



Universidad Austral de Chile

Escuela de Ingeniería Mecánica

**Estudio de optimización del control de la etapa de encolado
del proceso de fabricación de los productos OSB
de la empresa Louisiana Pacific Chile S.A.**

Trabajo para optar al título de:
Ingeniero Mecánico

Trabajo para optar al título de:
Ingeniero Electrónico

Profesor Patrocinante:
Cipriano Burgos Valdés
Ingeniero Electrónico

**Patricio Hernán Espinoza Pineda
José Manuel Campos Salazar
Valdivia – Chile
2006**

El profesor Patrocinante y Profesores Informante del Trabajo de Titulación comunican a los Directores de la Escuela de Mecánica y de la Escuela de Electricidad y Electrónica de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería que el Tema para el Trabajo de Titulación de los señores:

Patricio Hernán Espinoza Pineda.
José Manuel Campos Salazar.

Se aprobó a través de su defensa, que tuvo lugar el día 02 de junio del 2006, como requisito para optar a los Títulos de: Ingeniero Mecánico e Ingeniero Electrónico, respectivamente.

Para que así conste para todos los efectos firman:

Profesor Patrocinante:

Ing. Sr. Cipriano Burgos Valdés



Profesores Informantes:

M.Sc. Heriberto Soto Cáceres



Ing. Claudio Bastidas Cumián



VºBº Director de Escuela

Dr. Rogelio Moreno Muñoz



Ing. Civil Raúl Urrea Ríos



DEDICATORIA

"A nuestro Padre Celestial que nos ha acompañado
en cada momento de nuestra vida, y a su eterna
gracia que nos permitió terminar nuestros estudios.

A nuestras madres que nos enseñaron con sus ejemplos
a ser mejores personas cada día, y que con sus consejos
y cariños nos alentaron y guiaron en todo momento.

A nuestros queridos viejos por sus esfuerzos
e infinita paciencia para que lográramos esta meta.

Al personal que colaboró amigablemente en todo momento".

ÍNDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN	3
OBJETIVOS	4

CAPÍTULO 1

DESCRIPCIÓN DE LOS PRODUCTOS OSB, PRINCIPALES MATERIAS PRIMAS Y PROCESO DE FABRICACIÓN

1.1 Productos OSB (<i>Oriented Strand Board</i>)	6
1.1.1 LP OSB.....	6
1.1.2 Smartside.....	6
1.1.3 LP moldajes.....	6
1.1.4 Tableros multipropósito.....	7
1.1.5 LP terminaciones.....	7
1.2 Principales materias primas	7
1.2.1 Madera.....	7
1.2.2 Adhesivos.....	8
1.2.3 Otros aditivos.....	8
1.3 Descripción del proceso de fabricación de los productos OSB	9
1.3.1 Viruteado.....	10
1.3.2 Secado.....	11
1.3.3 Encolado.....	11
1.3.4 Formado.....	11
1.3.5 Prensado.....	12

CAPÍTULO 2

ETAPA DE ENCOLADO DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE LOS PRODUCTOS OSB

2.1 Equipos y subequipos de proceso	13
2.1.1 Silos secos.....	14
2.1.1.1 <i>Rastra (rake back)</i>	15
2.1.1.2 <i>Rodillos dosificadores (doffing rolls)</i>	15
2.1.1.3 <i>Cinta del fondo (bin bottom)</i>	16
2.1.2 Transportes de alimentación a mezcladoras.....	16
2.1.3 Mezcladora (<i>blender</i>).....	17
2.1.4 Transportes de salida mezcladoras.....	18
2.1.5 Chute de derivación.....	19
2.1.6 Transporte de transferencia a formadora superior.....	20
2.1.7 Silo de formadoras.....	20
2.2 Equipos de especialidad mecánica	22
2.2.1 Bombas.....	23
2.2.1.1 <i>Bombas peristálticas Bredel Hose SP/15</i>	23
2.2.1.2 <i>Bombas de tornillo Nova Rotors SRL 020-1 y Moyno 500</i>	23
2.2.2 Acumuladores.....	24
2.2.3 Válvula retención de cera.....	25
2.2.4 Filtros.....	25
2.3 Equipos de especialidad eléctrica y de control	26
2.3.1 Equipo de especialidad eléctrica.....	28
2.3.1.1 <i>Motor eléctrico</i>	28
2.3.1.2 <i>Drivers</i>	28
2.3.1.3 <i>Transformador</i>	28
2.3.1.4 <i>Protección térmica (RT)</i>	29

2.3.1.5 Contactor.....	29
2.3.1.6 Interruptor de seguridad (safety switch).....	29
2.3.1.7 Protección EM (breaker).....	29
2.3.2 Equipos de especialidad de control.....	30
2.3.2.1 Sensor medidor de nivel (micro ondas).....	30
2.3.2.2 Sensor medidor de nivel (fotoeléctrico).....	30
2.3.2.3 Sensor proximidad inductivo.....	30
2.3.2.4 Sensor de velocidad (encoder).....	31
2.3.2.5 Celda de carga.....	31
2.3.2.6 Transmisor indicador de peso.....	31
2.3.2.7 Solenoide activador de válvula.....	31
2.3.2.8 Sensor de flujo (flujómetro).....	31
2.3.2.9 Transmisor indicador de flujo.....	31
2.3.2.10 Sensor de nivel (vibración).....	32
2.3.2.11 Sensor final de carrera.....	32
2.3.2.12 Caja de conexionado.....	32
2.3.2.13 PLC.....	32
2.3.2.14 Tacómetro.....	32
2.4 Descripción del control de la etapa de encolado.....	33

CAPÍTULO 3

OPTIMIZACIÓN DEL CONTROL DE LA ETAPA DE ENCOLADO

3.1 Óptimo encolado.....	35
3.1.1 Uniformidad de impregnación del adhesivo.....	35
3.1.1.1 Eficiencia del uso de resina-cera.....	36
3.1.1.2 Variables de operación del blender.....	37

3.1.2	Continuidad en el proceso de encolado.....	38
3.1.3	Desempeño de los equipos, subequipos y equipos de especialidad mecánica del encolado.....	38
3.2	Óptimo sistema de control.....	39

CAPÍTULO 4

EVALUACIÓN DE SITUACIONES

4.1	Identificación, separación y aclaración de preocupaciones.....	41
4.2	Reconocimiento de problemas y análisis requerido.....	42
4.2.1	Inadecuada uniformidad de impregnación del adhesivo.....	42
4.2.2	Generación de tacos en chute de descarga <i>blender</i> superficie.....	42
4.2.3	Encolado de superficie a veces no reactiva.....	43
4.2.4	Deficiente control del llenado de formadoras.....	43

CAPÍTULO 5

ANÁLISIS DE PROBLEMAS

5.1	Generación de tacos en chute de salida <i>blender</i> de superficie.....	44
5.1.1	Especificación del problema.....	44
5.1.2	Identificación de posibles causas.....	45
5.1.3	Evaluación de posibles causas.....	46
5.2	Encolado de superficie a veces no reactiva.....	49
5.2.1	Especificación del problema.....	49
5.2.2	Identificación de posibles causas.....	50
5.2.3	Evaluación de posibles causas.....	51

5.3	Deficiente control del llenado de formadoras.....	54
5.3.1	Especificación del problema.....	54
5.3.2	Identificación de posibles causas.....	54
5.3.3	Evaluación de posibles causas.....	54

CAPÍTULO 6

ANÁLISIS DE DECISIÓN

6.1	Estructura de control para maximizar uniformidad de impregnación de resina.....	56
6.1.1	Control de razón, donde flujo másico de adhesivo varía para maximizar uniformidad de impregnación de resina.....	56
6.1.2	Control de regulación, manteniendo flujo másico de hojuelas constante.....	58
6.1.3	Control de razón, donde flujo volumétrico de adhesivo varía para maximizar uniformidad de impregnación de resina.....	59
6.1.4	Control de regulación, manteniendo flujo volumétrico de hojuelas constante.....	61
6.2	Estructura de control para mantener un llenado eficiente de formadoras, y mantener control del flujo de hojuelas a la salida de silos secos.....	62
6.2.1	Control llenado de formadoras, variando velocidad de encolado.....	62
6.2.2	Control anticipativo, manteniendo constante flujo volumétrico de hojuelas.....	64
6.2.3	Control anticipativo, manteniendo constante flujo másico de hojuelas.....	65
6.2.4	Control de secuencia-regulación.....	65
6.3	Cambio de válvula de retención de cera.....	66
6.3.1	Válvula de bola accionada por actuador giratorio.....	66
6.3.2	Válvula de proceso de dos vías, serie VNB (SMC).....	69

CAPÍTULO 7

COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN DE SOLUCIONES

7.1	Tabla de costos.....	71
	CONCLUSIONES.....	72
	BIBLIOGRAFÍA.....	74

ANEXOS

	ANEXO 1: Detalle productos OSB.....	77
	ANEXO 2: Equipos de especialidad mecánica área de encolado.....	80
	ANEXO 3: Equipos de especialidad eléctrica área de encolado.....	83
	ANEXO 4: Equipos de especialidad de control área de encolado.....	87
	ANEXO 5: Análisis de funcionamiento de principales equipos del encolado.....	96
	ANEXO 6: Aspectos prácticos del control automático de procesos.....	113
	ANEXO 7: Optimización del control automático de proceso.....	142
	ANEXO 8: Evaluación de situaciones del Método Kepner-Tregoe (F.Nº 1).....	153
	ANEXO 9: Análisis de problemas del Método Kepner-Tregoe (F.Nº 2).....	157

ANEXO 10: Análisis de decisión del Método Kepner-Tregoe (F.Nº 3).....	160
ANEXO 11: Análisis de patrones en la generación de tacos.....	163
ANEXO 12: Variaciones en el flujo de hojuelas salida silo seco de superficie.....	174
ANEXO 13: Ejemplos de flujos de resina y cera.....	175
ANEXO 14: Determinación caudales nominales de cera.....	177
ANEXO 15: Determinación del ángulo de desprendimiento (α) en función de las fuerzas de peso y centrípeta.....	178
ANEXO 16: Variación del incremento <i>l</i>, según velocidad de rotación del <i>blender</i>.....	181
ANEXO 17: Narrativa para el diseño de lógicas de control.....	185

RESUMEN

El estudio de optimización se divide en dos etapas claramente definidas. La primera es netamente descriptiva, abarcando los capítulos uno y dos. La segunda etapa (a partir del capítulo tres) corresponde a la parte analítica del estudio, donde se muestra que para optimizar el control de encolado hay que considerar dos aspectos. El primero se refiere a lograr un óptimo proceso de encolado, lo cual significa: “maximizar la uniformidad de impregnación del adhesivo,” “asegurar un proceso continuo,” y “buscar el máximo desempeño de equipos, subequipos y equipos de especialidad.” El segundo aspecto a tener en cuenta al momento de optimizar el control de encolado es determinar la correcta estructura de control que se adapte al proceso de encolado y mantenga sus variables de operación dentro de los parámetros recomendados.

Maximizar la uniformidad de impregnación quiere decir implementar una estructura de control que regule la proporción de hojuelas-adhesivo (incluyendo cera), concluyendo que la más adecuada se basa en un control de volumen y no de masa.

Asegurar un proceso continuo requiere la aplicación del método de Kepner-Tregoe (Detección Analítica de Fallas), siendo una herramienta útil en la búsqueda de verdaderas causas de las detenciones innecesarias del proceso de encolado, debido a: tacos en chute descarga *blender* de superficie, no reactivación del encolado de superficie y deficiente llenado de formadoras; cuyas respectivas causas son: sobrecargas en el chute de descarga *blender* de superficie, inadecuada válvula de retención de cera, y ausencia de un control entre formadoras y velocidad de encolado.

En relación al máximo desempeño, se concluye que todos los equipos, subequipos y equipos de especialidad funcionan dentro de sus especificaciones de diseño, a excepción de la válvula de retención de cera.

Respecto a las alternativas de estructura de control, se llega a la conclusión de que algunas cumplirían con su función, siempre y cuando se realicen las recomendaciones. El detalle de todas las sugerencias para optimizar el control de encolado se muestran finalmente en la conclusión del presente estudio.

ABSTRACT

The optimization study is divided in two stages defined clearly. First is net descriptive, including chapters one and two. The second stage corresponds to the analytical part of the study, where sample that stops to optimize the gluing control is necessary to consider two aspects. First one talks about to obtain an optimal process of gluing, which means: "to maximize the uniformity of impregnating of the adhesive," "to assure a continuous process," and "to look for the maximum performance of units, mechanical subunits equipment and elements." The second aspect to consider at the time of optimizing the gluing control is to determine the correct structure of control that adapts to the gluing process and maintains its variables of operation within the recommended parameters.

To maximize the impregnating uniformity, wants to say, to implement a control structure that regulates the proportion of strand-sticky (including wax), with concluding which but adapted, it is based on a gain control and not of mass.

To assure a continuous process, requires the application of the method of Kepner-Tregoe (Analytical Detection of Faults), being a useful tool in the search of true causes of the unnecessary haltings of the gluing process, due to: Tacos in shoots unloading to *blender* of surface, nonreactivation of the surface gluing and deficient filling of training; whose respective causes are: Overloads in shoot of unloading to *blender* of surface, inadequate valve of wax retention and training absence of a controller between and speed of gluing.

In relation to the maximum performance, one concludes that all the mechanical equipment, sub equipment and speciality equipment, work within his specifications of design, with the exception of the valve of wax retention. With respect to the alternatives of control structure, one reaches the conclusion that some would fulfill their function, as long as the shown recommendations are made in the conclusion. The detail of all the suggestions to optimize the gluing control is finally in the conclusion of the present study.

INTRODUCCIÓN

En el mes de mayo del 2001 comenzó a operar en Chile, Panguipulli, Décima Región de los Lagos, la primera planta en Latinoamérica de productos basados en la tecnología de OSB, bajo el nombre de Louisiana Pacific Chile S.A.; inversión efectuada por uno de los líderes mundiales en la fabricación de éstos productos, la empresa Louisiana Pacific Corp. de Estados Unidos.

La empresa Louisiana Pacific Corp., a través de su filial nacional Louisiana Pacific Chile S.A., persigue generar una tecnología de productos que contemplen los más altos estándares de ingeniería y diseño para su óptimo rendimiento y reducción de costos, entregando a la vez un producto que cumpla con todas las especificaciones de calidad; fiscalizados y normalizados por organismos mundiales como son la SBA (Structural Board Association) y la APA (The Engineered Wood Association).

De esta forma, la empresa Louisiana Pacific Chile S.A., en la constante preocupación de entregar un producto de calidad que cumpla con todos los códigos de construcción, busca que su inversión en tecnología sea también la más óptima en términos de rendimiento y costos. Todo esto en el marco de “Mejora Continua” adoptado por la empresa.

Si bien es cierto, la empresa cumple satisfactoriamente con los estándares de calidad, le genera un gran costo mantenerlos, debido a un sobreconsumo de las principales materias primas en la etapa de encolado, razón fundamental para realizar este estudio.

Para lograr lo anterior se necesita del conocimiento y de un trabajo multidisciplinario, que sean capaces de generar soluciones óptimas y eficientes. Para esto, la Universidad Austral de Chile resulta ser un aliado perfecto para colaborar en el tema de investigación y en la búsqueda de solución de los problemas que afectan a las empresas locales.

OBJETIVOS

Objetivo general

Realizar un estudio y análisis de la etapa del proceso de encolado, desde los puntos de vista sistémico y del proceso mismo, con el propósito de detectar los principales problemas actualmente existentes, así como, de llevar a cabo un análisis metodológico de los problemas más significativos en pro de determinar la (s) verdadera (s) causa (s) que los producen. Finalmente, plantear acciones concretas con soluciones que sean eficaces, con el objeto de lograr la optimización deseada de la etapa de proceso de encolado, en los aspectos del control y operación.

Objetivos específicos

- Describir los productos OSB, sus principales materias primas y su proceso de fabricación.
- Identificar y describir las máquinas y sus partes que conforman las unidades y subunidades de la etapa de encolado.
- Identificar y describir los elementos y equipos que conforman el sistema de control y automatización de la etapa de encolado.
- Describir el funcionamiento de las diferentes unidades de producción (máquinas) de la etapa de encolado.
- Describir la estrategia y funcionamiento del sistema de control de la etapa de encolado.
- Describir la estrategia y funcionamiento del sistema de visualización y operación de la etapa de encolado.
- Identificar y describir los diferentes problemas existentes (preocupaciones) en la etapa de encolado (aplicación del Método Kepner - Tregoe).

- Identificar y describir las verdaderas causas de los problemas existentes en la etapa de encolado (aplicación del Método Kepner - Tregoe).
- Definir, analizar y plantear soluciones eficaces a los problemas existentes en la etapa de encolado, atacando las causas que los provocan.
- Evaluar técnica y económicamente las alternativas de soluciones propuestas.
- Proponer las soluciones finales al problema de optimización.

CAPÍTULO 1

DESCRIPCIÓN DE LOS PRODUCTOS OSB, PRINCIPALES MATERIAS PRIMAS Y PROCESO DE FABRICACION

1.1 Productos OSB (*Oriented Strand Board*)

Los productos LP OSB son tableros estructurales formados por hojuelas rectangulares de madera, dispuestas en capas perpendiculares, unas con otras.

Básicamente, las hojuelas son mezcladas con ceras y adhesivos, y en algunos casos se le agregan otros aditivos para darles propiedades especiales, para posteriormente ser sometidas a altas temperaturas y presiones, dando origen a los tableros LP OSB estructurales.

La familia de tableros OSB cuenta con distintos tipos de productos, destinados a diferentes aplicaciones en el ámbito de la construcción en general. Es así que los tableros OSB se pueden clasificar en 5 grupos.

1.1.1 LP OSB

Tableros estructurales para la vivienda (disponibles con y sin certificación APA, a elección del cliente). Son fabricados para utilizarlos en techos, muros y pisos. Además dentro de este grupo encontramos los tableros *LP OSB Plus*, *LP OSB SmartGuard*.

1.1.2 Smartside

Estos tableros son fabricados para el revestimiento exterior de las viviendas. Dentro de este grupo encontramos los tableros *SmartPanel*, *Lap* y *Trim*.

1.1.3 LP moldajes

Son tableros fabricados con el objetivo de ser utilizados por empresas constructoras. Dentro de este grupo encontramos los tableros *TopForm*, *EcoForm*.

1.1.4 Tableros multipropósito

Aplicaciones temporales (estructural general, no apto para la vivienda). Dentro de esta categoría encontramos el tablero *Multiplac*.

1.1.5 LP terminaciones

LP Vinyl, LP HouseWarp, LP DecoWall, Decorfloor, WeatherBest.

Para ver con más detalle estos tipos de productos se sugiere revisar anexo 1.

1.2 Principales materias primas

Las principales materias primas se pueden clasificar en: madera, adhesivo y otros aditivos.

1.2.1 Madera

Louisiana Pacific recepciona tres tipos que corresponden a: pino, álamo y nativo (olivillo, raulí, roble, coigüe, ulmo).

Para la fabricación de los productos OSB se utilizan mezclas de la materia prima, las que se listan a continuación:

- **M1:** una unidad de nativo por una unidad de pino
- **MA:** una unidad de nativo por una unidad de álamo
- **M2:** dos unidades de nativo por una unidad de pino
- **M2A:** dos unidades de nativo por una unidad de álamo
- **N:** 100% nativo
- **P2N:** dos unidades de pino por una unidad de nativo
- **A2N:** dos unidades de álamo por una unidad de nativo
- **A:** 100% álamo.

Recientemente se agregó otra mezcla de madera, consistente en una unidad de eucaliptos por una unidad de pino.

1.2.2 Adhesivos

Existen dos tipos de adhesivos o resinas utilizadas para encolar las hojuelas de madera. Éstas son resina Fenólica y resina MDI, cuyas características se muestran en **Tabla 1.1**.

Factor	Adhesivos	
	Fenol	MDI
Nombre comercial	Ox. 5242	Rub. 1840
Apariencia	Café rojizo	Café oscuro
Viscosidad	*400-700 cps	100-250 cps
Densidad específica	1.22-1.3 gr/cc	1.2-1.3 gr/cc
Porcentaje de sólidos	54-56%	100%

Tabla 1.1 Características de adhesivos.

* Viscosidad antes de diluir en agua. Una vez diluida, la viscosidad alcanza alrededor de 100 centipoise (cps).

1.2.3 Otros aditivos

Para dar al producto OSB resistencia al ataque biodegradable de bacterias, hongos e insectos, se adiciona **borato de zinc**.

Por otro lado, para entregar al tablero mejor estabilidad dimensional ante las condiciones finales de exposición, es decir, para disminuir su capacidad de absorber agua, se adiciona **emulsión de cera** (ver **Tabla 1.2**).

Factor	Cera
Apariencia	Crema opaco
Viscosidad	300-400 cps
Densidad específica	0,9-1,0 gr/cc
Porcentaje de sólidos	57-59%

Tabla 1.2 Características de la emulsión de cera.

1.3 Descripción del proceso de fabricación de los productos OSB

El proceso de producción de OSB comprende 13 etapas, desde el acopio de materia prima hasta la entrega del producto terminado (ver **Figura 1.1**). Además, posee dos líneas de producción, donde se encuentran cada una de estas etapas: línea de centro y línea de superficie. La razón principal de la existencia de dos líneas, es debido a que se requieren dos rangos de humedades diferentes para las hojuelas de madera a la salida del proceso de secado, ya que el contenido de humedad solicitado en las caras superficiales y de centro no son las mismas.

Las etapas de producción de OSB son las siguientes:

1. Patio de recepción y almacenamiento de madera.
2. Descortezado (*debarking*).
3. Viruteador (*stranding*).
4. Almacenamiento de viruta verde (*wet bin*).
5. Secado de las hojuelas (*drying*).
6. Ciclón de separación.
7. Mallas de tamizado rotatorio (*rotary screen*).
8. Silo de almacenamiento de hojuelas secas (*dry bin*).
- 9. Encolado (*blending*).**
10. Línea formadora (*forming line*).
11. Prensado (*pressing*).
12. Escuadrado (*Finishing line*).
13. Terminación y embalaje (*shipping*).

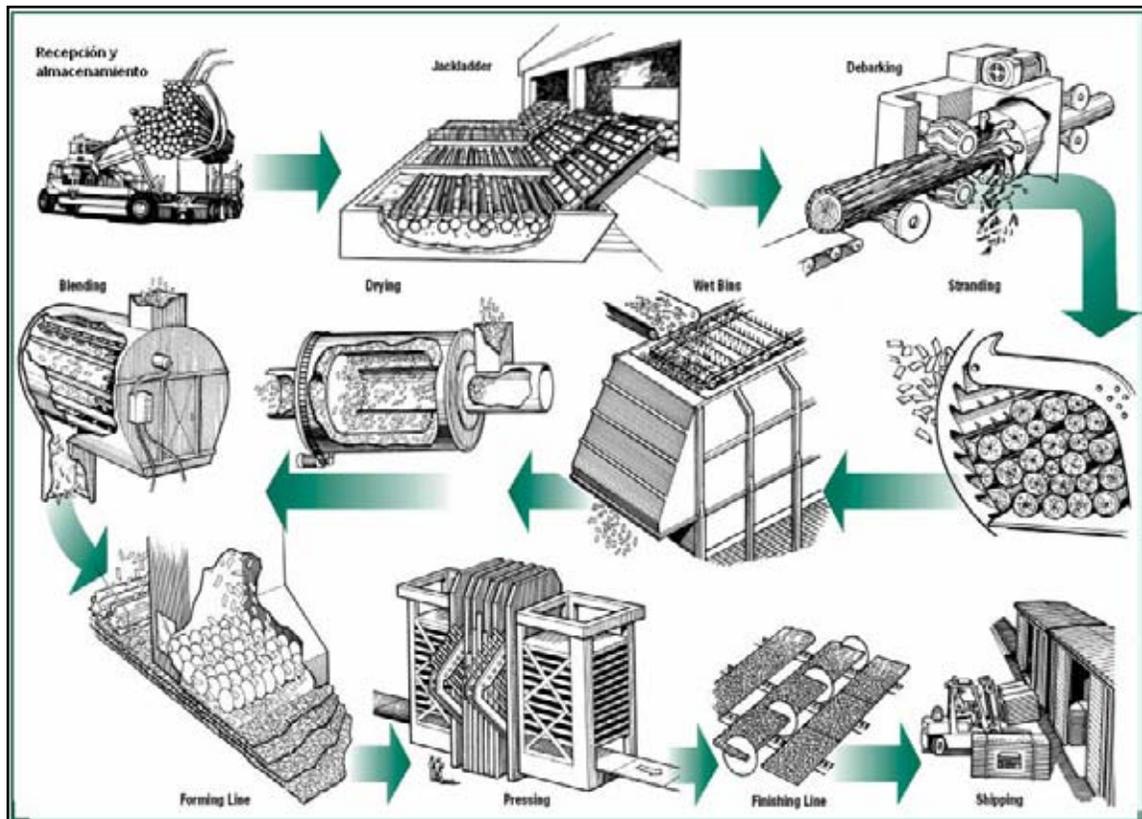


Figura 1.1 Esquema general del proceso de fabricación de tableros OSB.

Se describen las etapas más relevantes del proceso en cuestión:

1.3.1 Viruteado

La máquina viruteadora, compuesta por un disco rotatorio y de cuchillos, avanza girando a alta velocidad sobre la madera, la que dispuesta de manera perpendicular al avance del carro permite la producción de hojuelas tangenciales, que darán al producto final excelentes propiedades de resistencia interna y flexión.

Especial importancia tiene en esta etapa del proceso la mantención del equipo, como el correcto afilado de los cuchillos y disposición de éstos. La dimensión de las hojuelas es de aproximadamente, 7.5 mm de largo, su ancho varía en el rango de 0.6 a 3.81 cm. y su espesor es de 0.3 a 0.7 mm.

1.3.2 Secado

El secado de las hojuelas se realiza en dos secadores de tipo tambor. Aquí, las hojuelas, con un contenido de humedad inicial de 80 a 150%, son arrastradas por un flujo de aire caliente a través de un triple paso interior, movimiento en el cual entregan gradualmente su contenido de humedad, hasta llegar a un rango de 3 a 7 % (agua en base de su contenido de fibra seca). Rango que asegura una buena reacción de la resina en el proceso de prensado.

Cada secador de hojuelas puede funcionar con dos tipos de quemadores; uno funciona con gas y el otro funciona con desechos de hojuelas secas provenientes del proceso posterior.

1.3.3 Encolado

La fase de encolado, que comprende desde la dosificación de hojuelas secas en los silos secos hasta el llenado de las formadoras, se encarga básicamente de impregnar el adhesivo a las hojuelas secas. La proporción de adhesivo-aditivos y hojuelas secas debe estar muy bien controlada, ya que una falta de adhesivo repercute en la calidad o resistencia del OSB, y un exceso implica un aumento en los costos de producción.

Los mecanismos encargados de realizar la tarea de mezclar las hojuelas secas con el adhesivo y aditivos son las mezcladoras o *blenders*.

1.3.4 Formado

Una de las principales características del tablero OSB es la disposición alternada de tres capas orientadas de hojuelas. Es así como está fabricado de dos capas superficiales (superior, inferior) con una orientación longitudinal en su formación y una capa central con orientación transversal de formación.

La línea de formación está compuesta por tres formadoras: dos formadoras de superficie y una de centro. Cada una de estas unidades tiene como objetivo entregar y orientar la cantidad de material necesario para la formación de tableros. En el interior de éstas máquinas funciona un mecanismo de discos distribuidores, los que, a medida que reciben las hojuelas las orientan sobre la malla de formación (la orientación alternada de

las tres capas de hojuelas define una estructura estable y mecánicamente resistente, lo que le confiere gran calidad estructural al tablero OSB.).

Dependiendo de las características y espesor de los tableros a producir la estructura de la orientación longitudinal y transversal varía entre 40 – 80 % y 20 – 60%, respectivamente.

1.3.5 Prensado

A medida que el proceso de formación continuo se va generando, un sistema automático de corte y carguío permite preparar la carga de los ocho pisos de la prensa. Aquí y dependiendo del tipo de producto a fabricar, se aplica o no, la lámina del papel Siding, que será adherida por termofusión al tablero. Luego, mediante una torre de ocho pisos, se realiza de forma simultánea el carguío de la prensa, al mismo tiempo que una torre de descarga retira igual cantidad de unidades de producto prensado. De esta forma, una vez concluido el proceso de prensado, ocho formatos de 2,5 MT * 5,0 MT son transportados a las sierras dimensionadoras para su posterior corte.

El prensado de productos se realiza bajo las siguientes condiciones: el tiempo varía entre 120 a 480 segundos, con una temperatura de 200 a 230 °C y una presión específica de 35 a 40 Kg. / cm².

Después de la presión el descargador remueve las mallas con los tableros y los entrega individualmente sobre el transporte de retorno, donde las mallas son separadas de los tableros y devueltas a la línea de formación. Cada tablero es llevado por un transportador a una balanza donde éste es pesado y registrado.

CAPÍTULO 2

ETAPA DE ENCOLADO DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE LOS PRODUCTOS OSB

Para el estudio de optimización del control de la “etapa de encolado” del proceso de fabricación de productos OSB se considerará ésta desde el almacenamiento de hojuelas secas en los silos secos (*dry bin*) de ambas líneas (centro y superficie) hasta el almacenamiento de hojuelas preparadas (con adición de adhesivos y otros aditivos) en los silos de las formadoras (*former*).

En la fase de encolado se han identificado:

- a) Equipos de proceso: Sistemas físicos que realizan un procesamiento de las materias primas.
- b) Subequipos de proceso: Mecanismos básicos que conforman los equipos de procesos.
- c) Equipos de especialidad: Unidades o elementos que asisten a los equipos y subequipos de proceso en su tarea. Estos pueden ser mecánicos, eléctricos o de control.

Después de conocer los sistemas que conforman el encolado se finalizará el capítulo con una descripción del control de dicho proceso.

2.1 Equipos y subequipos de proceso

El proceso de encolado puede esquematizarse en la **Figura 2.1**. Se identifican los equipos de proceso de encolado (superficie y centro), donde se destacan: silos secos, transportes alimentación *blenders*, *blenders*, transportes de salida *blenders*, sala de resina, chute de derivación (chapaleta de distribución entre formadora superior y formadora inferior), transporte de derivación y formadoras (superior, centro, inferior).

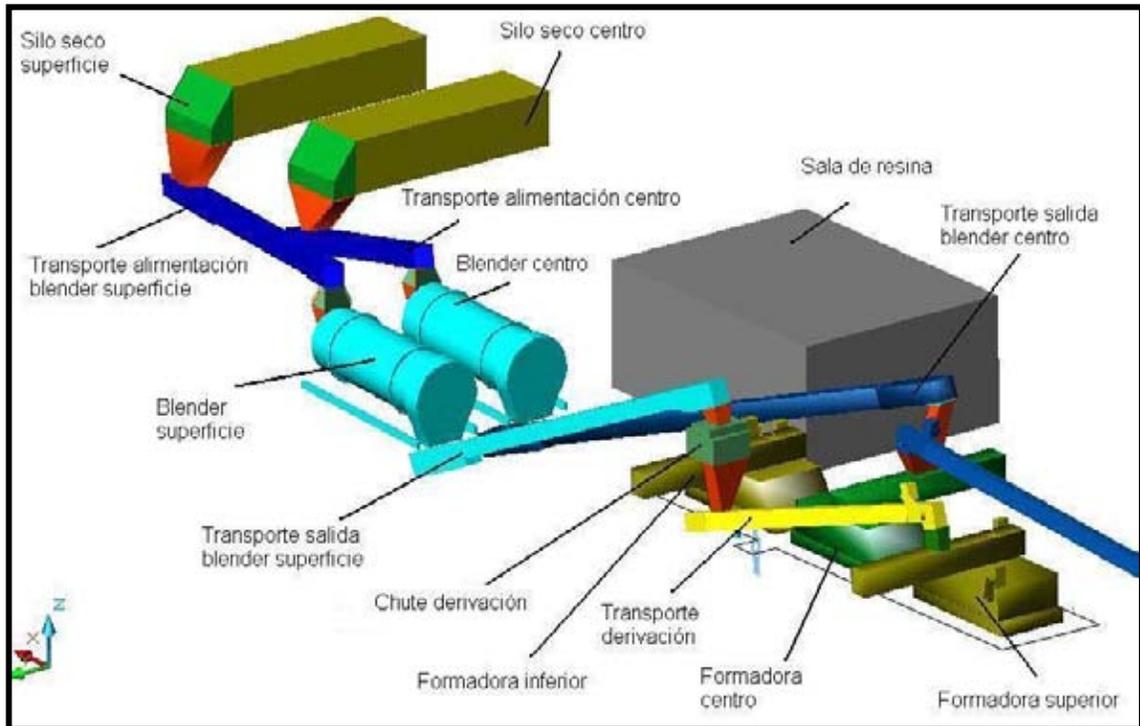


Figura 2.1 Equipos del proceso de encolado.

2.1.1 Silos secos

En los silos secos es donde se almacenan las hojuelas secas, y es en este punto donde comienza la etapa de Encolado. Existen dos silos secos idénticos, silo seco de superficie (*surface dry bin*) y silo seco de centro (*core dry bin*), de una capacidad de 70 m³ cada uno.

Un silo seco o *dry bin* está conformado por tres subequipos mecánicos de distribución y dosificación de hojuelas, como los mostrados en la **Figura 2.2**.

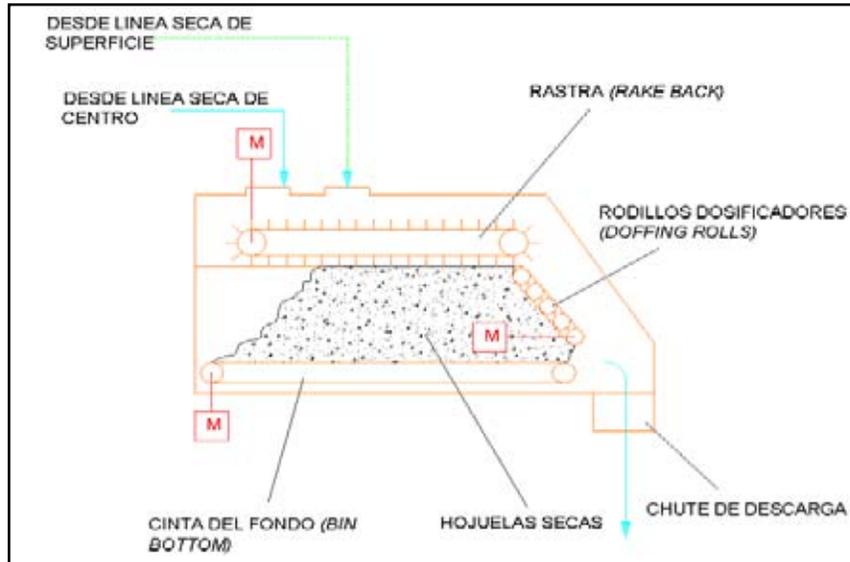


Figura 2.2 Subequipos del silo seco.

2.1.1.1 Rastra (*rake back*)

Su función es distribuir las hojuelas homogéneamente a lo largo del silo, permitiendo así que la viruta llegue siempre con la misma repartición a los rodillos dosificadores (*doffing rolls*).

La rastra está conformada por dos rodillos: motriz y conducido, conectados por sprocket y cadena. Esta cadena tiene incorporada una estructura que hace la función de rastrillo.

El movimiento de la rastra se debe a un motor, que se conecta por medio de una caja reductora al rodillo motriz de la *rake back*. Cabe destacar que su velocidad de movimiento es constante.

2.1.1.2 Rodillos dosificadores (*doffing rolls*)

Su función es tomar las hojuelas que se acercan por el avance de la cinta del fondo (*bin bottom*) y enviarlas al chute de descarga del silo a una velocidad constante (50 RPM para el silo de superficie y 60 RPM para el silo de centro).

Los *doffing rolls* son cinco rodillos con púas incorporadas. En el extremo de estos rodillos existe un *Sprocket* (rueda dentada) que mediante una cadena transmite el

movimiento de dos en dos rodillos. La potencia es entregada por un motor que, mediante una transmisión por cadena reduce la velocidad, que luego es reducida aun más por una caja reductora y por otra transmisión de cadena.

2.1.1.3 Cinta del fondo (*bin bottom*)

Su función es acercar las hojuelas a los rodillos dosificadores. La *bin bottom* es la encargada de variar el flujo de hojuelas que serán llevadas a la encoladora o *blender*. Este flujo se regula modificando la velocidad del motor que mueve la cinta desde la sala de control.

La cinta del fondo está compuesta por dos rodillos, uno motriz y otro conducido. El rodillo motriz transmite el movimiento a una cinta que arrastra las hojuelas a los *doffing rolls*. El motor de la cinta transmite su potencia mediante un conjunto de reductores de velocidad. Primero una transmisión por cadena, luego por una caja reductora y después por transmisión por cadena nuevamente.

2.1.2 Transportes de alimentación a mezcladoras

Ambos transportes, de superficie y de centro, cumplen la función de tomar las hojuelas desde el chute de los silos secos y llevarlas a los *blenders* a una velocidad constante. Las características se muestran en la **Tabla 2.1**.

Características	Transporte de Superficie	Transporte de Centro
Diámetro tambor motriz	430 mm	430 mm
Diámetro tambor conducido	400 mm	400 mm
Distancia entre ejes	25790 mm	17675 mm
Angulo de inclinación	11.5 °	16.4°
Potencia motor	7.5 hp	7.5 hp
Marca de correa	Gummilabor	Gummilabor
Tipo de correa	EP 400/3 3+0, 3 telas	EP 400/3 3+0, 3 telas
Espesor correa	5/16"	5/16"
Ancho correa	24"	24"
Largo correa	52880 mm	36650 mm

Tabla 2.1 Características de transportes alimentación mezcladoras.

2.1.3 Mezcladora (*blender*)

Es un tambor rotatorio en cuyo interior se dispone de un eje longitudinal equipado de cabezales de aspersión (*spinner heads*), los cuales impregnan las hojuelas con adhesivo y cera. También es posible adicionar aquí (dependiendo del tipo de producto) borato de zinc.

Este tipo de Mezcladora corresponde al *rotary blender* o mezcladora rotatoria (ver características en **Tabla 2.2**), y se caracteriza porque la mezcla pasa a través de este tambor rotatorio, que en su interior posee levantadores cuya función es producir turbulencia en la hojuela para que sea mezclada homogéneamente con la resina y cera atomizada por los *spinner heads*.

Las principales partes de un atomizador o *spinner heads* son la carcasa, el cono atomizador y el motor eléctrico. La resina o cera entra a presión de la forma que se muestra en la **Figura 2.3**, llegando hasta el cono rotativo que tiene una serie de agujeros por donde sale el fluido atomizado.

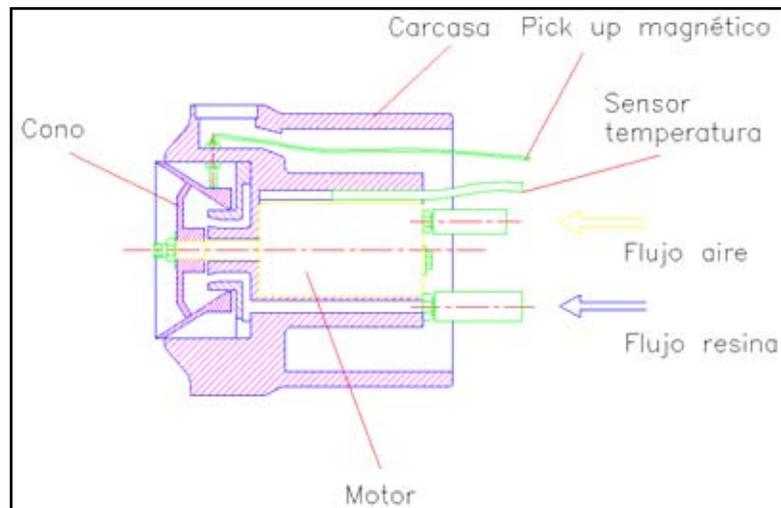


Figura 2.3 Partes principales de un atomizador.

En el caso de los atomizadores de resina fenólica, éstos son limpiados cada cierto tiempo, haciendo pasar agua con resina mediante la activación de electro válvulas. Además, los *spinner heads* son refrigerados por aire comprimido previamente enfriado.

A través del tiempo, se ha determinado que el mejor resultado en la calidad de los tableros se consigue con la posición de los atomizadores mostrada en la **Figura 2.4**.

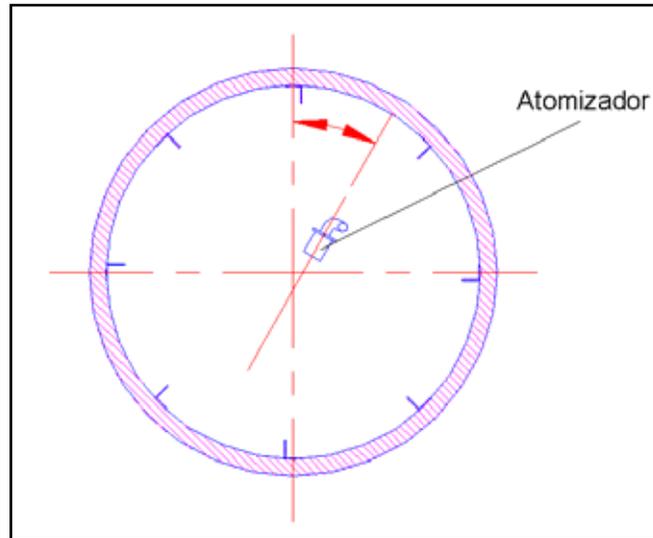


Figura 2.4 Corte transversal de un *blender*.

Marca	CAE 8/20 <i>Blender</i>
Tipo	Tambor horizontal
Serial number	210-86 #1 y #2
Nº de <i>blenders</i>	2
Capacidad (hojuelas)	200 lb/min. Máxima
Diámetro interno	96"
Largo del tambor	20' - 0"
Ángulo de inclinación	3°-8° ; se usa 3°
Numero de levantadores	8
Revestimiento interno	Polipropileno

Tabla 2.2 Características y especificaciones de las mezcladoras.

2.1.4 Transportes de salida mezcladoras

Ambas cumplen la función de llevar la mezcla hojuela/adhesivo-aditivos al silo de las formadoras. En el caso del transporte de salida mezcladora superior, ésta llega primero a un chute de derivación, el cual permite transferir la hojuela para la formadora inferior o para el transporte de transferencia formadora superior.

Características	Transporte de Superficie	Transporte de Centro
Diámetro tambor motriz	406 mm	406 mm
Diámetro tambor conducido	338 mm	330 mm
Distancia entre ejes	17457 mm	27773 mm
Ángulo de inclinación	21.4°	18.5°
Potencia motor	10 hp	10 hp
Marca de correa	Gummilabor	Gummilabor
Tipo de correa	EP 400/3 3+2, cubierta sup. Taco nervado	EP 400/3 3+2, cubierta sup. Taco nervado
Espesor correa	1/2"	1/2"
Ancho correa	600 mm	600 mm
Largo correa	36400 mm	48734 mm

Tabla 2.3 Características de transportes salida mezcladoras.

2.1.5 Chute de derivación

Este sistema, por medio de un deflector accionado por cilindro neumático, se encarga de distribuir la mezcla (hojuela seca, adhesivo y aditivos) de la línea de superficie, hacia los silos de formadora inferior y superior (ver **Figura 2.5**).



Figura 2.5 Chute de derivación.

2.1.6 Transporte de transferencia a formadora superior

Éste proviene del chute de derivación y llega a la formadora superior. Sus características son las siguientes:

Características	Transporte de transferencia
Diámetro tambor motriz	248 mm
Diámetro tambor conducido	248 mm
Distancia entre ejes	14186 mm
Ángulo de inclinación	15.85°
Potencia motor	7.5 hp
Marca de correa	Gummilabor
Tipo de correa	EP 400/3 3+2, cubierta sup. Taco nervado
Espesor correa	1/2"
Ancho correa	600 mm
Largo correa	29700 mm

Tabla 2.4 Características de transporte transferencia formadora superior.

2.1.7 Silo de formadoras

Hasta este punto abarca el estudio de optimización. Aquí es donde se almacena la mezcla hojuela/adhesivo. Existen tres formadoras, dos de superficie (inferior y superior) y otra de centro.

Los silos de formadoras son responsables de mantener una alimentación continua hacia los discos formadores. De su nivel depende la continuidad del proceso de formación y encolado.

El silo de formadora es similar a los silos secos (ver **Figura 2.6**). Posee rastra (*rake back*), rodillos dosificadores (*doffing rolls*) y cinta de fondo de formadora (*live bottom*); la diferencia está en la capacidad, que es de 8-10 m³, y en la forma de alimentación.

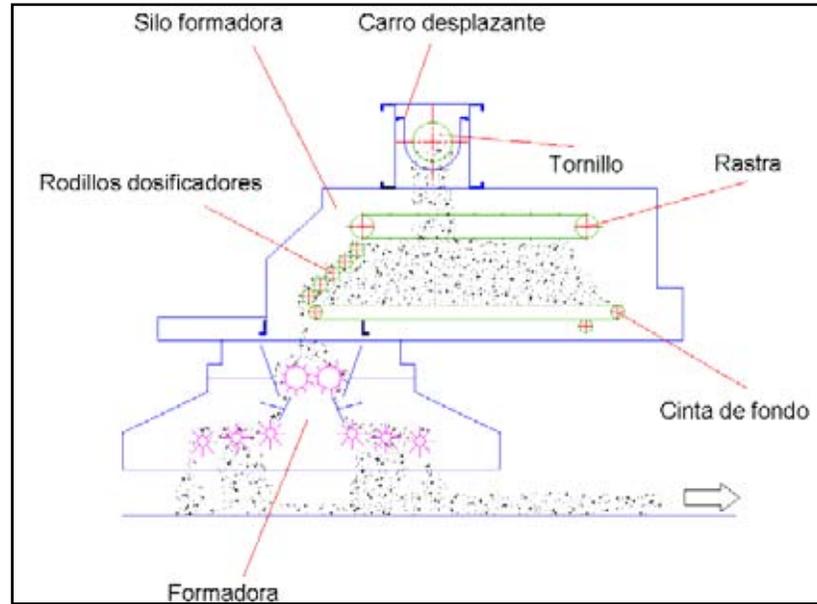


Figura 2.6 Subequipos de formadora.

La alimentación de las formadoras se realiza por un subequipo llamado tornillo distribuidor (ver **Figura 2.7**) que, junto al desplazamiento de un carro, hace posible una distribución transversalmente homogénea de las hojuelas.

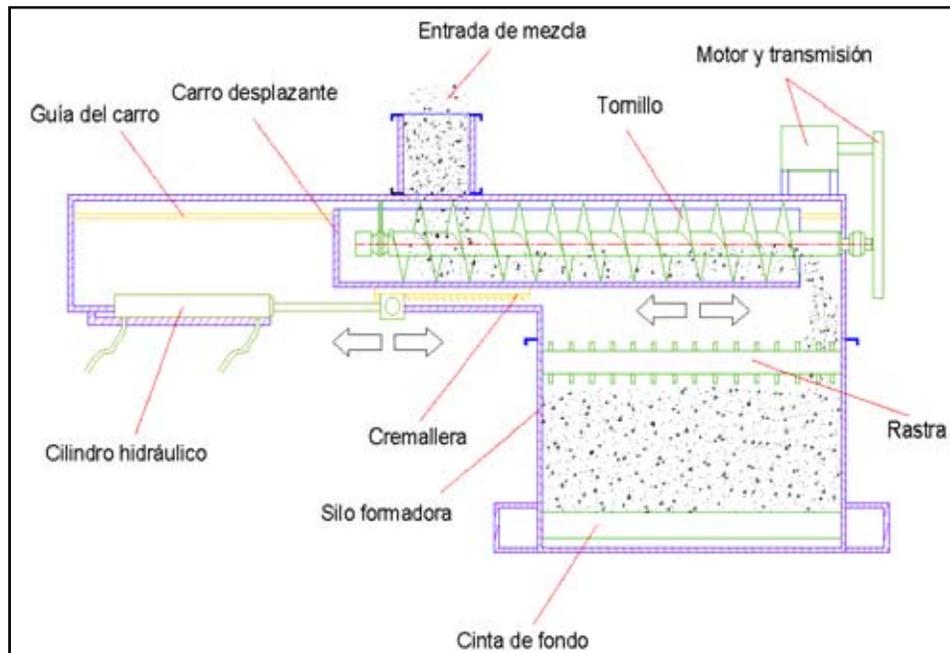


Figura 2.7 Llenado de formadora.

2.2 Equipos de especialidad mecánica

En el anexo 2 se encuentran resumidos todos los equipos de especialidad mecánica de la etapa de encolado. A continuación se describirán los más importantes, que están asociados a las mezcladoras y se ubican en la sala de adhesivo (ver **Figura 2.8**).

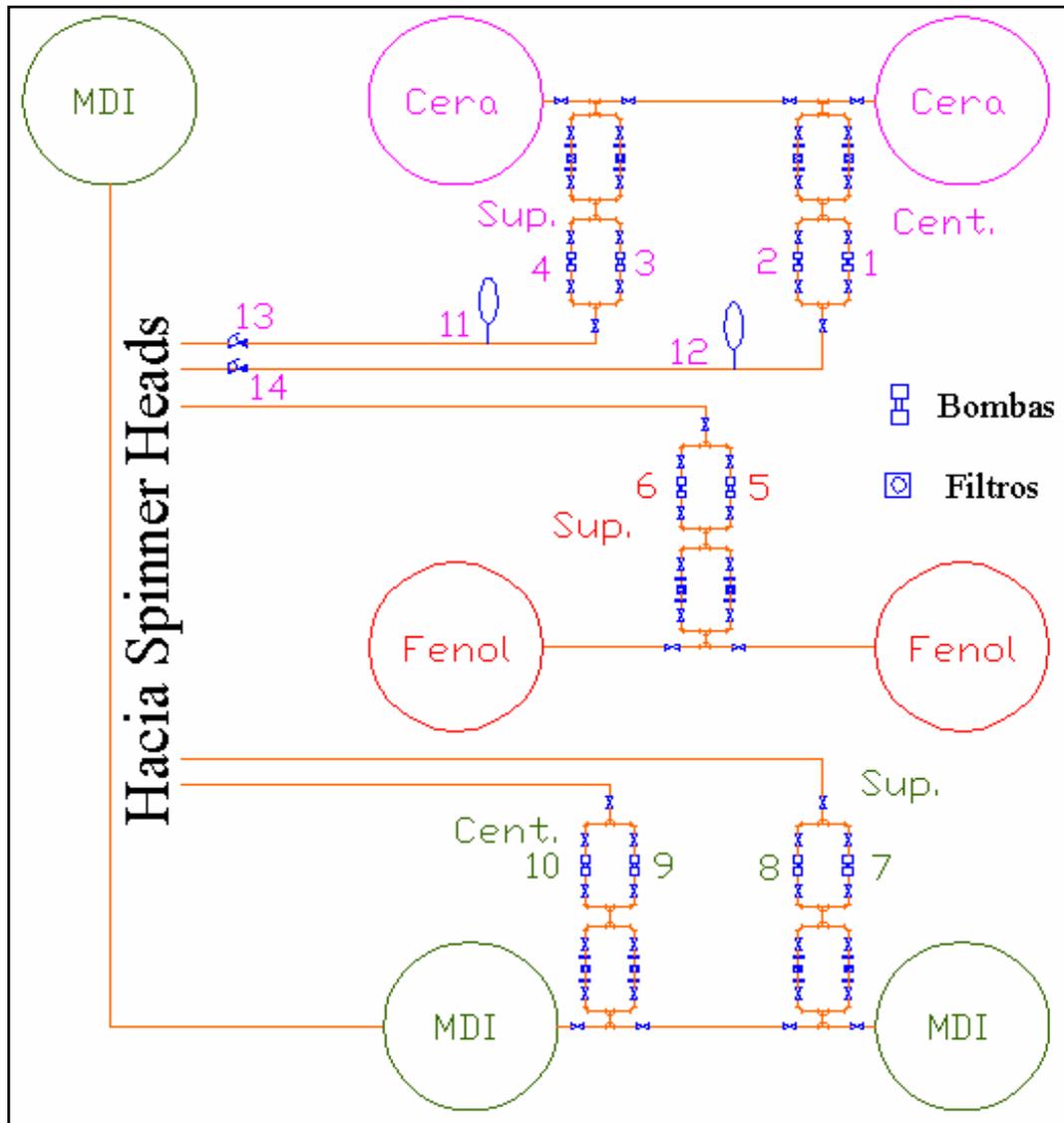


Figura 2.8 Esquema del sistema de adhesivo.

