



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

MEJORAMIENTO Y EVALUACIÓN DE COSTOS POR SOBREPESO EN FABRICACIÓN DE TUBERÍA PVC

José Juan Santos Flores

Asesorado por el Ing. Domingo Alfredo Vásquez Pinto

Guatemala, agosto 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**MEJORAMIENTO Y EVALUACIÓN DE COSTOS POR SOBREPESO EN
FABRICACIÓN DE TUBERÍA PVC**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

JOSÉ JUAN SANTOS FLORES

ASESORADO POR EL ING. DOMINGO ALFREDO VÁSQUEZ PINTO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL

GUATEMALA, AGOSTO DE 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADORA	Inga. Roxanna Margarita Castillo Rodríguez
EXAMINADOR	Ing. Mauricio Javier Reyes Paredes
EXAMINADOR	Ing. Luis Alfredo Asturias Zúñiga
SECRETARIA a.i.	Inga. Mayra Grisela Corado

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

MEJORAMIENTO Y EVALUACIÓN DE COSTOS POR SOBREPESO EN FABRICACIÓN DE TUBERÍA PVC

Tema que me fuera asignado por la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha septiembre de 2009.


José Juan Santos Flores

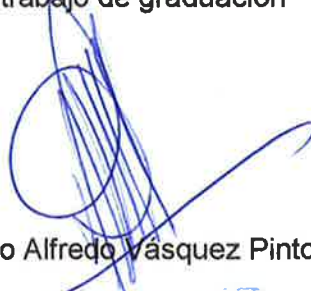
Ingeniero
César Ernesto Urquizú Rodas
Director
Escuela de Mecánica Industrial
Presente

Ingeniero Urquizú

Por este medio, me permito comunicarle que he asesorado el trabajo de graduación titulado **MEJORAMIENTO Y EVALUACIÓN DE COSTOS POR SOBREPESO EN FABRICACIÓN DE TUBERÍA PVC**, con carnet 2004-12568.

Considero que dicho trabajo llena los requisitos exigidos por la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, por lo que considero conveniente que se apruebe y conceda la autorización del mismo.

Dejo constancia de la finalización del trabajo de graduación



Ing. Domingo Alfredo Vásquez Pinto

DOMINGO ALFREDO VÁSQUEZ PINTO
INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL
COL. 7834



REF.REV.EMI.066.011

Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **MEJORAMIENTO Y EVALUACIÓN DE COSTOS POR SOBREPESO EN FABRICACIÓN DE TUBERÍA PVC**, presentado por el estudiante universitario **José Juan Santos Flores**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS



Byron Estuardo Ixpatá Reyes
Ingeniero Mecánica Industrial
Colegiado No. 6791

Ing. Byron Estuardo Ixpatá Reyes
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial


Guatemala, abril de 2011.

/mgp



El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación titulado **MEJORAMIENTO Y EVALUACIÓN DE COSTOS POR SOBREPESO EN FABRICACIÓN DE TUBERÍA PVC**, presentado por el estudiante universitario **José Juan Santos Flores**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


Ing. Cesar Ernesto Urquizú Rodas
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, agosto de 2012.

/mgp



DTG. 386.2012

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al trabajo de graduación titulado: **MEJORAMIENTO Y EVALUACIÓN DE COSTOS POR SOBREPESO EN FABRICACIÓN DE TUBERÍA PVC**, presentado por el estudiante universitario **José Juan Santos Flores**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, 9 de agosto de 2012.

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Por ser la luz que guía el camino, que aunque a veces es difícil y parece un trabajo duro de seguir, es el amigo fiel que escucha y no abandona.

Mis padres

Edgar Guillermo y Ruth Maritza, por ser ejemplo de excelencia, desempeño, liderazgo, éxito, comprensión; por ser el soporte que ha mantenido mi vida con sus consejos, apoyo, ayuda. Por y para ustedes es este éxito que alcanzamos juntos

Mi hermano

Edgar Guillermo, por ser el compañero que ha estado toda mi vida en juegos, carrera, aprendizaje y que lo será para toda la vida.

Mis abuelitos

Juan Odilio y Julia Elvira, porque han suplido el cuidado, amor, comprensión, consejos; han sido ejemplo de superación y un motivo de alegría en mi vida. Raquel, porque fue también amiga, confidente, consejera y muchas cosas, que aún sin saberlo, ella tenía el don de entenderme y poder ser siempre honesto, porque me enseñó valores, principios y estuvo para mí siempre.

Mis amigos

Por quienes aún sin estar conmigo, estaban pendientes de mí, para mis amigos de colonia, del colegio, de universidad, de trabajo. Por los que aún sin saber nada, tomaron la iniciativa de ayudarme en mi carrera y tesis, aunque esto significara leer algo sin entender lo que decía o estaba escrito, a ellos muchas gracias.

Mis compañeros

Para todos mis compañeros de Ingeniería, que al mencionarlos a todos se vuelve una gran lista, ellos saben quiénes son, porque con cada uno compartí trabajos, parciales, visitas o simplemente la espera de cursos, que hicieron que la época de Universidad fuera la mejor y más difícil de olvidar.

MILACRON

Por haberme dado la oportunidad de efectuar mi trabajo de tesis como miembro de esta entidad, por la facilidad de brindarme la información y por haberme abierto las puertas tanto como estudiante como profesional trabajador.

Mi asesor

Ingeniero Domingo Vásquez, por cada corrección, porque me enseñó que hacer las cosas no solo para cumplir un requisito, sino que es para dar la excelencia tanto a mi nombre como al de él.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	IX
LISTA DE SÍMBOLOS	XIII
GLOSARIO	XV
RESUMEN.....	XXVII
OBJETIVOS.....	XXIX
INTRODUCCIÓN.....	XXXI
1. ANTECEDENTES GENERALES.....	1
1.1. Historia de la entidad.....	1
1.1.1. Fundación y ubicación	1
1.1.2. Misión	2
1.1.3. Visión.....	2
1.1.4. Valores	3
1.1.5. Filosofía	3
1.2. Cloruro de Polivinilo.....	4
1.2.1. Creación (historia de su descubrimiento)	5
1.2.2. Obtención	6
1.2.3. Componentes	11
1.2.3.1. Plastificantes	11
1.2.3.2. Estabilizadores	12
1.2.3.3. Lubricantes.....	13
1.2.3.4. Cargas.....	14
1.2.3.5. Pigmentos	14
1.2.3.6. Espumantes	14
1.2.3.7. Absorbentes de rayos ultravioleta	15

	1.2.3.8.	Ayudas de proceso	15
	1.2.3.9.	Modificador de impacto	16
	1.2.3.10.	Modificadores de viscosidad	16
	1.2.3.11.	Antiestáticos.....	16
	1.2.3.12.	Fungicidas.....	17
	1.2.3.13.	Solventes	17
	1.2.4.	Usos y utilidades	17
1.3.		Industria del PVC en Guatemala.....	19
	1.3.1.	Antecedentes	19
	1.3.2.	Empresas fabricantes.....	20
	1.3.2.1.	Amanco (Mexichem)	21
	1.3.2.2.	Centroamericana de PVC	22
	1.3.2.3.	Durman	22
	1.3.2.4.	Multitubo	23
	1.3.3.	Competencia y competitividad.....	23
2.		PRODUCCIÓN DE TUBERÍA PVC.....	25
	2.1.	Equipos para la producción de tubería PVC	25
	2.1.1.	Mezclado.....	25
	2.1.1.1.	Mezclador en caliente	26
	2.1.1.2.	Mezclador en frío	27
	2.1.2.	Extrusión	28
	2.1.2.1.	Extrusoras.....	28
	2.1.2.2.	Cabezales	31
	2.1.2.3.	Matricería	32
	2.1.2.4.	Puller.....	33
	2.1.2.5.	Sierras.....	34
	2.1.2.6.	Estación de formado	34
2.2.		Producción	35

2.2.1.	Componentes	35
2.2.1.1.	Estabilizadores	36
2.2.1.2.	Modificadores de impacto.....	36
2.2.1.3.	Lubricantes.....	37
2.2.1.4.	Cargas.....	37
2.2.1.5.	Pigmentos	38
2.2.2.	Formulación.....	38
2.2.3.	Obtención del Dry-Blend.....	41
2.2.4.	Producto en proceso para la fabricación de la tubería PVC..	42
2.2.4.1.	Dry-Blend	42
2.2.4.2.	Material reciclado	43
2.2.5.	Extrusión.....	43
2.2.6.	Corte.....	44
2.2.7.	Estación de formado.....	45
2.3.	Especificaciones técnicas.....	45
2.3.1.	Normas ASTM	46
2.3.1.1.	Norma ASTM D1784	46
2.3.1.2.	Norma ASTM D2241	47
2.3.1.3.	Norma ASTM D2321	51
2.3.1.4.	Norma ASTM D3034	52
3.	PROPUESTA PARA LA EVALUACIÓN DE COSTOS Y DETECCIÓN DE MEJORAS	53
3.1.	Componentes	53
3.1.1.	Polímero	53
3.1.2.	Estabilizantes.....	55
3.1.3.	Lubricantes	56
3.1.4.	Colorantes	57

3.1.5.	Fillers o material de relleno	59
3.2.	Costos de materia prima	60
3.3.	Costos de energía eléctrica.....	61
3.4.	Costos de mano de obra directa	61
3.5.	Análisis de índices.....	64
3.5.1.	Determinación peso muestra.....	65
3.5.1.1.	Análisis peso muestra	66
3.5.2.	Determinación peso teórico.....	66
3.5.2.1.	Análisis peso teórico	67
3.5.3.	Determinación peso real.....	68
3.5.3.1.	Análisis peso real.....	68
3.6.	Balance de materiales.....	69
3.6.1.	Peso muestra	70
3.6.1.1.	Variación peso muestra	70
3.6.1.1.1.	Variación peso muestra línea de producción SK.....	70
3.6.1.1.2.	Variación peso muestra línea de producción GT	71
3.6.1.1.3.	Variación peso muestra línea de producción AC	72
3.6.1.2.	Utilización peso muestra	72
3.6.1.2.1.	Utilización peso muestra línea de producción SK.....	73

	3.6.1.2.2.	Utilización peso muestra línea de producción GT.....	74
	3.6.1.2.3.	Utilización peso muestra línea de producción AC.....	75
3.6.2.		Peso teórico.....	76
	3.6.2.1.	Variación peso teórico	76
	3.6.2.1.1.	Variación peso teórico línea de producción SK	76
	3.6.2.1.2.	Variación peso teórico línea de producción GT	77
	3.6.2.1.3.	Variación peso teórico línea de producción AC	78
	3.6.2.2.	Utilización peso teórico.....	78
	3.6.2.2.1.	Utilización peso teórico línea de producción SK	78
	3.6.2.2.2.	Utilización peso teórico línea de producción GT	80
	3.6.2.2.3.	Utilización peso teórico línea de producción AC	81
3.6.3.		Peso real.....	82
	3.6.3.1.	Variación peso real.....	82

	3.6.3.1.1.	Variación peso real línea de producción SK	82
	3.6.3.1.2.	Variación peso real línea de producción GT	83
	3.6.3.1.3.	Variación peso real línea de producción AC	84
	3.6.3.2.	Utilización peso real	84
	3.6.3.2.1.	Utilización peso real línea de producción SK	85
	3.6.3.2.2.	Utilización peso real línea de producción GT	86
	3.6.3.2.3.	Utilización peso real línea de producción AC	86
	3.6.4.	Tabla de resumen de pesos en producción.....	87
3.7.		Detección de mejoras.....	89
	3.7.1.	Mejoras en matricería.....	90
	3.7.2.	Mejoras al producto.....	91
	3.7.3.	Capacitación al personal	92
4.		IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA.....	95
	4.1.	Mejoras a la matricería (implementación)	95
	4.1.1.	Recalibración.....	95
	4.1.1.1.	Cabezales	96

	4.1.1.2.	Mandriles	97
	4.1.1.3.	Adaptadores universales	97
	4.1.1.4.	Calibradores	98
4.1.2.		Rectificación	99
	4.1.2.1.	Enderezado	99
	4.1.2.2.	Cromado.....	101
	4.1.2.3.	Corrección de desgastes.....	103
4.1.3.		Sustitución	103
	4.1.3.1.	Costos	104
	4.1.3.2.	Retorno de la inversión.....	105
4.1.4.		Aseguramiento de la calidad.....	110
4.2.		Mejoras al producto	111
4.2.1.		Mejoras al estándar interno	111
	4.2.1.1.	Thickness o espesor de pared	111
	4.2.1.2.	Ovalación	113
	4.2.1.3.	Uniformidad	113
4.2.2.		Pruebas externas.....	114
	4.2.2.1.	Límite de presión	115
	4.2.2.2.	Pruebas y análisis sobre materias primas.....	115
4.2.3.		Auditorías externas.....	116
4.2.4.		Trazabilidad	117
4.3.		Capacitación al personal (mejoras)	117
4.3.1.		Adiestramiento.....	118
4.3.2.		Prácticas de operación	118
	4.3.2.1.	Causas relacionadas al aspecto humano	119
	4.3.2.2.	Causas relacionadas a maquinaria y equipo.....	120

4.3.3.	Capacitación.....	121
5.	SEGUIMIENTO O MEJORÍA CONTINUA.....	123
5.1.	Determinación de indicadores de control	123
5.1.1.	Indicadores de matricería	123
5.1.1.1.	Condiciones	123
5.1.1.2.	Dimensiones	125
5.1.2.	Indicadores de producto.....	126
5.1.2.1.	Pruebas de planta	126
5.1.2.2.	Sobrepeso teórico	130
5.1.2.3.	Sobrepeso real.....	130
5.1.2.4.	Sobrepeso muestra.....	131
5.1.3.	Indicadores de personal	131
5.1.3.1.	Necesidad de capacitación	131
5.1.3.2.	Mejora y controles de operación	132
5.2.	Acciones a seguir para la mejoría continua.....	134
	CONCLUSIONES.....	137
	RECOMENDACIONES	139
	BIBLIOGRAFÍA.....	141

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Fórmula química de polimerización del PVC	7
2.	Fórmula del monómero y polímero de PVC.....	8
3.	Forma básica de extrusora de tornillo simple	29
4.	Tornillos paralelos de extrusoras	30
5.	Diseño de tornillo helicoidal	30
6.	Dado y mandril de extrusora	32
7.	Spider de cabezal	33
8.	Diagrama de cabezal.....	100
9.	Cromado de piezas de extrusoras	102
10.	Diagrama costo-mantenimiento.....	124

TABLAS

I.	Formulaciones recomendadas que utilizan estabilizadores líquidos y componentes aditivos adicionales.....	40
II.	Formulaciones recomendadas que utilizan aditivos multifuncionales y aditivos suplementarios para brindar prestaciones óptimas.....	40
III.	Ciclo típico de mezcla para el compuesto de tubos	41
IV.	Identificación del compuesto de PVC.....	46
V.	Requerimientos de clase para compuestos de PVC y CPVC rígidos ...	47
VI.	Diámetros exteriores y tolerancias de tubería PVC IPS.....	49
VII.	Espesor de pared y tolerancias para tubería PVC IPS con diámetros exteriores	50

VIII.	Dimensiones de tubería.....	52
IX.	Constantes físicas del monómero de PVC	54
X.	Propiedades del cloruro de polivinilo	55
XI.	Propiedades del estabilizante.....	56
XII.	Propiedades del lubricante	57
XIII.	Propiedades del TiO_2	58
XIV.	Propiedades del pigmento naranja.....	58
XV.	Propiedades del $CaCO_3$	59
XVI.	Costos de componentes.....	60
XVII.	Costos de energía eléctrica.....	61
XVIII.	Costo directo	63
XIX.	Variación peso muestra L/SK	71
XX.	Variación peso muestra L/GT	71
XXI.	Variación peso muestra L/AC	72
XXII.	Utilización peso muestra L/SK en kilogramos.....	73
XXIII.	Utilización peso muestra L/GT en kilogramos	74
XXIV.	Utilización peso muestra en kilogramos	75
XXV.	Variación peso teórico L/SK	77
XXVI.	Variación peso teórico L/GT	77
XXVII.	Variación peso teórico L/AC	78
XXVIII.	Utilización peso teórico L/SK en kilogramos.....	79
XXIX.	Utilización peso teórico L/GT en kilogramos.....	80
XXX.	Utilización peso teórico L/AC en kilogramos.....	81
XXXI.	Variación peso real L/SK	83
XXXII.	Variación peso real L/GT	83
XXXIII.	Variación peso real L/AC	84
XXXIV.	Utilización peso real L/SK en kilogramos	85
XXXV.	Utilización peso real L/GT en kilogramos	86
XXXVI.	Utilización peso real L/AC en kilogramos	87

XXXVII.	Resumen de variación de costos debido al sobrepeso.....	88
XXXVIII.	Costos de equipos de extrusoras	104
XXXIX.	Retorno de inversión para L/SK.....	108
XL.	Retorno de inversión para L/GT.....	109
XLI.	Indicadores de dimensiones de equipos.....	126
XLII.	Pruebas de presión sostenida de agua a 23°C.....	127
XLIII.	Requerimientos de presión de ruptura para agua a 23°C.....	128
XLIV.	Resistencia de impacto a 23°C.....	128
XLV.	Fuerza de impacto mínima para tubería	129

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
HP	Caballo de fuerza
Cal	Caloría
cm³	Centímetro cúbico
cc	Centímetro cúbico
cm	Centímetros
US\$	Dólar estadounidense
°C	Grados Celcius
g	Gramo
kcal	Kilo caloría
kg	Kilogramo
kWh	Kilowatt por hora
L	Litro
®	Marca registrada
m²	Metro cuadrado
µm	Micro metro
mPoise	Mili poise
mm	Milímetros
mol	Mol
%	Porcentaje
In	Pulgadas
TM	Tonelada métrica

GLOSARIO

ABS	(Acrilonitrilo Butadieno Estireno) es un plástico muy resistente al impacto muy utilizado en la automoción y otros usos tanto industriales como domésticos. Es un termoplástico amorfo.
Ácido esteárico	Es un ácido graso saturado de 18 átomos de carbono presente en aceites y grasas animales y vegetales. A temperatura ambiente es un sólido parecido a la cera; su fórmula química es $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$.
Ácidos monobásicos	Ácido con un solo átomo de hidrógeno sustituible, como el ácido clorhídrico (HCl).
Álcalis	Los álcalis (del árabe Al-Qaly, ceniza) son óxidos, hidróxidos y carbonatos de los metales alcalinos. Actúan como bases fuertes y son muy hidrosolubles. De tacto jabonoso, pueden ser lo bastante corrosivos como para quemar la piel, al igual que los ácidos fuertes.

Alifáticos	Son compuestos orgánicos constituidos por carbono e hidrógeno, en los cuales los átomos de carbono forman cadenas abiertas. Los hidrocarburos alifáticos de cadena abierta se clasifican en alcanos, alcenos o alquenos y alcinos o alquinos.
Aromáticos	Se define como hidrocarburo aromático al polímero cíclico conjugado que cumple la Regla de Hückel, es decir, que tienen un total de $4n+2$ electrones pi en el anillo. Los Hidrocarburos Aromáticos pueden ser cancerígenos.
ASTM	Sociedad Americana de Pruebas a Materiales por sus siglas en inglés. Es un organismo de normalización de los Estados Unidos de América.
Azocarbonamidas	Es un oxidante de acción rápida en harinas con bajo contenido de gluten, acondiciona y refuerza la estructura de la masa, este ingrediente también es utilizado como agente expansivo en la fabricación de juntas de plástico destinadas a las tapas metálicas de frascos de vidrio.
Benzofenonas	Sustancia química que absorbe la radiación UV. Son incorporadas en los diversos materiales para los filtros UV (vidrio, laminados plásticos, policarbonato, acrílico, etc.).

Carbonato de Calcio	El carbonato de calcio es un compuesto químico, de fórmula CaCO_3 . Es una sustancia muy abundante en la naturaleza, formando rocas, como componente principal, en todas partes del mundo, y es el principal componente de conchas y esqueletos de muchos organismos (p.ej. moluscos, corales) o de las cáscaras de huevo. Es la causa principal del agua dura. En medicina se utiliza habitualmente como suplemento de calcio, como antiácido y agente adsorbente.
Catalizadores	Sustancia química con los cuales se aumenta o disminuye la velocidad de una reacción química.
Cizallamiento	Deformación lateral que se produce por una fuerza externa. También llamado corte, cortadura.
Copolímero	Macromolécula compuesta por dos o más unidades repetitivas distintas, que se pueden unir de diferentes formas por medio de enlaces químicos.
Die	Equipo de las máquinas extrusoras que junto al mandril dan la forma a la tubería junto con sus espesores de pared. Se conocen bajo este nombre en el ámbito del plástico siendo su comparativo en procesos de manufactura el de “dado de extrusión”.

Dry-Blend

Compuesto para la producción fabricado por la mezcla de policloruro de vinilo y otros componentes en seco para la fabricación de tubos PVC por medio de extrusión.

DWV

Desagüe, basura y ventilación por sus siglas en inglés. Es un tipo de utilidad de tubería y accesorios PVC la cual tiene sus normas para su fabricación en la ASTM.

Elastómero

Son aquellos polímeros que muestran un comportamiento elástico. El término, que proviene de polímero elástico, es a veces intercambiable con el término goma, que es más adecuado para referirse a vulcanizados.

Emulsificantes

Componentes químicos que se encargan de realizar una mezcla de dos líquidos inmiscibles de manera más o menos homogénea.

Epoxis

Una resina epoxi o poliepóxido es un polímero termoestable que se endurece cuando se mezcla con un agente catalizador o "endurecedor".

Excentricidad

Es un parámetro que determina el grado de desviación de una sección cónica con respecto a una circunferencia.

Factor	Es el peso ideal de la tubería calculado por medio de la definición de densidad con relación a la masa y volumen. Utiliza como parámetros el diámetro externo, espesor de pared promedio y largo de la tubería así como la densidad del <i>Dry-Blend</i> .
Ftalato	Son un grupo de compuestos químicos principalmente empleados como plastificadores (sustancias añadidas a los plásticos para incrementar su flexibilidad). Uno de sus usos más comunes es la conversión del PVC de un plástico duro a otro flexible.
Glicéridos	El propanotriol, glicerol o glicerina (C ₃ H ₈ O ₃) (del griego Glykos, dulce) es un alcohol con tres grupos hidroxilos (–OH).
Glicólicos	El glicol (HO-CH ₂ CH ₂ -OH) se denomina sistemáticamente etano-1,2-diol. Se trata del diol más sencillo, nombre que también se emplea para cualquier poliol.
Hidrocarburos	Los hidrocarburos son compuestos orgánicos formados únicamente por átomos de carbono e hidrógeno. Consisten en un armazón de carbono al que se unen átomos de hidrógeno.

Hidrólisis

Es una reacción química entre agua y otra sustancia, como sales. Al ser disueltas en agua, sus iones constituyentes se combinan con los iones hidronio u oxonio, H_3O^+ o bien con los iones hidroxilo, OH^- , o ambos. Dichos iones proceden de la disociación o autoprotólisis del agua. Esto produce un desplazamiento del equilibrio de disociación del agua y como consecuencia se modifica el valor del pH.

Homopolímero

Se denomina homopolímero al propileno obtenido de la polimerización de propileno puro.

IPS

Dimensión de Tubería de Hierro por sus siglas en inglés. Es el tipo de tubería PVC que se encarga de la conducción de agua potable a presión.

Látices

Una látice o red es un conjunto parcialmente ordenado por una relación de orden, en el cual cada subconjunto $\{a, b\}$ de este, que consta de dos elementos, tiene una mínima cota superior y una máxima cota inferior.

Medio acuoso

Es un entorno en el cual la base es agua.

Monoéster

Son compuestos orgánicos en los cuales un grupo orgánico (simbolizado por R' en este artículo) reemplaza a un átomo de hidrógeno (o más de uno) en un ácido oxigenado.

Monómero	El monómero (del griego mono, uno y meros, parte) es una molécula de pequeña masa molecular que unida a otros monómeros, a veces cientos o miles, por medio de enlaces químicos, generalmente covalentes, forman macromoléculas llamadas polímeros.
NSF	Fundación Nacional de Salubridad por sus siglas en inglés. Es una entidad encargada de certificar la salubridad de los distintos productos.
Oligopolio	Es una forma de mercado en la cual éste es dominado por un pequeño número de vendedores (oligopólicos-oligopolistas). Debido a que hay pocos participantes en este tipo de mercado, cada oligopólico está al tanto de las acciones de los otros.
Organoestanosos	Sal natural a base de estaño.
Organofosfito	Sal natural a base de fósforo o ácido fosfórico.
Ovalación	Indicador de la tubería PVC sobre la diferencia entre el diámetro mayor y el diámetro menor que se encuentra regulado por la ASTM.

Oxidación

Las reacciones de reducción-oxidación (también conocidas como reacciones redox) son las reacciones de transferencia de electrones. Esta transferencia se produce entre un conjunto de elementos químicos, uno oxidante y uno reductor (una forma reducida y una forma oxidada respectivamente).

PHR

Partes por cada Cien de Resina por sus siglas en inglés. En base a estos valores está hecha la formulación para la obtención del *Dry-Blend* para la fabricación de tubería PVC.

Pi-tape

Cinta métrica metálica que sirve para la medición del diámetro externo de la tubería con un grado de precisión de 1 milésima de pulgada.

Plastisol

El plastisol es la mezcla de una resina (PVC), de un plastificante y otros aditivos que se encuentra en estado líquido a temperatura ambiente con propiedades visco-elásticas, es de color blanquecino (cuando no hay pigmento).

Poliéster

El poliéster (C₁₀H₈O₄) es una categoría de polímeros que contiene el grupo funcional éster en su cadena principal.

Polimerización	Polimerización es un proceso químico por el que los reactivos, monómeros (compuestos de bajo peso molecular) se agrupan químicamente entre sí, dando lugar a una molécula de gran peso, llamada polímero, bien una cadena lineal o una macromolécula tridimensional.
Polímero	Los polímeros son macromoléculas (generalmente orgánicas) formadas por la unión de moléculas más pequeñas llamadas monómeros.
Polioléfina	Se denomina poliolefina a todo aquel polímero obtenido mediante la polimerización de olefinas. El término IUPAC para olefina es "alqueno", por lo cual a las poliolefinas también se les puede denominar polialquenos.
PVC	Cloruro de polivinilo por sus siglas en inglés. Es un polímero termoplástico.
SDR	Dimensión Estándar de Radio por sus siglas en inglés. Es la nomenclatura con la cual se identifica la presión de trabajo de la tubería PVC calculado por medio de su diámetro exterior y el espesor de pared mínimo.
Solución	Una solución es una mezcla homogénea de dos o más sustancias.

