



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL  
DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ELÉCTRICA**

Propuesta para mejorar la productividad del proceso de extrusión en la fabricación  
de tuberías de pvc en la Empresa Eurotubo S.A.C.

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
Ingeniero Mecánico Electricista**

**AUTORES:**

Cruz De La Cruz, Jorge Arturo (ORCID: 0000-0001-7890-4008)

Salirrosas Cuzquipoma, Lenin (ORCID: 0000-0003-4258-1651)

**ASESOR:**

Mg. Valderrama Campos, Edwin Ronald (ORCID: 0000-0003-1254-8340)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Sistemas y Planes de Mantenimiento

**TRUJILLO – PERÚ**

**2019**

## **Dedicatoria**

El actual trabajo de investigación va dirigido a Dios, por habernos dado la vida y guiarnos por la senda del bien, así mismo permitir culminar con nuestra carrera profesional. A nuestras familias por su apoyo moral e incondicional para poder lograr nuestros objetivos que un día nos trazamos.

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, agradecemos a Dios, por la sabiduría brindada, en segundo lugar, a nuestras familias por confiar en nosotros.

A mi alma mater la UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO porque en sus aulas forjé mi aprendizaje hasta convertirme en un gran profesional.

A la gran plana de docentes que guían nuestros pasos a través de las aulas con sus enseñanzas forjadas en la experiencia, grano a grano formaron nuestro carácter sumando sus sabios consejos, enseñanzas y amistad.

Sin dejar atrás a muchas y valiosas amistades, personas que han sido parte de cada etapa de mi profesión a las que quisiera poder agradecer por su gran amistad, consejos, apoyo incondicional y compañía en los momentos más difíciles y solitarios de mi vida.

Página del jurado

## DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD

Yo, Salirrosas Cuzquipoma, Lenin identificado con DNI Nro. 45999324 y Cruz De La Cruz, Jorge Arturo identificado con DNI N°41408665 a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, declaramos bajo juramento que toda la documentación que acompaño es veraz y auténtica.

Así mismo, declaro también bajo juramento que todos los datos e información que se presenta en la presente tesis son auténticos y veraces.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad Cesar Vallejo.

Trujillo, 20 de Julio del 2019.



FIRMA

Salirrosas Cuzquipoma, Lenin



FIRMA

Cruz De la cruz, Jorge

## Índice

Dedicatoria .....	ii
Agradecimiento .....	iii
Página de jurado .....	iv
Declaración de autenticidad .....	v
Índice .....	vii
Índice de tablas .....	ix
Índice de figuras .....	xi
RESUMEN .....	14
ABSTRACT .....	15
I. INTRODUCCIÓN .....	16
1.1. Realidad Problemática .....	17
1.2. Trabajos Previos .....	22
1.3. Teorías Relacionadas al Tema .....	26
1.3.1 Definición del PVC .....	26
1.3.2 Ventajas de la tubería de PVC .....	27
1.3.3 Aplicaciones del PVC .....	28
1.3.4 Procesos comunes de fabricación de tuberías .....	28
1.3.4.1 Extrusión .....	28
1.3.4.2 Inyección .....	29
1.3.5 Extrusora .....	30
1.3.6 Descripción del equipo .....	31
1.3.6.1 Tolva .....	31
1.3.6.2 Barril .....	31
1.3.6.3 Husillo o Tornillo .....	32
1.3.6.4 Alabes o Filetes o Paleta de Pistón .....	32
1.3.6.5 Sistema de calentamiento del cilindro .....	33
1.3.6.6 Sistema de enfriamiento del cilindro .....	33
1.3.6.7 Importancia de la temperatura en la fase de alimentación de la resina .....	33
1.3.6.8 El motor .....	34
1.3.6.9 El cabezal .....	34
1.3.6.10 El plato rompedor y filtros .....	34

1.3.6.11 Torpedo.....	35
1.3.6.12 Boquilla.....	35
1.3.6.13 Relación de compresión y relación L/D .....	36
1.3.7 Aplicaciones de los productos .....	37
1.3.8 Especificaciones de la maquina .....	38
1.3.9 Descripción del funcionamiento de una extrusora .....	39
1.3.9.1 Transporte de solidos (Zona de alimentación) .....	39
1.3.9.2 Fusión (Zona de transición) .....	40
1.3.9.3 Transporte del fundido (Zona de dosificado) .....	43
1.3.9.4 Modelado de la zona de Dosificación.....	44
1.3.9.5 Influencia de las variables .....	45
1.3.9.6 Efecto de las dimensiones del tornillo .....	45
1.3.9.7 Efecto de la viscosidad del polímero .....	46
1.3.9.8 Efecto de las condiciones de operación .....	47
1.3.9.9 Efecto de la restricción de la boquilla.....	47
1.3.10 Líneas de Extrusión de tubos, tuberías y perfiles .....	49
1.3.11 Materia prima para la producción de tubos de PVC .....	50
1.3.12 Formulas a usar en la planta .....	50
1.3.13 Control de entrada de materias primas .....	51
1.3.14 Mezclado del PVC .....	52
1.3.15 Moldes .....	52
1.3.16 Tina de vacío y enfriamiento .....	53
1.3.17 Jalador .....	53
1.3.18 Sierra cortadora.....	54
1.3.19 Acampanadora .....	54
1.3.20 Inspección del producto terminado .....	55
1.3.21 Transporte al almacén de producto terminado.....	56
1.3.22 Almacenamiento .....	56
1.3.23 Materia prima que se utiliza .....	59
1.4. Formulación del Problema .....	62
1.5. Justificación del Estudio .....	62
1.5.1 Económica .....	62
1.5.2 Técnica .....	62
1.5.3 Social .....	62