En la **Figura 2.8** se pueden ver los sistemas de resinas MDI - fenol y el sistema de cera, tanto para línea de superficie como de centro, con sus respectivas bombas (1 al 10). El circuito hidráulico de cera es el único que cuenta con acumuladores de presión (11 y 12) y electroválvulas de retención (13 y 14).

2.2.1 Bombas

De la **Figura 2.8**, se pueden identificar las siguientes bombas:

2.2.1.1 Bombas peristálticas Bredel Hose SP/15 (1, 2, 3 y 4)

Son bombas de desplazamiento positivo. Su nombre se debe al funcionamiento similar del esófago (movimientos peristálticos, ver **Figura 2.9**); por lo tanto, entregan un flujo pulsante, necesitando por lo mismo de un acumulador de presión para entregar un caudal continuo a los atomizadores, y de una electroválvula de retención, cuya función es mantener el circuito hidráulico presurizado cuando el encolado se detenga. Estas bombas funcionan en un rango aproximado de 5 a 28 RPM.

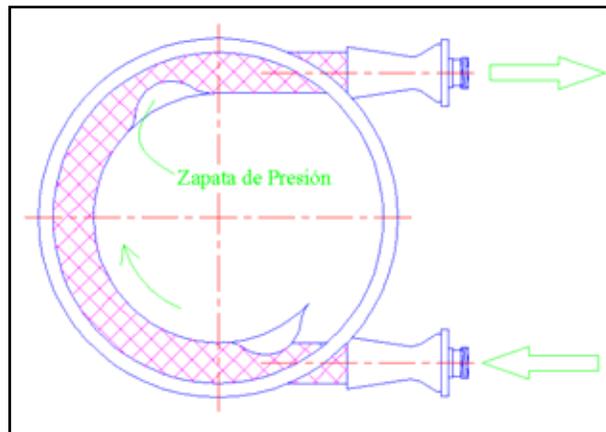


Figura 2.9 Funcionamiento de las bombas peristálticas Bredel Hose.

2.2.1.2 Bombas de tornillo Nova Rotors SRL 020-1 (5, 7, 8, 9 y 10) y Moyno 500 (6)

Bombas de desplazamiento positivo. A pesar de que son bombas volumétricas, el flujo entregado por estas bombas es continuo, ya que funcionan a velocidades mucho más altas que las bombas peristálticas (300 RPM aprox.). Ver funcionamiento en **Figura 2.10**.

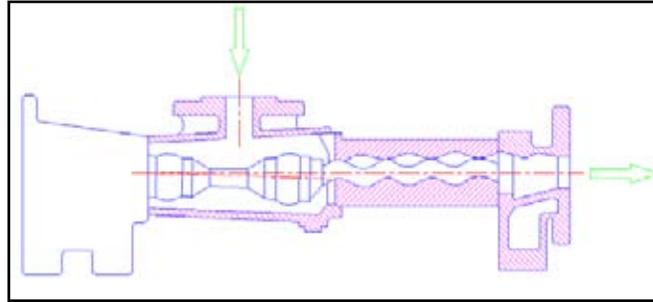


Figura 2.10 Funcionamiento de las bombas de tornillo.

2.2.2 Acumuladores

Un acumulador es un cuerpo de acero en cuyo interior existe un recipiente elástico, cuya función es mantener una presión y caudal constante en el circuito hidráulico [9]. El tipo de acumulador existente en la línea de cera (superficie y centro) es del tipo *bladder*, el cual contiene una barrera elástica entre la cera y el gas (aire), como se ilustra en la **Figura 2.11**. El *bladder* está fijo al acumulador mediante un elemento de válvula de gas vulcanizada. En el fondo del *bladder* existe un tope, cuya función es prevenir que el elemento elástico ingrese al sistema hidráulico cuando éste se encuentre despresurizado.

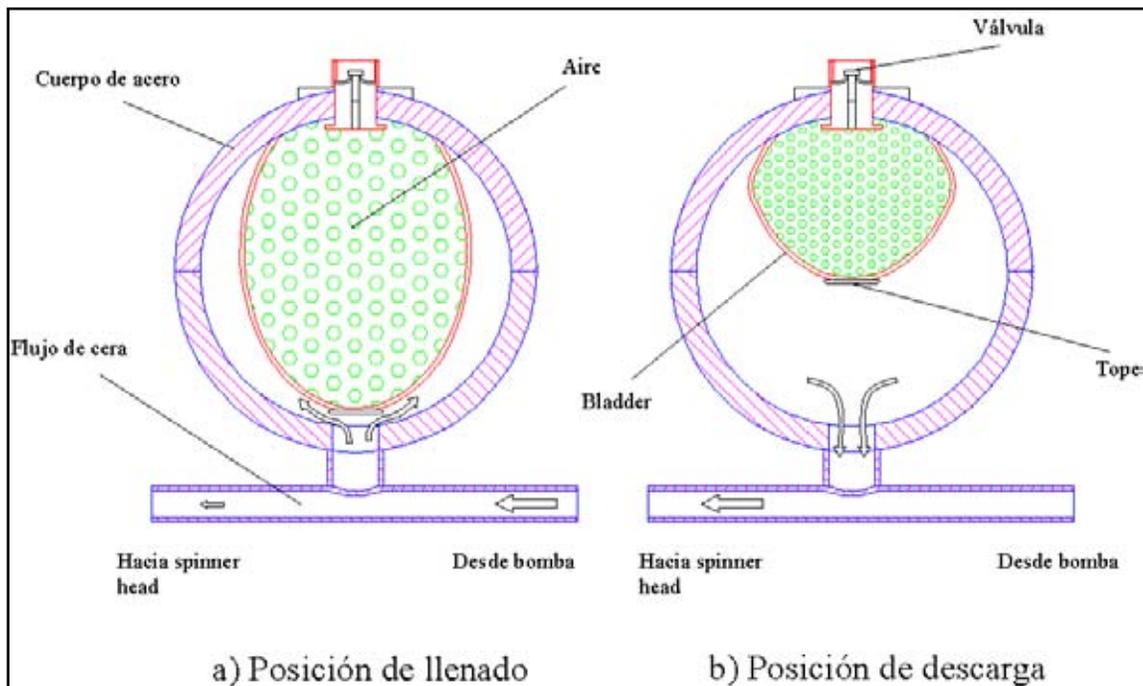


Figura 2.11 Funcionamiento de un acumulador de presión.

2.2.3 Válvula retención de cera

Para mantener el circuito hidráulico de cera presurizado, cuando se detiene el encolado, se utiliza una válvula 2/2 con acción electromagnética y retorno por resorte, ver **Figura 2.12**.

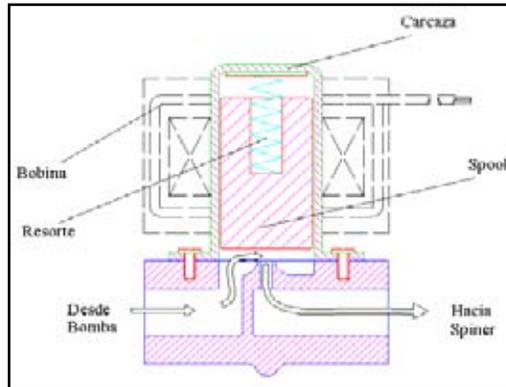


Figura 2.12 Funcionamiento de válvula retención de cera.

2.2.4 Filtros

Observando la vista en corte, puede deducirse que la presión favorece el cierre, pues el lado de mayor presión está por encima del elemento de obturación. Cuando se levanta el spool el fluido deberá pasar por un agujero de 3mm de diámetro.

En relación a los filtros utilizados en el circuito hidráulico se puede decir que son los mismos para cada línea de adhesivo y cera. Su forma de trabajo puede apreciarse en la **Figura 2.13**, en donde el flujo pasa por una malla con espacios de 1 mm^2 , evacuando luego el fluido libre de suciedad.

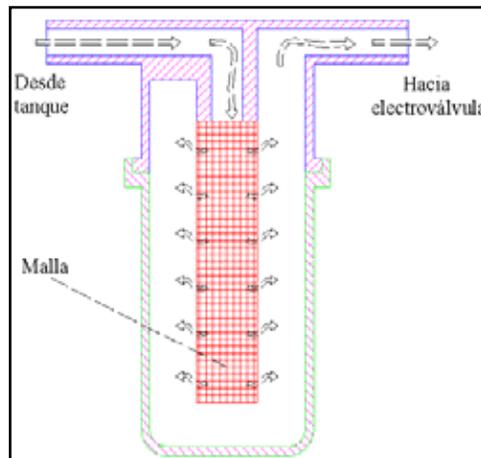


Figura 2.13 Funcionamiento de filtros en sistema de cera.

2.3 Equipos de especialidad eléctrica y de control

Louisiana Pacific corresponde a una planta industrial, como se menciona anteriormente, la cual trabaja, como cualquier otra planta de naturaleza similar, con sistemas eléctrico-electrónicos de potencia y sistemas electrónicos de control. Respecto a los sistemas eléctricos de fuerza, corresponden principalmente a motores tanto de corriente alterna como de continua, con sus respectivos elementos de alimentación, protección y control asociados, tales como: transformadores de poder, protección magnética, protección térmica, contactores, drivers electrónicos para los casos de control de velocidad, etc.

Dentro de la planta se encuentran cuatro salas eléctricas; en dos de ellas se ubican las subestaciones que alimentan equipos y elementos (transformadores de potencia). Además, en cada una de las salas eléctricas existen MCC's (*motor center control*), donde se ubican los elementos de alimentación, protección y control de potencia.

Debido a lo extenso del proceso, éste se divide en áreas dónde existe gran cantidad de equipos y elementos eléctricos de potencia (motores), como también un gran número de dispositivos de detección y actuación (sensores, válvulas, etc.), razón de la existencia de un registro bien específico y numerado para una rápida y eficiente identificación de ellos. Este registro se denomina TAG e indica el área y unidad mecánica al que pertenece un equipo determinado.

Los sensores que posee la planta se pueden clasificar en dos tipos: sensores que entregan señales análogas, tanto en corriente (rango 4 a 20 mA) como en tensión (rango 0 a 10 VDC); y sensores de salida digital, es decir, que entregan caracteres correspondientes a dos estados lógicos (ON-OFF). Tanto las salidas de los sensores análogos como digitales se dirigen hacia entradas de PLC's, los cuales procesan e interpretan los caracteres, para luego generar señales de comando hacia sistemas de potencia (motores, electroválvulas, etc.).

Cabe destacar la existencia de tres PLC's, los que generan la automatización del 90% del proceso de producción. Éstos se alojan en tres gabinetes (gabinetes I/O locales) con sus respectivos módulos de entrada y salida. Cada uno de ellos se ubica en una respectiva sala eléctrica, para su alimentación. Debido a la ubicación distante entre

sensores y PLC's es inconveniente establecer la conexión física entre éstos, por la necesidad de cableado, lo que redundaría en una gran confusión. Esto conlleva a la necesidad de contar con extensiones para cada PLC, en forma de gabinetes llamados I/O remotos, ubicados cerca de los sensores, los cuales establecen comunicación directa con los gabinetes de I/O locales, y, por ende, con los PLC's.

Gran parte del proceso de producción es monitoreado y visualizado en una sala de control ubicada en el interior de la planta, la que posee seis HMI's (interfases máquina-hombre). Una HMI corresponde a una estación de trabajo donde se muestra cada área del proceso en forma animada. Se posee tres HMI's en terreno. La comunicación entre PLC's y HMI's se describe a continuación: entre el gabinete I/O local y la sala de control se utiliza una red *ethernet TCP/IP*; además, los PLC's se comunican entre si mediante una red propietaria: *ModBus Plus (MB+)*. Sin embargo, los HMI's pueden comunicarse con los PLC's utilizando un dispositivo puente entre las redes *Ethernet & MB+* (*bridge*). Lo anterior se refleja en la **Figura 2.14**:

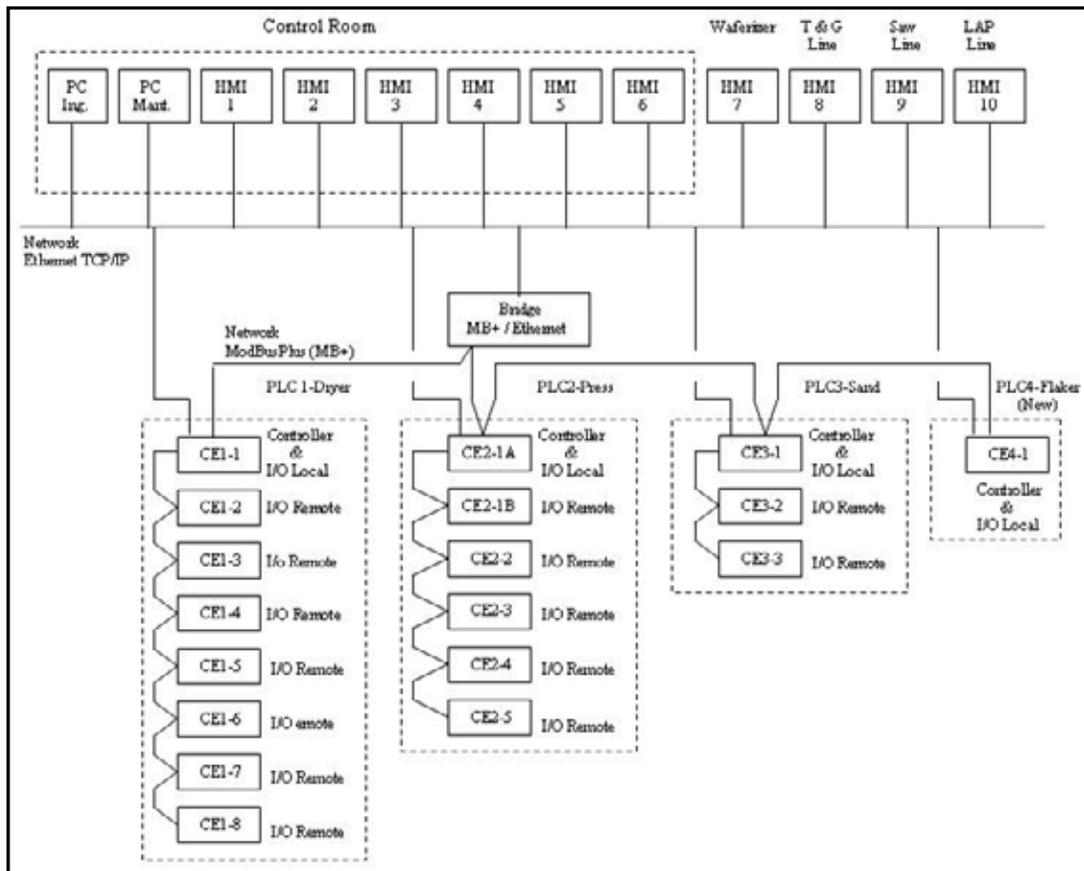


Figura 2.14 Comunicación entre dispositivos de control y HMI's.

2.3.1 Equipos de especialidad eléctrica

Se realizó un levantamiento de información de los equipos de especialidad eléctrica pertenecientes al área de estudio, es decir, entre silos secos y formadoras para ambas líneas de trabajo (centro y superficie), con el objetivo de comprender de mejor forma el proceso de encolado. Esta información se muestra en el anexo 3.

A continuación se realizará una breve descripción de estos equipos.

2.3.1.1 Motor eléctrico

Sistema eléctrico rotatorio, el cual convierte energía eléctrica en energía mecánica. Corresponde al actuador más usado en plantas industriales. Se pueden clasificar en dos tipos: motores de corriente continua y motores de corriente alterna, los cuales se diferencian principalmente en el modo de regulación de la velocidad, y que por tanto utilizan sistemas electrónicos diferentes.

2.3.1.2 Drivers

Tanto en el mercado como en la mayoría de las plantas industriales existen dos grandes tipos de drivers; aquellos que manejan corriente continua (drivers d.c.) y los que trabajan con corriente alterna (drivers a.c.).

Ahora bien, un driver d.c. corresponde a un sistema electrónico retroalimentado capaz de mantener la velocidad de un motor de corriente continua (motor d.c.) en un valor deseado (constante), de acuerdo a una consigna o *set point*.

Por otro lado, el driver a.c., cuyo nombre comercial corresponde a variador de frecuencia, es un aparato electrónico que permite controlar la velocidad de motores a.c. (principalmente de inducción eléctricos), cambiando la frecuencia de la tensión enviada al motor en un rango determinado [16].

2.3.1.3 Transformador

Se denomina transformador a un dispositivo electromagnético que permite aumentar o disminuir la tensión y la intensidad de una corriente alterna, de forma tal que su producto permanezca constante (ya que la potencia que se entrega a la entrada de un

transformador ideal, esto es, sin pérdidas, tiene que ser igual a la que se obtiene a la salida).

Los transformadores son dispositivos basados en el fenómeno de la inducción electromagnética y están constituidos, en su forma más simple, por dos bobinas devanadas sobre un núcleo cerrado de hierro dulce. Estas bobinas o devanados se denominan primario y secundario [17].

2.3.1.4 Protección térmica (RT)

Interruptor accionado por un aumento de temperatura. Este aumento se relaciona directamente con el aumento del amperaje presente en dicha protección. Por ende, se utiliza para salvaguardar de un alza de corriente en el dispositivo eléctrico que se conecte a la protección.

2.3.1.5 Contactor

Dispositivo mediante el cual se conecta la potencia eléctrica a un equipo determinado. Su función principal: permitir alimentación al equipo de fuerza. Actúa como puente entre alimentación y equipo.

2.3.1.6 Interruptor de seguridad

Interruptor de cuchillos cuya función es salvaguardar al equipo de fuerza. Usualmente es el último elemento conectado al equipo de fuerza.

2.3.1.7 Protección EM (breaker)

Interruptor cuya función es desenergizar equipo y elementos de fuerza. Corresponde al primer elemento conectado al motor, inmediatamente después de la alimentación.

2.3.2 Equipos de especialidad de control

Se realizó un levantamiento de información de los elementos de especialidad de control pertenecientes al área de estudio, es decir, entre silos secos y formadoras para ambas líneas de trabajo (centro y superficie), con el objetivo de comprender de mejor forma el proceso de encolado. Esta información se muestra en el anexo 4.

A continuación se realizará una breve descripción de estos equipos.

2.3.2.1 Sensor medidor de nivel (microondas)

Instrumento sensor, capaz de detectar nivel de carga de material en el interior de un recipiente y enviar la señal a un controlador programable. Se compone de un elemento transmisor (genera señal de microondas) y de un receptor (recibe señal de microondas). Se basa en el principio de propagación de onda electromagnética tipo microondas para realizar tal detección. Ésta se realiza cuando algún objeto corta la señal de microondas.

2.3.2.2 Sensor medidor de nivel (fotoeléctrico)

Instrumento sensor, capaz de detectar nivel de carga de material en el interior de un recipiente y enviar la señal a un controlador programable. Se compone de un elemento transmisor (genera señal de luz), y de un receptor (detecta la presencia o ausencia de luz reflejada procedente de la fuente). La detección de ésta luz genera una señal de salida digital [19].

2.3.2.3 Sensor proximidad inductivo

Dispositivo diseñado para detectar objetos metálicos. Opera según el principio del oscilador neutralizado de corrientes parásitas (ECKO, *Eddy Current Killed Oscillator*). Estos sensores generan un campo electromagnético.

Cuando un objeto metálico entra en este campo se inducen corrientes de superficie (corrientes parásitas) en dicho objeto, las cuales restan energías al campo electromagnético, dando lugar a una pérdida de energía en el circuito del oscilador y, por tanto, a una reducción de la amplitud de la oscilación. El circuito activador detecta este

cambio y genera una señal de encendido o apagado. Cuando el objeto sale del campo electromagnético el oscilador se regenera y el sensor vuelve a su estado normal [19].

2.3.2.4 Sensor de velocidad (encoder)

Tacogenerador, detector de velocidad de sistemas rotatorios. La señal generada a la salida de éste es de forma de pulsos digitales modulados, relacionados directamente con la revoluciones del eje del motor.

2.3.2.5 Celda de carga

Instrumento sensor capaz de detectar variación de flujo másico. Su principio de detección se basa en una resistencia tipo strain-gauge que posee, la cual varía su resistencia eléctrica debido a la deformación de este elemento en presencia de una presión. Tal variación de resistencia eléctrica se relaciona directamente con la variación de presión.

2.3.2.6 Transmisor indicador de peso

Equipo digital, capaz de interpretar señales análogas provenientes de un sensor de peso (celda de carga) y enviarlas a un display LCD, para su visualización.

2.3.2.7 Solenoide activador de válvula

Corresponde a un vástago de poder accionado por el energizamiento de una bobina enlazada a él. Al energizarla genera un campo magnético, logrando desplazar el vástago.

2.3.2.8 Sensor de flujo (flujómetro)

Instrumento sensor capaz de detectar variación de fluidos licuosos. Su principio de detección se basa en el efecto de coriolis.

2.3.2.9 Transmisor indicador de flujo

Equipo digital capaz de interpretar una señal análoga proveniente del sensor de flujo (flujómetro) y enviarla a un display LCD, para su visualización.

2.3.2.10 Sensor de nivel (vibración)

Instrumento sensor capaz de detectar atochamientos de carga en estructuras de almacenaje, como chutes y otros. Su principio se basa en la vibración de un vástago. Al dejar de vibrar envía una señal a un controlador lógico, indicando del atollo existente en la estructura.

2.3.2.11 Sensor final de carrera

Dispositivo electromecánico que consta de un accionador unido mecánicamente a una serie de contactos. Cuando un objeto entra en contacto con el accionador se activan los contactos, para establecer o interrumpir la conexión eléctrica.

2.3.2.12 Caja de conexionado

Caja de conexión en la cual llegan terminales de control y alimentación de sensores, principalmente. En el interior de ésta se realizan las uniones o conexionados con las fuentes de alimentación para sensores y PLC's.

2.3.2.13 PLC

El PLC (controlador lógico programable), o autómata programable industrial, es un equipo electrónico de control que se basa en un programa interno, en el cual un operador definirá la secuencia de acciones que se realizarán según los requerimientos de un proceso específico. Esta secuencia de acciones se ejercerá sobre las salidas del autómata a partir del estado de sus señales de entrada.

2.3.2.14 Tacómetro

Medidor de velocidad. Corresponde a un generador, el cual al ser excitado con movimiento angular entrega energía. Esta variación de energía está relacionada con la velocidad generada por el movimiento angular.

2.4 Descripción del control de la etapa de encolado

El control de la etapa de encolado es supervisado en la sala de control, donde se encuentran seis monitores HMI, de los cuales dos muestran continua y dinámicamente el proceso de encolado.

Comenzando desde los silos secos hasta los silos de las formadoras la visualización de la etapa de encolado parte con el nivel de los silos secos. Cuando éste baja del 25 % el encolado se detiene automáticamente, como una medida de seguridad para evitar flujo discontinuo de hojuelas a la salida de estos silos.

La dosificación de hojuelas, a la salida de los silos secos, es realizada mediante un cambio manual de la velocidad del motor que mueve la cinta de fondo (velocidad de encolado). Como no existe un sistema que mida la cantidad de flujo de hojuelas, el departamento de control de procesos ha implementado planillas o tablas empíricas de seteos, donde, aproximadamente, es fijado un porcentaje de velocidad de encolado, dependiendo del producto a fabricar y del mix que se esté utilizando.

La etapa de encolado sigue con el transporte a velocidad constante de las hojuelas hacia los *blenders*, donde éstas son impregnadas con resina-cera y borato de zinc (cuando sea necesario). Para controlar la proporción entre hojuelas y resina-cera se procede de la siguiente forma:

- Primero, es seteada la velocidad de las bombas para entregar un flujo constante de resina-cera. Esto es controlado automáticamente por el PLC.
- Luego, es fijada manualmente un porcentaje de velocidad de encolado, tomando referencia de las tablas empíricas.

En el caso del borato de zinc, su cantidad es controlada fijando en terreno la velocidad del tornillo dosificador a la entrada de los *blenders*.

Cabe señalar que el encolado se detendrá automáticamente ante cualquier falla de movimiento de algún mecanismo de la etapa de encolado o formado.

Después que las hojuelas se mezclan con resina, cera y/o borato de zinc son llevadas a velocidad constante a los respectivos silos de las formadoras.

El llenado de los silos de las formadoras debe mantenerse constante, ya que, en caso extremo, se detendrá la etapa de encolado o formado, según la lógica mostrada en la **Tabla 2.5**.

	Línea de superficie	Línea de centro
Detención encolado	Nivel silo inferior y superior $\geq 100\%$	Nivel silo centro $\geq 100\%$
Detención formado	Nivel silo inferior y superior $\leq 25\%$	Nivel silo centro $\leq 25\%$

Tabla 2.5 Lógica de detención encolado o formado, según nivel silos de formadoras.

Para mantener un nivel constante de los silos de las formadoras el operador de la sala de control debe prever las situaciones mostradas en **Tabla 2.5**, y corregir manualmente el porcentaje de velocidad de encolado.

Resumiendo hasta aquí lo expuesto, se tiene que la principal razón de optimizar el proceso de encolado se refiere a la dosificación de hojuelas a la salida de los silos secos, ya que no existe un control automático para esta tarea, lo cual, según estimaciones de gerencia de producción lleva a utilizar un 5% de sobreconsumo de resina; esto para asegurar que los tableros estén dentro de las especificaciones de calidad.

Por otro lado, también está la situación de detenciones no deseadas en el proceso de encolado, ya sea por el llenado de las formadoras u otros problemas que serán aclarados más adelante en el capítulo 4 (evaluación de situaciones).

Pero antes de encontrar las causas y determinar soluciones de los problemas es necesario realizar un marco teórico donde se aclaren: el concepto de optimización del control del encolado, y factores a considerar para que el proceso y control de éste sea el adecuado. Esto se muestra en el capítulo que sigue.

CAPÍTULO 3

OPTIMIZACIÓN DEL CONTROL DE LA ETAPA DE ENCOLADO

Optimizar el control de encolado involucra básicamente dos aspectos. El primero es conocer las variables, parámetros y rangos de operación del encolado, para que éste se realice de la mejor forma posible: “**óptimo encolado**”. El segundo aspecto es determinar el mejor sistema para controlar las variables del encolado, basado en la teoría de control: “**óptimo sistema de control**”.

3.1 Óptimo encolado

Para que exista un óptimo proceso de encolado de las partículas (aplicable también a las hojuelas) se debe maximizar en lo posible la “uniformidad de impregnación del adhesivo” en las partículas [1]. También, existen otros factores que influyen en un óptimo encolado, y tienen que ver con la “continuidad del proceso de encolado” y el “desempeño de los equipos, subequipos y equipos de especialidad mecánica”.

3.1.1 Uniformidad de impregnación del adhesivo

La uniformidad de impregnación del adhesivo significa que la distribución de la resina sobre la superficie de las hojuelas, debe maximizar la calidad del tablero y minimizar los costos por uso de resina (aplicable también para cera) [1]. Mantener la calidad del OSB sin aumentar los costos implica que cada hojuela debe ser totalmente cubierta de resina usando la mínima cantidad de ésta.

Para lograr la uniformidad de impregnación de las hojuelas se deben controlar:

- Eficiencia del uso de resina-cera.
- Variables de operación del *blender*.
- Geometría y densidad de las hojuelas.
- Integridad estructural de las hojuelas (calidad de las hojuelas).
- Contenido de humedad.

Las variables de geometría, densidad, calidad y humedad de las hojuelas no son controlables en la etapa de encolado, ya que estas tres primeras dependen de la materia prima utilizada y de la etapa de viruteado. Además, el contenido de humedad es controlado en la etapa de secado. Por lo tanto, sólo la eficiencia del uso de adhesivo y las variables de operación del *blender* son controlables en la etapa de encolado.

3.1.1.1 Eficiencia del uso de resina

Un eficiente uso de la resina pasa principalmente por un adecuado control de la proporción hojuela-adhesivo. Esto trae consigo beneficios económicos, ya que se usa la cantidad correcta de adhesivo, y también tiene beneficios en la calidad del producto, minimizando la probabilidad de que las hojuelas sean impregnadas con una deficiente cantidad de resina.

En todos los sistemas de encolado de partículas, basados en el control de **flujo másico** (hojuelas-adhesivo), casi siempre las partículas finas reciben desproporcionadamente mayor cantidad de resina que las partículas más gruesas [1]. Esto, debido a que las partículas finas tienen mayor superficie de exposición para un peso dado, porque la variación de densidad está de por medio (ver comparación en **Figura 3.1**).

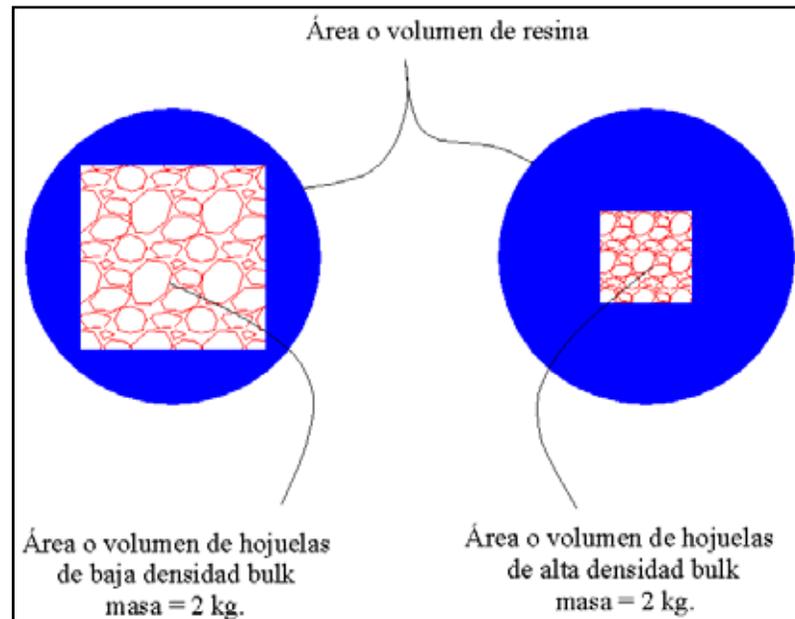


Figura 3.1 Desventaja de un control de proporción basado en peso cuando existe una variación de densidad.

Según la comparación anterior, se puede decir que un control de proporción basado en flujo de masa (kg/min.) es factible para materia prima (hojuelas) cuya densidad bulk no varíe demasiado. Esto lleva a decir que un control de proporción basado en **flujo volumétrico** (m³/min.) es el ideal para una materia prima cuya densidad bulk presente gran variabilidad.

Otro aspecto a considerar en un eficiente uso de resina, por lo tanto, una mayor uniformidad en la impregnación de resina (fenólica), es diluir ésta con agua. Teóricamente aumenta su eficiencia, pero hasta cierto punto, debido a que al adicionar mayor cantidad de humedad a las hojuelas puede causar que la resina penetre al interior de éstas, y así se vea comprometida su unión en el proceso de prensado. La experiencia en la planta ha determinado que un 43% de dilución entrega buenos resultados.

El almacenamiento del adhesivo y cera también es un factor importante en la eficiencia. Para que exista un buen almacenamiento debe existir un control del tiempo de almacenaje y de la temperatura.

El mantenimiento y limpieza son otros aspectos que no se deben dejar de lado. Aquí se consideran aspectos tales como:

- Adecuado mantenimiento de filtros.
- Limpieza de línea de adhesivos y cera.
- Limpieza de tanques de almacenamiento.
- Mantenimiento de válvulas.

3.1.1.2 Variables de operación del *blender*

Las principales variables de operación del *blender* que pueden ser controladas para tener efectos en la uniformidad de impregnación del adhesivo son: la velocidad de rotación del *blender* y la velocidad de rotación de los atomizadores.

Pero además existen otros factores que también inciden en la uniformidad de impregnación del adhesivo. Todas estas variables son analizadas en el anexo 5 (análisis de funcionamiento de principales equipos del encolado). En la tabla 3.1 se resumen las variables y parámetros de operación del *blender*, con sus recomendaciones respectivas.

VARIABLES DE OPERACIÓN <i>blender</i>	RANGOS RECOMENDADOS	PARÁMETROS UTILIZADOS
Velocidad de rotación del <i>blender</i>	entre 21 a 25 RPM	20, 21 y 23 RPM
Ángulo de inclinación del <i>blender</i>	entre 3° a 8°	3°
Número de levantadores	No afecta entre 18 y 25 RPM	8 levantadores.
Posición prolongaciones	Helicoidal (figura anexo 5)	Desordenada
Velocidad de rotación spinner heads	Experiencia de cada planta	MDI (13000); Fenol (11000); Cera (6000)

Tabla 3.1 Variables, parámetros y rangos de operación del *blender*.

3.1.2 Continuidad en el proceso de encolado

La continuidad es otro factor que influye en un óptimo encolado, ya que al existir interrupciones el tiempo que transcurre entre el encolado y el prensado de las hojuelas preparadas aumenta, influyendo en el efecto del adhesivo en el prensado (afectando calidad). Pero, la preocupación mayor es que un proceso de encolado con interrupciones disminuye la producción, aumentando los costos por lucro cesante.

Para abordar el aspecto de continuidad del proceso de encolado se ha recurrido a la utilización del método de detección de fallas de Kepner-Tregoe, con el fin de encontrar las verdaderas causas de los problemas que afectan a la continuidad del suministro de hojuelas para etapas posteriores al encolado. Las verdaderas causas de estos problemas y sus respectivas soluciones se muestran en el capítulo 4 (evaluación de situaciones).

3.1.3 Desempeño de los equipos, subequipos y equipos de especialidad mecánica del encolado

Además del *blender*, las unidades de producción que permiten un proceso de encolado eficiente, es decir, que trabajen con las especificaciones de diseño, son básicamente los silos secos, los transportes de alimentación de salida del *blender* y el sistema de adhesivo (bombas, acumuladores, válvulas y tuberías).

El desempeño de estos sistemas mecánicos incide directamente en la continuidad del proceso de encolado. Por lo tanto, de aquí la importancia de saber sobre el funcionamiento de estas unidades, lo cual es tratado en profundidad en el anexo 5 “análisis de funcionamiento de principales equipos del encolado” (silos, *blenders* y

transportes). El sistema de adhesivo se trata en el capítulo 5 (análisis de problemas), donde se determinará si efectivamente el desempeño de sus equipos de especialidad afecta el proceso de encolado.

Del análisis de funcionamiento de los principales equipos del encolado, en el anexo 5, se concluye lo siguiente:

- Todos los parámetros de funcionamiento del *blender* están dentro de las especificaciones de diseño o recomendaciones (rangos de operación), a excepción de la posición de prolongaciones de los levantadores, que no siguen un patrón helicoidal. En el capítulo 5 (análisis de problemas) se analiza si es una variable que pueda afectar la continuidad del proceso de encolado. Otro detalle a considerar más adelante son los chutes de salida de los *blenders*, los cuales tienen modificaciones con respecto al diseño original.
- En relación a los silos secos, se puede decir que existen perturbaciones en el flujo de salida de material, esto debido a que existen factores tales como: la gran variabilidad de la densidad bulk y la forma de carga irregular en el silo.
- Respecto a los transportes de salida de *blenders*, éstos funcionan dentro de las recomendaciones.

3.2 Óptimo sistema de control

Para obtener un óptimo control aplicado al proceso de encolado es necesario atender dos aspectos fundamentales: conocer las variables y parámetros, y aplicar un eficiente sistema de control. El primer objetivo, referente a las variables y parámetros de dicho proceso, se llevó a cabo en el ítem anterior. Respecto al segundo punto, es decir aplicar un eficiente sistema de control, se deben tener en cuenta ciertas condiciones inherentes a un sistema de control, como son: conocer la estructura de control idónea, tener claridad en los parámetros del controlador, identificar el correcto sistema sensor, e identificar y estimar las perturbaciones existentes en dicho proceso.

La aplicabilidad de una estructura de control depende básicamente de la naturaleza del proceso y de una atinada estrategia de control.

El equipo de especialidad de control, principalmente el instrumento sensor, que, como se sabe, forma parte medular de todo sistema de control, debe ser el correcto para el proceso. En caso contrario, generaría lecturas erróneas, lo que iría en desmedro del sistema de control, no logrando el objetivo. Ahora bien, localizándose en el proceso de encolado, el medio actual de sensoramiento corresponde a un conjunto de medidores de nivel, ubicados en los silos de formadoras, cuya descripción se menciona en el punto 2.3 “equipos de especialidad eléctrica y de control”.

Una vez que se conoce el rango de variación que debe tomar la variable a controlar, éste se puede incluir dentro de los parámetros del controlador (etapa de implementación), estableciendo los valores correctos que deben tomar las constantes que originan la acción de control, no necesariamente un PID.

Finalmente, el último punto importante a tener en cuenta es identificar y mantener bajo control las perturbaciones inherentes al proceso de encolado. Más adelante se describen algunas de las perturbaciones, destacando la importancia y el alcance que ellas tienen con el proceso. (para ver teoría de control ir a anexo 6.).

CAPÍTULO 4

EVALUACIÓN DE SITUACIONES

La evaluación de situaciones se encuentra resumida en el anexo 8, según el método de Kepner-Tregoe [17]. A continuación se muestra como se realizó.

4.1 Identificación, separación y aclaración de preocupaciones

Existen dos grandes preocupaciones relacionadas con el funcionamiento del encolado. Éstas tienen que ver con:

- Deficiente manejo de las principales materias primas. Lo cual significa que en el proceso de encolado no se realiza un eficiente uso del adhesivo (MDI y Fenol). Según la teoría mostrada en el capítulo anterior, se debe principalmente a una inadecuada uniformidad de impregnación del adhesivo.
- La falta de suministro más continuo para etapas posteriores al encolado. Significa que se han determinado tres situaciones que influyen en el suministro de hojuela para etapas posteriores al encolado, que son: la generación de tacos en el chute de descarga del *blender* de superficie, a veces el encolado no vuelve a reactivar cuando está en modo automático, y existe un deficiente control de llenado de las formadoras.

Por lo tanto, se han identificado, separadas y aclaradas las siguientes preocupaciones existentes en la etapa de encolado del OSB:

1. Inadecuada uniformidad de impregnación del adhesivo.
2. Generación de tacos en chute de descarga del *blender* de superficie.
3. El encolado de superficie a veces no reactiva.
4. Deficiente control de llenado de las formadoras.

Fuente de información:

- Solicitudes de trabajo.
- Informes de producción.

- Estadísticas detenciones de producción (disponibilidad de equipos).
- Entrevistas con personas de producción, mantención, y control de calidad, y con operadores de turno.

4.2 Reconocimiento de problemas y análisis requerido

Para reconocer un problema se deben contestar tres preguntas, las cuales son: ¿Existe una desviación?, ¿La causa es desconocida? y ¿Se necesita conocer la causa?. Si la respuesta es afirmativa para las tres preguntas, entonces se está ante un problema [17].

4.2.1 Inadecuada uniformidad de impregnación del adhesivo.

a) ¿Existe una desviación?

Sí, existe una desviación, ya que no se mantiene constante la proporción de hojuela /adhesivo requerida, debiendo serlo.

b) ¿La causa es desconocida?

La causa es conocida, y es la falta de un sistema eficiente para medir el flujo de hojuelas secas y luego dosificar automáticamente las cantidades de hojuelas y adhesivo.

Por lo tanto, esta preocupación no corresponde a un “**Problema**”, sino a una “**Decisión**”. Queda entonces la tarea de “**seleccionar un arreglo**”. Esto es diseñar un sistema de control eficiente, que permita la dosificación hojuelas-adhesivo y que a la vez entregue la uniformidad de impregnación de resina (ver capítulo 6, “análisis de decisión”).

4.2.2 Generación de tacos en chute de descarga del *blender* superficie

a) ¿Existe una desviación?

Sí, porque debería mantenerse un flujo regular de hojuelas a través de todo el proceso, independiente de la demanda según los distintos productos.

b) ¿La causa es desconocida?

Sí. A pesar de que existen hipótesis es necesario evidenciar realmente la causa.

c) ¿Se necesita conocer la causa para tomar acción efectiva?

Sí, porque la acción implicaría una reducción de los tiempos muertos y por lo tanto tendría un impacto positivo en la productividad.

Por lo tanto, éste es un **“Problema”** y merece la atención.

4.2.3 El encolado de superficie a veces no reactiva

a) ¿Existe una desviación?

Sí, porque no debería existir impedimento para que arranque el encolado en forma automática, después de una detención normal de acuerdo a la lógica del proceso.

b) ¿La causa es desconocida?

Sí, aunque existen hipótesis que se deben comprobar.

c) ¿Se necesita conocer la causa para tomar acción efectiva?

Sí, porque con ello se podrá mejorar la productividad.

Por lo tanto, éste también es un **“Problema”** y merece la atención.

4.2.4 Deficiente control del llenado de formadoras

a) ¿Existe una desviación?

Sí, existe un deficiente control de llenado de formadoras, que se presenta más crítico para algunos tipos de productos.

b) ¿La causa es desconocida?

Sí, aunque existen hipótesis que se deben comprobar.

c) ¿Se necesita conocer la causa para tomar acción efectiva?

Si, porque esta situación causa interrupciones en el proceso de encolado y de formado, pudiendo generar, en algunos casos, inconvenientes en las propiedades y, por lo tanto, en la calidad del producto final.

Por lo tanto, éste también es un **“Problema”** y merece la atención.

CAPÍTULO 5

ANÁLISIS DE PROBLEMAS

El análisis de problemas se encuentra resumido en el anexo 9, según el método de Kepner-Tregoe [17]. A continuación se muestra como se realizó éste análisis.

5.1 Generación de tacos en chute de salida *blender* de superficie

5.1.1 Especificación del problema

El problema es la generación de tacos en el chute de salida del *blender* de superficie, y no en el *blender* de centro ni en el chute de entrada.

Los tacos ocurren desde que está en funcionamiento la planta. Se buscó un patrón relacionado con las variaciones de velocidad de encolado, fabricación de productos y mix de especies utilizado (ver **Figura 5.1**).

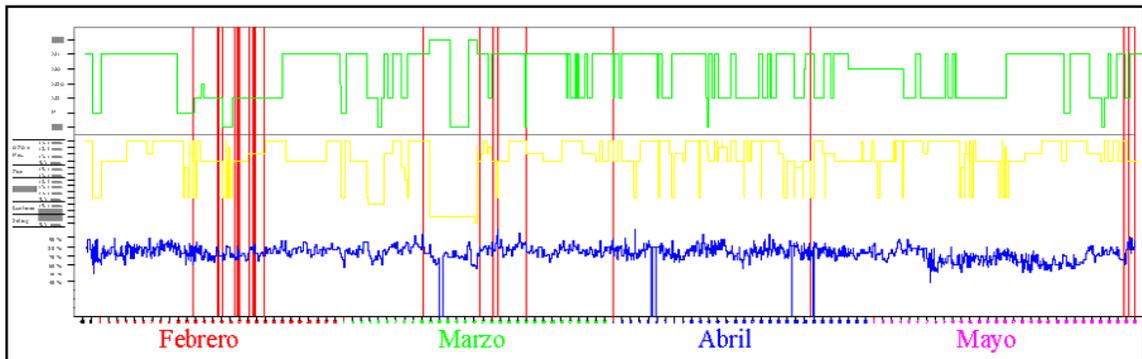


Figura 5.1. Determinación de patrón de tacos de causas desconocidas relacionado con la velocidad de encolado (grafico azul), producto (gráfico amarillo) y mix de especies (gráfico verde). La fecha y hora del taco (líneas rojas) fue graficada con una precisión de un minuto, al igual que las variables.

El análisis de este gráfico se realizó en el anexo 11 y se obtuvieron los siguientes resultados:

- Todos los tacos ocurrieron para fabricación de productos que requieren la mayor demanda de hojuelas (APA o Nac. 11.1, 15.1, 9.5), a excepción del taco ocurrido con producto Multiplac, Pero en este caso la velocidad de encolado de superficie fue de 99 %. Se debe considerar también que éstos son los productos con mayor porcentaje de fabricación en la planta.
- El período que va entre los días 9 y 18 de febrero de 2005 se registraron gran cantidad de fallas en la chapaleta de distribución, lo cual, por enclavamiento en la lógica de control, detiene cinta salida *blender* de superficie, generando así tacos. Por lo tanto, los tacos ocurridos entre ese período se asocian a fallas en chapaleta de distribución.
- El 90% de los tacos ocurridos fuera de ese período se registraron después de bruscas y repetitivas variaciones de velocidad del encolado.
- El 90 % de los tacos fuera del período ocurrieron para velocidades de encolado superiores a 70 %.
- El taco del día 29 de mayo de 2005, a las 16:47 hrs., fue el único que ocurrió con una velocidad de encolado de superficie baja (64%).
- No existe un patrón en cuanto a la variación del mix de especies utilizados, ya que se registraron tacos utilizando mix de baja densidad promedio (M1) y mix de alta densidad promedio (100% nativo). La explicación de esto puede ser la gran variación de la densidad bulk para cada tipo de mix. Cabe señalar que no se puede determinar con que densidad bulk ocurre un taco, ya que no existe en la planta un sistema que detecte en tiempo real la densidad bulk y la registre.

5.1.2 Identificación de posibles causas

En términos generales, se puede hablar de tacos de causas desconocidas y tacos de causas conocidas.

Los tacos de causas conocidas ocurren por fallas mecánicas, como por ejemplo detención de cinta, falla en chapaleta de distribución, falla en tornillo distribuidor, falla en rastras de formadoras, etc. Estos tacos son difíciles de evitar y ocurren esporádicamente.

El principal interés se encuentra en la generación de tacos de causas desconocidas en el chute de descarga *blender* de superficie.

Basado en la experiencia que existe en la planta, en el conocimiento teórico, y viendo diferencias entre la línea de superficie y línea de centro, se ha llegado a la siguiente lista de posibles causas:

- La inadecuada limpieza de chutes de salida puede generar un aumento del coeficiente de roce entre chute y hojuelas, impidiendo el tránsito normal de las hojuelas.
- Inadecuados parámetros de operación del *blender* podrían generar perturbaciones en el flujo de hojuelas a la salida de éste. Dentro de estos parámetros, se tiene: cantidad de resina, velocidad de rotación del *blender*, altura de los levantadores y sus prolongaciones, ángulo de inclinación del *blender* y posición de las prolongaciones de los levantadores.
- Ineficiente transporte de descarga *blender* de superficie. Esta probable causa tiene que ver con la capacidad de la cinta de transporte para evacuar las hojuelas. Aquí, el roce entre la cinta y el material es de gran importancia, al igual que la velocidad y el ángulo de inclinación.
- Sobrecargas en el chute del *blender* de superficie, el cual no es capaz de absorber las perturbaciones de flujo de hojuelas provenientes del silo seco.

5.1.3 Evaluación de posibles causas

- **Inadecuada limpieza del chute de descarga.** Esta posible causa puede explicar que los tacos se generen en el chute de descarga y no en el de entrada, debido a que este último no se ensucia; también puede explicar que se generen en el *blender* de superficie y no en el de centro, ya que el de superficie tiene mayor suministro de hojuelas. Explica también que los tacos siempre han ocurrido, ya que existen testimonios de inadecuada limpieza de los chutes, hasta el mes de mayo de 2005. Pero los tacos siguen ocurriendo.

- **Inadecuados parámetros de operación del *blender*.** Después de haber analizado el funcionamiento del *blender* se llegó a la conclusión de que todos los parámetros de operación son los adecuados, a excepción de la posición de las prolongaciones de los levantadores, que no corresponde a lo recomendado. Luego, mediante conversaciones con el fabricante, “Coil Manufacturing LTD”, se descarta que la incorrecta posición de las prolongaciones pueda generar tacos, ya que éstos sólo tienen efectos en la turbulencia de las hojuelas, y por lo tanto en la uniformidad de impregnación del adhesivo.
- **Ineficiente transporte de descarga de *blender* de superficie.** Después de analizar el funcionamiento de los transportes se llegó a concluir que el ángulo de inclinación, velocidad y tipo de cinta, son los más adecuados. Por otro lado, se creía que la causa de los tacos podría ser el desgaste de la cinta del transporte, pero queda desechada, porque no explica que los tacos han ocurrido siempre a pesar de cambio de cintas. Por lo tanto, esta probable causa queda descartada.
- **Sobrecargas en el chute del *blender* de superficie.** Esta probable causa puede explicar que los tacos ocurren en el chute de superficie y no en el de centro, ya que el chute de superficie es aproximadamente $2/3$ del chute de centro (ver **Figura 5.2**).

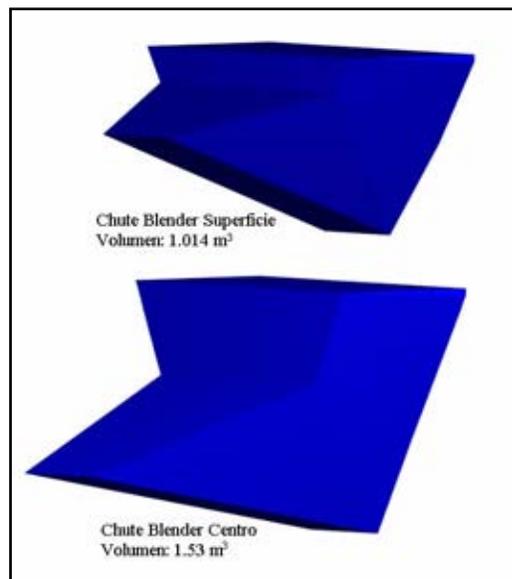


Figura 5.2 Comparación de chutes de salida *blenders*.

Esta probable causa también explica que el 90 % de los tacos ocurridos después de un aumento de velocidad de encolado se debió a una sobrecarga en la capacidad del chute. También explica que ocurra para velocidades de encolado superior a 70 %, pero existe un taco registrado a 64 % de velocidad de encolado y sin variación de ésta. Sin embargo, no se han considerado las perturbaciones que existen en el flujo de hojuelas a la salida de silos secos. Estas perturbaciones son tratadas en el anexo 5 (análisis de funcionamiento de los principales equipos del encolado), donde se concluye que el flujo de hojuelas a la salida de silos secos depende también del nivel de los silos, de la variación de la densidad bulk de hojuelas y de la uniformidad de llenado del silo.

