

**DISMINUCIÓN DE HUMEDAD DEL POLVILLO EN LA PRENSA ANDRITZ**

**JULIÁN ANDRÉS GÓMEZ GUERRERO**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE OPERACIONES Y SISTEMAS  
PROGRAMA INGENIERÍA INDUSTRIAL  
SANTIAGO DE CALI  
2010**

**DISMINUCIÓN DE HUMEDAD DEL POLVILLO EN LA PRENSA ANDRITZ**

**JULIÁN ANDRÉS GÓMEZ GUERRERO**

**Pasantía institucional para optar al título de  
Ingeniero Industrial**

**Director  
ALVARO ARARA.  
Ingeniero Industrial**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE OPERACIONES Y SISTEMAS  
PROGRAMA INGENIERÍA INDUSTRIAL  
SANTIAGO DE CALI  
2010**

**Nota de aceptación.**

**Aprobado por el Comité de Grado en cumplimiento de los requisitos Exigidos por la Universidad Autónoma de Occidente para optar al Título de Ingeniero Industrial.**

---

**Jurado**

Santiago de Cali, 2 de Junio de 2010

## **DEDICATORIA**

Este trabajo va dedicado primero a DIOS por regalarme el milagro de la vida, y permitirme salir adelante con mi carrera además de darme unos padres y una hermana excepcionales, y contar con su apoyo incondicional, a mis amigos de la universidad por pasar los mejores momentos estudiantiles de mi carrera junto a ellos.

## **AGRADECIMIENTOS**

A PROPAL S.A. por el apoyo incondicional que me brindó a lo largo del desarrollo de mi investigación y en especial al Ingeniero Mecánico Carlos Humberto Mantilla Jefe de Mantenimiento Mecánico Fibra P/C y Recuperación y Potencia, por confiar en mis capacidades mostradas a lo largo de la investigación, y recomendaciones hechas, para dar como resultado una excelente investigación.

Al Ingeniero Industrial Álvaro Arara por brindarme todo su apoyo y conocimientos para lograr el desarrollo de este proyecto.

## CONTENIDO

	Pág.
GLOSARIO.....	16
RESUMEN.....	18
INTRODUCCIÓN.....	19
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	20
2. JUSTIFICACIÓN .....	21
3. ANTECEDENTES.....	22
4. OBJETIVOS .....	23
4.1 OBJETIVO GENERAL. ....	23
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS. ....	23
5. MARCO TEÓRICO .....	24
5.1 HISTORIA.....	24
5.2 LA ESTRATEGIA Y MÉTODO SIX SIGMA.....	24
5.2.1 Etapas de Six Sigma.....	25
5.2.1.1 Definir.....	26
5.2.1.2 Medir. ....	26
5.2.1.3 Analizar .....	26
5.2.1.4 Mejorar .....	27
5.2.1.5 Controlar.....	27
5.3 ESTRUCTURA DIRECTIVA DEL SIX SIGMA .....	27

5.3.1 Green belt .....	28
5.3.2 Black belt .....	28
5.3.3 Máster black belts .....	28
5.4 REPRESENTACIÓN .....	29
5.4.1 Equivalencias Six Sigma .....	29
5.5 IMPORTANCIA DE LA IMPLEMENTACIÓN SIX SIGMA .....	30
5.6 SIX PRINCIPIOS DE SIX SIGMA .....	30
5.6.1 Principio 1.....	30
5.6.2 Principio 2.....	30
5.6.3 Principio 3.....	31
5.6.4 Principio 4.....	31
5.6.5 Principio 5.....	31
5.6.6 Principio 6.....	31
5.7 NOVEDADES EN SIX SIGMA.....	31
5.8 SIGNIFICADO SIX SIGMA COMO MEDIDA ESTADÍSTICA .....	31
5.9 DIFERENCIA DEL SIX SIGMA VS LA CALIDAD TRADICIONAL .....	33
5.10 HERRAMIENTAS DEL SIX SIGMA .....	34
5.10.1 Gráficos de control .....	34
5.10.2 Diagrama de causa y efecto.....	34
5.10.3 Principio de Pareto .....	35
5.10.4 Histograma .....	35
5.11 ESTUDIO DE CAPACIDAD.....	36
5.11.1 Índice de capacidad del proceso (cp). .....	36

5.11.2 Índice de rendimiento o capacidad real (cpk). .....	36
5.11.3 Índice de Taguchi (Cpm). .....	36
5.12 RESUMEN DE ÍNDICES DE CAPACIDAD DEL PROCESO .....	36
5.13 CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS .....	37
5.14 GRÁFICAS INDIVIDUALES Y DE RANGO MOVIBLE .....	37
5.14.1 Gráficas XmR .....	37
6. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE DESMEDULADO .....	39
6.1 LAS FUNCIONES DEL PROCESO DE DESMEDULADO.....	39
6.2 PARA REALIZAR SUS FUNCIONES EL PROCESO UTILIZA .....	39
6.3 COMO RESULTADO DEL PROCESO SE OBTIENE.....	39
6.4 LA OPERACIÓN DE DESMEDULADO SE HACE EN CUATRO ETAPAS LLAMADAS SUBFASES DEL PROCESO Y SON .....	39
6.5 SUBFASE ALMACENAMIENTO Y ALIMENTACIÓN DE BAGAZO .....	40
6.6 SUBFASE DESMEDULADO EN SECO.....	40
6.7 SUBFASE LAVADO Y DESMEDULADO EN HÚMEDO.....	41
6.8 SUBFASE TRANSPORTE DE FIBRA APTA.....	41
6.8.1 Descripción de equipos de transporte de fibra apta .....	42
6.9 PRENSA ANDRITZ .....	46
6.10 IDENTIFICACIÓN DE PRIORIDADES Y ESTABLECIMIENTO DE LA META GENERAL .....	49
7. METODOLOGÍA.....	50
7.1 INTRODUCCIÓN .....	50
7.2 HERRAMIENTA SIX SIGMA .....	50



<b>8. RECOLECCIÓN DE DATOS Y DIAGNÓSTICO .....</b>	<b>53</b>
<b>8.1 DEFINICIÓN DE LÍMITES .....</b>	<b>53</b>
<b>8.2 DESCRIPCIÓN DE LOS TÉRMINOS DE GRÁFICAS .....</b>	<b>53</b>
<b>8.3 FORMA DE CÁLCULO .....</b>	<b>54</b>
<b>8.4 DATOS INICIALES, SIN MODIFICAR EL EQUIPO .....</b>	<b>55</b>
<b>9. RESULTADOS EN LAS VARIACIONES .....</b>	<b>62</b>
<b>9.1 ANÁLISIS DE VARIACIÓN I .....</b>	<b>62</b>
<b>9.2 DETERMINACIÓN DE LAS CAUSAS DE ALTA HUMEDAD.....</b>	<b>62</b>
<b>9.3 ANÁLISIS DE VARIACIÓN II .....</b>	<b>68</b>
<b>10. DATOS DEL COMPORTAMIENTO DE LA HUMEDAD DEL BAGAZO DEPHITADO Y ENTERO, DESPUÉS DE REALIZAR AJUSTES Y MODIFICACIONES AL EQUIPO.....</b>	<b>73</b>
<b>10.1 COMPARACIÓN GRÁFICAS 3 Y 8 .....</b>	<b>76</b>
<b>10.2 COMPARACIÓN GRÁFICAS 5 Y 7 .....</b>	<b>77</b>
<b>10.3 DATOS DEL COMPORTAMIENTO DE LA HUMEDAD DEL BAGAZO MEZCLADO, DESPUÉS DE REALIZAR AJUSTES Y MODIFICACIONES AL EQUIPO .....</b>	<b>77</b>
<b>10.2. RESULTADOS EN LAS CONDICIONES ECONÓMICAS DE LA EMPRESA .....</b>	<b>84</b>
<b>11. RESULTADO DE LA COMPARACION DE LOS DATOS SIN MODIFICAR EL EQUIPO Y CON MODIFICACIONES.....</b>	<b>85</b>
<b>12. CONCLUSIONES .....</b>	<b>87</b>
<b>13. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>88</b>

**BIBLIOGRAFÍA.....89**  
**ANEXOS.....90**

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Niveles de significancia. ....	29
Tabla 2. Resultados de humedad en bagazo entero, sin modificar el equipo. ....	55
Tabla 3. Resultados de humedad en bagazo dephitado, sin modificar el equipo. ....	59
Tabla 4. Resultados de humedad en bagazo dephitado.....	73
Tabla 5. Resultados de humedad en bagazo entero.....	75
Tabla 6. Resultados de humedad en bagazo mezclado. ....	77
Tabla 7. Niveles de calidad $\sigma$ .....	85

## LISTA DE CUADROS

	<b>Pág.</b>
<b>Cuadro 1. Análisis de causas según el diagrama de espina de pescado.....</b>	<b>64</b>
<b>Cuadro 2. Plan de acción e implementación .....</b>	<b>66</b>

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Herramienta Six Sigma .....	51
Figura 2. Proceso de desmedulado.....	45
Figura 3. Prensa Andritz.....	48
Figura 4. Espina de pescado.....	63
Figura 5. Prensa andritz con rodillos faltantes .....	68
Figura 6. Rodillos en mal estado .....	68
Figura 7. Cambio alineación y calibración.....	69
Figura 8. Instalación de filtros en la línea de agua. ....	70
Figura 9. Válvula automática.....	71
Figura 10. Zarandas curvas.....	71
Figura 11. Prensa Andritz en óptimas condiciones .....	72

## LISTA DE GRÁFICOS

	Pág.
Gráfica 1. Representación en forma de campana.....	32
Gráfica 2. Significancia de los límites de tolerancia.....	33
Gráfico 3. Histograma de comportamiento de humedad del bagazo entero sin modificaciones de la máquina.....	57
Gráfico 4. Gráfica individual y de Rango móvil de comportamiento de humedad del bagazo entero sin modificaciones de la máquina.....	58
Gráfico 5. Histograma comportamiento de humedad del bagazo dephitado sin modificaciones de la máquina.....	60
Gráfico 6. Gráfica individual y de Rango móvil de comportamiento de humedad del bagazo dephitado sin modificaciones de la máquina.....	61
Gráfico 7. Histograma comportamiento de humedad del bagazo dephitado con modificaciones de la máquina.....	74
Gráfico 8. Histograma de comportamiento de humedad del bagazo entero con modificaciones de la máquina.....	76
Gráfico 9. Histograma de comportamiento de humedad del bagazo mezclado con modificaciones de la máquina.....	82
Gráfico 10. Gráfica individual y de Rango móvil de comportamiento de humedad del bagazo mezclado sin modificaciones de la máquina.....	83
Gráfico 11. Evolución del nivel de calidad $\sigma$ .....	86

## LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Procedimiento para el cálculo de la humedad.....	90

## GLOSARIO

**BAGAZO:** residuo de la caña de azúcar. Se lo emplea como: materia prima para la fabricación de papel; combustible; alimento de ganado; abono, etc.

**BAGAZO DEPHITADO:** este bagazo se le hace un proceso en los ingenios en los Dephiter Seco el cual consiste sacarle polvillo para luego ser llevado a Propal.

**BAGAZO ENTERO:** este bagazo es el que no se le hace ningún proceso antes de llegar a la planta en los de Phiter Secos para sacarle polvillo.

**BAGAZO MEZCLADO:** este bagazo es el que se obtiene mezclado el entero con el dephitado.

**ÍNDICE DE CAPACIDAD DEL PROCESO (CP):** establece una relación entre los límites de especificación (LSL y USL) y la variabilidad del proceso, sin embargo, no señala si el proceso cumple con esas especificaciones, ya que no se refiere al valor medio de éste.

**ÍNDICE DE RENDIMIENTO O CAPACIDAD REAL (CPK):** es una modificación del Cp, con el fin de evaluar la ubicación de la media con respecto a los límites de especificación. Si la media del proceso corresponde al valor nominal de la especificación, Cpk es igual a Cp, es decir, el proceso se encuentra completamente centrado, de lo contrario, siempre será menor. El problema que surge a partir de este índice es la cuantificación de la centralización, ya que es un índice estricto y sólo indica si la media del proceso está centrada o no. Se debe recalcar que un proceso no centrado, no necesariamente está fuera de las especificaciones.

**ÍNDICE DE TAGUCHI (CPM):** este índice cuantifica la magnitud de la variabilidad del proceso con respecto a la media, para así tratar de reducirlo alrededor de su valor nominal.

**DEPHITER O DESMEDULADOR SECO:** básicamente es un molino de martillos de diferente configuración, montados entre láminas (cruquetas) para formar en conjunto rotativo vertical. Sirven para sacar parte del polvillo del bagazo seco.

**DEPHITER O DESMEDULADOR HUMEDO:** Su construcción es idéntica a los desmeduladores secos. La diferencia está en que en estos desmeduladores se aumenta el material inoxidable. Sirven para sacar agua polvillo después de ser lavado al bagazo.

**MINITAB:** es un software de programas informáticos para el análisis exhaustivo de datos estadísticos y gráficos.



**POLVILLO:** residuo del bazo después de haber sido tratado para la fabricación de productos.

**PP:** rendimiento de los procesos. Un indicador simple y directo de los resultados del proceso.

**PPK:** Índice de rendimiento de los procesos. Ajuste de PP para el efecto de la no centrada en la distribución.

**PRENSA ANDRITZ:** es un equipo que se encarga de secar el polvillo húmedo. Consta de una Zaranda curva, una caja de flujos, un mezclador, una mesa de formación, dos zonas de prensado, dos mallas (inferior y superior), dos rodillos para la tensión de las mallas, dos rodillos motrices, un sistema auto alineante para las mallas, un rodillo pica pasta con su respectivo motor-reductor de velocidad fija y un desagüe del líquido filtrado que va a las piscinas.

**RECUPOTENCIA:** zona de la organización encargada del área de calderas.

## RESUMEN

Este proyecto se realizó Propal S.A, la cual es una empresa productora de papel a base de bagazo de la caña de azúcar, para este proceso cuenta con una maquinaria que trabaja cíclicamente; el trabajo se centró en el área de desmedulado, donde se limpia y se lava el bagazo. Como primera fase se realizó un contacto directo con los administrativos y con el equipo de trabajo los cuales tenían identificado un problema, consistente en la alta humedad del polvillo que salía de la prensa Andritz, el cual se utiliza como combustible en el área de calderas para el ahorro de carbón.

Para llegar a la humedad adecuada, este polvillo se transportaba en volquetas hasta unos invernaderos donde se dejaba secar hasta tomar la humedad adecuada para luego pasar a las calderas y ser utilizado como combustible, lo cual genera mayor tiempo en el proceso y gastos económicos. Dada esta problemática fue necesario en primera instancia tomar las humedades desde el 22 de Febrero al 24 de Abril de 2009 sin hacer modificaciones al equipo, permitiendo establecer un valor real del comportamiento de la humedad, el cual fue de 75.6%; este promedio se constituyó en la base para medir y cuantificar las metas propuestas en este proyecto.

En un inicio se trabajó con los dos tipos de bagazo; sin embargo a partir del 9 junio se continuó con el proyecto con el bagazo mezclado; esto responde a las necesidades de la empresa, porque sus proveedores son tres ingenios y uno solo no tiene proceso de dephitado, lo cual no justifica el cambio de cuchillas en el proceso de desmedulado. Durante el proceso se realizaron diferentes ajustes al equipo previo lo que permitió disminuir la humedad al 65.39% al final del proyecto. Adicionalmente se estructuró un programa de mantenimiento preventivo para la Prensa Andritz.

Para el análisis y el comportamiento de la humedad se utilizó el software MINITAB especializado en estadística, arrojando gráficos. En el trabajo de campo se realizaron cambios de ingeniería en el proceso con el propósito específico de reducir el contenido de humedad y lograr las economías planeadas en costo y consumo.

## INTRODUCCIÓN

PROPAL-Productora de Papeles S.A., empresa dedicada a la producción de papel a partir de un subproducto de la industria azucarera como es la fibra de caña de azúcar (bagazo).

Los proveedores de esta materia prima son los ingenios Manuelita, Providencia y Mayagüez, y los productos finales elaborados en Propal gozan de una excelente aceptación en los más exigentes mercados nacionales e internacionales, produciendo más de 200 calidades de papel, siendo catalogados como “Amigos de la Naturaleza”.

Con los continuos cambios que ocurren en el entorno industrial y de negocios, es necesario estudiarlos desde el punto de vista económico y práctico, buscando siempre el mejoramiento continuo. Es por este motivo que la mayor parte de las industrias se han visto en la necesidad de reestructurar sus procesos para operar con mayor efectividad ante un mundo cada vez más competitivo.

En función de esta optimización, el sector siempre está investigando nuevas y mejores alternativas para implementar en el desarrollo de sus plantas industriales, buscando optimizar sus procesos y avanzando siempre en una mejor disposición de los procedimientos y herramientas que la empresa requiere.

Es por esto que el presente estudio se enfocó en la disminución de humedad del polvillo en la prensa Andritz, que es utilizado como combustible en las calderas, para así disminuir el consumo del carbón y consecuentemente el costo de la producción de vapor para el proceso.

La Prensa Andritz es un equipo que se encarga de secar el polvillo húmedo (ver Fig 3). Consta de una Zaranda curva, una caja de flujos, un mezclador una mesa de formación, dos zonas de prensado, dos mallas (inferior y superior), dos rodillos para la tensión de las mallas, dos rodillos motrices, un sistema de alineamiento para las mallas, un rodillo triturador de pasta con su respectivo moto reductor de velocidad fija y un desagüe del líquido filtrado que va a las piscinas.

El producto de la prensa Andritz es enviado a calderas por una serie de transportadores para ser utilizado como combustible. El mecanismo de potencia de la prensa está formado por un motor eléctrico de velocidad variable conectado por acople directo a un Reductor, y éste entrega movimiento a los rodillos motrices.

## **1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La producción de pulpa para la fabricación de papel requiere de varios procesos. El primero de ellos es el desmedulado. En este proceso la máquina Andritz es alimentada con agua polvillo de bagazo entero o dephitado, el producto resultante debe ser polvillo con humedad máxima del 67% en entero y 65% en dephitado.

Este proceso presenta un serio problema en razón a que los niveles de humedad en los productos resultantes arrojan resultados muy por encima de los requeridos.

Mediciones realizadas en los últimos 6 meses indican que la humedad en el polvillo que entrega la máquina está en el orden de 72 a 77% en los dos tipos de bagazo. (Según reunión de Comité del Proyecto, 23 de Abril 2009)

Esta problemática en apariencia sencilla, requiere de todo un desarrollo de ingeniería para encontrar las causas principales y los correctivos apropiados, propósitos en los que la empresa está seriamente comprometida como objetivo de mejoramiento.

