

DETERMINACIÓN DE LOS COSTOS DE PÉRDIDA DE FABRICACIÓN CON *VALUE STREAM MAPPING* Y LA FUNCIÓN DE PÉRDIDA DE TAGUCHI EN LA INDUSTRIA MANUFACTURERA

FREDDY ARROYO

UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y ESTADISTICA
2012



DETERMINACIÓN DE LOS COSTOS DE PÉRDIDA DE FABRICACIÓN CON *VALUE STREAM MAPPING* Y LA FUNCIÓN DE PÉRDIDA DE TAGUCHI EN LA INDUSTRIA MANUFACTURERA

FREDDY ARROYO

**TESIS DE MAESTRIA PRESENTADA COMO REQUISITO
PARA OBTENER EL TÍTULO DE MASTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**BAJO LA DIRECCIÓN DEL PROFESOR:
JUAN CARLOS OSORIO**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y ESTADISTICA**

2012



Nota de aceptación:

**Aprobado por el Comité de Grado en cumplimiento de los
requisitos exigidos por la Universidad del Valle para optar al
título de Msc en Ingeniería Industrial**

Director

Director

Santiago de Cali, Mayo 2 de 2012

DEDICATORIA

*A mi esposa e hijos
Myriam Janeth, Daniel Alejandro y Juan Felipe
Mil gracias por su apoyo, paciencia y amor que me brindaron durante el desarrollo
de la tesis.*

AGRADECIMIENTOS

Deseo agradecer especialmente al profesor Ing. Juan Carlos Osorio director de la tesis por su interés, enseñanzas y oportunas sugerencias al presente documento.

A la Dra. Marisol Gordillo por su permanente aporte al desarrollo del modelo de respuesta superficial y métodos Taguchi.

A Carvajal Pulpa y Papel por permitirme realizar los ensayos en el área piloto de Fibra y Pulpa.

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE TABLAS.....	9
LISTA DE FIGURAS.....	10
RESUMEN	11
ABSTRACT	12
GLOSARIO	13
INTRODUCCIÓN	15
CAPITULO 1: OBJETIVOS.....	18
OBJETIVO GENERAL.....	18
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ARTE	19
2.1 SECTOR PAPELERO	19
2.1.1. Pulpa	19
2.2. VALUE STREAM MAPPING (VSM)	21
2.3. METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA	23
2.3.1. Optimización de la Variable de Respuesta	25
2.4. FUNCIÓN DE PÉRDIDA DE TAGUCHI.....	25
2.5. CONCLUSIONES ESTADO DEL ARTE	28
CAPITULO 3: DESCRIPCIÓN DE PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE PULPA BLANCA Y CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES	30
3.1. INTRODUCCIÓN	30
3.2. DESCRIPCION DE LOS PROCESOS	30
3.2.1. Proceso de Desmedulado del Bagazo.....	30
3.2.2. Proceso Cocción de la Fibra	32
3.2.3. Procesode Lavado de Pulpa, Depuración y Limpieza.....	32
3.2.4. Proceso de Blanqueo de la Pulpa	35
3.3. CARACTERIZACIÓN Y PROPIEDADES DE LA MATERIA PRIMA.....	36
3.3.1. Bagazo y Lignina	36

3.3.2. Licor de Cocción y Permanganato de Potasio.....	38
3.3.3. Blancura.....	38
3.3.4. Dióxido de cloro, Hidróxido de sodio, Oxígeno y Peróxido de hidrógeno	39
3.4. CONCLUSIONES PARCIALES.....	40
CAPITULO 4: APLICACIÓN DEL VSM COMO HERRAMIENTA PARA EL MEJORAMIENTO DE LOS SISTEMAS PRODUCTIVOS: MAPA ACTUAL	41
4.1. INTRODUCCIÓN	41
4.2. METODOLOGIA PARA LA APLICACION VSM: MAPA ACTUAL	42
4.2.1. Simbología y Abreviaturas	42
4.2.2. Identificación de los flujos, variables de proceso y tiempos.....	43
4.2.3. Identificación del mapeo actual.....	47
4.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	48
4.3.1. Mapa Actual.....	48
4.4. CONCLUSIONES PARCIALES.....	51
CAPITULO 5: METODOLOGIA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA APLICADO A LA BLANCURA EN UN PROCESO DE PRODUCCION DE PULPA BLANCA.....	52
5.1. INTRODUCCIÓN	52
5.2. METODOLOGÍA. PARTE EXPERIMENTAL.....	52
5.2.1. Materiales y equipos	52
5.2.2. Métodos de medición.....	53
5.2.3. Modelos y Métodos Estadísticos para Superficies de Respuesta.....	53
5.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	54
5.3.1. Análisis del modelo de superficie de respuesta	54
5.3.2. Optimización de la superficie de respuesta.....	56
5.4. CONCLUSIONES PARCIALES.....	58
CAPITULO 6: DETERMINACION DE LA FUNCIÓN DE PÉRDIDA DE LA BLANCURA EN UN PROCESO DE PRODUCCION DE PULPA BLANCA	59
6.1. INTRODUCCIÓN	59
6.2. METODOLOGÍA.....	60

6.2.1. Diseño del experimento en la metodología de Taguchi	60
6.2.2. Procedimientos y Métodos.....	61
6.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	61
6.3.1. Razón señal / ruido (S/N).....	61
6.3.2. Análisis de la función de pérdida de Taguchi	62
6.4. CONCLUSIONES PARCIALES.....	63
CAPITULO 7: APLICACIÓN DEL VSM COMO HERRAMIENTA PARA EL MEJORAMIENTO DE LOS SISTEMAS PRODUCTIVOS: MAPA FUTURO	64
7.1 INTRODUCCIÓN.....	64
7.2. METODOLOGÍA PARA LA APLICACIÓN DEL VSM FUTURO	64
7.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	64
7.3.1. Diagrama de Causa Efecto.....	65
7.3.2. Mapa Futuro	67
7.4. CONCLUSIONES PARCIALES.....	71
CAPÍTULO 8: CONCLUSIONES GENERALES	72
CAPÍTULO 9: BIBLIOGRAFIA.....	74
ANEXO A. PROCEDIMIENTOS	77
ANEXO B. VALIDACION DE SUPUESTOS DE MODELOS.....	79
ANEXO C. MEJORES CORRIDAS	80
ANEXO D. GRAFICO DE CONTORNOS	81
ANEXO E. PLAN DE ACCIÓN.....	82

LISTA DE TABLAS

Tabla 4.1. Abreviaturas para mapeo	42
Tabla 4.2. Flujos sección de desmedulado	43
Tabla 4.3. Variables de la sección cocción.	44
Tabla 4.4. Variables de la sección lavadora.....	45
Tabla 4.5. Variables de blanqueo.....	46
Tabla 4.6. Eficiencias obtenidas en cada etapa del proceso.....	49
Tabla 5.1. Coeficientes del modelo para cada una de las variables de predicción.	55
Tabla 5.2. Análisis de varianza. Blancura. $R^2= 99.4$	55
Tabla 5.3. Condiciones óptimas de operación.....	56
Tabla 5.4. Otras optimizaciones de la blancura con altas predicibilidades.....	57
Tabla 6.1. Matriz de diseño propuesta por Taguchi	60
Tabla 6.2. Respuesta de la razón señal ruido y las medias. Entre más grande mejor.	61
Tabla 6.3. Función de pérdida de Taguchi.	62

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Función de pérdida de Taguchi.....	27
Figura 3.1. Proceso de Desmedulado del bagazo.	31
Figura 3.2. Proceso de cocción de la fibra.	33
Figura 3.3. Proceso de lavado de pulpa.	34
Figura 3.4. Proceso de Blanqueo.	36
Figura 3.5. Bagazo	37
Figura 3.6. Lignina.....	37
Figura 4.1. Simbología utilizada en el mapeo	42
Figura 4.2. Value stream mapping actual	50
Figura 5.1. Optimización de la blancura	56
Figura 6.1. Gráficos de interacción de la razón S/N y efectos principales de la media de los datos de la razón S/N.....	62
Figura 7.1. Diagrama de causa efecto	65
Figura 7.2. Future stream mapping (FSM)	68
Figura 7.3. Mejoras Desmedulado de la fibra	69
Figura 7.4. Mejoras Cocción de fibra.....	70
Figura 7.5. Mejoras Lavado de la pulpa café	71

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se relaciona con la optimización del proceso de producción de papel de la empresa Carvajal Pulpa y Papel, mediante la aplicación de *Value Stream Mapping* (VSM), Función de Pérdida de Taguchi y Metodología de Superficie de Respuesta.

Value Stream Mapping (VSM) es una herramienta que permite ver el estado actual de una empresa y el lugar óptimo a donde se quiere llegar en cuanto a los procesos se refiere, reduciendo eficientemente los costos de desperdicios como: sobreproducción, inventarios, tiempos de espera, transporte, movimientos, fallas de reprocesamientos y calidad, evitando así las fugas de capital, que determinan la estabilidad de una organización. La Función de Pérdida de Taguchi (FPT) es una técnica de optimización de procesos y productos, que permite diseñar procesos muy estables frente a las circunstancias cambiantes del entorno. Por último la Metodología de Superficie de Respuesta (MSR) permite optimizar variables a partir de un control estadístico.

Se empleó la herramienta *Value Stream Mapping* (VSM) en el área de fibra y pulpa, donde se mapeó el proceso actual identificando las mudas que intervienen en él. Una vez localizadas las mudas o variables críticas se ejecutó un análisis de superficie de respuesta (MRS) donde se obtuvieron los valores óptimos a trabajar en la planta para la obtención de la blancura que satisfaga las necesidades del cliente. Sobre estas variables optimizadas se aplicó la metodología de Taguchi, específicamente se prestó especial atención a las características de la función de pérdida (FPT) sobre la variable blancura en un proceso de producción de pulpa blanca.

La aplicación de estas herramientas permitió una optimización de la variable blancura de un 88 a un 90%, manteniendo bajas las pérdidas por variabilidad y los costos de reproceso. De esta manera la aplicación de la metodología de superficie de respuesta y función de pérdida de Taguchi, se considera como un gran aporte dentro del análisis del VSM, debido a que permite la optimización de las variables que se usan en el mapeo futuro.

ABSTRACT

This research work is related to the optimization of the production process of paper from pulp and paper company Carvajal, through the application of Value Stream Mapping (VSM), Taguchi Loss Function and Response Surface Methodology.

Value Stream Mapping (VSM) is a tool to view the current status of a company and the best place where you want to go in terms of processes is concerned, effectively reducing the costs of waste such as overproduction, inventory, waiting times, transportation, movement, rework and quality failures, preventing capital flight, which determine the stability of an organization. The Taguchi Loss Function (TPF) is a technique for optimizing processes and products, which allows very stable design processes to changing environmental circumstances. Finally, the Response Surface Methodology (RSM) to optimize variables from a statistical control.

The tool was used Value Stream Mapping (VSM) in the area of fiber and pulp, which was mapped to the current process by identifying mutations that are involved in it. Once identified the critical variables silent or ran an analysis of response surface (MRS) where the optimal values were obtained working at the plant to obtain the whiteness that meets customer needs. On these optimized parameters is applied Taguchi methodology, specifically the attention was paid to the characteristics of the loss function (TPF) on the variable brightness in a production process of white pulp.

The application of these tools allows an optimization of the variable brightness of 88 to 90%, keeping losses low variability and rework costs. In this way the application of response surface methodology and Taguchi loss function is considered as a great contribution to the analysis of VSM, because it allows the optimization of variables used in the mapping future.

GLOSARIO

Producción (toneladas/hora): Producción de pulpa blanca dada por un transmisor de flujo que integra hora a hora las toneladas de pulpa blanca que se producen en blanqueo.

Consumos de soda (kg. / tn): Es la relación de los kilogramos de soda adicionada en la etapa de extracción de blanqueo sobre las toneladas de pulpa blanca producida

Peróxido (kg. / tn): Es la relación de los kilogramos de peróxido adicionados en la etapa de extracción y peróxido de blanqueo sobre las toneladas de pulpa blanca producida

Sólidos de licor (%): Es el porcentaje de sólidos presentes en el licor negro que se envían hacia evaporadores desde la fase de lavadoras

Arrastre de soda ((kg. / tn): Es la cantidad (kilogramos) de soda presente en la pulpa café sobre las toneladas de pulpa producida.

Despilfarro: gasto excesivo e innecesario de bienes materiales o inmateriales

Grados de libertad: (g.l.). Son los grados de variación de cada una de las fuentes. Indica el número de grados de información independientes que afectan a los datos de respuesta necesarios para calcular la suma de los cuadrados. Los grados de libertad para cada componente del modelo son: Fuente: regresión (p), error (n-p-1) y total (n-1), donde p es el número de coeficientes, y n es el número de observaciones.

Suma de cuadrados de los tratamientos: (SCTrat). Mide la variabilidad explicada por las diferencias entre las medias de los tratamientos.

Suma de cuadrados del total: (SCT). Mide la variabilidad explicada por el total de los datos, por lo cual es igual a: SCTrat + SCE.

Suma de cuadrados de los errores: (SCE). Mide la variabilidad explicada por las diferencias dentro de las medias de los tratamientos, es decir, cantidad de variación de las observaciones debido al error aleatorio.

Cuadrados medios: (CM). La suma de cuadrados dividido por sus grados de libertad da origen a los cuadrados Medios y están especificados para los tratamientos y los errores.

Estadístico de la prueba: (F_c). La distribución F resulta ser el estadístico de prueba para probar la hipótesis planteada y esta dado por $F_c = (CM_{Trat}/CME)$.

Optimización: La optimización de la variable de respuesta se utiliza para identificar la combinación de valores de las variables de entrada que optimizan conjuntamente una respuesta única o un conjunto de respuestas.

INTRODUCCIÓN

El papel es un producto que, debido a la importancia que posee, tiene una gran demanda en el mercado puesto que tiene una gran participación en la vida diaria del hombre, convirtiéndose así, en parte casi esencial de éste. De todos los materiales que la gente ha utilizado para la escritura, el papel es el más difundido a través del mundo. Su nombre deriva del papyrus, que era el material que usaban los antiguos egipcios, griegos y romanos. El papiro es sin embargo, sólo uno de los predecesores del papel.

El papel tuvo sus orígenes en China en el año 105 D.C., cuando Tsai Lun fabricó papel por primera vez utilizando fibra de caña de bambú, morera y otras plantas. Posteriormente los musulmanes incorporaron la fibra de lino, algodón y caña, obteniendo un papel de mejor calidad. Desde su invención hasta el presente, se han producido modificaciones tanto en el proceso de manufactura como en la búsqueda de materias primas que garanticen características óptimas del papel elaborado.

La producción de papel en Colombia se inició en el año 1944 en Medellín cuando nace Cartón Colombia hoy Smurfit Kappa (cartones y papel para impresión) cuya materia prima es la madera, y en el año 1957 se inicia con Propal S.A, hoy Carvajal Pulpa y Papel la producción de papeles para impresión a partir del bagazo de la caña de azúcar. Esta hace parte de la cadena de pulpa, papel y artes gráficas. Las empresas que conforman esta cadena concentran su producción en tres departamentos de la Región Andina: Valle del Cauca, Cundinamarca y Antioquia. Estos departamentos generan el 34%, 27% y 17% respectivamente, del total de la producción de la cadena.

El Valle del Cauca es el mayor productor de papel del país con una producción de cerca del 90% de la producción de papeles y cartones para la imprenta y escritura, además de producir el 70% de los papeles para empaques. En la cadena de producción de pulpa y papel para enfrentar los retos de competitividad la industria colombiana se actualiza constantemente desde el punto de vista tecnológico enfocados en incrementar la productividad y disminuir los desperdicios que son asociados a varios factores participantes de la cadena de producción entre ellos la variabilidad en los procesos.

La variabilidad en los procesos continuos, como son los que se dan en la producción de papel, genera unos costos de no calidad que normalmente el productor no mide y son asignados a los costos totales del producto. Lo anterior se manifiesta en un incremento en el precio de venta final y en consecuencia termina

por afectar al usuario o cliente quien termina pagando el sobreprecio generado por el efecto de variabilidad (*Hines Peter, Rich Nick, 1997*).

Las características que definen la calidad de un producto siempre presentan alguna variación con respecto a los valores que se mantienen como ideal o nominal. Desde el punto de vista del cliente, la calidad de un producto es el grado en que las características del producto que ha comprado se acercan a las que considera ideal. Los clientes experimentan una pérdida de calidad debido a las desviaciones de estas características, y cuando tales desviaciones llegan a un límite, lo que se llama la tolerancia de los clientes, exigen una contramedida del fabricante para mantener su nivel de satisfacción y así seguir confiando en el fabricante como proveedor (*J.A. Heredia, et. al, 2004*). Desde el punto de vista del fabricante, la estrategia de la calidad consiste en tratar de utilizar todos los recursos disponibles de manera eficiente para lograr un proceso de fabricación que permita a cada unidad de producto estar dotada de las características de calidad que difieran lo mínimo como sea posible de los valores nominales. Sin embargo, esta diferencia siempre existe, lo que significa que los fabricantes se enfrentan, con el dilema de cómo decidir el nivel de calidad de las unidades que venden a sus clientes.

Una de las maneras para minimizar el costo total de un producto es aplicando el mapeo de la cadena de valor (*Value Stream Mapping (VSM)*) para mejorar el proceso de producción mediante la identificación de los puntos críticos, desperdicios y sus fuentes. En esta investigación se propuso utilizar el VSM, combinado con otras técnicas tales como la metodología de superficie de respuesta y la función de pérdida de Taguchi, estas técnicas se usaron después de realizar el análisis de la situación actual, específicamente en el área de fibra y pulpa de la empresa Carvajal Pulpa y Papel.

La presente investigación se estructuró en 8 capítulos los cuales contienen los siguientes aspectos:

En el Capítulo 1, se presentan los objetivos de la investigación, tanto generales como específicos. En capítulo 2, se realiza descripción del estado del arte, el cual se inicia con el sector paplero y el uso de la pulpa obtenido a partir del bagazo de la caña de azúcar. Igualmente se realizó una búsqueda de utilización de la técnica del VSM (*Value Stream Mapping*) en el sector manufacturero y la FPT (*Función de Pérdida de Taguchi*) donde varios autores hacen referencia a la teoría y sus aplicaciones.

La descripción de procesos de producción para la pulpa blanca y caracterización de los materiales se desarrollan en el Capítulo 3. Este se refiere a la secuencia procesal para la producción de pulpa blanca en el área de fibra y pulpa de la organización Carvajal Pulpa y Papel, destacando las principales fases del proceso y elementos que intervienen en esa producción.

En el Capítulo 4, se describe la aplicación del *Value Stream Mapping* (VSM) en el área de fibra y pulpa donde se mapea el proceso actual identificando las mudas que intervienen en él.

Con el fin de optimizar las variables que se obtuvieron en el capítulo cuatro, en el Capítulo 5 se plantea el análisis de Superficie de Respuesta (MSR) que determinó los valores óptimos a trabajar en la planta para alcanzar la blancura que satisface las necesidades del cliente (máquina 4). A la vez los resultados de la optimización por medio de MSR, se utilizaron para aplicar la metodología de Taguchi en el Capítulo 6, específicamente para determinar la función de pérdida (FPT) a la blancura en un proceso de producción de pulpa blanca.

Las variables obtenidas en los capítulos anteriores se utilizaron para plantear el mapeo futuro con las mejoras en las variables que participan en la blancura (Capítulo 7). Finalmente se presenta el Capítulo 8, donde se plantean las conclusiones y recomendaciones.

CAPITULO 1: OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Mediante el empleo del VSM se pretende identificar el tipo de desperdicio en procesamiento y con la FPT, mediante un modelo, calcular los costos de pérdida por variabilidad a lo largo de la cadena productiva en la industria manufacturera.

En este sentido, el objetivo general de la investigación propuesto a partir del problema es:

- Proponer un modelo de medición de pérdidas por variabilidad a partir del *Value Stream Mapping* y la función de pérdida de Taguchi.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Mapear el proceso de producción de pulpa para la fabricación de papel a partir del bagazo de la caña de azúcar aplicando el VMS y FPT.
- Establecer variables críticas de calidad en la línea de producción de pulpa.
- Hallar un modelo que permita determinar en línea los costos de pérdida de fabricación empleando VSM y la FPT en la producción de pulpa

CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ARTE

Son varios los autores que han realizado importantes aportes al desarrollo del sector papelerero, así como también, la aplicación de la herramienta *Value Stream Mapping* (VSM) (Abdulmalek et al, 2006; Chandandeep et al, 2008; Hines Peter et al, 1997) y la Función de Pérdida de Taguchi (FPT) en la industria manufacturera que han servido para mejorar el desempeño de sus procesos y por ende la calidad de sus productos.

Con base en lo anterior, el presente estado del arte se enfocará en producción de pulpa a partir del bagazo de caña, teniendo en consideración los diferentes insumos y variables de proceso que han sido más utilizados a nivel mundial para la producción de la pulpa. Adicionalmente se presentará el tema del VSM y sus principales aplicaciones, así como la MSR y FPT.

2.1 SECTOR PAPELERO

2.1.1. Pulpa

La mayor parte de la capacidad mundial instalada para la producción de celulosa a partir de fibras vírgenes está basada en la madera. Las plantas anuales y otras fibras no madereras representan alrededor del 11% del total.

Con respecto a la pulpa de bagazo de caña, aparecen reportadas 110 plantas productoras en 21 países. La capacidad instalada actual para esta materia prima es de 2,7 millones de toneladas. Con relación a las plantas anuales y otras fibras no madereras, ese valor representa aproximadamente el 11,5 %.