1.5.4 Ambiental .....	63
1.6. Hipótesis.....	63
1.7. Objetivos .....	63
1.7.1 Objetivo General.....	63
1.7.2 Objetivos Específicos .....	63
II. MÉTODO.....	64
2.1 Diseño de Investigación .....	65
2.2 Variables, Operacionalización.....	65
2.3. Población y Muestra .....	66
2.3.1 Población .....	66
2.3.2 Muestra.....	66
2.4. Técnicas e Instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad.....	68
2.5. Métodos de análisis de datos.....	68
2.6. Aspectos éticos.....	68
III. RESULTADOS .....	69
IV.DISCUSIÓN .....	93
V. CONCLUSIONES .....	97
VI.RECOMENDACIONES .....	100
REFERENCIAS.....	102
ANEXOS.....	105



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Producción mundial de plásticos (%) entre los años 2006 – 2014.....	16
Figura 2: Consumo del Plástico en el Perú y en otros países (años 2006-2014).....	16
Figura 3: Esquema de una unidad extrusora de un husillo.....	17
Figura 4: Diagrama causa efecto en la producción de tuberías de PVC en Eurotubo S.A.C.....	20
Figura 5: Sección transversal de una maquina inyectora.....	29
Figura 6: Esquema de una extrusora.....	30
Figura 7: Esquema de una Tolva Crammer.....	31
Figura 8: Esquema de las zonas funcionales del tornillo.....	32
Figura 9: Esquema de extrusor de doble tornillo.....	32
Figura 10: Esquema del tornillo mostrando sus partes, incluyendo la hélice.....	33
Figura 11: Plato rompedor y filtros.....	34
Figura 12: Vistas de un torpedo de un cabezal de extrusión.....	35
Figura 13: Sección de una boquilla circular de extrusión.....	35
Figura 14: Diversos tipos de tornillos.....	38
Figura 15: Movimiento de material dentro de una tolva.....	39
Figura 16: Corte transversal de una extrusora en la zona de transición.....	41
Figura 17: Ancho del pozo fundido a lo largo de la zona de transición.....	42
Figura 18: Relación Longitud de fusión vs Temperatura del cilindro.....	42
para una velocidad del tornillo.....	42
Figura 19: Efecto del ángulo de hélice y el número de filetes.....	43
sobre la longitud de fusión.....	43
Figura 20: Sistema de coordenadas y nomenclatura.....	44
Figura 21: Efecto de la profundidad h y de la Longitud del tornillo L.....	46
sobre las rectas operativas del tornillo.....	46
Figura 22: Líneas operativas del tornillo a diferente número de vueltas.....	47
Figura 23: Líneas características de la boquilla.....	48
Figura 24: Rectas operativas de un conjunto de boquillas y tornillos.....	49
Figura 25: Líneas de extrusión de tubos.....	50
Figura 26: Molde con patas de araña (estrella).....	52
Figura 27: Tina de vacío y enfriamiento.....	53
Figura 28: Carro de arrastre tipo oruga (jalador).....	54
Figura 29: Estructura física de una maquina acampanadora.....	55
Figura 30: Diagrama de flujo del procesamiento en Eurotubo S.A.C.....	57

Figura 31: Distribución de las zonas de calentamiento del cabezal de la línea.....	58
de resistencias eléctricas: A, B y C son resistencias internas.....	58
y del 1 al 16 son resistencias.....	58
Figura 32: Extrusor de Eurotubo S.A.C.....	59
Figura 33: Producción real diaria del mes de octubre del 2018.....	72
Figura 34: Desperdicios diarios del mes de octubre del 2018.....	73
Figura 35: Grafica de la OEE diario para el mes de octubre del 2018.....	76
Figura 36: Diagrama de barras OEE para todo el mes de octubre del 2018.....	76
Figura 37: Dispersión de los puntos de la Disponibilidad vs OEE.....	80
Figura 38: Línea de la tendencia de la Disponibilidad vs OEE.....	81
Figura 39: Dispersión de los datos Rendimiento vs OEE.....	84
Figura 40: Línea de la tendencia del Rendimiento vs OEE.....	86
Figura 41: Dispersión de los datos de la Calidad vs OEE.....	88
Figura 42: Línea de la tendencia de la Calidad vs OEE.....	90