## 2. JUSTIFICACIÓN

La separación de bagazo y polvillo, consiste en una serie de procesos que empiezan desde el almacenamiento de la materia prima, para luego pasar por una serie de pasos hasta llegar a las lavadoras donde se separa, arena, piedras, palos etc., continuando con al siguiente paso que es el dephiter húmedo que separa el bagazo del agua polvillo. El agua polvillo es llevado a un tanque donde es bombeado a unas zarandas curvas que remueven el agua, para luego pasar por la prensa Andritz la cual disminuye la humedad del polvillo.

Mediante este proyecto se busca mejorar el porcentaje de humedad del polvillo obtenido, ya sea de bagazo entero el cual no debe superar 67%, y del dephitado 65%. Al mezclar el polvillo que sale del proceso de dephiter seco y el de la prensa Andritz con los niveles requeridos, tendríamos una alternativa para sustituir el consumo de carbón con la mezcla de polvillo como combustible. Actualmente, el acondicionamiento del polvillo a la humedad adecuada requiere de transporte adicional a zonas externas para secado ambiental (invernaderos), logística que en promedio tiene unos costos estimados de \$ 50.000.000 mensuales.

Propal aspira con este proyecto a eliminar este costo de su proceso, mejorando la eficiencia de su proceso de secado y a la vez suministrar un polvillo apto para su consumo como combustible para sus calderas de potencia.

### **3. ANTECEDENTES**

Hasta la fecha, Propal no ha realizado mejoras en este proceso para reducir los contenidos de humedad. La máquina Andritz está en operación desde el año 1983; los primeros diez años funcionó muy bien; luego pasó el tiempo y la fueron descuidando sin darle ninguna importancia, ya que no les daba los resultados de antes. Siguió funcionando así hasta el 2007 donde se realizaron unas pruebas para ser sacada de línea.

Al no obtener los resultados requeridos la prensa siguió en línea, pero sin hacerle ninguna mejora, ocasionando costos altos que les producía el transporte y logística en el manejo de esta materia.

En el año 2009 fue cuando la organización incluyó como proyecto clave las mejoras en la prensa Andritz, para de esta forma eliminar los costos de transporte y utilizar eficientemente el polvillo como alternativa de combustible en el área de calderas.

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1 OBJETIVO GENERAL**

Reducir el porcentaje de humedad del polvillo dephitado a 63% y de entero a 68% a la salida de la máquina Andritz, efectuando cambios de ingeniería apoyados en estrategias Six Sigma, a fin de obtener un polvillo con contenido de humedad adecuado para ser utilizado como combustible en las calderas de potencia de Propal Planta-1(Yumbo) reduciendo el consumo de carbón.

### **4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- ❖ Elaborar un diagnóstico de la situación actual identificando oportunidades de mejora en las variaciones que permitan la reducción del contenido de humedad a los niveles requeridos de 63% para el polvillo dephitado y 68% para el entero, generando un plan de acción mediante estrategias Six sigma apoyado por Minitab.
- ❖ Implementar el plan de acción obtenido para reducir el costo directo de manufactura en Recupotencia, reduciendo el consumo de carbón mediante el consumo de polvillo como combustible alterno en las calderas de potencia.
- ❖ Verificar el logro de las metas establecidas, implementar controles y generar acciones para mantener la continuidad de las mejoras alcanzadas.

## 5. MARCO TEORICO

Six Sigma es una estrategia de trabajo y de negocios, la cual se basa en el enfoque hacia el cliente, en un manejo eficiente de los datos, metodologías y grandes diseños, que permite eliminar la variabilidad en los procesos y alcanzar un nivel de defectos menor o igual a 3,4 defectos por millón. Otros efectos obtenidos son: reducción de los tiempos de ciclo, reducción de los costos, alta satisfacción de los clientes, y lo más importante son los efectos en el desempeño financiero de la organización.

“La meta de Six Sigma es ayudar a la gente y a los procesos a que aspiren a lograr entregar productos y servicios libres de defectos. Six Sigma reconoce que hay siempre lugar para los defectos, aún en los mejores procesos o en el mejor producto, pero con un nivel de funcionamiento correcto del 99,9997 por 100, Six Sigma fija un objetivo donde los defectos en muchos procesos y productos son prácticamente inexistentes”<sup>1</sup>.

### 5.1 HISTORIA

Este sistema de gestión surge en los años '80 como una estrategia de negocios y de mejoramiento de la calidad. Da sus primeros pasos en Motorola cuando el ingeniero Mikel Harry comienza a influenciar a la organización para que estudie la variación en los procesos como una manera de mejorarlos. Estas variaciones son lo que estadísticamente se conoce como desviación estándar. Tal iniciativa dio origen a un esfuerzo centrado en mejorar la calidad, poniendo como objetivo alcanzar un nivel de 6 Sigma (representativo de 3,4 dpm). Lawrence Bossidy, CEO de Allied Signal, al tomar conocimiento de esta nueva metodología, la toma para sí implementándola en la corporación, logrando con ello importantes incrementos en la rentabilidad de la misma.

Posteriormente Jack Welch, CEO de General Electric, pone como objetivo transformar a GE en una “organización Six Sigma”, tomando bajo su firme liderazgo las acciones pertinentes a los efectos de alcanzar el objetivo fijado.

### 5.2 LA ESTRATEGIA Y MÉTODO SIX SIGMA

Esta estrategia gerencial y métodos de mejora incorporan el concepto del desempeño libre de errores. Este concepto se aplica tanto a los procesos de la línea base de las operaciones como a los procesos gerenciales, ya que se

---

<sup>1</sup> GUTIÉRREZ, PULIDO, Humberto y DE LA VARA SALAZAR, Román. Control estadístico de calidad y Six sigma México: McGraw-Hill, 2004. p. 636 (TS156.G82).



considera que no hay razones industriales para tener diferentes estándares de satisfacción en este sentido.

Fundamentalmente se basan en un concepto que va alternando el análisis abstracto y la experiencia de la organización, con los datos del desempeño demostrable. Para el análisis se incorporan métodos, herramientas y técnicas de análisis crítico y mejora de los procesos, y para los datos se incorporan métodos estadísticos intermedios y avanzados.

El concepto Six Sigma tiene normalmente tres ámbitos. El primero es el de las estrategias y procesos gerenciales, donde los aspectos más característicos son el diseño o la validación de las métricas con las cuales se da cuenta y mide el desempeño del negocio. Para este proceso, se utilizan técnicas estadísticas que van más allá de las descriptivas que se basan en datos y promedios, utilizándose por ejemplo técnicas de análisis de capacidad de los procesos, entre otras. También considera la elaboración de la línea base del negocio, con la cual se da cuenta del desempeño estadístico demostrable en el o los últimos años, lo que servirá de referencia para el mejoramiento.

Finalmente, este ámbito considera la creación de condiciones organizacionales y la ejecución de un proceso de análisis, con el cual se obtiene una cartera de oportunidades de mejora con las estimaciones a nivel de perfil de los impactos operacionales y contables. Ésta constituirá permanentemente la fuente de los procesos de mejora que se describen en el siguiente ámbito.

El segundo ámbito lo constituye el desarrollo de competencias y la ejecución de los proyectos de mejora con los cuales se materializan las oportunidades y se logra el impacto en la línea base del negocio. Se considera también la estandarización y réplicas de las mejoras logradas hacia otros procesos de la empresa.

### 5.2.1 Etapas de Six Sigma

- **Definir** el problema o el defecto.
- **Medir** y recopilar datos.
- **Analizar** datos.
- **Mejorar**.
- **Controlar**.

Las metodologías son: DMAIC, DMADV y PDCA-SDCA

- DMAIC = (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar)
- DMADV = (Definir, Medir, Analizar, Diseñar y Verificar)

- PDCA-SDCA = (Planificar, Ejecutar, Verificar y Actuar)-(Estandarizar, Ejecutar, Verificar y Actuar)

**5.2.1.1 Definir.** En la fase de definición se identifican los posibles proyectos Six Sigma, que deben ser evaluados por la dirección para evitar la inadecuada utilización de recursos. Una vez seleccionado el proyecto, se prepara y se selecciona el equipo más adecuado para ejecutarlo, asignándole la prioridad necesaria y haciéndonos las siguientes preguntas para lograr la definición exacta del problema.

¿Qué procesos existen en su área? ¿De qué actividades (procesos) es usted el responsable? ¿Quién o quiénes son los dueños de estos procesos? ¿Qué personas interactúan en el proceso, directa e indirectamente? ¿Quiénes podrían ser parte de un equipo para cambiar el proceso? ¿Tiene actualmente información del proceso? ¿Qué tipo de información tiene? ¿Qué procesos tienen mayor prioridad de mejorarse?

**5.2.1.2 Medir.** “La fase de medición consiste en la caracterización del proceso identificando los requisitos clave de los clientes, las características clave del producto (o variables del resultado) y los parámetros (variables de entrada) que afectan al funcionamiento del proceso y a las características o variables clave”<sup>2</sup>. A partir de esta caracterización se define el sistema de medida y se mide la capacidad del proceso.

¿Sabe quiénes son sus clientes? ¿Conoce las necesidades de sus clientes? ¿Sabe qué es crítico para su cliente, derivado de su proceso? ¿Cómo se desarrolla el proceso? ¿Cuáles son los pasos? ¿Qué tipo de pasos compone el proceso? ¿Cuáles son los parámetros de medición del proceso y cómo se relacionan con las necesidades del cliente? ¿Por qué son éstos los parámetros? ¿Cómo obtiene la información? ¿Qué tan exacto o preciso es su sistema de medición?

**5.2.1.3 Analizar.** En la fase de análisis, el equipo evalúa los datos de resultados actuales e históricos. Se desarrollan y comprueban hipótesis sobre posibles relaciones causa-efecto, utilizando las herramientas estadísticas pertinentes. De esta forma el equipo confirma los determinantes del proceso, es decir las variables clave de entrada o "pocos vitales" que afectan a las variables de respuesta del proceso.

---

<sup>2</sup> LOWELL JAY, Arthur. Six Sigma Simplificado. México: Panorama Editorial, 2003. p.130 (TS156.8.A7E).

¿Cuáles son las especificaciones del cliente para sus parámetros de medición?  
¿Cómo se desempeña el proceso actual con respecto a esos parámetros?  
Muestre los datos. ¿Cuáles son los objetivos de mejora del proceso? ¿Cómo los definió?  
¿Cuáles son las posibles fuentes de variación del proceso? Muestre cuáles y qué son.  
¿Cuáles de esas fuentes de variación controla y cuáles no? De las fuentes de variación que controla ¿Cómo las controla y cuál es el método para documentarlas?  
¿Monitorea las fuentes de variación que no controla?

**5.2.1.4 Mejorar.** En la fase de mejora el equipo trata de determinar la relación causa-efecto (relación matemática entre las variables de entrada y la variable de respuesta que interese) para predecir, mejorar y optimizar el funcionamiento del proceso. Por último se determina el rango operacional de los parámetros o variables de entrada del proceso.

¿Las fuentes de variación dependen de un proveedor? Si es así, ¿cuáles son?  
¿Quién es el proveedor? y ¿Qué está haciendo para monitorearlas y/o controlarlas?  
¿Qué relación hay entre los parámetros de medición y las variables críticas?  
¿Interactúan las variables críticas? ¿Cómo lo definió? Muestre los datos.  
¿Qué ajustes a las variables son necesarios para optimizar el proceso? ¿Cómo los definió? Muestre los datos.

**5.2.1.5 Controlar.** La fase de control consiste en diseñar y documentar los controles necesarios, para asegurar que lo conseguido mediante el proyecto Six Sigma se mantenga una vez que se hayan implementado los cambios. Cuando se han logrado los objetivos y la misión se dé por finalizada, el equipo informa a la dirección y se disuelve.

Para las variables ajustadas ¿Qué tan exacto o preciso es su sistema de medición?  
¿Cómo lo definió? Muestre los datos. ¿Qué tanto se ha mejorado el proceso después de los cambios? ¿Cómo lo define? Muestre los datos. ¿Cómo hace que los cambios se mantengan? ¿Cómo monitorea los procesos? ¿Cuánto tiempo o dinero ha ahorrado con los cambios? ¿Cómo lo está documentando? Muestre los datos.

### **5.3 ESTRUCTURA DIRECTIVA DEL SIX SIGMA**

La empresa tiene que crear una estructura especial de acuerdo con reglas muy estrictas, teniendo en cuenta que el Six Sigma no se puede aplicar de cualquier forma. La empresa crea unas reglas muy estrictas donde entran en escena los diferentes tipos de escalafón que existen en los Six Sigma, como son Green belts, los Black belts, los máster Black belts y los Champions.

**5.3.1 Green belt.** Es el líder de cada equipo. Para conseguir su cinturón debe hacer un curso, rendir un examen y tener un proyecto Six Sigma aprobado por año.

**5.3.2 Black belt.** Es el único que dedica full time a 6 Sigma. Para certificar como cinturón negro debe estudiar durante cuatro semanas técnicas estadísticas, análisis de procesos y gestión de proyectos. Es un entrenamiento riguroso que dura 4 meses. La primera semana de cada mes se dedica full time al aprendizaje y las otras tres, a poner en práctica la teoría. Al final de cada etapa, el candidato debe rendir un examen y, además, tiene que tener aprobados dos proyectos por año.

**5.3.3 Máster black belts.** Expertos que explican a los candidatos a cinturones negros los principios básicos del Six Sigma. El campeón es un ejecutivo con la misión de controlar que los proyectos funcionen. También se encarga de que los Black y Green belts tengan todos los recursos que necesitan. En la jerarquía están por encima de los Black belts. Más arriba en el organigrama están los ejecutivos que diseñan la estrategia para desplegar Six Sigma y monitorean el avance del proceso.

En la punta de la pirámide está el CEO, que debe estar involucrado al 100 %, según establece una regla de oro de Six Sigma. "Es una de las iniciativas más importantes en toda la empresa, siendo este el nuevo lenguaje que hablan las empresas, ser elegido Black belt es sinónimo de éxito. Ser Black belt es como hacer un posgrado dentro de la compañía. Los proyectos Six Sigma hacen que los cinturones negros actúen en toda la empresa y eso les da una visión global que los capacita para acceder a mejores puestos más adelante.

¿Cómo eliminar errores en los procesos?, ¿acaso *Six Sigma* lo hace por sí solo? Para responder esto debemos ponernos a pensar y razonar que ninguna metodología trabaja por sí misma, una cosa es la teoría y otra la aplicación; la primera fase de aplicar Six Sigma consiste en emplear una lógica secuencial que consiste en determinar que, para eliminar un defecto, primero debo encontrar su causa, y esto se obtiene midiendo el nivel de desempeño de un proceso o producto, haciendo esto no habrán defectos y permitirá a la empresa mejorar drásticamente sus resultados finales, diseñando y supervisando sus actividades de manera eficiente, eliminando los errores que afecten la calidad y la imagen que se trasmite al cliente.

El resultado final será la mejora continua y la reducción de costos innecesarios generados por la mala calidad, pérdida de tiempo y horas de trabajo, por medio de la reducción de defectos en todo tipo de procesos a su mínima expresión; el

resultado es la satisfacción de los clientes y la mejora continua con los consiguientes beneficios para los accionistas y socios.

Como habíamos indicado, Six Sigma busca reducir los defectos; sin embargo esta reducción se espera alcance el nivel de 3.4 defectos por millón, lo que significa casi cero defectos. Esta reducción de defectos del nivel actual al nivel de casi cero permitirá a la organización generar ahorros que según estudios se calculan en un aproximado del 40% de sus ingresos.

## 5.4 REPRESENTACIÓN

Six Sigma = 3.4. D.P.M.O

Six Sigma = 3.4 defectos por millón de oportunidades, es equivalente a cero defectos que representa un nivel de funcionamiento correcto del 99.9997 por 100, donde los defectos en procesos y productos son prácticamente inexistentes.

**Tabla 1. Niveles de significancia**

Nivel $\sigma$	DPM	% Defectos	Rendimiento(%)	
0	933,193	93 %	6.7%	<b>0-3</b> Necesita Mejorar
1	690,000	69 %	31%	
2	308,537	31 %	69%	
2.5	158,655	15.86 %	84.14 %	<b>3 - 4.5</b> Calidad Convencional
3	66,807	7 %	93%	
4	6,210	0.6 %	99.4%	
4.5	1350	0.14%	99.86%	<b>4.5 - 6</b> Buen Proceso
5	233	0.02%	99.97%	
5.5	32	0.003 %	99.997%	<b>6</b> Proceso óptimo
6	3.40	0.0 %	100.0%	

### 5.4.1 Equivalencias Six Sigma

- Six sigma es 3.4 defectos por millón.
- Six sigma es 0.34 defectos por 100 mil.
- Six sigma es 0.034 defectos por 10 mil.
- Six sigma es 0.0034 defectos por mil.
- Six sigma es 0.00034 defectos por 100.

El nivel de calidad Six Sigma correspondiente a 3,4 defectos por millón de observaciones, el cual se considera un nivel de calidad excelente y, por tanto, un objetivo estratégico a alcanzar por una empresa que pretende la satisfacción de sus clientes.

## **5.5 IMPORTANCIA DE LA IMPLEMENTACIÓN SIX SIGMA**

Esta metodología se justifica en cuanto puede ser aplicada a procesos o subprocesos, en cualquier área de la empresa; así mismo, está basada en resultados obtenidos mediante cálculos comprobables. Six Sigma representa además para la empresa, una medida de rendimiento de los procesos, ayuda con la mejora e imagen del negocio, y establece una metodología sistemática y ordenada de mejora de la calidad en forma continua<sup>3</sup>.

Hay que considerar que el factor humano capacitado juega un rol preponderante, ya que es el que se verá involucrado en desarrollar el proyecto de aplicación de esta técnica; esto a su vez permite integrar el factor humano en todas las áreas, creando una infraestructura humana altamente eficiente (Champions, Máster Black Belt, Black Belt y Green Belt) que lideran, actúan, aplican y llevan a buen término las propuestas.

## **5.6 SIX PRINCIPIOS DE SIX SIGMA**

Esta herramienta de gestión se basa en Six principios fundamentales que deben ser cuidadosamente observados:

**5.6.1 Principio 1.** Enfoque genuino en el cliente, el cliente es la razón de ser y el beneficiado con el ahorro en costos, ya que esto se verá traducido en un menor precio del producto que este cliente comprará.

**5.6.2 Principio 2.** Dirección basada en datos y hechos; esto se relaciona con establecer cuáles son las medidas claves a medir, pasando luego a la recolección de datos para su posterior análisis. Permite con este método identificar y definir los problemas atacando las causas raíces o fundamentales que los originan.

