significativa en costos.

Según la norma internacional ISO 9000:2005, la **Calidad** se define como el grado o medida en el que un conjunto de características inherentes cumple con los requisitos. Estos requisitos son, a su vez, definidos como necesidades o expectativas.

1.1.1. Dimensiones de la Calidad

Garvin (1987) nos presenta las dimensiones de la calidad sobre las que un determinado producto (o servicio) es evaluado. Estas son:

- Desempeño (¿el producto realiza el trabajo esperado?)
- Confiabilidad (¿qué tan frecuente se producen fallas?)
- Durabilidad (¿cuál es su tiempo de duración?)
- Facilidad del servicio (¿qué tan fácil es repararlo?)
- Estética (¿cómo se ve el producto?)
- Propiedades (¿qué cosas hace el producto?)
- Calidad percibida (¿cuál es la reputación del producto o la marca?)
- Conformidad con los estándares (¿es el producto conforme a la intención del diseñador?)

Todas estas dimensiones deben ser evaluadas por una Empresa cuando se comercializa uno de sus productos al mercado.

1.1.2. Ingeniería de la calidad

Montgomery (2001) nos da un concepto más moderno, quien nos define a la Calidad como inversa proporcional a la variabilidad (referida a la variabilidad no deseada). La ingeniería de la calidad es un conjunto de actividades operacionales, administrativas y de ingeniería que una compañía lleva a cabo para asegurar que las características de la calidad de un producto se encuentren en los niveles nominales o requeridos. Muchas organizaciones encuentran muy difícil y caro proveer a sus clientes y consumidores con productos que sean idénticos entre cada uno o que siempre cumplan las expectativas del cliente. La principal causa de esto es la variabilidad. Todos los productos poseen cierta cantidad de variaciones; de hecho, no existe en el mercado dos productos completamente iguales. Si la variación es leve, generalmente no tiene ningún impacto en el cliente; sin embargo, cuando es considerable, el cliente puede percibir dicha diferencia y puede considerarlo como indeseado, inaceptable o generar falsas expectativas en su próximo consumo. Algunas fuentes de esta variabilidad incluyen diferencias en materia prima e insumos, diferencias en el desempeño de los equipos utilizados y diferencias en la manera de operarlos por los operadores.

Es muy común clasificar las características de los productos en **variables** y **atributos**. Los primeros, generalmente son datos continuos, que arrojan un resultado cuantificado producto de una medición de una característica de un producto, por ejemplo, el peso de un rollo de papel higiénico; mientras que los atributos son datos generalmente discretos, que generalmente se analizan mediante el conteo. Para ambos existen métodos y herramientas para controlarlos.

La calidad suele ser evaluada respecto a las especificaciones que da el fabricante. En un proceso de manufactura, las especificaciones son los valores deseados de las características de un producto y sus componentes. La medida que corresponde al valor óptimo de una cierta característica se llama **Valor objetivo** (o *Target*). Estos valores generalmente oscilan entre un rango que son lo suficientemente cercanos al valor objetivo para no afectar la calidad (en cualquiera de sus dimensiones), mientras la característica se encuentre en dicho rango.

1.1.3. Métodos estadísticos para el control y mejora de la calidad

Puesto que la variabilidad puede sólo describirse en términos estadísticos, los métodos estadísticos juegan un importante rol en la mejora de la calidad. En tal sentido, la estadística ha ayudado mucho en la mejora de la calidad. Existen varias áreas en las que la estadística se aplica al control y mejora de la calidad; sin embargo, el presente trabajo se enfocará en tan sólo dos de ellos: el **control estadístico de procesos** (SPC) y el **muestreo por aceptación**.

1.2. El Control Estadístico de Procesos

Si un producto debe cumplir con los requerimientos del cliente o consumidor, generalmente debería ser producido por un proceso estable o repetible, operando bajo una mínima variabilidad alrededor del valor objetivo (*Target*). El **control estadístico de procesos** es un conjunto de herramientas muy útil en lograr la estabilidad del proceso y mejorar su capacidad a través de la reducción de la variabilidad. Sus siete herramientas principales son:

- Histograma
- Hoja de verificación
- Diagrama de Pareto
- Diagrama de Causa-Efecto
- Diagrama de concentración de defectos
- Diagrama de dispersión
- Cartas de Control

1.2.1. Causas naturales y atribuibles de variación

En un proceso, independientemente de cuán bueno se encuentre diseñado o cuidadosamente mantenido, siempre existirá variabilidad inherente al proceso en sí. Esta variabilidad es producida debido a un conjunto de factores, esencialmente inevitables, llamadas frecuentemente causas naturales de un proceso estable. Cuando un proceso se encuentra operando con sólo **causas naturales de variación**, se dice que el proceso se encuentra en control. Otros tipos de variabilidad pueden hacerse presente en el producto del proceso. Este tipo de variabilidad en características claves usualmente se genera a partir de tres fuentes:

- Ajuste o control inadecuado de equipos
- Errores operativos

- Insumos o materia prima defectuosos

Estas fuentes son consideradas **causas atribuibles de variación**. Cuando se presenta variabilidad debido a causas atribuibles, se dice que el proceso se encuentra **fuera de control**.

1.2.2. Implementación del control estadístico de proceso

Los métodos de control estadístico de proceso pueden proveer un retorno significativo a aquellas compañías que lo puedan implementar satisfactoriamente. El objetivo de un programa de SPC basado en la reducción de la variabilidad es la mejora continua. El SPC no es un programa de un período a aplicarse cuando la organización se encuentre en problemas, para luego ser abandonado. La mejora de la calidad enfocada en la reducción de la variabilidad debe ser parte de la cultura de la organización.

Las gráficas de control son importantes herramientas para la mejora de procesos. Los procesos no operan naturalmente en un estado en control, por lo que el uso de gráficas de control es un importante paso que se debe tomar tempranamente en un programa de implementación de SPC para eliminar las causas atribuibles, reducir la variabilidad y estabilizar el desempeño del proceso. Para mejorar la calidad (y la productividad), se debe comenzar por gestionar con datos y hechos reales, y no simplemente apoyarse en juicios. Las gráficas de control son una parte importante en este cambio.

Un programa de SPC exitoso tiene los siguientes elementos:

- Liderazgo gerencial.
- Trabajo en equipo.
- Educación de los colaboradores en todos los niveles.
- Énfasis en la reducción de variabilidad.
- Medición del éxito en términos cuantitativos.
- Un mecanismo para la comunicación de resultados satisfactorios en toda la organización.

1.3. Gráficas de control

Un gráfico de control típico es una representación gráfica de una característica que ha sido medida o calculada a partir de una muestra versus el número muestreado o

el tiempo. El gráfico contiene una línea central que representa el valor promedio de la característica correspondiente al estado estable (con sólo causas naturales de variación). Asimismo posee un límite superior de control (**UCL**) y uno inferior (**LCL**). Estos límites son calculados tal que si el proceso se encuentra en control, casi todos los resultados de las mediciones a las muestras caerán dentro de estos límites. A partir de estas gráficas es posible analizar varios casos de estabilidad, siendo la más común, la presencia de uno o más puntos fuera de este rango de control. Existen otros casos en que, aún cuando todos los puntos se encuentren dentro de estos límites, se puede detectar que el proceso se encuentra fuera de control a partir de algún comportamiento no aleatorio sistemático. Esto se detalla en 1.3.2.

La utilidad más importante en la implementación de gráficos de control es la mejora del proceso. Se ha encontrado que, generalmente:

1. La mayoría de los procesos no operan en estado de control estadístico.
2. Consecuentemente, la utilización de cartas de control de manera frecuente y dedicada ayudará a identificar causas atribuibles de variación. Si estas pueden ser eliminadas del proceso, la variabilidad se reducirá y el proceso mejorará.

Esto se encuentra ilustrado en la figura 1.1.

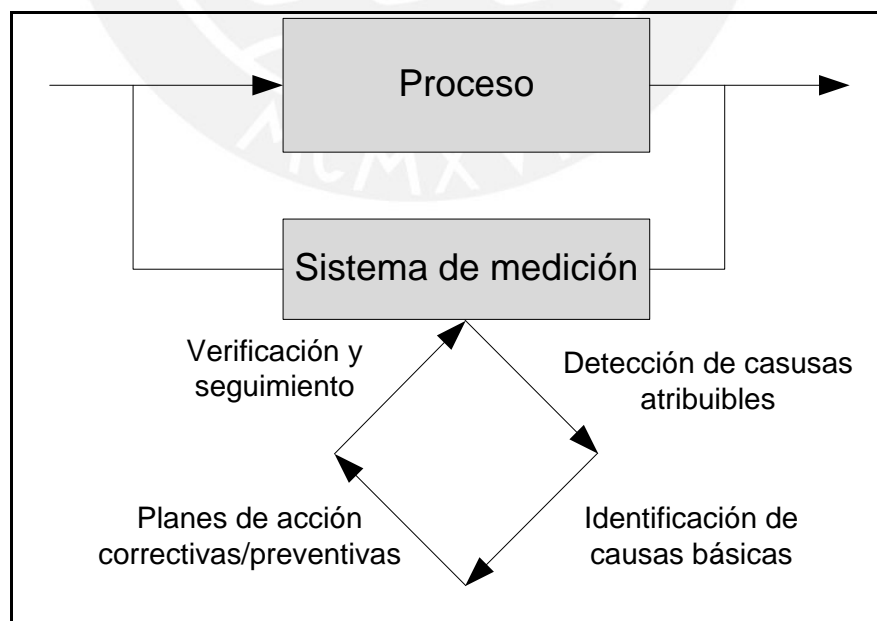


Figura 1.1. Mejora de procesos utilizando cartas de control.

Fuente: Montgomery (2001)

Elaboración propia

Una gráfica de control detectará solamente las causas atribuibles. Esto requerirá de acciones correctivas para su eliminación. Para ello, es importante determinar las causas raíces. Generalmente una acción superficial o cosmética no resultará en ninguna mejora real del proceso y permitirá que se presenten otros problemas relacionados en el futuro. Una adecuada corrección requerirá un plan de acción para condiciones fuera de control (**OCAP** en inglés), el cual incluye una serie de actividades que deben llevarse a cabo luego de suceder una situación fuera de control, detectada en la carta de control.

A partir de las gráficas de control es posible obtener información para la toma de decisiones. Por ejemplo, es posible estimar parámetros como la media, desviación estándar, fracciones disconformes, etc., de los cuales se puede determinar la capacidad del proceso para la producción de unidades que cumplan con las especificaciones dadas. Este estudio provee información muy importante pues a partir de esto la administración puede decidir seguir fabricando o comprar, mejoras en el proceso y la planta en general, y en la redefinición de especificaciones y determinación de acuerdos contractuales con los clientes respecto a la calidad del producto.

Los pasos para la formulación de las gráficas de control son los siguientes²:

- Elegir la característica de la calidad a graficar. Para ello, se deberá considerar:
 - o Elegir como prioridad la característica que más no conformidades ha generado históricamente. El diagrama de Pareto es muy útil en este caso.
 - o Identificar las variables del proceso que contribuyen con la calidad final del producto.
 - o Elegir características que proveerán datos adecuados para identificar y diagnosticar problemas.
 - o Determinar un punto conveniente en el proceso productivo para localizar la gráfica.

² Juran (1999).

- Elegir el tipo de gráfico de control, ya sea de variables o atributos; así como también el tipo específico de gráfico.
- Elegir la línea central y los límites de control (generalmente ubicados a tres veces la desviación estándar, de la línea central, por arriba y por abajo).
- Elegir sub-grupos racionales (4 a 6 elementos). Estos deben ser elegidos de tal manera que si se presenta variabilidad debido a causas atribuibles, la posibilidad de diferencia entre subgrupos sea máxima, mientras que dentro del subgrupo, la diferencia sea mínima.
- Calcular los límites de control y proveer adecuada instrucción a todos para la interpretación y entendimiento de los resultados de la carta de control. El personal de producción debe conocer y estar en capacidad de realizar acciones correctivas cuando las cartas lo indiquen.

Las gráficas de control se clasifican en dos tipos: Gráficas de control de variables y Gráficas de control de atributos.

El procedimiento para todos los tipos de gráficas es el siguiente³:

- Tomar una serie de 20 a 30 observaciones del proceso.
- En la toma de datos, registrar de manera exacta cualquier cambio en el proceso, tales como cambio de operador, insumos, materia prima (cambio de calidad de *furnish* en nuestro caso), equipos, etc.
- Calcular los límites de control de prueba a partir de estos datos.
- Plotear estos datos con los límites de control para determinar si existen puntos fuera de control. En el caso que no haya ninguno fuera de los límites (u otra condición que determine que el proceso se encuentre fuera de control, ver punto 1.3.2.), los límites hallados se podrían fijar para el control del proceso, caso contrario, se deberá identificar las causas atribuibles de los puntos fuera y excluirlo del ploteo. En el caso que hayan muchos puntos, se deberá volver a realizar la toma de datos cuando el proceso se encuentre estable. En el caso que, luego de recalcular los límites de control, se obtengan nuevos puntos fuera de control, se deberá proceder de la misma manera para esos nuevos puntos.

³ Juran (1999)

1.3.1. Gráfica de control de Variables

Se les llama así a las cartas de control para la tendencia central y variabilidad de una característica de la calidad medible y cuantificable en una escala de medición continua. Para el control del valor promedio del proceso, se suele utilizar la carta \bar{x} y R. La variabilidad del proceso se puede monitorear a través de una carta de control $\bar{x} - s$ (desviación del proceso).

Gráfico de control $\bar{x} - R$

Consiste en dos gráficos, el de promedios, para controlar la medida de tendencia central de la variable evaluada, y el de rangos, para medir la dispersión de los datos.

Los límites de control se calculan de la siguiente manera:

- Para cada subgrupo se calcula la media (\bar{x}) y el rango (la diferencia entre el máximo y el mínimo valor observado).
- Se determina el promedio del promedio ($\bar{\bar{x}}$) y el promedio de los rangos.
- Utilizando la convención de fijar los límites de control a tres veces la desviación estándar del valor central, se tiene:

$$\mu \pm 3\sigma_{\bar{x}} = \mu \pm 3\sigma/\sqrt{n}$$

Donde:

μ = la media del proceso

σ = la desviación estándar del proceso

n = el tamaño de cada muestra

Dado que la media y la desviación estándar son parámetros desconocidos, estos se estiman de la siguiente manera:

$$\mu = \bar{\bar{x}}$$

$$\sigma = \frac{\bar{R}}{d_2}$$

Entonces se tiene que los límites de control son:

$$LCS_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} + 3\frac{\bar{R}}{d_2\sqrt{n}}$$

$$LCS_{\bar{R}} = D_4\bar{R}$$

$$LCI_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} - 3\frac{\bar{R}}{d_2\sqrt{n}}$$

$$LCI_{\bar{R}} = D_3\bar{R}$$

En el anexo 13 se muestran los valores que toman las constantes d_2 , D_3 y D_4 .

Gráfico de control $\bar{x} - s$

La desviación estándar de la muestra puede ser monitoreada con la gráfica \bar{x} en lugar de la gráfica de rangos para la medición de la dispersión del proceso. En dichos casos, se calcula la desviación estándar de cada muestra, se obtiene el promedio de las desviaciones estándar y se calculan los límites con las siguientes fórmulas:

$$LCS_s = B_4\bar{s}$$

$$LCI_s = B_3\bar{s}$$

Gráfico de control $I - \overline{MR}$

A veces no es práctico tomar un subgrupo de un proceso. Para ello existe la gráfica para productos individuales. Se debe considerar su uso en las siguientes situaciones:

- No es conveniente o posible obtener más de una medición por muestra, o la repetición de las mediciones diferirán tan sólo por el error de laboratorio.
- La tecnología de prueba e inspección automatizada permite la medición de cada una de las unidades producidas (en este caso, en lo posible considerar gráficos de CUSUM).
- Se dispone de los datos con mucha lentitud.

El cálculo se realiza con las siguientes fórmulas:

$$LCS_{\bar{x}} = \bar{x} + 3\frac{\overline{MR}}{d_2}$$

$$MR_i = |x_i - x_{i-1}|$$

$$LCI_{\bar{x}} = \bar{x} - 3\frac{\overline{MR}}{d_2}$$

$$\overline{MR} = \sum_{i=2}^k \frac{MR_i}{k-1}$$

$$LC = \bar{x}$$

$$LCS_R = D_3\overline{MR}$$

$$LCI_R = D_4\overline{MR}$$

1.3.2. Gráfica de control de Atributos

Las cartas de control por variables requieren mediciones, tales como longitud, peso, resistencia, etc. Por lo que datos no mesurables no pueden utilizarse en dichos gráficos. Las gráficas de control de atributos, por otro lado, pueden utilizarse en

situaciones donde sólo se desea contar el número de no conformidades, tanto en unidades o en la muestra. Existen dos tipos: el análisis del número de unidades no conformes y el de número de conformidades. Para el primero existen los gráficos p y np , basados en la distribución binomial; mientras que para el segundo existen los gráficos c y u , basados en la distribución Poisson. A continuación se describe cada uno

Gráfico de control para fracción no conforme (p)

La variable controlada es el porcentaje o fracción de no conformes en la muestra con respecto a los requerimientos de la calidad (en atributos). Asumiendo un proceso constante, el número de unidades se basa en una distribución binomial. Los límites se calculan de la siguiente manera:

$$LC = \bar{p}$$

$$LCS = \bar{p} + 3\sigma_p$$

$$LCI = \bar{p} - 3\sigma_p$$

$$\sigma_p = \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$$

La carta de control p permite aplicarse cuando el tamaño de muestra puede variar.

Gráfico de control para unidades no conforme (np)

La variable controlada es el número de unidades no conformes. Dado que p es la fracción del número de no conformidades sobre el tamaño de muestra, np es justamente esta cantidad de no conformidades. En este caso, los límites se calculan de la siguiente manera

$$LC = n\bar{p}$$

$$LCS = n\bar{p} + 3\sigma_p$$

$$LCI = n\bar{p} - 3\sigma_p$$

$$\sigma_p = \sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})}$$

Gráfico de control para número de no conformidades (c)

Se utilizan cuando se quiere plotear el número de no conformidades, donde cada unidad de inspección puede tener más de una no conformidad. Los límites de control se calculan de la siguiente manera:

$$LC = \bar{c}$$

$$LCS = \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}}$$

$$LCI = \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}}$$

Sin embargo, esto requiere que la cantidad inspeccionada sea la misma. En caso esta pueda variar, se utiliza el gráfico u.

Gráfico de control para número de no conformidades por unidad de inspección (u)

En el gráfico u se mide la proporción de no conformidades sobre unidad de inspección, por lo que se puede aplicar para inspecciones con diferentes tamaños de muestra, a diferencia de la carta c. Sus límites se calculan de la siguiente manera;

$$LC = \bar{u}$$

$$LCS = \bar{u} + 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}$$

$$LCI = \bar{u} - 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}$$

1.3.3. Criterios para definir el proceso fuera de control estadístico

A menudo se utilizan más de un criterio para definir si un proceso se encuentra en control estadístico o no. Para el caso de esta tesis, se utilizaron todos los criterios que provee el programa *Minitab 15*.

En la figura 1.2. se muestran los criterios para un gráfico I-RM, mientras que en la figura 1.3. se muestran los criterios para un gráfico u. Cualquier incumplimiento con cualquiera de los criterios es detectado por la carta y se considera que el proceso se encuentra fuera de control.

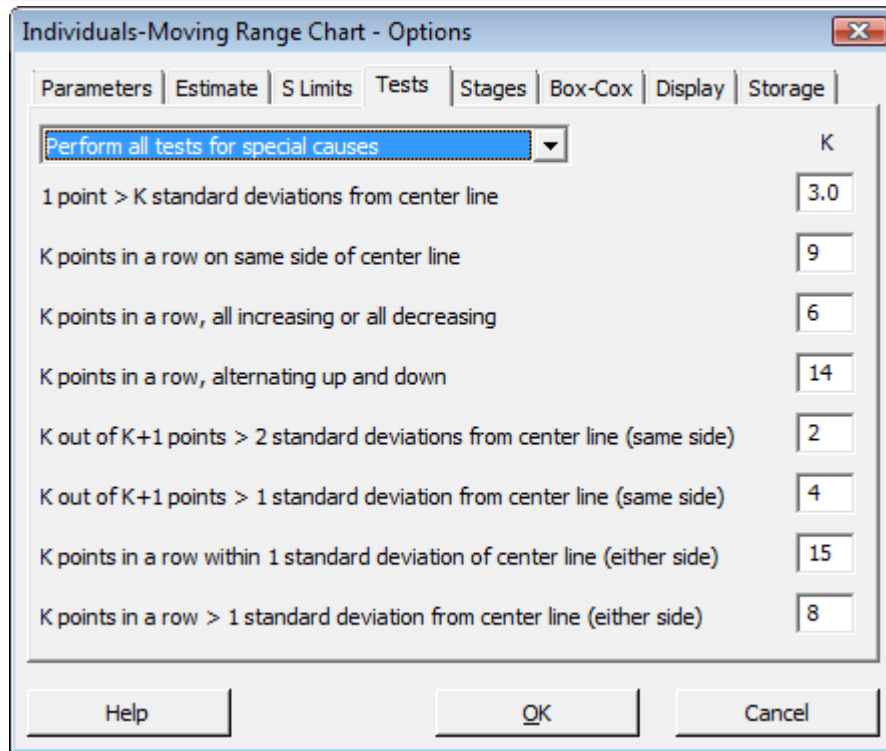


Figura 1.2. Pruebas para causas atribuibles carta I-RM.
Fuente: *Minitab 15*
Elaboración propia

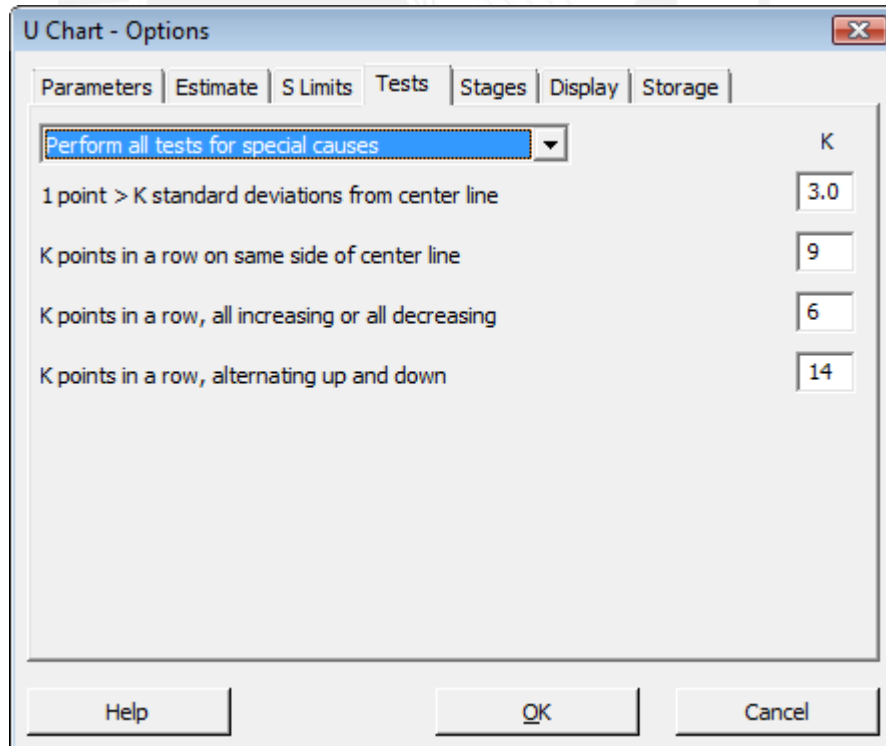


Figura 1.3. Pruebas para causas atribuibles carta u.
Fuente: *Minitab 15*
Elaboración propia

1.4. Capacidad de proceso

La **capacidad del proceso** se refiere a la uniformidad del mismo. Es definida de manera estandarizada por el valor de 6σ , asumiendo una distribución de probabilidad Normal. La razón esencial del análisis de la capacidad de proceso es definir la capacidad del proceso para cumplir con las especificaciones dadas.

Su análisis nos permite:

- Predecir la variabilidad a la que el proceso se exhibirá.
- Elegir procesos y equipos que se ajusten mejor a las especificaciones.
- Planear la interrelación de los procesos secuenciales.
- Proveer una base cuantificada para programas de reajuste y mantenimiento.
- Evaluar teorías acerca de las causas de los defectos existentes.
- Servir como base para requerimientos con respecto a la calidad a la hora de adquisición de insumos y equipos en su desempeño en el proceso.

Para su análisis, existen varios índices, algunos de los cuales se explicarán en los siguientes puntos.

1.4.1. Índice de capacidad de procesos (C_p)

$$C_p = \frac{LES - LEI}{6\sigma_o}$$

Donde σ_o es la desviación estándar muestral S o R/d_2 (cuando se usan cartas de control).

Los valores mínimos recomendados se muestran en la tabla 1.1.

	Especificaciones bilaterales	Especificaciones unilaterales
Procesos existentes	1.33	1.25
Procesos nuevos	1.50	1.45
Parámetro crítico, proceso existente	1.50	1.45
Parámetro crítico, proceso nuevo	1.67	1.60

Fuente: Montgomery (2001)
Elaboración propia

1.4.2. Índice de capacidad de procesos (C_{pm})

El índice de capacidad del proceso C_p no toma en consideración dónde se localiza la media del proceso respecto a las especificaciones, simplemente mide la extensión de las especificaciones en comparación con la dispersión seis sigma del proceso. Para una mayor precisión, usualmente se utiliza el índice C_{pk} .

$$C_{pk} = \frac{\text{Min}\{LES - \bar{x}, \bar{x} - LEI\}}{3\sigma_o}$$

Sin embargo, el interés de una organización está en producir siempre lo más cercano al objetivo, por lo que se suele medir con el índice C_{pm}

$$C_{pm} = \frac{LES - LEI}{6\tau}$$

Donde: $\tau = \sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}$; T : valor objetivo

1.5. Muestreo de aceptación

El muestreo por aceptación refiere a la aplicación de planes específicos de aceptación a un lote designado o secuencia de lotes. Esta herramienta fue en su momento uno de los componentes principales del campo del control estadístico de la calidad, y se utilizaba principalmente en la inspección de entrada o recepción. Tres aspectos importantes del muestreo son:

- El propósito del muestreo de aceptación es dictaminar los lotes, no estimar su calidad.
- Los planes de aceptación no proporcionan ninguna forma directa de control de calidad.
- El uso más efectivo del muestreo de aceptación no es para inspeccionar la calidad de un producto, sino más bien como una herramienta de auditoría a fin de asegurarse de que la salida de un proceso cumple con los requerimientos.

Existen varias maneras de clasificar los planes de muestreo de aceptación. La principal es la clasificación por variables y atributos. Para efectos del presente trabajo, sólo se detallará este último. Asimismo, existe otra clasificación, que es de acuerdo a la manera de dictaminar lotes:

- Plan de muestreo simple o único: En el que se selecciona al azar una muestra de n unidades del lote, y el destino de dicho lote se determina en base a la información contenida en dicha muestra.
- Plan de muestreo doble: Después de una muestra inicial, se toma una decisión con base en la información de esa muestra para aceptar el lote, rechazarla o tomar una segunda muestra. Si se toma una segunda muestra, la información de la primera y segunda muestra se combina para llegar a la decisión de aceptar o rechazar el lote.
- Plan de muestreo múltiple: Extensión del plan de muestreo doble, por cuanto pueden necesitarse más de dos muestras para llegar a una decisión respecto al destino del lote.
- Plan de muestreo secuencial: Se seleccionan unidades del lote una a la vez, y después de inspeccionar cada una se toma la decisión de aceptar o rechazar el lote, o seleccionar otra unidad.

1.5.1. Algunas definiciones

- **AQL**: Nivel de calidad aceptable, representa el nivel de calidad más pobre del proceso del proveedor que el consumidor considera aceptable como promedio del proceso. Es característico del proceso de manufactura del proveedor.
- **LQL** o **LTPD**: Tolerancia del porcentaje de defectuosos en un lote, representa el nivel de calidad más pobre que el consumidor está dispuesto a aceptar en un lote individual. Es especificado por el consumidor.
- **$1-\alpha$** : La probabilidad de aceptar un lote con fracción de defectuosos igual a AQL.
- **β** : La probabilidad de aceptar lotes con fracción defectuosa igual a LQL.
- **CMS** (AOQ): La calidad media de salida mide la fracción de defectuosos esperado en un lote.
- **ITM** (ATI): La inspección total media mide la cantidad inspeccionada en promedio.
- **AOQL**: El límite de calidad media de salida indica la peor calidad promedio posible que resultaría del programa de inspección.

