

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE ACONDICIONAMIENTO Y DEL SISTEMA DE TRANSPORTE DE TABACO, PARA REDUCIR EL IMPACTO EN LA DEGRADACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por la Br. Lander B., Jennifer
Para optar al título
de Ingeniero Químico

Caracas, Junio 2005

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE ACONDICIONAMIENTO Y DEL SISTEMA DE TRANSPORTE DE TABACO, PARA REDUCIR EL IMPACTO EN LA DEGRADACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Mary Luz Alonso

TUTOR INDUSTRIAL: Ing. Luis D. Contreras

Ing. Vincenzo De Lellis

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por la Br. Lander B., Jennifer
Para optar al título
de Ingeniero Químico

Caracas, Junio 2005



Facultad de Ingeniería

ACTA MENCIÓN HONORÍFICA

Los abajo firmantes, miembros del jurado examinador del Trabajo Especial de Grado de la Bachiller: Jennifer Lander Bastidas Ci. 13.114.776, cuyo título es "EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE ACONDICIONAMIENTO Y DEL SISTEMA DE TRANSPORTE DE TABACO, PARA REDUCIR EL IMPACTO EN LA DEGRADACIÓN DE LA MATERIA PRIMA", queremos dejar constancia del excelente nivel del trabajo realizado, ya que el mismo en cuanto a su ejecución, presentación y utilidad de los resultados ameritó que se le asignara la nota máxima obtenible en estos casos: Veinte puntos (20). Así mismo, hemos decidido concederle Mención Honorífica como un reconocimiento a la excelencia del trabajo realizado, por el aporte significativo a la solución del problema planteado por la Empresa *Cigarrera Bigott, Sucs.*, y por su valiosa contribución en el proceso de mejoramiento continuo.

Dado en Caracas, a los 13 días del mes de junio del año dos mil cinco.

Prof. Luis García
Jurado Principal

Prof. José A. Sorrentino
Jurado Principal

Ing. Luis D. Contreras
Tutor Industrial



BIGOTT

Ing. Vincenzo De Lellis
Tutor Industrial

Prof. Mary Luz Alonso
Tutor Académico

Caracas, Junio de 2005

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Química, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por la Bachiller Jennifer Lander B., titulado:

“Evaluación del sistema de acondicionamiento y del sistema de transporte de tabaco, para reducir el impacto en la degradación de la materia prima”

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Químico, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran APROBADO.

Prof. Luis García
Jurado

Prof. José A. Sorrentino
Jurado

Ing. Vincenzo De Lellis
Tutor Industrial

Ing. Luis D. Contreras
Tutor Industrial

Prof. Mary Luz Alonso
Tutor Académico

Miguel Ignacio...

*Para esa personita
a quien dedico
no solo este trabajo,
sino mi vida entera.*

RECONOCIMIENTOS

A mis padres y hermanos ...

Por ser ejemplo de vida, mi apoyo seguro en todo momento.

Miguelangel y Miguel Ignacio ...

Mis grandes amores, por hacer cada día tan especial.

A mis segundos padres y hermanos ...

Por todo el cariño y ayuda que siempre me brindan.

Universidad Central de Venezuela ...

La casa que vence la sombra, por la enseñanza recibida.

Prof. Mary Luz Alonso ...

Por ser más que una excelente profesora, por tanta dedicación.

Cigarrera Bigott ...

Por permitirme realizar esta experiencia y crecer como profesional. A Gladys Palacios, no sólo por haberme dado la oportunidad, sino su amistad; a Luis Contreras, por creer en el proyecto, por creer en mí; a Luis Vásquez, Álvaro Salazar, Víctor Montilla, Vincenzo De Lellis y a quien siempre recuerdo con cariño Juan J. Barraza por ser libros abiertos y dejarme *aprender de los mejores!!*.

Y a todas aquellas personas que de una u otra manera contribuyeron con la realización de este Trabajo Especial de Grado.

A todos ... Gracias!

Lander B., Jennifer

EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE ACONDICIONAMIENTO Y DEL SISTEMA DE TRANSPORTE DE TABACO, PARA REDUCIR EL IMPACTO EN LA DEGRADACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

Tutor Académico: Prof. Mary Luz Alonso. Tutor Industrial: Ing. Luis D. Contreras, Ing. Vincenzo de Lellis. Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química. Año 2005, 135 p.

Palabras Claves: Tabaco, Acondicionamiento del Tabaco, Sistema neumático de transporte.

Resumen. El presente trabajo se realizó con el fin de evaluar el nivel de degradación del tabaco generado por el acondicionamiento del mismo dentro del Almacén de Tabaco y por su traslado hacia las máquinas elaboradoras de cigarrillos a través del sistema neumático de transporte. Después de un análisis de las causas potenciales, se determinó que existen oportunidades de mejora importante en las dos etapas de los procesos citados.

Para que la calidad del cigarrillo como producto final sea la esperada por los consumidores, es necesario monitorear a lo largo del proceso ciertas variables de interés como los son el porcentaje de humedad del tabaco, el porcentaje de tabaco aprovechable y la capacidad volumétrica. Para esto se realizaron mediciones de las mismas una vez que la materia prima ingresó en el Almacén de Tabaco, cuando abandonó el almacén para ser transportado al Departamento de Elaboración y finalmente cuando arribó a su destino final, las máquinas elaboradoras.

Los resultados de esta experiencia reflejaron que en el tiempo que el tabaco permanece dentro del almacén cuyas condiciones existentes hoy en día muestran que el porcentaje de humedad relativa del aire varía entre 55.7% y 59.1% y la temperatura entre 23.2 °C y 24.2°C, el porcentaje de humedad varía entre 0.25% y 1% y que la disminución del porcentaje de tabaco aprovechable se encuentra entre 7.8% y 12.2%; mientras que los valores de capacidad volumétrica permanecieron estables. De esta manera se pudo comprobar que existe una relación entre el acondicionamiento del tabaco y su nivel de degradación.

Haciendo uso de una cámara acondicionadora se programaron distintas condiciones de humedad relativa manteniendo la temperatura en 21° C para conocer las curvas de equilibrio del tabaco, con éstas se obtuvo que 65% de humedad relativa del aire es la condición óptima de acondicionado ya que la humedad de equilibrio del sólido fue de (14.8 ± 0.3) %, el mismo porcentaje de humedad que estipulan las especificaciones. Por lo tanto, después de comparar las distintas alternativas, se decidió humidificar con vapor mediante equipos colocados en el área.

Con el fin de determinar la influencia del sistema neumático en la degradación del tabaco, se ejecutaron una serie de pruebas en donde se regulaba la velocidad de transporte en varios rangos de operación, los resultados señalan que el rango óptimo para la velocidad del aire está comprendido entre 17-20 m/s ya que para dicha situación se generó el menor porcentaje de polvillo (4.5%).

Como en estos momentos existe un sistema de control de velocidades, se realizaron mediciones de velocidad de transporte por cada elaboradora y se encontró que todas ellas estaban por encima de lo estipulado. Entonces, surge la necesidad de una nueva propuesta para el sistema de control cuya demanda puede ser cubierta por las dos propuestas evaluadas proporcionadas por las compañías MCL Control y ABB.

No obstante mantener tanto el acondicionamiento adecuado en el Almacén de Tabaco como la velocidad óptima de transporte no colaboran en su totalidad con la disminución de desperdicio; evaluando la configuración del sistema neumático se encontraron diversos factores que obstaculizan el traslado, como uniones inadecuadas entre tuberías, codos con radios de curvatura muy pronunciados, etc. Se tomaron estas oportunidades de mejora para el diseño de un nuevo layout de la línea estudiada.

Juntas todas las propuestas, representan la oportunidad de reducir el impacto sobre el nivel de degradación de la materia prima.

INDICE

Lista de Símbolos	VI
Lista de Tablas y Figuras	VII
CAPÍTULO I: Capítulo Introductorio	1
Introducción	1
1.1. Objetivos	3
CAPÍTULO II: Fundamentos Teóricos	4
2.1. Cigarrera Bigott Sucs.	4
2.2. Tabacos	5
2.2.1. Curados al horno	6
2.2.2. Curados al aire	6
2.2.3. Curados al sol	7
2.2.4. Pisos Foliares	8
2.2.5. Mezcla de Tabacos	9
2.2.6. Procesamiento del Tabaco	10

2.3. Humidificación	13
2.4. Humidificadores	16
2.4.1. Humidificación con Vapor	17
2.4.1.1. Humidificadores de inyección directa	18
2.4.1.2. Humidificadores de vapor a vapor	18
2.4.1.3. Humidificadores de vapor eléctricos	19
2.4.1.4. Humidificadores con cama iónica (Eléctricos)	19
2.4.1.5. Humidificadores con cama iónica (Gas)	20
2.4.2. Humidificación con Sistema Nebulizador	20
2.5. Sistema de Transporte Neumático	22
2.6. Producto Final: El Cigarrillo	29
CAPÍTULO III: Descripción del Proceso a Estudiar	31
Descripción del Proceso	31
CAPÍTULO IV: Metodología y Plan de Experiencias	34
4.1. Principales Variables de Interés	35

4.1.1. Comportamiento Actual de las Variables de Interés	35
4.2. Acondicionamiento de la Materia Prima	40
4.2.1. Condiciones Actuales del Almacén de Tabaco	40
4.2.2. Comportamiento Actual del Tabaco dentro del Almacén	42
4.2.3. Condiciones Óptimas de Acondicionado	44
4.3. Sistema Neumático de Transporte	47
4.3.1. Sistema de Control de Velocidad del Aire	47
4.3.1.1. Condiciones Actuales de Operación	47
4.3.1.2. Condiciones Óptimas de Operación	50
4.3.2. Configuración del Sistema Neumático de Transporte	55
4.3.2.1. Condiciones Actuales de Operación	55
4.3.2.2. Condiciones Óptimas de Operación	58
4.4. Acondicionamiento de la Materia Prima y Transporte Neumático	58
CAPÍTULO V: Resultados y Discusión de Resultados	63
5.1. Principales Variables de Interés	64

5.1.1. Comportamiento Actual de las Variables de Interés	64
5.2. Acondicionamiento de la Materia Prima	70
5.2.1. Condiciones Actuales del Almacén de Tabaco	70
5.2.2. Comportamiento Actual del Tabaco dentro del Almacén	74
5.2.3. Condiciones Óptimas de Acondicionado	76
5.2.4. Propuesta para el sistema de acondicionamiento	82
5.3. Sistema Neumático de Transporte	88
5.3.1. Sistema de Control de Velocidad del Aire	88
5.3.1.1. Condiciones Actuales de Operación	88
5.3.1.2. Condiciones Óptimas de Operación	91
5.3.1.3. Propuesta para el sistema de control de velocidades	95
5.3.2. Configuración del Sistema Neumático de Transporte	102
5.3.2.1. Condiciones Actuales de Operación	102
5.3.2.2. Condiciones Óptimas de Operación	104
5.4. Acondicionamiento de la Materia Prima y Transporte Neumático	106

Conclusiones y Recomendaciones	109
Referencias Bibliográficas	112
Apéndice A: Recolección de Datos	114
Apéndice B: Procedimientos	129
Anexos	134

LISTA DE SIMBOLOS

<i>Simbología</i>	<i>Descripción</i>	<i>Dimensiones</i>
C	Coeficiente de pitot	Adimensional
g	Aceleración de gravedad	L/θ ²
HR	Humedad relativa	%
M_A	Peso molecular del vapor de agua	M/mol
M_B	Peso molecular del aire seco	M/mol
P_A	Presión de vapor a la temperatura del bulbo seco	F/L ²
\bar{P}_A	Presión parcial del vapor de agua	F/L ²
P _i	Presión de impacto	F/L ²
P _s	Presión estática local	F/L ²
P_t	Presión total	F/L ²
Re	Número de Reynolds	Adimensional
ρ	Densidad del fluido	M/L ³
T _G	Temperatura del bulbo seco	T
V_{\max}	Velocidad máxima del fluido	L/θ
V_{media}	Velocidad promedio del fluido	L/θ
Y'	Humedad absoluta	M/M

LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

<i>TABLAS</i>	<i>Pág.</i>
Tabla N° 1 Comparación de algunas propiedades según el tipo de tabaco	5
Tabla N° 2 Comparación de tipos de blend	10
Tabla N° 3 Humedades Relativas Recomendadas	16
Tabla N° 4 Comparación de los distintos métodos de humidificación	21
Tabla N° 5 Comportamiento de la Temperatura y Humedad Relativa dentro del Almacén de Tabaco	70
Tabla N° 6 Promedio de velocidades medias para cada elaboradora en el Departamento de Elaboración de Cigarrillos	89
Tabla N° 7 Cantidad promedio de tabaco transportado vs. Cantidad promedio de polvillo generado para cada rango de velocidades establecidas	91
Tabla N° 8 Datos teóricos y datos experimentales referenciales para estimar la condición de flujo	93
Tabla N° 9 Variables involucradas en el diseño actual del sistema de transporte neumático	102
Tabla N° 10 Variables involucradas en el nuevo diseño del sistema de transporte neumático	104
Tabla N° 11 Cantidad de tabaco transportado vs. Cantidad de polvillo generado para cada condición de acondicionamiento	106
Tabla N° 12 Comportamiento actual del porcentaje de Tabaco Aprovechable para la marca “A”	114
Tabla N° 13 Comportamiento actual del porcentaje de Tabaco Aprovechable para la marca “B”	114

Tabla N° 14	Comportamiento actual del porcentaje de Humedad del Tabaco para la marca “A”	115
Tabla N° 15	Comportamiento actual del porcentaje de Humedad del Tabaco para la marca “B”	115
Tabla N° 16	Comportamiento actual de la Capacidad Volumétrica para la marca “A”	116
Tabla N° 17	Comportamiento actual de la Capacidad Volumétrica para la marca “B”	116
Tabla N° 18	Comportamiento del Porcentaje de Humedad del Tabaco dentro del Almacén de Tabaco	119
Tabla N° 19	Comportamiento del Porcentaje de Humedad del Tabaco dentro de la cámara de acondicionado a 21 °C y 55% Humedad Relativa ..	120
Tabla N° 20	Comportamiento del Porcentaje de Humedad del Tabaco dentro de la cámara de acondicionado a 21 °C y 60% Humedad Relativa ..	121
Tabla N° 21	Comportamiento del Porcentaje de Humedad del Tabaco dentro de la cámara de acondicionado a 21 °C y 65% Humedad Relativa ..	122
Tabla N° 22	Comportamiento del Porcentaje de Humedad del Tabaco dentro de la cámara de acondicionado a 21 °C y 70% Humedad Relativa ..	123
Tabla N° 23	Promedio de velocidades medias para cada elaboradora en el Departamento de Elaboración de Cigarrillos	124
Tabla N° 24	Cantidad de tabaco transportado vs. Cantidad de polvillo generado para cada rango de velocidades establecido en la prueba #1	125
Tabla N° 25	Cantidad de tabaco transportado vs. Cantidad de polvillo generado para cada rango de velocidades establecido en la prueba #2	125
Tabla N° 26	Cantidad de tabaco transportado vs. Cantidad de polvillo generado para cada rango de velocidades establecido en la prueba #3	126

Tabla N° 27	Cantidad de tabaco transportado vs. Cantidad de polvillo generado para cada rango de velocidades establecido en la prueba #4	126
Tabla N° 28	Variables involucradas en el diseño actual del sistema de transporte neumático	127
Tabla N° 29	Cantidad de tabaco transportado vs. Cantidad de polvillo generado para cada condición de acondicionamiento	128

FIGURAS

Figura N° 1	Partes de la planta de tabaco	8
Figura N° 2	Productos del proceso de desvenado	10
Figura N° 3	Procesamiento del Tabaco	12
Figura N° 4	Curvas de equilibrio aire-sólido para diversos materiales	15
Figura N° 5	Ilustración del proceso isotérmico de humidificación con vapor ...	17
Figura N° 6	Ilustración del proceso adiabático de humidificación	20
Figura N° 7	Distinto Sistemas de Transporte Neumático	24
Figura N° 8	Comportamiento del tabaco para distintas condiciones de flujo ...	25
Figura N° 9	Tubo de Pitot	27
Figura N° 10	Principales Componentes del Cigarrillo	29
Figura N° 11	Estrategia de control actual	33
Figura N° 12	Esquema del proceso de elaboración de cigarrillos	35
Figura N° 13	Esquema del almacén de Tabaco	40
Figura N° 14	Medición de la velocidad superficial del aire	48
Figura N° 15	Comportamiento actual del porcentaje de Tabaco Aprovechable y porcentaje de Humedad del Tabaco	65
Figura N° 16	Comportamiento actual de la Capacidad Volumétrica	68
Figura N° 17	Comportamiento de la Temperatura y Humedad Relativa dentro del Almacén de Tabaco en la semana 49, año 2004	71

Figura N° 18	Comportamiento del Porcentaje de Humedad del Tabaco dentro del Almacén de Tabaco	74
Figura N° 19	Comportamiento del Porcentaje de Humedad del Tabaco dentro de la cámara de acondicionado	77
Figura N° 20	Curva de humedad de equilibrio	80
Figura N° 21	Estrategia de control planteada para la propuesta N° 1	96
Figura N° 22	Estrategia de control planteada para la propuesta N° 2	99
Figura N° 23	Fotos del Levantamiento de la configuración actual del sistema neumático de transporte	103
Figura N° 24	Fotos de ejemplos para la configuración óptima del sistema neumático de transporte	105
Figura N° 25	Comportamiento de la Temperatura y Humedad Relativa dentro del Almacén de Tabaco en la semana 50, año 2004	117
Figura N° 26	Comportamiento de la Temperatura y Humedad Relativa dentro del Almacén de Tabaco en la semana 4, año 2005	118

CAPITULO I: Introducción.

Día a día en este mundo cada vez más globalizado, la optimización de los recursos y el uso de las materias primas para reducir los costos operativos y disminuir el impacto ambiental se transforman en un reto para todas las compañías. Los continuos cambios de las legislaciones y necesidades de los clientes, obligan a trabajar más de cerca en la mejoras de los procesos.

El tabaco representa el principal y más costoso material productivo para la compañía Bigott. La calidad sensorial y física de los productos, depende fundamentalmente en gran medida de la calidad del mismo y de las etapas de transformación que transita para darle al cliente lo que desea.

Existe una relación entre el acondicionamiento del tabaco y su traslado hacia las máquinas que elaboran el producto final; el sistema de transporte neumático comienza en el Almacén de Tabaco, si sus condiciones no son favorables, el tabaco empieza a degradarse y por consiguiente sufre mayores daños a través de los ductos de succión.

Para determinar si las condiciones actuales del almacén son las que se precisa tener, se realizarán mediciones de temperatura y humedad relativa dentro del mismo; posteriormente, se definirá el medio óptimo de acondicionamiento del tabaco mediante una serie de experiencias efectuadas en una cámara acondicionadora. Una vez obtenidos los resultados del proceso previo al traslado de tabaco, es necesario evaluar: el actual sistema de control de velocidades, con la ayuda de un tubo de pitot para verificar los valores de las mediciones, así como la configuración actual del sistema neumático.

Para esto último, se efectuará el levantamiento del arreglo de la línea de transporte y se evaluarán los puntos a optimizar, con ellos se propondrá una nueva configuración de la línea que permita trasportar la materia prima hasta su destino final, las elaboradoras de cigarrillo, causando el menor deterioro posible.

En el año 2000, se realizó un cambio en la configuración del sistema de transporte de tabaco y se implementó un sistema de control de velocidades en el mismo, con lo cual se logró reducir el porcentaje de desperdicio en 0,8%. Sin embargo, actualmente los niveles de desperdicio generados son elevados al compararlos con los históricos de la empresa.

Según las pruebas últimamente realizadas, se ha demostrado que el acondicionamiento previo a la elaboración del producto final presenta un comportamiento variable; en el transcurso del año 2003 se modificó la filosofía de trabajo y el posicionamiento de los controles de humedad en el área de almacenamiento, sin conseguir resultados apropiados.

Como empresa trasnacional orientada a altos niveles de calidad y generación de beneficios para sus accionistas en esta área controversial, está obligada a mantener un continuo monitoreo y control sobre las distintas etapas de procesamiento y transporte de la materia prima más preciada. Los sistemas de transporte y acondicionamiento del producto antes de ser transformado en cigarrillo, son el objetivo del estudio que se propone como tema de análisis en este Trabajo Especial de Grado. Con este trabajo se pretende precisar la situación que se tiene en la actualidad y la definición de propuestas rentables que permitan la reducción de los niveles de degradación de tabaco, para mantener una compañía de categoría mundial.

1.1. Objetivos

General:

- * Evaluar el nivel de degradación del tabaco generado por el acondicionamiento en el Cuarto de Almacén y por el sistema neumático de transporte.

Específicos:

- * Estudiar las condiciones de acondicionamiento actual de tabaco en el cuarto de almacenaje.
- * Establecer los correctivos necesarios que garanticen las condiciones de acondicionamiento de tabaco óptimas en el cuarto de almacenaje.
- * Proponer un nuevo sistema de acondicionamiento en el cuarto de almacenaje favorable desde el punto de vista costos-resultados.
- * Evaluar la configuración del sistema neumático de transporte de tabaco.
- * Calcular la velocidad de succión del sistema neumático de transporte y establecer la velocidad óptima de operación.
- * Evaluar la efectividad del sistema de control de velocidades utilizado actualmente en el sistema neumático de transporte de tabaco.
- * Proponer un sistema de control de velocidades favorable desde el punto de vista costos-resultados.
- * Presentar análisis técnicos y financieros de las propuestas formuladas para mitigar el impacto sobre el nivel de degradación del tabaco.

CAPITULO II: Fundamentos Teóricos.

En este capítulo se introducirá una breve descripción de la Compañía C.A. Cigarrera Bigott Sucs., así como también aspectos teóricos relevantes que servirán como base fundamental para el estudio realizado.

2.1. C.A. Cigarrera Bigott Sucs.

C.A. Cigarrera Bigott, Sucs. nació en Caracas, el viernes 7 de Enero de 1921. La empresa inicia sus actividades contando con una sola máquina de enrollar cigarrillos y veinte trabajadores.

La constante expansión de la empresa desde su creación originó la necesidad de trasladarse a nuevas sedes; sin embargo, para poder atender la demanda en crecimiento, en 1957 se levantó la primera gran fábrica de Los Dos Caminos, su actual sede.

En la región de Latinoamérica y el Caribe, Bigott ha logrado un sólido posicionamiento, alcanzando una participación de mas del 80% en el mercado nacional comercializando las marcas de mayor prestigio en el país: Belmont, Cónsul, Lucky Strike, Viceroy y Kent.

Bigott cuenta con tecnología especializada que le permite la producción de un promedio entre 55 y 70 millones de cigarrillos por día, manteniendo los más altos estándares de calidad en la elaboración del producto.

2.2. Tabacos

La columna de tabaco en un cigarrillo está compuesta por una selección de distintas clases de tabaco provenientes de diversos países, los cuales se combinan para lograr el aroma, el sabor y el carácter que satisfagan los gustos de los consumidores.

Existen principalmente tres tipos de tabaco, diferenciándose entre sí según el método utilizado para su proceso de curado:

- Curados al horno
- Curados al aire
- Curados al sol

Tabla N° 1: Comparación de algunas propiedades según el tipo de tabaco ⁽²⁾.

Propiedades	<i>Virginia</i>	<i>Burley</i>	<i>Oriental</i>
Método de Cura	Al Horno	Al Aire	Al Sol
Contenido de Nitrógeno	Bajo	Alto	Medio-Bajo
pH	Ligeramente Ácido	Ligeramente Ácido	Ácido
Ácidos no Volátiles	Bajo	Alto	Bajo
Azúcares	Alto	Muy Bajo	Medio

El curado es un proceso cuidadosamente controlado destinado a lograr la textura, color y calidad general de cada variedad específica del tabaco. Durante el curado, el almidón de las hojas se convierte en azúcar, el color verde desaparece y el tabaco atraviesa cambios de color que van desde el amarillo limón al amarillo, mientras que otros alcanzan el color marrón anaranjado.

2.2.1. Curados al horno: conocidos como “Tabacos Virginia”

Llamados tabacos Virginia, en honor al estado norteamericano en el cual se llevó a cabo por primera vez este método de curado utilizando calor artificial.

Los tabacos curados al horno se cosechan en suelos arenosos de países como Brasil, Canadá, India, Nueva Zelanda, Venezuela y otros; aún cuando se considera que cada cosecha es diferente, las propiedades químicas de las hojas de estos tabacos, se caracterizan por su alto contenido de azúcares y bajo contenido de nitrógeno.

La recolección de las variedades Virginia se realizan por pisos foliares, en la mayoría de los países, y principalmente en aquellos en vías de desarrollo, la recolección se realiza a mano y en ella participa toda la familia; en los países desarrollados se utilizan técnicas de recolección mecanizada.

Una vez recolectado el tabaco se traslada a los lugares de curado donde se realiza este procedimiento de manera forzada utilizando el calor procedente de diferentes fuentes de energía. El calor se introduce en los graneros por medio de tuberías a partir de una caldera exterior. Este calor controlado permite que las hojas adquieran un color amarillo/anaranjado.

El curado del tipo Virginia, por pisos foliares, se tarda una semana por carga de secadero, y éste método ofrece un mayor control sobre la hoja que cualquier otro método que pueda utilizar el agricultor.

2.2.2. Curados al aire: conocidos como “Tabacos Burley”

El tabaco Burley se cosecha en Venezuela en los estados Aragua, Cojedes, Guárico, Portuguesa y Monagas.

Durante este proceso, el tabaco se cuelga en caneyes abiertos, no calefaccionados y ventilados para que se seque naturalmente, hasta que la hoja alcance un color marrón claro medio.

Las hojas de tabaco curadas al aire se caracterizan por no tener contenido de azúcares. El contenido de nitrógeno incrementa desde la parte inferior de la planta hasta la parte superior. El tabaco es delgado pero tiene una textura característica.

La recolección se realiza por planta entera. En algunas variedades de tabaco curado al aire, este proceso requiere la eliminación de algunas hojas, para cortar el tallo posteriormente y permitir que se cure con las hojas restantes. El proceso de los tabacos curados mediante este método tradicional tarda de seis a ocho semanas.

Después de la cura, las hojas se separan de los tallos, luego son graduadas y empacadas controlando su temperatura y contenido de humedad.

2.2.3. Curados al sol: conocidos como “Tabacos Orientales”

Su crecimiento depende de las condiciones del clima mediterráneo. Entre los principales productores de tabaco Oriental se encuentran Turquía, Grecia, Bulgaria, Yugoslavia y Rusia.

Usualmente, las plantas de tabaco oriental son cortas y sus hojas son pequeñas y sólo un porcentaje reducido de las mismas es conformado por la vena. Las hojas son atadas en tendedores e inicialmente se marchitan a la sombra; en este punto su coloración se torna amarilla. Posteriormente, son expuestas al sol, muy cerca del suelo para aprovechar el calor reflejado y contribuir, de este modo, con la aceleración del proceso de curado.

El proceso completo dura de 12 a 30 días. El calor directo del sol fija las hojas en un color que va desde el amarillo al anaranjado con un alto contenido de azúcar.

Su fuerte sabor y gusto se desarrollan en la primera fase del curado, reteniéndose después de secar las hojas al sol.

El tabaco oriental es transportado a almacenes para ser depositados, allí se separan las hojas y se limpian cuidadosamente. Por último, se colocan en fardos y son fermentadas por un lapso de 2 a 3 meses.

