



Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Química

AUDITORÍA DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE UNA PLANTA
TRANSFORMADORA DE CLORURO DE POLIVINILO (PVC)

María Gabriela Meza Guzmán

Asesorada por Dr. Rodolfo Espinosa Smith

Guatemala, marzo de 2005

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**AUDITORÍA DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE UNA PLANTA
TRANSFORMADORA DE CLORURO DE POLIVINILO (PVC)**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

MARÍA GABRIELA MEZA GUZMÁN
ASESORADA POR EL DR. RODOLFO ESPINOSA SMITH
AL CONFERIRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERA QUÍMICO

GUATEMALA, MARZO DE 2005
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NOMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuel Milson
Vocal I	Ing. Murphy Olympo Paíz Recinos
Vocal II	Lic. Amahán Sánchez Alvarez
Vocal III	Ing. Julio David Galicia Celada
Vocal IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
Vocal V	Br. Elisa Yazmina Videz Leiva

SECRETARIO

Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN
GENERAL PRIVADO**

DECANO

Ing. Ing. Sydney Alexander Samuel Milson

EXAMINADOR

Ing. Cesar Alfonso García

EXAMINADOR

Ing. José Eduardo Calderón García

EXAMINADOR

Ing. Carlos Salvador Wong Davi

SECRETARIO

Ing. Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de san Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**AUDITORÍA DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE UNA PLANTA
TRANSFORMADORA DE CLORURO DE POLIVINILO (PVC)**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química con fecha 16 de enero de 2003.

María Gabriela Meza Guzmán

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	III
GLOSARIO.....	V
RESUMEN.....	VIII
OBJETIVOS.....	IX
INTRODUCCIÓN.....	X
1. ANTECEDENTES.....	1
1.1. Auditoría de control de proceso de producción, conceptos básicos.....	2
1.2. Ejecución de auditoría de control de proceso de producción, método de trabajo.....	5

1.3.	Ejecución de auditoría de control de proceso de producción aplicado a una planta transformadora de PVC, método de trabajo bajo análisis.....	8
1.3.1.	Diagrama de flujo, procedimientos y equipo.....	8
1.	Diagrama de flujo.....	8
2.	Procedimiento.....	8
3.	Equipo necesario.....	12
2.	Especificación de materias primas y productos.....	15
3.	Definición de puntos en el proceso en donde se realiza muestreo y control.....	21
4.	Método de determinación o análisis.....	24
5.	Registro de datos y reportes.....	30
6.	Seguimiento y evaluación de productos comparando la aceptabilidad de los mismos en base a los estándares.....	41
2.	RESULTADOS.....	5

3. DISCUSIÓN DE	
RESULTADOS.....	53
CONCLUSIONES.....	56
RECOMENDACIONES.....	58
BIBLIOGRAFÍA.....	60
ANEXO.....	61

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Ciclo de control de una planta	2
2	Pirámide gerencial	3
3	Diagrama de flujo, proceso de transformación de PVC	9
4	Diagrama de disposición de la planta	10
5	Máquina turbomezcladora	12
6	Máquina extrusora monohusillo	14
7	Registro de datos área de formulación	32
8	Flojograma área de mezcla	35
9	Registro de datos área de mezclado	36
10	Flujograma área de extrusión/pelletización	37
11	Registro de datos área de extrusión/pelletización	38
12	Registro de datos de rendimientos	40
13	Formulación de compuesto de PVC cristal 65	42
14	Área de mezclado: compuesto de PVC cristal 65	44
15	Área de extrusión/pelletización: compuesto de PVC cristal 65	45
16	Rendimientos: compuesto de PVC cristal 65	47

TABLAS

I	Definición de puntos en el proceso en donde se realiza muestreo y control	22
II	Registro para análisis de materia prima existente	24
III	Control de mantenimiento	26
IV	Fórmula básica para elaboración de la mezcla seca	63
V	Cantidad de plastificante necesario según la dureza del producto, definición de puntos en el proceso en donde se realiza muestreo y control	65

GLOSARIO

Aditivos	Sustancias líquidas auxiliares que ayudan a procesar el compuesto de PVC y a mejorar sus propiedades físicas. Se utilizan en la formulación, junto con la resina base para elaborar el compuesto de PVC.
Auditoría de control de proceso de producción	Una auditoría de control de proceso se realiza con el objeto de revisar para mejorar, los procedimientos de una planta industrial tratando de hacer uso racional de todos los recursos como materia prima, energía, insumos, mano de obra, tiempo, equipo, instrumentación, reactivos, y otros.
Compuesto de PVC	Producto que se obtiene de la resina de PVC junto con los aditivos previo a un proceso de mezclado y extrusión, para luego transformarlo en materia prima de plástico de PVC y ser utilizada en la elaboración de productos como: suelas de zapatos, mangueras, perfiles y otros.
Estabilizador	Sustancia líquida, aditivo que permite controlar la susceptibilidad a la degradación a los polímeros permitiendo su procesamiento y previniendo la decoloración de los mismos, debido a las alta

temperaturas del proceso.

Extrusión

Proceso en donde el *Dry-blend* se funde, se mezcla y se comprime a través de un tornillo sin fin, que lo va plastificando al recibir calor durante su recorrido.

Mezcla seca

Llamada también *Dry-blend*, la cual se obtiene al unir la resina de PVC junto con los aditivos líquidos en una máquina turbomezcladora a base de temperaturas por fricción. La mezcla seca, es procesado luego por extrusión para ser plastificado.

Pelletización

Proceso en donde el polímero ya plastificado adquiere forma de pelotitas al pasar de la extrusión a una boquilla llena de orificios, por donde pasa el polímero y luego es cortado por cuchillas giratorias para darle la forma de pelotitas que luego se convierten en la materia prima para la fabricación de productos plásticos en la industria.

Plastificar

Transformación de la forma inicial de un polímero (resina) a su forma plástica por medio de procesos de mezclado y extrusión en donde se le

aplica calor para su fundición.

Polímero

Sustancia de peso molecular elevado, formadas por la unión de monómeros, moléculas de pesos moleculares bajos. Utilizado para formar materiales útiles como el *nylon*, polietileno (envases plásticos), PVC (suelas, mangueras, perfiles) y otros.

PVC

Policloruro de vinilo. Es un polímero termoplástico compuesto de cloro y etileno. El compuesto resultante, dicloro etano, se convierte a altas temperaturas en el gas cloruro de vinilo y por medio de la polimerización se transforma en resina.

Resina de PVC

Homopolímero de policloruro de vinilo (PVC). Polvo fino de color blanco fabricado por el proceso de polimerización en suspensión. Sirve como materia prima base en la fabricación de productos plásticos, tanto rígidos como flexibles, luego de pasar por los procesos de mezclado, extrusión e inyección.

RESUMEN

Una auditoría de proceso se realiza en cualquier industria con el objeto de revisar para mejorar los procedimientos de control de proceso y/o la operación de una planta industrial, tratando de hacer uso racional de todos los recursos.

El presente trabajo de graduación constituye un estudio sobre la situación actual de una planta transformadora del compuesto de PVC flexible, con respecto al control de calidad interna que posee durante el proceso de producción del mismo, y por medio de una auditoría de control que determine los puntos en el proceso en donde existen fallas; proponer soluciones a las mismas y establecer al mismo tiempo un manual de proceso de producción de la planta con el fin de que ésta opere con un control de calidad adecuado.

Para ello, se presentan los conceptos básicos que se deben tomar en cuenta al momento de realizar una auditoría de proceso de producción en cualquier planta industrial. Se propone un método de trabajo para ejecutar dicha auditoría el cual es aplicado después a la planta transformadora de PVC en donde se desarrollaron diferentes hojas de registro, para llevar a cabo un buen control del proceso mismo.

Para llevar a cabo una evaluación de las condiciones del proceso con la maquinaria que se tiene en la planta, se realizaron 3 toneladas métricas de compuesto de PVC tomando en cuenta los formatos de registros de datos que implementados llegando a la conclusión que el sistema de enfriamiento de la máquina mezcladora no se encuentra operando en óptimas condiciones por lo que se sugieren diferentes procedimientos para mejorarlo.

OBJETIVOS

- **General**

Realizar una auditoria de proceso de producción a una planta transformadora de cloruro de polivinilo (PVC) para plantear soluciones a los problemas que presente, sugiriendo bases para rediseñarla y documentando los procesos para obtener un producto final con calidad competitiva.

- **Específicos**

1. Establecer el método de trabajo para la realización de la auditoria de proceso en la planta transformadora de PVC.
2. Analizar el estado actual de la planta transformadora de PVC.
3. Documentar toda información necesaria a fin al proceso de transformación del compuesto de PVC.
4. Realizar una auditoria de proceso con la documentación anterior para que sirva como manual de operación y que de esta manera se obtenga un producto de buena calidad.
5. Sugerir procedimientos de mejora en donde se observen fallas en el proceso de transformación de PVC.