Sólo se detallará la formulación de planes de muestreo por el estándar MIL STD 105E debido a que no se cuenta con información de LTPD de parte de la Empresa.

1.5.2. Formulación de planes de muestreo por Tablas MIL-STD-105E

Las tablas militares **MIL-STD-105E** (ver anexo 9) corresponden al estándar más utilizado en el mundo. Estas tablas constituyen un sistema de muestreo de aceptación. Su contraparte civil es el ANSI/ASQC Z1.4 y es equivalente a la norma ISO 2859. El estándar contempla tres tipos de muestreo: el muestreo único, el muestreo doble y el muestreo múltiple. Para cada tipo de plan, se estipula la inspección normal, la inspección rigurosa y la reducida. La inspección normal se usa al principio de la actividad de inspección. El resto de inspecciones es adoptado mediante la siguiente dinámica⁴:

De normal a rigurosa

- Cuando 2 de 5 lotes consecutivos han sido rechazados en la inspección original.

De rigurosa a normal

- Cuando cinco lotes consecutivos se aceptan dentro de la inspección original.

De normal a reducida

- Los 10 lotes precedentes han estado sujetos a inspección normal y ninguno de ellos fue rechazado durante la inspección original.
- La cantidad total de unidades no conformes que contienen las muestras de los 10 lotes precedentes es menor o igual que el número límite aplicable que se ha especificado en el estándar (ver anexo 14).
- La producción se hace a una velocidad estable; es decir, no ha ocurrido recientemente ninguna dificultad como descomposturas de máquinas, déficit de materiales disponibles u otros problemas.
- La autoridad responsable del muestreo considera deseable la inspección reducida.

De reducida a normal

- Un lote es rechazado.
- Cuando el procedimiento de muestreo termina sin que se hayan satisfecho los criterios de aceptación ni de rechazo, el lote o carga se acepta, pero se establece de nuevo la inspección normal a partir del siguiente lote.
- La producción es irregular o sufre retrasos.
- Otras condiciones garantizan el establecimiento de la inspección normal.

⁴ Besterfield (1994)

Discontinuación de la inspección

- En el caso de que 10 lotes consecutivos se mantengan bajo inspección rigurosa, la inspección bajo la estipulación del estándar MIL STD 105E deberá terminarse, y deberán emprenderse acciones a nivel del proveedor para mejorar la calidad de los lotes puestos a consideración.

Los pasos para usar las tablas MIL STD 105E, son los siguientes:

- Elegir el AQL
- Elegir el nivel de inspección
- Determinar el tamaño del lote
- Encontrar la letra de código apropiada para el tamaño de la muestra
- Determinar el tipo apropiado de plan de muestreo
- Consultar la tabla apropiada para encontrar el tipo de plan
- Determinar los planes de inspección normal y reducida correspondientes.

1.6. Estudio de R&R del sistema de medición

Un aspecto importante de muchos esfuerzos de implementación del control estadístico de procesos es asegurar una capacidad adecuada del sistema de instrumentos de medición e inspección. En cualquier problema que implique mediciones, parte de la variabilidad observada se deberá a la variabilidad en el producto en sí, y parte se deberá al error de medición o variabilidad de los instrumentos. Es decir:

$$\sigma_{total}^2 = \sigma_{producto}^2 + \sigma_{instrumento}^2$$

Donde σ_{total}^2 es la varianza observada total, $\sigma_{producto}^2$ es el componente de la varianza debido al producto, y $\sigma_{instrumento}^2$ es el componente de la varianza debido al error de medición.

Asimismo, se tiene que el error de medición tiene dos componentes: la repetibilidad y la reproducibilidad del instrumento.

$$\sigma_{instrumento}^2 = \sigma_{repetibilidad}^2 + \sigma_{reproducibilidad}^2$$

1.6.1. Definiciones

Exactitud: Es la proximidad de concordancia entre el resultado de una medición y el resultado del valor de referencia aceptado. (ISO 3534-1).

Precisión: Es la proximidad de concordancia entre los resultados de pruebas independientes obtenidos bajo condiciones estipuladas. (ISO 3534-1).

Repetibilidad: Es la precisión bajo condiciones donde los resultados de ensayos independientes son obtenidos con el mismo método y el mismo objeto de ensayo, en el mismo laboratorio, realizado por el mismo operador y usando el mismo equipo dentro de un intervalo de tiempo corto (ISO 5725-1)

Reproducibilidad: Es la precisión bajo condiciones donde los resultados de ensayos son obtenidos con el mismo método y el mismo objeto de ensayo, en diferentes laboratorios, por diferentes operadores y usando diferentes equipos (ISO 5725-1).

1.6.2. Método de análisis de varianza (ANOVA)

Un estudio de R&R de instrumentos de medición es un experimento diseñado (una de las siete herramientas del SPC). El procedimiento se realiza de la siguiente manera:

- Se determina el número de analista (an), el número de medidas realizadas por cada uno (me) y el número de muestras (mu).
- Se determinan los grados de libertad (número de elementos menos 1; la suma de los gl de todas las fuentes debe ser igual a los gl totales). Los gl totales se calculan como el número total de datos menos 1. Luego se calcula las medias cuadráticas (MS) usando las siguientes fórmulas:

$$MS_{analista} = me \times Varianza \text{ de los promedios por analista}$$

$$MS_{muestra} = an \times me \times Varianza \text{ de los promedios por muestra}$$

$$MS_{total} = Varianza \text{ de todos los datos}$$

- Se construye la tabla ANOVA mostrada en la tabla 1.2.

ANOVA					
Fuente	SS	G.L.	MS	F	p
Analista					
Muestra					
Error					
Total					

Elaboración propia

- Se obtienen la suma de cuadrados SS mediante la multiplicación de los G.L. y MS respectivo. Cabe recordar que esta columna SS es aditiva, la suma de SS de todas las fuentes es igual al SS total. La suma de cuadrados del error se obtiene por diferencia y, dividiéndolo entre los gl del error, se obtiene el MS del error. El estadístico F se calcula dividiendo el MS respectivo entre el MS del error. Luego se halla el valor de p para los estadísticos hallados. Si p es mayor a 0.05, para un nivel de confianza de 95%, se podría decir que el factor no contribuye significativamente en el resultado de la medida.
- Se procede a elaborar la tabla de evaluación del sistema de medición:

	Varianza	Desviación estándar	% de contribución
Total Gage R&R			
Repetibilidad			
Reproducibilidad			
Entre muestras			
Total			

Elaboración propia

- Las varianzas se calculan de la siguiente manera:

$$\text{Repetibilidad} = MS_{\text{error}}$$

$$\text{Reproducibilidad} = \frac{(MS_{\text{analista}} - MS_{\text{error}})}{(me \times mu)}$$

$$\text{Entre muestras} = \frac{(MS_{\text{muestras}} - MS_{\text{error}})}{(an \times mu)}$$
- La varianza del *Total Gage R&R* es la suma de la varianza debida a la repetibilidad más la varianza debida a la reproducibilidad.
- La varianza total es la suma de la varianza del *Total Gage R&R* más la varianza debida a las muestras.
- La capacidad del sistema de medición se obtiene de la multiplicación de 6 por la desviación del *Total Gage R&R*
- Se puede afirmar que el sistema de medición es capaz si el % de contribución del *Total Gage R&R* es menor o igual que 20%, para sistemas de medición nuevo, o 30% para sistemas que ya tienen un tiempo de uso.

CAPÍTULO 2: La Empresa

2.1. Introducción

El *Core Business* de la Empresa se centra en la elaboración y comercialización de productos destinados al cuidado personal (pañales para bebés, toallas higiénicas, pañales para adultos, etc.) y al cuidado familiar (toallas, higiénicos, faciales).

La Planta en estudio se dedica a la elaboración de productos a base de papel para el cuidado de la salud familiar.

La Planta es administrada por la gerencia de Operaciones para la categoría del Cuidado Familiar. Otras gerencias que se encuentran en la planta en estudio son: G. Logística (*Supply Chain*) y G. Recursos Humanos. Asimismo, cumpliendo con la política integrada de la Empresa, la Planta cuenta con sistemas de gestión que dan soporte a las actividades de la misma. Éstos son: Sistema de Gestión de la Calidad (ISO 9001), Seguridad Industrial (Control de Pérdidas), Departamento de Salud (dependiente de RR.HH) y Sistema de Gestión Ambiental (ISO 14001). Estos sistemas de gestión también dan el soporte en la planta para los productos de Cuidado Personal (Pañales, toallas higiénicas). Asimismo, cada planta posee un responsable para el cumplimiento de los procesos productivos por objetivos *Centerlining*. Éste último constituye una herramienta muy importante para procurar operar con las variables de proceso adecuadas (objetivo). Sin embargo, no siempre el mantener las variables del proceso en el rango establecido equivale a lograr una misma calidad en el producto, esto debido a variaciones inherentes de los insumos, materia prima u otros. Es aquí donde debe intervenir el área de calidad.

2.2. Descripción de la organización de la Planta

La Planta posee dos grandes bloques productivos: Manufactura y Conversión. En la primera, las fibras de papel virgen y reciclado ingresan a las líneas de producción y tiene como producto final las bobinas grandes de papel base. En la segunda, las bobinas de Manufactura ingresan a las líneas de conversión para obtenerse como producto final los diferentes artículos para el cuidado familiar. Como se puede apreciar en la figura 2.1., la Planta posee otras áreas funcionales que dan soporte a las dos secciones productivas: Procesos, que se encarga de gestionar y administrar todos los procesos de soporte de las líneas de producción,

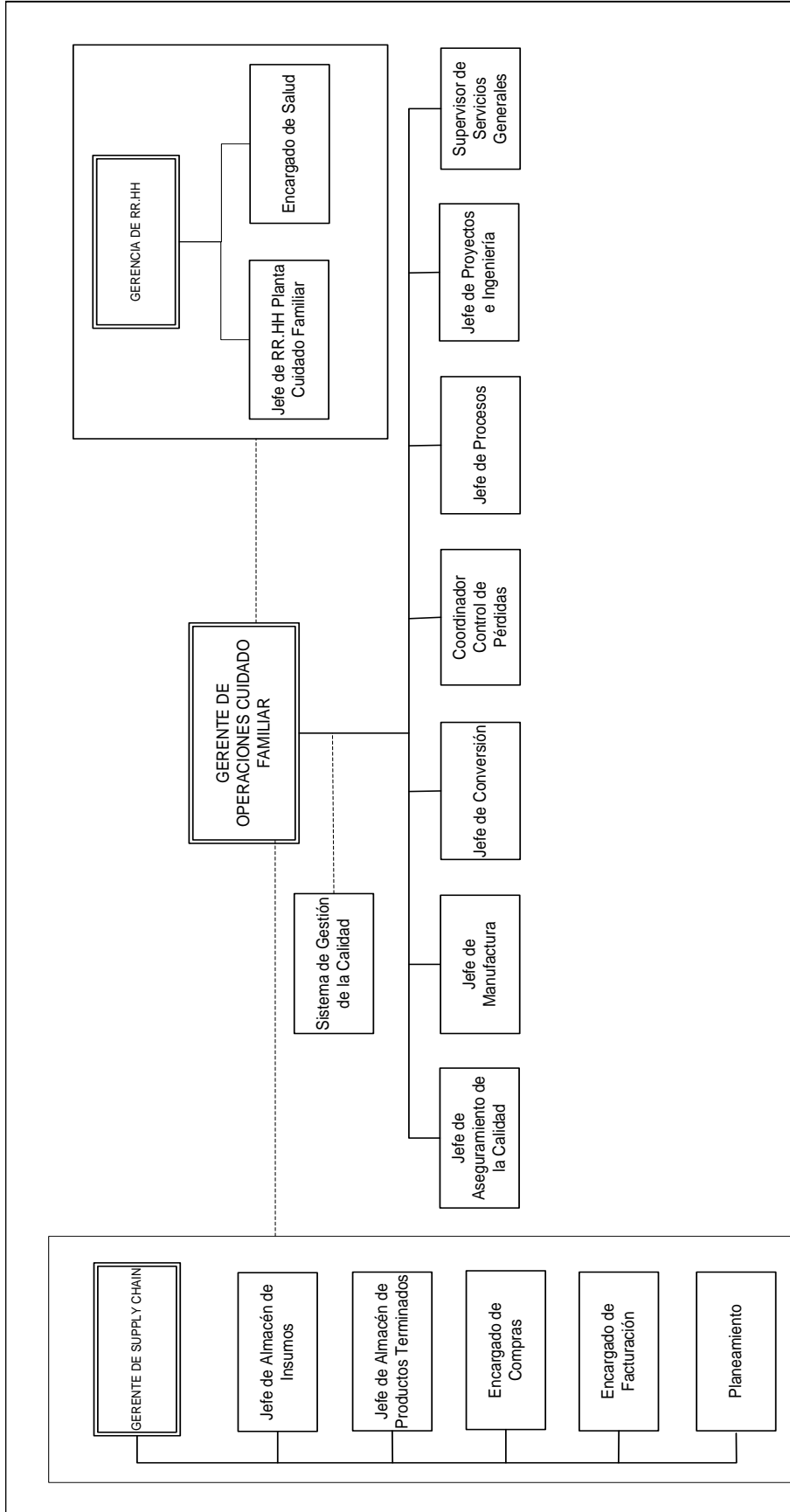


Figura 2.1. Organigrama de la Gerencia de Planta.
Elaboración propia

como son: el tratamiento de efluentes, abastecimiento y control de químicos e insumos, abastecimiento y control de energía y evaluación por objetivos *Centerlining*; Proyectos, que se encarga de la evaluación de las oportunidades de mejora encontradas en el proceso o en la planta y analiza las alternativas más adecuadas y gestiona su implementación; y Aseguramiento de la Calidad, que analiza la materia prima y los productos (terminados y en proceso), siguiendo estándares pre-establecidos, para procurar ofrecer al consumidor un producto que sea de su completa satisfacción. A éstas áreas se suman los sistemas de gestión, el departamento de servicios generales y las áreas que conforman las distintas gerencias de *Supply Chain* (Compras, facturación) y RR.HH (Jefatura RR.HH en planta, departamento médico) en planta. La programación de la producción es realizada por la gerencia de *Supply Chain*.

2.3. Descripción del sistema de producción de papel

En general, el proceso de producción se podría dividir en dos secciones, una que consiste en todas las operaciones de manufactura y la otra consistente en la conversión en sí de la hoja base obtenida de la manufactura en producto final listo para ser utilizado para el fin con el que ha sido creado. Algunas organizaciones y autores consideran tres secciones, incluyendo las dos anteriormente mencionadas y las operaciones de elaboración de pulpa, a partir de ahora llamadas operaciones de *Destintado*. Sin embargo, para efectos de esta tesis, estas operaciones se incluirán entre las operaciones de manufactura.

2.3.1. Manufactura de pulpa y rollo duro

En el área de Manufactura, se pueden distinguir dos sub-áreas: *Destintado*, que incluye todas las operaciones de blanqueo y elaboración de pasta de papel; y Manufactura propiamente dicha, que incluye las operaciones de formación de rollo duro (hoja base). Como se puede apreciar en la figura 2.2., el proceso comienza con la **recepción** de la fibra y su **inspección** para la determinación de la calidad de fibra a partir del % de humedad, % de fibra mecánica, desfibrado, % de cenizas, etc.

La primera operación productiva en la sub-área de *Destintado* es la **molienda**, en donde las pacas son ingresadas a la máquina Pulpadora (*Pulper*), agitador helicoidal que permite el desfibrado del papel, el mezclado con químicos y la remoción de contaminantes grandes (mayor a 6 mm de diámetro).

**Bobina de Papel Hig.
16 g extra Blanco**

Fibra de celulosa
en pacas

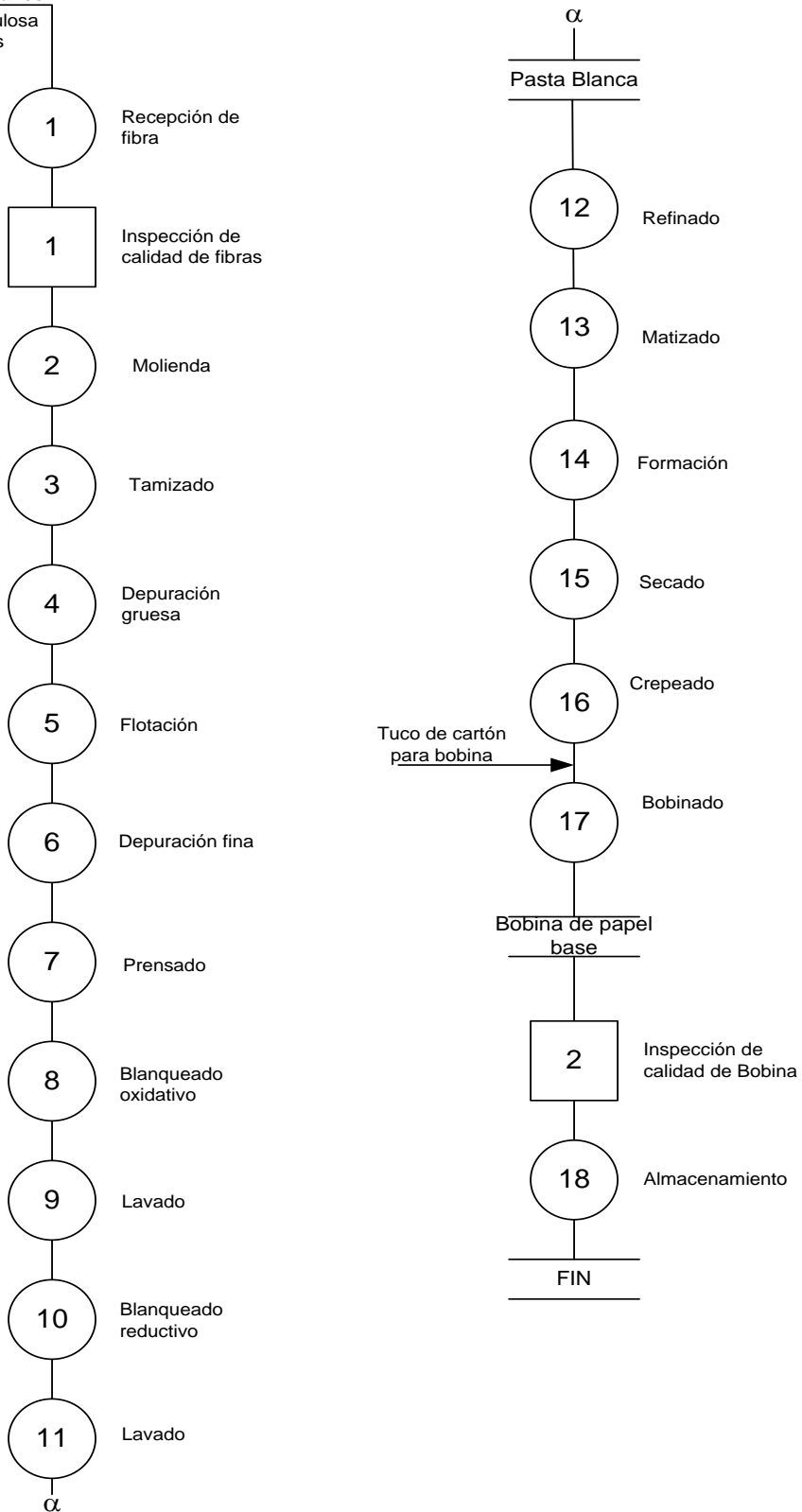


Figura 2.2: Diagrama de Operaciones Manufactura / Elaboración propia.

Esta operación se da durante 18-20 minutos aproximadamente, agregando agua frecuentemente en ese lapso. Es aquí donde la fibra se convierte en pasta.

La fibra del *Pulper* es llevada a la pera. Aquí es **tamizada** y separada de materiales sólidos como alambres y plásticos.

Luego, se lleva al proceso de **depuración gruesa**. Se separan partículas grandes que vienen con la fibra (menor a 6 mm de diámetro).

La pasta, posteriormente, llega a una celda especializada donde se separan la pasta de tintas y gomas mediante el proceso de **Flotación**.

Luego, se da lugar a la **depuración fina**, en donde se separan partículas más finas de la fibra (menor a 2 mm de diámetro). Toda partícula sólida que logra pasar esta etapa, genera lo que se conoce como contaminación de la hoja.

Posteriormente, la pasta es **prensada** para obtener pasta seca y lograr optimizar los procesos posteriores de blanqueado.

Luego sucede el **blanqueado oxidativo**, en donde se agregan químicos que provocan reacciones oxidativas (generalmente se utilizan peróxido, soda cáustica y silicato). En este proceso se eliminan resinas que oscurecen a la pasta.

El **lavado** sucede en una primera tina, aquí se lava la pasta obtenida del blanqueado oxidativo con agua a alta presión.

Posteriormente, la pasta es llevada al **blanqueado reductivo**, donde se le agregan químicos que provocan reacciones reductivas a la composición del papel y logran la decoloración química (se utilizan químicos como CHROMACLEAR™ y bisulfitos)

La cantidad de químicos dosificados durante los blanqueos reductivo y oxidativo determina en gran parte la tonalidad, blancura y brillo de la pasta.

La pasta es **lavada** nuevamente luego del blanqueado reductivo.

Ya en la zona de Manufactura, la pasta es **refinada**, proceso en el que las fibras se frotan en discos para aumentar su capacidad de *afieltrarse* y unirse. En esta etapa, las fibras generan puentes de hidrógeno lo que da la resistencia a la tracción del papel.

El último proceso antes de tejerse la hoja es el **matizado**, en donde se agregan tintas para darle más brillo y apariencia de blancura a la pasta (en agua clarificada fresca o de la PTARI). Posteriormente, la pasta ya matizada pasa a la zona de Manufactura para proseguir con la formación de la hoja.

Posteriormente, la pasta se **forma** en papel. En este proceso también se agrega la pasta de fibra *brokeada* (merma y papel producido defectuoso). Para ello, debe pasar primero por varias bandas de material sintético tejido y luego por un fieltro (tela formadora), para que pueda eliminarse la humedad excedente. Las condiciones de la tela determina en gran parte la calidad del papel, evitando varios defectos en atributos como marcas de fieltro, porosidad, mala formación, grumos, etc. Asimismo, el alimentador de pasta, a todo el ancho de la hoja, debe estar libre de cualquier obstrucción, caso contrario se pueden generar variaciones en el calibre a lo largo de la hoja, grumos, variaciones en peso base o variaciones en resistencia.

El papel pasa por un proceso de **secado**. Acá, la hoja es conducida hasta un cilindro previamente calentado (*Yankee*). Además recibe chorros de aire caliente que permiten que termine el proceso de secado eliminando los últimos rastros de humedad.

El papel seco llega al **Crepado**, en donde la hoja de papel es sometida a un proceso de microplegado o arrugado para darle la característica de la absorción. En condiciones subestándares, se pueden producir defectos en la hoja en atributos por mal crepado, como son agujeros dispersos, longitudinales, arrugas, etc. y afectar algunas variables de desempeño del papel como resistencia y elongación.

El papel crepado es **bobinado** en el *Pope*. Terminada la bobina, se realiza la **inspección** de calidad respectiva. De ser aceptada la bobina, es destinada al **almacén** de bobinas. Caso contrario, es *brokeada*, es decir, descartada y llevada a reciclaje. Las variaciones en el bobinado pueden afectar también la resistencia y elongación de la hoja. Asimismo, una baja resistencia o altas velocidades de bobinado pueden ocasionar roturas de hoja (empalmes) o *telescopiado* de bobinas.

Asimismo, el área de Manufactura posee una línea de soporte para la clarificación del agua, en donde se clarifica el agua a utilizar en el proceso a partir de agua

fresca y agua de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales (PTARI).

2.3.2. Conversión de rollo duro en producto terminado

En el área de Conversión se pueden distinguir dos secciones de producción: una para papel higiénico y otra para servilletas. Algunas plantas pueden tener otra sección para toallas faciales que produce papel más fino (100% fibra de celulosa virgen). Asimismo, cada sección se encuentra dividida en líneas de producción por máquina. En la figura 2.3, se muestra el proceso productivo de un paquete de papel higiénico X de 16 rollos. El proceso comienza con la **recepción** de la bobina de papel en la línea respectiva (servilleta, papel higiénico).

Una vez recibida, es **desbobinada** en las máquinas que se encargarán de elaborar los rollos.

La hoja de papel pasa por el **gofrado**, proceso por el cual se genera altorrelieve al papel en un cilindro de acero y decorado que permitirá juntar las dos hojas (en papel higiénico doble hoja), y aumentar la capacidad de absorción y mejorar la suavidad. Asimismo, simultáneamente al gofrado, se le aplican tintas para resaltar la figura y un proceso para que los pliegos se mantengan juntos (**laminado**). Una falla en los rodillos gofradores o en la calidad de la hoja puede ocasionar defectos como separación de hoja, gofrado defectuoso u orificios en la hoja. En esta etapa se evalúan los logs de papel para inspeccionar los atributos en la hoja.

Luego, el papel es llevado al **rebobinado**, en donde se enrollan en largos cilindros de papel (*logs*), alrededor de largos tucos de cartón.

Estos cilindros son **cortados** por una cuchilla rotatoria. Cada rollo cortado tiene alrededor de 2.75 metros de papel aproximadamente. Cuando las piedras afiladoras en el módulo de corte son posicionados de manera incorrecta o la cuchilla ha perdido filo, es frecuente observar rollos con mal corte, baja firmeza, tucos maltratados, etc. En esta etapa se evalúan todos los atributos referentes a los rollos.

El papel es **empaquetado** manualmente en paquetes de 2, 4, 6, 8, 12, 16 ó 24 unidades. (Envasadora multiformato). El envasado normalmente deja una pequeña oreja de polietileno como resultado del sellado. Uno de los defectos más comunes es que esta oreja llega a ser muy vistosa, lo cual genera problemas de presentación.

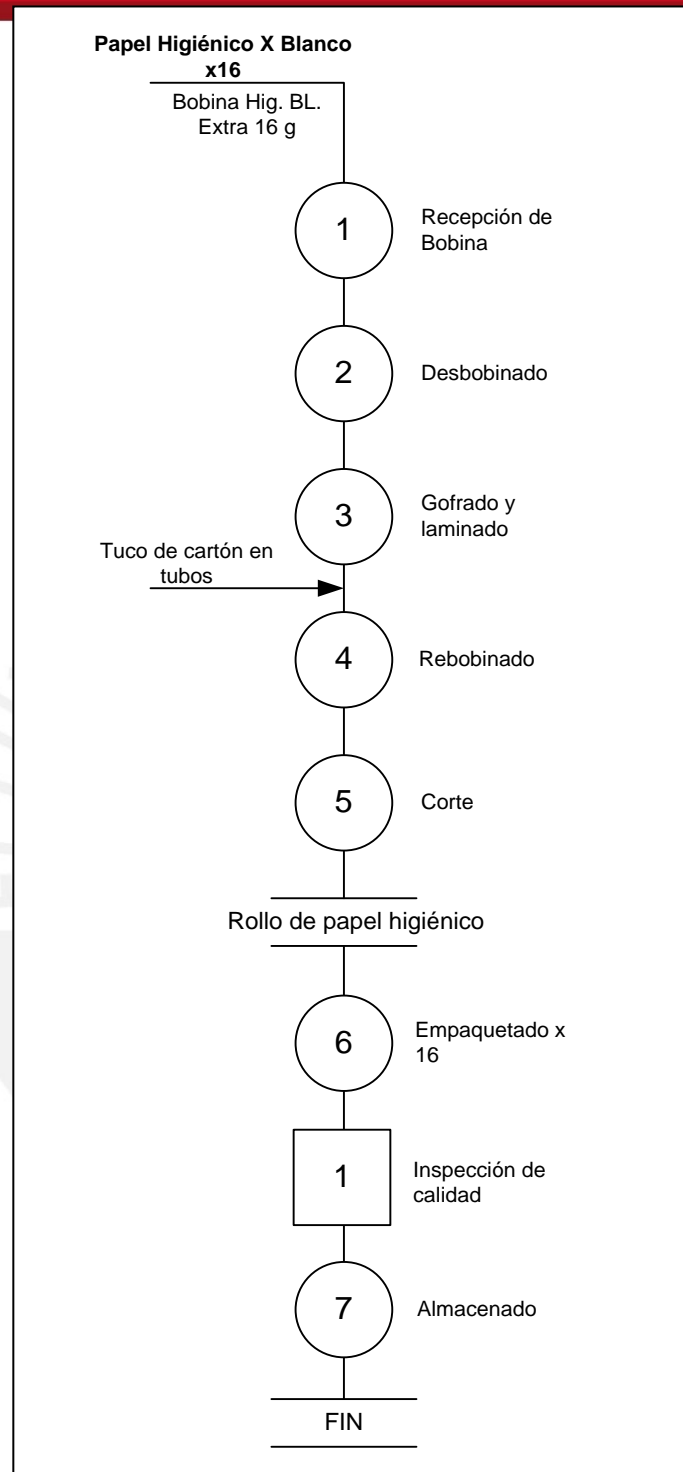


Figura 2.3. Diagrama de Operaciones Conversión.
Elaboración propia.