2.2.4. Pisos Foliare

Después del curado de los tabacos Virginia y Burley, el productor clasifica las hojas por grados de calidad de acuerdo con su posición en la planta, los colores, etc.

Es posible dividir la planta de tabaco en tres secciones principales: superior, mediana e inferior.

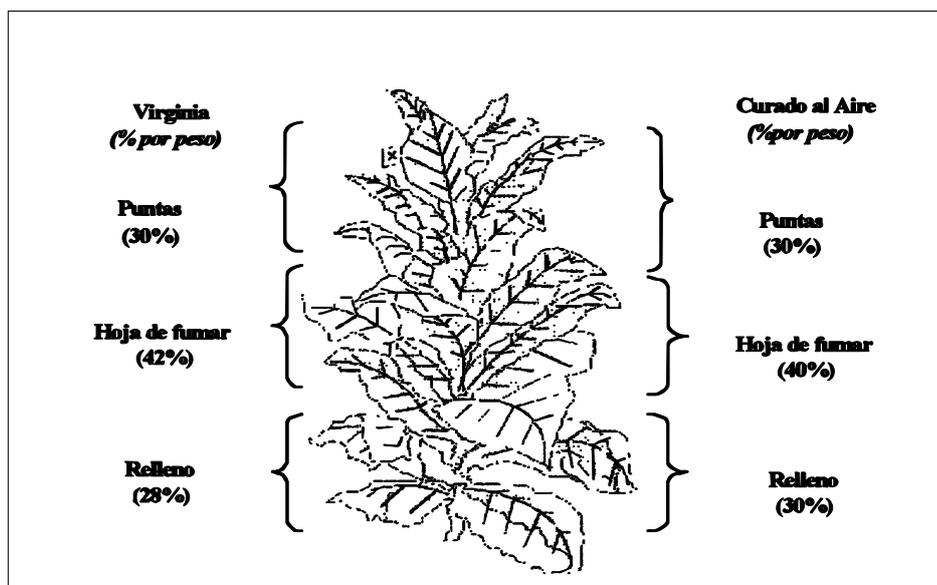


Figura N° 1: Partes de la planta de tabaco.

Para la producción de cigarrillos se prefieren aquellas hojas localizadas en la parte media del tallo de la planta, conocidas como hojas de fumar, debido a que el mejor tabaco, bien balanceado en aroma y sabor, proviene de esta sección. El tabaco de la sección inferior de la planta posee niveles más bajos de esencia, pero es particularmente importante ya que puede ser utilizado como relleno y prevenir que el sabor del cigarrillo sea excesivamente fuerte. El tabaco de la parte superior tiene alto sabor y puede usarse en pequeñas cantidades para balancear la mezcla.

Una vez curado y clasificado el tabaco, es envasado en fardos que luego serán llevados a los centros de compras y posteriormente a un proceso de desvenado.

2.2.5. Mezcla de Tabacos

Cada uno de los tabacos mencionados anteriormente junto con las diferencias entre las posiciones de la planta, tienen características muy particulares tanto en la fumada, como a nivel visual y químico. Ciertamente estas distinciones proveen un gran número de variantes con las cuales se puede trabajar para crear un sin fin de combinaciones.

Un *blend* consiste en combinar en diferentes proporciones distintas clases de tabaco, cada uno de ellos diferentes entre sí pero con características perfectamente identificables (fumada, visual, química) para obtener como resultado un producto que mejor se ajuste a las características del mercado

La clasificación de “tipos de blend” puede variar en el transcurso del tiempo reflejando las características de los mercados internacionales, pero una clasificación general puede ser resumida como se muestra en la tabla N° 2,

Tabla N° 2: Comparación de tipos de blend ⁽³⁾.

Tipo de Blend	Lámina Virginia (%)	Lámina Burley (%)	Lámina Oriental (%)	Vena (%)
<i>Clásico Virginia</i>	80	-	-	20
<i>Virginia Modificado I</i>	75	5	-	20
<i>Virginia Modificado II</i>	75	-	5	20
<i>Blend Americano</i>	35	30	15	20
<i>Oriental</i>	-	-	100	-

Se debe enfatizar que no existen reglas para el diseño de un cigarrillo. Las estrategias de mercado, los gustos de los consumidores y la disponibilidad de las hojas de tabaco tienen una importante influencia en los requerimientos.

2.2.6. Procesamiento del Tabaco

El proceso de desvenado es realizado en Bigott Planta Valencia; es allí donde se reciben los fardos que provienen de la cosecha. Los productos obtenidos del procesamiento de la hoja son:

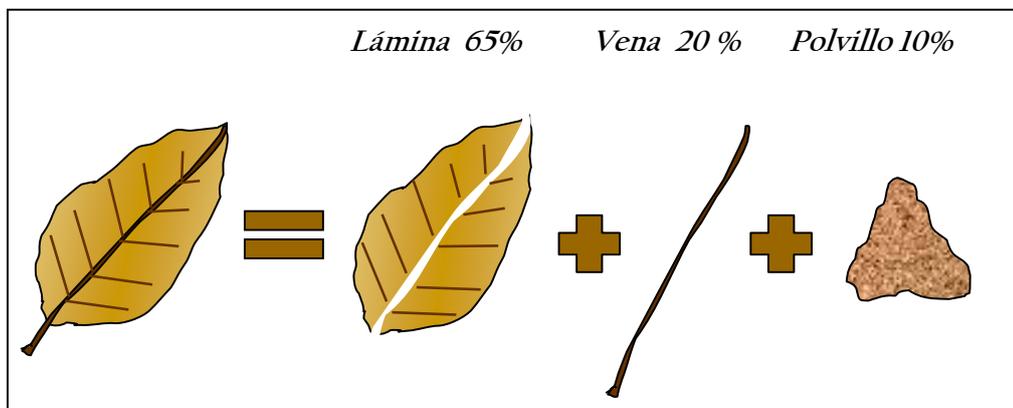


Figura N° 2: Productos del proceso de desvenado

El principal objetivo del desvenado es separar la lámina de la vena haciendo pasar la hoja de tabaco por una primera etapa de acondicionado con el fin de aumentar la humedad y la temperatura para darle flexibilidad. La segunda etapa consiste en el trillado consecutivo de las hojas a través de cinco máquinas y la separación final de la lámina, la vena y el polvillo de tabaco que se obtiene como subproducto.

Debido principalmente a razones económicas, el desperdicio (polvillo) producto del desvenado – después de ser procesado – es incorporado a la producción de cigarrillos como *tabaco reconstituido*.

Existen varios procesos para la producción del tabaco reconstituido, en Bigott Planta Valencia se reduce el tamaño del polvo de tabaco mediante un ciclo de molienda y cernido hasta alcanzar el tamaño de partícula deseado. El polvo es luego almacenado en silos y añadido a una solución comprendida de una serie de aditivos (humectantes, fibras, etc.); esta mezcla viscosa es aplicada sobre una correa de acero inoxidable, se seca, se extrae de la correa y es cortada en trozos.

Por último, se empacan por separado los productos en cajas de tal manera que se mantenga la humedad, prevenir la formación de moho, y conservar la integridad durante su almacenamiento y añejamiento. El tiempo de añejamiento debe ser de doce (12) a catorce (14) meses, y su efecto se ve reflejado en la calidad de la fumada del tabaco, mejorando considerablemente el sabor y el aroma.

Después de cumplir con el tiempo previsto en el almacén, las láminas y venas empacadas estarán listas para su posterior procesamiento en Bigott Planta Caracas.

Cada una de las partes del tabaco (lámina, vena y tabaco reconstituido) que se reciben de Planta Valencia, son procesadas en dos líneas independientes en el Departamento de Procesamiento de Tabaco como se ilustra en la figura N° 3,

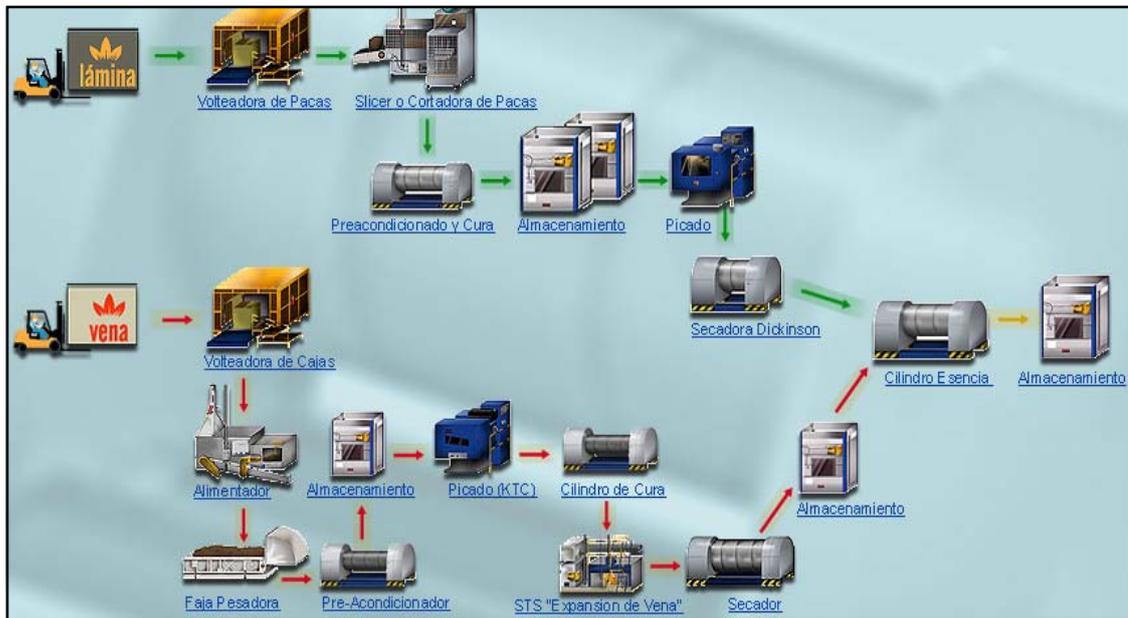


Figura N° 3: Procesamiento del Tabaco ⁽⁴⁾.

Los parámetros más importantes que deben ser controlados en el departamento de procesamiento de tabaco son la humedad y la temperatura. Los niveles correctos de humedad y temperatura en la industria tabacalera aseguran un producto de excelente calidad, es por ello que es necesario mantener estable el acondicionamiento de la materia prima.

Si el tabaco no se encuentra en la humedad deseada para una mezcla en particular, cuando sale del departamento de procesamiento de tabaco, se presentarán problemas en el departamento de fabricación de cigarrillos. Si el contenido de humedad es muy bajo, se tiene como resultado la degradación del tabaco y se generará un excesivo nivel de polvillo trayendo como consecuencia la indebida formación de la columna de tabaco en el cigarrillo y afectando la calidad del mismo acentuando el defecto de puntas flojas o caídas. Si el contenido de humedad es muy alto, la creación de tapones de tabaco al pasar a través del sistema neumático de transporte hace deficiente el proceso, adicionalmente se pueden tener problemas de manchas en el papel de cigarrillo una vez empacados.

2.3. Humidificación

Las *operaciones de humidificación* se ocupan de la transferencia de masa interfacial y energía, que resulta cuando un gas se pone en contacto con un líquido puro, en el cual es prácticamente insoluble. En estos casos, la materia transferida entre las fases es la sustancia que forma la fase líquida, que o bien se evapora o bien se condensa ⁽⁵⁾.

La humedad ejerce una importante influencia en factores ambientales así como en factores psicológicos. Niveles impropios de humedad (tanto muy altos como muy bajos) pueden causar molestias a las personas, y pueden causar daños a diferentes equipos y materiales.

La *humedad* se puede definir como una medida absoluta; la relación masa de vapor de agua/masa de aire seco es la *humedad absoluta* Y' . En condiciones en que se aplica la ley de los gases ideales,

$$Y' = \frac{\bar{p}_A}{P_t - \bar{p}_A} \times \frac{M_A}{M_B} \quad (\text{Ec. 2.1})$$

Donde:

Y' : humedad absoluta, masa vapor de agua / masa aire seco [M/M]

\bar{p}_A : presión parcial del vapor de agua, [F/L²]

P_t : presión total, [F/L²]

M_A : peso molecular del vapor de agua, [M/mol]

M_B : peso molecular del aire seco, [M/mol]

Sin embargo, esta medida de humedad no indica que tan seco o húmedo se encuentra el aire. Esto únicamente puede saberse calculando la *humedad relativa (HR)*, expresada en porcentaje, es la relación entre la presión parcial ejercida por el vapor de agua y la presión de vapor a una temperatura dada (temperatura de bulbo seco).

$$HR = 100 \frac{\bar{P}_A}{P_A} \quad (\text{Ec. 2.2})$$

Donde:

HR: humedad relativa, (%)

\bar{P}_A : presión parcial del vapor de agua, [F/L²]

P_A : presión de vapor a la temperatura del bulbo seco, [F/L²]

La *Temperatura del bulbo seco* es la temperatura de una mezcla vapor-gas determinada en forma ordinaria por inmersión de un termómetro en la mezcla ⁽⁵⁾.

El sistema aire-agua aparece con tanta frecuencia que se cuentan con cartas excepcionalmente completas para esta mezcla, dichas cartas se denominan *Cartas Psicrométricas*.

Como cualquier material higroscópico, el tabaco quita o proporciona humedad al ambiente a medida que la humedad relativa de su alrededor varía. Cuando a una temperatura y humedad relativa dada, el tabaco finalmente deja de absorber o liberar humedad, se dice que ha alcanzado su contenido de humedad en el equilibrio; es decir, la humedad del tabaco se encuentra “balanceada” con la humedad del aire.

La humedad en el equilibrio para una especie dada de sólido está relacionada con el tamaño de partícula o de la superficie específica. Diferentes sólidos tienen diferentes curvas de humedad en el equilibrio, dependiendo de la temperatura y la humedad relativa del aire con el cual está en contacto.

En la figura N° 4, se muestran algunas relaciones típicas de humedad en el equilibrio, en donde la humedad en cada caso es agua.

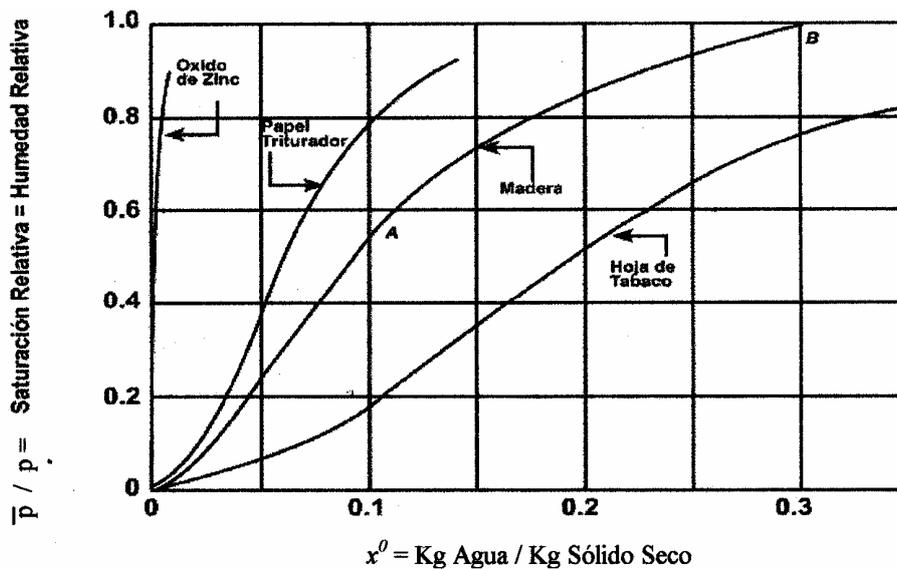


Figura N° 4: Curvas de equilibrio aire-sólido para diversos materiales ⁽⁵⁾.

Teóricamente, las isotermas de adsorción pueden permitir predecir las relaciones de equilibrio para casos particulares; no así para aquellos casos en donde el conocimiento de la geometría y la interacción de las moléculas de la fase sólida son limitados.

Generalmente, la humedad de equilibrio como propiedad física para cada sólido puede ser medida de manera experimental exponiendo el material húmedo a una corriente de aire con condiciones de temperatura y humedad relativa conocidas, y pesando muestras del sólido - en un período de tiempo regular - hasta que las mediciones alcancen un valor permanente.

Es entonces cuando se puede asegurar que el sólido ha encontrado su condición de humedad de equilibrio bajo las condiciones dadas.

En la tabla N° 3 se muestran distintos materiales higroscópicos, los cuales requieren de niveles de humedad relativa específicos para prevenir pérdidas de humedad, deterioro del material y/o problemas de producción que podrían resultar.

Tabla N° 3: Humedades Relativas Recomendadas ⁽⁶⁾.

Proceso o Producto	Temperatura T _G (°F)	Porcentaje de Humedad Relativa (HR)
Materiales Higroscópicos		
<i>Cereal</i>		
Empaquetado	75 - 80	45 - 50
<i>Fósforo</i>		
Manufactura	72 - 73	50
Secado	70 - 75	60
Almacenamiento	60 - 63	50
<i>Tabaco</i>		
Acondicionado	75	75
Almacenamiento	70 - 75	55 - 65
Empaquetado y envío	73 - 75	65

2.4. Humidificadores ⁽⁶⁾

Existen dos tipos de humidificación: * Humidificación con vapor.

* Humidificación con sistema nebulizador.

2.4.1. Humidificación con Vapor (Isotérmica):

A diferencia de otros métodos de humidificación, los humidificadores de vapor tienen un efecto mínimo en la temperatura del bulbo seco. El vapor de agua que se descarga no requiere de ningún calor adicional al mezclarse con el aire e incrementar la humedad relativa. Suponiendo que el vapor es puro vapor de agua que existe a 100 °C (212 °F), esta alta temperatura crea la percepción que el vapor, al ser descargado al ambiente, incrementaría la temperatura del aire. En realidad, a medida que el humidificador descarga el vapor al aire, una mezcla vapor/aire se establece. En esta mezcla la temperatura del vapor va a decrecer rápidamente hasta alcanzar esencialmente la temperatura del aire.

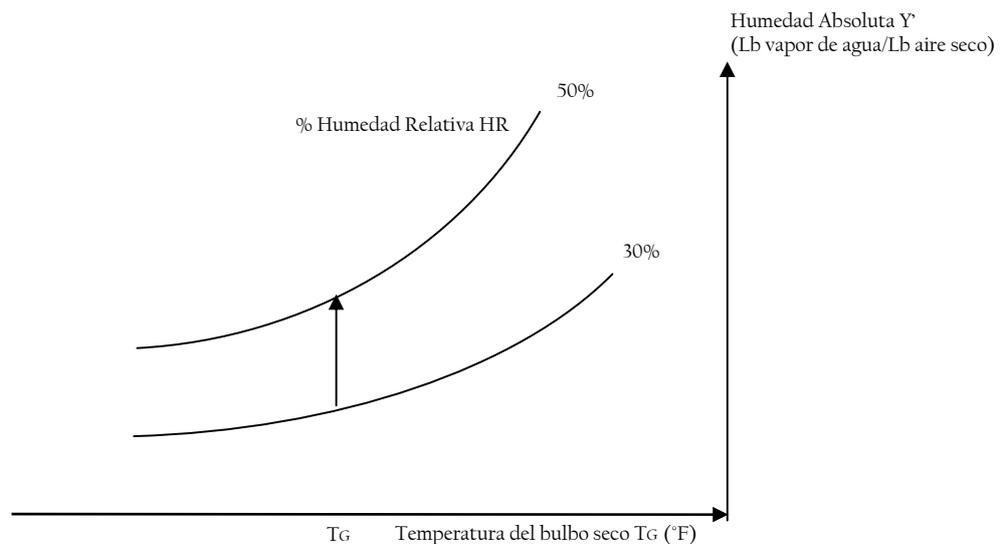
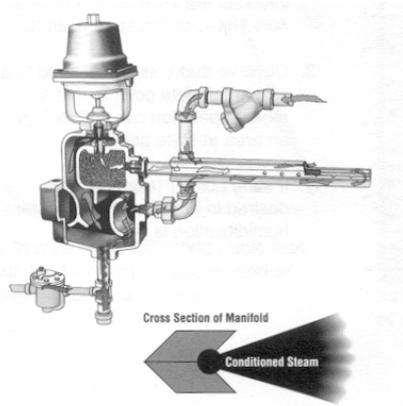


Figura N° 5: Ilustración del proceso isotérmico de humidificación con vapor.

La carta psicrométrica ayuda a ilustrar que la humidificación con vapor es un proceso en donde la temperatura permanece constante. Esto es cierto ya que el vapor contiene el calor (entalpía) necesario para proporcionar humedad sin perturbar la temperatura.

2.4.1.1. Humidificadores de inyección directa de vapor:

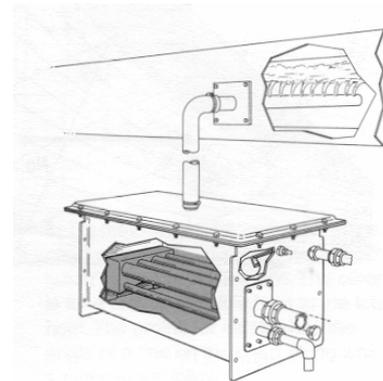


Los humidificadores de vapor mas comúnmente utilizados son aquellos de inyección directa. Desde el punto de vista práctico, estos sistemas requieren de poco mantenimiento, ya que el suministro de vapor actúa como un agente autolimpiante para mantener al sistema libre de depósitos minerales que pudiesen bloquearlo de algún modo.

Las altas temperaturas inherentes a la humidificación con vapor proveen un medio estéril. Asumiendo que el agua de reposición de la caldera es de calidad satisfactoria y que no existe condensación o goteo en los ductos, se puede asegurar que no se producirán malos olores ni se promoverá la aparición de bacterias con este método de humidificación.

2.4.1.2. Humidificadores de vapor a vapor:

Estos tipos de humidificadores, utilizan un intercambiador de calor para crear una segunda corriente de vapor para humidificar. El vapor secundario se encuentra por lo general a presión atmosférica. El mantenimiento de esta clase de humidificadores depende de la calidad del agua.



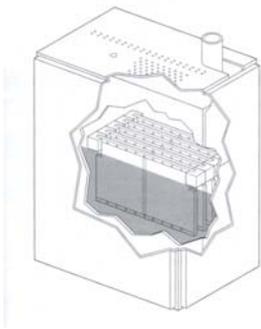
Las impurezas como calcio, magnesio y hierro pueden depositarse y requerir de una limpieza frecuente. La respuesta de control es mucho más lenta que con los humidificadores de inyección directa debido al tiempo que tarda en ebullición el agua.

2.4.1.3. Humidificadores de vapor eléctricos:

Los sistemas de humidificación eléctricos son empleados cuando no se tiene una fuente generadora de vapor. La electricidad junto con el agua, generan vapor a presión atmosférica.

La calidad del agua afecta la operación y el mantenimiento de estos humidificadores. Si se utiliza para su funcionamiento agua de alta dureza, necesitará de una limpieza constante; si se utiliza agua muy blanda, la vida del electrodo puede reducirse.

2.4.1.4. Humidificadores de vapor con cama iónica (Eléctrico):

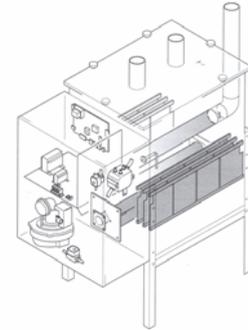


Los humidificadores de vapor con cama iónica poseen inmersa una resistencia que permite calentar el agua hasta su punto de ebullición.

La tecnología de la cama iónica permite utilizar agua de diversas calidades. Dicha cama contiene un medio fibroso que permite atraer sólidos del agua a medida que aumenta la temperatura, minimizando la deposición de sólidos en el humidificador. La calidad del agua, entonces, no afecta la operación del equipo y el mantenimiento consiste en reemplazar el relleno.

2.4.1.5. Humidificadores de vapor con cama iónica (Gas):

En estos tipos de humidificadores, se combina gas natural o propano con aire en una cámara de combustión. El calor de combustión es transferido al agua a través de un intercambiador de calor, creando vapor atmosférico para humidificar.



La calidad del agua puede tener un efecto en la operación y el mantenimiento de estos humidificadores, es por ello que los mismos constan de una cama iónica que contiene un medio fibroso que permite atraer sólidos del agua a medida que aumenta la temperatura, minimizando la deposición de sólidos en el equipo.

2.4.2. Humidificación con Sistema Nebulizador (Adiabático):

Estos sistemas utilizan aire comprimido para crear una corriente de partículas microscópicas de agua, las cuales generan una neblina. Las partículas de agua pasan rápidamente de ser líquidas a ser vapor a medida en que absorben calor del aire que las rodea.

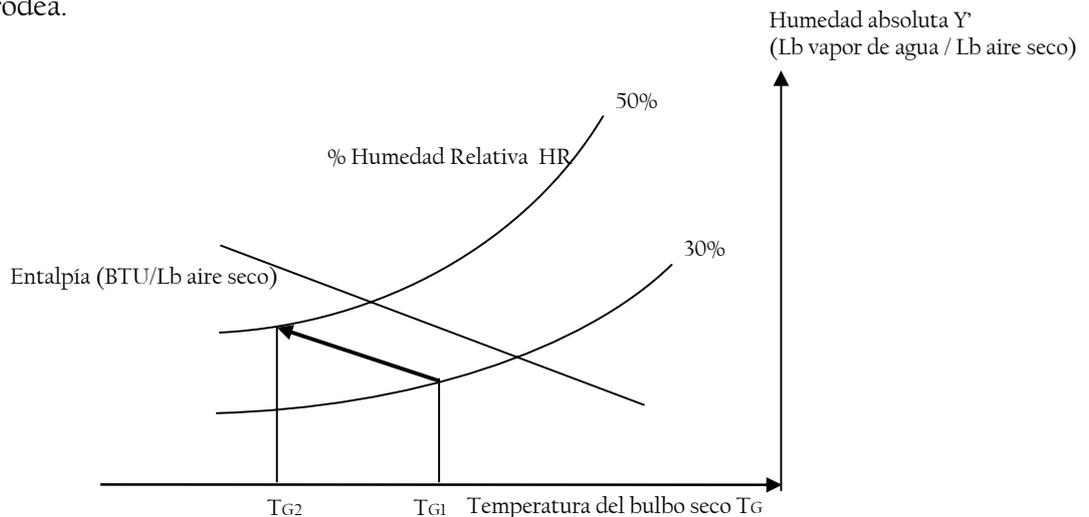


Figura N° 6: Ilustración del proceso adiabático de humidificación.

Existen varias consideraciones que deben tomarse en cuenta al momento de seleccionar alguna clase de humidificador, la tabla a continuación resume las características principales de cada uno de ellos.

Tabla N° 4: Comparación de los distintos métodos de humidificación ⁽⁶⁾.