INTRODUCCIÓN

En Guatemala, existen plantas transformadoras de compuesto de PVC flexible que se encuentran operando sin ningún control de calidad, esto provoca ciertas dificultades tales como maquinarias en malas condiciones, repuestos inadecuados, falta de inventarios de materia prima, carencia de registros del proceso entre otras. Por lo anterior, este trabajo de graduación presenta la metodología y resultados de una auditoría de proceso de producción de una planta transformadora de PVC flexible, realizando un análisis general de la misma para determinar las fallas en el proceso y proponer soluciones.

Para obtener un determinado compuesto de PVC flexible en forma pelletizada, la cual servirá de materia prima para la elaboración de productos finales del cliente, es necesario adicionar a la resina base otras sustancias auxiliares que ayudan a procesar el material o mejorar sus propiedades. Es necesario adicionar plastificante que determina la dureza o flexibilidad del compuesto, estabilizadores térmicos para prolongar la degradación de la resina, lubricantes y colorantes. Se registra además, la fórmula base con la cantidad adecuada de cada sustancia para la elaboración de determinado compuesto de PVC, según la dureza del mismo.

Se necesita de dos equipos especiales para la fabricación del compuesto de PVC flexible, una mezcladora de alta velocidad en donde se elabora la mezcla seca y un tornillo monohusillo de extrusión, en donde dicha mezcla se plastifica y convierte en el compuesto listo para ser procesado en el producto final. Se establecen los procedimientos de operación de los mismos, así como sus respectivos diagramas de flujo.

Se presentan los conceptos básicos que se deben tomar en cuenta al momento de realizar una auditoría de control de proceso de producción, como

el método de trabajo que debe llevarse a cabo para dicha finalidad, el cual consta de seis etapas descritas a continuación: 1) revisar o establecer los diagramas de flujo de la planta; 2) revisar o definir especificaciones técnicas de materia prima, insumos, servicios; 3) definir los puntos del proceso en donde se debe establecer muestreo y control; 4) definir métodos de determinación y análisis para distintos puntos del proceso; 5) realizar registro de datos y reportes; 6) seguimiento y evaluación de resultados comparando procedimientos anteriores contra los actuales.

En seguida, se presenta el método de trabajo bajo análisis al aplicarlo a la planta transformadora de PVC mencionada anteriormente, siguiendo los seis pasos del método. Se elaboró un esquema de los diferentes puntos en el proceso, en donde debe realizarse muestreo y control para que la planta opere en condiciones óptimas. Se establecieron métodos de determinación y análisis en el proceso, un registro para analizar la materia prima existente y otro para el control y análisis del equipo y la maquinaria que se utiliza, se determinan los cálculos necesarios que deben realizar para obtener la cantidad de compuesto que se elabora. Se establecieron también hojas de registros de datos en las tres áreas del proceso: en la formulación, en el mezclado y en la extrusión/pelletización, de manera que sirvan de base para el cálculo de los rendimientos que se obtienen en dichas secciones. Estas hojas de registro serán utilizadas por los operadores o trabajadores de la planta quienes llevarán un control del proceso en la fabricación del producto.

Como resultado de la auditoría realizada, se llevó a cabo una evaluación de la planta aplicando las seis etapas del método de trabajo y se concluyó que los registros sugeridos son herramienta para obtener un producto de calidad.

Se sugieren varios procedimientos de mejora para el proceso de producción de la fábrica sobre todo en el área de mezclado en su sistema de

enfriamiento del mismo que en la actualidad se encuentra operando en buenas condiciones. Además, se sugiere hacer uso de las diferentes hojas de registro que se implementaron para llevar un buen control del mismo.

El fin de este trabajo de graduación es establecer un manual de operación de una fábrica, transformadora de PVC flexible que opera actualmente en nuestro país, y que con dicho manual se mejore el control de calidad.

1.

ANTECEDENTES

En Guatemala, existen plantas transformadoras de compuesto PVC flexible, que sino se encuentran operando en un 100% de su capacidad ni con un control de calidad adecuado, dicha planta está teniendo pérdidas en cuanto a su operación y rendimiento. Para darle solución a un problema como éste, es necesario llevar a cabo en dicha planta, una auditoría de proceso de producción, para revisar y mejorar los procedimientos del mismo a manera de optimizar los recursos y obtener un producto de buena calidad. La materia prima como resina y aditivos que se utilizan, son adquiridos con proveedores de otros países como México, Argentina, Alemania, E.E.U.U. y otros. En la planta transformadora en donde se realizó la auditoría de control de proceso se adquiere toda la materia prima de un proveedor mexicano el cual aportó el procedimiento del mismo para la maquinaria que posee.

Para una correcta operación de una planta transformadora del cloruro de polivinilo, es necesario proporcionar las herramientas adecuadas para que el proceso se lleve a cabo de manera correcta y queden registros en formatos especiales de los parámetros de control y rendimientos de los equipos que se emplean, así como de los cálculos necesarios para la formulación del compuesto de PVC a fabricar, debido a que en el momento actual, éstos no existen y podrían ser aplicados en otras plantas de la industria plástica cuyos procesos sean los mismos o parecidos. Es por ello, que se presentan los elementos necesarios para la ejecución de una auditoría de proceso de producción, el método de trabajo y el análisis de la misma aplicada a la planta transformadora de PVC.

1 Auditoría de proceso de producción, conceptos básicos

Una auditoría de proceso se realiza con el objeto de revisar para mejorar los procesos y procedimientos de una planta industrial, tratando de hacer uso eficiente de todos los recursos como: materia prima, energía, insumos, mano de obra, tiempo, equipo, instrumentación, reactivos, y otros.

Se deben manejar recursos que se tengan en una planta industrial por medio de un ciclo de control donde todas las variables que se obtengan dentro del proceso se trabajen por medio de indicadores que queden luego registrados en formatos adecuados para verificar su buen desempeño.

Un ciclo de control puede esquematizarse de la siguiente manera, ver figura 1.

Figura 1. **Ciclo de control de una planta**

Norma

I n s u m o s

Producto

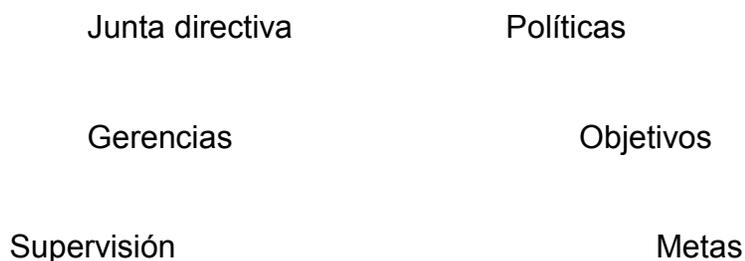
Proceso

Retroalimentación

Un concepto muy importante que se maneja en una auditoría de proceso, es que mientras más corto es el ciclo de control, más efectivo es el control del mismo.

Se debe tomar en cuenta que las operaciones y los procesos son la base de la pirámide gerencial, ver figura 2, de cualquier fábrica, ya que en esta etapa es donde se determinan las normas y los procedimientos de la línea de producción, los cuales son supervisados para alcanzar las metas establecidas por la gerencia, para que la junta directiva de la empresa por medio de sus políticas pueda organizar y comercializar el producto que fabrica; de esta manera toda la fábrica operará con el mayor desempeño posible. Una auditoría de proceso de producción, se debe llevar a cabo de manera conciente para que los procedimientos de producción se operen acatando las normas y procedimientos que fueron establecidos en la misma, con el fin de producir de manera eficiente.

Figura 2. **Pirámide gerencial**



Operaciones
(procesos)

Normas y
procedimientos

Es muy importante que al momento de realizar una auditoría de control de proceso de producción, se consideren los siguientes aspectos:

- El industrial al cual se le realiza la auditoría desea métodos y tecnología comprobada que demuestren resultados tangibles y cuantificables.
- Un programa de control de proceso va íntimamente ligado a un programa de mantenimiento preventivo.
- Los operadores de planta de la industria son generalmente de poca escolaridad y rotan constantemente.
- El personal técnico de la industria no le gusta ser fiscalizado ni expuesto en ridículo, por el contrario, le gusta participar y exponer sus puntos de vista, después de todo, él seguirá viviendo con el proceso y siendo parte del mismo.