Asimismo, se procura que el registro del empaque se encuentre centrado y alineado con el producto. Es en esta etapa donde se evalúan todos los atributos referentes al

empaques primario y secundario del producto. En esta etapa, los inspectores de calidad obtienen muestras para la **inspección de calidad** correspondiente

Finalmente, los paquetes de papel son **almacenados** en pallets para su manipulación y traslado al almacén de APT.

Para el caso de toallas, la secuencia es sustancialmente la misma, mientras que para servilletas tienen un proceso de doblado, en vez del rebobinado en logs.

2.3.3. Procesos de Soporte

Los procesos anteriormente presentados, para poder funcionar, requieren de otros procesos de soporte. Estos procesos se presentan en el anexo 17.



CAPÍTULO 3: El área de Aseguramiento de la Calidad

El área de Aseguramiento de la Calidad en la planta se encarga de todos los procesos de inspección, ya sea de materia prima, insumos, producto en proceso (rollo duro) y producto terminado. Todo esto con la finalidad que el producto pueda satisfacer las expectativas del cliente o excederlas de igual manera cada vez que utiliza el mismo producto. Algunas tareas que abarca el área son:

- Inspección y control de la calidad de los productos terminados en las áreas productivas.
- Inspección y control de calidad de las fibras reciclada y virgen, conforme con las especificaciones.
- Programar inspecciones planeadas para medir el grado de cumplimiento con los estándares de Buenas Prácticas de Manufactura y Calidad en el proceso.
- Coordinar la solución a los problemas referentes a la calidad del producto final tratándolos desde sus causas básicas.
- Evaluar el desempeño de los procesos productivos respecto a los objetivos de la calidad (Ci, Ti y PPM).
- Diseño de planos para empaques y desarrollo de presentaciones, en coordinación con el área Comercial.
- Administrar las especificaciones de los productos, tanto terminados, como semielaborados y fibra de celulosa.
- Coordinar la disposición más adecuada de los productos rechazados.

El área de Aseguramiento de la Calidad en la planta posee tres divisiones: Laboratorio de Calidad de Acopio, que es donde se analiza la calidad de la materia prima (fibra de celulosa); Laboratorio de Calidad de Manufactura, que es donde se inspeccionan las bobinas de hoja base (rollo duro); y, por último, Laboratorio de Calidad de Conversión, que es donde se inspeccionan los productos terminados (higiénicos, toallas, servilletas). El presente trabajo sólo se enfocará en los dos últimos laboratorios, para un mayor enfoque al proceso productivo, debido a que ambos se ubican físicamente en la misma planta, mientras que Acopio no. Asimismo, en Acopio las inspecciones se dan a cada orden de pedido que llega, y de manera esporádica a proveedores confiables, y el control de las variables no

implican ningún proceso en la planta, sino depende más bien del proveedor. En la figura 3.1. se presenta la estructura organizacional del área de Calidad en la Planta.

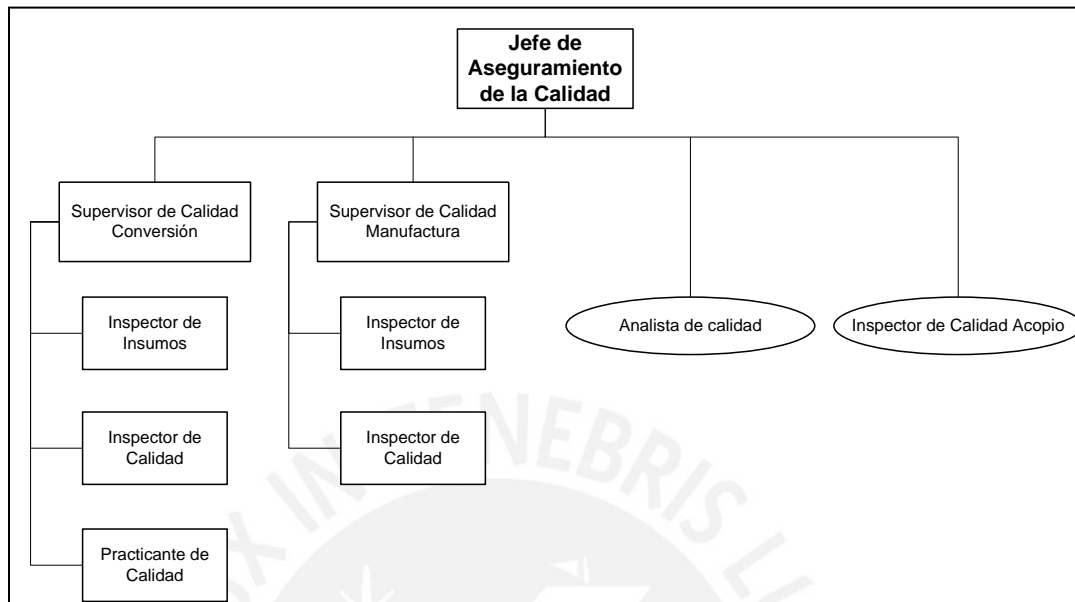


Figura 3.1. Organigrama del área de Aseguramiento de la Calidad
Elaboración propia.

Los roles de los puestos son los siguientes:

- Jefe de Aseguramiento de la Calidad: coordina y asegura que en los productos semielaborados y terminados sean elaborados de acuerdo a las especificaciones para entregar a los clientes productos de calidad, logrando la satisfacción del consumidor final.
- Supervisor de Aseguramiento de la Calidad: supervisa, coordina y reporta en Conversión, Manufactura y Centro de Acopio de acuerdo con las políticas de control de calidad, reglamentos, procedimientos, políticas internas y requerimientos corporativos, para asegurar que el producto cumpla con las especificaciones y estándares de calidad definidos.
- Analista de Calidad: mantiene actualizadas las especificaciones, *BOM*, planos mecánicos, procedimientos, políticas internas y requerimientos corporativos, para asegurar que el producto cumpla con las especificaciones y estándares de calidad definidos.
- Inspector de calidad e insumos: analiza y confronta la materia prima, insumos, semielaborados y producto terminado con las respectivas especificaciones.

En el punto 3.1. se presentan las actividades que se llevan a cabo en cada laboratorio de Calidad en Planta.

3.1. Laboratorio de Calidad – Manufactura

El laboratorio de Calidad de Manufactura se encuentra a cargo del supervisor de calidad de Manufactura. Dentro de esta división, se tienen inspectores de calidad rotativos entre los turnos y un inspector de insumos de un solo turno. El primero se encarga de realizar las inspecciones en variables y atributos a las bobinas de hoja base que se terminan de producir en las líneas de manufactura, mientras que el inspector de insumos evalúa los insumos que llegan a la planta.

El área de Manufactura posee dos líneas formadoras de hoja base: La *Línea 1* y la *Línea 2*. Cada línea posee una máquina secadora de papel: *Yankee* (tipo de secador), cuya velocidad es regulable, al igual que la velocidad del *Pope*, que es la velocidad de bobinado. Las hojas que se obtienen de cada línea se pueden diferenciar de manera leve, como la formación de hoja, cantidad de agujeros, grumos, etc. Es por ello que las estadísticas e indicadores deben ser analizados por separado.

En la Planta, las bobinas de hoja base de papel son divididas en *calidades*. Por ejemplo, las bobinas de las cuales se obtendrán los rollos de papel higiénico doble hoja más económicos son las de calidad *Económico 16 gr Extra*.

A continuación se describe el proceso que sigue un inspector de calidad para inspeccionar una bobina en manufactura.

3.1.1. Inspección de bobinas

Antes del inicio de cada turno, el inspector encargado debe registrar las condiciones ambientales (temperatura y humedad relativa) del laboratorio. Estas condiciones pueden afectar los resultados en las mediciones realizadas debido a que muchos de los equipos son sensibles a estas variables. Asimismo, el inspector debe llenar la plantilla con los **límites de especificación** de cada variable con las que comparará los resultados de las pruebas realizadas a cada muestra de la misma calidad de bobina. En la tabla 3.1. se muestra un formato de esta plantilla.. Las variables analizadas son:

Tabla 3.1. Formato de inspección de bobinas Manufactura

INSPECCIÓN DE VARIABLES

Fecha: _____ Supervisor: _____ Inspector: _____ Temp (°C) _____
 Producto: _____ Operador: _____ Turno: _____ Humedad (%) _____
 Código: _____ Máquina: _____

	MAX																			
	STD																			
	MIN																			
1																				
2																				
3																				
4																				
5																				
6																				
7																				
8																				

Hora	Bobina N°	Peso neto g	Peso base g/m ²	Calibre mm	L	a	b	Brillo	Tensión MD g/3"	Elong %	Tensión CD g/3"	Tensión CDH g/3"	Diámetro mm	Contaminación	# empalmes

Fuente: La Empresa. Elaboración propia.

- Velocidad de *Yankee*: Se trata de la velocidad a la que se obtiene la hoja seca del secador *Yankee* de la línea respectiva.
- Velocidad de *Pope*: Se trata de la velocidad a la que se enrolla en el tuco (centro de cartón) la hoja⁵.
- Hora: La hora a la que se termina la bobina.
- Bobina: Cada bobina debe tener un número específico único que lo pueda identificar de otras bobinas de la misma orden de producción (OP).
- Peso bobina: El peso neto de la bobina (no se considera el peso del tuco).
- Peso base: El peso en gr por m² de hoja
- Humedad: Cantidad de agua retenida en la hoja
- Calibre: Espesor de la hoja en mm.
- Brillo: Cantidad de brillantez
- L: Tonalidad o blancura de la hoja
- a: Tendencia de color del papel
- b: Tendencia de color del papel
- Tensión MD: Resistencia a la tensión en la dirección máquina (en la que se enrolla la hoja)
- Elongación: Capacidad de estiramiento, en la dirección MD, al punto máximo de carga antes de ruptura.
- Tensión CD: Resistencia a la tensión en la dirección transversal al MD
- Tensión CDH: Resistencia a la tensión en la dirección transversal al MD, luego de curada⁶ la muestra y humectada en una franja en el medio de la muestra perpendicular al lado CD.
- Tiempo de absorción: Tiempo que demora el papel en saturarse al absorber líquidos.
- Contaminación: Grado de contaminación del papel (por presencia de pintas, puntos de goma, suciedad, etc.)
- Ancho de bobina: Medida del ancho de la bobina
- Diámetro: Medida del diámetro de la bobina

⁵ Las velocidades de Yankee y Pope definen muchas veces la formación de la hoja, así como afectan la resistencia y el crepado del mismo.

⁶ Curar refiere a colocar la muestra sobre un horno mediante el cual se simula el paso del tiempo a través de la extracción de humedad y activación de la resina que posee la hoja.

- Número de empalmes: Cantidad de uniones en la bobina debido a ruptura de hoja durante el bobinado.
- Observaciones: Alguna información adicional (atributo visual determinado, insumo raro utilizado, etc.) considerado relevante.

Aproximadamente, por cada línea, se terminan de enrollar una bobina cada media hora, siendo incluso menor (20 minutos aprox.) en la *Línea 2*.

3.1.2. Inspección visual en línea

Cuando una bobina se termina, el inspector espera a que éste se encuentre totalmente detenido para proceder a realizar la inspección visual. La inspección se realiza junto con un operador, y se desenrolla aproximadamente 40 m de hoja en la *Línea 1* y 50 m en la *Línea 2*. Para la inspección visual, se deben identificar los atributos los cuales podrían encontrarse fuera de especificación. Para ello, se tiene una clasificación por colores:

- Verde: La característica evaluada se encuentra en especificación o cercana al objetivo.
- Amarillo: La característica evaluada se encuentra aun dentro de especificación pero es necesario realizar alguna acción correctiva para regresar el proceso al objetivo.
- Rojo (rechazo): La característica evaluada se encuentra fuera de especificación, se deberán realizar las correcciones correspondientes y se decidirá de acuerdo a criterios que se presentarán posteriormente para la disposición de la bobina.

Los atributos a evaluar durante la inspección visual se muestran en el anexo 16:

Posterior a la inspección visual, se registra cualquier defecto visual que se pueda identificar. Se realiza una marca sobre la bobina al lado mando (lado de la bobina más cercana a la cabina de control – derecha en la *línea 1* e izquierda en la *línea 2*, tal como se muestra en la figura 3.2.) para tomarla como referencia en caso se desee ubicar algún punto específico sobre la muestra.

Una vez marcado el lado mando, se prosigue a realizar dos cortes transversales paralelos (a todo el ancho de la bobina, con una separación de 1m). Del corte, se

separa un pliego, el cual conformaría la muestra sobre la cual se realizarán las pruebas de variables.

La muestra obtenida se dobla hasta tener una muestra de 32 pliegos. Esté luego es cortado mediante una plantilla normalizada metálica de 25 x 20 cm de lado. Se obtendrán dos muestras de 16 pliegos cada una. Una muestra se guardará como contra muestra, mientras que la otra se utiliza para realizar las pruebas de las variables.

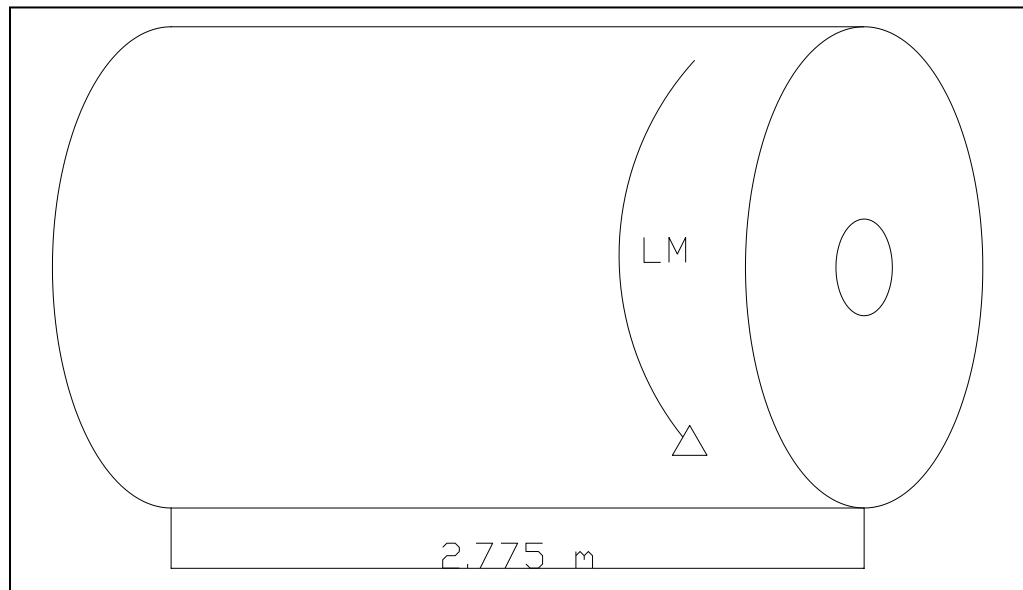


Figura 3.2. Lado Mando de bobina en *Línea 1*
Elaboración propia

3.1.3. Método estándar de inspección – Manufactura

A continuación se detallan secuencialmente las pruebas que se realizan una vez obtenida la muestra de 16 pliegos. Para todos los casos, las muestras deben encontrarse libres de arrugas, cortes y pliegues; para evitar distorsionar el resultado. Para todas las muestras, se evalúan las siguientes variables:

- Brillo: Se obtiene una muestra doblada en diez pliegos. Este es colocado en un equipo medidor de brillo (ver anexo 2). Se registran los valores de Brillo, tonalidad (L), a, b.
- Peso base “As-Is”: Se obtiene una pila de 16 hojas de 3x3 pulgadas. El peso (en g) obtenido de esta pila se multiplica por un factor de 10.764 (pulg^2/m^2) producto de la multiplicación de 16 hojas por el área de 3x3” de la pila. Al final, el valor se expresa en g/m^2 .

- Resistencias: Se obtienen muestras (según procedimientos internos sólo es necesario una muestra por tipo de resistencia) conformadas por probetas de papel base de 3" de ancho de probeta (si se evalúa resistencia MD, las 3" se miden en la dirección CD y viceversa), las cuales son sujetas a una fuerza de tracción mediante un equipo medidor de resistencia de papel (ver anexo 2). La constitución de las muestras es como sigue:
 - o Resistencia MD: Se evalúa la resistencia en la dirección máquina o longitudinal (perpendicular a la dirección de la fibra). En esta prueba también se obtiene la elongación en %.
 - o Resistencia CD: Se evalúa la resistencia en la dirección transversal al MD.
 - o Resistencia CDH o WCD: Se evalúa la resistencia en la dirección transversal al MD, previo curado (a 105°C por 6 minutos) y humectación en una franja al medio de la probeta con agua destilada.
 - o Adicionalmente, existe un indicador llamado GMT³ que resume el desempeño que tiene la hoja de la bobina. Su cálculo proviene de la raíz cúbica de la multiplicación de la resistencia en MD, en CD y en CDH. Es decir:

$$GMT3 = \sqrt[3]{MD \times CD \times CDH}$$

- Calibre: La misma muestra para obtener el brillo se utiliza para esta prueba. Para el caso de hojas de 16 gr, éstos son evaluados en dos pliegos, para el resto de bobinas se evalúa con un pliego. Se registran un par de puntos sobre la muestra y se obtiene el promedio de tales mediciones. Para ello, se utiliza un equipo especial para la medición de calibre (ver anexo 2).
- Diámetro, ancho y peso de bobina se obtiene de la máquina de la línea correspondiente.

3.1.4. Disposición de productos no conformes

Cuando se inspeccionan las bobinas, ya sea en variables o atributos, se puede tener que alguno de los valores se encuentre fuera de los límites de especificación. Esto se debe reportar al supervisor de calidad, el cual notificará al supervisor de Manufactura y/o Jefe de Manufactura, con quienes se evaluará la disposición de la bobina en cuestión:

- *Pulper*: el producto es identificado como no conforme y se le regresa al inicio del proceso (pulpeado) para evitar su uso inicialmente previsto.
- *Reclasificar*: se varía a una calidad diferente con la que se previó utilizar, siempre y cuando sus características se encuentren dentro de especificación para los nuevos límites de la nueva calidad asignada.
- *Aceptado*: se realiza una excepción y se acepta la bobina. Por ejemplo, si se decide utilizar la bobina como hoja interna en un higiénico de doble hoja.

Asimismo, se notifica al operador de la máquina y al supervisor de turno de Manufactura para poder corregir las variables del proceso.

3.2. Laboratorio de Calidad – Conversión

El área de Conversión posee cinco líneas destinadas a la producción de rollos de papel higiénico. Asimismo, posee una zona donde se producen servilletas (dos líneas), tres líneas para la producción de papel toalla, una máquina para la impresión del empaque primario de sulfito (para paquetes individuales) y una máquina cortadora de bobinas de hoja base. Los productos obtenidos en cada línea de un mismo tipo de producto tienen alguna ligera diferenciación, sobretodo en el gofrado y en la forma de aplicación del adhesivo. Esto implica que las estadísticas e indicadores sean analizadas por cada línea; sin embargo, el desempeño de los productos debería ser casi el mismo.

La inspección de las bobinas de papel de las líneas está a cargo de dos inspectores. Uno se encarga de la inspección visual, la obtención de muestras para realizar las pruebas de variables y el ingreso de los resultados de la inspección visual a un *software* corporativo, mientras que el otro se encarga de realizar las mediciones de las variables que correspondan. Este último también se encarga de ingresar los datos al *software* corporativo y de liberar vales de transferencia. Las transferencias se suceden por tres motivos:

- Cantidad de paletas transferidas límite
- Término de orden de producción
- Cambio de turno

Para efectos del presente trabajo, se enfocará solamente en los rollos de papel higiénico, pudiéndose extender el alcance hacia toallas y servilletas.

3.2.1. Inspección de producto terminado

Al igual que en el laboratorio de calidad en Manufactura, antes del inicio de cada turno, cualquiera de los dos inspectores encargados debe registrar las condiciones ambientales (temperatura y humedad relativa) del laboratorio. Estas condiciones pueden afectar los resultados en las mediciones realizadas debido a que muchos de los equipos son sensibles a estas variables. Asimismo, el inspector que se queda en el laboratorio debe llenar la plantilla con los **límites de especificación** de cada variable con las que comparará los resultados de las pruebas realizadas a cada producto que se está produciendo en el turno, por máquina. En la tabla 3.2., se muestra un formato de esta plantilla. Los límites con los que se comparan los resultados son límites de especificación. Cabe señalar que una muestra está conformada por un paquete de producto final (hay paquetes de uno, dos, cuatro y más rollos). Los campos que se deben llenar obligatoriamente son:

- Hora: La hora al momento de obtener la muestra para realizar la inspección de variables.
- Paquete: El número de muestra inspeccionada.
- Peso neto: El peso de una sola unidad (un rollo para el caso de higiénicos) sin considerar el empaque primario ni el tuco de cartón en g.
- Peso base: El peso en gramos por m² de hoja⁷
- Tensión MD: Resistencia a la tensión en la dirección máquina (en la que se enrolla la hoja)
- Elongación: Capacidad de estiramiento, en la dirección MD, al punto máximo de carga antes de ruptura.
- Tensión CD: Resistencia a la tensión en la dirección transversal al MD
- Tensión CDH: Resistencia a la tensión en la dirección transversal al MD, luego de curada⁸ la muestra y humectada en una franja en el medio de la muestra perpendicular al lado CD.
- Ancho de paquete: Medida del ancho de paquete (en el plano de la vista frontal o principal del paquete) en mm. Actualmente no se mide esta variable sólo en caso de Benchmarking o alguna evaluación diferente.

⁷ Una hoja puede contener uno o más pliegos (hasta 3), dependiendo del producto.

⁸ Curar refiere a colocar la muestra sobre un horno mediante el cual se simula el paso del tiempo a través de la extracción de humedad y activación de la resina que posee la hoja.

- Firmeza: Mide la deformación de un rollo al aplicarse una carga específica sobre él. Sólo se realiza para higiénicos en mm.
- Ancho de hoja: Mide el ancho (lado CD) de una hoja en mm.
- Largo de hoja: Mide el largo (lado MD) de una hoja en mm.
- Diámetro: Medida del diámetro del rollo en mm.
- Nro. Hojas: La cantidad de hojas entregado (válidos para servilletas y toallas e higiénicos con precorte).

Adicionalmente se tienen otras variables que sólo se evalúan para comparaciones y evaluaciones de desempeño más específicas (Benchmarking), como lo son:

- Capacidad de absorción: La cantidad de agua (en g) que puede absorber la muestra (pila de 20 hojas de 3" x 3").
- Tiempo de saturación: El tiempo que demora una muestra (pila de 20 hojas de 2.5" x 2.5") par saturarse.
- Calibre: Medida del espesor de la hoja.
- Brillo: Cantidad de brillantez
- L: Tonalidad o blancura de la hoja

Estas últimas variables no se evalúan para efectos de control debido a que los datos tienen un efecto secundario en el desempeño del producto.

3.2.2. Inspección visual en línea

Para la inspección visual, se deben identificar los atributos que podrían encontrarse fuera de especificación. Existen 5 etapas durante las cuales se debe realizar esta inspección (sólo para el caso de higiénicos):

- Bobinado: Para ello se obtiene 1 log⁹ de papel higiénico y se desenrolla para la inspección correspondiente a atributos en hoja.
- Cortado: Para ello se inspeccionan 5 rollos de papel higiénicos. En ella se analizan todos los atributos presentes en un rollo.
- Empaque primario: Para ello se inspeccionan 5 paquetes de producto terminado. En ella se determinan los atributos concernientes al empaque primario.

⁹ De un log generalmente se obtienen 24 rollos de higiénicos

- Empaque secundario: Para ello se inspecciona 1 plancha (que contiene 20 rollos a un rollo de altura, tal como se muestra en la figura 3.3.)
- Estiba: Para ello se inspecciona un pallet terminado.

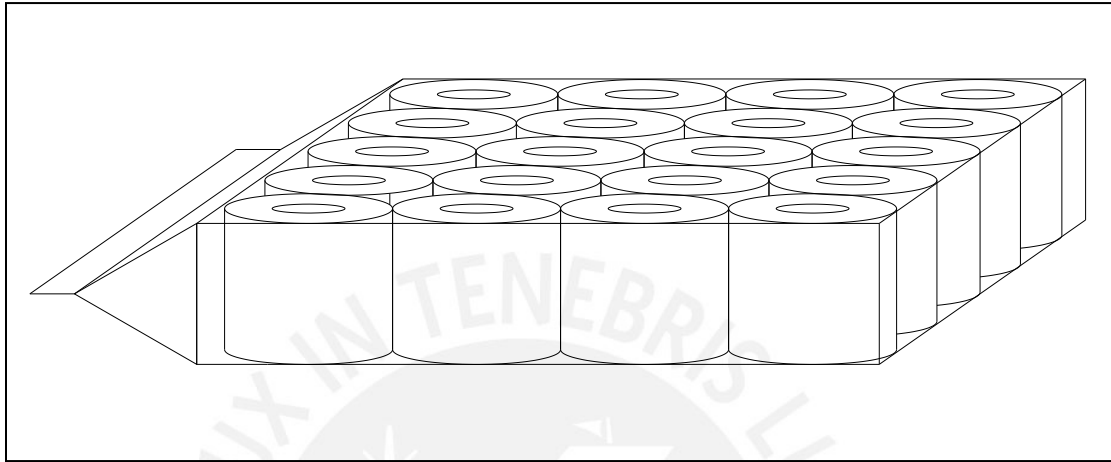


Figura 3.3. Bosquejo empaque secundario
Elaboración propia

Sin embargo, a pesar de contar con un rango de aceptación, el criterio de aceptación generalmente se realiza subjetivamente, rechazando sólo las exageradamente defectuosas (los rangos de colores no son aplicados). No se aplican los rangos de aceptación por colores en la realidad. Los atributos evaluados son presentados en el anexo 16.

Estas inspecciones son realizadas rutinariamente cada hora aproximadamente por el inspector en línea. A su vez, va tomando nota de la cantidad de productos defectuosos que se van observando. En total son 13 muestras (1 log, 5 rollos, 5 paquetes, 1 plancha y 1 paleta). Asimismo, el inspector en línea se encarga de obtener muestras durante su rutina para que el inspector de laboratorio realice las mediciones correspondientes a variables. Adicionalmente, el inspector de línea registra en un formato, los insumos¹⁰ que se están utilizando en cada producción y los cambios de insumo que puedan suceder durante su turno.

¹⁰ Tales como la lámina utilizada para empaque primario y secundario, el adhesivo y la bobina.

3.2.3. Método estándar de inspección – Conversión

El inspector de línea generalmente obtiene una muestra (antes de llegar al empaquetado) para que el inspector de laboratorio proceda a realizar las mediciones correspondientes.