	Inyección Directa	Vapor a Vapor	Eléctrico	Cama Iónica (Eléctrico)	Cama Iónica (gas)	Nebulizador
<i>Efecto en la Temperatura</i>	Ningún efecto					Cambio de temperatura
<i>Calidad de vapor</i>	Excelente	Buena	Buena	Buena	Buena	Promedio
<i>Respuesta al control</i>	Inmediata	Lenta	Normal	Normal	Normal	Inmediata
<i>Saneamiento</i>	Medio Estéril	Pueden existir bacterias	No promueve bacterias	No promueve bacterias	No promueve bacterias	Diseñado para no promover bacterias
<i>Frecuencia de Mantenimiento</i>	Bajo	Alto	Medio	Bajo	Medio	Bajo
<i>Costos</i>						
<i>Precio por unidad</i>	Bajo	Alto	Medio	Medio	Alto	Bajo
<i>Operación</i>	Bajo	Bajo	Medio	Medio	Bajo	Bajo
<i>Mantenimiento</i>	Bajo	Alto	Alto	Medio	Medio	Bajo

2.5. Sistema de Transporte Neumático

El transporte neumático se define como el movimiento de sólidos en fase dispersa de un lugar a otro por la acción de la gravedad con ayuda del aire o al crear una diferencia de presión de aire. Cuando se hace referencia a transporte por presión, se refiere a los casos en que se logra producir un flujo en el sistema mediante la inyección de aire. Las diferencias de presión pueden lograrse ya sea introduciendo aire dentro de un sistema, aumentando su presión bajo la atmosférica o disminuyendo su presión sobre la atmosférica. El gradiente de presión y el volumen de aire necesarios dependen de la dirección de flujo del sólido, ascendente o descendente, como también del tamaño de las partículas, que pueden ser bastante grandes o pequeñas ⁽⁷⁾.

Los transportadores neumáticos se clasifican en:

- Sistemas de presión
- Sistemas de vacío
- Sistemas de Combinación presión y vacío
- Sistemas de tanque ventilador
- Sistemas de fluidización

• **Sistema de Presión:** se deja caer material en una corriente de aire con una presión mayor a la atmosférica. La velocidad de la corriente mantiene al material en suspensión hasta que llega al recipiente receptor, donde se separa del aire mediante un filtro o también un separador de ciclón. Los sistemas de presión son utilizados para materiales de casi cualquier tamaño de partícula. Estos sistemas se ven favorecidos cuando de una sola fuente se requiere abastecer a varios recibidores. El aire de transporte es usualmente suministrado por ventiladores de desplazamiento positivo ⁽⁸⁾.

• *Sistema de Vacío:* este sistema se caracteriza por el desplazamiento de los materiales en una corriente de aire cuya presión es menor que la ambiental. Por medio de este método se puede utilizar toda la energía de bombeo para mover al material a la línea del transportador sin necesidad de un alimentador giratorio entre el recipiente de almacenamiento y el transportador. El material sigue suspendido en la corriente de aire hasta que llega a un filtro donde se separa el material del aire haciendo pasar al aire por un separador. Los sistemas de vacío son utilizados cuando los flujos no exceden los 6800 Kg/h y varios puntos pueden ser abastecidos desde una misma fuente. Este tipo de transporte es ampliamente utilizado en procesos donde la variedad de condiciones requieren flexibilidad ⁽⁸⁾.

• *Sistema Presión-Vacío:* combina lo mejor del sistema de presión y de vacío, es un sistema donde se utiliza el vacío para que el material entre al transportador y se desplace hasta el separador. El aire pasa por un filtro mientras que por otro lado se alimenta material a la corriente de aire mediante un alimentador giratorio ⁽⁷⁾.

• *Sistema de Tanque Ventilador:* consiste en una introducción de aire a presión a la parte superior de un recipiente que contiene carga de material. El material se hará fluir por una válvula que conlleva a una cámara en donde el material se transportará a una distancia no mayor de 16m dependiendo del producto. Sin embargo existen adaptaciones donde el sistema lleva al material por la cámara a distancias mayores de 400m ⁽⁷⁾.

• *Sistema de Fluidización:* se utiliza para transporte de materiales finos prefluidizados y para aquellos que no fluyen con libertad en cortas distancias. Una de las ventajas que tiene este transporte de sólidos es en las aplicaciones de tolvas de almacenamiento. El funcionamiento de este sistema consiste en una superficie porosa donde por encima de ésta se encuentra el material y en el fondo se hace circular una corriente de aire que asciende y transporta al material ⁽⁷⁾.

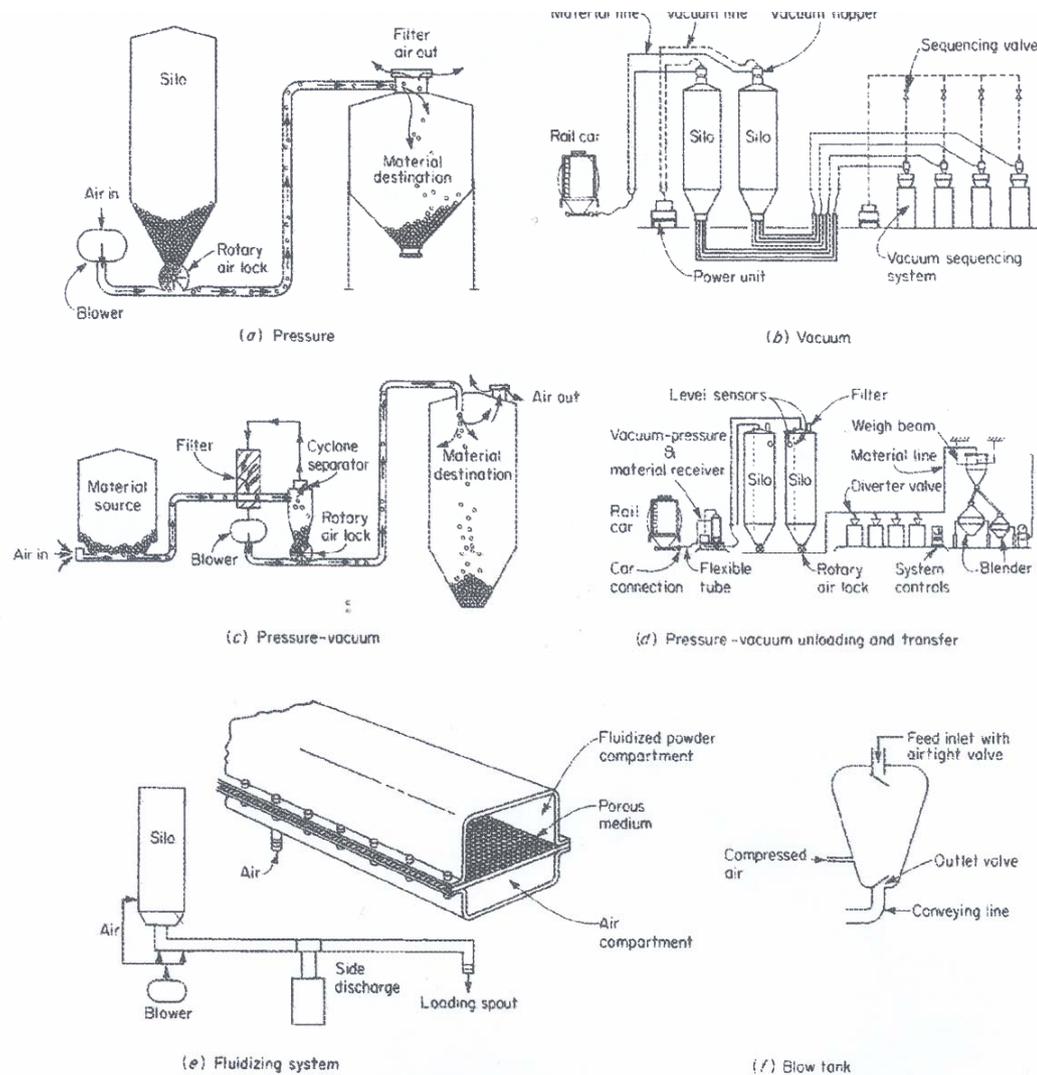


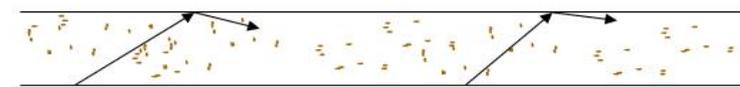
Figura N° 7: Distintos Sistemas de Transporte Neumático ⁽⁸⁾.

El transporte neumático es un área de creciente interés, especialmente debido a la necesidad de recolectar, almacenar y manejar productos polvorientos en forma aceptable para el medio ambiente.

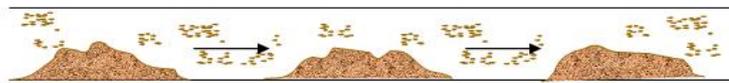
En los sistemas de transporte neumático, la proporción másica de sólido y gas usualmente se conoce como la *densidad de la fase*; según el valor de esta variable el transporte bifásico puede clasificarse en:

- *Flujo en Fase Diluida*: las partículas se encuentran completamente suspendidas en el gas que las transporta; la resistencia al movimiento se debe a las colisiones entre partículas - pared y partículas - partículas.
- *Flujo en Fase Densa*: Existen dos tipos de flujo en fase densa: flujo en forma de tapón y flujo en fase densa fluidizada. En el *flujo en forma de tapón*, la resistencia es dominada por el esfuerzo que la masa de partículas ejerce sobre las paredes de las tuberías. En el flujo en *fase densa fluidizada*, existe generalmente una capa inferior moviéndose a través de la tubería en una condición de flujo en fase densa junto con una fase diluida ocurriendo en la capa superior.

La figura N° 8 muestra el comportamiento del tabaco dentro de las tuberías para diferentes condiciones de flujo.



Fase Diluida (Densidad de fase: masa tabaco/masa aire \ll 1.5)



Fase Densa Fluidizada (Densidad de fase: masa tabaco/masa aire \sim 1.5)



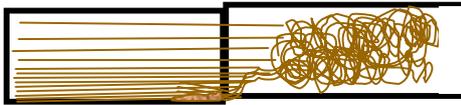
Fase Densa en forma de Tapón (Densidad de fase: masa tabaco/masa aire \gg 1.5)

Figura N° 8: Comportamiento del tabaco para distintas condiciones de flujo

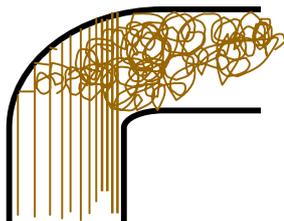
El sistema de transporte neumático ha sido utilizado por muchos años en la industria tabacalera para llevar la materia prima, después de ser procesada, hasta las unidades que producirán posteriormente el producto final.

Durante el transporte del tabaco pueden presentarse problemas críticos, como lo son: la degradación de la materia y la deposición de partículas en las paredes de las tuberías, ocasionando la obstrucción de las mismas y altas caídas de presión en el sistema.

Tanto la presencia de curvaturas a lo largo del recorrido como la conexión inadecuada de tuberías, son factores que contribuyen con la degradación del tabaco y la deposición de sólidos, debido a la interrupción del flujo de aire cargado con partículas sólidas.



El tabaco se concentra principalmente en el fondo de las tuberías gracias a la influencia de la gravedad. Luego de chocar con la unión entre las tuberías, se genera una turbulencia que trae como consecuencia la resistencia de las partículas sólidas.



Los codos con ángulos de curvatura cerrados también propician la condición de turbulencia del fluido. La deposición de partículas es más severa y se acentúa en aquellas áreas donde la velocidad del gas es menor.

La degradación de las partículas durante el transporte es un tema importante para la industria, la predicción de los niveles de degradación constituye un reto en el diseño del sistema. Las fluctuaciones en la velocidad de transporte y la configuración del sistema neumático se encuentran directamente relacionadas con los niveles de desperdicio. Reducir la generación de polvillo contribuye a mejorar la calidad final del cigarrillo.

Asegurar los niveles óptimos de velocidad y la adecuada configuración del sistema neumático, incrementan la eficiencia de las elaboradoras, reduciendo las paradas de la máquina debido a la falta o al bloqueo de tabaco en las tuberías de alimentación.

Medición de Flujo de Aire

Para realizar mediciones de las velocidades en los ductos de succión puede ser utilizado como instrumento de medición de flujo un Tubo de Pitot.

Tubo de Pitot:

“El tubo de Pitot es un aparato que sirve para medir la velocidad local a lo largo de una línea de corriente. La abertura del tubo de impacto es perpendicular a la dirección de flujo. La abertura del tubo estático, es en cambio paralela a la dirección de flujo. Los dos tubos están conectados a las ramas de un manómetro u otro sistema equivalente de medida de pequeñas diferencias de presión.

El tubo estático mide la presión estática puesto que no existe componente de la velocidad perpendicular a la abertura. La abertura de impacto contiene un punto de estancamiento. La línea de corriente termina en el punto de estancamiento. La presión medida en el tubo de impacto, es la presión de estancamiento del fluido. Puesto que el manómetro del tubo de pitot, mide la diferencia de presión, la diferencia entre éstas es indicada por la altura manométrica”.⁽⁹⁾

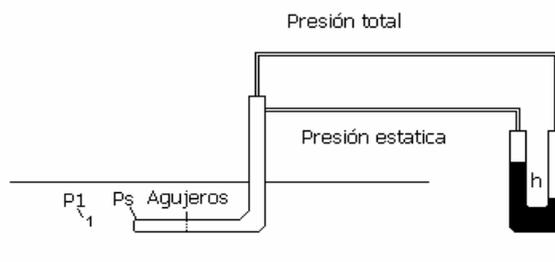


Figura N° 9: Tubo de Pitot

Despejando la velocidad de la ecuación de Bernoulli para un fluido incompresible entre los puntos 1 y S e introduciendo un coeficiente C que toma en cuenta las pérdidas por fricción, se obtiene la siguiente ecuación:

$$v_1 = C \sqrt{\frac{2g(P_s - P_1)}{\rho}} \quad (\text{Ec. 2.3})$$

Donde:

C : coeficiente de pitot, [adimensional]

g : aceleración de gravedad, [L/θ²]

P_I: presión de impacto, [F/L²]

P_S: presión estática local, [F/L²]

ρ : densidad del fluido, [M/L³]

El coeficiente C es comúnmente cercano a 1.00 (± 0.001) para tubos pitot simples y generalmente fluctúa entre 0.98 y 1.00 cuando se trata de tubos pitot estáticos.

Relación entre Velocidad Máxima y Velocidad Promedio:

Los valores de Re y V_{media}/V_{max} son de gran utilidad al momento de relacionar la velocidad promedio del fluido y la velocidad máxima en el centro de la tubería como función de la condición de flujo.

Experimentalmente, valores medidos de V_{media}/V_{max} como función del número de Reynolds cubren el rango desde flujo laminar hasta flujo turbulento. Para flujo laminar, la relación V_{media}/V_{max} es exactamente de 0.5. Dicha relación cambia rápidamente de 0.5 a 0.7 cuando el flujo laminar pasa a ser turbulento e incrementa gradualmente su valor a 0.87 cuando $Re = 10^6$.

2.6. Producto Final: El Cigarrillo

Un cigarrillo puede ser descrito como un sistema de cuatro (4) componentes:

- Columna de Tabaco
- Papel de Cigarrillo
- Filtro
- Ventilación

Cada uno de ellos puede ser modificado para finalmente obtener un producto que satisfaga los requerimientos y gustos de los consumidores.

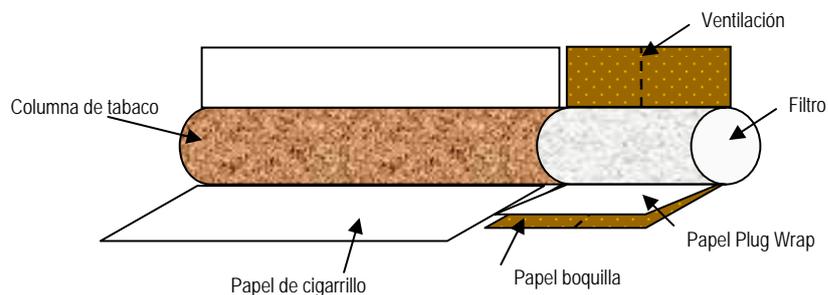


Figura N° 10: Principales Componentes del Cigarrillo

Columna de Tabaco: no es habitual que un cigarrillo esté constituido por un solo tipo de tabaco. La mayor parte contiene una mezcla de distintas clases de tabaco de procedencias diversas. Los principales tipos de tabaco que se pueden utilizar son: tabacos Virginia, tabacos Burley y tabacos Orientales. Saborizantes y aromas pueden aplicarse en estas mezclas en mayor o menor cantidad según el estilo.

Papel de Cigarrillos: el papel de cigarrillos no es simplemente un papel blanco utilizado para envolver la columna de tabaco. Se obtiene a partir de pasta de celulosa procedente de fibras vegetales (lino, madera, etc.).

Este papel puede ser más o menos poroso, es decir, puede dejar pasar más o menos aire, favoreciendo u obstaculizando de esta manera la combustión del tabaco. El tipo de humo que se produce durante la combustión de un cigarrillo dependerá así en gran medida de las características del papel utilizado.

Filtro: está constituido en la mayoría de los casos por fibras, las cuales están destinadas a retener una mayor o menor cantidad componentes presentes en el humo a medida que el mismo atraviesa el filtro. Más del 90% de los filtros utilizados a nivel comercial están hechos de acetato de celulosa.

Ventilación: en términos simples, es el proceso de introducir pequeños agujeros en el papel boquilla del cigarrillo. Estos agujeros permiten la entrada de aire que a su vez se combina con la corriente de humo y ésta se diluye para lograr una disminución en las entregas químicas.

CAPITULO III: Descripción del Proceso a Estudiar.

En la fabricación de cigarrillos, el tabaco, después de pasar por una serie de procesos en Departamento de Procesamiento, abandona el mismo con ciertas condiciones de humedad y temperatura:

	<i>Marca "A"</i>	<i>Marca "B"</i>
Humedad del tabaco (%)	14.9	14.8
Temperatura del tabaco (°C)	30	30

Posteriormente es llevado mediante bandas transportadoras al almacén de tabaco (el cual se encuentra acondicionado a una temperatura de 21°C aproximadamente) y almacenado en bins donde permanecerá por lo menos una hora antes de ser descargado hacia los alimentadores en donde el sistema neumático se encarga de transportarlo hasta las máquinas elaboradoras ubicadas en el Departamento de Elaboración de Cigarrillos.

El tabaco es un material higroscópico; es decir, tiene la propiedad de absorber o liberar agua dependiendo del equilibrio entre las condiciones del medio ambiente y él mismo.

En su estadía en el almacén, se espera que el tabaco homogenice en todo el lote la condición de humedad con la cual dejó el departamento de procesamiento. No obstante, actualmente en el almacén no existe ningún sistema que permita mantener el control sobre las condiciones de humedad relativa del ambiente.

El tabaco viaja desde los alimentadores a través de las tuberías de transporte neumático hasta llegar a las tolvas de las elaboradoras, donde el tabaco se separa del aire que continúa su camino arrastrando consigo parte del polvillo generado por la degradación de la materia prima hasta llegar al filtro, posteriormente al ventilador y por último a la cámara de sedimentación.

Dependiendo del status de pedido de cada elaboradora, el tabaco puede ser transferido simultáneamente a una, dos o todas las máquinas. Esta alimentación aleatoria causa diferentes flujos de aire en las tuberías de transporte neumático independientes de cada elaboradora, más aún cuando el flujo que maneja el ventilador es siempre constante.

Tanto el almacén de tabaco como el área de filtros se encuentran en el primer piso, las máquinas elaboradoras de cigarrillos se encuentran en el segundo y tercer piso.

Se desea mantener la velocidad de transporte del tabaco para cada elaboradora individualmente, en un rango que asegure que la cantidad de polvillo generado sea la menor posible; es decir, se pretende disminuir el grado de degradación del tabaco por la influencia del transporte.

Para lograr tal fin se dispone actualmente de un sistema de control con la siguiente lógica de control:

- ✓ El Departamento de Elaboración envía al controlador una señal de selección de la marca a producir por la elaboradora.
- ✓ La máquina emite una señal de pedido de tabaco.
- ✓ El controlador envía la señal a las válvulas VI (ON-OFF) (Ver figura N° 11) y éstas se abren completamente permitiendo el paso del tabaco.

- ✓ El control del nivel de la tolva de la elaboradora es temporizado, cuando llega al tiempo programado (12 seg), la válvula se cierra completamente.
- ✓ Dependiendo de la cantidad de elaboradoras en funcionamiento, el controlador envía una señal al Damper colocado aguas arriba del ventilador para que el mismo regule el porcentaje de apertura. Ejemplo: Si ambas máquinas se encuentran elaborando cigarrillos, el damper se abrirá en un 100%, si sólo una máquina se encuentra funcionando, el damper se abrirá en un 50%.

La figura N° II permite visualizar de manera gráfica la estrategia de control utilizada actualmente para el proceso.

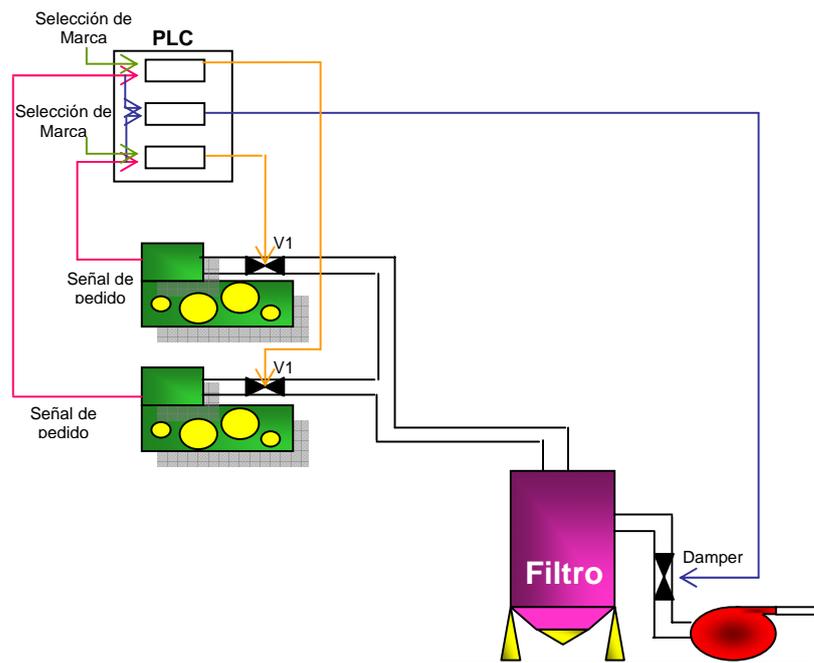


Figura N° II: Estrategia de control actual

Sin embargo, el sistema actual no permite mantener la velocidad requerida dentro de los valores esperados o recomendados; es por ello que se desea proponer un sistema que permita cumplir con las necesidades expuestas.

CAPITULO IV: Metodología y Plan de Experiencias.

El presente trabajo de investigación tuvo como finalidad determinar las oportunidades de mejoras en los sistemas de transporte neumático y acondicionado del producto antes de ser transformado en cigarrillo para reducir el impacto en la degradación de la materia prima.

La degradación del tabaco aumenta cuando se tienen altas velocidades de aire en el sistema, menor carga de tabaco en las tuberías de alimentación, una configuración inapropiada del sistema neumático de transporte y una deficiente condición de acondicionado. Las principales variables de estudio del sistema son: capacidad volumétrica, tabaco aprovechable y porcentaje de humedad del tabaco, temperatura y porcentaje de humedad relativa del Almacén de Tabaco, velocidad de transporte, cantidad de tabaco transportada y cantidad de polvillo generado.

Para cumplir con los objetivos propuestos se utilizó la siguiente metodología, la cual fue el punto de partida para el desarrollo de las experiencias necesarias para evaluar la situación actual de los procesos a estudiar, verificar la eficiencia de los mismos y proponer los cambios necesarios para reducir el impacto en la degradación de la materia prima.

La figura N° 12 muestra un esquema del proceso que servirá como referencia para describir el procedimiento experimental seguido.

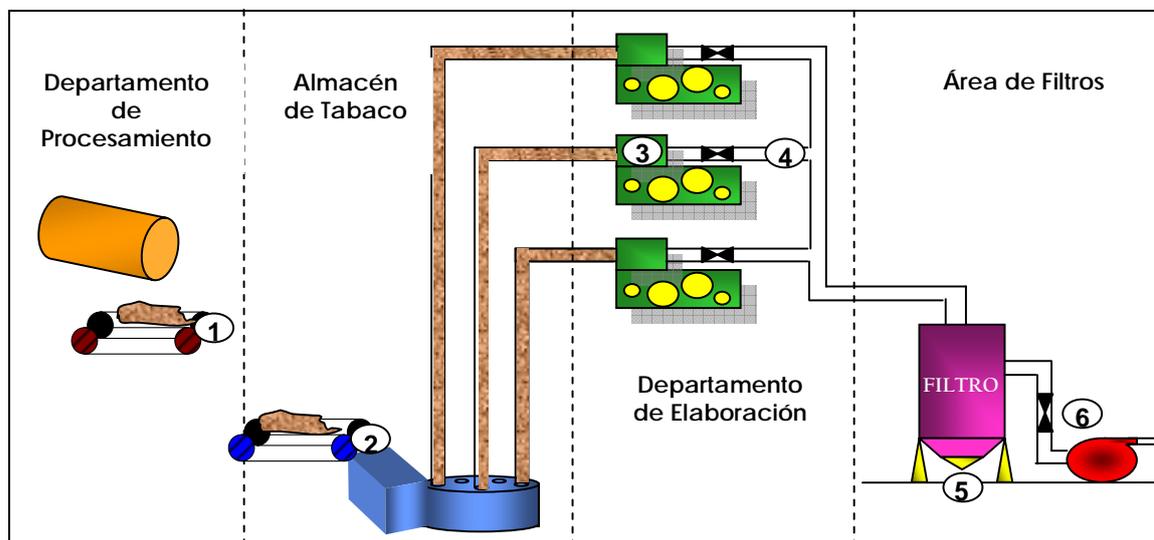


Figura N° 12: Esquema del proceso de elaboración de cigarrillos

4.1. Principales Variables de Interés:

4.1.1. *Comportamiento Actual de las Variables de Interés:*

Se predeterminó una marca, la cual permaneció bajo estudio por dos semanas consecutivas. En el proceso, se fijaron las cargas de tabaco a las cuales se les hizo el seguimiento a través de los puntos de interés.

1. Variables Involucradas

- *Porcentaje de humedad del tabaco (%):* se define como el porcentaje de agua contenido en una porción de tabaco ⁽¹⁰⁾.
- *Tabaco aprovechable (%):* permite obtener una medida de la cantidad de tabaco de tamaño de partícula adecuado y el porcentaje de polvillo para tener un indicador de desperdicio ⁽¹¹⁾.

- *Capacidad Volumétrica (cm³/10gr)*: es el valor correspondiente al volumen real ocupado en centímetros cúbicos (cm³) por una porción 10 gramos (gr) de tabaco. La determinación de la capacidad volumétrica del tabaco se realiza para conocer la consistencia y firmeza del tabaco para cumplir con las especificaciones establecidas ⁽¹²⁾.