2 Ejecución de auditoría de proceso de producción, método de trabajo

Para llevar a cabo una auditoría de control de proceso de producción en cualquier planta industrial, es necesario tomar en cuenta el ciclo de control del proceso en donde se revise toda la línea del mismo. Desde la obtención de los insumos, el equipo disponible, la disponibilidad de repuestos, los puntos en el proceso en donde se debe tener mayor control, el tiempo disponible, saber cuales son los cálculos necesarios para determinada operación, para luego, con todos los datos recaudados, realizar reportes con la información específica que ayude a establecer si hay puntos en el proceso donde se necesiten cambios para una optimización del mismo.

Para ejecutar de manera correcta y eficiente una auditoría de control de proceso se debe seguir un método específico, el cual consta de seis etapas, las cuales se presentan a continuación.

Etapa a. Revisar o establecer los diagramas de flujo del proceso

- Flujo principal.
- Flujos auxiliares y.
- Diagrama de disposición de la planta .

Etapa b. Revisar o definir especificaciones técnicas de:

- Materias primas.
- Insumos.
- Servicios.
- Productos finales.

Etapa c. Definir los puntos del proceso donde se debe establecer muestreo y control. Los criterios para definir puntos de muestreo incluyen, pero no están limitados a:

- Cambios significativos en variables de proceso.
- Puntos de mezcla, reacción o separación.
- Posibilidad de hacer correcciones .
- Tiempos de residencia muy largos (almacenamiento) o demasiado cortos (reacciones tipo grada).
- Corte de lotes.
- Puntos previos a empaque y envasado.
- Representatividad estadística.
- Entrada de materiales a la planta y al proceso.

Para cada punto de muestreo, debe establecer la frecuencia racional del mismo, como las especificaciones, los estándares, el valor normal, el rango aceptable y el índice de frecuencia.

Etapa d. Definir métodos de determinación y análisis para:

- La materia prima.
- El equipo.

- El personal (entrenamiento constante y técnicas adecuadas).
- Para corridas con estándares y *blanks* (al azar).
- Métodos de cálculo: unidades de resultados finales expresadas sobre la misma base a lo largo del proceso para facilitar balances de materiales, cálculos de rendimiento, eficiencia y reportes de contabilidad.

Etapa e. Registro de datos y reportes

Datos:

- En bitácora, con hojas numeradas y con copias a tinta.

Reportes:

- En formato estándar y funcional.
- Con la información suficiente y necesaria.
- Con información precisa y fácil interpretación.
- Con información que sirva para tomar una decisión.
- Con la frecuencia adecuada según el uso:
 - Para acción inmediata.
 - Para informe de turno o lote.
 - Para informe consolidado.
 - Para registro y contabilidad.

Etapa f. Seguimiento y evaluación de productos (finales e intermedios), comparando la aceptabilidad de las mismas en base a los estándares.

3 Ejecución de auditoría de proceso aplicado a una planta transformadora de PVC, método de trabajo bajo análisis

A continuación se presenta una auditoría del proceso de transformación de PVC, en donde se ejecuta el método de trabajo, realizando para ello las seis etapas mencionadas.

1.3.1 Diagramas de flujo, procedimientos y equipo (Etapa a)

1.3.1.1 Diagrama de flujo

Una planta transformadora de PVC consta de dos equipos especiales para la fabricación del compuesto de PVC. Dichos equipos son: una mezcladora de alta velocidad en donde se elabora la mezcla seca y un tornillo monohusillo de extrusión, en donde la mezcla seca se plastifica y convierte en el compuesto listo para ser procesado en el producto final.

En la figura 3 se presenta un diagrama de flujo del proceso para la transformación del PVC, así como un diagrama de disposición de la planta en la figura 4.

1.3.1.2 Procedimiento

a) **Elaboración de la mezcla seca**

Operar la mezcladora de alta velocidad e introducir dentro de ella la resina y los aditivos de la siguiente manera:

Figura 3. **Diagrama de flujo, proceso de transformación de PVC**

Figura 4. **Diagrama de disposición de la planta (*Lay-Out*)**

- a) Cargar la resina al mezclador y adicionar el estabilizador.
- b) Arrancar la mezcladora a baja velocidad y adicionar la mitad del plastificante (DOP).
- c) Cuando la máquina alcance 40°C, introducir el co-estabilizador.
- d) Conectar la velocidad alta para incrementar la generación de calor por fricción y llegar a una temperatura óptima de absorción entre los 70 y 80°C.
- e) Adicionar la otra mitad del plastificante DOP.
- f) Adicionar el resto de los aditivos con excepción de los lubricantes cuando la mezcla llegue a 90°C.
- g) Adicionar los lubricantes cuando la mezcla alcance 100°C.
- h) Llegar a una temperatura final de mezclado de 110°C que es cuando ya se obtiene propiamente la mezcla seca.
- i) Descargarlo al enfriador con la válvula de compuerta.
- j) Enfriar la mezcla seca a una temperatura entre 40 a 50 °C antes de plastificarlo (extruirlo) para evitar aglomeración.
- k) Descargar en sacos de papel que fueron de la resina utilizada.

b) Extrusión/pelletización

Operar la máquina extrusora y pelletizadora de la siguiente manera:

- a) Conectar las resistencias de las regiones de la máquina: el tornillo de extrusión y la boquilla de la pelletizadora.
- b) Esperar que dichas regiones alcancen las temperaturas de: 125, 115, 105 y 95°C en las cuatro zonas indicadas en el panel de control (pirómetros).
- c) Encender motores de las diferentes áreas de la máquina (alimentación, tornillo de extrusión, pelletizadora y el soplador).

- d) Una vez alcanzadas las temperaturas indicadas, introducir la mezcla seca dentro de la tolva de alimentación.
- e) Establecer velocidad de corte de la pelletizadora, según sea necesario dependiendo de la dureza del material a pelletizar y del tamaño del *pellet* que se requiera.

1.3.1.3 Equipo necesario

a) Máquina turbomezcladora

La máquina turbomezcladora (figura 5) consta de una olla de mezclado con una hélice incorporada en la cual se introduce el elemento principal que es la resina de PVC y que por medio del movimiento giratorio de la hélice, eleva la temperatura de la mezcladora haciendo que las moléculas de la resina estén más dispuestas a absorber los aditivos que se le incorporan de manera subsecuente a medida que la temperatura se eleva. Luego que el material alcanza la temperatura final necesaria es pasado a la olla de enfriamiento de la mezcladora en donde se enfría a una temperatura menor de 40°C obteniéndose así el *Dry-blend* o mezcla seca.

El *Dry-blend* es la mezcla de la resina en polvo junto con los plastificantes, los estabilizadores y otros aditivos específicos que son líquidos, pero que luego de ser mezclados en la turbomezcladora forma un polvo húmedo con una humedad suficientemente baja para no humedecer el recipiente que lo contiene o que al tacto no humedece la piel.

Figura 5. **Máquina turbomezcladora**

Fuente: www.delmex.epmmail@dfi.delmex.net.mx

b) Máquina extrusora monohusillo

Los principios de operación de una máquina extrusora monohusillo

(figura 6) forman la base para varios importantes procesos de fabricación de artículos de plástico. Un extrusor funde, comprime, mezcla y bombea el material plástico o *Dry-blend* a la sección de formado. Un motor ya sea de velocidad variable o fija, hace dar vueltas a un tornillo dentro de un cilindro calentado eléctricamente por medio de resistencias.

Figura 6. **Máquina extrusora monohusillo**

Fuente: www.delmex.epmmail@dfi.delmex.net.mx

El material plástico es alimentado por gravedad en una tolva a través de una abertura en el cilindro. El plástico es transportado por el tornillo y absorbe calor tanto del cilindro como del esfuerzo de fricción. Conforme el plástico se va

fundiendo el canal del tornillo se va estrechando, lo que incrementa la presión interna, forzando al material a salir por la sección de formado que es usualmente un cabezal con una boquilla de salida que da al material fundido la forma que desea obtener mediante un proceso continuo como son: hojas, tubos, perfiles y en el caso de compuesto de PVC, en forma de espagueti, para ser cortado luego por cuchillas giratorias de la pelletizadora y convertirlos en *pellets*. En las subsecuentes etapas se utiliza esta forma inicial como base para dar al producto su forma final (suelas, mangueras, tacones, etc.) por medio de procesos conocidos como inyección, extrusión o soplado.

2 Especificación de materias primas y productos (Etapa b)

Para obtener un determinado compuesto de PVC pelletizado, adicionalmente a las resinas base, es necesario añadir otras sustancias auxiliares que ayudan a procesar el material o a mejorar sus propiedades. Entre los diferentes aditivos que se utilizan en las formulaciones para elaborar el compuesto de PVC están:

1.3.2.1 Resina

El PVC originalmente se encuentra en forma de polvo fino de color blanco el cual se le conoce como resina, un homopolímero de cloruro de polivinilo, fabricada por el proceso de polimerización en suspensión. Dependiendo de la dureza que presente, así será el valor llamado "K", una nomenclatura especial en donde a mayor valor "K" la resina al procesarla será más rígida que flexible. En el mercado, se encuentran resinas de PVC en suspensión desde valores K 56 a valor K 70.