A continuación se detallan secuencialmente las pruebas que se realizan sobre los rollos obtenidos por el inspector de línea. Para todos los casos, las muestras deben encontrarse libres de arrugas, cortes y pliegues; para evitar distorsionar el resultado:

- Diámetro: Se le mide la longitud de circunferencia del rollo a través de una cinta de medición. Ésta posee una escala ya convertida para medir diámetros a partir de la longitud de circunferencia (simplemente divide la longitud entre π). Se mide a 1" de cada borde del rollo y se registra el valor más alejado del objetivo. No aplicable a servilletas.
- Firmeza: Se le mide la firmeza mediante un equipo especial. Un sensor mide la firmeza en un punto específico del rollo, aplicándole una carga de 1 lb. El inspector realiza la medición sobre tres puntos del rollo: uno al medio y dos a ambos lados (a 1" del borde para el caso de higiénicos y 2" para el caso de toallas). No aplicable a servilletas.
- Peso neto: Posteriormente, se le extrae el core o tuco de cartón del higiénico y se pesa la muestra en g.
- Nro. hojas: Se procede a realizar el conteo de hojas del rollo (entre pre-corte y pre-corte existe una hoja).
- Peso neto: Posteriormente se extraen 16 hojas acondicionadas a un tamaño de 3" x 3". Esto es pesado en la balanza (valor en g). Al valor obtenido es multiplicado por el factor 10.764 para obtener el resultado en g/m^2 .
- Dimensiones de hoja: Se mide el largo (dirección máquina) y el ancho (dirección CD).
- Resistencias¹¹: Se obtienen muestras (según procedimientos internos sólo es necesario una muestra por tipo de resistencia) conformadas por probetas de producto de 3" de ancho de probeta (si se evalúa resistencia MD, las 3"

¹¹ El área de Aseguramiento de la Calidad sólo tiene un medidor de resistencia activo. El del laboratorio de Calidad en Conversión no se encuentra operativa.

se miden en la dirección CD y viceversa). La constitución de las muestras es como sigue:

- Resistencia MD: Se evalúa la resistencia en la dirección máquina o longitudinal (perpendicular a la dirección de la fibra). En esta prueba también se obtiene la elongación en %.
 - Resistencia CD: Se evalúa la resistencia en la dirección transversal al MD.
 - Resistencia CDH o WCD: Se evalúa la resistencia en la dirección transversal al MD, previo curado (a 105°C por 6 minutos) y humectación en el medio de la probeta con agua destilada.
 - Adicionalmente, se calcula el índice GMT³, de la misma manera que para las hojas de bobina (ver acápite 3.1.3).
- Para el caso de servilletas, es necesario realizar las pruebas de capacidad de absorción y velocidad de saturación, al menos una vez cada 4 corridas.

3.2.4. Disposición de productos no conformes

Durante la inspección, ya sea de variables o atributos, es posible que algunos valores no se encuentren dentro de especificación. Esto se debe reportar al supervisor de calidad, el cual notificará al encargado o Jefe del área de Aseguramiento de la Calidad y el supervisor de turno de Conversión. En este caso, se notifica al supervisor de turno de Conversión, al operador de la máquina implicada, al supervisor y Jefe de Calidad, y, de ser necesario, al encargado de mantenimiento de maquinarias. El inspector procede a realizar una re-inspección del lote producido y se analiza obteniendo unas tres muestras aleatoriamente en cada paleta producida¹².

Los productos de las máquinas luego del mantenimiento siempre deben ser inspeccionados por el inspector de laboratorio y confirmar que el problema ya ha sido resuelto. Los rechazos son evaluados para decidir su disposición final:

- *Pulper*: el producto es identificado como no conforme y se le regresa al inicio del proceso (pulpeado) para evitar su uso inicialmente previsto.

¹² Las muestras de la re-inspección son escogidas al azar y el número de muestras varía dependiendo de la gravedad o la diferencia con el objetivo de la característica.

- **Reclasificar:** se varía a una calidad diferente con la que se previó utilizar, siempre y cuando sus características se encuentren dentro de especificación para los nuevos límites de la nueva calidad asignada. Antes de la reclasificación, es necesaria una re-inspección para poder evaluar si es que las variables del producto cumplen con las nuevas especificaciones.
- **Aceptado:** se realiza una excepción y se acepta el lote, con concesión del área comercial.

3.3. Indicadores de desempeño

El área de Aseguramiento de la Calidad maneja los siguientes indicadores para medir el desempeño de las operaciones en las áreas de Manufactura y Conversión:

- *Índice de Objetivo (T_i)*

El T_i indica qué tan cercano estuvo el promedio de los resultados obtenidos en la inspección con respecto al Objetivo. Un T_i de cero significa que el producto estuvo en el objetivo. Cuanto más cerca a cero, mejor. En la figura 3.4., se muestra la ecuación del índice de objetivo, el cual es calculado para cada turno; el T_i mide la proporción de la diferencia de la diferencia entre la media de los datos obtenidos y el valor objetivo (target); y la media amplitud más grande entre los límites inferior o superior de especificación y el objetivo (en la figura se muestra un caso en el que la amplitud es la misma entre el objetivo y cualquiera de los límites de especificación).

En la Planta, el T_i aceptable debe encontrarse por debajo del 0.15.

- *Índice de Capacidad (C_i)*¹³

El índice de capacidad es una medida de dispersión de los datos. Un C_i de 100% significa que la capacidad de su proceso se encuentra dentro de los límites de especificación, mientras que un C_i de cero significa que no hay dispersión. En la figura 3.5., se muestra la ecuación del índice de capacidad, el cual es calculado para cada turno; el C_i se halla mediante la fracción del rango de especificación que está siendo consumida por la variación del

¹³ No confundir con índice de capacidad de proceso C_p

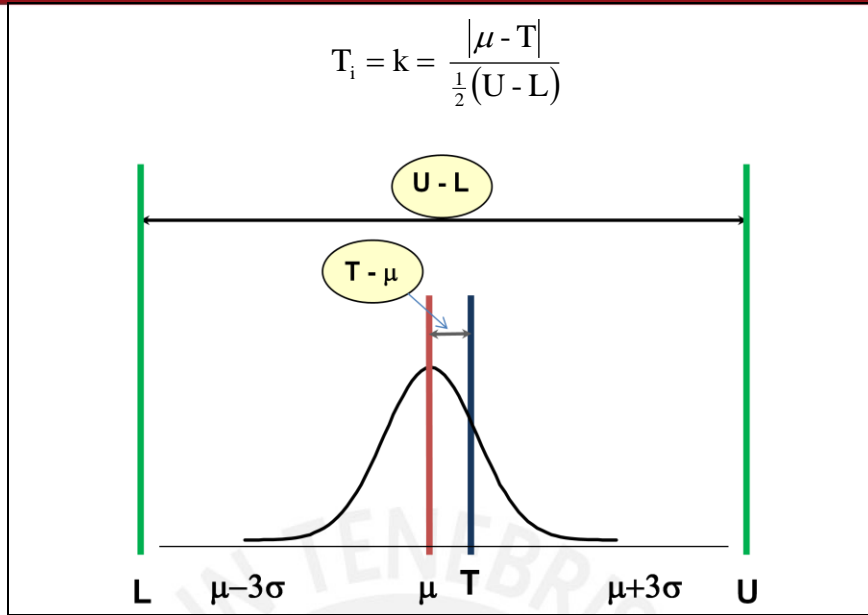


Figura 3.4. Ecuación de T_i
Fuente: La Empresa. Elaboración propia

proceso. En la práctica, el C_i se halla mediante división de 3 veces la desviación estándar de los datos entre la media amplitud más alta (mínimo y el objetivo o máximo y el objetivo).

En la Planta, el C_i aceptable debe encontrarse por debajo del 100%.

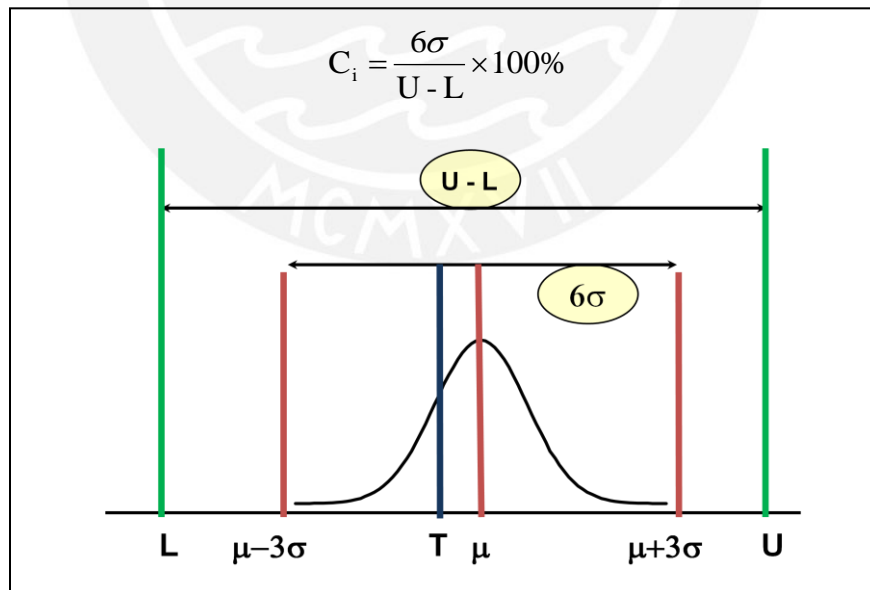


Figura 3.5. Ecuación de C_i
Fuente: La Empresa. Elaboración: propia

Para ambos casos, μ y σ se estiman con \bar{x} y s muestral. En el anexo 15 se muestra un ejemplo de cálculo con datos reales del proceso.

- *PPM*

El índice de partes por millón es un indicador nuevo que recién se está implementando en dos líneas de producción de higiénicos. Lo que mide este indicador es la cantidad de productos defectuosos sobre un millón de unidades producidas.

$$PPM = \frac{\# \text{muestras defectuosas}}{\# \text{muestras obtenidas}} \times 1'000,000$$

Actualmente, el inspector de línea debe realizar 8 veces el recorrido sobre todas las líneas de producción de Conversión durante su turno. Durante cada corrida, el inspector de línea realiza la inspección de atributos a 13 muestras (1 log, 5 rollos, 5 paquetes, 1 plancha, 1 paleta).

3.4. Diagnóstico de la situación del área de Calidad

Tal como se ha presentado, el área de Aseguramiento de la Calidad en general es un área bien estructurada, con métodos y procedimientos definidos. Sin embargo, hay muchos aspectos en las que se podría mejorar como parte de la mejora continua del área. En este punto se busca presentar algunos aspectos que constituyen, para esta tesis, oportunidades de mejora.

3.4.1. El diagnóstico

Para el diagnóstico del área, el trabajo se basó en:

- Análisis de las actividades de control de procesos aplicadas a las variables y atributos y detección de variaciones debido a causas atribuibles.
- Identificación de variación debido a reproducibilidad o repetividad.
- Análisis del plan de muestreo actual.
- Estudio de todas las actividades de inspección.

Todo esto con la finalidad de identificar las oportunidades de mejora en el área, tanto para las actividades que se llevan a cabo, como en la calidad final del producto terminado de cada área productiva.

El área de Aseguramiento de Calidad actualmente funciona principalmente como el área encargada de evitar que lleguen productos defectuosos a manos del consumidor. En realidad, es más percibida como una herramienta de decisión de

aceptación o rechazo de productos, y de evaluación del proceso de las áreas productivas.

3.4.2. El control del proceso

Actualmente, el área de Calidad en la Planta realiza el control de la calidad en la producción mediante los límites de especificación, bajados por la corporación y adecuados a la demanda local. El problema de trabajar con límites de especificación es que estos definen la calidad de un producto individual mas no deben ser utilizados en el control de un proceso. Si bien es cierto que el área provee de información y datos a las áreas productivas para que puedan corregir algunas variables del proceso a partir del cumplimiento con las especificaciones dadas, el tiempo de respuesta ante sucesos fuera de control u otros sucesos que puedan afectar la calidad de la producción, no es la adecuada. La principal causa de ello es el hecho de trabajar únicamente con límites de especificación para el control del proceso. Los límites de especificación son, de hecho, límites que se deberían considerar para rechazar un producto individual como última instancia, y no a la hora de realizar el control del proceso.

Los límites de control ofrecen una mayor eficiencia a la hora de detectar anomalías en la producción que puedan resultar en la elaboración de productos defectuosos en dos o tres corridas más adelante. Es decir, dan la ventaja de poder detectar cuando se esté fuera del proceso anticipadamente de manera acertada. Con estos límites se pueden diferenciar claramente las variaciones naturales del proceso, de las situaciones fuera de control debido a causas atribuibles. Al poder detectar operaciones fuera de control anticipadamente, se procura tener siempre, las variables centradas al objetivo. Con la aplicación del control estadístico de proceso se podría analizar algunos ciclos indeseables de oscilación de datos y poder coordinar planes de acción preventiva, tales como programas de mantenimiento o calibraciones de equipos de medición más frecuentes. Asimismo, se considera que el intervalo de muestreo (tanto en conversión como en manufactura) es suficiente como para considerar cada subgrupo medido como racional.

Oportunidad de mejora: Se utilizan límites de especificación como criterio de aceptación o rechazo de lotes. No se cuenta con ninguna herramienta de control de procesos.

Solución propuesta: Implementar cartas de control de variables y atributos para el control de la producción, para poder detectar de manera más efectiva la presencia de variaciones debido a causas atribuibles en el proceso y evitar obtener productos fuera de especificación.

3.4.3. Registro de inspección en línea

Actualmente, el inspector en línea en Conversión registra todos los defectuosos encontrados durante su corrida por cada línea en una hoja de cálculo. Registra la cantidad de defectuosos para el cálculo posterior de PPM. Sin embargo, no se registran todas las no conformidades que pueden tener las muestras, considerando que éstas pueden tener más de un tipo de defecto. Por ejemplo, un rollo puede tener problemas de apariencia de rollo, así como separación de hoja. En este caso, el inspector registraría la que se presenta con mayor gravedad, mientras que la otra no conformidad ya no se registra.

Oportunidad de mejora: El registro de defectos, en vez de la cantidad de defectuosos puede proveer de información más útil al proceso para detectar estados fuera de control estadístico.

Solución propuesta: Se deben registrar los defectos, resultado de cada corrida. Esto acompañado de indicadores e implementando gráficos de control de atributos u.

3.4.4. Plan de muestreo para el control de calidad

En general, el muestreo forma parte del control de calidad en ambas zonas productivas. El muestreo es principalmente doble, debido a que se vale de un segundo muestreo en el caso de rechazar a la primera.

En Manufactura, el inspector debe analizar atributos en una de cada dos bobinas que se terminan en una línea de producción. La muestra para la prueba de variables se obtiene mediante dos cortes paralelos a lo largo de todo el ancho de la bobina con 1 m aproximadamente de separación entre cortes. Ésta posteriormente es preparada para obtener las muestras de prueba de las distintas variables existentes.

En conversión, el inspector de línea revisa, cada hora, la siguiente cantidad de muestras para cada línea de higiénicos (conversión 1):

- Un log de la embobinadora
- Cinco rollos de papel higiénico obtenidas de la cortadora

- Cinco paquetes obtenidos de la empaquetadora
- Una plancha ya sellada.
- Una tarima ya completada.

Para el caso de las líneas de productos institucionales (servilletas, toallas e higiénicos – Conversión 2), se evalúa sólo rollos y paquetes.

Cabe destacar que alrededor de cada diez minutos se termina una paleta de productos aproximadamente en Conversión 1, cada uno con 5320 rollos 2160 paquetes y 216 planchas (si los paquetes contienen dos rollos).

Dada la gran cantidad de productos que salen es necesario definir el plan de muestreo e inspección para poder controlar de manera efectiva la salida de productos fuera de especificación y estandarizar el procedimiento.

Para el caso de muestreo por variables, no se tiene documentado ese procedimiento; sin embargo, se sabe que se obtienen alrededor de 8 muestras por turno (uno por corrida). Debido a que las variables dependen principalmente de las bobinas, y estas son evaluadas al 100% en variables, la cantidad para las muestras para la evaluación de variables es adecuada.

Para los casos de productos fuera de especificación, se procede a reinspeccionar las paletas ya producidas a través de un muestreo empírico procurando la mayor aleatoriedad posible. Sin embargo, este procedimiento, al igual que los muestreos de inspección de variables y atributos, no se encuentra definido formalmente.

Asimismo, según documentos de calidad corporativos, se tiene que el proceso sigue un AQL de 2.5%.

Oportunidad de mejora: Se evidencia que el tamaño de muestra es muy pequeño a comparación de la gran cantidad de productos producidos, lo cual podría incurrir en imprecisiones a la hora de aceptar o rechazar productos, así como en una calidad media de salida de productos deficiente. Asimismo el plan de muestreo no se encuentra definido formalmente.

Solución propuesta: Se deberá plantear un plan de muestreo adecuado, tanto para la inspección como la reinspección, para el AQL definido por la corporación, para procurar ofrecer al cliente productos con la más mínima proporción de defectuosos

posible, optimizando la calidad media de salida obtenida. Cabe destacar que el plan de muestreo propuesto se utilizará principalmente para el control del proceso mediante cartas de control p.

3.4.5. Estudio de tiempos

Como parte del diagnóstico del área, se identificaron todas las actividades llevadas a cabo por los inspectores de calidad para evaluar la producción a lo largo de un turno normal de 8 horas, considerando que el área solicita al inspector lo siguiente:

- El inspector de manufactura (uno por turno) debe verificar una bobina de cada dos que se terminan de enrollar en cada línea.
- El inspector de línea de conversión (uno por turno) debe realizar 8 recorridos por el área para la inspección OLT.
- El inspector de laboratorio de conversión (uno por turno) debe realizar las mediciones correspondientes para las 8 muestras que se obtienen por línea por el inspector de línea.

Para ello, se tomó un muestreo de tiempos en promedio entre varios inspectores, para los dos primeros turnos (1ero y 2do), sobre el cual se le aproximó a la carga regular que cada tipo de inspector sigue en su rutina¹⁴¹⁵. (Ver anexo 3)

3.4.5.1. Análisis de operaciones – Inspector de bobinas (Manufactura)

- Disponible total en el turno: 8hrs x 3600 seg/hr = 28800 seg/turno disponibles
- Utilización:

Una vez por turno: 12052 seg/turno

Por corrida¹⁶: 1140 seg/corrida → 18240 seg/turno

$$\% \text{ de utilización: } \frac{12052+18240}{28800} \times 100\% = 105\%$$

→ **Déficit de 25 minutos.**

¹⁴ Sólo se consideraron tiempos de traslado significativos.

¹⁵ Las inspecciones incluyen preparación de muestra, en caso no se mencione lo contrario.

¹⁶ Una corrida en Manufactura se está considerando una inspección de dos bobinas (una de cada línea)

Cabe destacar que en el caso que se producen en total en ambas líneas 30 bobinas o menos (como sucede generalmente), se tendría holgura de tiempo, por lo que se podría considerar que el tiempo en Manufactura sí es tolerable para el inspector.

3.4.5.2. Análisis de operaciones – Inspector en línea

Disponible total en el turno: 8hrs x 3600 seg/hr = 28800 seg/turno disponibles

Utilización:

Una vez por turno: 14944 seg/turno

Por corrida: 2164 seg/corrida → 17312 seg/turno (para 8 corridas)

% de utilización: $\frac{14944+17312}{28800} \times 100\% = 112\%$

→**Déficit de 58 minutos para 8 corridas.** Debido a que muchos de los tiempos tomados para el estudio dependen de la cantidad de corridas, se evaluaron tres escenarios en la tabla 3.3., variando las corridas exigidas al inspector:

Tabla 3.3. Evaluación de escenarios Inspector

# de corridas	Utilización	Déficit (min)
8	112%	58
7	104%	21
6	97%	-16

Elaboración propia.

3.4.5.3. Análisis de operaciones – Inspector de laboratorio

- Disponible total en el turno: 8hrs x 3600 seg/hr = 28800 seg/turno disponibles
- Utilización:

Una vez por turno: 15814 seg/turno

Por corrida: 1875 seg/corrida → 15003 seg/turno (para 8 corridas)

% de utilización: $\frac{15814+15003}{28800} \times 100\% = 107\%$

→**Déficit de 34 minutos para 8 corridas.** Debido a que muchos de los tiempos tomados para el estudio dependen de la cantidad de

corridas, se evaluaron tres escenarios en la tabla 3.4, variando las corridas exigidas al inspector:

# de corridas	Utilización	Déficit (min)
8	107%	34
7	100%	1
6	94%	-31

Elaboración propia.

Entonces, a partir de lo presentado anteriormente se puede constatar un déficit de tiempo en las inspecciones en las condiciones actuales, siendo más considerable en el área de Conversión. Esto perjudica tanto a la Empresa, debiendo pagar el tiempo extra del inspector, como a este último, que debe realizar un esfuerzo adicional para cumplir con lo requerido.

En el caso de las inspecciones en Manufactura, se puede considerar que aún se manejan tiempos tolerables

Oportunidad de mejora: Como se puede observar, existe déficit de tiempo para los inspectores en las inspecciones en Conversión, donde a lo mucho se podrían realizar 6 corridas.

Solución propuesta: En Conversión, para seguir con la política actual de muestreo (sin considerar las otras propuestas), se debería contar con un inspector adicional como mínimo. Se propone una redistribución de funciones dado que, al tener un buen control de las variables en Manufactura, es posible que las variables en Conversión no tengan un gran impacto en el desempeño del producto. A partir del estudio realizado a ambos inspectores (anexo 3), podemos observar que el inspector de laboratorio podría tolerar hasta un turno con siete corridas sin tener sobretiempo; mientras que el de línea sólo podría realizar 6 corridas regulares en su turno sin requerir de sobretiempo. Tomando sólo el estudio de tiempos, se pudieron llegar a las siguientes sugerencias en el método:

- El inspector debe llevar una canastilla donde pueda colocar las muestras recogidas, para evitar problemas ergonómicos (por llevar varios productos en la mano y cansancio causado) y evitar dejar las muestras en cualquier sitio mientras realiza las inspecciones.

- Se debería registrar los insumos utilizados en la misma corrida de la inspección y no en una corrida separada.
- Existen inspecciones tales como medición de diámetro y firmeza que pueden realizarse simultáneamente. De hecho, por cada medición de firmeza (según el estudio de tiempos), mientras se esperan los 15, segundos, podría aprovecharse para medir el diámetro en dos rollos de otras líneas.
- Se debe de contar con un medidor de resistencias operativo en el laboratorio de Conversión para evitar el tiempo debido a traslado al laboratorio de Manufactura y esperas para el uso del equipo. Cabe mencionar que en el pasado sí se contaba con un equipo de medición de resistencias en Conversión. Esto no sólo se utilizaría para las pruebas de resistencia de los productos de la línea, sino también para las evaluaciones de *benchmarking* con otros productos de otras plantas / empresas.

Asimismo, para poder cumplir con los registros para las cartas de control y la adecuada retroalimentación a las áreas productivas, se plantea la siguiente redistribución de inspectores y de responsabilidades:

- Inspectores de línea: Se tendrán dos inspectores de línea, uno para cada conversión¹⁷. Cada uno se encargará también de registrar los resultados de la inspección de atributos luego de cada recorrido y comunicarlos a las líneas.
- Inspectores de laboratorio conversión: No se tendrán inspectores de laboratorio. Se propone que a mitad de turno, el inspector de línea deja las pruebas del producto terminado de cada línea a su cargo al inspector de línea de conversión 2 para que evalúe las variables de peso base, peso neto, firmeza y resistencias en MD y CD, y conteo de hojas junto con el de sus líneas a cargo. Del resto de variables, el diámetro de rollo se propone evaluarlo en la misma línea (inspección en línea) y el ancho de paquete no se medirá debido a que depende directamente del diámetro del rollo.

¹⁷ Llámese Conversión 1 a las líneas destinadas a la producción de rollos de papel higiénico y toalla. Conversión 2 refiere a las líneas destinadas a la producción de productos institucionales y de baja rotación.

- Supervisor de calidad: recibirá en resumen la situación de las líneas de los inspectores. Se encargará de participar de las reuniones de *Centerlining* y de *Lean Manufacturing*. Podría ser reemplazado en esta última por algún inspector si es que el tiempo lo permite. Asimismo, se encargará de realizar las inspecciones de nivel II a un lote producido durante la semana, para verificar la calidad de salida.
- El resto de roles en el área se mantendrá tal como se encuentra actualmente.

Este problema se observó durante la redacción de la presente tesis pero no se profundizará más para enfocar el presente trabajo principalmente en los métodos de control estadístico e indicadores.

3.4.6. Herramientas de mejoramiento de la Calidad

Cumpliendo con el ciclo PDCA (*Plan-Do-Check-Act*) de la norma ISO 9001 para llegar a la mejora continua, es necesario contar con herramientas que puedan facilitar la labor de la retroalimentación de los procesos y poder mejorar continuamente las operaciones del área de Calidad de la Planta. Actualmente el área sólo utiliza un diagrama de Causa-Efecto para cada bobina de rollo duro que se concede¹⁸, se rechaza o se reclasifica. Sin embargo, este es el único caso en el que se observa un intento de identificar causas raíces de los problemas que afecta la producción. Es importante poder realizar este tipo de análisis del proceso de manera frecuente para poder anticipar las fallas en la producción y evitar costos de fallas, internas y externas.

Oportunidad de mejora: Análisis de Causa-Efecto solo se realiza para las bobinas concesionadas, mas no para las bobinas rechazadas o los lotes rechazados en Conversión.

Solución propuesta: Extensión de la aplicación del análisis de Causa-Efecto para todos los incidentes donde se vea afectada la calidad del producto. Dado que esta herramienta ya se viene aplicando en parte debido a la implementación de la filosofía de *Lean Manufacturing*, se espera que se extienda al área de Calidad.

¹⁸ Un proceso de concesión sucede cuando una bobina no cumple con alguna especificación, pero no de manera objetable. La bobina es analizada y se evalúan los impactos que podría tener su uso en Conversión.

3.4.7. Indicadores de desempeño

El área de Aseguramiento de la Calidad en la Planta en estudio evalúa mediante los indicadores del Ci y Ti la variabilidad y la capacidad del proceso para cumplir con las especificaciones de los productos. Mediante el PPM, se evalúa la cantidad de productos defectuosos (no confundir con defectos) sobre la cantidad de muestras obtenidas. Asimismo, este último en sí no dice mucho acerca de la causa, simplemente informa de la cantidad de defectos. Es por ello que muchas veces el operador debe consultar con el inspector para determinar a qué se debieron los defectos. Además, es de considerar que muchos productos presentan dos o más defectos. Para el indicador de PPM, ya sea un producto con un defecto un poco objetable o con muchos defectos rechazables constituyen de igual manera un producto defectuoso.

Respecto al Ci y Ti, estos se muestran al final del turno. Esto es una mala práctica pues estos indicadores constituyen herramientas potenciales para ver la situación actual y tomar decisiones para corregir el proceso. El área no cuenta con algún indicador que constituya una herramienta de decisión y no solo de evaluación.

Actualmente la Planta no posee un valor de capacidad de proceso para cada variable en Conversión y Manufactura. Esto es una gran limitante para el control de procesos, debido a que muchos de los indicadores de procesos y herramientas de control por variables dependen de ello.

Es de considerar también que los indicadores de Ci y Ti son congruentes con los índices de capacidad del proceso. Ellos son Cp y Cpm¹⁹. Estos últimos nos permiten también evaluar el proceso. Además, estos permiten también analizar cuándo el proceso requiere de un mantenimiento y cuándo sólo se requiere cambiar cierto parámetro de la operación (ver punto 4.5.3.).

Adicionalmente es necesario tener indicadores internos para procurar siempre obtener los resultados más fieles al valor real de las muestras.

Oportunidades de mejora: Sería conveniente que la información de los indicadores de Ci y Ti se concienticen en los colaboradores para que se puedan tomar acciones

¹⁹ Montgomery, Douglas C. INTRODUCTION TO STATISTICAL QUALITY CONTROL. 4th Edition. Arizona State University. 2001.

en el proceso. Falta un indicador que mida la variabilidad por parte del sistema de medición.

Solución propuesta: Se propone la implementación de índices de capacidad de proceso que constituya una herramienta adicional para la toma de decisiones en las variables del proceso. Se propone el diseño de una herramienta de evaluación de reproducibilidad y repetividad del sistema de medición.

3.4.8. Capacidad del proceso

La Planta no cuenta con información acerca de su capacidad para el cumplimiento de las especificaciones dadas. Un análisis de la capacidad de proceso podría dar información importante para definir programas de mantenimiento y reajuste, así como determinar la capacidad del proceso para cumplir con las especificaciones de producto, con los equipos e insumos actuales.

Oportunidad de mejora: No se cuenta con análisis de capacidad de proceso. Esto puede resultar en adquisiciones inadecuadas, tanto en materia prima como en equipos. Tampoco se podría determinar si es posible lograr cumplir con los estándares de calidad fijadas.

Solución propuesta: Se propone la definición de la capacidad de proceso y su análisis respectivo utilizando los índices de capacidad de proceso (C_p y C_{pm}).

CAPÍTULO 4: Planificación y diseño de alternativas de mejora²⁰.