2. Equipos Utilizados

- Contenedores para muestras.
- *Horno eléctrico*: es un secador de bandejas que se utiliza para medir la humedad del tabaco por diferencia de pesos. En esta unidad se colocan las muestras de tabaco a una temperatura constante de 110°C por un período de tres horas.
- *Desecador*: unidad donde se colocan las bandejas con las muestras de tabaco una vez que salen del horno para su posterior enfriamiento.
- *Cernidora*: unidad de prueba que sirve para determinar el tamaño de partículas y el tabaco aprovechable

Malla N°	Abertura Malla (µm)	Tabaco
6	3350 µm	Aprovechable
12	1680 µm	Aprovechable
16	1180 µm	Aprovechable
20	850 µm	Degradado
30	600 µm	Degradado
40	425 µm	Degradado
<i>PLATO</i>	0 µm	Polvillo

- Unidad de prueba para la determinación de la capacidad volumétrica del tabaco
- Balanza analítica

3. Preparación de la prueba

- 3.1 Se coordinó con el Departamento de Procesamiento de Tabaco y el Departamento de Elaboración de Cigarrillos los días en los que se realizaron las pruebas.
- 3.2 Se identificaron los contenedores de muestra con el nombre de la variable, fecha, hora y punto de recolección.
- 3.3 Se estableció el número de la carga seleccionada para realizar la prueba.

4. Desarrollo de la prueba

- 4.1 Se respetaron las medidas de seguridad correspondientes; como los son: la utilización de botas de seguridad y protectores auditivos.
- 4.2 Utilizando los contenedores debidamente identificados, se tomaron en el Departamento de Procesamiento de Tabaco a la salida del cilindro de esencias (Ver figura N° 12: punto 1) muestras para determinar humedad de tabaco, capacidad volumétrica y tabaco aprovechable a los 2/5 de la carga, 3/5 de la carga y 4/5 de la carga desde que comenzó la salida de la misma del cilindro de esencias.
- 4.3 Cuando comenzó a ser descargado el bin donde se encontraba almacenada la carga predeterminada, se tomaron muestras para determinar humedad de tabaco, capacidad volumétrica y tabaco aprovechable en la cascada de caída a los alimentadores en el Almacén de Tabaco (Ver figura N° 12: punto 2), al inicio y posteriormente a cada hora hasta que terminara el proceso o hasta tener cinco muestras consecutivas; lo que ocurriese primero.

- 4.4 Simultáneamente se tomaron muestras para determinar humedad de tabaco, capacidad volumétrica y tabaco aprovechable en caída de la tolva de las elaboradoras seleccionadas en el Departamento de Elaboración de Cigarrillos (Ver figura N° 12: punto 3), al inicio y posteriormente a cada hora hasta que terminara el proceso o hasta tener cinco mediciones consecutivas; lo que ocurriese primero.
- 4.5 Se llevaron las muestras para el Laboratorio de Aseguramiento de la calidad y se procedió a determinar la humedad del tabaco, capacidad volumétrica y tabaco aprovechable para cada punto siguiendo los procedimientos correspondientes en cada caso.

5. Frecuencia

De la carga prefijada (por marca) a ser alimentada por el Departamento de Procesamiento de Tabaco, Almacén de Tabaco procesado y posteriormente al Departamento de Fabricación de Cigarrillos, se tomaron muestras para determinar: humedad, capacidad volumétrica y tabaco aprovechable para cada punto de muestreo contemplado. Se obtuvieron datos de las variables de interés para tres (3) cargas de la marca “A” y dos (2) cargas de la marca “B”.

A su vez, se estudió el comportamiento de las mismas hasta que las máquinas elaboradoras pasasen por el plan de muestreo:

Marca	Elaboradora
<i>Marca “A”</i>	M201, M203, M207, M208, M210, M211
<i>Marca “B”</i>	M202, M204 M205, M206

6. Plan de muestreo para la carga predeterminada

	Punto de recolección	Frecuencia	Humedad (%)	C.V. (cm ³ /10gr)	T.A. (%)
DPT	Punto 1 Salida del cilindro de esencias	Después del Inicio: 2/5 Carga 3/5 Carga 4/5 Carga	1 muestra 1 muestra 1 muestra	1 muestra 1 muestra 1 muestra	1 muestra 1 muestra 1 muestra
A.T.	Punto 2 Cascada de caída al alimentador	Inicio Cada hora desde su inicio	1 muestra 1 muestra	1 muestra 1 muestra	1 muestra 1 muestra
DEC	Punto 3 Caída en la tolva para cada elaboradora seleccionada	Inicio Cada hora desde su inicio	1 muestra 1 muestra	1 muestra 1 muestra	1 muestra 1 muestra

Leyenda

C.V.: Capacidad volumétrica.

T.A.: Tabaco Aprovechable.

DPT: Departamento de procesamiento de tabaco.

A.T.: Almacén de tabaco procesado.

DEC: Departamento de elaboración de cigarrillos.

4.2. *Acondicionamiento de la Materia Prima:*

4.2.1. *Condiciones Actuales del Almacén de Tabaco:*

Se realizó una evaluación del comportamiento actual de la temperatura y humedad relativa del ambiente dentro del almacén, para ello se colocaron equipos de medición de humedad relativa y temperatura del ambiente siguiendo el esquema presentado a continuación:

	Posición de los Equipos de Medición
Prueba #1	Columna # 1 Columna # 2
Prueba #2	Columna # 3 Columna # 4
Prueba #3	Columna # 5 Columna # 6

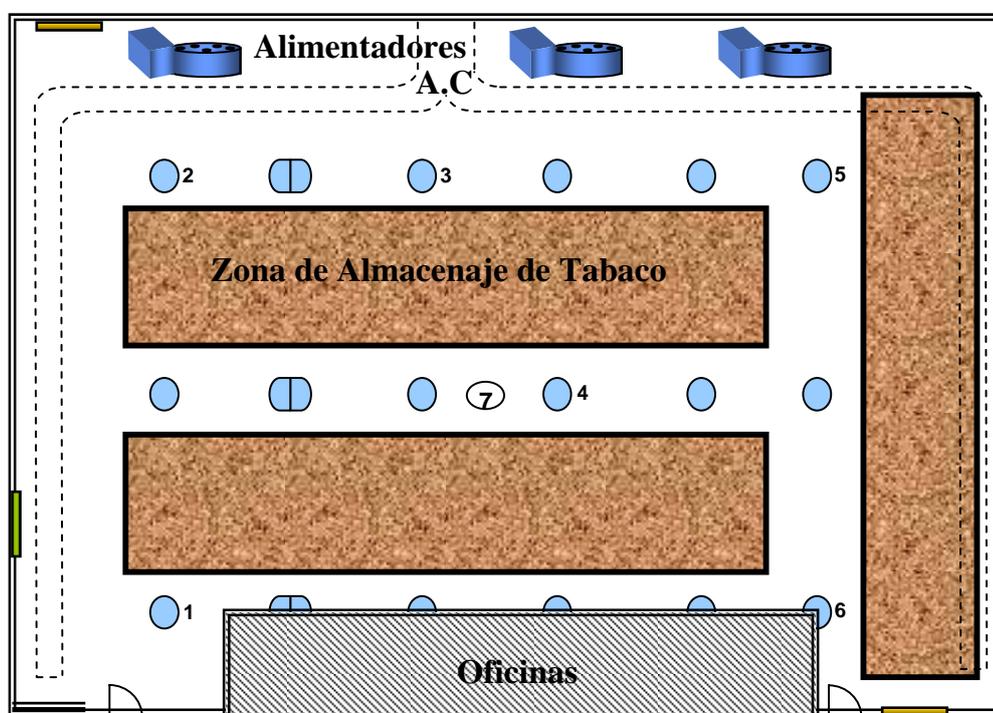


Figura N° 13: Esquema del almacén de Tabaco

1. Variables Involucradas

- Temperatura del aire en el almacén en los puntos señalados (°C)
- Humedad Relativa del aire en el almacén en los puntos señalados (%)

2. Equipos Utilizados

- *Equipos de Medición (Datalogger)*: esta unidad registra valores de porcentaje de humedad relativa y temperatura (°C)



3. Preparación de la prueba

3.1 Se coordinó con el Departamento de Procesamiento de Tabaco los días en los que se realizaron las pruebas.

3.2 Se pidió en el Departamento de Ingeniería Ambiente y Seguridad Industrial que fuesen colocadas las celdas donde permanecieron los equipos en las columnas determinadas para tal fin.

4. Desarrollo de la prueba

4.1 El día lunes, se colocaron los equipos en las posiciones determinadas; allí permanecieron recolectando datos de humedad y temperatura durante toda la semana.

4.2 El día viernes de esa misma semana, se retiraron los equipos.

4.3 Se entregaron los equipos al Departamento de Aseguramiento de la Calidad para que fuesen descargados los datos a la base de datos correspondientes y fuese enviado el reporte de la semana.

5. Frecuencia

Se tomaron datos de humedad relativa y temperatura del ambiente utilizando como instrumento de medición los equipos correspondientes, colocados en dos columnas distintas cada semana. Se obtuvieron un total de seis puntos estudiados.

6. Plan de muestreo para condiciones actuales del almacén

Punto de recolección	Frecuencia	Humedad Relativa (%)	Temperatura (°C)
Columna determinada	Inicio	1 medición	1 medición
	Cada 16 minutos desde su inicio	1 medición	1 medición

4.2.2. Comportamiento Actual del Tabaco dentro del Almacén:

Se tomaron muestras de tabaco para determinar el porcentaje de humedad, una vez colocado el simulador de un bin dentro del almacén y cada cuatro (4) horas a partir de ese momento, hasta completar un ciclo de cincuenta y dos (52) horas.

1. Variables Involucradas

- Porcentaje de Humedad del tabaco (%)
- Tiempo (hr.)

2. Equipos Utilizados

- *Simulador:* consiste en un recipiente rectangular en donde son agregados los kilos de tabaco correspondientes y se utiliza para simular la estadía del tabaco en los bins dentro del almacén.

- Contenedores para muestras
- Horno eléctrico y desecador para determinar porcentaje de humedad
- Balanza analítica

3. Preparación de la prueba

3.1 Se coordinó con el Departamento de Procesamiento de Tabaco los días en los que se realizaron las pruebas.

3.2 Se llenó el simulador con seis kilos (6 Kg.) de tabaco de la marca “A” en el Departamento de Procesamiento de Tabaco, a la salida del cilindro de esencias (Ver figura N° 12: punto 1).

4. Desarrollo de la prueba

4.1 Se colocó el simulador en la localización acordada (Ver Figura N° 13: punto 7) dentro del almacén de tabaco, se tomó en un contenedor una primera muestra para determinar el porcentaje de humedad inicial.

4.2 Cada cuatro (4) horas, se tomó en el contenedor una muestra para determinar el porcentaje de humedad.

5. Frecuencia

Se tomaron muestras para determinar datos de humedad del tabaco en función del tiempo hasta finalizar el período de cincuenta y dos horas. Se repitió la prueba un total de tres veces.

6. Plan de muestreo para comportamiento actual del tabaco

Punto de recolección	Frecuencia	Humedad del Tabaco (%)
Punto 7 Simulador	Inicio Cada 4 horas desde su inicio	1 medición 1 medición

4.2.3. Condiciones Óptimas de Acondicionado:

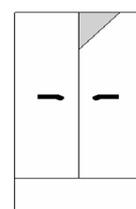
Se colocaron muestras de tabaco dentro de una cámara de acondicionamiento. Dejando fijo el valor de temperatura en 21°C, se varió la humedad relativa dentro de la cámara entre los siguientes valores: 55%, 60%, 65% y 70%.

1. Variables Involucradas

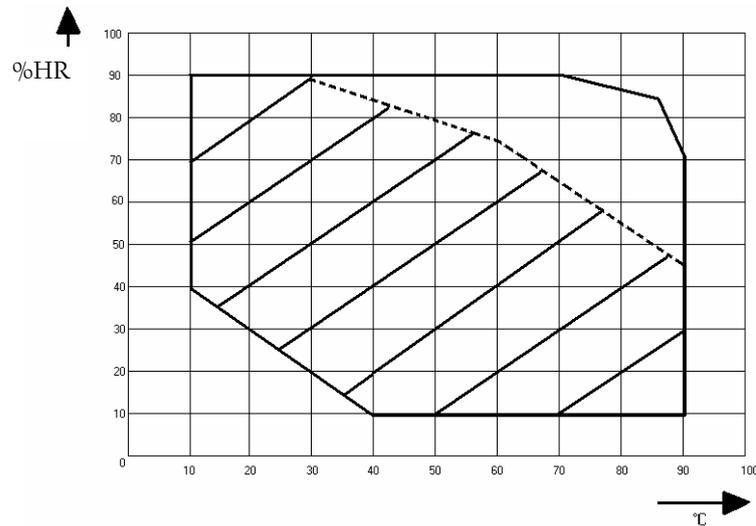
- Temperatura dentro de la cámara de acondicionado (°C)
- Humedad Relativa dentro de la cámara de acondicionado (%)
- Porcentaje de humedad del tabaco (%)
- Tiempo (hr)

2. Equipos Utilizados

Cámara de acondicionado: este equipo permite mantener internamente condiciones de humedad relativa y temperatura que le sean programadas.



El siguiente gráfico muestra los valores a los que la cámara podrá estar internamente.



- Contenedores para muestras
- Horno eléctrico y desecador para determinar porcentaje de humedad
- Balanza analítica

3. Preparación de la prueba

3.1 Se coordinó con el Departamento de Procesamiento de Tabaco los días en los que se realizaron las pruebas.

3.2 Se tomaron once (11) muestras de tabaco en los contenedores a la salida del cilindro de esencias (Ver figura N° 12: punto 1).

3.3 Se colocaron las muestras en una caja y fueron enviadas al Laboratorio de Bigott Planta Valencia para comenzar con el desarrollo de la prueba.

4. Desarrollo de la prueba

- 4.1 Se programó la cámara de acondicionamiento con las condiciones de humedad y temperatura correspondientes a la primera prueba a realizar.
- 4.2 Una vez que los contenedores llegaron a Planta Valencia, se tomó la primera muestra para determinar el contenido de humedad del tabaco inicial.
- 4.3 Se colocó el resto de los contenedores de muestras (previamente abiertos) dentro de la cámara de acondicionamiento.
- 4.4 Cada cuatro horas se sacó una muestra de la cámara y se determinó el porcentaje de humedad del tabaco.

5. Frecuencia

Se tomaron muestras para determinar datos de humedad del tabaco en función del tiempo hasta finalizar el período de cincuenta y dos horas. Se repitió la prueba un total de tres veces.

6. Plan de muestreo para condición óptima de acondicionado

Punto de recolección	Frecuencia	Humedad del Tabaco (%)
Llegada a Valencia	Inicio	1 medición
Acondicionador	Cada 4 horas	1 medición

4.3. Sistema Neumático de Transporte:

4.3.1. Sistema de Control de Velocidad del Aire

4.3.1.1. Condiciones Actuales de Operación:

Durante la producción regular de cigarrillos en las máquinas elaboradoras predeterminadas, se tomaron mediciones de velocidad en el ducto de succión para determinar las condiciones de operación.

1. Variables Involucradas

- Velocidad de Transporte (m/s)

2. Equipos Utilizados

- *Micromanómetro AXD 550:* es una unidad que permite realizar mediciones de diferencias de presión, velocidad del aire y flujo volumétrico.



3. Preparación de la prueba

- 3.1 Se coordinó con el Departamento de Elaboración de Cigarrillos los días en los que se realizaron las pruebas.
- 3.2 Se predeterminaron las máquinas elaboradoras por semana en donde se tomaron las medidas de velocidad.

4. Desarrollo de la prueba

4.1 Antes de comenzar con la experiencia dentro de la planta, fue importante respetar las medidas de seguridad correspondientes; como los son: la utilización de botas de seguridad y protectores auditivos.

4.2 Se programó en la pantalla electrónica del Tubo de Pitot los datos necesarios (unidad de medición y diámetro de la tubería) para que las mediciones fuesen reportadas en unidades de velocidad (m/s)

Unidad de medición: m/s

Diámetro de la tubería: 0.127 metros

4.3 Una vez realizados los pasos anteriores, se debió ubicar en la primera elaboradora el orificio (Ver figura N° 12: punto 4) por el cual se introdujo el instrumento de medición, y se presionó el botón “Zero” para que la medición fuese precisa.

4.4 Se colocó el Tubo de Pitot dentro de la tubería de manera perpendicular y contraria a la corriente de flujo como muestra la figura N° 14.

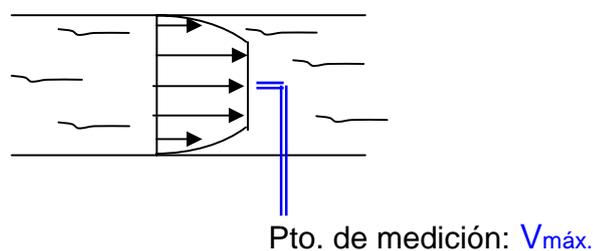


Figura N° 14: Medición de la velocidad superficial del aire

4.5 Cuando la elaboradora envió la señal de pedido como se mencionó en el capítulo anterior, se abrió completamente la válvula ON-OFF que permite el paso del flujo de aire; en ese momento se tomó nota de tres mediciones consecutivas reportadas en la pantalla del instrumento.

4.6 Retirar el instrumento de medición de la tubería.

4.7 Proceder del mismo modo con la siguiente máquina elaboradora seleccionada.

5. Frecuencia

Se tomaron datos de velocidad de transporte para cada elaboradora (2 por semana) en el Departamento de Elaboración de Cigarrillos hasta que las doce (12) máquinas hubiesen pasado por el plan de muestreo. Se obtuvo un total de 5 muestras por elaboradora comenzando con la primera a las ocho de la mañana (8:00 a.m.), seguida de tomas cada dos horas hasta las cuatro de la tarde (4:00 p.m.).

6. Plan de muestreo para medición de velocidad de transporte

	Punto de recolección	Frecuencia	Velocidad (m/s)
DEC	Punto 4 Salida del sistema de transporte neumático en cada elaboradora seleccionada	Inicio	1 medición
		Cada dos horas desde su inicio	1 medición

7. Expresión de Resultados

$$\bar{V}_{m\acute{a}x} = \frac{\sum_{n=1}^3 V_{m\acute{a}x_n}}{n} \quad (\text{Ec. 4.1})$$

Donde:

$\bar{V}_{m\acute{a}x}$: Promedio de velocidades máximas de transporte (m/s)

$$V_{media} = 0.82 \bar{V}_{m\acute{a}x} \quad (\text{Ec. 4.2})$$

Donde:

V_{media} : Velocidad media de transporte (m/s)

4.3.1.2. Condiciones Óptimas de Operación:

Durante la producción regular de cigarrillos marca “A” en el módulo 212, se manipuló el damper colocado en el ducto principal de succión para lograr mantener la velocidad en la succión del módulo en un rango de operación determinado.

Se trabajó con cuatro (4) rangos para las experiencias a realizar:

	Rango de Velocidades (m/s)
Prueba #1 (20 Kg.)	10 – 15
Prueba #2 (20 Kg.)	17 – 20
Prueba #3 (20 Kg.)	23 – 34
Prueba #4 (20 Kg.)	35 – 41

1. Variables Involucradas

- Velocidad de Transporte (m/s)
- Cantidad de tabaco transportado (Kg.)
- *Cantidad de polvillo generado (Kg.):* subproducto generado por la degradación del tabaco. Es el tabaco que se puede asegurar que no va a la elaboración de cigarrillos, por lo tanto es considerado como desperdicio ⁽¹¹⁾.

2. Equipos Utilizados

- Micromanómetro AXD 550
- Contenedores para muestras
- Horno eléctrico y desecador
- Balanza analítica

3. Preparación de la prueba

- 3.1 Se coordinó con el Departamento de Elaboración de Cigarrillos los días en los que se realizaron las pruebas; tomando en consideración que éstas debían coincidir con la producción de la marca “A” en la elaboradora M212.
- 3.2 Se planificó con el Departamento de Procesamiento de Tabaco el alimentador correspondiente a utilizar.
- 3.3 Se pidió en el Departamento de Ingeniería Ambiente y Seguridad Industrial que fuese desarmada la parte inferior del filtro 2B (Ver figura N° 12: punto 5) y se colocó en su lugar una bolsa plástica para recoger el polvillo generado.

- 3.4 Se enumeraron con números del uno (1) al cuatro (4) las bolsas plásticas que se utilizaron para recoger la cantidad de polvillo correspondiente a cada prueba.
- 3.5 Se tomaron ochenta kilos (80 Kg.) de tabaco de la marca "A" en bolsas plásticas de diez kilos (10 Kg.) cada una en el Departamento de Procesamiento de Tabaco, a la salida del cilindro de esencias (Ver figura N° 12: punto 1).

4. Desarrollo de la prueba

- 4.1 Fue importante respetar las medidas de seguridad correspondientes como los son: la utilización de botas de seguridad y protectores auditivos.
- 4.2 Durante la producción regular de cigarrillos marca "A" en la elaboradora M212, se manipuló el damper (Ver figura N° 12: punto 6) para colocarlo en la apertura correspondiente al rango de velocidad requerido.
 - 4.2.1 Se verificó la medida de velocidad en el ducto utilizando el Micromanómetro tal como se explicó en el procedimiento anterior.
- 4.3 Fueron seleccionadas las dos bolsas plásticas (20Kg.) de tabaco que se utilizaron.
- 4.4 Se vació manualmente los 20 Kg. de tabaco en el alimentador predeterminado.

- 4.5 Se pidió a el Departamento de Elaboración de Cigarrillos el cambio de alimentador del M212 y al Departamento de Procesamiento el cambio de nombre de dicho alimentador; se debió colocar “MARCA A”.
- 4.6 Cuando el módulo envió por primera vez la señal de pedido de tabaco, se cambió la bolsa plástica de recolección de polvillo en el filtro por una nueva marcada con el número uno (1).
- 4.7 Se verificó la medida de velocidad en el ducto.
- 4.8 Se recolectó con el contenedor de muestras la cantidad de tabaco que llegó a la tolva del módulo (Ver figura N° 12: punto 3).
- 4.9 Se pesó la cantidad de tabaco que llegó a la tolva.
- 4.10 Se repitieron los pasos 4.7, 4.8 y 4.9.
- 4.11 Una vez que terminados los 20 Kg. de tabaco alimentado:
- 4.11.1 Se retiró la bolsa de recolección de polvillo.
 - 4.11.2 Se comunicó a los departamentos involucrados que podían devolver los cambios realizados.
 - 4.11.3 Se pesó la cantidad de polvillo generado.
- 4.12 Cuando la máquina elaboradora produjera cigarrillos de manera habitual, se debió repetir los pasos 4.1 hasta 4.11 hasta finalizar los 80 Kg. de tabaco.

5. Frecuencia

Se tomaron datos de velocidad de transporte, cantidad de tabaco que llegó a la tolva y cantidad de polvillo generado para cada prueba en los departamentos correspondientes hasta que las cuatro (4) pruebas cumplieren con el plan de muestreo.

Se repitió el proceso descrito para cada uno de los rangos de velocidad. La prueba en su totalidad se realizó cuatro veces para la misma elaboradora.

6. Plan de muestreo para variación de velocidad de transporte

	Punto de recolección	Frecuencia	Variable
DEC	Punto 4 Salida del sistema de transporte neumático en la elaboradora seleccionada	Inicio Final	Velocidad (m/s) 1 medición por prueba 1 medición por prueba
	Punto 3 Caída de tabaco en la tolva de la elaboradora	Inicio Final	Cantidad de tabaco (Kg.) 1 muestra por prueba 1 muestra por prueba
AF	Punto 5 Parte inferior del filtro 2B	Final	Cantidad de polvillo (Kg.) 1 muestra por prueba

Leyenda

AF: Área de Filtros.

7. Expresión de Resultados

$$\%humedad=(masaB-masaA/masaA)*100 \quad (Ec. 4.3)$$

Donde:

% humedad: Porcentaje de humedad del tabaco (%)

masa A: masa inicial del tabaco (gr.)

masa B: masa final del tabaco (gr.)

$$\bar{V}máx = \frac{\sum_{n=1}^2 Vmáx_n}{n} \quad (Ec. 4.4)$$

$$Vmedia = 0.82 \bar{V}máx \quad (Ec. 4.5)$$

$$\bar{M}tabaco = \frac{\sum_{n=1}^2 Mtabaco_n}{n} \quad (Ec. 4.6)$$

Donde:

$\bar{M}tabaco$: Promedio de cantidad de tabaco que llega a la tolva (Kg.)

4.3.2. Configuración del Sistema Neumático de Transporte

4.3.2.1. Condiciones Actuales de Operación:

Se realizó una evaluación de la configuración del sistema neumático de transporte actual de la elaboradora M212, para determinar los puntos de mejora.

1. Variables Involucradas

- Distancias Equivalentes (m)
- Radios de Curvaturas (m)
- Diámetros de Tuberías (m)
- Uniones
- Pérdidas en el sistema (m)

2. Equipos a Utilizar

- Metro
- Goniómetro
- Escalera

3. Preparación de la prueba

3.1 Se coordinó con el almacén de repuestos los días en los cuales estuvo disponible el goniómetro para su utilización.

4. Desarrollo de la prueba

4.1 Se debió respetar las medidas de seguridad correspondientes como los son: la utilización de botas de seguridad y protectores auditivos.

4.2 Fue seleccionado el alimentador de tabaco donde comienza el sistema de transporte para estudiar el layout.

4.3 Utilizando como instrumento de medición un metro, se midió la longitud de los tramos de tubería.

4.4 Se identificaron los codos y se determinó el ángulo de curvatura utilizando el goniómetro.

4.5 Se enumeraron e identificaron las uniones de las tuberías.

5. Frecuencia

Se tomaron datos de longitud de tuberías, ángulos de curvatura, número y tipo de uniones desde el alimentador ubicado en el almacén de tabaco hasta la máquina elaboradora M212.

6. Plan de muestreo para configuración actual del sistema

	Punto de recolección	Variables
AT	Alimentador N° 1	Longitud de tubería Ángulo de curvatura Tipo de uniones
DEC	Primer Piso Alimentador N° 1	Longitud de tubería Ángulo de curvatura Tipo de uniones
	Segundo Piso Alimentador N° 1	Longitud de tubería Ángulo de curvatura Tipo de uniones

4.3.2.2. Condiciones Óptimas de Operación:

Se diseñó una nueva configuración para el sistema neumático de transporte, contemplando los puntos de mejoras identificados para cada línea.

I. Variables Involucradas

- Distancias Equivalentes (m)
- Radios de Curvaturas (m)
- Diámetros de Tuberías (m)
- Uniones
- Pérdidas en el sistema (m)

4.4. Acondicionamiento de la Materia Prima vs. Transporte Neumático:

Durante la producción regular de cigarrillos marca “A” en el módulo 212, se manipuló el damper colocado en el ducto principal de succión para lograr mantener la velocidad óptima en la succión del módulo.

Se trabajó con cuatro (4) condiciones para las experiencias a realizar:

	Cantidad de Tabaco	<i>Parámetros de Acondicionamiento</i>	
		Temperatura (°C)	% Humedad Relativa HR
Prueba #1	20 Kg.	21	55
Prueba #2	20 Kg.	21	60
Prueba #3	20 Kg.	21	65
Prueba #4	20 Kg.	21	70

1. Variables Involucradas

- Condiciones de acondicionado (°C, %H.R.)
- Velocidad de Transporte (m/s)
- Cantidad de tabaco transportado (Kg.)
- Cantidad de polvillo generado (Kg.)

2. Equipos Utilizados

- Cámara de Acondicionado
- Micromanómetro AXD 550
- Contenedores para muestras
- Horno eléctrico y desecador
- Balanza analítica

3. Preparación de la prueba

- 3.1 Se coordinó con el Departamento de Elaboración de Cigarrillos los días en los que se realizaron las pruebas; tomando en consideración que éstas debían coincidir con la producción de la marca “A” en la elaboradora M212.
- 3.2 Se planificó con Planta Valencia los días en que serían enviados y retornados los veinte kilogramos de tabaco (20 Kg.) para ser acondicionados.
- 3.3 Se planificó con el Departamento de Procesamiento de Tabaco el alimentador correspondiente a utilizar.