Propiedades típicas:

Valor K	68+-1	66+-1	63 +-1
Viscosidad inherente	0.915	0.881	0.830
Número de viscosidad	112	100	98
Densidad aparente (gr/cc)	0.450	0.460	0.470
% Volátiles Máx.	0.30	0.30	0.30
% de paso a través de malla 40	100	100	100

Estas resinas de PVC, presentan versatilidad y buena procesabilidad en los procesos de inyección, extrusión y prensado, por lo que pueden ser utilizadas en la elaboración de productos tanto rígidos como flexibles.

Se utiliza en la fabricación de suelas de zapatos, película flexible cristal, sellos de garantía, tubo médico y bolsas de sangre, empaques para ventanas, juntas de expansión, mangueras, recubrimientos de cable eléctrico, tubería hidráulica y persianas verticales.

La resina de valor K 63 es más utilizada en artículos que requieren de gran transparencia y buenas propiedades mecánicas en los procesos y es más utilizada en la fabricación de *Full Plastic* (zapato en su totalidad, plástico). La resina que tiene mayor comercialización para la elaboración de calzado es la de valor K 68.

1.3.2.2 Plastificantes

Los productos de PVC se dividen en dos clases: rígidos y flexibles. Los

plastificantes han sido utilizados desde hace muchos años en la producción de PVC flexible, para obtener una amplia variedad de productos de distintos grados de dureza y múltiples aplicaciones.

Cada tipo de plastificante es seleccionado según las características específicas que se desean obtener y según el destino del mismo. En general se puede decir que los plastificantes son sustancias que agregadas al material le confieren flexibilidad, resiliencia y facilidad de manejo. Suelen ser líquidos incoloros e inodoros, relativamente no volátiles y con baja solubilidad en agua y buena compatibilidad con el PVC.

Son líquidos de baja temperatura de ebullición que actúan como separadores de las cadenas de polímero, reduciendo las atracciones intermoleculares de los enlaces conocidos como fuerzas de *Van der Waals* confiriendo al PVC una rigidez extrema, siendo el plastificante el encargado de disminuir estas fuerzas y reducir así, la atracción molecular y por consecuencia aumentando la flexibilidad de la cadena polimérica haciéndolo más blando.

Los lubricantes sólo disminuyen las fuerzas intermoleculares y por lo tanto sólo causan plastificación parcial.

En su mayoría son ésteres o poliésteres, incluyendo otros con base en ácidos adípicos, fosfóricos, sebáceos, trimelíticos o azelaicos.

Existen más de 300 tipos diferentes de plastificantes, de los cuales alrededor de 100 se comercializan. Los más comunes son el *di(2-etil hexil) ftalato* [DEHP o DOP(*di octil ftalato*)], el *di iso octil ftalato* (DIOP), el *di iso decil ftalato* (DIDP), y el *di iso nonil ftalato* (DINP). De acuerdo a sus características químicas se puede dividir a los plastificantes en:

- Diésteres ftalatos: DOP (*di octil ftalato*), DIOP (*di iso octil ftalato*), DIBP
(*di iso butil ftalato*)
- Diésteres adipatos: DOA (*di octil adipato*)
- Diésteres azelatos: DOZ (*di octil azelato*)
- Epoxidados: Aceite de soja epoxidado
- Poliésteres: Plastificantes poliméricos
- Triéteres: TOTM (*tri octil trimelitato*)
- Fosfatos: TCP (*tri cresil fosfatos*)

Los plastificantes más utilizados hasta hoy en día son los *Ftalatos* debido a que presenta buenas propiedades y disponibilidad. Dentro de ellos el más conocidos es el DOP (*di octil ftalato*): representa más del 50% del total de los plastificantes producidos en el mundo. Se utiliza prácticamente en todos los procesos de transformación: calandrado, extrusión, inyección y rotomoldeo de PVC flexible. Éste, se emplea para la fabricación de bolsas de sangre, simuladores de tejido humano, envases, calzados, juguetes, revestimientos de cables, perfiles, tubos, pisos, revestimientos de paredes, telas, etc. Su uso en materiales en contacto con alimentos está autorizado por la FDA (*Food and Drug Administration-Code of federal Regulations*, título 21, capítulo I, subcapítulo B, sección 175.105, 1996), y el Comité científico de los Estados Unidos.

Propiedades típicas del DOP:

Peso molecular	390
Color alpha	25 máx.
Densidad a 25°C (gr/cm)	0.983
Viscosidad a 20°C (cP)	85

Punto de ebullición a 760 mmHg (°C)	370
Punto de inflamación (°C)	190
Volátiles (105 C/1h) (%)	0.2
Acides (% como Ac.Acético)	0.008 máx.
Humedad (% de agua)	0.1 máx.
Índice de refracción a 25°C	1.4855 a 1.4875
Pureza, % ester	99 mín.

En cuanto a los plastificantes secundarios el más utilizado es el aceite de soja epoxidado que también actúa como coestabilizante térmico del PVC, es de tipo orgánico y generalmente se utiliza con estabilizantes metálicos con el objeto de mejorar la estabilidad a la luz de los compuestos. Es compatible con todas las resinas de PVC para compuestos flexibles y semirígidos sin presentar tendencias de exudación.

Propiedades típicas del aceite epoxidado de soja:

Apariencia	Líquido
Color gardner	1 máximo.
Gravedad específica a 25°C	0.98
Índice de oxirano	6.2
Viscosidad (cP)	360
Índice de refracción a 25°C	1.472
Valor ácido	2
Punto de inflamación (°F)	600
Punto de congelación (°F)	25

Punto de combustión (°F)	610
Olor	Insignificante
Peso molecular	1000

1.3.2.3 Estabilizadores térmicos

Son sustancias que permiten controlar la extremada susceptibilidad a la degradación de los polímeros permitiendo de esta forma su procesamiento.

Tienen además la finalidad de neutralizar y reaccionar con el ácido clorhídrico que se genera por degradación de la resina, previniendo la decoloración del compuesto durante el proceso de transformación. Debe ser: receptor de ácido clorhídrico. Los productos que se formen con el deben ser insolubles, inodoros y resistentes al agua. No presentar problemas de compatibilidad. Ser absorbedor de luz ultravioleta. Ser no tóxico y usarse en pequeñas cantidades.

Un estabilizador líquido de uso general para resinas de PVC en suspensión es la que está fabricada a base de Ba, Cd y Zn:

Propiedades típicas:

Tipo:	Estabilizador Ba-Cd-Zn
Apariencia	Líquido
Color gardner	5 máx.
Gravedad específica a 25°C	1.010 (+-) 0.05 gr/ml

Índice de refracción a 25°C

1.4991 (+-) 0.05

Con el estabilizador Ba-Cd-Zn se obtiene un excelente color inicial, buena retención de color durante el proceso y óptima estabilidad a largo plazo. Se recomienda en la estabilización de compuestos tanto flexibles como semirígidos, para los procesos de extrusión e inyección.

4 Lubricantes

Mejoran la procesabilidad de los polímeros reduciendo la fricción entre las partículas del material y retrasando la fusión del mismo. Reducen además la viscosidad del fundido promoviendo el buen flujo del material. Evitan que el polímero caliente se pegue a las superficies del equipo de procesamiento y mejoran el acabado superficial del producto.

- Lubricantes externos. Reducen la fricción entre las partículas del polímero y la superficies metálicas de la maquinaria.
- Modificadores de impacto. Dan mayor resistencia al impacto a temperaturas más bajas e imparten flexibilidad a compuestos rígidos.
- Ayudas de proceso. Mejoran la procesabilidad de los polímeros sin afectar sus propiedades y reducen los defectos superficiales.

Otros materiales de importancia y que se manejan en volumen mucho

menor son: pigmentos y aditivos para dar características específicas al producto o para mejorar su aspecto visual, tubos de cartón para el embobinado, y materiales de empaque y acabado: papel, cajas, bolsas, etc.

1.3.3 Definición de puntos en el proceso en donde se realiza muestreo y control, frecuencia racional del mismo, (Etapa c)

Para un control de calidad adecuado del proceso de una fábrica es necesario realizar un muestreo y control de los distintos puntos del proceso, desde la adquisición de la materia prima, hasta la obtención del producto terminado. Actualmente en la planta transformadora de PVC dicho procedimiento no se lleva a cabo por lo que en la tabla I se sugiere un esquema donde se indica en qué partes del proceso debe realizarse muestreo y control, el esquema fue elaborado como resultado de la revisión del procedimiento del proceso de la planta.