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Características técnicas de la extrusora de doble tornillo en paralelo.....	19
Tabla 2: Tornillos para reducir el coeficiente de fricción entre el material y tornillo.....	40
Tabla 3: Composición de la materia prima para el compuesto TP-630.....	50
Tabla 4: Composición de la materia prima para el compuesto TA-630.....	51
Tabla 5: Características técnicas de la extrusora de doble tornillo paralelo.....	58
Tabla 6: Operacionalización de la variable Productividad.....	65
Tabla 7: Productividad durante los 10 meses del año 2018 para la maquina.....	66
extrusora de la línea 5.....	66
Tabla 8: Resumen: correlaciones, valoraciones y reajustes necesarios.....	70
Tabla 9: Datos de producción del mes de octubre del 2018.....	71
Tabla 10: Calculo de la OEE para el mes de octubre del 2018.....	74
Tabla 11: Valoración y descripción de diferentes OEE.....	75
Tabla 12: Resumen de la OEE para el cálculo de la correlación del mes de octubre.....	77
Tabla 13: Valores para correlación con la Disponibilidad para el mes de octubre.....	79
Tabla 14: Resumen de Correlación Disponibilidad vs OEE.....	80
Tabla 15: Datos de la Disponibilidad y la OEE correspondientes.....	81
Tabla 16: Valores para la correlación con el rendimiento para el mes de octubre.....	83
Tabla 17: Resumen de correlación Rendimiento vs OEE.....	84
Tabla 18: Datos del Rendimiento y la OEE correspondientes.....	85
Tabla 19: Valores para la correlación del OEE con la Calidad del mes de octubre.....	86
Tabla 20: Resumen de correlación Calidad vs OEE.....	87
Tabla 21: Datos de la Calidad y la OEE correspondientes.....	88
Tabla 22: Correlación lineal entre dos variables.....	90

## RESUMEN

Eurotubo S. A. C. es una empresa que se dedica a la fabricación, y comercialización de tuberías y accesorios de policloruro de vinilo (PVC). Tomando en cuenta que en la empresa Eurotubo S.A.C se encuentra instalada y en funcionamiento la línea N° 5 con el extrusor NEOTEC (SJP – Parallel Twin Screw Extruder), se planteó como objetivo principal del presente trabajo la optimización de la productividad de la planta, para lo cual se hizo uso de teorías de la Ingeniería para su realización y de esta manera lograr identificar los problemas. El proceso se sometió a análisis utilizando el diagrama de Causa-Efecto, para luego determinar los factores que afectan la productividad, se utilizó un indicador de productividad conocido como la eficiencia global del equipo (OEE) que considera el rendimiento, la disponibilidad y la calidad. Como muestra se utilizó información diaria del mes de octubre del 2018 del tiempo de disponibilidad de la línea (TD), tiempo de funcionamiento de la línea (TF), producción real (PR), capacidad de la máquina (C) y desperdicios generados (D). En primera instancia se calculó el promedio de la OEE arrojando un resultado promedio de 63.57%, calificación considerada como deficiente. Luego, al calcular el índice de correlación de Pearson se determinó que la variable rendimiento debe reajustarse con más prioridad, siguiendo la variable calidad; con menos injerencia la disponibilidad. Luego se evaluó los componentes y su funcionalidad en la extrusora para determinar sus partes críticas y poder corregir el rendimiento y la calidad.

Posteriormente se evaluó el punto operativo de la extrusora, basándose en la ley de la conservación de la masa que considera que el caudal de la masa fundida que discurre por el tornillo es igual al caudal del material que sale de la boquilla; es decir no hay acumulación interior en la extrusora.

En los cálculos se tomaron en cuenta la información técnica de la extrusora NEOTEC de Eurotubo S.A.C. El caudal calculado fue de 829 Kg/h y comparando con el dato real (503.05123 Kg/h) observamos que la eficiencia de funcionamiento de la extrusora es del 60.68%. Por consiguiente este resultado nos sugiere un análisis más exhaustivo de las partes internas de la extrusora.

**Palabras claves:** productividad, calidad, rendimiento, disponibilidad y Eficiencia Global del Equipo (OEE).

## ABSTRACT

Eurotubo S. A. C. is a company that manufactures and markets polyvinyl chloride (PVC) pipes and fittings. Taking into account that in the company Eurotubo S.A.C the line N ° 5 with the NEOTEC extruder (SJP - Parallel Twin Screw Extruder) is installed and in operation, the main objective of this work was to optimize the productivity of the plant by using theories of Engineering for its realization and in this way to identify the problems. The process was analyzed using the Cause-Effect diagram and then determining the factors that affect productivity using a productivity indicator known as overall equipment efficiency (OEE) that considers the availability, performance and quality. As a sample, daily data was used for the month of October 2018 of the line availability time (TD), line operating time (TF), real production (PR), machine capacity (C) and waste generated (D). In the first instance, the average of the OEE was calculated, and yielded an average result of 63.57%, a rating considered deficient. Then, when calculating the Pearson correlation index, it was determined that the performance variable must be readjusted with more priority, following the quality variable; with less interference the availability. Then the components and their functionality in the extruder were evaluated to determine their critical parts and to be able to correct the performance and quality.

Subsequently, the operational point of the extruder was evaluated, based on the law of the conservation of the mass which considers that the flow rate of the melt flowing through the screw is equal to the flow rate of the material leaving the nozzle; that is, there is no internal accumulation in the extruder.

In the calculations, the technical data of the NEOTEC extruder of Eurotubo S.A.C. was taken into account. The calculated flow was 829 Kg / h and compared to the actual data (503.05123 Kg/h) we observed that the operating efficiency of the extruder is 60.68%. Therefore, this result suggests a more exhaustive analysis of the internal parts of the extruder.

Keywords: productivity, quality, performance, availability and Global Equipment Efficiency (OEE).

## **I. INTRODUCCIÓN**

## 1.1 Realidad problemática

A través de los tiempos en la civilización, ningún producto ha favorecido tanto en la salud y el confort de las personas como es el caso de las tuberías de policloruro de vinilo (PVC), anterior a ello se utilizaba la tubería de arcilla cruda.