(Farris, 2010)

En el mercado internacional, la pulpa de bagazo comercial es casi desconocida, por lo que muchos fabricantes de papel no la pueden adquirir ni ensayar en sus productos. La pulpa de fibra corta más conocida y empleada en el mundo es la de eucalipto. Sin embargo, la tecnología de producción de pulpa química convencional de bagazo es conocida y relativamente simple en comparación con

la madera. Por sus características de fibra corta, es idónea para la fabricación de papel para impresión y escritura, y base para estucar de calidades satisfactorias. En el sector de los papeles y cartones industriales, la pulpa de bagazo no es indicada para la producción de surtidos que requieren alta resistencia. No obstante, es también una materia prima excelente para la fabricación de medio para corrugar, producto altamente demandado en el sector de envases de papel y cartón. Con respecto a los procesos de alto rendimiento, hoy en día es posible obtener pulpas de alta blancura y buenas propiedades de resistencia a partir de maderas duras. No puede decirse lo mismo en el caso del bagazo (*Molina S. R. 2002*).

En Colombia, las fibras más usadas para la producción de papeles y cartones son el papel reciclado (51%), la pulpa de madera (33%) y la pulpa de bagazo de caña (16%). La madera utilizada por la industria proviene en su totalidad de bosques cultivados, estando la sostenibilidad de las plantaciones de la industria certificada por el *Forest Stewardship Council* (FSC).

El papel fabricado con fibra de caña de azúcar (bagazo) está clasificado internacionalmente como "Amigo de la Naturaleza" y su reconocimiento como un producto puro, biodegradable y reciclable, lo ubica en un sitio de privilegio, por la calidad de los papeles y los beneficios ecológicos, la fibra de caña de azúcar es un recurso fibroso no maderable de mayor crecimiento en el mundo, a pesar de que sólo se empezó a explotar comercialmente a partir del año 1939. (*García A. 1989*).

La elaboración de la pulpa a partir del bagazo actualmente en Colombia se lleva a cabo en Carvajal Pulpa y Papel por un proceso químico conocido como ECF (Libre de Cloro Elemental) realizado en su planta de Guachené-Cauca y un proceso a base de Cloro e Hipoclorito en su planta de Yumbo – Valle. Concretamente el estudio se realizó en la planta de Guachené, donde se aplicó VSM estado actual y futuro. (*Wilkes Alan, 2000*)

2.2. VALUE STREAM MAPPING (VSM)

El sector industrial manufacturero es uno de los mayores contribuyentes a la actividad económica mundial. Las empresas integradas en el sector deben afrontarlas demandas cada vez más cambiantes y exigentes del mercado actual con productos cada vez más competitivos en cuanto a precio, calidad y nivel de servicio. Ante esta situación, los sistemas productivos de las empresas deben estar adaptados para responder con la mayor agilidad, rapidez y el menor costo posible a las exigencias de los clientes. Por lo tanto, se requieren herramientas que ayuden a diagnosticar y modificar efectivamente los procesos en la empresa, entre ellos se encuentra el VSM, el cual se plantea como una técnica desarrollada al amparo del modelo de la producción ajustada con el fin de apoyar a las empresas manufactureras en el proceso de rediseño de sus entornos productivos. Si bien su nivel de desarrollo teórico y práctico es alto, no se conoce análisis alguno divulgado en el ámbito científico que explore en profundidad su verdadera aplicabilidad en diferentes entornos de producción seriada y continua. *(Serrano, Ibon 2007)*

Además esta herramienta ofrece una visión del estado actual de una empresa y el lugar óptimo a donde se quiere llegar en cuanto a los procesos se refiere, reduciendo eficientemente los costos de desperdicios como: sobreproducción, inventarios, tiempos de espera, transporte, movimientos, fallas de reprocesamientos y calidad, evitando así las fugas de capital, que en la actualidad son primordiales para la estabilidad de una organización. *(Serrano, Ibon 2007)*.

El VSM se crea para identificar todas las actividades involucradas en la manufactura del producto de principio a fin, puede incluir proveedores, producción, operaciones y el cliente final. Para el desarrollo de productos, el VSM incluye desde el concepto hasta su lanzamiento. Todo el sistema se visualiza para identificar oportunidades de mejora. *(Rother et al, 1999)*.

Esta herramienta se fundamenta en la diagramación de dos mapas de la cadena de valor, uno actual y uno futuro, que harán posible documentar y visualizar el estado actual y real del proceso que se va a mejorar con una serie de actividades. Estos estados se representan por un gráfico compuesto de íconos y símbolos simples que describen las actividades y materiales que participan en un proceso hasta que el producto o servicio se entrega al cliente. A cada proceso se le asignan sus indicadores o medidas de desempeño que permitan conocer y visualizar el estado actual del proceso y que a su vez sean insumos para plantear

el estado futuro del mapa. Estos indicadores por lo general son: tiempo de ciclo, número de operadores por equipo, porcentaje de rechazos, eficiencia, entre otros. (Henshall E., 1998; H wang G. et al 1996)

Observando otras técnicas de mapeo el VSM ofrece varias ventajas como son:

- Es la base para la implementación del *Lean Production*.
- Se relaciona con el proceso de fabricación interno para la instalación de la cadena total de suministro.

Presenta tanto los flujos de producto como de información que se vinculan a la planificación del producto y la previsión de la demanda. (Lian and Van Landeghem 2002, Ajit Kumar et al, 2008).

Estudios realizados indican que el VSM se muestra como una técnica útil y aplicable, tanto para afrontar diferentes problemáticas logísticas en el ámbito de planta fabril, como adecuada para el rediseño de sistemas productivos en diferentes entornos. No obstante, el análisis también deriva en una necesidad de adaptación y refinamiento de la técnica de cara a la optimización de su desempeño; sobre todo en aspectos tales como: la adopción de conceptos no directamente relacionados con el modelo de producción ajustado, y la integración de recursos y herramientas adicionales para facilitar las aplicaciones prácticas. (Serrano Ibon et al, 2008)

Aplicaciones de su uso se encuentran en áreas como: automotriz, metalurgia, confecciones y aeronáutica. Como ejemplo de la aplicación de esta metodología se encontró la empresa productora de autos Toyota, en la cual Taiichi Ohno (1912-1990) ejecutivo de Toyota y precursor de la eliminación del despilfarro estableció la siguiente lista de mudas o desperdicios:

- Defectos (en los productos)
- Sobreproducción (de bienes no necesarios)
- Exceso de inventarios
- Procesamiento (innecesario)
- Movimientos (de personal, materiales, productos etc.)
- Esperas (del personal, por ejemplo debido a la imposibilidad de continuar con su tarea antes de que un equipo termine de procesar).
- Transporte

De la aplicación de la metodología de VSM al área productora de papeles, a la fecha no se han encontrado investigaciones de su aplicación, así como también de la combinación con la metodología de superficie de respuesta, y la función de pérdida de Taguchi, para la selección de variables de proceso.

2.3. METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA

Está determinado por la ecuación de la superficie de respuesta, por la expresión matemática (Montgomery DC, 2005):

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_3 X_1^2 + \beta_4 X_2^2 + \dots + \beta_5 X_1 X_2 + \dots + \varepsilon \quad (1)$$

Donde, Y es la variable de respuesta blancura (%), β_i son los coeficientes del modelo para cada de las variables predictivas, ($i=0, 1, 2, 3, 4, 5, \dots k$), $X_{(s)}$ son las variables independientes ($s=1, \dots k$), $X_{(s)}^2$ son los efectos cuadráticos de cada una de las variables predictivas, $X_{(s)}X_{(s)}$ es el efecto interacción entre las diferentes variables y finalmente ε es el error experimental.

▪ Análisis estadístico del modelo de la superficie de respuesta.

Los pasos a seguir en el diseño para dos variables (x_1 y x_2), las cuales especifican las combinaciones reales que se van a usar, son:

a. Se plantea el diseño central compuesto rotacional para las dos variables, el cual comprende la matriz X de las variables x, los valores del vector Y (variable de respuesta, y los coeficientes de la regresión (donde $\hat{\beta}$ son los estimadores de β).

$$X = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1p} \\ 1 & x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2p} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{np} \end{bmatrix} \quad Y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} \quad \hat{\beta} = \begin{bmatrix} \hat{b}_0 \\ \hat{b}_1 \\ \vdots \\ \hat{b}_p \end{bmatrix} \quad (2)$$

b. Los vectores $x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}$, constituyen el conjunto de puntos experimentales que ordenados uno tras otro, generan la siguiente matriz de diseño de la relación

$$D = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1p} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{np} \end{bmatrix} \quad (3)$$

La matriz $X^T X$ y $X^T Y$, presenta la forma:

$$X^T X = \begin{bmatrix} n & \sum x_1 & \sum x_2 & \cdots & \sum x_p \\ \sum x_1 & \sum x_1^2 & \sum x_1 x_2 & \cdots & \sum x_1 x_p \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sum x_p & \sum x_1 x_p & \sum x_2 x_p & \cdots & \sum x_p^2 \end{bmatrix} \quad X^T Y = \begin{bmatrix} \sum Y_n \\ \sum X_{1n} Y_n \\ \sum X_{2n} Y_n \\ \vdots \\ \sum X_{1n} X_{2n} Y_n \end{bmatrix} \quad (4)$$

- c. Con los valores obtenidos de $X^T X$ y $X^T Y$, se obtienen las ecuaciones normales $(X^T X)\hat{\beta} = X^T Y$ de las cuales se despeja los coeficientes de regresión, esto es: $\hat{\beta} = (X^T X)^{-1} X^T Y$ esta es una ecuación matricial que define los estimadores por mínimos cuadrados para todos los coeficientes de regresión simultáneamente, por lo tanto, la ecuación estimada es:

$$\hat{Y} = X\hat{\beta} \quad (5)$$

- d. En el análisis de varianza (ANOVA), se plantean inicialmente las siguientes hipótesis (Montgomery DC, 2005):

- Hipótesis de falta de ajuste. H_0 : La falta de ajuste no es significativa
 H_a : La falta de ajuste es significativa
- Hipótesis de no linealidad. $H_0: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_k = 0$ $H_a: \beta_i \neq 0 \forall i = 1, 2, \dots, k$
- Hipótesis de efectos cuadráticos. $H_0: \beta_{11} = \beta_{22} = \dots = \beta_{kk} = 0$ $H_a: \beta_i \neq 0 \forall i = 1, 2, \dots, k$

En el análisis de varianza, se divide la suma de cuadrados (SC) de (y), es la contribución debida a una ecuación de primer orden (lineal), otra contribución debido a los términos de segundo orden (cuadrática), otra debida al efecto interacción, también una componente para la “falta de ajuste” que mide las desviaciones de las respuestas de las superficie ajustada y, finalmente una medida de los errores experimentales (Montgomery DC, 2005).

El modelo debe de cumplir con los supuestos sobre el error de este, es decir los errores se distribuyeron normal con media 0 y varianza σ^2 , $\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma^2)$, estos se prueban mediante la prueba de *Kolmogorov Smirnov*, y el supuesto sobre la igualdad de las varianzas por medio de la prueba de Bartlett's (*Montgomery DC, 2005*).

2.3.1. Optimización de la Variable de Respuesta

En la optimización de la respuesta, la predicibilidad o función de utilidad o conveniencia es una medida de cómo la solución ha satisfecho los objetivos combinados de todas las respuestas. El método funciona de la siguiente manera cuando se trata de maximizar la variable de respuesta, se obtiene la conveniencia individual (d_i) para cada respuesta. Se combinan las dos conveniencias individuales para obtener la conveniencia combinada o compuesta (D). Si sólo tiene una respuesta, la conveniencia general es igual a la conveniencia individual.

$$d_i(y_i) = \begin{cases} 0 & \text{si } \hat{y}_i(x) < \text{Limite inferior de la } i\text{-ésima respuesta} \\ \left(\frac{Y_i(x) - \text{Limite inferior}}{\text{valor objetivo} - \text{limite inferior}} \right)^s & \text{si } \text{Limite inferior} \leq \hat{y}_i(x) \leq \text{valor objetivo} \\ 1 & \text{si } \hat{y}_i(x) > \text{valor objetivo} \end{cases} \quad (6)$$

Donde s es la importancia del valor objetivo.

Cuando se trata de maximizar una variable de respuesta. Es necesario determinar un valor objetivo y un valor de respuesta mínimo permitido. La conveniencia de que la respuesta este por encima del valor objetivo es uno, por debajo del valor mínimo aceptable de la conveniencia es cero. Cuanto más cerca esté la respuesta de la meta, más cerca está la conveniencia a uno.

Los cálculos tanto de la modelación como la optimización del modelo se realizaron en el paquete estadístico Minitab 14 (Release 14 statistical software, Minitab Inc.).

2.4. FUNCIÓN DE PÉRDIDA DE TAGUCHI

La metodología de Taguchi, se desarrolló a comienzos de 1950, por el japonés G.Taguchi. En occidente se empieza a aplicar a partir de los años 80s en compañías como la Ford, General Motors, Xerox, ATT, etc. Esta metodología es una técnica de optimización de procesos y productos, la cual se ha aplicado

especialmente al control de la calidad. A Taguchi se le deben dos grandes aportes, la razón señal ruido y la función de pérdida, con la primera se selecciona los factores que proporcionan la menor variabilidad, es decir una mejor calidad, más estable frente a la influencia del ruido y con la segunda los que producen la menor pérdida, como es obvio estos coinciden.

La metodología de Taguchi se basa en los siguientes conceptos:(*Lofthouse Thomas.1999*)

- Que la calidad debe diseñarse en el producto más que inspeccionarse en él.
- Que se logra mejor calidad al minimizar la desviación estándar de un determinado proceso o producto, es decir, al reducir la variación natural del proceso en ejecución.
- Que el costo de calidad debe medirse como una función de la desviación estándar y las pérdidas deben determinarse en todo el sistema relacionado.

Taguchi se basó en las observaciones de Deming, que sostienen que el 85% de la No Calidad es atribuible a los procesos de la organización y sólo el 15% a los empleados o trabajadores involucrados en dichos procesos. Por lo tanto y sobre la base de los tres conceptos expuestos, Taguchi desarrolló "robustos" sistemas de producción, que no fueran alterados por las circunstancias cambiantes del entorno y demás factores que pudieran afectarlos. :(*Lofthouse Thomas.1999*)

Con respecto a la función de la calidad muchos conceptos se han propuesto pero ninguno es de tan gran alcance como es la idoneidad o aptitud para el uso, Taguchi propone su concepto de la función de la calidad basado en el siguiente razonamiento: "Cuando un producto falla se presenta reclamación por parte del cliente, ocasionando una pérdida, tanto para el fabricante como para el cliente, siendo necesario inspeccionar, transportar, reparar o remplazar el producto". Por lo tanto su concepto de la función de la calidad es el siguiente: "La calidad de un producto es la pérdida (a minimizar) que se produce en la sociedad cuando esté se utiliza". (*Saeed Maghsoodloo et al,2005*)

Tradicionalmente el control de la calidad se ha realizado utilizando indicadores de calidad del producto tales como número de defectos, porcentajes de defectos, número de fallas, probabilidad de fallas, costos de desperdicios, índices de capacidad de procesos, etc., los cuales son indicadores que miden la calidad muy pobremente, debido a que las mediciones se realizan después de manufacturar el

producto, esto es, lo que se llama medidas de tipo reactivo, porque a partir de estas se toman acciones correctivas, cuando ya se ha producido la pérdida(Pakkala et al 1999). Razón por la cual Taguchi propone que un buen índice de calidad debe tener las siguientes características:

- Puede ser usado en el mejoramiento de la calidad preventiva. Debe ser capaz de evaluar la calidad en etapas iniciales como: investigación y desarrollo, diseño del producto y procesos, y en la selección del material.
- Debe expresar en forma aproximada la calidad del producto y del proceso en términos técnicos de ingeniería y en respuesta a los clientes.
- Debe expresar la relación costo - calidad

Taguchi definió de manera muy diferente la función de pérdida, él se basó en la definición que dió de la calidad: “La calidad de un producto es la pérdida (a minimizar) que su utilización produce a la sociedad”.

En la metodología de Taguchi se analiza la pérdida de la siguiente manera:

Sea y una característica medida en una escala continua y supóngase que existe un valor objetivo de y que es m , m que es deseado, es a partir de las necesidades del cliente, es decir, que si se fabrica un producto de calidad m , el cliente estará totalmente satisfecho.

Si el valor de m es cero (0) habrá una pérdida mínima ocasionada por la desviación de la característica de la calidad, donde esta pérdida va de la simple inconveniencia a una pérdida monetaria y de daños. Si el valor de m es uno (1) habrá una pérdida mayor porque hay una mayor desviación. Entre mayor sea la desviación de la característica de la calidad con respecto al valor deseado mayor será la pérdida para la sociedad. (**Figura 2.1**).

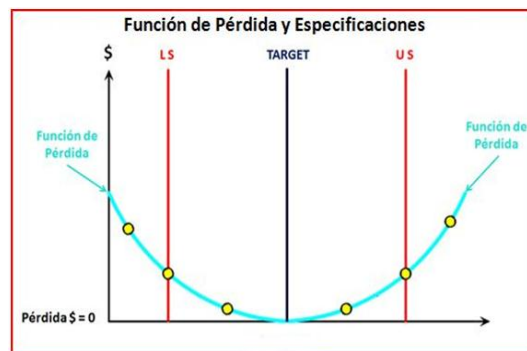


Figura 2.1. Función de pérdida de Taguchi.

Fuente:(Ing. Diana López Soto. *Sistemas de Calidad* .2010 Navojoa, Sonora)

Sea $L(y)$ la pérdida en términos de dinero sufrida por un consumidor del producto durante la vida útil de este, debida a la desviación de y respecto a m . Una aproximación cuadrática de $L(y)$ representa adecuadamente las pérdidas económicas debido a ésta desviación de y ; Característica de calidad.

Cuando la calidad apunta hacia un valor óptimo específico y las tolerancias tienen dos límites superiores e inferiores, la función de pérdida es de la forma:

$L(y) = K(y - m)^2$. Donde, $L(y)$ es la función de pérdida, y es el valor nominal o ideal, $(y-m)$ es la desviación de la característica con respecto al valor deseado, m es el valor observado y K es una constante, que puede ser calculada si $L(y)$ se conoce para algún valor de y . Tomando el valor esperado con respecto a la distribución de y , se obtiene la pérdida esperada:

$$L = E[L(y)] = K E[(y - m)^2] \quad (7)$$

Cuando la calidad apunta hacia un valor óptimo entre más pequeño mejor y las tolerancias están definidas por un valor máximo, la función de pérdida es de la forma:

$$L(Y) = ky^2. \quad (8)$$

Cuando la calidad apunta hacia un **valor óptimo entre más grande mejor** y las tolerancias están definidas por un valor mínimo, la función de pérdida es de la forma: $L(Y) = k(1/y)^2$, la cual corresponde a la optimización de un solo producto. Cuando se requiere para n productos, una forma razonable de expresar la Desviación Cuadrática Media (de la variable respecto del valor objetivo) es:

$$L(Y) = K \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \quad (9)$$

La constante K es calculada por medio de la expresión ($k = (\text{total costos}) \cdot y^2$), donde, se tiene los costos totales de la producción y las especificaciones dadas por el cliente (el valor mínimo tolerable sin que se produzcan pérdidas).

2.5. CONCLUSIONES ESTADO DEL ARTE

En el presente capítulo, se ha realizado una breve descripción del sector de fabricación de pulpa y papel, realizando una reseña histórica y ubicación del

mercado e importancia del mercado, con tal fin, se han tenido en cuenta investigaciones publicadas en artículos y libros sobre la materia prima bagazo de la caña de azúcar.

En este capítulo igualmente, se presenta generalidades sobre la teoría de VSM, MRS y FPT. De esta revisión se puede concluir que a la fecha no existen aplicaciones de VSM combinado con MRS y FPT en el sector paplero. En el capítulo 4 y 5 se realiza una descripción más detallada de estas técnicas.

Cabe anotar que, la aplicación de la VSM en la ingeniería, ha sido ampliamente utilizada en varios sectores industriales.

Se espera que la combinación de las técnicas VSM y FPT dada sus bondades para su aplicabilidad en la optimización de procesos sea acogido como un área interesante y activa mediante la cual se pueda llegar a hacer desarrollos prácticos y teóricos en la ingeniería y con base en el presente trabajo de tesis de maestría, aportar al campo del conocimiento.

CAPITULO 3: DESCRIPCIÓN DE PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE PULPA BLANCA Y CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES

3.1. INTRODUCCIÓN

Los principales procesos para la fabricación de pulpa y papel, han sido desarrollados para ser aplicados a la madera, sin embargo, también han sido utilizados con el bagazo de caña de azúcar.

Entre los diferentes procesos utilizados para la fabricación de pulpa están; el proceso al sulfato, el proceso al sulfito, el de la sosa, el proceso mecánico, etc.

La fabricación del papel a partir del bagazo de caña por el proceso de sosa se inicia a la salida del bagazo del ingenio azucarero, ya que después que el bagazo sale del tren de molienda del ingenio es transportado, a granel a la fábrica de pulpa y papel, donde será almacenado y posteriormente procesado.

A continuación se describen cada una de las etapas del proceso para la producción de pulpa blanca, tales como desmedulado de bagazo, cocción de fibra, lavado de pulpa, depuración y limpieza, blanqueo de pulpa. Así mismo, se presenta en este capítulo la descripción de las características y propiedades de la materia prima e insumos para la producción de pulpa.