TABLA I. Definición de puntos en el proceso en donde se realiza muestreo y control

PUNTOS DEL PROCESO	MUESTREO	FRECUENCIA DEL
---------------------------	-----------------	-----------------------

1. MATERIA PRIMA (MP):

(Entrada a bodega)

1.1	Adquisición de la materia prima (proveedores)	Compra
1.1.1	Resina	
1.1.2	Plastificantes (D.O.P.)	
1.1.3	Estabilizadores	
1.1.4	Lubricantes	
1.1.5	Pigmentos y otros aditivos	
1.1.6	Sacos de empaque	
1.1.7	Hilo de costura	
1.2	Certificados de pureza o calidad de la materia prima	Compra
1.3	Inventario de materia prima	Mensual

Continuación...

PUNTOS DEL PROCESO

FRECUENCIA DEL MUESTREO

2. MEDICIÓN:

2.1	Formulación	
2.1.1	Tipo de producto	Lote
2.1.2	Cliente o tipo de maquinaria del producto final	Lote
2.2	Calibración de balanzas	Mensual
2.3	Limpieza de recipientes de medición	Lote

3. MEZCLADO:

3.1	Orden de introducción de materiales a la mezcladora	Lote/turno
3.2	Parámetro de control (T)	Entrada/salida y al azar

4. EXTRUSIÓN Y PELLETIZACIÓN:

4.1	Parámetro de control (T)	Lote/turno
4.2	Control visual de la alimentación de mezcla seca	Constante
4.3	Velocidad de rotación de cuchillas	Inicio lote
4.4	Verificación del filo y desgaste de cuchillas	Mensual

5. SISTEMA DE ENFRIAMIENTO:

5.1	Limpieza de ductos	Inicio lote
5.2	Apariencia del <i>pellet</i>	Inicio lote
5.3	Temperatura del <i>pellet</i> previo a empaque	Ocasional

6. EMPAQUE:

6.1	Estado del saco y rotulación del mismo	Inicio lote
6.2	Inspección visual del estado físico y mecánico de cosedora	Mensual

7. PRODUCTO TERMINADO (P.T.)

7.1	Inventario de P.T.	Quincenal
-----	--------------------	-----------

1.3.4 Métodos de determinación o análisis (Etapa d)

1.3.4.1 Materia prima

Actualmente no existen ningún tipo de registros que puedan ayudar a determinar si los reactivos que se utilizan están en buenas condiciones por lo que en la tabla II se implementó el siguiente registro para dicho propósito:

TABLA II. Registro para análisis de la materia prima existente

Tipo	Identificación	Lote	Fecha ingreso	Almacena-miento/ empaque	Inventario (kg)	Fecha inventario
Resina, K 65	Primex 225-1, Iztavil S-50			Área techada torres de 50 sacos de 25 Kg. c/u.		
Plastificante	D.O.P.			Toneles de 200 kg.		
Estabilizador	Ba-Cd-Zn, (VS-1950)			Toneles de 200 kg.		
Lubricante	Aceite de			Toneles de		

interno

soja
epoxidado

200 kg.

Lubricante externo	Ác. esteárico			Sacos de 50 kg.		
Pigmento negro	Negro de humo racor			Bolsas de 5 kg.		

1.3.4.2 Personal

Los tres operadores que se necesitan para realizar las etapas de medición, mezclado y extrusión/pelletización que se llevan a cabo en el proceso de la transformación del plástico, no poseen ningún patrón o formato de registro de datos en donde puedan dejar indicado aquellos momentos en donde la maquinaria no se encuentra trabajando en buen estado y que indique los pasos a seguir en la elaboración de determinado compuesto de PVC.

Por otro lado, el equipo disponible que utilizan para su seguridad industrial sí es adecuado, ya que hace uso diario de mascarillas, lentes especiales para evitar la volatilidad del polvo de la resina, vestimenta adecuada y orejeras especiales para el ruido que provocan las máquinas

3 Equipo

Actualmente no existen instructivos de uso y de mantenimiento para el equipo, las máquinas son antiguas y rediseñadas (ya modificadas), no poseen parámetros de control en buenas condiciones, por tal razón los datos de temperatura que registran no son reales. El panel de control del extrusor/pelletizador, no cuenta con sus pirómetros en buen estado esto provoca estar controlando la salida del *pellet* de la boquilla, si éste en su salida se encuentra pegado uno con otro, es necesario disminuir la temperatura de las diferentes zonas del cañón de extrusión en el panel de control.

Para un mejor control y análisis del equipo en la tabla III se implementó el siguiente registro:

TABLA III. **Control de mantenimiento**

EQUIPO	FRECUENCIA DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA DE CALIBRACIÓN	(*) DISPONIBILIDAD DE REPUESTOS EN BODEGA
Medición			
Balanzas	Trimestral	Semestral	-----
Mezclado			
Mezcladora	5,000 hr de trabajo	-----	2 Chumaceras UC215
Enfriador	5,000 hr	-----	Cadena No. 50 de 2 Mts de largo 1 Chumaceras UC215 5 fajas A96 1 <i>Sproket</i>
Torre de enfriamiento	Semestral	-----	5 gl. de refrigerante
Compresor	Trimestral	-----	1 lt. de aceite 40
Extrusión/pelletización			
Tornillo de extrusión	Anual	-----	2 resistencias de banda de 800 <i>watts</i> , 110/220, de 6" de diámetro y 3" de ancho
Pelletizadora	Trimestral (cambio de cuchillas)	Quincenal (afilación de cuchillas)	2 cuchillas de fleje acerado de 20 milésimas de grosor
Ventilador-expulsor	Semestral	-----	-----
Bibrador	Anual	-----	-----
Empaque			

Romana	-----	Trimestral	-----
Cocedora	Quincenal	-----	Aceite 3 en 1 2 agujas D5

(*) La disponibilidad de repuestos en bodega es la cantidad necesaria de cada repuesto que es recomendable mantener en existencia en caso de cualquier desperfecto mecánico.

1.3.4.4 Corridas con estándares y *blanks*

a) Determinación de temperaturas en las distintas zonas de operación

Para ello se registran los datos de las diferentes zonas de operación tanto en el proceso de mezclado como en el proceso de extrusión y pelletización. Esto se realiza con el fin de procurar el consumo mínimo de estabilizante en el proceso de producción del compuesto de PVC y así, pueda ser consumido en el proceso de inyección

b) Control de calidad (producto final)

Se cuenta con un durómetro para determinar la dureza del producto el cual se debe de utilizar sobre superficie plana, por lo que es necesario realizar una inyección del compuesto de PVC. Para ello, se recurre a inyectar una muestra del mismo en la maquinaria del cliente y luego verificar su dureza.

No se dispone de un laboratorio especializado donde se puedan realizar cartas de quemado para establecer sí la cantidad y la calidad de los estabilizantes son las adecuadas en la formulación, según los estándares del proceso. Además, los parámetros de temperatura que se registran no

son los mismos a los que establece el proceso.

5 Métodos de cálculo

- a) Cantidad de plastificante a utilizar en formulación para la dureza determinada del compuesto a elaborar:

Determinada por la siguiente ecuación:

Ecuación 1:

$$Y = -0.7413(X^2) + 2.7634(X) + 68.214$$

en donde

Y = Cantidad de plastificante por cien partes de resina.

X = Dureza del compuesto a elaborar.

- b) Determinación de número de lotes por toneladas de producto a procesar.

$$\text{No. lotes} = \frac{\text{No. TM de producto} * 1,000}{W \text{ kg fórmula}}$$

en donde:

W kg fórmula = Total de componentes en la fórmula (kg)

Se debe tomar en cuenta que la turbomezcladora tienen una capacidad

máxima de 50 kg/lote por lo cual las cantidades de los componentes en la formulación deben determinarse en base a un mínimo de 25 kg de resina.

- c) Cantidad de mezcla seca total a elaborar en la formulación para la cantidad de compuesto que solicitan.

$$X \text{ kg formulado} = \text{No lotes} * W \text{ kg fórmula}$$

- d) Rendimiento de la máquina mezcladora en la elaboración de la mezcla seca (R_{ms})

$$R_{ms} = 100 - \frac{[X \text{ kg formulado} - Y \text{ kg mezcla seca}]}{X \text{ kg formulado}} * 100$$

en donde:

X kg formulado = Total de componentes en la formulación (kg)

Y kg mezcla seca = cantidad de mezcla seca obtenida en kg.

- e) Rendimiento de la máquina extrusora/pelletizadora (R_{pell})

$$R_{pell} = 100 - \frac{[Y \text{ kg mezcla seca} - Z \text{ kg pellets}]}{Y \text{ kg mezcla seca}} * 100$$

en donde:

Y kg mezclaseca = cantidad de mezcla seca obtenida en kg.