3.4 Se pidió en el Departamento de Ingeniería Ambiente y Seguridad Industrial que fuese desarmada la parte inferior del filtro 2B (Ver figura N° 12: punto 5) y se colocó en su lugar una bolsa plástica para recoger el polvillo generado.

3.5 Se enumeraron con números del uno (1) al cuatro (4) las bolsas plásticas que se utilizaron para recoger la cantidad de polvillo correspondiente a cada prueba.

4. Desarrollo de la prueba

4.1 Fue importante respetar las medidas de seguridad correspondientes como los son: la utilización de botas de seguridad y protectores auditivos.

4.2 Durante la producción regular de cigarrillos marca “A” en la elaboradora M212, se manipuló el damper (Ver figura N° 12: punto 6) para colocarlo en la apertura correspondiente al valor de velocidad óptima requerida.

2.1.1 Se verificó la medida de velocidad en el ducto utilizando el Micromanómetro.

4.2 Se seleccionaron las dos bolsas plásticas (20Kg.) de tabaco que se utilizaron.

4.3 Se vació manualmente los 20 Kg. de tabaco en el alimentador predeterminado.

4.4 Se pidió a el Departamento de Elaboración de Cigarrillos el cambio de alimentador del M212 y al Departamento de Procesamiento el cambio de nombre de dicho alimentador; se debió colocar “MARCA A”.

4.5 Cuando el módulo envió por primera vez la señal de pedido de tabaco, se debió cambiar la bolsa plástica de recolección de polvillo en el filtro por una nueva marcada con el número uno (1).

4.6 Se verificó la medida de velocidad en el ducto.

4.7 Se recolectó con el contenedor de muestras la cantidad de tabaco que llegó a la tolva del módulo (Ver figura N° 12: punto 3).

4.8 Se pesó la cantidad de tabaco que llegó a la tolva.

4.9 Se repitieron los pasos 4.6, 4.7 y 4.8.

4.10 Una vez que se terminaron los 20 Kg. de tabaco alimentado:

4.10.1 Se retiró la bolsa de recolección de polvillo.

4.10.2 Se le comunicó a los departamentos involucrados que podían devolver los cambios realizados.

4.10.3 Se pesó la cantidad de polvillo generado.

5. Frecuencia

Se tomaron datos de velocidad de transporte, cantidad de tabaco que llegó a la tolva y cantidad de polvillo generado para cada prueba en los departamentos correspondientes hasta que las cuatro (4) pruebas cumplieron con el plan de muestreo.

6. Plan de muestreo para acondicionamiento vs. transporte

	Punto de recolección	Frecuencia	Variable
DEC	Punto 4 Salida del sistema de transporte neumático en la elaboradora seleccionada	Inicio Final	Velocidad (m/s) 1 medición por prueba 1 medición por prueba
	Punto 3 Caída de tabaco en la tolva de la elaboradora	Inicio Final	Cantidad de tabaco (Kg.) 1 muestra por prueba 1 muestra por prueba
AF	Punto 5 Parte inferior del filtro 2B	Final	Cantidad de polvillo (Kg.) 1 muestra por prueba

CAPITULO V: Resultados y Discusión de Resultados.

En esta última etapa del trabajo, se expondrán los resultados obtenidos después de la realización de las experiencias expuestas en la Metodología y Plan Experimental, con sus respectivos análisis y discusiones.

Una vez finalizado el estudio, y precisada la situación actual de las variables involucradas en la elaboración de cigarrillos y de dos de los procesos que permiten la transformación de la materia prima en producto final, se evaluaron propuestas relacionadas a nuevos sistemas de control de velocidades que permitan mantener las condiciones de velocidad óptima de operación a través del sistema de transporte neumático junto con la configuración apropiada del mismo para reducir la influencia del transporte en la generación de desperdicio.

Además, se evaluaron propuestas para un nuevo sistema de acondicionamiento en el Almacén de Tabaco que permita mantener las condiciones deseadas dentro del mismo y que sea, a su vez, favorable para el momento de transportar la materia prima.

5.1. Principales Variables de Interés:

Se evaluó el comportamiento actual de cada una de las variables de interés como lo son: tabaco aprovechable, porcentaje de humedad y capacidad volumétrica del tabaco, para establecer la influencia del acondicionamiento en el Almacén de Tabaco y el sistema neumático de transporte sobre cada una de ellas y su relación con el nivel de degradación del producto.

5.1.1. Comportamiento Actual de las Variables de Interés:

El tabaco atraviesa una serie de procesos desde que es cosechado hasta su transformación en producto final, cada una de estas etapas cumple con una función bien definida, de aquí la importancia del análisis de la materia prima a lo largo de su trayecto. Como el objeto del estudio propuesto se basa en dos procesos principales: el acondicionamiento del tabaco y su transporte hacia las elaboradoras, se dedicó la atención a evaluar el comportamiento que presentan las variables de interés a través de los mismos.

5.1.1.1. Porcentaje de Humedad y Tabaco Aprovechable

Debido a la naturaleza de la materia prima (tabaco), si el contenido de humedad es bajo, se tiene un tabaco seco y frágil por lo que cualquier tipo de contacto o manipulación repercute desfavorablemente en el porcentaje de tabaco aprovechable; por otro lado, si el contenido de humedad aumenta, la hoja de tabaco se hace mucho más maleable y resistente. Es por ello que existe una relación entre estas dos variables.

En la figura N° 15 se muestra el comportamiento actual de las variables estudiadas en función del tiempo.

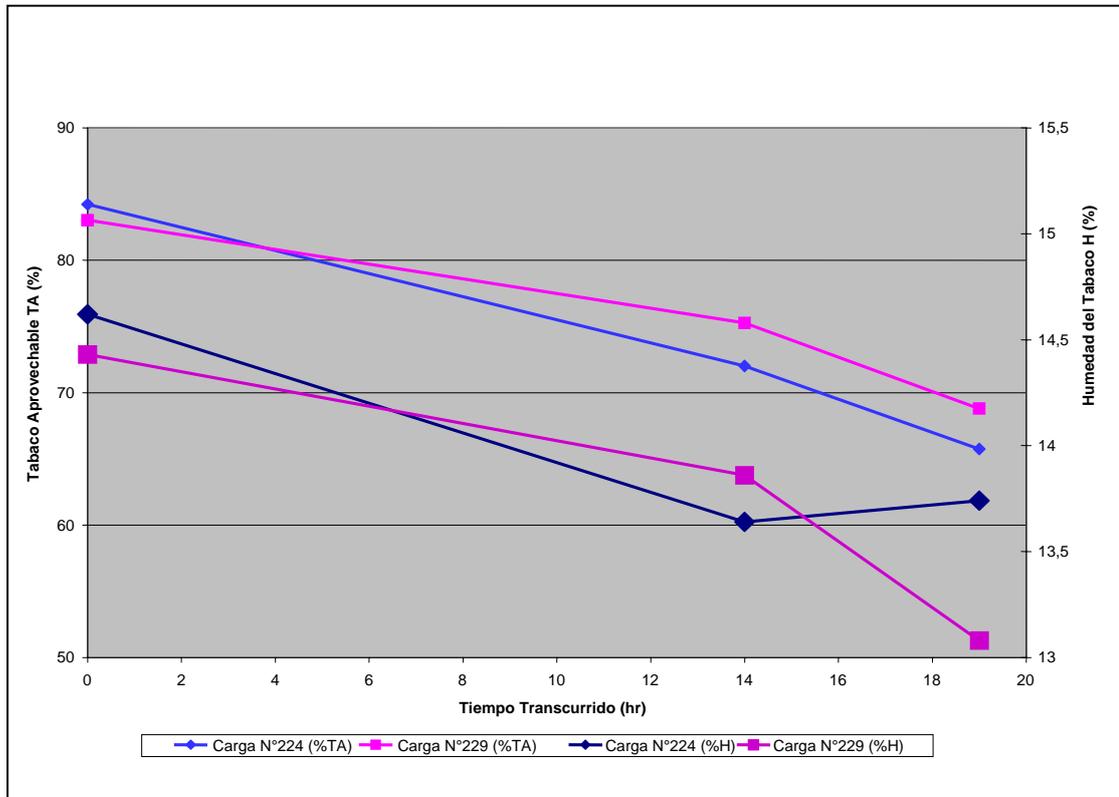


Figura N° 15: Comportamiento actual del porcentaje de Tabaco Aprovechable y porcentaje de Humedad del Tabaco.

En la gráfica se compara la situación de dos cargas de tabaco, el tiempo cero horas (0 hr.) corresponde a las muestras tomadas a la salida del cilindro de esencias en el Departamento de Procesamiento de Tabaco, es aquí donde se tienen las condiciones iniciales del primer proceso a estudiar; es decir, el acondicionamiento del tabaco. El tiempo catorce horas (14 hr.) corresponde a aquellas muestras tomadas en la cascada de caída a los alimentadores cuando la materia prima abandona el Almacén para dirigirse al Departamento de Elaboración de Cigarrillos, en este punto culmina el acondicionamiento y comienza el sistema neumático de transporte; por último, el tiempo diez y nueve horas (19 hr.) corresponde a las muestras recolectadas en la caída de la tolva para cada elaboradora seleccionada; es decir, el final del sistema neumático.

La estadía del tabaco dentro del almacén procura mantener y homogenizar a través de toda la carga, las condiciones de porcentaje de humedad del tabaco obtenidas al culminar su procesamiento previo; no obstante, esta variable no permanece estable sino presenta una tendencia descendente. Se puede ver en la figura que el porcentaje de humedad (H) de la Carga N° 224 disminuyó en el tiempo que permaneció dentro del Almacén de Tabaco un 1% mientras que el porcentaje de humedad (H) de la Carga N° 229 disminuyó un 0.6%. Esta prueba se realizó un total de cinco veces para cinco cargas distintas repartidas entre dos de las marcas que maneja la compañía y el comportamiento se repite. Sin embargo, el porcentaje de pérdida de humedad en el almacén de cada carga varía entre 0.25% y 1% (Ver Apéndice A, Tabla N° 14 y Tabla N° 15).

La tendencia descendente del porcentaje de humedad se relaciona a la propiedad higroscópica del tabaco, la cual le permite ceder humedad dependiendo del ambiente en el que se encuentra, teniendo como consecuencia que el tabaco intente buscar un balance entre su humedad y aquella del aire; es decir, su humedad en el equilibrio. En tal sentido se deben considerar las condiciones actuales del Almacén de Tabaco evaluadas en la discusión posterior ya que el almacén no posee ningún sistema que permita controlar la humedad relativa dentro del mismo.

Cuando el contenido de humedad del tabaco se encuentra por debajo de los valores establecidos, se obtiene como resultado un mayor nivel de degradación, en consecuencia la generación de polvillo aumenta y ya que el mismo representa un indicador de desperdicio, queda claro que la materia prima no está siendo aprovechada en su totalidad y que se está en presencia de una oportunidad de mejora referida a un Sistema de Acondicionamiento en el Almacén de Tabaco, que tendrá repercusión no sólo en la rentabilidad de la empresa sino también en la calidad del producto final.

En la figura N° 15, se logra visualizar que para la Carga N° 224 el porcentaje de tabaco aprovechable se redujo en un 12.2% mientras que para la Carga N° 229 disminuyó un 7.8%; estos resultados afirman que a menor porcentaje de humedad del tabaco, disminuye el porcentaje de tabaco aprovechable. Esta prueba fue realizada un total de cinco veces para cinco cargas distintas con un comportamiento similar en cuatro de ellas, excepto en la Carga N° 231 en donde el porcentaje de tabaco aprovechable aumenta con la disminución de la humedad (Ver Apéndice A, Tabla N° 12 y Tabla N° 13). Este resultado no parece coincidir con la lógica ya que difícilmente el tamaño de partícula puede aumentar bajo las circunstancias a la cual está sometida la carga en el almacén; este efecto puede atribuirse a algún error en la toma de la muestra o en la determinación de la variable.

En el Almacén de Tabaco todas las cargas procesadas se encuentran bajo las mismas circunstancias; es decir, después de elaboradas atraviesan idénticos procesos y llegan a bins de igual tamaño, permaneciendo allí hasta que son enviadas al Departamento de Elaboración de Cigarrillos. Cada carga pasa de los bins a *diferentes* alimentadores dependiendo de la marca a la cual representan; luego a través del sistema neumático de transporte, se traslada el tabaco recorriendo *diferentes* tramos de tubería, que conducen a las *diferentes* elaboradoras (pueden ser de tecnologías distintas) para producir cigarrillos. Lo importante de esta fase en donde se evalúa el comportamiento del sistema neumático es entender que las condiciones de transporte no son iguales.

Por los motivos expuestos en el párrafo anterior es que en la figura N° 15 y mas aún en la tablas N° 12 y N° 13 del Apéndice A, se observa que desde el tiempo 14 horas (inicio del sistema de transporte) hasta el tiempo 19 horas (final del sistema), el comportamiento de las cargas no obedece a ningún patrón, ya que en algunos casos se incrementa el porcentaje de tabaco aprovechable y en otros casos se reduce independientemente del contenido de humedad de la carga.

En conclusión se puede decir que este estudio no manifiesta la realidad de las variables de interés en cuanto a su relación con el sistema neumático de transporte; no obstante, la influencia del transporte en el nivel de degradación del tabaco será enfatizada en las discusiones de las pruebas posteriores donde se contempla la configuración y velocidad del sistema de transporte.

5.1.1.2. Capacidad Volumétrica

Esta variable se conoce como la capacidad que tiene el tabaco de ocupar un determinado volumen por unidad de masa. La figura N° 16 señala el comportamiento de la Capacidad Volumétrica en su recorrido por los procesos a evaluar.

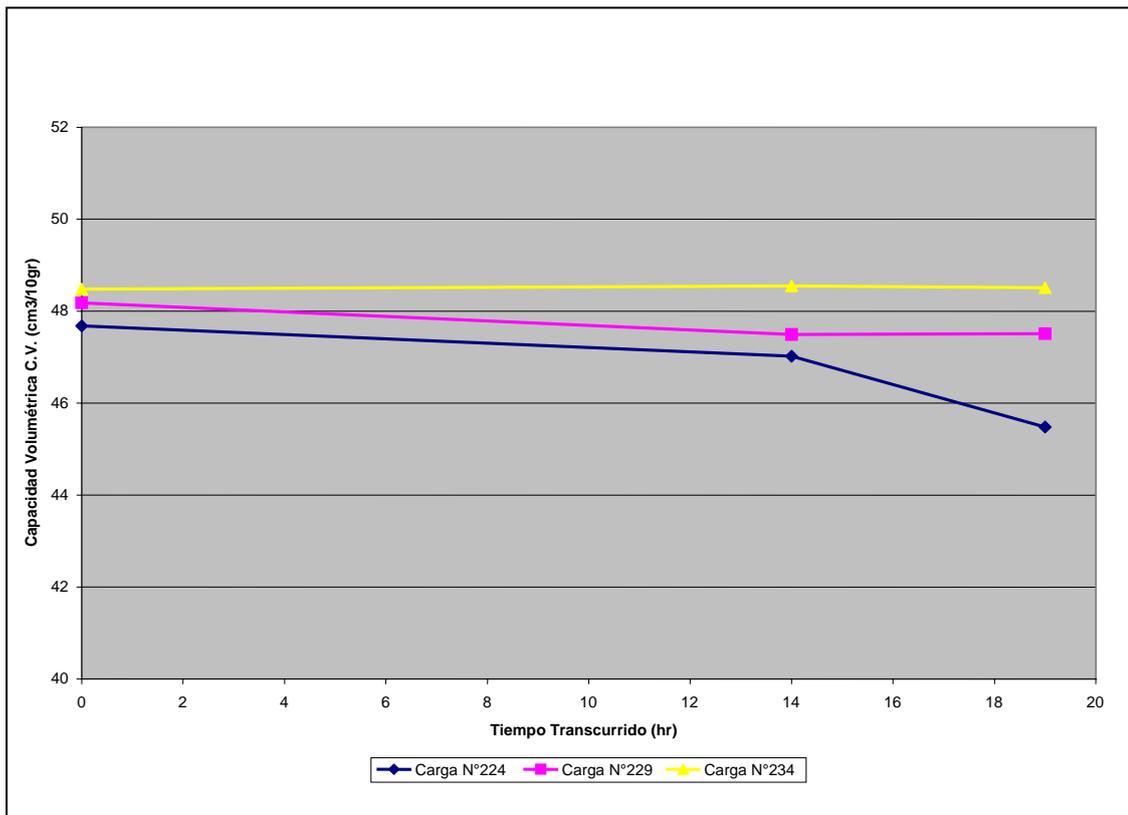


Figura N° 16: Comportamiento actual de la Capacidad Volumétrica.

Estudiar el comportamiento de la capacidad volumétrica es importante ya que esta variable responde a las características del diseño de un cigarrillo. Las estrategias de mercado y los gustos de los consumidores tienen una importante influencia en los requerimientos del diseño. Por ejemplo, para crear un producto final que satisfaga a un mercado con preferencias en cigarrillos ligeros, se especifica en el diseño el peso de tabaco que debe llevar, si el valor de capacidad volumétrica es bajo, significa que se hace necesaria una cantidad mayor de masa para ocupar el mismo espacio correspondiente a la columna de tabaco. Esta diferencia hace que las características de la fumada varíen y que a mayor concentración de tabaco, el cigarrillo dejaría de tener propiedades de un nivel suave y pasaría a tener las propiedades de un cigarrillo de mayor impacto y sabor, de tal modo es imprescindible que los valores de esta variable se encuentren dentro de los parámetros establecidos.

Se manifiesta en la figura N° 16 que la tendencia de la capacidad volumétrica es de permanecer bastante estable a pesar de los cambios en las condiciones a su alrededor, en el tiempo que transcurre dentro del Almacén de Tabaco. Para el lapso de tiempo correspondiente entre las catorce horas y las diez y nueve horas, por las mismas razones indicadas en la discusión del comportamiento del porcentaje de humedad del tabaco y porcentaje de tabaco aprovechable, se puede decir que el estudio no manifiesta la realidad del comportamiento de la Capacidad Volumétrica en cuanto a su relación con el sistema de transporte.

5.2. Acondicionamiento de la Materia Prima:

5.2.1. *Condiciones Actuales del Almacén de Tabaco:*

Tomando en cuenta una vez más que en estos momentos el Almacén de Tabaco no cuenta con ningún sistema que permita tener un ambiente controlado, la influencia del ambiente exterior es un punto importante cuando se verifican las condiciones actuales del lugar.

La siguiente tabla presenta el comportamiento promedio del porcentaje de humedad relativa y temperatura del aire.

Tabla N° 5: Comportamiento de la Temperatura y Humedad Relativa dentro del Almacén de Tabaco.

	Trazabilidad	Fecha	Humedad Relativa Promedio (%)	Temperatura Promedio (°C)
Prueba #1	Columna #1	Semana 49 Año 2004	56.7	23.8
	Columna #2		55.7	23.6
Prueba #2	Columna #3	Semana 50 Año 2004	59.1	23.1
	Columna #4		56.4	23.4
Prueba #3	Columna #5	Semana 4 Año 2005	57.9	24.1
	Columna #6		58.5	23.8

El Almacén de Tabaco fue dividido en tres zonas para así obtener un perfil de humedad relativa y temperatura en toda el área (Ver Apéndice A, Figura N° 25 y Figura N° 26). Cada zona corresponde a las pruebas señaladas en la tabla N° 5, en donde los resultados resaltan que el promedio del porcentaje de humedad relativa dentro del almacén varía entre 55.7 % y 59.1 % y el promedio de la temperatura varía entre 23.1 °C y 24.1 °C.

La figura N° 17 permite tener un conocimiento mas detallado del comportamiento de las variables durante toda la semana para la Prueba #1.

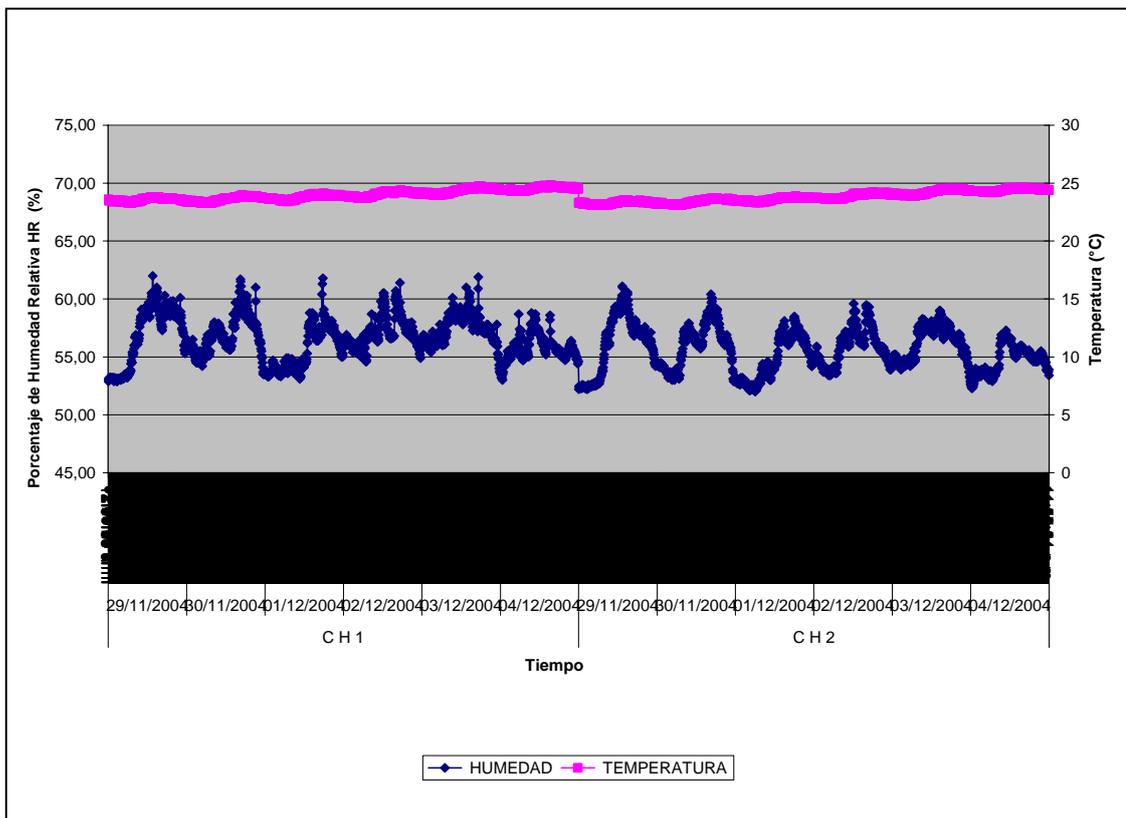


Figura N° 17: Comportamiento de la Temperatura y Humedad Relativa dentro del Almacén de Tabaco en la semana 49, año 2004.

En principio se colocaron los equipos en la primera zona por ser considerada la más crítica (Ver Metodología y Plan Experimental, Figura N° 13). La columna #1 se encuentra localizada justo al lado de la puerta de acceso al personal, el portón de entrada de los montacargas y la faja que traslada las cargas de tabaco desde el Departamento de Procesamiento hacia el Almacén; todos estos representan agentes externos que perturban el ambiente dentro del área. La columna # 2 se encuentra cercana a una ventana, a dos equipos de alimentación de tabaco, a las fajas transportadoras que llevan el tabaco desde los bins hacia los alimentadores y a lo largo de todo el pasillo desde la entrada se colocan las cajas de tabaco reconstituido.

La figura N° 17 muestra una alta variabilidad en los valores de humedad relativa mientras que la temperatura permanece más estable; el mismo comportamiento se observa en las zonas restantes (Ver Apéndice A, Figuras N° 25 y N° 26). En el almacén, el único mecanismo instalado es el aire acondicionado, que proporciona aire frío con un porcentaje de humedad relativa bajo (50% aproximadamente); además de las condiciones internas propiciadas por el aire acondicionado, cabe destacar que existen otros aspectos importantes que contribuyen con este comportamiento.

En el almacén, conjuntamente con los bins en los que se deposita el tabaco, se encuentran cajas que contienen tabaco reconstituido proveniente de Planta Valencia y cajas de tabacos que permanecen, por razones diversas, de manera provisional en el recinto. Para hacer uso de dicho material es necesario que un montacargas entre y salga del almacén, este proceso implica un tiempo en el cual el portón por donde circula permanece abierto; el ambiente del cuarto se modifica según las condiciones ambientales externas y por el calor generado por el motor del vehículo.

Adicional a los factores antes mencionados, el personal que entra, sale y permanece en el área así como los motores de las bandas transportadoras presentes y las cargas de tabaco que ingresan y egresan del almacén con diferentes contenidos de humedad, perturban el estado climático del lugar. Por estas razones se puede afirmar que existe una dependencia entre las condiciones ambientales dentro del Almacén de Tabaco y los factores externos.

Mantener los niveles adecuados de humedad relativa y temperatura en el almacén asegura que el tabaco retenga los niveles correctos de humedad, conservando así su calidad y garantizando que la producción no presente problemas en cuanto a su eficiencia y desperdicio.

5.2.2. Comportamiento Actual del Tabaco dentro del Almacén:

Se colocó en una localización estratégica el simulador de un bin (recipiente donde es almacenada la materia prima) para recrear la estadía del tabaco dentro de los mismos en el almacén; de este modo se obtuvo el comportamiento de la humedad del tabaco en función del tiempo bajo las condiciones actuales del Almacén de Tabaco como lo muestra la figura N° 18.

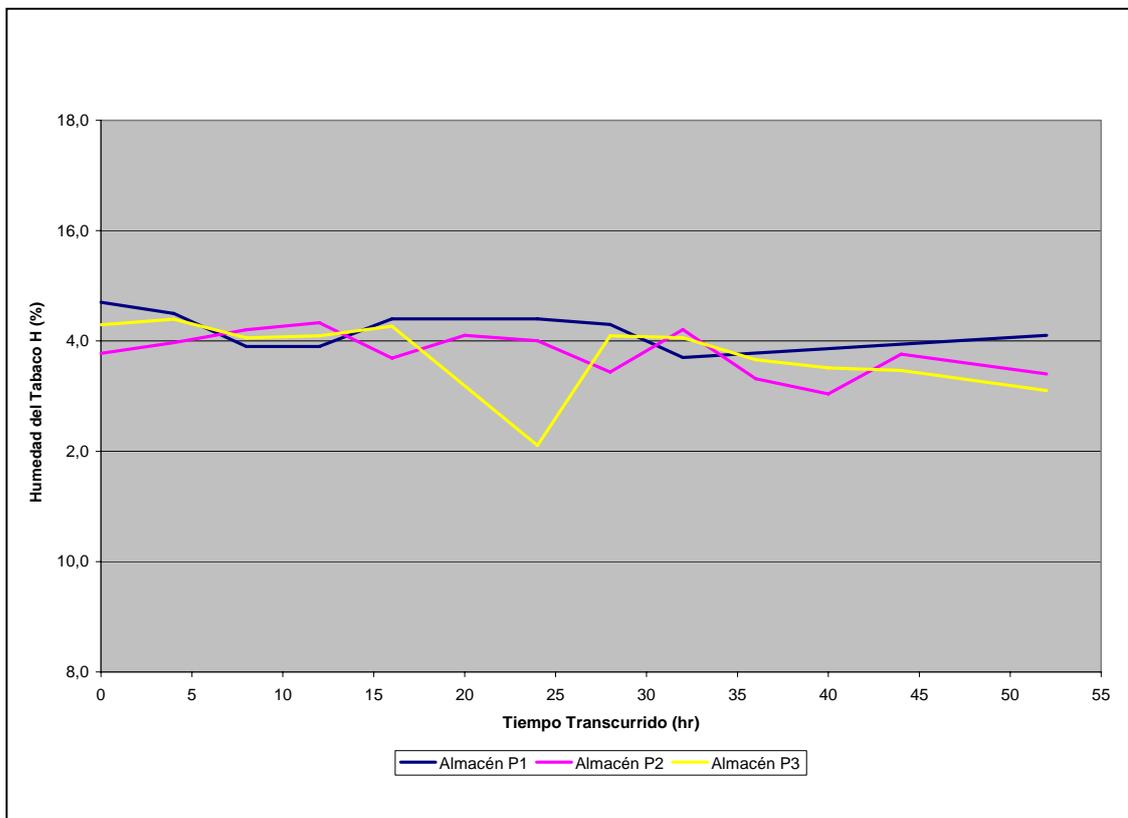


Figura N° 18: Comportamiento del Porcentaje de Humedad del Tabaco dentro del Almacén de Tabaco.