3.2. DESCRIPCION DE LOS PROCESOS

3.2.1. Proceso de Desmedulado del Bagazo

La figura 1, muestra el proceso de desmedulado del bagazo el cual se inicia con el almacenamiento del bagazo, seguido del proceso de desmedulado. (*Cartillas MTS, 2010*).

- **Almacenamiento:** el almacenamiento del bagazo de caña, es de mucha importancia para la industria papelera, debido a que no es en forma continua, y con el almacenamiento del bagazo se pueden asegurar las

operaciones de la planta de celulosa en forma continua, durante el tiempo que no esté trabajando el ingenio azucarero.

- Desmedulado:** Desde los patios de almacenamiento el bagazo de caña es conducido por medio de transportadores hasta los desmeduladores secos, en donde se retira la mayor cantidad de polvillo por medio de los huecos de la canastilla cribada. El producto principal en esta etapa es la fibra que queda dentro de la canastilla esta es descargada a una lavadora que se encuentra llena de agua y contiene unos rotores que crean un oleaje y transportan la fibra que va sobrenadando. Por medio de decantación retira la mayor cantidad de solubles e insolubles que contiene la fibra. De la lavadora la fibra es conducida a los desmeduladores en húmedo los cuales tienen el mismo funcionamiento de los desmeduladores secos y con solo la diferencia que estas cribas son fabricadas en acero inoxidable. La fibra apta es descargada al proceso de digestión.

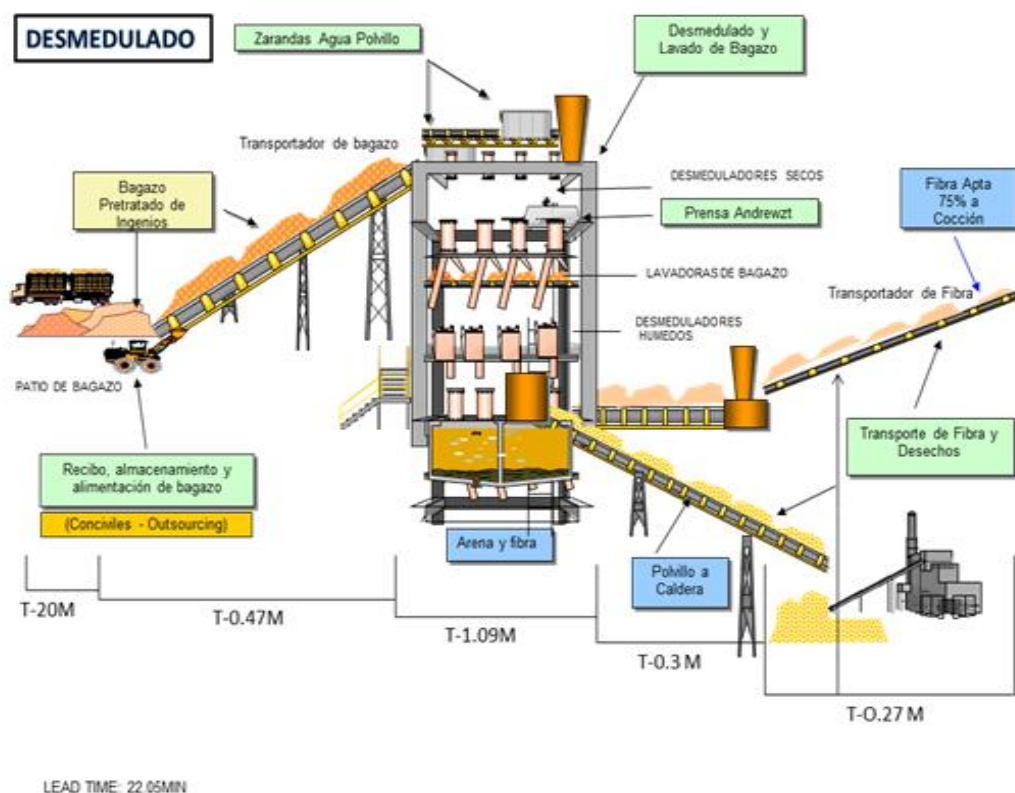


Figura 3.1. Proceso de Desmedulado del bagazo.

Fuente: (Cartillas MTS, 2010).

3.2.2. Proceso Cocción de la Fibra

Del proceso de desmedulado, la fibra apta pasa al proceso de cocción (figura 2), en el cual se deslignifica la fibra (grado de cocimiento).

- **Digestión o cocción:** Se recibe la fibra lavada para ser transformada en "Pulpa Cocida" producto de gran importancia para el proceso de elaboración del papel.

Esta fase es de gran importancia puesto que en ella se obtiene la (Celulosa) pulpa, materia prima importante para la producción de papel, dándole el grado de deslignificación sin daño de las propiedades físicas y cumplir así los parámetros de cantidad y calidad requeridos.

El proceso de pulpeo es de tipo químico, que se caracteriza por despegar las fibras degradando, disolviendo y retirando el material orgánico que actúa como pegante de las fibras (lignina).

La fibra es sometida a un proceso de **cocción** con soda cáustica y vapor a alta presión y temperatura, conocido como "proceso a la soda", el más limpio de todos los procesos de Pulpeo. La finalidad del proceso es remover la lignina contenida en la fibra de **caña** de azúcar. Con esta operación se busca romper con la estructura química (lignina y celulosa). (*Cartillas MTS, 2010*).

3.2.3. Proceso de Lavado de Pulpa, Depuración y Limpieza

- **Lavado:** el lavado de la pulpa es otro de los pasos que se siguen para la fabricación de la pulpa a partir del bagazo. En este proceso de lavado de la pulpa de bagazo de caña por medio de filtración y difusión se eliminan todos los componentes orgánicos, como también residuos del proceso de cocimiento. (Figura 3.3)

Cocción de la fibra

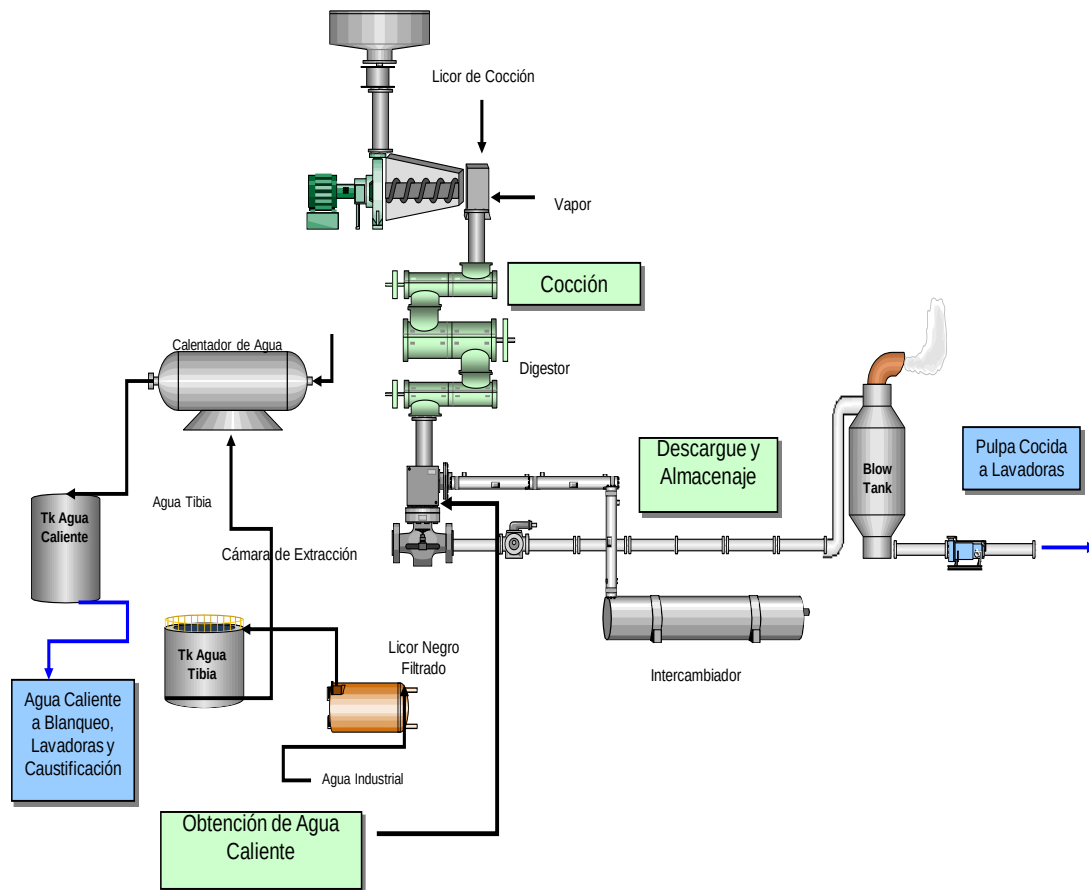


Figura 3.2. Proceso de cocción de la fibra.

Fuente: (Cartillas MTS, 2010).

El proceso se efectúa sobre los filtros o lavadoras de tambor o también llamados filtros al vacío. La mezcla de las fibras y el líquido se lleva a la caja de entrada de la lavadora. El tambor está dividido en cinco partes o secciones:

- En la primera zona bajo el efecto del vacío se forma la hoja sobre el tambor.
- La segunda zona es el desagüe de las fibras.
- La tercera zona es la parte donde la pulpa se lava con condensados o agua.
- La cuarta zona, en esta se lleva a cabo la filtración.
- La quinta zona, en la cual se rompe el vacío y la hoja se descarga a un repulpeador.

El sistema actual que se utiliza para el lavado es en contracorriente, eso es que el último paso de la lavadora se alimenta con agua fría y agua caliente. El proceso de lavado tiene como objetivo separarle a la pulpa cocida el licor negro que la acompaña; además, la pulpa lavada es sometida a un proceso de selección y limpieza para luego ser almacenada en una torre de alta densidad.

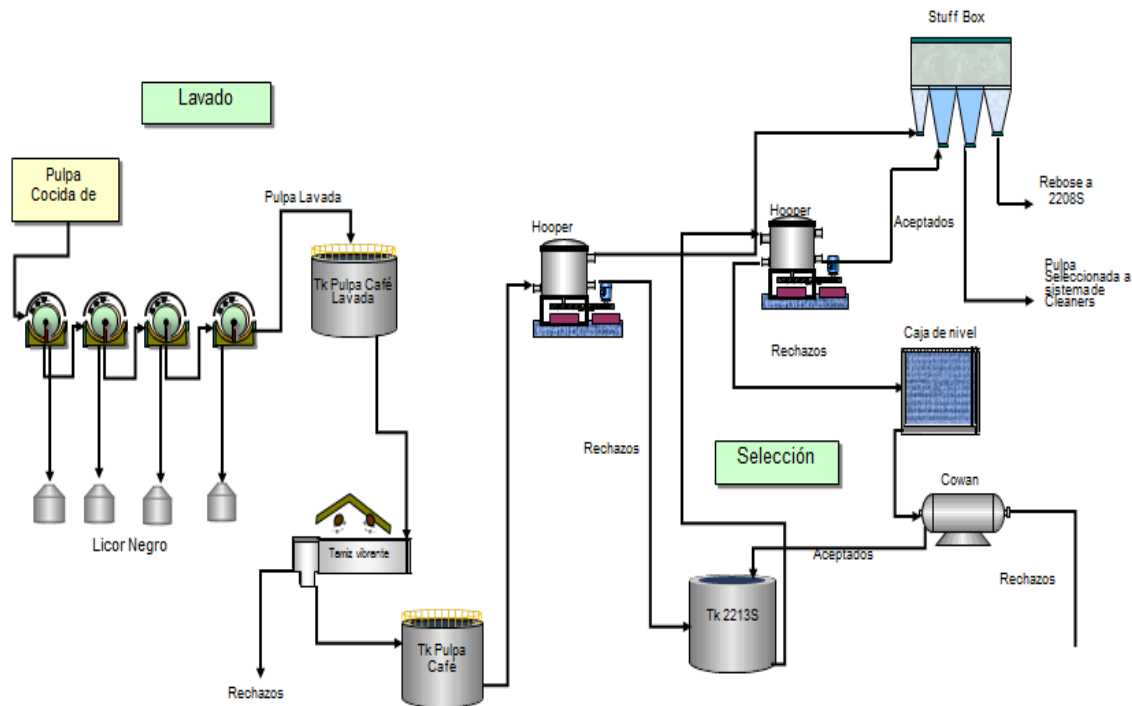


Figura 3.3. Proceso de lavado de pulpa.

Fuente: (Cartillas MTS, 2010).

- **Depuración y limpieza:** la depuración y la limpieza de la pulpa es otro de los procesos utilizados para la fabricación de pulpas a partir de bagazo de caña de azúcar. En la depuración se eliminan las impurezas (fibras mal cocidas, arena objetos extraños y otros). Este proceso se lleva a cabo en una serie de cribas rotatorias o vibratorias.
 - Las cribas rotatorias se componen de caja de alimentación y cilindro. Las fibras buenas cuyo tamaño corresponden al diámetro de las perforaciones, se consideran como aceptados, mientras, que las otras fibras mal cocidas o más grandes se desplazan hacia la canasta perforada, para darles salida, posteriormente como rechazo.
 - Por lo general los rechazos de las cribas vibratorias son de tamaño elevado o sea las fibras mal cocidas. Utilizando para estos un refinador de discos,

las fibras refinadas regresan otra vez al circuito, este arreglo puede usarse únicamente para la fabricación de papeles de una calidad no muy elevada, en el caso de la fabricación del papel de alta calidad se agrega un sistema de limpieza por medio de hidrociclones. La fibra limpia o mejor dicho uniformizada pasa a un espesor, donde elimina agua y la consistencia aumenta a un valor de 12%, para luego pasar al área de blanqueo.

3.2.4. Proceso de Blanqueo de la Pulpa

- **Blanqueo:** Para obtener la blancura deseada en el producto final, ya sea papel periódico o papel de escritura e impresión, se hace necesario, el blanqueo de la pulpa el cual se obtiene por medio de una serie de etapas, como son Dióxido de cloro D_0 , extracción, Dióxido de cloro D_1 , Peróxido (figura 3.4). Su función principal es retirar toda la lignina residual que le confiere el color café a la pulpa, lo cual se logra paulatinamente a lo largo del proceso de blanqueo gracias a la reacción química que ocurre en cada una de las torres de retención y a un posterior lavado por filtración para eliminar los productos de cada reacción. Mediante estos procesos químicos de digestión y blanqueo se obtiene la pulpa para producir papeles "*Woodfree*", término con el que en la industria papelera se conocen aquellos productos que no contienen lignina, a diferencia de los que provienen de un proceso de Pulpeo mecánico, tales como los papeles tipo periódico y LWC (esmaltados de bajo gramaje para revistas). La pulpa blanqueada es utilizada para la producción de papel y cartulinas finas. La pulpa también puede ser prensada para extraerle la humedad, convirtiéndola en hojas para su fácil almacenamiento y transporte, posterior utilización en la fábrica o para venta externa.

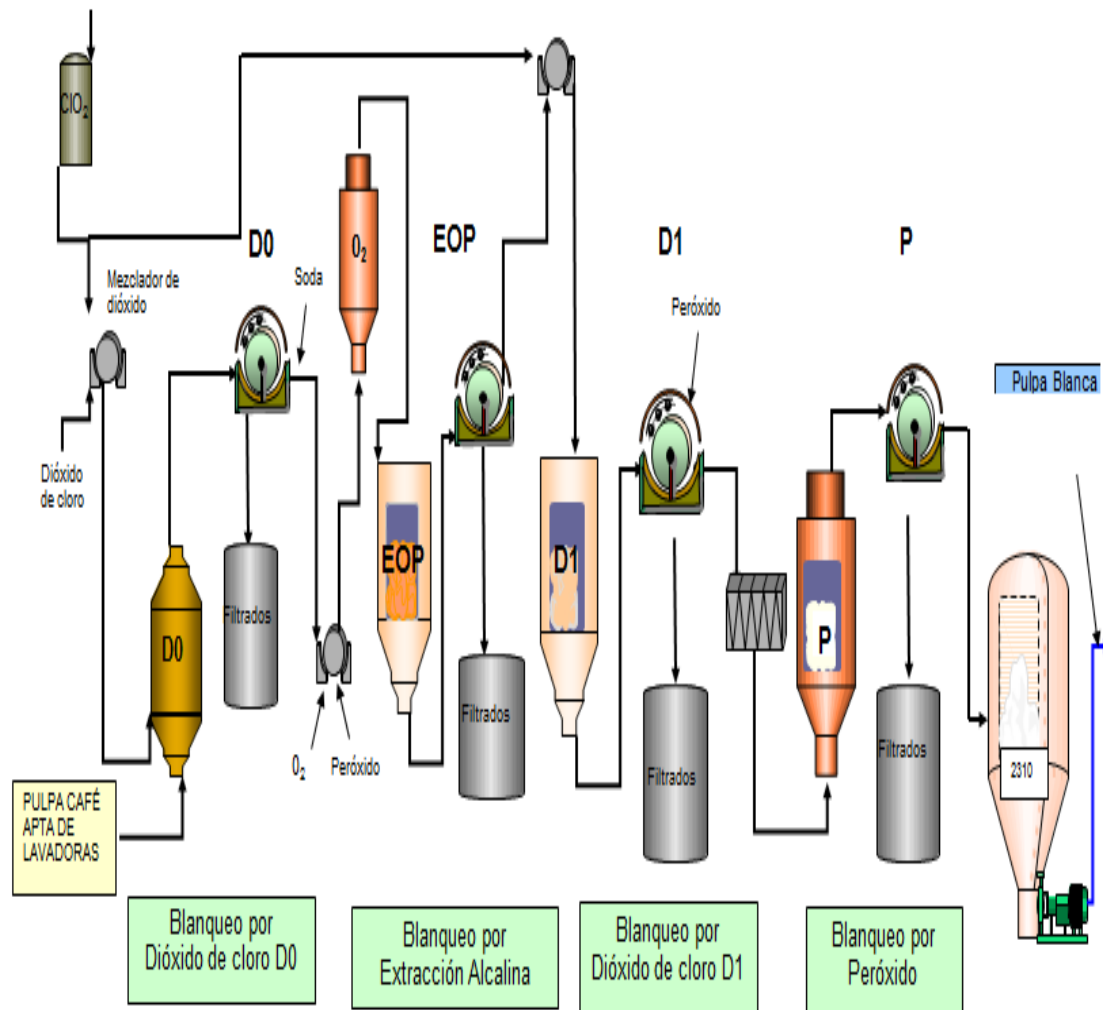


Figura 3.4. Proceso de Blanqueo.

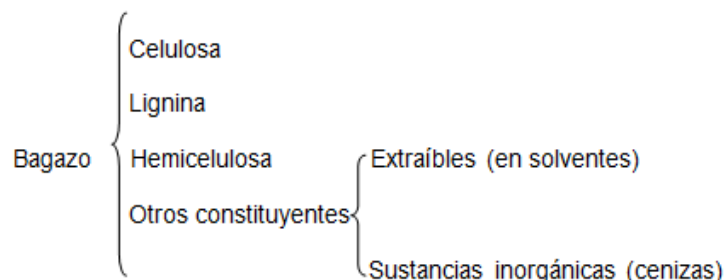
Fuente: (Cartillas MTS, 2010).

3.3. CARACTERIZACIÓN Y PROPIEDADES DE LA MATERIA PRIMA

3.3.1. Bagazo y Lignina

El Bagazo es definido por la Sociedad Internacional de Técnicos de la Caña de Azúcar como el residuo de la trituración de la caña de azúcar en uno o varios molinos. El bagazo seco es claro y varía en color de blanco parduzco a verde claro dependiendo de la variedad y edad de la caña; el bagazo almacenado varía de

café amarillento a gris oscuro (Figura 3.5). Desde el punto de vista de la composición química el bagazo está integrado por los siguientes constituyentes:



Las fibras del bagazo son rígidas y de contornos irregulares, presentan una longitud de 1,7 mm y un diámetro de 20um, posee el bagazo 50% de fibra, cenizas entre 2-3%, medula (polvillo) 35%, epidermis 5%, extraíbles 3%. (Sanjuán Dueñas R., Cenpapel, 1997)

Lignina, es un compuesto químico complejo que se caracteriza por ser amorfo y de color oscuro y une fuertemente a las fibras del árbol lo que hace necesario extraerlas en su totalidad para individualizar las fibras (Figura 3.6). (En papeles blancos hay que extraerla totalmente. Uno de los problemas de la lignina es que provoca envejecimiento del papel tornándolo amarillo con gran rapidez (Cartilla, Carvajal pulpa y papel-Área fibra y pulpa, 2008).



Figura 3.5. Bagazo

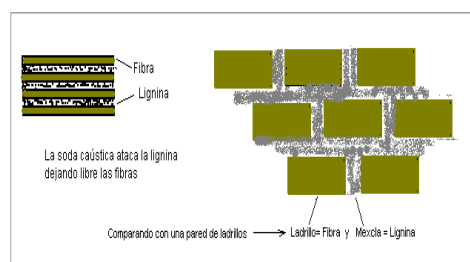


Figura 3.6. Lignina

Las fibras del bagazo proveniente del ingenio Cabaña y Cauca con el cual se realizó la investigación son rígidas y de contornos irregulares, presentan una longitud de 1,- 2 mm y un diámetro de 15um, posee el bagazo 45-50% de fibra, cenizas entre 2-5%, medula (polvillo) 30-40%, humedad de 48 – 52% y extraíbles 4%. (Cartilla, Carvajal pulpa y papel-Área fibra y pulpa, 2008). Estas características dificultan las propiedades finales del producto final.