Z kg pellets = Cantidad de compuesto pelletizado obtenido en la extrusión/pelletización

f) Rendimiento global obtenido (R_{global})

$$(R_{global}) = 100 - \frac{[X \text{ kg formulado} - Z \text{ kg pellets}]}{X \text{ kg formulado}} * 100$$

en donde:

Z kg pellets = Cantidad de compuesto pelletizado obtenido en la extrusión/pelletización

X kg formulado = Cantidad de producto que se pretende obtener.

1.3.5 Registro de datos y reportes (Etapa e)

Actualmente no se realizan registros de datos del proceso de la transformación del PVC, únicamente se tiene un formato de la formulación y la cantidad del compuesto que se fabrica. No se tiene ningún dato de las diferentes temperaturas que se registran en las máquinas las cuales son fundamentales para el control del proceso de producción. Es por ello, que se

establecieron hojas para los registros de datos en las tres áreas del proceso, en la formulación, en el mezclado y en la extrusión/pelletización, así como flujogramas de procesos que sirvan como guía de los pasos a seguir para operar las máquinas y que puedan ser utilizadas luego los datos para el cálculo de los rendimientos que se obtienen en las mismas.

1 Área de formulación

Esta área es la más importante del proceso ya que en ella se establecen las cantidades necesarias de cada componente que se requiere mezclar para la elaboración del compuesto de PVC solicitado.

En la figura 7 se establece una hoja de registro de los datos de manera que el encargado pueda definir la cantidad de plastificante que se necesita según la dureza del compuesto a elaborar. En ella, se establece la formulación a seguir definiendo la cantidad exacta a utilizar de cada componente por cada cien partes de resina (columna 2 del cuadro de formulación) así como también por cada 25 kg de resina (columna 3 del cuadro de formulación) ya que cada saco de la misma es de 25 kg y para que al agregar el resto de los componentes a mezclar de un peso fórmula (W kg fórmula) de aproximadamente 40 kg (+-), tomando en cuenta que la capacidad máxima de la mezcladora es de 50 kg.

En esta hoja el encargado podrá establecer de una manera sencilla, siguiendo ecuaciones específicas, la cantidad de lotes que se deben realizar para la cantidad de producto que se solicita, así como la cantidad de mezcla

seca que se elaborará para cubrir dicho producto. Estos datos serán de utilidad para determinar el rendimiento de la maquinaria en el proceso.

A continuación, el formato sugerido:

Figura 7. **Registro de datos área de formulación**

Continuaci3n...

1.3.5.2 Área de mezclado

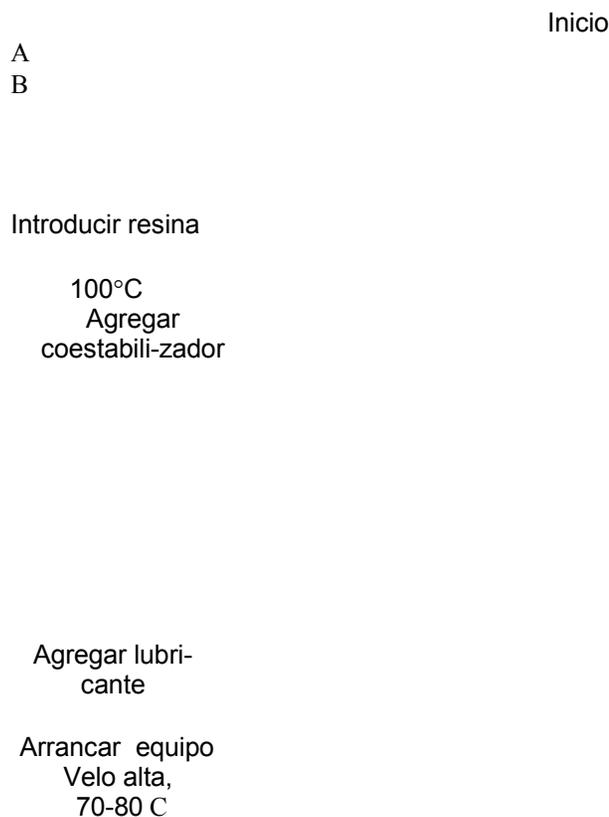
En el área de mezclado se necesitan dos operadores. El operador 1 se encarga de introducir la materia prima dentro de la mezcladora para obtener la mezcla seca. Se elaboró un flujograma (figura 8) del procedimiento que debe seguir de manera que lo tenga presente en su lugar de trabajo y del mismo modo se le facilite recordar el orden de introducción de la materia prima. El operador 1, es el encargado de descargar la mezcla seca al enfriador cuando la temperatura del proceso indica que ya está lista.

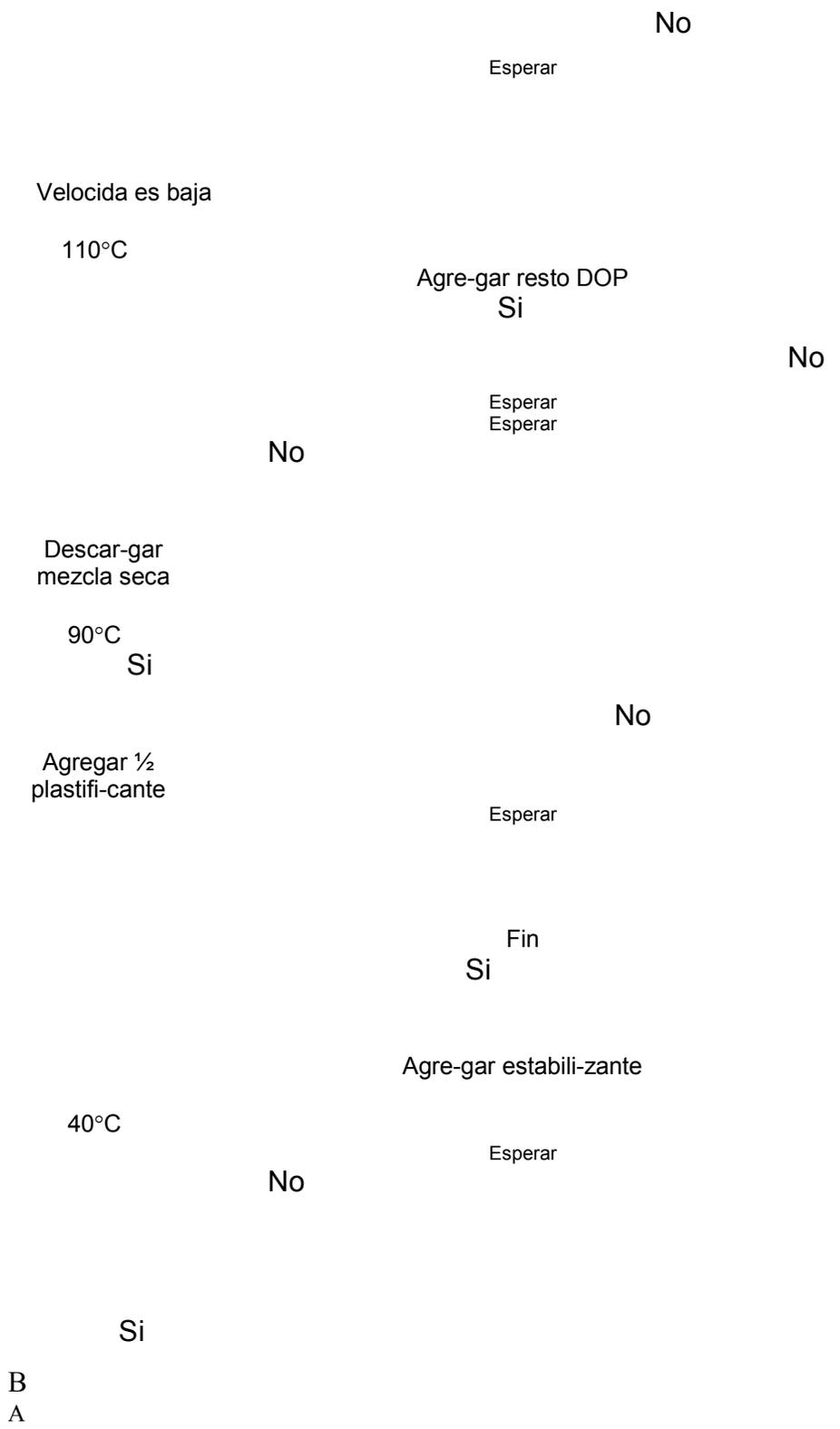
El operador 2 tiene como función el descargar la mezcla seca del enfriador y de registrar la temperatura de la misma a la salida del enfriador, luego debe pesar la mezcla para determinar la cantidad total obtenida de la misma en el proceso de mezclado. En esta hoja de registro que se sugiere (figura 9) se encuentran dos columnas para anotar la temperatura y el peso de la mezcla seca obtenida en cada lote, esto debido a que se hace uso de los mismos sacos de resina para recibir dicha mezcla los cuales son de una capacidad máxima de 25 kg. y cada lote es de 40 kg (+/-).