A principios del siglo XX, en este campo, el de las conducciones, el policloruro de vinilo (PVC) vivió sus primeros años de popularidad. Las principales razones para que se empezara a difundir este tipo de tubería fueron la sencillez de su instalación en comparación con las tuberías de hierro, y su bajo costo, además de la durabilidad que empezaba a comprobarse que tenía.



Figura 1. Producción mundial de plásticos (%) entre los años 2006 - 2014

Fuente: Condori 2016.

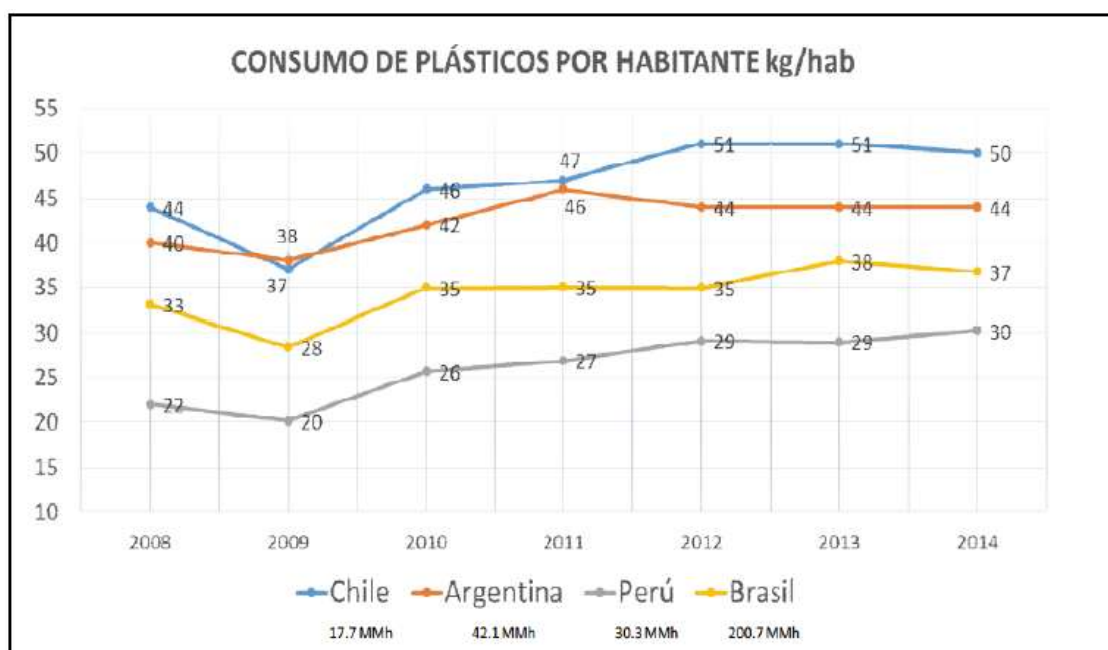


Figura 2. Consumo del plástico en el Perú y otros países (años 2006-2014)

Fuente: Condori 2016.

En la figura 2 representa el consumo del plástico en kilogramos por habitante (Kg/hab) en el Perú y otros países entre los años 2006 y 2014.

Actualmente se trata de un material muy común, empleado para abastecer de agua de riego, evacuación de aguas residuales y consumo humano.

Las tuberías de PVC se desarrollan mediante un proceso denominado extrusión. Proceso industrial en la cual se utiliza principalmente el cloruro de vinilo que comprende las etapas de prensado, moldeado que por flujo constante con presión y empuje, se le conduce por un molde que le da forma deseada.

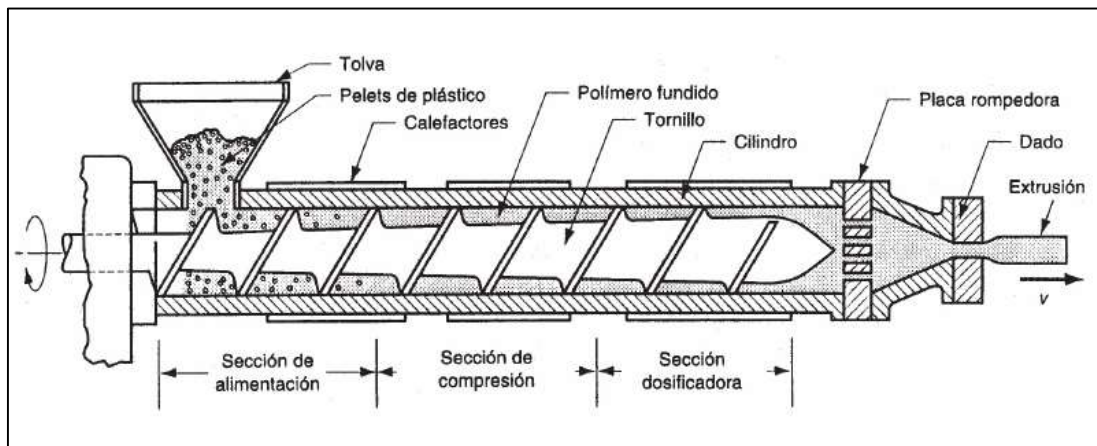


Figura 3. Esquema de una unidad extrusora de un husillo.

Fuente: Parra, 2017, pg. 6.

En la figura 3 se muestran las secciones, componentes principales y el material polimérico que fluye en el interior de la extrusora de un tornillo.