Se realizaron mediciones de flujo de hojuelas a la salida del silo de superficie, para dos niveles del silo (90% y 40%) y para 3 velocidades de encolado diferentes. Para cada velocidad se repitió dos veces la medición, para comprobar la variación de densidad bulk. Los mix utilizados fueron 1Nativo-1Pino para 90% (densidad bulk entre 56 y 61 kg/m³) y 1Eucalipto-1Alamo para 40% (densidad bulk entre 54 y 60 kg/m³).

Los resultados de las mediciones se pueden ver en la **Figura 5.3**.

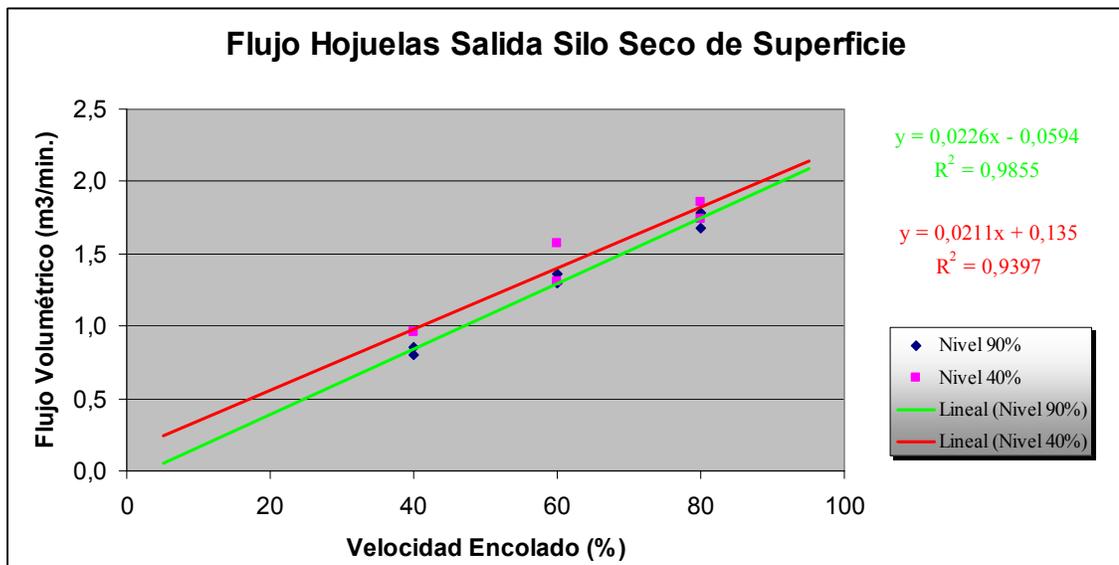


Figura 5.3 Variaciones en el flujo de hojuelas salida silo seco de superficie.

Para obtener resultados más certeros de las perturbaciones del flujo de hojuelas a la salida de los silos secos hace falta un mayor monitoreo, pero las mediciones realizadas

son las suficientes para mostrar que, además de la velocidad de encolado, de la variación de densidad bulk y del nivel del silo, también pueden influir en el flujo de hojuelas. Pero el máximo efecto en el flujo lo provoca la forma de llenado del silo, es decir, la uniformidad con que las hojuelas llenan los espacios dentro del silo. Esta situación queda demostrada al fotografiar el transporte de salida de silos secos cuando se realizaban las mediciones, ver anexo 12.

Por lo tanto, la causa probable, “sobrecargas en el chute del *blender* de superficie”, ya sea por aumentos en la velocidad de encolado o perturbaciones en el flujo de hojuelas, cumple con todas las especificaciones del problema, quedando de esta manera como causa verdadera del problema de tacos.

Las alternativas para solucionar este problema son las mismas que para mantener el llenado eficiente de las formadoras, y se refieren a controlar el flujo de hojuelas a la salida del silo de superficie.

5.2 El encolado de superficie a veces no reactiva

5.2.1 Especificación del problema

El encolado de superficie a veces no reactiva, quiere decir que cuando se detienen las bombas, luego al reactivar una de éstas, no se alcanza a bombear el flujo objetivo en un determinado tiempo. Por lo tanto, se detienen todas las bombas, el transporte alimentación *blender*, *el bin bottom* y *los doffing rolls* de silos secos correspondiente a la línea de superficie. También se ha informado de no reactivación de la línea de centro, pero esta situación no supera el 5% de los casos.

El problema no es que sea en automático, ya que a veces al pasar a manual los mecanismos reactivan, pero menos la bomba que tiene el problema.

Después de analizar el patrón de los flujos de resina y cera (ver ejemplo en anexo 13) se concluye lo siguiente:

- El problema siempre ocurre con el flujo de cera, el cual comienza a reactivar 10 seg. después que el flujo de resina.
- El problema siempre ha existido y no sigue un patrón de periodicidad, por lo tanto es aleatorio.

- El tiempo de duración de la no reactivación varía entre 2 a 5 minutos (tiempo en que está detenida la producción).
- Existen algunos casos en que el flujo de resina ha presentado problemas, pero la causa es conocida y se debe a fallas, como por ejemplo, eje roto, enchufe desconectado, rompimiento de mangueras.

5.2.2 Identificación de posibles causas

De acuerdo al conocimiento teórico y a la experiencia de los operadores se ha establecido una lista de posibles causas, dentro de dos grupos:

a). Lógica de Control. Esta posible causa nace de la diferencia que existe entre el modo automático y el modo manual, ya que dentro de las condiciones para que no funcione una bomba estando en modo automático están:

- Falla en mecanismos, que son condiciones para el funcionamiento del encolado.
- Sensores de nivel *Full* de formadoras quedan activados.
- Tiempos incorrectos en la lógica de control.

b). Bajo flujo de cera. Esta posible causa nace tanto del registro de producción como de la diferencia que existe entre modo automático y manual, ya que la cantidad de flujo es una condición de funcionamiento de las bombas, según el control por regulación. El bajo flujo de cera puede ocurrir por:

- Acumulación de cera en electroválvula.
- Bomba mal seleccionada.

5.2.3 Evaluación de posibles causas

- **Falla en mecanismos.** Esta posible causa no explica que el problema se dé con el flujo de cera y no con el de resina, ya que las bombas de cada línea (superficie y centro) comparten la misma lógica de control, para la falla de mecanismos. Por lo tanto esta posible causa queda descartada.
- **Sensores de nivel *full* quedan activados.** Al igual que la supuesta causa anterior, no explica que el problema ocurra en el flujo de cera, por las mismas razones citadas.
- **Tiempos incorrectos en la lógica de control.** Explica que ocurra en el flujo de cera y no de resina, ya que después de analizar la lógica de control se verificó que cuando se dan todas las condiciones para que reactive el encolado, las bombas de cera tienen un retardo de 10 segundos en relación a las de resina. Este retraso significa que las bombas de cera tengan menor tiempo disponible para alcanzar el flujo objetivo. El tiempo que posee cada bomba para alcanzar el flujo objetivo varía dependiendo de la condición de detención y del tiempo que estuvo detenida, pero, sin importar la condición, siempre la bomba de cera centro tendrá mayor tiempo para alcanzar el flujo objetivo, lo cual explica que el problema ocurra en línea de superficie. Después de haber analizado la lógica de control se puede dar el caso en que el tiempo para reactivar que posee una bomba puede llegar a ser de 0 segundos. Esto generaría un enclavamiento inmediato, que no permitiría la reactivación del encolado. Cuando el operador de sala de control se encuentra con este problema lo que hace es resetear el encolado, permitiendo la deshabilitación del enclavamiento y volviendo a cero el contador del temporizador, reactivando así, inmediatamente, el encolado. Pero hay veces en que después de resetear las bombas el flujo de cera no alcanza el objetivo. Por otro lado, en condiciones normales de funcionamiento, la bomba de cera sólo necesita aproximadamente 2 segundos para alcanzar el flujo objetivo. Por lo tanto, se puede concluir que el tiempo que necesita la bomba de cera para alcanzar el set point no es la principal o verdadera causa de la no reactivación del encolado.

- Bomba de cera inadecuada.** Si se analiza la curva característica de la bomba se puede apreciar que para los flujos de cera utilizados en la planta el modelo de bomba es demasiado ajustado a los requerimientos del proceso de encolado, en especial cuando se fabrica tablero Multiplac 9.5, el cual consume un caudal de 28 l/h para línea de centro, estando fuera del área de mayor rendimiento de la bomba (ver **Figura 5.4**). En lo que respecta al flujo nominal de cera utilizado en el encolado (determinado del anexo 14), éste se encuentra en la zona de trabajo continuo de la bomba, no presentando problemas.

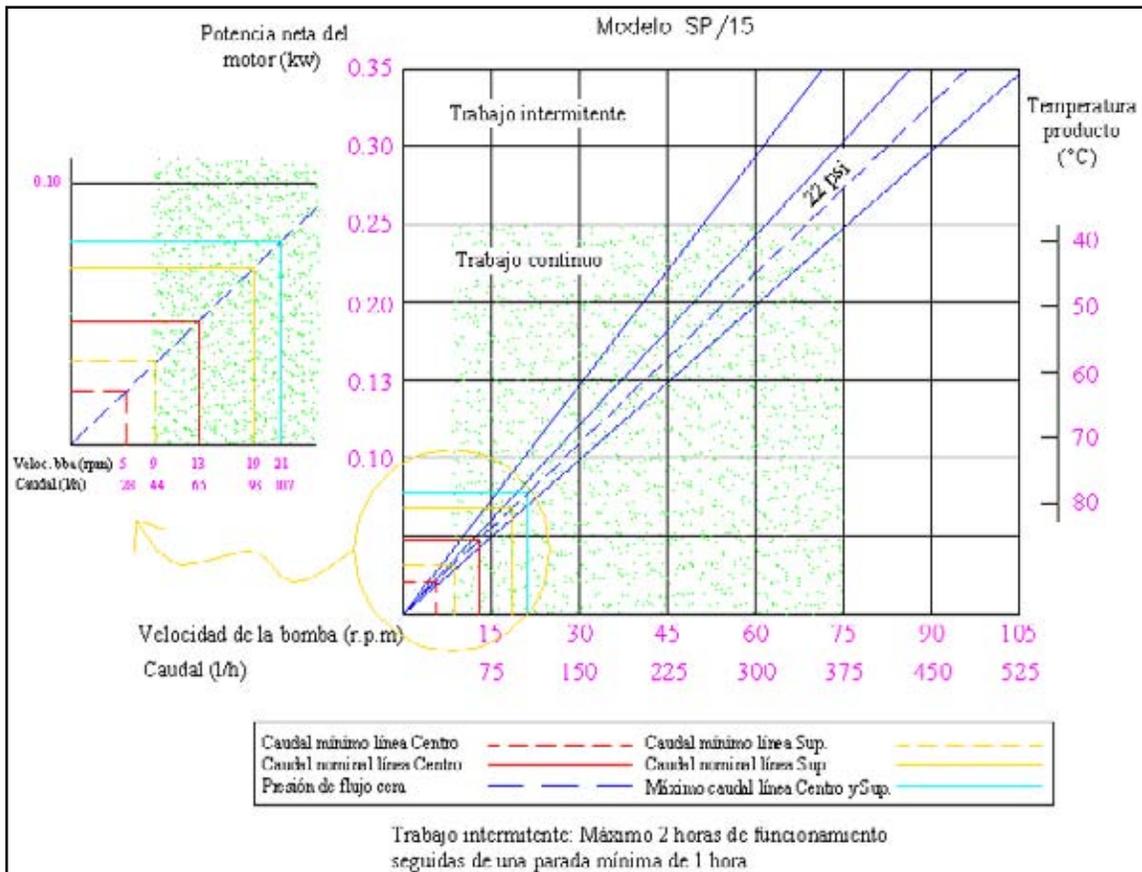


Figura 5.4 Curva característica de bomba Bredel Hose [8].

Ahora bien, se tiene que la bomba trabaja a su menor rendimiento para producto multiplac 9.5, por lo tanto se espera que los problemas de no reactivación se concentren en este producto. Pero el problema ocurre también con productos de alta demanda de cera, como son APA ó NAC. 11.1 y 9.5 (caudales de 63 l/h a 97 l/h). Por lo tanto, que la

bomba esté mal seleccionada no es la verdadera causa de la no reactivación del encolado.

- **Acumulación de cera en electroválvula de retención.** Esta probable causa explica que sea en modo automático y no en manual, ya que una condición para que se mantenga el encolado funcionando es que el flujo de adhesivo se encuentre en cierto rango. También explica que ocurra en línea de cera, ya que, según información de mantención y solicitudes de trabajo, es muy reiterada la limpieza de electroválvula, la cual se queda pegada por la cera. Explica también que siempre ha ocurrido, ya que no se registraron cambios de tipos de electroválvula y filtros.

En la **Figura 2.12** se puede ver que, según el funcionamiento de la electroválvula, es muy fácil la acumulación de cera entre la carcasa y el spool, lo cual afecta la apertura y cierre de ésta. Por otro lado, se puede ver también que el orificio por donde debe pasar la cera es muy reducido (3 mm de diámetro), perjudicando de esta forma el paso del flujo de cera, que además se caracteriza por la facilidad que tiene de acumularse. Esta posible causa también explica que sea en línea de superficie, debido a que en la lógica de control el temporizador de la cera de superficie tiene mayor tiempo que el de cera de centro (150 seg. y 30 seg. respectivamente). Explica que sea aleatorio por que en cualquier momento puede acumularse una cantidad de cera que afecte el funcionamiento de la electroválvula, explicando de esta manera que el problema no dependa del producto que esté fabricándose.

Por lo tanto, la acumulación de cera en electroválvula de retención es la única de las posibles causas que cumple con todas las especificaciones del problema, quedando de esta forma como causa verdadera del problema de no reactivación del encolado de superficie.

La comprobación de esta causa se realizó mediante conversaciones con el departamento de mantención, el cual informó, además, que se ha encontrado suciedad de variada procedencia en la electroválvula, como son restos de virutas de madera y trozos de polietileno, que pueden llegar cuando no se tiene el suficiente cuidado al limpiar el filtro de cera.

5.3 Deficiente control del llenado de formadoras

5.3.1 Especificación del problema

El problema es el deficiente control de llenado de formadoras. Esto quiere decir que el nivel de hojuelas preparadas dentro del silo de las formadoras es variable. Esta variación en reiteradas ocasiones sale de rango, deteniendo la línea de formación (nivel bajo 25%) o deteniendo línea de encolado (nivel sobre 100%).

El problema ocurre en todas las formadoras y siempre ha existido en forma reiterada.

5.3.2 Identificación de posibles causas

Basado en la especificación del problema y observaciones del proceso de encolado existen cuatro posibles causas, para el deficiente llenado de formadoras

- a). Error en la secuencia de llenado realizado por el carro distribuidor.
- b). Secuencia inadecuada en la chapaleta de distribución.
- c). Falla en mecanismos (rastras, carros, tornillos, chapaleta, transportes).
- d). Ausencia de control entre nivel de formadoras y velocidad de encolado.

5.3.3 Evaluación de posibles causas

- **Error en la secuencia de llenado realizado por el carro distribuidor.** Esta posible causa puede explicar todas las especificaciones del problema, por lo tanto, se verificó toda la secuencia de control relacionada con el carro distribuidor, llegando a concluirse que las mejoras realizadas en la lógica a través del tiempo han resultado en un óptimo llenado transversal de las formadoras. Según esta lógica, el llenado transversal siempre será parejo, ya que los sensores existentes a cada lado de las formadoras detectan los espacios vacíos, ordenando al carro llenar dicho espacio. Por lo tanto, esta probable causa queda descartada.
- **Secuencia inadecuada en la chapaleta de distribución.** Esta posible causa explica que el nivel de las formadoras varíe, ya que se distribuye de forma inadecuada

una de éstas recibirá más o menos cantidad de hojuelas preparadas, pudiendo salir de esta forma del rango de nivel. Pero esta posible causa no explica que el problema ocurra con las tres formadoras, ya que chapaleta de distribución permite el llenado de las formadoras superior e inferior. Por lo tanto, esta posible causa queda eliminada.

- **Falla en mecanismos.** Puede explicar todas las especificaciones del problema. Por lo tanto, se verificó esta posible causa mediante observaciones en terreno, lo cual concluye que el nivel varía, saliéndose de rango, sin que exista falla de algún mecanismo. Por lo tanto, esta probable causa queda descartada.
- **Ausencia de un control entre nivel de formadoras y velocidad de encolado.** Esta probable causa explica todas las especificaciones del problema, ya que no existe un lazo de control entre el nivel de los silos de las formadoras y el flujo de hojuelas que proviene de los silos secos. Esta probable causa queda confirmada como verdadera responsable del deficiente control de llenado de las formadoras.

En resumen, se tiene que las verdaderas causas de los problemas detectados en la etapa de encolado son las siguientes:

- La generación de tacos en chute de salida *blender* de superficie se debe a **sobrecargas en el chute del *blender* de superficie**. Por lo tanto, se deberá decidir que estructura de control utilizar para mantener un **control de flujo de hojuelas a la salida de silos secos**. Esta estructura será la misma para mantener el llenado eficiente de formadoras, que si bien el propósito es distinto, el efecto es el mismo.
- El encolado de superficie no reactiva en algunas oportunidades debido a la **acumulación de cera en la electroválvula de retención**, por lo que se deberá decidir un **cambio de válvula de retención de cera**.
- El deficiente llenado de las formadoras ocurre por la **ausencia de un sistema de control que regule flujo volumétrico de hojuelas a la salida de silos secos**. Por lo tanto, se deberá decidir sobre una estructura de **control para mantener llenado eficiente de formadoras**.

CAPÍTULO 6

ANÁLISIS DE DECISIÓN

El análisis de decisión se encuentra resumido en el anexo 10, según el método de Kepner-Tregoe [17]. A continuación se muestra como se realizó este análisis.

6.1 Estructura de control para maximizar uniformidad de impregnación de resina.

Para elegir la alternativa más conveniente se debe tener claro cuales son los objetivos que debe cumplir [17]. Entre éstos se tienen los siguientes:

- Disminuir el consumo de adhesivo sin perjudicar la calidad.
- Debe ser compatible con las demás alternativas relacionadas con el control de llenado de las formadoras.
- Tiempo de respuesta rápido.

Se han llegado a establecer dos grandes alternativas de control de proporción de hojuelas-adhesivo. La primera se refiere a un control basado en masa y, la segunda, basado en volumen. Esto de acuerdo a lo expuesto en el capítulo 3.

Las dos primeras alternativas mostradas a continuación se basan en el control de masa y, las dos siguientes, en el control de volumen.

6.1.1 Control de razón, donde flujo másico de adhesivo varía para maximizar uniformidad de impregnación de resina.

Antes de comenzar con el análisis es pertinente mencionar algunos instrumentos de medición de masa. Entre las alternativas manejadas por el departamento de ingeniería de Louisiana Pacific Chile, se encuentran: balanza de impacto y celdas de carga. Cabe señalar que la responsabilidad de la elección de estos instrumentos está en manos de

dicho departamento. Por lo tanto, la tarea es hallar la manera de integrar el instrumento de medición al sistema de control de proporción para la uniformidad de impregnación.

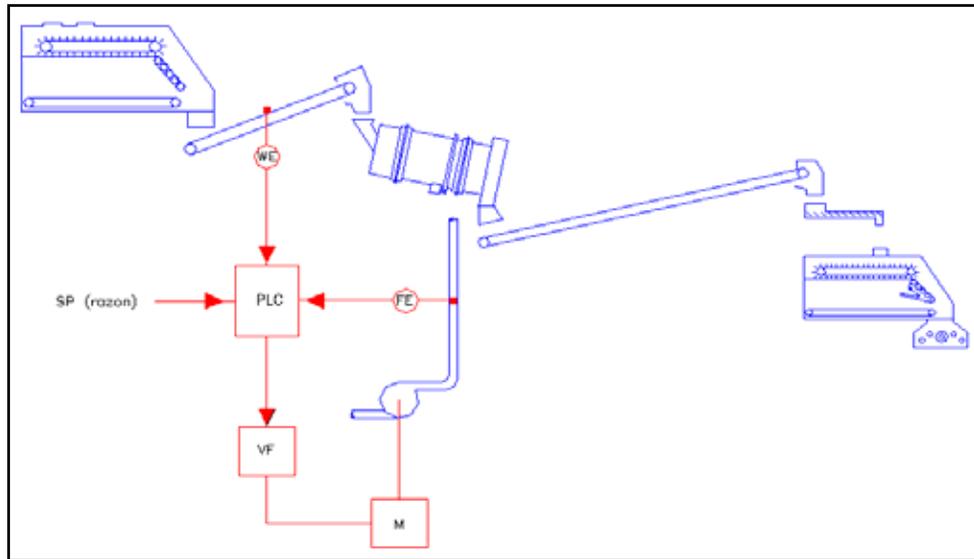


Figura 6.1 Control de razón, basado en masa.

En esta alternativa se puede ver que existe una relación de proporción, que es seteada para cada producto, por lo tanto, el PID del PLC ajusta la velocidad del motor de la bomba de acuerdo a las variaciones de flujo másico de hojuelas detectadas por la pesa dinámica.

Cualquier perturbación del flujo de hojuelas será detectada por la pesa dinámica, luego, el ajuste del flujo de resina (Fenólica y MDI) se realizará de forma rápida, ya que el flujo de resina sólo tiene una perturbación importante, la cual se debe a cambios de temperatura que hacen variar la viscosidad de esta materia prima. En lo que respecta al flujo de cera, el control de éste se realiza en un tiempo mayor en comparación al flujo de resina, pero se soluciona ajustando los parámetros del controlador PID.

Ventajas: La proporción de flujo másico entre hojuelas y resina-cera se mantendrá constante y es compatible con todas las alternativas para mantener un llenado eficiente de las formadoras.

Desventajas: No maximiza la uniformidad de impregnación del adhesivo, ya que no considera perturbaciones en la densidad bulk.

6.1.2 Control de regulación, manteniendo flujo másico de hojuelas constante

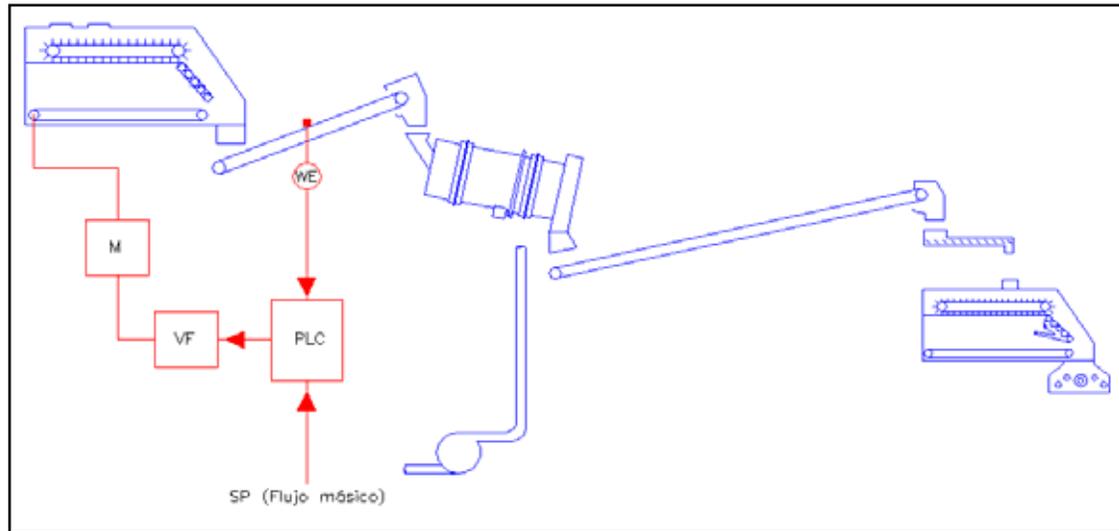


Figura 6.2 Control de regulación, basado en masa, donde flujo másico de hojuelas es el controlado (mantenido constante).

El esquema muestra un lazo de control para la regulación de flujo másico de hojuelas, independiente del flujo de adhesivo. Es decir, cuando exista un cambio de producto serán seteados un valor de flujo de hojuelas y adhesivo, que no deberá variar en toda la fabricación del producto.

Ventajas: Si bien esta alternativa podría mantener un flujo másico de hojuelas constante hacia las formadoras, el nivel de éstas se mantendría constante siempre y cuando se mejore el tiempo de respuesta del pesaje del colchón a la entrada de la prensa.

Desventajas: El inconveniente de esta alternativa es el tiempo de respuesta para mantener el flujo másico constante, ya que una corrección del flujo de hojuelas toma mayor tiempo para detectarse. Además, éste presenta mayores perturbaciones que el flujo de adhesivo-cera, siendo más complicada la regulación.

6.1.3 Control de razón, donde flujo volumétrico de adhesivo varía para maximizar uniformidad de impregnación de resina.

Antes de comenzar el análisis es conveniente realizar una descripción de los métodos más utilizados en la medición de volumen de materia sólida. Entre éstos se encuentran el medidor de radiación y el escaneo láser.

Un medidor basado en radiación corresponde a un dispositivo que mide la sección de un material. Su funcionamiento consiste básicamente en emitir una cantidad determinada de rayos beta, los cuales son absorbidos e interpretados por el siguiente modelo de comportamiento del medidor:

$$R_{output} = R_{air} \times e^{-upt}$$

Dónde

- R_{output} : absorción de la radiación.
- R_{air} : absorción de la radiación del aire.
- u : coeficiente de absorción del material.
- p : densidad del material.
- t : espesor del material.

Hay que destacar el hecho de complementar el funcionamiento del medidor en cuestión con un dispositivo medidor de velocidad, obteniendo de esta manera una medida de flujo volumétrico o densidad, según sea el caso.

Sin embargo, las condiciones existentes en el flujo de hojuelas a la salida de silos secos no permiten el correcto funcionamiento del medidor en cuestión, debido a la gran variabilidad de los factores u , p y t .

El principio de funcionamiento de un dispositivo de escaneo láser se basa en la emisión de un barrido láser, el cual impacta al material sólido y se refleja en él. Tal reflejo es absorbido por el dispositivo, interpretando y finalmente creando una imagen de la forma del material.

La ventaja que tiene un escaneo láser, en comparación a un sensor basado en radiación, radica en que factores de densidad y humedad de las hojuelas no influyen en la medida, es decir sólo depende de la forma o sección del material en cuestión.

Hasta el momento de elaboración de esta tesis no existe en el mercado la tecnología ni la información de escaneo láser para la industria del OSB. Según conversaciones entre el departamento de ingeniería de la planta y proveedores especializados del área su aplicación al ámbito del OSB se encuentra en estudio.

Cabe destacar que esta alternativa es idónea para el control de flujo volumétrico (por las razones anteriormente señaladas), como también para el control de flujo a la entrada de *blenders* (Tacos).

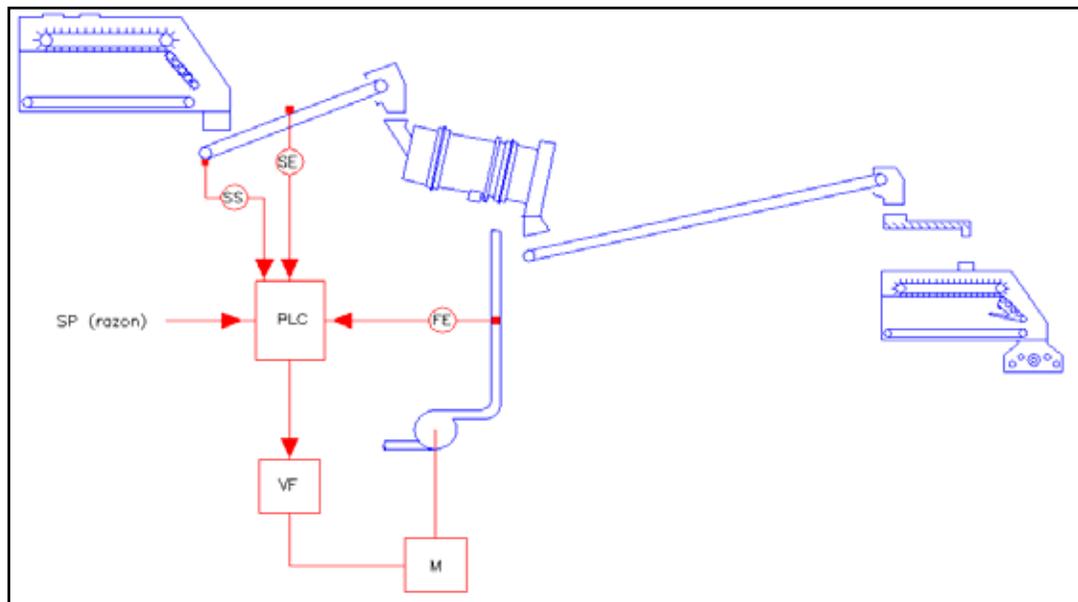


Figura 6.3 Control de razón, basado en volumen.

Esta alternativa es similar a la del punto 6.1.1, su diferencia radica sólo en la forma de medida y por ende en el instrumento de medición.

Ventajas: Esta opción tiene la gran ventaja de maximizar la uniformidad de impregnación del adhesivo, mediante el control de proporción de hojuelas-adhesivo, siempre y cuando se use el correcto medidor de sección (SE), es decir, que no esté basado en radiación. Además, es compatible con cualquier alternativa para mantener un eficiente llenado de formadoras.

Desventajas: La utilización de un medidor de radiación no maximizará la uniformidad de impregnación del adhesivo; y, para utilizar un medidor basado en láser, primero, se debe realizar un estudio para aplicarlo a la industria del OSB.

6.1.4 Control de regulación, manteniendo flujo volumétrico de hojuelas constante

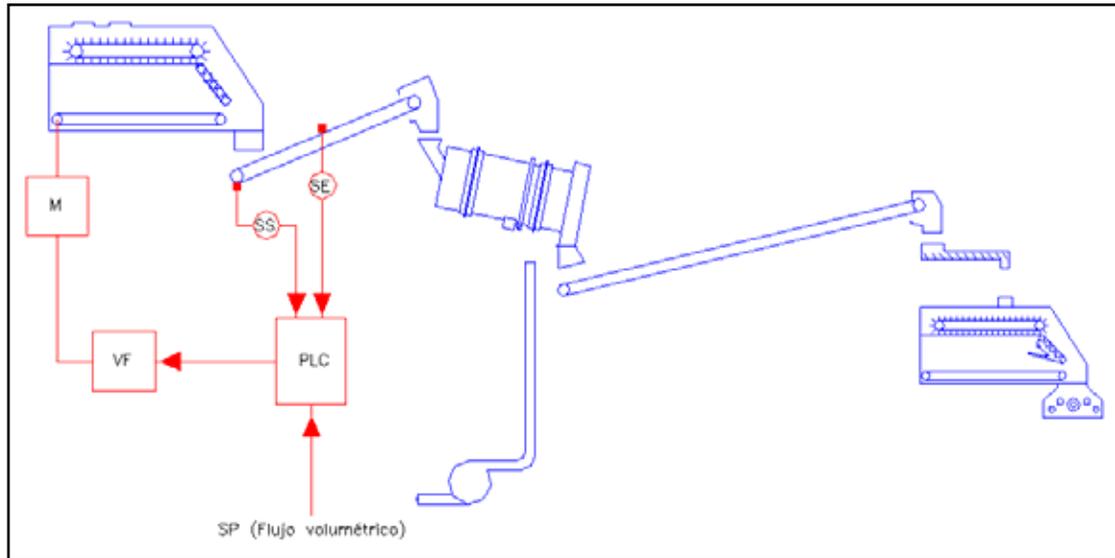


Figura 6.4 Control de regulación, basado en volumen, donde flujo volumétrico de hojuelas es el controlado (mantenido constante).

Alternativa similar a la del punto 6.1.2. Su diferencia radica sólo en la forma de medida y por ende en el instrumento de medición.

Ventajas: Esta opción, al igual que la anterior (6.1.3), tiene la gran ventaja de permitir la máxima impregnación de adhesivo, mediante un control de proporción de hojuelas-adhesivo basado en volumen.

Desventajas: El gran inconveniente de esta alternativa es su incompatibilidad con cualquiera de las otras para mantener un eficiente llenado de las formadoras.

6.2 Estructura de control para mantener un llenado eficiente de formadoras, y mantener control del flujo de hojuelas a la salida de silos secos

Se entiende por llenado eficiente de formadoras a que éstas mantengan un nivel constante, debido a que situaciones tales como: el llenado o vaciado de silos de formadoras puede detener el proceso de encolado (llenado) o el proceso de formado (vaciado). Respecto a mantener control del flujo de hojuelas a la salida de silos secos, es una consecuencia del llenado eficiente de formadoras, ayudando así a la eliminación de los tacos en el chute de descarga del *blender* de superficie.

Para elegir la alternativa más conveniente se debe tener claro cuales son los objetivos que debe cumplir. Entre éstos se encuentran:

- Mantener nivel de formadoras en un rango constante.
- No deberá afectar el proceso de encolado, en lo que respecta a costos y calidad del producto.
- Tiempo de respuesta rápido.

6.2.1 Control llenado de formadoras, variando velocidad de encolado

Antes de comenzar con el análisis, es necesario mencionar que para esta alternativa se considera la incorporación de un sensor industrial láser de medida de distancia para cada formadora. Su principio de funcionamiento se basa en la triangulación láser.

Con el *height vision* se encuentra proyectado el objeto que se quiere medir, se refleja en el objeto apuntado y es recepcionado por un detector *broche CCD*. Éste se compone de células ultrasensibles llamadas *pixeles*. Los pixeles que recepcionan la luz láser permiten el cálculo de la distancia hasta el objeto.

El sensor de nivel entrega todo el tiempo una señal correspondiente al nivel del silo de formadora (señal de sensor proporcional a nivel), la cual actúa como variable del proceso del PLC. Éste interpreta la señal y de acuerdo al programa implementado en él, entrega una consigna de mando (variable manipulada) hacia el variador de frecuencia (vf), para así manipular y controlar la velocidad de encolado. Esta lógica permite

solucionar alguna situación de vaciado o llenado de formadora, evitando una detención de la línea de formación (vaciado) o encolado (llenado). Si ocurre el primer caso, el PLC debería comandar una señal hacia el motor de la cinta de fondo del silo seco, tal que aumente su velocidad hasta lograr el nivel adecuado de la formadora. Si ocurre el segundo caso, la velocidad debería disminuir hasta el nivel adecuado.

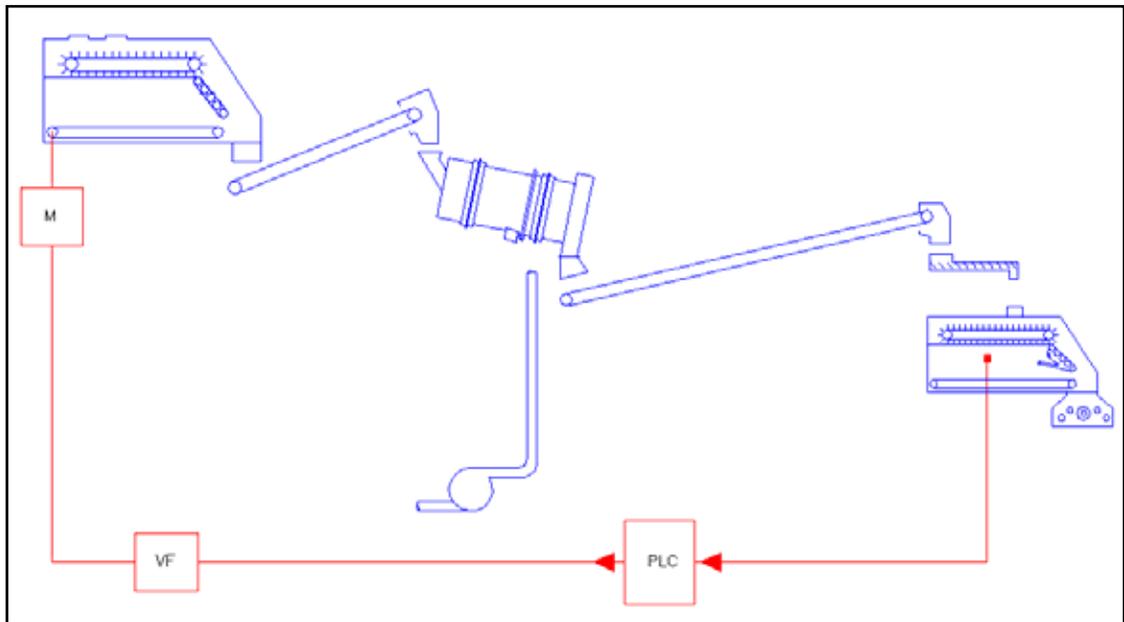


Figura 6.5 Control de regulación entre nivel de formadoras y velocidad de encolado

Ventajas: La tarea del operador es reemplazada por un control PID, manteniendo el nivel constante en formadoras. Además, es compatible con alternativas 6.1.1 y 6.1.3. También controla automáticamente el flujo de hojuela a la salida de silos secos.

Desventajas: Para mejorar tiempo de respuesta del sistema de control es conveniente integrar la variación de velocidad de live bottom formadora con la variación de velocidad de encolado. Con esto se pretende anticipar a cambios en el nivel de formadoras, cuando exista una variación de demanda por parte de la línea de formación.

6.2.2 Control anticipativo, manteniendo constante flujo volumétrico de hojuelas

Con la presente estructura de control se desea ejecutar un eficiente llenado de material hacia las formadoras, regulando el flujo volumétrico de hojuelas, con la ayuda de un medidor de sección en conjunto con un dispositivo de medición de velocidad, similar a la estructura de control de proporción basado en volumen (punto 6.1.4).

Ante una variación repentina de densidad bulk se genera una diferencia en el peso por unidad de volumen. Si bien es cierto, esta alternativa de control mantendría un volumen constante, no ocurriría lo mismo con el peso. Lo anterior significa la llegada de hojuelas más livianas o más pesadas a la línea de formación (según sea el caso). Tal situación es detectada por una pesa localizada en línea de formación, corrigiendo así el flujo de salida de las formadoras, variando el nivel de éstas. Una solución a este inconveniente se lograría integrando sensores de nivel discretos o continuos a la estructura de control (ver **Figura 6.6**); pero, podrían generarse órdenes opuestas entre medidor de sección y sensores de nivel, para corregir velocidad de encolado.

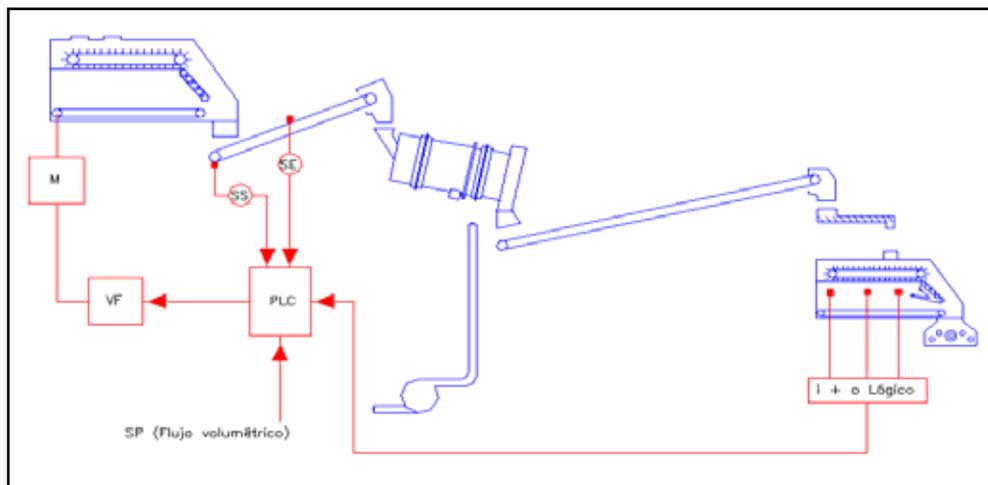


Figura 6.6 Control anticipativo, basado en volumen.

Ventajas: Volumen constante de hojuelas hacia formadoras y es compatible con las alternativas 6.1.1 y 6.1.4.

Desventajas: La pesa dinámica ubicada en línea de formación, ante cambios de densidad bulk, corrige flujo de salida en las formadoras, afectando el nivel de éstas.

6.2.3 Control anticipativo, manteniendo constante flujo másico de hojuelas

La presente alternativa es la misma mostrada en el punto 6.1.2, utilizada para mantener la proporción de hojuelas-adhesivo (basado en el control por peso), concluyendo que para un óptimo funcionamiento se requiere una reducción en los tiempos de respuesta del pesaje de colchones en la línea de formación.

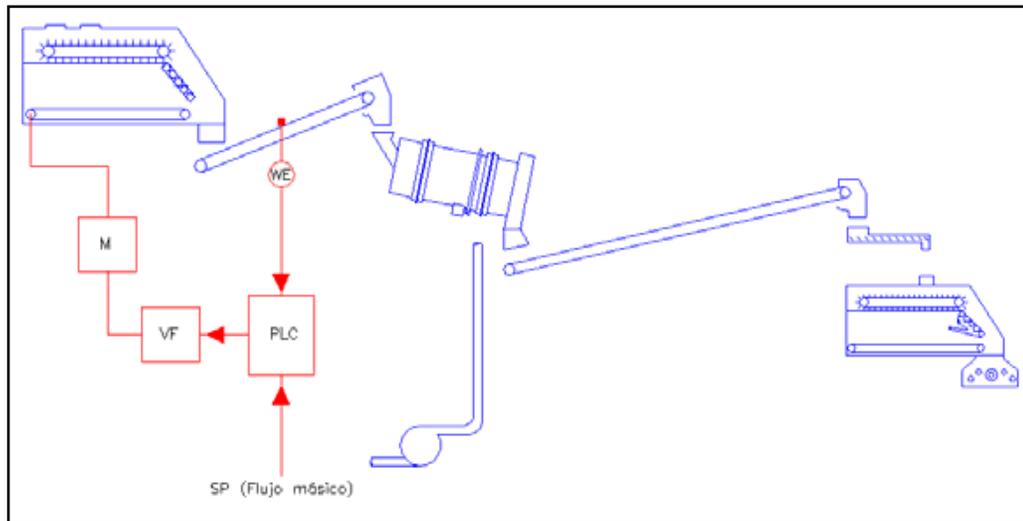


Figura 6.7 Control anticipativo, basado en masa.

Ventajas: Mantiene nivel constante en formadoras, si se mejora tiempo respuesta entre pesa de línea de formación y velocidad de *live bottom* de formadoras. Además, es compatible con alternativas 6.1.2 y 6.1.3.

Desventajas: El flujo de hojuelas posee mayores perturbaciones a controlar.

6.2.4 Control secuencia-regulación

Esta alternativa surge del departamento de control de procesos y mezcla técnicas del control secuencial y del de regulación.

El concepto de funcionamiento se basa en mantener el nivel de los silos de las formadoras en un 50 %. Cuando este nivel es superado (activación de sensor de 50%),

comienza a funcionar un temporizador, seteado a un tiempo determinado. Si dentro este tiempo el sensor de 50 % no se desactiva, entonces comienza la corrección de la velocidad de encolado en un porcentaje determinado. Lo mismo ocurre si el nivel baja de 50 %, pero la corrección se realiza en sentido contrario.

Ventajas: El nivel del silo de las formadoras se mantendrá constante, siendo compatible con las alternativas 6.1.1 y 6.1.3.

Desventajas: Para su correcto funcionamiento se deben determinar los tiempos y porcentajes de corrección, realizándose una vez en marcha, basado en prueba y error.

6.3 Cambio de válvula de retención de cera

Para elegir la alternativa más conveniente, primero, se deben tener claros los objetivos que debe cumplir el arreglo, los cuales son:

- El accionamiento de la válvula no debe estar en contacto con la cera.
- Dos posiciones de funcionamiento (abierto – cerrado).
- La válvula debe poseer la mínima reducción de diámetro.

6.3.1 Válvula de bola accionada por actuador giratorio

Esta alternativa asegura que el sistema de accionamiento de la válvula no entre en contacto con la cera, ya que el actuador giratorio es un elemento aparte de la válvula. Por otro lado, se debe destacar que el paso del fluido no se ve afectado por una gran reducción del diámetro, como ocurre actualmente con la electroválvula de retención de cera, que posee un diámetro de 3 mm (ver **Figura 2.12**).

El actuador giratorio fue determinado de catálogos de SMC, correspondiendo al modelo CH050 (ver **Figura 6.8**).

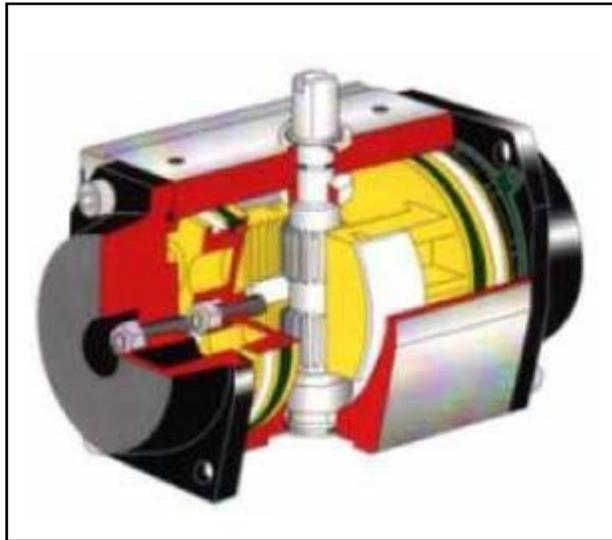


Figura 6.8 Esquema en corte del actuador neumático del tipo CH.

El modelo anterior fue seleccionado siguiendo los pasos mostrados en los criterios de selección del catálogo de actuadores de giro de SMC.

Los datos para la selección del actuador son los siguientes:

- Par calculado que debe ejercer el actuador es de 9.12 Nm.
- Presión disponible en línea de aire igual a 0.5 Mpa (5 bar).
- Ángulo de giro del actuador, 90°.

Con estos datos se concluye que el modelo necesario del actuador es el CH050. SMC entrega el actuador con el cubo de montaje, necesario para el control de flujo, lo cual incluye:

- Válvula solenoide NAMUR, 220 V AC, 1/4" (para accionamiento neumático).
- Válvula de bola de acero inoxidable, asiento de teflón, tres cuerpos, conexión 3/4" BSPT.

Un ejemplo de este sistema de control de flujo es el mostrado en la **Figura 6.9**.

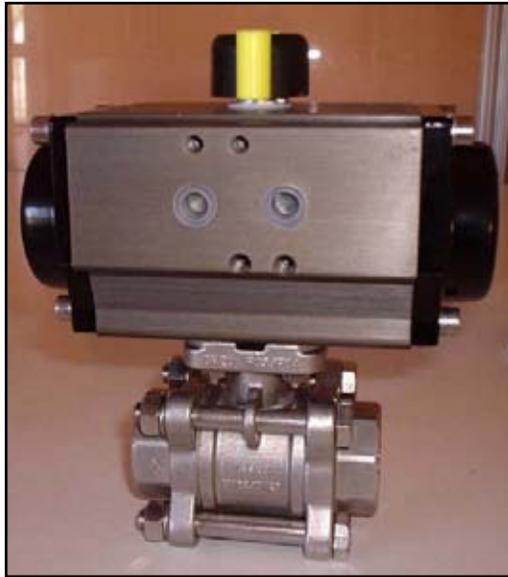


Figura 6.9 Sistema actuador rotativo-válvula de bola de tres cuerpos.

Esta alternativa, al poseer una válvula de bola que restringe el paso del fluido, tiene la ventaja que la pérdida de carga es mínima porque no existe una gran reducción de diámetro (ver **Figura 6.10**), en comparación a la válvula existente.

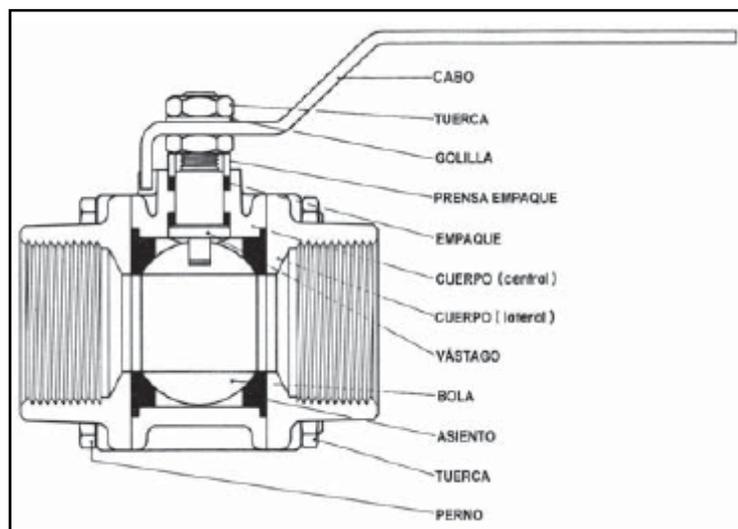


Figura 6.10 Esquema en corte de una válvula de bola.

6.3.2 Válvula de proceso de dos vías, serie VNB (SMC)

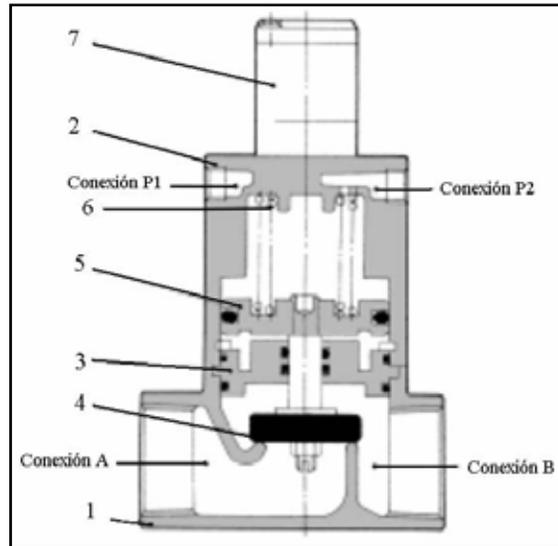


Figura 6.11 Componentes de una válvula VNB.

El funcionamiento de esta válvula, básicamente, se refiere a la entrada y salida de aire presurizado por las conexiones P1 y P2. Esto hace subir o bajar el pistón 5, permitiendo así la apertura o cierre del obturador 4, controlando de esta forma el fluido que viene de la conexión A hacia la conexión B.

La ventaja de esta alternativa, en comparación a la válvula existente, es la mayor hermeticidad del sistema con respecto al flujo de cera que pasa desde A hasta B. Pero el actuador rotario, comparándolo con la válvula VNB, es más conveniente del punto de vista de aislamiento entre cera y sistema de accionamiento de la válvula. Sin mencionar también que esta opción posee una mayor reducción de diámetro en comparación con la válvula de bola.

Resumiendo el análisis de decisión, de acuerdo a las ventajas y desventajas, como también al resumen del anexo 10, las alternativas de solución que cumplen con los objetivos se muestran en la **Tabla 6.1**.