3.3.2. Licor de Cocción y Permanganato de Potasio

Licor de Cocción, es una mezcla de solución acuosa de hidróxido de sodio (NaOH) al 25% con antraquinona que se utiliza para disolver la mayor cantidad de lignina y la menor cantidad de celulosa posible. El hidróxido de sodio degrada la lignina y la antraquinona acelera las reacciones de cocción y decrece la degradación de la celulosa causada por el hidróxido de sodio

El permanganato de potasio (KMnO_4), es un sólido cristalino púrpura, soluble en agua. Es no inflamable, sin embargo acelera la combustión de materiales inflamables y si este material se encuentra dividido finamente, puede producirse una explosión. Es utilizado como reactivo en química orgánica, inorgánica y analítica; como blanqueador de resinas, ceras, grasas, aceites, algodón y seda; en teñido de lana y telas impresas; en el lavado de dióxido de carbono utilizado en fotografía y en purificación de agua. Se obtiene por oxidación electrolítica de mineral de manganeso.

El KMnO_4 , se emplea a una concentración de 10 gr/l, y se utiliza para identificar el número de deslignificación en la pulpa.

3.3.3. Blancura.

La principal variable que se mide en el proceso de blanqueo es la blancura, el cual es un término que se usa para indicar la capacidad de la pulpa para reflejar la luz monocromática (medida del factor de reflectancia difusa en el azul, según Norma ISO 2470) comparada a la correspondiente al óxido de magnesio (98-99% de reflectancia absoluta).

La blancura *TAPPI* o *GE* se mide con un instrumento en el que la iluminación de la muestra es direccional, orientada a 45 grados de la superficie; usa óxido de magnesio como estándar de regencia al que se le asigna un valor de reflectancia del 100%.

3.3.4. Dióxido de cloro, Hidróxido de sodio, Oxígeno y Peróxido de hidrógeno

- **El dióxido de cloro** es un gas que es disuelto en agua. Este ha sido un químico de blanqueamiento alternativo conocido desde 1950. En ese entonces los sistemas generadores de dióxido de cloro eran difíciles de controlar debido a la naturaleza inestable del producto.

La fórmula química es ClO_2 Peso molecular 67.45. El gas es soluble en agua, cerca de 10 gramos por litro bajo condiciones heladas. Esta es la forma (solución fría) en la cual el gas se usa en el blanqueo.

El dióxido de cloro, es producido en la planta en un reactor con la mezcla de clorato de sodio, ácido sulfúrico y metanol a una concentración de 9:10 gramos por litro, a una temperatura entre 10 y 15 grados centígrados, una vez generado es absorbido inmediatamente en el agua helada para luego usarlo en la planta de blanqueo.

- **El hidróxido de sodio** ó soda caustica, se reconoce por otros nombres como Soda Cáustica, Lejía, Lejía de Soda e Hidrato de Sodio.

A temperatura ambiente el Hidróxido de Sodio es un sólido cristalino, blanco, sin olor y que absorbe rápidamente Dióxido de carbono y humedad del aire. Es una sustancia muy corrosiva. Cuando se disuelve en agua o cuando se neutraliza con algún ácido libera gran cantidad de calor, el cual puede ser suficiente para hacer que material combustible en contacto con el hidróxido haga ignición.

El hidróxido de sodio se usa en una solución al 7% (73 gr. /l de concentración de NaOH), a temperatura ambiente.

El oxígeno es utilizado en la deslignificación en estado gaseoso después del pulpeo por resistencia. También es utilizado para reforzar la etapa de extracción después del blanqueo (EOP extracción, oxígeno y peróxido).

Un uso menor es en la oxidación del licor blanco, para remover los contenidos del azufre para mantenerlos dentro de los límites en la planta.

- **El Peróxido de hidrogeno ($H_2 O_2$)**, producido como una solución al 4% altamente reactivo con componentes orgánicos. Utilizado en el blanqueo de pulpa como refuerzo de la acción química en la etapa de extracción. Esto es conocido como el Ep (Extracción con NaOH y P – Peróxido). La etapa de extracción reforzada común es Epo (Extracción con NaOH, peróxido y oxígeno).

3.4. CONCLUSIONES PARCIALES

La materia prima (bagazo) con el cual se realizó la investigación tiene características que dificultan en planta obtener los rendimientos teóricos y la calidad en la pulpa (blancura), pues cenizas por encima del 2% generan mayor consumo de químicos para obtener la blancura y un menor porcentaje de fibra afecta el rendimiento del bagazo en la planta.

Las dosificaciones de dióxido de cloro, soda, peróxido y oxígeno dependen especialmente de las condiciones de proceso como pH, temperaturas, residuales, productividad y las propiedades de la materia prima como son porcentajes de fibra y cenizas. Estos químicos reaccionan retirando la lignina de la pulpa que es el elemento que impide la blanqueabilidad.

CAPITULO 4: APLICACIÓN DEL VSM COMO HERRAMIENTA PARA EL MEJORAMIENTO DE LOS SISTEMAS PRODUCTIVOS: MAPA ACTUAL

4.1. INTRODUCCIÓN

Las empresas manufactureras se encuentran ante la necesidad de replantear y rediseñar sus sistemas productivos con el objeto de alcanzar la competitividad con la que se afrontan los retos de los mercados actuales. Es necesario por tanto, disponer de técnicas prácticas que apoyen el proceso de rediseño de sus sistemas productivos.

El *Value Stream Mapping* (VSM) o mapeado del flujo de valor, es una herramienta desarrollada en el seno del modelo productivo de la producción ajustada (*Lean Production*). (Ajit Kumar et al, 2008; Peng, et al 2007, Singh et al, 2009)

Se fundamenta en la aplicación secuenciada de las siguientes etapas:

1. Mapeado o cartografiado del estado inicial referente al flujo de materiales y de su información asociada.
2. Mapeado de la situación futura sobre la base de pautas aportadas por la producción ajustada, para tal fin inicialmente se hará uso de la MRS y FPT, herramientas que apoyan la selección de condiciones que serán utilizadas en el planteamiento del mapa futuro (capítulo 7).
3. Definición e implantación de un plan de trabajo (capítulo 7).

El cumplimiento de las fases citadas habrá de derivar en el rediseño e implantación de un nuevo modelo productivo adaptado en un mayor grado a las exigencias actuales y futuras de costo y nivel de servicio.

Esta metodología fue aplicada particularmente en el área de Fibra y Pulpa de la compañía Carvajal Pulpa y Papel. Con el mapeo del área se pretende detectar las variables que inciden en la blancura final en la producción de pulpa blanca.

4.2. METODOLOGIA PARA LA APLICACION VSM: MAPA ACTUAL

Tanto los procesos y las materiales descritos en el capítulo 3, son los insumos para la construcción del *Value Stream Mapping (VSM)*. Para su aplicación en el área de estudio se inició con identificación de los flujos, variables y tiempos en el proceso de producción de pulpa blanca. Seguidamente se dibuja el mapa actual de flujo, que muestra los pasos actuales, las demoras y los flujos de información necesarios para entregar el producto o servicio de destino. Esto puede ser un flujo de producción (materias primas hasta el consumidor) o un flujo de diseño (concepto al lanzamiento). Existe una simbología propia para representar las entidades de la cadena de valor. (Narasimhan K., 2004; Parry G. et al 2010; Wee M. H, et al 2009, Yang-Hua Lian et al, 2002).

Después de construido el mapa actual se evalúa los parámetros de calidad con relación a las especificaciones estándar para plantear el dibujo del mapa futuro con las mejoras propuestas.

4.2.1. Simbología y Abreviaturas

En la Figura 4.1 y Tabla 4.1, se presenta los simbolos utilizados para la elaboracion del mapeo de los distintos procesos.

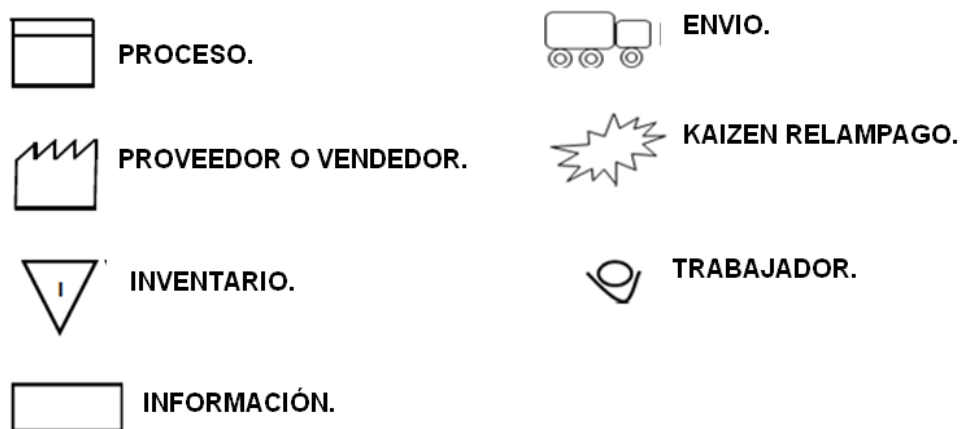


Figura 4.1. Simbología utilizada en el mapeo (Serrano Ibon, 2007),

Tabla 4.1. Abreviaturas para mapeo.

CT: Tiempo de ciclo	EN: tiempo de trabajo.
C.O: Tiempo de cambio de modelo ò proceso	TA: tiempo de trabajo del área.
LT: plazo de espera.	EM: envió de mercancía.
NP: número de personas en el área.	

4.2.2. Identificación de los flujos, variables de proceso y tiempos.

A continuación se presenta una descripción de los principales flujos en cada una de las secciones, debido a que estos son los de mayor volumen, importantes en la producción y los clientes internos.

4.2.2.1. Sección de desmedulado, los principales flujos de esta sección son (ver Tabla 4.2):

- Bagazo pre tratado
- Polvillo a caldera
- Fibra apta.

Tabla 4.2.Flujos sección de desmedulado

VARIABLE	VALOR
Fibra apta alimentada al digestor	220 ± 10 Ton/Turno (Fibra) 400 ± 20 Ton/Turno (Bagazo)
Cenizas de fibra apta	Max 2,3 %
Cenizas desmedulado seco	Max 3,5 %
Fibra en desmedulado seco	Min 70 %
Fibra en la fibra apta	80 ± 2 %
Humedad de fibra apta	≤ 85 %
Humedad del polvillo	Máx. 67 %

4.2.2.2. Sección de Digestor, los principales flujos de esta sección son (ver Tabla 4.3):

- Fibra apta al digestor
- Pulpa cocida a lavadoras
- Vapor de media presión
- Licor de cocción

Tabla 4.3. Variables de la sección cocción.

VARIABLE	VALOR
Nº de permanganato	7.5 ± 0.5
Soda residual en el licor negro.	10.0 ± 2.0
Concentración del licor de cocción	53.0 ± 1.0
Sólidos totales en el licor negro	13.0 ± 1.0

4.2.2.3. Sección de lavadoras, los principales flujos de esta sección son (ver Tabla 4.4):

- Pulpa cocida
- Pulpa café lavada a blanqueo
- Licor negro a evaporadores
- Rechazos a zaranda came

Tabla 4.4. Variables de la sección lavadora

VARIABLE	VALOR
Producción de pulpa café	294 M3/h
Sólidos de licor negro	9,25 ± 0,25 %
Consistencia de pulpa café	9,8 ± 0,5 %
Flujo de condensados de calderas, cocción y agua caliente	Max 90 m3/hr
Soda no recuperable	< 3,0 Kg/Ton
Conductividad	Max. 3,0 μ mhos/cm
Consistencia de alimento a 1a etapa cleaners	Máx. 0.77 %
Consistencia alimento a 2da etapa de cleaners	Máx. 0.62 %
Consistencia de alimento a la 3ra etapa de cleaners	Máx. 0.47 %
Consistencia de alimento a la 4ta etapa de cleaners	Máx. 0.26 %
Consistencia de alimento	Máx. 0.32 %
Consistencia de entrada a la primera zaranda	3,4 ± 0,2 %
pH pulpa café	9,5 ± 0,5
Flujo de lavado a espesadores	150 m3/hr

4.2.2.4. Sección blanqueo, los principales flujos de esta sección son (ver Tabla 4.5):

- Pulpa café lavada
- Pulpa blanca a maquinas
- Dióxido de cloro a 10 gpl
- Soda caustica al 7%
- Peróxido de hidrogeno al 3 %
- Oxigeno

Tabla 4.5. Variables de blanqueo

VARIABLE	VALOR
Producción de Pulpa Blanca a Máquina 4	269 ton/día min
Blancura de pulpa salida lavadora de peróxido	Min 88.5%
PH de Pulpa Café entrando a Dióxido D0	5,0 ± 0,5
PH saliendo del mezclador Dióxido D0	3,0 ± 0,5
pH en la cuba de la lavadora de Dióxido D0	2,0 ± 0.5
pH en la cuba de la lavadora de cáustica	0,15 ± 0.05
pH en la cuba de la lavadora de Dióxido D1	3,75 ± 0.25
pH en la cuba de la lavadora de peróxido	9,5 ± 0.2
Flujo de pulpa café a Dióxido D0	330 ± 10 m3/hr
Consistencia entrando a Dióxido D0	4,0 ± 0,2 %
Blancura de pulpa salida lavadora de Dióxido D0	62± 3%
Flujo de Dióxido de Cloro	22 ± 2 Kg/hr
Residual de cloro entrando a la torre de Dióxido D0- 2302-S	700 ± 100 mg/L
Número de KMnO4 entrando a Dióxido D0	6,2 ± 0,2
Temperatura de pulpa Saliendo del mezclador Dióxido D0	53 ± 3,0 °C
Blancura de pulpa salida lavadora de cáustica	72,5 ± 2,5%
Flujo de soda	1,5 ± 0,2 m3/H
pH en pulpa hacia la torre de cáustica	11,25 ± 0,25
Residual de soda saliendo de la bomba 2302-J	0,45 ± 0,15
Residual de soda en el vat de la lavadora de Cáustica	0,12 ± 0,04
Flujo de oxígeno al Hi SHEAR	31 ± 2 Kg/hr
Flujo de Peróxido al HI-SHEAR	0,86 ± 0,07 m3/hr
Nivel torre de cáustica 2304-S	85 ± 5 %
Temperatura de la Pulpa etapa cáustica	72 ± 2 °C
Blancura de pulpa salida lavadora de Dióxido D1	87,5 ± 1 %
Residual de cloro entrando a la torre de Dióxido D1- 2308-S	450 ± 150 mg/L
Flujo de Dióxido de Cloro	9 ± 1 Kg/hr

Temperatura de la Pulpa entrando a la torre de Dióxido D1	72,5 ± 2,5 °C
Flujo de soda entrando a Dióxido D1	0,15 ± 0,05
pH de pulpa entrando a la torre de Dióxido D1	5,3 ± 0,2
Blancura de pulpa salida lavadora de peróxido	88.5 % min
Nivel torre de Peróxido	85 ± 5 %
Flujo de peróxido	0,52 ± 0,1 m3/H
Flujo de soda	0,13 ± 0,02 m3/H
Residual de peróxido entrando a la torre	0,175 ± 0,025
Residual de peróxido en la cuba de la de la lavadora	0,05 ± 0,01
Temperatura de la Pulpa entrando a la torre de peróxido 2306S	74 ± 2°C
pH de pulpa entrando a torre de peróxido	10,6 ± 0,1

4.2.3. Identificación del mapeo actual

Se estableció cada elemento que conforma el VSM y se focalizó en las variables que afectan la muda de reproceso o de calidad blancura de la pulpa.

Para ello se toma cada fase iniciando por la fase de desmedulado y finalizando en blanqueo describiendo en especial las variables críticas de control de proceso.

4.2.3.1. Definición de eficiencias de cada uno de los procesos

$$Ef = \frac{\text{Fibra Apta}}{\text{Bagazo Entero D.}} * 100 \quad (1)$$

$$Ef = \frac{\text{Pulpa Cocida}}{\text{Fibra Apta}} * 100 \quad (2)$$

$$Ef = \frac{\text{Pulpa Café}}{\text{Pulpa Lavada}} * 100 \quad (3)$$

$$Ef = \frac{\text{Pulpa Blanca}}{\text{Pulpa Café}} * 100 \quad (4)$$

1. Eficiencia de desmedulado: Es la relación existente entre la cantidad de fibra apta que sale de los desmeduladores vs el bagazo entero que se alimentó en desmedulado
2. Eficiencia en digestor: Es la relación existente entre la cantidad de pulpa cocida que sale del digestor vs la fibra apta que se alimentó al digestor

3. Eficiencia en pulpa café: Es la relación existente entre la cantidad de pulpa café producida a la salida de depuración vs la cantidad de pulpa entrando a las lavadoras.
4. Eficiencia en blanqueo: Es la relación existente entre la cantidad de pulpa blanca producida vs la cantidad de pulpa café entrando a blanqueo.

4.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo, inicialmente se realizó el mapeado del estado actual, en el cual se describe como se halló el área de estudio (producción de pulpa blanca), para lo cual se emplean las eficiencias reales, tiempos de procesos y variables de calidad que afectan la blancura.

4.3.1. Mapa Actual

En el mapa actual se consolida la participación de las mudas (desperdicio) en cada etapa del proceso de producción de pulpa blanca incluyendo las eficiencias, utilidades y las variables de calidad (Q) más representativas para el control de la blancura.

En la figura 4.2 se esquematizan los principales flujos de entrada a cada etapa inicialmente de manera general, el mapeo comienza con el recibo de bagazo desde los ingenios con un ciclo de entrega entre 20-45 min y de bagazo entre 1400- 1500 ton; este bagazo es almacenado en el patio de bagazo con un tiempo de espera de aproximadamente 690 horas por arrume y con un ciclo de 10 min en proceso. El proceso es continuo con 3 turnos de 8 horas por equipo con 6 personas por turno.

En la Tabla 4.6 se calculan las eficiencias en cada fase de acuerdo a las toneladas diarias de producto procesado en cada una de ellas, a partir de estos resultados se calcula las eficiencias reales, y se presentan las teóricas para un proceso de producción de pulpa a partir del bagazo de la caña de azúcar (*Sanjuán Dueñas R, 1997*).

Tabla 4.6. Eficiencias obtenidas en cada etapa del proceso.

	PROCESOS			
	DESMEDULADO		COCCION	
	MATERIA PRIMA (TON)	PRODUCCIÓN (TON)	MATERIA PRIMA (TON)	PRODUCCIÓN (TON)
	BAGAZO	FIBRA APTA	FIBRA APTA	PULPA COCIDA
	509,41	407,53	407,53	223,99
EFICIENCIAS REALES (%)	80		55	
EFICIENCIAS TEORICAS (%)	86		56	

	LAVADORAS		LAVADORAS	
	MATERIA PRIMA (TON)	PRODUCCIÓN (TON)	MATERIA PRIMA (TON)	PRODUCCIÓN (TON)
	PULPA COCIDA	PULPA CAFÉ	PULPA CAFÉ	PULPA BLANCA
	223,99	220,77	220,77	203,1
	99		92	
EFICIENCIAS REALES (%)	99		92	
EFICIENCIAS TEORICAS (%)	98		95	

Estos resultados de eficiencias, junto con los pasos descritos anteriormente son utilizados para elaborar el mapa actual.

El mapa actual cuenta con un grupo administrativo de 6 personas que coordinan la operación de los procesos de desmedulado, cocción (digestor), lavadoras y blanqueo. El proceso de desmedulado recibe condensados para el lavado del bagazo, con una eficiencia de 80% (tabla 4.6) y factor de calidad en la relación fibra/polvillo entre 63 – 69%. El proceso de lavado y depuración recibe condensados para el lavado de la pulpa, con una eficiencia de 99% (tabla 4.6) y factor de calidad en arrastre de soda 1,8 – 2,2 kg/ton de pulpa.

El proceso de cocción recibe licor de cocción para el cocimiento de la fibra, con una eficiencia de 55% (tabla 4.6) y factor de calidad en número de permanganato 7,2 – 7,8 ml.

El proceso de blanqueo recibe químicos (dióxido, soda, oxígeno, peróxido) para el blanqueo de la pulpa, con una eficiencia de 94% (tabla 4.6) y factor de calidad en número de permanganato 5,8 – 6,2 ml y blancura de la pulpa entre 88 – 89%.

Finalmente de blanqueo sale la pulpa blanca para la sección de máquinas donde se tiene un consumo de pulpa entre 197 – 208 m³/h a una consistencia del 5,5% con velocidad de máquina de 690 metros/min para la producción de papel (figura 4.2). Dentro del proceso actual se encuentra que la blancura de la pulpa como variable de calidad más crítica para la máquina esta entre 88 – 89% y el valor mínimo esperado por el cliente máquina es de 88.5%.