En el capítulo anterior se describió cómo es que se encuentra estructurada el área de Aseguramiento de la Calidad en la Planta en estudio, incluyendo un análisis general de algunas oportunidades de mejora. Para ello, se han diseñado las siguientes alternativas con el fin de consolidar el control de la calidad en la Planta y poder tener una base sólida para el aseguramiento de la calidad. Principalmente estos se han aplicado en base a algunas herramientas del Control Estadístico de Procesos (SPC). Cabe recordar que el presente estudio pretende dar los lineamientos para su aplicación a partir de los datos actuales de la producción. Por lo que ante una eventual implementación, los datos deben obtenerse cuando el proceso se encuentre estable y en condiciones óptimas.

4.1. Diagrama de Pareto

Antes de implementar cualquier mejora respecto al control del proceso, es importante determinar cuáles son las prioridades sobre las que se aplicarán. Es por ello que, mediante un diagrama de Pareto, se realizó un análisis de todos los casos no conformes de cada línea por defecto (no confundir con defectuoso), y de cada área productiva (Manufactura y Conversión) en el año 2010, hasta el 1 de Mayo. Cada frecuencia observada incluye bobinas rechazadas (decretadas como *Broke*) o concesionadas.

4.1.1. Manufactura

En la figura 4.1. se muestran los defectos más observados en las bobinas no conformes en la línea 1 a lo largo del año 2010 respectivamente. Es de destacar la predominancia de los atributos sobre las variables como las principales causas, siendo, de estas últimas, la resistencia en húmedo CDH, brillo y la tonalidad b como las variables más destacables. Sin embargo, el brillo es la principal causa de las bobinas no conformes en la línea 2 (anexo 18). A partir de estos diagramas, se buscará priorizar los principales factores causantes de las no conformidades en

²⁰ Calculados en el software *Minitab 15*.

general en Manufactura. Sin embargo, esto no quiere decir que se deje de lado los otros factores. El mismo análisis para la línea 2 se encuentra en el anexo 18.

4.1.2. Conversión

En el área de conversión las inspecciones se realizan cada hora, y los lotes se dividen por producción diaria; es decir, si una línea se encuentra produciendo el producto Rollo Económico x 2, entonces todas las paletas de ese producto que se produzcan ese día pertenecerán a un mismo lote, si la producción sigue para el siguiente día, dicha cantidad del día siguiente será considerada como otro lote. Los defectos mostrados en la figura 4.2., corresponden a todos los rechazos (fuera de límite de especificación o rojo en rango de atributos) registrados en el mes de mayo del 2010, que es a partir de entonces que se comenzó a registrar los resultados de las inspecciones de atributos. Como se puede apreciar, todas las no conformidades respecto al producto *Rollo Económico* han sido debido a rechazo por atributos. Es de destacar, asimismo, que este diagrama es preliminar, determinado en base a los datos obtenidos durante el primer mes que se comenzó a reportar los PPM's en la línea S65. Algunas consideraciones al aplicar este gráfico en el futuro:

- Se deberá tomar este diagrama de manera preliminar, hasta tener un historial de no conformidades en un mayor intervalo de tiempo para recién poder tomarla de base para los análisis correspondientes.
- Este análisis deberá aplicarse análogamente para el resto de líneas y de productos.

Los diagramas de Pareto se han definido a partir de las frecuencias con que se han presentado a lo largo del año 2010 hasta el mes de mayo. Sin embargo, esto no sólo se limita al análisis por frecuencias, sino también podría aplicarse el análisis de Pareto por costo o valoración; considerando los defectos que requieren de acciones correctivas más costosas (más recursos, mano de obra, tiempo, etc.). Es por ello que también se formularon diagramas de Pareto a partir de este análisis, con la valoración mostrada en la tabla 4.1. (Figuras 4.3. y 4.4.), la cual ha sido hallada en base al mayor impacto en la percepción del cliente, no conformidad con estándares de calidad y legales, dificultad de corrección, etc.

Defecto	Val.	Defecto	Val.
Contaminación	4	Cola/Pestaña de Rollo	1
Porosidad	3	Bobinado del Rollo	4
CDH	4	Material Extraño del Rollo	5
Agujeros dispersos	3	Precorte de Hoja	3
Pto. b	2	Papel suelto en Empaque	3
Agujeros longitudinales	4	Material Extraño en la Hoja	5
Puntos azules	4	Gofrado/Color	2
Calibre	2	Material Extraño en la Hoja	5
Formación	3	Material Extraño en el Empaque	5
Elongación	3	Registro del Empaque en la Plancha	4
Brillo	2	Tensión y Ajuste del Empacado	2
MD	4	Apariencia Interior	4
Gramaje	2	Agujeros/Cortes/Arrugas	4
Marca fieltro	2	Olor (Húmedo y Seco)	3
Apariencia del Rollo	5	Calidad del Centro del Core	3
Orejas de Polietileno	3	Perforación "Abre fácil"	2
Sellado de Envoltura	4	Trazabilidad en el Empaque	2
Registro en el Empaque	4	Código de Barras	2
Apariencia de Empaque	4	Tensión y Ajuste en Empaque	2
Separación de Hojas	5	Apariencia exterior en la Plancha	3
Sellado del Empaque	4	Olor en la Plancha	3
Separación de Hojas	4	Código de Barras	2
Cuadratura de Hojas	2	Contenido Correcto de la Plancha	4
Rasgo de Inicio del Rollo	2	Apariencia Exterior	3
Apariencia del Contenido	3	Código de Identificación	2

Elaboración propia

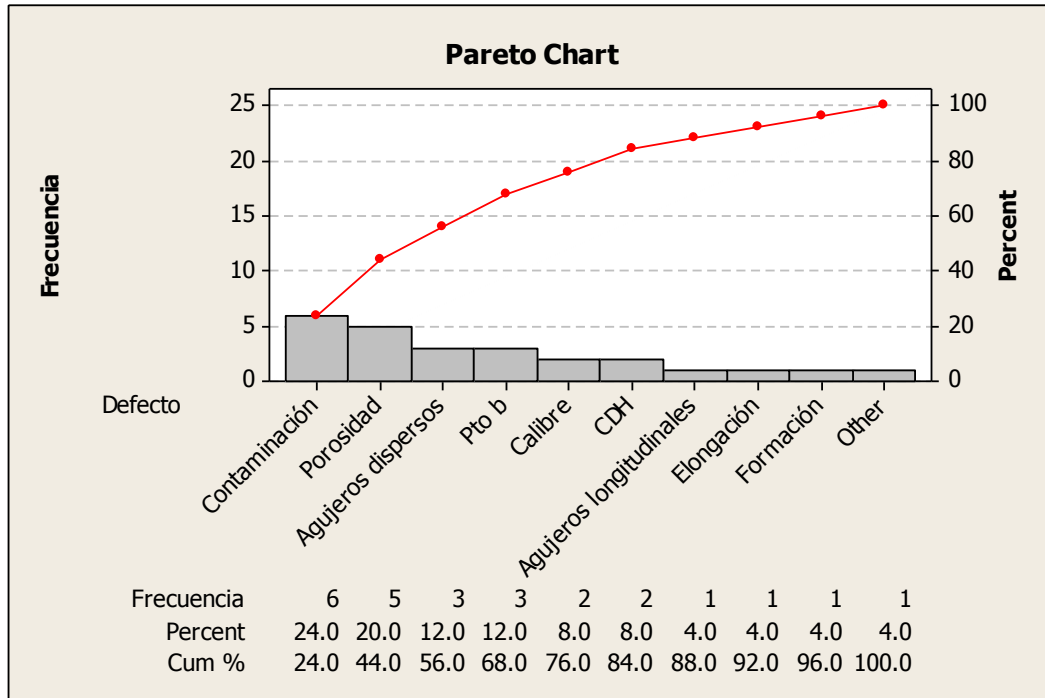


Figura 4.1. Diagrama de Pareto de NC bobina 16g econ. – Línea 1
Elaboración propia

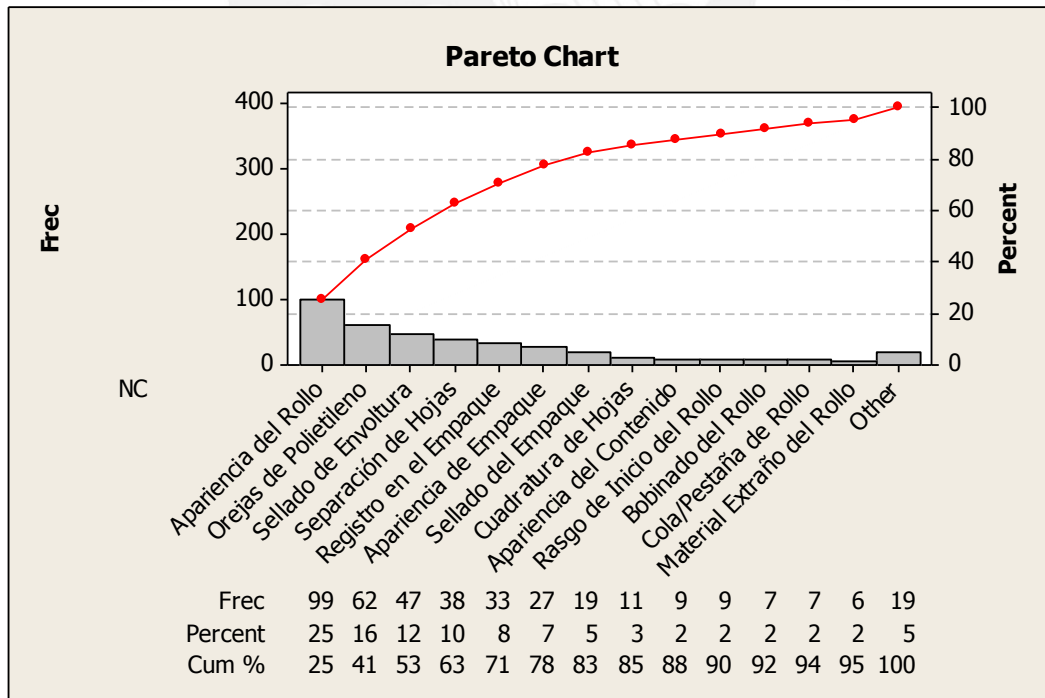


Figura 4.2. Diagrama de Pareto de NC Rollo Económico – línea S65
Elaboración propia

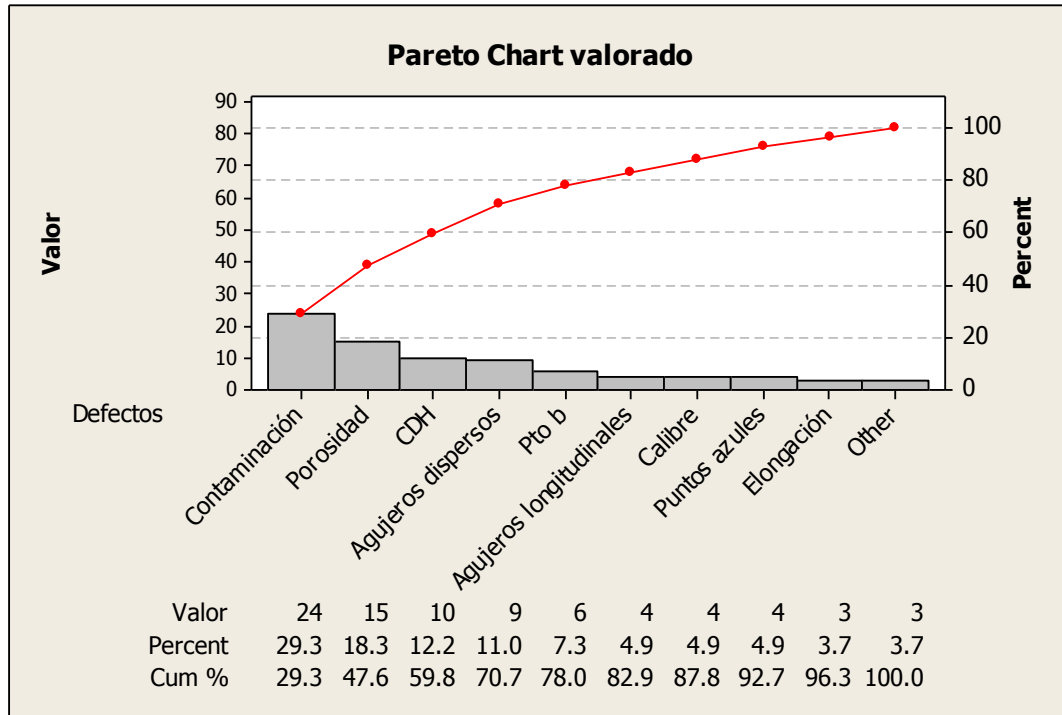


Figura 4.3. Diagrama de Pareto de NC valorado bobina 16g econ. – Línea 1
Elaboración propia

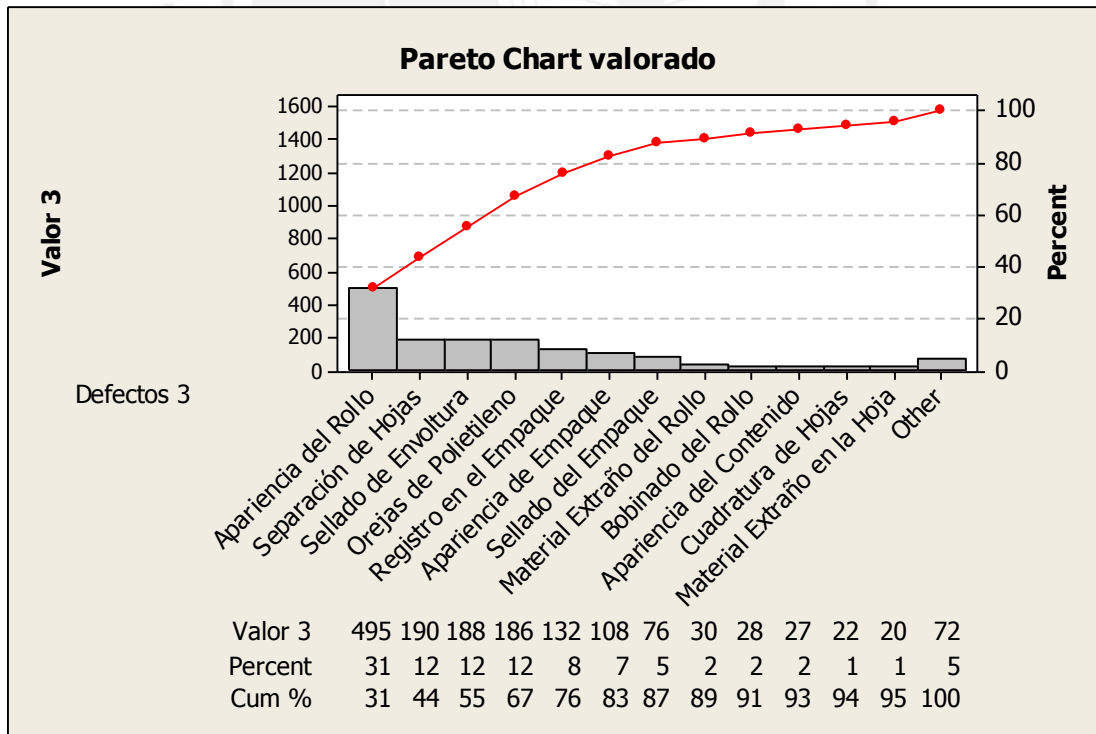


Figura 4.4. Diagrama de Pareto de NC valorado Rollo Económico – línea S65
Elaboración propia

4.2. Diseño de gráficos de control

4.2.1. Manufactura

Siguiendo los pasos detallados en el Capítulo 1, se procede a la implementación de los gráficos de control por variable. Cabe recordar que el presente estudio no pretende imponer estos gráficos de control como los definitivos. Estos constituyen un modelo preliminar de cómo definirlos y aplicarlos. Asimismo, sólo se determinarán, como modelo preliminar para efectos del presente trabajo, los límites de control de la resistencia CDH y el punto b en la línea 1, así como el brillo y el punto b para la línea 2; ambos para las bobinas de la calidad *16g Econ*. Los valores del proceso a partir de los cuales se calcularon los límites constituyen valores donde la producción se percibe casi estable (sin inconvenientes en línea y alejados de las paradas por mantenimiento o ajuste de máquina). Sin embargo, actualmente el proceso no se encuentra estable ni centrado al objetivo especificado en muchas de las variables analizadas en ambas líneas. Es por ello que el presente trabajo ha simulado los valores para las variables analizadas, como si el proceso estuviera estable, a partir de una media igual al valor objetivo y una desviación estándar lo suficiente como para poder lograr un índice de capacidad de proceso $C_{pm}=1.33$ (ver punto 4.5.3.), mediante el método de convolución ajustado a una distribución normal. Se considera que se logrará llegar a un proceso como el simulado luego de ejecutar las cartas de control preliminares (con los datos simulados), en conjunto con planes de acción adecuados.

En el anexo 4 se presentan los datos a partir de los cuales se realizaron los análisis de normalidad. A partir de ellos se demostró el carácter normal del proceso, por lo que se procedió a realizar la simulación con dicha distribución. Siguiendo los pasos detallados en el Capítulo 1, previa prueba de normalidad, se llegaron a los valores que se presentan a continuación:

Prueba de normalidad

Se realizó previamente una prueba de normalidad a los datos elegidos para las variables evaluadas correspondientes a cada línea analizada. Las figuras 4.5 y 4.6 muestran los resultados de las pruebas para las variables analizadas respectivamente. Todos los resultados arrojan un p-value mayor a 0.05, que, para un nivel de confianza del 95% (elegido por el autor), nos permite concluir que las

cuatro variables analizadas pueden ajustarse a una distribución Normal. Esto nos ayudará a poder aplicar los siguientes pasos para la obtención de los respectivos gráficos de control. Los resultados de cada evaluación (media y desviación estándar) se utilizarán para generar valores aleatorios ajustados a una distribución normal de dichos parámetros.

Gráficos de control por variables

Una vez validados los datos elegidos, se formulan los límites y gráficos de control de las variables evaluadas, por cada máquina, a partir de los valores simulados (anexo 5) con las distribuciones normales respectivas. En este caso, debido a que las inspecciones son individuales (cada bobina) en Manufactura, se consideró la formulación de gráficos de control por rangos móviles (I-RM o I-MR). Para el caso de variables que puedan ser dependientes de las condiciones de ciertos puntos de la máquina, tales como el *headbox* o cabezal, se recomienda contar con **un gráfico para cada salida**, tanto para medir humedad, como calibre, peso base, resistencias, entre otras variables. Se consideró una gráfica I-RM debido a que la producción de bobinas es unitaria y el tiempo entre salida de bobinas puede hacer ineficiente el control de procesos a partir de un subgrupo.

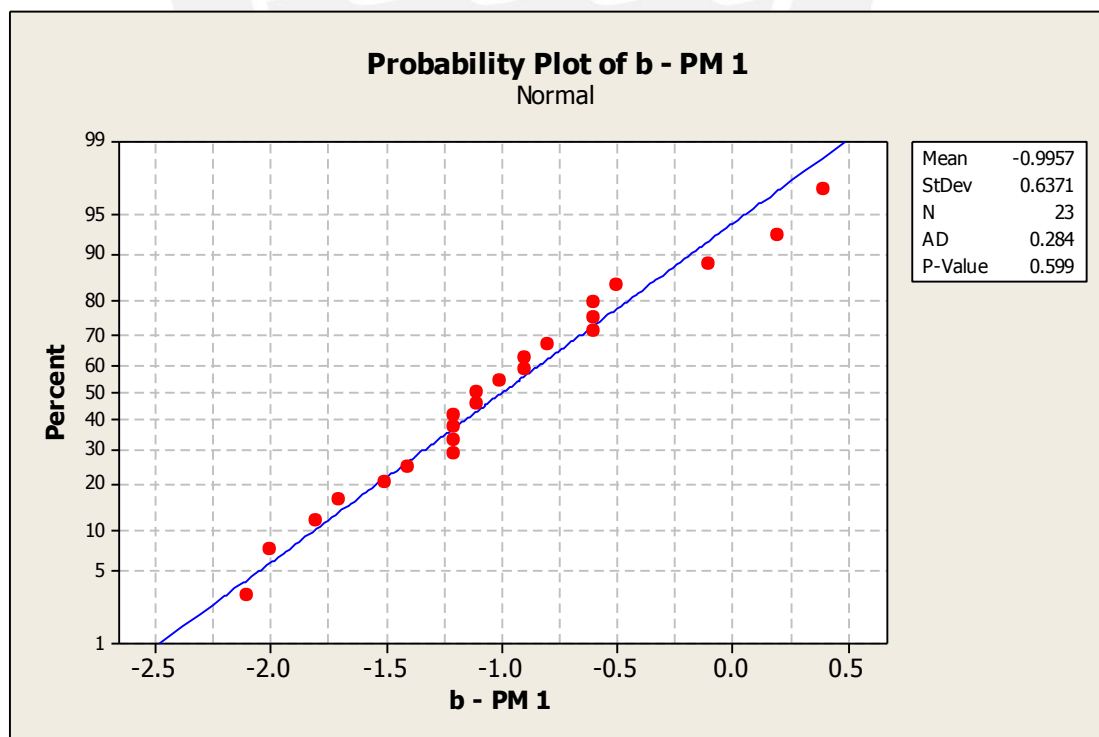


Figura 4.5. Prueba de Normalidad AD Bobina 16g Econ. Punto b – línea 1.
Elaboración propia.

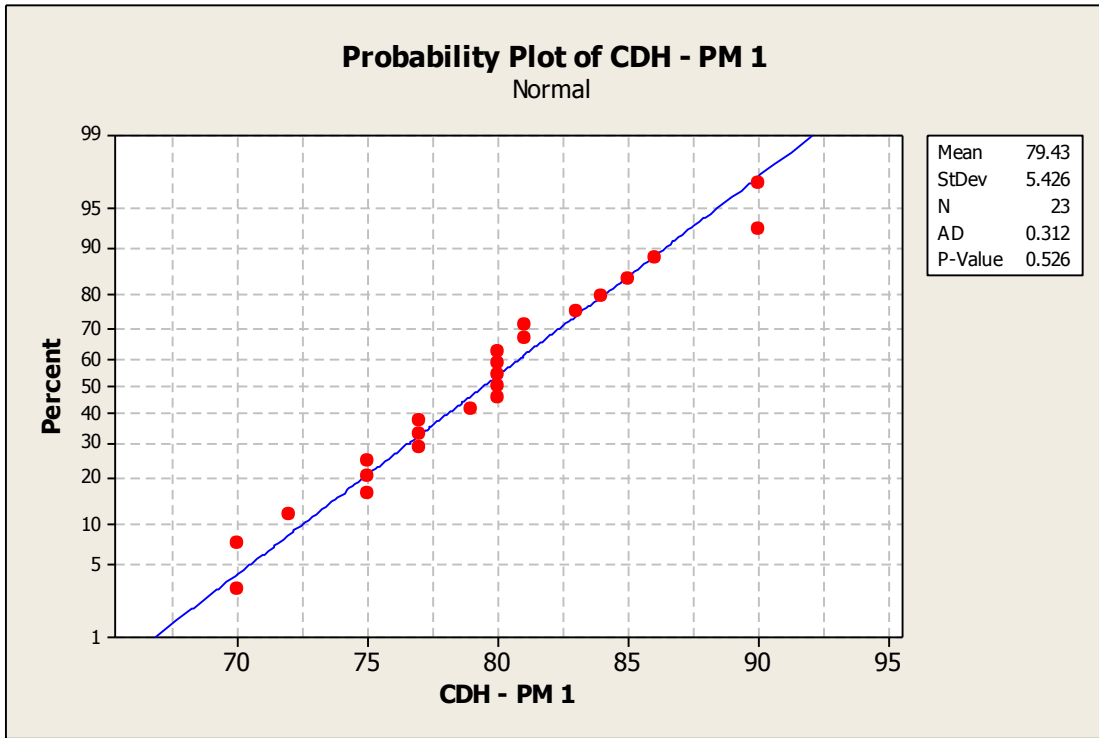


Figura 4.6. Prueba de Normalidad AD Bobina 16g Econ. Resistencia CDH – línea 1
Elaboración propia

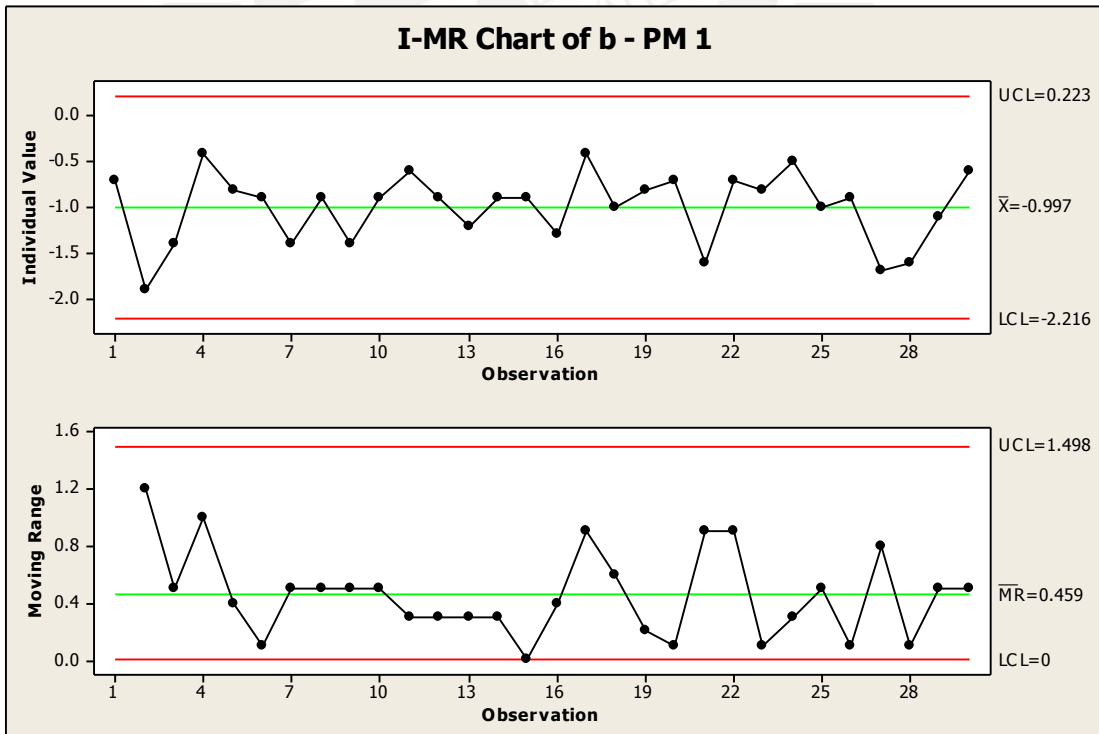


Figura 4.7. Gráficos de control Bobina 16g Econ. Punto b – línea 1
Elaboración propia

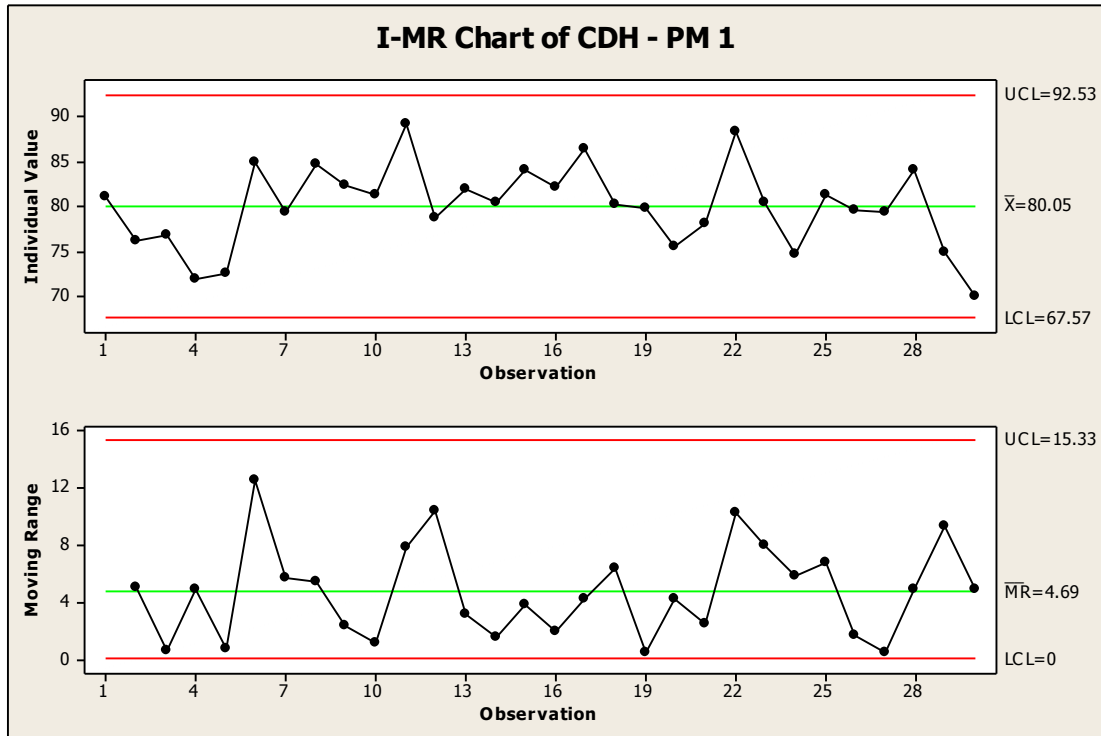


Figura 4.8. Gráficos de control Bobina 16g Econ. Resistencia CDH – línea 1
Elaboración propia

Punto b – Línea 1

En la figura 4.7. se muestra la carta de control para la variable b a partir de los 23 datos elegidos de la línea 1. Empíricamente se conoce que las variaciones dependen de la cantidad de matizante, la consistencia y calidad de pasta ingresada.