Problema	Causa	Solución
Inadecuada uniformidad de impregnación del adhesivo.	Ausencia de un sistema de control que dosifique automáticamente las cantidades de hojuelas y adhesivo.	Alternativa 6.1.3: Control de razón, donde flujo volumétrico de adhesivo varía para mantener proporción. Utilizando medidor de flujo volumétrico de hojuelas, basado en escaneo láser.
Deficiente llenado de las formadoras.	Ausencia de un sistema de control que regule el flujo de hojuelas a la salida de silos secos.	Existen dos alternativas que técnicamente permiten regulación de flujo volumétrico de hojuelas y evite las sobrecargas en el chute del blender de superficie. Son las alt. 6.2.1 y 6.2.4, pero considerando el riesgo de un probable mal funcionamiento, lleva a decidir finalmente alternativa 6.2.4: Control secuencia-regulación , ya que ésta no significa inversión en capital para sensores nuevos.
Tacos en el chute de salida de blender de superficie	Sobrecargas en el chute de salida del blender de superficie.	
El encolado de superficie a veces no reactiva en modo automático.	Acumulación de cera en electroválvula de retención.	Cambiar electroválvula existente por una válvula de bola accionada por actuador piñón-cremallera CH050.

Tabla 6.1 Problemas, causas, y soluciones elegidas.

Para detalles del proceso de diseño de las lógicas de control mencionadas anteriormente, consultar anexo 17.

CAPÍTULO 7

COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN DE SOLUCIONES

7.1 Tabla de costos

Solución	Ítem de costo	Precio Unitario	Cantidad	Precio total
Control de razón, donde flujo resina varia para maximizar uniformidad de impregnación, utilizando medidor de volumen.	Programación	\$ 29.858 (hr)	35 (hrs)	\$ 1.045.030
Control secuencia-regulación, para mantener Eficiente llenado de formadoras	Programación	\$ 29.858 (hr)	35 (hrs)	\$ 1.045.030
	Obra de mano	\$ 5.500	35 (hrs)	\$ 192.500
Válvula de bola accionada por actuador piñón-cremallera CH050 (SMC), para evitar la no reactivación del encolado de superficie.	Actuador Neumático rotativo doble efecto, diámetro 50 mm incluye: Válvula de bola Válvula solenoide NAMUR	\$ 184.896	1	\$ 184.896
C O S T O T O T A L				\$ 2.467.456
O T R O S C O S T O S (10%)				\$ 246.746
C O S T O E S T I M A D O				\$ 2.714.202

Nota: No incluye los costos relacionados con el instrumento para medir flujo a la salida de silos secos.

CONCLUSIONES

- Optimizar el control del encolado implica eficiencia tanto en el proceso mismo, como en su control.
- Para que el proceso de encolado sea eficiente es fundamental maximizar la uniformidad de impregnación del adhesivo y reducir las detenciones innecesarias.
- Para un eficiente control del encolado se deben considerar dos puntos: estabilidad del control, manteniendo bajo ciertos rangos de variación las perturbaciones inherentes al proceso; y, tiempos de respuesta pequeños, entre señal de medición y señal manipulada.
- Maximizar la uniformidad de impregnación del adhesivo no es solamente mantener constante la proporción entre hojuelas y adhesivo, sino que también, cada hojuela debe recibir la cantidad justa de resina por unidad de superficie. Esto se logra solamente con un control de proporción basado en razón de volúmenes.
- Para controlar la uniformidad de impregnación se debe diseñar un programa de razón entre dos cantidades, que involucre consignas de control relacionadas con flujo volumétrico de adhesivo y flujo volumétrico de hojuelas. El set point corresponderá a un valor de dicha razón dado por el departamento de control de calidad. La variable manipulada corresponderá al flujo volumétrico de adhesivo.
- Para reducir detenciones innecesarias del proceso se deben eliminar tacos en chutes de descarga en *blenders* de superficie, minimizar no reactivaciones del encolado de superficie y mantener un eficiente llenado longitudinal de las formadoras.
- Eliminar tacos significa implementar un control del flujo de hojuelas a la entrada de *blenders*, idéntico a la solución para mantener eficiente llenado longitudinal de formadoras.
- Minimizar la no reactivación del encolado implica reemplazar válvula de retención de cera por una de bola accionada con actuador giratorio CH050.

- Para mantener un eficiente llenado longitudinal de formadora y control de flujo a la entrada *blenders* se recomienda una estructura de control secuencia-regulación.
- Excluyendo el medidor de flujo a la salida de silos secos, el costo total estimado para la optimización del control del proceso de encolado es de \$ **2.714.202**. Cifra considerablemente menor al compararla con los costos que significarían haber invertido en sensores nuevos en las formadoras para mantener el eficiente llenado longitudinal de éstas, que serían diez veces mayor al mostrado.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] MALONEY, T.M, eds. 1977. Modern Particleboard and Fiberboard; Resin/Wax applications and *Blenders*. 1 ed. San Francisco, USA, Miller Freeman publications. 665 p.
- [2] COIL INDUSTRIES LTD, Vancouver, Canada, 1992. Suppliers of Blending and Atomizing Equipment to the Panel Board Industries. Newsletter-Spring.
- [3] BORDEN CHEMICAL Inc, 2001. Technical Service Memo; Process Review LP Chile-Panguipulli.
- [4] BORDEN CHEMICAL Inc, Texas, USA, 1998. Technical Service Report; *Blender* Efficiency Variation.
- [5] CAE MACHINERY LTD, 1987. Installation, Operation & Maintenance Manual. Louisiana-Pacific Corporation, Hayward, Wisconsin.
- [6] SMITH, G.D, eds. 2005. Direct Observation of the Tumbling of OSB Strands in an Industrial Scale Coil *blender*. Wood and Fiber Science and Technology, 37(1).
- [7] HARRIS, D, 2004. LP-Chile Forming Line Training Summary. Diefenbacher North America Service Dept.
- [8] BREDEL HOSE PUMPS B.V, 2000. Catálogo Bomba Peristáltica Heavy Duty. Soltex Chile S.A.
- [9] ESPOSITO, A, eds. 2000. Fluid Power; Accumulators and Accumulators Circuits. 5 ed. New Jersey, USA. 655 p.

- [10] SMITH CARLOS A; CORRIPIO ARMANDO B, eds. 1996. Control Automático de Procesos. Teoría y Práctica. 3 ed. México D.F, México. Limusa S.A de C.V. 171 p.
- [11] CUSIDO ALFRED R, eds. 1999. Control de Procesos. México D.F., México. Alfaomega S.A. de C.V. 617 p.
- [12] ERONINI UMEZ, eds. 2001. Dinámica de Sistemas de Control. New Jersey. USA. Internacional Thomson S.A. de C.V. 1000 p.
- [13] BOLTON W., eds. 2001. Ingeniería de Control. New York. USA. Alfaomega S.A. de C.V. 406 p.
- [14] STUBBERUD ALLEN R.; WILLIAMS IVAN J.; J.J. DISTEFANO III, eds. 1972. Retroalimentación y Sistemas de Control. New Jersey. USA. Schaum Publishing. Company. 376 p.
- [15] OGATA KATSUHIKO, eds. 1998. Ingeniería de Control Moderna. 3 ed. Washington D.C. USA. Prentice Hall S.A. 1005 p.
- [16] GRAY C. B., eds. 1993. Máquinas Eléctricas y Sistema Accionadores. 1 ed. New York 10158, USA. 491 p.
- [17] MUHAMMAD H. RASHID, eds. 1995. Electrónica de Potencia. Circuitos, dispositivos y aplicaciones. 2 ed. Naucalpan de Juárez. Edo. De México. Prentice Hall Inc. 713 p.
- [18] KEPNER-TREGOE, eds. 1998. Guía de Proceso DAF. 1 ed. Coyoacán, D.F México. Consultoría de Procesos S.A. 94 p.

ANEXOS

ANEXO 1: Detalle de productos OSB

1.1 LP OSB

1.1.1 LP OSB Plus

Los tableros LP Plus son tableros de madera del tipo OSB a los cuales se le han incorporado BORATOS en una concentración suficiente para dar una mayor protección contra el ataque de termitas.

El BORATO es un mineral que ataca el metabolismo de las TERMITAS, eliminando e impidiendo su reproducción. Es importante destacar lo inocuo que son los boratos para la salud del ser humano, dado que se encuentra, en la mayoría de las frutas, legumbres, café, vinos y vegetales.

1.1.2 LP OSB SmartGuard

Los tableros LP SmartGuard son tableros de madera del tipo OSB creados para ser utilizados en lugares en que se requiere una protección extra, contra termitas y hongos. Esta cualidad esta dada por la incorporación extra de BORATOS.

Estos tableros no están concebidos para la utilización en exterior, desprotegidos. Deben ser recubiertos con algún material para revestimiento o cubierta de techumbre. Sin embargo, tiempos normales de exposición, dentro del proceso constructivo, no afectarán a los paneles.

1.2 SMARTSIDE

Basado en la tecnología OSB, utilizando adhesivos (MDI) que son extra resistentes al exterior, junto con aditivos (Barato de Zinc) que actúan como tratamiento para evitar la proliferación de hongos, y el ataque de termitas, y como retardador al fuego. Se genera un sustrato que es recubierto por una cara con un film saturado en resina fenólica, resistente a los rayos UV, impermeable y flexible, y resistente a los agentes climáticos.

Posee una textura estampada que imita la veta del cedro que puede ser fácilmente pintada y tiene los cantos sellados en fábrica, lo que mejora la resistencia a la intemperie.

1.2.1 SmartPanel

SmartPanel se caracteriza por ser un tablero que estructura y reviste a la vez. Éste tablero posee resinas extras resistentes al exterior (MDI) y, en unas de sus caras, tiene imitación a madera, fácil de pintar, lográndose una fina y atractiva apariencia. Esta cara puede contar con acanalados de 4 u 8 pulgadas y traslajos en los cantos, que simulan las ranuras en las uniones en los tableros instalados en forma vertical.

1.2.2 SmartLap

Los SmartLap es un tinglado horizontal su largo de 4.88 mts y sus distintos anchos permiten disminuir las perdidas en obra. Su rigidez permite instalarlo directo sobre la estructura, reforzando solo algunas cadenas y diagonales obteniendo muros con característica al impacto.

1.2.3 SmartTrim

Los SmartTrim son listones de madera industrializada OSB de 4.875 mts de largo, estables, libres de nudo y especialmente diseñados para soportar el exterior en aplicaciones de tabacones, soluciones de esquinas y marcos de puertas y ventanas.

1.3 LP MOLDAJES

1.3.1 LP SmartForm

Éste producto está destinado a satisfacer necesidades de las empresas constructoras, que requieren de un tablero para moldajes de hormigón con terminaciones fina y un rango de reutilización entre 15 y 25 usos, permitiendo mejorar su relación costo/uso.

Estos tableros son desarrollados con un adhesivo MDI a base de poliuretano que dan a los tableros un sobresaliente comportamiento al agua, resistencia a la torsión y alabeo. Además, los tableros vienen con una cara cubierta con un papel saturado en resina MDI, haciéndolos resistentes a la humedad y lechada de hormigón, asegurando un buen comportamiento a la abrasión, fina terminación y alta reutilización.

1.3.2 LP Ecoform

A diferencia del Smartform, éstos tableros son impregnados con adhesivos fenólicos y su reutilización aproximada es de 3 a 4 usos por tablero.

1.4 Tableros multipropósito

1.4.1 LP Multiplac

Estos tableros fueron diseñados bajo el concepto de dar un producto preciso para aplicaciones temporales que no requieren graduación estructural, disminuyendo el costo de éste tipo de obras. Dentro de las aplicaciones de éste producto se consideran los cierres perimetrales, instalaciones de faenas, y embalajes de baja resistencia, entre otros.

ANEXO 2: Equipos de especialidad mecánica área de encolado.

2.1 Equipos de especialidad mecánica, línea de superficie.

Equipo de Proceso	Equipo especialidad	Función	Elementos Mecánicos	Características
Silo seco superficie	Transmisión por correa	Transmitir la potencia desde el motor al reductor.	Poleas Correas	
	Transmisiones por cadena	Transmitir la potencia desde el reductor hacia subequipo correspondiente	Sprocket Cadenas	
	Reductor rastra	Reducir la velocidad para la rastra		Rexell Venus; ratio: 1750/32
	Reductor rod. dosific.	Reducir la velocidad para rod. Dosificadores		Rexell Mars; ratio: 1750/102
	Reductor cinta fondo	Reducir la velocidad para la cinta de fondo		SM Cyclo sumitomo; ratio: 1003
Transporte alimentación mezcladora sup.	Transmisión por correa	Transmitir la potencia desde el motor al reductor.	Poleas Correas	
	Transmisión por cadena	Transmitir la potencia desde el reductor hacia rodillo motriz de la cinta	Sprocket Cadenas	
	Reductor	Reducir la velocidad para rodillo de cinta		Rexell Mars; ratio: 795/130
Mezcladora sup.	Bombas peristálticas	Llevar la cera al atomizador.	Ver figura 2.9	Bredel Hose SP/15; flujo pulsativo
	Bombas de tornillo	Llevar la resina fenólica a los atomizadores	Ver figura 2.10	Nova Rotors SRL 020-1
	Acumulador	Mantener Presión de cera cte en el circuito	Ver figura 2.11	
	Válvula retención cera	Evitar pérdida Presión en detenciones.	Ver figura 2.12	
	Filtro de cera	Evitar ingreso de grumos en atomizadores	Ver figura 2.13	
	Atomizadores	Atomizar la cera o resina	Ver figura 2.3	
Transporte salida Mezcladora sup.	Transmisión por correa	Transmitir la potencia desde el motor al reductor.	Poleas Correas	
	Transmisión por cadena	Transmitir la potencia desde el reductor hacia rodillo motriz de la cinta	Sprocket Cadenas	
	Reductor	Reducir la velocidad para rodillo de cinta		Rexell Mars; ratio: 795/130
Chute derivación	Sistema neumático	Mover la chapaleta que distribuye la hojuela preparada.	Cilindro	
			Válvula direccional	

Equipo de Proceso	Equipo especialidad	Función	Elementos Mecánicos	Características
Transporte transferencia formadora superior	Transmisión por correa	Transmitir la potencia desde el motor al reductor.	Poleas Correas	
	Transmisión por cadena	Transmitir la potencia desde el reductor hacia rodillo motriz de la cinta	Sprocket Cadenas	
	Reductor	Reducir la velocidad para rodillo de cinta		Rexell Mars; ratio: 795/130
Silo formadoras de superficie (superior e inferior)	Reductor tornillo dist.	Reducir la veloc. para el tornillo dist.		Rexell Mercury; ratio: 1750/55
	Reductor rastra	Reducir la velocidad para la rastra		Rexell Mercury; ratio: 1750/55
	Reductor rod. dosific.	Reducir la velocidad para rod. Dosificadores		Rexell Mercury; ratio: 1750/102
	Reductor cinta fondo	Reducir la velocidad para la cinta de fondo		Rexell Earth; ratio: 1750/9
	Transmisión por correa	Transmitir la potencia desde el motor al reductor.	Poleas Correas	
	Transmisión por cadena	Transmitir la potencia desde el reductor hacia subequipo correspondiente	Sprocket Cadenas	
	Unidad hidráulica	Entrega el aceite hidráulico a los cilindros de cada carro desplazante de las formadoras.	Cilindros hidráulicos Válvulas direccionales Bombas hidráulicas Unidad refrigeradora	

2.2 Equipos de especialidad mecánica, línea de centro.

Equipo de Proceso	Equipo especialidad	Función	Elementos Mecánicos	Características
Silo seco centro	Transmisión por correa	Transmitir la potencia desde el motor al reductor.	Poleas Correas	
	Transmisiones por cadena	Transmitir la potencia desde el reductor hacia subequipo correspondiente	Sprocket Cadenas	
	Reductor rastra	Reducir la velocidad para la rastra		Rexell Venus; ratio: 1750/32
	Reductor rod. dosific.	Reducir la velocidad para rod. Dosificadores		Rexell Mars; ratio: 1750/102
	Reductor cinta fondo	Reducir la velocidad para la cinta de fondo		SM Cyclo sumitomo; ratio: 1003
Transporte alimentación mezcladora centro	Transmisión por correa	Transmitir la potencia desde el motor al reductor.	Poleas Correas	
	Transmisión por cadena	Transmitir la potencia desde el reductor hacia rodillo motriz de la cinta	Sprocket Cadenas	
	Reductor	Reducir la velocidad para rodillo de cinta		Rexell Mars; ratio: 795/130
Mezcladora centro	Bombas peristálticas	Llevar la cera al atomizador.	Ver figura 2.9	Bredel Hose SP/15; flujo pulsativo
	Bombas de tornillo	Llevar la resina MDI a los atomizadores	Ver figura 2.10	Moyno 500 pumps.
	Acumulador	Mantener Presión de cera cte en el circuito	Ver figura 2.11	
	Válvula retención cera	Evitar pérdida Presión en detenciones.	Ver figura 2.12	
	Filtro de cera	Evitar ingreso de grumos en atomizadores	Ver figura 2.13	
Transporte salida Mezcladora centro	Transmisión por correa	Transmitir la potencia desde el motor al reductor.	Poleas Correas	
	Transmisión por cadena	Transmitir la potencia desde el reductor hacia rodillo motriz de la cinta	Sprocket Cadenas	
	Reductor	Reducir la velocidad para rodillo de cinta		Rexell Mars; ratio: 795/130
Silo formadora de centro	Reductor tornillo dist.	Reducir la veloc. para el tornillo dist.		Rexell Mercury; ratio: 1750/55
	Reductor rastra	Reducir la velocidad para la rastra		Rexell Mercury; ratio: 1750/55
	Reductor rod. dosific.	Reducir la velocidad para rod. Dosificadores		Rexell Mercury; ratio: 1750/102
	Reductor cinta fondo	Reducir la velocidad para la cinta de fondo		Rexell Earth; ratio: 1750/9
	Transmisión por correa	Transmitir la potencia desde el motor al reductor.	Poleas Correas	
	Transmisión por cadena	Transmitir la potencia desde el reductor hacia subequipo correspondiente	Sprocket Cadenas	
	Unidad hidráulica	Entrega el aceite hidráulico a los cilindros de cada carro desplazante de las formadoras.	Cilindros hidráulicos	
			Válvulas direccionales	
			Bombas hidráulicas	
		Unidad refrigeradora		

ANEXO 3: Equipos de especialidad eléctrica área de encolado.

N° AREA	EQUIPO DE PROCESO	MOTOR ASOCIADO	TAG	FUNCION	EQUIPO DE ESPECIALIDAD ELÉCTRICA	PLC ASOCIADO	OBSERVACIONES
400	SILO SECO CENTRO (CORE DRY BIN)	Motor AC.	400BNM406.100	-Transporte fondo silo seco de centro. (Core dry bin Live bottom Conveyor).	MCC 60 S/E #1 - Transformador. - Prot. EM (breaker). -Driver Electrónico (AC).	PLC: CE1-1 S/E #1	
		Motor AC.	400BNM406.200	-Rodillos dosificadores para silo seco de centro. (Core dry bin doffing rolls).	MCC 60 S/E #1 - Prot. EM (breaker). - Contactor. - Prot. Term (RT).	PLC: CE1-1 S/E #1	
		Motor AC.	400BNM406.300	-Rastra para silo seco de centro. (Core dry bin rake back conveyor).	MCC 21 S/E #1 - Prot. EM (breaker). - Contactor. - Prot. Term (RT). - Interruptor de seguridad.	PLC: CE1-1 S/E #1 PLC: CE1-5 (en terreno).	
	TRANSPORTE ALIMENTADOR ENCOLADO DE CENTRO. (CORE BLENDER INFEEED CONVEYOR)	Motor AC.	400CVM410.100	-Transporte alimentador encoladora de centro. (Core Blender Infeed Conveyor).	MCC 60 S/E #1 - Transformador. - Prot. EM (breaker). - Driver Electrónico (AC).	PLC: CE1-1 S/E #1	
	ENCOLADORA DE CENTRO. (CORE BLENDER).	Motor AC.	400MXM412.100	-Encoladora de centro. (Core Blender).	MCC 60 S/E #1 - Transformador. - Prot. EM (breaker). -Driver Electrónico (AC). - Interruptor de seguridad	PLC: CE1-1 S/E #1 PLC: CE1-5 (en terreno)	
		Motor AC. (cant. 5)	400MXM412.101 400MXM412.102 400MXM412.103 400MXM412.104 400MXM412.105	-Atomizadores resina (cant 4). (Core Blender PF spinner Head). -Atomizador cera (cant 1). (Core Blender Wax spinner Head).	MCC 11 S/E #2 -Transformador -Tablero partidor -Interruptor seguridad -Driver Electrónico (AC). (cant. 2) - Prot. EM (breaker).	PLC: CE1-1 S/E #1 PLC: CE1-5 (en terreno).	-2 drivers electrónicos (AC) debido a velocidad distinta de atomizador resina a atomizador cera
		Motor AC.	400BNM405.100	-Transporte fondo Silo seco de superficie. (Surface dry bin Live bottom Conveyor).	MCC 60 S/E #1 - Transformador. - Prot. EM (breaker). -Driver Electrónico (AC).	PLC: CE1-1 S/E #1	
		Motor AC.	400BNM405.200	-Rodillos dosificadores para silo seco de superficie. (Surface dry bin doffing rolls).	MCC 60 S/E #1 - Prot. EM (breaker). - Contactor. - Prot. Term (RT).	PLC: CE1-1 S/E #1	
	SILO SECO SUPERFICIE (CORE DRY BIN)						

500	TRANSPORTE ALIMENTADOR ENCOLADORA DE SUPERFICIE E. (SURFACE BLENDER INFEED)	Motor AC.	400BNM405.300	-Rastra para silo seco de superficie. (<i>Surface dry bin rake back conveyor</i>).	MCC 21 S/E #1 - Prot. EM (breaker). - Contactor. - Prot. Term (RT). - Interruptor de seguridad.	PLC: CE1-1 S/E #1 PLC: CE1-5 (en terreno).	
		Motor AC.	400CVM409.100	-Transporte alimentador encoladora de superficie. (<i>Surface Blender Infeed Conveyor</i>).	MCC 60 S/E #1 - Transformador. - Prot. EM (breaker). - Driver Electrónico (AC).	PLC: CE1-1 S/E #1	
	ENCOLADORA DE SUPERFICIE. (SURFACE BLENDER).	Motor AC.	400MXM411.100	-Encoladora de superficie. (<i>Surface Blender</i>).	MCC 60 S/E #1 - Transformador. - Prot. EM (breaker). -Driver Electrónico (AC). - Interruptor de seguridad	PLC: CE1-1 S/E #1 PLC: CE1-5 (en terreno).	
		Motor. (cant. 5)	400MXM411.101 400MXM411.102 400MXM411.103 400MXM411.104 400MXM411.105	-Atomizadores resina (cant 4). (<i>Core Blender PF spinner Head</i>). -Atomizador cera (cant 1). (<i>Core Blender Wax spinner Head</i>).	MCC 11 S/E #2 -Transformador -Tablero partidor -Interruptor seguridad -Driver Electrónico (AC). (cant. 2) - Prot. EM (breaker).	PLC: CE1-1 S/E #1 PLC: CE1-5 (en terreno).	Driver electrónico (AC) motor atomizador de cera, se nombran en unidad encoladora de centro.
	SALA DE RESINAS (ADHESIVES ROOM).	Motor AC.	400PPM252.100	-Bomba de fenol a encoladora de superficie. (<i>Surface Blender PF pump</i>).	MCC 60 S/E #1 -Transformador -Interruptor seguridad -Driver Electrónico (AC). - Prot. EM (breaker).	PLC: CE1-1 S/E #1 PLC: CE1-5 (en terreno).	
		Motor AC.	400PPM418.100	-Bomba de cera a encoladora de centro. (<i>Core Blender wax pump</i>).	MCC 60 S/E #1 -Transformador -Interruptor seguridad -Driver Electrónico (AC). - Prot. EM (breaker).	PLC: CE1-1 S/E #1 PLC: CE1-5 (en terreno).	
		Motor AC.	400PPM417.100	-Bomba de cera a encoladora de superficie. (<i>Surface Blender wax pump</i>).	MCC 60 S/E #1 -Transformador -Interruptor seguridad -Driver Electrónico (AC). - Prot. EM (breaker).	PLC: CE1-1 S/E #1 PLC: CE1-5 (en terreno).	
		Motor AC.	400PPM422.200	-Bomba de MDI a encoladora de superficie. (<i>Surface Blender MDI pump</i>).	MCC 60 S/E #1 -Transformador -Interruptor seguridad -Driver Electrónico (AC). - Prot. EM (breaker).	PLC: CE1-1 S/E #1 PLC: CE1-5 (en terreno).	
		Motor AC.	400PPM420.200	-Bomba de MDI a encoladora de centro. (<i>Core Blender MDI pump</i>).	MCC 60 S/E #1 -Transformador -Interruptor seguridad -Driver Electrónico (AC). - Prot. EM (breaker).	PLC: CE1-1 S/E #1 PLC: CE1-5 (en terreno).	

	TRANSPORTE DESCARGA A ENCOLADORA CENTRO. (CORE BLENDER OUTFEED CONVEYOR)	Motor AC.	500CVM502.100	-Transporte descarga encoladora centro. (Core Blender Outfeed Conveyor).	MCC 14 S/E #2 - Prot. EM (breaker). - Contactor. - Prot. Term (RT).	PLC: CE2-1B S/E #2	
	TRANSPORTE DESCARGA ENCOLADORA SUPERFICIE. (SURFACE BLENDER OUTFEED)	Motor AC.	500CVM501.100	-Transporte descarga encoladora superficie. (Surface Blender Outfeed Conveyor).	MCC 14 S/E #2 - Prot. EM (breaker). - Contactor. - Prot. Term (RT).	PLC: CE2-1B S/E #2	
	TRANSPORTE TRANSFERENCIA LÁMINA TSL. (TSL FORMER TRANSFER CONVEYOR).	Motor AC.	500CVM501.200	-Transporte transferencia lámina TSL. (TSL Former Transfer Conveyor).	MCC 15 S/E #2 - Prot. EM (breaker). - Contactor. - Prot. Term (RT).	PLC: CE2-1B S/E #2	
	TORNILLO DISTRIBUIDOR LÁMINA BSL (BSL FORMER DISTRIBUTION SCREW).	Motor AC.	500CVM503.100	-Tornillo distribuidor lámina BSL. (BSL Former Distribution Screw).	MCC 15 S/E #2 - Prot. EM (breaker). - Contactor. - Prot. Term (RT).	PLC: CE2-1B S/E #2	
	TORNILLO DISTRIBUIDOR LÁMINA CENTRO (CORE FORMER DISTRIBUTION SCREW).	Motor AC.	500CVM504.100	-Tornillo distribuidor lámina centro. (Core Former Distribution Screw).	MCC 15 S/E #2 - Prot. EM (breaker). - Contactor. - Prot. Term (RT). - Interruptor Seguridad	PLC: CE2-1B S/E #2 PLC: CE2-2 (en terreno).	
	TORNILLO DISTRIBUIDOR LÁMINA TSL (TSL FORMER DISTRIBUTION SCREW).	Motor AC.	500CVM505.100	-Tornillo distribuidor lámina TSL. (TSL Former Distribution Screw).	MCC 15 S/E #2 - Prot. EM (breaker). - Contactor. - Prot. Term (RT). - Interruptor Seguridad	PLC: CE2-1B S/E #2 PLC: CE2-2 (en terreno).	
	FORMADORA LÁMINA BSL (BSL FORMER).	Motor AC.	500CVM507.100	-Rastra formadora lámina BSL. (BSL Former rake back).	MCC 15 S/E #2 - Prot. EM (breaker). - Contactor. - Prot. Term (RT).	PLC: CE2-1B S/E #2	
Motor AC.		500CVM507.200	-Rodillos dosificadores formadora lámina BSL. (BSL Formerdoffing rolls).	MCC 15 S/E #2 - Prot. EM (breaker). - Contactor. - Prot. Term (RT).	PLC: CE2-1B S/E #2		

	FORMADORA LAMINA CENTRO (CORE FORMER).	Motor DC.	500CVM507.300	-Cinta rastra formadora lámina BSL (BSL FormerLive bottom Conveyor).	MCC 15 S/E #2 - Prot. EM (breaker). - Transformador - Driver Electrónico (DC). - Prot. Term (RT). - Tacómetro.	PLC: CE2-1B S/E #2 PLC: CE2-1A (en terreno).	
		Motor AC.	500CVM508.100	-Rastra formadora lámina centro. (Core FormerRackeback).	MCC 15 S/E #2 - Prot. EM (breaker). - Contactor. - Prot. Term (RT). - Interruptor Seguridad	PLC: CE2-1B S/E #2 PLC: CE2-2 (en terreno).	
		Motor AC.	500CVM508.200	-Rodillos dosificadores formadora lámina centro. (Core Former doffing rolls).	MCC 15 S/E #2 - Prot. EM (breaker). - Contactor. - Prot. Term (RT).	PLC: CE2-1B S/E #2	
		Motor DC.	500CVM508.300	-Cinta rastra formadora lámina centro. (Core Former Live bottom Conveyor).	MCC 15 S/E #2 - Prot. EM (breaker). - Transformador - Driver Electrónico (DC). - Prot. Term (RT). - Tacómetro.	PLC: CE2-1B S/E #2 PLC: CE2-1A (en terreno).	
	FORMADORA LAMINA TSL (TSL FORMER).	Motor AC.	500CVM509.100	-Rastra formadora lámina TSL. (TSL Former Rackeback).	MCC 15 S/E #2 - Prot. EM (breaker). - Contactor. - Prot. Term (RT). - Interruptor Seguridad	PLC: CE2-1B S/E #2 PLC: CE2-2 (en terreno).	
		Motor AC.	500CVM509.200	-Rodillos dosificadores formadora lámina TSL. (TSL Former doffing rolls).	MCC 15 S/E #2 - Prot. EM (breaker). - Contactor. - Prot. Term (RT).	PLC: CE2-1B S/E #2	
		Motor DC.	500CVM509.300	-Cinta rastra formadora lámina BSL (BSL FormerLive bottom Conveyor).	MCC 15 S/E #2 - Prot. EM (breaker). - Transformador - Driver Electrónico (DC). - Prot. Term (RT). - Tacómetro.	PLC: CE2-1B S/E #2 PLC: CE2-1A (en terreno).	

ANEXO 4: Equipos de especialidad de control área de encolado.

N° AREA	EQUIPO DE PROCESO	EQUIPO DE ESPECIALIDAD DE CONTROL	TAG	TIPO	EQUIPO DE ESPECIALIDAD DE CONTROL (CAJAS CONEXIONADO Y PLC'S ASOCIADOS)	FUNCION	OBSERVACIONES
400	SILO SECO CENTRO	Sensor indicador de nivel.	400.035	-Tx y Rx onda de radio.	-Caja conexionado: CDTB1 -PLC: CE1-5	-Indicador vacío de carga en silo seco centro.	
		Sensor indicador de nivel	400.037	-Tx y Rx onda de radio.	-Caja conexionado: CDTB1 -PLC: CE1-5	-Indicador nivel intermedio carga en silo seco centro.	
		Sensor indicador de nivel.	400.036	-Tx y Rx onda de radio.	-Caja conexionado: CDTB1 -PLC: CE1-5	-Indicador lleno de carga en silo seco centro.	
		Sensor rotación.	400.057	-Sensor proximidad inductivo.	-Caja conexionado: TB1 -PLC : CE1-5	-Indica movimiento en rodillos dosificadores silo seco centro.	
	TRANSPORTE ALIMENTADOR ENCOLADORA DE CENTRO.	Sensor rotación.	400.060	-Sensor proximidad inductivo.	-Caja conexionado: TB1 -PLC : CE1-5	-Indica movimiento en transporte alimentador silo seco centro.	
		Sensor velocidad.	400.026	-Encoder.	-Caja conexionado. CV4101JB -PLC : CE1-5 -Transmisor indicador de peso: CV4101WIT	-Indica velocidad actual de cinta alimentador encoladora centro.	Actualmente no operativo.
		Celda de carga. (cant. 4)	400.022 4000.23 4000.24 400.025	-Strain-gauge.	-Caja conexionado: CV4101JB -PLC : CE1-5 -Transmisor indicador de peso: CV4101WIT	-Detecta peso en carga sobre transportador alimentador encoladora centro	Actualmente no operativo.
		Transmisor indicador de peso.	400.027	-	-Caja conexionado: CV4101JB -PLC: CE1-5 -Celda de carga.	-Indica y transmite peso detectado por celda.	Actualmente no operativo.

	ENCOLADORA CENTRO	Solenoido activador de válvula neumática.	400.019	-Electroválvula.	-Caja conexionado: SBTB1 -PLC: CE1-5	-Limpieza pesa dinámica transporte alimentador encoladora centro	Actualmente no operativo.
		Sensor indicador abertura.	400.063	-Sensor proximidad inductivo.	-Caja conexionado: SBTB1 -PLC: CE1-5	-Indicador abertura puerta encoladora centro.	
		Solenoido activador de válvula neumática.	400.018	-Electroválvula.	-Caja conexionado: SBTB1 -PLC: CE1-5	-Permite flujo cera a atomizador encoladora centro.	
		Sensor indicador posición.	-	-Sensor proximidad inductivo.	-	-Indica corrimiento posición correcta manifold encoladora centro.	- No posee numeración (ubicación, registro).
		Sensor rotación.	-	-Sensor proximidad inductivo.	-	-Indica movimiento tambor rotatorio (encoladora centro).	- No posee numeración (ubicación, registro).
	SILO SECO SUPERFICIE	Sensor indicador de nivel.	400.041	-Tx y Rx onda de radio.	-Caja conexionado: SDBTB1 -PLC : CE1-5	-Indicador vacío de carga en silo seco superficie.	
		Sensor indicador de nivel	400.043	-Tx y Rx onda de radio.	-Caja conexionado: SDBTB1 -PLC : CE1-5	-Indicador nivel intermedio carga en silo seco superficie.	
		Sensor indicador de nivel.	400.042	-Tx y Rx onda de radio.	-Caja conexionado: SDBTB1 -PLC : CE1-5	-Indicador lleno de carga en silo seco superficie.	
		Sensor rotación.	400.058	-Sensor proximidad inductivo.	-Caja conexionado: TB1 -PLC : CE1-5	-Indica movimiento en rodillos dosificadores silo seco superficie.	
	TRANSPORTE ALIMENTADOR ENCOLADORA DE SUPERFICIE.	Sensor velocidad.	400.032	-Encoder.	-Caja conexionado: CV4091JB -PLC: CE1-5 -Transmisor indicador de peso: CV4091WIT	-Indica velocidad actual de cinta alimentador encoladora superficie.	Actualmente no operativo.
		Sensor rotación.	400.061	-Sensor proximidad inductivo.	-Caja conexionado: TB1 -PLC : CE1-5	-Indica movimiento en transporte alimentador silo seco superficie.	
		Celda de carga. (cant. 4)	400.028 4000.29 4000.30 400.031	-Strain-gauge.	-Caja conexionado: CV4091JB -PLC : CE1-5 -Transmisor indicador de peso: CV4091WIT	-Detecta peso en carga sobre transportador alimentador encoladora superficie	Actualmente no operativo.

		Transmisor indicador de peso.	400.033	-	-Caja conexionado: CV4091 -PLC: CE1-5 -Celda de carga.	-Indica y transmite peso detectado por celda.	Actualmente no operativo.
		Solenoide activador de válvula neumática.	400.065	-Electroválvula.	-Caja conexionado: SBTB2 -PLC: CE1-5	-Limpieza pesa dinámica transporte alimentador encoladora superficie.	Actualmente no operativo.
	ENCOLADORA SUPERFICIE	Solenoide activador de válvula hidráulica.	400.015	-Electroválvula.	-Caja conexionado: SBTB2 -PLC: CE1-5	-Lubricación sistema rotatorio encoladora superficie.	
		Solenoide activador de válvula neumática. (cant. 4)	-	-Electroválvula.	-	-Permite flujo agua hacia atomizadores resina encoladora superficie.	- No poseen numeración (ubicación, registro).
		Sensor indicador abertura.	400.062	-Sensor proximidad inductivo.	-Caja conexionado: SBTB2 -PLC: CE1-5	-Indicador abertura puerta encoladora superficie.	
		Solenoide activador de válvula neumática.	-	-Electroválvula.	-	-Permite flujo cera a atomizador encoladora superficie.	- No posee numeración (ubicación, registro).
		Sensor indicador posición.	-	-Sensor proximidad inductivo.	-	-Indica corrimiento posición correcta manifold encoladora superficie.	- No posee numeración (ubicación, registro).
		Sensor rotación.	-	-Sensor proximidad inductivo.	-	-Indica movimiento tambor rotatorio (encoladora superficie).	- No posee numeración (ubicación, registro).
	SALA DE RESINAS	Medidor flujo.	400.001	-	- Caja conexionado: MMTB1 -Transmisor indicador de flujo: TK4201FIT -PLC: CE1-6	-Mide flujo resina encoladora superficie.	
		Transmisor indicador de flujo.	400.002	-	- Caja conexionado: MMTB1 -Medidor flujo. -PLC: CE1-6	-Transmite e indica flujo detectado por medidor encoladora superficie.	

		Medidor flujo.	400.005	-	- Caja conexionado: MMTB1 -Transmisor indicador de flujo: TK4231FIT -PLC: CE1-6	-Mide flujo cera encoladora centro	
		Transmisor indicador de flujo.	400.006	-	- Caja conexionado: MMTB1 -Medidor flujo. -PLC: CE1-6	-Transmite e indica flujo detectado por medidor encoladora centro.	
		Medidor flujo.	400.007	-	- Caja conexionado: MMTB1 -Transmisor indicador de flujo: TK4232FIT -PLC: CE1-6	-Mide flujo cera encoladora superficie.	
		Transmisor indicador de flujo.	400.008	-	- Caja conexionado: MMTB1 -Medidor flujo. -PLC: CE1-6	-Transmite e indica flujo detectado por medidor encoladora superficie.	
		Medidor flujo.	400.003	-	- Caja conexionado: MMTB1 -Transmisor indicador de flujo: TK4142FIT -PLC: CE1-6	-Mide flujo MDI encoladora centro.	
		Transmisor indicador de flujo.	400.004	-	- Caja conexionado: MMTB1 -Medidor flujo. -PLC: CE1-6	-Transmite e indica flujo detectado por medidor encoladora centro.	
		Medidor flujo.	-	-	-	-Mide flujo MDI encoladora superficie.	- No posee numeración (ubicación, registro).
		Transmisor indicador de flujo.	-	-	-	-Transmite e indica flujo detectado por medidor encoladora superficie.	- No posee numeración (ubicación, registro).

500	TRANSPORTE DESCARGA ENCOLADORA DE CENTRO.	Sensor rotación.	500.121	-Sensor proximidad inductivo.	-Caja conexasionado: SKLTB1 -PLC: CE2-2	-Indica movimiento transporte descarga encoladora centro.	
		Sensor de atollo.	500.107	Sensor vibración	No posee info. de caja ni de PLC	-Detecta taco chute transporte descarga encoladora centro.	
	TRANSPORTE DESCARGA ENCOLADORA DE SUPERFICIE.	Sensor rotación.	500.137	-Sensor proximidad inductivo.	-Caja conexasionado: SKLTB1 -PLC: CE2-2	-Indica movimiento transporte descarga encoladora superficie.	
		Sensor de atollo.	500.108	Sensor vibración	No posee info. de caja ni de PLC	-Detecta taco chute transporte descarga encoladora superficie.	
	CHUTE DERIVACION	Sensor límite de recorrido.	500.131	Sensor final de carrera.	-Caja conexasionado: BSLTB2 -PLC: CE2-2	-Indica deflector de derivación hacia formadora superior (TSL)	
		Sensor límite de recorrido.	500.130	Sensor final de carrera.	-Caja conexasionado: BSLTB2 -PLC: CE2-2	-Indica deflector de derivación en posición central.	Actualmente no operativo.
		Sensor límite de recorrido.	500.129	Sensor final de carrera.	-Caja conexasionado: BSLTB2 -PLC: CE2-2	-Indica deflector de derivación hacia formadora inferior (BSL)	
		Sensor de atollo.	-	Sensor vibración	-	-detecta taco chute de derivación hacia transporte de transferencia hacia lámina TSL	- No posee numeración (ubicación, registro).
		Solenoides activador de válvula neumática.	500.134	-Electroválvula.	-Caja conexasionado: BSLTB2 -PLC: CE2-2	-Permite accionar cilindro neumático produciendo movimiento derecha deflector de derivación.	

		Solenoido activador de válvula neumática.	500.135	-Electroválvula.	-Caja conexionado: HY506TB1 -PLC: CE2-2	-Permite accionar cilindro neumático produciendo movimiento izquierda deflector de derivación.	
	TRANSPORTE TRANSFERENCIA LÁMINA TSL	Sensor rotación.	500.132	-Sensor proximidad inductivo.	-Caja conexionado: BSLTB2 -PLC: CE2-2	-Indica movimiento transporte transferencia lámina TSL.	
	TORNILLO DISTRIBUIDOR LAMINA BSL	Sensor límite de recorrido.	500.071	Sensor final de carrera.	-Caja conexionado: BSLTB1 -PLC: CE2-2	-Indica posición inicial recorrido de tornillo distribución lámina BSL.	
		Sensor límite de recorrido.	500.090	Sensor final de carrera.	-Caja conexionado: BSLTB2 -PLC: CE2-2	-Indica posición de carga tornillo distribución lámina BSL.	
		Sensor límite de recorrido.	500.120	Sensor final de carrera.	-Caja conexionado: BSLTB1 -PLC: CE2-2	-Indica posición final recorrido tornillo distribuidor lámina BSL.	
	FORMADORA LAMINA BSL	Sensor rotación.	500.002	-Sensor proximidad inductivo.	-Caja conexionado: BSLTB1 -PLC: CE2-2	-Indica movimiento rastra formadora lámina BSL.	
		Sensor rotación.	500.104	-Sensor proximidad inductivo.	-Caja conexionado: BSLTB1 -PLC: CE2-2	-Indica movimiento rodillos dosificadores lámina BSL.	
		Sensor corrección de posición. (cant. 2)	500.015 500.003	-Sensor final de carrera.	-Caja conexionado: BSLTB1 -PLC: CE2-2	-Indica decentraje cinta rastra formadora lámina BSL.	

		Sensor corrección de posición. (cant. 2)	500.043 500.092	-Sensor final de carrera.	-Caja conexionado: TSLTB1, BSLTB1 -PLC: CE2-2	-Indica corrimiento máximo tolerable cinta rastra formadora lámina BSL.	
		Solenoide activador de válvula neumática. (cant. 2)	500.019 500.018	-Electroválvula.	-Caja conexionado: BSLTB1 -PLC: CE2-2	-Permite accionar cilindro neumático logrando corregir posición cinta rastra formadora BSL.	
		Sensor indicador nivel. (cant. 2)	500.007 500.023	-Tx y Rx fotoeléctrico)	-Caja conexionado: BSLTB1 -PLC: CE2-2	-Indica $\geq 1/4$ de carga en formadora lámina BSL.	
		Sensor indicador nivel. (cant.2)	500.022 500.006	-Tx y Rx fotoeléctrico)	-Caja conexionado: BSLTB1 -PLC: CE2-2	-Indica $\geq 1/2$ de carga en formadora lámina BSL.	
		Sensor indicador nivel. (cant. 2)	500.005 500.0021	-Tx y Rx fotoeléctrico)	-Caja conexionado: BSLTB1 -PLC: CE2-2	-Indica $\geq 3/4$ de carga en formadora lámina BSL.	
		Sensor indicador nivel. (cant. 2)	500.016 500.004	-Tx y Rx fotoeléctrico)	-Caja conexionado: BSLTB1 -PLC: CE2-2	-Indica nivel lleno en formadora lámina BSL.	
	TORNILLO DISTRIBUIDOR LAMINA CENTRO	Sensor límite de recorrido.	500.059	Sensor final de carrera.	-Caja conexionado: CLFTB1 -PLC: CE2-2	-Indica posición inicial recorrido de tornillo distribución lámina centro.	
		Sensor límite de recorrido.	500.075	Sensor final de carrera.	-Caja conexionado: CLFTB1 -PLC: CE2-2	-Indica posición de carga tornillo distribución lámina centro.	
		Sensor límite de recorrido.	500.122	Sensor final de carrera.	-Caja conexionado: CLFTB1 -PLC: CE2-2	-Indica posición final recorrido tornillo distribuidor lámina centro.	
	FORMADORA LAMINA CENTRO	Sensor rotación.	-	-Sensor proximidad inductivo.	-	-Indica movimiento rastra formadora lámina centro.	- No posee numeración (ubicación, registro).
		Sensor rotación.	500.142	-Sensor proximidad inductivo.	-Caja conexionado: CLFTB1 -PLC: CE2-2	-Indica movimiento rodillos dosificadores lámina centro.	

		Sensor corrección de posición. (cant. 2)	500.025 500.031	-Sensor final de carrera.	-Caja conexionado: CLFTB1 -PLC: CE2-2	-Indica decentraje cinta rastra formadora lámina centro.	
		Sensor corrección de posición. (cant. 2)	500.024 500.030	-Sensor final de carrera.	-Caja conexionado: CLFTB1 -PLC: CE2-2	-Indica corrimiento máximo tolerable cinta rastra formadora lámina centro.	
		Solenoides activador de válvula neumática. (cant. 2)	500.058 500.057	-Electroválvula.	-Caja conexionado: CLFTB1 -PLC: CE2-2	-Permite accionar cilindro neumático logrando corregir posición cinta rastra formadora centro.	
		Sensor indicador nivel. (cant. 2)	500.029 500.035	-Tx y Rx fotoeléctrico)	-Caja conexionado: CLFTB1 -PLC: CE2-2	-Indica $\geq 1/4$ de carga en formadora lámina centro.	
		Sensor indicador nivel. (cant. 2)	500.028 500.034	-Tx y Rx fotoeléctrico)	-Caja conexionado: CLFTB1 -PLC: CE2-2	-Indica $\geq 1/2$ de carga en formadora lámina centro.	
		Sensor indicador nivel. (2)	500.027 500.033	-Tx y Rx fotoeléctrico)	-Caja conexionado: CLFTB1 -PLC: CE2-2	-Indica $\geq 3/4$ de carga en formadora lámina centro.	
		Sensor indicador nivel. (cant. 2)	500.026 500.032	-Tx y Rx fotoeléctrico)	-Caja conexionado: CLFTB1 -PLC: CE2-2	-Indica nivel lleno en formadora lámina centro.	
	TORNILLO DISTRIBUIDOR LAMINA TSL	Sensor límite de recorrido.	500.063	Sensor final de carrera.	-Caja conexionado: TSLTB1 -PLC: CE2-2	-Indica posición inicial recorrido de tornillo distribución lámina TSL.	
		Sensor límite de recorrido.	500.095	Sensor final de carrera.	-Caja conexionado: TSLTB1 -PLC: CE2-2	-Indica posición de carga tornillo distribución lámina TSL.	
		Sensor límite de recorrido.	500.125	Sensor final de carrera.	-Caja conexionado: HY506TB1 -PLC: CE2-2	-Indica posición final recorrido tornillo distribuidor lámina TSL.	

	FORMADORA LAMINA TSL	Sensor rotación.	500.046	-Sensor proximidad inductivo.	-Caja conexionado: TSLTB1 -PLC: CE2-2	-Indica movimiento rastra formadora lámina TSL.	
		Sensor rotación.	500.144	-Sensor proximidad inductivo.	-Caja conexionado: TSLTB1 -PLC: CE2-2	-Indica movimiento rodillos dosificadores lámina TSL.	
		Sensor corrección de posición. (cant. 2)	500.047 500.054	-Sensor final de carrera.	-Caja conexionado: TSLTB1 -PLC: CE2-2	-Indica decentraje cinta rastra formadora lámina TSL.	
		Sensor corrección de posición. (cant. 2)	500.069 500.053	-Sensor final de carrera.	-Caja conexionado: TSLTB1 -PLC: CE2-2	-Indica corrimiento máximo tolerable cinta rastra formadora lámina TSL.	
		Solenoide activador de válvula neumática. (cant. 2)	500.051 500.052	-Electroválvula.	-Caja conexionado: TSLTB1 -PLC: CE2-2	-Permite accionar cilindro neumático logrando corregir posición cinta rastra formadora TSL.	
		Sensor indicador nivel. (cant. 2)	500.038 500.042	-Tx y Rx fotoeléctrico)	-Caja conexionado: TSLTB1 -PLC: CE2-2	-Indica $\geq 1/4$ de carga en formadora lámina TSL.	
		Sensor indicador nivel. (cant. 2)	500.064 500.039	-Tx y Rx fotoeléctrico)	-Caja conexionado: TSLTB1 -PLC: CE2-2	-Indica $\geq 1/2$ de carga en formadora lámina TSL.	
		Sensor indicador nivel. (cant. 2)	500.043 500.040	-Tx y Rx fotoeléctrico)	-Caja conexionado: TSLTB1 -PLC: CE2-2	-Indica $\geq 3/4$ de carga en formadora lámina TSL.	
		Sensor indicador nivel. (cant. 2)	500.055 500.045	-Tx y Rx fotoeléctrico)	-Caja conexionado: CLFTB1 -PLC: CE2-2	-Indica nivel lleno en formadora lámina centro.	

ANEXO 5: Análisis de funcionamiento de principales equipos del encolado

5.1 Mezcladoras

Existe una gran variedad de *Blenders* para fines industriales. El usado en la planta corresponde al tipo de tambor rotatorio de resina líquida.

Se han encontrado pocos reportes o literatura que traten los efectos de los parámetros de operación del *blender* sobre las propiedades del tablero.

Sin embargo, existen documentos que relacionan ciertas variables y parámetros de operación del *blender* en términos generales.

Al manipular los parámetros de operación del *blender*, se tendrán ciertos efectos en el funcionamiento de éste. Dichos efectos serán llamados variables dependientes, que son:

- Uniformidad de impregnación de adhesivo.
- Oleadas en el flujo de hojuelas.
- Acumulación de suciedad dentro del *blender*.

De la revisión bibliográfica se han obtenido diferentes recomendaciones de parámetros de operación para *Blenders* del tipo tambor rotatorio que trabajan con resina líquida.

El tambor debería operar con una velocidad periférica entre 600 a 700 pies/mín. (de 22 a 26 RPM para mezcladoras de esta planta) para encolado con resina líquida. Velocidades más bajas producirían un aumento en las acumulaciones de resina-cera y su distribución sería afectada. También la velocidad es un factor que incide en las oleadas o flujos de hojuela pulsante en el *blender* [2].

Se recomienda, velocidades de rotación del *blender* aproximadamente entre 18.5 a 19.5 RPM, para que la combinación entre fuerza centrífuga en las hojuelas y aumento en la alimentación de hojuelas no produzca un taco [3]. Actualmente, la planta trabaja con velocidades de rotación del *blender* entre 20 a 23 RPM

Otro reporte se refiere a la velocidad de rotación junto al ángulo de inclinación como factores que inciden en la acumulación de suciedad dentro del *blender*. Ángulos y velocidades significativamente más grandes que las recomendadas por los fabricantes de *blenders* han tenido algún éxito en la reducción de suciedad. Pero el principal problema a superar es la posibilidad de que ocurran oleadas o flujos pulsantes de hojuela al interior del *blender*. Sin embargo, si se encuentra un armónico de la velocidad de rotación, entonces las oleadas pueden ser superadas, especialmente si el incremento en el ángulo y velocidad es acompañada por las prolongaciones de los levantadores [4].