El producto fundido es obligado a trasladarse por una boquilla mediante un impulso hecho por la acción giratoria de un husillo o tornillo sin fin giratorio dentro de una cámara que se encuentra a temperaturas elevadas y controladas llamada cañón, separando unos pocos milímetros entre ambos componentes.

La mezcla polimérica está dentro de una tolva en el extremo inicial de la máquina y por el empuje del mismo material y el calor se funde, fluye y se mezcla en el cañón. Por la boquilla el material fundido sale al otro extremo del cañón para posteriormente obtenerse el producto con dimensiones determinadas previamente.

Los cambios que experimenta el material ingresado a la extrusora deberán ser rigurosamente controlados a cada instante del proceso y a lo largo de la extrusora, lo que significa la posibilidad de presentar fallas durante la producción y como consecuencia de ello incumplir las normas de calidad del producto obtenido, por tales motivos, es sumamente importante contar con un estricto mantenimiento de los equipos y máquinas que conforman la extrusora. (Anexo 1).



La empresa EUROTUBO S.A.C; con más de 20 años trabajando en Perú, produciendo y comercializando tuberías y accesorios de policloruro de vinilo no plastificado (PVC-U), policloruro de vinilo clorado (CPVC), polietileno de alta densidad además de barras y planchas de polietileno (PEAD/HDPE) en el uso domiciliario y productivo conductores de agua, energía y efluentes.

Una línea de producción se conforma por 6 máquinas principales: La extrusora (plastifica el polímero), la tina de vacío y enfriamiento (da forma a la tubería y la solidifica a través de agua fría), el marcador (realiza el rotulado en la tubería según normas técnicas), jalador (realiza el proceso continuo y a velocidad constante), la cortadora (secciona a la tubería según normas) y por último la acampanadora (realiza la campana para el embone en un extremo de cada tubo). El presente estudio se limitará a estudiar solo la extrusora.

Actualmente en la empresa Eurotubo S.A.C. uno de los problemas principales que se presenta es la no conformidad en el producto final, esto debido a perturbaciones o defectos en el proceso de extrusión.

Se propone una mejora en las acciones de prevención y solución a los problemas que presenta el proceso de extrusión, donde la principales afectaciones son la eficiencia, el alto índice de reproceso y el aumento de producto no conforme, tales factores se ven reflejados en defectos críticos que afectan directamente la calidad del producto lo cual representa tiempos improductivos, reclamaciones y en algunos casos devolución de producto por parte del cliente. En la empresa Eurotubo S.A.C. utiliza la máquina extrusora China de marca NEOTEK modelo: SJP-110, actualmente llamada por los operarios como Línea N° 5. En la Tabla 1 se indican algunas características técnicas colocados en el anexo 2.

El producto fundido es obligado a trasladarse por una boquilla mediante un impulso generado por la acción giratoria de un husillo o tornillo sin fin giratorio dentro de una cámara que se encuentra a temperaturas elevadas controladas llamada cañón, separando unos pocos milímetros entre ambos componentes.

La mezcla polimérica está dentro de una tolva en el extremo inicial de la máquina y por el empuje del mismo material y el calor se funde, fluye y se mezcla en el cañón. El material fundido sale por la boquilla en el otro extremo del cañón para posteriormente obtenerse el producto con dimensiones determinadas previamente.

Los cambios que experimenta el material ingresado a la extrusora deberán ser rigurosamente controlados a cada instante del proceso y a lo largo de la extrusora, lo que significa la posibilidad de presentar fallas durante la producción y como consecuencia de

ello incumplir las normas de calidad del producto obtenido, por tales motivos, es sumamente importante contar con un estricto mantenimiento de los equipos y máquinas

**TABLA 1.** *Características técnicas de la extrusora de doble tornillo en paralelo.*

MODELO	SJP-110
POTENCIA DE CONDUCCIÓN (Kw)	75
DIÁMETRO DE TORNILLO (mm)	110
POTENCIA DEL MOTOR PRINCIPAL (Kw)	110
VELOCIDAD DE ROTACIÓN DE TORNILLO (rpm)	45
CAPACIDAD DE SALIDA DE PVC (Kg/h)	350 - 650

Fuente: Elaboración propia

Este trabajo plantea una propuesta de mejora al funcionamiento de la maquina extrusora con la finalidad de obtener en un mínimo tiempo posible un buen producto de calidad.

Considerado como uno de los componentes más importantes en este proceso el cual cumple la función de otorgar la temperatura ideal de trabajo a toda la parte del cilindro y cabezal son las resistencias calefactoras de níquel–cromo, estas suelen fallar en distintos puntos específicos, lo que provoca defectos en la estructura de la tubería, también eleva los tiempos muertos de producción debido a las paralizaciones en la línea, provocando reducción de producción y elevación de las horas hombre dedicadas a la reparación.

Finalmente, este estudio es de mucha importancia pues ayudará a realizar las modificaciones necesarias en el proceso con el objetivo de aumentar la productividad, aprovechando de modo eficiente los recursos.

En el diagrama de la Figura 4 se muestra en forma integral la información correspondiente, que deviene en una baja productividad.