---

<sup>3</sup> PANDE s., Peter; NEUMAN p., Robert y CAVANAGH r., Roland. Las Claves de Six Sigma. La Implantación con éxito de una cultura que revoluciona en el Mundo Empresarial. España: Mc Graw Hill, 2003. p. 361. ISBN 84 – 481 – 3772 – 8

**5.6.3 Principio 3.** Los procesos están donde está la acción; donde hay trabajo, hay procesos, se plantea un proyecto también.

**5.6.4 Principio 4.** Dirección pro activa, los líderes son los que deben dar la pauta de trabajo y marcar el camino.

**5.6.5 Principio 5.** Colaboración sin barreras, lo que implica trabajo en equipo, mejor comunicación y una mejor distribución de las labores.

**5.6.6 Principio 6.** Búsqueda de la perfección.

## **5.7 NOVEDADES EN SIX SIGMA**

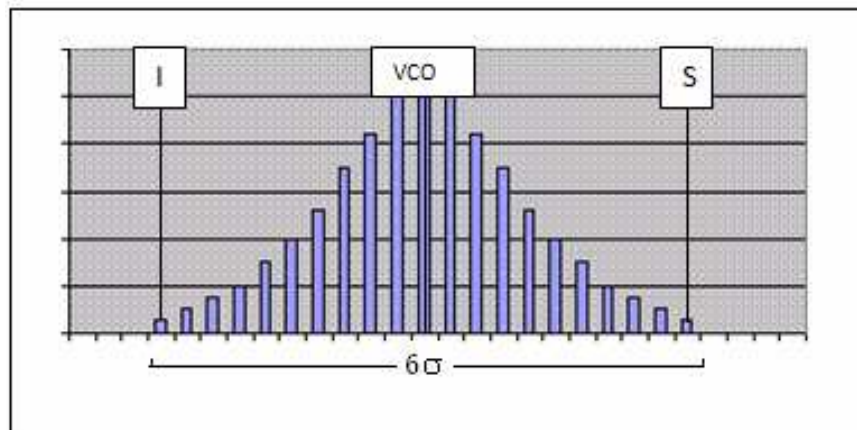
Hay tres características clave que diferencian a Six Sigma de los anteriores programas de calidad. En primer lugar dicho sistema está enfocado en el cliente, lo cual implica mantenerse en contacto estrecho con las necesidades de éste. En segundo lugar los proyectos Six Sigma generan importantes retornos sobre la inversión. Y en tercer término, este sistema cambia el modo de operar por parte de la dirección, dado que es mucho más que un proyecto de mejora, dando lugar a un nuevo enfoque sobre el modo de pensar, planificar y ejecutar las actividades y procesos.

## **5.8 SIGNIFICADO SIX SIGMA COMO MEDIDA ESTADÍSTICA**

Sigma representa a los fines estadísticos la desviación estándar, la cual constituye la variación existente en un conjunto de datos, correspondan éstos a artículos o procesos.

Graficando los datos obtenidos de una muestra correspondiente a un determinado proceso, se obtiene, de estar los mismos normalmente distribuidos, un gráfico con forma de campana. Expresada la misma en fórmula, se tienen en la misma dos variables fundamentales, una de las cuales es el valor medio ( $\mu$ ) y la otra la desviación típica ( $\sigma$ ). Si  $\mu$  varía se modifica la posición de la campana, lo que es lógico ya que es el valor medio. En tanto que si cambia  $\sigma$ , se ve alterada la forma de la campana. Si  $\sigma$  se hace pequeña implica que hay una menor dispersión con lo cual se presenta una campana más estrecha; mientras que al aumentar el nivel de dispersión ( $\sigma$ ) la campana se ensancha, (ver gráfica 1)

**Gráfica 1. Representación en forma de campana**

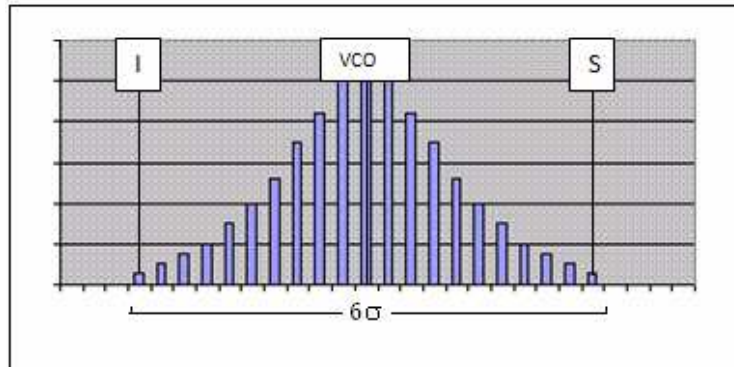


Establecidos los Límites de Tolerancia S e I en función a las especificaciones del producto o servicio, se procede a verificar si los resultados de las mediciones efectuadas se encuentran dentro de dichos límites; de ser así diremos que el proceso, producto o servicio es conforme o de calidad. Si además esa magnitud que inspeccionamos es una variable aleatoria que tiene una distribución de probabilidad normal y además centrada, implica que el valor medio coincide o es igual que el VCO (valor central objetivo), dándose además un nivel de dispersión (s) que hace factible que reúnan 12 s dentro del intervalo definido por los límites de tolerancia (S = límite de tolerancia superior; I = límite de tolerancia inferior). Dentro de las condiciones expuestas habría un 0,0000002 por ciento, o lo que es igual, menos de 0,002 dpm (defectos por millón) de productos fabricados.

La cuestión es que si hacemos un número lo suficientemente amplio de lotes de productos o procesos, descubriríamos que  $m$  no siempre coincide con el VCO, sino que varía aleatoriamente dentro de un cierto margen debido al desgaste de útiles, diferencia de materiales, personal actuante en el proceso, etc. En el modelo Six Sigma de Mikel Harry, se parte de la hipótesis de que  $m$  se desvía a lo largo del tiempo aleatoriamente hasta desplazarse como máximo hasta 1,5 s. De darse esta situación, siendo s y los límites de tolerancia superior e inferior los mismos que se fijaron previamente, el número de dpm, y consecuentemente los productos fuera de especificación, sería ligeramente mayor a 3,4 dpm, lo cual implica que el 99,99966 por ciento de los productos serían conformes, es decir, estarían dentro de las especificaciones.



## Gráfica 2. Significancia de los límites de tolerancia



Es a este nivel del 99,99966 por ciento de productos conformes, equivalentes a un nivel de defectos de 3,4 dpm, que se le da en llamar nivel de calidad Six Sigma ( $\pm 6 s$ ). Es decir, que los límites de tolerancia superior e inferior contienen 12 s de una distribución normal, cuyo valor medio  $m$  está descentrado respecto al valor objetivo en 1,5 s, (ver gráfica 2)

“El nivel de calidad 6 s correspondiente a 3,4 defectos por millón, tiene en cuenta que existen fuentes de variabilidad en los procesos, pero que las mismas se encuentran bajo control. Se considera un nivel de calidad excelente y, por tanto, un objetivo estratégico a alcanzar si una empresa pretende la satisfacción de sus clientes”<sup>4</sup>.

Debe subrayarse que al dar el nivel en  $\pm s$  indicamos cuántas  $s$  caben dentro del intervalo de tolerancias y, por tanto, cuán pequeña es  $s$ , la cual mide la dispersión de los datos respecto a los límites de tolerancia. Cuanto más pequeña sea dicha dispersión, menor será  $s$ , y más  $s$  cabrán en el intervalo de tolerancia, y mayor será el número en la escala de  $\pm s$ .

### 5.9 DIFERENCIA DEL SIX SIGMA VS LA CALIDAD TRADICIONAL

No están soportadas por prácticamente las mismas herramientas y métodos conocidos por los practicantes de la Calidad. Las diferencias quizá residen en la forma de aplicar estas herramientas, y su integración con los propósitos y objetivos de la organización como un todo. La integración y participación de todos los niveles y funciones dentro de la organización es factor clave, respaldado por un sólido compromiso por parte de la alta Gerencia y una actitud proactiva, organizada y sistemática en busca de la satisfacción tanto de las necesidades y

<sup>4</sup> PANDE, Op cit., p. 20.

objetivos de los clientes, como de las necesidades y objetivos de la propia organización.

## **5.10 HERRAMIENTAS DEL SIX SIGMA**

**5.10.1 Gráficos de control.** Es un proceso de control cuyo comportamiento con respecto a variaciones es estable en el tiempo. Las gráficas de control se utilizan como técnica de diagnóstico para supervisar procesos de producción e identificar inestabilidad y circunstancias anormales. Es una comparación gráfica de los datos de desempeño del proceso con los límites de control estadístico calculados, dibujados con líneas limitantes sobre la gráfica.

Los datos del proceso por lo general están en grupos de mediciones que vienen de la secuencia normal de producción, manteniendo el orden de los datos. Las gráficas de control son una herramienta que sirve para mostrar situaciones donde las causas pueden estar afectando de manera desfavorable la calidad de un producto. Cuando una gráfica indica una situación fuera de control, se puede iniciar una investigación para identificar causas y tomar medidas correctivas.

**5.10.2 Diagrama de causa y efecto.** Es una gráfica que muestra la forma de organizar y representar las diferentes teorías propuestas sobre las causas de un problema, se hallan diversos factores que pueden contribuir a un efecto o fenómeno determinado, que nos permite buscar las causas reales y potenciales, visualizar las razones, motivos o factores principales y secundarios e identificar posibles soluciones, tomar decisiones y organizar planes de acción. Es llamado usualmente Diagrama de "Ishikawa" o "Diagrama Espina de Pescado" porque es similar al esqueleto de un pez.

Para la elaboración de este diagrama se debe Definir, sencilla y brevemente, el efecto de las causas identificadas; posteriormente colocarlo dentro de un rectángulo a la derecha y dibujar una flecha, que corresponderá al eje central del diagrama, de izquierda a derecha, apuntando hacia el efecto. Luego se identifican las posibles causas que contribuyen al efecto y se incluyen en el diagrama, pasando a escribir las causas para cada rama principal verificando la composición del diagrama, llegando así a la conclusión de que esta herramienta nos da como resultado un diagrama ordenado de posibles causas que contribuyen a un efecto.

Su utilización será favorable para el desarrollo de los proyectos por los Equipos y Grupos de Mejora, y por los organismos que estén implicados en la mejora de la calidad.

**5.10.3 Principio de Pareto.** Los orígenes de este principio fueron de tipo económico, pero hoy por hoy se aplica en una gran variedad de problemas, particularmente en producción y calidad. La experiencia ha demostrado que los problemas en calidad se generan por un conjunto de causas, algunas de las cuales son más importantes que otras. El principio de Pareto establece que en todo problema siempre se encontrará que un pequeño número de causas contribuyen a una gran proporción del problema, mientras que un gran número de causas contribuyen a una poca proporción del problema. En el lenguaje de este principio, el pequeño número de causas son las poco vitales y el gran número de causas son las muchas triviales.

El principio de Pareto se representa gráficamente en un diagrama de barras verticales u horizontales cuya altura o longitud es función del grado de contribución e importancia para el problema. Obviamente se requiere para su construcción definir el problema y su ubicación. Posteriormente se deben recabar datos o mediciones en una hoja de verificación, y luego procesarlos para finalmente llegar al diagrama y su curva acumulativa, que permitirá definir los pocos vitales, aproximadamente el 20% que contribuyen al 80% del problema.

Pese a la sencillez de su aplicación y cálculo, es muy recomendable una vez se tenga construido el diagrama, considerar posibilidades de estratificar los pocos vitales, generando Paretos de segundo y tercer nivel que afianzarán la identificación de causas del problema.

**5.10.4 Histograma.** Es una herramienta grafica que permite la representación de una variable en función de su frecuencia. En el caso de control de calidad, la variable corresponde a la característica que se mide y controla. La forma gráfica del histograma es la de celdas rectangulares de igual ancho, cuya altura representa la frecuencia en función de las mediciones de la variable que van en el eje horizontal. Las mediciones de la variable usualmente corresponden a una muestra, y la frecuencia, correlaciona con el concepto de probabilidad. Si la muestra es representativa, la forma del histograma, reflejará el comportamiento de la población o proceso, pudiéndose cuantificar indicadores de asimetría y curtosis, e inferir conclusiones respecto a su normalidad.

El histograma es una herramienta de excelente aplicación en control de calidad, siempre y cuando se inserten en su construcción los límites superiores e inferiores de especificación, es decir la variación tolerada. Se podrá en esta forma, comparar la variación real del proceso, que corresponde al ancho del histograma  $6\sigma$ , con la tolerancia real e inferir conclusiones respecto a la capacidad potencial del mismo.

Igualmente se pueden inferir conclusiones respecto a la capacidad real del proceso, observando y cuantificando no solo la variabilidad expresada como  $\sigma$ ,

sino también el centramiento  $\mu$  y su relación con el target o nominal N de las especificaciones a través de Cpk y Ppk.

## 5.11 ESTUDIO DE CAPACIDAD

Se realiza para determinar la reproducibilidad del proceso en forma consistente. Se basa en el cálculo de distintos índices los cuales ocupan la información entregada por los valores de media y desviación estándar.

**5.11.1 Índice de capacidad del proceso (cp).** Establece una relación entre los límites de especificación (LSL y USL) y la variabilidad del proceso, sin embargo, no señala si el proceso cumple con esas especificaciones, ya que no se refiere al valor medio de éste. Este índice tiene significancia si el proceso está centrado.

**5.11.2 Índice de rendimiento o capacidad real (cpk).** Es una modificación del Cp, con el fin de evaluar la ubicación de la media con respecto a los límites de especificación. Si la media del proceso corresponde al valor nominal de la especificación, Cpk es igual a Cp, es decir, el proceso se encuentra completamente centrado, de lo contrario, siempre será menor. El problema que surge a partir de este índice es la cuantificación de la centralización, ya que es un índice estricto y sólo indica si la media del proceso está centrada o no. Se debe recalcar que un proceso no centrado, no necesariamente está fuera de las especificaciones.

**5.11.3 Índice de Taguchi (Cpm).** Este índice cuantifica la magnitud de la variabilidad del proceso con respecto a la media, para así tratar de reducirlo alrededor de su valor nominal.

Considera tanto la variabilidad del proceso, como también su centralización.

En términos generales, se pueden mencionar los valores adecuados de estos índices de la siguiente forma:

## 5.12 RESUMEN DE ÍNDICES DE CAPACIDAD DEL PROCESO

$C_p > 1,33$  Adecuado

$1 < C_p < 1,33$  Adecuado, pero requiere de un control estricto

$0,67 < C_p < 1$  No adecuado, requiere un análisis del proceso

$C_p < 0,67$  No adecuado, requiere modificaciones

$Cpk = Cp$  El proceso está centrado con relación a los límites de las especificaciones.

$Cpk < Cp$  El proceso no está centrado

$Cpm > 1,33$  La media del proceso está dentro de la quinta parte media de las especificaciones

$Cpm > 1,0$  La media del proceso está dentro de la tercera parte media de las especificaciones

### 5.13 CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS

Se entiende por proceso la organización de hombres, máquinas, y métodos orientada a actividades de trabajo, con el objetivo de producir salidas. Puede orientarse hacia características medibles que cambian a través del tiempo debido a variaciones provocadas por causas comunes o asignables. Si la variación está motivada por causas comunes, se dice que el proceso es estable y su comportamiento es predecible dentro de cierto rango de errores. De la misma forma, el desarrollo de un proceso a través del tiempo se puede seguir por medio de las gráficas de control, donde se determinan límites control. Esto permite que si uno o varios de los valores sobrepasan estos límites, se puede asumir que una causa asignable está influyendo en el proceso, y por lo tanto se hace inestable.

Usualmente, las gráficas de control tienen en cuenta ciertos indicadores que facilitan discriminar entre causas asignables y comunes, tal es el caso de la Tendencia Central (CL, Central Line) y los Límites de Control Superior e Inferior (LI y LS, Upper Control Limits y Lower Control Limits, respectivamente). En un contexto software, las gráficas de control más usadas son las XmR individuales y de rango movable, debido en algunos casos a la escasez de datos y además a que las medidas sólo se producen como datos individuales.

### 5.14 GRÁFICAS INDIVIDUALES Y DE RANGO MOVIBLE

**5.14.1 Gráficas XmR.** En las gráficas-X cada punto representa un valor aislado de la característica medible bajo observación. La línea central (CLx) expresa la tendencia media del proceso y se calcula como el promedio de los valores disponibles. Los límites de control se establecen a partir de 3 sigma X, alrededor de la media, donde sigma X es la desviación estándar estimada de los valores bajo observación. En la gráfica mR, cada punto representa un rango movable. La línea central se obtiene a partir del promedio de los rangos movibles. Un rango

movible es la diferencia absoluta entre un par sucesivo de observaciones. Los límites de control se establecen a partir de  $3 \sigma_{mR}$ , por encima de  $CL_{mR}$  en lo que refiere a  $UCL_{mR}$  y a 0 en relación con  $LCL_{mR}$ .  $\sigma_{mR}$  es la desviación estándar. Se calcula Sigma empleando una serie de factores tabulados por estadísticos, (ver gráfico 4).

## **6. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE DESMEDULADO**

El propósito de la fase de preparación de la fibra es utilizar bagazo entero y bagazo dephitado de los ingenios Manuelita, Providencia y Mayagüez para convertirla en fibra apta.

### **6.1 LAS FUNCIONES DEL PROCESO DE DESMEDULADO**

- Recibir y almacenar el bagazo proveniente de diferentes ingenios.
- Rotar la provisión de bagazo almacenado para evitar deterioro de sus propiedades
- Separar el polvillo de la fibra.
- Lavar la fibra.
- Eliminar contenido de agua al polvillo.
- Transportar la fibra apta para alimentar los digestores.

### **6.2 PARA REALIZAR SUS FUNCIONES EL PROCESO UTILIZA**

- Las aguas clarificadas provenientes de otras fases de operación.
- Aire comprimido industrial.
- Aire comprimido para instrumentos.
- Energía eléctrica.
- Agua industrial.
- Agua potable.

### **6.3 COMO RESULTADO DEL PROCESO SE OBTIENE**

- Fibra apta que se envía a los digestores.
- Polvillo o médula que se envía a la caldera.
- Agua de desecho, con solubles e insolubles y se envía al tratamiento de efluentes.
- Arena, metales cuchillas desgastadas.

### **6.4 LA OPERACIÓN DE DESMEDULADO SE HACE EN CUATRO ETAPAS LLAMADAS SUBFASES DEL PROCESO Y SON**

- Almacenamiento y alimentación de bagazo.
- Desmedulado en seco.
- Lavado y Desmedulado en húmedo.

- Transporte de fibra apta.