El modelo de mezcladora encontrado en la planta está diseñado para operar a 21 RPM. Además, el tambor debería (pero no necesariamente) operar a una velocidad suficientemente rápida para causar que las hojuelas se adhieran a la pared del tambor y luego caigan libremente a través de una neblina de adhesivo. También, esta velocidad óptima de 21 RPM dependerá de la densidad de las hojuelas y de su capacidad para adherirse a la pared del tambor y a los levantadores [5].

Por lo visto, todos los documentos hacen referencia a cuales son los efectos finales al manipular los parámetros de operación del *blender*.

Para mostrar como esta variación en los parámetros puede afectar a la **uniformidad de impregnación, oleadas y acumulación de suciedad**, entonces se analizarán por separado.

5.1.1 Uniformidad de impregnación del adhesivo

Para mostrar como el *blender* puede llevar a cabo esta tarea se analizará cómo la velocidad de rotación, el ángulo de inclinación, el número de levantadores, y la posición de atomizadores, resina y hojuelas pueden afectar la uniformidad de impregnación.

5.1.1.1 Velocidad de Rotación

El efecto directo de la velocidad de rotación del *blender* es el ángulo de desprendimiento (α). El ángulo de desprendimiento es la posición angular a la cual comienzan a desprenderse las hojuelas de los levantadores (ver **Figura A.5.1**).

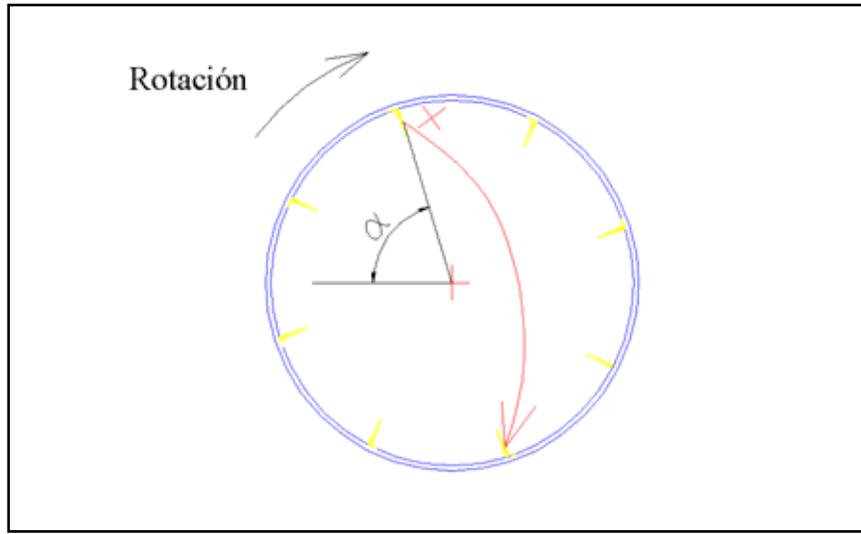


Figura A.5.1. Corte transversal del *blender* mostrando el ángulo de desprendimiento (α) de hojuelas.

El ángulo de desprendimiento se puede calcular analíticamente al equilibrar la fuerza centrífuga de un montón de hojuelas y la fuerza producto de la aceleración de gravedad (peso del montón de hojuelas) [6]. Éste análisis se muestra en el anexo 14.

Sin considerar el roce entre las hojuelas y los levantadores, las hojuelas comenzarán a desprenderse una vez que la fuerza gravitacional exceda la fuerza centrífuga. Éste ángulo, al cual comienza a desprenderse, está dado por la siguiente ecuación:

$$\alpha = \text{Sen}^{-1}\left(\frac{r\omega^2}{g}\right) \quad (1)$$

Donde:

r = Radio al que se encuentra una o un montón de hojuelas, en metros (m).

ω = Velocidad angular del *blender*, en radianes por segundo (rad/s).

g = Aceleración de gravedad, 9,8 metros por segundo al cuadrado (m/s^2).

Cabe señalar que la ecuación anterior es válida para el caso en que las hojuelas están en contacto con la pared del *blender*, y no deslizándose por ésta.

El ángulo de desprendimiento tiene su primer efecto en la distancia perpendicular de caída h de la hojuela.

La distancia de caída h es el espacio que recorre un montón de hojuelas (visto en la dirección del eje longitudinal del tambor), una vez que se desprende del levantador hasta llegar al fondo del tambor o a otro levantador.

La distancia de caída aumenta desde velocidades bajas de rotación hasta velocidades intermedias; luego comienza a disminuir al acercarse a velocidades altas [6] (ver **Figura A.5.2**).

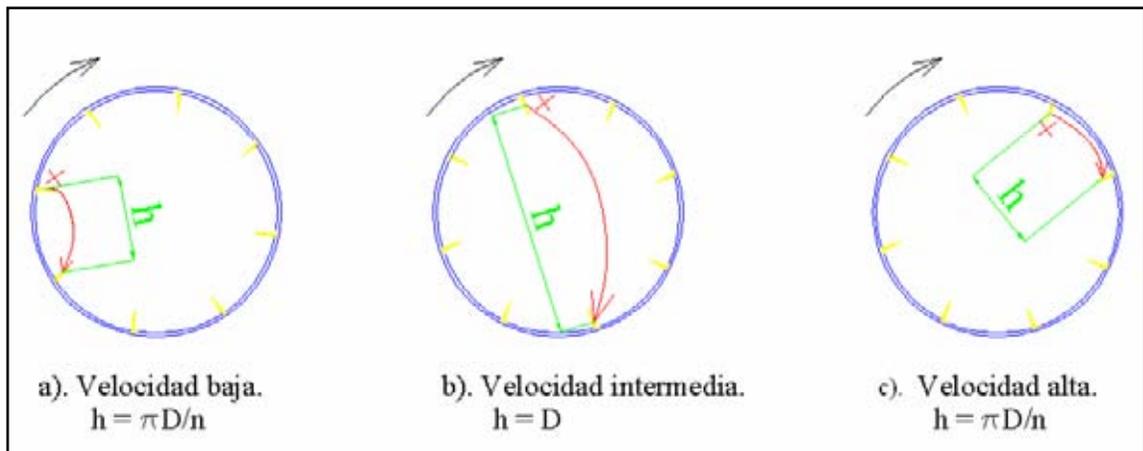


Figura A.5.2. Variación de la distancia de caída h de la hojuela, según los tres intervalos de velocidad: baja, intermedia y alta.

De la **Figura A.5.2** se observa que cuando el tambor gira con una velocidad de rotación intermedia la distancia con que caen las hojuelas es máxima e igual al diámetro del tambor (D).

$$h = D \quad (2)$$

$$\text{Ahora, cuando } h = \pi D/n, \quad (3)$$

donde n es el número de levantadores, se encuentra la explicación de por qué la distancia de caída para alta y baja velocidad es la misma. La respuesta está en la velocidad horizontal y en la fuerza centrífuga que poseen las hojuelas. A baja velocidad de rotación la fuerza centrífuga es casi despreciable, por lo tanto, las hojuelas se desprenden a un ángulo α pequeño y, además, la velocidad horizontal que llevan las hojuelas es casi nula. Entonces, éstas ruedan al levantador inmediatamente más abajo.

En cambio, para altas velocidades, la fuerza centrífuga que poseen las hojuelas las mantienen pegadas a la pared del tambor, y cuando logran desprenderse es tan alta la velocidad horizontal de las hojuelas que vuelven a chocar con el levantador. Es decir, para una situación en que la velocidad es alta, solamente un montón de hojuelas se desliza por la pared del tambor entre dos levantadores, como muestra la **Figura A.5.2. c)**.

Volviendo a la ecuación (1), se tiene que el ángulo de desprendimiento también está en función del radio donde se encuentra una o un montón de hojuelas, lo cual produce un rango de ángulos de desprendimientos, ya que las hojuelas que están más lejos de la pared del *blender* son las primeras en desprenderse y caer. Este continuo desprendimiento de hojuelas de los levantadores genera un fenómeno conocido como *furnish curtain* o cortina de hojuelas, que puede presentarse de dos formas, dependiendo de la velocidad de rotación del tambor [6]. La primera crea una trayectoria parabólica, y la segunda forma una especie de triángulo cuya base va aumentando con la distancia de caída. Cabe señalar que es difícil apreciar estas trayectorias cuando el *blender* trabaja con un flujo normal de hojuelas.

Si se analiza la trayectoria que sigue el centro de masa de un montón de hojuelas, éstas describirán los movimientos mencionados más arriba. Pero si se quiere estudiar el movimiento del centro de masa de una hojuela, éste describiría un patrón caótico difícil de analizar. Sin embargo, al observar más detenidamente este hecho, una hojuela presenta dos movimientos importantes. Uno se refiere al giro de la hojuela alrededor de su eje longitudinal, conocido como *twirling*, y el otro es el giro alrededor de su eje transversal, o llamado *flipping* [6].

El beneficio de la combinación de estos dos tipos de giros de las hojuelas es el de dar mayor probabilidad de maximizar la uniformidad de impregnación del adhesivo.

Cuando la velocidad de rotación del *blender* es muy alta, la distancia de caída h se reduce, y lógicamente también el número de giros de las hojuelas (*twirling y flipping*), pudiendo afectar de esta manera la uniformidad de impregnación del adhesivo.

Lo mismo ocurre también con la turbulencia de las hojuelas. La turbulencia consiste en la separación de las hojuelas entre sí, para que éstas tengan mayor oportunidad de ser impregnadas con adhesivo. Cuando la velocidad de rotación del *blender* es cercana a la intermedia, donde la distancia de caída libre es máxima, la turbulencia se ve beneficiada, ya que las hojuelas disponen de mayor tiempo para separarse.

Resumiendo todo lo dicho hasta el momento, se tiene que, al modificar la velocidad de rotación del *blender*, el ángulo de desprendimiento varía de forma directamente proporcional. Luego, entre los rangos de velocidad baja e intermedia la distancia de caída varía de forma directamente proporcional y, del rango intermedio a alto, la distancia de caída cambia de manera inversamente proporcional. Ahora, un cambio en la distancia de caída afecta de forma directamente proporcional al número de giros de la hojuela y a la turbulencia, y por lo tanto también a la uniformidad de impregnación de adhesivo.

Lo que no se ha mencionado hasta el momento es que la velocidad de rotación del *blender* también afecta de manera directamente proporcional al tiempo de residencia de la hojuela, el cual influye de forma directamente proporcional en la uniformidad de impregnación de adhesivo. Esta situación quedó demostrada en un experimento realizado por la SWT [6].

Para ver más claramente como afecta la velocidad de rotación del *blender* al tiempo de residencia de la hojuela se analizará ésta junto al ángulo de inclinación, en el punto que sigue.

5.1.1.2 Ángulo de inclinación (θ) del *blender*

El ángulo de inclinación (θ) del *blender*, junto con su velocidad de rotación, influyen en el tiempo de residencia de las hojuelas dentro del *blender*.

Se ha llegado a un modelo que sirve para comparar lo que sucede cuando varía el ángulo de inclinación del *blender* y la distancia de caída de las hojuelas.

Al existir este ángulo θ , las hojuelas caen una distancia d y se mueven un incremento de distancia l , acercándose al chute de salida del *blender* con cada revolución que realiza el tambor [6] (ver **Figura A.5.3**).

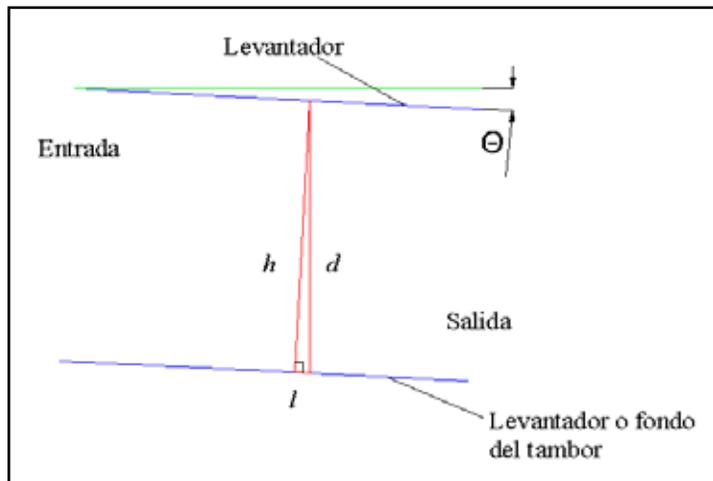


Figura A.5.3. Incremento de la distancia longitudinal recorrida (l) por las hojuelas en cada revolución del tambor.

El incremento de la distancia l , una vez que deja el levantador, se puede expresar como:

$$l = d \operatorname{sen}\theta \quad (4)$$

En términos de la distancia perpendicular de caída h , se tiene:

$$l = h \operatorname{tan}\theta \quad (5)$$

Como se vio anteriormente, la distancia de caída h depende del rango de velocidades (baja, intermedia y alta), por lo tanto:

Para velocidad baja:

$$l_B = nl = \pi D \tan \theta \quad (6)$$

Para velocidad intermedia:

$$l_I = D \tan \theta \quad (7)$$

Para velocidad alta:

$$l_A = \frac{\pi D}{n} \tan \theta \quad (8)$$

La distancia de caída h es la misma para baja y alta velocidad, pero los incrementos en la distancia recorrida l , para baja y alta velocidad, son diferentes. La explicación está en que para altas velocidades las hojuelas se desprenden una sola vez por cada revolución; en cambio, para baja velocidad las hojuelas se desprenden n veces por cada revolución.

La razón de variación del incremento de distancia l , según velocidades baja, intermedia y alta es:

$$\pi : 1 : \frac{\pi}{n} \quad (9)$$

Es decir, el incremento de la distancia recorrida l es inversamente proporcional a la velocidad de rotación V :

$$l \propto \frac{1}{V} \quad (10)$$

También, se puede ver geoméricamente, en el anexo 15, cómo varía el incremento de distancia longitudinal recorrida por la hojuela en cada revolución, respecto a la velocidad de rotación del *blender*.

Si se tienen pequeños incrementos por cada revolución, entonces, se necesita mayor número de rotaciones del tambor para que las hojuelas impregnadas con resina consigan salir por el chute de descarga, y por lo tanto el tiempo de residencia (**T**) es mayor. Es decir:

$$T \propto \frac{1}{l} \quad (11)$$

De esta manera, se puede decir que el tiempo de residencia es inversamente proporcional al ángulo de inclinación y directamente proporcional a la velocidad de rotación del *blender*. Esto es:

$$T \propto \frac{1}{\theta} \quad (12)$$

$$T \propto V \quad (13)$$

5.1.1.3 Levantadores y prolongaciones

Los levantadores están encargados de llevar las hojuelas, a medida que el tambor gira, hasta la parte superior de éste, para luego desprenderse y caer, permitiendo así la incorporación del adhesivo.

También, están las prolongaciones de los levantadores, que son secciones rectangulares incorporadas a éstos, con el fin de mejorar su tarea en la separación de las hojuelas y, de esta forma, incrementar la turbulencia dando mejor uniformidad de impregnación del adhesivo.

Existen recomendaciones relacionadas con la posición de las prolongaciones, las cuales deben seguir un patrón helicoidal (mostrado en color rojo en la **Figura A.5.4**), comenzando a 4 ft (1220 mm) desde la parte posterior del *blender*. Las demás prolongaciones deben adherirse a cada levantador, comenzando en la misma línea donde termina la anterior. Para incrementar la turbulencia en la parte central del tambor se

adicionan otras prolongaciones (mostradas en color amarillo en la **Figura A.5.4**), comenzando a 8 ft (2440 mm) desde la parte posterior del *blender* y a 180° de la primera prolongación (ver **figuras A.5.4 y A.5.5**) [4].

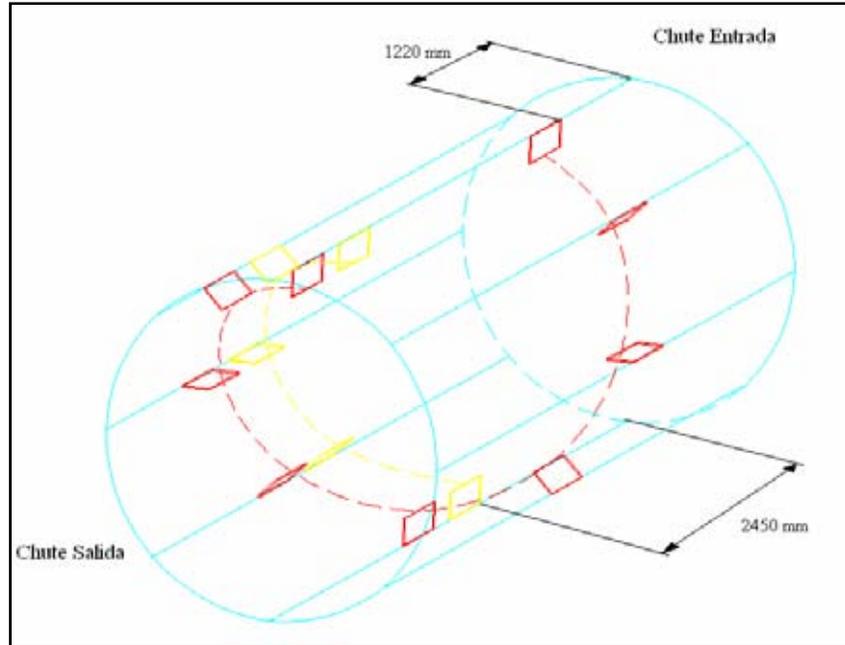


Figura A.5.4 Vista 3D de la posición recomendada de las prolongaciones.

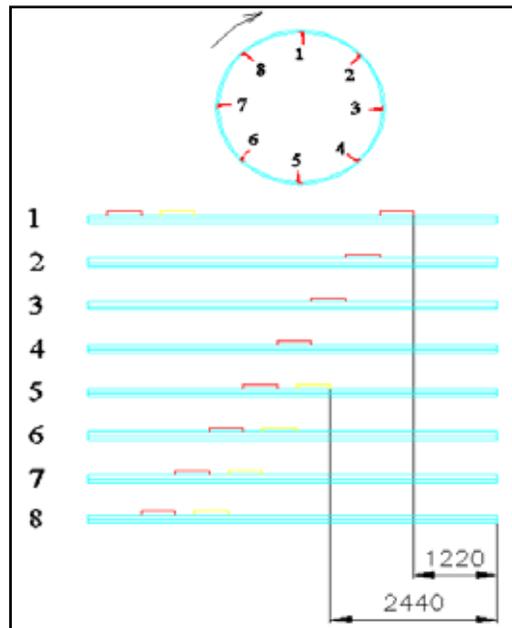


Figura A.5.5. Vista 2D de la posición recomendada de las prolongaciones.

Al manipular la cantidad de levantadores y la posición de las prolongaciones se tienen efectos en la uniformidad de impregnación del adhesivo.

Un cambio en la cantidad de levantadores tendrá efectos en la distancia de caída (**h**) de la hojuela, pero, solamente, cuando el tambor gire a baja o alta velocidad, según la ecuación 3.

Por lo tanto, si el *blender* se encuentra girando a alta velocidad (cerca a 26 RPM), un incremento en el número de levantadores (**n**) significa que la distancia **h** disminuye, y por lo tanto también lo hacen el número de *twirling-flipping* y la turbulencia, lo cual compromete la uniformidad de impregnación del adhesivo.

La cantidad de prolongaciones tiene efectos en la turbulencia. Si se incrementa el número de prolongaciones también lo hace la cantidad de turbulencia en las hojuelas.

La posición de las prolongaciones influye en la distribución de la turbulencia a través del eje longitudinal del tambor. Por ejemplo, el patrón helicoidal que siguen las prolongaciones, mostradas en color rojo en la **Figura A.5.4**, crean una distribución uniforme de la turbulencia dentro del *blender*, pero al agregar otro patrón helicoidal, mostrado en color amarillo en la **Figura A.5.4**, crea una zona de turbulencia mayor a partir del centro del *blender*.

5.1.1.4 Velocidad de rotación de los atomizadores

La velocidad de rotación de los atomizadores, junto a la velocidad de rotación del tambor y al ángulo de inclinación del tambor, son las tres variables de operación del *blender* que más influyen en la uniformidad de impregnación del adhesivo.

La velocidad de rotación de los *spinner heads* dicta el tamaño de las partículas del adhesivo. El tamaño de éstas debe ser lo bastante pequeño, como para permitir una máxima impregnación, pero también debe ser lo suficientemente grande para no permitir que el adhesivo se volatilice, una vez encoladas las hojuelas.

La velocidad correcta de rotación debe estar dentro de los parámetros mencionados, y su logro depende de las condiciones de cada planta. Es decir, de la experiencia, ya que existen muchos factores que también inciden en la selección del tamaño de las partículas de adhesivo, como son: el tipo de resina o cera (viscosidad,

densidad y resistencia a fuerzas cortantes en el caso de la cera), la presión del flujo de adhesivo, el caudal del adhesivo, la densidad y el tamaño de las hojuelas, el tiempo de espera de las hojuelas preparadas, y los tiempos y presión de prensado, entre otros.

Por lo tanto, es casi imposible recomendar una determinada velocidad de rotación de los *spinner heads*. Sólo puede hacerse mediante ensayos de prueba y error, llegándose a establecer en la planta cuales son las velocidades de rotación para cada atomizador que mejores resultados han demostrado.

5.1.2 Oleadas.

Las oleadas son súbitos aumentos del flujo de hojuelas, que pueden contribuir a la generación de tacos y, al igual que la uniformidad de impregnación de la resina, también es un efecto producto de la variación de los parámetros de operación del *blender* [7]. Existe un gran número de factores que pueden ser la causa de dichas oleadas, como por ejemplo:

- Demasiado o poco suministro de hojuelas al *blender*.
- Demasiada cantidad de resina utilizada.
- Incorrecta velocidad de rotación del *blender*.
- Inadecuada altura de los levantadores.
- Incorrecto número de levantadores.
- Inapropiado ángulo de inclinación del *blender*.

5.1.3 Acumulación de suciedad dentro del *blender*.

La acumulación de suciedad dentro del *blender* ha sido un problema en la industria del OSB, por muchos años. Las acumulaciones o *build-up* consisten en fibra de madera, resina y cera. El principal componente de la suciedad corresponde a hojuelas finas o de tamaño pequeño [4].

El problema que pueden generar las acumulaciones es crear una resistencia al paso, a través del *blender*, del suministro de hojuelas, afectando de esta forma su eficiencia.

Los principales factores que intervienen en las acumulaciones son:

- Velocidad de rotación del *blender*.
- Ángulo de inclinación del *blender*.
- Secuencia de partida y parada del *blender*.
- Posición de los atomizadores.

5.2 Silos secos

Se ha realizado un análisis y relación de las principales variables que se pueden encontrar en el silo, con el objetivo de determinar los factores que influyen en el flujo de hojuelas a la salida de los silos secos. Estas variables se muestran en la **Figura A.5.6**.

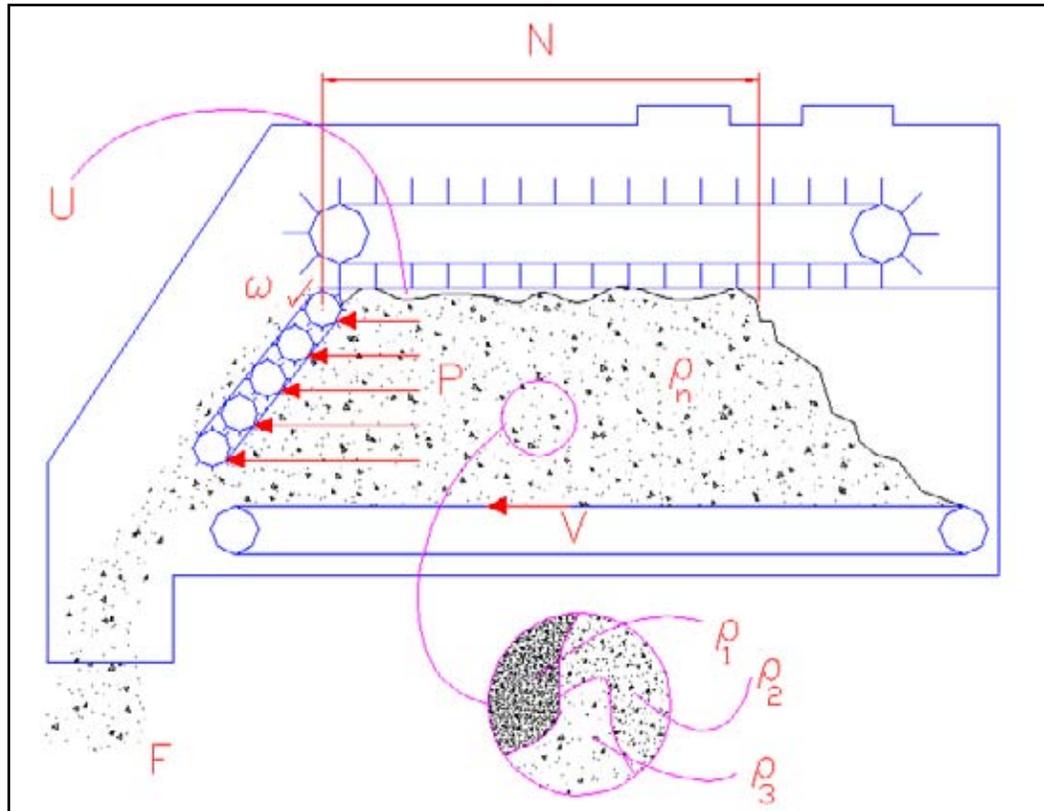


Figura A.5.6. Principales variables que influyen en el flujo de salida F de los silos secos.

De la figura, se tiene que la distribución de densidades de las hojuelas no es homogénea. Esto es porque se han registrado grandes variaciones de la densidad bulk, a la entrada de los silos secos, para un mismo mix (ver **Figura A.5.7**).

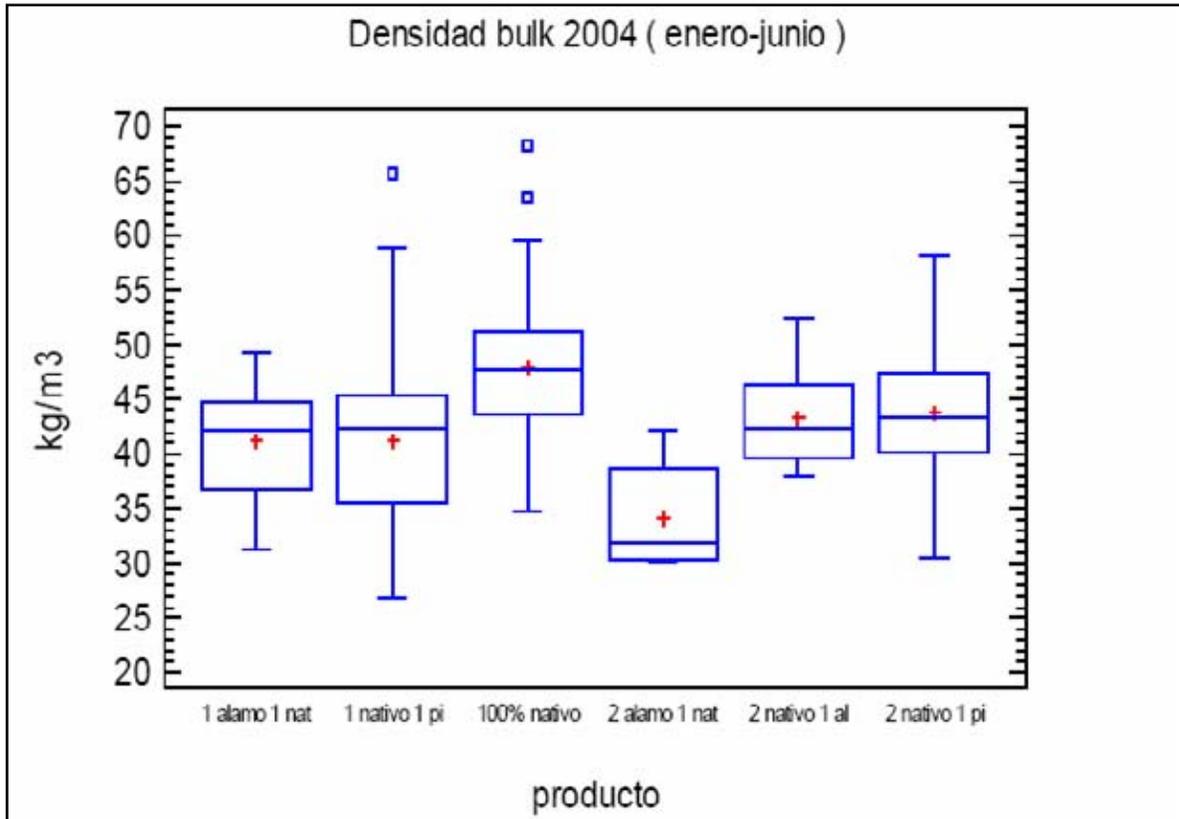


Figura A.5.7. Se muestra la gran variabilidad de densidad bulk que puede encontrarse para un mismo mix (Fuente: Oxiquim).

Analizando las variables que pueden encontrarse en el silo seco y sin considerar las fuerzas de roce, se tiene que el flujo de hojuelas F , a la salida del silo seco, se encuentra en función de la velocidad angular ω de los *doffing rolls*, y de la presión p ejercida por las hojuelas en los *doffing rolls*. Esto es.

$$F = f(\omega, p) \quad (14)$$

La variable ω actualmente no varía en el tiempo, y sólo tendrá efectos en el flujo cuando no sea la correcta. Por lo tanto, se puede considerar que el flujo de salida de hojuelas puede estar en función de la presión p .

$$F = f(p) \quad (15)$$

La presión p a su vez está en función de la velocidad V del encolado (velocidad de *bin bottom*), del nivel N de hojuelas en el silo, densidad ρ de las hojuelas y de la uniformidad de llenado del silo U .

$$F = f(V, N, \rho, U) \quad (16)$$

Debido a la experiencia en la planta se ha llegado a establecer un nivel mínimo del 40 % en los silos secos, a partir del cual no existiría influencia en el flujo de salida de hojuelas. Por lo tanto, considerando lo anteriormente mencionado, se tiene que el flujo de hojuelas a la salida de los silos secos se encuentra en función de la velocidad de *bin bottom* (velocidad de encolado), de los montones de hojuelas de distintas densidades y de la uniformidad de llenado del silo.

$$F = f(V, \rho, U) \quad (17)$$

Ahora, teniendo expresadas las variables que influyen en el flujo de hojuelas a la salida de silos secos, se puede separar F en flujo másico F_m y flujo volumétrico F_v .

Donde F_v depende sólo de la velocidad de encolado V y de la uniformidad de llenado U , ya que la variación de densidad sólo afecta al flujo másico de material.

$$F_v = f(V, \rho, U) \quad (18)$$

$$F_m = f(V, U) \quad (19)$$

5.3 Transportes

Los principales factores que inciden en el desempeño de las cintas transportadoras son:

- Tipo de cinta.
- Ángulo de inclinación del transporte.
- Velocidad de la cinta.
- Cantidad de material a transportar.

Estos factores afectan directamente la eficiencia de transporte de la hojuela, más específicamente al roce que existe entre las hojuelas y la cinta transportadora.

Según la experiencia que se tiene en la planta se ha determinado que el tipo de cintas utilizado en los transportes han entregado los mejores resultados.

Con relación al ángulo de inclinación de los transportes, éstos están dentro de lo recomendado (menor a 25°).

Respecto a la velocidad de la cinta, también se ha llegado a una adecuada. Pero, si es muy alta, el roce entre las hojuelas y la cinta disminuye produciéndose un resbalamiento del material a transportar, lo que podría provocar acumulación de hojuelas al inicio del transporte, generando así un taco.

La velocidad límite para cada transporte es distinta, ya que hay diferencias en el tipo de cinta y ángulo de inclinación. Esto se puede ver en la siguiente tabla:

Transportes	Tipo de cinta	Ángulo de inclinación
Alimentación <i>blender</i> centro	EP 400/3 3+0, 3 telas	16.4°
Alimentación <i>blender</i> superf.	EP 400/3 3+0, 3 telas	11.5 °
Salida <i>blender</i> centro	EP 400/3 3+2, cubierta sup. taco nervado	18.5°
Salida <i>blender</i> superficie	EP 400/3 3+2, cubierta sup. taco nervado	21.4°
Transferencia formadora Sup.	EP 400/3 3+2, cubierta sup. taco nervado	15.85°

ANEXO 6: Aspectos prácticos del control automático de procesos

6.1 El sistema de control de procesos

Para aclarar las ideas expuestas en el presente punto considérese un intercambiador de calor en el cual el fluido en proceso se calienta mediante vapor de condensación, como se ilustra en la **Figura A.6.1**:

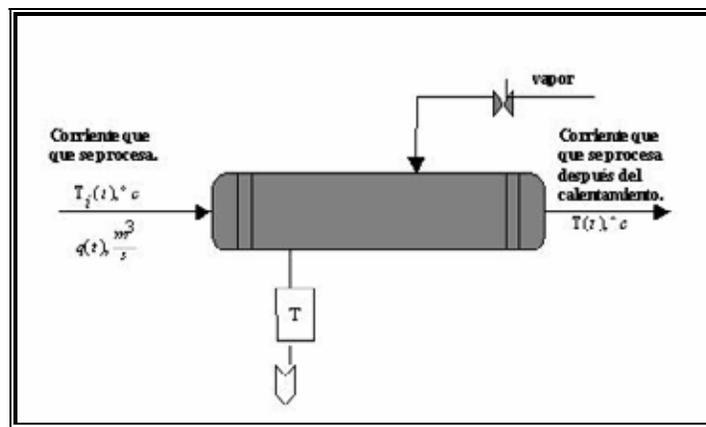


Figura A.6.1. Intercambiador de calor.

El propósito de la unidad es calentar el fluido que se procesa, de una temperatura dada de entrada $T_i(t)$ a cierta temperatura de salida $T(t)$ que se desea. Como se dijo, el medio de calentamiento es vapor de condensación y la energía que gana el fluido en el proceso es igual al calor que libera el vapor, siempre y cuando no haya pérdidas de calor en el entorno, esto es, el intercambiador de calor y la tubería tienen un aislamiento perfecto. En este caso, el calor que libera es aquel latente en la condensación del vapor. En el proceso existen muchas variables que pueden cambiar, lo cual ocasiona que la temperatura de salida se desvíe del valor deseado. Si esto llega a suceder, se deben emprender algunas acciones para corregir la desviación; esto es, controlar la temperatura de salida del proceso para mantenerla en el valor que se desea.

Una manera de lograr el objetivo es primero, medir la temperatura $T(t)$, después, compararla con el valor que se desea y, con base en la comparación, decidir que se debe hacer para corregir cualquier desviación.

Se puede usar el flujo de vapor para corregir tal desviación. Si la temperatura está por arriba del valor deseado, entonces se puede cerrar la válvula de vapor para cortar el flujo del mismo (energía) hacia el intercambiador de calor. Si la temperatura está por debajo del valor que se desea, entonces se puede abrir un poco más la válvula de vapor para aumentar el flujo de vapor (energía) hacia el intercambiador.

Todo esto se puede hacer de forma manual mediante el operador y, puesto que el proceso es bastante sencillo, no debe representar ningún problema. Sin embargo, en la mayoría de las plantas de procesos existen cientos de variables que se deben mantener en algún valor determinado, y, con este procedimiento de corrección, se requeriría de una gran cantidad de operarios. Por ello, sería preferible realizar el control de manera automática, es decir, contar con instrumentos que controlen las variables sin necesidad de que intervenga el operador. Esto es lo que significa el *control automático de procesos* [10].

Para lograr este objetivo se debe diseñar e implementar un *sistema de control*. En la **Figura A.6.2**, se muestra un sistema (intercambiador de calor), de control y sus componentes básicos. El primer paso es medir la temperatura de salida del fluido del proceso. Esto se hace mediante un *sensor* (termopar, termómetro de sistema lleno, etc.). El *sensor* se conecta físicamente al transmisor, el cual capta la salida del sensor y la convierte en una señal eléctrica lo suficientemente intensa para transmitirla al *controlador*. Este dispositivo recibe la señal, que está en relación con la temperatura, la compara con el valor que se desea y, según el resultado de la comparación, decide qué hacer para mantener la temperatura en el valor deseado. Con base en la decisión, el controlador envía otra señal al *actuador* o *elemento final de control*, el cual, a su vez, maneja el flujo de vapor.

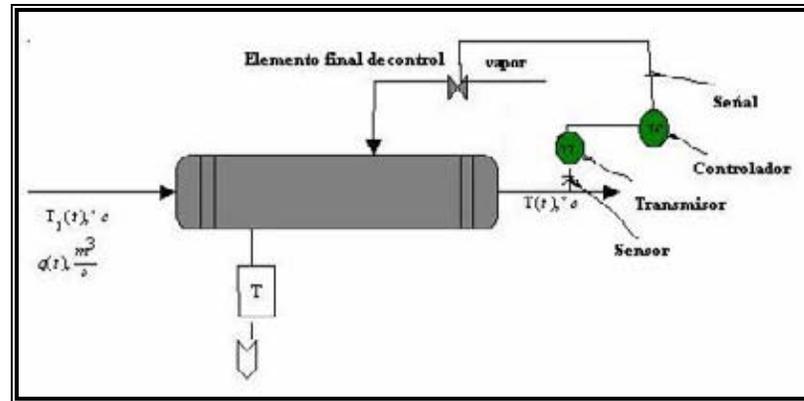


Figura A.6.2. Sistema de control de intercambiador de calor.

En el párrafo anterior se presentan los cuatro componentes básicos de todo sistema de control. Estos son:

- 1) **Sensor**, que también se conoce como elemento primario.
- 2) **Transmisor**, el cual se conoce como elemento secundario.
- 3) **Controlador**, cerebro del sistema de control.
- 4) **Actuador**; elemento final de control del sistema de control.

La importancia de estos componentes estriba en que **realizan las tres operaciones básicas** que deben estar presentes en todo **sistema de control**. Estas operaciones son:

- 1) **Medición (M)**: la medición de la variable que se controla se hace generalmente mediante la combinación de sensor transmisor.
- 2) **Decisión (D)**: con base en la medición, el controlador decide qué hacer para mantener la variable en el valor que se desea.
- 3) **Acción (A)**: como resultado de la decisión del controlador, se debe efectuar una acción en el sistema. Generalmente ésta es realizada por el elemento final de control (actuador).

Las tres operaciones M, D y A son obligatorias para **todo** sistema de control. De este modo, al diseñar un sistema de control, se debe asegurar que las acciones que se emprendan tengan su efecto en la variable controlada, es decir, que las acciones emprendidas repercutan en el valor que se mide, de lo contrario el sistema no controla [14].

6.2 Términos importantes y objetivos del control automático de procesos

A continuación se definen algunos términos usados en el campo del control automático de procesos. El primero de ellos es *variable controlada*: ésta es la variable que se debe mantener controlada dentro de algún valor deseado. El segundo término es *punto de control*: valor deseado que deva tener la variable controlada. *Variable manipulada*: variable que se utiliza para mantener a la variable controlada en el punto de control. Finalmente, cualquier señal que ocasione que la variable controlada se desvíe del punto de control, se define como *perturbación* [14]. Debido a la existencia de estas perturbaciones en la industria de procesos nace el requerimiento del control automático de procesos; si no hubiera alteraciones, prevalecerían las condiciones de operación del diseño y no se necesitaría supervisar continuamente el proceso.

Los siguientes conceptos también son importantes. *Circuito abierto o lazo abierto*: se refiere a la situación en la cual se desconecta el controlador del sistema; es decir, éste no realiza ninguna función relativa a como mantener la variable controlada en el punto de control. *Control de circuito cerrado o lazo cerrado*, se refiere a la situación en la cual se conecta el controlador al proceso; el controlador compara el punto de control con la variable controlada y determina la acción correctiva.

Con la definición de los términos anteriores, el objetivo del control automático de proceso se puede establecer como sigue:

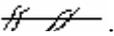
“El objetivo del sistema de control automático de procesos es utilizar la variable manipulada para mantener a la variable controlada en el punto de control, a pesar de las perturbaciones” [10].

6.3 Control regulador y servocontrol

En algunos procesos la variable controlada se desvía del punto de control a causa de las perturbaciones. El término *control regulador* se utiliza para referirse a los sistemas diseñados para compensar las perturbaciones. A veces, la perturbación más importante es el punto de control mismo, esto es, el punto de control puede cambiar en función del tiempo (lo que es muy común en procesos industriales), y, en consecuencia, la variable controlada debe ajustarse al punto de control. El término *servocontrol*, se refiere a los sistemas de control que han sido diseñados con tal propósito.

6.4 Señales de transmisión

Enseguida, se hace una breve mención de las señales que se utilizan para la comunicación entre los instrumentos de un sistema de control. Actualmente existen tres tipos principales de señales en la industria de procesos.

La *señal neumática* o presión de aire, que normalmente abarca entre 3 a psi, con menor frecuencia se usan señales de 6 a 30 psi ó de 3 a 27 psig; su representación en los diagramas de instrumentos y tubería (*P&ID*), es .

Señal eléctrica o electrónica, que normalmente toma valores entre 4 y 20 mA. El uso de 10 a 50 mA, de 1 a 5 V o de 0 a 10 V es menos frecuente; su representación usual en los *P&ID* es una línea segmentada.

El tercer tipo de señal, muy usada como señal de transmisión en la industria, corresponde a la **Señal digital o discreta**. El uso de sistemas de control de procesos en base al empleo de estaciones de trabajo con procesadores muy rápidos está forzando el manejo cada vez mayor de este tipo de señal.

Frecuentemente, es necesario cambiar un tipo de señal por otro. Esto se realiza mediante un **transductor**. Por ejemplo cuando se necesita cambiar una señal eléctrica (mA), a una neumática (psi), se utiliza un transductor (**I/P**) que transforma la señal de corriente (**I**) en neumática (**P**), como se ilustra gráficamente en la Figura A.6.3

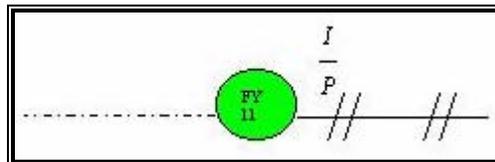


Figura A.6.3 Transductor $\frac{I}{P}$

Respecto al proceso, cabe mencionar que en la mayoría de las plantas se puede encontrar un esquema general en bloques, que representa tanto la operación como el control de dicho proceso (sistema automatizado), el cual se ilustra a continuación:

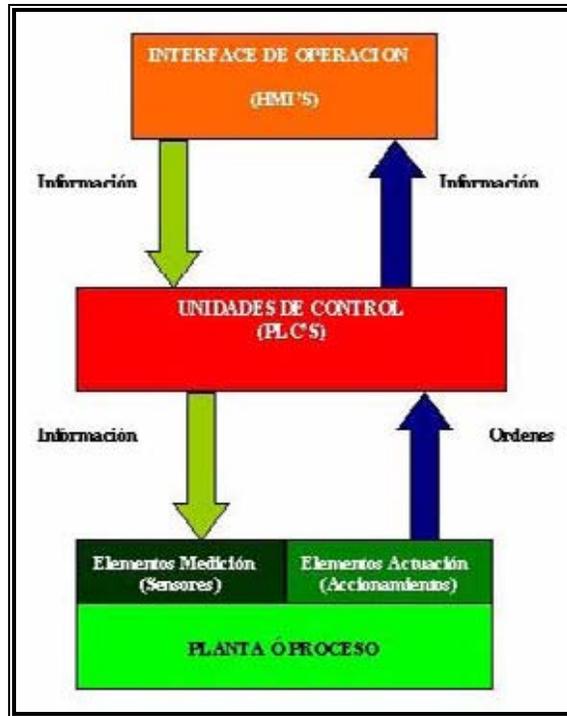


Figura A.6.4 Esquema general en bloques de un sistema automatizado

Naturalmente, de la Figura A.6.4 se puede observar una serie de componentes que forman parte del sistema en cuestión, de los cuales algunos serán brevemente definidos, debido que la gran mayoría fueron mencionados y descritos en los capítulos anteriores.

La *interface de operación (HMI Human Machina Interface)*, corresponde a una *workstation* de gran capacidad y de alta velocidad. Su objetivo: monitorear en cada instante alguna etapa del proceso o el proceso en toda su extensión. Lo destacable de la acción del HMI radica en su capacidad en **tiempo real** con que monitorea al proceso, recibiendo y enviado bits de información hacia la unidad de control, es decir, no ejecuta simulación alguna [11].

La **unidad de control (PLC)**, corresponde al equipo que interpreta información emitida por sensores y envía señales con carácter de orden hacia los sistemas de actuación, para así lograr mantener en el punto de control la variable que se desea manejar. Analizado de la forma más sencilla, el PLC no es más que un controlador, descrito anteriormente, cuyo funcionamiento está regido en base a la comparación de dos señales (punto de control vs señal de medición) [11].

6.5 Estrategias de control

6.5.1 Control por retroalimentación

El esquema de control ilustrado en la Figura A.6.5, se conoce como control por retroalimentación de variables de procesos.

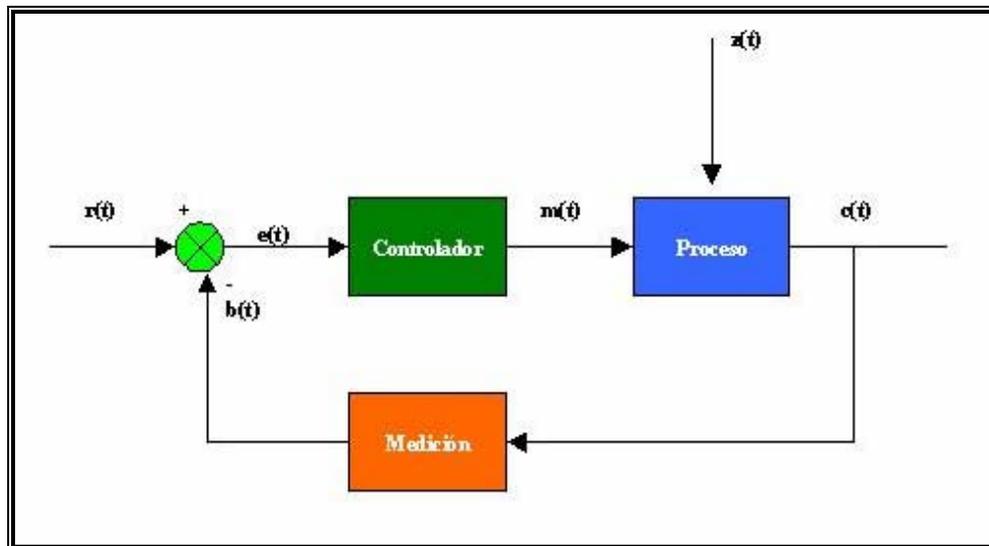


Figura A.6.5. Sistema de control retroalimentado.

Donde:

- ❑ **Proceso:** planta, cuerpo o máquina donde se va a controlar una cantidad o condición particular.
- ❑ **Controlador:** componentes requeridos para generar la señal de control apropiada $m(t)$ que se aplica al proceso.
- ❑ **Elementos de medición:** componentes que se requieren para establecer la relación funcional entre la señal de retroalimentación primaria $b(t)$ y la salida controlada $c(t)$.
- ❑ **Entrada de referencia ($r(t)$):** señal externa aplicada a un sistema de control por retroalimentación con el fin de ordenar al actuador una acción especificada.

- **Variable controlada o de salida ($c(t)$):** cantidad o condición del proceso que se controla.
- **Señal de retroalimentación primaria ($b(t)$):** señal que es función de la salida controlada $c(t)$ y que se suma algebraicamente a la entrada de referencia $r(t)$ para obtener la señal de error $e(t)$.
- **Señal de error ($e(t)$):** resultado de la suma algebraica de la entrada de referencia $r(t)$ con la retroalimentación primaria $b(t)$.
- **Variable manipulada ($m(t)$):** llamada también señal de control, Es esa cantidad o condición que el **controlador** aplica al **proceso**.
- **Perturbación ($z(t)$):** señal de entrada indeseable que afecta el valor de la salida controlada $c(t)$. Puede entrar a la planta sumándose con $m(t)$ o a través de un punto intermedio.

En este esquema de control se toma la variable controlada y se retroalimenta al controlador para que éste pueda tomar una decisión. Para conocer las ventajas y desventajas de esta técnica de control es necesario conocer el principio de funcionamiento, y para ayudar a dicha comprensión se presenta el circuito de control del intercambiador de calor de la Figura A.6.2.

Volviendo al ejemplo del intercambiador de calor, si la temperatura del proceso aumenta a causa de una perturbación, su efecto se propaga a todo el intercambiador de calor antes de que cambie la temperatura de salida. Una vez que cambia la temperatura de salida, también cambia la señal del transmisor al controlador. En ese momento el controlador detecta que debe compensar a la perturbación mediante un cambio de flujo de vapor; o sea que el controlador señala a la válvula cerrar su apertura, de este modo decrece el flujo de vapor, y, por ende, disminuye la temperatura.

Es interesante hacer notar que la temperatura de salida primero aumenta a causa de la perturbación, pero luego desciende incluso por debajo del punto de control y oscila alrededor de éste hasta que finalmente se estabiliza. Esta respuesta oscilatoria demuestra que la operación del sistema de control por retroalimentación es esencialmente una operación de **ensayo y error**; es decir, cuando el controlador detecta que la temperatura de salida aumentó por arriba del punto de control, indica a la válvula que cierre. Pero éste cumple con la orden más allá de lo necesario, y en consecuencia la temperatura de salida desciende, por debajo del punto de control; notar esto, el controlador señala a la válvula que abra nuevamente un tanto para elevar la temperatura. El ensayo y error continúa hasta que la temperatura alcanza el punto de control, donde permanece posteriormente.

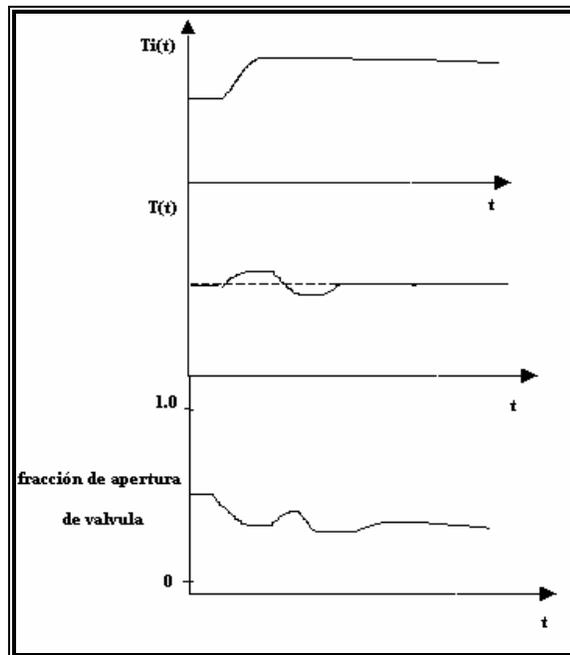


Figura A.6.6. Respuesta del sistema de control del intercambiador de calor

La ventaja del control por retroalimentación consiste en que es una técnica muy simple como se muestra en la **Figura A.6.2**, que **compensa todas las perturbaciones** [10]. Cualquiera perturbación puede afectar a la variable controlada. Cuando ésta se desvía del punto de control, el controlador cambia su salida para que la variable regrese al punto de control. El circuito de control no detecta que tipo de perturbación entra al proceso, únicamente trata de mantener la variable controlada en el punto de control y de esta manera compensar el efecto de cualquiera perturbación. La **desventaja del control por retroalimentación** radica en que únicamente puede compensar la perturbación hasta que la variable controlada se ha desviado del punto de control, esto es, la perturbación se debe propagar por todo el proceso antes de que se pueda compensar el dicho control [10].