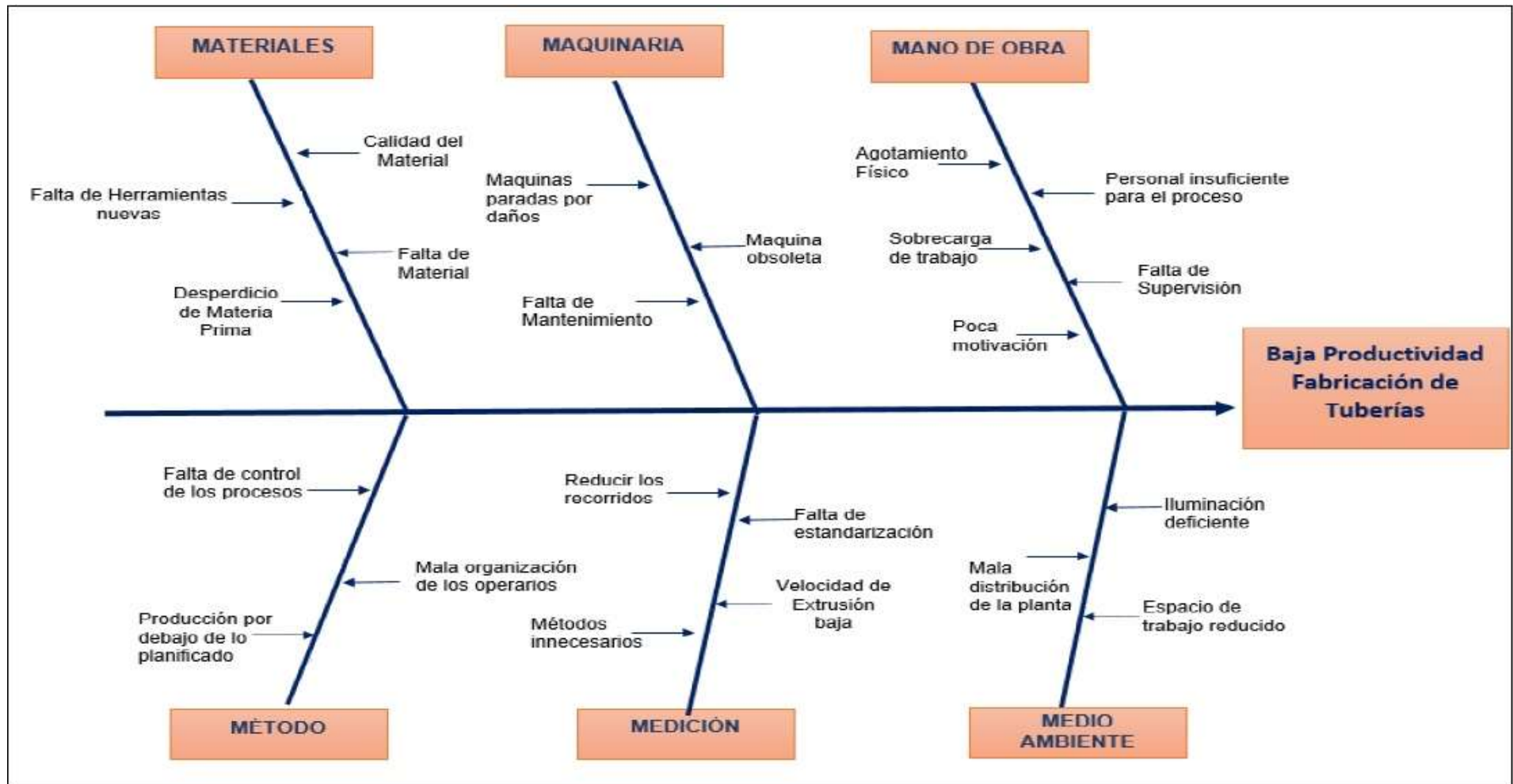


Figura 4. Diagrama causa efecto en la producción de tuberías de PVC en Eurotubo S.A.C.

Fuente: Elaboración propia.

## 1.2. Trabajos previos

**Mera Rivera, Gregorio Luis (2008)** realizó su proyecto de tesis, y propuso optimizar los procesos de producción haciendo uso de algunos métodos de la Ingeniería. Para la realización del estudio se identificó los problemas sometiendo a análisis tales como: diagrama Ishikawa (Causa-Efecto), Curva cerrada o Distribución A-B-C (diagrama de Pareto), Métodos de Evaluación y Evaluación de fallas por áreas, y posteriormente determinó que la causa principal de la obtención de desperdicios es en la extrusora por varias razones tales como: cambio de molde, arranque de máquina, sobrecalentamiento, etc.

La alimentación con la materia prima se preparó según la formulación seleccionada para la tubería a producir, se arrancó la máquina a 63°C, se agregó estearato de calcio, a medida que subía la temperatura se le agregó en este orden: la cera parafínica, el estabilizante, el titanio, y el colorante, el ácido esteárico, y cuando alcanzó entre los 80 - 90°C se le adicionó el carbonato de calcio.

A los 110°C cumplió su secuencia de mezclado, y automáticamente la mezcla es expulsada al equipo de enfriamiento, durante este proceso han transcurrido 6.5 minutos, luego la mezcla es enfriada en tiempo máximo de 20 minutos y un mínimo de 7 minutos, cumplido el tiempo se saca la mezcla la cual es descargada en calidad de materia prima para embalarla en sacos de 25 kilos, Esta mezcla es utilizada al poco tiempo para la elaboración de tuberías en la maquina extrusora.