CDH – Línea 1

En la figura 4.8. se muestra la carta de control para la variable de resistencia CDH. Variaciones en esta característica dependen directamente del proceso de refinado y la cantidad adherida de resina. La variabilidad del resultado de esta medición también depende de la habilidad del inspector y el cumplimiento del procedimiento establecido para las pruebas de resistencia CDH, donde se debe “curar” la muestra por 6 minutos. Un tiempo diferente podría afectar de manera considerable los resultados, así como también la cantidad de agua que se le humedece para realizar la prueba. Debido a esto, este proceso de medición puede presentar ligeros problemas de repetitividad y reproducibilidad.

Gráficos de control por atributos

Según el manual para las inspecciones en línea (OLT), se tiene que, al terminarse de enrollar una bobina de hoja base, el inspector debe desenrollar alrededor de 4 m de papel para inspeccionar atributos. Sin embargo este valor no es respetado actualmente en las inspecciones. Lo que sí es fijo es el tamaño de la muestra (un área rectangular de aprox. 1m de ancho y todo el largo de la bobina). Tal como se presentó en el diagrama de Pareto, la mayoría de las bobinas no conformes se dan debido a la presencia de defectos en atributos tales como la porosidad o la presencia de agujeros longitudinales. Para ello, sería conveniente contar con una herramienta que permita el control de estos defectos, para poder detectar las fallas o desajustes en el proceso antes que se hagan presentes en el producto final (bobinas de hoja base). Para ello, se propone la formulación de una carta de control c a través de un sistema de deméritos, considerando fijo el tamaño de muestra.

Para su formulación, se tomó de ejemplo 25 datos consecutivos del día 17 de marzo del 2010 de la línea 1 y se asumió como si el proceso estuviera estable en ese tiempo. Asimismo se propone un sistema de valoración de acuerdo a la severidad del defecto, mientras que para los defectos debido a rotura de hoja o bobinado defectuoso, se sugiere tener otra carta de control debido a que su evaluación es de toda la bobina. La valoración se propone de la siguiente manera:

- 100: cuando se tiene un defecto exageradamente fuera de lo aceptable (rango rojo).
- 50: cuando se tiene un defecto que ocasionan que se observe la bobina (concesión) (rango rojo o amarillo).
- 10: cuando se tienen defectos que no amerita rechazar la bobina pero puede que sea necesario tomar alguna medida de corrección en el proceso. (rango amarillo).
- 1: cuando se tienen defectos mínimos que escapan de la capacidad de la línea debido a la calidad del producto.

Asimismo, es importante recordar que la frecuencia de muestreo por el inspector es de una vez por cada dos que se terminan de producir, por cada línea. Sin embargo, esto no quiere decir que el operador encargado se desvincule completamente de la calidad de salida de la bobina, puesto que es él quien debe procurar que se cumpla con la calidad óptima objetiva. Asimismo, se asume que la unidad de inspección es la misma aproximadamente.

Para el presente trabajo de tesis, se presentó un ejemplo en el que se aplicaron las cartas de control a partir de una producción estable de bobinas en la línea 1 de la calidad 16g Econ., producido el día 20 de Octubre del 2010 (OP 56399080). A partir de la valoración mostrada anteriormente, se llegó a la gráfica de control c mostrada en la figura 4.9., el cual se elaboró con el apoyo de un inspector con todas las bobinas consecutivas de la nro. 102 a la 118. El pico en la 7ma muestra (bobina 108) se presenta debido a una arruga plegada observada en la muestra obtenida (ocasionada al momento del muestreo).

Los resultados del análisis de re-inspección por atributos de las bobinas descritas se detallan en el anexo 6.

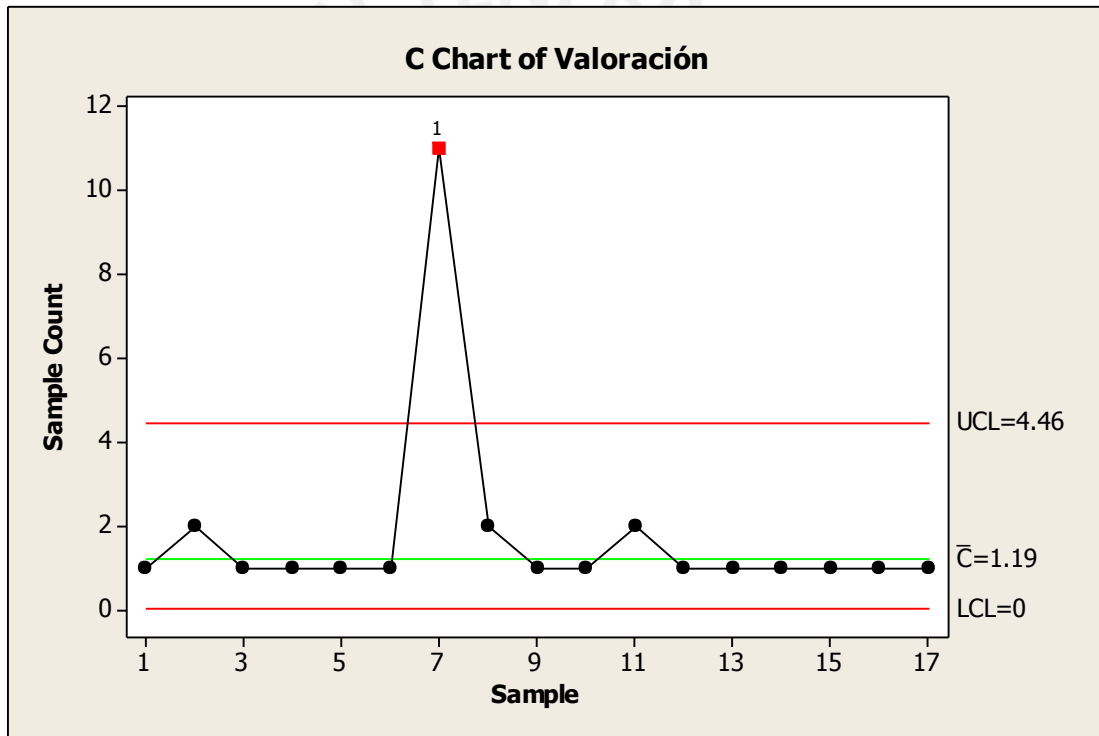


Figura 4.9. Gráfico de control C Bobina 16g Econ. – línea 1
Elaboración propia

4.2.2. Conversión

Como se ha visto en los diagramas de Pareto, tanto en el área de Conversión como en Manufactura, las causas principales de las no conformidades son los defectos en atributos. Debido a ello, es importante tener una herramienta de control para estos y prever cualquier falla en el proceso que pueda presentarse. Para ello, se propone la aplicación de gráficos de control para atributos. Actualmente la Planta cuenta con rangos de evaluación para los atributos. Cuando el valor se encuentra en el rango

rojo, se le considera defectuoso. La carta de control propuesta es la carta u, dado que el tamaño de muestra puede variar, y cada unidad puede poseer más de una no conformidad.

La carta de control formulada en la figura 4.10. y 4.11., se obtuvo a partir de los resultados de las inspecciones en línea (OLT), durante el día 22 de junio del 2010, en la línea F1, para el producto de la calidad PLUS 30MT CL. Los datos utilizados se encuentran en el anexo 7. Cabe resaltar que actualmente se registra tan sólo una no conformidad por producto; es decir, si existe un rollo con problemas de separación de hoja y apariencia pero la más grave es separación de hoja, se registra tan sólo como defectuoso por separación de hoja. Como se trabajaron con estos datos, entonces se asume que en las unidades de inspección tan sólo se encontró el defecto indicado en el registro. De implementar el gráfico de control, se deberá exigir el registro de todos los defectos en todas las corridas de inspección. Debido a la ausencia de detalles de los defectos encontrados (todos son rojos) no se formularon las cartas utilizando sistema de deméritos; sin embargo, no se debería descartar su aplicación de tener los datos.

4.3. Análisis de reproducibilidad y repetibilidad

Si bien es cierto, la Planta en estudio posee una certificación ISO 9001 que certifica a su vez que todos los sistemas de medición se encuentren certificados y calibrados adecuadamente, existe una posibilidad de error en los resultados debido a otros factores inherentes a la función de medir, como son la habilidad del operario o el mismo error de la variable medida debido a la muestra. Asimismo, se constata que muchos de los equipos de medición son sensibles a las condiciones ambientales del laboratorio, como es el caso de los equipos ópticos con relación a la temperatura. Estos factores constituyen la reproducibilidad y repetibilidad del sistema de medición y su análisis se puede realizar a través de una tabla ANOVA. El presente trabajo ha formulado una tabla con 9 muestras correspondientes a la medición de la variable Brillo en bobinas de calidad 16g Econ. (OP: 55155993) de la línea 1, producidas el día 23 de agosto del 2010, desde la bobina 320 hasta la 328, cuyos valores

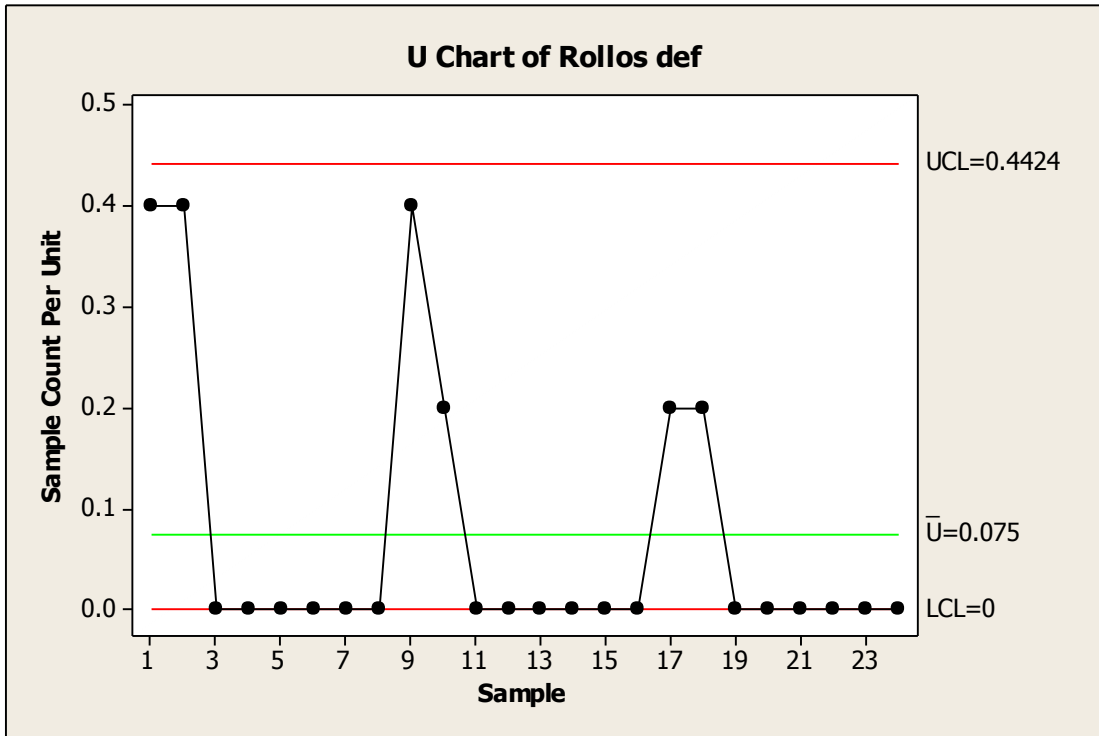


Figura 4.10. Gráfico de control u rollos. PLUS 30MT CL – Línea F1
Elaboración propia

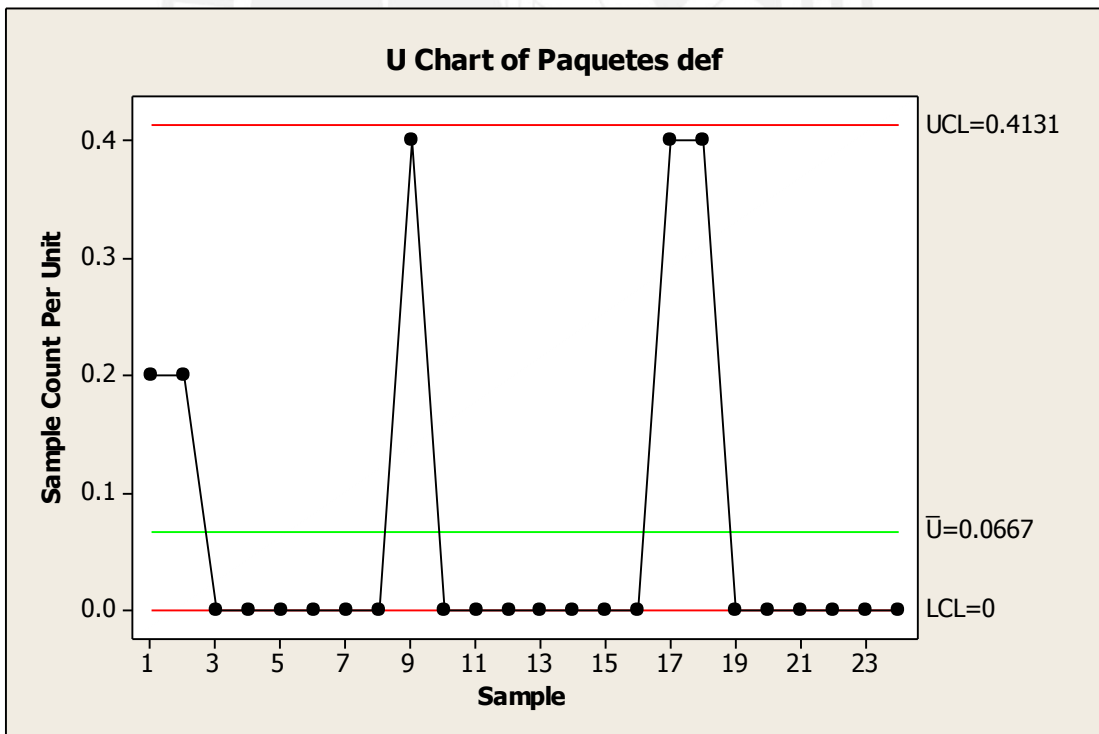


Figura 4.11. Gráfico de control u paquetes. PLUS 30MT CL – Línea F1
Elaboración propia

registrados se muestran en el anexo 8. Se contrastaron los datos obtenidos para dicha variable obtenidos por el inspector DZ y los obtenidos posteriormente por el

inspector CF para las mismas muestras. Estos datos se ingresaron al software *Minitab 15* y se obtuvieron los resultados mostrados en la figura 4.12. y 4.13.

A partir de esto, se determinó que las variaciones en el sistema de medición contribuyen en un 5.6% de la variación total de los resultados. Asimismo se halló que, debido a que el ratio de precisión del sistema de medición a la tolerancia total del proceso de manufactura (StudyVar) se encuentra a un nivel menor a 30%²¹, este se encuentra en un nivel aceptable (figura 4.12.). Según la gráfica “*Components of variation*” podemos observar que la mayor parte de la variación se da debido a la variación propia del producto, lo cual es lo recomendable. Asimismo, esto nos indica que las gráficas de control de brillo calculadas anteriormente no tienen que ser recalculadas debido a variaciones en el sistema de medición. A partir de esto se puede concluir que el equipo de medición no requería de ninguna acción correctiva al momento de realizar este análisis.

Además del análisis de la variación debido a R&R, esta herramienta se podría utilizar para la evaluación de la habilidad de los inspectores nuevos para realizar el muestreo de manera adecuada. Es así que se podría calificar el entendimiento y la destreza del nuevo inspector luego del entrenamiento en STM e inducción específica, utilizando la gráfica “*variable by Inspector*”, llevando a cabo un muestreo parecido al presentado líneas arriba, teniendo como finalidad que la línea que une las medias de ambas mediciones sea lo más horizontal posible.

Éste análisis se debe realizar durante cada verificación de los equipos de medición para determinar la necesidad de calibración del equipo o re-entrenamiento de personal. De esta manera se logrará verificar de manera efectiva la precisión y exactitud de los resultados de las mediciones y evitar incluir en los análisis de variabilidad (cartas de control – 4.2.) debido al sistema de medición.

²¹ SiliconFarEast.com, referencia en línea para la manufactura de semiconductores <http://www.siliconfareast.com/grr.htm> (Consulta: 10/08/2010)

Two-Way ANOVA Table Without Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Muestra	8	29.4000	3.67500	68.7960	0.000
Inspector	1	0.0011	0.00111	0.0208	0.886
Repeatability	26	1.3889	0.05342		
Total	35	30.7900			

Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.053419	5.57
Repeatability	0.053419	5.57
Reproducibility	0.000000	0.00
Inspector	0.000000	0.00
Part-To-Part	0.905395	94.43
Total Variation	0.958814	100.00

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0.231125	1.38675	23.60
Repeatability	0.231125	1.38675	23.60
Reproducibility	0.000000	0.00000	0.00
Inspector	0.000000	0.00000	0.00
Part-To-Part	0.951523	5.70914	97.17
Total Variation	0.979191	5.87514	100.00

Number of Distinct Categories = 5

Figura 4.12. Reporte de análisis de Gage R&R Bobina 16g Econ. b – línea 1
Elaboración propia

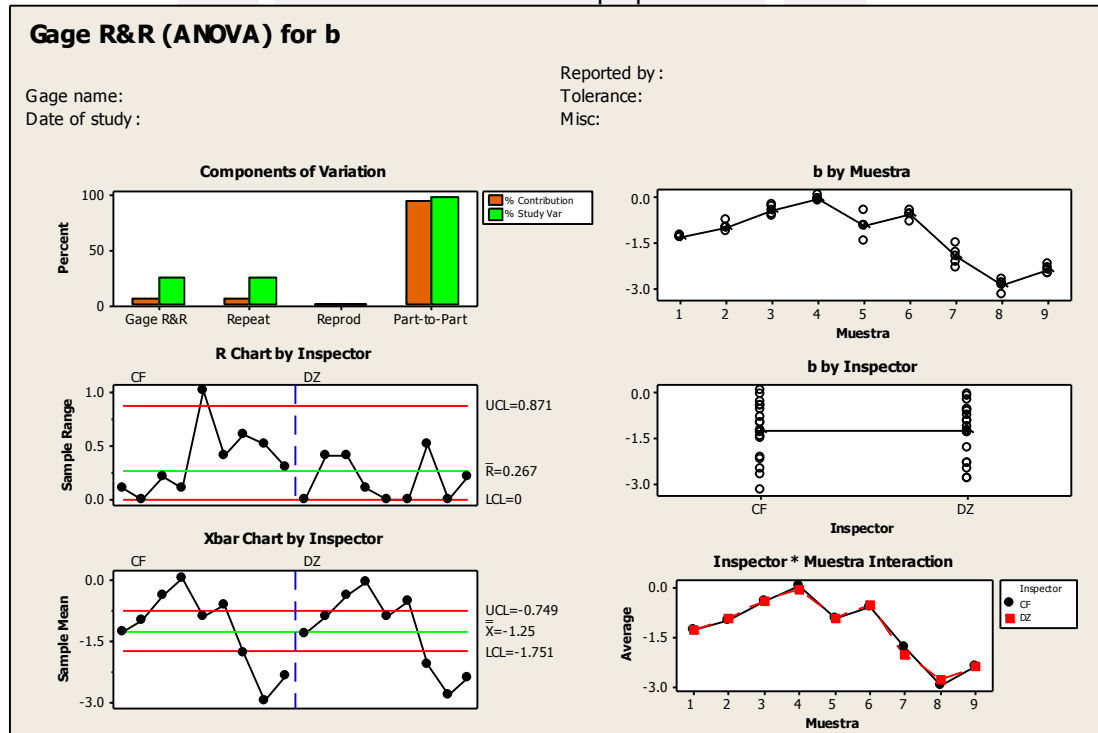


Figura 4.13. Reporte gráfico de análisis de Gage R&R Bobina 16g Econ. b – línea 1 / EP

4.4. Diseño de planes de muestreo

Tal como se mencionó en el punto 3.1., en el área de Manufactura, las bobinas se inspeccionan cada dos en atributos y todas en variables; para cada línea. En el área de Conversión se inspeccionan los atributos en las diferentes etapas del proceso en cada recorrido (aproximadamente 7 recorridos) en un turno (de 8 horas). Las variables se analizan en el laboratorio de Calidad – Conversión al final de cada recorrido. Debido a que en Manufactura sólo se manejan dos líneas y la producción es unitaria (una bobina cada media hora aproximadamente), se considera que el muestreo individual actual es adecuado.

4.4.1. Muestreo de aceptación por atributos

En primer lugar, es necesario definir el lote de producción para efectos de obtener el número adecuado de muestras. Actualmente un lote es considerado la producción de un día de un tipo de producto, independientemente de la línea; sin embargo, esto es un número variable que depende de la programación. Para efectos de esta tesis, se ha estimado un *lote de inspección*, considerando que una paleta se termina cada 10 minutos (generalmente demora más tiempo), por lo tanto, se definirá un *lote de inspección*²², que consiste en 48 paletas en un turno de 8 horas o 72 paletas en un turno de 12 horas para una línea. El análisis se realizará para la presentación de paquete de dos rollos en una de las líneas. Entonces para una paleta, se requerirán:

- 5320 rollos
- $221.667 \approx 222$ logs (de un log se obtienen 24 rollos)
- 2160 paquetes
- 216 planchas

Para un turno, se determinaron las cantidades producidas de manera general en una línea y, luego de cruzar dicha información en la tabla MIL 150E (ver anexo 9), se determinó la cantidad de muestras a inspeccionar en todo un turno, para un nivel II. La inspección de nivel II se realizará al menos una vez semanal a un lote terminado, por el supervisor de Calidad para “verificar” la calidad de salida y la

²² El lote de inspección se determina para hallar el número de muestras en las tablas militares. No confundir con lote de producción.

Turno de 8 hrs				Turno de 12 hrs			
Lote	unid	Letra clave	Muestra	Lote	unid	Letra clave	Muestra
48	pallets	D	8	72	pallets	E	13
255360	rollos	P	800	383040	rollos	P	800
103680	paquetes	N	500	155520	paquetes	P	800
10368	planchas	L	200	15552	planchas	M	315

Elaboración propia

Turno de 8 hrs				Turno de 12 hrs			
Lote	unid	Letra clave	Muestra	Lote	unid	Letra clave	Muestra
48	pallets	D	5	72	pallets	E	8
255360	rollos	P	500	383040	rollos	P	500
103680	paquetes	N	315	155520	paquetes	P	500
10368	planchas	L	125	15552	planchas	M	200

Elaboración propia

efectividad del control de calidad. Se considerarán alternativas de muestreo simple y doble.

En la tabla 4.2. se presenta el plan de muestreo, de optarse por una inspección simple, y las condiciones de aceptación y rechazo de lotes de inspección. En la tabla 4.3. se presenta el plan de muestreo en el caso de optarse por una inspección doble. Esto se ha calculado para un AQL de 2.5% (definido por la corporación) para una inspección normal. Finalmente, no se considera necesaria la re-definición del muestreo para variables debido a que no es un factor relevante históricamente en el control de calidad en Conversión y su control se da principalmente en Manufactura.

Dinámica del plan de muestreo

Las tablas 4.4. y 4.7. muestran las cantidades de aceptación y rechazo de cada inspección, correspondiente a una inspección normal. Como se mencionó en el Capítulo 1, existen otros dos tipos de inspecciones: la rigurosa y la reducida, los cuales se deberán adoptar cuando sucedan las condiciones mencionadas en el mismo capítulo. Las tablas 4.5., 4.6., 4.8. y 4.9. muestran los planes de control para una inspección rigurosa y reducida respectivamente, para cada plan de muestreo. Cabe destacar que el objetivo de todo proceso es quedarse en la inspección reducida.

Turno de 8 hrs				Turno de 12 hrs			
Muestra	unid	Ac	Re	Muestra	unid	Ac	Re
8	pallets	0	1	13	pallets	0	1
800	rollos	21	22	800	rollos	21	22
500	paquetes	21	22	800	paquetes	21	22
200	planchas	10	11	315	planchas	10	11

Elaboración propia

Turno de 8 hrs				Turno de 12 hrs			
Muestra	unid	Ac	Re	Muestra	unid	Ac	Re
8	pallets	0	1	13	pallets	1	2
800	rollos	18	19	800	rollos	18	19
500	paquetes	18	19	800	paquetes	18	19
200	planchas	8	9	315	planchas	12	13

Elaboración propia

Tabla 4.6. Planes de muestreo. AQL de 2.5% e inspección reducida. Nivel II - simple

Turno de 8 hrs				Turno de 12 hrs			
Muestra	unid	Ac	Re	Muestra	unid	Ac	Re
3	pallets	0	1	2	pallets	0	1
315	rollos	10	13	315	rollos	10	13
200	paquetes	10	13	315	paquetes	10	13
80	planchas	5	8	125	planchas	7	10

Elaboración propia

unid	Turno de 8 hrs				Turno de 12 hrs			
	Muestra	c	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestra	c	Muestreo 1	Muestreo 2
pallets	5	Ac	0		8	Ac	0	1
		Re	1			Re	2	2
rollos	500	Ac	11	26	500	Ac	11	26
		Re	16	27		Re	16	27
paquetes	315	Ac	11	26	500	Ac	11	26
		Re	16	27		Re	16	27
planchas	125	Ac	5	12	200	Ac	7	18
		Re	9	13		Re	11	19

Elaboración propia

En la presente tesis se han presentado las alternativas de un plan de inspección simple y otro doble. El análisis de cada uno se encuentra en el punto 5.2.

unid	Turno de 8 hrs				Turno de 12 hrs			
	Muestra	c	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestra	c	Muestreo 1	Muestreo 2
pallets	5	Ac Re	0 1		8	Ac Re	0 2	1 2
rollos	500	Ac Re	9 14	23 24	500	Ac Re	9 14	23 24
paquetes	315	Ac Re	9 14	23 24	500	Ac Re	9 14	23 24
planchas	125	Ac Re	3 7	11 12	200	Ac Re	6 10	15 16

Elaboración propia.

unid	Turno de 8 hrs				Turno de 12 hrs			
	Muestra	c	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestra	c	Muestreo 1	Muestreo 2
pallets	2	Ac Re	0 1		3	Ac Re	0 2	0 2
rollos	200	Ac Re	5 10	12 16	200	Ac Re	5 10	12 16
paquetes	125	Ac Re	5 10	12 16	200	Ac Re	5 10	12 16
planchas	50	Ac Re	2 7	6 9	80	Ac Re	3 8	8 12

Elaboración propia.

4.5. Diseño de indicadores

4.5.1. Partes por millón (PPM)

El área de Calidad en Conversión actualmente maneja el indicador de PPM para evaluar la producción de rollos en dos líneas de producción. La cantidad de muestras defectuosas que se encuentren en todo el turno es dividida por el total de muestras obtenidas (actualmente 13 muestras por corrida, 5 rollos, 5 paquetes, 1 log, 1 plancha y 1 paleta; 104 muestras por turno). Con el plan de muestreo mencionado, la cantidad de muestras será mayor, pero el cálculo del PPM y el seguimiento será el mismo. Esto puede ser utilizado como una herramienta más para evaluar las áreas productivas. Se debe extender la aplicación a todas las líneas para contar con un mejor seguimiento de la producción.