El objetivo del diseño de un sistema de control por retroalimentación radica en la posibilidad de mantener la variable controlada en el punto de control y ajustar el controlador de manera que se reduzca al mínimo la operación de ensayo y error explicada [11].

6.5.2 Control anticipativo o por acción precalculada

El control por retroalimentación es la estrategia de control más común en las industrias de procesos, sin embargo en algunas el control por retroalimentación no proporciona la función de control que se requiere. Para esos procesos se deben añadir otros tipos de control, como por ejemplo **el control anticipativo**. El objetivo de dicho control es detectar y medir las perturbaciones y compensarlas antes de que la variable controlada se desvíe del punto de control [12]. Para comprender su funcionamiento se

tomará nuevamente como ejemplo el intercambiador de calor que aparece de la **Figura A.6.1**. Supóngase que las perturbaciones más serias son las temperaturas de entrada $T_i(t)$ y el flujo del fluido del proceso $q(t)$. Para establecer el control anticipativo, primero se debe medir estas dos perturbaciones y luego se toma una decisión sobre la manera de manejar el flujo de vapor para compensar los problemas. En la **Figura A.6.7** se ilustra esta estrategia de control. El controlador por acción precalculada decide como manejar el flujo de vapor para mantener la variable controlada en el punto de control, en función de la temperatura de entrada y el flujo del fluido de dicho proceso.

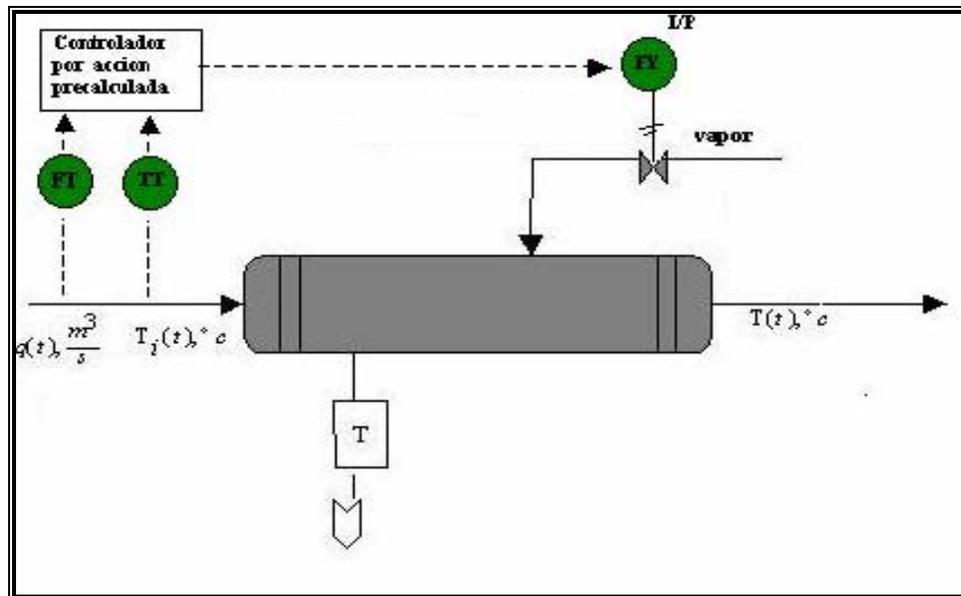


Figura A.6.7. Intercambiador de calor con sistema de control anticipativo.

El sistema de control anticipativo mostrado en la **Figura A.6.7**, sólo compensa a dos de ellas, si cualquier otra perturbación entra al proceso no se compensará con esta estrategia y puede originarse una desviación permanente de la variable respecto al punto de control.

Para evitar esta desviación se debe añadir alguna retroalimentación de compensación al control por acción precalculada, esto se ilustra en la **Figura A.6.8**. Ahora el control anticipativo compensa las perturbaciones más serias $T_i(t)$ y $q(t)$, mientras que el control por retroalimentación compensa todas las demás.

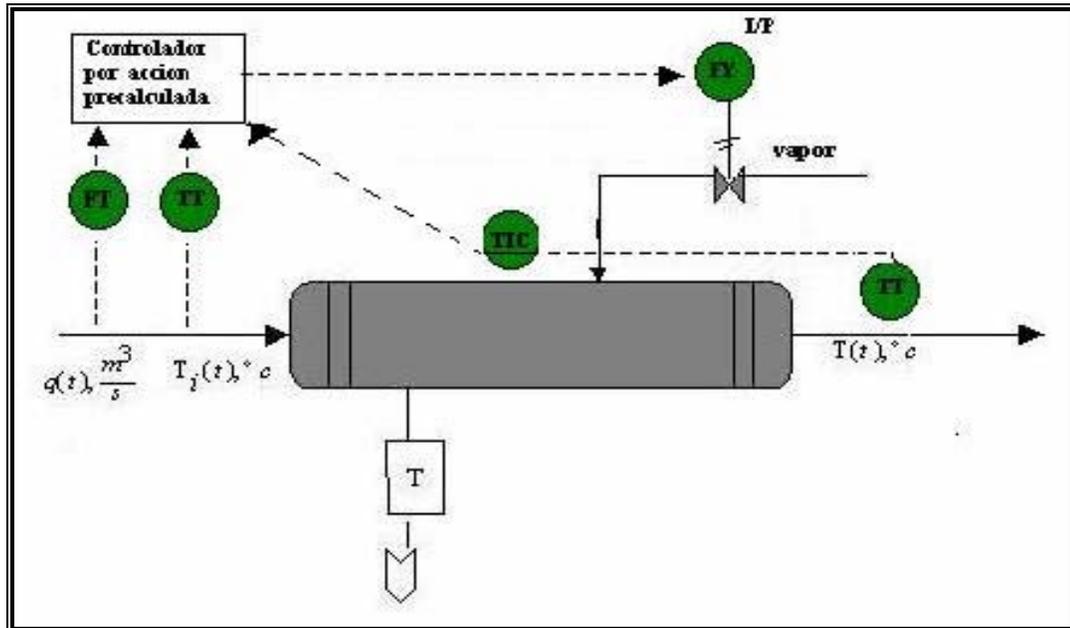


Figura A.6. 8. Intercambiador de calor con compensación por retroalimentación.

6.6 Componentes básicos de los sistemas de control

6.6.1 Sensores y transmisores

Con los sensores y transmisores se realizan las operaciones de medición en el sistema de control. En el sensor se produce un fenómeno mecánico, eléctrico o similar, el cual se relaciona con la variable de proceso que se mide. El transmisor, a su vez, convierte este fenómeno en una señal que puede transmitir y, por lo tanto, ésta tiene relación con la variable del proceso.

Existen tres términos importantes que se relacionan con la combinación sensor/transmisor: la *escala*, el *rango* y el *cero* del instrumento. A la *escala* del instrumento la definen los valores superior e inferior de la variable a medir del proceso.

El *rango* del instrumento es la diferencia entre el valor superior y el inferior de la *escala*. Para finalizar, el valor inferior de la *escala* se conoce como *cero* del instrumento. Este valor no necesariamente debe ser cero para llamarlo así.

Un parámetro importante del conjunto sensor/transmisor es la ganancia, la cual se define como la relación del rango de entrada respecto al rango de salida.

6.6.2 Controladores por retroalimentación

Como se menciona anteriormente, el controlador es el “cerebro” del circuito de control. Es el dispositivo que toma la decisión (D) en el sistema de control, y, para lograrlo:

1. Compara la señal del proceso que llega al transmisor o sea, la variable que se controla, contra el punto de control, y
2. Envía la señal apropiada al elemento final de control, para mantener la variable que se controla en el punto de control.

Un controlador físico posee diferentes perillas, selectores y botones, con lo que se hace el ajuste del punto de control, la lectura de la variable que se controla, el cambio entre el modo manual y automático, y el ajuste y lectura de la señal de salida del controlador.

Un selector interesante es el *auto/manual*. Con éste se determina el modo de operación del controlador. Cuando el selector está en la posición auto (automático), el controlador decide y emite la señal apropiada hacia el elemento final de control, para mantener la variable que se controla en el punto de control; cuando el selector está en la posición manual, el controlador cesa de decidir y “congela” su salida, entonces se puede cambiar manualmente la salida del controlador.

Además, estos dispositivos poseen opciones para la elección entre la operación remota o local del punto de control. Si el punto de control se maneja de forma manual, entonces se elige la opción local. Si el punto de control lo gobierna otro dispositivo controlador (relevador, computadora, etc.), entonces se elige la opción remota.

6.6.2.1 Funcionamiento de los controladores por retroalimentación

Considérese el circuito de control del intercambiador de calor que se muestra en la **Figura A.6.9**. Si la temperatura del fluido sobrepasa el punto de control, el controlador debe cerrar la válvula de vapor. Puesto que la válvula es normalmente cerrada, se debe reducir la señal de salida del controlador (presión de aire o corriente) (ver flechas en **Figura A.6.9**).

Para tomar esta decisión el controlador debe estar en *acción inversa*. Esto recibe el nombre de *decremento*; es decir, cuando hay un *incremento* en la señal que entra al controlador, entonces se presenta un *decremento* en la señal que sale del mismo.

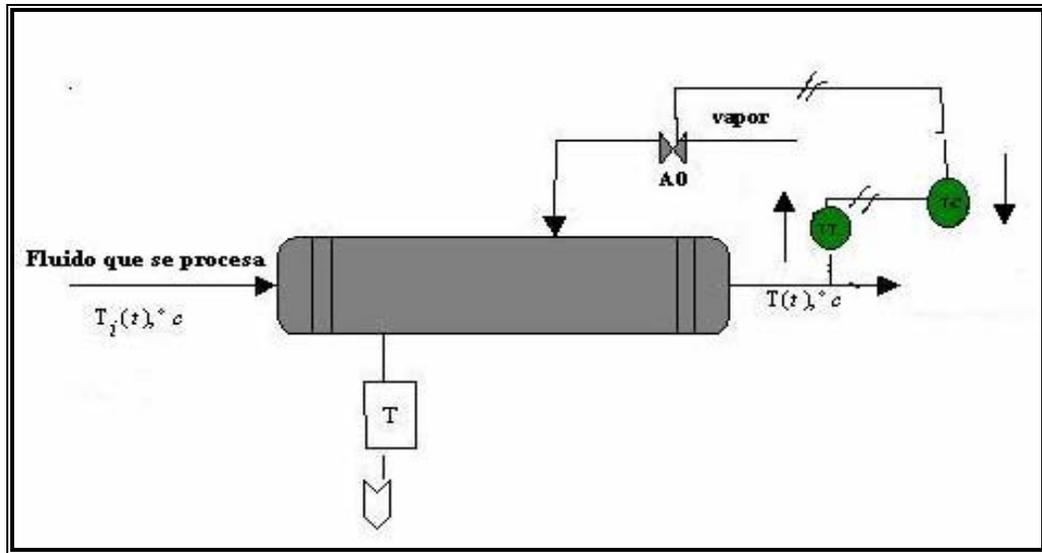


Figura A6.9. Circuito de control para intercambiador de calor.

Considérese ahora el circuito de control de nivel ilustrado en la Figura A.6.10, si el nivel de líquido rebasa el punto de control, el controlador debe abrir la válvula para que el nivel regrese a dicho punto. Puesto que la válvula es normalmente cerrada, el controlador debe incrementar la señal de salida (ver flechas en **Figura A.6.10**), y para tomar esta decisión, el controlador se debe colocar en *acción directa*. Tal acción recibe el nombre de *incremento*; es decir, cuando hay un *incremento* en la señal que entra al controlador, entonces existe un *incremento* en la señal de salida del mismo.

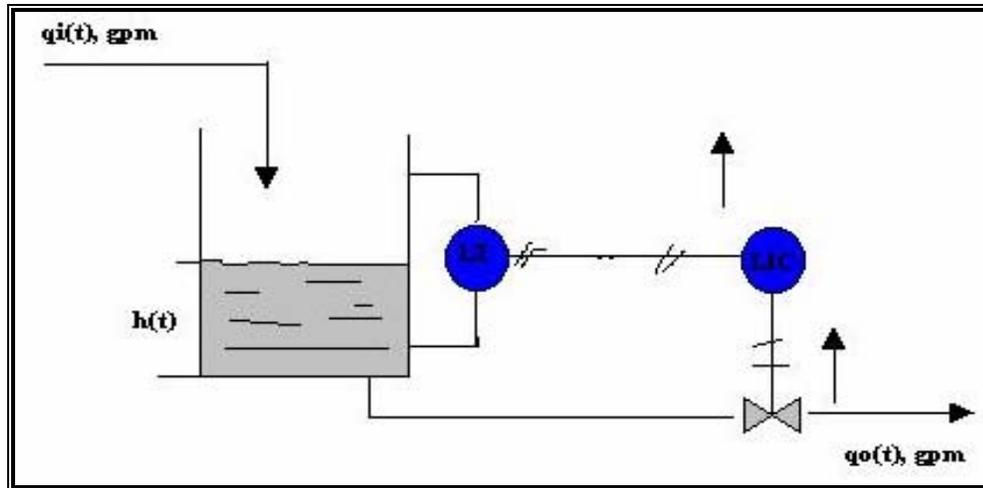


Figura A.6.10. Circuito para control de nivel de líquido.

6.6.2.2 Tipos de controladores por retroalimentación

La manera en que los controladores por retroalimentación toman una decisión para mantener el punto de control es mediante el cálculo de la salida con base en la diferencia entre la variable que se controla y el punto de control [10].

a) Controlador proporcional (P). Este dispositivo es el tipo más simple de controlador, con excepción del controlador de dos estados. La ecuación con que se describe su funcionamiento es la siguiente:

$$m(t) = \bar{m} + k_c(r(t) - c(t)) \quad (20)$$

$$m(t) = \bar{m} + k_c e(t) \quad (21)$$

Dónde:

$m(t)$ = salida del controlador, psi ó mA.

$r(t)$ = punto de control, psi ó mA.

$c(t)$ = variable que se controla, psi ó mA. Esta es la señal que llega del transmisor

$e(t)$ = señal de error, psi ó mA; ésta es la diferencia entre el punto de control y la variable que se controla.

K_c = ganancia del controlador, psi/psi ó mA/mA.

\bar{m} = valor base, psi ó mA. Este valor corresponde a la salida de controlador cuando el error es cero. Generalmente se fija durante la calibración del controlador, en el medio de la escala, psi ó 12 mA.

Cabe destacar que la ecuación (1), es para un controlador de acción inversa. **Si la variable que se controla, ($c(t)$), se incrementa** en un valor superior al punto de control, ($r(t)$), el error se vuelve negativo y, como se ve en la ecuación, la **salida ($m(t)$), del controlador, decrece** [10]. Para lograr un controlador de acción directa habría que invertir el signo de la ganancia k_c . En efecto:

$$m(t) = \bar{m} - k_c(r(t) - c(t)) \quad (22)$$

En las ecuaciones (20) y (21) se ve que la salida del controlador es proporcional al error entre el punto de control y la variable que se controla donde la proporcionalidad le da la ganancia k_c . Con esta ganancia o sensibilidad del controlador se determina cuánto se modifica la salida del controlador con un cierto cambio de error.

Los controladores que son únicamente proporcionales tiene la **ventaja** de que sólo cuentan con un parámetro de ajuste, k_c . Sin embargo, adolecen de una gran desventaja; operan con una **desviación**, o “error de estado estacionario”, en la variable que se controla [12].

Cabe hacer notar que cuanto mayor es la ganancia, tanto menor es la desviación. Pero a una mayor ganancia, superando una ganancia límite (ganancia última k_u), la mayoría de los procesos se vuelven inestables.

Muchos fabricantes de controladores no utilizan el término ganancia para designar el grado de sensibilidad del controlador, sino que utilizan el término de banda proporcional (PB). La relación entre k_c y PB se expresa mediante:

$$PB = \frac{100}{k_c} \quad (23)$$

PB se puede definir como el porcentaje que debe variar x para que la salida y tenga un 100%.

Para obtener la función de transferencia del controlador proporcional, la ecuación (20) se puede escribir como:

$$m(t) - \bar{m} = k_c(e(t) - 0) \quad , \quad y \quad (24)$$

se definen las dos siguientes variables de desviación:

$$M(t) = m(t) - \bar{m} \quad (25)$$

$$E(t) = e(t) - 0 \quad (26)$$

$$\text{Entonces} \quad M(t) = k_c E(t) \quad (27)$$

Se obtiene la transformada de Laplace y de ahí resulta la siguiente función de transferencia:

$$\frac{M(s)}{E(s)} = k_c \quad (28)$$

b) Controlador Proporcional-integral (PI). La mayoría de los procesos no se pueden controlar con una desviación, es decir, se deben controlar en el punto de control y en estos casos se debe añadir inteligencia al controlador proporcional., para eliminar la desviación. El responsable de esta eliminación es el modo integral o de reajuste. La siguiente es su ecuación descriptiva:

$$m(t) = \bar{m} + k_c[r(t) - c(t)] + \frac{k_c}{\tau_i} \int [r(t) - c(t)] dt \quad (29)$$

$$m(t) = \bar{m} + k_c e(t) + \frac{k_c}{\tau_i} \int e(t) \quad (30)$$

Dónde τ_i = tiempo de integración o reajuste minutos/repetición. Por lo tanto, el controlador PI tiene dos parámetros: k_c , y τ_i , que se deben ajustar para un control satisfactorio. Básicamente, τ_i es el tiempo que toma al controlador repetir la acción proporcional y en consecuencia, las unidades son repeticiones por minutos. Cuanto menor sea τ_i la respuesta del controlador será más rápida [13].

De la ecuación (11) también se destaca que, mientras está presente el término de error, el controlador se mantiene cambiando su respuesta, y por lo tanto, integrando el error, para eliminarlo.

Algunos fabricantes no utilizan el término de reajuste τ para su parámetro de ajuste, sino utilizan lo que se conoce como rapidez de reajuste τ_i^R . La relación entre estos dos parámetros es $\tau_i^R = \frac{1}{\tau_i}$ en repeticiones/minutos

La función de transferencia se describe a continuación:

$$\frac{M(s)}{E(s)} = k_c \left(1 + \frac{1}{\tau_i s} \right) \quad (31)$$

c) Controlador proporcional-integral-derivativo (PID). Algunas veces se añade otro modo de control al controlador PI. Este nuevo modo de control es la acción derivativa, que también se conoce como rapidez de derivación o preactuación. Tiene como propósito anticipar *hacia dónde* va el proceso, mediante la observación de la rapidez para el cambio del error, o sea su derivada. La ecuación descriptiva es la siguiente:

$$m(t) = \bar{m} + k_c e(t) + \frac{k_c}{\tau_i} \int e(t) dt + k_c \tau_D \frac{de(t)}{dt} \quad (32)$$

Dónde τ_D = rapidez de derivación en minutos.

Por lo tanto, el controlador PID tiene tres parámetros: k_c , τ_I y τ_D , que se deben ajustar para obtener un control satisfactorio.

Como se acaba de mencionar, con la acción derivativa se da al controlador la capacidad de anticipar hacia dónde se dirige el proceso, es decir, “ver hacia adelante” mediante el cálculo de la derivada del error. La cantidad de “anticipación” se decide mediante el valor del parámetro de ajuste, τ_D .

Los controladores PID se utilizan en procesos donde las constantes de tiempo son largas.

Los procesos en que las constantes de tiempo son cortas (capacitancia pequeña) son rápidos y susceptibles al ruido del proceso.

La función de transferencia de este controlador es la siguiente:

$$\frac{M(s)}{E(s)} = k_c \left(1 + \frac{1}{\tau_I s} + \tau_D s \right) \quad (33)$$

La función de transferencia expuesta por (33) se conoce como “ideal”, por que es imposible implantar el cálculo de la derivada. Por lo que se hace una aproximación mediante la utilización de un adelanto / retardo, de lo que resulta la función de transferencia “real”.

$$\frac{M(s)}{E(s)} = k_c \left(1 + \frac{1}{\tau_I s} \right) \left(\frac{\tau_D s + 1}{\alpha \tau_D s + 1} \right) \quad (34)$$

Los valores típicos de α están entre 0.05 y 0.1

En la ecuación (34) se ve que, en cualquier momento en que cambia el parámetro k_c se afectan las acciones de integración y derivación, ya que τ_I y τ_D se dividen o multiplican por dicho parámetro. Esto significa que, si únicamente se desea cambiar la acción proporcional pero no la cantidad de reajuste o anticipación, entonces también se deben cambiar los parámetros τ_I y τ_D , para adaptarlos al cambio k_c [10]. Todos los controladores analógicos son de este tipo, y algunas veces se les conoce como “controladores interactivos”. La mayoría de los controladores con base en microprocesadores corresponden al mismo tipo; sin embargo, existen algunos en los que se evita este problema mediante la substitución el término $\frac{k_C}{\tau_I}$ por el término k_I y el término $k_C\tau_D$ por k_D , lo cual quiere decir que los tres parámetros de ajuste son k_C , k_I y k_D [11].

Por último, la forma típica para cambiar el punto de control del controlador es la introducción de un escalón, lo que se muestra en la **Figura A.6.11a**. Cuando esto ocurre, también se introduce un escalón del error, como se ilustra en **Figura A.6.11b** y puesto que el controlador toma la derivada del error, ésta produce un cambio súbito en la salida de él (**Figura A.6.11c**). El cambio a la salida del controlador es innecesario y posiblemente añadiría un disturbio al proceso en cuestión.

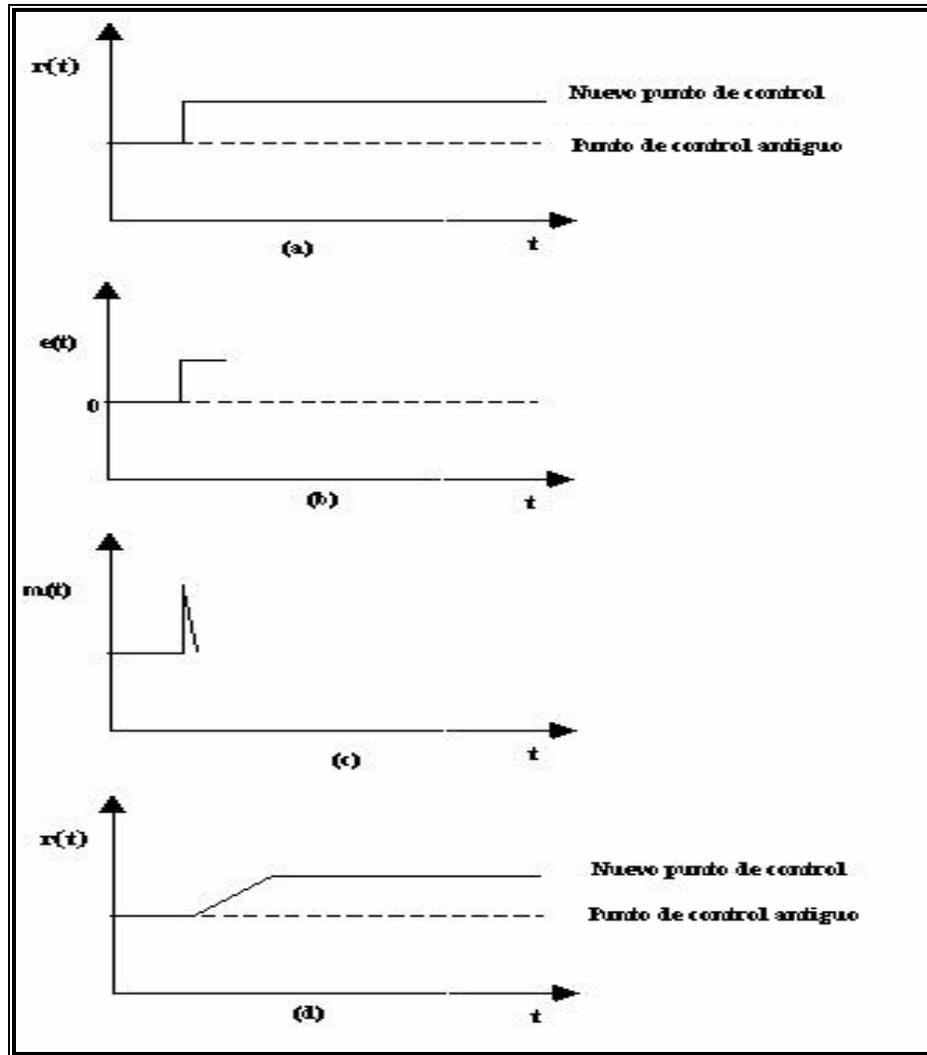


Figura A.6.11. Efecto de los cambios en punto de control.

Para solucionar dicho problema se ha propuesto la utilización de la derivada de la variable que se controla, pero con signo contrario:

$$-\frac{dc(t)}{dt} \quad (35)$$

en lugar de la derivada del error. Las dos derivadas son iguales cuando el punto de control permanece constante, así:

$$\frac{de(t)}{dt} = \frac{d[r(t) - c(t)]}{dt} = \frac{dr(t)}{dt} - \frac{dc(t)}{dt} \quad (36)$$

En el momento que se introduce el escalón en el punto de control la “nueva” derivada no ocasiona un cambio súbito. Inmediatamente después el comportamiento vuelve a ser el mismo de antes [13]. Otra posibilidad para evitar la derivación al cambio escalón trata mediante el cambio del punto de control pero en forma de rampa; aún cuando el operador cambia el punto de control en forma escalón, **Figura A.6.11d**.

6.7 Tipos de procesos

Una vez que se conoce la “personalidad” del proceso, es decir, se obtiene el comportamiento dinámico del sistema, entonces es posible diseñar el sistema de control que se requiere.

Para poder conocer las características dinámicas del proceso, y con esto conocer el tipo de proceso de manera teórica, se debe recurrir a la técnica del modelado de procesos, realizando algún balance de energía o de masa. Sin embargo, para poder llevar a cabo tal procedimiento, el proceso en si debe cumplir una serie de requisitos, como es la linealidad y otros [13]. La experiencia manifiesta el hecho poco probable de encontrar procesos reales que cumplan tales requisitos. Es por esto la utilización de ciertas técnicas llevadas de manera empírica, para la determinación del tipo de proceso.

3.7.1 Procesos de primer orden

La función de transferencia de este tipo de proceso, llamado también (POMTM), sigue el modelo siguiente:

$$H(s) = \frac{ke^{-t_0s}}{\tau s + 1} \quad (37)$$

Dónde:

K = ganancia del proceso en estado estacionario.

t_0 = tiempo muerto efectivo del proceso.

τ = constante de tiempo efectiva del proceso (corresponden a los parámetros de mayor importancia para determinar dicha dinámica).

6.7.2 Proceso de segundo orden

La función de transferencia de este tipo de proceso, llamado también (SOMTM), sigue el modelo siguiente:

$$H(s) = \frac{ke^{-t_0s}}{\tau^2 s^2 + 2\varepsilon\tau s + 1} \quad (38)$$

Dónde ε = razón de amortiguamiento efectiva del proceso, y forma parte de la dinámica del proceso.

6.8 Técnicas adicionales de control

En muchos procesos, mediante la aplicación de otras técnicas de control, es posible y ventajoso mejorar el desempeño logrado con el control por retroalimentación. Para ello existen otras técnicas que se han desarrollado y frecuentemente utilizado, con el fin de mejorar el desempeño del control por medio de la retroalimentación [10].

6.8.1 Control de razón

Técnica de control muy común en procesos industriales.

Para entender la técnica propuesta se ayudará de un ejemplo. Se supone que se deben mezclar dos fluidos de líquidos, A y B, en cierta proporción o razón (R). Esto es:

$$R = \frac{B}{A} \quad (39)$$

El proceso se muestra en **Figura A.6.12**

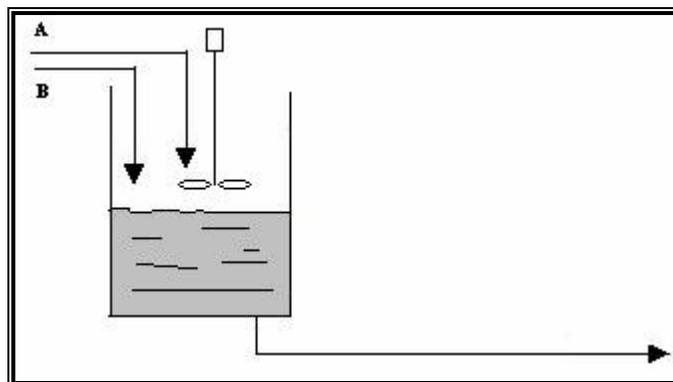


Figura 6.12. Mezcla de dos corrientes líquidas.

Para dar cumplimiento a dicha tarea (**Figura A.6.13**), cada flujo se controla mediante un “circuito de flujo”, en el cual el punto de control de los controladores se fija de manera tal que los líquidos se mezclen en la proporción correcta. Sin embargo, si ahora se supone que no se puede controlar uno de los flujos (la corriente A), sino únicamente medirlo (flujo que se conoce como “flujo salvaje”), se maneja generalmente para controlar alguna otra cosa, por ejemplo, el nivel o temperatura aguas arriba y, por lo tanto, la tarea de control es más difícil. De alguna manera, la corriente B debe variar conforme varía la corriente A, para mantener la mezcla en la razón correcta; en **Figura A.6.14**, muestra dos esquemas posibles de control de razón.

El primer esquema, el cual se ilustra en la **Figura A.6.14a**, consiste en medir el flujo salvaje y multiplicarlo por la razón que se desea (en **FY102B**), para obtener el flujo que se requiere de la corriente B. Esto se expresa matemáticamente como sigue:

$$B = AR \quad (40)$$

La salida del multiplicador o estación de razón (**FY102B**), es el flujo que se requiere del flujo B y por lo tanto, éste se utiliza como punto de control para el controlador del flujo B, (**FIC101**); de manera que, conforme varía el flujo A, el punto de control del controlador del flujo B variará en concordancia con aquélla, para mantener ambos flujos en la razón que se requiere. Cabe destacar que, si se requiere una nueva razón entre las dos corrientes, la R nueva se debe fijar en el multiplicador o estación de

razón. Además, el punto de control del controlador del flujo B se fija desde otro dispositivo y no desde el frente del panel del controlador.

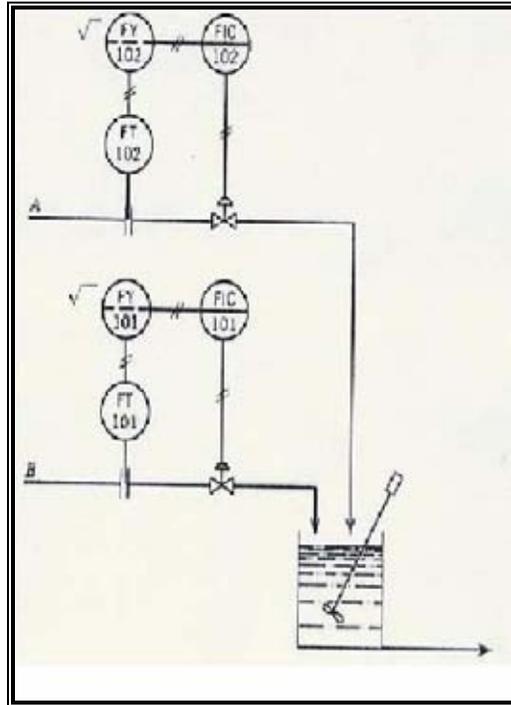


Figura A.6.13. Control de mezcla de dos corrientes líquidas

El segundo esquema de control de razón (**Figura A.6.14b**), consiste en medir ambas corrientes y dividir las (en **FY102B**) para obtener la razón de flujo a través del sistema. La razón que se calcula se envía entonces a un controlador (**RIC101**), con el cual se manipula el flujo B para mantener el punto de control. Como se puede observar, se utilizaron sensores diferenciales de presión para medir los flujos. La salida del sensor-transmisor mencionado guarda relación con el cuadrado del flujo y por tanto se utilizaron extractores de raíz cuadrada para obtener el flujo. Ahora bien, los dos esquemas presentados en **Figura A.6.14**, se pueden implementar sin extractores de raíz. Sin embargo, se utilizan para hacer que el circuito de control se comporte de manera más lineal, de lo cual resulta un sistema más estable.

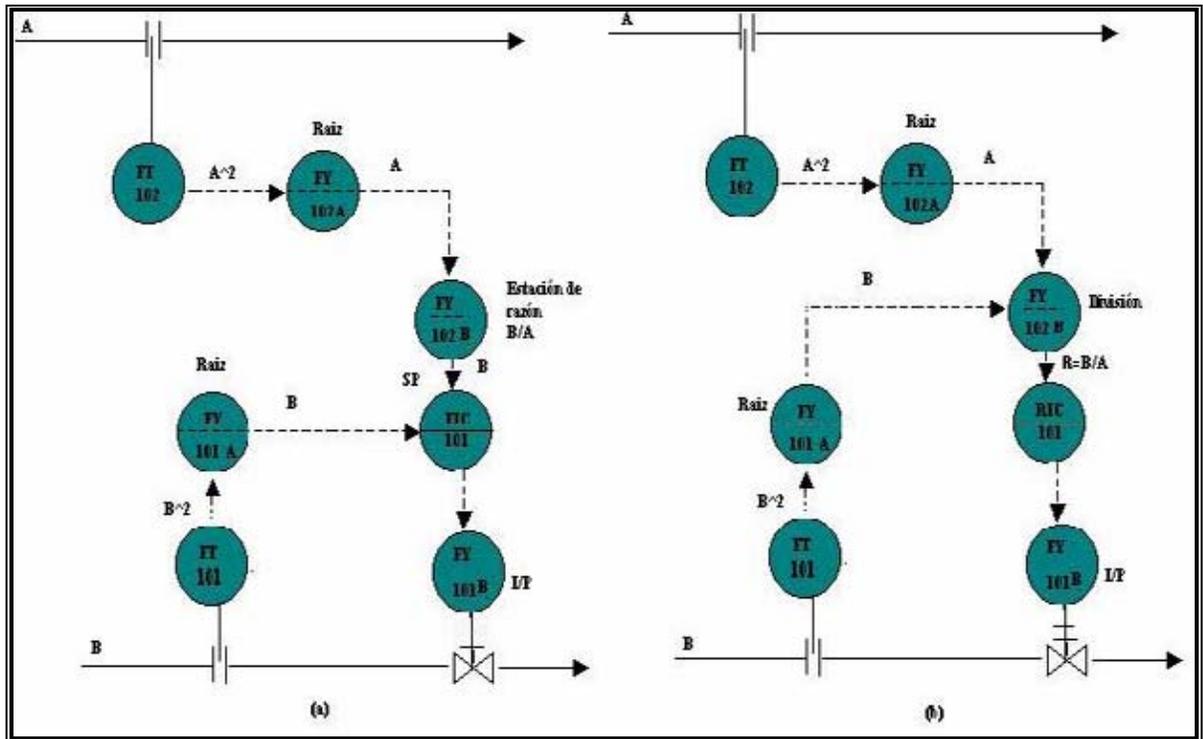


Figura A.6.14. Control razón de sistema de mezcla.

6.8.2 Control en cascada

Técnica de control muy común, ventajosa y útil en las industrias de procesos. Tal configuración puede aportar mejoras sustanciales sin coste adicional, debido a que la nueva variable, que es preciso medir, normalmente lo está siendo, ya que los controladores comerciales actuales suelen incluir un segundo controlador capaz de funcionar en cascada. Tal control se emplea cuando una propiedad de la variable de entrada al proceso (que no es la que el controlador actúa), trabaja como perturbación de la salida [11].

Supóngase que se tiene un tanque de reacción con producción de calor y hay que controlar su temperatura. Se realiza haciendo circular agua fría por una camisa que envuelve al tanque. La regulación se hace midiendo la temperatura del baño y controlando el caudal del agua fría de entrada a la camisa, tal como aparece en **Figura A.6.15**.

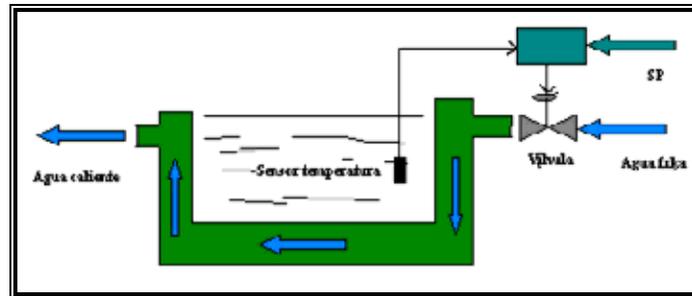


Figura A.6.15. Control temperatura de un baño.

Es evidente que la temperatura del agua fría de entrada perturbará la temperatura del tanque, que se desea controlar, ya que, para la misma necesidad de enfriamiento y, por tanto, el mismo caudal de agua fría, ésta enfriará más o menos según su propia temperatura. El control en cascada elimina estas perturbaciones. Para ello se utilizan dos controladores seguidos, de manera que la salida del controlador primario sirve de referencia para el secundario y cada controlador responde de un lazo de control: el secundario, del lazo más interno, que debe presentar una dinámica más rápida y el primario, del lazo más externo, que es el principal presentado una dinámica más lenta. El proceso queda también descompuesto en dos bloques unidos en serie representando los dos efectos. (Figura A.6.16).

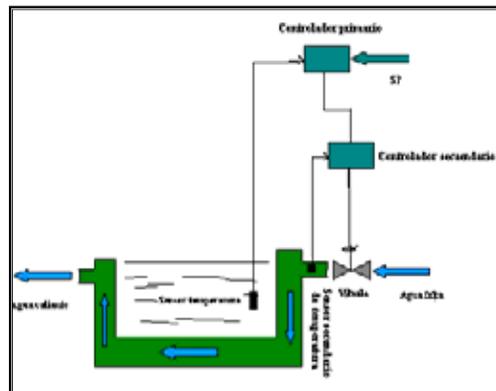


Figura A.6.16. Control cascada para temperatura de un baño.

ANEXO 7: Optimización del Control Automático de Proceso

7.1 Introducción

La condición óptima de un sistema de realimentación es que pueda producir una respuesta estable con un mínimo tiempo de estabilización y con un mínimo gasto de energía [14].

Pueden existir dos métodos para representa el **Tiempo de estabilización** en un proceso determinado, los cuales se describen a continuación:

➤ **Cambio de Set Point (ajuste intencional de referencia)**

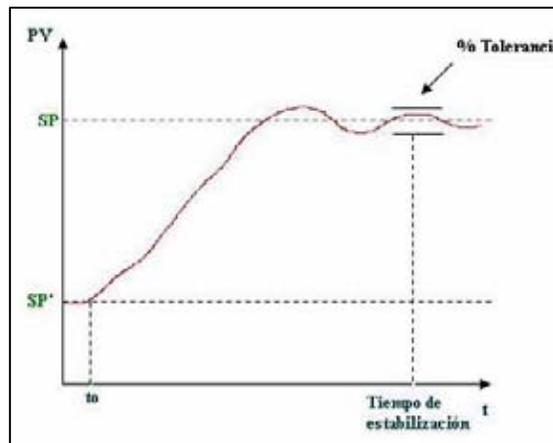


Figura A.7.1. Respuesta de un proceso

- **Cambio de carga (demanda operacional del proceso, típicamente impredecible → perturbación)**

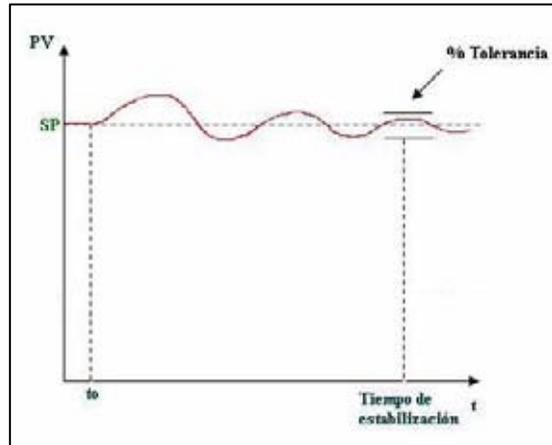


Figura A.7.2. Respuesta de un proceso

7.2 Tipos de procesos

Según su estabilidad natural los procesos se pueden clasificar en:

- Procesos estables.
- Procesos inestables.

7.2.1 Procesos estables

Proceso en el cual su variable controlada alcanza una estabilidad luego de un tiempo determinado, al ser excitado por una señal de naturaleza escalón o similar [14].

A continuación se describe un ejemplo:

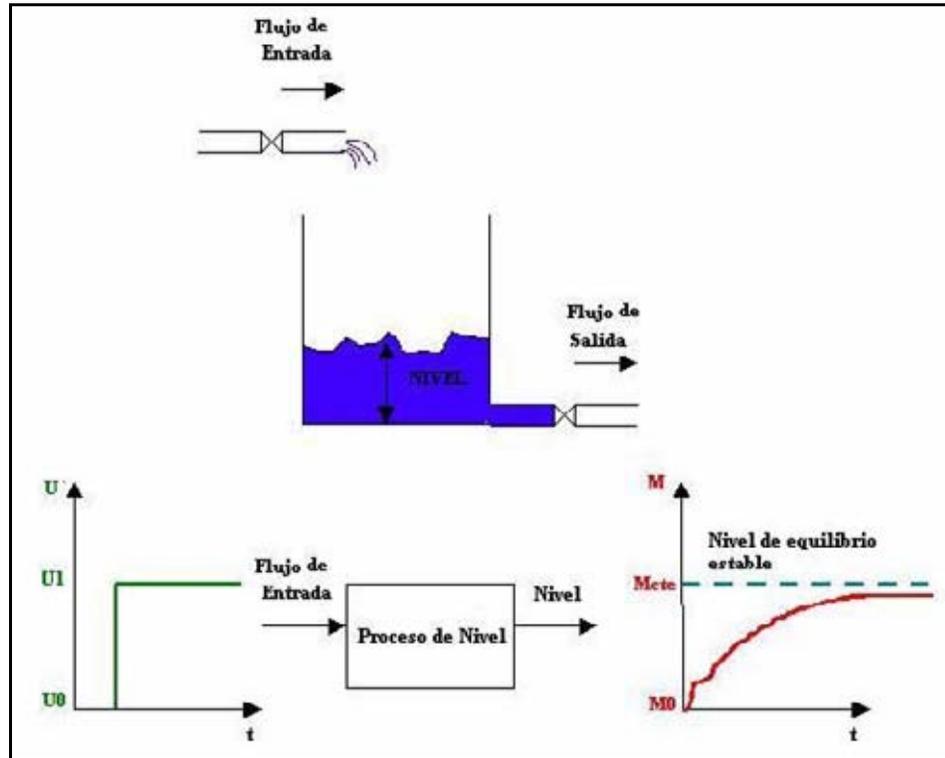


Figura A.7.3. Proceso normalmente estable.

7.2.2 Procesos inestables

Proceso en el cual su variable controlada nunca alcanza una estabilidad, sin importar la naturaleza de la señal de excitación.

A continuación se describe un ejemplo:

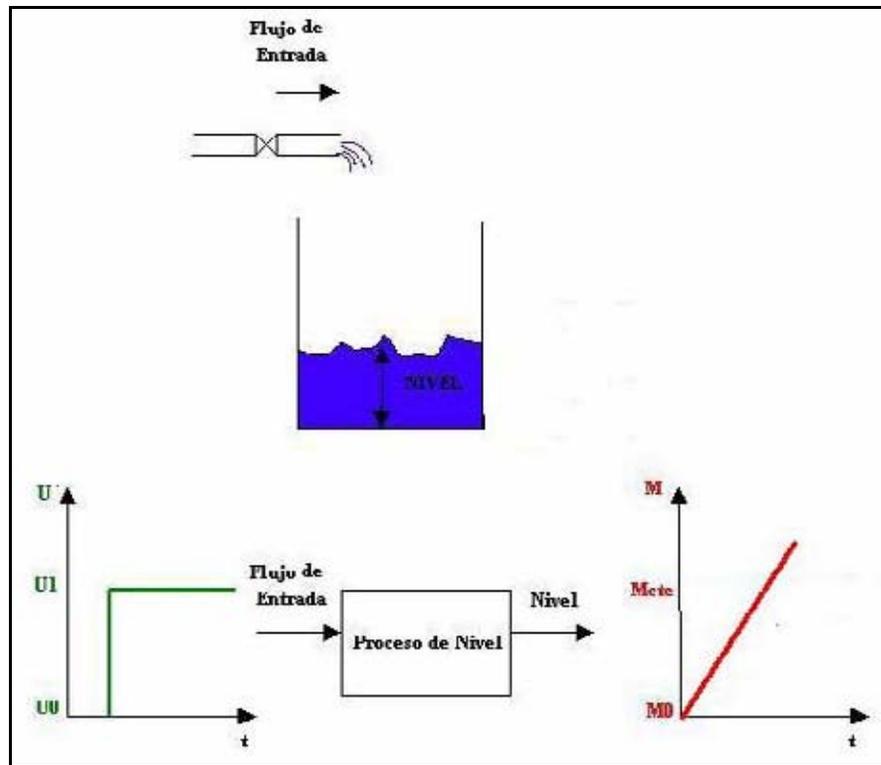


Figura A.7.4. Proceso normalmente estable.

7.3 Característica estática

Relación en estado permanente entre la variable de medición y la variable manipulada. A través de la representación gráfica de dicha relación puede verificarse la linealidad del proceso [15].

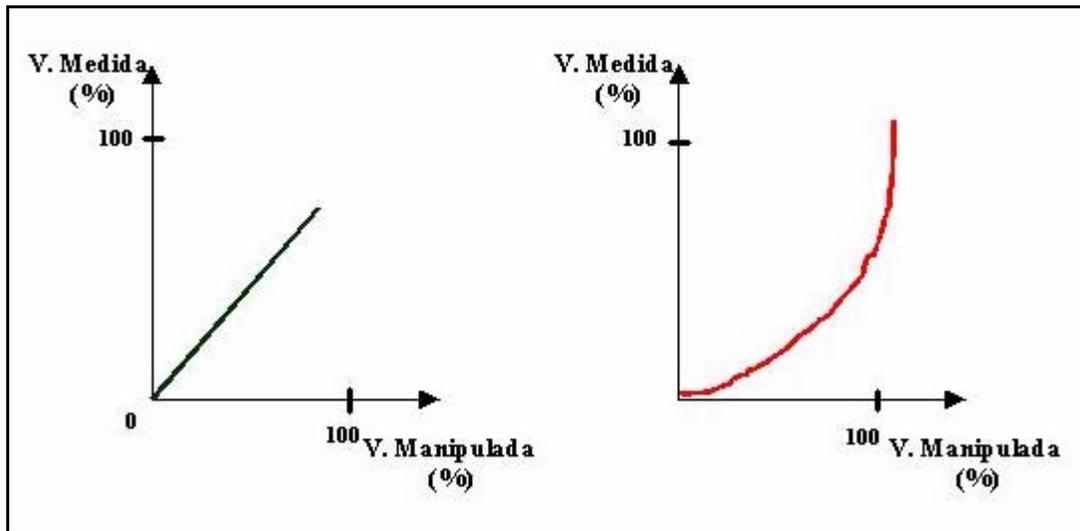


Figura A.7.5. Característica lineal y no lineal

7.4 Característica curva de reacción (dinámica)

Curva de respuesta transiente del proceso (variable medida), ante cambios de la variable manipulada. A través de la representación gráfica de dicha curva pueden obtenerse algunos parámetros importantes del proceso [15].

7.4.1 Tipos de curvas de reacción de procesos estables

a) Proceso de primer orden (sin tiempo de retraso)

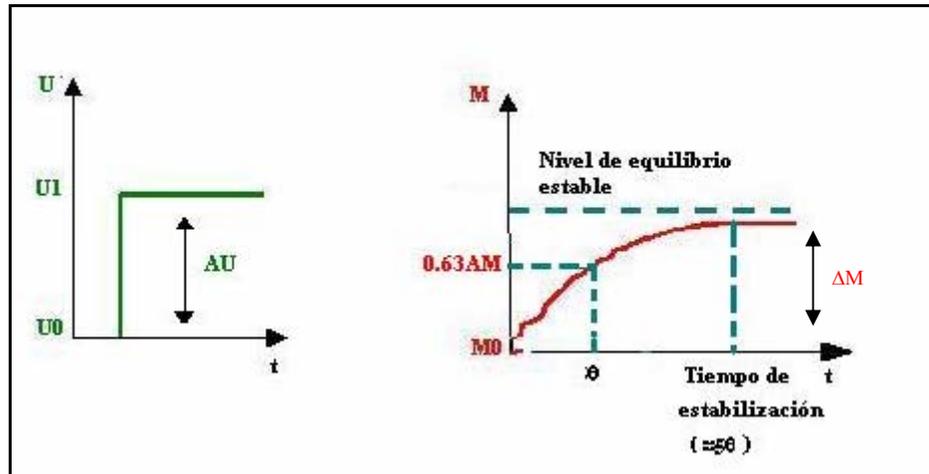


Figura A.7.6. Curva de reacción proceso de primer orden

Cuyos parámetros corresponden a:

$$G_p = \frac{\Delta M}{\Delta U} \quad : \text{Ganancia estática.}$$

θ : Constante de tiempo. (determinada gráficamente).

b) Proceso de primer orden (con tiempo de retraso)

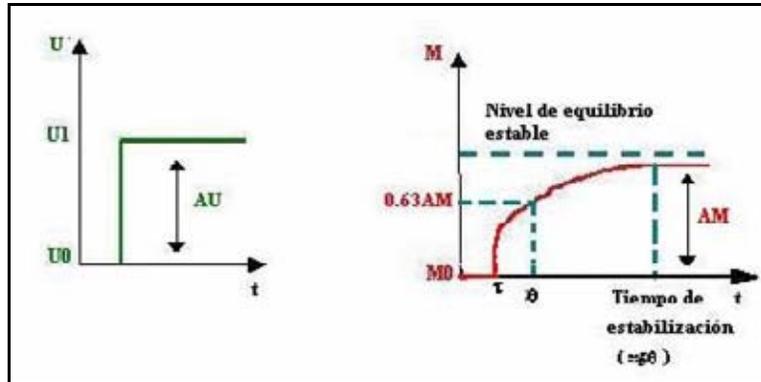


Figura A.7.7. Curva de reacción proceso de primer orden

Cuyos parámetros corresponden a:

$$G_p = \frac{\Delta M}{\Delta U} \quad : \text{Ganancia estática.}$$

θ : Constante de tiempo. (determinada gráficamente).

τ : Tiempo de retraso. (determinada gráficamente).

c) Proceso de orden superior

Corresponden a los más habituales en el medio industrial. La forma general de la respuesta transiente se muestra el siguiente gráfico:

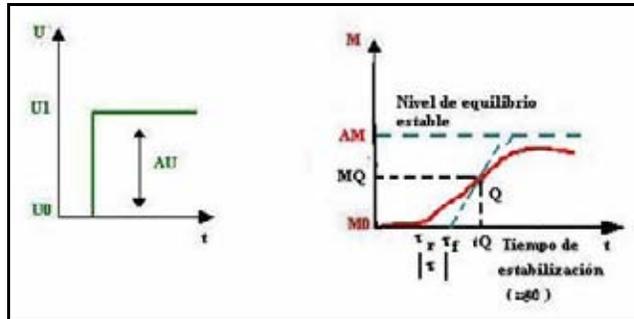


Figura A.7.8. Curva de reacción proceso de orden superior.