Es preciso destacar que las distintas cargas de tabaco que se producen diariamente permanecen en el almacén mínimo una hora (1 hr.) luego de su salida del Departamento de Procesamiento de Tabaco, máximo cuarenta y ocho horas (48 hr) y una vez que comienza la descarga de los bines hacia los alimentadores, el

proceso puede durar de seis a diez horas dependiendo del número de elaboradoras utilizadas para la producción de una marca determinada.

Los bins que contienen el tabaco no son recipientes completamente cerrados, la parte superior de ellos se encuentra abierta a la atmósfera; por ende, cuando la materia prima se halla dentro del recinto, es expuesta a las condiciones ambientales existentes.

Según los resultados anteriores, referidos al comportamiento actual del Almacén de Tabaco, los valores de humedad relativa y temperatura del aire fluctúan dependiendo de los factores externos mencionados previamente. Este mismo efecto ocasiona una conducta inestable en el porcentaje de humedad del tabaco. El estudio muestra la predisposición del tabaco a buscar un equilibrio entre su contenido de humedad y aquel de su entorno.

El vacilante comportamiento del porcentaje de humedad del tabaco tiene consecuencias predecibles en la producción de cigarrillos. La calidad del producto final no sólo se ve desfavorecida en los casos en los que el tabaco presente contenidos de humedad bajos, teniendo como resultado la degradación del tabaco, mayor generación de polvillo y la indebida formación de la columna de tabaco en el cigarrillo, haciendo visible el defecto de puntas flojas o caídas; sino también en los casos en donde el tabaco esté mas húmedo, donde la creación de tapones de tabaco al pasar a través del sistema neumático de transporte hace deficiente el proceso y adicionalmente se pudiesen observar manchas en el papel de cigarrillo.

Otra consecuencia importante que deriva de las oscilaciones en el comportamiento del porcentaje de humedad en el tabaco es el aumento de la variabilidad de los procesos; si el tabaco está mas húmedo por ejemplo, aumenta su peso, por lo que en la misma columna de tabaco habrá menos masa que aquella especificada en el diseño y viceversa en el caso contrario.

5.2.3. *Condiciones Óptimas de Acondicionado:*

El control de las condiciones del entorno del tabaco es evidente debido a las innumerables consecuencias mencionadas en las discusiones previas.

El tabaco, así como cualquier sólido húmedo, puede transferir agua con el ambiente que lo rodea hasta encontrar su condición de equilibrio aire-sólido. Si la búsqueda de un lugar apropiado para el depósito de la materia prima radica en la necesidad de mantener las condiciones de humedad con las cuales el tabaco dejó el Departamento de Procesamiento de Tabaco para asegurar el aprovechamiento de la materia prima y cumplir con los estándares de calidad, se hace imprescindible conocer las condiciones adecuadas que deberían estar presentes en el almacén, de modo que el contenido de humedad del tabaco esté balanceado con aquel del ambiente para que no exista pérdida ni ganancia.

La humedad de equilibrio del tabaco depende de la temperatura y la humedad relativa del aire con el cual está en contacto. Para cumplir con el objetivo planteado, se colocó tabaco dentro en una cámara de acondicionamiento y se programaron las condiciones de temperatura y humedad relativa para observar el comportamiento de la humedad en función del tiempo para cada condición, y de este modo lograr construir la curva de humedad de equilibrio del tabaco.

La figura N° 19 representa la tendencia mostrada por la variable estudiada para cada una de las condiciones programadas en el acondicionador.

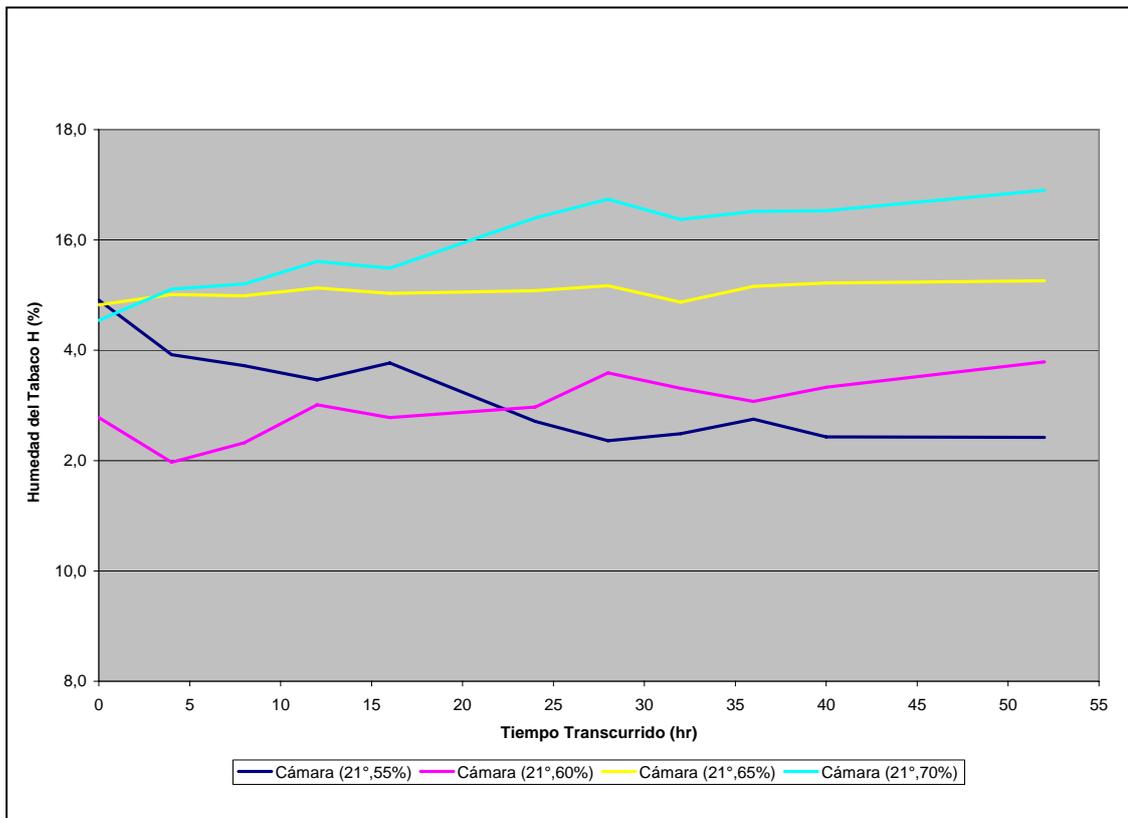


Figura N° 19: Comportamiento del Porcentaje de Humedad del Tabaco dentro de la cámara de acondicionado.

Se tomaron a la salida del Departamento de Procesamiento de Tabaco (tiempo cero horas) cuatro cargas de una misma marca para ser acondicionadas posteriormente. El tabaco abandona el departamento con ciertas condiciones de humedad que deberían estar, de acuerdo a los estándares de producción, entre 14.5% y 15.1%.

Como se demuestra en la figura N° 19, en la prueba llevada a cabo bajo las condiciones de 21°C y 55% de humedad relativa dentro del acondicionador, la carga abandonó el departamento de procesamiento con el porcentaje de humedad de tabaco apropiado y en el transcurso del tiempo que permaneció dentro de la cámara, la

muestra fue cediendo contenido de humedad al ambiente. Este comportamiento se reprodujo en las tres pruebas realizadas bajo las mismas circunstancias (Ver Apéndice A, Tabla N° 19) hasta que el tabaco encontró su humedad de equilibrio en $(12.3 \pm 0.1)\%$.

Para la segunda condición de 21°C y 60% de humedad relativa, se puede apreciar que el porcentaje de humedad del tabaco con el cual la materia prima dejó el Departamento de Procesamiento, está muy por debajo del límite inferior de control esperado. A pesar de esto, se observa la propensión ascendente en el comportamiento de la variable; es decir, el tabaco absorbe contenido de humedad del ambiente pero no consigue estabilizarse en ese período de tiempo (52 horas).

Los resultados de las otras dos pruebas realizadas (Ver Apéndice A, Tabla N° 20) con estas mismas condiciones, reflejan que $(13,6 \pm 0.1)\%$ puede considerarse el valor de porcentaje de humedad en el equilibrio. La prueba N° 2 es la mas indicada para reconocer este valor, la muestra de tabaco entró a la cámara de acondicionamiento con un porcentaje de humedad de 13.5% y este valor persistió en el transcurso del tiempo dejando ver que para esa condición, la humedad del tabaco está en equilibrio con el ambiente.

Para la tercera condición programada de 21°C y 65% de humedad relativa, el porcentaje de humedad del tabaco inicial cumple con el requerimiento y se muestra en la figura un comportamiento bastante estable a lo largo del tiempo de permanencia dentro del acondicionador. Esta prueba se realizó un total de tres veces (Ver Apéndice A, Tabla N° 21), siendo 14.7% el menor valor de humedad en el equilibrio y 15.3% el mayor. Esa estabilidad garantiza una condición favorable para el acondicionamiento del tabaco.

Para las mismas condiciones de 21°C y 70% de humedad relativa, se realizaron tres pruebas (Ver Apéndice A, Tabla N° 22), la primera de ellas es representada en la figura N° 19. El porcentaje de humedad del tabaco con el cual la muestra salió del Departamento de Procesamiento está dentro del rango esperado, posteriormente el contenido de humedad va aumentando hasta que finaliza el tiempo de estudio sin concretar ningún valor de equilibrio.

No obstante, cuando se analizan los resultados de las tres experiencias después de haber transcurrido 40 horas desde su inicio, dos de ellas presentan un porcentaje de humedad de 16.5% y la restante de 16.4%. En esta última, se puede apreciar que después de 52 horas, el porcentaje de humedad continúa siendo de 16,4% concluyendo así que éste corresponde al porcentaje de humedad en el equilibrio. Las otras dos pruebas presentan a las 52 horas comportamientos opuestos; mientras que una de ellas finaliza con 16.9% de humedad, la otra lo hace con 16.0%. Esta discrepancia puede deberse a algún error cometido durante la determinación de la variable estudiada. Se recomienda entonces que para obtener el valor justo del porcentaje de humedad en el equilibrio para estas condiciones, debe repetirse por lo menos una vez más el análisis.

Los resultados de estas pruebas confirman la explicación dada en la discusión anterior, si en el almacén el tabaco se encuentra expuesto a un ambiente de bajo porcentaje de humedad relativa, tenderá a ceder su contenido de humedad hasta alcanzar un balance entre ambos y si por el contrario, el ambiente goza de un alto contenido de humedad relativa, el tabaco absorberá lo que le sea necesario para encontrar su equilibrio. Por esta razón se puede concluir que 50 %, 60 % y 70 % de humedad relativa no son las condiciones mas adecuadas para el acondicionamiento de la materia prima y que 65% representa un valor apropiado para lograr el objetivo deseado.

Las curvas realizadas en las pruebas de acondicionamiento permiten establecer el valor de humedad en el equilibrio del tabaco para cada condición establecida.

La figura N° 20 corresponde a la representación gráfica de los valores de equilibrio.

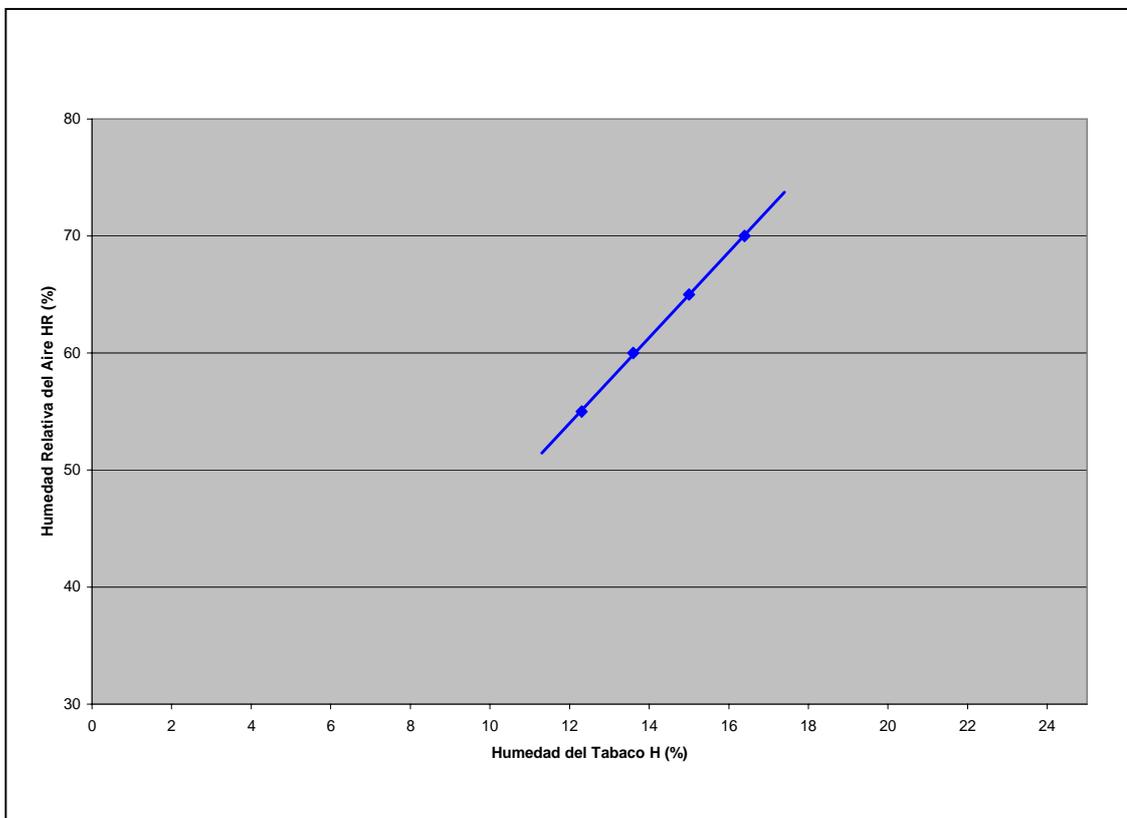


Figura N° 20: Curva de humedad de equilibrio.

Construir esta gráfica proporciona una herramienta útil en el momento de determinar las condiciones del medio a las cuales debería almacenarse la materia prima para cumplir con cualquier exigencia que pueda surgir en el futuro, venga dada por mejoras en los procesos o por cambios en las variables involucradas.

Por ejemplo, si por alguna causa se demuestra que el valor óptimo con el cual el tabaco debería salir del Departamento de Procesamiento sea de 13,6%, la figura N° 20 permite establecer que 21°C y 60% de humedad relativa del aire son las condiciones que deben estar presentes dentro del Almacén de Tabaco.

5.2.4. *Propuestas para el sistema de acondicionamiento:*

En vista de la necesidad de mantener un ambiente controlado en el Almacén de Tabaco, fue necesaria la búsqueda de propuestas adecuadas para un nuevo sistema de humidificación. Con la ayuda de especialistas en el área como lo son el personal de la compañía TecnoTrack, representantes en Venezuela de los equipos para humidificar ambientes “Armstrong”, se seleccionaron tres alternativas que permitiesen lograr el fin definido.

Fueron elegidos para las propuestas, los equipos de humidificación de vapor por inyección directa, tomando como criterio la tabla N° 4 (Ver Capítulo II, Fundamentos Teóricos) donde son comparados los distintos métodos de humidificación.

5.2.4.1. ALTERNATIVA I: *Humidificadores de Inserción en Ducto.*

Datos Requeridos para elaborar la propuesta:

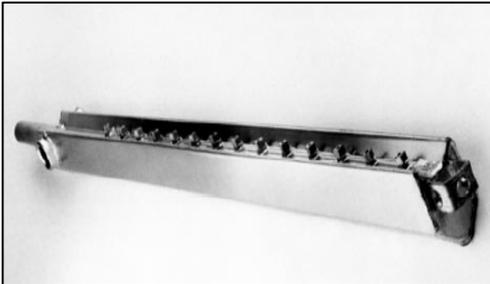
Flujo del aire acondicionado: 10000 scfm por cada vertiente del ducto (2 vertientes).

% de aire fresco asumido para cálculos: 25%

Humedad relativa deseada del cuarto: 65%

Carga de vapor requerida por humidificador: 13.3 lbs/hr (Calculada mediante un Balance de Masa entre las condiciones actuales del Almacén de Tabaco y las condiciones óptimas)

HUMIDIFICADOR SELECCIONADO.-



Marca Armstrong Mod. DSA-9I-SM3, cuerpo en hierro fundido, accionado por válvula solenoide, *Operación ON-OFF*.

Ver sección de Anexos para información detallada del equipo.

DESCRIPCIÓN
Manifold de dispersión enchaquetado mod. SM-3, para instalación horizontal.
Filtro en hierro fundido diam. 1/2" npt.
Humidistatos de límite en ducto y de área.
Switch de temperatura eléctrico.
Trampa de vapor marca Armstrong mod. TVS-8II diam. 3/4" npt.

5.2.4.2. ALTERNATIVA II: *Humidificadores de Inserción en Ducto.*

Datos Requeridos para elaborar la propuesta:

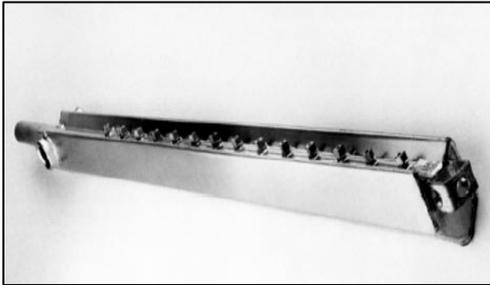
Flujo del aire acondicionado: 10000 scfm por cada vertiente del ducto (2 vert.).

% de aire fresco asumido para cálculos: 25%

Humedad relativa deseada del cuarto: 65%

Carga de vapor requerida por humidificador: 13.3 lbs/hr 13.3 lbs/hr (Calculada de igual manera, mediante un Balance de Masa)

HUMIDIFICADOR SELECCIONADO.-



Marca Armstrong mod. HEM-91-SM3, cuerpo en hierro fundido, accionado por actuador eléctrico BELIMO, Operación Modulante.

Ver sección de Anexos para información detallada del equipo.

DESCRIPCIÓN
Manifold de dispersión enchaquetado mod. SM-3, para instalación horizontal.
Filtro en hierro fundido diam. ½" npt.
Humidistatos de límite en ducto y de área.
Switch de temperatura eléctrico.
Trampa de vapor marca Armstrong mod. TVS-811 diam. ¾" npt.

5.2.4.3. ALTERNATIVA III: *Humidificadores de Área.*

Datos Requeridos para elaborar la propuesta:

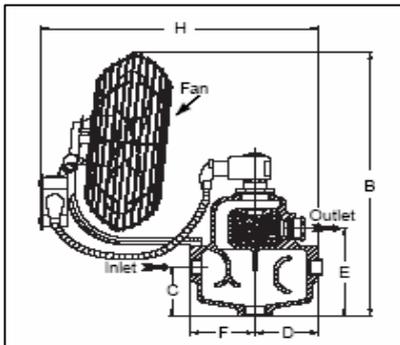
Volumen del Almacén de Tabaco: 200.000 ft³

Cambios de aire fresco asumido para cálculos: 2

Humedad relativa deseada del cuarto: 65%

Carga de vapor requerida por humidificador: 24.2 lbs/hr (Calculada de igual manera, mediante un Balance de Masa)

HUMIDIFICADOR SELECCIONADO.-



Marca Armstrong mod. FSA-91A, cuerpo en hierro fundido, accionado por válvula solenoide, con ventilador, *Operación ON-OFF*

Ver sección de Anexos para información detallada del equipo.

DESCRIPCIÓN
Filtro en hierro fundido diam. 1/2" npt.
Humidistato de área y switch de temperatura eléctricos.
Trampa de vapor marca Armstrong mod. TVS-811 diam. 3/4" npt.

5.2.4.4. COMPARACIÓN DE COSTOS.-

	Cant.	Precio Unitario	Total
ALTERNATIVA I: <i>Humidificadores de Inserción en Ducto. Operación On-Off.</i>	2	\$ 6.021,00	\$ 12.042,00
ALTERNATIVA II: <i>Humidificadores de Inserción en Ducto. Operación Modulante.</i>	2	\$ 7.849,00	\$ 15.698,00
ALTERNATIVA III: <i>Humidificadores de Área. Operación On-Off.</i>	6	\$ 4.060,00	\$ 21.360,00

Aunque la Alternativa I representa la menor inversión inicial, este equipo de humidificación se instalaría dentro del ducto del aire acondicionado; como el mismo se encuentra dividido en dos vertientes, es necesaria la obtención de dos humidificadores como lo muestra la propuesta. Debe mencionarse entonces, que del 100% del flujo de aire, sólo 25% es aire fresco (tomado del ambiente externo) y 75% corresponde al flujo de retorno; es decir, tomado del aire presente dentro del área.

Debido a las condiciones de movilización y permanencia del tabaco dentro del almacén, en el ambiente existe la presencia del polvillo generado, entonces en ese aire que retorna se encuentran suspendidas partículas sólidas, muchas de las cuales quedan retenidas en el filtro del sistema pero otras pasan a través del filtro, por lo que el aire que viaja a través del ducto está contaminado y con el vapor que estarían desprendiendo los humidificadores, se formaría una masa que quedaría adherida al ducto y a los equipos, complicando el mantenimiento de los mismos y reduciendo su vida útil debido al carácter abrasivo del tabaco.

La diferencia entre esta propuesta y la Alternativa II, es el carácter de la Operación Modulante que favorece al control mas fino de humedad relativa dentro del área; pese a esto, por ubicarse dentro de los ductos no se recomienda la implementación de estos humidificadores en el Almacén de Tabaco.

Un planteamiento válido sería adaptar el sistema de aire acondicionado para que todo el aire provenga del ambiente externo (100% aire fresco) y así utilizar los ductos del retorno para llevar el polvillo a las cámaras de sedimentación ubicadas en la planta. Así se facilitaría el mantenimiento de los sistemas instalados en el Almacén (Propuesta del Ing. Jorge Tomé).

La Alternativa III, aunque en principio es la más costosa, se ajusta mejor a las condiciones presentes en el Almacén de Tabaco. Estos equipos pueden ser colocados a lo largo y ancho del área a humidificar, haciéndose más fácil el mantenimiento de los mismos y garantizando la homogeneidad de las condiciones que se desean mantener colocando cada equipo en la ubicación necesaria. Como bien lo indica la propuesta, es necesario instalar seis (6) equipos para alcanzar el propósito planteado.

Por los motivos expuestos anteriormente, esta propuesta sería la más recomendada para cumplir con el objetivo de mantener las condiciones de 65% de humedad relativa del aire dentro del Almacén de Tabaco.

5.3. *Sistema Neumático de Transporte:*

El rendimiento del sistema neumático de transporte depende principalmente de dos factores básicos, como lo son:

- Un *sistema de control de velocidad del aire*, incluyendo la búsqueda de un sensor apropiado, la mejor estrategia de control, las válvulas y/o accesorios a utilizar y la velocidad óptima de transporte para el tabaco
- La *configuración adecuada del sistema neumático*, contemplando los siguientes aspectos: distancias equivalentes, radios de las curvaturas, diámetros de tuberías, uniones y layout, y las pérdidas en el sistema.

5.3.1. Sistema de Control de Velocidad del Aire

Teóricamente si la velocidad de transporte es menor, se obtiene como resultado mejor calidad del tabaco, producto de la influencia directa de la velocidad sobre el nivel de degradación de la materia. No obstante, existe una velocidad mínima, donde por debajo de ella el tabaco no podría ser transportado.

5.3.1.1. *Condiciones Actuales de Operación:*

La velocidad de transporte representa una de las variables de suma importancia en la manufactura de cigarrillos, trasladar el tabaco desde el almacén hasta las máquinas elaboradoras sin que esto se traduzca en un importante deterioro en el tamaño de partícula de la materia prima se convierte en todo un desafío.

Utilizando como instrumento de medición un tubo de pitot y realizando las mediciones respectivas en el Departamento de Elaboración de Cigarrillos, fue posible conseguir los valores de velocidad de operación de todas las elaboradoras. Un promedio de los mismos se muestra en la tabla N° 6.

Tabla N° 6: Promedio de velocidades medias para cada elaboradora en el Departamento de Elaboración de Cigarrillos.

Elaboradora	Promedio de Velocidades medias (m/s)
M201	25
M202	24
M203	28
M204	25
M205	24
M206	23
M207	23
M208	23
M210	21
M211	24
M212	34

Actualmente se dispone de un sistema de control de velocidades, el cual intenta mantener para cada una de las elaboradoras un valor de velocidad de transporte adecuado que asegure la mínima degradación del tabaco por la influencia del transporte.

Analizando los resultados obtenidos se observa que el promedio de velocidades en las elaboradoras varían entre los 21 m/s y 28 m/s como valores mínimo y máximo respectivamente; sin embargo, la tendencia de la mayoría señala que el sistema de control apunta a mantener una velocidad de (23 ± 2) m/s. La variación entre las mediciones se debe a varios factores, entre los cuales se pueden mencionar que las mismas fueron tomadas con un tubo de pitot sostenido a pulso por una persona; por lo que al pasar el flujo de aire, se propiciaba el movimiento y la imprecisión al momento de mantener el instrumento perpendicular al fluido. Otro aspecto de importancia es que el fluido que pasa a través de la tubería es una mezcla de aire y polvillo de tabaco, éste último pudo haber entorpecido las mediciones reportadas.

En la tabla se hace notar el valor de 34 m/s de la máquina elaboradora M212, el cual se encuentra muy por fuera del rango mencionado. Cabe destacar que esta elaboradora es la única (de las evaluadas) que no está conectada al controlador (PLC). En esta elaboradora se puede manipular el damper colocado en la tubería principal del sistema neumático manualmente, es por ello que esta velocidad de transporte no sigue los lineamientos antes expuestos.

Como la elaboradora M212 no se encuentra incluida en el sistema de control de velocidades y debido a que el damper que regula el flujo de aire puede ser colocado en cualquier posición definida, se tomó esta máquina como prototipo para la realización de la experiencia posterior la cual tiene como fin la búsqueda de la condición óptima de operación.