## **6.5 SUBFASE ALMACENAMIENTO Y ALIMENTACIÓN DE BAGAZO**

**Descripción:** En la subfase de Almacenamiento y Alimentación de bagazo se recibe y almacena bagazo proveniente de los ingenios Mayagüez, Manuelita, Providencia, y se alimenta la línea de producción. En algunos ingenios existe una planta de Dephitado en seco para retirar parte del polvillo y dejarlo en la respectiva zona.

En los desarrollos de optimización del inventario de bagazo, se varían los métodos de organización de los arrumes. En la actualidad se trabaja con dos arrumes, con el fin de dar rotación adecuada y mantener flujo constante de fibras en buen estado de conservación, para que garanticen la calidad del proceso.

El transporte del bagazo de los ingenios a la planta se realiza por medio de camiones dispuestos con uno o dos remolques o canastillas, con capacidad de más o menos 20 toneladas cada uno.

El descargue de los remolques se realiza en el patio, por el sistema Empuje – barrido, y lo hacen Cargadores de cubeta. (Buldócer).

Para la alimentación del bagazo a la siguiente subfase se cuenta con cuatro alimentadores rotatorios, cuatro transportadores de banda y uno de paletas.

## **6.6 SUBFASE DESMEDULADO EN SECO**

**Descripción:** En esta subfase el bagazo cae por gravedad a los alimentadores que son de velocidad controlada. Éstos se encargan de suministrarlo a la etapa de Desmedulado en seco que consta de cinco Desmeduladores, donde se retira una buena cantidad de polvillo; la fibra seca pasa a la subfase lavado Desmedulado en húmedo. El polvillo que desechan los Desmeduladores es conducido por canaletas cerradas al transportador de banda TD, y éste lo entrega a la línea de transportadores que van hacia Calderas para ser quemado.



## **6.7 SUBFASE LAVADO Y DESMEDULADO EN HÚMEDO**

En la sub fase de Lavado y desmedulado en húmedo la primera limpieza se desarrolla en las lavadoras de bagazo mediante la acción del agua o de licor débil proveniente del tanque de Filtrados (Zúñiga) que también es bombeada al tanque de mezcla y a la duchas del filtro rotatorio.

Las lavadoras de bagazo (fibra seca) reciben el bagazo proveniente de los Dephitters secos y tienen la función de separar a la fibra, la arena, los azúcares y otros solubles como también los materiales pesados como piedras y metales que no son atrapados por el imán. La fibra lavada Pasa a los Desmeduladores húmedos donde se limpia más, extrayendo agua-polvillo y se obtiene la fibra apta que es llevada por un transportador al tanque de mezcla.

En el tanque de mezcla se continúa la limpieza a través de un batido por medio de tres agitadores. Del tanque de mezcla la fibra es enviada al filtro rotatorio donde se le da un último lavado - enjuague con licor débil limpio, y se le extrae gran cantidad de agua en el paso obligado por una lámina de fondo tipo criba y por acción de un extractor que hace succión. El filtro tiene un alimentador la fibra apta que alimenta al transportador que va para fibra larga; el resto de fibra cae por gravedad a un transportador. La fibra continúa su recorrido a la siguiente subfase.

Las aguas de lavado del filtro rotatorio son almacenadas en un tanque llamado Stand-Pipe y luego son bombeadas a las lavadoras de bagazo para continuar su ciclo. Las aguas de rechazo de los Desmeduladores húmedos son canalizados al tanque de agua sucia, donde son bombeados a dos zarandas curvas: una es de recirculación para ayudar a extraer agua al polvillo, y el polvillo húmedo retorna nuevamente al tanque; la segunda zaranda cumple la misma función de la primera, y el polvillo húmedo cae por gravedad al sistema de la Prensa Andritz que se encarga de extraerle la mayor cantidad de agua. El polvillo que sale de la prensa Andritz es enviado a calderas por medio de los transportadores.

Las aguas filtradas son enviadas a efluentes para su tratamiento; la arena y desechos sólidos provenientes de las lavadoras son evacuados de las piscinas de sedimentación en volquetas.

## **6.8 SUBFASE TRANSPORTE DE FIBRA APTA**

En la subfase de Transporte de Fibra Apta, la fibra apta es conducida por los transportadores que la entregan al transportador de paletas.

Las paletas de este transportador reparten la carga de fibra por las bocas de entrada a la fase de cocción. La fibra que no entra a las bocas para Digestores es retornada a través de los transportadores de banda a la bodega de

almacenamiento de fibra apta. En esta bodega existen dos alimentadores de rotores de construcción similar a los del patio de almacenamiento inicial. La fibra de esta bodega se alimenta por cargadores de cubeta.

Desde el filtro rotatorio y por medio de un alimentador auxiliar se envía fibra apta al Digestor D (de fibra larga). La fibra es llevada por los transportadores que la entrega directamente a una boca de alimentación al Screw Feeder de la línea.

**6.8.1 Descripción de equipos de transporte de fibra apta.** Un transportador de doble sentido que recibe la fibra apta del alimentador del filtro rotatorio y se encarga de llevarlo hacia otro transportador que es controlado desde el panel de fibra larga, conformados por una banda de caucho que está soportada por rodillos inclinados en la parte de carga, y por rodillos horizontales en la parte de retorno, poseen un rodillo conducido y un rodillo motriz que es movido por un motor-reductor de velocidad fija, un electroimán y rodillos pesas para mantener tensionada la banda y evitar que patinen.

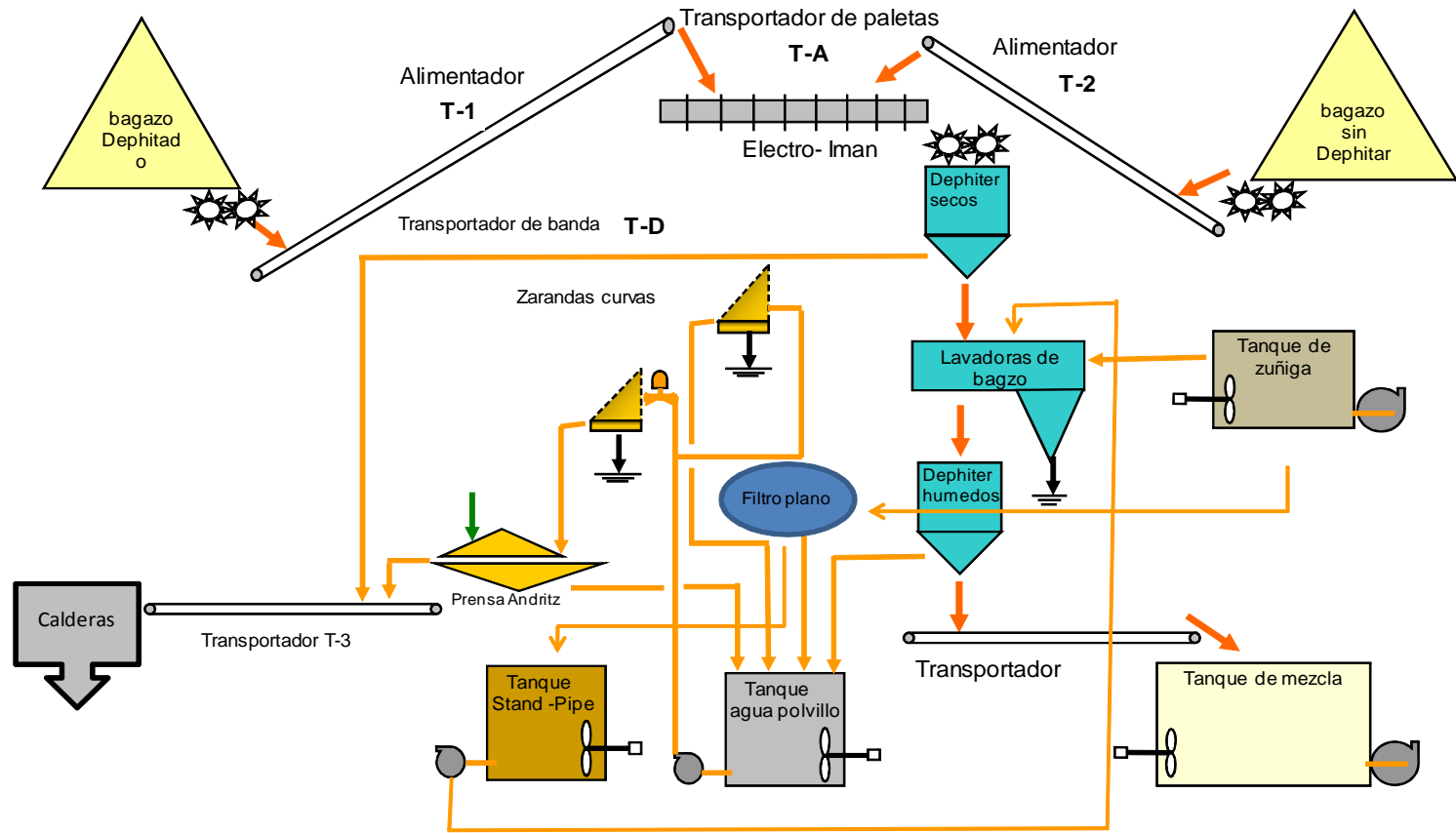
Un transportador que recibe la fibra que cae por gravedad del transportador conformada por una banda de caucho que está soportada por rodillos inclinados en la parte de carga, y por rodillos horizontales en la parte de retorno; poseen un rodillo conducido y un rodillo motriz que es movido por un motor-reductor de velocidad fija que posee un electroimán.

Dos alimentadores rotatorios conformados por un motor reductor, un control de velocidad variable y dos rotores de pines, para sobre alimentar fibra desde la bodega N° 2.

Un transportador de paletas que lleva la carga hacia los alimentadores rotatorios de los digestores A-B-C conformado por un Sproket de cola, un Sproket motriz que es movido por un motor reductor de velocidad fija, un conjunto de paletas que se encargan de mover el bagazo a lo largo del transportador y una cadena de arrastre de las paletas.

Posee una ducha que se encarga de dar un último lavado a la fibra apta antes de entrar al digestor; dos transportadores que reciben la fibra apta de rechazo del transportador de paletas se encargan de llevarlo hacia la Bodega N° 2, conformados por una banda de caucho que está soportada por unos rodillos inclinados en la parte de carga, y por rodillos horizontales en la parte de retorno; poseen un rodillo conducido y un rodillo motriz que es movido por un motor reductor de velocidad fija. El proceso de desmedulado se puede observar en la gráfica 2.

Figura 1. Proceso de desmedulado



## 6.9 PRENSA ANDRITZ

La máquina está compuesta de una serie de rodillos, duchas y equipos auxiliares montados sobre una estructura en un modelo parecido a la parte húmeda de una pequeña máquina de fabricar papel.

La máquina consiste básicamente de las siguientes partes:

- ❖ Una estructura metálica para soportar los rodillos y los equipos. La estructura está recubierta con fibra de vidrio para la prevención a la corrosión.
  
- ❖ Rodillos metálicos recubiertos de caucho como impulsores de las bandas o mallas filtrantes.
  
- ❖ Rodillos metálicos recubiertos en caucho y plástico que sirven de soporte y transporte de las 2 mallas filtrantes.
  
- ❖ Dos bandas o mallas filtrantes de material plástico con un tejido fino filtrante.
  
- ❖ Mecanismos neumáticos automáticos para guías de las bandas.
  
- ❖ Zona de prensado con rodillos metálicos recubiertos con caucho y plástico dispuestos uno encima de otro para lograr el desagüe por presión del rodillo superior sobre el inferior. Las prensas de rodillos equipados con bandejas metálicas recolectoras de agua drenada.
  
- ❖ Mecanismo de chumaceras y rodamientos para los ejes extremos de los rodillos.
  
- ❖ Ensamblaje de alimentación de la suspensión a la máquina, que consta de una caja metálica distribuidora y un tambor metálico distribuidor especial.

- ❖ Sistema impulsor de la máquina, originalmente por medio de un motor y un mecanismo reductor de velocidad con bandas de caucho. El mecanismo se completa con poleas y limitadores de recorrido. El mecanismo impulsor en la actualidad consta de un motor de velocidad variable conectado directamente a un reductor, y éste por transmisión de engranajes mueve los rodillos impulsores de las bandas.

- ❖ Regaderas o duchas limpiadoras de las bandas filtrantes.

- ❖ Cuchillas limpiadoras de superficie de rodillos tipo doctor, equipadas con accionadores de presión.

- ❖ Mecanismo de cantiliver, integrados a la estructura de la máquina que permiten montar y desmontar la las bandas o mallas filtrantes.

- ❖ Platinas especiales de montaje.

- ❖ Panel de control eléctrico para el mando del sistema impulsor, y para las alarmas y límites de protección.

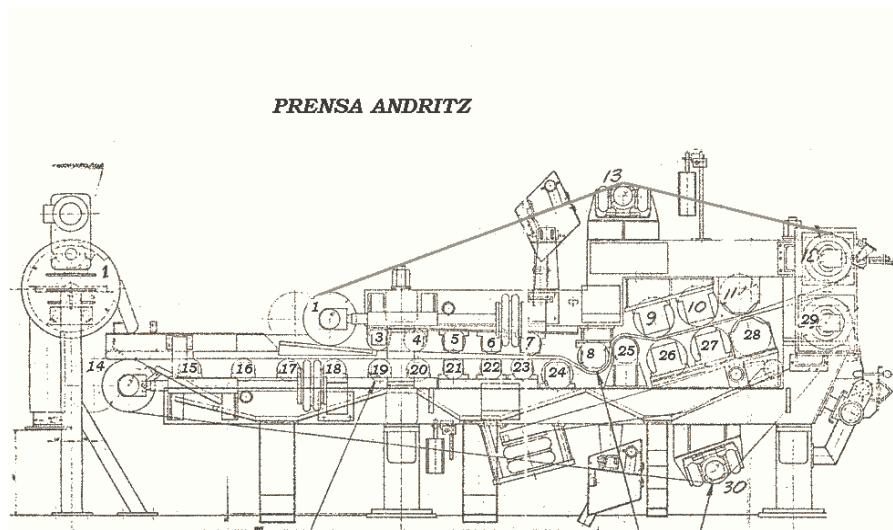
- ❖ Panel de control neumático para el mando de carga de mando del sistema impulsor de las prensas y guías de las bandas.

En la instalación, la máquina es entregada completa con todos sus accesorios para el normal funcionamiento. La máquina es un diseño estándar de máquina desaguadora de doble malla filtrante para diferentes productos y aplicaciones industriales, que ha sido adaptada por el fabricante para primera necesidad específica de Propal en la aplicación de desaguado y secado de polvillo, que es un residuo o sobrante del proceso de lavado de fibras de bagazo de caña de azúcar para la fabricación de papel.

Este residuo, que antes de la instalación de la prensa era descargado al efluente de la fábrica, creaba problemas de gran magnitud en la contaminación del río Cauca. Con esta máquina es posible secar el polvillo para quemarlo en la caldera y evitar así la contaminación del río.

La máquina ha sido diseñada para procesar 50 toneladas secas de polvillo por día. El polvillo entra a la máquina con una concentración del 2% y saldrá en forma de pasta con una sequedad entre 63% y un 68% a un transportador que se encargará de conducirlo a la caldera donde será quemado. (Ver figura 2)

**Figura 2. Prensa Andritz**



Fuente: Folleto descripción, operación y mantenimiento de la Prensa Andritz. Alirio Isaza.

## **6.10 IDENTIFICACIÓN DE PRIORIDADES Y ESTABLECIMIENTO DE LA META GENERAL**

En la identificación de prioridades en el área de desmedulado, se determinó que el problema es el alto porcentaje de humedad del polvillo a la salida del proceso de prensado (prensa Andritz), estableciendo como meta o target un valor de 65.5% y un límite de 68% y 63% para los niveles máximos y mínimos permisibles. El Comité de Ingeniería consideró razonable esta propuesta de especificaciones para reducir así a los niveles aceptables, con el fin de reducir el consumo de energía calórica para evaporar el agua existente en el polvillo que se utiliza como combustible.

Se considera que la alta humedad en el polvillo indica que el porcentaje de humedad está por encima de las especificaciones técnicas de la máquina a una normal operación, la cual debería, según su diseño y especificación, dar un resultado de 62% de humedad, lo cual contrasta con la realidad puesto que los datos obtenidos durante el seguimiento realizado entre los meses de febrero a abril del 2009 demuestran una alta humedad con un porcentaje del 75.6%. Estos datos son confiables del índice de control de humedad, que se mide a través de un procedimiento ya estipulado en el manual de procedimientos del área.

Los datos fueron tomados por el operador una vez al día de cada una de las variables del proceso en estudio. La confiabilidad está soportada en la revisión y calibración que se realiza al equipo cada dos meses. Se tomaron datos durante un mes para verificar los que se traían en la historia, con unos reportes de humedad entre 70% y 75%, y se encontró que coincidían con los datos de Febrero a Abril que es de 75,60%; por lo tanto se validó la información. Cabe anotar que la información que hay es a partir del 24 de febrero de 2009, fecha en que se empiezan a tomar los datos hasta el 22 de Abril, pero no se realizaron cambios en la máquina; se obtuvo un promedio de 75.60%, con un máximo de 85.2 y mínimo de 71.6%, teniendo en cuenta que él se tomaron datos de bagazo entero y bagazo dephitado.

## **7. METODOLOGÍA**

### **7.1 INTRODUCCIÓN**

La metodología empleada inicialmente es de carácter descriptivo, en razón a que tuvo como finalidad obtener datos de contenidos de humedad, procesarlos con la ayuda de Minitab, desdoblado el problema y determinando tendencias y patrones de variación. Esta información permitió generar un diagnóstico, cuyo análisis conduce a la identificación de causas comunes y especiales, y cuya reducción se reflejará también en la reducción de la variabilidad y la consecuente mejora del proceso.

Esto significa que la metodología seguida se basó en encontrar oportunidades de mejora mediante el análisis y reducción de las fuentes de variación. Con el análisis sugerido por la metodología se generó un plan de acción que incluiría cambios de ingeniería en el proceso, con el propósito específico de reducir el contenido de humedad y lograr las economías planeadas en costo y consumo.

### **7.2 HERRAMIENTA SIX SIGMA**

- Busca mejorar las ineficiencias como fallas, errores, desperdicios y re trabajos.
- El mejoramiento de la eficiencia y de la productividad.
- Mejoramiento de calidad.
- Reducción de costo y de tiempo.
- Aumento de la satisfacción de los clientes y de la lucratividad (ver figura 3).