Solvatación	La solvatación es el proceso de atracción y asociación de moléculas de un disolvente con moléculas o iones de un soluto.
Spider	Parte de las máquinas extrusoras en donde se establece la uniformidad del paso del <i>Dry-Blend</i> a través de orificios en forma de patas de araña en la fabricación de tubería PVC.
Termoplástico	Es un plástico que, a temperatura ambiente, es plástico o deformable, se derrite cuando se calienta y se endurece en un estado vítreo cuando se enfría lo suficiente
<i>Thickness</i>	Nombre con el que se le conoce en el ambiente de las ASTM al espesor de pared que esta normado como mínimo para cada una de las especificaciones de los distintos tipos de tubería producidas.
Trialkil-estaño	Compuesto químico a base de estaño usado como biocidas.
Dióxido de Titanio	El óxido de titanio (IV) o dióxido de titanio es un compuesto cuya fórmula es TiO_2 . Es utilizado en los procesos de oxidación avanzada fotocatalizada.

Volatilidad

Es una medida de la tendencia de una sustancia a pasar a vapor. Se ha definido también como una medida de la facilidad con que una sustancia se evapora.

RESUMEN

El proceso de la producción de la tubería PVC se logra por medio de la interacción de varios elementos, tanto físicos, de personal, empíricos, etcétera, de los cuales cada uno interviene en forma directa para obtener el producto deseado con las características establecidas tanto por estándares internos de la empresa como estándares reguladores internacionales como lo es la norma ASTM.

Un punto importante dentro de la fabricación de la tubería por medio de las máquinas extrusoras es la determinación del sobrepeso existente en cada línea de extrusión y así poder determinar el costo que esto representa a la empresa y tomar las medidas necesarias para disminuir estos costos y optimizar además de mejorar la eficiencia de la fábrica.

Estos costos son establecidos por medio de tres valores que se comparan con un estándar de peso ideal llamado factor. Estos tres valores son el peso muestra, peso teórico y peso real. Cada uno de estos valores es determinado por un muestreo en la planta de producción de cada producto fabricado en un lapso de tiempo determinado para establecer así por medio de registros la información necesaria para determinar dicho valor y determinar el sobrepeso.

La identificación del sobrepeso dará lugar a la estimación de costos al incurrir en valores altos dentro del proceso de producción y las acciones a tomar en tres áreas específicas: equipo, producto y personal.

Así también se evalúa la sustitución de equipos de dos máquinas extrusoras en las cuales se busca la disminución de los costos derivados por sobrepeso y la forma de inversión así como su retorno en un tiempo determinado.

El establecimiento de las mejoras y parámetros de control sobre el estado de equipos para lograr la óptima producción de tubería PVC cuidando tanto los costos por falta de mantenimiento como por costo del mantenimiento tiene lugar cuando los equipos han perdido las características de dimensión, recubrimiento o antigüedad de los mismos, permitiendo mejorar la eficiencia de la planta conforme a las fuente de ingresos monetarios lo permitan y la realidad de la industria no solo dentro de la empresa sino también dentro del ámbito manufacturero de competencia directa establecida por el oligopolio existente lo requiera o haga necesario.

OBJETIVOS

General

Mejorar y evaluar los procedimientos para la reducción de costos al incrementar la calidad y los estándares de fabricación de tubería PVC las cuales funcionan por extrusión de doble tornillo paralelo, realizándolo por medio de evaluaciones al equipo y al personal de la empresa en la detección de correcciones y aplicación de nuevos procedimientos al proceso productivo.

Específicos

1. Mejorar la calidad de la extrusión de tubería PVC por medio de mantener los estándares de dimensiones regidos en la ASTM.
2. Reducir los costos directos de materias primas por medio del control del sobrepeso en la producción de tubería PVC.
3. Mantener un control entre la materia prima utilizada para las líneas de producción al determinar las causas de variación debido al incremento de dimensiones, *Thickness* y las pérdidas debidas por el personal a cargo.
4. Establecer las distintas causas de variación por incremento de dimensiones o *Thickness* para determinar específicamente el sobrepeso en la tubería de PVC.

5. Verificar el estado de la matricería para la extrusión de tubería PVC para que esta cumpla con los estándares establecidos.
6. Mejorar la productividad en las líneas de producción al disminuir el sobrepeso en la tubería para que cumplan con los lineamientos de la ASTM.
7. Dar lugar a la mejora continua y disminuir las fuentes de sobrepeso existentes en las líneas de producción de PVC de la entidad.

INTRODUCCIÓN

Para la fabricación de tubería PVC (Cloruro de Polivinilo por sus siglas en inglés) por medio de la extrusión de *Dry-Blend* en las líneas de producción se debe tener un correcto balance de materiales, para hacer una evaluación del sobrepeso que posee la tubería y tener un mejor control sobre los costos de fabricación que se derivan por la utilización de materiales, así como del costo directo de producción.

La fabricación de tubería PVC se lleva a cabo por medio de la extrusión del compuesto de PVC (*Dry-Blend*) mediante el uso de extrusoras de tornillo doble paralelo, las cuales debido a variaciones de temperatura y presión calientan el compuesto de PVC hasta su temperatura de fusión para que en conjunto de la contrapresión hecha por los tornillos helicoidales paralelos se logre la extrusión de tubería PVC.

Las dimensiones de la tubería están regidas por la ASTM (Sociedad Americana de Prueba de Materiales por sus siglas en inglés) siendo la especificación ASTM-2241 y la ASTM-3034 la que rigen tanto los diámetros exteriores como los valores mínimos y máximos avalados para la tubería de PVC tanto para tubería hidráulica, tubería de drenaje, tubería de cloacas y ductería eléctrica.

La fabricación de tubería de PVC es manejada por un valor llamado Factor, el cuál es una relación entre la densidad de la tubería y el volumen de ésta para manejar un peso estándar al que se debe llegar para lograr una producción óptima. Estas dimensiones se logran por medio de matricería para

la extrusión que consta de cabezales, mandriles y dados que están calibrados para lograr las dimensiones deseadas en la tubería según el tipo de tubería que se esté fabricando y la presión a la cual estará sometida la misma.

Unas dimensiones con valores de espesor de pared o *thickness* mayores a los máximos permitidos o el promedio mayor, presenta un sobrepeso en la tubería lo cual conlleva a un costo mayor debido a más utilización de *Dry-Blend* para obtener el producto deseado, para el cual los costos aumentan en la obtención del mismo producto.

Un sobrepeso es insignificante en la producción de un solo tubo, ya que para las dimensiones se habla de milésimas de pulgada, pero en una producción continua y en masa como la que se hace en este proceso de producción son valores que representan un aumento significativo en costos que puede ser mejorado.

1. ANTECEDENTES GENERALES

1.1. Historia de la entidad

Inicialmente se conocerá cuál es la actividad de la empresa, su historia, su código de valores, misión, visión, etcétera, que es lo que rige y dirige el camino en el cual se desarrolla el campo de acción tanto empresarial como comercial.

1.1.1. Fundación y ubicación

MILACRON® fue fundada un 20 de agosto de 1994. Se encuentra ubicada en la 26 Avenida 26-42 zona 12, colonia Santa Elisa, Ciudad de Guatemala, Guatemala. Siendo fuente de trabajo para más de 75 personas que laboran en esta empresa.

Se especializa en la fabricación de tubería y accesorios en PVC bajo los más estrictos estándares internacionales de calidad, según las especificaciones establecidas por la ASTM (Sociedad Americana de Pruebas y Materiales por sus siglas en inglés).

Sus productos cumplen con las especificaciones establecidas por la normas de la NSF (Fundación Nacional de Salubridad por sus siglas en inglés), que garantizan la óptima calidad y desempeño de las líneas de productos fabricados por la empresa cuyos productos y servicios generan desarrollo, crecimiento y salud llevando soluciones a todos los lugares de nuestro país.

Es una empresa guatemalteca que opera con solidez desde hace más de una década fabricando tuberías hidráulicas para sistemas de presión, tuberías sanitarias, sistemas por gravedad, drenajes, alcantarillado, cloacas, drenaje pluvial, ductería telefónica, ductería eléctrica, accesorio y equipos para irrigación, así como comercializando sus respectivos accesorios y conexiones para la conducción de fluidos a presión para agua potable y colección de aguas servidas por gravedad de conformidad a estándares y especificaciones internacionales adoptadas en Guatemala y comercializando en todo Centroamérica.

Participa atendiendo a los canales de distribución comercial, ferreterías, almacenes, construcción, municipalidades, infraestructura, gobierno, irrigación y exportaciones en contratos importantes por lo que está en posibilidad de ofrecer todos los componentes y elementos necesarios para el diseño y la construcción de instalaciones hidráulicas completas.

1.1.2. Misión

Producir y comercializar productos PVC con los mejores estándares de calidad para la conducción de aguas con precios altamente competitivos. Operando dentro de un marco de ética, eficiencia y responsabilidad social y contribuyendo a una mejora en la calidad y vida de la gente.

1.1.3. Visión

Que sea reconocida como una empresa líder en toda la región que crea valor económico, comercializando productos de alta calidad, que contribuya al mejoramiento de calidad de vida de la gente en un marco de ética, eficiencia y responsabilidad social.

1.1.4. Valores

- Calidad: en la producción de toda la tubería en todas nuestras líneas de producción con la mejor materia prima.
- Innovación: continua de las estrategias y de nuestros métodos de trabajo.
- Puntualidad: en la entrega de los trabajos solicitados por los clientes.
- Coherencia: entre lo que se compromete con el cliente y lo que se efectúa como trabajo.
- Comunicación: constante y efectiva, entre todos los miembros que forman parte de la empresa, así como con proveedores y clientes.
- Confianza: en que realizará las labores de la mejor manera, con la finalidad de satisfacer a cada uno de los clientes.
- Compromiso: con los clientes, al brindarles un servicios de calidad; con la sociedad, al brindar estabilidad a las familias del personal, y con el medio ambiente, al respetar y cumplir todas las normas establecidas para el cuidado de éste.

1.1.5. Filosofía

MILACRON® es productora de tubería PVC tanto para sistemas de conducción de agua potable, ductería eléctrica como para aguas negras. Como empresa, tiene una seria responsabilidad que cumplir en los procesos de desarrollo económico y social del país y comunidades donde opera. Esta

responsabilidad involucra fines tales como: la conservación y uso eficiente del agua, saneamiento ambiental, reducción de los costos de instalación tanto en obras públicas como privadas.

Es por ello que da un fuerte énfasis a las necesidades del cliente final y concentrando muchos de los recursos materiales, y de tiempo para poder surtir a ingenieros, arquitectos, diseñadores, constructores, ferreteros etcétera, con productos de PVC (tubería y accesorios) que satisfagan niveles y normas de calidad debidamente probadas por los países e instituciones que son líderes mundiales en la manufactura de productos de PVC.

Las tuberías MILACRON® son producidas bajo las normas ASTM 2241 y 1785 teniendo estrictos controles de calidad. Pertenecen al tipo 1, grado 1 de tuberías PVC (según norma ASTM D1785) y están diseñadas para un esfuerzo hidrostático de 2000 PSI que es el utilizado en Estados Unidos de América y la mayoría de países del mundo. En síntesis la tubería es 1120 (tipo 1, grado 1, 2000 PSI).

1.2. Cloruro de Polivinilo

El cloruro de polivinilo o PVC es un plástico termoformable, el cual es utilizado para muchos fines, dentro de los cuales se encuentra la tubería de conducción del agua potable. Este polímero es obtenido de varias maneras, como lo son emulsión, solución, masa, suspensión, para su polimerización a partir del monómero y se encuentra dentro de la lista de los plásticos más comercializados en el mundo.

1.2.1. Creación (historia de su descubrimiento)

Resulta paradójico que uno de los polímeros comerciales menos estables sea al mismo tiempo uno de los materiales plásticos más interesantes de la actualidad, lo que se puede ver reflejado al gran número de toneladas que anualmente se consumen en el mundo. Ese éxito comercial, se ha debido principalmente, al desarrollo de estabilizantes adecuados, y de otros aditivos que han hecho posible la producción de compuestos termoplásticos de gran utilidad.

El cloruro de vinilo en su forma de monómero, fue descubierto por Henri Victor Regnault en 1838, cuando trataba dicloroetano con una solución alcohólica de hidróxido de potasio. Regnault también descubrió, accidentalmente, el policloruro de vinilo, por medio de la exposición directa del monómero a la luz del día. Sin embargo, no advirtió la importancia de sus descubrimientos, ni comprendió que el polvo blanco contenido en el vaso de precipitados de vidrio, era el polímero del líquido obtenido al comienzo.

Baumann tuvo éxito en 1872, al polimerizar varios haluros de vinilo y fue el primero en obtener algunos de estos en la forma de producto plástico. Ostrominlensky estableció en 1912 las condiciones para la polimerización del GBTVcloruro de vinilo y, desarrolló técnicas convenientes en escala de laboratorio. Klatte de Grieskein descubrió en 1918 los procesos que aún se emplean en la actualidad para la producción de cloruro de vinilo a través de la reacción en estado gaseoso, del cloruro de hidrógeno y del acetileno, en presencia de catalizadores.

El cloruro de vinilo y sus polímeros han sido curiosidades de laboratorio hasta hace 40 años, cuando se inició una labor de investigación más profunda y dirigida tanto en Alemania, como en Estados Unidos y Rusia.

Senon de la B. F. Goodrich Company, y Reid de la Carbide and Chemical Carbon Company, obtuvieron patentes para la producción de PVC que pueden ser considerados como los puntos de partida para la producción industrial de este material.

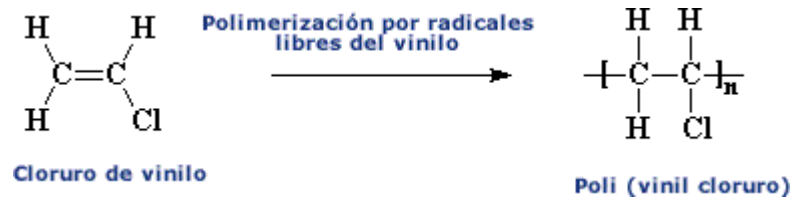
El desarrollo de un PVC de Alto Impacto constituye uno de los descubrimientos de mayor importancia en la segunda mitad del siglo XX, en relación con este material.

1.2.2. Obtención

El policloruro de vinilo (PVC) es el polímero que ocupa el tercer lugar en el mercado de producción de plásticos a escala mundial, debido al gran número de compuestos y derivados que se pueden obtener de él.

Estructuralmente, el PVC es similar al polietileno, con la diferencia que cada dos átomos de carbono, uno de los átomos de hidrógeno está sustituido por un átomo de cloro. Es producido por medio de una polimerización por radicales libres del cloruro de vinilo (fórmula química $\text{CH}_2 = \text{CHCl}$).

Figura 1. **Fórmula química de polimerización del PVC**



Fuente: Mexichem Resinas Vinílicas.

La resina que resulta de esta polimerización es la más versátil de la familia de los plásticos; pues además de ser termoplástica (bajo la acción del calor se reblandece, y puede moldearse fácilmente; al enfriarse recupera la consistencia inicial y conserva la nueva forma), se pueden obtener productos rígidos y flexibles.

El PVC, es una combinación química de carbono, hidrógeno y cloro. Sus materias primas provienen del petróleo (en un 43 por ciento) y de la sal común, recurso inagotable (en un 57 por ciento). Es el plástico con menos dependencia del petróleo, En este momento solo el 4 por ciento del consumo total del petróleo se utiliza para fabricar materiales plásticos y de ellos, únicamente una octava parte corresponde al PVC (el 0,5 por ciento de la producción total). Existen dos tipos de cloruro de polivinilo, el flexible y el rígido. Ambos tienen alta resistencia a la abrasión y a los productos químicos.

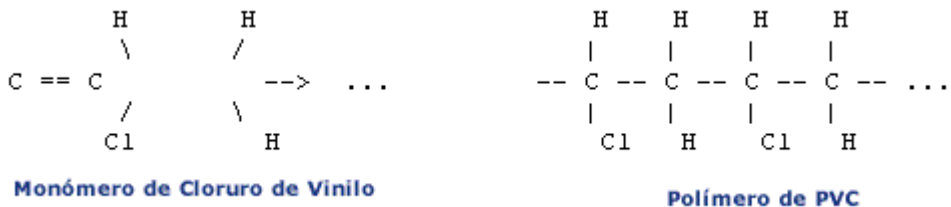
El PVC flexible o también llamado plastificado, constituye el 50 por ciento de la producción. En este tipo de PVC, se emplea un polímero de suspensión o masa y aditivos que hacen procesable el material como son plastificantes que imparten al producto terminado flexibilidad, dependiendo de la proporción del plastificante usado. Este tipo de PVC es destinado para hacer manteles,

cortinas para baño, muebles, alambres y cables eléctricos, tapicería de automóviles, etc.

El PVC rígido utiliza un polímero o resina de PVC de suspensión o masa y que se encuentra integrado con un gran número de aditivos como modificadores de flujo, de impacto, estabilizadores, colorantes, entre otros, pero que no contiene plastificantes que modifiquen la flexibilidad del material. Se usa en la fabricación de tuberías para riego, juntas, techado, botellas, y también en partes de automóviles.

La fórmula del PVC es:

Figura 2. **Fórmula de monómero y polímero de PVC**



Fuente: Mexichem Resinas Vinílicas.

Algunas propiedades del PVC hacen que ocupe un lugar privilegiado dentro de los plásticos, estos son: es ligero, inerte, inocuo, resistente al fuego (no propaga la llama), impermeable, aislante (térmico, eléctrico y acústico), de elevada transparencia, fácil de transformar (por extrusión, inyección, calandrado, prensado, recubrimiento y moldeo de pastas), además de que es reciclable. Estos materiales pueden estirarse hasta 4,5 veces su longitud original, tiene densidad de 1,3 a 1,6 gramos sobre centímetro cúbico

Existe en el mercado una gran variedad de resinas cuyas propiedades van cambiando conforme a su peso molecular, o como comúnmente se le llama, su viscosidad inherente. Este cambio en propiedades sigue una línea de conducta establecida, de tal forma que se puede enunciar en forma general que conforme el peso molecular va subiendo; las propiedades físicas de tensión, elongación, compresión, etcétera, van mejorando; la resistencia química a los solventes álcalis y ácidos va aumentando; la estabilidad térmica es mayor; el punto de fusión es superior; la procesabilidad se hace más difícil; la resistencia al envejecimiento es menor y la absorción de plastificante a una dureza dada es mayor.

Una forma sencilla de identificar la resina es mediante su valor K, que es una forma práctica de presentar su viscosidad inherente. Comercialmente los valores K van de 43 a 71 unidades, conforme aumenta la viscosidad aumenta el valor K. Esta es una valoración muy común en el medio. Por lo tanto, tenemos que para la formulación de un compuesto para un producto determinado, es necesario escoger las resinas conforme a los requerimientos en propiedades físicas finales, flexibilidad, procesabilidad y aplicación.

Las resinas de PVC se pueden producir mediante cuatro procesos diferentes: suspensión, emulsión, masa y solución.

Suspensión: es el método más empleado, con él se obtienen homopolímeros y copolímeros. El proceso se lleva a cabo en reactores de acero inoxidable por el método de cargas. En la producción de resinas de este tipo se emplean como agentes de suspensión la gelatina, los derivados celulósicos y el alcohol polivinílico, en un medio acuoso de agua purificada. Los catalizadores clásicos son los peróxidos orgánicos. Este tipo de resinas tiene buenas propiedades eléctricas.

Emulsión: se obtienen las resinas de pasta o dispersión, las que se utilizan para la formulación de plastisoles. Las resinas de pasta pueden ser homopolímeros o copolímeros; también se producen látices. En este proceso se emplean agentes surfactantes derivados de alcoholes grasos, con objeto de lograr una mejor dispersión y como resultado un tamaño de partícula menor. Dichos surfactantes tienen influencia determinante en las propiedades de absorción del plastisol. La resina resultante no es tan clara ni tiene tan buena estabilidad como la de suspensión, pero tampoco sus aplicaciones requieren estas características. El mercado de esta resina es el 25 por ciento del total de la producción mundial.

Masa: se caracteriza por ser de “proceso continuo”, donde sólo se emplean catalizador y agua, en ausencia de agentes de suspensión y emulsificantes, lo que da por resultado una resina con buena estabilidad. El control del proceso es muy crítico y por consiguiente la calidad variable. Su mercado va en incremento, contando en la actualidad con un 12,5 por ciento del mercado mundial total.

Solución: se lleva a cabo precisamente en solución (una solución es una mezcla homogénea de dos o más sustancias. La sustancia disuelta se denomina soluto y está presente generalmente en pequeña cantidad en comparación con la sustancia donde se disuelve denominada solvente), y a partir de este método se producen resinas de muy alta calidad para ciertas especialidades. Por lo mismo, su volumen de mercado es bajo.

1.2.3. Componentes

El PVC como resina en sí, no posee las características necesarias para la producción de la tubería PVC, por lo tanto, necesita de otras sustancias llamadas componentes, las cuales le ayudan en el proceso dándole características únicas y deseadas según la formulación y proporción en que estos se mezclen. Cada uno de estos componentes tiene una función determinada que cumplir dentro del proceso o acabado del producto el cual garantiza un proceso adecuado y un producto con especificaciones que cumplen las normas ASTM.

1.2.3.1. Plastificantes

Se emplean para impartir flexibilidad. Cuando se formulan con homopolímeros de suspensión, se obtienen compuestos para producción de materiales flexibles. Cuando se combinan con resinas de pasta, dan los plastisoles para producción de otros materiales también flexibles. Químicamente los plastificantes son solventes de baja volatilidad, los cuales son incorporados en la formulación del PVC para impartirle propiedades elastoméricas de flexibilidad, elongación y elasticidad. Por lo general son líquidos, aunque muy ocasionalmente los hay sólidos. Pueden ser ésteres dibásicos, alifáticos o aromáticos, diésteres glicólicos derivados de ácidos monobásicos, poliésteres lineales, glicéridos epoxidados e hidrocarburos aromáticos de monoésteres, así como hidrocarburos alifáticos clorados.

Los plastificantes se clasifican en función de su eficacia, permanencia, flexibilidad a baja temperatura, compatibilidad y poder de solvatación en plastisoles. Entre mayor sea la polaridad, cromaticidad o grado de ramificación, mayor será el poder de solvatación y compatibilidad del plastificante. Buenas

características de flexibilidad a baja temperatura se obtienen con plastificantes que sean inferiores en solvatación y compatibilidad.

En este medio, el DOP (ftalato de dioctila), el DIDP (diisodecilftalato) y el DINP (diisononilftalato) son empleados como plastificantes generales y para aplicaciones especiales se usan DIP (ftalato de diisodécilo), BBP (butilobenziloftalato), TOTM (trimelitato de trioctilo), DOA (adipato de dioctilo), etc. Los epoxidados son plastificantes especiales en su género pues formulados en bajas proporciones, imparten buenas propiedades a baja temperatura y estabilidad térmica a largo plazo.

1.2.3.2. Estabilizadores

Se pueden clasificar como el único ingrediente indispensable en la formulación de un compuesto de PVC. Es importante mencionar que es el único ingrediente con el cual el PVC reacciona durante la fabricación del compuesto y su procesado; que seguirá en cierta forma reaccionando durante la vida útil del producto, retardando la degradación que el calor y la luz producen en el producto. Los estudios de rastreo por radiocarbón han confirmado esta teoría.

Los estabilizadores pueden ser: sales organometálicas de Ba, Cd y Zn en forma de líquidos o polvos, mercapturos y carboxilatos de compuestos organoestanosos en forma de líquidos o polvos, jabones y sales de plomo, líquidos o polvos, combinaciones de estearatos de Ca y Zn atóxicos; estabilizadores organofosfitos, epoxis y algunos más que contienen nitrógeno.

En forma general, para la producción de materiales flexibles, calandreados, extruídos, moldeados y plastisoles se usan comúnmente estabilizadores de bario-cadmio (zinc). Los compuestos rígidos generalmente son estabilizados

con compuestos organoestanosos y jabones y sales de plomo. Los compuestos eléctricos, aunque son flexibles, deben estabilizarse con plomo por la baja conductividad de estos.

Es importante mencionar que el zinc, a pesar de ser estabilizador, en circunstancias especiales tiene efectos perjudiciales. Algunas resinas son más sensitivas que otras al zinc, así como que éste no es tan efectivo en presencia de fosfatos y plastificantes derivados de hidrocarburos clorados.

1.2.3.3. Lubricantes

Uno de los aspectos más importantes en la tecnología del PVC es la lubricación, pues está muy unida a la estabilización, sobre todo en el procesado de los rígidos, donde la degradación durante la transformación es crítica. Existe lubricación interna, la cual se obtiene con ácido esteárico, estearatos metálicos y ésteres de ácido graso y la lubricación externa, la cual se obtiene mediante el uso de aceites parafínicos, ceras parafínicas y polietilenos de peso molecular bajo. Los lubricantes internos contribuyen a bajar las viscosidades de la fusión y a reducir la fricción entre las moléculas.

Los lubricantes externos funcionan esencialmente emigrando hacia la superficie, donde reducen la fricción del plástico fundido y las paredes metálicas del extrusor, calandria, etc. Esta particularidad también es empleada para impartir propiedades finales al producto, como la de anti-adeherencia (*antiblocking*) o de no pegajosidad (*antitacking*). De entre todos los lubricantes, el ácido esteárico es, con mucho, el más empleado.

1.2.3.4. Cargas

Las cargas se usan con objeto de reducir costos, impartir opacidad y modificar ciertas propiedades finales, como la resistencia a la abrasión, al rasgado, etc. Los materiales empleados son generalmente productos inertes, inorgánicos y minerales; entre ellos destaca el carbonato de calcio y silicatos, como la arcilla, caolin, talco y asbesto. El carbonato de calcio es el más ampliamente usado, mientras que el asbesto se usa principalmente en la producción de loseta vinil-asbesto.

1.2.3.5. Pigmentos

Los pigmentos se usan principalmente como objeto decorativo. Se utilizan pigmentos metálicos de aluminio, cobre, oro y bronce y otros metálicos combinados, como organo-metálicos de Cd, Cu, Ba, etc. También, se emplean colorantes con el mismo objetivo. Sin embargo, los colores como el blanco y el negro son más empleados en exteriores, por sus propiedades de reflexión y absorción de la luz, como en el caso de los paneles laterales (sidings) blancos y la tubería negra.

1.2.3.6. Espumantes

Los espumantes o esponjantes son productos empleados para formar materiales con baja densidad y con efectos y propiedades celulares; son muy usados en recubrimientos de tela para tapicería. Se emplean principalmente plastisoles, aunque también es posible elaborarlos a partir de calandreado con resina de suspensión. Existen dos tipos de espumas para formulación de PVC; la química y la mecánica. La primera usa un producto químico orgánico que a cierta temperatura desprende dióxido de carbono y forma la célula o burbuja.

La espuma mecánica, se produce exclusivamente con plastisoles y consiste en bajar la tensión superficial a tal grado que con agitación enérgica se forma la espuma o burbuja deseada. Este último proceso es prácticamente nuevo. Para el espumado químico, comúnmente se emplea azodicarbonamidas y para el espumado mecánico se usan silicones. Existe también el PVC celular que es rígido y sigue similares principios de formulación aunque muy diferentes de proceso.