Cuyos parámetros corresponden a:

$$G_p = \frac{\Delta M}{\Delta U} \quad : \text{Ganancia estática.}$$

θ : Constante de tiempo. (determinada gráficamente).

τ_r : Tiempo muerto real.

τ_f : Tiempo muerto ficticio.

τ : Tiempo muerto del proceso.

7.5 Determinación de parámetros de un proceso

En la práctica, para determinación de los parámetros de un proceso es necesario el análisis de la curva de reacción.

Debido a que los procesos de orden superior son los más comunes en las industrias, se analizará gráficamente un método que logre determinar sus parámetros más relevantes; **el método de Broida** [10]. Cabe mencionar que tal método es aplicable para procesos de segundo a sexto orden.

En efecto:

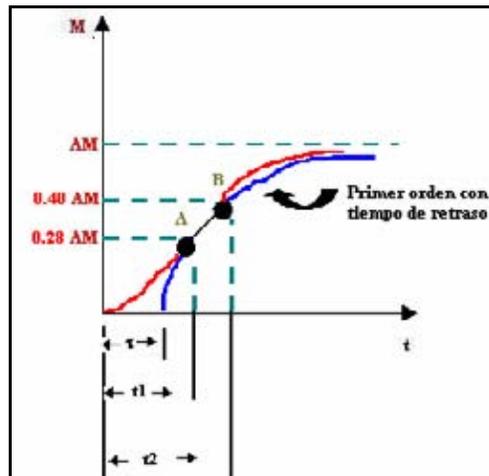


Figura A.7.9. Curva de respuesta proceso de orden superior.

Cuyos parámetros corresponden a:

$$G_p = \frac{\Delta M}{\Delta U} \quad : \text{Ganancia estática.}$$

$\theta = 5.5 (t_2 - t_1)$: Constante de tiempo

$\tau = 2.8 t_1 - 1.8 t_2$: Tiempo de retraso.

7.6 Determinación del tipo de algoritmo (acción de control)

Procesos estables: se define el tipo de algoritmo más adecuado de acuerdo al valor de la relación entre la constante de tiempo y el tiempo de retraso ($\frac{\theta}{\tau}$), de modo que si:

$\frac{\theta}{\tau} < 1$: Debe usarse un control a través de algoritmos especiales, diferente a los tradicionales Todo o Nada, PI, PD, o PID.

$1 < \frac{\theta}{\tau} < 2$: Debe usarse malla múltiple de control, como cascada, anticipativo, etc.

$2 < \frac{\theta}{\tau} < 5$: Debe usarse control PID, cuyos valores de parámetros deben ser determinados en función de la estructura del controlador.

$5 < \frac{\theta}{\tau} < 10$: Debe usarse control PI, cuyos valores de parámetros deben ser determinados en función de la estructura del controlador.

$10 < \frac{\theta}{\tau} < 20$: Debe usarse control proporcional puro, cuyos valores de parámetros deben ser determinados en función de la estructura del controlador.

$\frac{\theta}{\tau} > 20$: Debe usarse control Todo-Nada o (PID con ajuste P_b mínimo, T_i máximo, $T_d = 0$).

ANEXO 8: “Evaluación de Situaciones” del Método Kepner-Tregoe (Formulario N° 1).

HOJA 1: “Identificar Preocupación” y “Fijar Prioridades” (parte 1 de Formulario n° 1).

EVALUACIÓN DE SITUACIONES					
Identificar Preocupaciones		Fijar Prioridades			
Hacer una lista de las amenazas y oportunidades	Separar y Aclarar Preocupaciones	Considerar Gravedad, Urgencia y Tendencia			
¿Qué desviaciones están ocurriendo? ¿Qué cambios se anticipan? ¿Qué decisiones necesitan tomarse? ¿Qué oportunidades existen? ¿Qué planes debieran ser implementados? ¿Qué nos molesta acerca de...?	¿Qué queremos decir con...? ¿Qué evidencia tenemos de...? ¿Qué es exactamente...? ¿Qué desviaciones, decisiones o Planes diferentes son parte de esta preocupación? ¿Qué más nos preocupa acerca de...?	¿Cuál es el impacto que Actualmente tiene sobre el personal, la seguridad, etc.? ¿Cuál preocupación es la más grave?	¿Cuál es la fecha límite? ¿Cuándo necesitamos empezar? ¿Cuál preocupación será la más difícil de resolver?	¿Cuál será el impacto futuro? ¿Qué evidencia existe de que la gravedad cambiará con el tiempo? ¿Qué preocupación es la que se está haciendo más grave con mayor rapidez?	
Preocupaciones	Preocupaciones	Gravedad	Urgencia	Tendencia	Alta Prioridad
Deficiente manejo de principales materias primas (hojuela / adhesivo).	Se necesita un sistema eficiente de pesaje dinámico de hojuelas secas.	Incide en costo de adhesivos, calidad y volumen de producción. (A)	4 meses. (M)	A mantenerse. (B)	1
Falta de suministro más continuo para etapas posteriores al encolado (formadoras).	Generación de tacos en chute de descarga <i>blender</i> de superficie.	Incide en volumen de producción. (M)	4 meses. (M)	Incide en mantención. (M)	2
	Encolado superficie no reactiva en modo automático.	Incide en volumen de producción. (B)	4 meses. (M)	Incide en mantención. (M)	3
	Deficiente control de llenado (nivel) de formadoras.	Incide en volumen de producción. (B)	4 meses. (M)	Incide en mantención. (M)	4

ANEXO 8: “Evaluación de Situaciones” del Método Kepner-Tregoe (Formulario N° 1).

HOJA 2: “Planear Próximos Pasos” y “Planear Involucramiento” (parte 2 de Formulario N° 1).

Planear Próximos Pasos	Planear Involucramiento
Determinar el análisis requerido	Determinar la ayuda necesaria
¿Necesitamos mayor aclaración? ¿Tenemos una desviación? ¿Es de causa desconocida? ¿Necesitamos conocer la causa de la desviación?	¿Necesitamos hacer una elección? ¿Tenemos un plan que proteger? ¿Qué tanto del proceso se necesita?

Alta Prioridad	Proceso	Acción Requerida	¿Qué necesita hacerse?	¿Quién debiera estar involucrado?		
				Aprobación	Información	Compromiso
1	Seleccionar un arreglo.	Diseñar e implementar un sistema de control eficiente, para la dosificación entre Hojuelas y Adhesivo.	Investigar distintas estructuras de control para pesaje dinámico.	Gerencia de operaciones	Proveedores de pesa.	Cipriano Burgos. Carlos Sagner Almnos. Tesistas
			Comprender y analizar PLC.	Gerencia de operaciones	Cipriano Burgos. Prof. Informantes.	Cipriano Burgos. Almnos. Tesistas
			Analizar lógica de control actual en etapa de encolado.	Gerencia de operaciones	Cipriano Burgos.	Cipriano Burgos. Almnos. Tesistas
			Realizar mediciones de flujo de hojuelas a la salida De los dry bin.	Gerencia de operaciones	Dpto. Mantenión Dpto. Control de calidad Dpto. Producción	Cipriano Burgos. Carlos Riquelme. Lorenzo Sánchez Almnos. Tesistas

ANEXO 8: “Evaluación de Situaciones” del Método Kepner-Tregoe (Formulario N° 1).

HOJA 3: “Planear Próximos Pasos” y “Planear Involucramiento” (continuación de parte 2 de Formulario N° 1).

Planear Próximos Pasos	Planear Involucramiento
Determinar el análisis requerido	Determinar la ayuda necesaria
¿Necesitamos mayor aclaración? ¿Tenemos una desviación? ¿Es de causa desconocida? ¿Necesitamos conocer la causa de la desviación?	¿Necesitamos hacer una elección? ¿Tenemos un plan que proteger? ¿Qué tanto del proceso se necesita?

Alta Prioridad	Proceso	Acción Requerida	¿Qué necesita hacerse?	¿Quién debiera estar involucrado?		
				Aprobación	Información	Compromiso
2	Encontrar verdadera causa	Encontrar causa de tacos en línea de superficie de encolado	Corroborar fenómeno de pulsaciones de flujo en <i>Blenders</i> .	Gerencia de operaciones	Fabricante <i>Blenders</i> (CAE)	Cipriano Burgos Carlos Sagner Alumnos. Tesistas
			Determinar patrón en generación de tacos.	Gerencia de operaciones	Dpto. Producción. Dpto. Control Procesos.	Cipriano Burgos Carlos Sagner Alumnos. Tesistas
			Determinar sobrecarga permisible de hojuelas en <i>Blenders</i> .	Gerencia de operaciones	Fabricante <i>Blenders</i> (CAE)	Cipriano Burgos Carlos Sagner Alumnos. Tesistas
			Analizar lógica de control respecto a tacos.	Gerencia de operaciones	Cipriano Burgos.	Cipriano Burgos Alumnos. Tesistas

ANEXO 8: “Evaluación de Situaciones” del Método Kepner-Tregoe (Formulario nº 1).

HOJA 4: “Planear Próximos Pasos” y “Planear Involucramiento” (continuación de parte 2 de Formulario N°1).

Planear Próximos Pasos		Planear Involucramiento	
Determinar el análisis requerido		Determinar la ayuda necesaria	
¿Necesitamos mayor aclaración?	¿Necesitamos hacer una elección?		
¿Tenemos una desviación?	¿Tenemos un plan que proteger?		
¿Es de causa desconocida?	¿Qué tanto del proceso se necesita?		
¿Necesitamos conocer la causa de la desviación?			

Alta Prioridad	Proceso	Acción Requerida	¿Qué necesita hacerse?	¿Quién debiera estar involucrado?		
				Aprobación	Información	Compromiso
3	Encontrar verdadera Causa	Encontrar causa de no reactivación de Encolado de superficie en modo automático.	Análisis lógica de control respecto a reactivación de Encolado.	Gerencia de operaciones	Dpto. Mantención. Dpto. Producción	Cipriano Burgos Lorenzo Sánchez Almnos. Tesistas
			Determinar si, es con resina o cera, dónde ocurre con mayor frecuencia bajo flujo.	Gerencia de operaciones	Dpto. Mantención. Dpto. Producción	Cipriano Burgos Lorenzo Sánchez Almnos. Tesistas
			Conocer mantenimiento de circuito hidráulico sala de resinas.	Gerencia de operaciones	Dpto. Mantención. Dpto. Producción	Cipriano Burgos Rubén Ojeda Almnos. Tesistas
4	Encontrar verdadera Causa	Encontrar causa de deficiente control de llenado (nivel) de formadoras.	Determinar cuándo ocurren los problemas de llenado de las formadoras.	Gerencia de operaciones	Dpto. Mantención. Dpto. Producción	Cipriano Burgos Lorenzo Sánchez Almnos. Tesistas
			Investigar tipos de sensores y lógica de control.	Gerencia de operaciones	Cipriano Burgos. Proveedores	Cipriano Burgos Almnos. Tesistas

ANEXO 9: “Análisis de problemas” del Método Kepner-Tregoe (Formulario N° 2).

HOJA 1: “Describir el problema”, “Identificar Posibles Causas” y “Evaluar Posibles Causas”.

Enunciado de problema 1: Generación de tacos en el chute de descarga del *blender* de superficie.

	ES	NO ES	Diferencias y cambios (conocimiento y experiencia)		Posibles Causas	No Explica...	Explica solo si...
			DIFERENCIAS	CAMBIOS			
QUE	Tacos en <i>Blender</i> de Superficie	Tacos en <i>Blender</i> de Centro	1. Posición prolongaciones. 2. Flujo de resina. 3. Velocidad de rotación. 4. Tipo resina.	1. Pos. Prolongaciones. (sin fecha conocida) 2. Disposición del chute salida (distinto a la antigua planta).	1. Inadecuada limpieza de chutes. 2. Inadecuados parámetros de op. <i>blender</i>. 3. Ineficiente transporte de descarga <i>blender</i> sup.	1. Cuando.	2. Posición Prolongaciones afecte.
DONDE	Chute de Salida	Chute de Entrada	5. Tamaño del chute.	3. Reducción chute salida <i>blenders</i>	4. Sobrecargas en chute salida <i>blender</i> superf..	3. Cuando.	4. El 10% de los tacos ocurrió por falla no informada. en S.T.
CUANDO	1. Siempre. 2. 90% después de aumento vel. de encolado.	Actual 10% correspondiente a vel. Cte.	6. Suministro de hojuelas.	No aplica	¿Cómo podrían éstas diferencias y cambios haber causado el problema? Listar Posibles causas	¿Si _____ es la causa de _____, cómo explica el ES y el NO ES?	
CUANTO	El tamaño de los tacos no es fácil medirlos en volumen, pero esta en función de su duración y pueden variar de 1 a 22 minutos.		No aplica	No aplica	Determinar la causa más probable ¿Cuál es la causa que mejor explica la información del ES y del NO ES? Sobrecarga de chute de salida en <i>blender</i> de superficie.		
Confirmar la Verdadera Causa							
			¿Qué es diferente, único, peculiar o distinto en cada ES comparado con su respectivo NO ES? ¿Qué más... ?	¿Qué ha cambiado en, alrededor o cerca de cada diferencia? (fecha del cambio) ¿Qué más...?	Usar: <input type="radio"/> Verificar supuestos <input type="radio"/> Observar <input type="radio"/> Experimentar <input type="radio"/> Probar un arreglo y monitorearlo		

ANEXO 9: “Análisis de problemas” del Método Kepner-Tregoe (Formulario N° 2).

HOJA 2: “Describir el problema”, “Identificar Posibles Causas” y “Evaluar Posibles Causas”.

Enunciado de problema 2: Encolado de superficie no reactiva en modo automático.

	ES	NO ES	Diferencias y cambios (conocimiento y experiencia)		Posibles Causas	No Explica...	Explica solo si...
			DIFERENCIAS	CAMBIOS			
QUE	Encolado superficie A Veces No Reactiva	En automático (a veces al pasar a manual encolado sigue sin reactivar)	1. Condiciones de partida, según lógica de control: Flujo de Adhesivo cera. Funcionando Mecanismos. Nivel adecuado de Forma doras.	Ninguno	1. Tiempos incorrectos en lógica de control. 2. Detención de mecanismos. 3. Sensores de nivel quedan activos.	1. Que sea también en manual. 2. Flujo cera y manual. 3. Flujo cera y manual.	
DONDE	95% en línea de superficie flujo de cera	El 95% línea de centro en MDI y Fenol	2. Sistema hidráulico (válvula retención, acumulador de presión) 3. Caudales.	Ninguno	4. Acumulación de cera en válvula de retención. 5. Bomba de cera inadecuada.	4. Cuando.	4. Existan registros de suciedad en válvula.
CUANDO	Siempre ha Existido. Aleatorio. Cualquier flujo	Actual. Periódico. Flujo determinado	No existen diferencias	No aplica	¿Cómo podrían éstas diferencias y cambios haber causado el problema? Listar Posibles causas	¿Si _____ es la causa de _____, cómo explica el ES y el NO ES?	
CUANTO	Tiempo de duración variante	Tiempo de duración constante.	No aplica	No aplica	Determinar la causa más probable ¿Cuál es la causa que mejor explica la información del ES y el NO ES? Acumulación de cera en válvula de retención.		
					Confirmar la Verdadera Causa		
			¿Qué es diferente, único, peculiar o distinto en cada ES comparado con su respectivo NO ES?	¿Qué ha cambiado en, alrededor o cerca de cada diferencia? (fecha del cambio)			
			¿Qué más... ?	¿Qué más...?			
					Usar: <input type="radio"/> Verificar supuestos <input type="radio"/> Observar <input type="radio"/> Experimentar <input type="radio"/> Probar un arreglo y monitorearlo		

ANEXO 9: “Análisis de problemas” del Método Kepner-Tregoe (Formulario N° 2).

HOJA 3: “Describir el problema”, “Identificar Posibles Causas” y “Evaluar Posibles Causas”.

Enunciado de problema 3: Deficiente control de llenado de formadoras.

	ES	NO ES	Diferencias y cambios (conocimiento y experiencia)		Posibles Causas	No Explica...	Explica solo si...
			DIFERENCIAS	CAMBIOS			
QUE	Deficiente Control Llenado Formadoras	Deficiente proceso llenado formadoras	1. Lógica de Control 2. Elementos Mecánicos	Posición de sensores Secuencias lógica control	1. Error en la secuencia llenado carro dist.	2. El donde	1. Realmente exista error en secuencia.
					2. Secuencia inadecuada en chapaleta dist.		
					3. Falla en mecanismos		3. Fallas en mecanismos coincidan con deficiente llenado.
DONDE	En los tres Silos de formadoras	En uno o dos silos de formadoras	No aplica	No aplica	4. Ausencia de control PID entre nivel form. Y velocidad de encolado.		
CUANDO	Siempre Repetitivo	Actual Esporádico	No aplica	No aplica	¿Cómo podrían éstas diferencias y cambios haber causado el problema? Listar Posibles causas	¿Si _____ es la causa de _____, cómo explica el ES y el NO ES?	
CUANTO	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	Determinar la causa más probable		
					¿Cuál es la causa que mejor explica la información del ES y el NO ES? Ausencia de un control PID entre nivel formadoras y velocidad del encolado.		
					Confirmar la Verdadera Causa		
			¿Qué es diferente, único, peculiar o distinto en cada ES comparado con su respectivo NO ES?	¿Qué ha cambiado en, alrededor o cerca de cada diferencia? (fecha del cambio)	Usar: <input type="radio"/> Verificar supuestos <input type="radio"/> Observar <input type="radio"/> Experimentar <input type="radio"/> Probar un arreglo y monitorearlo		
		¿Qué más... ?	¿Qué más... ?				

ANEXO 10: “Análisis de decisión” del Método Kepner-Tregoe (Formulario N° 3).

HOJA 1: “Aclarar el Propósito” y “Evaluar Alternativas”.

Aclarar el Propósito		Evaluar las Alternativas			
Enunciar la decisión <i>¿Cuál es el propósito de la decisión?</i> <i>¿Cuál es el nivel de la decisión apropiada?</i> Elegir estructura de control para mantener constante proporción hojuelas/adhesivo (maximizar uniformidad de impregnación)		Generar Alternativas <i>¿Cuáles son las diferentes opciones disponibles?</i>			
Desarrollar Objetivos <i>¿Qué resultados buscamos a corto y a largo plazo?</i> <i>¿Qué restricciones influirán en la decisión?</i>		Eliminar a través de objetivos Obligatorios/Comparar contra deseados <i>Como esta alternativa satisface éste objetivo</i>			
Clasificar Objetivos <i>Obligatorio o deseados</i>		Desempeño: Obligatorio - Elimine la alternativa que no cumpla con cualquier Objetivo Obligatorio Deseados - Califique en forma relativa cada objetivo deseado. Refleje esa calificación con base en el peso de los Objetivos Deseados			
Dar peso a los deseados <i>Establezca la importancia relativa asignando Un peso</i>		Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4
Objetivos		Control de razón, basado en peso	Control para mantener constante el flujo de hojuela, basado en peso	Control de razón, basado en volumen	Control para mantener constante el flujo de hoj, basado en vol.
Disminuir el consumo de adhesivo sin perjudicar la calidad.	Obligatorio	 Según lo expuesto en capítulo 3, esta alternativa no maximiza la uniformidad de impregnación del adhesivo.	 Ídem alternativa número uno.	 Con esta alternativa se consigue una Máx. uniformidad de impregnación	 Con esta alternativa se consigue una Máx. uniformidad de impregnación
Compatible con demás alternativas de control de llenado de formadoras	Obligatorio	 Es compatible con alternativas 1 y 2 de llenado de formadoras y control flujo entrada <i>blenders</i> .	 Esta alternativa, en si misma regula también el llenado de formadoras, siempre y cuando se reduzcan tiempos pesaje colch.	 Es compatible con las alt. 1 y 3. del llenado de formadoras y control flujo ent. <i>Blenders</i> .	 Las formadoras demandan flujo másico constante.
Rápido tiempo de respuesta	Deseado	 1 Es más rápido controlar flujo de adhesivo, que flujo de hojuelas.	 2 Es más lento controlar el flujo de hojuelas, que el flujo de adhesivo.	 1 Es más rápido controlar flujo de adhesivo, que flujo de hojuelas.	 2 Es más lento controlar el flujo de hojuelas, que el flujo de adhesivo.

ANEXO 10: “Análisis de decisión” del Método Kepner-Tregoe (Formulario N° 3).

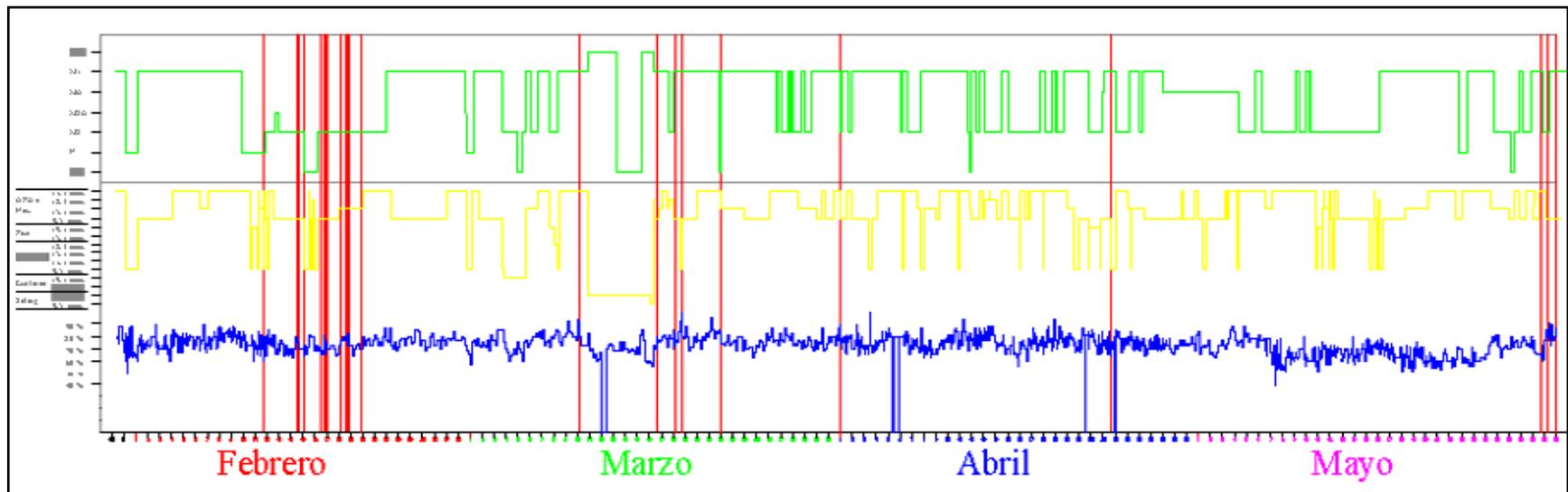
HOJA 2: “Aclarar el Propósito” y “Evaluar Alternativas”.

Aclarar el Propósito		Evaluar las Alternativas					
Enunciar la decisión ¿Cuál es el propósito de la decisión? ¿Cuál es el nivel de la decisión apropiada? Elegir estructura de control para mantener eficiente llenado de formadoras y control de flujo a la entrada de <i>blenders</i> .		Generar Alternativas ¿Cuáles son las diferentes opciones disponibles? Eliminar a través de objetivos Obligatorios/Comparar contra deseados Como esta alternativa satisface éste objetivo					
Desarrollar Objetivos ¿Qué resultados buscamos a corto y a largo plazo? ¿Qué restricciones influirán en la decisión?	Clasificar Objetivos Obligatorio o deseados	Desempeño: Obligatorio - Elimine la alternativa que no cumpla con cualquier Objetivo Obligatorio Deseados - Califique en forma relativa cada objetivo deseado. Refleje esa calificación con base en el peso de los Objetivos Deseados					
Objetivos	Dar peso a los deseados Establezca la importancia relativa asignando un peso	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	Alternativa 5	Alternativa 6
		Control variando veloc. encolado respecto sensor de nivel formadoras.	Control anticipativo del flujo de hojuelas, basado en volumen.	Control anticipativo del flujo de hojuelas, basado en peso	Control anticipativo del flujo de hojuelas, basado en peso	Control anticipativo del flujo de hojuelas, basado en peso	Control Secuencia-Regulación
Mantener nivel de formadoras en un rango Constante	Obligatorio	1 No presenta inconvenientes	1 Con un cambio en densidad bulk los niveles variarán	1 Siempre y cuando se mejore tiempo de respuesta en el pesado del colchón de hojuelas	1 No presenta inconvenientes	1 Si bien mantendría proporción, no así la uniformidad de impregnación del adhesivo	1 No presenta inconvenientes
No deberá afectar el proceso de encolado en términos de costos y calidad.	Obligatorio	1 No presenta inconvenientes	1 Al no permitir eficiente llenado afecta la continuidad del proceso	1 No presenta inconvenientes	1 No presenta inconvenientes	1 No presenta inconvenientes	1 No presenta inconvenientes
Mantener control del flujo de hojuelas a la entrada de <i>blenders</i> .	Obligatorio	1 No presenta inconvenientes	1 No presenta inconvenientes	1 No presenta inconvenientes	1 No presenta inconvenientes	1 No presenta inconvenientes	1 No presenta inconvenientes
Rápido tiempo de respuesta	Deseado	1 Será rápido, siempre y cuando se incorpore variación proporcional entre live bottom formadoras y silos	1 Al ser anticipativo los tiempos de respuesta son bajos	1 Al ser anticipativo los tiempos de respuesta son bajos	1 Al ser anticipativo los tiempos de respuesta son bajos	1 Al ser anticipativo los tiempos de respuesta son bajos	1 Será rápido, siempre y cuando se determinen los parámetros de control basado en prueba y error

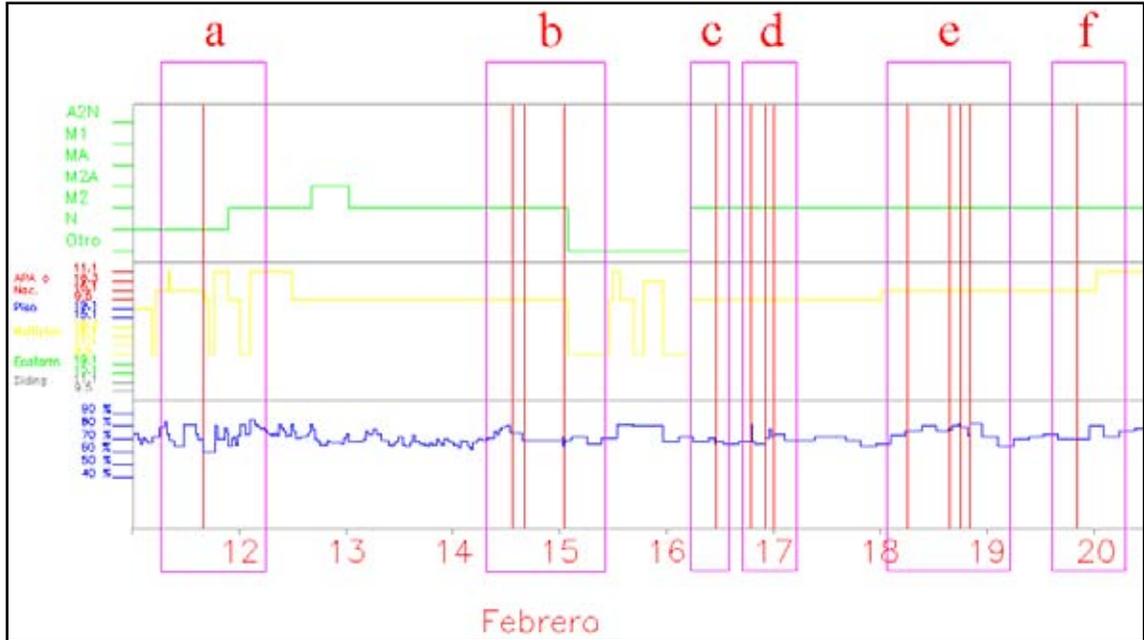
ANEXO 10: “Análisis de decisión” del Método Kepner-Tregoe (Formulario N° 3).

HOJA 3: “Aclarar el Propósito” y “Evaluar Alternativas”.

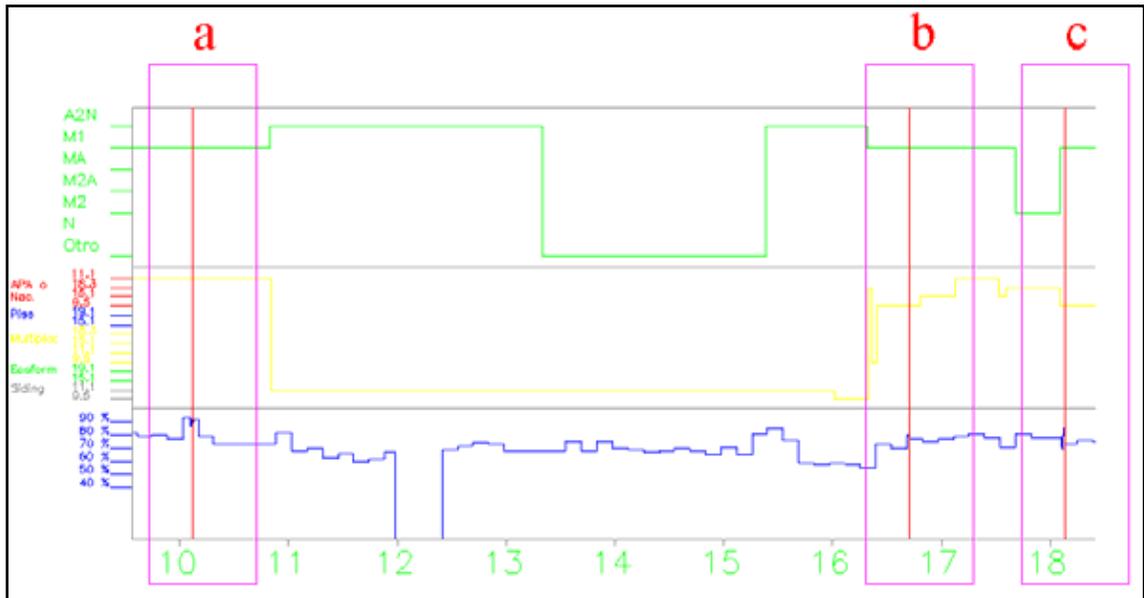
Aclarar el Propósito		Evaluar las Alternativas					
Enunciar la decisión ¿Cuál es el propósito de la decisión? ¿Cuál es el nivel de la decisión apropiada? Elección de una válvula, para la retención de cera.		Generar Alternativas ¿Cuáles son las diferentes opciones disponibles? Eliminar a través de objetivos Obligatorios/Comparar contra deseos Como esta alternativa satisface éste objetivo					
Desarrollar Objetivos ¿Qué resultados buscamos a corto y a largo plazo? ¿Qué restricciones influirán en la decisión?	Clasificar Objetivos Obligatorio o deseados	Desempeño: Obligatorio - Elimine la alternativa que no cumpla con cualquier Objetivo Obligatorio Deseados - Califique en forma relativa cada objetivo deseado. Refleje esa calificación con base en el peso de los Objetivos Deseados					
Objetivos	Dar peso a los deseos Establezca la importancia relativa asignando un peso	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	Alternativa 5	Alternativa 6
		Válvula de bola Accionada por actuador giratorio	Válvula de proceso De dos vías Serie VNB (SMC)				
Sistema de accionamiento de la válvula, no debe estar en contacto con la cera.	Obligatorio	0	Completamente aislado	0	Tiene cierta Hermeticidad		
Dos posiciones	Obligatorio	0	Abierto - cerrado	0	Abierto – cerrado		
Válvula debe poseer la mínima reducción de diámetro.	Deseado	1	Válvula de bola Posee Baja pérdida de carga	2	Comparando con la Anterior Esta posee Mayor pérdida de carga		

ANEXO 11: Análisis de patrones en la generación de tacos de causas desconocidas (hoja 1).

ANEXO 11: Análisis de patrones en la generación de tacos de causas desconocidas (hoja 2).

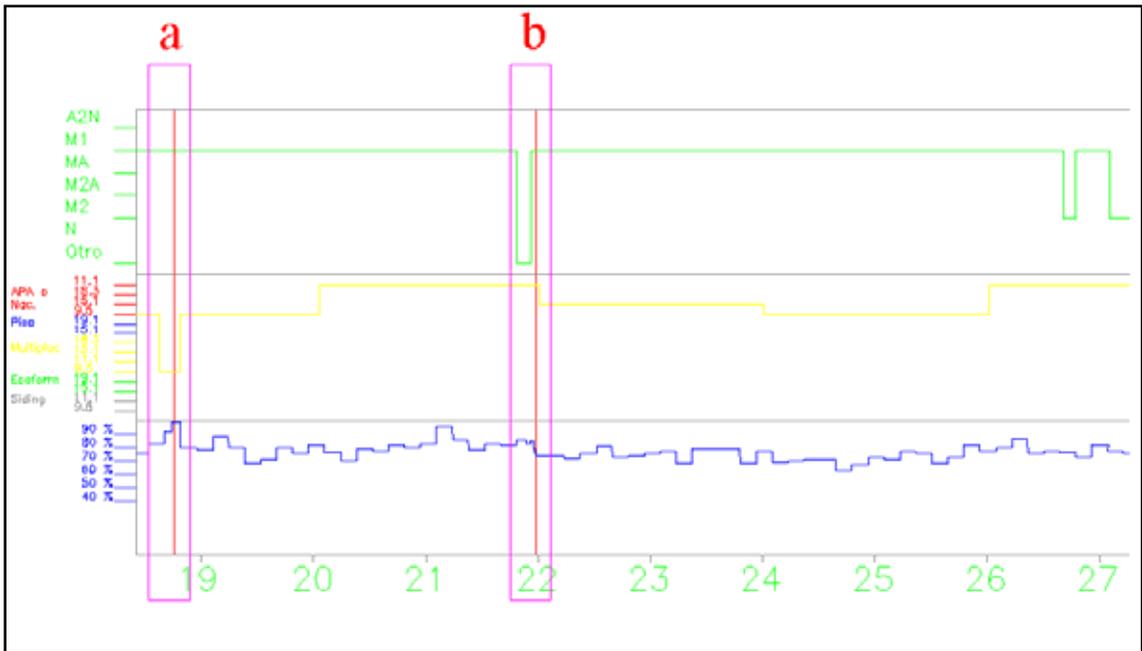


I

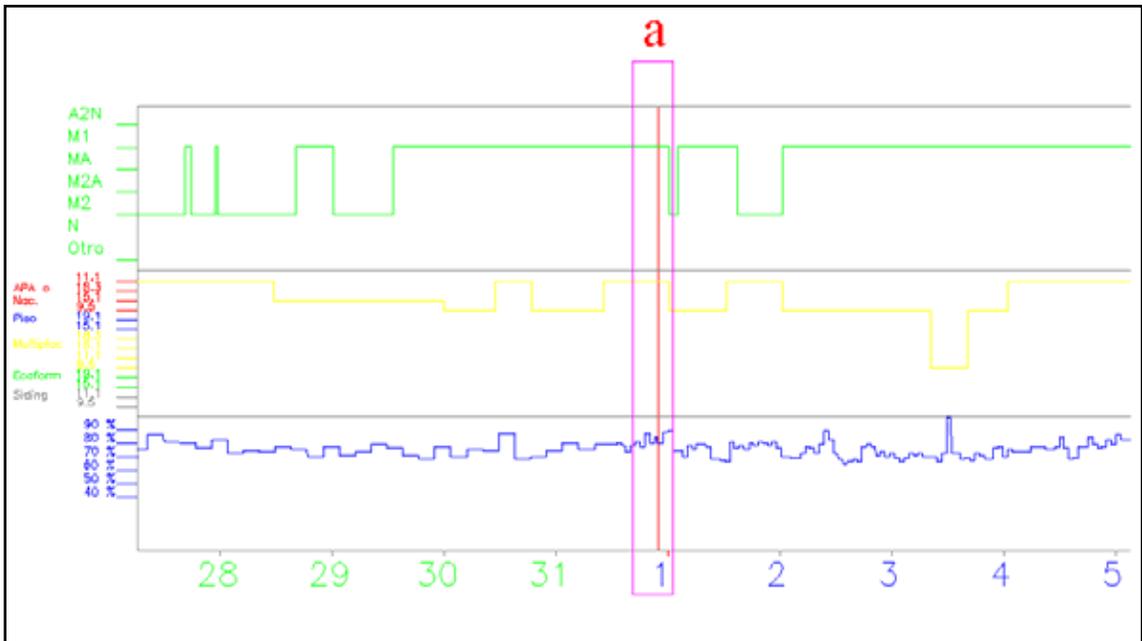


II

ANEXO 11: Análisis de patrones en la generación de tacos de causas desconocidas (hoja 3).

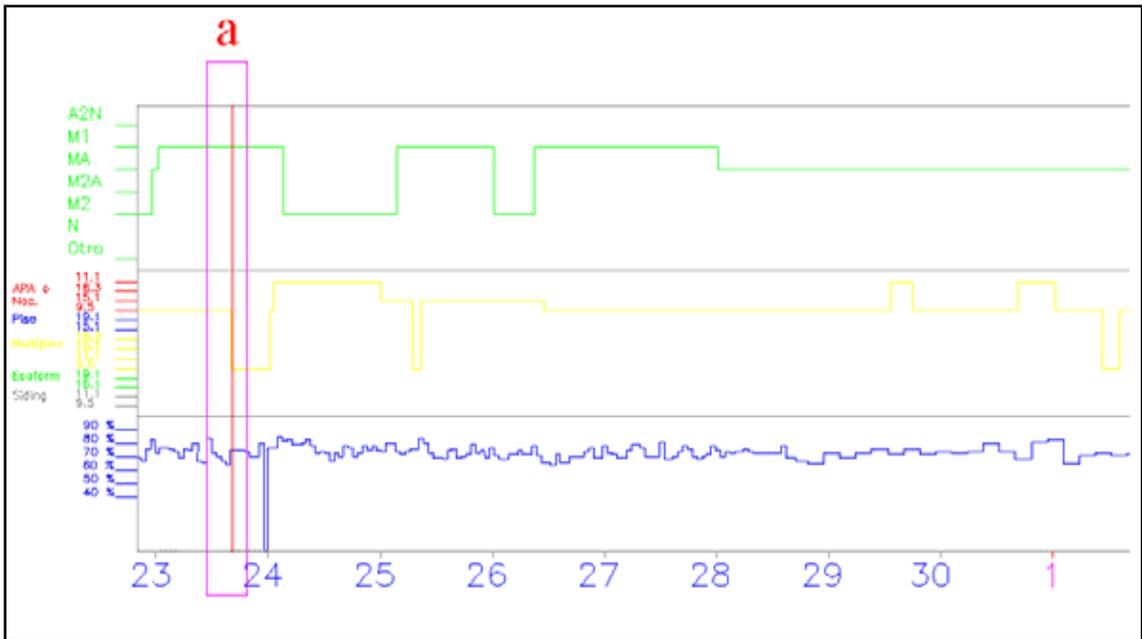


III

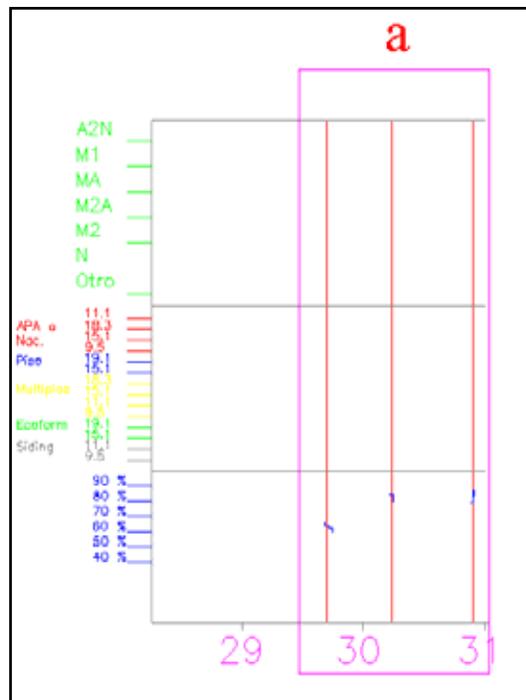


IV

ANEXO 11: Análisis de patrones en la generación de tacos de causas desconocidas (hoja 4).

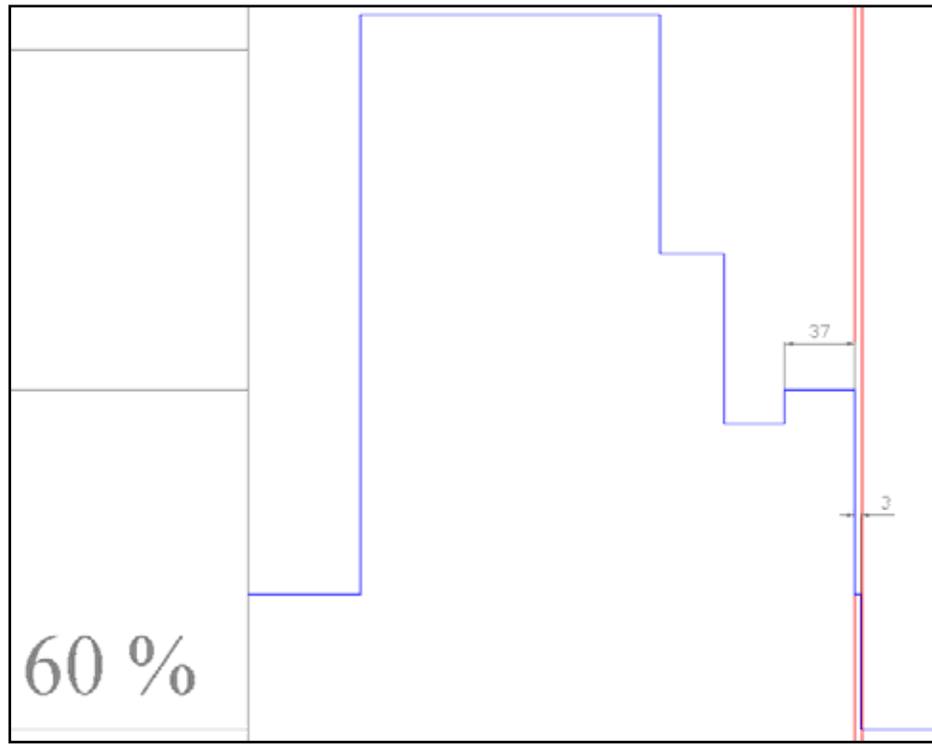


V

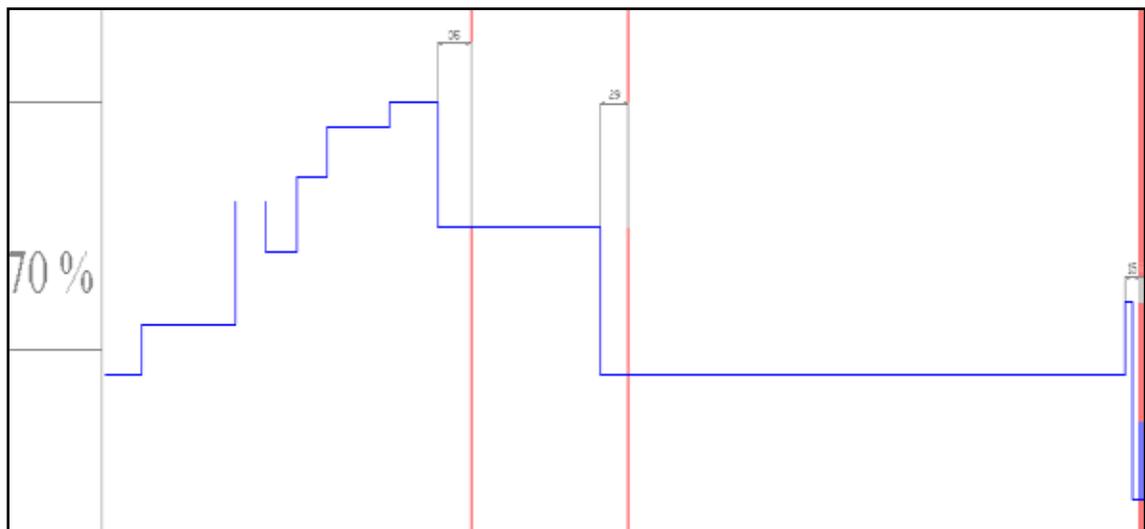


VI

ANEXO 11: Análisis de patrones en la generación de tacos de causas desconocidas (hoja 5).

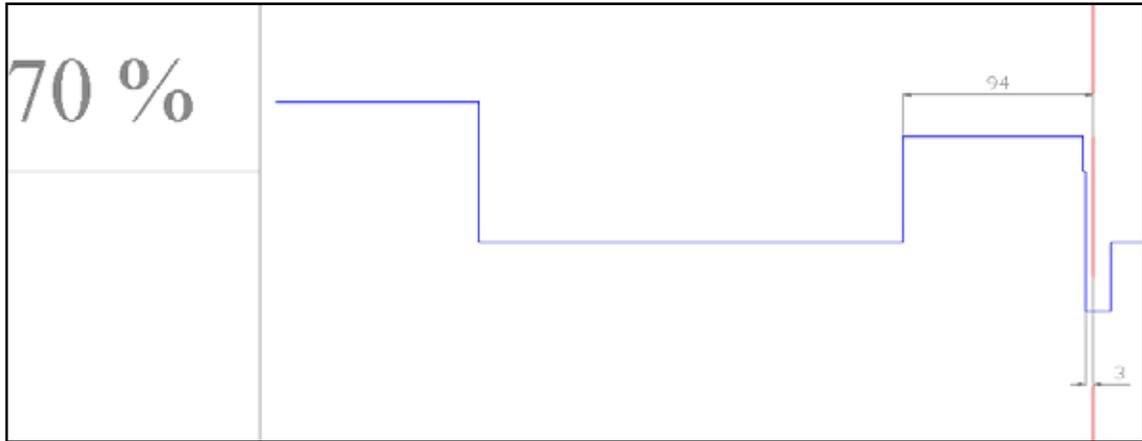


I-a

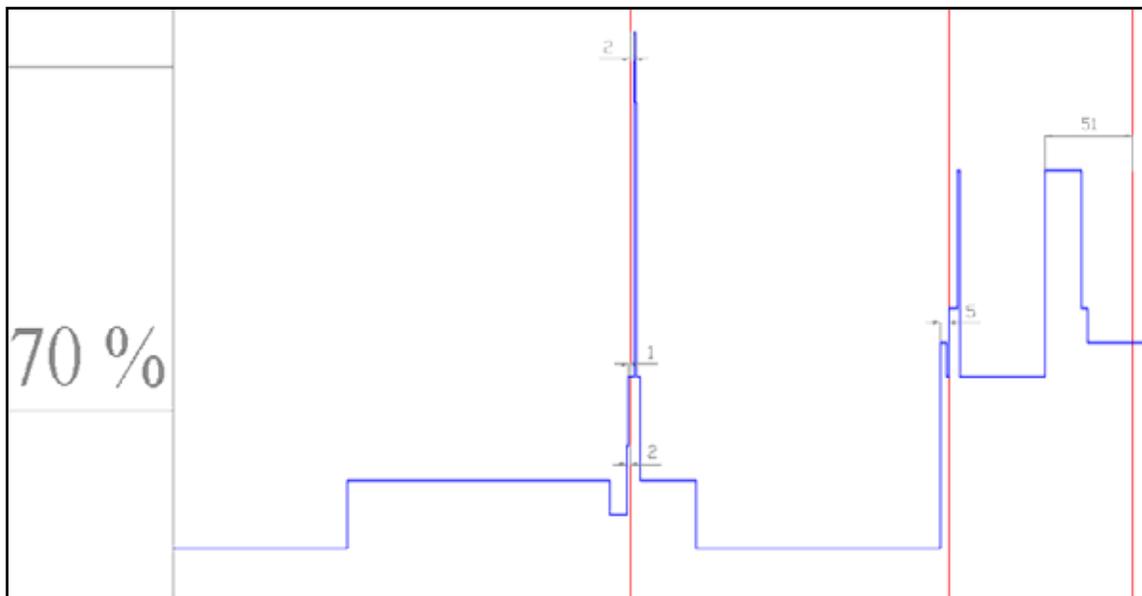


I-b

ANEXO 11: Análisis de patrones en la generación de tacos de causas desconocidas (hoja 6).

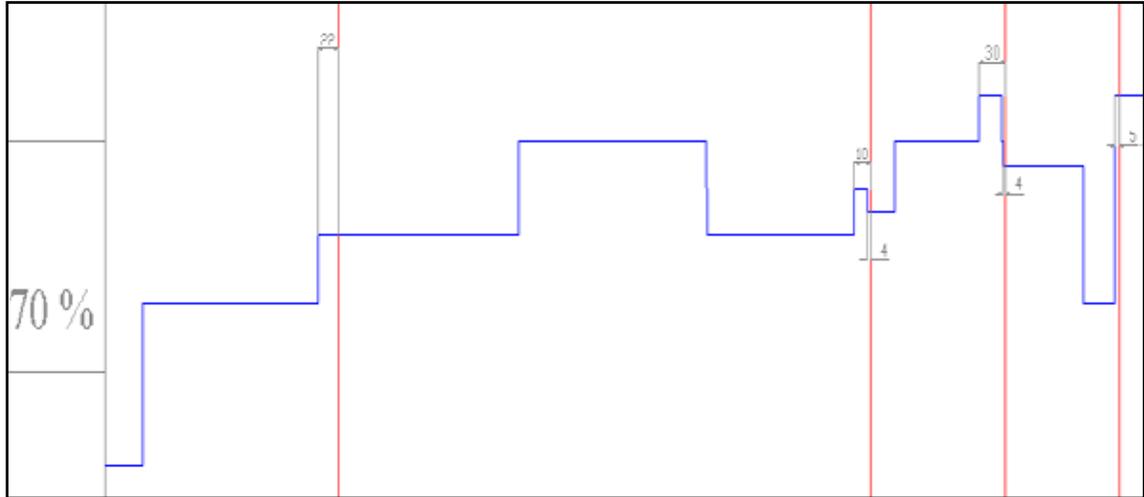


I-c

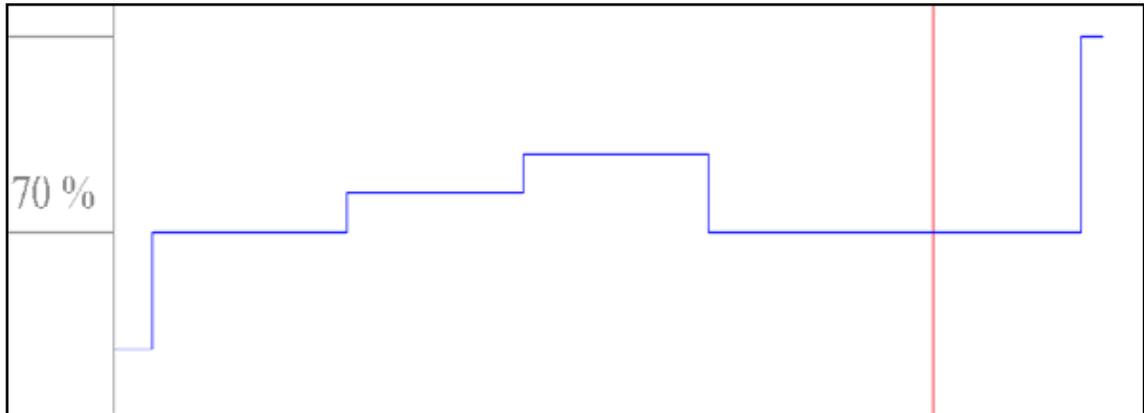


I-d

ANEXO 11: Análisis de patrones en la generación de tacos de causas desconocidas (hoja 7).