5.3.1.2. Condiciones Óptimas de Operación:

Se realizaron pruebas variando la velocidad del sistema neumático y simultáneamente se midió: la cantidad de tabaco que llegaba a la tolva de la elaboradora y la cantidad de polvillo generado cuando al sistema fueron alimentados 20 kilogramos de tabaco, hasta encontrar un rango óptimo de operación que permitiera transportar una cantidad apropiada de tabaco hacia las máquinas que elaboran cigarrillos con un impacto mínimo en la degradación.

La tabla N° 7 señala el promedio de los resultados obtenidos de las cuatro pruebas efectuadas.

Tabla N° 7: Cantidad promedio de tabaco transportado vs. Cantidad promedio de polvillo generado para cada rango de velocidades establecido.

	Velocidad (m/s)	Cantidad de tabaco transportado (Kg.)	Cantidad de polvillo generado (Kg.)	Porcentaje de desperdicio asociado (%)
Prueba #1 (20 Kg.)	10 – 15	-	-	-
Prueba #2 (20 Kg.)	17 – 20	1.6	0.9	4.5
Prueba #3 (20 Kg.)	23 – 34	2.7	2.7	13.5
Prueba #4 (20 Kg.)	35 – 41	3.3	5.2	26.0

Para comenzar la experiencia, se colocó el damper en la posición donde la lectura del tubo de pitot registró valores entre 10 y 15 m/s; pero este rango de velocidades no fue suficiente para movilizar el tabaco hasta las elaboradoras. En este caso, quedan descartados dichos valores como condiciones de operación deseadas.

El segundo rango de velocidades corresponde a valores de 17 a 20 m/s según las mediciones realizadas. Los resultados obtenidos demuestran que llegan 1.6 kilogramos por pedida de tabaco a la tolva de la elaboradora y que al finalizar los 20 kilogramos de tabaco alimentados, se recogieron un promedio de 0.9 kilogramos de polvillo generado, esta cantidad representa un desperdicio de 4.5%. El menor porcentaje comparado con el resto de las pruebas; concluyendo de esta manera, que las condiciones de operación para el control de velocidades deben estar dentro de este rango óptimo de operación.

Los datos recolectados para aquellos valores de velocidad comprendidos entre 23 y 34 m/s revelan que 2.7 kilogramos es la cantidad de tabaco que consiguen llegar a la tolva de la elaboradora. Asimismo, esta suma coincide con el polvillo recolectado, el cual constituye un desperdicio de 13.5%.

Se logró alcanzar el último rango de velocidades de 35-41 m/s, dejando pasar el mayor flujo de aire con la apertura total del damper ubicado en el ducto principal de succión. Bajo esta condición, 3.3 kilogramos de tabaco llegaron a la tolva y la cantidad de polvillo recogida manifestó como mayor porcentaje de desperdicio un 26%.

Remitiéndonos a las condiciones actuales de operación presentadas en la discusión previa, se puede verificar que las velocidades de transporte no se encuentran dentro del rango óptimo de operación de 17 – 20 m/s. Por lo que se puede afirmar que el sistema actual no permite mantener la velocidad requerida y es por ello que se desea proponer un sistema que permita cumplir con las necesidades expuestas.

Como el tiempo de apertura de la válvula que permite el paso del aire a través del sistema está controlado por un temporizador y éste contempla un lapso de operación de 12 segundos, es de esperarse que a altos valores de velocidad, la

cantidad de tabaco transportado sea mayor. No obstante, la tabla N° 7 no deja claro cual debería ser la cantidad apropiada de tabaco a trasladarse bajo estas condiciones. Conocer la proporción másica de tabaco y aire es fundamental para poder establecer las condiciones de flujo dentro de la tubería.

La tabla N° 8, compara los valores experimentales producto de las pruebas realizadas y los valores esperados de acuerdo a la variable del transporte bifásico, *densidad de la fase*.

Tabla N° 8: Datos teóricos y datos experimentales referenciales para estimar la condición de flujo.

		Datos Teóricos	Datos Experimentales
Diámetro Tubería. (D)	plg	5,00	5,00
Velocidad (U)	m/s	17	17
Densidad del aire (ρ)	Kg/m ³	1,08	1,08
Tiempo de pedida (t)	s	12	12
Relación masa tabaco/masa aire	-	1,5	0,6
Área Tubería (A)	m ²	0,013	0,013
Flujo Másico Aire (ma)	Kg/s	0,23	0,23
Flujo Másico Tabaco (mt)	Kg/s	0,35	0,13
Masa de tabaco que llega (Mt)	Kg	4,2	1,6
Masa de aire que llega (Ma)	Kg	2,8	2,8

Utilizando la ecuación $ma = U \times \rho \times A$, conjuntamente con los datos actuales del proceso como el diámetro de tubería, densidad del aire, tiempo que dura el transporte del tabaco; asumiendo que la velocidad óptima de operación es de 17 m/s

y que el comportamiento más idóneo del tabaco dentro de las tuberías obedece a la condición de flujo en Fase Densa Fluidizada (Densidad de fase: masa tabaco / masa aire ~ 1.5), se tiene que la cantidad de tabaco a ser transportada es de 4.2 kilogramos. Mientras que los resultados experimentales señalan que 1.6 kilogramos es la cantidad real que está siendo trasladada y por consiguiente la relación masa tabaco / masa aire de 0,6 apunta a la condición de flujo en Fase Diluida (Densidad de fase: masa tabaco / masa aire \ll 1.5) entonces las partículas se encuentran completamente suspendidas y las colisiones entre partículas – pared y partículas – partículas acentúan la pérdida del porcentaje de tabaco aprovechable (Ver Capítulo II, Fundamentos Teóricos. Figura N° 8).

Aunque el sistema de control de velocidades permitiese mantener la velocidad óptima de operación, el nivel de degradación del tabaco se seguiría viendo realizado como consecuencia de la condición de flujo y las pérdidas asociadas a la configuración inadecuada del sistema neumático de transporte.

5.3.1.3. Propuesta para el sistema de control de velocidades:

En la búsqueda de reducir el impacto en la degradación de la materia prima debido al método utilizado para transportar el tabaco, se elaboraron propuestas adecuadas para un nuevo sistema de control de velocidad del aire. En este caso se contó con la ayuda del personal de las compañías MCL Control, ABB y Siscom de Venezuela.

El primer paso necesario para seleccionar las alternativas consistió en definir las características generales del proceso:

- 1.- Pueden estar en funcionamiento 1, 2 o todas las elaboradoras simultáneamente.
- 2.- Se confirmó la existencia de diferentes flujos de aire en las tuberías de succión a la salida de cada elaboradora.
- 3.- El ventilador genera un flujo constante.
- 4.- El Damper regula a aperturas preestablecidas según el número de máquinas en funcionamiento.
- 5.- El proceso de llenado es por cargas y de muy corta duración (12 segundos).

En base a lo anterior, se bosquejaron las soluciones descritas a continuación.

- **PROPUESTA N° 1:**

Esta propuesta contempla para controlar el flujo de aire lo siguiente:

- Ajuste Grueso a través del Damper: donde la velocidad va a depender directamente del número de máquinas en línea.
- Ajuste Fino a través de la Válvula de Control: un controlador PID para cada válvula de control en función del flujo y de la válvula ON-OFF a la salida de cada elaboradora.

La figura N° 21 permite visualizar de manera gráfica el esquema de control propuesto para el sistema de control de velocidades.

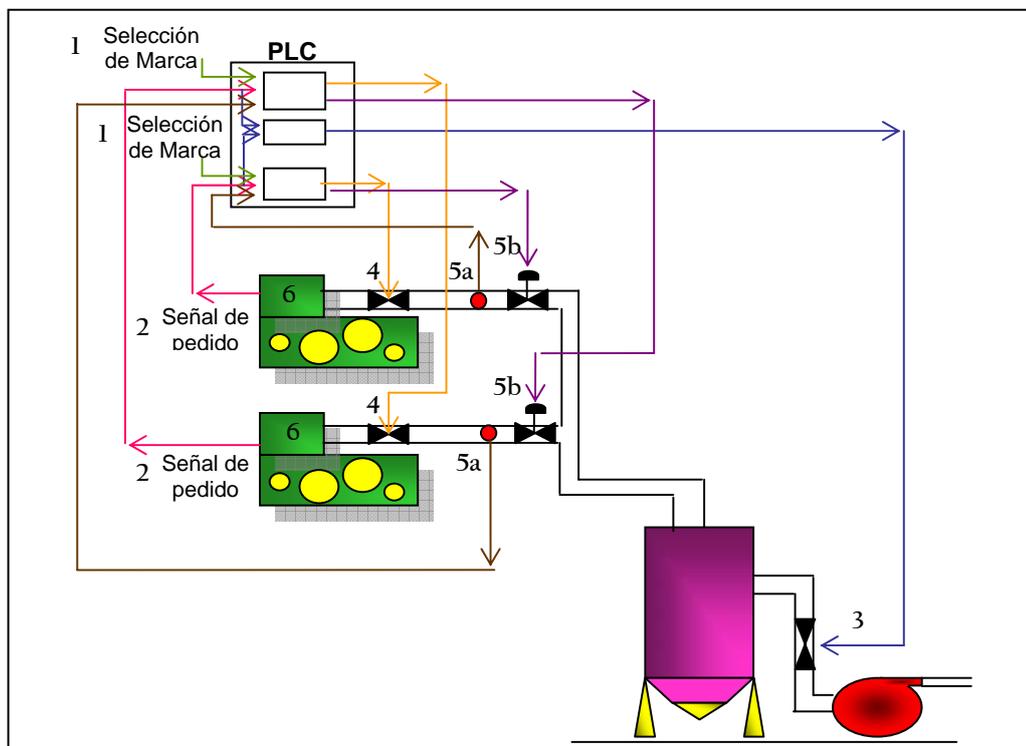


Figura N° 21: Estrategia de control planteada para la propuesta N° 1.

Para lograr tal fin se debe disponer de un sistema con la siguiente lógica de control:

1. El Departamento de Elaboración envía al controlador (PLC) una señal de selección de la marca a producir por la elaboradora.
2. La máquina emite una señal de pedido de tabaco.
3. Dependiendo de la cantidad de elaboradoras en funcionamiento, el controlador (PLC) enviará una señal al Damper colocado aguas arriba del ventilador para que el mismo regule el porcentaje de apertura.
4. El controlador (PLC) envía la señal a las válvulas ON-OFF y éstas se abren completamente permitiendo el paso del tabaco.
5. El instrumento de medición evalúa la velocidad del flujo y manda la señal correspondiente al controlador (PLC) para que éste envíe instrucciones a la válvula de control que se colocará en la posición apropiada.
6. El control del nivel de la tolva de la elaboradora es temporizado, cuando llega al tiempo programado (12 seg), la válvula ON-OFF se cierra completamente.

COTIZACIÓN OFRECIDA POR MCL CONTROL: Propuesta N° 1

DESCRIPCIÓN	Cant.	Precio Unitario	Total
Medidor de flujo Tipo Annubar, removible durante el servicio, para diámetro de tubería de 5", material del sensor 316 ss, conexión al proceso roscada, con válvula de bola de acero al carbono, Adaptador para montaje directo de transmisor.	1	\$ 1.218,00	\$ 1.218,00
Transmisor de presión diferencial, rango 0-10" de agua, material cuerpo de acero al carbono, indicación local. Incluye Manifold de 3 vías.	1	\$ 3.317,00	\$ 3.317,00
Hora-Hombre de configuración, programación y asesoría. Aprox. 10 días.		\$ 53,00	\$ 53,00
Prueba en sitio, arranque y puesta en marcha.	1	\$ 872,00	\$ 872,00
Documentación.	1	\$ 450,00	\$ 450,00

- **PROPUESTA N° 2:**

Esta propuesta contempla para controlar el flujo de aire lo siguiente:

- **Ajuste Grueso y Ahorro de Energía a través del Variador de Frecuencias:** control de la velocidad del ventilador (a través del VSD) donde la velocidad va a depender directamente del número de máquinas en línea.
- **Ajuste Fino a través de la Válvula de Control:** un controlador difuso para cada válvula de control en función del flujo y de la válvula ON-OFF a la salida de cada elaboradora

La figura N° 22 permite visualizar de manera gráfica la estrategia de control propuesta para el sistema de control de velocidades.

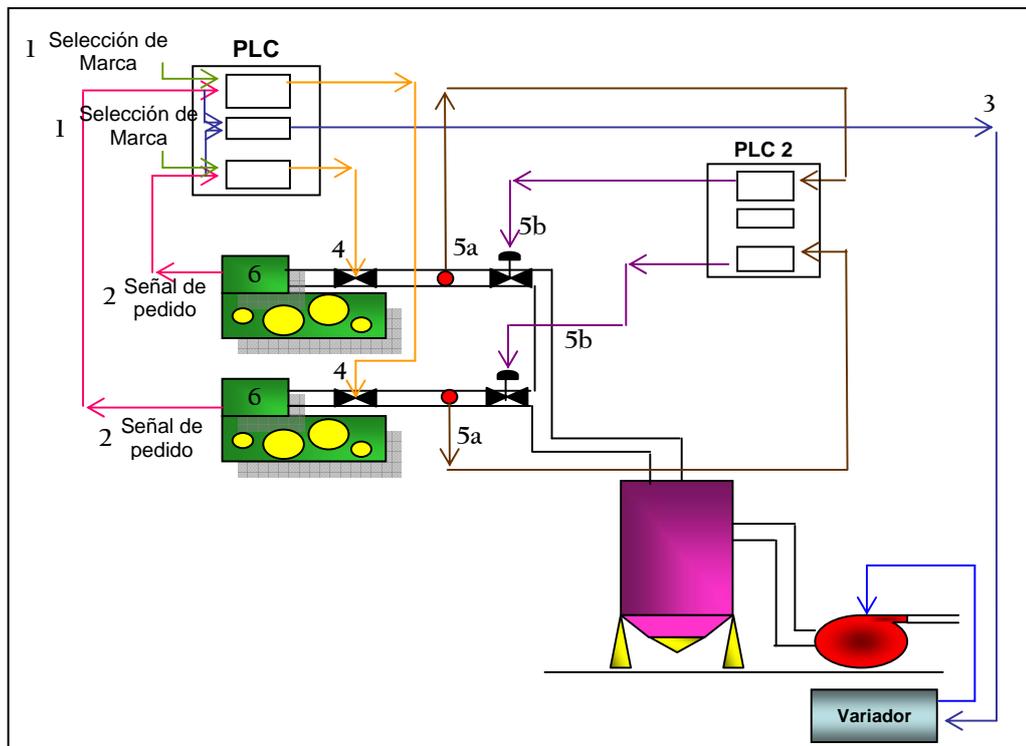


Figura N° 22: Estrategia de control planteada para la propuesta N° 2.

Para lograr tal fin se debe disponer de un sistema con la siguiente lógica de control:

1. El Departamento de Elaboración envía al controlador (PLC) una señal de selección de la marca a producir por la elaboradora.
2. La máquina emite una señal de pedido de tabaco.
3. Dependiendo de la cantidad de elaboradoras en funcionamiento, el controlador (PLC) enviará una señal al Variador para que el mismo regule el flujo del ventilador.
4. El controlador (PLC) envía la señal a las válvulas ON-OFF y éstas se abren completamente permitiendo el paso del tabaco.
5. El instrumento de medición evalúa la velocidad del flujo y manda la señal correspondiente al segundo controlador (PLC 2) para que éste envíe instrucciones a la válvula de control que se colocará en la posición apropiada.
6. El control del nivel de la tolva de la elaboradora es temporizado, cuando llega al tiempo programado (12 seg), la válvula ON-OFF se cierra completamente.

COTIZACIÓN OFRECIDA POR ABB: Propuesta N° 2

DESCRIPCIÓN	Cant.	Precio Unitario	Total
Medidor de flujo tipo WEDGE.	1	\$ 4.000,00	\$ 4.000,00
Variador de Velocidad ACS550.	1	\$ 4.000,00	\$ 4.000,00
PLC AC800M + Módulos de comunicación con ACS550 + Módulos de Entrada / Salida.	1	\$ 30.000,00	\$ 30.000,00

COMPARACIÓN DE COSTOS.-

	Total
PROPUESTA N° 1: MCL Control	\$ 5.910,00
PROPUESTA N° 2: ABB	\$ 38.000,00

Para concluir, se puede decir que cualquiera de las dos propuestas expuestas permite lograr el objetivo de mantener las velocidades de transporte para cada elaboradora dentro del rango óptimo de operación. Aunque los costos de la propuesta N° 2 sean mucho mas altos, ésta permite generar un ahorro de energía que debe ser considerado por la compañía al momento de tomar una decisión al respecto. Se debe mencionar que hay que contemplar en ambas cotizaciones el precio de la válvula de control que por razones de tiempo la compañía Siscom no fue capaz de proporcionar.

5.3.2. Configuración del Sistema Neumático de Transporte

El trayecto que recorre el tabaco a lo largo de las tuberías que lo transportan desde el almacén al departamento de elaboración de cigarrillos tiene una incidencia directa en la generación de desperdicio.

5.3.2.1. Condiciones Actuales de Operación:

Retomando la conclusión plasmada en la discusión preliminar, se puede decir que la razón por la cual la masa de tabaco que llega a la elaboradora es menor a la esperada para satisfacer la relación masa de tabaco / masa de aire tiene que ver con la configuración actual del sistema neumático.

Haciendo un recorrido por la línea se recopilaron los datos que presenta la tabla N° 9.

Tabla N° 9: Variables involucradas en el diseño actual del sistema de transporte neumático.

Punto de recolección	Longitud de tuberías (m)	N° de codos y ángulo de curvatura
Desde el Alimentador N° 1 hasta la Elaboradora M212	54.8	6 codos de 90° (r/d = 1) 3 curvas de 160°

Se ha de enfatizar que esta elaboradora es la única (de las evaluadas) que se encuentra localizada en un tercer piso y se debe recordar que los alimentadores de

tabaco, los cuales son el inicio del sistema neumático de transporte, se encuentran dentro del Almacén de Tabaco en el primer piso de la compañía.

En la tabla N° 9 así como en el Plano de Evaluación del Sistema de Transporte de Tabaco que se encuentra en la sección de Anexos, se puede observar que en el camino que recorre la materia prima se encuentran obstáculos que interrumpen el flujo de aire cargado con partículas sólidas, como la conexión inadecuada de tuberías y codos con ángulos de curvatura cerrados. Estos factores propician la condición de turbulencia del fluido que trae como consecuencia la debilitación del tabaco transportado, disminuyendo su tamaño hasta convertirlo en polvillo que además de concentrarse severamente en el fondo de la tubería, es arrastrado por el sistema neumático hacia el filtro recolector, siendo reportado como desperdicio.

La figura N° 23 muestra algunas de las condiciones más críticas presentes en la línea evaluada. La ubicación de estos factores, así como de algunos otros, se pueden observar en el Plano de Evaluación del Sistema de Transporte de Tabaco (Anexo A).

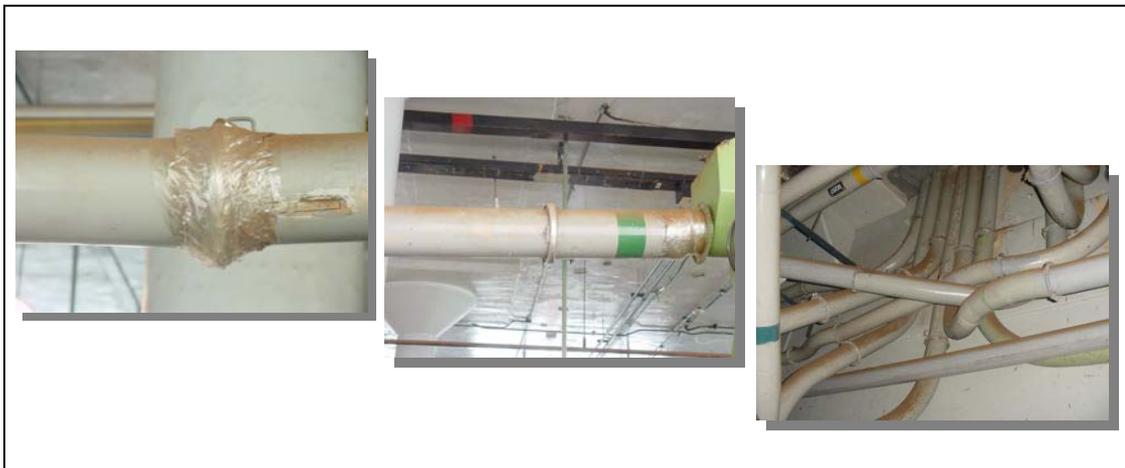


Figura N° 23: Fotos del levantamiento de la configuración actual del sistema neumático de transporte.

5.3.2.2. Condiciones Óptimas de Operación:

Podría intuirse que la configuración ideal para el sistema neumático de transporte de tabaco, sería aquella en donde el material recorre la menor distancia posible desde su punto inicial hasta su destino final sin tener que encontrar impedimentos que perturben su trayectoria. La influencia sobre la degradación es mayor cuando el tabaco choca con las paredes de las tuberías durante el cambio de dirección que representa tener un ángulo cerrado, que aquella que sufre al atravesar largas distancias.

La propuesta realizada para una nueva configuración del sistema de transporte de tabaco toma como base el criterio mencionado, el Plano correspondiente a la Propuesta de la Configuración del Sistema de Transporte se encuentra en la sección de Anexos (Anexo B).

Las variables involucradas en la configuración que representa las condiciones óptimas de operación son señaladas en la tabla N° 10.

Tabla N° 10: Variables involucradas en el nuevo diseño del sistema de transporte neumático.

Punto de recolección	Longitud de tuberías (m)	N° de codos y ángulo de curvatura
Desde el Alimentador N° 1 hasta la Elaboradora M212	59.0	2 codos de 45° 3 codos de 90° (r/d = 1)

La figura N° 24 muestra algunas de las condiciones, como la unión entre tuberías y los radios de curvatura, que deben estar presentes en la propuesta de la configuración óptima del sistema neumático para no encontrar los problemas mencionados en la discusión anterior y así reducir el impacto del transporte sobre la degradación del tabaco.

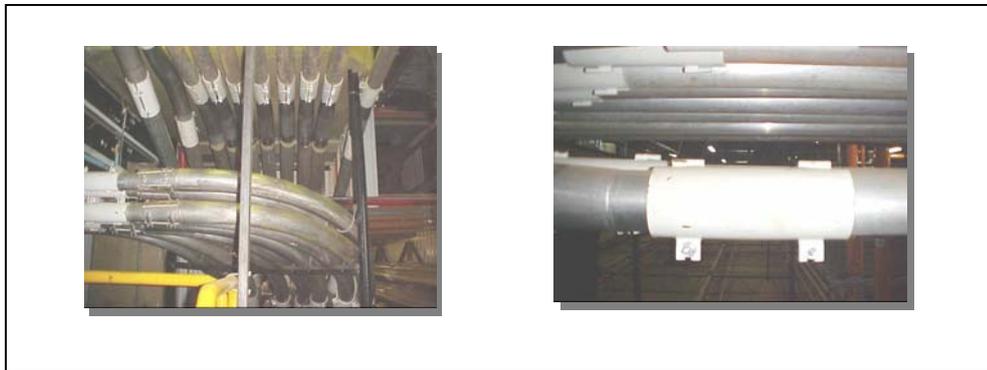


Figura N° 24: Fotos de ejemplos para la configuración óptima del sistema neumático de transporte.

5.4. *Acondicionamiento de la Materia Prima y Transporte Neumático:*

Una vez determinado el rango de velocidad óptima del sistema neumático, se realizaron pruebas ajustando dicha velocidad mediante el posicionamiento del damper y simultáneamente se midió, una vez más, la cantidad de tabaco que llegó a la tolva de la elaboradora y la cantidad de polvillo generado alimentando al sistema 20 kilogramos de tabaco previamente acondicionado dentro de la cámara de acondicionamiento en Bigott Planta Valencia.

Después de realizar la experiencia, se hallaron los resultados que presenta la tabla N° II.

Tabla N° II: Cantidad de tabaco transportado vs. Cantidad de polvillo generado para cada condición de acondicionamiento.

	Humedad Relativa (%HR)	Cantidad de tabaco transportado (Kg.)	Cantidad de polvillo generado (Kg.)	Porcentaje de desperdicio asociado (%)
Prueba #1 (20 Kg.)	55	1.4	4.2	21.0
Prueba #2 (20 Kg.)	60	1.4	2.6	13.0
Prueba #3 (20 Kg.)	65	1.6	0.4	2.0
Prueba #4 (20 Kg.)	70	1.4	0.2	1.0

Como era de esperarse y así quedó demostrado también en las discusiones anteriores, cuando el tabaco es expuesto a las condiciones de 55% de humedad relativa del aire, tiende a ceder su contenido de humedad al ambiente, por lo que se hace mas frágil y al momento de ser transportado se tuvo un porcentaje de

desperdicio asociado de 21%. Quiere decir que aunque se cuente con un sistema apropiado de control de velocidades, se genera casi el mismo porcentaje de desperdicio que cuando las velocidades de transporte estuvieran su mayor rango de operación (26%).

Cuando la materia prima es acondicionada a 60% de humedad relativa del aire, la cantidad de polvillo generado es de 2.6 kilogramos; es decir, se tiene una disminución en el porcentaje de desperdicio asociado. No obstante, según los resultados obtenidos en las pruebas de condiciones óptimas para el Almacén de Tabaco, estas circunstancias no son las más favorables ya que el porcentaje de humedad del tabaco se estabiliza en 13,6%, muy por debajo del valor determinado como objetivo. Además el porcentaje de desperdicio asociado de 13% es comparable con el 13.5% relacionado al rango de velocidades de 23 – 34 m/s (superior al rango óptimo). Por lo que no se justificaría entonces la propuesta del sistema de control de velocidades.

Manteniendo el rango óptimo de velocidades y acondicionando el tabaco a 65% de humedad relativa del aire, la cantidad de polvillo generado fue de 0.4 kilogramos. Comparando el porcentaje de desperdicio asociado de esta prueba que fue de 2% con aquel de 4.5% referido al ajuste de velocidades, se debe destacar que juntas las propuestas del *Acondicionamiento en el Almacén de Tabaco* y el *Sistema de Control de Velocidad del Aire* son mas efectivas en el logro de la disminución del nivel de degradación y por tanto los resultados obtenidos en ambos estudios pueden ser considerados condiciones óptimas de operación.

El menor porcentaje de desperdicio asociado fue el perteneciente a la prueba donde se combinan el porcentaje de humedad relativa de 70% y el rango de velocidades adecuado, pero de igual modo estas circunstancias no son las más favorables ya que el porcentaje de humedad del tabaco aumenta muy por encima del valor determinado como objetivo.

No obstante, sigue existiendo una oportunidad de mejora relacionada a los sistemas mencionados; actualmente el porcentaje de humedad con el cual el tabaco debe salir del Departamento de Procesamiento corresponde a la especificación de humedad de tabaco del cigarrillo, que es de 13.3%.

Se podrían realizar experiencias aumentando el valor de humedad del tabaco en el producto final, para ello será necesario aumentar también el porcentaje de humedad a la salida del Departamento y repetir el estudio de humedad de equilibrio para determinar la condiciones a las que debería estar el Almacén de Tabaco y monitorear el comportamiento del desperdicio en el transporte y la aparición defectos en el cigarrillo hasta encontrar aquel valor que permita disminuir el porcentaje de degradación sin tener consecuencias desfavorables en la calidad del producto.