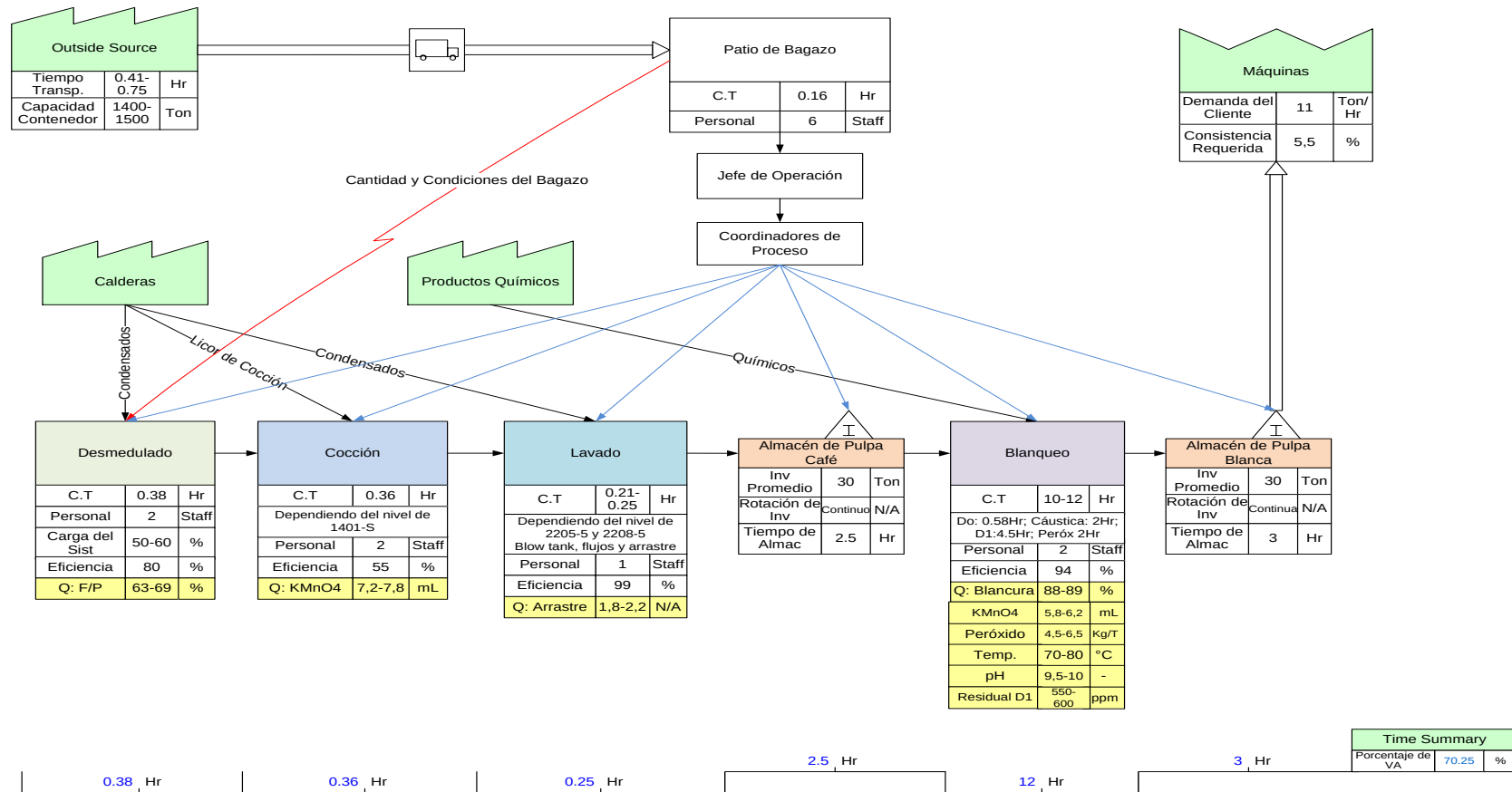


Figura 4.2. Value stream mapping actual

4.4. CONCLUSIONES PARCIALES

Mediante la elaboración de este estudio, se ha puesto de manifiesto la efectividad de la herramienta *Value Stream Mapping* como método para obtener un conocimiento global de cualquier cadena de valor, el cual se inicia con la descripción actual del proceso.

En el caso desarrollado, la aplicación del *Value Stream Mapping* ha permitido visualizar tanto los diferentes puntos o etapas en los que se produce una desviación en un parámetro de control o variable de calidad que afecta la calidad del producto final para el cliente (blancura). En este estudio esas variables que se encontraban por fuera de especificación son:

- Relación fibra/polvillo del bagazo 63 - 69%
- Número de permanganato (KMnO_4) en blanqueo 5.8 – 6.2ml.
- Arrastre en lavadoras 1.8 – 2.2 g/l.
- Blancura 88%

Según *MTS* Desmedulado, Cocción, Lavadoras y Blanqueo, la relación fibra/polvillo debe estar entre 70 – 75%, el número de KMnO_4 en blanqueo menor a 5.8 ml, el arrastre en 1.6 – 1.8 g/l y la blancura esperada superior a 88.5%

CAPITULO 5: METODOLOGIA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA APLICADO A LA BLANCURA EN UN PROCESO DE PRODUCCION DE PULPA BLANCA.

5.1. INTRODUCCIÓN

En el capítulo 4 (aplicación del VSM actual en la producción de pulpa blanca), con el fin de optimizar las variables que pueden afectar la blancura, se emplean los resultados obtenidos en el mapa actual del VSM. Para la optimización de la blancura se hará uso de la metodología superficie de respuesta (MSR), la cual ha sido utilizada con éxito en muchas industrias manufactureras (*García A, 1989*), pero no en la producción de pulpa de la industria papelera.

La metodología de superficie de respuesta es una estrategia experimental y de modelación mediante la cual se pretende hallar las condiciones óptimas de operación en un proceso en operación (mejora del proceso) o por operar (diseño del proceso), con el fin de garantizar la mejor calidad del producto asociado a tal proceso. (*Milde, Laura B. et al, 2009*). Las bases lógicas de esta metodología son semejantes a la que se aplican a los modelos lineales, las cuales son considerar una variable cuantitativa Y , denominada respuesta o variable dependiente y X_i variables cuantitativas independientes, con β_k parámetros conocidos, para el cual se postula un modelo lineal.

El objetivo de este capítulo es optimizar las variables toneladas de producción, consumos de soda, peróxido, sólidos de licor y arrastre de soda que maximicen la blancura de la pulpa obtenida para producir papel.

5.2. METODOLOGÍA. PARTE EXPERIMENTAL.

5.2.1. Materiales y equipos

En el capítulo 3, se describen las características de los materiales utilizados en este capítulo. La información que se utiliza para la aplicación de la M.S.R, son datos obtenidos en el proceso de producción de la planta. Para ello se realizó una corrida durante 10 días con 12000 toneladas de bagazo donde se evaluó en cada sección de proceso el comportamiento de las variables que inciden en la blancura final de la pulpa.

5.2.2. Métodos de medición.

Blancura de la pulpa. Para su medición se utilizó el método *TAPPITEST METHODS (Norma Tappi T 452, 2002)*, el cual es descrito en el anexo A, al igual que los procedimientos para calcular KMnO_4 , soda residual (arrastre), sólidos y cenizas.

5.2.3. Modelos y Métodos Estadísticos para Superficies de Respuesta

La metodología superficie de respuesta requiere de una cuidadosa selección de las variables que se involucran en el diseño de experimentos. Inicialmente se consideraron las variables cenizas del bagazo, número de permanganato de potasio en digestor y blanqueo, sólidos en licor negro, arrastre de soda en lavadoras, cenizas de espesadores, temperatura en D0, Ph en D0, residual en D0, temperatura en EOP (extracción, oxígeno y peróxido), Ph en EOP, residual en EOP, temperatura en D1, Ph en D1, residual en D1, temperatura en P, residual en P, Ph en P, debido a que se considera técnicamente que estas tienen cierta influencia sobre la blancura.

Determinación de variables:

- Variables Predictivas y su codificación en la base de datos:
 - Producción (toneladas/hora): Ton/Hr
 - Consumos de soda (kg./tn): Soda k/T
 - Peróxido(kg./tn) : Peróxido k/T
 - Sólidos de licor (%) :Sólidos L. Negro
 - Arrastre de soda ((kg./tn): Arrastre Na_2O
 - Temperatura en peróxido: 4TEMP. P
 - Residual D1: 3RESIDUAL D1
 - pH en peróxido: 4PH P
 - Numero de permanganato: KMnO_4
- Variable Dependiente: Blancura (%)

Las anteriores variables, que son objeto de estudio en la MSR, son utilizadas en la modelación, específicamente un modelo cuadrático, para el cual sus supuestos fueron debidamente validados sobre el error, los cuales se cumplieron satisfactoriamente, es decir los errores se distribuyeron normal con media 0 y varianza σ^2 , $\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma^2)$, igualmente se comprobó que las varianzas son homogéneas (Anexo B).

5.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.3.1. Análisis del modelo de superficie de respuesta

En el mapeo del proceso se determinan unas variables de calidad que inciden en la obtención de la blancura dentro de los estándares esperados. Las variables que presentaron un grado de asociación significativo se consideraron en la metodología de superficie de respuesta para su posterior optimización. (En el Anexo C se presenta la tabla de datos). Este análisis se inicia con la determinación de los coeficientes del modelo y sus correspondientes pruebas de significancia, las variables que aparecen en la tabla 5.1, no solo se consideraron por su significancia (p-valor), sino también por su efecto sobre el ajuste del modelo (R^2 : 99.4), como es el caso de las variables X_1 y X_6 . El resto de variables todas resultaron significativas con p-valores menores a 0.2.

$$y_{ij...q} = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_9 X_9 + \beta_{10} X_1 X_2 + \dots + \beta_{42} X_1 X_2 + \varepsilon_{ij...q} \quad (10)$$

Donde $y_{ij...q}$ es la variable de respuesta blancura, los $\beta_{(s)}$ son los coeficientes del modelo, cuyos valores se muestran en la tabla 5.1 para cada una de las variables predictivas ($X_{(s)}$), $\varepsilon_{ij...q}$, es el error aleatorio.

En la tabla 5.2, se presenta el análisis de varianza del modelo, mediante el cual se obtiene los siguientes resultados:

- El efecto de la regresión entre la blancura y variables predictivas (X), fueron altamente significativos (SC-regresión: 27.25) comparado con el aporte de los errores (0.15), es decir que estas variables sí explican la variabilidad de la blancura.
- Tanto el efecto lineal como la interacción (Significancia= 0.001) fueron significativos, es decir, que estos efectos predicen efectivamente a la blancura.
- El ajuste del modelo fue casi perfecto (R^2 = 99.4), por lo tanto este modelo será el que se utilizará para hacer la optimización de la variable blancura.

Tabla 5.1. Coeficientes del modelo para cada una de las variables de predicción.

TERMINOS	COEF. DEL MODELO	SIGNIFICANCIA	TERMINOS	COEF. DEL MODELO	SIGNIFICANCIA
B. Constante	-724,66 5	0,198	X2*X7. Soda K/T*4TEMP. P	-0,75	0
X1. Ton/Hr	1,17	0,965	X2*X8. Soda K/T*4PH P	2,42	0
X2. Soda K/T	22,84	0,008	X2*X9. Soda K/T* KMnO4	-18,34	0
X3. Peróxido K/T	36,49 2	0,122	X3*X4. Peróxido K/T*Arrastre Na2O	5,93	0
X4. Arrastre Na2O	-157,63	0,001	X3*X5. Peróxido K/T*Solidos L.Negr	6,91	0
X5. Solidos L.Negr	-12,35	0,21	X3*X6. Peróxido K/T*3RESIDUAL D1	0	0,003
X6. 3RESIDUAL D1	-0,01	0,948	X3*X7. Peróxido K/T*4TEMP. P	-1,37	0,005
X7. 4TEMP. P	25,67	0,014	X3*X8. Peróxido K/T*4PH P	-1,68	0
X8. 4PH P	65,34	0,021	X3*X9. Peróxido K/T* KMnO4	26,33	0,011
X9. KMnO4	-4532,62	0	X4*X5. Arrastre Na2O*Solidos L.Negr	4,69	0
X1*X2. Ton/Hr*Soda K/T	0,7	0	X4*X6. Arrastre Na2O*3RESIDUAL D1	-0,04	0
X1*X4. Ton/Hr*Arrastre Na2O	3,37	0,005	X4*X8. Arrastre Na2O*4PH P	5,26	0,009
X1*X5. Ton/Hr*Solidos L.Negr	2,07	0,004	X4*X9. Arrastre Na2O* KMnO4	142,58	0
X1*X6. Ton/Hr*3RESIDUAL D1	0,01	0,002	X5*X6. Solidos L.Negr*3RESIDUAL D1	-0,01	0,001
X1*X7. Ton/Hr*4TEMP. P	-0,81	0,083	X5*X8. Solidos L.Negr*4PH P	-7	0
X1*X8. Ton/Hr*4PH P	1,07	0,046	X5*X9. Solidos L.Negr* KMnO4	88,46	0,001
X1*X9. Ton/Hr* KMnO4	-53,61	0,001	X6*X7. 3RESIDUAL D1*4TEMP. P	0	0,2
X2*X3. Soda K/T*Peróxido K/T	-0,71	0	X6*X8. 3RESIDUAL D1*4PH P	0,03	0
X2*X4. Soda K/T*Arrastre Na2O	-0,88	0,003	X6*X9. RESIDUAL D1* KMnO4	-0,58	0
X2*X5. Soda K/T*Solidos L.Negr	-0,4	0,011	X7*X8. 4TEMP. P*4PH P	-0,89	0,028
X2*X6. Soda K/T*3RESIDUAL D1	0	0	X7*X9. 4TEMP. P* KMnO4	54,1	0
			X8*X9. 4PH P* KMnO4	47,73	0,001

Tabla 5.2. Análisis de varianza. Blancura. $R^2 = 99,4$

Fuente	g.l	SC	CM	F	SIGNIFICANCIA
Regresión	42	27,25	0,648846	25,32	0
Lineal	9	6,3301	0,531862	20,75	0,001
Interacción	33	20,9215	0,633984	24,74	0,001
Error	6	0,1538	0,025629		
Total	48	27,4053			

sc: suma de cuadrados, Cm: cuadrados medios, g.l.: grados de libertad, F: estadístico de la prueba, (ver glosario)

5.3.2. Optimización de la superficie de respuesta

Para la optimización de la variable de respuesta blancura, se trata de identificar la mejor combinación conjuntamente de las variables (X), que maximizan la respuesta de la blancura, para lo cual se utiliza una medida que satisfaga las combinaciones para la respuesta, esta medida está entre 0 y 1, (uno representa el caso ideal, 0 indica que la respuesta está fuera de los límites aceptables, este se conoce como la predicibilidad. La optimización se realizó bajo los siguientes parámetros:

RESPUESTA A OPTIMIZAR (MÁXIMO): BLANCURA

Mínimo de 88.5, Máximo 89.5

Basado en el análisis del modelo (Ecuación 10), se realiza la optimización de la variable blancura (ver Tabla 5.3).

Tabla 5.3. Condiciones óptimas de operación.

Ton/Hr	Soda K/T	Peroxido K/T	Arrastre Na2	Solidos L.Ne	3ResidualD1	4Temp. P	4Ph P	KMnO4
10.23	11.2	6.2	2.2	9.45	593	72	9.77	5.6

Bajo estas condiciones la respuesta blancura se hace máxima, con un 91 %, con una predicibilidad de 1. Este resultado posiblemente se debe a que con una baja producción los tiempos de retención en las torres se incrementan aproximadamente 30 minutos, favoreciendo la química del blanqueo, por mayor tiempo de permanencia. En la figura 5.1 se muestran los valores óptimos para cada intervalo propuesto en cada variable.

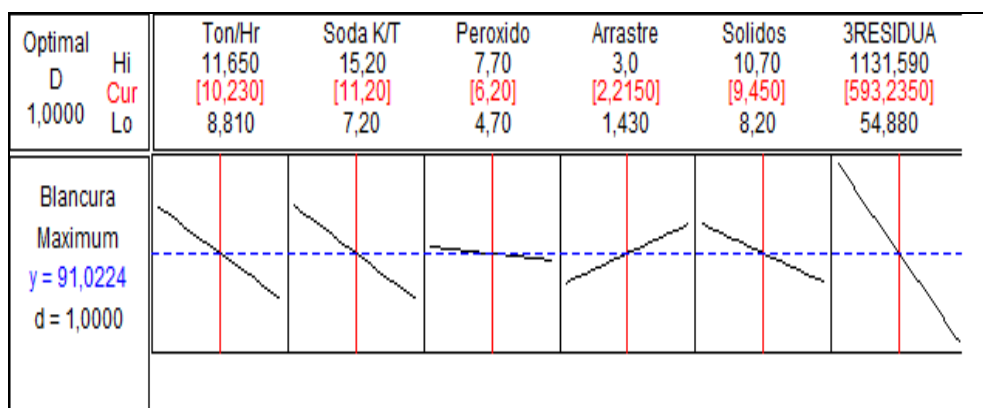


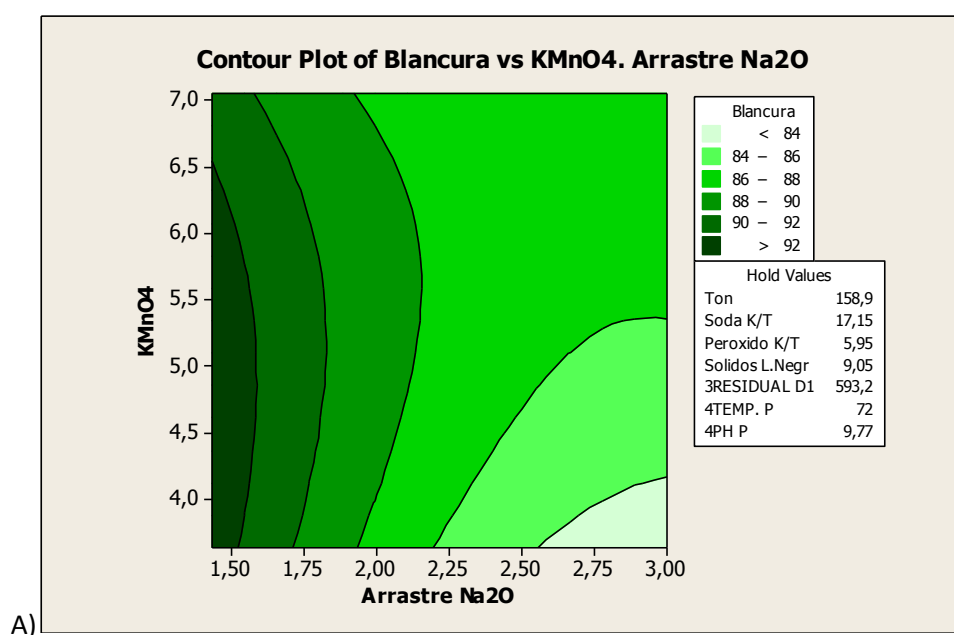
Figura 5.1. Optimización de la blancura

Existen otras soluciones con las cuales la blancura se hace máxima, (tabla 5.4) y se obtuvo una alta predicibilidad.

Tabla 5.4. Otras optimizaciones de la blancura con altas predicibilidades

	OTRAS OPTIMIZACIONES y: BLANCURA			
Variable	y=89.5	y=89.5	y=89.5	y=89.5
Ton/Hr	8,8	11,5	11,6	11.6
Soda K/T	14,9	15,1	7,2	15.2
Peróxido K/T	6,9	6,7	4,7	7.7
Arrastre Na ₂ O	1,6	2,2	1,4	1,4
Solidos L. N	8,7	9,4	10,6	10.4
3 Residual D1	54,9	54,9	54,8	54.8
4 Temp P	70,2	70,0	70,0	70
4 Ph P	8,4	8,4	8,4	7.0
KMnO ₄	5.5	5.6	5.7	6.0

En la figura 5.2 se presentan la gráfica de contorno (A) y la gráfica de superficie de respuesta (B), que corresponden a la optimización de peróxido (eje x) vs solido de licor negro, 3residual, 4tempp, 4php y KMnO₄, para las cuales se halló que de manera general el peróxido está entre 5 y 6.5 kg/ton., mientras que solido de licor negro (<9.6), 3residual (<800), 4tempp(70-74°C), 4php(8-11) y KMnO₄ (<6.4), estas combinaciones hacen máxima la blancura entre los valores deseados en la investigación.



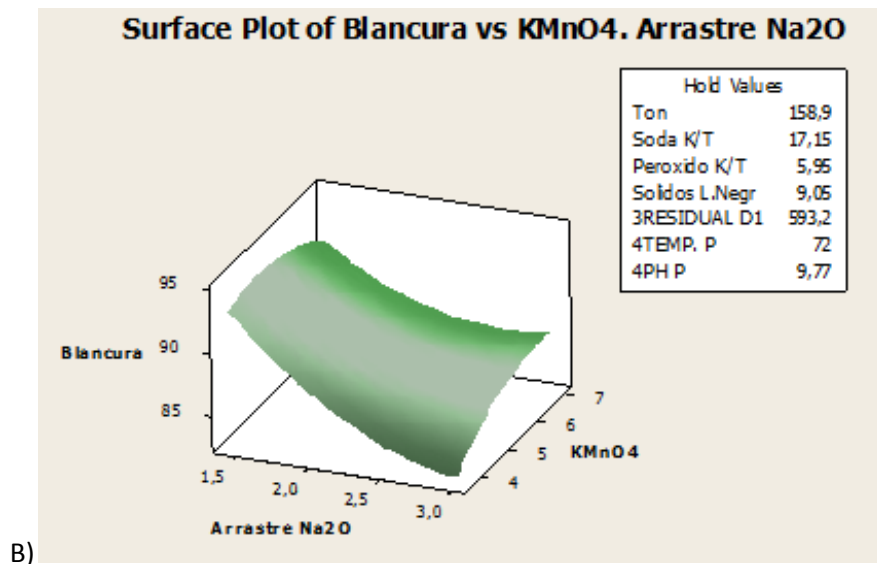


Figura 5.2. Gráfica de contornos (A) y superficie de respuesta de la blancura (%) (B).

5.4. CONCLUSIONES PARCIALES

Los principales resultados de este capítulo están dirigidos a establecer las condiciones para la producción pulpa con una blancura superior al 88.5 % a partir del bagazo de la caña de azúcar.