1.3.5.3 Área de extrusión/pelletización

En esta área, se encuentra un solo operador, quien es el encargado de verificar y registrar las temperaturas de las diferentes zonas o áreas en el cañon de extrusión y en la pelletizadora así como registrar la temperatura del *pellet* o producto final. Este operador es el encargado además, de empacar el producto en sacos de 25 kg cada uno y de registrar la cantidad del mismo obtenido (Z kg *pellet*). Se elaboró también un flujograma para esta área (figura 10) además del registro sugerido (figura 11).

Figura 8. **Flujograma área de mezclado**





B
A

Figura 9. **Registro de datos área de mezclado**

Figura 10. **Flujograma área de extrusión/pelletización**

A

Inicio

Introducir el
Dry-blend en la
extrusora
Conectar resistencia de la máquina

Establecer
temperatures,
125,115,105,95°
C

Establecer
velocidad de
corte de
pelletizadora.

Tempera-
tura Pellet \leq
40°C
Temperaturas
adecuadas

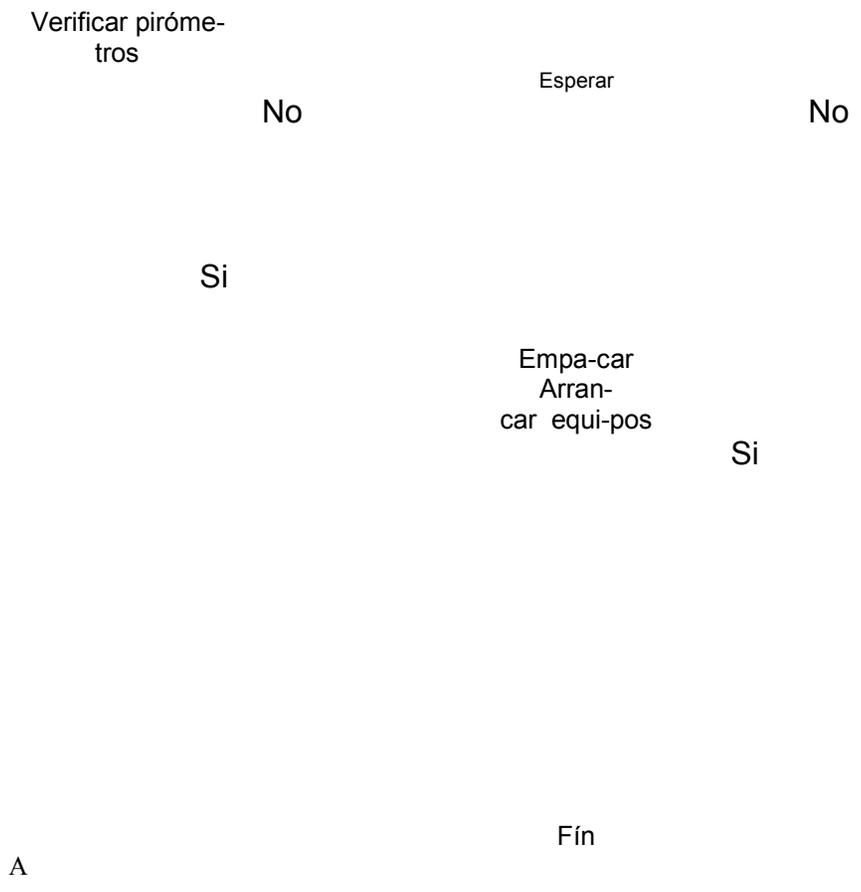


Figura 11. **Registro de datos área de extrusión/pelletización**

Continuación...

1.3.5.4 Rendimientos

En la figura 12 se registran tres rendimientos, en el mezclado, en la extrusión/pelletización y un rendimiento global. Los cálculos que el encargado debe realizar para obtener dichos rendimientos se encuentran indicados de manera que sólo tenga que llenar datos en las ecuaciones y así calcular dichos rendimientos. A continuación, el registro sugerido:

Figura 12. **Registro de datos de rendimientos**

1.3.6 Seguimiento y evaluación de productos comparando la aceptabilidad de los mismos en base a estándares, (Etapa F)

La sexta etapa de la auditoría de proceso de planta transformadora de PVC, se lleva a cabo luego de haber realizado un análisis cuidadoso de todo el proceso de operación donde presenta un seguimiento de las etapas anteriores, evaluando si es necesario realizar cambios en algún punto del proceso y si el producto final es el esperado según los estándares de los mismos.

Para ello, se realizó un chequeo de los pirómetros y de las resistencias eléctricas que se encuentran en las máquinas, la mezcladora y la extrusora/pelletizadora, con el fin de cambiar las que no se encontraban en buen estado, para que el parámetro de temperatura del proceso fuera el indicado por el mismo. Se tomaron en cuenta los puntos en el proceso donde debe realizarse muestreo y control para verificar si todas las etapas se encuentran en condiciones óptimas. Se fabricaron 3 toneladas de producto de PVC cristal dureza 65, el compuesto de mayor demanda, tomando en cuenta los formatos de registros de datos y reportes que se implementaron, aunque de forma resumida a manera de presentar la 3 toneladas en un mismo formato. Todos los datos se presentan en las figuras 13,14,15 y 16.

Los datos de temperaturas que se registran, fueron obtenidos por medio de una luz infrarroja para verificar si éstos son los correctos en todas las zonas del proceso y establecer así en que puntos del mismo se localizan fallas.

Figura 13. **Formulación de compuesto de PVC cristal 65**

Continuación...

Figura 14. **Área de mezclado: compuesto de PVC cristal 65**

Figura 15. **Área de extrusión/pelletización: compuesto de PVC cristal 65**

C o n t i n u a c i ó n ...

Figura 16. **Rendimientos: compuesto de PVC cristal 65**

Continuación...

Luego de haber realizado las 3 toneladas de producto de PVC cristal 65, se puede determinar que en la primera parte del proceso las temperatura registradas de la mezcla seca se encuentran por encima del rango indicado por el mismo que es de 40° a 50° C, se observan temperaturas de 52° a 54° C con lo que la resina base no se protege adecuadamente con la cantidad de estabilizador utilizado en la formulación.

Se observa que en la segunda etapa del proceso, en la extrusión/pelletización, todos los registros realizados de temperatura son los indicados, se presenta un cambio mínimo de 1°C cada 3 ó 4 horas, el cual desciende nuevamente a la temperatura indicada por el proceso, gracias a los pirómetros y resistencias de banda en buenas condiciones. El producto obtenido luego de pasar por el sistema de enfriamiento por vibración se encuentra a una temperatura menor de 40° C, lo establecido por el proceso.

El producto PVC cristal obtenido presentó una dureza de 65 *Shore* (ver anexo) el cual, en este caso, era el requerido. La dureza de 65 *Shore* fue obtenida de manera correcta por medio del registro de la formulación sugerido.

Los rendimientos registrados tanto del mezclado como de la extrusión/pelletización presentan de 1 al 1.7% de desperdicio total, del cual, más del 1% es recuperado nuevamente al reutilizar el producto que se queda sin pelletizar dentro del cañón de extrusión, el resto, menos del 0.7% corresponde a pérdida por la volatilidad de la resina base de PVC al introducirla dentro de la mezcladora y parte de la mezcla seca que queda dentro de los

ductos de la maquinaria.

La temperatura es el parámetro de control fundamental en el proceso, es la única herramienta con que se cuenta para determinar si existen fallas en el mismo, ya que no se tiene un laboratorio específico que ayude a determinar la calidad de producto final y sobre todo que establezca el tiempo y la temperatura en el cual el compuesto empezará a degradarse o quemarse cuando sea inyectado por el cliente.

Los registros de datos y reportes sugeridos en la auditoría de proceso realizada en la planta transformadora de PVC son adecuados para tomar decisiones con información de fácil interpretación para los operadores.

El sistema de enfriamiento de la máquina mezcladora no se encuentra trabajando en óptimas condiciones.

Las tablas I, II y III sugeridas en la etapa 3 de la auditoría de proceso realizada, determinan los puntos en el mismo, en donde debe realizarse muestreo y control, el análisis de la materia prima existente y el control del mantenimiento que debe realizarse al equipo, lo cual ayudará a que el proceso se lleve a cabo eficazmente.

El proceso de producción de PVC presenta el 99.56% de rendimiento promedio en la mezcladora y el 99.08% en la extrusión/pelletización desperdicio de material que en su mayoría puede ser reciclado.