**Figura 3. Herramienta Six Sigma**

FASES METODOLOGICAS			
P L A N E A R	FASE I	Identificación de las prioridades	DEFINIR
	FASE II	Establecimiento de la Meta general	
	FASE III	Desdoblamiento del problema	MEDIR
	FASE IV	Determinación de oportunidades en las variaciones	
	FASE V	Establecimiento de las metas específicas	ANALIZAR
	FASE VI	Identificación de las causas potenciales	
	FASE VII	Cuantificación y priorización de las causas	MEJORAR
	FASE VIII	Pruebas de medidas y elaboración del plan de acción	
HACER	FASE IX	Ejecución	CONTROLAR
VERIFICAR	FASE X	Verificación	
ACTUAR	FASE XI	Acciones a ser ejecutadas	

Fase I: Seleccionar los problemas prioritarios a la organización para que sea trabajado en los proyectos.

Fase II: Establecer la meta ser alcanzada y verificar la viabilidad de la solución del problema.

Fase III: Dividir un problema amplio en problemas menores con la finalidad de identificar los problemas críticos a ser atacados.

Fase IV: Evaluar la variabilidad del fenómeno que genera cada problema crítico, identificando oportunidades en las variaciones.

Fase V: Priorizar los problemas localizados y establecer metas específicas.

Fase VI: Levantar cualitativamente los posibles factores casuales generadores de cada problema específico.

Fase VII: Priorizar los factores casuales generadores del problema, y cuantificar la relación causa-efecto, utilizando herramientas estadísticas como el Minitab.

Fase VIII: Establecer condiciones adecuadas de operación de los parámetros del proceso, elaborar plan de acción.

Fase IX: Implementar las acciones de acuerdo con lo propuesto en el plan de acción.

Fase X: Verificar alcance de las metas establecidas general y específicas.

Fase XI: Adoptar acciones para alcanzar las metas no alcanzadas y para garantizar la continuidad de las metas ya alcanzadas.

Las determinaciones de humedad que sean necesarias se realizarán siguiendo el Método "Porcentaje de humedad" (Ver anexo A).

Después de tener los análisis respectivos de humedad se procesó estadísticamente la información, y luego de tener el análisis respectivo de humedad se utilizó la herramienta Six Sigma en la Etapa Green Belt, siguiendo cada una de sus fases, para de esta forma lograr alcanzar los objetivos planteados en nuestro trabajo.

## **8. RECOLECCIÓN DE DATOS Y DIAGNÓSTICO**

### **8.1 DEFINICIÓN DE LÍMITES**

Partiendo del principio básico de que todo aquello que podemos medir se controla mejor, entonces en primer lugar es necesario mencionar que el estudio se inició con el propósito de bajar el nivel de humedad del polvillo, para lo cual se fijó como meta unos límites de humedad aceptables a los cuales se debía llegar, aplicando el proceso planteado en la presente investigación. De acuerdo al diseño de la máquina, el material puede contener un 62% de humedad como mínimo; sin embargo el Comité de Ingeniería decidió como meta un valor nominal de 65,5%, con un LI 63% y LS DE 68%. La justificación es por el deterioro que ha sufrido en su parte estructural, debido a su utilización continua durante 25 años. Estas especificaciones fueron aprobadas por el Comité Directivo de Six Sigma, y quedó como un objetivo ambicioso de alcanzar.

El proyecto de disminución de humedad del polvillo en la prensa Andritz, que fue desarrollado desde el mes de Febrero al mes de Diciembre del año 2009 en el área de Desmedulado en la empresa Propal, permitió obtener datos, aclarando que del mes de Febrero al mes de Marzo se presentan los datos de bagazo entero y dephitado por separado; a partir de junio se presentan únicamente los del bagazo mezclado, con el cual se trabajó observando y determinando su comportamiento de humedad hasta el final del proyecto.

### **8.2 DESCRIPCIÓN DE LOS TÉRMINOS DE GRÁFICAS**

Para entender los resultados arrojados por el software, es necesario aclarar algunos términos que se presentan en las gráficas respectivas.

- Samples: Número de elementos de la muestra
- Mean: Media
- Std Desv : Desviación estándar

Skewness: Es una medida de asimetría que, como su nombre lo indica, determina si una distribución es simétrica o si tiene asimetría negativa o asimetría positiva, según sea el signo del valor resultante: negativo o positivo respectivamente.

CpK, Cp y Cpm : Son índices que miden la capacidad; suministran una medida numérica del ajuste que tiene un proceso a unos límites de especificación preestablecidos. Estos índices se calculan en razón a que es fundamental poder

establecer qué porcentaje del material está por fuera de las especificaciones. Un análisis de capacidad clásico supone que el proceso se encuentre bajo control estadístico, que la distribución del proceso sea normal y que exista independencia entre las observaciones.

En resumen, los índices de capacidad suministran información sobre qué tanto el proceso se ajusta a los límites de especificación establecidos.

### 8.3 FORMA DE CÁLCULO

$$a) C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma}$$

$$b) C_{pk} = \min \left( \frac{USL - \mu}{3\sigma} ; \frac{\mu - LSL}{3\sigma} \right)$$

$$c) C_{pm} = \frac{USL - LSL}{6\sigma^2 + (\mu - T)^2}$$

#### 8.4 DATOS INICIALES, SIN MODIFICAR EL EQUIPO

Tabla 2. Resultados de humedad en bagazo entero, sin modificar el equipo.

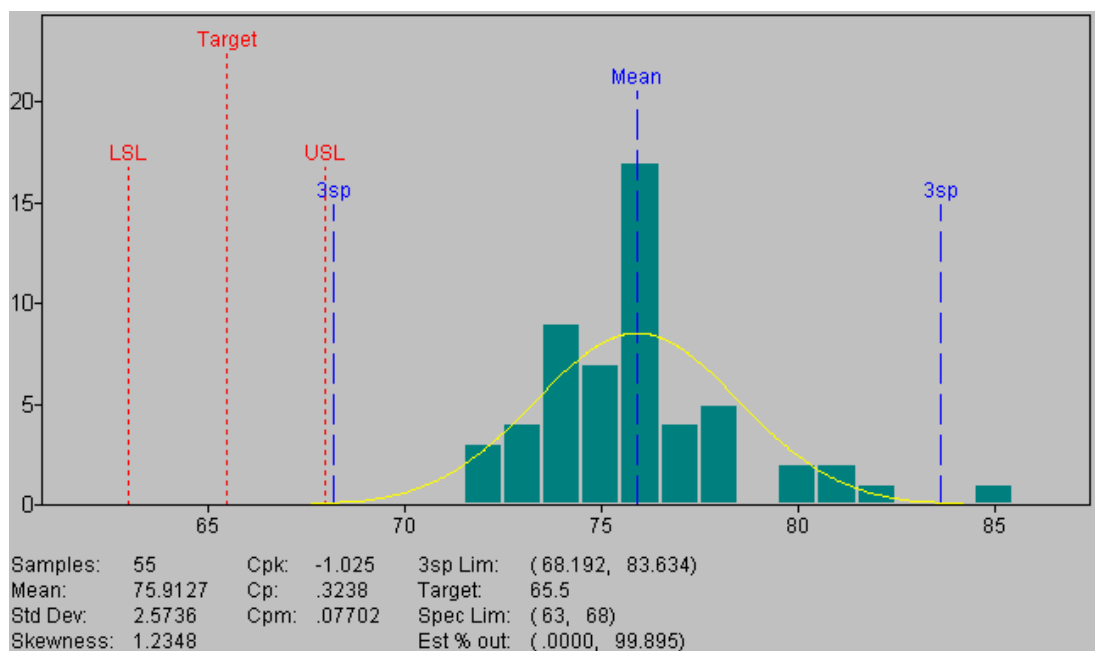
FECHA	% HUMEDAD
24/02/2009	76,4
24/02/2009	85,2
25/02/2009	75,6
25/02/2009	75,2
25/02/2009	74,8
26/02/2009	79,6
27/02/2009	76
27/02/2009	76
27/02/2009	74,4
02/03/2009	78
02/03/2009	79,6
02/03/2009	81,2
03/03/2009	74,8
03/03/2009	74,8
04/03/2009	72,4
04/03/2009	74,4

**Tabla 2. Continuación**

05/03/2009	73,6
05/03/2009	72,8
05/03/2009	74,8
06/03/2009	72,8
06/03/2009	73,2
06/03/2009	72,4
09/03/2009	81,2
09/03/2009	82
09/03/2009	78,4
10/03/2009	77,2
10/03/2009	75,6
12/03/2009	74
12/03/2009	76,8
12/03/2009	71,6
13/03/2009	78
13/03/2009	76,8
25/03/2009	74,8
27/03/2009	73,6
27/03/2009	76
27/03/2009	75,6
30/03/2009	75,6
30/03/2009	74,4
30/03/2009	74,8
01/04/2009	75,6
01/04/2009	72,8
01/04/2009	74
02/04/2009	78,4
02/04/2009	76,4
02/04/2009	76
03/04/2009	75,6
03/04/2009	76,8
03/04/2009	74
13/04/2009	76,4
14/04/2009	76
14/04/2009	77,6
15/04/2009	75,6
15/04/2009	76,4
16/04/2009	75,6
16/04/2009	73,6

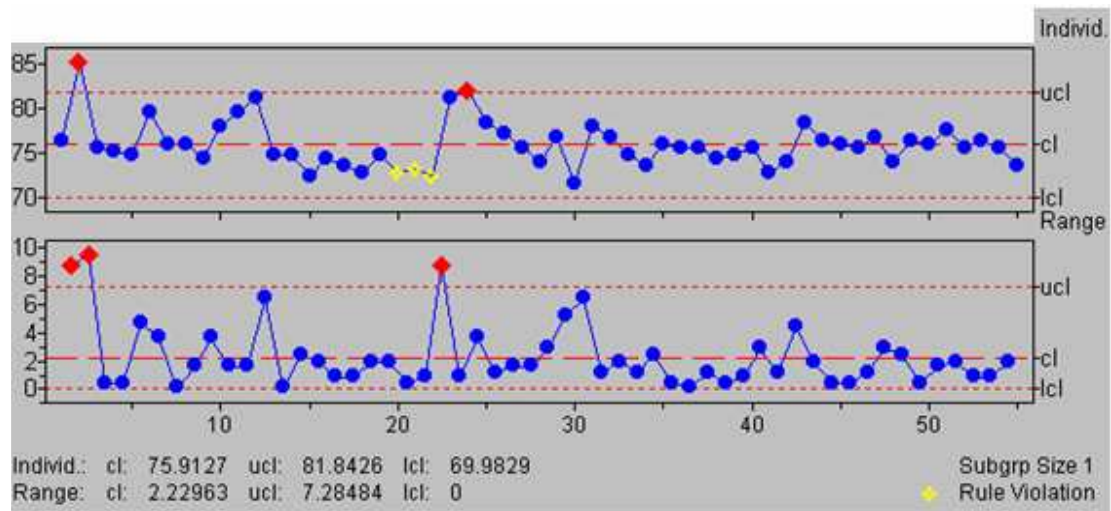
En la tabla 2 se evidencian los resultados tomados de la humedad del polvillo a la salida de la prensa en el bagazo entero, desde el 24 de Febrero al 16 de Abril, presentando un diagnóstico con un promedio de 75,91%; es importante resaltar que el día 12 de Marzo de 2009 se presentó una humedad mínima de 71,6%, y el 24 de Febrero del 2009 se presentó el valor máximo de 85,2%. Estos datos se obtienen sin modificaciones del equipo, y se constituyen como la base para verificar y cuantificar los objetivos propuestos en el proyecto.

**Gráfico 3. Histograma de comportamiento de humedad del bagazo entero sin modificaciones de la máquina**



En la gráfica 3 se observa claramente que los límites previamente establecidos, a los cuales se quiere llegar con la propuesta hecha en el presente estudio, están sustancialmente por debajo de los límites 3sigma que arrojaron los datos reales; además se observa que el índice de asimetría (Skewness) es igual a 1,2348, valor que por ser positivo significa que la distribución de datos tiene una ligera asimetría positiva, mostrando así que la variable en estudio: “humedad del bagazo” tiene una tendencia natural a bajar más allá de los niveles medios que se observan a través de los datos que se tomaron sin hacerle ninguna modificación al equipo. Nótese esto mediante la observación de la gráfica 3, en donde hay gran concentración alrededor de la media 75,9127 y unos pocos datos cerca de 80. El Cpk negativo indica que el proceso de remoción de agua de bagazo está no solamente descentralizado respecto del nominal, si no también fuera de especificaciones.

**Gráfico 4. Gráfica individual y de Rango móvil de comportamiento de humedad del bagazo entero sin modificaciones de la máquina**



En la gráfica 4 se puede corroborar, observando las gráficas individual (gráfica-X) y la de rango móvil (Gráfica XmR) de la parte de abajo que se presentan con nubes de puntos unidas por pequeños segmentos, que muestran claramente una gran cantidad de puntos por debajo de la línea media (Cl). La desviación estándar logra una magnitud de 1.9766, lo cual es en realidad un valor grande puesto que si observamos las especificaciones establecidas por la organización en términos de Six sigma tendríamos  $\sigma$  0.83 y el sigma sería muy grande.

Debe quedar claro que la sigma calculada a partir de gráfico de control es el sigma a corto plazo.



**Tabla 3. Resultados de humedad en bagazo dephitado, sin modificar el equipo**

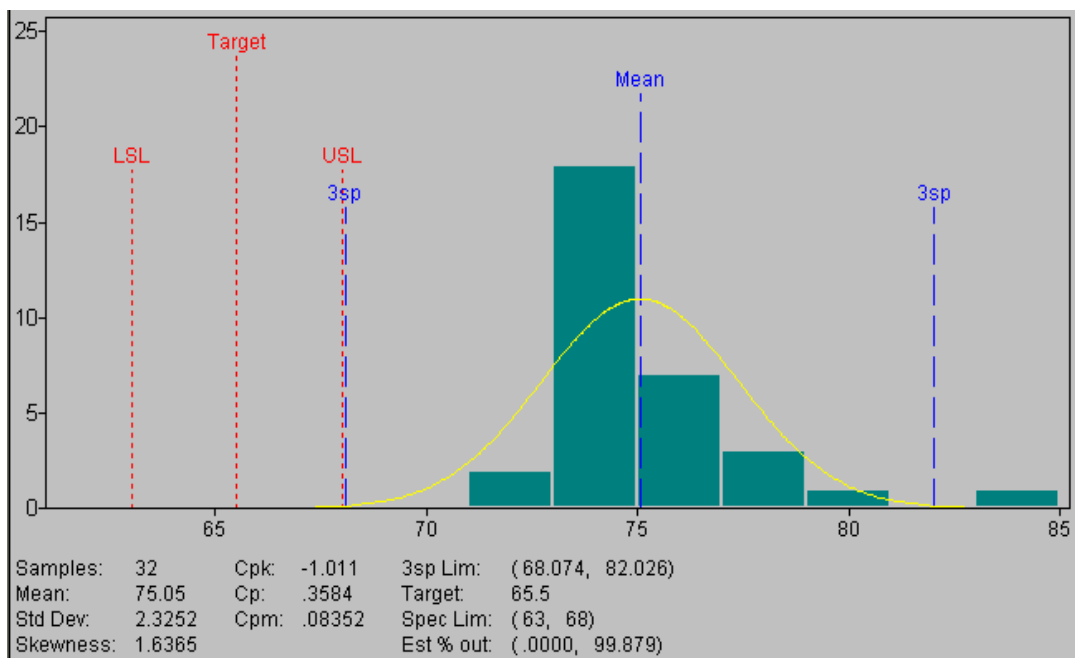
FECHA	% HUMEDAD
13/03/2009	79,6
16/03/2009	78
16/03/2009	83,2
16/03/2009	78,8
17/03/2009	73,2
17/03/2009	74
17/03/2009	72
18/03/2009	74,4
18/03/2009	74

**Tabla 3. Continuación**

18/03/2009	73,2
19/03/2009	75,6
19/03/2009	75,2
19/03/2009	71,6
20/03/2009	73,2
20/03/2009	77,6
20/03/2009	76,8
24/03/2009	74
24/03/2009	74,8
24/03/2009	75,6
25/03/2009	75,2
17/04/2009	75,6
17/04/2009	74,8
17/04/2009	74,4
20/04/2009	73,6
20/04/2009	74,8
20/04/2009	74
21/04/2009	75,2
21/04/2009	73,6
21/04/2009	74
22/04/2009	74,4
22/04/2009	73,2
22/04/2009	74

En la tabla 3 se evidencian los resultados tomados de la humedad del polvillo a la salida de la prensa en el bagazo dephitado desde el 13 de Marzo al 22 de Abril, presentando un diagnóstico con un promedio de 75,05%; es importante resaltar que el día 19 de Marzo de 2009 se presentó la humedad mínima de 71,6% y el 16 de Marzo del 2009 se presento el valor máximo de 83,2%. Como se puede analizar el promedio del bagazo entero es mayor que el del bagazo dephitado, demostrándose en el diagnóstico de los promedios anteriores del bagazo entero que es 75.91% y en el dephitado de 75.05%. Estos datos se obtienen sin modificaciones del equipo, y se constituyen como la base para verificar y cuantificar los objetivos propuestos en el proyecto.

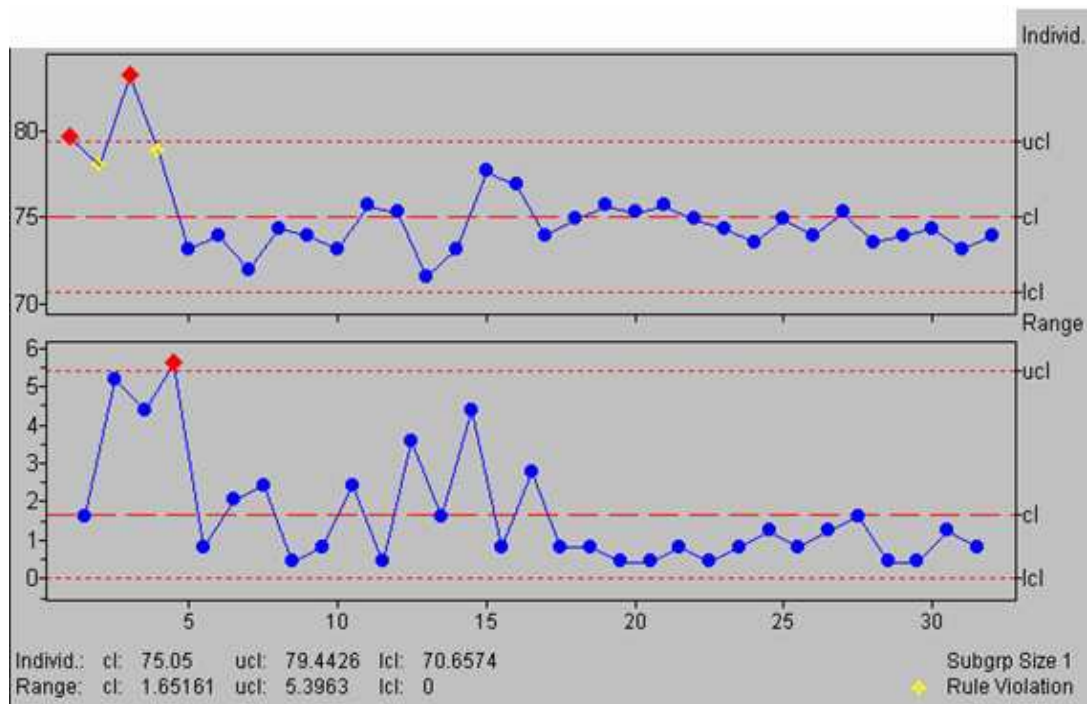
**Gráfico 5. Histograma comportamiento de humedad del bagazo dephitado sin modificaciones de la máquina**



La gráfica 5 nos deja ver que del día 13 de marzo de 2009 al 22 de abril de 2009 se tomaron 32 observaciones sobre la misma variable: "humedad del bagazo"; en el gráfico número 2 se muestran los indicadores que permiten inferir que la media bajó de 75,9127 a 75,05, dando idea que este proceso tiene un cierto efecto sobre la variable en estudio, y podría ser observado y revisado ese proceso de dephitado para ver si es posible lograr mayor efecto sobre la variable humedad.