1.2.3.7. Absorbentes de rayos ultravioleta

La luz en la región de los rayos ultravioleta tiene una fracción donde hay suficiente energía de activación como para romper las ligaduras del PVC. Es debido a esta fracción con energía de activación que todo material, sin excepción, envejece, se amarillenta y, en suma, se degrada. Por ello se emplea en algunas formulaciones de PVC agentes absorbentes de rayos ultravioleta, a fin de retardar el amarillamiento, puesto que el evitarlo permanentemente no es posible. Las benzofenonas y los derivados del ácido salicílico son los absorbentes más empleados.

1.2.3.8. Ayudas de proceso

Estos materiales se usan principalmente en la formulación de compuestos rígidos. Como su nombre lo indica, ayudan al proceso en forma similar a un lubricante interno. En general son acrílicos que hacen el procesado más suave, dando un mejor acabado y una fusión más rápida y temprana, pero aumentando la viscosidad de la fusión.

1.2.3.9. Modificador de impacto

Se emplea para aumentar la resistencia al impacto de los compuestos rígidos, creando una interfase, donde el elastómero entre la resina actúa como absorbedor de choque en el proceso de absorción y disipación de energía. Es muy importante darle un trabajo apropiado al compuesto formulado para lograr una buena dispersión, pues de otra forma el producto no tendrá las propiedades deseadas. También, se emplean los modificadores de impacto en los compuestos flexibles con objeto de que éstos puedan retener los grabados efectuados por operaciones de post-formado. Los materiales empleados como modificadores de impacto pueden ser el ABS (acrilonitrilo butadieno estireno), el polietileno clorado, el acrilato de butadieno, el estireno, los acrílicos, etcétera.

1.2.3.10. Modificadores de viscosidad

Su aplicación es exclusiva para plastisoles y se emplean para bajar, regular y conservar la viscosidad de éstos, ya que los plasisoles, con el tiempo incrementan su viscosidad a niveles no adecuados de operación. Estos modificadores son esencialmente agentes surfactante que imparten por naturaleza efectos lubricantes y son comúnmente del género de los ésteres grasos del etilen-glicol.

1.2.3.11. Antiestáticos

Son productos empleados en la formulación de PVC con objeto de eliminar el efecto mencionado, defecto principal en los discos fonográficos donde crean ruidos indeseables. Químicamente, los productos empleados son surfactantes iguales a los modificadores de viscosidad.

1.2.3.12. Fungicidas

Estos productos, como los anteriores, no son muy empleados en nuestro medio porque éste no es muy propicio para la procreación de hongos. Se han usado en la formulación de tapiz para pared, producto donde esa protección sí es necesaria. En vista de que los compuestos organoestanosos tienen propiedades fungicidas y propiedades estabilizadoras, los compuestos trialkilestanosos se usan para este objeto. Los fungicidas mercuriales son poco usados.

1.2.3.13. Solventes

Se usan principalmente para la formulación de organosoles, es decir, plastisoles con solvente, así como para la regulación de la viscosidad de los plastisoles. Comúnmente son mezclas de MEC (metil etil cetona), MIBC (metil isobutil carbinol) y otros como toluolxilol, etc.

1.2.4. Usos y utilidades

Actualmente en el mercado, adicional a la aplicación que se estudia en el presente trabajo, se puede encontrar una amplia variedad de productos de PVC acorde a requerimientos de la industria y del usuario.

- Películas para envasado de productos medicinales, desde películas monocapas hasta películas con altas barreras y laminados para proteger productos farmacéuticos. Envases para plasma, suero y sangre.
- Filmes y láminas para el envasado de productos electrónicos que requieren condiciones de protección específica.

- Filmes y láminas para el envasado de diversos productos como pilas, lámparas eléctricas, cámaras fotográficas, herramientas, productos para el hogar, productos de cosmética.
- Bandejas y tapas termoformadas, para el envasado de alimentos.
- Filmes termocontraíbles, para etiquetado de botellas, frascos, cápsulas para botellas de vino o envases con protección de evidencia de apertura.
- Filmes y películas destinadas al envasado de alimentos.
- Cuerpos huecos (garrafas, bidones, botellas, frascos), translúcidos u opacos y coloreados; con amplia diversidad de diseños y formas, con asas o sin ellas.
- Industria de la cosmética: botellas, frascos, cremas, jabones, etc.
- Industria química y de limpieza: envasado de productos químicos como alcoholes, aguarrás o para artículos de limpieza como detergentes, ceras, aceites, desengrasantes, agua de lavandina, etc., en diferentes tipos de envases.

Estadísticamente el PVC es utilizado a nivel mundial en un 55 por ciento del total de su producción en la industria de la construcción. El 64 por ciento de las aplicaciones del PVC tienen una vida útil entre 15 y 100 años, y es esencialmente utilizado para la fabricación de tubos, ventanas, puertas, persianas, muebles, etcétera.

Un 24 por ciento tiene una vida útil entre 2 y 15 años (utilizado para electrodomésticos, piezas de automóvil, mangueras, juguetes, etcétera).

El 12 por ciento restante es utilizado en aplicaciones de corta duración, como por ejemplo, botellas, tarros, film de embalaje, etcétera, y tiene una vida útil entre 0 y 2 años. La mitad de este último dato (un 6 por ciento) es utilizado para embalaje, razones por las que el PVC se encuentra en cantidades muy pequeñas en los Residuos Sólidos Urbanos (RSU): tan sólo el 0,7 por ciento.

1.3. Industria del PVC en Guatemala

En Guatemala, existe un gran mercado de comercialización del PVC, ya sea para tubería de conducción de agua y sus respectivos accesorios, que es el mercado que nos interesa, así como el de otros como lo son planchas, puertas, marcos para ventanas, etc. Este auge de la comercialización de este producto se debió a la introducción del plástico en el mundo a finales de la segunda guerra mundial, y el empuje que se tuvo mundialmente que hizo que estos productos fueran adecuados para su producción en el país. Esta industria mueve varios millones de quetzales en su comercio tanto local como internacionalmente lo cual lo sitúa en un importante rubro de la industria nacional.

1.3.1. Antecedentes

Al hablar de la industria plástica en el ámbito mundial se refiere a un extenso campo que va avanzando en todas las diferentes áreas en las cuales se puede subdividir; por ejemplo se puede mencionar los adelantos que han venido surgiendo en los estudios realizados acerca de nuevas formas de materiales

sintéticos basándose en resina plástica, así como también los avances que se están en el campo del reciclado del material plástico.

La industria plástica es una de las industrias más jóvenes que existen actualmente en Guatemala. En el mercado nacional, el plástico en un principio comenzó de un modo comercial, entrando al mercado de consumo con la fabricación de productos de uso doméstico (baldes, palanganas, etc.). Fue hasta 1975 cuando empezó a tener un mayor auge con la introducción del plástico en el ámbito industrial, ya que se empezó a utilizar a un nivel más alto y en cantidades mucho mayores.

Se puede decir que hay varios factores que influyen en el campo industrial plástico, entre ellos se encuentran:

- La industria plástica
- El precio del petróleo
- Materia prima para elaboración de productos plásticos
- Influencia de la materia prima reciclada
- Diferencia entre materia prima virgen y reciclada
- Crecimiento y evolución del mercado plástico
- Avance tecnológico en el área de producción

Todos estos aspectos son los que determinarán cómo la industria plástica pueda verse influida en los próximos 20 años.

1.3.2. Empresas fabricantes

En Guatemala, la industria fabricante del PVC empezó por una industria que monopolizó el mercado en sus inicios. (TUBOVINIL), pero el auge del mercado

y la fuente de inversión de personas extranjeras atrajo otras opciones al mercado, dando lugar a la aparición de cuatro empresas más que se dedicaran a la producción y comercialización de la tubería PVC, las cuales se mencionan con algunas características sobre su misión, visión, fundación e información adicional.

1.3.2.1. Amanco (Mexichem)

Ubicación: Calzada Atanasio Tzul 16-67 zona 12, Ciudad de Guatemala.

Fundación: surge en 1998, después de la fusión de compañías como Duralita y Tubovinil. Es una empresa de MEXICHEM quien opera en todo el continente latinoamericano en el sector químico y petroquímico.

Actividad que desarrolla: fabricación sistemas para la conducción de fluidos, principalmente tuberías, cubierta metálica y productos forestales además de ofrecer soluciones para los sectores de construcción predial, infraestructura y área agrícola.

Datos adicionales: en 2007, Mexichem adquiere a Amanco, líder en soluciones para la conducción de fluidos en el mercado latinoamericano. Concreta también la compra de PETCO, empresa colombiana líder en la producción y exportación de resinas vinílicas, y adquiere el 50 por ciento de las acciones de Geon Polímeros Andinos, cuya propiedad comparte con Polyone, líder en la producción de compuestos de PVC. Mexichem desarrolla así su estrategia de dar mayor agregado a las materias primas que produce, para fortalecer su liderazgo global y regional.

1.3.2.2. Centroamericana de PVC

Ubicación: kilómetro 34,5 Carretera de Antigua a Guatemala, Santa Lucía Milpas Altas, Sacatepéquez.

Fundación: es una empresa colombiana la cual con el fin de consolidar el mercado centroamericano inaugura la planta de producción de tubería y accesorio PVC en Guatemala en 1998.

Actividad que desarrolla: producción y comercialización de tubería y accesorio PVC, lámina acanalada de PVC. Comercialización de todo tipo de grifos y sus respectivos accesorios.

Datos adicionales: en 2007 PVC Gerfor de Guatemala cambia el nombre de su razón social por Centroamericana de PVC.

1.3.2.3. Durman

Ubicación: kilómetro 19,5 Carretera al Pacífico, Villa Nueva, Guatemala.

Fundación: es una empresa costarricense fundada en 1959 en San José, Costa Rica por Arthur Durman Carranza. En 1988 hace presencia en Guatemala inaugurando la fábrica de producción de tubería y accesorio PVC.

Actividad que desarrolla: producción y comercialización de tubería y accesorio PVC, comercialización de tanques de almacenamiento de fluidos de rotomoldeo, comercialización de otros productos para conducción de fluidos de PVC no convencionales.

Datos adicionales: el Grupo Aliaxis Latinoamérica surge de la unión entre Durman y Aliaxis, dos empresas líderes en la región, comprometidas con la excelencia en el campo de la construcción.

1.3.2.4. Multitubo

Ubicación: 3ª. Avenida 2-42, zona 13, Pamplona, Ciudad de Guatemala.

Fundación: por el señor Carlos Díaz a principio del 2000.

Actividad que desarrolla: producción y comercialización de tubería y accesorio de PVC y CPVC.

1.3.3. Competencia y competitividad

El Grupo de los cinco fabricantes de tubería PVC forman un gremio de tipo oligopolio en los que la competencia en mercados iguales entre los cinco fabricantes y demás distribuidoras se basa en la política de precios y descuentos que tiene cada empresa.

Además de ellos, existen dentro del mercado guatemalteco comercializadores de este producto, los cuales se encuentran dentro del rango de competencia, aunque muchas veces, por los rangos de economías de escala, así como costos de fabricación son relevados a un segundo lugar en cuanto a competitividad se refiere dentro del mercado guatemalteco, ya que manejan una gama más amplia de productos que no se refieren únicamente a los de PVC.

A partir de una determinación y fijación de precios y descuentos, se supone que se fija un límite entre los cinco fabricantes quienes tienen la ventaja en costos para la comercialización de tubería y accesorio.

La ventaja de cada uno y la determinación del margen de contribución que resulta de la comercialización y venta de los productos depende de la capacidad de cada uno de obtener bajos costos fijos y de operación además de alcanzar la producción a escala deseada.

Se comparte en forma competitiva el mercado por medio de competencia en precios, promociones y valores agregados que cada empresa pueda brindarle a sus clientes.

2. PRODUCCIÓN DE TUBERÍA PVC

2.1. Equipos para la producción de tubería PVC

La producción de la tubería PVC dentro de MILACRON® se desarrolla en dos procesos, la mezcla de la resina PVC junto con otros componentes para la obtención de las características deseadas en la tubería y la producción de la tubería por medio de extrusoras de tornillo doble paralelo.

Como se menciona en el capítulo anterior (1.2.3 Componentes) el polímero de PVC es ayudado por otros componentes que le dan las características de lubricación interna y externa, lubricación con los equipos, color y opacidad, cargas, etcétera, los cuales según el fabricante serán utilizados no solo de distinto proveedor sino que también en distintas cantidades de cada componente.

Por tanto, el proceso de producción de tubería PVC será dividido en dos etapas, mezclado y extrusión los cuales se identifican a continuación

2.1.1. Mezclado

La mezcladora es donde inicia el proceso de producción de la tubería de PVC ya que en ella se reúnen los componentes necesarios para la obtención de la tubería y son combinados en un proceso donde se obtiene el *Dry-Blend* o mezcla seca de PVC el cual se ingresa a las extrusoras.

El equipo de mezcla o mezcladora se hace por medio de mezcla en calor y frío por medio de dos ollas o compartimientos en donde se realiza el proceso de mezclado.

La mezcladora entonces será dividida en dos partes, mezclador en caliente y mezclador en frío.

2.1.1.1. Mezclador en caliente

Es donde se lleva a cabo el proceso de mezcla tanto del polímero de PVC como de sus aditivos agregados a diferentes temperaturas. Presenta una alimentación directa de los componentes ya que acá son ingresados cada uno de ellos para ser mezclados a temperaturas diferentes según el *Dry-Blend* deseado.

El contenedor de la mezcla tiene una forma cónica hacia abajo. El fondo de este contenedor está deformado con una larga profundidad que es adaptada para el patrón de flujo en forma que el material será mezclado y está elaborado con hierro al cromo, níquel y molibdeno.

El contenedor está rodeado por una camisa que recibe el calor que es generado y transportado eléctricamente.

El cierre para la salida al mezclador en frío está diseñado de una manera que está garantizado un cierre hermético para todas las condiciones, así como también que esta permita la salida completa del material hacia el siguiente contenedor. Un cilindro neumático controla mediante una válvula electromagnética para esta operación.

Las bandas que brindan el calor al mezclador en caliente están en una carcasa de hierro con una pieza de distancia que es maquinada cuidadosamente. Esta pieza de distancia está ensamblada en la base del pedestal en el fondo y puede ser desensamblada al igual que el contenedor del mezclador en caliente.

Además posee un motor que le da movimiento a las aspas que homogenizan y brindan fricción y calentamiento que se encuentra directamente debajo del contenedor y es movido por un sistema de poleas y fajas a alta revolución.

2.1.1.2. Mezclador en frío

A la salida del contenedor del mezclador en caliente se encuentra el contenedor del mezclador en frío comunicado por medio de una unidad telescópica de transferencia. Cuando es hora de limpiar el contenedor del mezclador en caliente los seguros de la unidad de transferencia se desactivan dando el paso a la transferencia hacia el mezclador en frío.

El contenedor está hecho de hierro al cromo, níquel y molibdeno también y tiene una baja altura pero el diámetro del contenedor es más largo que el diámetro correspondiente al del mezclador en caliente. El contenedor está rodeado por una camisa de metal que recibe el líquido de enfriamiento. De acuerdo al tipo de mezcladora uno o dos anillos de enfriamiento intensivo están posicionados en el espacio de mezclado. El agua de enfriamiento corre dentro de estos anillos, a través de la camisa de enfriado y a través de los elementos de mezclado que tienen superficies largas.

La cantidad de agua que fluye es gobernada por válvulas reguladoras. La extensión del eje hueco de conducción conduce el elemento mezclado. La parte más baja de este eje está sellada por una glándula rotaria de agua. El eje es manejado por una polea de carga de tres fases de corriente alterna junto con el motor de baja revolución. El arreglo y cerrado de la salida están arreglados de tal manera que puedan ser manejados neumáticamente.

2.1.2. Extrusión

La extrusión es el proceso de hacer pasar material sobre una matriz o dado, para darle las dimensiones, forma y características deseadas. Este proceso puede ser positivo (que se encarga de mover el material para el paso sobre el dado para darle las dimensiones deseadas) o negativo (que involucra el movimiento del dado sobre el material para dejar en él la forma deseada).

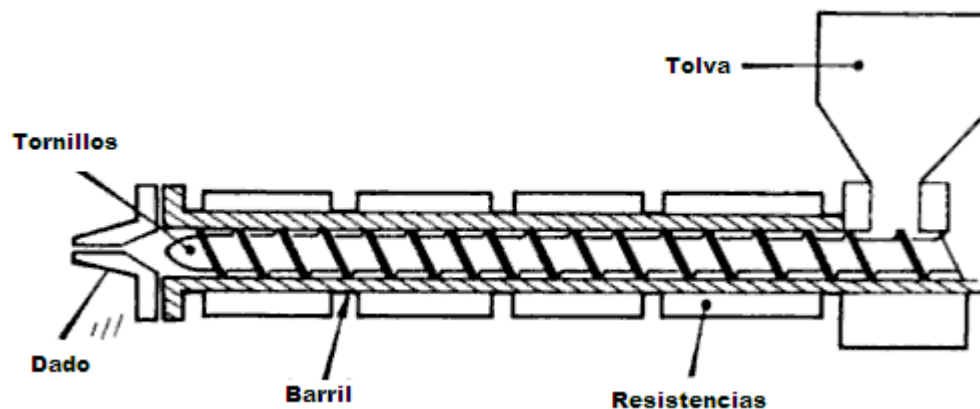
2.1.2.1. Extrusoras

La figura 1 es una simple, generalizada representación esquemática de las partes básicas de procesamiento de una extrusora de tornillo simple. La alimentación de PVC es hecha en la tolva donde pasa a la sección de alimentación del tornillo a través de una abertura en el barril (garganta de alimentación). El material es llevado al frente mediante el tornillo y a una sección (dependiendo del compuesto, diseño del tornillo y condiciones de operación) lo fusiona en una mezcla homogénea.

La conversión de sólido de PVC a este estado, y en particular los cambios morfológicos está usualmente referida a la gelación o plastificación. El material moldeado es forzado hacia fuera a través del dado y luego a la salida. El

material extruido es enfriado mientras que se solidifica en la sección de cambio de forma lograda en el dado.

Figura 3. **Forma básica de extrusora de tornillo simple**



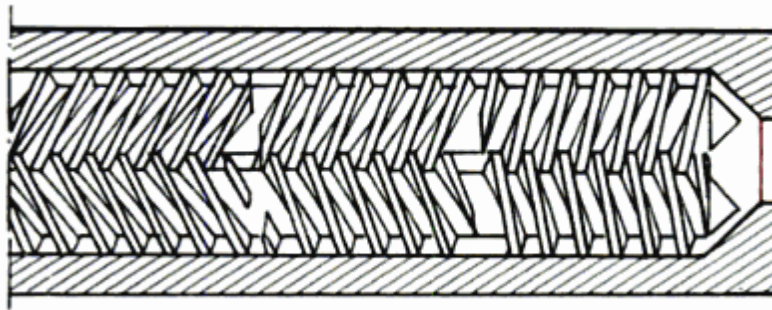
Fuente: *PVC Technology*.

En una extrusora de tornillos paralelos, ambos tornillos están colocados en el barril lado a lado en un plano horizontal. Los tornillos pueden tener una forma cilíndrica regular mayormente pero también pueden ser cónicos hacia el final de la extrusora en el dado. En general, los tornillos pueden hacer rotación hacia dentro o hacia fuera pero en la extrusión de PVC es más común de adentro hacia fuera. Las extrusoras de tornillo paralelo para PVC usualmente tienen tornillos con segmentos intermedios para la conducción.

Es esencial una pregunta sobre semántica y en ciertos casos un gran punto académico para saber si la extrusora de tornillos paralelos debe ser clasificada como la más simple versión de una extrusora de multitornillos. Como un punto parcial de vista las extrusoras de tornillos paralelos (de varios diseñadores y fabricantes) se usan ampliamente en la industria y en la manufactura de

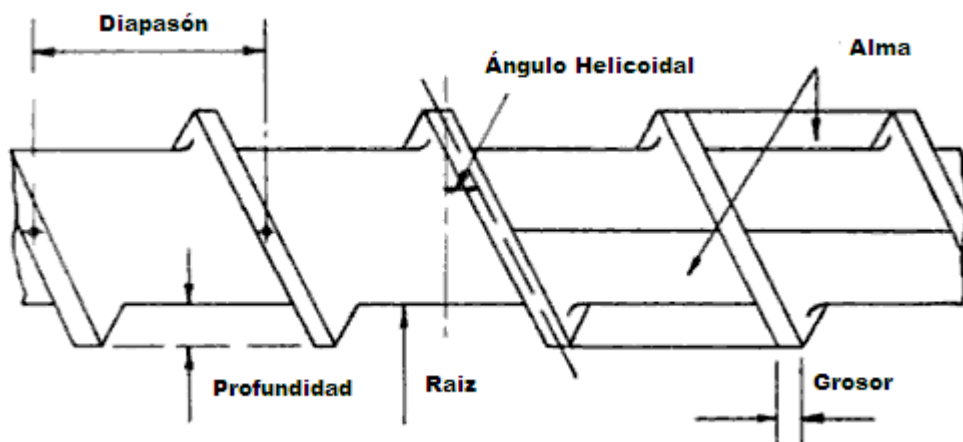
productos como tuberías, perfiles, láminas, etcétera, mientras que las verdaderas extrusoras de multitornillos (ejemplo las extrusoras planetarias) son menos comunes y usadas principalmente en el rol de los compuestos.

Figura 4. **Tornillos paralelos de extrusora**



Fuente: PVC Technology.

Figura 5. **Diseño de tornillo helicoidal**



Fuente: PVC Technology.

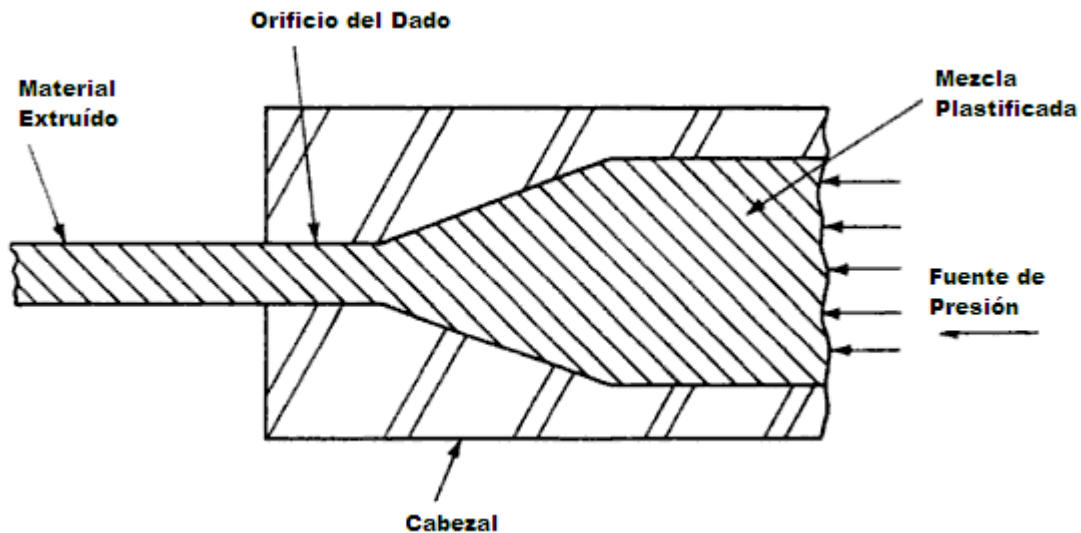
El calor necesario para fusionar el *Dry-Blend* en un estado semisólido y de mantenerlo a la temperatura apropiada hasta los grados de fluidez requerida es dada en parte por los calentadores en el barril (en algunas máquinas la temperatura del tornillo puede ser controlada por la circulación de fluidos), y parcialmente generada por el mismo material por la fricción y rozamiento a la que está sometida la máquina. En otro punto comparable de operaciones la generación de trabajo-calor es mayor en extrusoras de tornillo simple donde también puede aumentarse la distribución de temperatura pero es menos uniforme que la obtenida en extrusoras de tornillo paralelo.

2.1.2.2. Cabezales

En el principio, los cabezales clásicos con mandril con retención de spider (restringidor) eran usados para el proceso de polyolefinas. Con el incremento de las capacidades de producción, diámetros de las tuberías y espesor de paredes, la orientación hacia el material y el flujo desigual de la mezcla aumentaron. Las consecuencias fueron espesores de paredes no uniformes, reducción de la resistencia y encogimiento a altas temperaturas.

Así que la concepción de un mandril retenedor seguido de un anillo perforado como disco retardante fue desarrollado para el rango más bajo de diámetro hasta aproximadamente de 400 milímetros. Este anillo perforado normaliza el flujo de la mezcla y reduce el efecto de turbulencia del flujo a través del spider.

Figura 6. Dado y mandril de extrusora



Fuente: PVC Technology.

2.1.2.3. Matricería

Con *dies* o dados (pieza que junto con el mandril se encargan de dar el acabado interno y externo a la tubería, incluyendo los espesores de pared o thickness) largos de tuberías, especialmente para diámetros mayores a 400 milímetros, algunos fabricantes de dados usan únicamente anillos perforados. Este anillo perforado normaliza el flujo de la mezcla y reduce el la turbulencia del flujo a través del *spider*.

Para satisfacer la demanda de alta calidad de tubería, otros tipos de dados fueron desarrollados. Estos son el mandril en espiral y cesta de enrejado, estas últimas necesitan un apartado especial

Figura 7. **Spider de Cabezal**



Fuente: *Plastics Extrusion Technology*.

2.1.2.4. Puller

El Puller o jalador es un elemento mecánico-hidráulico consistente en las líneas de producción donde se da el empuje o tracción requerida a la tubería a lo largo de su paso por la línea de producción.

Este equipo consta de dos sistemas de elementos de tracción (superior e inferior) tipo bandas sin fin que junto a la extrusora en sí dan la velocidad y permiten el paso de la tubería a lo largo de la línea de producción.

Su funcionamiento se basa en el principio de atrapar o encajar la tubería por medio de dos elementos en función de mordazas, que aseguren la tubería al elemento sin dañarla y puedan darle la velocidad deseada en la línea. Esta velocidad será variante según el diámetro y SDR (dimensión de radio estándar por sus siglas en inglés) de la tubería que se esté produciendo.

2.1.2.5. Sierras

Elemento de la línea de extrusión encargada de darle el acabado a la tubería en lo que se refiere a sus dimensiones de largo. Normalmente esta dimensión es de 6 metros con una tolerancia de $\pm 0,02$ metros

Normalmente para los diámetros menores a los 1 000 milímetros se utilizan sierras circulares efectuando un tipo de corte de sable, es decir, atraviesa el disco totalmente la tubería para lograr el corte uniforme. Esto se logra por medio de una red neumática que atrapa la tubería por medio de mordazas y activa la sierra circular de abajo hacia arriba o viceversa, según el diseño de la sierra que efectúa un corte uniforme a la tubería.

Para los diámetros mayores a los 1 000 milímetros la sierra es siempre de tipo circular, pero el corte es efectuado en el perímetro de la tubería, es decir, lo efectúa rodeando la tubería e insertando parcialmente el disco de sierra para efectuar el corte. Así también, este tipo de sierra se encarga de efectuar un biselado a la tubería para que al unir dos tubos del mismo diámetro, la junta entre en la campana sin forzarla. Este tipo de sierra también funciona neumáticamente por medio de sensor micro que activa el sistema neumático.