En los apartados siguientes se resumen las conclusiones específicas relacionadas con los distintos aspectos abordados en este capítulo, con base en los resultados obtenidos por medio del análisis de la metodología de superficie de respuesta, apoyado en un modelo cuadrático con un R^2 del 99.4%, son:

- Se encontró un modelo cuadrático con efectos lineales e interacciones de segundo orden significativas.
- Las mejores blancuras (%) se producen cuando la producción está alrededor de 10,23 Ton/Hr, con aplicaciones de soda 11.2 kg/ton., Peróxido 6,2 kg/ton, Arrastre de Na_2 en pulpa café de 2.2 kg/ton, Solidos Licor negro en pulpa café de 9.45 %, Residual en la tercera etapa (D1) de 593.2 ppm, Temperatura en la cuarta etapa (peróxido) de 72 °C, Ph en la cuarta etapa (peróxido) de 9.7 y numero de permanganato en blanqueo (KMnO_4) de 5.6 ml, evidenciando que existe un efecto significativo entre las variables mencionadas y la blancura.

CAPITULO 6: DETERMINACION DE LA FUNCIÓN DE PÉRDIDA DE LA BLANCURA EN UN PROCESO DE PRODUCCION DE PULPA BLANCA

6.1. INTRODUCCIÓN

En el capítulo 5, se determinaron los rangos de las variables que maximizan la blancura en la pulpa, estas variables son: Ton/Hr, Soda K/T, Peróxido K/T, Arrastre Na₂, Solidos L.Ne, 3ResidualD1, 4Temp. P, 4Ph P, KMnO₄. Estas variables que fueron significativas en la metodología de superficie de respuesta se utilizaron para el análisis FPT, de la siguiente forma:

- La variable arrastre Na₂ (soda residual) y KMnO₄, como factores controlados a dos niveles cada uno, por el investigador (Soda residual: 1.5-1.8; 1.9-2.5 y KMnO₄: 5-5.6; 5.7-6.4), debido a que son las únicas que no son una variable aleatoria, es decir estas pueden ser controladas en la investigación para la aplicación de FPT.
- El resto de variables permanecen constantes, justo en los niveles descritos en el capítulo 5, numeral 5.1.2.
- Otra variable tenida en cuenta dentro del análisis FPT, es las cenizas en el bagazo, la cual es considerada la variable ruido, porque esta es una variable que depende de la estacionalidad (verano –invierno).

La metodología de Taguchi se inicia con el planteamiento del diseño del experimento en la llamada matriz de Taguchi, para luego tomar las observaciones y realizar el análisis, el cual se inicia con la determinación de la razón señal ruido y la función de pérdida para cuando la blancura se encuentre por fuera de la especificación exigida por el cliente-máquina con relación a variables críticas de incidencia.

La identificación de niveles óptimos de los factores requiere de un criterio para ser optimizados, tal criterio es la razón señal ruido, y la función de pérdida propuestas por Taguchi, es decir, por un lado la razón señal ruido indicará los niveles que ofrecen la menor variabilidad, mientras que la función de pérdida revelará los niveles que ofrecen la menor pérdida esperada, que el usuario del producto pueda sufrir durante la vida útil del mismo debido a la variabilidad en su funcionamiento. Tradicionalmente se ha entendido que los artículos que estén fuera de límites de especificaciones se consideran defectuosos y por lo tanto son rechazados ocasionando una pérdida.

Esta metodología se plantea con el fin de obtener la función de pérdida en la producción de pulpa blanca, resultado que es utilizado en el *VALUE STREAM MAPPING* futuro. (Chandandeep et al 2008)

6.2. METODOLOGÍA.

6.2.1. Diseño del experimento en la metodología de Taguchi

Entre los factores que afectan la blancura una vez aplicada la metodología de superficie de respuesta en el cual se obtuvo las variables que incidían en la blancura, se procedió a seleccionar las que se considerarían factores controlados como son KMnO₄ y soda residual, las otras variables tales como solido de licor negro, 3residual, 4temp, 4php y 4residualp, se mantuvieron constantes dentro del proceso. Para este análisis no solo se tuvieron en cuenta estas dos variables, sino también otra, cuyo efecto técnicamente se sabe que afecta la blancura de la pulpa. Esta es la ceniza del bagazo la cual fue considerada dentro de la metodología de Taguchi como la variable no controlada o ruido.

Específicamente se aplicó diseño de Taguchi Ortogonal, esto es dos factores control (KMnO₄ y Soda residual) a dos niveles cada uno, con un factor ruido (ceniza del bagazo (CB) a dos niveles, estos son: 1 ceniza de bagazo en temporada de verano y 2 invierno. En la Tabla 6.1, se muestran los factores controlados y el factor no controlado considerados en el experimento, cuya codificación es la siguiente:

Tabla 6.1. Matriz de diseño propuesta por Taguchi

<u>CODIFICACIÓN</u>		
SODA		
KMNO4	RESIDUAL	CENIZA-BAGAZO
[5-5.6]=1	[1.5-1.8]=1	[1.6-2]=1
[5.7-6.4]=2	[1.9-2.5]=2	[2.01-2.5]=2

Factores controlados		factor no controlado	
KMNO4	SODA RESIDUAL	RUIDO1	RUIDO 2
1	1	89,9	88,9
1	2	88,5	87,9
2	1	89,8	88,5
2	2	88,8	87,2

6.2.2. Procedimientos y Métodos

Para la aplicación de FPT, es necesario calcular inicialmente la constante K para la cual se usó la expresión $(k = (\text{total costos}) \cdot y^2)$, donde, se tiene los costos totales de la producción de pulpa blanca y los especificaciones dadas por el cliente (el valor mínimo tolerable sin que se produzcan pérdidas), esto es total costos \$749000 y la blancura limite que no produce pérdidas en la producción de pulpa, la cual es 88.5 %, para la cual se obtiene una constante K de 5874187500.

Los resultados de la metodología de Taguchi fueron obtenidos utilizando el paquete estadístico Minitab 14, específicamente el procedimiento DOE (diseño de experimentos óptimos).

6.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.3.1. Razón señal / ruido (S/N)

En los experimentos de Taguchi, se trata de maximizar la relación S / N. Dado que el objetivo es aumentar la variable blancura, es decir se desea niveles de los factores que producen el mayor promedio, los resultados de la razón S / N y las medias muestran que estos se maximiza cuando la SODA RESIDUAL está entre [1.5-1.8] y la KMnO4 está entre [5- 5.6] (Tabla 6.2). Estos resultados se confirman tanto en el gráfico de interacción de la razón señal ruido (Figura 6.1.a), como en el de efectos principales para la media (Figura 6.1.b). La gráfica de interacción muestra que, no hay dependencia entre los dos factores. En esta tabla el delta indica la importancia de la variable, es decir a mayor delta mayor importancia, en este caso es la soda residual.

Tabla 6.2. Respuesta de la razón señal ruido y las medias. Entre más grande mejor.

RAZON SEÑAL RUIDO			MEDIAS		
Niveles	KMNO4	SODA RESIDUAL	Niveles	KMNO4	SODA RESIDUAL
1*	38,97	39,01	1*	88,80	89,28
2*	38,95	38,90	2*	88,58	88,10
Delta	0,02	0,12	Delta	0,23	1,18
Rango	2	1	Rango	2	1
KMNO4: [5-5.6]=1* y [5.7-6.4]=2*SODA RESIDUAL: [1.5-1.8]=1* y [1.9-2.5]=2*					

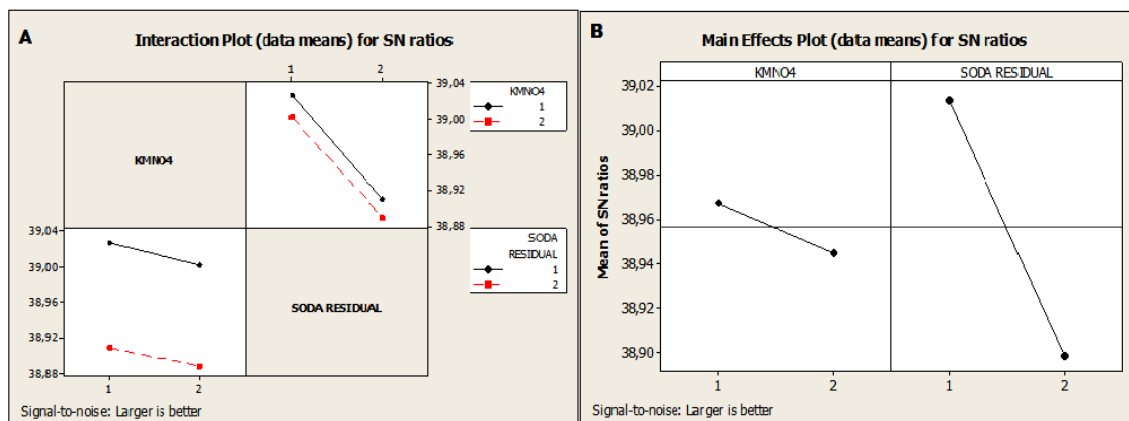


Figura 6.1. Gráficos de interacción de la razón S/N y efectos principales de la media de los datos de la razón S/N.

6.3.2. Análisis de la función de pérdida de Taguchi

La función de pérdida ha sido planteada para que indique la pérdida monetaria en que se incurre por no cumplir con el objetivo de obtener la máxima blancura.

Si un producto alcanza el final de la línea de manufactura con una blancura que no supera el límite inferior (88.5), el producto deberá ser modificado adicionando una mayor cantidad de químicos por lo cual el costo producción será mayor, asumiendo pérdidas entre \$183943 y \$189663.6. En la Tabla 6.3, se observa que la solución: KMnO4 entre 5 – 5.6 ml. con soda residual entre 1.5 – 1.8 kg./ton es la que genera la menor pérdida esperada, esta combinación coincide con la obtenida en la razón señal ruido, es decir, este tratamiento no solo genera la menor pérdida sino también la menor variabilidad.

Tabla 6.3 Función de pérdida de Taguchi.

		Ruido (ceniza)						
KMnO4	SODA RESIDUAL	[1.6-2]	[2.01-2.5]	k	MEDIA	VARIANZA	y ²	FUNCIÓN DE PÉRDIDA (\$)
[5-5.6]	[1.5-1.8]	89,9	88,9	5874187500	89,4	0,5	15967,3	183943,8
[5-5.6]	[1.9-2.5]	88,5	87,9	5874187500	88,2	0,2	15554,3	188828,8
[5.7-6.4]	[1.5-1.8]	89,8	88,5	5874187500	89,2	0,78	15900,7	184714,9
[5.7-6.4]	[1.9-2.5]	88,8	87,2	5874187500	88	1,33	15485,8	189663,6

Con base en estos resultados, se establece los factores que proporcionan la menor variabilidad, estos coinciden con los obtenidos en la M.SR. Estos son:

- ✓ SODA RESIDUAL entre [1.5-1.8]
- ✓ KMNO₄ entre [5- 5.6]

Los valores esperados de la razón señal ruido y la media para las condiciones óptimas es: La razón señal ruido de 39.03, con una blancura promedio de 89.4 y una desviación estándar de 0.71.

6.4. CONCLUSIONES PARCIALES

Este capítulo presenta la aplicación de la función de pérdida de Taguchi para determinar los costos que se producen cuando se presentan grandes variaciones en la blancura de la pulpa para producir papel. Las principales conclusiones obtenidas de este capítulo son:

- Con la razón señal ruido se concluye que los rangos de las variables en los cuales se obtiene la menor variabilidad son: soda residual 1.5 -1.8 kg/ton, y KMnO₄ en blanqueo de 5 – 5.6 ml.
- Con la función de pérdida se encontró, como es de esperarse, que justo las variables que ofrecen la menor variabilidad proporcionan la menor pérdida.

CAPITULO 7: APLICACIÓN DEL VSM COMO HERRAMIENTA PARA EL MEJORAMIENTO DE LOS SISTEMAS PRODUCTIVOS: MAPA FUTURO

7.1 INTRODUCCIÓN

Basados en los resultados obtenidos en los capítulos anteriores (4, 5 y 6), se plantea las mejoras del proceso de producción de pulpa blanca. El proceso se inició revisando el mapa actual en el cual se encontró algunos parámetros de calidad (Q) que se requieren mejorar en el proceso, estos parámetros fueron utilizados tanto en la MSR y FPT para obtener una mejor blancura en el producto final.

Para ello se plantea el mapa futuro donde se establecen los parámetros de calidad recopilados en la producción del año 2011 para cada sección (ver Anexo C).

7.2. METODOLOGÍA PARA LA APLICACIÓN DEL VSM FUTURO

Se aplicó la misma metodología utilizada en el capítulo 4, es decir la misma simbología y abreviaturas, flujos, variables y tiempos. Además para la construcción del mapa futuro se realizó un diagrama de causa efecto con la participación de los operarios, técnicos y coordinadores de la planta para establecer las acciones que permitan garantizar una perfecta aplicación de las mejoras a realizar.

7.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para plantear el mapa futuro, se tuvo en cuenta los resultados obtenidos del mapa actual (capítulo 4) donde se halló la relación fibra/polvillo del bagazo 63 - 69%, el número de permanganato (KMnO₄) en blanqueo 5.8 a 6.2 ml, el arrastre en lavadoras 1.8 – 2.2 kg/ton y la blancura en 88%. De la metodología de superficie de respuesta la optimización de la variable blancura con las condiciones descritas en la tabla 5.3 (condiciones óptimas de operación).

De la FPT se observa que la solución KMnO_4 entre 5 – 5.6 ml. con soda residual (arrastre) entre 1.5 – 1.8 kg./ton es la que genera la menor pérdida esperada.

7.3.1. Diagrama de Causa Efecto

Después de conocer estas variables se realizó un diagrama de causa efecto (ver Figura 7.1), con el fin de establecer las causas raízes de la desviación y proponer acciones correctivas, con este se obtuvo los siguientes resultados:

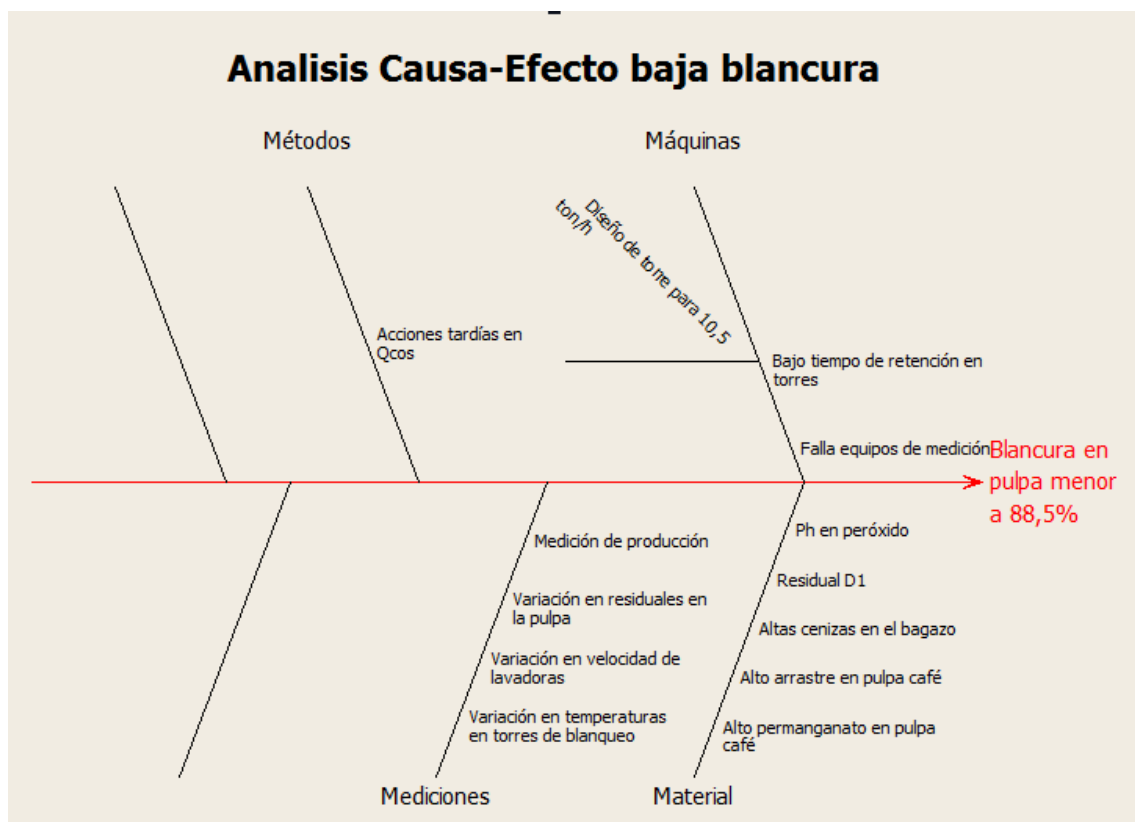


Figura 7.1. Diagrama de causa efecto

Análisis de Causas y Porque's

Descripción: Mejorar calidad de blancura mínimo 88,5%
Responsable: Freddy Arroyo
Participantes: Freddy Arroyo – Anibal Tabares – Silvio Aponza – Hector Betancourt

Codigo	Descripción de los PORQUE'S
--------	-----------------------------

AFINIDAD: Método

CAUSA: 1 - Acciones tardías en ajustes de químicos

- 1.1 Habilidad y conocimiento del operador en toma de decisiones

AFINIDAD: % Cenizas

CAUSA: 1 - Altas cenizas de la pulpa café

- 1.1 Altas cenizas de la fibra en sección 14 entrando al digestor
- 1.1.1 Temporada de Invierno genera altas cenizas en la fibra

AFINIDAD: Arrastre

CAUSA: 1 - Alto arrastre en pulpa café

- 1.1 Alta consistencia en vat de la 1 lavadora
 - 1.1.1 Taponamiento intercambiador de licor de cocción
 - 1.1.1.1 Deficiente rutina de mantenimiento
 - 1.1.2 Deficiencia bomba de dilución
 - 1.1.2.1 Baja capacidad de dilución
 - 1.1.2.1.1 Incremento de Producción
- 1.2 Baja temperatura de agua de lavado
 - 1.2.1 Taponamiento intercambiador de licor de cocción
 - 1.2.1.1 Deficiente rutina de mantenimiento
 - 1.2.2 Excesivo consumo de agua caliente
 - 1.2.2.1 Ajuste en condiciones de operación
 - 1.2.2.1.1 Distribución de agua caliente a otras lavadoras
- 1.3 Presencia de espumas en lavadoras
 - 1.3.1 Baja dosificación de antiespumante
 - 1.3.1.1 Fallas en las Bombas de Antiespumante
 - 1.3.1.2 Fallas operativas de procedimiento
 - 1.3.2 Mala calidad del antiespumante

AFINIDAD: Medición

CAUSA: 1 - Variación en Temperatura de las torres de Blanqueo

- 1.1 Deficiente control operativo
- 1.2 Baja capacidad en mezcladores de pulpa
- 1.2.1 Incremento de Producción

CAUSA: 2 - Variación en velocidad de las lavadoras

- 2.1 Alto o bajo nivel del vat en las lavadoras

- 2.1.1 Deficiente control operativo
- 2.1.2 Incremento de producción

CAUSA: 3 - Variación en residuales de pulpa

- 3.1 Variación en flujos de químicos
 - 3.1.1 Falla en los controladores de químicos de blanqueo
- 3.2 Ajustes tardíos a controladores
 - 3.2.1 Deficiente control operativo

CAUSA: 4 - Medición de producción

- 4.1 Falla en controladores de flujo de pulpa a blanqueo

AFINIDAD: N° Permanganato

CAUSA: 1 - Alto permanganato en la pulpa café

- 1.1 Alto permanganato de la pulpa cocida
 - 1.1.1 Variación en la presión de vapor de media
 - 1.1.2 Variación en la concentración del licor de cocción
 - 1.1.3 Variación de la carga de fibra al digestor

AFINIDAD: N° Residual D1

CAUSA: 1 - Alto residual en etapa D1

- 1.1 Sobredosificación de químicos en D1
 - 1.1.1 Falla en controladores
 - 1.1.2 Deficiente control operativo

AFINIDAD: Peróxido

CAUSA: 1 - Alto pH en torre de peróxido

- 1.1 Sobredosificación de peróxido en torre
 - 1.1.1 Falla en controladores
 - 1.1.2 Deficiente control operativo
- 1.2 Baja temperatura en torre de peróxido

Del análisis causa – efecto se establecen las principales causas raízales que afectan especialmente a las variables desviadas (cenizas, arrastre y número de permanganato) y mediante un plan de acción (Anexo E) se realizan unas mejoras en las fases de desmedulado, cocción y lavadoras que se incluyen en el mapa futuro para alcanzar una blancura mínima de 88,5% (Figura 7.2)

7.3.2. Mapa Futuro

Estas mejoras obtenidas y planteadas en el mapa futuro permitieron lograr en el proceso de blanqueo una blancura entre 88,5 – 90% que satisface la necesidad del cliente máquina y una disminución en los costos del fabricante.