Paralela a esta labor el operador cambia el molde del cabezal, según el tipo de producto del cabezal, limpia la tolva de residuos y prepara el silo con el material a utilizar, limpia la bomba de vacío, y acondiciona la maquina extrusora a partir de la tina de enfriamiento, las orugas jaladoras, la guías de entrada y salida de corte. En la acampanadora cambia las mordazas y los formadores de campana, regula la longitud de corte y guías de soporte, este proceso de acondicionamiento de la maquina extrusora dura aproximadamente una hora, tiempo en el cual precalienta la máquina de acuerdo a las temperaturas, velocidades y amperajes definidos.

Debido a que en la empresa Boplast no existe una debida planificación de producción y un adecuado plan de mantenimiento preventivo; se plantea como una propuesta de soluciones lo siguiente : El Programa Maestro de Mantenimiento Preventivo, Plan de Reducción del Tiempo de Cambio del Molde, Programa Maestro de Producción y procedimientos. Esto permitirá el mejoramiento de los procesos y minimizar el porcentaje de los desperdicios.

**Sués cum Trejos Juan Alberto (2007)** en su trabajo de Tesis, logra identificar las limitantes funcionales de la extrusora de doble tornillo, y en el afán de optimizar su funcionamiento propone posibles soluciones y lograr incrementar la productividad, así como también ahorrar insumos y recursos.

Consigue demostrar que en un rendimiento óptimo de una maquina extrusora de doble tornillo se tiene en cuenta los siguientes factores: diseño del molde y tornillo, características del material a emplearse y como el material se comporta en el proceso.

Estos son los que inciden más para obtener un producto bueno y el mal control puede acarrear grandes pérdidas de producción generando altos costos de proceso.

Además de obtener mayor rendimiento recomienda considerar el factor medioambiental en la disminución de la emisión de residuos sólidos y ahorro de la energía.

Logra identificar las limitaciones de producción y propone las soluciones con la finalidad de aumentar la productividad y ahorrar recursos e insumos utilizando una extrusora europea.

La metodología que usó para mejorar del proceso se basó en pruebas in situ de una nueva máquina extrusora de doble tornillo y se consideraron tres subprocesos siguientes: La formulación de la materia prima, el diseño del calibrador y el diseño del molde. Se dieron herramientas de evaluación y de identificación de aspectos ambientales, incluida la variable de calidad, para determinar la solución donde se incluye la variable de calidad. Previo a modificar en el proceso de formado, toma en cuenta las leyes que rigen a los materiales visco elásticos en este caso PVC y el método para evitar algún impacto ambiental.

Luego, se verifico lo que limita al proceso que no ayudan a tener buenos rendimientos teniendo en cuenta la fórmula del molde, los calibradores y el compuesto, y se definieron los más principales para solucionar, teniendo en cuenta el aspecto ambiental.

**Gabriel Peña, Manuel Sarcos y Gladys Quevedo (2016)** en su proyecto de investigación, hicieron un estudio referido a la determinación del efecto del perfil de temperatura en la extrusora (G201) de polietileno de baja densidad (PEBD) con respecto a la calidad del producto final. Los parámetros más influyentes en el proceso de extrusión, para dicho perfil fueron el sistema de enfriamiento de cada zona y el sistema de termo fluidos para cabezal y placa hilera.

El índice de fluidez (IF) estuvo mayormente dentro del rango norma, las variaciones notables fueron temperaturas en cabezal y placa hilera. Se recomendaron perfiles óptimos

donde se cumplan las propiedades de calidad con mayor eficiencia operacional. Se determinó que las zonas 1, 2, 3 y 4 operan dentro del rango normal favoreciendo la calidad del producto; excepto por cabezal y placa hilera, donde el comportamiento térmico presenta desviaciones hasta de 12% del objetivo; surgieron variaciones notables en la optimización del proceso.

Los resultados fueron:

Identificar los factores que influyen para que funcione la extrusora de producción de polietileno de baja densidad.

Seleccionar los perfiles de temperaturas de la extrusora de producción de polietileno de baja densidad desde la data histórica de la planta.

Comparar los perfiles de temperatura de la extrusora de producción de PEBD con los proporcionados por la herramienta de predicción disponible en planta.

Recomendar las condiciones operacionales que puedan favorecer la calidad del producto final.

Finalmente eligieron parámetros según el criterio de la teoría considerados, con el fin de obtener polietileno de baja densidad de calidad, fomentar el aumento de la producción del mismo disminuyendo la energía utilizada haciendo rentable el proceso. Todos los resultados considerados son a partir del valor del índice de fluidez para cada grado.

Y concluyeron que las variables de mayor importancia para el funcionamiento ideal de la extrusora son: las temperaturas de agua presurizada para el enfriamiento de las zonas; la temperatura de los termofluidos encargada de la calibración de temperaturas del cabezal y placa hilera para el buen corte; la potencia del motor, encargada de suministrar energía al tornillo; la potencia de consumo de la extrusora con las directivas operacionales actuales está reflejando un consumo de energía elevado, los resultados en la data seleccionada arrojó mejores valores; para los tres grados (FA0240, FB7000 y FB3003) se observó una disminución de al menos 200kW, esto pudiese ser considerado como un atractivo para el departamento de rentabilidad de la empresa.