2.1.2.6. Estación de formado

Parte final de la línea de producción. Este elemento tiene un funcionamiento neumático, eléctrico e hidráulico, ya que se compone de dos partes importantes las cuales son activadas por medios neumáticos.

La primera es el calentamiento, donde en una de las dos puntas de la tubería, se calienta por medio de resistencias tubulares la tubería hasta que la rigidez del tubo va disminuyendo si se convierte en un sólido maleable.

Con este sólido maleable se hace el traslado hacia un macho campanero, que es un elemento que abre la campana de la tubería haciendo una campana que contiene un diámetro interno igual al diámetro externo de toda la tubería y esto permita un empalme perfecto ayudado de una junta o de cemento para PVC.

Terminado este procedimiento se enfría rápidamente con agua para que el tubo recobre su rigidez y la campana tenga el acabado deseado.

El accionamiento dentro de este componente o equipo se da de una forma neumática para no demorar el tiempo de calentado de la tubería y que esta se dañe o queme.

2.2. Producción

Para la producción de la tubería PVC, además de la resina es necesaria que sea combinada con otros elementos, los cuales ayudarán a darle las características deseadas no solo para el producto final, sino para el proceso de extrusión al que es sometido. Estos elementos son llamados componentes.

2.2.1. Componentes

Como se mencionó en el capítulo anterior, los componentes son aquellas sustancias la cuales ayudan tanto en el proceso de la producción de la tubería PVC, cómo en las características deseadas del producto final.

2.2.1.1. Estabilizadores

La mayoría de los polímeros sufren algún tipo de degradación térmica, fotoiniciada o inducida por oxidación durante el procesamiento y en las aplicaciones de uso final. Los sistemas estabilizadores están disponibles para retardar con eficacia el desarrollo de estos fenómenos en todos los plásticos modernos

El cloruro de polivinilo y sus copolímeros son únicos por el hecho de ser particularmente susceptibles a una degradación térmica rápida a temperaturas menores que las de procesamiento normal. La pérdida del cloruro de hidrógeno es rápida en ausencia de estabilizadores, lo que conduce a una producción de artículos de calidad deficiente o inutilizables. Se han desarrollado una multitud de sistemas únicos de estabilizadores para retardar la degradación del PVC, tanto durante el procesamiento como durante la subsecuente vida útil de los productos vinílicos.

2.2.1.2. Modificadores de impacto

El PVC sin modificar es un polímero más bien frágil. Es por esto que muchos productos de PVC rígido, tales como entablados de pared para casas, conexiones de tubería, láminas y perfiles para ventana, y algunos tubos incluyendo los conductos eléctricos UL), requieren una resistencia al impacto superior a la que se pueden obtener con el PVC sin modificar. Para proporcionar al polímero esta resistencia adicional, se requiere incluir un modificador de impacto, que se disperse de manera apropiada dentro del compuesto de PVC. Esta “columna vertebral de caucho” esencialmente absorbe la energía del impacto.

2.2.1.3. Lubricantes

La necesidad de lubricantes que auxilien en el procesamiento de polímeros se hace evidente por las grandes cantidades que se consumen de estos materiales, particularmente en los de PVC rígido y flexible y en el del ABS. Una selección apropiada de los tipos y cantidades de lubricantes no depende únicamente del polímero a procesar, sino también del proceso mismo. El nombre “lubricantes” abarba una amplia variedad de sustancias químicas que efectúan muchas funciones en el polímero durante el procesamiento.

Los lubricantes se definen a menudo por su compatibilidad física y química con otros polímeros específicos. Se designa a las dos clases principales de lubricantes como “internos y externos”. Los lubricantes internos actúan reduciendo la fricción entre las moléculas poliméricas, con una consiguiente viscosidad en estado fundido menor y una baja entrada de energía necesaria para el procesamiento. Estos lubricantes son, por lo general, químicamente compatibles con el polímero. Los lubricantes externos son, generalmente, incompatibles con el polímero y actúan para reducir la fricción que se presenta en la unión del polímero y la superficie del equipo de procesamiento.

2.2.1.4. Cargas

Las cargas se usan esencialmente como un material económico para reducir el costo del compuesto. Además, redundan en beneficios tales como el aumento de la rigidez y la resistencia. Los carbonatos metálicos, particularmente el carbonato de calcio, son, por amplio margen, las cargas más populares para el PVC rígido. El carbonato de calcio se encuentra disponible en una amplia variedad de tamaños de partícula, tanto tratado como sin tratar. Otras cargas incluyen yeso, talco y baritas.

2.2.1.5. Pigmentos

Los pigmentos (y colorantes) se usan primordialmente para lograr los efectos estéticos deseados en los productos terminados. Sin embargo, ciertos tipos (tales como varios grados de dióxido de titanio o pigmentos resistentes a la intemperie diseñados especialmente) sirven la función muy útil de ser reflectores de rayos ultravioleta, con lo que mejoran la duración de la resistencia a la intemperie del producto. El dióxido de titanio ofrece una respuesta permanente en alto grado, para obtener una mayor estabilidad ultravioleta en el exterior, por ser muy inerte y resistente a la hidrólisis, oxidación y extracción.

Cualquier producto extruido de PVC que esté basado en una tecnología de formulación estándar, diseñada para exponerse en exteriores por largo plazo (entablados de pared, perfiles de ventana, etcétera) debe normalmente contener por lo menos de 8 a 10 partes por cada cien de resina de dióxido de titanio. A estos niveles de uso, el efecto sobre el procesamiento es más semejante al de una carga. Los lubricantes y los estabilizadores térmicos con una funcionalidad mejorada de resistencia a la intemperie, desarrollados durante los años ochenta, permiten el uso de menos de 8 partes por cada cien de resina de dióxido de titanio en las aplicaciones de exposición en exteriores.

2.2.2. Formulación

La formulación es el paso crucial lograr un adecuado procesamiento del PVC rígido. Además de las especificaciones del producto final proyectado, el formulador debe balancear con habilidad la ciencia y el arte de la formulación para optimizar la economía y las prestaciones de los componentes. La experiencia ha demostrado que cada máquina maneja los ingredientes de

manera diferente por lo que, para lograr la optimización, se requieren ajustes expertos en las fórmulas típicas.

Todos los tubos de PVC rígido se hacen mediante el proceso de extrusión. La mayoría de los tubos se procesan en algún tipo de extrusor de tornillo múltiple, siendo una gran proporción procesada en extrusores de doble tornillo. La extrusión de tornillo sencillo generalmente requiere una fórmula más costosa, debido a que las condiciones del procesamiento más caliente exigen una mayor cantidad de estabilizador y niveles de lubricante más altos.

Dado que el doble tornillo funciona con un principio de bajo cizallamiento (deformación lateral que se produce por una fuerza externa), se requieren formulaciones menos costosas. Típicamente, el nivel de lubricante externo es de 1,5 a 3,0 veces el nivel de lubricante interno. El doble tornillo es también sensible a las variaciones de compuesto. Por ejemplo, las variaciones en la densidad de volumen de la mezcla seca causarán variaciones en la producción y en el espesor de la pared.

Las formulaciones para tubos de PVC pueden seguir dos métodos: el primero utilizando estabilizadores líquidos y componentes individuales o el segundo usando el concepto de combinar el estabilizador y todos los lubricantes en un solo paquete.

Tabla I. Formulaciones recomendadas que utilizan estabilizadores líquidos y componentes aditivos adicionales

INGREDIENTE	PIEZAS					
	AGUA POTABLE	DWV	ALCANTA-RILLA	TUBO PIGMENTADO	CONDUCCION CABLES	NÚCLEO CELULAR
Resina PVC (K=65-68)	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Estabilizador Líquido	0,30-0,45	0,30-0,45	0,30-0,45	0,40	0,30-0,45	1,00
Dióxido de Titanio	1,00	1,00	0,75	0,50	0,75	1,00
Carbonato de Calcio	5,00	5,00	25,00	5,00	3,00	5,00
Extereato de Calcio	0,60	0,60	0,50	0,60	0,80	0,80
Cera de Parafina	1,20	1,20	1,40	1,20	1,20	1,00
Polietileno Oxidado	0,15	0,15	0,15	0,10	0,15	0,15
Auxiliar de Proceso	-	-	-	-	1,00	1,00
Modificador de Impacto	-	-	-	-	3,00	6,00

Fuente: *Morton Plastics Additives.*

Tabla II. Formulaciones recomendadas que utilizan aditivos multifuncionales y aditivos

INGREDIENTE	Tubo para Agua Potable y DWV				
	FORM A	FORM B	FORM C	FORM D	FORM E
Resina PVC (K=65-68)	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Aditivo Multifuncional	2,10	2,50	2,40	2,20	2,20
Dióxido de Titanio	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Carbonato de Calcio	5,00	5,00	10,00	5,00	5,00
Estereato de Calcio	-	-	-	0,50	-
Cera de Parafina	-	-	-	-	0,00-0,54
Polietileno Oxidado	-	-	-	0,15	0,10

Fuente: *Morton Plastics Additives.*

2.2.3. Obtención del *Dry-Blend*

El *Dry-Blend* es una mezcla seca que contiene el polímero de PVC junto con ingredientes que modifican su estructura molecular que lo hacen apto para el proceso de extrusión al que será sometido.

Para la obtención de *Dry-Blend* depende de las características deseadas por el fabricante, el equipo que utilice para la producción y normativas internas para determinar la cantidad de ingredientes que estarán contenidas dentro de la formulación.

Existen distintos parámetros a seguir para la formulación que se encuentran en rangos dados por fabricantes de ingredientes para la formulación del PVC los cuales se contienen en la tabla a continuación:

Tabla III. **Ciclo típico de mezcla del compuesto para tubos**

Temperatura de Adición, °C/°F	Añada Ingredientes	Mezcla A °C/°F
Temperatura Ambiental	Resina de PVC (sola)	60/140
60/140	Estabilizador Líquido	85/185
85/185	Lubricantes	100/212
100/212	Polvos no Lubricantes	110/230
110/230	Descargue en Mezcladora de Enfriamiento	Enfríe a 50/120

Fuente: *Morton Plastics Additives*.

2.2.4. Producto en proceso para la fabricación de tubería PVC

La producción de la tubería PVC no es un proceso donde ingresa materia prima virgen y luego se convierte en tubería. Este proceso depende de su antecesor, que es el mezclado y homogenizado de material, para que permita un proceso adecuado, con la menor cantidad de costos posibles y la mayor eficiencia que pueda obtenerse.

En esta fabricación puede usarse tanto material virgen mezclado (*Dry-Blend*) o puede utilizarse material reciclado, cumpliendo siempre con las especificaciones contenidas en las Normas ASTM en lo que concierne a la regularización de los materiales.

2.2.4.1. *Dry-Blend*

Como se ha descrito anteriormente, las características deseadas para la resina de PVC junto con sus componentes correspondientes harán de la mezcla de *Dry-Blend* una composición específica para el producto terminado deseado y para las características de la extrusora con la que se está trabajando.

Para la tubería IPS (conducción hidráulica a presión) es recomendado el uso exclusivo de *Dry-Blend* ya que contiene las características deseadas de primera forma acerca del producto sin que haya sufrido algún desgaste los componentes utilizados.

2.2.4.2. Material reciclado

El producto terminado que no cumple con las especificaciones y normas es rechazado y puede ser reprocesado. Este material se usa mayormente en tubería PVC de alcantarillado, DWV, conducción eléctrica, que son tuberías en las cuales esta no es sometida a los esfuerzos de la conducción de un fluido hidráulico a grandes presiones de trabajo.

Dependiendo de la extrusora el material reciclado puede ser trabajado en forma de grano o polvillo, que se obtienen del molido y pulverizado respectivamente del producto rechazado.

A veces es conveniente o necesaria la adición de algún estabilizante o lubricante a este polvillo o grano si se denota que sus características de mezclado han sido degradadas.

2.2.5. Extrusión

Tanto con la extrusión de tornillo simple como con la de tornillo doble se logra el mismo objetivo, produciendo una pieza de configuración constante a partir de la matriz, pero los conceptos de procesamiento involucrados son casi diametralmente opuestos. De aquí que existan importantes diferencias entre las formulaciones de tornillo simple y doble para el mismo producto. Estas diferencias abarcan la cantidad de estabilizador, el balance de lubricantes y la cantidad de auxiliar de proceso. Las características de ambos procesos son:

2.2.6. Corte

La tubería PVC tiene un largo determinado por la ASTM en donde se estandariza el tamaño que debe tener cada tubo, este es de seis metros para la tubería de agua potable, sanitaria y drenaje pluvial. Así también no existe una norma que rija la dimensión de la tubería de conducción eléctrica, conducción telefónica y otras de conducción de cables aunque en el mercado se maneja comercialmente estandarizado en una longitud de tres metros.

El funcionamiento de estos componentes de la línea de producción está ligado a subsistemas eléctricos y neumáticos que ayudan a que la dimensión sea lo más exacto posible y dando un corte uniforme.

El funcionamiento está dado por un sensor mecánico, neumático o eléctrico que se encuentra ubicado exactamente a la longitud deseada de donde se encuentra el disco de corte de la sierra. Este sensor envía una señal al ser activado para que por medios neumáticos y mecánicos, la sierra de corte, usualmente circular, se active, atrapando el elemento a cortar por medio de mordazas y efectuando el corte respectivo.

Usualmente, las tuberías con más de 1 700 milímetros de diámetro se le efectúa un corte a lo largo del perímetro de la tubería que junto con el corte, este componente se encarga de realizar un bisel a lo que será la junta de la tubería y que este permita su acoplamiento con otra de una manera más eficaz y rápida.

Los cortes que no se efectúan a lo largo del perímetro de la tubería se realizan en forma de corte de sable, esto es para diámetros menores a los 900 milímetros de diámetro ya que su acoplamiento con otras tuberías es más fácil.

2.2.7. Estación de formado

El punto final de la producción de la tubería PVC se da en la estación de formado, donde se le forma la campana a la tubería y en los casos que lo necesite, es colocado un empaque de hule.

La estación de formado además de ser la culminación de la producción de la tubería PVC es un elemento utilizado para hacer inspecciones a la tubería como largo, apariencia física, uniformidad, etcétera, antes de ser contabilizado como producto fabricado y llevado al regente de control de procesos quien dará su visto bueno en el control de calidad.

2.3. Especificaciones técnicas

Como parte de una estandarización o parametrización dentro de los fabricantes no solo en el país sino que en el mundo de tubería PVC existen normativas que dictan las dimensiones de la tubería y accesorio para diámetros, espesores de pared, largo de campana, ancho de campana, pruebas, etc.

Además de los estándares internos establecidos para cada empresa existe una estandarización de las dimensiones de la tubería en una normativa internacional. Estas dimensiones se encuentran en su mayoría dentro de las normas ASTM de las cuales se mencionan a continuación las representativas para la fabricación de la tubería PVC.

2.3.1. Normas ASTM

Las normas ASTM (Sociedad Americana de Pruebas y Mediciones por sus siglas en inglés) es la encargada de dictar las características de resistencia, dimensiones, pruebas, materiales, etcétera, para la fabricación de la tubería PVC. Esta norma es a la que se rigen internacionalmente las empresas para mantener una compatibilidad en los productos, y con esto se alcance una estandarización de los mismos, para facilitar su comercio tanto local como en el extranjero.

2.3.1.1. Norma ASTM D1784

Esta especificación cubre PVC y CPVC compuesto rígido destinado para propósito general en extrusión o moldeo, incluyendo aplicaciones de tubería que involucra químicos especiales y resistencia a ácido o calor, compuesta de polivinilo, cloruro de polivinilo o copolímeros de cloruro de vinilo conteniendo por lo menos 80 por ciento de cloruro de vinilo y los ingredientes necesarios para el compuesto. Los ingredientes del compuesto pueden consistir en lubricantes, estabilizantes, modificadores de resina (no de polivinilo) y cargas inorgánicas.

Tabla IV. **Identificación del compuesto del PVC**

Clase	1	2	4	5	4
<i>Identificación</i>					
Homopolímero Cloruro de Polivinilo					
<i>Propiedades</i>					
Resistencia Impacto					
Límite de Tensión					
Módulo de Elasticidad					
Temperatura de Deflexión					

Fuente: norma ASTM D1784.

Tabla V. **Requerimientos de clase para compuestos de PVC y CPVC rígidos**

No. Designación	De Propiedad y Unidades	Límites de Celda															
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11				
1	Resina Base	N/E	cloruro de vinilo (homo-polímero)	policloruro de vinilo	copolímero de vinilo												
2	Resistencia Impacto	N/E															
	J/m		<34.7	34.7	80.1	266.9	533.8	800.7									
	ft-lb/in		<0.65	0.65	1.5	5.0	10.0	15.0									
3	Límite de Tensión	N/E															
	Mpa		<34.5	34.5	41.4	48.3	55.2										
	PSI		<5 000	5 000	6 000	7 000	8 000										
4	Módulo de Elasticidad	N/E															
	Mpa		<1930	1930	2206	360	400	440									
	PSI		<280 000	280 000	320 000	000	000	000									
5	Temperatura de Deflexión a 1.82MPA	N/E															
	°C		<55	55	60	70	80	90	100	110	120	130	140				
	°F		<131	131	140	158	176	194	212	230	251	266	284				

Fuente: norma ASTM D1784

2.3.1.2. Norma ASTM D2241

Esta especificación cubre tubería PVC fabricada en tuberías termoplásticas de radio y presión estándar para agua. Un criterio incluido para la clasificación del material plástico PVC y de las tuberías plásticas de PVC, un sistema de nomenclaturas para la tubería plástica de PVC y los requerimientos y métodos de prueba para los materiales, durabilidad, dimensiones, presión

sostenida, allanamiento y calidad de extrusión. También incluye métodos de impresión.

Los productos cubiertos por esta especificación están diseñados para el uso de conducción y distribución únicamente de líquidos presurizados, los cuales deben ser químicamente compatibles con los materiales de la tubería.

Es dudoso con daños inherentes asociados con los componentes de pruebas y sistemas con aire comprimido o algún otro gas comprimido; algunos fabricantes no permiten las pruebas neumáticas hechas a sus productos. Consultar con el productor para los procedimientos de pruebas específicas antes de las pruebas neumáticas.

Esta norma cobra importancia con la primera tabla evaluada, en forma que la producción tanto de tubería como de accesorios es realizada en cualquier país del mundo, y cada una de estas partes debe tener un ensamble correcto y ajustado tanto en diámetros externos de tubería como en diámetros internos en los accesorios, lo que persigue esta norma en tubería es garantizar los espesores de pared, los diámetros exteriores y otras características cuantitativas que poseen las tuberías para que efectúen este correcto ensamble y mantengan sus características deseadas de conducción y resistencia de fluidos por ellas.

Tabla VI. **Diámetros exteriores y tolerancias de tubería PVC IPS**

Tamaño de Tubería Nominal, in	Diámetro Exterior Promedio, in (mm)	Tolerancia, in (mm)		
		Para Promedio	Ovalación Máxima (diámetro máximo menos mínimo)	
			SDR64 ,SDR41	SDR17
			SDR32.5, SDR26 SDR21	SDR13.5
1/8	0,405 (10,29)	±0,004 (0,10)	0,030 (0,76)	0,016 (0,41)
1/4	0,540 (13,72)	±0,004 (0,10)	0,030 (0,76)	0,016 (0,41)
3/8	0,675 (17,14)	±0,004 (0,10)	0,030 (0,76)	0,016 (0,41)
1/2	0,840 (21,34)	±0,004 (0,10)	0,030 (0,76)	0,016 (0,41)
3/4	1,050 (26,67)	±0,004 (0,10)	0,030 (0,76)	0,020 (0,51)
1	1,315 (33,40)	±0,005 (0,13)	0,030 (0,76)	0,020 (0,51)
1 1/4	1,660 (42,16)	±0,005 (0,13)	0,030 (0,76)	0,024 (0,61)
1 1/2	1,900 (48,26)	±0,006 (0,15)	0,060 (1,52)	0,024 (0,61)
2	2,375 (60,32)	±0,006 (0,15)	0,060 (1,52)	0,024 (0,61)
2 1/2	2,875 (73,02)	±0,007 (0,18)	0,060 (1,52)	0,030 (0,76)
3	3,500 (88,90)	±0,008 (0,20)	0,060 (1,52)	0,030 (0,76)
3 1/2	4,000 (101,60)	±0,008 (0,20)	0,100 (2,54)	0,030 (0,76)
4	4,500 (114,30)	±0,009 (0,23)	0,100 (2,54)	0,030 (0,76)
5	5,563 (141,30)	±0,010 (0,25)	0,100 (2,54)	0,060 (1,52)
6	6,625 (168,28)	±0,011 (0,28)	0,100 (2,54)	0,070 (1,78)
8	8,625 (219,08)	±0,015 (0,38)	0,150 (3,81)	0,090 (2,29)
10	10,750 (273,05)	±0,015 (0,38)	0,150 (3,81)	0,100 (2,54)
12	12,750 (323,85)	±0,015 (0,38)	0,150 (3,81)	0,120 (3,05)
14	14,000 (355,60)	±0,015 (0,38)	0,200 (5,08)	0,150 (3,81)
16	16,000 (406,40)	±0,019 (0,48)	0,320 (8,13)	0,160 (4,06)
18	18,000 (457,20)	±0,019 (0,48)	0,360 (9,14)	0,180 (4,57)
20	20,000 (508,00)	±0,023 (0,58)	0,400 (10,2)	0,200 (5,08)
24	24,000 (609,60)	±0,031 (0,79)	0,480 (12,2)	0,040 (6,10)
30	30,000 (762,00)	±0,041 (1,04)	0,600 (15,2)	0,300 (7,62)
36	36,000 (914,40)	±0,050 (1,27)	0,720 (18,3)	0,360 (9,14)

Fuente: norma ASTM D2241.

Tabla VII. Espesor de pared y tolerancias para tubería PVC IPS con diámetros exteriores

Diámetro de Tubería Nominal, in	Espesor de Pared													
	SDR64		SDR41		SDR32.5		SDR26		SDR21		SDR17		SDR13.5	
	Míni- mo	Tole- rancia	Míni- mo	Tole- rancia	Míni- mo	Tole- rancia	Míni- mo	Tole- rancia	Míni- mo	Tole- rancia	Míni- mo	Tole- rancia	Míni- mo	Tole- rancia
1/8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,060	0,020
1/4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,060	0,020
3/8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,060	0,020
1/2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,062	0,020
3/4	-	-	-	-	-	-	-	-	0,060	0,020	0,062	0,020	0,078	0,020
1	-	-	-	-	-	-	0,060	0,020	0,063	0,020	0,077	0,020	0,097	0,020
1 1/4	-	-	-	-	0,060	0,020	0,064	0,020	0,079	0,020	0,098	0,020	0,123	0,020
1 1/2	-	-	-	-	0,060	0,020	0,073	0,020	0,090	0,020	0,112	0,020	0,141	0,020
2	-	-	-	-	0,073	0,020	0,091	0,020	0,113	0,020	0,140	0,020	0,176	0,020
2 1/2	-	-	-	-	0,088	0,020	0,110	0,020	0,137	0,020	0,169	0,020	0,213	0,026
3	-	-	0,085	0,020	0,108	0,020	0,135	0,020	0,167	0,020	0,206	0,025	0,259	0,031
3 1/2	-	-	0,098	0,020	0,123	0,020	0,154	0,020	0,190	0,023	0,235	0,028	0,296	0,036
4	0,070	0,020	0,110	0,020	0,138	0,020	0,173	0,020	0,214	0,026	0,265	0,032	0,330	0,040
5	0,087	0,020	0,136	0,020	0,171	0,021	0,214	0,027	0,265	0,032	0,327	0,039	0,412	0,049
6	0,104	0,020	0,162	0,020	0,204	0,024	0,255	0,031	0,316	0,038	0,390	0,047	0,491	0,059
8	0,135	0,020	0,210	0,025	0,265	0,032	0,332	0,040	0,410	0,049	0,508	0,061	-	-
10	0,168	0,020	0,262	0,031	0,331	0,040	0,413	0,050	0,511	0,061	0,632	0,076	-	-
12	0,199	0,024	0,311	0,037	0,392	0,047	0,490	0,059	0,606	0,073	0,750	0,090	-	-
14	-	-	0,341	0,048	0,430	0,052	0,538	0,064	0,666	0,080	0,823	0,099	-	-
16	-	-	0,390	0,055	0,492	0,059	0,615	0,074	0,762	0,091	0,941	0,113	-	-
18	-	-	0,439	0,061	0,554	0,066	0,692	0,083	0,857	0,103	1,059	0,127	-	-
20	-	-	0,488	0,068	0,615	0,074	0,769	0,092	0,952	0,114	1,176	0,141	-	-
24	-	-	0,585	0,082	0,738	0,088	0,923	0,111	1,430	0,137	1,412	0,169	-	-
30	-	-	0,732	0,102	0,923	0,111	1,154	0,138	1,428	0,171	1,765	0,212	-	-
36	-	-	0,878	0,123	1,108	0,133	1,385	0,166	1,714	0,205	2,118	0,254	-	-

Fuente: norma ASTM D2241

2.3.1.3. Norma ASTM D2321

Esta práctica es para el empleo por diseñadores, contratistas de instalación, agencias reguladoras, propietarios, y las organizaciones de inspección que están implicadas en la construcción de alcantarillas y otros usos de flujo de gravedad que utilizan el tubo flexible termoplástico. Como con cualquier práctica estándar, pueden requerir modificaciones para condiciones de trabajo específicas o para condiciones especiales locales o regionales.

Su práctica proporciona recomendaciones para la instalación de tubo enterrado termoplástico usado en alcantarillas y otros usos de flujo de gravedad. Estas recomendaciones son requeridas para asegurar un ambiente estable subterráneo para el tubo termoplástico bajo una amplia gama de condiciones de servicio. Sin embargo, debido a los numerosos productos de tubo flexibles plásticos disponibles y la variabilidad inherente de condiciones de tierra naturales, alcanzando el funcionamiento satisfactorio de cualquier producto puede requerir la modificación a provisiones contenidas aquí para encontrar exigencias específicas de proyecto.

El alcance de esta práctica necesariamente excluye criterios de funcionamiento de producto como la rigidez de tubo mínima, la desviación de servicio máxima, o la fuerza de largo plazo. Así, es el encargado sobre el fabricante de producto o el ingeniero de proyecto para verificar y asegurar que el tubo especificado sea para un uso intencionado, cuando instalado según procedimientos perfilados en esta práctica, proporcionará un funcionamiento de largo plazo, satisfactorio según criterios establecidos para aquel uso.

2.3.1.4. Norma ASTM D3034

Esta especificación cubre los requerimientos y métodos de prueba para materiales, dimensiones, durabilidad, sostenimiento de presión, rigidez de tubería, calidad de extrusión, sistemas de junta y forma de imprenta para tubería PVC tipo PSM (Tubería con Medida de Cloacas por sus siglas en inglés).

Las tuberías y accesorios producidos bajo esta especificación deben ser instalados en concordancia con la especificación D2321.