Por otra parte el índice de asimetría (Skewness) da 1,6365, positivo y un poco mayor que en el gráfico número 3, implicando que en este caso la distribución también tiene una asimetría positiva, y nuevamente invita a pensar que hay una gran concentración de datos tendiendo hacia el límite inferior del intervalo tomado a 3 sigma a partir de la media.

**Gráfico 6. Gráfica individual y de Rango móvil de comportamiento de humedad del bagazo dephitado sin modificaciones de la máquina**



En la gráfica 6 se ve que hay una gran cantidad de puntos por debajo de la línea media (CI), confirmando lo dicho anteriormente. También se tiene que la oscilación de los datos a un radio de 3 sigmas está entre 70,6574 y 79,4426. Los rangos móviles tienen una media de 1,65161 y a 3 sigmas oscila entre 0 y 5,3963.

La desviación estándar es del orden de 1.9766, lo cual significa que la media aquí calculada es menos representativa que en el caso presentado en la gráfica 3.

Además, se puede mencionar que la distribución de los datos sobre la humedad del bagazo habiendo hecho el proceso de Dephitado sin modificar el equipo se encuentra muy por fuera de los límites previamente establecidos, lo cual conlleva a pensar que el solo dephitado no logra los límites de humedad propuestos, y ni siquiera se acerca de manera significativa.

Tanto en la gráfica número 3 como en la gráfica número 5 se tiene que  $C_p \leq 0,67$  indicando que el proceso no es adecuado y requiere modificaciones para lograr lo deseado y especificado. Además  $C_{pk} \leq C_p$  lo cual implica que el proceso no está centrado, y como  $C_{pm}$  es muy pequeño en ambos casos se concluye que el proceso de remoción de humedad no es capaz de cumplir las especificaciones pretendidas por la organización, y su centramiento de las especificaciones del objetivo (65.5%)

## **9. RESULTADOS EN LAS VARIACIONES**

Los tipos de variación que están presentes en la humedad de la prensa Andritz son los siguientes:

### **9.1 ANÁLISIS DE VARIACIÓN I**

El análisis de variación se hizo a través de las Gráficas 3 y 4, donde se muestra el comportamiento de humedad sin modificar el equipo; posteriormente se realizó un trabajo de campo, el cual permitió observar las causas especiales e identificar muchas anomalías del equipo, como se muestra en la Gráfica 5. Se decidió analizar estas causas especiales para recuperar las condiciones del equipo y tener datos del proceso más estables, y con estos datos volver a repetir análisis de variación.

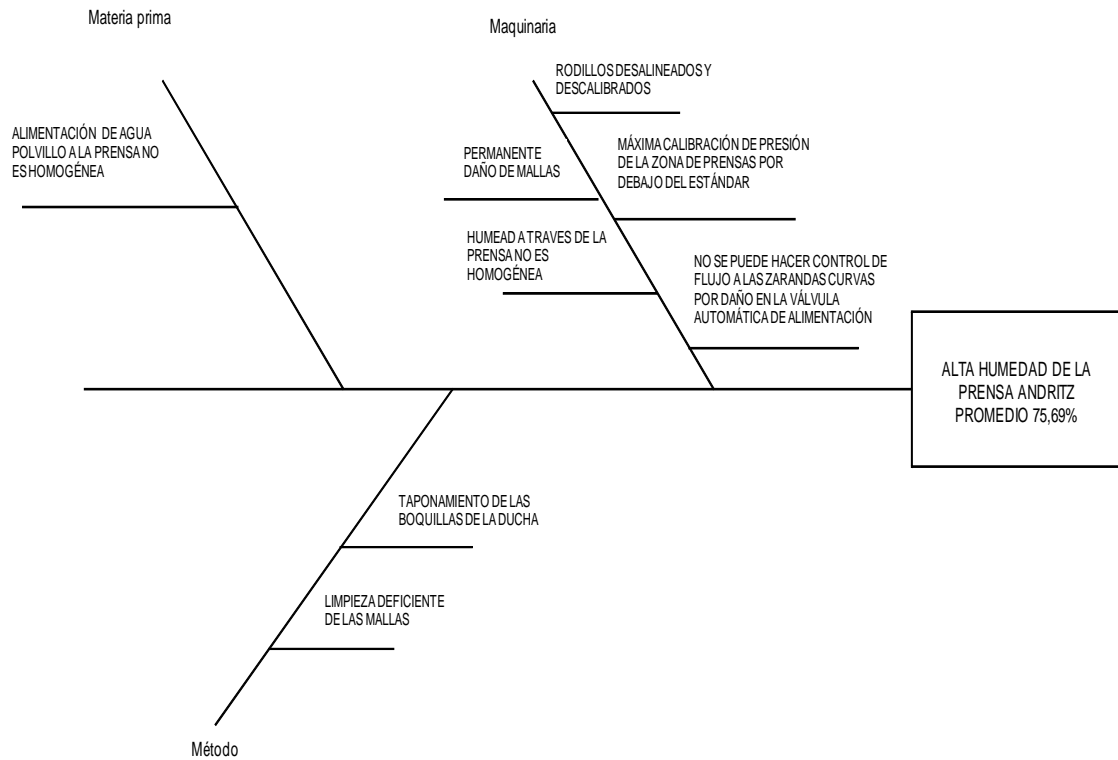
### **9.2 DETERMINACIÓN DE LAS CAUSAS DE ALTA HUMEDAD**

Para este propósito se utilizó el diagrama de Causa – Efecto definido mediante un esquema participativo los siguientes factores:

- ✓ Materia prima.
- ✓ Máquinaria.
- ✓ Método.

En la construcción del diagrama participaron: 2 Ingenieros de operación, 6 operación, 3 personas de mantenimiento y el suscrito.

**Figura 4. Espina de pescado**



La figura 4 analiza las causas especiales del equipo por la cual se producía una alta humedad evaluando tres factores principales: maquinaria, materia Prima y método, de las que se desprenden otras causas importantes las cuales perjudican la humedad a la salida de la Prensa.

En el cuadro 1 se presenta un análisis de las causas identificadas en el diagrama de Ishikawa, priorizando según maquinaria, método y finalmente según materia prima. El análisis se realizó con la metodología “del porque” a fin de identificar la causa siguiente de cada problema.

En este método se va de lo grave a lo particular, lo que proporciona un agrupamiento claro de las causas potenciales, relacionando la complejidad y atacando directamente el problema.

**Cuadro 1. Análisis de causas según el diagrama de espina de pescado**

Numeracion	Afinidad	Causa primaria	Causa secundaria	Causa terciaria	Causa cuarta	Causa quinta	Causa sexta	Nombre de la causa
1.	Maquinaria	PERMANENTE DAÑO DE MALLAS	Objetos extraños en el polvillo	El electroiman no alcanza a sacar tornillos, arandelas, etc	El bagazo de los ingenios vienen con materiales sólidos	No hay sistema de limpieza en los ingenios	Porque se alimenta a veces directamente de la planta de Propal y otras veces de las bodegas de almacenamiento	Porque se alimenta a veces directamente de la planta de Propal y otras veces de las bodegas de almacenamiento
1.1	Maquinaria	PERMANENTE DAÑO DE MALLAS	Mallas reusadas	Se utilizan mallas recuperadas de las lonas de las máquinas para disminuir gastos	Algunas mallas viene demasiado tostadas	Porque han trabajado más tiempo que la vida útil o ha sufrido averías inesperadas		Porque han trabajado más tiempo que la vida útil o ha sufrido averías inesperadas
1.3	Maquinaria	PERMANENTE DAÑO DE MALLAS	Material de los empalmes de mala calidad	Como es una actividad que no está estandarizada, no hay materiales especificados ni procedimientos				Como es una actividad que no está estandarizada, no hay materiales especificados ni procedimientos
1.4	Maquinaria	PERMANENTE DAÑO DE MALLAS	Exceso de carga	No hay control automático confiable	La válvula automática está en mal estado	La velocidad de la prensa no está condicionada con el flujo del sistema	No se trabaja con control en automático siempre	No se trabaja con control en automático siempre
2.	Maquinaria	HUMEDAD A TRAVES DE LA PRENSA NO ES HOMOGÉNEA	Porque los rodillos están desnivelados	Porque los rodillos están desgastados formando ondulaciones	Porque el alimentador (rotor) de la prensa está desalineado	Porque cuando se hace mantenimiento no se toman las medidas iniciales y se dejan con las mismas medidas		Porque cuando se hace mantenimiento no se toman las medidas iniciales y se dejan con las mismas medidas
3.	Maquinaria	RODILLOS DESALINEADOS Y DESCALIBRADOS						Rodillos desalineados y descalibrados

**Cuadro 1. Continuación**

Numeracion	Afinidad	Causa primaria	Causa secundaria	Causa terciaria	Causa cuarta	Causa quinta	Causa sexta	Nombre de la causa
4.	Maquinaria	MÁXIMA CALIBRACIÓN DE PRESIÓN DE LA ZONA DE PRENSAS POR DEBAJO DEL ESTÁNDAR. NO SE PUEDE HACER CONTROL DE FLUJO A LAS ZARANDAS CURVAS POR DAÑO EN LA VÁLVULA AUTOMÁTICA DE ALIMENTACIÓN.	Porque no hay un procedimiento donde se diga cuál es el estándar					Porque no hay un procedimiento donde se diga cuál es el estándar
5.	Maquinaria	TAPONAMIENTO DE LAS BOQUILLAS DE LA DUCHA.	Porque la válvula automática está en mal estado	Porque se ha desgastado y no hace buen control	Porque no hay válvula de repuesto	No se ha decidido si se compra una válvula nueva o se cambia por un variador de velocidad de la bomba		No se ha decidido si se compra una válvula nueva o se cambia por un variador de velocidad de la bomba
6.	Método	LIMPIEZA DEFICIENTE DE LAS MALLAS.	Porque pasa mucho material grues por los filtros	Porque se saturan los filtros y pierden efectividad	porque no se hace limpieza permanente de los filtros	Porque no hay procedimiento que estipule la frecuencia de limpieza		Porque no hay procedimiento que estipule la frecuencia de limpieza
6.1	Método	ALIMENTACIÓN DE AGUA POLVILLO A LA PRENSA NO ES HOMOGÉNEA.	Porque se taponan las boquillas	Caso anterior				Caso anterior
7	Materia Prima							Alimentación de agua polvillo a la prensa no es homogénea

El cuadro 3 evidencia y descompone las causas que afectan el buen funcionamiento de la Prensa Andritz.

**Cuadro 2. Plan de acción e implementación**

NUMERACION	CAUSA	QUE (Actividad)	COMO (Método)	DONDE (Sitio)	PORQUE (Justificación)	IMPACTO	PROBLEMAS POTENCIALES MAS PROBABLES	ACCIONES PREVENTIVAS)
1.	Limpieza deficiente de las mallas	cambiar la ducha estática por una osciladora	prelistando el moto reductor, la base y la ducha	en la zona de malla inferior	la ducha esta limpiando solo en franjas y no abarca toda el área de malla	mejorar la eficiencia de evacuación de agua por la malla inferior	consecución de los equipos	
1.2	Permanente daño de mallas y baja eficiencia del equipo	cambiar la mallas que se recuperan de las lonas de las maquinas , por mallas originales de la prensa	solicitando la compra de las mallas originales, alistándolas y programar el cambio	en la prensa andritz	la mallas que se están utilizando no tienen el área abierta que se requiere para la filtración del agua, deacuerdo a las especificaciones de diseño	mejorar la eficiencia del equipo	demora en la importación de la malla	hacer seguimiento a la compra y llegada de la mallas
1.3	Porque las mallas han trabajado más tiempo que la vida útil o ha sufrido averías inesperadas	cambiar la mallas que se recuperan de las lonas de las maquinas , por mallas originales de la prensa	solicitando la compra de las mallas originales, alistándolas y programar e cambio	en la prensa andritz	la mallas que se están utilizando no tienen el área abierta que se requiere para la filtración del agua, deacuerdo a las especificaciones de diseño	mejorar la eficiencia del equipo	demora en la importación de la malla	hacer seguimiento a la compra y llegada de la mallas
2.	Humedad a traves de la prensa no es homogénea	alinear el rotor en la caja de entrada	soltando el equipo y calibrándolo	en la caja de entrada de la prensa	la alimentación no era pareja y la humedad tampoco	la eficiencia de la prensa muy baja		
3.	Rodillos desalineados y descalibrados	alinear rodillos	utilizando equipo de alineación láser durante las paradas programadas	toda la prensa	cada ves que se mueve o se cambia un rodillo se debe alinear con las holguras que manda los planos	mejorar la eficiencia del equipo	tiempo de parada	incluir en plan de mantenimiento preventivo
4.	Porque no hay un procedimiento donde se diga cuál es el estándar de presión de la zona de prensa	elaborar el DOE	sacando las variables críticas para realizar el diseño	en el equipo	para buscar los datos y seleccionar cuales son los adecuados para cumplir con la meta estipulada	es clave para lograr la meta		



**Cuadro 2. Continuación**

NUMERACION	CAUSA	QUE (Actividad)	COMO (Método)	DONDE (Sitio)	PORQUE (Justificación)	IMPACTO	PROBLEMAS POTENCIALES MAS PROBABLES	ACCIONES PREVENTIVAS)
5.	No se puede hacer control de flujo a las zarandas cunas por daño en la válvula automática de alimentación	cambiar o reparar la válvula automática	haciendo la solicita al departamento de instrumentación y cambiar la válvula	en la línea de flujo hacia la zsaranda curva	no se puede hacer control del flujo y sin ello no se puede realizar el DOE	control de flujo para mejorar el funcionamiento de la prensa	por importación tiene tiempo de entrega largo	reparar la válvula existente de forma provisional
6	Taponamiento de las boquillas de la ducha	instalar filtros en la línea de agua	adecuando la tubería para la instalación de los filtros	en la entrada de agua a la ducha	al taparse las duchas se tapa malla y se atasca la prensa	daño en la mallas y paro en la fase		mientras se montaba los filtros, hacer limpieza permanente de las duchas.
6.1	Porque no hay procedimiento que estipule la frecuencia de limpieza	cambiar el tipo de boquillas actuales por boquillas en abanico con mayor diámetro	prealistando la ducha	en el taller de mto	porque las actuales boquillas no abarcan toda el área de la malla y se forman franjas de humedad en el polvillo en los sitios donde la limpieza es deficiente	elimina las franjas de humedad	esperar parada del equipo	
7.	Alimentación de agua polvillo a la prensa no es homogénea	aumentar la velocidad del rotor alimentador	cambiando la relación de transmisión	en la caja de entrada de la prensa	la alimentación se estaba dando por baches por la baja alimentación	eliminar franjas de humedad en el producto	se aumenta la potencia requerida con la posibilidad de cambiar el moto reductor	tomar el amperaje del motor a plena carga y calcular la capacidad de aumento de potencia requerida
8.	Porque cuando se hace mantenimiento no se toman las medidas iniciales y se dejan con las mismas medidas	divulgar y capacitar al personal de mto cuales son los estándares de medidas con que queda la prensa	cuando se defina los valores de medidas de alineación y nivelación de los rodillos se hace un plano y se publica en el taller de mto para que todos lo conozcan					

### 9.3 ANÁLISIS DE VARIACIÓN II

A partir del 24 de Abril se realizaron cambios a la máquina, los cuales fueron colocar los rodillos faltantes, remplazando los que estaban en mal estado, alineándolos y calibrándolos, utilizando un equipo de alineación laser durante las paradas programadas en toda la prensa, porque cada vez que se mueve o se cambia un rodillo se debe alinear con las holguras especificadas en los planos mejorando la eficiencia del equipo, como se puede observar en las Figura 5 a la Figura 7.

**Figura 5. Prensa andritz con rodillos faltantes**



**Figura 6. Rodillos en mal estado**



**Figura 7. Cambio, alineación y calibración**



Por el permanente daño de mallas y baja eficiencia del equipo, se cambiaron las mallas que se recuperan de la parte de máquinas, para ser utilizadas en la prensa por mallas originales, solicitando la compra de éstas porque las mallas que se están utilizando no tienen el área abierta que se requiere para la filtración del agua, de acuerdo a las especificaciones de diseño, mejorando la eficiencia del equipo.

A partir del día 9 de Junio se empezó a mezclar el bagazo dephitado y entero de los ingenios que suministran esta materia prima; uno no tiene el proceso de dephitado, mientras que los otros ingenios si tienen este proceso. Después de realizar análisis, los ingenieros del área de desmedulado llegaron a la decisión de mezclar el bagazo entero con el dephitado y de esta manera se ahorran tiempo de proceso. Al realizar esta acción de mejora no es necesario cambiar las cuchillas para trabajar con este bagazo.

En la entrada de agua a la ducha se instalaron filtros en la línea de agua, por el constante taponamiento de las boquillas de las duchas que llevaban grandes cantidades de polvillo, tapando las mallas y atascando la prensa; se adecúa la tubería para la instalación de los filtros aprovechando para hacer limpieza permanente de las duchas, como se observa en la Figura 8. Instalación de filtros en la línea de agua.