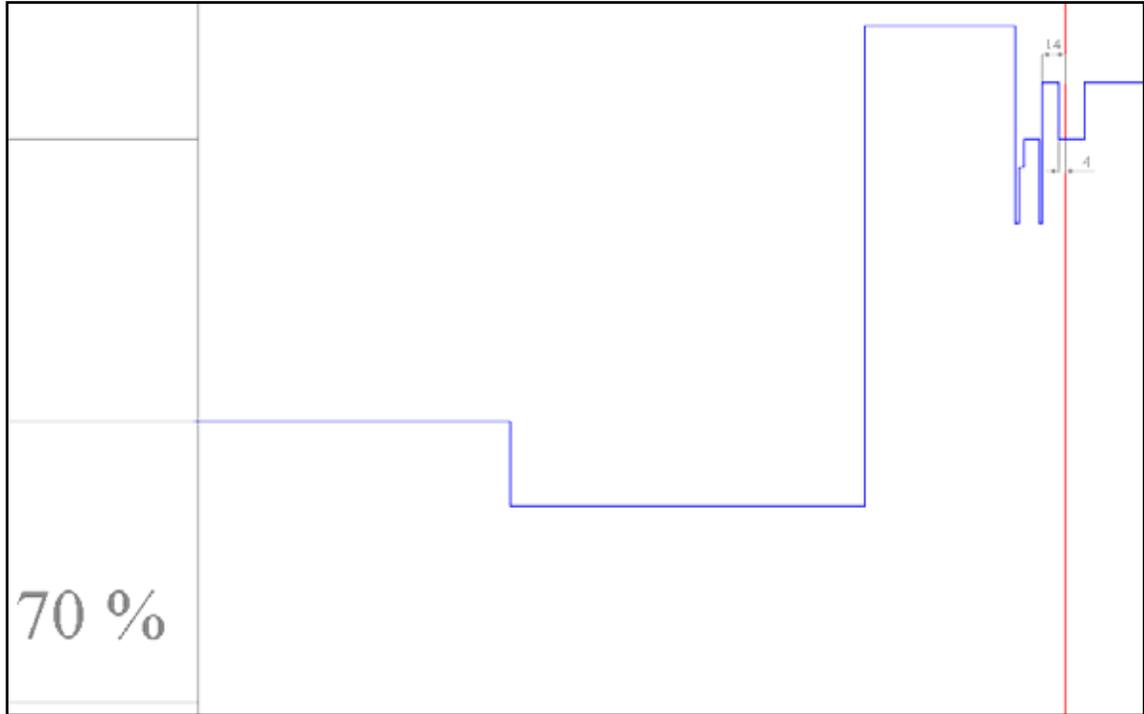


I-e

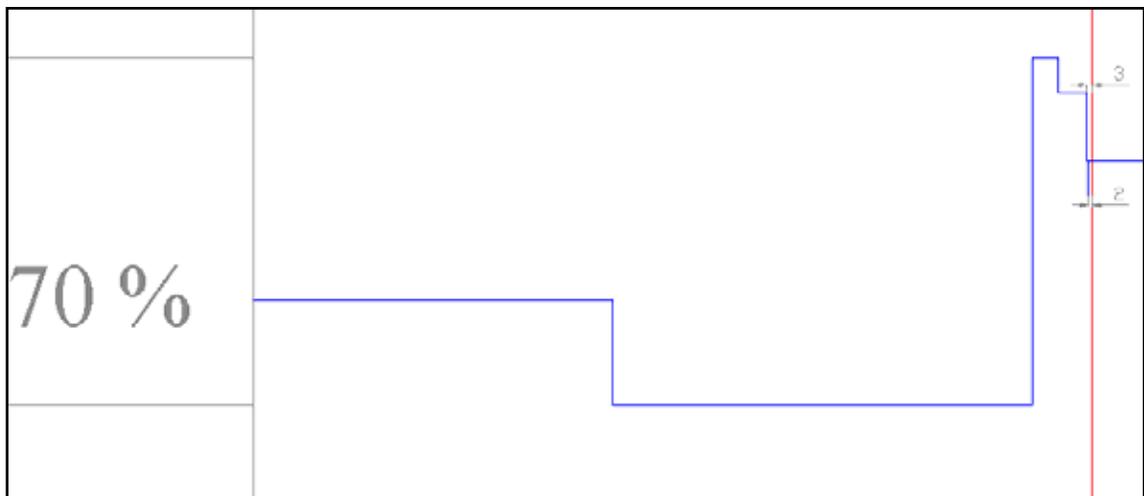


I-f

ANEXO 11: Análisis de patrones en la generación de tacos de causas desconocidas (hoja 8).

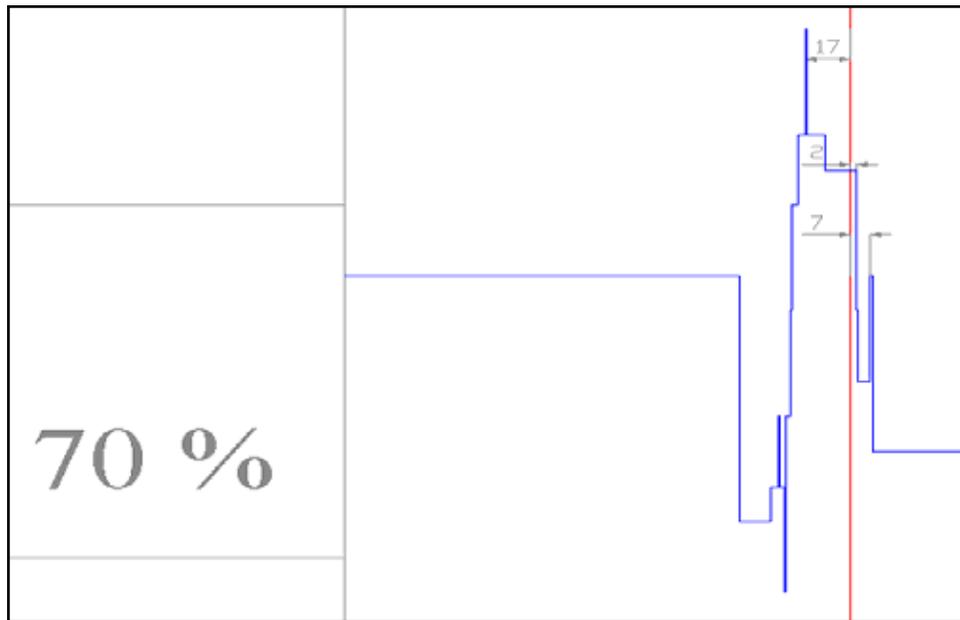


II-a

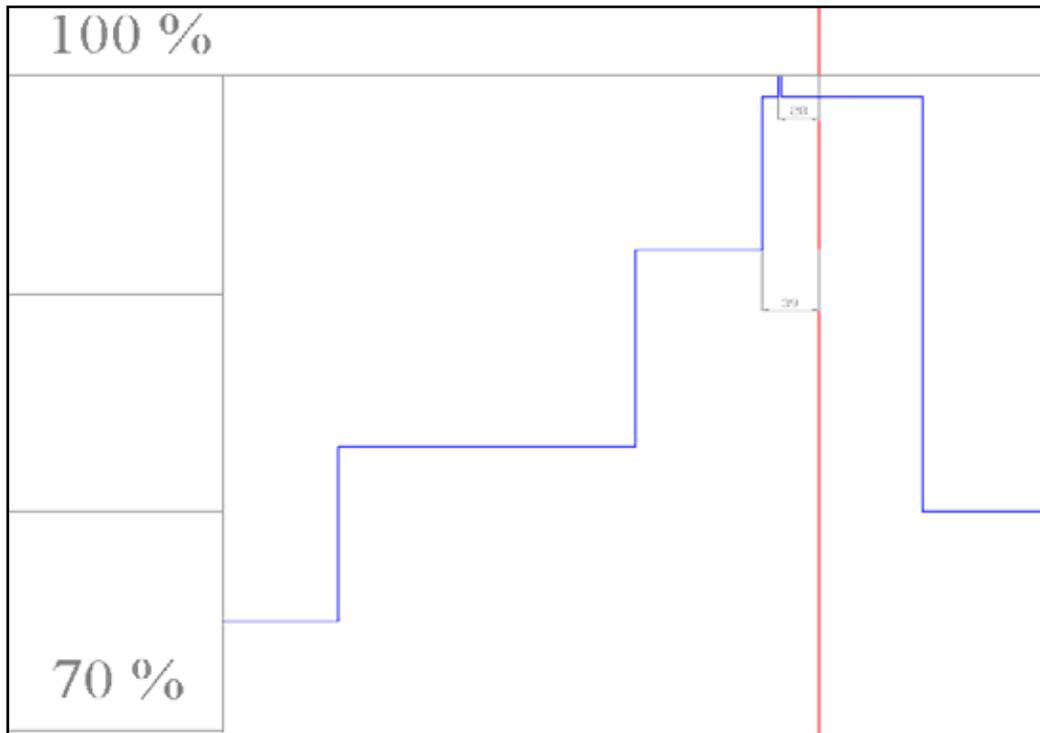


II-b

ANEXO 11: Análisis de patrones en la generación de tacos de causas desconocidas (hoja 9).

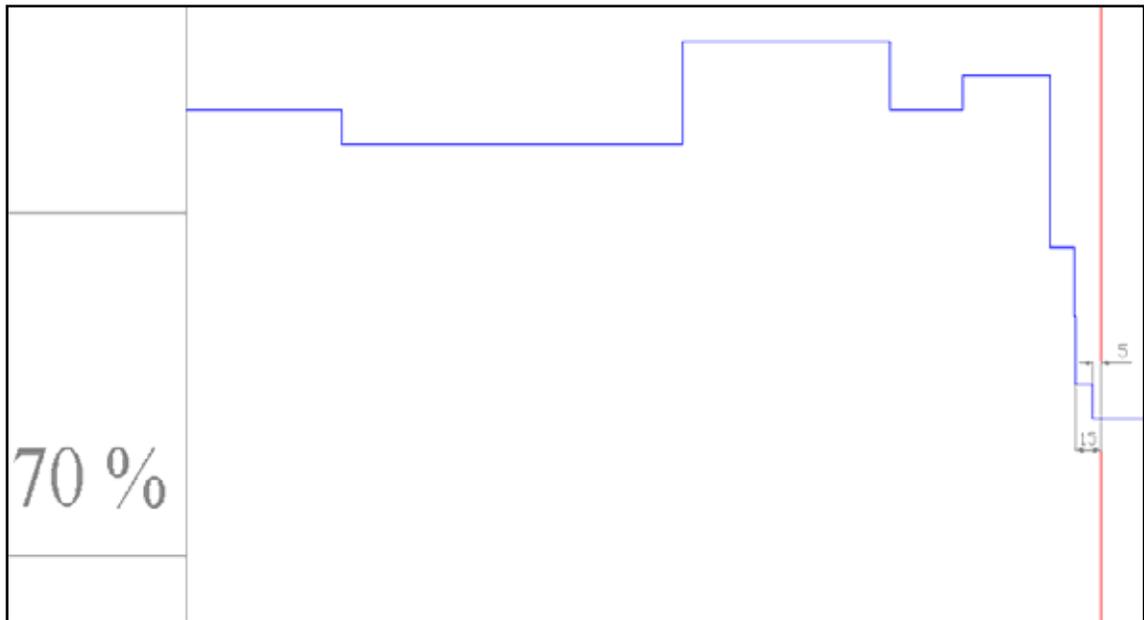


II-c

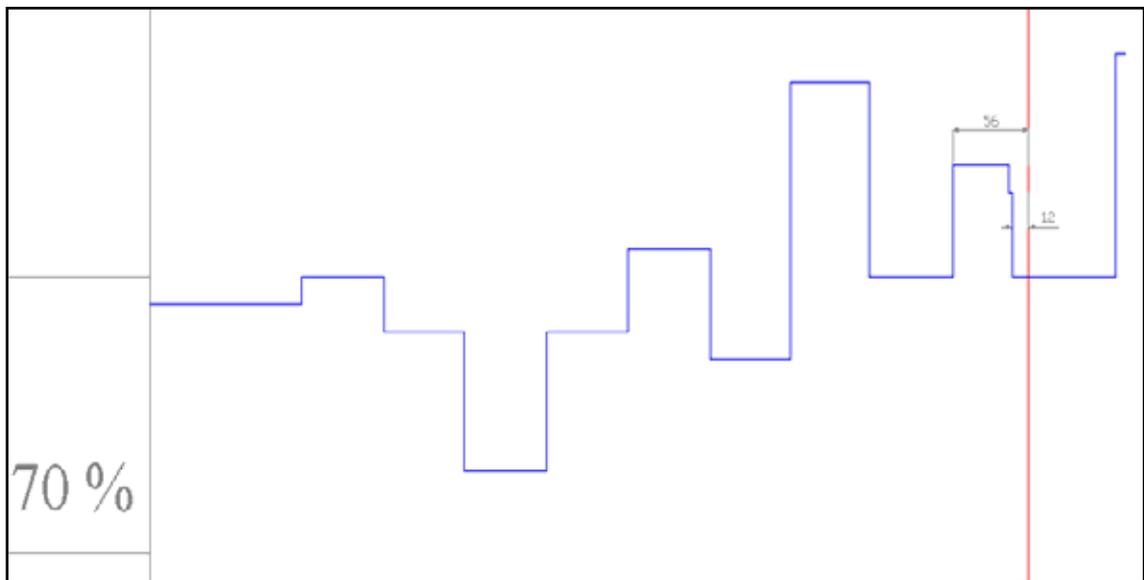


III-a

ANEXO 11: Análisis de patrones en la generación de tacos de causas desconocidas (hoja 10).

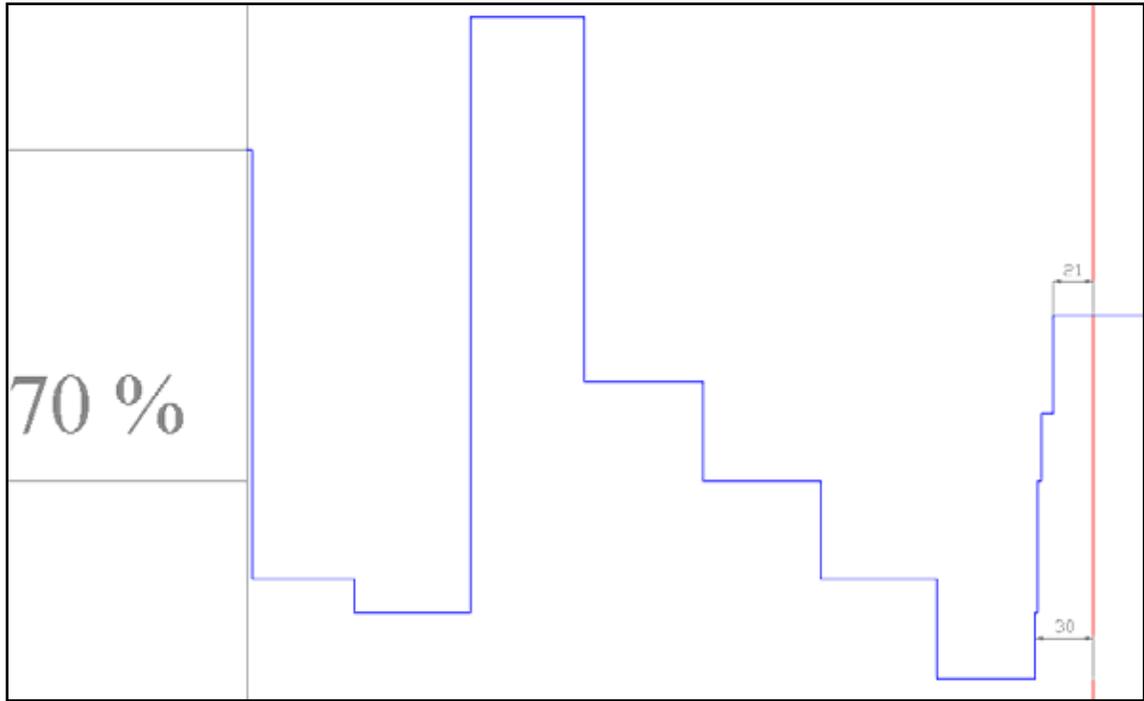


III-b

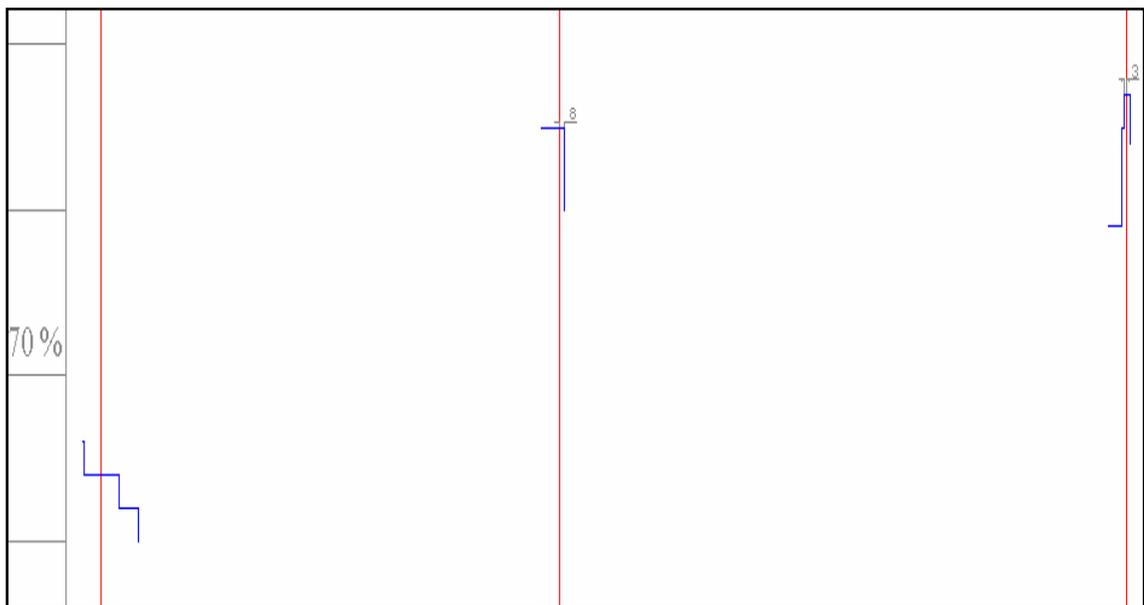


IV-a

ANEXO 11: Análisis de patrones en la generación de tacos de causas desconocidas (hoja 11).



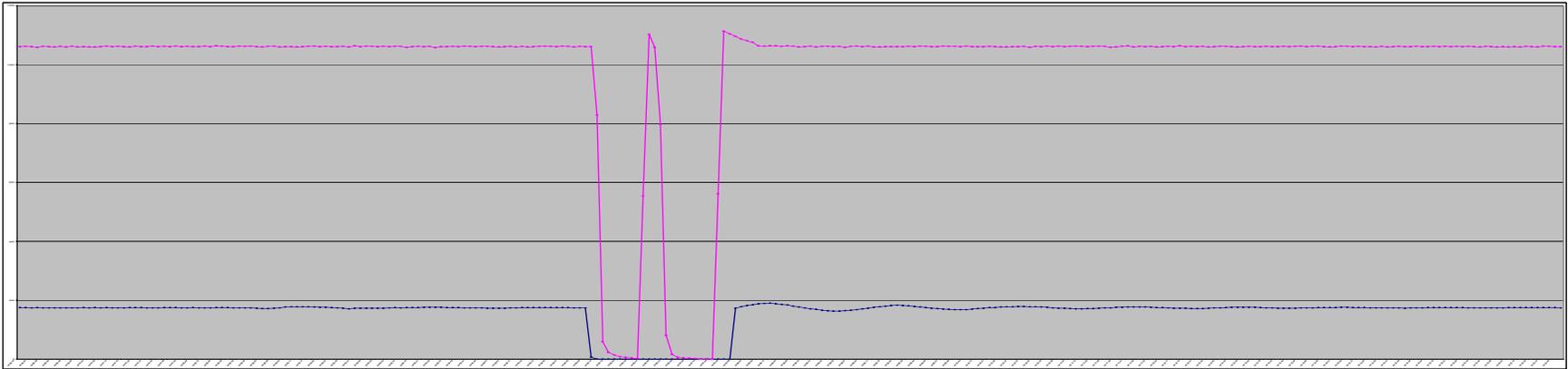
V-a



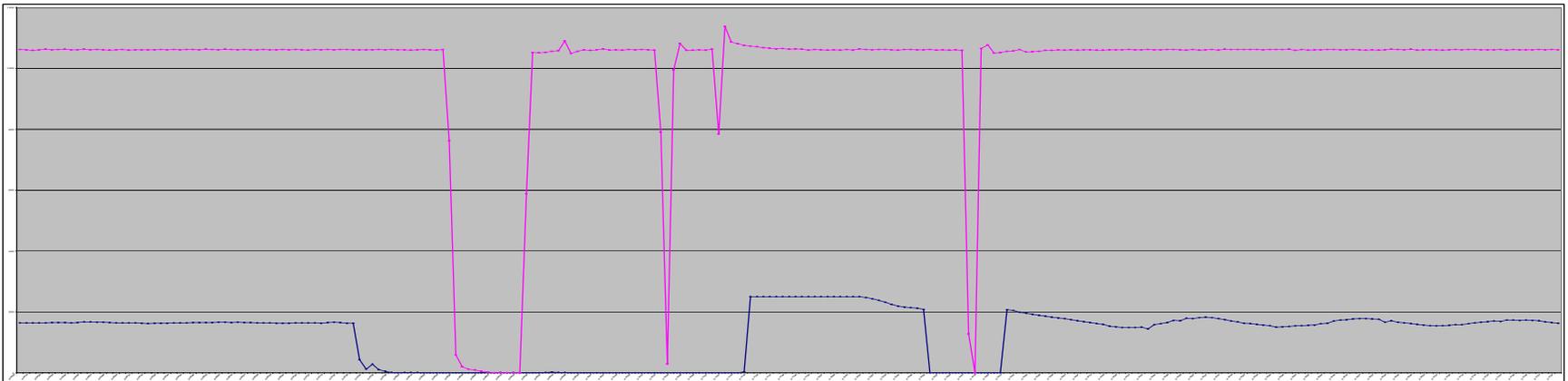
VI-a

ANEXO 12: Variaciones en el flujo de hojuelas salida silo seco de superficie

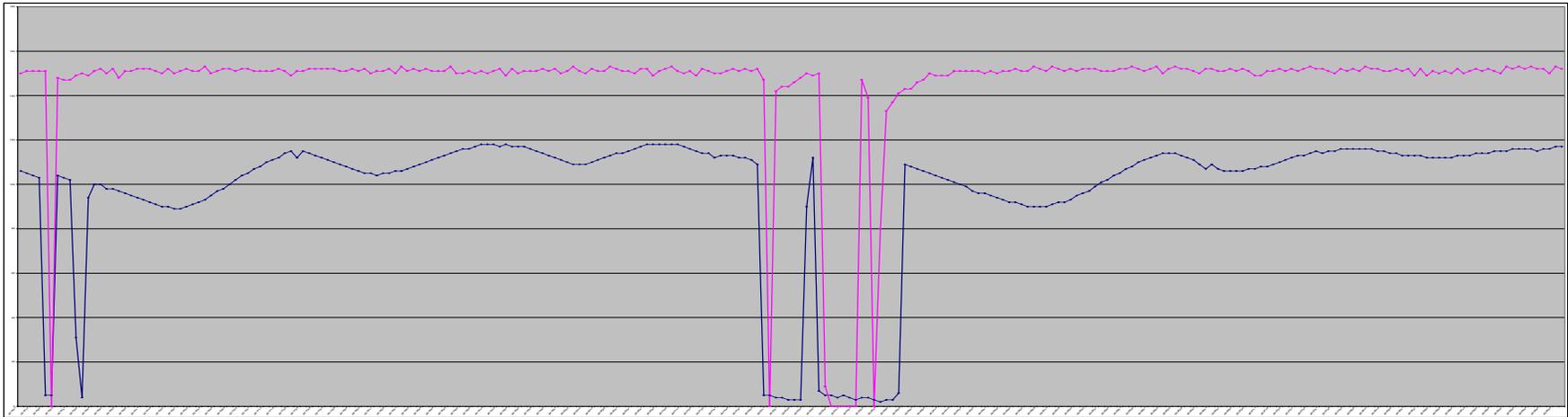


ANEXO 13: Ejemplos de flujos de resina y cera**13.1 Línea de superficie.**

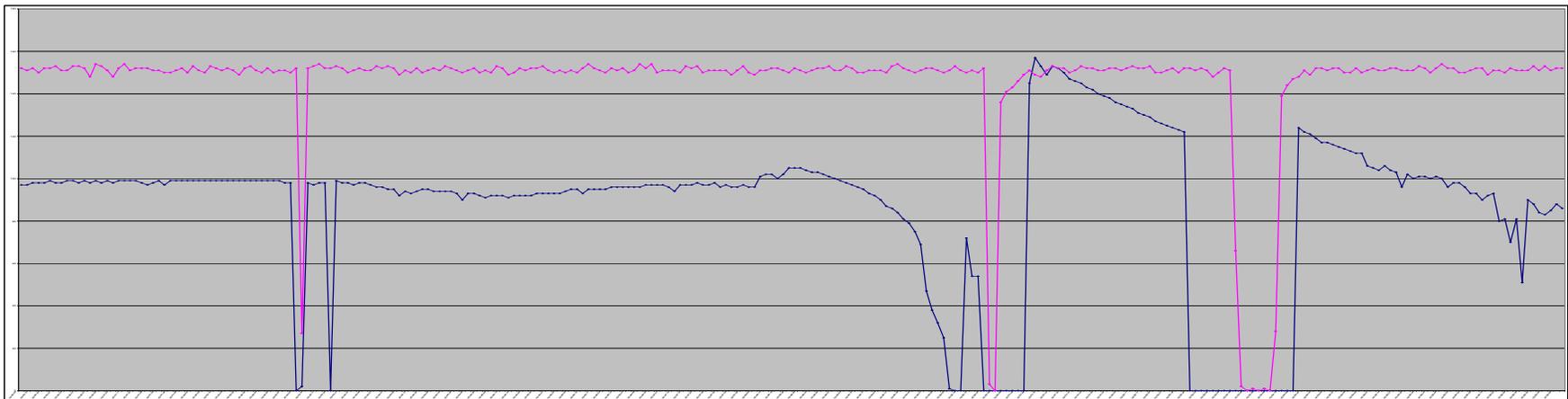
Feb 4 15.00-15.16 (Resina; Cera).



Mar 19 02.04-02.17 (Resina; Cera).

13.2 Línea de Centro.

Mar 17 20.15-20.29 (Resina; Cera).



May 20 15.40-15.56 (Resina; Cera)

ANEXO 14: Determinación caudales nominales de cera

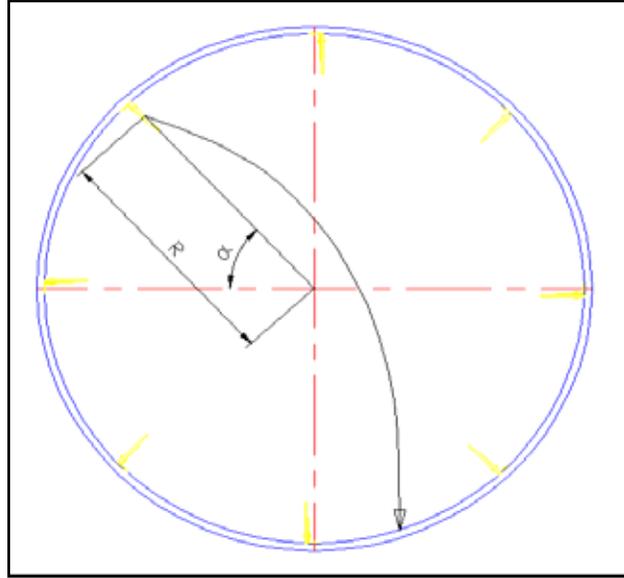
14.1 Flujo másico nominal de Cera

Producto	Mix Utilizado	Porcentaje Fabricación	Flujo Cera (kg/min)		Flujo Cera Ponderado (kg/min)	
			Superficie	Centro	Superficie	Centro
Nacional 11,1	M1	36,13	1,55	1,05	0,560	0,379
Nacional 9,5	M1	34,5	1,45	1	0,500	0,345
Nacional 15,1	M1	12,15	1,6	1,1	0,194	0,134
Siding 11,1	A2N	5,54	1,6	1,3	0,089	0,072
Multiplac 9,5	N	5,4	0,7	0,45	0,038	0,024
Ecoform 19,1	M2	2	1,7	1,7	0,034	0,034
Piso 19,1	M2	1,88	1,67	1,13	0,031	0,021
Nacional 18,3	M2	1,7	1,6	1,1	0,027	0,019
Multiplac 18,3	M2	0,38	0,7	0,5	0,003	0,002
Siding 9,5	A2N	0,32	1,4	1,12	0,004	0,004
FLUJO NOMINAL DE CERA (kg/min)					1,481	1,034
Rango General Flujo de cera (kg/min)			0,45 - 1,7			
Rango Flujo de Cera por línea (kg/min)			0,7 - 1,7	0,45 - 1,7		

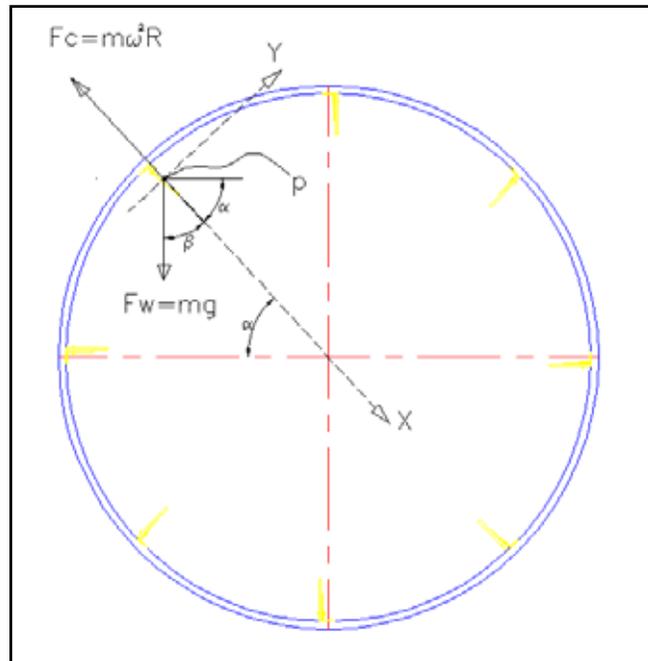
14.2 Caudal volumétrico nominal de cera.

Producto	Mix Utilizado	Caudal de Cera por producto	
		Superficie	Centro
Nacional 11,1	M1	97,89	66,32
Nacional 9,5	M1	91,58	63,16
Nacional 15,1	M1	101,05	69,47
Siding 11,1	A2N	101,05	82,11
Multiplac 9,5	N	44,21	28,42
Ecoform 19,1	M2	107,37	107,37
Piso 19,1	M2	105,47	71,37
Nacional 18,3	M2	101,05	69,47
Multiplac 18,3	M2	44,21	31,58
Siding 9,5	A2N	88,42	70,74
Caudal Nominal Cera (l/h)		93,53	65,29
Rango General Caudal cera (l/h)		28,42	107,37
Rango Caudal Cera por línea (l/h)		44,21 - 107,37	28,42 - 107,37

ANEXO 15: Determinación del ángulo de desprendimiento α en función de las fuerzas de peso y centrípeta



Ángulo de desprendimiento α .



Fuerzas que actúan.

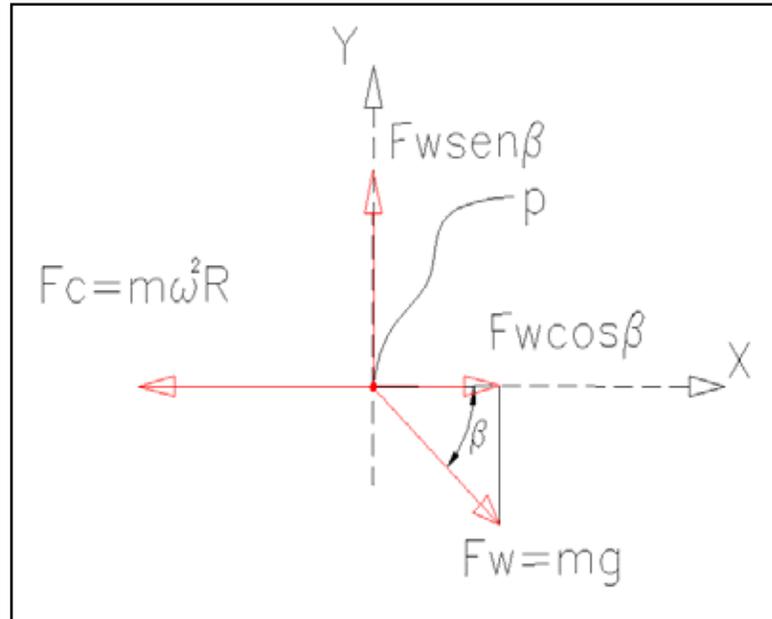


Diagrama de cuerpo libre.

Sumatoria de fuerzas en el eje x:

$$\sum F_x = 0$$

$$F_w \cos \beta - F_c = 0$$

$$mg \cos \beta - m\omega^2 R = 0$$

$$\cos \beta = \frac{\omega^2 R}{g}$$

En términos de α , se tiene:

$$\beta = 90 - \alpha$$

$$\cos \beta = \cos(90 - \alpha)$$

$$\cos(a - b) = (\cos a)(\cos b) + (\sin a)(\sin b)$$

Por lo tanto:

$$\text{Cos}(90 - \alpha) = \text{Sen}\alpha$$

$$\text{Cos}\beta = \text{Sen}\alpha$$

Reemplazando, se tiene:

$$\text{Sen}\alpha = \frac{w^2 R}{g}$$

Despejando α :

$$\alpha = \text{Sen}^{-1}\left(\frac{r\omega^2}{g}\right)$$

ANEXO 16: Variación del incremento l , según velocidad de rotación del *blender*

En las figuras que siguen se muestra de forma gráfica como varía el incremento de distancia l en cada revolución del *blender*, según aumento de velocidad de rotación (baja, intermedia y alta).

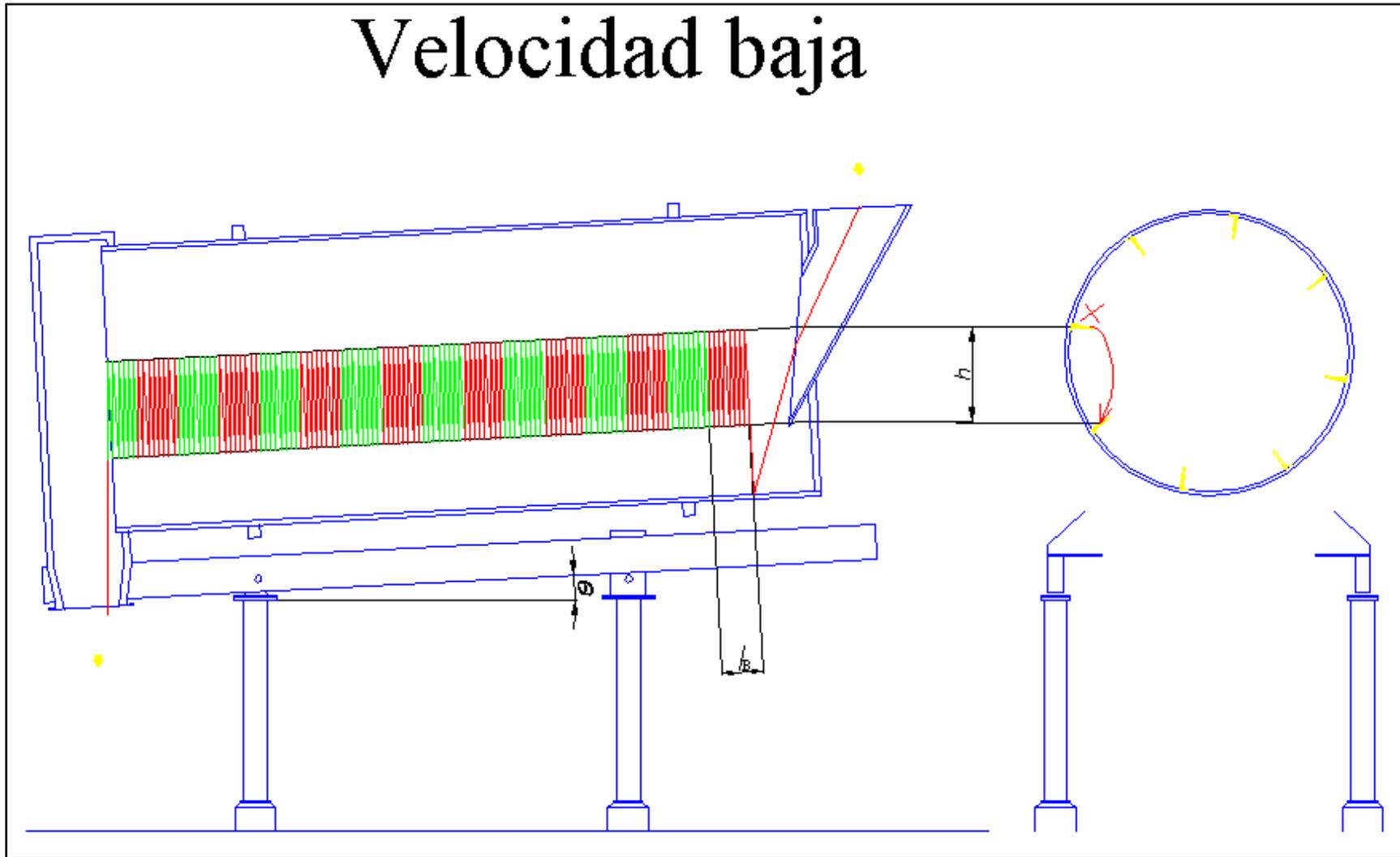
De esta manera, se puede entender mejor como la velocidad y el ángulo de inclinación del tambor dictan el tiempo de residencia de las hojuelas.

Cabe señalar, que éstas figuras muestran de forma simplificada y a modo de comparación lo que sucede con el incremento l , ya que en la realidad l es mucho mayor debido a que las hojuelas al caer se desparraman, avanzando así de forma más rápida hacia el chute de salida.

Las figuras muestran al *blender* de la planta con sus dimensiones a escala, en corte longitudinal y transversal.

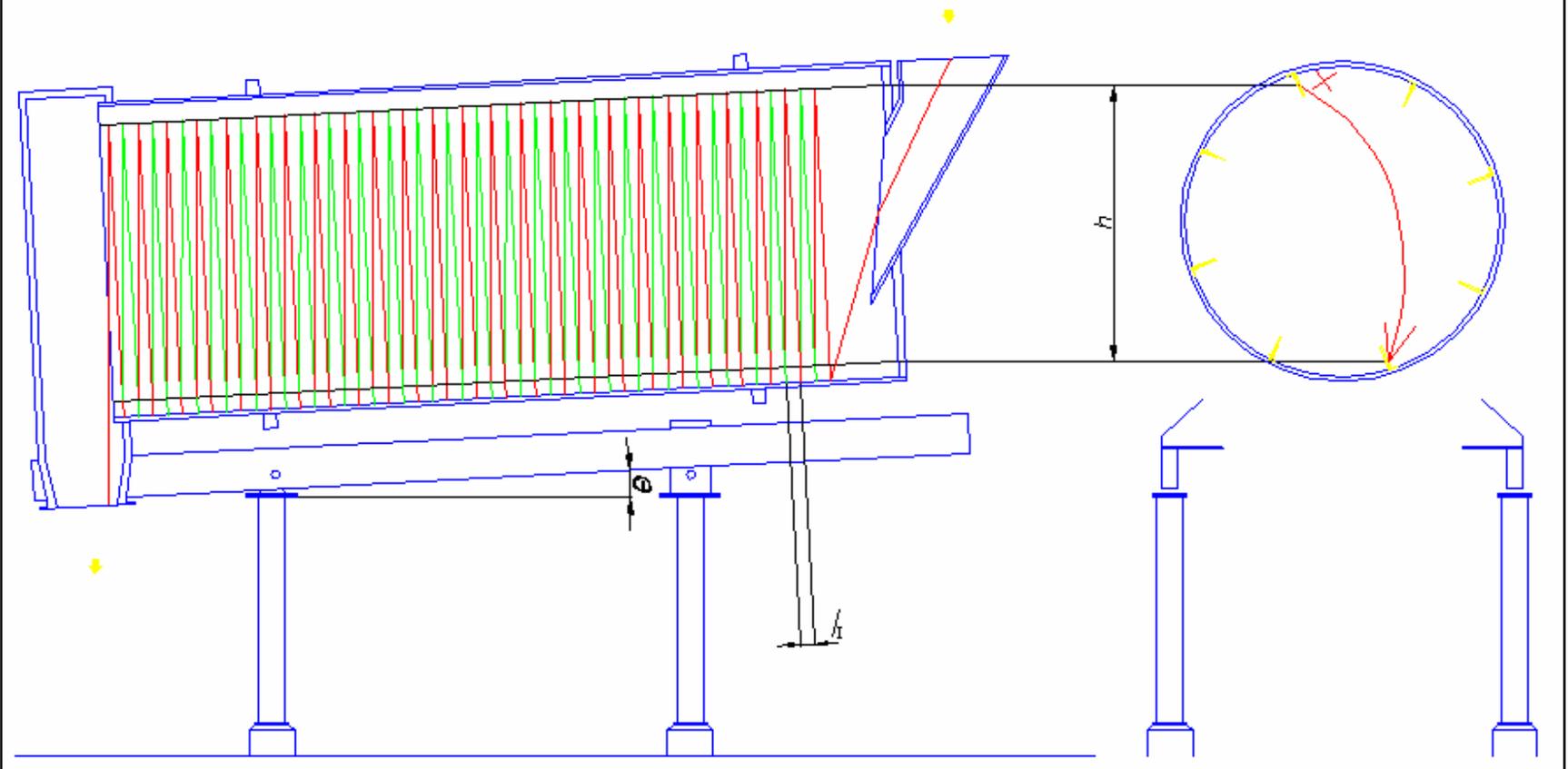
La trayectoria de una hojuela se muestra con una línea roja y verde. Cada cambio de color entre rojo y verde significa el incremento de distancia l por cada revolución.

Velocidad baja

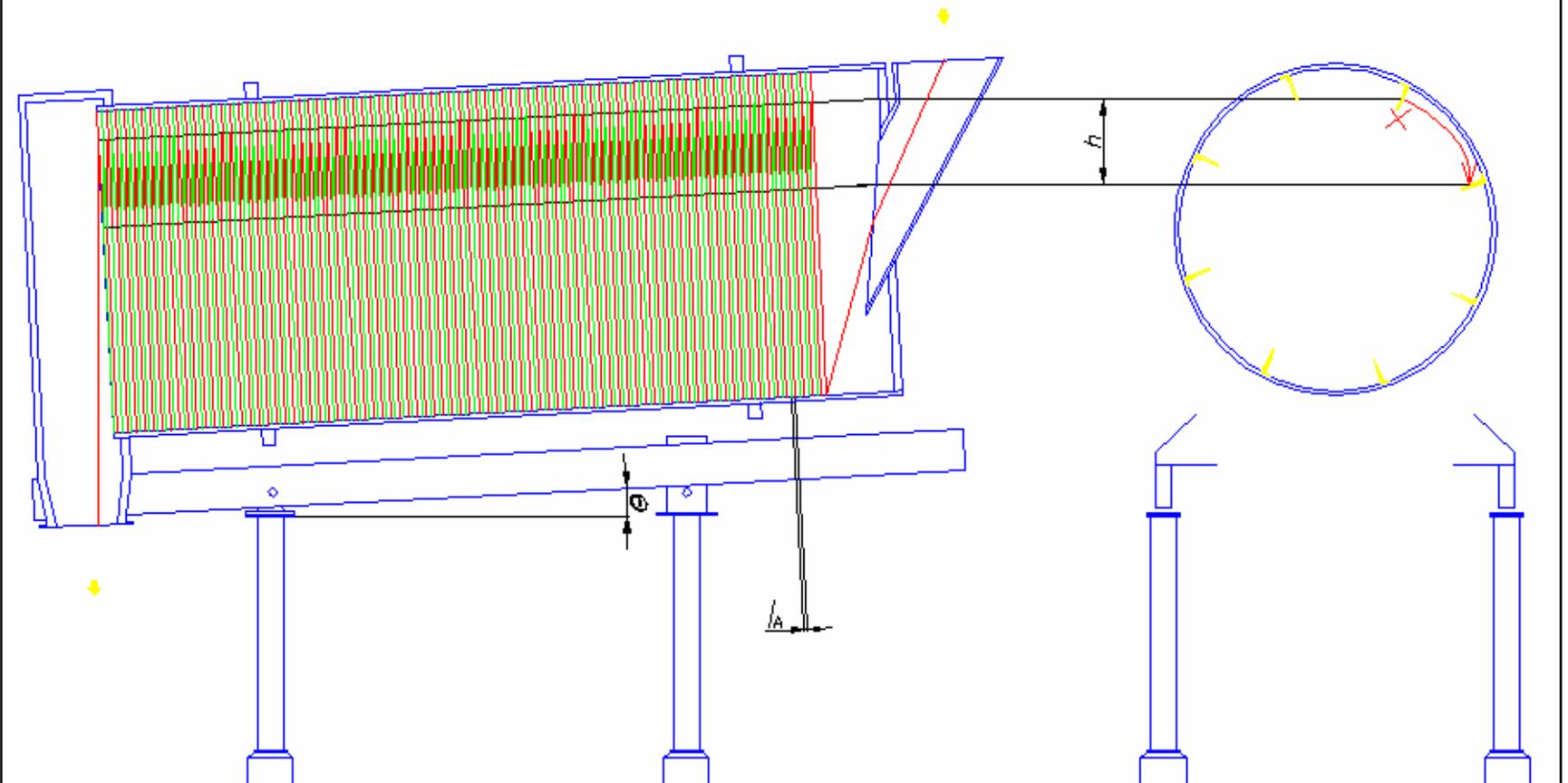


Velocidad intermedia

(Considerando que el tiempo de caída de la hojuela es tal, que lo hace en una revolución del tambor).



Velocidad alta



ANEXO 17: Narrativas para el diseño de lógicas de control

17.1 Narrativa lógica de control de proporción basado en masa

Como se sabe, control de proporción consiste en generar una razón de la forma A/B , donde A y B son constantes o variables, provenientes de un proceso determinado, y producir consignas de control relacionadas directamente con dicho valor de razón, para mantenerlo en la cifra deseada.

El sensor de flujo ubicado en el circuito hidráulico (FE), en sala de resina, entrega señales eléctricas del tipo de corriente de 4-20 mA, relacionadas directamente con distintos flujos máscicos de adhesivo-cera en circulación. Al mismo tiempo, un medidor de masa (WE), pesa dinámica, entrega una señal de corriente de 4-20mA, en función de una medida de flujo máscico que se esté actualmente midiendo. La ubicación de dicho medidor es en los transportes, y salida de silos secos, para ambas líneas de producción. Ambas señales de corriente, (FE) y (WE), ingresan al PLC por sus entradas análogas, procesando la información como el cuociente $(WE)/(FE)$, ajustándose a un set-point de razón ingresado a PLC. Para lograr el ajuste, se varía el flujo de adhesivo-cera (FE), es decir, el PLC entrega una señal hacia el variador de frecuencia del motor de bomba adhesivo-cera, logrando de esta manera el cambio de flujo deseado, y llevando a cabo el ajuste necesario. El variador de frecuencia debe ser accionado de manera tal que el tiempo de respuesta desde el envío de la señal desde el PLC hasta la señal entregada por el flujómetro, debe ser pequeño. Por esto es necesario trabajar con una rampa de aceleración adecuada, permitiendo una partida del motor ni tan rápida ni tan lenta, garantizando así un control eficiente.

17.2 Narrativa lógica de control de proporción basado en volumen

El medidor de sección (SE), ubicado en los transportes de salida de los silos secos, para ambas líneas de producción, sensa un área efectiva, en que se encuentran las hojuelas, enviando esta información hacia el PLC. Además, a dicho medidor, ubicado en el mismo entorno, se le asocia un sensor de velocidad (SS), cuya señal es enviada al mismo PLC. Ambas señales corresponden a corrientes de 4-20 mA, las cuales, en conjunto, transforman al grupo sensor sección-velocidad en un medidor de flujo volumétrico de hojuelas (VE).

El sensor de flujo ubicado en el circuito hidráulico (FE), en sala de resina, entrega señales eléctricas del tipo de corriente de 4-20 mA, relacionadas directamente con distintos flujos volumétricos de adhesivo-cera en circulación. Ambas señales de corriente, (FE) y (VE), ingresan al PLC por sus entradas análogas, procesando la información como el cociente $(VE)/(FE)$, ajustándose a un set-point de razón ingresado a PLC. Para lograr el ajuste se varía el flujo de adhesivo-cera (FE), es decir, el PLC entrega una señal hacia el variador de frecuencia del motor de bomba adhesivo-cera, logrando de esta manera el cambio de flujo deseado, y llevando a cabo el ajuste necesario. El variador de frecuencia debe ser accionado de manera tal que el tiempo de respuesta desde el envío de la señal desde el PLC hasta la señal entregada por el flujómetro debe ser pequeño. Es por esto, la necesidad de trabajar con una rampa de aceleración adecuada, permitiendo una partida del motor ni tan rápida ni tan lenta, garantizando así un control eficiente.

17.3 Narrativa lógica de control llenado de silos de formadoras, mediante control secuencia-regulación

Cada sensor de nivel fotoeléctrico, destinado a medir el 50% de carga de los silos de formadoras, tiene como objetivo dar aviso en el instante que éstos se están quedando sin carga. La naturaleza binaria del sensor permite que éste entregue una señal discreta. Dicho sensor se encuentra activado en todo momento, excepto si el silo de formadora se encuentra cargado en menos del 50% de su capacidad. Por otro lado, la señal discreta proveniente del sensor ingresa hacia un PLC, realizando un programa determinado. Dicho programa consiste básicamente en detectar el cambio de estado del funcionamiento del sensor (flanco de bajada). Si es así, se debe activar un temporizador, cuyo tiempo de duración debe ser determinado. Si al término del temporizador el sensor no entrega una señal ON permanente, el programa debe ser capaz de forzar al PLC para que envíe una señal de orden hacia el variador de frecuencia, que es el que controla la velocidad de encolado, y aumentar tal rapidez en un porcentaje por determinar, hasta lograr el estado de funcionamiento permanente del sensor (ON prolongado). Lo anterior implica que la carga de la formadora se encuentra en el nivel adecuado.