Los valores dados en pulgadas y libras son las consideradas en el estándar, los valores dados en los paréntesis son únicamente informativos.

Tabla VIII. Dimensiones de tubería

Tamaño Nominal	Diámetro Exterior		Espesor Mínimo de Pared			
	Promedio	Tolerancia en Promedio	SDR41	SDR35	SDR26	SDR23
4	4,215	±0,009	-	0,120	0,162	0,178
6	6,275	±0,011	0,153	0,180	0,241	0,265
8	8,400	±0,012	0,205	0,240	0,323	-
9	9,440	±0,014	0,230	-	-	-
12	10,500	±0,015	0,256	0,300	0,404	-
12	12,500	±0,018	0,305	0,360	0,481	-
15	15,300	±0,023	0,375	0,437	0,588	-

Fuente: norma ASTM D3034.

3. PROPUESTA PARA LA EVALUACIÓN DE COSTOS Y DETECCIÓN DE MEJORAS

Para evaluar los costos y así proponer mejoras sobre la producción y el sobrepeso por la fabricación de la tubería PVC debe asociarse al costo directo ya que dentro de este se encuentran la materia prima, la mano de obra directa (operarios), el consumo de energía eléctrica como los costos directos a evaluar.

3.1. Componentes

Para analizar lo que se refiere a materias primas, cada componente tiene su importancia dentro del proceso de producción, así como también sus costos y aplicaciones de los cuales pueden haber sustitutos iguales o con características similares que den un valor agregado al producto final.

Para esto se evalúa las características de los componentes utilizados por MILACRON® dentro de su proceso de producción.

3.1.1. Polímero

Para la producción de tubería PVC existen ciertas características deseables que son altamente indispensables para la extrusión de tubería PVC, uno de los más importantes sino el que más incide en la determinación del polímero deseado es el grado K del polímero. Para la extrusión de tubería PVC, este valor deseado oscila entre el valor de 63 a 66, siendo el más deseado el 65. Este grado es conocido como el valor k fikentscher que es relativo al índice de viscosidad el cual se calcula de la siguiente manera:

$$\log c = \left(\frac{75k^2}{1 + 1,5kc} + k \right) * c$$

Donde:

k = valor fikentscher

c= concentración en gramos de PVC por mililitro de solución

Así también otras características del monómero (monómero es el compuesto de PVC antes de su polimerización) son determinadas por el fabricante teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

Tabla IX. **Constantes físicas del monómero de PVC**

Característica	Valor
Punto de ebullición (°C)	-13,9 ±0,1
Punto de congelación (°C)	-153,7
Densidad a 28,11°C (gr/cm ³)	0,8955
Calor de fusión (54cal/mol)	1,181
Calor de vaporización	5,735
Indice de refracción a 15°	1,38
Viscosidad a -10°C(mPoisses)	2,63
Presión a vapor a 25°C (mm)	3
Calor específico del líquido (cal/g)	0,38
Calor específico del vapor	10,8-12-83
Calor de combustión a 80°C (Kcal/mol)	268

Fuente: hoja técnica Mexichem Resinas Vinílicas.

Así también para la producción de la tubería PVC existen algunas características deseables en las propiedades del cloruro de polivinilo, cada una de estas características son deseables, así como también el mejoramiento en cada una de las características tendrá incidencia importante dentro del proceso de producción de la tubería PVC, estas se describen en la tabla a continuación:

Tabla X. **Propiedades del cloruro de polivinilo**

Propiedad	Unidad	Valor Típico
Valor K	-	65
Tamaño de Partícula		
Retenido en Malla 40	%	0,5
Retenido en Charola	%	7
Densidad Aparente	gr/cc	0,54
Volátiles	%	0,3
Absorción de Platificante	pcr	20
Contaminación	No/100 gr	30

Fuente: hoja técnica Mexichem Resinas Vinílicas.

3.1.2. Estabilizantes

Los estabilizantes son elegidos según las características deseadas para la tubería de PVC deseada, ya que estos le brindan la estabilización térmica para el degrado que sufre el compuesto de PVC en el proceso de extrusión debido al desgaste que sufre por la presión y temperaturas altas y que este compuesto mantenga las propiedades para las cuales fue diseñado y será utilizado. Además de darle una estabilidad térmica al *Dry-Blend* en su proceso de producción, ayudan a la determinación del color de la tubería junto a los colorantes para evitar su degradación y mantener su uniformidad.

Existen diferentes estabilizantes según los componentes que se utilicen, ya que como se menciona en el capítulo anterior, pueden ser formados a base de badio, cadmio y zinc según la aplicación. Estos estabilizantes son determinados por la mezcla tanto de los estabilizadores térmicos y los lubricantes, como en forma de paquete aditivo que se compone de ambos elementos que faciliten y mejoren la productividad de la extrusión de la tubería PVC. Algunas de sus propiedades típicas son:

Tabla XI. **Propiedades del estabilizante**

Propiedad	Unidad	Valor Típico
Punto de Fusión	°C	105-110
Densidad de Masa	g/l	515
Gravedad Específica @25°C	-	1

Fuente: hoja técnica Rohm & Haas.

3.1.3. **Lubricantes**

Además de la lubricación dada por el estabilizante en el proceso de extrusión de la tubería PVC, existen otro tipo de lubricantes como lo es la cera parafina la cual ayuda a la estabilización interna del PVC por ser un lubricante interno y externo que permite el libre paso del compuesto PVC sobre el barril y tornillos de la extrusora y así minimizar la fricción y desgaste que pueda surgir para la maquinaria y mantenga las cualidades del compuesto PVC.

Estos lubricantes como la cera parafina se obtienen en base a la industria del petróleo como la mayoría de los componentes del PVC (del polímero que no ha pasado por el proceso de mezclado de la sección 2.1.1) por lo que parte importante y esencial de la calidad que este contenga principia desde la extracción del petróleo que será destinado para esta industria.

Por lo general las características estándar para este lubricante son:

Tabla XII. Propiedades del lubricante

Característica	Unidad	Especificación
Punto de Fusión	°C	68,0 a 72,0
Viscosidad Brookfield (100°C)	cSt	6,0 a 12,0
Penetración (25°C)	0,1mm	13,0 max
Cor	°C	0,5 max

Fuente: hoja técnica GeQuímica.

3.1.4. Colorantes

Para cada país existen diferentes tipos de coloración para la identificación de la tubería PVC, así como también esta coloración puede estar definida para algún cliente o uso especial. Estos colorantes utilizados para la identificación según sea el caso deben ser los apropiados para resistir el proceso de extrusión al que es sometido el compuesto PVC así como también debe presentar uniformidad a toda la tubería PVC sin tener un degradado en el color como en las propiedades visuales de la tubería.

Normalmente estos colorantes tienen una presentación en forma de polvo para que su mezclado y homogenización en este proceso sea lo mejor posible y mantenga las características del compuesto de PVC como una mezcla seca en forma de polvo.

En Guatemala existen tres tipos de coloración para la tubería PVC los cuales son:

- Blanca: para tubería hidráulica
- Naranja: para tubería pluvial y ductería eléctrica
- Gris: para tubería de cloacas y ductería eléctrica

La ductería eléctrica posee dos tipos de coloración las cuales se utilizan para diferenciar las características de diámetro y espesores deseadas según el fabricante creador (naranja Amanco y gris Durman).

Para la tubería hidráulica (blanca) el TiO_2 es el componente que brinda el color blanco a la tubería, así como también provee de otras características térmicas y estabilizadoras al proceso de extrusión. Este compuesto tiene características deseadas entre las cuales se encuentran:

Tabla XIII. Propiedades del TiO_2

Característica	Unidad	Valor
Porcentaje TiO_2	%	98,5
Volatilidad	%	0,45
Patrón de Solubilidad en Agua	%	0,45
PH		6,5-8,0
Absorción en Aceite	g/100g	24,0 max
Absorción en Agua	g/100g	30,0 max

Fuente: hoja técnica Herrmann.

Luego de la tubería hidráulica (blanca) la segunda más comercializada es la de bajada pluvial (naranja) por lo que las características deseadas para este colorante, de tipo pigmento en polvo, es:

Tabla XIV. Propiedades del pigmento naranja

Característica	Unidad	Valor
Gravedad Específica	g/cm ³	1,4
Volumen de Masa	l/kg	5,5
Superficie Específica	m ² /g	66
Absorción de Aceite	-	54

Fuente: hoja técnica Ciba.

Las cantidades que se utilizan para el mezclado y obtención del *Dry-Blend* dependen de las políticas y características deseadas por cada fabricante ya que la opacidad o brillantes deseada para la tubería dependerán de las PHR (partes por cada cien de resina por sus siglas en inglés) utilizadas en la mezcla así como el proceso de extrusión al cual es sometido.

3.1.5. *Fillers* o material de relleno

Como en muchos productos no solo de la industria plástica sino que en muchos más, existen componentes de relleno o *Fillers*, los cuales son utilizados como cargas para aminorar los costos ya que en una utilización en bajos porcentajes (menores al 10 por ciento) mantienen las características deseadas del producto o permiten modificaciones leves sobre estos las cuales son deseadas.

En el caso del PVC y específicamente hablando de la tubería el material de relleno que se utiliza es CaCO_3 el cual es un componente de muy bajo costo en relación al policloruro de vinilo además que mantiene las características de flexibilidad deseadas en el PVC agregando un poco de rigidez lo cual le da a la tubería una mayor resistencia a golpes por la combinación de ambos. Algunas características deseadas para el CaCO_3 son:

Tabla XV. **Propiedades del CaCO_3**

Propiedad	Unidad	Valor
Gravedad Específica	g/cc	2.7
Absorción de Humedad	%	0.04
Tamaño de Partícula	μm	1.4
Área de Superficie Específica	m ² /g	5.5

Fuente: hoja técnica OMYA.

3.2. Costos de materia prima

Los costos de materia prima normalmente se encuentran negociados en dólares americanos con lo cual se manejan tanto las importaciones como las compras locales según sean las necesidades de las empresas así como los tiempos de entrega y otros valores. Para los distintos tipos de formulación para la fabricación de tubería PVC los costos y porcentajes de utilización de cada componente en el Dry-Blend se evalúan de la siguiente manera:

Tabla XVI. **Costos de componentes**

Componente	Costo por Kg US\$	Porcentaje
Resina PVC	2,61	86,92-91,49
Estabilizante	12,40	1,74-1,83
Parafina	7,25	0,43-0,46
CaCO ₃	1,38	0,43-0,73
TiO ₂	7,50	5,49-10,43
Pigmento Naranja	88,63	0,00-0,04
Pigmento Negro	4,50	0,00-0,03

Fuente: elaboración propia.

Dependiendo la formulación, estos porcentajes serán utilizados lo cual nos llevará a conocer el impacto por componente en el sobrepeso en la extrusión de la tubería PVC. Así también estos costos son constantemente cambiante ya que la resina y algunos de sus componentes son derivados de la industria petrolera, la cual en estos momentos se encuentra en cambio constante según el precio internacional del barril y también se ven afectados por el manejo de mercado de los fabricantes según la capacidad del mercado, la demanda, oferta y estatus de la economía en el país de fabricación.

3.3. Costos de energía eléctrica

La influencia del costo de la energía eléctrica en el sobrepeso de la fabricación de tubería PVC tiene que ver en forma directa ya que al incurrir en sobrepeso se necesitará el procesamiento de más material para lograr la producción deseada.

Para las tres líneas de producción activas el costo es de US\$0,16/por kilowatt hora y la carga de energía equipos de cada línea son los siguientes:

Tabla XVII. **Costos de energía eléctrica**

Línea	Carga		Costo Hora (US\$)
	Hp/h	Kw/h	
AC	140	104,4	16,71
GT	44,75	33,38	5,34
SK	51,5	38,42	6,15

Fuente: elaboración propia.

El sobrepeso obtenido en cada línea de producción, además de analizarse en costos de mano de obra y materiales, debe también hacerse una equivalencia con el costo de energía eléctrica utilizada para la obtención de la cantidad de tubos deseados y con esto se determinará de una mejor manera el costo del sobrepeso que es parte del costo directo de producción.

3.4. Costos de mano de obra directa

Dentro de la planta de extrusión y mezclado para la producción de tubería PVC se encuentran tres tipos de trabajadores que comprenden parte del costo de mano de obra directa los cuales son:

- Operadores
- Jefes de turno
- Jefes de Plantas

Dentro de la operación para la producción de la tubería PVC, el trabajo para el control de los componentes utilizados se encuentra bajo el manejo y cuidado de los operadores los cuales se encuentran distribuidos tanto en la planta de mezclado y producción de la siguiente manera.

- 3 mezcladores (planta de mezclado)
- 5 operadores de extrusoras (planta de extrusión)
- 2 tolveros (planta de extrusión)

Estos trabajadores tienen a su cargo el manejo de materiales, devengando la mayoría en los dos turnos de la planta de mezclado y tres turnos para la planta de extrusión el salario mínimo con una distribución de turnos de la siguiente manera:

Lunes a viernes

- Turno A: de 06:00 a 13:00 hrs
- Turno B: de 13:00 a 20:00 hrs
- Turno C: de 20:00 a 06:00 hrs

Sábado y domingo

- Turno A: de 06:00 a 18:00 hrs
- Turno B: de 18:00 a 06:00 hrs

Lo anterior significa un tiempo extraordinario de la siguiente forma de los turnos:

- Turno A: 3 horas extra simples y 12 horas extra dobles
- Turno B: 5 horas extra simples y 12 horas extra dobles
- Turno C: 14 horas extra simples

El salario devengado de manera estandarizada será de Q6,75 por hora para cada operador.

Tabla XVIII. **Costo directo**

Rubro	Subrubro
Materia Prima	
	Polímero
	Esabilizante
	Lubricante
	Carga
Energía	
Eléctrica	
	Potencia
Mano de Obra	
	Producción
	Mezclado

Fuente: elaboración propia.

Es conocido que los primero dos rubros de la tabla anterior, materia prima y energía eléctrica, su costo dependen exactamente de la producción y compras que se efectúan. La mano de obra directa es calculada sobre la producción del período de tiempo en cuestión. De lo anterior, los costos que se ven afectados por el sobrepeso directamente son los de materia prima y energía eléctrica. El costo de mano de obra se verá afectado de manera no menos importante pero sí secundaria debido a los costos de capacitación y adiestramiento (dentro de la carga fija en los costos administrativos que afectan

también a los indirectos) a los cuales se incurra según las decisiones tomadas a partir de las recomendaciones.

3.5. Análisis de índices

Dentro del departamento de control de calidad de la empresa, existe un registro el cual sirve para registrar los tres índices para la determinación del sobrepeso. Estos valores son comparados con un peso estándar llamado factor. Este factor es calculado utilizando el principio de densidad y usando el volumen de un cilindro hueco para determinar su peso.

Esta comparación y el análisis de su respectiva variación serán los determinantes de cada tipo de sobrepeso y con esto se persigue buscar las herramientas necesarias para la toma de decisiones acertadas en la reducción de costos y el mejoramiento.

Los tres índices a evaluar son:

- **Peso muestra:** que es el obtenido en una muestra proporcional a un producto específico (un tubo), este se pesa y proporcionalmente se obtiene el peso de la tubería para determinar la variación existente.
- **Peso teórico:** que es el obtenido por medio de cálculos matemáticos para relacionar el volumen de la tubería con su densidad, para determinar el peso mediante dicho modelo y compararlo para determinar la variación.
- **Peso real:** que es tomar un tubo completo y obtener su peso en la balanza para determinar la variación entre este valor y el factor.

Cada uno de los índices anteriores son comparados con el valor estándar o factor para determinar la variación en comparación con cada uno de ellos. Normalmente los tres índices arrojan un resultado similar, pero cuando al menos existe la variación de uno de los valores, significa existe una variación por una causa asignable, a la cual debe ponérsele especial énfasis para determinar la diferencia entre estos tres índices.

3.5.1. Determinación peso muestra

En parámetros de tiempo especificados por Control de Calidad, se recogen muestras de la planta de extrusión.

Estas muestras se reducen a un tamaño específico de 6 pulgadas y son pesadas en una balanza electrónica para determinar su peso. Con este peso determinado se elabora una regla de tres, sabiendo que la longitud de un tubo es de 6 metros (236,22 pulgadas) con lo cual se determina:

$$\text{peso muestra} = \frac{\text{peso muestra} * \text{tamaño tubería}}{\text{tamaño espécimen}}$$

$$\text{peso muestra} = \frac{\text{peso espécimen (kilogramo)} * 236,22 \text{ (pulgada)}}{6 \text{ (pulgada)}}$$

Peso espécimen= peso en kilogramos de la muestra analizada (6 pulgadas)

Tamaño tubería= largo total en pulgadas que tiene un tubo producido

Tamaño espécimen= largo en pulgadas de la muestra analizada

3.5.1.1. Análisis peso muestra

El peso muestra es de significativa importancia teniendo en cuenta una premisa muy importante: el flujo de *Dry-Blend* dentro de la extrusora debe ser constante y uniforme, ya que al no cumplirse esta premisa, a lo largo de la tubería los espesores y diámetros pueden variar significativamente lo cual arrojaría resultados no deseados.

Este peso es comparado con el peso estándar de la tubería que es conocido como factor el cual es determinado en base a las dimensiones de la tubería por el ideal de densidad= $\text{peso}/\text{volumen}$, de ahí se hacen las relaciones matemáticas para determinar el peso de la tubería por medio de su densidad y volumen y con esto se obtiene un parámetro de comparación para la determinación de la variación entre el peso muestra y el factor.

3.5.2. Determinación peso teórico

Las extrusoras en el cabezal se encuentran ocho tornillos los cuales determinan la excentricidad y los espesores de pared para la tubería que está siendo producida. Estos tornillos de ajuste son marcados en la tubería para conocer y aplicar los ajustes necesarios para lograr la uniformidad de la tubería tanto en espesor de paredes como en excentricidad para alcanzar los parámetros establecidos por la ASTM.

Estos tornillos son marcados en una muestra de tubo para determinar ocho espesores de pared los cuales son promediados para determinar un espesor medio en la muestra.

Con estos valores y analizado también el diámetro exterior de la tubería por medio del Pi-tape, se determina el peso de la tubería por medio del principio de densidad=peso/volumen de la siguiente manera:

$$\rho = \frac{m}{v}$$

$$m = \rho * v$$

$$v = \frac{\pi d^2}{4} * l = \frac{\pi(D-d)^2}{4} * l = \frac{\pi(D - (D - 2e)^2)}{4} * l = \frac{\pi * l}{4} (D - D^2 + 4De - 4e^2)$$

$$v = \frac{\pi * l}{4} (4De - 4e^2) = \pi * l * e(D - e)$$

$$m = \rho * \pi * l * e(D - e)$$

Donde:

ρ = Densidad

m = Masa

v = Volumen

π = Pi

D = Diámetro mayor

d = Diámetro menor

e = Espesor de pared promedio

l = Largo de tubería

Así también a partir de las dimensiones utilizadas en la empresa, se utiliza un multiplicador para trasladar todo a unidades equivalentes y poder expresar la masa en kilogramos

3.5.2.1. Análisis peso teórico

Además de determinar el peso teórico a partir del espesor de pared promedio y diámetro de un espécimen o muestra, este peso ayuda a determinar

también las dimensiones de la tubería y determinar si se encuentra dentro de los parámetros establecidos tanto por la ASTM como por la empresa para la fabricación de la tubería.

Este peso también es comparado con el factor o peso estándar, el cual se determina de forma similar a este (factor) para evaluar el sobrepeso teórico de la tubería (el factor es calculado con la misma fórmula que el peso teórico, con la salvedad que en vez de utilizar el espesor de pared promedio se utiliza el espesor de pared mínimo que se encuentra normado en la ASTM).

3.5.3. Determinación peso real

El peso real no es más que tomar un tubo completo y pesarlo en una balanza para determinar su peso. Por las características que posee el tubo PVC este es pesado colocando el medio del tubo en una balanza ya que el largo que alcanza (6 metros) debido a que por las características actuales de la balanza y su método de medición no son los más acordes para las características del producto (revisar propuesta de mejoras para corregir el problema).

3.5.3.1. Análisis peso real

Así como los dos pesos anteriores (peso teórico y peso muestra), el peso real también es comparado con el factor para determinar el sobrepeso al cual se está incurriendo en el proceso de producción, y aunque es un peso muy fácil de determinar no le resta importancia sino que se la agrega ya que con este valor se obtienen resultados de una manera más rápida.

En este peso también incurre el determinante que la tubería debe tener el largo especificado por las normas ASTM para que pueda ser evaluado ya que

un diferencial en el largo de la tubería puede afectar al momento de ser comparado con el factor.

3.6. Balance de materiales

El balance de materiales resulta de tabular la información obtenida en las muestras de la tubería y la tubería misma con el valor ideal o factor como es llamado. Con estos valores se calcula la variación que existe entre cada peso y el estándar comparativo para llegar a la determinación del porcentaje que será atribuido a sobrepeso.

Este balance se realiza por línea de producción, ya que las distintas tuberías producidas se realizan cada una según la línea de producción que tenga la capacidad y el equipo auxiliar para fabricarlas.

Para cada línea de producción y para cada producto se hará un supuesto de producción de 10 toneladas métricas como estándar, esto con fines de conocer cómo afectaría el sobrepeso en lo que se refiere a costos cuando se llega a una producción masiva continua.

Los costos para el *Dry-Blend* según el color de tubería son los siguientes:

- Blanco: US\$2 782,62 por tonelada métrica
- Naranja: US\$2 734,21 por tonelada métrica
- Gris: US\$2 697,34 por tonelada métrica

Esto se obtiene de la formulación que existe para cada tipo de tubería y los costos correspondientes a cada componente de dicha formulación.

La obtención de las variaciones se hace por medio de hojas tabuladas las cuales contienen la siguiente información:

- Peso muestra (largo de 6 pulgadas)
- Diámetro de Pi-tape
- Espesores de pared (6 u 8 lecturas en milésimas de pulgadas)
- Peso Real (peso de un tubo completo)

3.6.1. Peso muestra

Como se mencionó anteriormente el peso muestra y el estándar (factor) son comparados uno con otro en las distintas mediciones efectuadas a lo largo de una corrida (producción continua de un tipo específico de tubería) para luego determinar en promedio la variación existente.

3.6.1.1. Variación peso muestra

El peso muestra, como se mencionó anteriormente, es el que se tiene de pesar una pequeña proporción de la tubería (6 pulgadas), y con esto hacer una proyección del peso total de la tubería. La diferencia entre esta proyección y el peso estándar o factor es a lo que se le llamará variación peso muestra.

3.6.1.1.1. Variación peso muestra línea de producción SK

En la tabla a continuación se describen la variación del peso muestra sobre el factor de la línea de producción SK.

Tabla XIX. **Variación peso muestra L/SK**

Medida	Variación %
½"RD13,5	8,73
¾"ET	26,37
¾"CONDUIT ET	20,06
½"ET	0,44
1" ET	32,50
1 ½"ET	14,03
1 ½"RD41,0	20,88
1" RD26,0	12,80

Fuente: regencia Calidad MILACRON®.

Para el análisis del costo posterior se hace la observación que las tuberías RD son de color blanco, ET de color gris y Conduit ET de color naranja.

3.6.1.1.2. **Variación peso muestra línea de producción GT**

La siguiente tabla describe la variación del peso muestra sobre el factor de la línea de producción GT.

Tabla XX. **Variación peso muestra L/GT**

Medida	Variación %
3" PD NR	14,14
2" RD51,0	31,35
3" RD41,0	14,65
2" RD41,0	4,51
2" PD NR	2,77

Fuente: regencia Calidad MILACRON®.

Para el análisis de costo posterior se hace la observación que las tuberías RD son de color blanco y las PD NR son de color naranja.

3.6.1.1.3. Variación peso muestra línea de producción AC

La siguiente tabla describe la variación del meso muestra sobre el factor de la línea de producción AC.

Tabla XXI. **Variación peso muestra L/AC**

Medida	Variación %
4" PD NR	17,72
8" RD32,5	10,70
6" RD32,5	28,37
8" RD41,0	12,03
10" RD32,5	15,59
4" RD26,0	7,72
6" PD BL	40,11

Fuente: regencia Calidad MIIACRON®.

Para el análisis de costo posterior se hace la observación que las tuberías RD y PD BL son de color blanco y la PD NR es de color naranja.

3.6.1.2. Utilización peso muestra

Luego de haber determinado la variación por la comparación entre el peso muestra y el estándar (factor), se hace una evaluación con el supuesto de utilización de las 10 toneladas métricas mencionadas anteriormente para determinar el incremento en el costo directo por sobrepeso en la tubería PVC.

3.6.1.2.1. Utilización peso muestra para línea de producción SK

La utilización de materiales en producción para la línea de producción SK es:

Tabla XXII. Utilización peso muestra L/SK en kilogramos

Producto	Color de Tubería	Utilización Teórica	Utilización Real	Sobreconsumo
½"RD13,5	Blanca	10,000	10,873	873
¾"ET	Gris	10,000	12,637	2,637
¾"CONDUIT ET	Naranja	10,000	12,006	2,006
½"ET	Gris	10,000	10,044	44
1" ET	Gris	10,000	13,250	3,250
1 ½"ET	Gris	10,000	11,403	1,403
1 ½"RD41,0	Blanca	10,000	12,088	2,088
1" RD26,0	Blanca	10,000	11,280	1,280
Total		80,000	93,581	13,581

Fuente: elaboración propia.

Tomando en cuenta este balance de materiales existe un sobreconsumo para esta línea de 13 581kilogramos los cuales son asignados a sobrepeso y a pérdida de lo cual representa un incremento de costos según el color de tubería de la siguiente manera:

- Blanca: US\$11 801,08 correspondiente al 14,14 por ciento
- Naranja: US\$ 5 484,83 correspondiente al 20,06 por ciento
- Gris: US\$19 782,29 correspondiente al 18,34 por ciento

Para esta línea de producción, eso significa un incremento del 17 por ciento de sus costos para la fabricación de la tubería PVC.

3.6.1.2.2. Utilización peso muestra para la línea de producción GT

La utilización de materiales en producción para la línea de producción GT es:

Tabla XXIII. Utilización peso muestra L/GT en kilogramos

Producto	Color de Tubería	Utilización Teórica	Utilización Real	Sobreconsumo
3" PD NR	Naranja	10,000	11,414	1,414
2" RD51,0	Blanca	10,000	13,135	3,135
3" RD41,0	Blanca	10,000	11,465	1,465
2" RD41,0	Blanca	10,000	10,451	451
2" PD NR	Naranja	10,000	10,277	277
Total		50,000	56,742	6,742

Fuente: elaboración propia.

Haciendo el balance de materiales para esta línea de producción existe un sobreconsumo de 6 742 kilogramos los cuales son asignados a sobrepeso y a pérdida de lo cual significa un incremento en el costo según el color de tubería de la siguiente manera:

- Blanca: US\$14 055,00 correspondiente al 16,84 por ciento
- Naranja: US\$ 4 623,55 correspondiente al 8,46 por ciento

En esta línea de producción esta variación representa un incremento en el costo del 13 por ciento para la fabricación de la tubería PVC.