**Figura 8. Instalación de filtros en la línea de agua**



Por la deficiencia de la limpieza en la malla inferior se cambia la ducha estática por una osciladora, porque la ducha solo estaba limpiando en franja y no abarca toda el área de la malla para mejorar la eficiencia de evacuación de agua, pero no dio el resultado esperado por que las boquillas no abarcaban toda el área, formándose franjas de humedad con polvillo en los sitios donde la limpieza era deficiente, lo cual alteraba el producto final; se tomó la decisión de cambiar el tipo de boquillas actuales por boquillas en abanico con mayor diámetro, la cual eliminó las franjas de humedad. Luego de corregir las anomalías principales de la prensa Andritz, se observa una mejora en el comportamiento de la humedad (ver Gráfica 6), donde el promedio fue de 68,3%; si comparamos el promedio de los datos del 22 de Febrero al 24 Abril fue 75,60%, notamos una alta diferencia que es de un 7,3% entre los dos.

Después del mes de Julio se realizaron nuevos cambios para mejoramiento de la humedad como fueron: la alimentación de agua polvillo y la humedad a la prensa no es homogénea, por esta razón se aumentó la velocidad del rotor alimentador y se alineó, cambiando la relación de transmisión en la caja de entrada de la prensa y soltando el equipo y calibrándolo; se estaban presentando baches, no era pareja la alimentación y la humedad; eliminando las franjas de humedad en el producto.

Se reparó la válvula automática de alimentación para tener un control del flujo a la entrada de las zarandas curvas como se observa en la Figura 9 y la Figura 10, las cuales nos ayudan a tener una mejor alimentación homogénea para el mejor funcionamiento de la prensa.

### **Figura 9. Válvula automática**

La función de ésta es controlar el flujo de agua polvillo que llega a las zarandas curvas, para que éstas extraigan la máxima cantidad de agua antes de llegar a la Prensa Andritz.



Su función es de recirculación para ayudar a extraer agua al polvillo, y el polvillo húmedo retorna nuevamente al tanque; la segunda zaranda cumple la misma función de la primera, y el polvillo húmedo cae por gravedad al sistema de la Prensa Andritz, que se encarga de extraerle la mayor cantidad de agua.

### **Figura 10. Zarandas curvas.**



Después de las mejoras que se realizaron en el transcurso del Proyecto, las condiciones en la que se dejó la Prensa Andritz, para su óptimo funcionamiento dan un promedio de humedad de 65,6 %, cumpliendo así la meta planteada por la organización al inicio de este proyecto. Como podemos observar en la Figura 11.

**Figura 11. Prensa Andritz en óptimas condiciones.**



**10. DATOS DEL COMPORTAMIENTO DE LA HUMEDAD DEL BAGAZO  
DEPHITADO Y ENTERO, DESPUÉS DE REALIZAR AJUSTES Y  
MODIFICACIONES AL EQUIPO**

**Tabla 4. Resultados de humedad en bagazo dephitado**

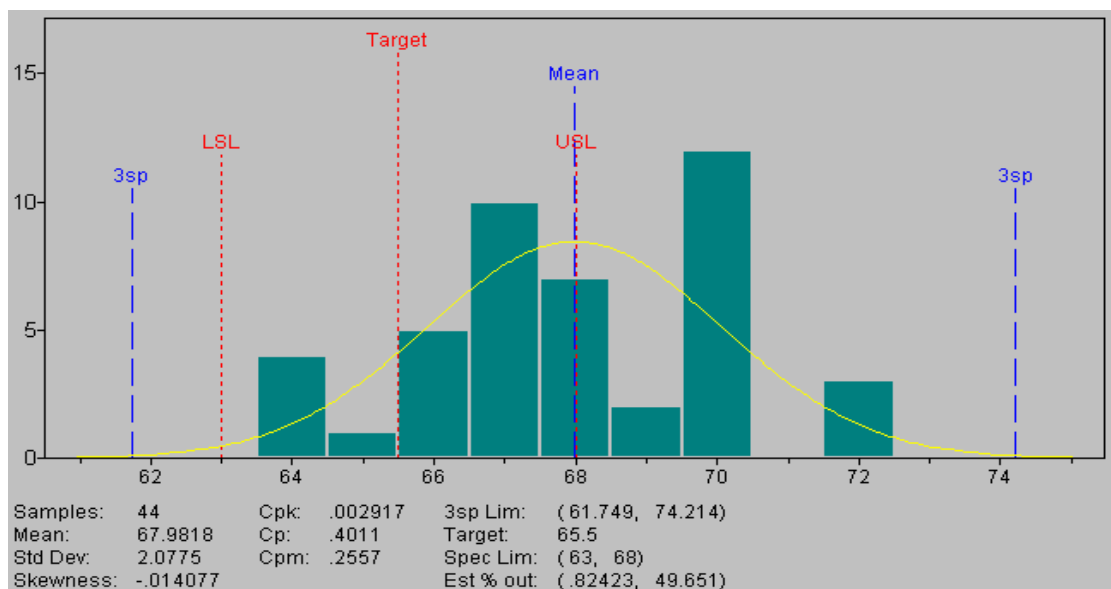
FECHA	% HUMEDAD
24/04/2009	67,2
24/04/2009	67,2
24/04/2009	67,2
27/04/2009	67,2
27/04/2009	67,6
27/04/2009	67,2
28/04/2009	67,2
28/04/2009	67,6
28/04/2009	67,6
29/04/2009	67,2
29/04/2009	66,8
30/04/2009	68,8
30/04/2009	67,6
30/04/2009	68
12/05/2009	71,6
12/05/2009	71,6
14/05/2009	70,4
14/05/2009	70,4
14/05/2009	71,6
18/05/2009	70
18/05/2009	70,4
18/05/2009	70
19/05/2009	70,4
19/05/2009	70,4
19/05/2009	70
21/05/2009	70
21/05/2009	70
21/05/2009	69,6
22/05/2009	69,6
22/05/2009	66
22/05/2009	66
26/05/2009	66

**Tabla 4. Continuación**

26/05/2009	64,4
26/05/2009	65,2
27/05/2009	68
27/05/2009	66
27/05/2009	66,8
28/05/2009	67,2
28/05/2009	67,6
29/05/2009	66
29/05/2009	64
30/05/2009	68,8
30/05/2009	64,4
30/05/2009	64,4

En la tabla 4 se evidencian los resultados tomados de la humedad del polvillo a la salida de la prensa en el bagazo dephitado desde el 24 de Abril al 30 de Mayo, presentando un diagnóstico con promedio de 67,98%; es importante resaltar que el día 29 de mayo de 2009 se presentó la humedad mínima de 64%, y el 14 de Mayo del 2009 se obtuvo el valor máximo de 71,6%. Se presento una disminución en la humedad por ajustes realizados a la máquina, dando resultados positivos para el desarrollo de nuestro estudio.

**Grafico 7. Histograma comportamiento de humedad del bagazo dephitado con modificaciones de la máquina**





En la gráfica 7 se tiene la información recogida por medio de 44 observaciones o mediciones de la humedad del bagazo dephitado después de haber realizado ajustes y modificaciones al equipo. Tales mediciones se tomaron entre el 24 de abril de 2009 y el 30 de mayo de 2009, las cuales, a 3 sigmas oscilan entre 65,4831 y 70,4806, además los rangos móviles oscilan entre 0 y 3,06973 con una media de 0,9395, o sea que la diferencia promedio entre cada medida hecha día a día fue de tan solo dicho valor.

En esta gráfica se nota cómo los datos ya no se encuentran tan lejos de los límites preestablecidos y están tendiendo a centrarse en el intervalo establecido, aunque no de forma ideal. Se puede ver que la media ha logrado bajar hasta 67,9818 con una desviación estándar de 2,0775, la cual por ser un valor relativamente pequeño muestra un poco dispersión de los datos y una buena representatividad que tiene la media respecto de la distribución de datos o mediciones. Además, el índice de asimetría es 0,014077, sugiere una ligera asimetría negativa.

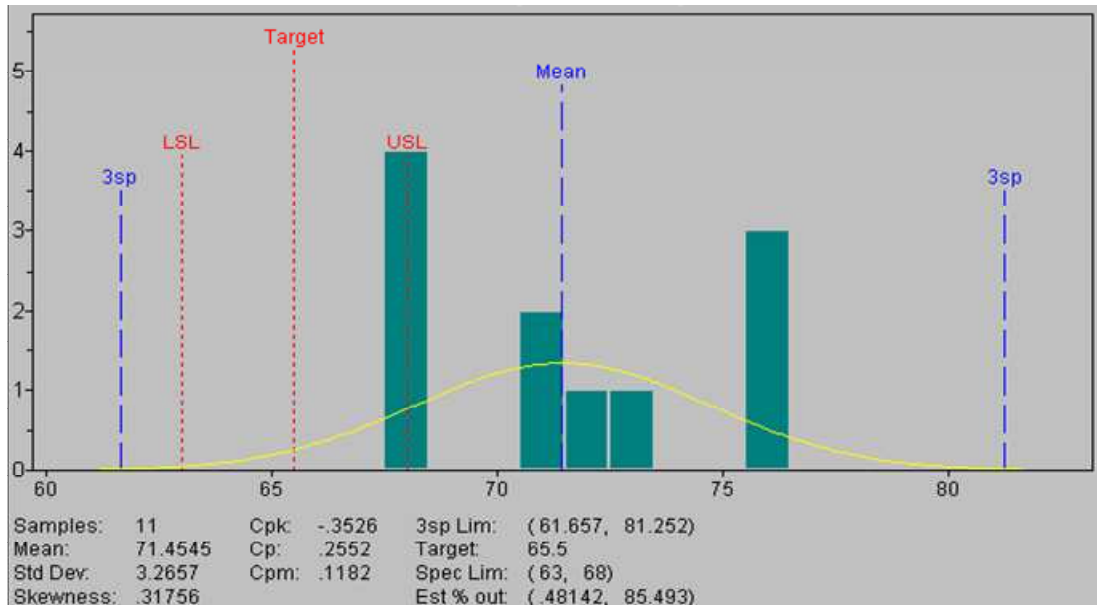
Por otra parte los índices Cpk, Cp y Cpm son verdaderamente muy pequeños en este caso, dando idea de que el proceso no cumple especificaciones y requiere modificaciones.

**Tabla 5. Resultados de humedad en bagazo entero**

FECHA	% HUMEDAD
06/05/2009	68,4
06/05/2009	70,8
07/05/2009	71,6
07/05/2009	70,8
07/05/2009	72,8
08/05/2009	76
08/05/2009	75,6
08/05/2009	76
11/05/2009	68,4
11/05/2009	68
11/05/2009	67,6

En la tabla 5 se tomaron pocas muestras del bagazo entero, pero podemos analizar que este tiene mayor humedad que el dephitado; por esta razón se presenta un promedio de 71,45%, es importante resaltar que el día 11 de mayo de 2009 se presentó la humedad mínima de 67,4% y el 8 de Mayo del 2009 se obtuvo el valor máximo de 76%.

**Gráfico 8. Histograma de comportamiento de humedad del bagazo entero con modificaciones de la máquina**



En la gráfica 8 se observa la información de las mediciones hechas sobre la humedad en bagazo entero, habiendo hecho ajustes y modificaciones al equipo. Los 11 datos que aquí se consideran fueron tomados entre el 6 de mayo de 2009 y el 11 de mayo de 2009. Esos datos arrojaron una humedad media de 71,4545 con una desviación típica de 3,2657. Por otra parte, como en el gráfico anterior, los índices Cpk, Cp, y Cpm son muy pequeños y nuevamente sugieren que el proceso no está centrado y requiere hacer otras modificaciones, si se quiere alcanzar los niveles de humedad preestablecidos.

La gráfica individual muestra que a 3 sigmas de la media, la humedad oscila entre 66,5609 y 76,3482, y la gráfica de rangos móviles muestra que dichos rangos oscilan entre 0 y 6,01181, con un rango medio de 1,84, o sea la diferencia promedio entre dos mediciones consecutivas.

### 10.1 COMPARACIÓN GRÁFICAS 3 Y 8

Mediante la comparación de las gráficas 3 y 8, se observa que sin hacer ninguna modificación en el proceso la humedad media del bagazo entero era de 75,9127, en cambio, después de hacerle ajustes y modificaciones a la máquina se encontró que la humedad media del bagazo entero era de 71,4545; luego, hasta aquí se puede pensar que dichos ajustes pueden reducir el nivel de humedad en el bagazo.

## 10.2 COMPARACIÓN GRÁFICAS 5 Y 7

Las gráficas 5 y 8 muestran los resultados del bagazo dephitado. La gráfica 2 presenta una humedad media de 75,05 y la gráfica 3 presenta una humedad media de 67,9818. Estos resultados sugieren que el proceso de Dephitado también puede reducir los niveles de humedad en el bagazo.

## 10.3 DATOS DEL COMPORTAMIENTO DE LA HUMEDAD DEL BAGAZO MEZCLADO, DESPUÉS DE REALIZAR AJUSTES Y MODIFICACIONES AL EQUIPO

Tabla 6. Resultados de humedad en bagazo mezclado

FECHA	% HUMEDAD
09/06/2009	65.4
09/06/2009	65.6
10/06/2009	63,6
10/06/2009	64,4
10/06/2009	64,4
11/06/2009	64,4
11/06/2009	65
11/06/2009	64.8
16/06/2009	65.4
16/06/2009	66
16/06/2009	65.4
17/06/2009	65.7
17/06/2009	65.2
17/06/2009	64.8
18/06/2009	65.5
18/06/2009	65.2
18/06/2009	65.2
23/06/2009	65.4
23/06/2009	66.2
23/06/2009	66.4
24/06/2009	65.8
24/06/2009	65.2
24/06/2009	64.8
25/06/2009	65.6
25/06/2009	65.2
25/06/2009	65.4

**Tabla 6. Continuación**

26/06/2009	64.8
26/06/2009	65.6
26/06/2009	65.4
30/06/2009	65.8
01/07/2009	65.2
02/07/2009	66
03/07/2009	65.8
07/07/2009	65.8
07/07/2009	65.4
07/07/2009	64.8
08/07/2009	65.6
08/07/2009	65.4
08/07/2009	65.2
09/07/2009	65.2
09/07/2009	65.8
09/07/2009	65.2
10/07/2009	64.8
10/07/2009	65.4
10/07/2009	66.2
13/07/2009	65.6
13/07/2009	65.4
13/07/2009	66
14/07/2009	65,6
14/07/2009	66.2
14/07/2009	64.8
15/07/2009	66.2
15/07/2009	65.4
15/07/2009	66
16/07/2009	65.4
16/07/2009	64.8
16/07/2009	65.8
22/07/2009	65.4
22/07/2009	65.5
22/07/2009	64.8
23/07/2009	65.5
23/07/2009	65,2
23/07/2009	66
24/07/2009	65.2
24/07/2009	65,2
24/07/2009	65,6

**Tabla 6. Continuación**

27/07/2009	65.2
27/07/2009	65
28/07/2009	65.2
28/07/2009	65,2
28/07/2009	64.8
29/07/2009	65.8
29/07/2009	65,2
29/07/2009	65,6
30/07/2009	65.2
30/07/2009	64.8
30/07/2009	64.8
31/07/2009	65,2
31/07/2009	65,6
03/08/2009	65,6
03/08/2009	64.8
03/08/2009	65.2
04/08/2009	65,2
04/08/2009	66
04/08/2009	65.2
05/08/2009	65,2
05/08/2009	65,6
06/08/2009	65.8
06/08/2009	64,4
06/08/2009	66,4
07/08/2009	66.2
07/08/2009	66
10/08/2009	66.2
10/08/2009	65,6
10/08/2009	65.8
11/08/2009	66
11/08/2009	65,2
11/08/2009	65,6
12/08/2009	66,4
12/08/2009	66.2
12/08/2009	66
13/08/2009	65.8
13/08/2009	65,6
14/08/2009	66
14/08/2009	66.2
14/08/2009	65,2

**Tabla 6. Continuación**

17/08/2009	65,6
17/08/2009	66.2
18/08/2009	66
18/08/2009	66
18/08/2009	65,2
19/08/2009	66
19/08/2009	65.5
19/08/2009	65,2
20/08/2009	65,6
20/08/2009	66.2
20/08/2009	66,4
21/08/2009	65.8
21/08/2009	65,2
21/08/2009	65,6
24/08/2009	66
24/08/2009	65.8
24/08/2009	65.2
25/08/2009	65,2
25/08/2009	64.8
25/08/2009	66.4
26/08/2009	65,2
26/08/2009	65.8
26/08/2009	66
28/08/2009	64,4
28/08/2009	66,4
31/08/2009	66,8
31/08/2009	66
31/08/2009	65.5
01/09/2009	66.2
01/09/2009	65.5
01/09/2009	65.8
02/09/2009	65,2
02/09/2009	65,6
02/09/2009	64.8
03/09/2009	65.4
03/09/2009	65.4
03/09/2009	66
07/09/2009	65,6
07/09/2009	65.2
07/09/2009	65.2

**Tabla 6. Continuación**

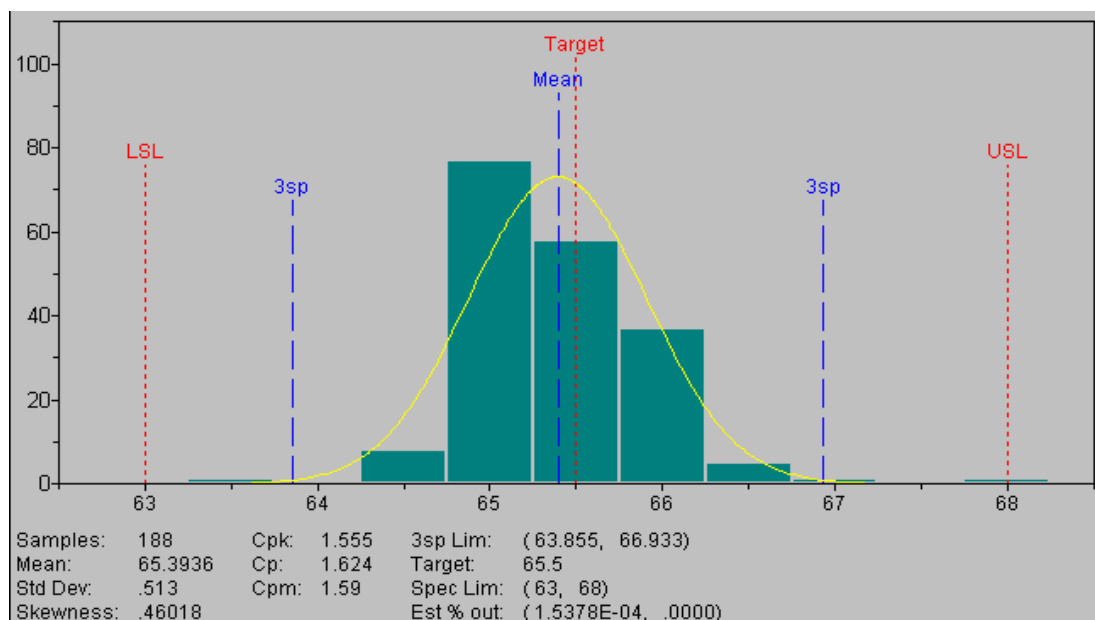
08/09/2009	65,2
08/09/2009	66,4
09/09/2009	65.8
09/09/2009	66
09/09/2009	66.2
10/09/2009	65
10/09/2009	66
11/09/2009	66.2
11/09/2009	65,2
11/09/2009	66
14/09/2009	65
14/09/2009	64,4
15/09/2009	65,2
15/09/2009	66
16/09/2009	66.9
16/09/2009	67,8
17/09/2009	65.4
17/09/2009	66.4
18/09/2009	65.8
18/09/2009	65
21/09/2009	65.2
21/09/2009	64.8
21/09/2009	66.2
23/09/2009	65.6
23/09/2009	66.4
23/09/2009	66
24/09/2009	65.2
24/09/2009	64.9
24/09/2009	64.8
25/09/2009	65.4
25/09/2009	66.4
25/09/2009	65,6
28/09/2009	65.6
28/09/2009	65.8
28/09/2009	65.6
30/09/2009	65.6
30/09/2009	65.2
01/10/2009	66.4
01/10/2009	65.2

**Tabla 6. Continuación**

01/10/2009	65
02/10/2009	66.2
02/10/2009	65.4

En la tabla 6, a partir del 09 de Junio del 2009 se mezclaron los bagazos entero y dephitado, se realizaron nuevas mejoras a la máquina logrando así un diagnóstico con un promedio de 65,39%, donde el máximo es 67,8% y con un mínimo de 63,6%, demostrando que las mejoras realizadas estaban dando resultado.