4.5.2. Defectos por millón (DPM)

Si bien es cierto se propone seguir con el índice de PPM para la evaluación de la producción, tener un índice que indique la situación de los atributos específicamente podría proveer información importante para realizar la retroalimentación al área productiva. Tal es el caso de tener el índice de DPM, el cual nos da la cantidad de defectos sobre un millón de muestras. La razón de utilizar este indicador es debido a que una unidad de muestra (rollo, log, paquete, etc.) puede presentar más de un solo tipo de defectos. Mientras que el índice de PPM presenta la cantidad de productos defectuosos, el DPM nos indica la cantidad de defectos. El presente trabajo recomienda incluir dicho indicador en las reuniones de *LEAN* (cada dos horas) en las que se presente el valor de DPM y los defectos más encontrados hasta el momento (diagrama de Pareto). Por ejemplo, en la figura 4.14. se puede observar un diagrama de Pareto con los defectos encontrados el día 1 de mayo del 2010, para el muestreo de paquetes.

4.5.3. Análisis de Capacidad del Proceso²³

C_p

El índice *C_p*, tal como se presentó en el Capítulo 1, se halla a partir de la diferencia de los límites de especificación superior e inferior, dividida entre la capacidad del proceso (seis veces la desviación estándar del proceso). Este índice es equivalente al índice *C_i*.

$$C_p = \frac{LES - LEI}{6\sigma}$$

Si este índice es menor a 1, entonces el proceso se dice no ser capaz de satisfacer las especificaciones del producto. Lo ideal es que el proceso tenga un índice de *C_p* mayor a 1.33. Sin embargo, el análisis de este índice sólo es aplicativo cuando se tiene un proceso centrado al objetivo. En caso contrario, es más conveniente analizar el índice *C_{pm}*, presentada a continuación.

²³ Cabe señalar que todas las especificaciones de los productos poseen valores objetivos centrados con respecto a sus límites superior e inferior.

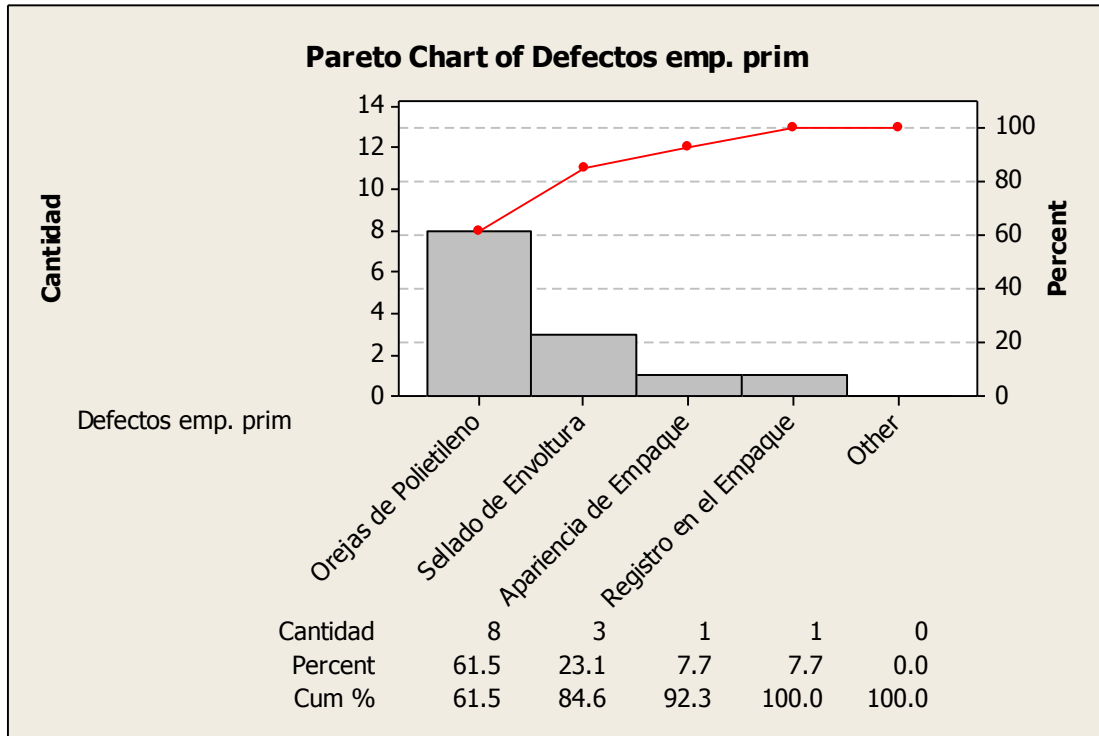


Figura 4.14. Diagrama de Pareto para defectos encontrados en empaque primario al término del tercer turno. 01/05/2010 – 02/05/2010. Línea S65
Elaboración propia

C_{pm}

Este índice, mide el desempeño del proceso en términos del valor de la media, conveniente para procesos que no se encuentran centrados dentro de los límites de especificación.

$$C_{pm} = \frac{LES - LEI}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}$$

Donde lo ideal es que el índice sea mayor que 1.33, si no lo es, se dice que el proceso no es capaz. Cabe señalar que para ambos casos, la desviación estándar puede estimarse como $\frac{\bar{R}}{d_2}$ (si el proceso se encuentra bajo control estadístico) o como la desviación estándar de una muestra aleatoria.

Por lo visto anteriormente, el índice de *C_{pm}* siempre será menor o igual al *C_p*, debido a que el primero se obtiene de la mínima diferencia entre la media y los límites de especificación. Sin embargo, ambos pueden ser evaluados conjuntamente a la hora de tomar decisiones respecto a ajustes o mantenimiento de las líneas.

Caso 1: $C_p > 1$, $C_{pm} > 1$, $C_p = C_{pm}$

En este caso, se puede concluir que el proceso se encuentra centrado y es capaz de cumplir con las especificaciones para el producto dado. No se debe realizar ningún cambio a las variables del proceso.

Caso 2: $C_p > 1$, $C_{pm} > 1$, $C_p \neq C_{pm}$

En este caso, el proceso no se encuentra centrado; sin embargo, todos los productos cumplen con las especificaciones. Esto implica que se realicen algunos ajustes debido a que este descentrado puede volverse más severo en el futuro.

Caso 3: $C_p > 1$, $C_{pm} < 1$

Para esta situación, es necesario un ajuste en las variables del proceso.

Caso 4: $C_p < 1$, $C_{pm} < 1$

Esta situación implica mayor dificultad de solucionarse debido a que se debe reducir la variabilidad del proceso. En este caso, sería conveniente realizar un mantenimiento y/o limpieza de maquinaria, entre otras acciones, para atacar las causas posibles de esta alta variabilidad. En caso no se logre que sea una capacidad mayor a 1, entonces puede que se evalúe la necesidad de reemplazar el equipo o solicitar la modificación de las especificaciones.

En el anexo 10. se muestran los índices de proceso, tanto para la situación actual como la mejorada debido a la implementación de las cartas de control realizada en el software *Minitab 15*.

4.6. Revisión del plan de calidad actual

Con las propuestas presentadas a lo largo de este capítulo y las actividades críticas identificadas en el segundo capítulo, se definió un nuevo plan de calidad para las actividades de inspección y verificación de factores que afecten en la calidad final del producto del proceso (Semielaborado o terminado). Este se muestra en el anexo 19.

CAPÍTULO 5: Aplicación de propuestas de mejora y evaluación de resultados esperados

5.1. Consideraciones en la implementación

A continuación se darán algunas pautas para la implementación de las propuestas presentadas.

5.1.1. Diagramas de Pareto

Se debe realizar un consolidado de todas las bobinas rechazadas y concesionadas, de mínimo un año, para cada una de las calidades (22 en Manufactura, 25 en Conversión y 61 en Conversión). Luego, registrar la causa inmediata de cada rechazo. A esto, se calculan las frecuencias y se calcula el diagrama de Pareto. A partir de este diagrama se identificarán los defectos más importantes respecto a variables y atributos. Se priorizará el cálculo para los productos de mayor rotación.

5.1.2. Control de procesos

En Manufactura, se diseñarán los gráficos I-RM, partiendo del cálculo de los límites de control para las variables. El orden de implementación tendrá como prioridad aquellas con mayor frecuencia en las bobinas. La secuencia de aplicación deberá constar de lo siguiente:

1. Identificar las causas inmediatas y básicas de los saltos en variables.
2. Se deberán centrar los esfuerzos para corregir las variables del proceso y mantener siempre la estabilidad del mismo. Estas mediciones se utilizarán para calcular las cartas de control preliminares.
3. A pesar que la planta en estudio posee unos registros de “conocimientos técnicos documentados”, mediante los cuales se indican qué variables del proceso de la línea afectan a qué variables del producto final de la misma, sería importante verificar el nivel de influencia de cada uno sobre cada característica respectiva, mediante diseños de experimentos (DOE).
4. Evaluar, a través de los índices de capacidad de proceso, la capacidad del proceso (en control) de cumplir con las especificaciones dadas del producto. Se deberá considerar reajustes en las máquinas, cambios de proveedor de materia prima o insumos, o variación de especificaciones. Para cada variable de producto, se deberán mantener en el valor objetivo de las variables del

proceso en la línea y calcular los índices de capacidad de proceso y definir si es que es capaz de entregar productos dentro de las especificaciones dadas (C_p mayor a 1.33). En el caso de no estarlo, se deberán realizar las modificaciones o correcciones pertinentes o solicitar la modificación de las especificaciones.

5. Una vez validado que la línea es capaz de entregar las especificaciones requeridas de producto, se procederá a calcular los gráficos de control preliminares, para cada variable, de cada calidad de producto (considerar prioridades del diagrama de Pareto).
6. Aplicar los gráficos de control para los procesos actuales.
7. Luego de lograr la estabilización de la producción y centrado en el objetivo mediante estos gráficos, se procederá a re-calcular estos gráficos de control con las variables actuales cada 6 meses, con el objetivo de lograr índices de capacidad de proceso superiores a los 1.33.

Para las cartas de control c en manufactura, se deberá considerar:

1. Procurar que la cantidad de papel a desenrollar sea aproximadamente la misma. De poderse hallar la cantidad exacta de papel inspeccionada, se podría utilizar un gráfico u .
2. “Estandarizar” los criterios con las que los inspectores y operadores evaluarán las bobinas.

Para el caso de las cartas de control u en Conversión, se deberán tener las siguientes consideraciones:

1. “Estandarizar” los criterios con las que los inspectores y operadores evaluarán las bobinas.
2. Para el caso del diámetro, esta variable se deberá medir directamente en la línea, y los datos serán entregados junto con los atributos mesurables más importantes.
3. Durante cada intervalo, se obtendrán entre 4 a 6 muestras (siguiendo subgrupos racionales). El resultado de cada inspección deberá ingresarse a las cartas de control u y mostrarse a los responsables de la producción.

Asimismo, la implementación de cartas de control debe de llevarse a cabo de manera conjunta con planes de control adecuados que permitan siempre dirigir el proceso al objetivo.

Por último, la aplicación del control estadístico de procesos debería estar acompañada por la aplicación de Ingeniería de control de procesos (EPC), tema que no se detallará en el presente documento, pero que se recomienda ahondar para perfeccionar el control y la mejora continua del proceso.

5.1.3. Plan de muestreo y reinspección

En conversión, el plan de muestreo propuesto deberá implementarse, previa capacitación y conocimiento de este nuevo método, incluyendo las dinámicas entre los tipos de muestreo. Asimismo, en las capacitaciones se deberá resaltar las diferencias entre el muestreo regular y el de reinspección.

Cabe resaltar que el objetivo de este plan de inspección es llegar al nivel de inspección reducida siempre, en caso no suceda, dará indicios que el proceso aún no se encuentra en total control. Asimismo, es necesario que la dinámica del muestreo se cumpla, o los resultados no serán los adecuados.

Para el largo plazo, el presente trabajo propone incluir las inspecciones de calidad, tanto para variables como atributos, a las responsabilidades de las áreas productivas (Manufactura y Conversión), para que se tenga mayor énfasis en el aseguramiento de la calidad. Sin embargo, esto no significa la disolución del área de Calidad, sino, convertirla en un área de desarrollo y benchmarking; con responsabilidad en el desarrollo de nuevas presentaciones, gestión de defectuosos y reclamos, y auditorías al sistema de aseguramiento de la calidad.

5.1.4. Indicadores

La aplicación del indicador de DPM deberá incluir una evaluación de todos los defectos presentados para la producción actual, a través de un diagrama de Pareto. Este dato debería reemplazar los PPM para la retroalimentación del proceso. Las PPM aún se pueden mantener para evaluar el cumplimiento de las áreas productivas y de calidad.

Respecto a la capacidad de proceso, estas se aplicarán para la evaluación de la producción, teniendo como objetivo alcanzar como mínimo el valor de 1.33 en Cpm,

una vez que el proceso se encuentre estable y centrado. Mientras no lo esté, este indicador podrá ofrecer una ayuda adicional para medir el nivel de centrado y hacerle seguimiento a la capacidad del proceso a cumplir con las especificaciones para un producto dado. Para llegar a la estabilidad del proceso, es necesario:

1. Cumplir con los programas de mantenimiento e inspección de los equipos sugeridos por los fabricantes (la verificación de equipos se puede realizar a través de un análisis de R&R).
2. Cumplir con los programas de verificación y calibración del sistema de medición.
3. Concientizar la necesidad de ajustar el proceso a los valores *Target* ya sea en el proceso o en las características del producto del proceso.
4. Atacar las causas básicas (raíz) y no solo las inmediatas en los incidentes y problemas que puedan suceder (diagrama causa-efecto, reporte de incidentes).

5.2. Evaluación de resultados esperados

En los puntos anteriores se han presentado varias propuestas de mejora para la situación actual. Sin embargo, a la hora de comparación de la situación actual con la propuesta, se evaluaron solamente la aplicación del control de variables en Manufactura, la calidad media de salida en Conversión y la inspección total media. Asimismo, se evaluó la capacidad del proceso actual, contrastando con la propuesta. No se evaluaron otras propuestas con respecto a la situación actual debido a que los resultados preliminares presentados no deben ser considerados como las definitivas ya que antes de formularlos, la obtención de los datos debería llevarse a cabo de la manera más adecuada para cada tipo de análisis. Tal es el caso de las gráficas de control de atributos u , que se formularon en el capítulo 4 a partir de resultados de inspección de defectuosos y no de defectos (de los que no se tienen datos históricos). Cabe señalar que las herramientas propuestas no implican una mejora en el proceso directamente, sino que facilitan el control y mejora del proceso en sí, por lo que los siguientes resultados son estimados considerando que se han complementado con planes de acción, tanto correctivos como preventivos, adecuados.

5.2.1. Aplicación de cartas de control de variables en Manufactura

A pesar de tratarse de un proceso de producción con bajo nivel de no conformes, el proceso es muy variable, lo cual es una deficiencia a la hora de tratar de estandarizar el proceso. Para ello, las cartas de control ayudan a controlar que las variaciones se den solo a causa de los factores naturales del proceso productivo. Para analizar la utilidad de estas cartas de control, se tomaron los gráficos de control (I-RM) para la variable b y CDH, calculados en el punto 4.2.1, para la línea 1 y calidad de hoja *16g Econ*. Los datos evaluados corresponden a observaciones realizadas durante el mes de Abril del 2010 (ver anexo 11). Al aplicarse los gráficos de control, se obtuvieron los resultados mostrados en las figuras 5.1. y 5.2. Estos indican que, de haberse aplicado las gráficas de control apropiadas para el control de bobinas, se hubiera podido detectar este problema a tiempo y evitar mayor variabilidad en el proceso. A partir de ambos gráficos se observa que desde la tercera bobina ya se hubiera detectado una irregularidad en el blanqueo de la pasta de aplicarse, mientras que a partir de la 7ma bobina se podría haber detectado una variación irregular en el proceso debido a que la variable de resistencia se estaba saliendo de control. De haberse aplicado las cartas de control, se hubieran tenido bobinas con variables más centradas en el valor objetivo, y se habrían tomado mejores decisiones respecto a la cantidad de insumos (con efecto en la variable respectiva) dosificada a la línea

5.2.2. Calidad media de salida en Conversión (AOQ)

El área de Conversión posee un objetivo bajado de la dirección corporativa que es la de mantener a un nivel de 31500 el PPM en productos terminados. Actualmente se tiene la política de muestreo de obtener: 5 muestras de rollos de la cortadora, 5 muestras de paquetes, 1 log de la bobinadora, 1 plancha y 1 tarima (paleta); esto se obtiene durante cada corrida (aproximadamente ocho por turno de ocho horas). Cabe señalar que para efectos del trabajo, sólo se evaluó el producto *Rollo Económico* (paquete por dos). El plan de muestreo propuesto para los otros productos enrollados podría cambiar de acuerdo a la cantidad de rollos que contiene un paquete, a la cantidad de paquetes que se encuentran en una plancha y a la cantidad de planchas que entran en la tarima.

Para la evaluación de la situación actual, se tabularon los valores de la proporción de defectuosos de los lotes, considerando un turno de ocho horas y se hallaron los

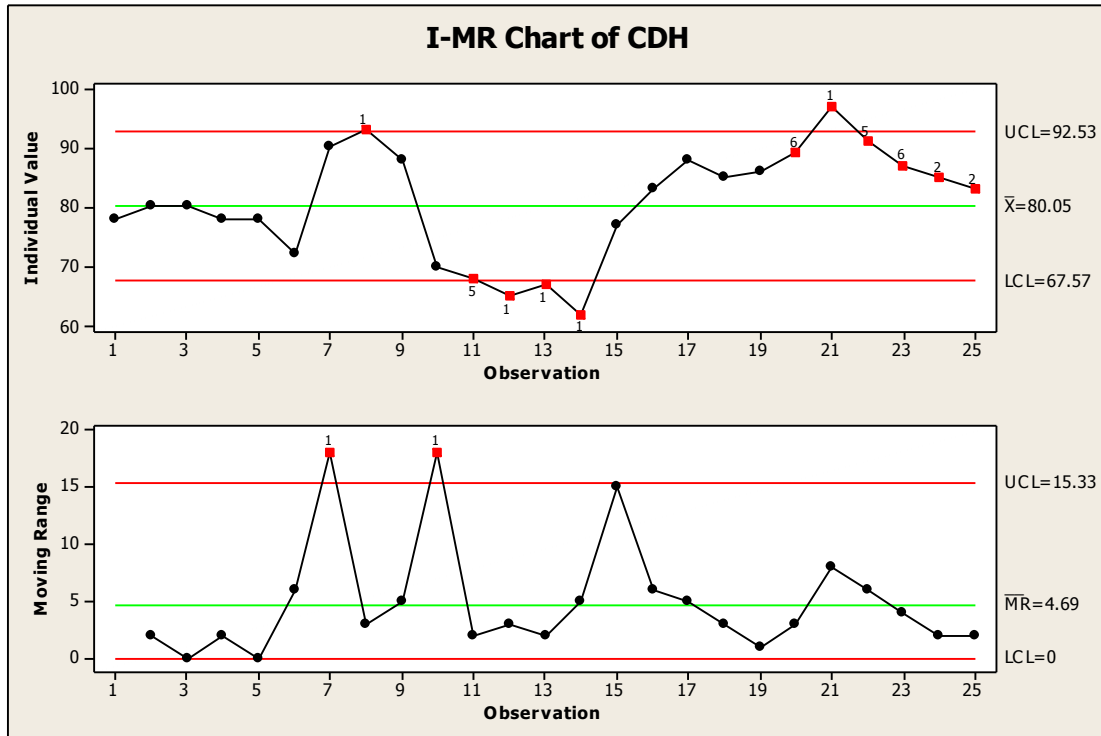


Figura 5.1. Aplicación de cartas de las cartas de control a datos reales en CDH - Línea 1
Elaboración propia

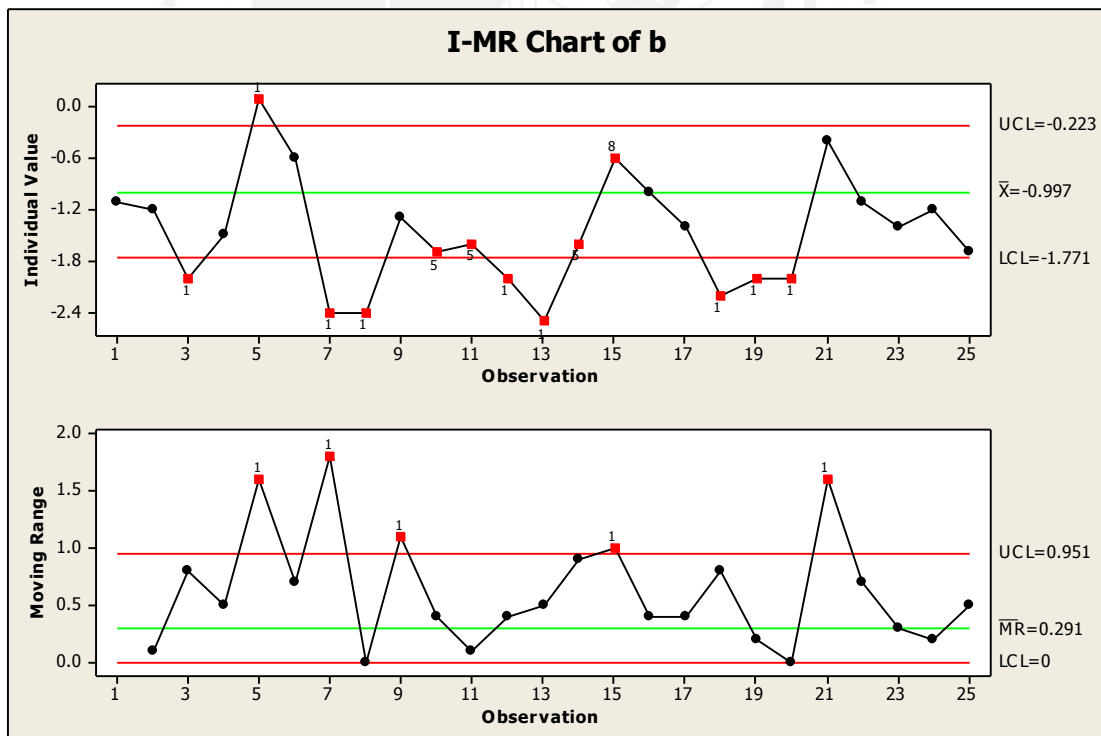


Figura 5.2. Aplicación de las cartas de control a datos reales en punto b – Línea 1
Elaboración propia

valores de calidad media de salida para cada caso, correspondiente a cada tipo de muestra. Sin embargo, la dificultad que conllevó este análisis es la inexistencia de una política de muestreo definida, por lo que se estimó la siguiente política de muestreo actual, de manera aproximada:

- En cada corrida, se acepta si de todas las muestras, al menos dos se encuentran dentro del criterio de aceptación. A esto se le multiplica por la cantidad de corridas (ocho según las exigencias del área de calidad en el turno regular de ocho horas).
- Se aceptan los productos si se encuentra que:
 - o Se tienen hasta 3 rollos en rechazo de las 5 observadas.
 - o Se tiene que ningún log se encuentra fuera de especificación.
 - o Se tienen hasta 3 paquetes en rechazo de las 5 observadas.
 - o Se tiene que ninguna plancha se encuentra fuera de especificación.
 - o Se tiene que ninguna paleta se encuentra fuera de especificación.

En dicho caso se procede a obtener la misma cantidad de muestras adicionales (por ejemplo, un log más) para su evaluación, en caso se tenga más del 50% de las muestras fuera del criterio de aceptación, se procederá a declarar como rechazo la paleta inspeccionada. En caso de rechazo, se procede a evaluar las paletas inspeccionadas anteriormente (hasta 5 paletas anteriores ya que cada 6 paletas se produce esta inspección). Para ello, se obtienen tres muestras (en el caso de rollos, paquetes o logs) y una muestra para el resto de casos, y el número de rechazo es de 1. Es decir, si de tres rollos se tiene que uno se encuentra defectuoso, se rechaza la paleta.

- Las unidades rechazadas se suplen con unidades conformes (0 defectos).
- A partir de esta política, aproximada debido a que el muestreo se realiza de manera empírica, se calculó la calidad media de salida para el caso de rollos, paquetes y planchas, mostrada en la figura 5.3.

El cálculo del AOQ de la política actual se encuentra explicado en el anexo 12.

Para el caso de la alternativa de mejora, se tienen dos propuestas: la propuesta con el muestreo simple y la del muestreo doble. En las figuras 5.5. y 5.6. se presentan las curvas AOQ para cada caso; mientras que en la figura 5.7. se presenta la curva ITM para el caso de rollos para comparar la cantidad inspeccionada.

Dado que la calidad media de salida para ambas propuestas es casi la misma, mientras que la inspección doble requiere de menor cantidad de muestras, se opta por proponer finalmente el muestreo doble.