3.6.1.2.3. Utilización peso muestra para línea de producción AC

La utilización de materiales en producción para la línea de producción AC es:

Tabla XXIV. Utilización peso muestra en kilogramos

Producto	Color de Tubería	Utilización Teórica	Utilización Real	Sobreconsumo
4" PD NR	Naranja	10,000	11,772	1,772
8" RD32,5	Blanca	10,000	11,070	1,070
6" RD32,5	Blanca	10,000	12,837	2,837
8" RD41,0	Blanca	10,000	11,203	1,203
10" RD32,5	Blanca	10,000	11,559	1,559
4" RD26,0	Blanca	10,000	10,772	772
6" PD BL	Blanca	10,000	14,011	4,011
Total		70,000	83,224	13,224

Fuente: elaboración propia

Realizando el balance de materiales respectivo, se observa un sobreconsumo para la línea de producción de 13 224 kilogramos asignados a sobrepeso y pérdidas. Esto representa un incremento en costos según el color de tubería de la siguiente manera:

- Blanco: US\$31 866,53 correspondiente al 19,09 por ciento
- Naranja: US\$ 4 845,03 correspondiente al 17,72 por ciento

Esto representa un incremento en el costo del 19 por ciento para la fabricación de tubería PVC en esta línea de producción además de ser la línea con mayor incremento de costos.

3.6.2. Peso teórico

Al igual que con el índice anterior (peso muestra) se establece el peso teórico de una corrida para la cual se hace un promedio del análisis y con esto determinar la variación existente entre el peso teórico y el estándar (factor) al ser comparados.

3.6.2.1. Variación peso teórico

El peso teórico, como ya fue mencionado anteriormente, es el peso que se obtiene de hacer la proyección dimensional de la muestra de tubería examinada para establecer este valor. El establecimiento de valores de diámetro mayor, y espesor de pared promedio sirven para realizar la determinación del peso de la tubería a partir de la relación densidad-peso-volumen. La determinación de este peso y su comparación con el peso estándar o factor es lo que se llamará variación peso teórico.

3.6.2.1.1. Variación peso teórico para la línea de producción SK

A continuación la variación del peso teórico de la línea de producción SK.

Para el análisis del costo posterior se hace la observación que las tuberías RD son de color blanco, ET de color gris y Conduit ET de color naranja.

Tabla XXV. **Variación peso teórico L/SK**

Medida	Variación %
½"RD13,5	5,62
¾"ET	19,42
¾"CONDUIT ET	14,09
½"ET	-4,19
1" ET	25,69
1 ½"ET	7,36
1 ½"RD41,0	16,56
1" RD26,0	8,23

Fuente: regencia Calidad MILACRON®.

3.6.2.1.2. **Variación peso teórico para la línea de producción GT**

A continuación la variación del peso teórico de la línea de producción GT, la línea de producción GT, maneja diámetros entre 2 y 3 pulgadas únicamente debido a su estado actual, y tuberías que requieren un espesor de pared delgado como lo son las tuberías PD, RD41,0 y RD51,0.

Tabla XXVI. **Variación peso teórico L/GT**

Medida	Variación
3" PD NR	8,83
2" RD51,0	26,50
3" RD41,0	10,66
2" RD41,0	2,84
2" PD NR	-3,21

Fuente: regencia Calidad MILACRON®.

3.6.2.1.3. Variación peso teórico para línea de producción AC

En esta línea de producción se produce tubería PD de distintos colores, es por eso que se hace la diferencia identificando el color de la tubería, la NR corresponde a la naranja y la BL a la tubería blanca.

Tabla XXVII. Variación peso teórico L/AC

Medida	Variación %
4" PD NR	11,81
8" RD32,5	11,96
6" RD32,5	28,41
8" RD41,0	10,57
10" RD32,5	11,93
12" RD32,5	6,51
4" RD26,0	7,59
6" PD BL	35,19

Fuente: regencia Calidad MILACRON®.

3.6.2.2. Utilización peso teórico

Luego de haber determinado la variación del peso teórico en las distintas líneas de producción, debe hacerse la evaluación del impacto de estas variaciones sobre el estándar como se describe a continuación.

3.6.2.2.1. Utilización peso teórico para línea de producción SK

Para la línea de producción SK, al realizar el balance de materiales para esta línea, se observa que para el producto, 1/2" ET existe merma y no

sobreconsumo. Esta tubería por no estar normada no incumple los parámetros de las normas ASTM, pero sí los de la empresa.

Tabla XXVIII. **Utilización peso teórico L/SK en kilogramos**

Producto	Color de Tubería	Utilización Teórica	Utilización Real	Sobreconsumo
½"RD13.5	Blanca	10,000	10,562	562
¾"ET	Gris	10,000	11,942	1,942
¾"CONDUIT ET	Naranja	10,000	11,409	1,409
½"ET	Gris	10,000	9,581	-419
1" ET	Gris	10,000	12,569	2,569
1 ½"ET	Gris	10,000	10,736	736
1 ½"RD41.0	Blanca	10,000	11,656	1,656
1" RD26.0	Blanca	10,000	10,823	823
Total		80,000	89,278	9,278

Fuente: elaboración propia.

El sobreconsumo para esta línea de producción fue de 9 278 kilogramos que representa un incremento en el costo según los colores de tubería de la siguiente manera.

- Blanco: US\$ 8 461,94 correspondiente al 10,14 por ciento
- Naranja: US\$ 3 852,51 correspondiente al 14,09 por ciento
- Gris: US\$13 022,76 correspondiente al 12,07 por ciento

Para la línea de producción SK esto significa un incremento del 12 por ciento del costo para la producción de tubería.

3.6.2.2. Utilización peso teórico para línea de producción GT

Para la línea de producción GT. Al igual que en la línea de producción SK, la línea GT también presenta un producto que se encuentra debajo del peso ideal que es 2" PD NR, esta tubería tampoco se encuentra normada en la ASTM por lo que no la incumple sin embargo si incumple con los parámetros de la empresa.

Tabla XXIX. Utilización peso teórico L/GT en kilogramos

Producto	Color de Tubería	Utilización Teórica	Utilización Real	Sobreconsumo
3" PD NR	Naranja	10 000	10 883	883
2" RD51,0	Blanca	10 000	12 650	2 650
3" RD41,0	Blanca	10 000	11 066	1 066
2" RD41,0	Blanca	10 000	10 284	284
2" PD NR	Naranja	10 000	9 679	-321
Total		50 000	54 562	4 562

Fuente: elaboración propia.

El sobreconsumo para esta línea de producción es de 4 562 kilogramos que representa un incremento en el costo de la tubería de la siguiente manera según el color:

- Blanco: US\$11 130,47 correspondiente al 13,33 por ciento
- Naranja: US\$ 1 536,63 correspondiente al 2,81 por ciento

Para la línea de producción GT esto representa un incremento en el costo para la producción de tubería del 9 por ciento.

3.6.2.2.3. Utilización peso teórico para línea de producción AC

Para la línea de producción AC. Esta línea de producción maneja al igual que la línea GT únicamente dos colores de tubería, en donde solo 4" PD NR es naranja y las demás son de color blanco.

Tabla XXX. Utilización peso teórico L/AC en kilogramos

Producto	Color de Tubería	Utilización Teórica	Utilización Real	Sobreconsumo
4" PD NR	Naranja	10 000	11 181	1 181
8" RD32,5	Blanca	10 000	11 196	1 196
6" RD32,5	Blanca	10 000	12 841	2 841
8" RD41,0	Blanca	10 000	11 057	1 057
10" RD32,5	Blanca	10 000	11 193	1 193
12" RD32,5	Blanca	10 000	10 651	651
4" RD26,0	Blanca	10 000	10 759	759
6" PD BL	Blanca	10 000	13 519	3 519
Total		80 000	92 397	12 397

Fuente: elaboración propia.

En la línea de producción AC existe un sobreconsumo de 12 397 kilogramos, los cuales representan un aumento en el costo de la tubería descrito de la siguiente manera por color:

- Blanco: US\$31 209,83 correspondiente al 16,02 por ciento
- Naranja: US\$ 3 229,11 correspondiente al 11,81 por ciento

Esto significa un aumento en el costo de producción del 15 por ciento para la producción de la tubería de PVC.

3.6.3. Peso real

Por último pero no menos importante se realiza la comparación entre el peso real y el estándar (factor) para conocer el tercer índice. El peso real como se estableció anteriormente es el más simple de calcular y un indicador importante ya que permite tomar acciones inmediatas y en tiempo real.

3.6.3.1. Variación peso real

Así como se analizan muestras, se proyectan pesos a partir de las dimensiones de la tubería, también se realiza el análisis de pesar un tubo completo y comparar dicho valor con el peso estándar o factor. La variación que exista entre estos dos pesos será llamada variación peso real.

3.6.3.1.1. Variación peso real línea de producción SK

Para el análisis del costo posterior, se hace la observación que las tuberías RD son de color blanco, ET de color gris y Conduit ET de color naranja. La variación para la línea de producción SK fue:

Tabla XXXI. Variación peso real L/SK

Medida	Variación %
½"RD13,5	9,12
¾"ET	28,75
¾"CONDUIT ET	20,58
½"ET	1,37
1" ET	40,52
1 ½"ET	17,81
1 ½"RD41,0	21,02
1" RD26,0	13,39

Fuente: regencia Calidad MILACRON®.

3.6.3.1.2. Variación peso real línea de producción GT

Para el análisis de costo posterior, se hace la observación que las tuberías RD son de color blanco y las PD NR son de color naranja. La variación para la línea de producción GT fue:

Tabla XXXII. Variación peso real L/GT

Medida	Variación
3" PD NR	15,35
2" RD51,0	32,86
3" RD41,0	12,46
2" RD41,0	6,58
2" PD NR	2,37

Fuente: regencia Calidad MILACRON®.

3.6.3.1.3. Variación peso real línea de producción AC

Para el análisis de costo posterior, se hace la observación que las tuberías RD y PD BL son de color blanco y la PD NR es de color naranja. La variación para la línea de producción AC fue:

Tabla XXXIII. Variación peso real L/AC

Medida	Variación %
4" PD NR	21,27
8" RD32,5	10,03
6" RD32,5	30,48
8" RD41,0	11,24
10" RD32,5	17,52
12" RD32,5	9,12
4" RD26,0	8,98
6" PD BL	38,57

Fuente: regencia Calidad MILACRON®.

3.6.3.2. Utilización peso real

Al igual que se ha hecho con los dos estándares anteriores, este estándar también debe compararse y evaluarse para determinar a cuanto se incurrió de variación en contraste al factor establecido de la siguiente manera.

3.6.3.2.1. Utilización peso real línea de producción SK

Para esta línea de producción, la variación alcanza un valor de 15 256 kilogramos. Esta variación produce costos en cada tubería establecidos de la siguiente manera por color:

Tabla XXXIV. Utilización peso real L/SK en kilogramos

Producto	Color de Tubería	Utilización Teórica	Utilización Real	Merma
½"RD13,5	Blanca	10 000	10 912	912
¾"ET	Gris	10 000	12 875	2 875
¾"CONDUIT ET	Naranja	10 000	12 058	2 058
½"ET	Gris	10 000	10 137	137
1" ET	Gris	10 000	14 052	4 052
1 ½"ET	Gris	10 000	11 781	1 781
1 ½"RD41,0	Blanca	10 000	12 102	2 102
1" RD26,0	Blanca	10 000	11 339	1 339
Total		80 000	95 256	15 256

Fuente: elaboración propia

- Blanco: US\$12 112,74 correspondiente al 14,51 por ciento
- Naranja: US\$ 5 627,00 correspondiente al 20,58 por ciento
- Gris: US\$23 857,97 correspondiente al 22,11 por ciento

Esto significa para la línea de producción SK un incremento en los costos del 19 por ciento para la fabricación de la tubería PVC.

3.6.3.2.2. Utilización peso real línea de producción GT

Para esta línea de producción la variación es de 6 982 kilogramos. Esta variación representa un incremento en el costo de la tubería establecidos de la siguiente manera por color:

Tabla XXXV. Utilización peso real L/GT en kilogramos

Producto	Color de Tubería	Utilización Teórica	Utilización Real	Merma
3" PD NR	Naranja	10 000	11 535	1 535
2" RD51,0	Blanca	10 000	13 286	3 286
3" RD41,0	Blanca	10 000	11 246	1 246
2" RD41,0	Blanca	10 000	10 658	658
2" PD NR	Naranja	10 000	10 237	237
Total		50 000	56 962	6 962

Fuente: elaboración propia

- Blanco: US\$14 441,80 correspondiente al 17,30 por ciento
- Naranja: US\$ 4 845,02 correspondiente al 8,86 por ciento

Lo anterior significa para la línea de producción GT un incremento en el costo del 14 por ciento para la fabricación de la tubería PVC.

3.6.3.2.3. Utilización peso real línea de producción AC

Para la línea de producción AC la variación es de 14 721 kilogramos. Eso incrementa el costo de producción de la siguiente manera según color:

Tabla XXXVI. **Utilización peso real L/AC en kilogramos**

Producto	Color de Tubería	Utilización Teórica	Utilización Real	Merma
4" PD NR	Naranja	10 000	12 127	2 127
8" RD32,5	Blanca	10 000	11 003	1 003
6" RD32,5	Blanca	10 000	13 048	3 048
8" RD41,0	Blanca	10 000	11 124	1 124
10" RD32,5	Blanca	10 000	11 752	1 752
12" RD32,5	Blanca	10 000	10 912	912
4" RD26,0	Blanca	10 000	10 898	898
6" PD BL	Blanca	10 000	13 857	3 857
Total		80 000	94 721	14 721

Fuente: elaboración propia

- Blanco: US\$35 044,32 correspondiente al 17,99 por ciento
- Naranja: US\$ 5 815,66 correspondiente al 21,27 por ciento

Lo anterior significa un incremento del costo del 18 por ciento para la producción de tubería PVC en la línea de producción AC.

3.6.4. **Tabla de resumen de pesos en producción**

En la tabla a continuación se describe la comparación entre los tres índices y la variación de su costo para tener una contemplación global de lo analizado. Cabe mencionar que la variación es proporcional al tamaño de la tubería y al tamaño de la corrida efectuada (tonelada métrica producidas)

Debido a que la producción de cada producto no es uniforme ni cíclica (es decir, la demanda de cada producto depende de las condiciones climatológicas, proyectos de gobierno e iniciativa privada, época del año, etcétera), puede

preverse cuáles de ellos serán fabricados en mayores cantidades por su estacionalidad y rotación al momento de planificar la producción.

Tabla XXXVII. **Resumen de variación de costos debido a sobrepeso**

Producto	Línea	Costo	Costo			Costo		Costo
			Variación Muestra	Variación Muestra	Variación Teórica	Variación Teórica	Variación Real	
½"RD13,5	SK	2 782,62	8,73	242,92	5,62	156,38	9,12	253,77
¾"ET	SK	2 697,34	26,37	711,29	19,42	523,82	28,75	775,49
¾"CONDUIT ET	SK	2 734,21	20,06	548,48	14,09	385,25	20,58	562,70
½"ET	SK	2 697,34	0,44	11,87	-4,19	-113,02	1,37	36,95
1" ET	SK	2 697,34	32,50	876,64	25,69	692,95	40,52	1 092,96
1 ½"ET	SK	2 697,34	14,03	378,44	7,36	198,52	17,81	480,40
1 ½"RD41,0	SK	2 782,62	20,88	581,01	16,56	460,80	21,02	584,91
1" RD26,0	SK	2 782,62	12,80	356,18	8,23	229,01	13,39	372,59
3" PD NR	GT	2 734,21	14,14	386,62	8,83	241,43	15,35	419,70
2" RD51,0	GT	2 782,62	31,35	872,35	26,50	737,39	32,86	914,37
3" RD41,0	GT	2 782,62	14,65	407,65	10,66	296,63	12,46	346,71
2" RD41,0	GT	2 782,62	4,51	125,50	2,84	79,03	6,58	183,10
2" PD NR	GT	2 734,21	2,77	75,74	-3,21	-87,77	2,37	64,80
4" PD NR	AC	2 734,21	17,72	484,50	11,81	322,91	21,27	581,57
8" RD32,5	AC	2 782,62	10,70	297,74	11,96	332,80	10,03	279,10
6" RD32,5	AC	2 782,62	28,37	789,43	28,41	790,54	30,48	848,14
8" RD41,0	AC	2 782,62	12,03	334,75	10,57	294,12	11,24	312,77
12" RD32,5	AC	2 782,62	0,00	0,00	11,93	331,97	17,52	487,52
10" RD32,5	AC	2 782,62	15,59	433,81	6,51	181,15	9,12	253,77
4" RD26,0	AC	2 782,62	7,72	214,82	7,59	211,20	8,98	249,88
6" PD BL	AC	2 782,62	40,11	1 116,11	35,19	979,20	38,57	1 073,26

Fuente: elaboración propia.

Esto ayudará a priorizar las necesidades y efectuando un balance de materiales que determine la variación en utilización para un período determinado (normalmente se hacen en períodos mensuales para determinar los costos reales de producción y que esto contribuya a los estados de resultados), debe incluirse los parámetros descritos en la tabla anterior en la

contemplación ya sea de costos directos o si serán representados como costos hundidos.

Además deberá realizarse un seguimiento ya sea con un comparativo de estos valores o con la obtención de nuevos para poder cuantificar y calificar las mejoras que puedan darse en la operación del proceso de producción.

En la determinación del peso real para las tres líneas de producción anteriormente mencionadas debe hacerse la aclaración que el equipo utilizado para la obtención del peso real es inadecuado, ya que no tiene la precisión requerida para esta medición ya que no mide hasta milésimas de kilogramo las cuales son indispensables en esto.

Las mediciones se realizan en una báscula de pesas con mucha obsolescencia lo cual permite conocer la situación del sobrepeso en las líneas de producción, pero no es un elemento que permita al sobrepeso real ser una herramienta para la toma de decisiones acertadas para la disminución del sobrepeso en las líneas de producción de tubería de PVC.

3.7. Detección de mejoras

Para la mejora de los productos dentro del proceso de producción existen tres campos básicos o principales dentro de los cuales pueden tomarse las medidas correctivas ya sea a corto, mediano o largo plazo que ayuden y brinden un beneficio para la empresa.

Los tres grupos básicos para la mejora son:

- Mejoras a la matricería: son todas las acciones correctivas y preventivas que pueden darse a los equipos (máquinas y herramientas) que mejoren el proceso de producción, con costos considerables y razonables que ayuden a alcanzar los resultados deseados.
- Mejoras al producto: al ser un producto que depende enteramente de las características deseadas por el fabricante, pueden hacerse mejoras tanto en formulación, en materias primas, en determinación de estándares (factor) que permitan alcanzar resultados más reales y acordes a la realidad de la empresa y con esto dar la pauta a mejoras posteriores dentro del proceso.
- Mejoras al personal: la rebeldía, falta de conocimiento y otros aspectos negativos que pueda poseer el personal debe ser eliminada por medio de un cambio de actitud, ya sea por capacitación, entrenamiento, incentivos de reconocimiento, etcétera, que ayuden a mejorar las condiciones de operación por parte de los trabajadores y permita trazar el objetivo de hacer las cosas siempre de la mejor manera posible utilizando iniciativa y conocimiento por parte de los operadores.

3.7.1. Mejoras en matricería

Según la tubería que se esté fabricando, existen cabezales, *Die-Set* y calibradores diseñados para la fabricación de la tubería según el diámetro y el SDR requeridos (dentro del SDR se cataloga también los espesores de pared para tubería de bajada pluvial y ductería eléctrica). Estos elementos de las máquinas extrusoras deben ser revisados en períodos continuos bajo programas de mantenimiento adecuados que les permita estar en condiciones óptimas para la producción de tubería PVC.

Así también estos equipos anteriormente mencionados se ayudan de equipos auxiliares dentro de los cuales se encuentran:

- Elementos neumáticos
- Elementos hidráulicos
- Elementos lubricantes

Cada uno de estos elementos participa de manera cooperativa en los equipos ayudando en las necesidades de elementos externos que estos tengan. Un buen abastecimiento de los tres elementos anteriores también es esencial para la fabricación de la tubería PVC ya que ayudan a disminuir el deterioro de los equipos, a brindar de enfriamiento y lubricación en lugares requeridos y con esto evitar desgaste por sobrecalentamiento y fricción abrasiva con el *Dry-Blend* en el paso de este por la línea de producción.

Debe evaluarse también el estado de los equipos como por ejemplo la antigüedad de los mismos, ya que varios trabajos de reacondicionamiento para mantenerlos en condiciones óptimas duran cada vez menos por el desgaste de los equipos y haga que estas operaciones deban ser efectuadas en intervalos más cortos de tiempo. Para esto debe realizarse un estudio de beneficio/costo para determinar la factibilidad entre realizar estos trabajos de reacondicionamiento o la compra de equipos nuevos.

3.7.2. Mejoras al producto

En el mundo existen muchos proveedores de los componentes para la fabricación de la tubería PVC, cada uno de ellos tiene características que lo diferencian de los otros tanto en calidad del producto, características deseadas así como también los precios de compra (del proveedor hacia la empresa) y su

mejora por medio de los acuerdos internacionales comerciales para importación de productos. Estos aspectos pueden ser evaluados para que se adecúen de una mejor manera a la situación actual de la fábrica y de las líneas de extrusión y permitan que los costos por sobrepeso se vean aminorados tanto por el precio de compra como por las características de cada uno de estos componentes.

Así también deben evaluarse los estándares de comparación para la determinación del sobrepeso ya que únicamente la tubería hidráulica y la tubería de cloacas se encuentran normadas para los espesores de pared de tubería; la ductería eléctrica y la tubería de bajada pluvial se determinan según estándares internos y estos deben evaluarse para que la tubería contenga las características deseadas, con dimensiones que sean las adecuadas para estas y disminuya el costo, esto no solo inducirá un menor sobrepeso para la tubería sino que también incrementará el margen de contribución del producto.

3.7.3. Capacitación al personal

El personal de la empresa debe conocer cuáles son los equipos que se deben utilizar para cada producto ya que cada uno tiene las dimensiones adecuadas para la producción según el tipo de tubería que se quiera producir.

El personal que hace su ingreso a la empresa, deberá pasar por una inducción, que aunque no sea extensa ni pretenda que el trabajador memorice los equipos de manera inmediata, pero sí que le permita tener la lógica de la función de cada uno de los equipos y su función dentro del proceso de producción. Esto debe ser efectuado por el jefe de turno ya que él será el superior inmediato del nuevo operador, ayudándose del jefe de planta o gerente de producción para involucrar conocimientos técnicos dentro del proceso de inducción.

Muchos proveedores de equipos y máquinas, como forma de empezar negociaciones y de dar un valor agregado en la compra sus productos, ofrecen servicios de capacitación dentro de la empresa para el manejo de nuevos equipos y los cambios que tienen en relación a los anteriores. Este valor agregado ofrecido por los proveedores debe ser aprovechado de la mejor manera ya que representan conocimientos directos del proveedor.

El INTECAP (Instituto Técnico de Capacitación y Productividad) posee cursos que pueden ser aprovechados para las necesidades de conocimientos que tenga la empresa dentro de los cuales los importantes y necesarios podrían considerarse como:

- Neumática (costo del curso Q100,00)
- Electricidad (costo del curso Q100,00)
- Electrónica (costo del curso Q100,00 con varios niveles)

Estos tres grupos anteriores son conocimientos básicos que debe tener el personal de una planta de producción cualquiera que sea su campo de trabajo y que el INTECAP está en constante innovación.

La inversión del curso por persona puede considerarse dentro de un plan de costeo sobre mantenimiento o sobre capacitación del personal de recursos humanos. Debe hacerse no a todo el personal de una vez, por motivos de turnos de trabajo continuos, por lo que una distribución de la capacitación del personal a lo largo de un año puede traer beneficios para la aplicación y mejoramiento del proceso de producción, mejora al personal por superación, y además una ventaja competitiva tanto en el mercado como en la empresa misma.

4. IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA

Luego de la determinación de las variaciones en cada línea de producción asignadas a sobrepeso, deben tomarse las medidas necesarias para que los costos derivados por el sobrepeso disminuyan hasta alcanzar un nivel permitido y admisible el cual pueda ser incluido como un costo hundido para la empresa y no incremente sus costos a niveles que puedan afectar la competitividad en el rubro de precios dentro del mercado tanto guatemalteco como internacional.

Estas mejoras se apoyan en varios aspectos tanto de estándares, equipos, personal para conseguir la eficiente producción de tubería PVC.

4.1. Mejoras a la matricería (implementación)

Los elementos que forman parte de las máquinas extrusoras son no solo el principal causante del sobrepeso sino que también la parte más representativa en costos de inversión ya sea para sustitución o reparación.

Estas medidas serán tomadas ya sea por calibración, reparación o sustitución de los equipos como se describe a continuación.

4.1.1. Recalibración

La recalibración implica, como su nombre lo indica, establecer las dimensiones de los equipos y mantenerlas en condiciones óptimas para la producción de la tubería PVC conforme a los parámetros establecidos tanto por la empresa como por las normas ASTM con las cuales se rige la calidad.

Los equipos que pueden ser recalibrados son:

- Dados
- Mandriles
- Calibradores

Generalmente, la recalibración se da por el metalizado de la pieza por medio de soldadura en frío no siguiendo un parámetro estándar, sino adecuándose a las necesidades dentro de la máquina y las requeridas por la persona encargada de la producción.

4.1.1.1. Cabezales

Los cabezales son los equipos que luego del barril y tornillos de la extrusora dan paso al *Dry-Blend* para la determinación del diámetro y espesor de paredes de la tubería. Estos deben poseer una dimensión muy exacta en lo que se refiere a largo del cabezal y ancho interno, ya que dentro de estos se encuentra el spider y mandril, los cuales dan el paso al *Dry-Blend* y dimensionan el diámetro interno respectivamente a la tubería.

Un incremento o disminución en las dimensiones de este equipo hará que el flujo de *Dry-Blend* varíe de manera que se necesite más material, de más potencia o de más revoluciones para alcanzar el desempeño deseado de la extrusora.

Además de las condiciones a las que es sometida el *Dry-Blend* en lo que se refiere a presión y temperatura, no se debe olvidar que el volumen que pasa por este equipo y la velocidad con la que pasa ayudará a mejorar o disminuir las condiciones óptimas para la extrusión de la tubería, ya que las temperaturas

deseadas no se alcanzan únicamente por las resistencia de banda que contiene este equipo sino que también por el juego de la presión y el volumen de material que pasa por el mismo en un lapso de tiempo determinado.

4.1.1.2. Mandriles

Los mandriles son los elementos que ayudan a crear el flujo hacia los calibradores y determinan el diámetro interno de la tubería. Este equipo se encuentra íntimamente ligado con el cabezal ya que el mandril se encuentra contenido dentro del cabezal. Cada cabezal tiene tornillos ajustadores que ayudan a centrar el mandril y con esto lograr la uniformidad en el espesor de paredes de la tubería.