**Gráfico 9. Histograma de comportamiento de humedad del bagazo mezclado con modificaciones de la máquina**



En razón a que las comparaciones antes mencionadas sugieren que hay dos opciones para reducir los niveles de humedad en el bagazo, se analizó la opción de combinar esos procesos, de modo que los resultados que ahora se tienen corresponden a la humedad del bagazo mezclado después de realizar ajustes en la máquina.

En la gráfica 9 se evidencian 188 datos tomados entre el 9 de junio de 2009 y el 2 de octubre de 2009. Estos datos muestran que la humedad media se logró bajar hasta 65,3936 con una desviación estándar de 0,513, lo cual es un resultado magnífico ya que la desviación típica es muy pequeña, e indica que la media representa muy bien esta información, además de que el tamaño de la muestra es

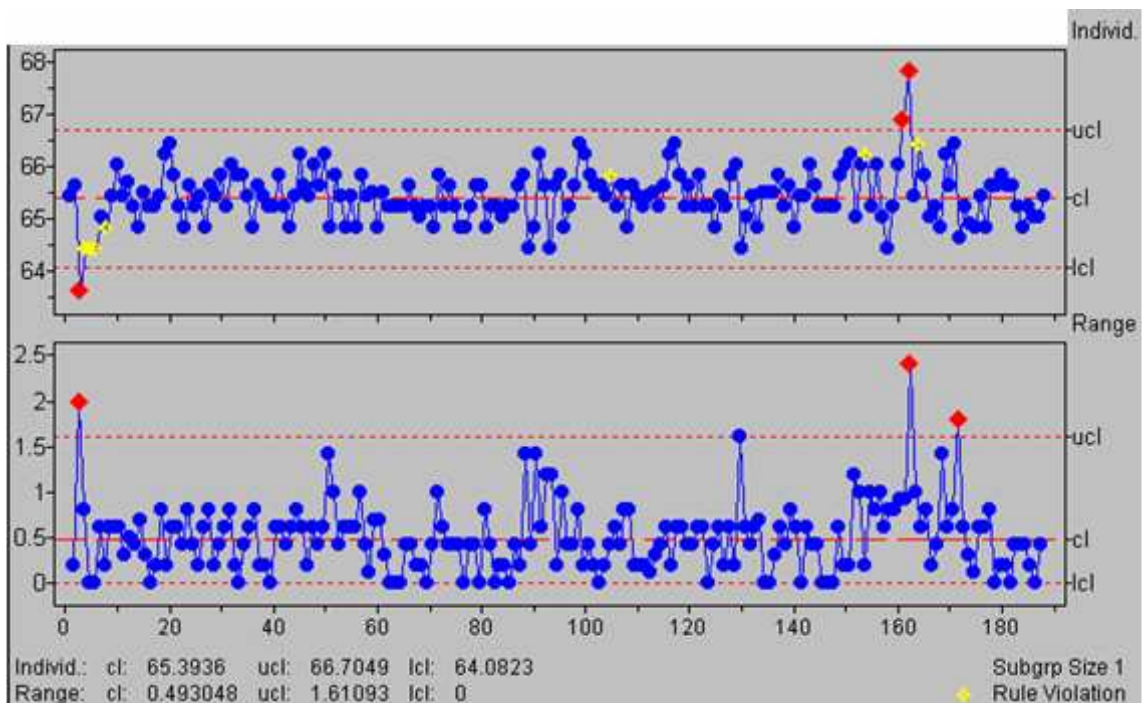


grande, lo cual le da mayor confiabilidad a este resultado. El coeficiente de asimetría es 0,46018, el cual muestra una leve asimetría positiva, aunque realmente podría pensarse que por su cercanía a cero sugiere que la distribución es casi simétrica.

Recordando que teóricamente se dice que si  $C_p \geq 1,33$  el proceso es adecuado se concluye que en este caso lo es, ya que  $C_p=1,624$ . También se tiene que debido a que  $(C_{pk} = 1,555) \leq (C_p=1,624)$  entonces el proceso no está centrado, y puede verificarse en la gráfica número 5 que en realidad la gráfica no está centrada, pero la diferencia es muy pequeña entre la media que arroja el estudio y la media preestablecida. Esto también puede corroborarse observando la gráfica y el valor de  $C_{pk}$  y  $C_p$  que se aproximan bastante. Ahora, el indicador  $C_{pm}=1,59$  y se sabe que si este índice es mayor que 1,33 la media del proceso está dentro de la quinta parte media de las especificaciones.

Los resultados muestran también que a 3 sigmas de la media se tiene que las mediciones oscila entre 63,855 y 66,933, y las gráficas: Individual y la de rangos presentan que la media tiene mucha representatividad, pues no hay tanta variación de los puntos que conforman la nube de puntos en cada caso, y solo unos pocos puntos se salen de los límites de tolerancia a 3sigmas.

**Gráfico 10. Gráfica individual y de Rango móvil de comportamiento de humedad del bagazo mezclado sin modificaciones de la máquina**



La gráfica 10 muestra que con una altísima confianza se puede afirmar que los datos oscilan entre 64,0823 y 66,7049 en tanto que los rangos móviles oscilan entre 0 y 1,61093, lo cual indica que la diferencia es realmente mínima entre los datos consecutivos, y esto da cuenta de la gran estabilidad que tiene el proceso.

En conclusión se puede afirmar que se puede lograr disminuir el nivel de humedad en el bagazo haciendo los dos procedimientos: Dephitado y ajustes en la máquina. Obsérvese que el nivel propuesto o humedad media preestablecida era de 65,5, y mediante este estudio se pudo establecer que la humedad bajó desde 75,9127 hasta 65,3936, el cual es un magnífico resultado ya que está por debajo del nivel de humedad esperado. Es concluyente entonces que la propuesta para bajar el nivel de humedad en el bagazo es válida siguiendo las especificaciones y recomendaciones respectivas.

La variación natural del proceso es menor que la tolerancia total permitida por las especificaciones, condición que asegura que el proceso es capaz de cumplir las detalles propuestos por la organización.

La medición de las 188 muestras en cuanto a cantidad de humedad en porcentaje después de cumplir el plan de acción, permite verificar el logro de la meta establecida, y quedando el proceso con un Cpk de 1.55 que de acuerdo a lo expresado es adecuado.

## **10.2 RESULTADOS EN LAS CONDICIONES ECONÓMICAS DE LA EMPRESA**

La empresa Propal S.A. anualmente se gastaba \$ 600.000.000 millones de pesos al transportar el polvillo desde el área de desmedulado a los invernaderos con el fin de disminuir la humedad con la que salía en el proceso de la Prensa Andritz y poder ser utilizado en el área de calderas para suplir el carbón. Dado la ejecución de este proyecto con los rediseños de ingeniería, ajustes a la máquina y capacitación del personal, permitió eliminar este gasto, siendo representativo para la economía y productividad de la empresa.

## 11. RESULTADO DE LA COMPARACION DE LOS DATOS SIN MODIFICAR EL EQUIPO Y CON MODIFICACIONES

Muestra que antes de ajustes y modificaciones, el nivel de calidad sigma era negativo, con un % de incumplimiento superior al 99%.

El nivel de calidad mejoró en el período de abril 24 al 30 de mayo, cuando alcanzó un valor positivo que correspondió a un 50% de incumplimiento. Esta mejora se atribuye a la puesta en marcha del plan de acción.

En el periodo de mayo 6 a mayo 11 se analizó una desmejora al hacerse negativo el nivel  $\sigma$  del proceso y aumentar nuevamente el % de incumplimiento. El periodo junio 9 a octubre 2 muestra las bondades del plan de acción implementado en su totalidad. El nivel de calidad  $\sigma$  incrementó a 5,08 y las DPMO se redujeron a 1,57 que corresponde un 100% de cumplimiento.

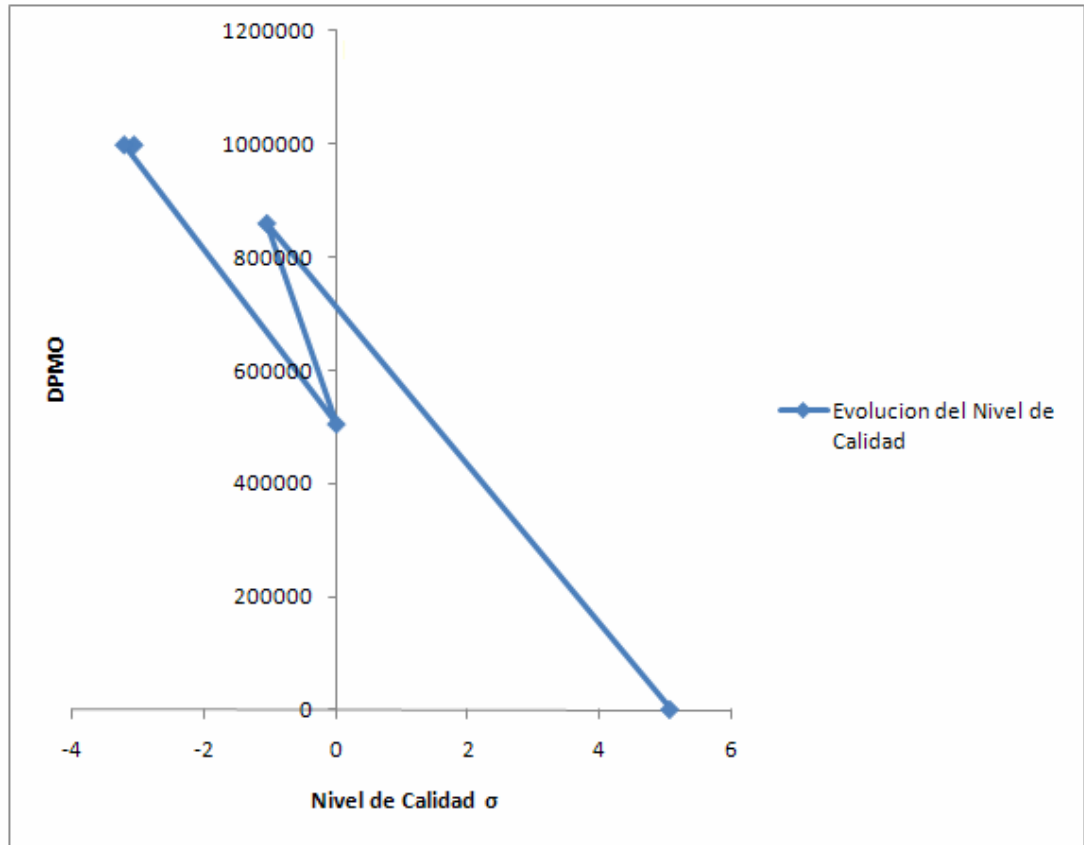
“Correlativamente se observa la mejora del cpk, hasta alcanzar un valor de 1,55 que de acuerdo a bibliografía consultada es adecuado”<sup>5</sup>.

**Tabla 7. Niveles de calidad  $\sigma$**

Etapa	Periodo	Cpk	Nivel $\sigma$ del Proceso	DPMO
Antes de Ajustes Modificaciones	Feb. 24 a Abril 16 de 2009	-1.025	-3,07	998500
	Marzo 13 a Abril 22 de 2009	-1,011	-3,22	998790
Después del Plan de Acción	Abril 24 a Mayo 30 de 2009	0,0029	0,0087	504752
	Mayo 6 a Mayo 11 de 2009	-0,35	-1,05	859744
	Junio 9 a Octubre 2 de 2009	1,55	5,08	1,57

<sup>5</sup> GUTIERREZ, Op cit., p.102.

**Grafico 11. Evolución del nivel de calidad  $\sigma$**



## 12. CONCLUSIONES

En el diagnóstico de la situación de la prensa Andritz realizado al inicio del proyecto, se identificó que los niveles de humedad no eran los óptimos en ninguno de los bagazos. Presentó un promedio de humedad 75,6% en el bagazo entero y el dephitado. Esto permitió identificar oportunidades de mejora en las variaciones que permitan la reducción del contenido de humedad a los niveles requeridos de 65,5% para el polvillo mezclado, generando un plan de acción mediante estrategias Six sigma apoyado por Minitab.

Después de realizar las diferentes modificaciones a la Prensa Andritz se pudo estabilizar un resultado frente al porcentaje de humedad del polvillo mezclado a la salida de la máquina, el cual es de 65,39% siendo mejorado para su funcionamiento y el resultado esperado en el proyecto. Estos cambios de ingeniería fueron apoyados con estrategias Six Sigma, a fin de obtener un polvillo con contenido de humedad adecuado para ser utilizado como combustible en las calderas de potencia de Propal Planta-1(Yumbo).

Teniendo en cuenta que un proyecto debe ser sostenible en el tiempo y contar con ciclos ejemplares, finalizando este proceso se establecen las condiciones ideales con las cuales debe seguir trabajando la máquina para implementar un plan de acción e implementación para mantener la continuidad de las mejoras alcanzadas.

Al mejorar las condiciones y la productividad de la máquina se reduce notablemente el costo directo de manufactura en Recupotencia, al eliminar la necesidad de transportar el polvillo de desmedulado a los invernaderos para quitarle la humedad excesiva que presentaba antes de ser modificada la máquina, el cual generaba un costo mensual de 50.000.000 millones que después de la intervención y ejecución del plan de acción se reduce a 0 pesos.

### **13. RECOMENDACIONES**

Se recomienda que la mejor opción para sacar el polvillo con la menor humedad es trabajar la máquina con las siguientes condiciones: tres líneas, una apertura de quijada de 60% y la más importante es mantener la presión de 65 Psi en la zona de prensado.

Divulgar y capacitar al personal de mantenimiento cuales son los estándares de medida que se debe trabajar la máquina Andritz, realizar un plano de los valores de medidas de alineación y nivelación de los rodillos de la máquina y publicarlos en el taller de mantenimiento para que todos lo conozcan.

Incluir un plan de mantenimiento preventivo y desarrollarlo en el tiempo de las paradas para que no se presenten retrasos en la producción.

Hacer un seguimiento en la compra y llegada de los repuestos necesarios para el buen funcionamiento de la prensa tales como los rodillos y las mallas.

## BIBLIOGRAFIA

AGUILAR, Silvio. Integraco das Ferramentas da Qualidade ao PDCA e ao Programa Six Sigma. Brasil: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 2002. 203 p.

Biblioteca virtual universitaria [en línea]. Bogotá: El prisma, 2009 [consultado el 6 de Diciembre] 2007. Disponible en Internet: <http://www.elprisma.com>

LOWELL JAY Arthur. Six sigma simplificado. México: Panorama Editorial, 2003. 285 p. (TS156.8.A7E).

DIAZ, Raúl, folleto, Descripción del Proceso de Desmedulado en Propal S.A.

GUTIÉRREZ PULIDO, Humberto y DE LA VARA SALAZAR, Román. Control estadístico de calidad y Six sigma. México: McGraw-Hill, 2004. 636 p. (TS156.G82).

Hahn, Gerard J.; Doganaksoy Necip; Hoerl, Roger. The Evolution of Six Sigma.

ISAZA, Alirio. Folleto, Descripción, Operación y Mantenimiento de la Prensa Andritz Mantenimiento Mecánico Fibra – Pulpa.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Normas Colombianas para la presentación de trabajos de investigación. Quinta actualización. Bogotá D.C.: ICONTEC, 2007. 126 p. NTC 1307.

MAYA, Héctor; RODRÍGUEZ, Jesús; ROJAS, Julieta y ZAZUETA, Guillermo. Estrategias de Manufactura aplicando la metodología Six-Sigma. Editorial Oceánica, 1996. 206 p.

PANDE s., Peter; NEUMAN p., Robert y CAVANAGH r., Roland. Las Claves de Six Sigma. La Implantación con éxito de una cultura que revoluciona en el Mundo Empresarial. España: Mc Graw Hill, 2003. 416 p.

PULIDO G., Humberto y SALAZAR De la V., Román. Control estadístico de calidad y SIX SIGMA. Mexico. Mc Graw Hill. 2005. 635 p. ISBN: 970 – 10 – 47249

Quality Engineering, v.12, n.3, p 317 – 326, 2000

Propal [en línea] Colombia: Propal S.A. 2010 [Consultado el 28 Febrero 2009 ] Disponible en Internet: <http://www.propal.com.co>

## ANEXOS

### Anexo A. Procedimiento para el cálculo de la humedad

#### Porcentaje de Humedad.

1. Se toma una cantidad de polvillo en una bolsa transparente para así llevarse al laboratorio.
2. Se coloca a calentar un tamiz # 100 en el horno durante 4 minutos a una temperatura de 140 °C
3. En un recipiente plástico se deshacen los grumos que tiene la muestra.
4. Ya caliente el tamiz # 100 se pesa anotando el resultado siendo R1.
5. Con el tamiz # 100 en la báscula se debe llevar a 0 gr.
6. Se le adiciona 25 gr del polvillo.
7. Se lleva la muestra al horno durante 1 hora.
8. Se saca la muestra para ser pesada nuevamente anotando su resultado siendo R2.
9. Luego se calcula la humedad mediante la fórmula:

$$\%humedad = \frac{(R2 - R1) * 100}{25}$$