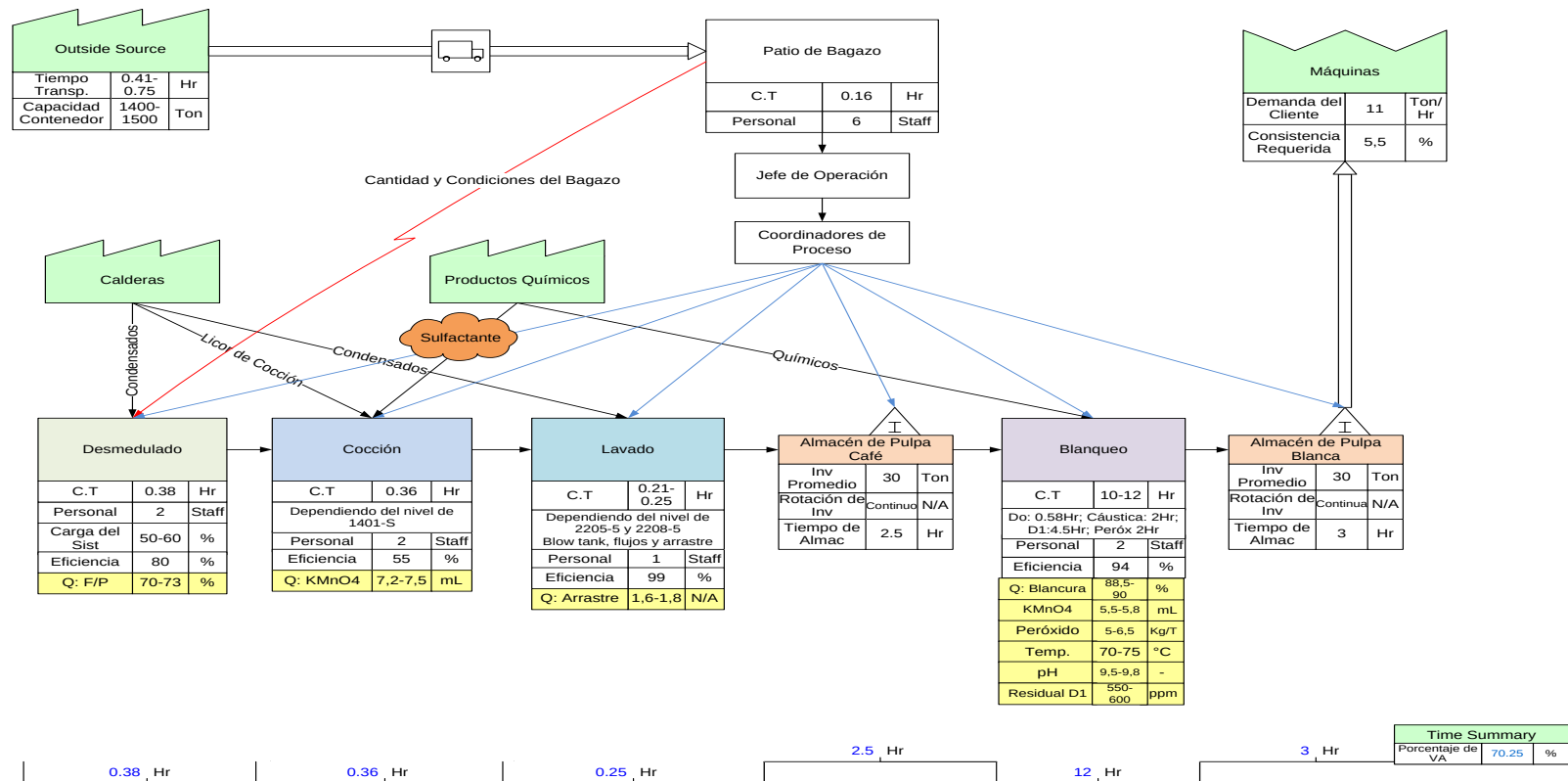


Figura 7.2. Future stream mapping (FSM)

A continuación se describe detalladamente las mejoras en cada una de las etapas del proceso de la Figura 7.2.

7.3.2.1. Descripción mejorada de puntos del proceso. A continuación se presenta una descripción detallada de cada una de las etapas del proceso que fueron mejoradas.

- En Desmedulado (ver Figura 7.3), se incrementan cuchillas en los desmeduladores para eliminar polvillo y obtener una mejor fibra. Estas permiten pasar de una relación fibra/polvillo de 63 - 69% como se detectó en mapa actual a 70 – 73% con un incremento de la utilidad.

DESMEDULADO

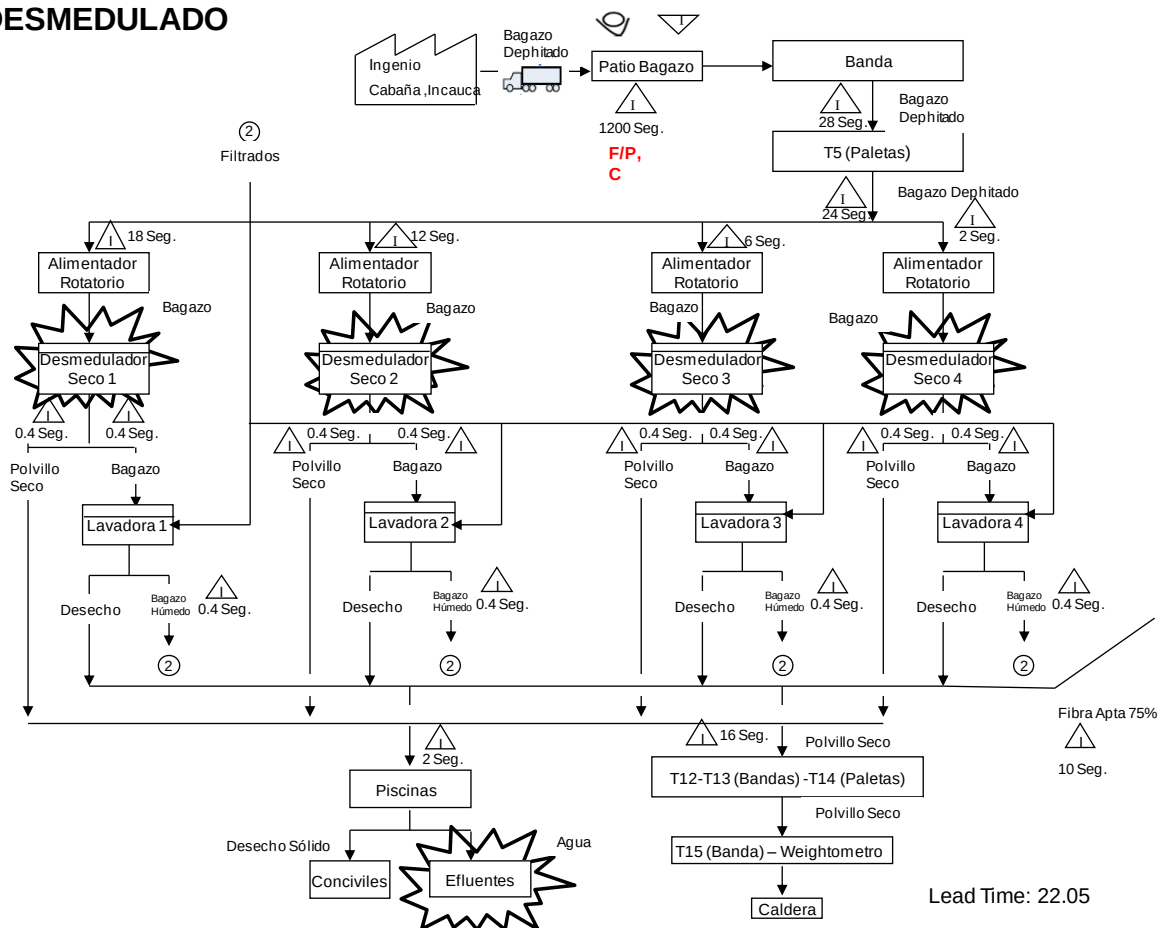


Figura 7.3. Mejoras Desmedulado de la fibra

- En el área de Cocción de fibra (ver Figura 7.4), se implementó el uso de surfactantes (ayudante de cocción) para mejorar la calidad de la pulpa cocida al obtener el número de permanganato (KMnO_4) con menor rango que el mapa actual al pasar de 7,2 – 7,8 ml a 7,2 – 7,5 ml y con un incremento de la utilidad.

COCCION DE FIBRA PP2

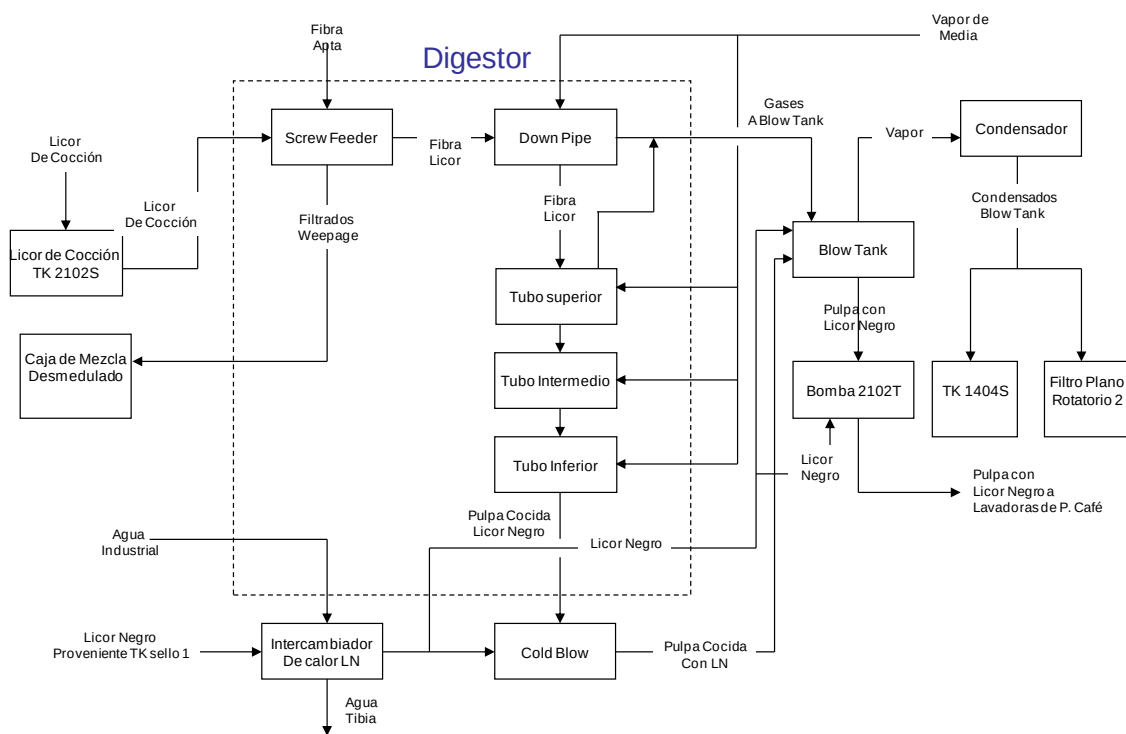


Figura 7.4. Mejoras Cocción de fibra.

- El lavado de la pulpa café (ver Figura 7.5), se ajusta el sistema de duchas de lavado y el control operacional para disminuir el arrastre de soda en la pulpa y obtener entre 1,6 – 1,8 kg\ton de pulpa café y con un incremento de la utilidad.

LAVADO DE PULPA CAFE PP2

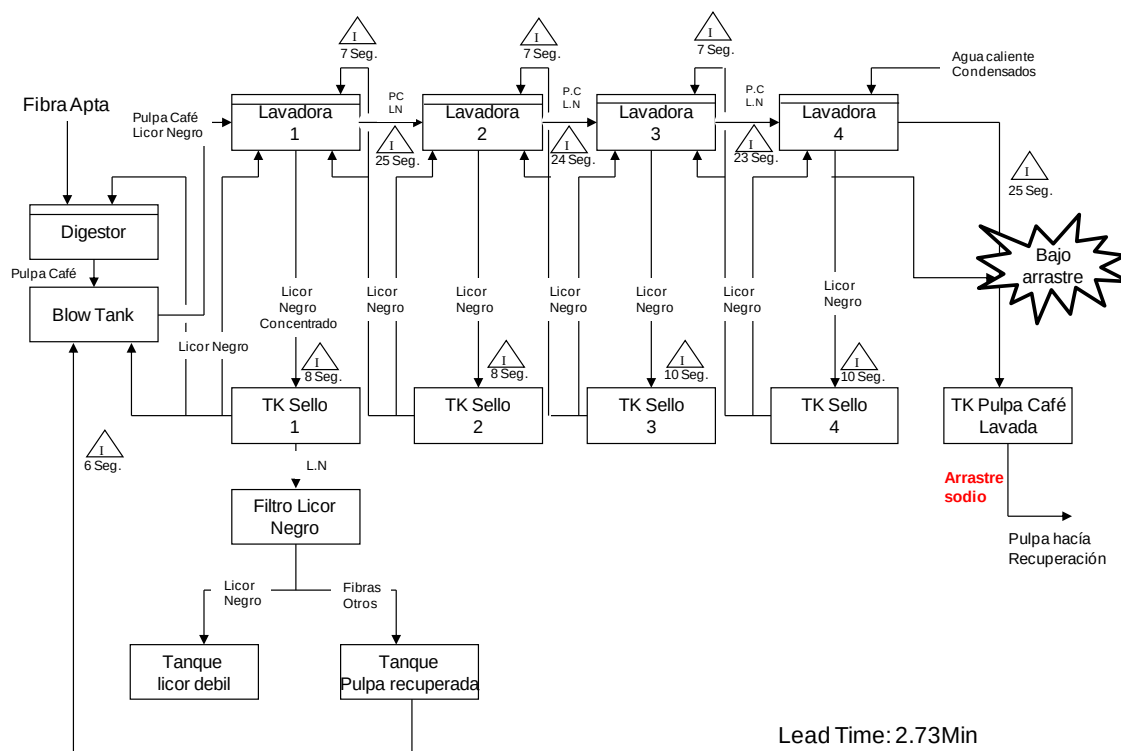


Figura 7.5. Mejoras Lavado de la pulpa café

7.4. CONCLUSIONES PARCIALES

Con respecto a las mejoras realizadas se concluye que:

- La relación fibra/polvillo en desmedulado paso de 63 – 69 a 70 – 73%.
- Se mejoró la calidad de la pulpa cocida al obtener el número de permanganato (KMnO₄) con menor rango que el mapa actual al pasar de 7,2 – 7,8 ml a 7,2 – 7,5 ml .
- Se mejoró el arrastre de soda en la pulpa al obtener entre 1,6 – 1,8 kg/ton de pulpa café.
- Al ser un proceso continuo las mejoras en estos procesos generan una mejora en la calidad del número de permanganato en blanqueo al pasar de 5,8 – 6,2 ml a 5,5 – 5,6 ml y un incremento en la blancura de 88 – 89 % a 88,5 – 90% con un incremento de la utilidad en blanqueo.

CAPÍTULO 8: CONCLUSIONES GENERALES

En este documento se ha presentado una aplicación *VSM*, en una área piloto de la compañía Carvajal pulpa papel, en el cual se utilizó como herramientas para llegar a la optimización de los procesos métodos estadísticos tales como *MSR* y *FPT*, para con estos resultados llegar a plantear el mapa futuro del proceso producción de pulpa blanca en el sector papelerero.

A continuación se presentan las conclusiones generales obtenidas a lo largo de la realización de la presente investigación y que surgen de los resultados incluidos en el presente documento:

En el caso desarrollado, la aplicación del *Value Stream Mapping* permitió visualizar tanto los diferentes puntos o etapas en los que se produce una desviación en un parámetro de control o variable de calidad que afecta la calidad del producto final para el cliente (blancura) como fue la relación fibra/polvillo del bagazo, número de permanganato (KMnO_4) en blanqueo, arrastre o soda residual en lavadoras para el caso de estudio.

Con la aplicación de herramientas como *MSR*, *FPT* y Análisis de causa raizal se logró las siguientes mejoras:

- La relación fibra/polvillo entre 70 y 73% en desmedulado.
- La calidad de la pulpa cocida al obtener el número de permanganato (KMnO_4) con menor rango entre 7,2 y 7,5 ml.
- El arrastre o soda residual en la pulpa entre 1,6 y 1,8 kg/ton de pulpa café.
- El número de permanganato en blanqueo entre 5.0 y 5,6 ml
- La blancura entre 88,5 – 90% con menor pérdida por variabilidad y menores costos de reproceso para el cliente máquina del sector papelerero.

De manera general la aplicación de la metodología aplicada aporta en los siguientes aspectos:

- El uso de metodología de superficie de respuesta, aporta en la selección de variables que hacen máxima la variable de respuesta. Puede afirmarse que su aplicación en esta investigación puede ser introducida como una herramienta de ayuda en la toma de decisiones en la industria, específicamente en la optimización de procesos y materiales.

- La función de pérdida de Taguchi, de gran utilidad para seleccionar no solo las variables que ofrecen la mínima varianza sino también las que ofrecen los mínimos costos.
- La metodología de análisis del VSM, retoma los resultados dados en el análisis de superficie de respuesta y la función de pérdida de Taguchi para plantear las mejoras mediante el mapeo futuro; aunque existen otras herramientas de menor complejidad que permiten identificar las variables críticas como puede ser un mapa de proceso y aplicarle posteriormente el análisis de superficie de respuesta y la función de pérdida de Taguchi.
- Desde el punto de vista tanto estadístico como técnico es posible modelar la incertidumbre en los procesos mediante la combinación de herramientas como VSM, MSR y metodología de Taguchi, en la cual se evidenció que hubo una buena interrelación entre ellas y como valor agregado proporciona un método de análisis para la toma de decisiones.

CAPÍTULO 9: BIBLIOGRAFIA

Abdulmalek F., Rajgopal J., (2006) *Analyzing the benefits of lean manufacturing and value stream mapping via simulation: A process sector case study*, Int. J. Production Economics 107 (2007) 223–236.

Ajit Kumar Sahoo, Singh K., Ravi Shankar, Tiwari M.K., (2008). *philosophy: Implementation in a forging company*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 36 (5/6), 451-462.

Cartillas MTS (ManufacturingTechnology Strategies Inc.) fase Desmedulado, Cocción, Lavadoras y Blanqueo. Carvajal Pulpa y Papel 2010

Chan W. M., Ibrahim R. N.,(2004). *Evaluating the quality level of a product with multiple quality characteristics*. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology y Volume 24, Numbers 9-10, 738-742, DOI:10.1007/s00170-003-1751-6

Chandandeep G., (2008). *An initiative to implement lean manufacturing using value stream mapping in a small company*. International Journal of Manufacturing Technology and Management, Vol. 15, No. ¾, pp 404-417.

Farris IIT., (2010) *Solutions to strategic supply chain mapping issues*, International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, Vol. 40 Iss: 3, pp.164 - 180

Foster, Jr., (1996) "An Examination of the Relationship Between Conformance and Quality-Related Costs." *The International Journal of Quality and Reliability Management*, Volume 13, Number 4, pages 50-63.

García A., (1989). Cinética de la degradación del bagazo almacenado. *Revista CENTRO AZUCAR*, 16(2):101–109.

Henshall E., (1998) *Quality Engineering. The TQM Magazine – MCB UP Ltd.* Vol 1.

Heredia A., Romero F., (2004) *Using economic criteria to establish manufacturing tolerances*. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology Volume 26, Numbers 1-2, 78-85, DOI:10.1007/s00170-003-1981-7

Hines Peter, Rich Nick, (1997). *The seven value stream mapping tools*. International Journal of Operations & Production Management. Vol. 17, p 46 – 64.

Hwang G., Aspinwall E.M., (1996). *Quality cost models and their application*. Total Quality Management, Volume: 7, Issue: 3, Pages: 267-282

KlotzL., Horman M., Bi H., Bechtel J., (2008). *The impact of process mapping on transparency*. *International Journal of Productivity and Performance Management*. 57(8) 623-636

Lofthouse, T. (1999) '*The Taguchi Loss Function*', *Work Study*, 40 (6), pp. 218 - 222.

Maghsoodloo Saeed, Ozdemir Guttekin, Jordania Victoria y Huang Chen-Hsiu, (2005) *Ventajas y desventajas de Taguchi's contribuciones a la calidad, la fabricación y la ingeniería de procesos*, Departamento de Ingeniería Industrial y de Sistemas, Universidad de Auburn, en Auburn, Alabama, EE.UU.

Margavio W., FinkL., Margavio M., (1994) "*Quality Improvement Using Capital Budgeting and Taguchi's Function*", *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 11 Iss: 6, pp.10 – 20

Milde L., Valle C., Rybak A., Oliveira C., González G., (2009), *Metodología de superficie de respuesta para optimizar panificado libre de gluten con grasa, huevo y leche*, *Rev. Cienc. Tecnol*.

Molina R., (2002). *Pulpa y papel de bagazo en los umbrales del nuevo siglo*. En: *Memorias del VII Congreso Internacional sobre Azúcar y Derivados de la Caña Diversificación 2002*. La Habana, Cuba.

Montgomery, D.C (2004), *Diseño y análisis de experimentos*. Tercera edición. Editorial Félix Varela. La Habana.

Narasimhan K., (2004). *Value Stream Management: Eight Steps to Planning, Mapping, and Sustaining Lean Improvements*, *The TQM Magazine*, Vol. 16 Iss: 1, pp.68 – 70

Pakkala T.P.M. and Rahim M.A. (1999), *Determination of an optimal setting and production run using Taguchi's loss function*. *International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering (IJRQSE)*.Volume: 6, Issue: 4(1999) pp. 335-346, DOI: 10.1142/S0218539399000310.

Parry Glenn, Mills John, Turner Celine,(2010) *Lean competence: Integration of theories in operations management practice*. *Supply Chain Management: An International Journal – Emerald Group Publishing Limited*. Vol 15, p 216 – 226.

Peng P., Jiang Q., Xu G.,Liu J., (2007). *Optimal tolerance design for products with correlated characteristics by considering the present worth of*

quality loss. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology Volume 39, Numbers 1-2, 1-8, DOI:10.1007/s00170-007-1205-7

Rother, M. & Shook, J. (1999). *Learning to See*. Version 1.2. Brookline, MA: Lean Enterprise Institute.