Estos tornillos, al hacer contacto con el mandril pueden dañarlo ya que son sometidos a una presión alta para dimensionar el espesor de la tubería. En este acondicionamiento, los tornillos pueden producir algún desgaste sobre los mandriles y estos ya no poseen las dimensiones necesarias para la determinación del diámetro interno así como las características deseadas para el flujo constante del *Dry-Blend* ya que pueden hacerse incrustaciones y el *Dry-Blend* puede atorarse en estos lugares lo que ocasiona que este se queme y pueda dañar la tubería produciéndole una especie de rayadura interna y con esto dañando la característica de resistencia al impacto de la tubería.

4.1.1.3. Adaptadores universales

Estos equipos tienen muy poca incidencia sobre las características del tubo PVC pero esto no los hace perder importancia. Estos son los que unen al cabezal con el barril de las máquinas extrusoras con lo que la dimensión

adecuada evitará de fugas no de material sino de temperatura y presión que son dos variables de alta importancia en la fabricación de tubería PVC.

Cada cabezal posee de un adaptador universal adecuado para su acople con el barril de la extrusora por lo que una revisión constante de las dimensiones que pueden verse afectadas por el desgaste por la abrasión del equipo así como la abrasión del *Dry-Blend* a su paso garantizará un flujo constante y evitará las pérdidas de variables termodinámicas en el proceso de producción.

4.1.1.4. Calibradores

La determinación del diámetro externo en la tubería es realizada por el calibrador, el cual es ayudado por equipos auxiliares neumáticos (este sirve para hacer una presión por dentro a la tubería, cuando el *Dry-Blend* se encuentra en un estado semilíquido, el cual hace que la tubería se expanda hasta que ocupa el espacio dimensionado por el calibrador).

Este equipo debe estar especialmente calibrado al igual que los mandriles para la obtención de la tubería en los diámetros y espesores deseados por lo que las correctas dimensiones internas de este equipo garantizaran el cumplimiento de los estándares de la tubería.

Usualmente este equipo se encuentra con un recubrimiento interno de cromo o algún otro metal resistente a la abrasión y fricción ocasionada por el paso del *Dry-Blend* por el mismo, por lo que un desgaste en el recubrimiento de este equipo también afectará las dimensiones del mismo y con esto las dimensiones exteriores de la tubería ya que el diámetro interno de este equipo

es el que determina el diámetro externo de la tubería el cual se encuentra normado en la ASTM D-2241.

4.1.2. Rectificación

Por el uso de los equipos las condiciones con las cuales estos fueron fabricados sufren de algún cambio como desbalanceo, torceduras, entre otros. Estos cambios afectan la producción de la tubería PVC haciendo que se tengan que invertir más recursos para la fabricación y de ello se toman acciones necesarias para corregir estas disfuncionalidades de los equipos.

La rectificación se hace principalmente a los tornillos sin fin que se encuentran dentro de la extrusora, ya que estos deben estar balanceados, con las dimensiones exactas para evitar la acumulación de *Dry-Blend* dentro de los espacios entre el barril y tornillos el cual puede dar un flujo inverso del compuesto o que el material se queme dentro de la extrusora y pueda dañarla.

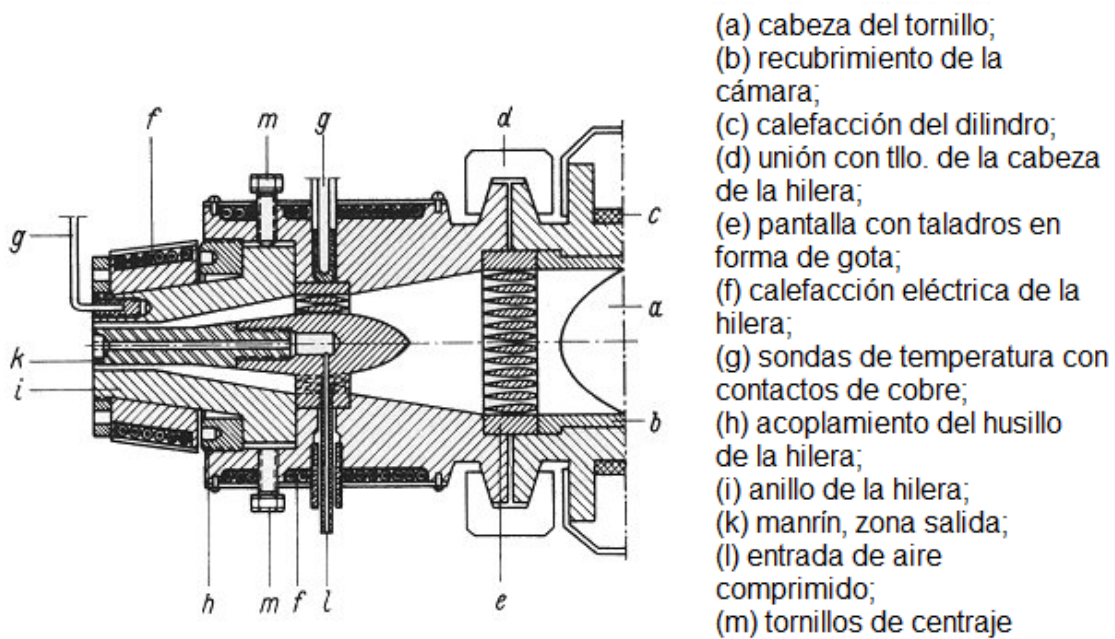
4.1.2.1. Enderezado

El enderezado se da para los mandriles y tornillos de las máquinas extrusoras. Estos por los esfuerzos a los que son sometidos y muchas veces por flujo variable dentro de los mismos tienden a presentar cierto desbalance que impide un proceso de producción óptimo.

El enderezado de los mandriles es necesario debido a que el flujo dentro del *Die-Set* debe ser constante y uniforme para garantizar los espesores y diámetros requeridos por la ASTM.

Un desbalance en el mandril ocasionara excentricidad en la tubería y con esto crear un punto débil en lo que se refiere a la resistencia de la misma, además que hará incumplir los estándares de la ASTM en lo que se refiere a espesor mínimo de pared o estándares especificados en la empresa.

Figura 8. Diagrama de cabezal



Fuente: American Maplan Extruders.

Para los tornillos, estos se mantienen girando dentro del barril para la alimentación y sostenimiento del flujo constante dentro de la máquina extrusora ya que el barril y tornillos se encuentran calibrados a tal manera que la distancia entre uno y los otros es milimétrica, esto para evitar el reflujo del *Dry-Blend* en la extrusora.

El desbalance de los tornillos ocasionará que se produzca un desgaste en la superficie del barril, dañando no solo el recubrimiento metálico que este posee, sino que también dañando la superficie de los tornillos. Además esto produciría acumulación de material en una zona, evitando su flujo constante sobre la extrusora, quemando el material y perjudicando el proceso de producción.

4.1.2.2. Cromado

Algunos componentes del *Dry-Blend*, por sus características de fabricación, pueden convertirse en elementos altamente abrasivos al momento de crear un compuesto para la purga de las líneas de producción.

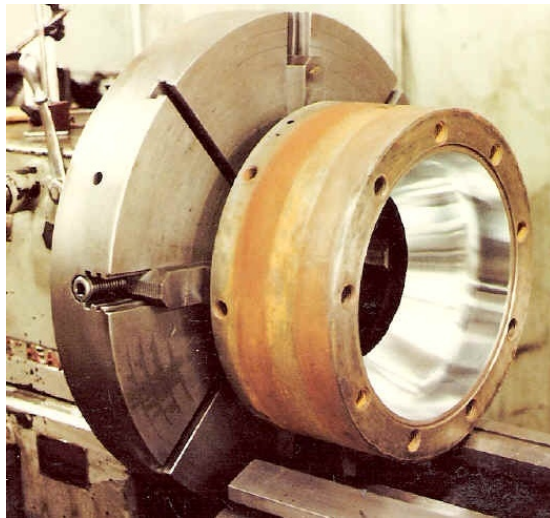
Esta purga tiene como función limpiar todo el material que queda a lo largo de los elementos de la máquina extrusora y con esto evitar que existan fuentes de rayones internos o externos, material quemado y otros problemas ocasionados a la tubería por la presencia de elementos no deseados en el paso del *Dry-Blend* sobre la máquina.

En el paso del tiempo, así como de este componente altamente abrasivo, desgasta la superficie de contacto de los elementos de la máquina. Una revisión periódica en un programa de mantenimiento permitirá detectar las necesidades de cromado o recubrimiento con algún metal resistente de la superficie de contacto de estos elementos los cuales sean capaces de restablecer las características óptimas de los elementos para el proceso de producción.

Debe analizarse detenidamente el costo y tiempo de entrega de los elementos a los cuales se les aplique este trabajo, ya que en Guatemala, no

existe una empresa dedicada a este tipo de trabajo, siendo los mercados más cercanos el de México y El Salvador.

Figura 9. **Cromado de piezas de extrusora**



Fuente: *Cincinnati Works.*

Estos trabajos deben realizarse con precisión tanto en la aplicación del metal que recubrirá al elemento, como mantener la exactitud de las dimensiones especificadas del mismo. Así también una evaluación beneficio/costo permitirá conocer entre la decisión de la reparación o sustitución.

El cromado puede darse en los siguientes equipos

- Cabezal
- Dado
- Mandril
- Calibrador

4.1.2.3. Corrección de desgastes

En los dos apartados anteriores se denotan consecuencias en los equipos debido al desgaste de sus recubrimientos, desbalance, entre otros. Los equipos al entrar en contacto uno con otro y crear la fricción y desgaste de sus piezas no deben de ser únicamente enderezadas y recubiertas con el material adecuado, el desgaste ocasionado por esta fricción y desgaste debe ser corregida por medio de aleaciones a los equipos que permitan volver a sus dimensiones originales, así como de mejorar las características físicas con las cuales fueron diseñadas en caso esto sea necesario.

Existen infinidad de aleaciones que pueden ser aprovechadas con este fin según las características deseadas para el equipo y el costo que representa la utilización, ya que con estas correcciones se busca mantener el equipo en condiciones óptimas de trabajo sin incurrir a los costos derivados de la sustitución.

4.1.3. Sustitución

La sustitución de los equipos, como se ha dicho en apartados anteriores, puede darse por razones como:

- Antigüedad del equipo
- Falta de repuestos dentro del mercado debido al origen de la máquina
- Disminución considerable de la capacidad de la máquina
- Obsolescencia

Cada uno de estos aspectos influyen directamente al momento de tomar la decisión de realizar una sustitución de los equipos y maquinarias de la planta de

producción, y aunque en este trabajo no se mencione, debe hacerse una evaluación en conjunción de los departamentos de contabilidad, ventas y producción, para determinar si los cambios realizados conllevarán a beneficios palpables para la empresa y que sean aprovechados por el departamento de ventas en lo que pueda referirse a disponibilidad del producto, volúmenes de producción y calidad deseada por los clientes.

4.1.3.1. Costos

Algunos costos de equipos de máquinas extrusoras son los siguientes:

Tabla XXXVIII. **Costos de equipos de extrusoras**

Línea de Producción	Descripción	Costo US\$
AC	Calibrador 4"	2,343.00
KG	Barril KMD-90	19,250.00
	Tornillos KMD-90	24,200
	Calibrador 1 ¼"	1,650.00
SK	Barril DSK-52	16,315.00
	Tornillos DSK-52	22,315

Fuente: *American Maplan.*

Cada uno de estos equipos tiene una negociación comercial de la siguiente manera:

- Orden de Compra: 30 por ciento
- Notificación de Despacho: 60 por ciento
- 30 Días a partir de fecha de Factura 10 por ciento

De esta forma debe hacerse la negociación, tomando en cuenta tiempos de entrega de hasta 8 semanas a partir de la fecha de la orden de compra.

4.1.3.2. Retorno de la inversión

Al hacer una inversión dentro de los equipos, los empresarios y junta directiva de la empresa siempre querrán saber en cuanto tiempo lo invertido será recuperado, y en este trabajo en especial, debido a la disminución del sobrepeso lo cual conlleva a un aumento en el costo de producción y consecuente disminución en el margen de contribución.

Según las características con que se haga la inversión, debe presentarse un plan en el cual se contemple el tiempo en el cual la esta se recuperará y luego de este lapso de tiempo empezará a generar utilidad para la empresa.

La venta de la tubería PVC se comporta de una manera cíclica de forma cambiante, es decir, tiene temporadas altas y bajas en el transcurso del año, cambiando año con año según características internas como externas a la empresa.

Debe evaluarse que cada línea de producción tiene una variación derivada al sobrepeso en la utilización de *Dry-Blend* que oscila entre los siguientes parámetros según las variaciones tanto del peso real, peso muestra y peso teórico de los capítulos anteriores:

- Línea SK 12-19 por ciento
- Línea GT 9-14 por ciento
- Línea AC 15-19 por ciento

Dentro de la planta de extrusión, de las tres líneas activas en la actualidad, la producción de cada una de ellas según el tamaño de tubería se distribuye de la siguiente manera:

- Línea SK: desde 1/2" hasta 1 1/2" en todas las presiones normadas por la ASTM, así como la Ductería eléctrica.
- Línea GT: desde 2" hasta 3" para la tubería de drenaje y en presión únicamente los SDR41,0 y SDR51,0 (especificado en el capítulo 2).
- Línea AC: tubería de presión de 4" hasta 12", tubería de drenaje de 4" hasta 8" y tubería de cloacas desde 4" hasta 8".

Las primeras dos líneas de producción, aunque según descripción posterior se notará que no son las mayores en lo que respecta al volumen de producción, son las que producen la tubería más comercial y de más alto movimiento para la empresa. Como punto inicial, se hará el estudio para la sustitución de los equipos dentro de estas dos líneas de producción para que dependiendo de los resultados alcanzados en estas, se tome un panorama más específico en la toma de decisión por parte de la empresa al sustituir una línea con alta capacidad de producción lo cual conlleva a un gasto mucho mayor, además de un tiempo más prolongado de recuperación por la estacionalidad de los productos fabricados en esta línea.

Suponiendo que en cada línea de producción el sobrepeso actual será disminuido considerablemente por la sustitución de los equipos, se tomará el valor menor de variación (para tomar en consideración la variación menor, y en caso de una mejora se obtengan mayores ganancias con la inversión; si se tomara el mayor, puede haber una menor variación a lo considerado y no

arrojaría los resultados deseados) con cuatro puntos porcentuales menos para ser utilizados en el retorno de la inversión efectuada, ya sea con capital propio o de fuentes externas, por lo que el retorno de la inversión para las dos líneas de producción a las que están sometidas los precios anteriores estaría en:

- Línea SK: 8 por ciento
- Línea GT: 5 por ciento

Debido a que el punto de equilibrio de la empresa oscila alrededor de las 200TM producidas y vendidas en el mes, se tomará este valor como la venta a partir de la cual se harán los cálculos de retorno de la inversión sobre el costo debido al sobrepeso. Además, la demanda puede variar en los meses del año de manera considerable y tomando en cuenta que la tubería de color blanco es la que tiene un mayor costo por materia prima, se hace una evaluación con el panorama que presenta menor margen de contribución para la empresa.

Para esto se tiene la siguiente distribución de porcentajes de producción sobre las tres líneas activas según datos estadísticos de producciones consideradas en un año atrás de datos históricos:

- Línea AC: 56 por ciento correspondiente a 112 toneladas métricas
- Línea GT: 20 por ciento correspondiente a 40 toneladas métricas
- Línea SK: 24 por ciento correspondiente a 48 toneladas métricas

Con estos valores, el sobrepeso en ambas líneas de producción (las consideradas para la sustitución) disminuiría, pero se tomará como existente según los porcentajes deseados para el retorno de la inversión para ambas líneas de producción. Además se utilizará el costo más alto de la tubería y con eso se determinará el retorno de la inversión según las siguientes tablas:

Para la línea de producción SK

Tabla XXXIX. **Retorno de inversión para la L/SK**

Descripción	Unidad	Valor	
		Sin inversión	Con inversión
Producción	TM	48	48
Costo por TM producida	US\$	2 782,62	2 782,62
Costo de lo Producido	US\$	133 565,76	133 565,76
Inversión:	US\$	0	40 280,00
Sobrepeso	TM	5,76	1,92
Costo Sobrepeso	US\$	16 027,89	5 342,63
Monto para Recuperación de Inversión	US\$	0	10 685,26
Tiempo de Recuperación	Meses	0	3,77

Fuente: elaboración propia.

Esta mejora para la línea de producción SK involucra una disminución del 12 al 4 por ciento en el sobrepeso, lo que significa una disminución en igual proporcionalidad para el costo de producción, dando un margen de contribución adicional al obtenido de 8 por ciento luego de 4 meses de sostenimiento para saldar la deuda. Solo la reducción de este costo sería equivalente a casi la mitad de la utilidad bruta deseada en un proceso de producción.

Para la línea de producción GT:

Esta línea de producción presenta una disminución del sobrepeso desde el 9 hasta el 4 por ciento, lo que significa una mejora para la ganancia de la empresa en la reducción de costos de un 5 por ciento a partir de los 9 meses en los que se ha saldado la deuda.

Tabla XL. **Retorno de inversión para L/GT**

Descripción	Unidad	Valor	
		Sin inversión	Con inversión
Producción	TM	40	40
Costo por TM producida	US\$	2,782.62	2,782.62
Costo de lo Producido	US\$	111,304.80	111,304.80
Inversión:	US\$		45,793.00
Sobrepeso	TM	3.6	1.6
Costo Sobrepeso	US\$	10,017.43	4,452.19
Monto para Recuperación de Inversión	US\$		5,565.24
Tiempo de Recuperación	Meses		8.23

Fuente: elaboración propia.

A diferencia de la línea de producción SK, esta línea tarda más tiempo en recuperar la inversión debido a dos factores: la capacidad de producción de la línea y que la ganancia marginal por la incorporación de la mejora es de 5 por ciento, es decir 3 puntos porcentuales menor a la línea SK.

Estos cuadros para el retorno de la inversión se hacen con la eficiencia actual de las máquinas para tomarlo en un campo muy extremo. Al ser reemplazados los equipos por nuevos, la eficiencia de las extrusoras aumenta con lo que el ingreso para cada una será mayor y el tiempo de recuperación de la inversión se hará menor a lo establecido anteriormente.

Como un indicador extra de por qué debe hacerse la sustitución de los equipos, en vez de optar únicamente en los trabajos de rectificación, recalibración y cromado descritos anteriormente, cabe mencionar que los equipos poseen actualmente 16 años de trabajo continuo. La vida útil de la mayoría de los equipos mencionados anteriormente no sobrepasa los 10 años y el equipo instalado en la fundación de la empresa fue de segunda mano.

Como parte de innovación para la empresa, salud de sus equipos y avances no solo en tecnología, sino que en la capacidad instalada para cubrir la demanda existente así como la ampliación del mercado atendido es que se hace la sugerencia de la sustitución de los equipos.

4.1.4. Aseguramiento de la calidad

El sobrepeso en la fabricación de la tubería PVC no afecta las características deseadas en la tubería al disminuirle sus propiedades mecánicas, ya que hace todo lo contrario, las intensifica, pero esta intensificación tiene un costo que no será trasladado al cliente final, ya que se trabaja en un mercado de competencia en precios por parte de los cinco fabricantes donde los precios están dictados y fijados por la competencia existente.

Al momento de reducir el sobrepeso en la tubería, debe garantizarse de manera completa que la tubería cumple y supera las expectativas del cliente además que se encuentra bajo las especificaciones encontradas tanto en las normas ASTM como con los estándares de la empresa.

Al evitar el sobrepeso debe procurarse no incurrir en espesores de pared menores a los mínimos especificados en la ASTM y no exceder los límites inferior y superior para los diámetros nominales, ya que esto perjudicará el acople no solo entre tuberías, sino que también con los accesorios necesarios en la instalación.

Los equipos y elementos de máquinas extrusoras deberán trabajar de una manera óptima al realizarse mejoras o sustitución, lo cual también garantizará

un incremento en la calidad en las propiedades mecánicas, físicas y químicas de la tubería.

4.2. Mejoras al producto

Así como se toman acciones correctivas para la mejora de los equipos y personal a cargo de la producción de la tubería PVC, debe también evaluarse mejoras que pueda tener el producto que permitan disminuir costos, garantizar la calidad y hacer más eficiente la fabricación de la tubería.

El producto junto con las especificaciones técnicas tanto de la empresa como de las normas ASTM permite trabajar de una mejor manera al establecerse una producción uniforme bajo sus parámetros establecidos.

4.2.1. Mejoras al estándar interno

Muchas veces la rigurosidad de los procesos de producción hacen que el querer incurrir en costos menores se vuelva todo lo contrario dejando un margen muy corto y a veces inalcanzable para la tolerancia de los productos fabricados para determinar su conformidad o no. Debe evaluarse estas especificaciones internas para determinar un método más óptimo y apegado a la realidad de la empresa.

4.2.1.1. *Thickness* o espesor de pared

El *thickness* o espesor de pared está dictado por las ASTM en tubería hidráulica y tubería de cloacas. Estos estándares no pueden ser obviados o trabajar fuera de ellos ya que esto afectaría directamente las propiedades y calidad de la tubería.

Las tuberías de bajada pluvial y ductería eléctrica poseen espesores de pared estipulados por la empresa. Si bien es cierto que el precio en el mercado lo dicta una medida de precio de venta en dólares por TM, debe evaluarse la capacidad de la empresa en obtener espesores de pared más bajos que cumplan con los requerimientos físicos y dimensional de la tubería, con el fin de aminorar costos y que el parámetro de comparación esté más acercado a la capacidad y realidad de la empresa y no a dictámenes hechos por la competencia.

Como puede observarse en los incisos 3.6.1, 3.6.2 y 3.6.3 del capítulo 3, cada uno de los pesos es analizado bajo un parámetro llamado “factor”, en donde con esto se determina el sobrepeso de la tubería. Este valor factor es un valor muy utópico, ya que esto implicaría que para tener un 0 por ciento de sobrepeso debe fabricarse la tubería toda con un espesor mínimo.

No existe alguna extrusora que garantice al 100 por ciento un nivel de producción uniforme ya que depende también de equipos externos neumáticos, hidráulicos y eléctricos, los cuales harán variar la capacidad real de producción de la máquina aún en cantidades muy pequeñas.

Debe realizarse un análisis dentro de la empresa, y dictar una dimensión acorde que permita tener un parámetro de comparación real y no utópico. Aun con este nuevo “factor” debe mantenerse el actual, porque esto dictará el sobrepeso que contiene la tubería con respecto al mínimo ya que puede servir para toma de decisiones futuras en lo que respecta a maquinaria y elementos de las extrusoras.

4.2.1.2. Ovalación

Al momento de garantizar por medio de las mejoras a la matricería la uniformidad en el flujo y las dimensiones en la producción de la tubería PVC deben seguirse los estándares indicados en las normas ASTM para la ovalación máxima.

Este valor depende del diámetro mayor y menor que posea la tubería para no exceder un máximo establecido por la norma que es lograda con un dimensionamiento justo de la tubería, el buen estado de la maquinaria y otros elementos de las extrusoras que junto con las condiciones de operación adecuadas y la atención debida de los operarios hará una producción con eficiencia de la tubería.

Muchas veces la ovalación de la tubería es considerada como un requisito, pero sin darle un énfasis importante hasta que este excede los límites de la norma o por pruebas de acople el departamento de calidad verifica que el producto debe ser rechazado por la inconformidad con respecto a lo que la norma especifica. La garantía de que esto pueda ser evaluado de la mejor manera es de tener un estándar de comparación un poco menor a lo que la norma especifica, ya que al momento de llegar a un punto crítico, podrán tomarse las medidas necesarias para la corrección de errores sin verse en la necesidad de rechazar un producto.

4.2.1.3. Uniformidad

Como se menciona en los apartados anteriores, la uniformidad es un aspecto importante a determinar para la reducción del sobrepeso en la fabricación de tubería PVC.

Tanto los espesores, el diámetro, el flujo dentro de la extrusora, las dimensiones de cabezales, calibradores, etcétera, deben estar en constante revisión y ajustadas a las dimensiones requeridas tomando en cuenta el costo tanto de incurrir levemente en sobrepeso y el costo de mantenimiento de condiciones óptimas para determinar a qué porcentaje alcanzado de sobrepeso deben tomarse las acciones correctivas y tener un balance adecuado entre costos de mantenimiento y costos de sobrepeso.

Con la uniformidad en el proceso de producción de tubería PVC no se garantiza únicamente la disminución de los costos de fabricación, sino que también el estar dentro de los parámetros establecidos tanto por la ASTM como por los estándares internos de la empresa y por tanto la calidad de la tubería fabricada.

4.2.2. Pruebas externas

Al no tenerse una certificación por parte de alguna norma de calidad tanto en la fabricación de la tubería como de las pruebas realizadas en el laboratorio de control de calidad, la empresa debe apoyarse de certificaciones extendidas al realizarse pruebas externas que aseguren que los productos no solo cumplen sino también exceden los estándares de calidad no solo internos, sino también de la norma ASTM.

Estas pruebas son realizadas mayormente por el Centro de Investigaciones de la Universidad de San Carlos quienes certifican realizando pruebas especificadas en las normas ASTM.

4.2.2.1. Límite de presión

Además de las pruebas de calidad a la que es sometida la tubería PVC dentro de la empresa, existe la práctica de llevar muestras al Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala para realizar ensayos destructivos sobre la tubería fabricada.

Además de los estándares de calidad que se tiene dentro de la empresa y alguna otra certificación que esta pueda tener, el Centro de Investigaciones de Ingeniería se encarga de evaluar muestras llevadas y ensayarle pruebas de límite de presión y ruptura rápida y así tener una forma de auditoría externa para la validación de la calidad de los productos fabricados en la empresa. Esta evaluación también permitirá tomar acciones acerca de la fabricación de la tubería ya que si no se consideran todas las acciones mencionada en los apartados anteriores siempre procurando mantener o incrementar la calidad, esto se reflejará en estas pruebas externas practicadas a la tubería.

4.2.2.2. Pruebas y análisis sobre materias primas

Para lograr una calidad en todo sentido y aminorar los costos debidos a la falta de esta sobre las materias primas que se utilizan en la empresa, debe asegurarse que los aspectos requeridos sean cumplidos desde el inicio del proceso de producción.

El ingreso de la materia prima a la entidad debe estar regularizado por la realización de pruebas de calidad que puedan ser establecidos en la empresa. Dichos procedimientos para controlar la calidad están enfocados a ser mayormente pruebas físicas y establecimiento de lotes de producción ayudados

con los certificados de análisis dados por el proveedor en la compra del producto.

La naturaleza de las materias primas en cuanto a propiedades químicas para su verificación y establecimiento de conformidad con lo requerido no puede ser establecido o revisado dentro del laboratorio de control de calidad debido a que los equipos necesarios para realizar esta prueba exceden los costos de operación y su factibilidad se hace poca ya que los problemas por materia prima deficiente son raros y muy escasos.

4.2.3. Auditorías externas

Como toda empresa, el proceso de certificación sobre alguna norma de calidad siempre estará en las miras de opción para corto o mediano plazo dependiendo lo que se requiera certificar.