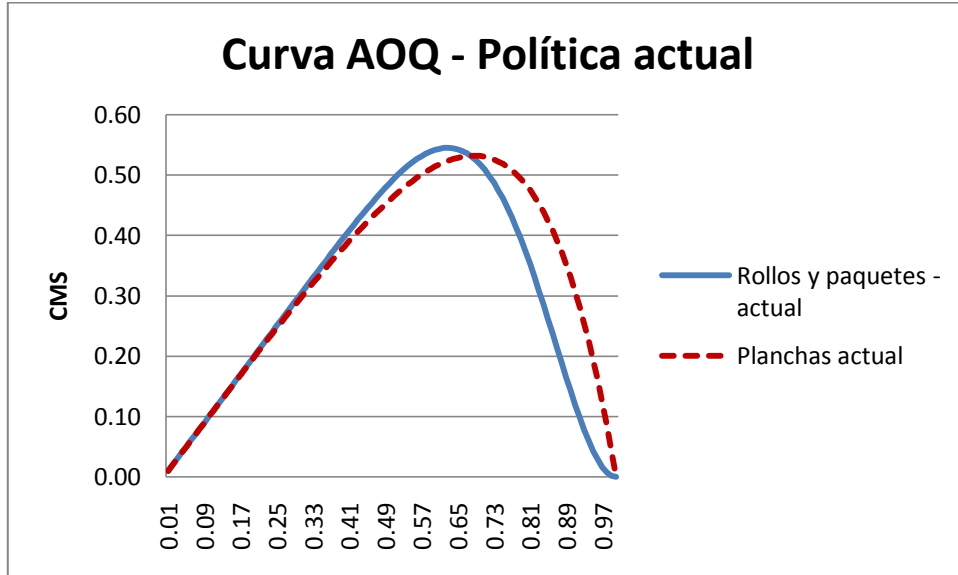


Figura 5.3. Curva AOQ plan de muestreo actual
Elaboración propia

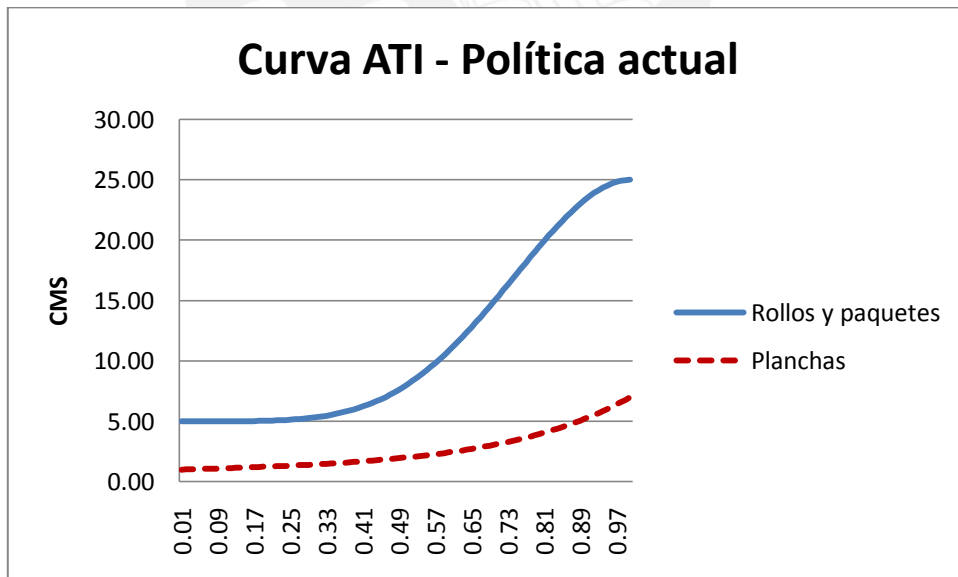


Figura 5.4. Curva ATI plan de muestreo actual
Elaboración propia

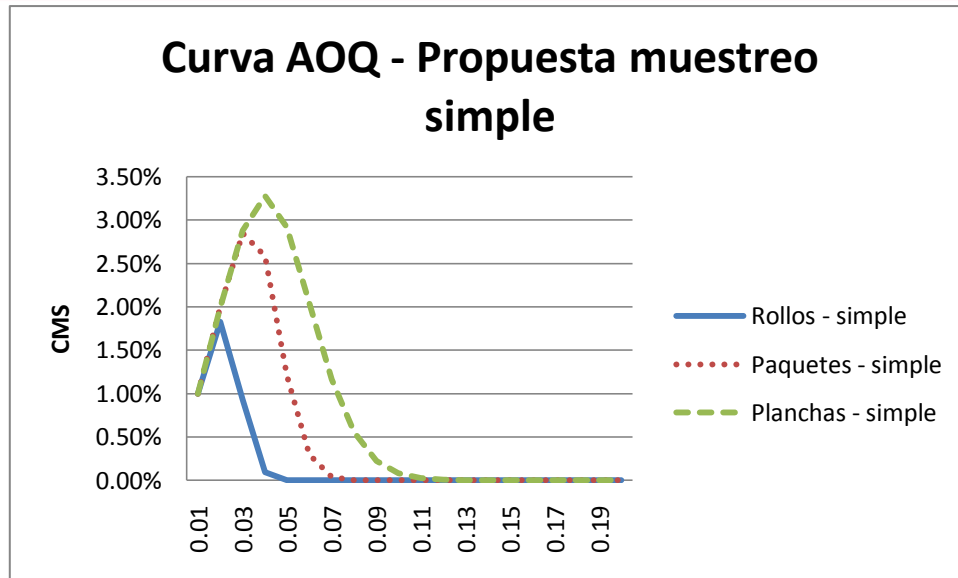


Figura 5.5. Curva AOQ plan de muestreo propuesto – muestro simple
Elaboración propia

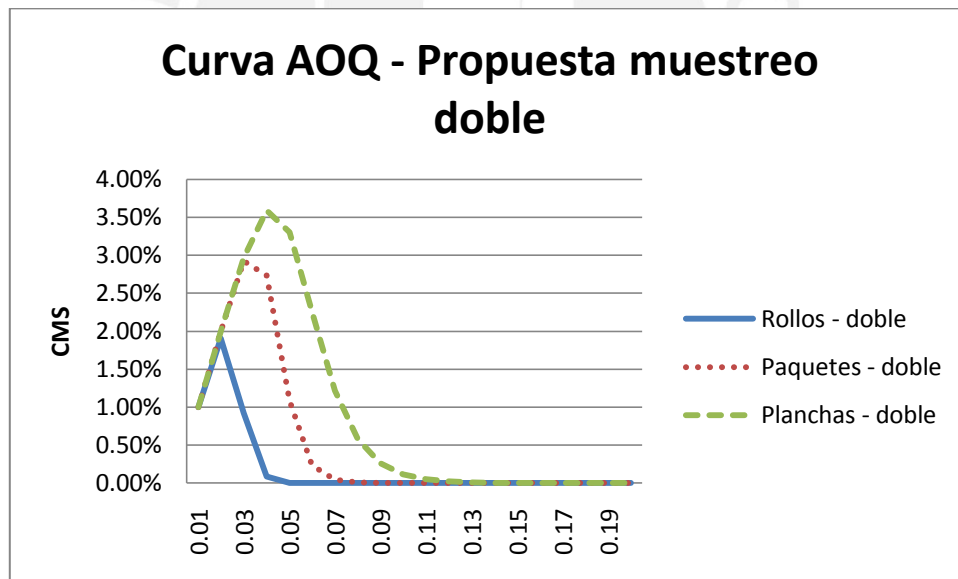


Figura 5.6. Curva AOQ plan de muestreo propuesto – muestreo doble
Elaboración propia

En la figura 5.8. se muestra la comparación de la calidad media de salida.

Comparando los resultados entre los planes de muestreo (actual y el propuesto), podemos observar una gran reducción en la cantidad de defectuosos entregados al cliente debido al plan de muestreo propuesto. Para el cálculo de la CMS, se siguió la

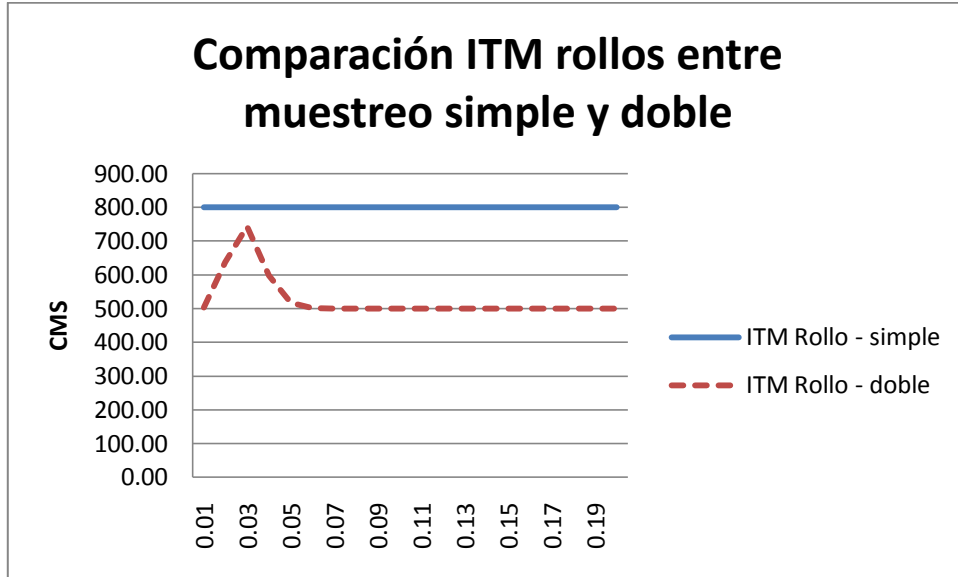


Figura 5.7. Curva ATI comparativo para rollos
Elaboración propia

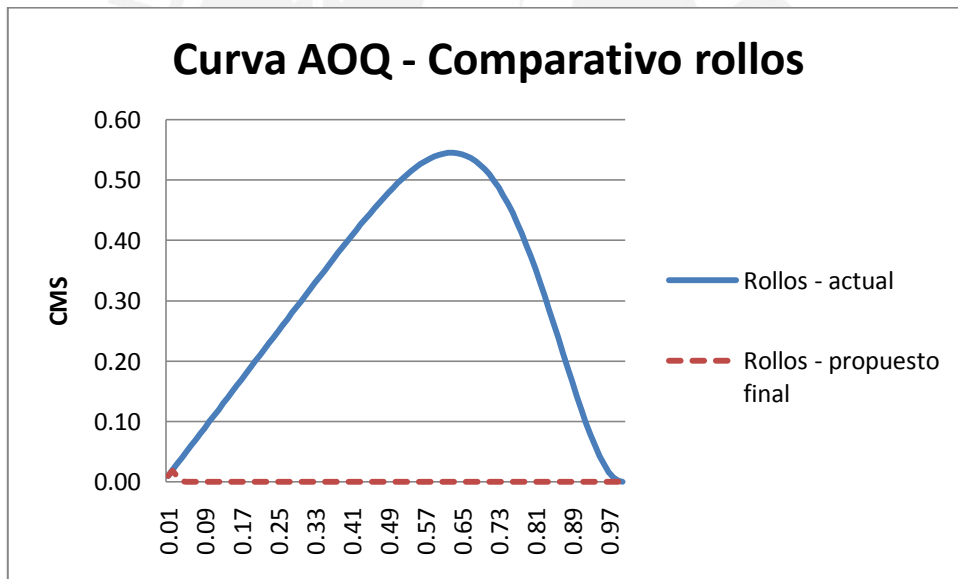


Figura 5.8. Curva AOQ comparativo para rollos
Elaboración propia

teoría explicada en el Capítulo 1, en el que, para el caso del plan actual, se consideró inspección hasta un número de seis paletas (se asume que durante el tiempo que el inspector se encuentra inspeccionando otras líneas, pasan seis paletas sin inspeccionar) en el caso que se rechacen paletas durante la reinspección. Asimismo, se puede observar según los resultados que prácticamente

la **política actual** del área de calidad de conversión es casi equivalente a simplemente **aceptar todo lo que se produce** ($p \cong CMS$) para un p menor a 0.5.

5.2.3. Comparación de la capacidad de proceso

Respecto a la capacidad de proceso, se halló el índice de capacidad de proceso a partir de los datos de la producción en Manufactura para las variables de pto. b y resistencia CDH en la línea 1 y pto. b y brillo en la línea 2. Los datos utilizados son todos los datos de la producción en las líneas desde el 01/01/2010 al 30/04/2010. Estos resultados se encuentran detallados en el anexo 10, los cuales se encuentran resumidos en la tabla 5.1. Esto nos da a indicar que, de tener un buen control de las operaciones, se podría cumplir al 100% las especificaciones, y se minimizaría el *waste* debido a productos no conformes.

Variable	Línea	Situación actual		Situación mejorada	
		Cpm	PPM total	Cpm	PPM total
b	1	0.62	63417	1.29	116
CDH	1	0.71	33729	1.43	18
b	2	0.71	32650	1.32	76
Brillo	2	0.58	83134	1.35	54

Elaboración propia

5.3. Evaluación económica

5.3.1. Costos de implementación estimados²⁴

Los costos relevantes (estimados) a partir de las propuestas son: (Ver anexo 20 para el detalle y cálculo)

- Capacitaciones (costo de prevención): Todas las capacitaciones se darán una vez al año.
 - o Reforzamiento en STM y OLT a cargo de una persona certificada, para los 9 inspectores de turno existentes (costo de S/.25 por hora por 8 horas) → **S/.200**
 - o Reforzamiento en temas generales de calidad y aptitudes personales (costo de S/.25 por hora) por 8 horas → **S/.200**

²⁴ Costos estimados.

- Curso sobre Ingeniería de la Calidad (diplomado) al encargado de la implementación en la planta → **S/.12 000**
 - Capacitación en Análisis de varianza y diseño de experimentos (costo de S/.25 por hora) por 3 horas → **S/.75**
 - Capacitación de formulación de planes de muestreo por 3 horas a S/.25 la hora → **S/.75**
 - Capacitación en Análisis de Capacidad de proceso por 3 horas a S/.25 la hora → **S/.75**
 - Capacitación en herramientas de mejora de la calidad, tales como Diagramas de Pareto, diagramas de afinidad, diagrama Causa-Efecto, etc., por 3 horas a S/.25 por hora → **S/.75**
 - Capacitación transportistas y almaceneros en manejo de productos (1 hora) → **S/.25**
- Diseño²⁵
- Diagramas de Pareto. Se estima que tomará alrededor de 24 horas poder coleccionar los datos históricos, consolidar la información de problemas y hallar los pocos vitales en los problemas históricos para cada línea → **S/.600**
 - Diseño de cartas de control de variables en manufactura. Se estima que para cada variable en Manufactura se requerirá de unas 4 horas. En Manufactura hay 6 variables medidas en el laboratorio, para cada línea (dos) → **S/.1200 cada 6 meses (S/.50 semanal)**.
 - Diseño de cartas de control de atributos en Manufactura. Se estima que para cada línea se requerirá de unas 6 horas para cada línea, tiempo en el que se estandarizarán los criterios de inspección y definir patrones visuales con los cuales faciliten la evaluación. → **S/.300. cada 6 meses (S/.12.5 semanal)**.
 - Diseño de cartas de control de atributos en Conversión. Se estima que para las 11 líneas (4 en Conversión 1 y 7 en Conversión 2) tomará alrededor de 6 horas en cada máquina de Conversión 1 y dos horas en las de Conversión 2, en el que también se estandarizarán

²⁵ Se estima un costo por hora de S/.25

- los criterios de inspección y definir patrones visuales con los cuales faciliten la evaluación. → **S/.950 cada 6 meses (S/.39.58 semanal).**
- Diseño de plan de muestreo. Se estima que la documentación y la práctica del plan de muestreo tomará alrededor de 6 horas → **S/.150**
 - Diseño de planes de control y verificación. Con las herramientas que ofrece *Centerlining*, se deberán afinar los planes de control de procesos para poder actuar de manera efectiva al encontrar el proceso fuera de control. Para tal tarea, se propone un equipo para su diseño y seguimiento, de aproximadamente unas 6 personas (Con un salario mensual de de aproximadamente S/.5000 o *outsourcing* equivalente). Este equipo se encargará de definir las variables más apropiadas para la operación de las máquinas. Asimismo, se encargará de evaluar la capacidad del proceso actual y definir la necesidad de adquisición de nuevas máquinas o equipos de medición, o redefinir los límites de especificación. → **S/.60000 por los dos primeros meses.**
- Costos asociados al Control (Registro de indicadores y resultados en cartas de control)²⁶
- Registro de datos en Carta de control. Se deberá registrar los resultados por cada corrida (**8**). Se estima que cada registro, por todas las líneas (tanto en Conversión y Manufactura) y su respectiva retroalimentación tomará aproximadamente 10 minutos por línea → **S/.493.584 por semana.**
 - Registro de indicadores. Actualmente se vienen registrando los resultados de PPM. Se estima que para hallar y registrar los resultados en DPM y los diagramas de Pareto de cada registro (cada 2 horas al igual que PPM), se tomará alrededor de 20 minutos para todas las líneas. Esto se realiza 12 veces diariamente. → **S/.94.92 por semana.**
 - Evaluación de índice de Capacidad de proceso. Se deberá realizar al finalizar cada turno. Su cálculo y análisis se estima tomará alrededor

²⁶ Se estima el tiempo del inspector tiene un costo aproximado de S/.0.113 por minuto.

de 20 minutos para el supervisor (a S/0.25 la hora, uno en cada área productiva trabajando 6 días a la semana). → **S/150 por semana.**

- Obtención de muestras para las cartas de control. Se puede tomar el actual muestreo para las respectivas gráficas de control, obteniendo entre 4 a 6 muestras de cada tipo. Este costo ya se incurre en las labores diarias.
- Costo por plan de muestreo
 - El muestreo doble propuesto incluye una inspección semanal de los lotes. Si bien es cierto esta inspección se realizará sobre un lote producido solamente (a diferencia del muestreo actual, que es para todos los lotes), se considera suficiente, puesto que esto simplemente será una “verificación” de que los planes de control y las herramientas de calidad se están aplicando correctamente. Por lo tanto, semanalmente se inspeccionaría en promedio 742 unidades (20 segundos por cada inspección) lo cual tendría un costo aproximado de **S/1030.56 semanal.**

5.3.2. Ahorro por la implementación de propuestas de mejora.

- Ahorro por tener el proceso en control en Manufactura
 - Según la tabla 5.1., se tiene que la reducción de defectuosos (por millón de bobinas producidas) es de:
 - 63301 bobinas por variable b en línea 1
 - 33711 bobinas por variable CDH en línea 1
 - 32574 bobinas por variable b en línea 2
 - 83080 bobinas por variable brillo en línea 2

Por cada línea se coge el menor ahorro considerando el costo de S/3000 por bobina defectuosa rechazada completamente (en promedio por reproceso y costo de oportunidad). Las bobinas que solo tienen parte defectuosa se ingresan como bobinas conformes (luego de retirar la fracción defectuosa). Esto último no se consideró puesto que no se tiene un registro histórico de la cantidad retirada en cada caso, solo de bobinas rechazadas. En un turno se producen alrededor de 30 bobinas (tres turnos al día, los siete

días a la semana)²⁷ → Se ahorraría alrededor de **S/125,278.65 a la semana.**

- Ahorro por plan de muestreo propuesto. Asumiendo que la producción se encuentra con una proporción de defectuosos de 31500 PPM (3%), se podría estimar que actualmente la calidad media de salida es de justamente 3% para rollos, paquetes y planchas, mientras que con el muestreo propuesto, este sería de 0.925% en rollos, 2.92% en paquetes y 2.96% en planchas. Se estima que el costo de cada unidad defectuosa (para el producto evaluado) que sale de la Planta tiene un costo aproximado que incluye:
 - Utilidad que se deja de percibir por devolución y costo de oportunidad: **S/1.00** aproximadamente por cada paquete/rollo y **S/8** por cada plancha.
 - Costo para el cliente final gestionar el reclamo (aproximadamente 15%²⁸), incluyendo llamada y tiempo invertido: **S/3**. Se estima que el 1% de los mayoristas reclamarían por planchas defectuosas (generalmente no son críticos)²⁹, pidiendo una simple reposición.
 - Costo por divulgación (mala publicidad de boca en boca) con otras personas (se deja de ganar), se estima divulgación efectiva a aproximadamente 20³⁰ personas por mala venta (pudiendo ser más): **S/24**.
 - Costo por reposición: aproximadamente **S/ 21.80** (un producto de una categoría superior más gastos de envío) o **S/39.30** en caso de mayorista (multiplicado por la misma probabilidad de reclamo anterior).

La reducción en la calidad media de salida implica que, en una semana, se ha reducido la cantidad de defectuosos mostrada en la tabla 5.2. o anexo 20.

²⁷ Promedio de producción por línea en manufactura: 30 bobinas * 3 turnos * 7 días = 630 bobinas

²⁸ Se preguntó a un total de 100 personas si reclamarían por encontrar algún defecto en rojo en el producto.

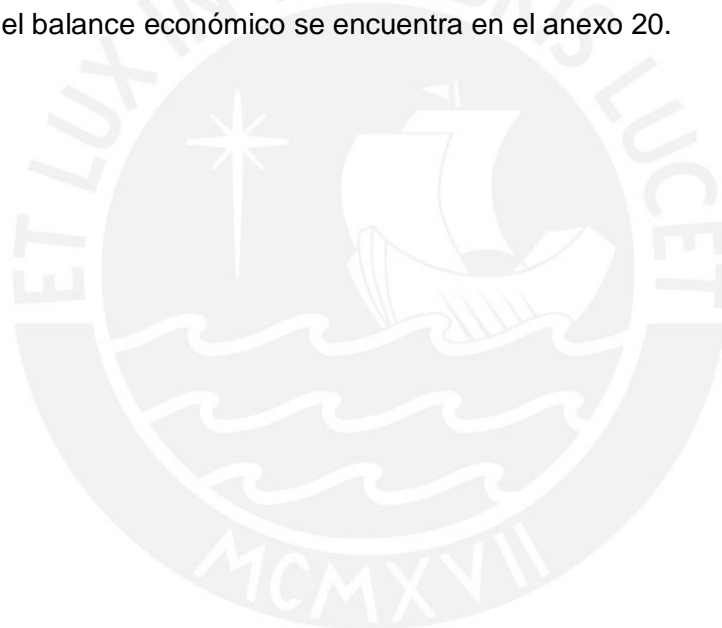
²⁹ Consultado a 10 mayoristas. 9 de ellos indica que preferirían ahorrarse el reclamo y usar el producto ellos mismos.

³⁰ Esta cantidad puede incluso ser mayor, tal como lo indica Blokdiijk (2008) en su libro *CRM 100 Success Secrets – 100 most asked questions on Customer Relationship Management Software, Solutions, Systems, Applications and Services*.

	Cant. inspección semanal	CMS Actual	CMS mejorado	Reducción defectuosos	Costo	Ahorro
Rollos	255360	3.00%	0.926%	5296.1664	S/. 28.72	S/. 153,165.13
Paquetes	103680	3.00%	2.924%	78.60746869	S/. 28.72	S/. 2,273.33
Planchas	10368	3.00%	2.966%	3.545941464	S/. 12.23	S/. 50.46
Elaboración propia.						S/. 155,488.92

Entonces, en balance, se tiene que el ahorro y reducción de costo es de S/.363,204.62 semanal, que luego de restado los costos semanales resultaría en un ahorro neto semanal de S/. 358,070.10, con tan sólo una inversión de S/.73,475.00 única inicial.

El detalle del balance económico se encuentra en el anexo 20.



CAPÍTULO 6: Conclusiones y recomendaciones

6.1. Conclusiones

A través de las alternativas propuestas, se presentan las siguientes conclusiones:

6.1.1. Reducción de tiempo por mantenimiento y ajustes (*Delay*)

- Mediante las cartas de control se logra identificar si el proceso se encuentra fuera de control estadístico, realizando oportunamente los ajustes y trabajos de mantenimiento necesarios para volver la tendencia del proceso a uno bajo control.

6.1.2. Reducción de productos no conformes (*waste*)

- La presencia de productos no conformes es una amenaza a la Empresa para perder clientes. No solo se encuentra inmerso el costo por reprocesar los productos no conformes, sino también por otros costos “invisibles” como el costo de oportunidad, costos por publicidad negativa, etc. Mediante un plan de muestreo doble se logra reducir notablemente la cantidad de defectuosos entregados a los clientes, lo que implica en una reducción estimada de más de S/.154,000 soles semanales.
- Al mantener el proceso en control, se estaría reduciendo de más de 96 mil bobinas defectuosas a tan solo 192 bobinas por millón de bobinas producidas en Manufactura. De la misma manera, la aplicación de las cartas de control en Conversión reducirá la cantidad de productos no conformes. Esto reduciría en gran escala el costo que implica reprocesar los productos (terminados y semielaborados) y el costo de oportunidad de no poder entregar la producción a tiempo a conversión y por ende, retrasos en el despacho de pedidos.

6.1.3. Incremento de la productividad

- A través de los diagramas de Pareto se logra identificar los problemas más críticos. A partir de ello, es posible canalizar mejor los recursos para corregirlos de acuerdo a su criticidad.
- Se logra programar oportunamente las actividades de ajuste, limpieza y mantenimiento a partir de las tendencias de los resultados en las cartas de control y estudios de capacidad de proceso. Esto permitirá también gestionar

mejor los repuestos y recursos implicados en estas actividades. Asimismo, permitirá identificar los cambios más óptimos de grado de producto y el uso adecuado de insumos.

6.1.4. Mejor comunicación del estado del proceso

- El análisis de reproducibilidad y repetibilidad permite verificar con precisión los sistemas de medición y determinar la necesidad de los equipos de medición de ser calibrados, o el personal encargado de realizar dichas mediciones de ser reforzado o reentrenado. Esto para procurar que se reporte los datos más exactos a las áreas productivas y lograr mantener una alta productividad.
- Con el diseño e implementación del indicador de DPM, junto con el diagrama de Pareto, hará más fácil la comunicación de la situación de la calidad del producto de salida de las áreas de producción, dándoles la retroalimentación adecuada, permitiendo identificar fácilmente qué factores del proceso requiere de ajustes o si se requerirá algún ajuste mayor o mantenimiento.

6.2. Recomendaciones y estudios de extensión

El presente trabajo propone herramientas básicas para la mejora de la calidad en el proceso productivo de la planta en estudio. Sin embargo, la finalización de la implementación de las mejoras no implica que la calidad del proceso y del producto haya llegado a su tope. A continuación se presentan propuestas para profundizar y complementar el presente trabajo y contribuir con la mejora continua de la calidad:

6.2.1. Extensión de las propuestas a todo el proceso productivo

Si bien se propusieron algunas herramientas selectas, algunas a Manufactura y otras a Conversión, estas deben lograr ser implementadas en todo el proceso productivo para obtener un control eficiente de las características de la calidad. Así, todas las herramientas propuestas se deberían extender a otros puntos del proceso, por ejemplo, durante la elaboración de pasta en *Destintado* y para controles de calidad en los procesos de soporte, tales como evaluación de insumos para la Sala de Calderas o en la PTARI.

6.2.2. Implementación de la Ingeniería de Control de Procesos (EPC)

El Control Estadístico de Procesos (SPC) es uno de los enfoques basados en la estadística utilizados generalmente para el control del proceso y la reducción de la

variabilidad. Debido a que el proceso de producción de pasta y papel es naturalmente variable, es decir, a pesar de los mayores de los esfuerzos por reducir la variabilidad, se tiene frecuentemente una tendencia a desviarse, ya sea por la variación del *furnish* o temperatura de la capota. Es por ello que sería conveniente aplicar el otro enfoque, que no se tocó en el presente trabajo, en conjunto para complementar el control del proceso por SPC. Este enfoque se basa en la compensación y regulación del proceso en el que se ajusta una variable del proceso manipulable, a fin de minimizar la variabilidad de la característica de la calidad resultante. Este esquema de compensación se conoce como Ingeniería de Control de Procesos (EPC) o control por retroalimentación (*Feedback Control* en inglés).

6.2.3. Consideración de planes de muestreo alternativos

En el presente trabajo, sólo se presentaron como alternativas los planes de muestreo simple y doble. Sin embargo, no se tomaron en cuenta a la hora de comparar los resultados esperados de ambos planes, al plan de muestreo múltiple y plan de muestreo secuencial. Sería recomendable evaluar su factibilidad y comparar sus resultados esperados en ITM y CMS para definir el plan de muestreo más adecuado para el proceso. Asimismo, estos planes de muestreo no sólo pueden aplicarse en el proceso productivo, sino también en los almacenes y durante la inspección de insumos y materia prima.

6.2.4. Adopción de filosofías de calidad y estrategias de administración

Para complementar el control de la calidad del proceso, y lograr la mejora continua, se debería optar por algunas de las filosofías existentes para la calidad, tales como TQM, o la implementación exitosa de una estrategia de Seis Sigma o Manufactura esbelta – *JIT*. Estos requieren un control riguroso del proceso para lograr la misma calidad del producto, de manera efectiva, siempre.

6.2.5. Consideraciones de costos de la calidad

Montgomery (2001) nos da varias razones por las que se debería considerarse de manera explícita en una organización los costos asociados a la calidad:

- El incremento del costo de la calidad debido al incremento en la complejidad de los productos manufacturados asociada con los avances tecnológicos.

- Una mayor conciencia de los costos del ciclo de vida, incluyendo mantenimiento, mano de obra, partes de repuesto y el costo de las fallas de campo.
- La necesidad de que los ingenieros de calidad y los administradores comuniquen el costo de la calidad en el lenguaje de la alta dirección (en términos monetarios principalmente).

Como resultado, los costos de la calidad constituyen una importante herramienta en el control financiero para la administración.

En el punto 5.3. se presentó una evaluación económica general de las mejoras propuestas en el presente trabajo. Sin embargo, las cifras parten de valores estimados por técnicos y responsables consultados. Para efectos de aprobación del proyecto o implementación, se deberá realizar un balance más exhaustivo para poder convencer a la alta dirección de las propuestas. Asimismo, al incluir los costos en los reportes rutinarios genera un impacto mayor en los colaboradores.

6.2.6. Las computadoras y el control de calidad

Las computadoras pueden ejecutar operaciones muy sencillas a enorme velocidad y con excepcional grado de precisión. El presente trabajo propone que en un futuro se logren implementar sistemas integrales automatizados para el control de variables y atributos, desde la toma de datos, hasta la generación de reportes del control rutinario para su correspondiente análisis. Algunas ventajas que nos menciona Besterfield (1995) son:

- Calidad de producto constante, gracias a una disminución en las variaciones de un proceso.
- Arranque y paro más uniformes, puesto que se puede monitorear y controlar el proceso durante estos períodos críticos.
- Mayor productividad gracias a que se necesita menos personal para el monitoreo de los controles.
- Operación más segura para personal y equipo, mediante el paro del proceso o impidiendo el arranque del mismo cuando se presenta una condición que ofrece riesgo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BESTERFIELD, DALE H

1994 *Control de calidad*. Cuarta Edición. México: Prentice Hall.

DEPARTMENT OF DEFENCE

1989 *Military Standard 105E. Sampling procedures and tables for inspection by attributes*. USA: DEPARTMENT OF DEFENCE

JURAN, Joseph

1990 *Juran y la planificación para la calidad*. Madrid: Díaz de Santos.

JURAN, Joseph

1999 *Juran's quality handbook*. 5th Edition. New York: McGraw-Hill.

MINITAB INC.

2006 *Help. Minitab® 15.1.1.0*. USA: MINITAB INC.

MINITAB INC.

2006 *Statguide. Minitab® 15.1.1.0*. USA: MINITAB INC.

MONTGOMERY, Douglas C

2001 *Introduction to statistical quality control*. 4th Edition. USA: John Wiley & Sons, Inc., Arizona State University.

ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL PARA LA ESTANDARIZACIÓN (ISO)

2008 *Norma internacional ISO 9001. Sistemas de Gestión de la Calidad – requisitos*. Ginebra: ISO

TAGUCHI, GENICHI; et alli

2005 *Taguchi's quality engineering handbook*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.