Sanjuán-Dueñas R., (1997). *Obtención de pulpas y propiedades de las fibras para papel*. Agata editores. México.

Serrano Ibon, Ochoa Carlos (2008), *An evaluation of the value stream mapping tool*. Article: Business Process Management Journal, Vol 14, p 39 – 52.

Serrano Ibon, (2007), Análisis de la aplicabilidad de la técnica value stream mapping en el rediseño de sistemas productivos. Tesis doctoral. Universitat de Girona pag 6.

Singh, Bhim and Sharma, S.K. (2009) “*Value stream mapping a versatile tool for lean implementation: An Indian Case study of a manufacturing industry*”, Journal of Measuring business excellence, Vol. 3, No. 13. pp 58-68 (Emerald Insight)

Wee. M. H, Wu Simon (2009), *Lean supply chain and its effect on product cost and quality: a case study on Ford Motor Company*. Supply Chain Management: An International Journal- Emerald Group Publishing Limited. Vol 14, pp 335 – 341.

Wilkes Alan (2000), Corporación centro de capacitación y desarrollo tecnológico para la industria papelera (CENPAPEL). - serie 8 competencias laborales Blanqueo de pulpa.

Yang-Hua Lian, Van Landeghem Hendrik., (2002), *An application of simulation and value stream mapping in lean manufacturing*, Proceedings 14th European Simulation Symposium A. Verbraeck, W. Krug, eds. SCS Europe BVBA.

ANEXO A. PROCEDIMIENTOS

Equipos:

- Embudo Buchner, diámetro = 12.5 cm.
- Erlenmeyer de 1 ó 2 de capacidad con desprendimiento lateral.
- Papel de filtro cualitativo, diámetro = 12.5 cm.
- Prensa neumática con control de presión de 0 psig a 160 psig.
- Plancha de secado con control de temperatura de 0 °C a 150 °C
- Discos cromados, diámetro de 15 cm.
- Guillotina con guarda de seguridad.
- Equipo medidor de blancura modelo TECHNIDYNE.
- Cronómetro o alarma temporizada.
- Placa estándar para calibración (Opal de vidrio).
- Erlenmeyer de 250 ó 300 mL de capacidad.

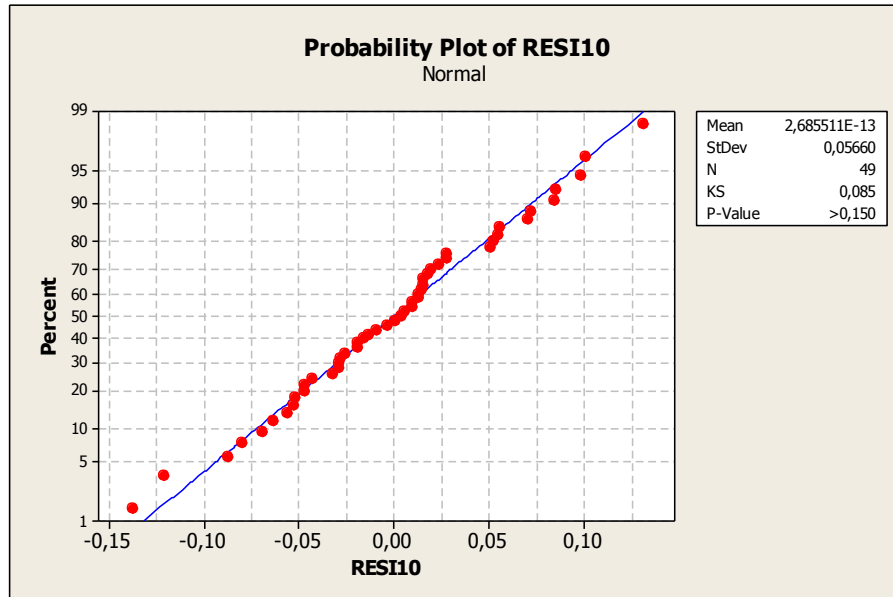
Procedimiento:

- Se pesa una cantidad de muestra requerida para obtener 3gr., secos de pulpa.
- Se realiza una galleta con la pulpa previamente pesada.
- Se coloca la galleta de pulpa con el filtro en un disco cromado limpio y seco, teniendo en cuenta que el lado pulpa debe ir sobre el disco cromado.
- Se coloca el disco con la pulpa entre al menos dos (2) láminas secas depulpa TAPPI nuevas.
- Se coloca todo el conjunto anterior en la prensa neumática.
- Se acciona el sistema neumático y se mantiene la presión de 3,5 bar (50 psi) sobre la muestra por 2,5 minutos.
- Se retira todo el conjunto prensado y retirar el disco con la muestra de la pulpa Tappi.
- Se remueve cuidadosamente el papel filtro de la muestra.
- Se remueve cuidadosamente la muestra del disco cromado.
- Se coloca la muestra de pulpa en la plancha de secado sobre el lado liso que estuvo en contacto con el disco.
- Se ubican las muestras de pulpa en el lugar asignado o previamente demarcado en la plancha de secado de acuerdo a la etapa de blanqueo a la cual corresponde cada una de las muestras.
- Se baja la tapa de la plancha a 105°C y accionar el temporizador para un tiempo de 2,5 minutos.
- Pasado el tiempo de secado retirar las muestras de la plancha y dejar las muestras a temperatura ambiente al menos por 1 minuto para evitar alteraciones en la medición de blancura.
- Se corta cada muestra de pulpa en 4 rectángulos de área igual de 4.5 cm x 4.5 cm.

- Se coloca cada rectángulo uno sobre otro con la cara del lado del disco hacia arriba para realizar la lectura en el equipo; verificar que no existan espacios entre la muestra y la cara plana del sensor.
- Se lee la blancura de cada rectángulo en el Technidyne previamente calibrado, colocando cada uno de los rectángulos de pulpa debajo de los otros con el lado más liso hacia arriba para recibir el haz incidente de luz proveniente del equipo y ubicando las muestras en las dos direcciones para disminuir la variación entre muestras.
- Se registra los valores de la lectura leída por cada uno de los recortes de la galleta de pulpa teniendo en cuenta el valor tanto de la posición vertical como horizontal de la muestra.
- Se registra la lectura alineando las muestras con el soporte sin ejercer ningún tipo de presión.

ANEXO B. VALIDACION DE SUPUESTOS DE MODELOS

NORMALIDAD



HOMOGENIDAD(Bartlett's Test)

TON

Test statistic = 1, 75. P-value = 0,781

PEROXIDO

Test statistic = 0, 96. P-value = 0,490

SOLIDOS

Test statistic = 5, 63. P-value = 0,776

TEMPERAP

Test statistic = 3, 11. P-value = 0,375

RESIDUAL P

Test statistic = 16, 01. P-value = 0,249

SODA

Test statistic = 9, 17. P-value = 0,606

ARRASTRE

Test statistic = 0, 96. P-value = 0,490

3RESIDUAL D1

Test statistic = 0, 50. P-value = 0,918

PH P

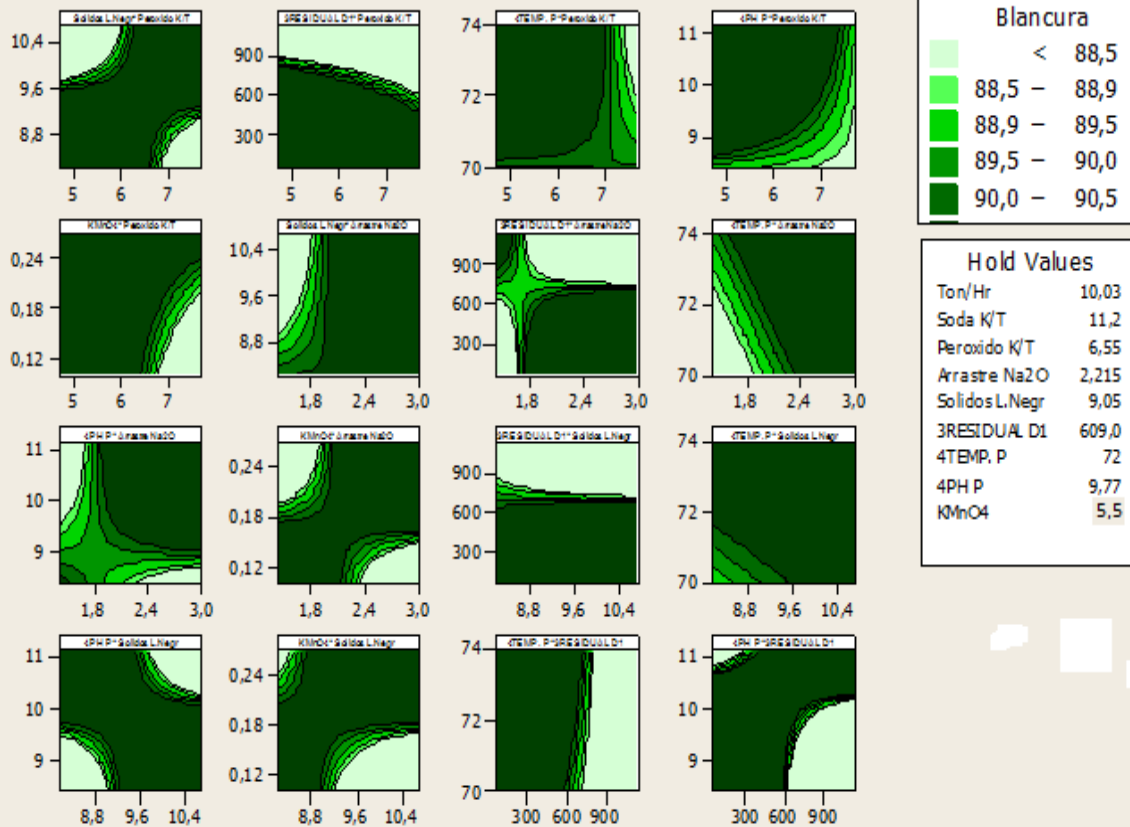
Test statistic = 2, 27. P-value = 0,893

ANEXO C. MEJORES CORRIDAS

Fecha	Ton/Hr	Dioxid K/T	Soda K/T	Peróx K/T	Blancura %	Arrastr Na ₂	Solidos L.N	Temp P	PH P
02/02/2011	10,3	16,6	12,3	6,0	89,4	2,2	9,8	72,0	10,4
03/02/2011	10,7	16,4	12,9	6,1	89,1	2,6	10,2	71,0	9,9
04/02/2011	9,3	15,4	12,9	7,4	89,5	2,4	9,5	71,0	10,2
05/02/2011	10,5	16,4	11,4	6,1	90,1	2	9,6	70,0	9,5
06/02/2011	10,5	15,8	9,1	6,4	89,1	2,6	9,6	73,0	10,5
07/02/2011	10,7	15,8	12,3	7,5	89,3	2,3	9,9	72,0	10,3
08/02/2011	10,5	14,9	11,7	6,6	89,1	2,18	9,68	71,5	9,5
09/02/2011	9,6	13,5	10,0	6,5	89,9	1,9	8,9	71,7	10,9
10/02/2011	10,5	15,3	10,2	7,1	88,9	2,4	8,6	72,0	10,3
11/02/2011	10,3	14,2	10,3	7,1	88,4	1,8	9	70,0	10,2
12/02/2011	9,4	14,7	10,9	6,3	88,8	1,7	9,6	71,0	10,2
13/02/2011	9,4	15,2	9,7	7,7	89,2	1,9	9,2	70,5	10,0
14/02/2011	10,1	14,8	10,2	6,8	88,6	2,21	9,18	72,7	10,6
15/02/2011	9,7	14,3	7,2	6,2	89,1	1,7	9	71,4	10,3
16/02/2011	9,5	14,2	13,0	6,7	88,6	1,97	9,3	71,4	10,3
17/02/2011	8,8	14,1	9,5	7,1	87,3	1,8	9,8	71,4	10,4
18/02/2011	8,8	17,2	10,9	6,5	87,2	2,05	9,76	71,4	10,4
19/02/2011	10,2	15,7	10,4	7,1	89,6	2,16	8,8	71,4	10,4
20/02/2011	11,4	15,1	11,3	5,7	88,5	1,86	8,7	71,4	10,4
21/02/2011	10,7	15,0	8,9	5,1	89,3	2,6	9,5	71,4	10,4
22/02/2011	9,9	16,4	13,0	6,5	87,3	2,45	9,8	71,4	10,5
23/02/2011	9,9	15,3	12,8	3,2	88,2	2,45	9,8	71,4	10,0
24/02/2011	10,1	16,3	11,3	6,9	86,5	1,5	8	71,4	10,5
25/02/2011	9,8	15,3	10,8	6,0	87,4	1,8	9	71,4	10,5
26/02/2011	10,8	15,8	10,6	6,4	88,3	1,9	9,2	71,3	10,5
27/02/2011	10,8	15,5	10,1	6,4	88,9	2	9,2	71,3	10,5
01/03/2011	11,0	16,0	11,6	6,6	87,1	2,2	9,4	73,2	10,5
02/03/2011	10,7	14,5	9,0	6,6	86,9	1,9	9,1	73,0	10,8
03/03/2011	10,7	16,2	10,4	6,6	88,6	1,9	8,8	72,0	10,8
04/03/2011	10,8	15,7	12,0	6,4	89,2	2,1	9	73,2	10,5
05/03/2011	11,4	15,0	11,5	5,8	88,9	1,6	9,1	73,0	10,8
06/03/2011	11,4	14,1	11,3	6,1	88,8	2	9,2	72,0	10,8
07/03/2011	11,2	14,7	10,6	5,4	88,7	2,1	9,4	72,0	10,9
08/03/2011	10,6	14,8	8,2	5,7	88	2,3	9,4	71,7	10,7
09/03/2011	10,9	14,3	12,2	5,9	89	1,8	9,2	73,0	10,3
10/03/2011	11,1	14,4	12,3	6,5	88,8	2,15	9,38	71,7	10,4
11/03/2011	10,4	14,5	11,4	5,9	88,6	2,2	9,36	73,0	10,5
12/03/2011	10,7	15,0	10,5	5,5	89	2	9,4	72,0	9,9
13/03/2011	10,9	13,8	11,4	5,6	88,3	2,1	9,3	72,0	9,7
14/03/2011	11,3	13,8	9,4	5,2	88,2	2,2	8,8	73,0	9,8
15/03/2011	11,0	14,6	9,4	5,8	88	2,4	8,9	72,7	9,5
16/03/2011	10,7	13,9	9,9	4,9	88,1	1,43	9,47	72,0	9,6
17/03/2011	10,4	12,9	10,5	7,1	89,1	1,6	9	70,8	9,6
18/03/2011	10,1	14,9	10,9	6,3	88,5	1,9	8,9	72,3	9,4
19/03/2011	10,4	14,7	10,0	6,0	88,4	1,7	9,3	73,3	9,5
20/03/2011	11,0	14,9	10,0	5,0	88,2	1,6	9	72,4	9,7
21/03/2011	9,4	14,0	11,7	8,6	87,1	2,7	9,35	73,5	9,7
22/03/2011	7,0	14,2	11,7	7,1	87	2,3	8,7	74,5	9,5
23/03/2011	8,4	14,0	12,1	7,1	87,2	2,8	7,4	73,4	9,8
25/03/2011	8,2	15,0	11,9	4,3	88,7	2,9	8,4	73,3	9,8
26/03/2011	8,6	13,9	11,8	7,2	88,2	3	7,3	71,1	9,5
27/03/2011	9,1	14,1	8,9	6,5	89	1,7	7	73,3	9,7
28/03/2011	9,2	14,5	11,7	5,9	89,4	2,4	6,9	71,1	10,8
29/03/2011	9,5	15,8	8,4	7,1	89,9	1,9	6,9	73,3	10,6
06/04/2011	6,6	14,4	13,7	6,2	86,9	1,5	7,4	72,7	10,5
07/04/2011	11,6	9,8	9,1	3,4	87,3	2,9	6,7	72,7	10,5

ANEXO D. GRAFICO DE CONTORNOS

GRAFICO DE CONTORNOS BLANCURA



ANEXO E. PLAN DE ACCIÓN

OBJETIVO/META:				PLAN DE ACCIÓN												CUANTO \$:			
MEJORAR CALIDAD DE BLANCURA MÍNIMO 88,5 %				Responsable (s) del Plan de Acción:												FECHA DE INICIO: FEBRERO DE 2011			
INDICADOR:				Gerente de Negocio Pulpa Pta 2												FECHA FINAL: DICIEMBRE DE 2011			
BLANCURA EN LA PULPA MÍNIMO 88,5 %				CUANDO (Fecha)															
CAUSA	QUE	COMO	QUIEN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	DONDE (Sitio)	PORQUE (Justificación)	IMPACTO	RECURSOS / EQUIPOS
Altas cenizas en la pulpa café	Mejorar el lavado del bagazo en temporada de invierno	Incrementar frecuencia de aseos lavadoras de bagazo	J. Sarmiento													Fase desmedulado	Incrementar lavado mejora la remoción de cenizas.	Alto	Reunion planeacion turnos
Alto arrastre en pulpa café	Mantener en optimas condiciones de limpieza el intercambiador	Programar a tiempo definido la limpieza del intercambiador	H. Urcuqui													Fase Lavadoras	Incrementar flujo dilucion al vat lavadora de café para mejorar la consistencia	Alto	Planeacion de mantenimiento y paradas programadas
Alto arrastre en pulpa café	Realizar calculos, ingenieria e implementacion de incremento dilucion.	Planear reuniones y hacer cronograma de implementacion, incluyendo presupuesto	H. Urcuqui Ingenieria F. Arroyo													Fase Lavadoras	Incrementar flujo dilucion al vat lavadora de café para mejorar la consistencia	Medio	Planeacion de mantenimiento y paradas programadas
Alto arrastre en pulpa café	Optimizar distribucion de aguas de lavado	Establecer procedimiento de distribucion duchas de lavado acorde al flujo de pulpa	J. Sarmiento													Fase Lavadoras	Mejorar la distribucion de duchas de agua de lavado de pulpa, garantizando uniformidad en el lavado	Medio	Reunion de planeacion y acuerdo operacionales
Alto arrastre en pulpa café	Optimizar aplicación de antiespumante	En conjunto con el proveedor establecer plan de mantenimiento a termino definido y reemplazo gradual de bombas.	Clarian's J. Aros													Fase Lavadoras	Optimizar la operación de las bombas dosificadoras de antiespumante.	Medio	Reunion desempeño proveedor, reuniones de parada
Alto arrastre en pulpa café	Disminuir las fallas operativas con base en estandarizacion.	Revisar, modificar, entrenar, observar procedimientos operacionales POE's de la fase de lavadoras	Jefe Oper Coord. de turno													Fase Lavadoras	Minimizar las fallas operativas en lavadoras por procedimientos operacionales inadecuados	Medio	Reunion de planeacion y acuerdo operacionales
Variacion de Temperatura Torres de blanqueo	Realizar calculos, ingenieria e implementacion de incremento capacidad mezcladores calentadores	Planear reuniones y hacer cronograma de implementacion, incluyendo presupuesto	H. Urcuqui Ingenieria F. Arroyo													Fase Blanqueo	Incrementar capacidad de los mezcladores calentadores en blanqueo por aumento de produccion	Medio	Planeacion de mantenimiento y paradas programadas
Variacion de Temperatura Torres de blanqueo	Disminuir las fallas operativas con base en estandarizacion.	Revisar, modificar, entrenar, observar procedimientos operacionales POE's de la fase de blanqueo	Jefe Oper Coord. de turno													Fase Blanqueo	Minimizar las brecha operativas en blanqueo por procedimientos operacionales inadecuados	Medio	Reunion de planeacion y acuerdo operacionales
Variacion de Residuales en la pulpa de blanqueo	Mantener en optimas condiciones los equipos de medicion y control de productos quimicos	Programar a tiempo definido la calibracion/mantenimiento de los equipo de medicion bajo el plan metrológico de paradas.	A. Guerrero Jefe de Oper Metrología													Fase Blanqueo	Mantener confiables las mediciones de aplicación de productos químicos para el blanqueo de la pulpa	Medio - Alto	Planeacion de mantenimiento y paradas programadas
Variacion de Residuales en la pulpa de blanqueo	Disminuir las fallas operativas con base en estandarizacion y aplicación de ETP	Revisar, modificar, entrenar, observar procedimientos operacionales POE's, ETP de la fase de blanqueo	Jefe de Oper Coord. de turno													Fase Blanqueo	Minimizar la variacion en los residuales de pulpa con una correcta u oportuna decisión operativa basada en ETP	Alto	Reunion de planeacion y acuerdo operacionales
Alto permanganato en pulpa café	Disminuir la variacion de presion de vapor al digestor con base en estandarizacion y aplicación de ETP	Revisar, modificar, entrenar, observar procedimientos operacionales POE's, ETP de la fase de coccion	Jefe de Oper Coord. de turno													Fase Coccion	Disminuir la variacion de presion de media al digestor para evitar altos permanganatos	Medio	Reunion de planeacion y acuerdo operacionales
Alto permanganato en pulpa café	Disminuir la variacion de la concentracion de licor al digestor con base en estandarizacion y aplicación de ETP	Revisar, modificar, entrenar, observar procedimientos operacionales POE's, ETP de la fase de coccion	Jefe de Oper Coord. de turno													Fase Coccion	Disminuir la variacion de la concentracion de licor de coccion al digestor para evitar altos permanganatos	Medio	Reunion de planeacion y acuerdo operacionales