CONCLUSIONES

Después de haber finalizado la evaluación de los sistemas de acondicionamiento y transporte de tabaco y la discusión de los resultados obtenidos, se presentan las siguientes conclusiones:

- * La calidad física y sensorial del cigarrillo depende de las etapas que transita el tabaco para ser transformado en el producto final.
- * Existe una relación directa entre la humedad del tabaco y el porcentaje de tabaco aprovechable; si disminuye el contenido de humedad de la materia prima, el porcentaje de tabaco aprovechable disminuye también.
- * Existe de igual modo una relación inversa entre el contenido de humedad del tabaco y el nivel de degradación del mismo; en ese caso, si el porcentaje de humedad se reduce, aumentaría por consiguiente la cantidad de polvillo generado en el proceso.
- * Las condiciones actuales del Almacén de Tabaco propician una pérdida del porcentaje de humedad del tabaco entre 0.25% y 1% y una reducción del porcentaje de tabaco aprovechable que va desde 7.8% hasta 12.2%.
- * Debido a la dependencia actual entre las condiciones ambientales dentro del Almacén de Tabaco y los agentes externos que la perturban, y de acuerdo a mediciones realizadas la humedad relativa dentro del área varía de 55.73% a 59.12%.

- * La curva de humedad de equilibrio facilita conocer las circunstancias a las que debe ser expuesto el sólido para alcanzar el balance con el medio ambiente.
- * Para garantizar el porcentaje de humedad del tabaco adecuado que beneficia tanto la calidad del producto como la productividad del proceso de manufactura, sesenta y cinco por ciento (65%) de humedad relativa y veinte y un grados centígrados (21 °C) son las condiciones a las que debe permanecer el Almacén de Tabaco
- * Para acondicionar el Almacén se debe optar por la propuesta de los humidificadores de área marca Armstrong ya que por su flexibilidad se adaptan mejor a la realidad del proceso.
- * La velocidad del transporte del tabaco y el nivel de degradación del mismo guardan una relación proporcional.
- * Las pruebas efectuadas para encontrar el rango óptimo de operación para el sistema de control de velocidades demostraron que de 17 a 20 m/s el porcentaje de desperdicio fue de 4.5%; el menor porcentaje de degradación asociado.
- * Tanto la estrategia para el sistema de control de velocidades propuesta por la compañía MCL Control así como de la ABB permiten alcanzar el objetivo de mantener el rango óptimo de operación planteado.
- * El resultado de la cantidad de tabaco transportado hasta la tolva de la elaboradora manteniendo el control de velocidades en el rango óptimo de operación, permite estipular que la masa de tabaco es menor a la masa de aire transportada lo que significa que la condición de flujo actual corresponde a la fase fluidizada.

- * En la configuración actual del sistema neumático de transporte se observaron diversas obstrucciones que desfavorecen el transporte del tabaco.
- * Para certificar que se cumpla la relación masa tabaco / masa de aire = 1.5 se debe formalizar la propuesta de la nueva configuración para el sistema neumático de transporte.
- * Juntas las propuestas de acondicionar el Almacén de Tabaco a 65% de humedad relativa y 21 °C, un sistema de control de velocidades que garantice el rango de operación entre 17 - 20 m/S y una configuración adecuada del sistema neumático de transporte representan la oportunidad de reducir el impacto sobre el nivel de degradación de la materia prima.

A partir de los análisis realizados y de las conclusiones señaladas, se muestran a continuación algunas recomendaciones:

- * Para avalar las mediciones de temperatura dentro del Almacén de Tabaco, se recomienda la limpieza del ducto del aire acondicionado.
- * Acondicionar otro espacio para colocar las cajas de tabaco que permanecen dentro del almacén de manera de disminuir el tiempo de permanencia de los montacargas.
- * Estudiar el diseño de todas las líneas de producción para ejecutar los correctivos necesarios.
- * Se recomienda humidificar el Departamento de Elaboración de Cigarrillos, ya que todo el aire que utiliza la elaboradora lo recibe del ambiente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1.- Proyecto de distribución y control del transporte de Hebra, C.A. Cigarrera Bigott Sucs. Caracas.
- 2.- BROWNE, Colin L. "The design of cigarettes". Hoechst Celanese. Third Edition. 1990.
- 3.- BOTTOMLEY, Abigail. "Leaf and Product Technology". British American Tobacco. 1986.
- 4.- www.biggot.com
- 5.- TREYBAL, Robert. "Operaciones de Transferencia de Masa". Mc Graw Hill. Segunda Edición. México 2001.
- 6.- Armstrong International, Inc. "Armstrong Humidification Solution Source". Armstrong Bulletin No. 5962002.
- 7.- BAUMEISTER, Theodore. "Manual del Ingeniero Mecánico". Mc Graw Hill. Segunda edición en español. México 1989.
- 8.- Perry Robert. "Manual del Ingeniero Químico" Editorial Mc Graw Hill, Séptima Edición, México, 1999.
- 9.- Mc Cabe / Smith "Operaciones básicas de ingeniería química ". Mc Graw Hill. 4^{ta} edición. Barcelona 1973.

- 10.- “Instrucciones de Trabajo para Determinar la Humedad del tabaco con el horno”.
Gerencia de Aseguramiento de la Calidad. Bigott.
- 11.- “Instrucciones de Trabajo para Determinar el Tabaco Aprovechable”.
Gerencia de Aseguramiento de la Calidad. Bigott.
- 12.- “Instrucciones de Trabajo para Determinar la Capacidad Volumétrica del Tabaco”. Gerencia de Aseguramiento de la Calidad. Bigott.

APÉNDICE A: Recolección de Datos.

A.1. Principales Variables de Interés:

A.1.1. Comportamiento Actual de las Variables de Interés:

Tabla N° 12: Comportamiento actual del porcentaje de Tabaco Aprovechable para la marca "A".

	Punto de muestreo	Tabaco Aprovechable (%)		
		Carga N° 224	Carga N° 229	Carga N° 234
<i>Marca A</i>	DPT	84.2	83.0	81.5
	A.T.	72.0	75.2	70.4
	M203	65.7	-	-
	M207	74.3	-	-
	M201	-	68.7	-
	M210	-	75.4	-
	M208	-	-	76.1
	M211	-	-	73.0

Tabla N° 13: Comportamiento actual del porcentaje de Tabaco Aprovechable para la marca "B".

	Punto de muestreo	Tabaco Aprovechable (%)	
		Carga N° 179	Carga N° 231
<i>Marca B</i>	D.P.T	83.95	80.61
	A.T	72.90	82.70
	M204	77.96	-
	M205	75.21	-
	M202	-	78.16
	M206	-	69.78

Tabla N° 14: Comportamiento actual del porcentaje de Humedad del Tabaco para la marca "A".

	Punto de muestreo	Humedad del Tabaco (%)		
		Carga N° 224	Carga N° 229	Carga N° 234
<i>Marca A</i>	D.P.T	14.62	14.43	14.64
	A.T	13.64	13.86	13.88
	M203	13.74	-	-
	M207	13.68	-	-
	M201	-	13.08	-
	M210	-	13.37	-
	M208	-	-	13.85
	M211	-	-	13.75

Tabla N° 15: Comportamiento actual del porcentaje de Humedad del Tabaco para la marca "B".

	Punto de muestreo	Humedad del Tabaco (%)	
		Carga N° 179	Carga N° 231
<i>Marca B</i>	D.P.T	14.42	15.02
	A.T	13.76	14.78
	M204	13.84	-
	M205	13.78	-
	M202	-	14.27
	M206	-	14.28

Tabla N°16 : Comportamiento actual de la Capacidad Volumétrica para la marca "A".

	Punto de muestreo	Capacidad Volumétrica (cm ³ /10gr)		
		Carga N° 224	Carga N° 229	Carga N° 234
<i>Marca A</i>	D.P.T	47.68	48.18	48.48
	A.T	47.02	47.49	48.55
	M203	45.48	-	-
	M207	48.20	-	-
	M201	-	47.51	-
	M210	-	47.26	-
	M208	-	-	46.57
	M211	-	-	48.51

Tabla N° 17: Comportamiento actual de la Capacidad Volumétrica para la marca "B".

	Punto de muestreo	Capacidad Volumétrica (cm ³ /10gr)	
		Carga N° 179	Carga N° 231
<i>Marca B</i>	D.P.T	48.86	49.96
	A.T	47.77	49.26
	M204	48.33	-
	M205	47.97	-
	M202	-	48.89
	M206	-	48.29

A.2. Acondicionamiento de la Materia Prima:

A.2.1. Condiciones Actuales del Almacén de Tabaco:

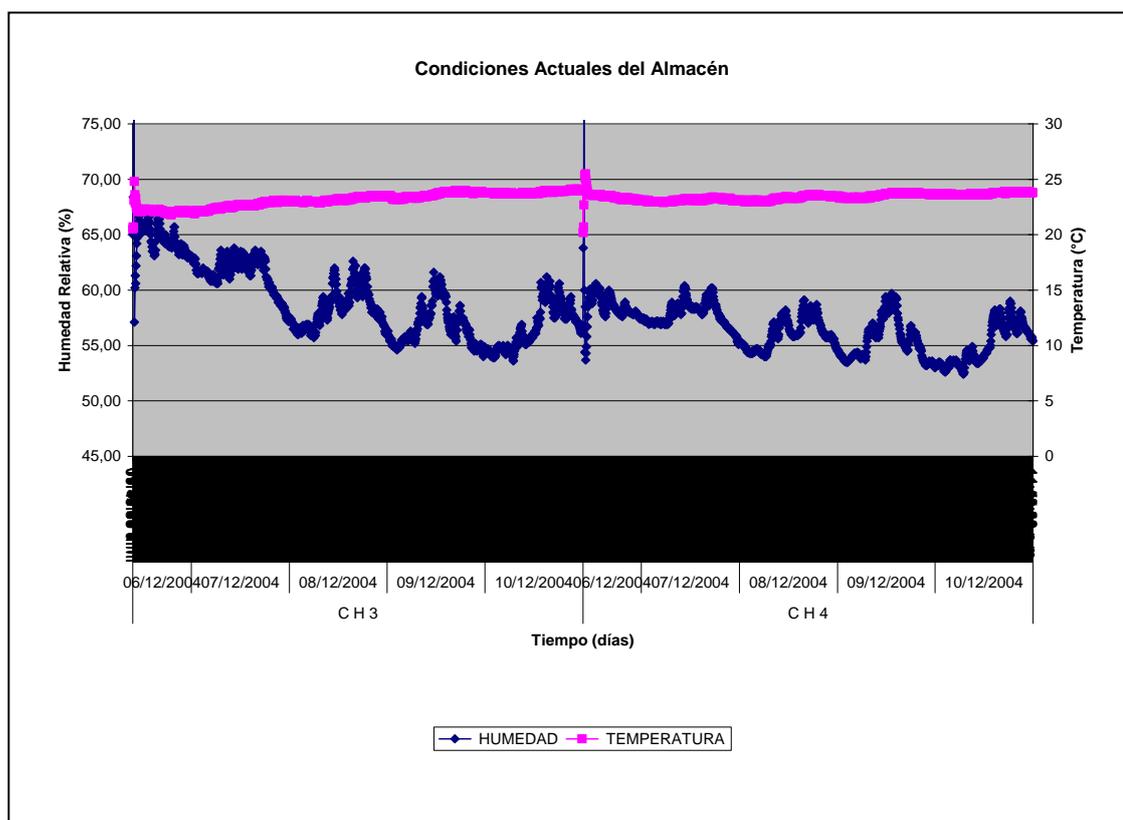


Figura N° 25: Comportamiento de la Temperatura y Humedad Relativa dentro del Almacén de Tabaco en la semana 50, año 2004.

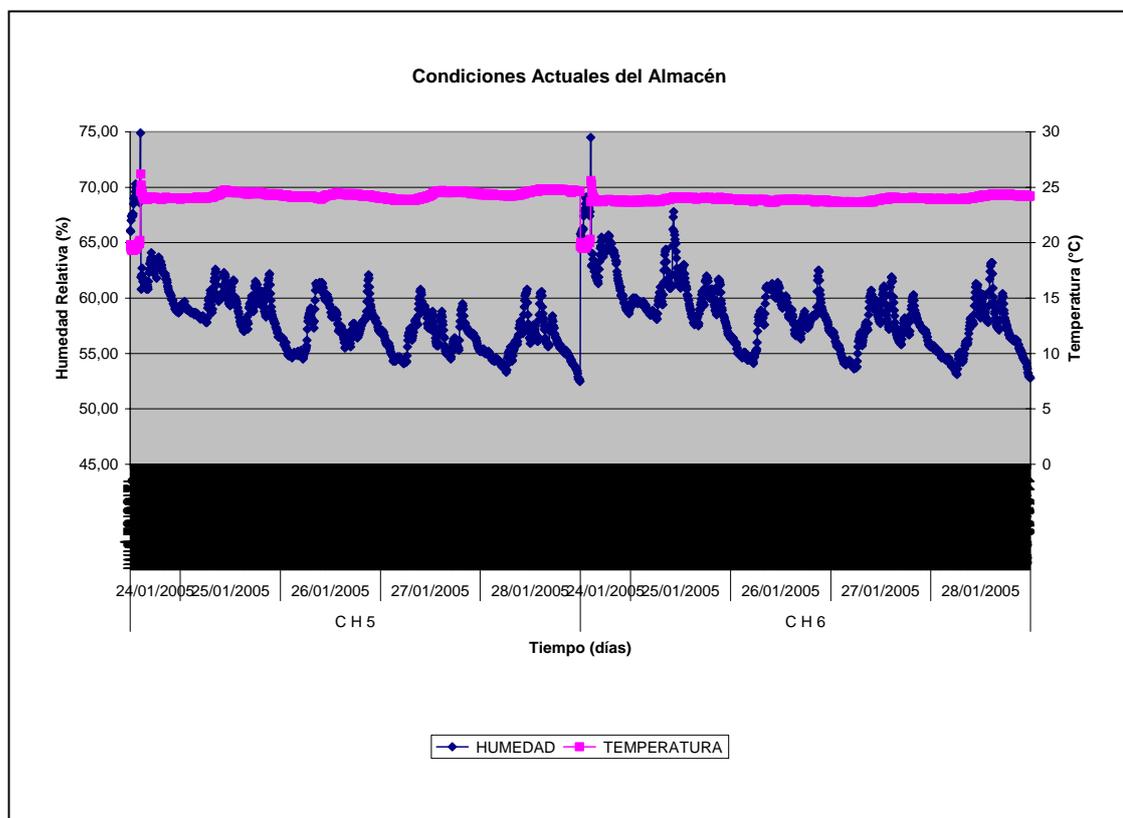


Figura N° 26: Comportamiento de la Temperatura y Humedad Relativa dentro del Almacén de Tabaco en la semana 4, año 2005.

A.2.2. Comportamiento Actual del Tabaco dentro del Almacén:

Tabla N° 18: Comportamiento del Porcentaje de Humedad del Tabaco dentro del Almacén de Tabaco.

Tiempo Transcurrido (hr.)	Humedad del Tabaco (%)		
	Almacén Prueba P1	Almacén Prueba P2	Almacén Prueba P3
0	14.7	13.8	14.3
4	14.5	14.0	14.4
8	13.9	14.2	14.1
12	13.9	14.3	14.1
16	14.4	13.7	14.3
20	-	14.1	-
24	14.4	14.0	12.1
28	14.3	13.4	14.1
32	13.7	14.2	14.1
36	-	13.3	13.7
40	-	13.0	13.5
44	-	13.8	13.5
48	-	-	-
52	14.1	13.4	13.1

A.2.3. Condiciones Óptimas de Acondicionado:

Tabla N° 19: Comportamiento del Porcentaje de Humedad del Tabaco dentro de la cámara de acondicionado a 21°C y 55% Humedad Relativa.

Punto de muestreo	Tiempo Transcurrido (hr.)	Humedad del Tabaco (%)		
		Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
Cámara (21°C, 55%HR)	0	14.9	14.7	14.6
	4	13.9	14.0	13.5
	8	13.7	13.7	13.0
	12	13.5	13.2	13.1
	16	13.8	13.4	12.9
	20	-	-	-
	24	12.7	13.0	12.3
	28	12.4	12.3	12.3
	32	12.5	12.5	12.3
	36	12.8	12.4	12.3
	40	12.4	12.4	12.3
	44	-	-	-
	48	-	-	-
	52	12.4	12.3	12.2

Tabla N° 20: Comportamiento del Porcentaje de Humedad del Tabaco dentro de la cámara de acondicionado a 21°C y 60% Humedad Relativa.

Punto de muestreo	Tiempo Transcurrido (hr.)	Humedad del Tabaco (%)		
		Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
Cámara (21°C, 60%HR)	0	12.8	13.5	14.5
	4	12.0	13.8	14.2
	8	12.3	13.8	14.0
	12	13.0	13.6	13.9
	16	12.8	13.5	14.0
	20	-	-	-
	24	13.0	13.9	13.6
	28	13.6	13.4	13.9
	32	13.3	13.7	13.9
	36	13.1	13.6	13.5
	40	13.3	13.7	13.6
	44	-	-	-
	48	-	-	-
	52	13.8	13.6	13.6

Tabla N° 21: Comportamiento del Porcentaje de Humedad del Tabaco dentro de la cámara de acondicionado a 21°C y 65% Humedad Relativa.

Punto de muestreo	Tiempo Transcurrido (hr.)	Humedad del Tabaco (%)		
		Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
Cámara (21°C, 65%HR)	0	14.8	13.7	14.5
	4	15.0	14.0	14.4
	8	15.0	14.0	14.7
	12	15.1	14.1	14.7
	16	15.0	14.5	14.9
	20	-	-	-
	24	15.1	14.5	15.0
	28	15.2	14.8	15.0
	32	14.9	14.5	15.0
	36	15.2	14.8	15.1
	40	15.2	14.6	15.2
	44	-	-	-
	48	-	-	-
	52	15.3	14.7	15.2

Tabla N° 22: Comportamiento del Porcentaje de Humedad del Tabaco dentro de la cámara de acondicionado a 21°C y 70% Humedad Relativa.

Punto de muestreo	Tiempo Transcurrido (hr.)	Humedad del Tabaco (%)		
		Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
Cámara (21°C, 70%HR)	0	14.5	14.0	14.9
	4	15.1	14.4	15.3
	8	15.2	14.8	15.7
	12	15.6	15.1	15.4
	16	15.5	15.3	15.6
	20	-	-	-
	24	16.4	15.7	16.6
	28	16.7	15.9	16.8
	32	16.4	16.2	16.9
	36	16.5	16.3	16.7
	40	16.5	16.4	16.5
	44	-	-	-
	48	-	-	-
	52	16.9	16.4	16.0

A.3. Sistema Neumático de Transporte:

A.3.1. Sistema de Control de Velocidad del Aire

A.3.1.1. Condiciones Actuales de Operación:

Tabla N° 23: Promedio de velocidades medias para cada elaboradora en el Departamento de Elaboración de Cigarrillos.

	Fecha	Elaboradora	Promedio de Velocidades medias (m/s)
DEC	Semana #1	M201	25.1
		M202	23.5
	Semana #2	M203	27.5
		M204	24.5
	Semana #3	M205	23.5
		M206	23.4
	Semana #4	M207	22.9
		M208	22.6
	Semana #5	M210	20.9
		M211	23.9
		M212	33.8

A.3.1.2. Condiciones Óptimas de Operación:

Tabla N° 24: Cantidad de tabaco transportado vs. Cantidad de polvillo generado para cada rango de velocidades establecido en la prueba #1.

Prueba #1	Rango de Velocidades (m/s)	Cantidad de tabaco transportado (Kg.)	Cantidad de polvillo generado (Kg.)
Prueba #1.1 (20 Kg.)	10 – 15	-	-
Prueba #1.2 (20 Kg.)	17 – 20	1.4	1.0
Prueba #1.3 (20 Kg.)	23 – 34	3.0	3.0
Prueba #1.4 (20 Kg.)	35 - 41	3.4	7.0

Tabla N° 25: Cantidad de tabaco transportado vs. Cantidad de polvillo generado para cada rango de velocidades establecido en la prueba #2.

Prueba #2	Rango de Velocidades (m/s)	Cantidad de tabaco transportado (Kg.)	Cantidad de polvillo generado (Kg.)
Prueba #2.1 (20 Kg.)	10 – 15	-	-
Prueba #2.2 (20 Kg.)	17 – 20	1.6	0.7
Prueba #2.3 (20 Kg.)	23 – 34	2.6	2.0
Prueba #2.4 (20 Kg.)	35 - 41	3.2	5.3

Tabla N° 26: Cantidad de tabaco transportado vs. Cantidad de polvillo generado para cada rango de velocidades establecido en la prueba #3.

Prueba #3	Rango de Velocidades (m/s)	Cantidad de tabaco transportado (Kg.)	Cantidad de polvillo generado (Kg.)
Prueba #3.1 (20 Kg.)	10 – 15	-	-
Prueba #3.2 (20 Kg.)	17 – 20	1.6	1.2
Prueba #3.3 (20 Kg.)	23 – 34	2.6	3.1
Prueba #3.4 (20 Kg.)	35 - 41	3.3	4.0

Tabla N° 27: Cantidad de tabaco transportado vs. Cantidad de polvillo generado para cada rango de velocidades establecido en la prueba #4.

Prueba #4	Rango de Velocidades (m/s)	Cantidad de tabaco transportado (Kg.)	Cantidad de polvillo generado (Kg.)
Prueba #4.1 (20 Kg.)	10 – 15	-	-
Prueba #4.2 (20 Kg.)	17 – 20	1.6	0.6
Prueba #4.3 (20 Kg.)	23 – 34	2.6	2.7
Prueba #4.4 (20 Kg.)	35 – 41	3.4	4.6

A.3.2. Configuración del Sistema Neumático de Transporte

A.3.2.1. Condiciones Actuales de Operación:

Tabla N° 28: Variables involucradas en el diseño actual del sistema de transporte neumático.

	Punto de recolección	Longitud de tuberías (m)	N° de codos y ángulo de curvatura
AT	Primer Piso Alimentador N° 1	11.36	2 codos de 90° (r/d = 1) 1 curva de 150°
DEC	Segundo Piso	8.25	2 codos de 90° (r/d = 1)
	Tercer Piso	35.2	2 codos de 90° (r/d = 1) 2 curvas de 150°

A.4. Acondicionamiento de la Materia Prima vs. Transporte Neumático:

Tabla N° 29: Cantidad de tabaco transportado vs. Cantidad de polvillo generado para cada condición de acondicionamiento.

	% Humedad Relativa	Rango óptimo de Velocidades (m/s)	Cantidad de tabaco transportado (Kg.)	Cantidad de polvillo generado (Kg.)
Prueba #1 (20 Kg.)	55	17 – 20	1.4	4.2
Prueba #2 (20 Kg.)	60	17 – 20	1.4	2.6
Prueba #3 (20 Kg.)	65	17 – 20	1.6	0.4
Prueba #4 (20 Kg.)	70	17 – 20	1.4	0.2

APÉNDICE B: Procedimientos.

B.1. Procedimiento para determinar la Humedad del Tabaco:

1. Encender el horno BAT.
2. Encender la balanza analítica.
3. Tarar la balanza y observar que la lectura de la misma sea de 0.0000 gr.
4. Tarar la lata a utilizar.
5. Colocar dentro de la lata la muestra de tabaco sin comprimirla; la cantidad de tabaco no debe ser menor a 5,0000 gr. y no debe excederse de 10,0000 gr. Este peso se conoce como “peso A”.
6. Anotar el peso “A” que se obtuvo en la balanza en el formato de recolección de datos.
7. Repetir los pasos 2.4 al 2.6 para todas las latas a utilizar.
8. Colocar las bandejas con las latas en el horno a 110°C por un período de 3 horas.
9. Luego de transcurridas las tres horas, trasladar las muestras al desecador por una hora.
10. Sacar las bandejas del desecador y repesar las latas, tarando la balanza antes de proceder a pesar las mismas. El peso ahora obtenido se conoce como “peso B”.

11. Anotar el peso “B” en el formato de recolección de datos.
12. Vaciar los datos de los pesos “A” y “B” en la hoja de cálculo. Esta hoja tiene incluido el peso de las latas y efectúa la siguiente operación:

$$\% \text{ humedad} = (\text{pesoB} - \text{peso}_{\text{lata}}) - \left(\text{pesoA} - \frac{\text{pesoB}}{\text{pesoA}} * 100 \right)$$

B.2. Procedimiento para determinar el Tabaco Aprovechable:

1. Tomar muestras de 100 gramos aproximadamente a la salida del cilindro de esencia.
2. Ensamblar las mallas una sobre otra, tomando en cuenta el orden correcto de las mismas.
3. Agregar los 100 gr a la cernidora en la primera malla (N° 6).
4. Colocar la tapa en la malla superior.
5. Colocar las mallas ensambladas sobre la base de la cernidora.
6. Bajar el tope superior y el martillo.
7. Presionar el botón de arranque colocado en la parte frontal del equipo.
8. El tiempo de ciclo de trabajo de la cernidora es de cinco (5) minutos. Una vez que se detenga, levantar el martillo y el tope.

9. Separar las mallas una a una y colocar el contenido de cada una de ellas en un envase plástico, con el que previamente se ha tarado la balanza, y pesar el contenido en la balanza eléctrica.
10. Anotar el valor de la lectura en el formato.
11. Registrar los resultados en la hoja de cálculo diseñada para tal fin.

B.3. Procedimiento para determinar la Capacidad Volumétrica:

1. Las muestras tomadas en el punto de interés correspondiente deben ser acondicionadas en el laboratorio a $21^{\circ}\text{C} \pm 3$ y $60\% \pm 5$ de humedad relativa por un tiempo de 24 horas
2. Luego de transcurridas las 24 horas, se deben colocar las muestras en el equipo para la determinación de la densidad del tabaco.
3. Encender la unidad.
4. Colocar el temporizador en 30 segundos.
5. Aparecerá en la pantalla 0.0000 titilando; en ese momento, presionar “REF” dos veces para que se establezca la lectura.
6. Asegurarse de que el cilindro a utilizar esté en condiciones adecuadas (limpio) y deslizarlo debajo de la cabeza de medición, cerciorándose que haga contacto con la parte magnética del densímetro.

7. Presionar el interruptor para dar comienzo a la prueba. Después que el pistón se encuentre en la posición mas baja, antes de finalizar los 3 segundos, presionar “ENTER”, la pantalla mostrará 0.0000.
8. Repetir la prueba, cuando la pantalla este en posición de parada, leerá 00.000 +/- 0.002.
9. Retirar el cilindro.
10. Tomar las muestras correspondientes y vaciar el contenido de las mismas en el recipiente cilíndrico haciendo uso de un embudo.
11. Colocar el recipiente cilíndrico debajo del pistón, deslizándolo hacia atrás.
12. Presionar el interruptor para iniciar la medición.
13. Una vez completada la medición, se procede a tarar la balanza con el recipiente en el cual se introducirá la porción de muestra que se encontraba en el recipiente cilíndrico.
14. Pesar las muestras y anotar el resultado.
15. Tomar de la muestra anteriormente pesada una cantidad equivalente a 10 gr y vaciarla en una lata anotando el peso inicial. Este paso se realiza para determinar la humedad.
16. Luego de registrar los resultados de las lecturas de la unidad, peso y humedad de la muestra, de determina el valor del volumen a la humedad de corrección.