Estas auditorías son no sólo necesarias sino que hacen un mejoramiento de la calidad y la búsqueda continua no sólo de la misma sino que de todos los aspectos de la empresa para hacerla más eficiente, incluyendo costos y sobrepeso de fabricación de la tubería PVC.

Así como existen requerimientos de auditores externos para mantener y validar la certificación obtenida en la empresa, puede requerirse cuando las condiciones así lo permitan de una auditoría externa por parte de una entidad para corroborar e incrementar la eficiencia de la empresa en todos sus aspectos:

4.2.4. Trazabilidad

La trazabilidad no será más que el rastreo exacto de todo el proceso de producción mediante la identificación de los lotes, tanto de materia primas, producto en proceso y producto terminado.

Una afinación correcta de la información correspondiente a la trazabilidad permitirá un exacto conocimiento de los costos derivados al sobrepeso por la fabricación de la tubería PVC al determinarse con exactitud los lotes de materia prima requeridos y por medio de los costeos y prorrateos identificados para la compra e importación de los productos, así como los costos de energía eléctrica y mano de obra directa.

Esta trazabilidad permitirá conocer de manera más exacta y eficiente también las personas involucradas en el proceso de producción de la tubería y la identificación de la existencia de errores humanos para tomar las medidas necesarias ya sea de adiestramiento por falta de conocimiento o por mala utilización de los equipos de las máquinas extrusoras.

4.3. Capacitación al personal (mejoras)

Así como existen factores atribuibles al proceso de producción de pueden y deben mejorarse, existen exigencias al personal, demanda de capacidad y adiestramiento que pueden también a su vez ser mejorados. Esto con el objetivo de hacer el proceso de producción más objetivo, y menos subjetivo, haciendo que dependa mucho del personal operante de la máquina. Esto se logra con la estandarización de los conocimientos de los operadores por medio de las acciones descritas a continuación.

4.3.1. Adiestramiento

Dentro de la empresa existen personas con mucha experiencia en lo que se refiere a extrusión de tubería PVC, tanto que los problemas que pueden ir surgiendo dentro del proceso de extrusión se han vuelto parte cotidiana de su trabajo.

Estas personas así como personal proveedor de maquinaria y equipamiento pueden dar laboratorios o adiestramientos al personal para que con la práctica y aprendizaje empírico conozcan a detalle el proceso de producción de la tubería PVC.

Estos adiestramientos pueden incluir resolución de problemas cotidianos en los que se incluyan aquellos que afectan en el sobrepeso de la tubería PVC como problemas de calibrador, cabezales, mandriles adecuados y otros elementos auxiliares tanto hidráulicos como neumáticos que afecten directamente el proceso de producción.

4.3.2. Prácticas de operación

Debe instruirse al personal que tanto las pérdidas que puedan darse por el sobrepeso deben aminorarse así como las variaciones dadas por desperdicios en proceso a causa del elemento humano.

La mejora en las prácticas de operación para la disminución de desperdicios considera los siguientes aspectos

4.3.2.1. Causas relacionadas al aspecto humano

Son todas aquellas causas en las que la práctica y operación de la persona encargada de la línea de producción produzca desperdicio, dentro de las cuales están:

- Alimentación en la tolva: al realizarse la carga en forma manual, la falta de cuidado en la descarga puede provocar que el *Dry-Blend* no sea depositado en la tolva enteramente y provoque derrame alrededor de la extrusora.
- Mala alineación de los equipos: dentro de la línea de producción, los equipos encargados de dar la imprenta, largo de la tubería, campana, entre otras características finales del producto deben estar alineadas y listas para que al iniciar la línea de producción, los acabados al producto sean los establecidos y no exista pérdidas por una mala alineación de los mismos.
- Desatención de la línea de producción: debido a que el proceso no será siempre perfecto, habrá variaciones de personal a las cuales el personal debe estar atento para hacer las correcciones inmediatamente y no esperar que el departamento de control de calidad rechace una muestra para evaluar los problemas existentes. Esto es parte de la iniciativa propia que debe tener el personal sobre la atención a su línea de producción.

4.3.2.2. Causas relacionadas a maquinaria y equipo

Así como también pueden existir las causas debido al personal, existen las de los equipos y máquinas dentro de los cuales se encuentran:

- Velocidad variable de los tornillos causando una variación en la extrusión del material lo cual ocasiona cambios de temperatura y presión no deseadas dentro del proceso.
- Fallas mecánicas y eléctricas en los equipos auxiliares debido a causas externas a previsión que provocarán desperdicio en el proceso de producción.
- Antigüedad de los equipos que disminuye la capacidad deseada de las líneas de producción.

El control de los operarios en la alimentación de la tolva, el controlar la operación de la velocidad tanto de tornillo, alimentador, puller, etcétera, deben verificarse en todo momento así como temperaturas de zonas del barril, la alimentación de los sistemas de enfriamiento tanto hidráulicos como por aceite.

Existen muchas prácticas de operación establecidas pero no marcadas de forma que se registren y obliguen al operador a seguir los parámetros necesarios para optimizar y mejorar la eficiencia del proceso de producción, para esto se hace la recomendación de efectuar e implementar manuales de operación para mejorar este proceso.

Estas prácticas de operación no solo garantizarán una disminución de costos por sobrepeso sino que garantizaran un proceso de producción de

acuerdo a los parámetros establecidos para los estándares tanto de la ASTM como de la empresa.

4.3.3. Capacitación

El proceso de producción de la tubería PVC no es un proceso aislado de los conocimientos teóricos y la investigación científica para el mejoramiento de las prácticas utilizadas para dicho fin.

Al igual que el adiestramiento, proveedores tanto de maquinaria como de materias primas pueden ser elementos didácticos para el mejoramiento de las características del *Dry-Blend* y con esto mejoras no solo sobre la calidad del producto sino que también mejoramiento de características para dar un valor agregado a los mismos, mejoramiento para el desgaste de los equipos de las extrusoras y un sin fin de mejoras que pueden aplicarse siempre a los productos dentro de las cuales se pueden mencionar:

- Nuevas características de formulación (cambio en los niveles de uso de los componentes).
- Prácticas de operación que reduzcan de manera considerable los desperdicios debido a la desatención del operador.
- Mayor aprovechamiento de los equipos auxiliares instalados actualmente para maximizar su uso dando una mejora al proceso de producción.
- Cambio de técnicas para la producción de la tubería por otras más eficientes, con menor esfuerzo y mejores resultados según experiencias de los proveedores en plantas de países desarrollados.

5. SEGUIMIENTO O MEJORÍA CONTINUA

5.1. Determinación de indicadores de control

Los indicadores de control serán identificados como información tanto cuantitativa como cualitativa que permita tomar las acciones correctivas o preventivas sobre los equipos y productos con lo cual se busca siempre una disminución de los costos no deseados incurridos en el proceso de producción y específicamente para este trabajo el costo del sobrepeso en la fabricación de la tubería PVC.

5.1.1. Indicadores de matricería

Así como hay indicadores de control dentro de un proceso de producción para decir si el producto es conforme o no, si cumple con los requerimientos o características deseadas, también la matricería puede ser evaluada por medio de indicadores cuantitativos y cualitativos para determinar si las condiciones actuales de operación son las más adecuadas para esto y optimicen los recursos utilizados. Su evaluación depende de los siguientes aspectos:

5.1.1.1. Condiciones

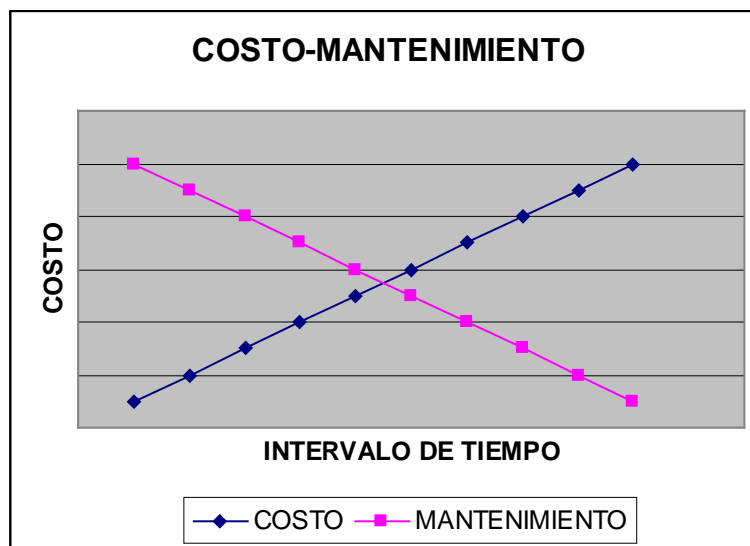
Dentro del proceso de producción de la tubería PVC no existen indicadores como tales que indiquen que la matricería se encuentra fuera de las condiciones óptimas de trabajo, para lo cual la experiencia y la ocurrencia de persistentes y constantes problemas a la hora de la estabilización de las

líneas de producción son un signo de que las condiciones ya no son las requeridas para realizar un procedimiento óptimo.

Visualmente pueden darse observaciones muy subjetivas acerca de la apariencia del recubrimiento interno, apariencia externa, acople con elementos de la extrusora, etcétera, que darán lugar a posibles problemas o fallas dentro de la producción de la tubería y con esto la derivación de problemas y costos.

Debe utilizarse al igual que para las dimensiones una evaluación con la gráfica de mantenimiento y costo la cual dará un estándar o un punto de equilibrio para realizar las reparaciones pertinentes.

Figura 10. **Diagrama costo-mantenimiento**



Fuente: elaboración propia.

5.1.1.2. Dimensiones

Existen equipos dentro de la empresa que se van desgastando por el paso del tiempo, así como por el tipo de materiales que se utilizan para el purgado de las líneas de producción. El purgado se da al finalizar una corrida de producción, en donde se necesita limpiar los tornillos, cabezales y dados con el fin que no quede *Dry-Blend* dentro de ellos y al iniciar una nueva, la salida de material este obstruida por el material atrapado y quemado. Esto se hace con una mezcla de componentes del *Dry-Blend* en cantidades mayores (cera parafina y aditivos especiales).

Este desgaste por las distintas causas provoca que las dimensiones de los equipos se vean afectadas y pierdan las condiciones óptimas de trabajo. Estas dimensiones están establecidas en los manuales de cada equipo, así como en los certificados de las correcciones que se le practiquen al momento de efectuarle una operación de mantenimiento o corrección por parte de terceros.

Estos cambios en las dimensiones pueden provocar el incremento en el costo de la producción de la tubería PVC y el incremento en los costos derivados por el mantenimiento de los equipos, por lo que al igual que en el inciso anterior, debe evaluarse junto con la gráfica de costo de mantenimiento la opción y el punto de equilibrio para la determinación de las operaciones de mantenimiento. Para esto, debe efectuarse a consideración de las condiciones financieras de la empresa un registro de tolerancias máximas permisibles en los equipos que sea utilizado como una herramienta de evaluación sobre los momentos en los cuales deberá empezar a contemplarse una inversión para la readecuación de los equipos o cambio de los mismos dentro del flujo de fondos mensual efectuado por la empresa.

Dicha herramienta será utilizada en reuniones de producción para hacer proyecciones sobre los flujos de caja y determinará la capacidad y urgencia de la empresa para realizar las correcciones debidas.

Para los equipos a los cuales se debe practicar un reacondicionamiento por la variación a sus dimensiones encontramos (estos incluyen una inversión que debe contemplarse dentro de flujo de fondos según las proyecciones del mismo y la capacidad de la empresa):

Tabla XLI. Indicadores de dimensiones de equipos

Equipo	Indicador	Tolerancia
Cabezal	Diámetro Interno (según dimensión de fábrica)	hasta 5 por ciento
Mandril	Diámetro Externo (Según dimensión de fábrica)	hasta 2 por ciento
Calibrador	Diámetro Interno (según dimensión de fábrica)	hasta 2 por ciento

Fuente: elaboración propia.

5.1.2. Indicadores de producto

Estos indicadores son los que serán más fáciles de captar, ya que el proceso mismo arroja la información. Esta está contenida en los informes y registros de producción y control de calidad, los cuales deben ser interpretados y analizados de manera que permitan conocerla evaluación de las mejoras propuestas y a su vez determinar si son necesarias otras más.

5.1.2.1. Pruebas de planta

Dentro de las normas ASTM existen requerimientos de calidad que indican si las características determinadas por las propiedades son alcanzadas o no, para esto, las normas ASTM 2241 y 3034.

El cumplimiento de estas especificaciones no solo garantiza la calidad de la tubería, sino que también un no cumplimiento de estas pruebas refleja algún problema dentro del proceso de extrusión.

Las pruebas de planta que se le deben practicar a la tubería son las siguientes:

a. ASTM D2241

Tabla XLII. Prueba de presión sostenida de agua a 23°C

SDR	PVC 1120							
	PVC 1220		PVC 2116		PVC 2112		PVC 2110	
	psi	Mpa	psi	Mpa	psi	Mpa	psi	Mpa
13,5	670	4,62	540	3,72	450	3,10	370	2,55
17	530	3,65	420	2,90	350	2,41	290	2,00
21	420	2,90	340	2,34	280	1,93	230	1,59
26	340	2,34	270	1,86	220	1,52	180	1,24
32,5	270	1,86	210	1,45	180	1,24	150	1,03
41	210	1,45	170	1,17	140	0,97	120	0,83
64	130	0,90	110	0,76	90	0,62	70	0,48

Fuente: norma ASTM D2241.

Esta prueba es la que certifica el Centro de Investigaciones de la Universidad de San Carlos, donde indican los siguientes conceptos:

- Interesado, nombre de quién requiere la prueba
- Proyecto, nombre del proyecto a desarrollar
- Asunto, prueba que se le efectúa a la muestra
- Proveedor, nombre del fabricante
- Fecha, en la cual se efectúa la prueba

Tabla XLIII. **Requerimientos de presión de ruptura para agua a 23°C**

SDR	PVC 1120		PVC 2116	
	PVC 1220		PVC 2112	
	PVC 2120		PVC 2110	
	psi	Mpa	psi	Mpa
13,5	1000	6,89	800	5,52
17	800	5,52	630	4,34
21	630	4,34	500	3,45
26	500	3,45	400	2,76
32,5	400	2,76	315	2,17
41	315	2,17	250	1,72
64	200	1,38	160	1,10

Fuente: norma ASTM D2241.

Tabla XLIV. **Resistencia de impacto a 23°C**

Díámetro	Resistencia al Impacto, ft-lbf (J) todos los SDR
1/4	10 (13,6)
1/2	10 (13,6)
3/4	15 (20,3)
1	20 (27,1)
1 1/4	20 (27,1)
1 1/2	30 (40,7)
2	30 (40,7)
2 1/2	40 (54,2)
3	60 (81,3)
3 1/2	70 (94,9)
4	90 (122,0)
5	100 (135,6)
6	120 (162,7)
8	160 (216,9)

Fuente: norma ASTM D2241.

Así también establecen la identificación de la muestra con tamaño, SDR, número de lote y norma bajo la cual fue fabricada dando los valores a los cuales

falló la prueba para determinar si cumplen o no con la determinación anterior de la tabla XLII.

b. ASTM D3034

Tabla XLV. **Fuerza de impacto mínima para tubería**

Diámetro	Fuerza de Impacto, J (ft-lbf)
4	203 (150)
6	284 (210)
8	284 (210)
9	299 (220)
10	299 (220)
12	299 (220)
15	299 (220)

Fuente: norma ASTM D3034.

Además de estas pruebas registradas en la norma ASTM existen pruebas propias de la empresa dentro de las cuales figuran:

- Inmersión en Metileno
- Reversión Térmica
- Aplastamiento

Cada una de las pruebas denotará si existen o no problemas en el proceso de extrusión, y procedimientos para corregir estos problemas y garantizar la calidad del producto.

5.1.2.2. Sobrepeso teórico

Dentro de la empresa en el departamento de Control de Procesos, existe un registro de las pruebas realizadas a la tubería llamado “hoja de rendimiento”, esta hoja tabula los registros acerca de las pruebas realizadas en un intervalo de tiempo determinado a la fábrica.

El sobrepeso teórico es revisado constantemente según las dimensiones de espesor de pared o *thickness* para mantenerlos dentro de los parámetros establecidos por la ASTM.

Un estricto control de esto reflejará que los espesores de pared se mantengan dentro de los parámetros establecidos, disminuyendo el sobrepeso por la variación de pared y tomando las acciones correctivas para mantener la calidad del producto.

5.1.2.3. Sobrepeso real

El sobrepeso real es el valor que debe ser más determinante para la valuación del sobrepeso en la fabricación de la tubería PVC. Debe darse un especial énfasis a los equipos que se utilizan para la determinación de este sobrepeso, ya que una buena calibración podrá determinar una exactitud y precisión requerida.

Este sobrepeso evalúa un tubo completo, sin hacer suposiciones de fórmulas o equivalencias que lleguen a determinar un peso por medios matemáticos, por lo tanto, de una buena determinación de este sobrepeso pueden tomarse decisiones muy acertadas que se apoyen con los resultados obtenidos por los otros dos sobrepesos.

5.1.2.4. Sobrepeso muestra

El valor asociado al sobrepeso muestra permite conocer la variación que existe de espesores de pared dentro de un solo tubo. Por varios motivos, la producción de la tubería PVC se encuentra con variaciones en el flujo de *Dry-Blend* dentro de las máquinas extrusoras que hacen que los valores de espesor de pared se vean afectados, aunque no significativamente si alteran supuestos matemáticos establecidos para la determinación del peso teórico.

El sobrepeso muestra permitirá conocer estas variaciones y con ello mejorar la uniformidad del flujo de *Dry-Blend* dentro de las máquinas extrusoras y con ello evitar variaciones en espesor de pared e incurrir en sobrepeso o estar fuera de las especificaciones contenidas en las normas ASTM.

5.1.3. Indicadores de personal

Así como es evaluado el producto para ver si satisface las necesidades y especificaciones contenidas tanto por las Normas ASTM como por los estándares internos, así también debe ser evaluado el personal, para detectar si es necesaria alguna capacitación, adiestramiento, motivación o en caso extremo, cambio y sustitución del mismo que no presente la capacidad o actitud necesaria para hacer eficiente el proceso de producción al cual pertenecen, para esto se evalúan algunos aspectos descritos a continuación.

5.1.3.1. Necesidad de capacitación

El personal operativo que hace su primer ingreso a la fábrica debe tener una inducción adecuada para que las necesidades de capacitación sean en

mejoramiento de las operaciones y no en corrección de los defectos de la misma.

La capacitación debe darse en forma de conocimiento de los equipos, el correcto uso de la matricería para la fabricación de los distintos tipos de tubería, el acondicionamiento de las máquinas para su arranque, etc.

Todos estos conocimientos se dan por ambas vías, capacitación y adiestramiento, que servirán para mejorar las operaciones por parte de los trabajadores.

La capacitación al personal debe darse no sólo en elementos afines a las operaciones de trabajo, también deben ser motivacionales, de crecimiento personal y educacional para que con esto, el trabajador incremente su efectividad y productividad y así también aporte de manera positiva al mejoramiento de la empresa.

5.1.3.2. Mejora y controles de operación

Las variaciones que pueden darse en el proceso de producción de la tubería PVC no se dan únicamente al sobrepeso de la tubería, también se da por descuidos del personal en cuanto al manejo de material, uso de equipos, registros, etc.

Deben tomarse acciones de utilización proponiendo las siguientes:

- Equipos:
 - Adecuación de equipo necesario para realizar las mediciones como lo son balanzas y básculas con precisión y exactitud requerida.
 - Uso de equipos necesarios para el montaje y desmontaje de la matricería para la producción de los distintos tipos de tubería
- Material:
 - Registro del material depositado en tolvas de las máquinas extrusoras con peso exacto y hora realizado para llevar un estricto control
 - Movimiento y llenado del material evitando desperdicio, mejorando la forma en que se deposita el material en tolva por medio de silos, bandas transportadoras, etc.
- Acondicionamiento
 - Mejorar en los registros con su implementación en los arranques de las máquinas extrusoras al final de una corrida e inicio de la siguiente, para garantizar, que temperaturas, equipos utilizados y equipos complementarios estén adecuadamente montados, establecidos y trabajando en condiciones óptimas.

5.2. Acciones a seguir para la mejoría continua

Así como fueron evaluados anteriormente algunos indicadores (contenidos en la tabla “Indicadores de dimensiones para equipos”) que podrán servir para el seguimiento y mejoría continua, debe realizarse un registro de las mejoras, así como el aprovechamiento de las nuevas tecnologías y nuevas tendencias del mundo globalizado para el incremento de eficiencia y efectividad en las operaciones de trabajo.

Personal y maquinaria deben presentar las mejores condiciones o dar las óptimas para incrementar la ganancia por su trabajo y aminorar los costos que a la larga beneficiaran a la empresa ampliando el margen de contribución que presenta la fabricación de cada tubería de PVC. Estas condiciones son la capacidad y adiestramiento del personal, conocimientos empíricos, dimensiones de los equipos, alineación, correcta planeación y programación, etc.

Los índices de peso muestra, peso teórico y peso real son los que determinan el sobrepeso existente en la fabricación de tubería PVC y así, al aumentar estos índices deben tomarse las medidas necesarias en los siguientes aspectos:

- Equipos: revisar la calibración y las condiciones con las cuales estos se encuentran funcionando, amarrados con un balanceo adecuado sobre costos de mantenimiento y costos de sobrepeso y así cuando se llegue al límite permisible tomar las acciones necesarias mediante un plan de mantenimiento preventivo y predictivo de las condiciones de los equipos.
- Producto: las pruebas internas que se practican a los productos deben mantener la rigurosidad establecida que permita tolerancias permisibles

sin desviarse de las especificaciones internas y de las normas ASTM. El uso e interpretación de registros y hojas de eficiencia y rendimiento permitirán conocer la utilización de la materia prima en la fabricación de la tubería y al encontrarse causas asignables de descontrol sobre los estándares, tomar las medidas necesarias para su corrección dentro de las limitaciones existentes o no dentro de la empresa.

- Personal: la inclusión e identificación del personal como parte importante del proceso de producción permitirá obtener un valor agregado de los trabajadores quienes al identificarse de manera llena con la empresa por medio de incentivos (no monetarios, sino que de realización, identificación, reconocimiento, etc.) harán que ellos busquen por sí mismos la mejoría y la optimización de la utilización de los recursos.
- Compras: cada sustitución de los equipos que lo ameriten o sean necesarios debe evaluarse en espacio de tiempo e inversión, porque aunque esta será retornada según las proyecciones hechas en la empresa, no pueden realizarse todas al mismo tiempo, la evaluación de los equipos y el conocimiento y aplicación en la obtención del flujo de fondos para la innovación junto con las correcciones permitirán optimizar los recursos y alcanzar mayores índices de eficiencia dentro de la empresa.

CONCLUSIONES

1. Al determinar el sobrepeso dentro de las líneas de producción y las acciones para su disminución se garantiza que la tubería de PVC fabricada por MILACRON® se encuentre dentro de los parámetros de espesor de pared de las normas ASTM. Al disminuir el sobrepeso se hace una reducción de los costos para la fabricación de la tubería PVC sin afectar su calidad ya que se mantendrá dentro de los parámetros establecidos.
2. La disminución de sobrepeso dentro de las líneas de producción disminuyen los costos por sobrepeso desde un 9 hasta un 19 por ciento de la utilización de materias primas para la fabricación de la tubería PVC (variable según la línea de producción). Esta reducción del sobrepeso implicará mayor eficiencia para la fábrica así como disminución de los costos.
3. La determinación de las condiciones de equipo así como las de operación permitió conocer las fuentes de variación de los espesores de pared en la producción de la tubería PVC, dentro de las cuales se destacan: dimensiones de cabezal, dado y mandril; utilización de matricería adecuada para la producción de productos específicos.
4. La ausencia de una calibración para obtener las dimensiones adecuadas en el proceso de producción es la causa más importante en la evaluación del sobrepeso para la producción de la tubería PVC. Este valor de

sobrepeso es diferente para cada línea de producción y también para cada producto específico fabricado.

5. Los equipos de matricería para la fabricación de tubería PVC actuales en la empresa no presentan las condiciones óptimas para este fin ya que los niveles de sobrepeso superan al 10 por ciento en las tres líneas de producción activas. El porcentaje permisible no se encuentra establecido dentro de las normas ASTM, quedando únicamente el objetivo de la empresa cuyo valor debe ser menor de 6 por ciento.
6. Con la sustitución, recalibración, rectificación y otras acciones correctivas de los equipos de fabricación de la tubería PVC se optimiza la utilización de las materias primas, se bajan los niveles de sobrepeso y se obtiene una mayor eficiencia de las líneas de producción.
7. Se establecieron indicadores para la matricería (para diámetros internos de cabezal, dado y diámetro interno de mandril) para continuar con el mejoramiento sobre la fabricación de la tubería PVC y la evaluación de los costos derivados por el sobrepeso existente dentro de las líneas de producción.

RECOMENDACIONES

1. Deben revisarse periódicamente las condiciones de los equipos y establecer un indicador sobre costo tanto de mantenimiento como de sobrepeso junto con el flujo de fondos de la empresa para que se determinen con la situación actual las acciones a seguir para la corrección de problemas en la fabricación de tubería PVC.
2. Implementar registros ya sea físicos o un panel de lecturas eléctricas (panel de control) que permitan y establezcan la información de las líneas de producción en tiempo real y en un intervalo de tiempo más corto para que al momento de efectuar las correcciones no exista una gran cantidad de producto no conforme o fuera de especificación (alrededor del 8 por ciento del material procesado se convierte en producto no conforme o fuera de especificación).
3. Evaluar la compra o adaptación de una balanza o báscula que permita pesar un tubo completo sosteniéndolo al menos de tres puntos para que esta lectura sea precisa además de que también esta posea la escala y precisión requerida para el establecimiento verdadero del sobrepeso real en la producción de la tubería.

BIBLIOGRAFÍA

1. American Society for Testing Materials. *Standard Specification for Poly(Vinyl Chloride) (PVC) Pressure-Rated Pipe (SDR Series)*. Vol 8.01: D256 - D2343. Nueva York: Staff. 2003. 638p.
2. LEADBITTER, J.; DAY, J.A.; RYAN, J.L. *Flexible Packaging-Adesives, Coatings and Processes*. Rapra Review Reports, Vol 7, Num 6. Reino Unido: Rapra, 1994. 154 p. ISSN 0880-3144.
3. NASS, Leonard. *Encyclopedia of PVC: Compounding Processes, Product Designs and Specifications*. Vol 3. Nueva York: Marcel Dekker; 1992. 320 p. ISBN 0824778235.
4. REYES PÉREZ, Ernesto. *Contabilidad de costos*. 4a. Ed. México: Limusa, 1994. 200 p.
5. URRAZA, Angel. *PVC* [en línea]. México. Grupo ANIQ. 2009 [referencia de 24 de Noviembre 2009]. Anual. Disponible en Internet. <<http://www.aniq.org.mx/provinilo/pvc.asp>>.
6. Wikipedia. *Biblioteca virtual con definción te términos técnicos en glosario*; [en línea] <<http://es.wikipedia.org/wiki/Wikipedia>>: [Consulta: 10 de mayo 2010].