3 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Debido a que no se cuenta con aparatos específicos para realizar cartas de quemado con las que determinemos la calidad y sobretodo si la cantidad del estabilizador utilizado en la formulación es la adecuada para proteger la resina de PVC y que ésta no se degrade con las temperaturas que el cliente utiliza al inyectar el compuesto, es necesario recurrir a la temperatura, el único parámetro de control que puede decir si el proceso se lleva a cabo de manera correcta para que el producto sea de buena calidad. Para ello, los registros de datos y reportes que fueron implementados al realizar la auditoría de control de proceso en la planta transformadora de PVC son adecuados ya que poseen la información suficiente y necesaria de fácil interpretación para que el operador pueda tomar una decisión en caso fuera necesario.

En la primera parte del proceso, los registros de datos del área de formulación presentan temperaturas de la mezcla seca arriba de 50° C, el límite aceptado por el proceso, por lo que el sistema de enfriamiento de la mezcladora no se encuentra trabajando en óptimas condiciones. Si se opera la mezcladora al máximo de su capacidad (14 TM compuesto PVC), la temperatura de la mezcla seca siempre se encontraría por encima del rango indicado y el producto pelletizado que se obtiene con la cantidad del estabilizador que se aplicó según la fórmula no es suficiente para proteger la resina de la degradación y obtener un compuesto de PVC de buena calidad, se tendría entonces que aumentar la cantidad de éste, pero el costo del compuesto también se elevaría.

En la etapa 3 y 4 de la auditoria de proceso realizada a la planta

transformadora de PVC se sugieren 3 tablas para llevar a cabo un buen control del proceso de producción. En las tablas se presentan todos los puntos en el proceso en donde se debe realizar muestreo y control desde la adquisición de la materia prima hasta la obtención del producto final y cada cuanto tiempo debe realizarse. Es necesario registrar los datos para analizar la materia prima existente, su identificación, fecha de ingreso, la forma de almacenarla, la cantidad existente en la fecha en la que se analiza. De la misma forma se debe llevar un control de mantenimiento del equipo con que se cuenta para mantenerlo calibrado, en buen estado y con los repuestos en existencia en caso de ser necesarios. Estas tablas constituyen una herramienta esencial para que los encargados lleven un control adecuado de los insumos necesarios y de la maquinaria existente y así se logre un producto de buena calidad.

Los rendimientos obtenidos en el área del mezclado arriba del 99.5% representa un desperdicio mínimo debido a la volatilidad de la resina cuando ésta es introducida dentro de la mezcladora y porque dentro de los ductos de descarga y dentro de las ollas mismas tiende a quedarse cierta cantidad de la mezcla seca.

El rendimiento obtenido en la extrusión-pelletización es más bajo que el rendimiento en el mezclado, esto debido a que dentro del cañón de extrusión cuando ya no hay mezcla seca a pelletizar y se ha obtenido todo el compuesto de PVC en pellets, ya no hay una presión adecuada que ejerce la mezcla dentro del mismo para avanzar y pasar por los orificios de la pelletizadora por lo que dentro del cañón queda material ya plastificado, pero no pelletizado.

Se debe de tomar en cuenta que los rendimientos en la extrusión-pelletización se obtuvieron de registrar las 3 TM de una en una, cuando se procesa el material en forma continua el rendimiento es mayor ya

que en el cañón de extrusión queda material del último lote de las toneladas métricas a elaborar, ya sean 2, 3, 6 10 TM o más.

El producto final obtenido, el compuesto de PVC cristal 65 luego de haber sido inyectado en forma de sandalia plástica presentó una dureza de grado 65, lo que indica que cualquiera de las dos formas presentadas en el formato de formulación para realizar el cálculo de la cantidad de plastificante a utilizar es adecuada.

CONCLUSIONES

1. El método de trabajo de la auditoría de control de proceso aplicado a la planta transformadora de PVC representa un manual de proceso de producción para la misma, el cual es un instrumento de mucha utilidad para observar fallas en el proceso y que a su vez puedan ser corregidos rápidamente.
2. La auditoría de control de proceso realizada a la planta transformadora de PVC trajo beneficios a la fábrica ya que con la implementación de los registros de datos se puede establecer cuando una parte del proceso no se encuentre operando en buenas condiciones y realizar de esta manera cambios necesarios en los momentos precisos.
3. Para un mejor funcionamiento del proceso de la planta transformadora del cloruro de polivinilo (PVC) es necesario realizar un muestreo y control en los diferentes puntos del mismo para que, tanto la materia prima, la maquinaria y los demás insumos se encuentren en buenas condiciones.
4. La temperatura que se registra en la mezcla seca se encuentra por encima del rango indicado por el proceso. Es por ello que actualmente el compuesto de PVC cristal no siempre satisface las expectativas del cliente y se debe muchas veces reprocesarlo haciendo uso de mayor cantidad de estabilizador y elevando de esta manera el costo de producción.
5. El sistema de enfriamiento de la olla enfriadora no se encuentra en óptimas condiciones para trabajar la mezcladora por más de 1 TM de producto a mezclar en forma continua y mucho menos para trabajarla el tiempo necesario para una capacidad máxima de producción de la planta, por lo que se deben realizar cambios necesarios en este sistema

de enfriamiento.

6. La máquina extrusora-pelletizadora se encuentra en buenas condiciones, las resistencias de banda y los pirómetros de control de temperatura que posee funcionan de manera correcta.
7. El desperdicio de material que representa el rendimiento global obtenido, se debe en su mayoría al material plastificado del último lote a procesar, el cual se queda en el cañón de extrusión y se obtiene sin ser pelletizado.
8. Un mayor rendimiento global del proceso depende del número de TM a procesar de compuesto, a mayor número de TM, mayor rendimiento ya que el proceso de extrusión-pelletización se realiza en forma continua.

RECOMENDACIONES

1. Tomar en cuenta que la auditoría de control de proceso realizada a la planta transformadora de PVC constituye una base para un manual de

operación para la misma y que revisarlo constantemente puede significar que no se presenten fallas en los procedimientos.

2. Hacer uso de los formatos de registros de datos implementados en la auditoría de control de proceso realizada a la planta transformadora de PVC para llevar un mejor control del funcionamiento del proceso e ir estableciendo si la fábrica se encuentra operando correctamente.
3. Colocar controles de temperatura de proceso en la salida de la mezcla seca en la olla enfriadora así como en la salida del agua del sistema de enfriamiento, para que de este modo se pueda determinar el momento necesario para darle mantenimiento al equipo.
4. Llevar a cabo una limpieza general del sistema de enfriamiento del área de mezclado, en especial a los dos radiadores del mismo, debido a la constante exposición al polvo tanto ambiental como del proveniente de la resina.
5. Aumentar el flujo de aire del ventilador encargado de inducirlo a través de los radiadores para mejorar la eficiencia en el enfriamiento del agua.
6. Implementar un laboratorio en la planta para realizar pruebas al producto final en donde además de verificar la dureza del mismo, se pueda establecer si la calidad y la cantidad del estabilizador utilizado es la adecuada comparándolo con los parámetros del proceso que se lleva a cabo. En este laboratorio se deben realizar cartas de quemado en donde especifique el tiempo y la temperatura en la cual el estabilizador se degrade dejando de proteger la resina base de PVC y haciendo que el producto final no sea cristal sino amarillento.

BIBLIOGRAFÍA

1. Avila, Eduardo. "Manual de proceso de transformación de PVC"
Chemical Additives de México. La revista. (México) (7):12.1999.
2. Hildrebrand, John. **Chemical engineering plant design.** 2ª ed.
Tokio:
Kogakusha/MacGraw-Hill, 1975.

3. Kleitz, Trevor. **Plant design for safety.** Nueva York:Hemisphere Publishing Corporation, 1976.
4. Myers, Rollie. "Quality audits for manufacturing plants" **Chemical Engineering Journal.** (Estados Unidos) (5):25.1984.
5. Smith, Robin. **Chemical process design.** Nueva York: MacGraw-Hill, 1995.

ANEXO

Formulación del compuesto de PVC

El analizar los diferentes compuestos que el mercado nos ofrece para la

plastificante por 100 partes de resina									
---	--	--	--	--	--	--	--	--	--

A partir de la tabla anterior se obtiene, con el uso de una calculadora científica, la siguiente ecuación que relaciona la cantidad necesaria de plastificante con la dureza del producto a elaborar.

Ecuación 1:

$$Y = -0.7413(X^2) + 2.7634(X) + 68.214$$

en donde Y = Cantidad de plastificante por cien partes de resina.

X = Dureza del compuesto a elaborar.

Por criterio de la planta transformadora de PVC a la cual se le realiza la auditoria de proceso, no se especifican todas las cantidades exactas en la formulación así como las diferentes fórmulas de compuestos específicos que en ella se elaboran por celo profesional.