**Palomino, M. (2012)** realizó el proyecto de investigación referida a la implementación de Lean Manufacturing en la producción de una planta envasadora de lubricantes, se determinó que la optimización de la eficiencia de las líneas productivas fue determinada a través de la O.E.E. (en inglés: Overall Equipment Effectiveness) que evalúa aspectos de disponibilidad, calidad y rendimiento en las líneas de envasado. Al analizar el proceso,

se detectó como principal problema el rendimiento. Cuando se obtenían buenos indicadores de calidad y de disponibilidad, el indicador de rendimiento terminaba por perjudicar negativamente el resultado de la OEE. Cuando se detalla el rendimiento se puede observar al tiempo excesivo de paradas como el factor principal.

**Mora, Suarez y Rodríguez (2010)** realizaron un proyecto de investigación donde propusieron implementar una Metodología de Calidad y Productividad en una PYME del rubro del plástico, este proyecto realizado en empresa PVC, se identificó los problemas críticos y se dieron soluciones que están planteadas con metodologías para la mejora continua. Estas técnicas están orientadas al puesto de trabajo como la filosofía de origen japonés 5S, los resultados que se obtuvieron se reflejaron en una mejora en la satisfacción del cliente, mejor efectividad en el cumplimiento de pedidos, mejor coordinación interna entre jefaturas de las áreas y una mayor contribución de ideas de mejora de parte del personal.

**Buestan y Samaniego (2010)**, En su proyecto de tesis de pregrado realizado, tuvo como objetivo el desarrollo de un método para aumentar la Calidad y Productividad en la empresa Plastigrup del rubro Plástico, identificando problemas y planteando soluciones. El crecimiento de la calidad y producción en la empresa y la mejora organizacional en el puesto de trabajo se lograron luego de implementar la filosofía japonés de 5S. Las expectativas y requerimientos del cliente se realizaron mediante el desarrollo del mapeo del trabajo, se mejoró las comunicaciones internas entre departamentos, se mejoró la organización de los puestos de trabajo, se redujo los rechazos por no conformidades del producto y al plantear objetivos comunes en las áreas de producción y ventas de mejoro mucho la comunicación.

**Garate Cervera (2015)** en su trabajo de investigación diseñó un sistema para aumentar la producción en una Fábrica de Accesorios y Tuberías Plásticas en base a Lean Manufacturing. Durante su análisis emplearon data histórica, entrevistas con el personal y fichas de encuestas para determinar su situación actual. Allí se encontraron los problemas de cuellos de botella con máquinas de proceso, no había un orden y limpieza por lo que se generaba que el material se pierda, había personal operador que no era el adecuado para su puesto de trabajo, no se encontraba estandarizados sus procesos productivos. Con un estudio de tiempos se dio la solución de implantar un sistema de

producción que usaba manufactura esbelta como 5S y se estandarizó los procesos dando como resultado un aumento de la eficiencia y de la productividad total como empresa.

**Díaz Osorio (2016)** en su trabajo de tesis, realizó un estudio de métodos y tiempos para dar soluciones para la estandarización del proceso de extrusión de tubería sanitaria de la máquina 3 en CONSTRUPLAST. Este trabajo se hizo para comprender, medir y recabar información acerca de los procesos productivos de la empresa que son extrusión, mezclado, pulverizado y liberación del producto, previo a almacenes, además de verificar los indicadores de producción como el indicador OEE que nos mostrara si los problemas para no cumplir con el indicador son por paradas no programadas de máquinas, por capacidad ociosa de las máquinas o por que las unidades producidas están defectuosas. Luego de este diagnóstico se analizaron y detallaron las actividades internas y externas de los procesos para corregir los problemas encontrados, y movimientos innecesarios a través de una propuesta que ayuden a aumentar la productividad del proceso. Cuando se implementó la propuesta se verificó un aumento en la productividad del proceso al 80.4% a partir de los criterios siguientes:

Disminución en los tiempos en el proceso de extrusión.

En el proceso de extrusión se estandarizó.

Implementación de un almacenamiento y enfriamiento de materia prima.

Aumento de la calidad de la mezcla.

Creación de KPIs para examinar la eficiencia del proceso de extrusión.

Al implementar todas estas soluciones la empresa avanzó competitivamente mejorando la visión de satisfacer las necesidades del mercado regional a través de la mejora continua de procesos.

### **1.3. Teorías relacionadas al tema**

#### **1.3.1. Definición del PVC:**

El PVC (policloruro de vinilo), es un polímero plástico que se origina de la polimerización del monómero cloroetileno, llamado cloruro de vinilo. Dichos componentes del PVC derivan del gas natural o del petróleo y del cloruro de sodio, e incluyen carbono, cloro e hidrógeno.

En su estado fundamental frecuente, el PVC es un polvo amorfo y blanquecino. La resina producto de la mencionada polimerización es un plástico que fue creado para múltiples maneras de uso, ya que pueden ser plásticos flexibles o rígidos.



Cuando el PVC es sometido al calor, esta se vuelve flexible y se moldea con facilidad, a esta propiedad del polímero plástico se le conoce como termoplástico, para recuperar su solidez se procede a enfriarla sin que el PVC pierda su nueva forma. El PVC es el material utilizado en mayor proporción para fabricar tubos.

### **1.3.2. Ventajas de la tubería de PVC**

#### **- Resistencia a la corrosión**

Los compuestos corrosivos y demás compuestos químicos que se usan para el mantenimiento de los sistemas de redes instaladas, no afectan la superficie del PVC.

#### **- Resistencia a las incrustaciones**

Las tuberías de PVC cuentan con sus paredes internas bien fabricadas, capaces de impedir la formación de precipitaciones y demás incrustaciones corrosivas.

#### **- Hermeticidad**

No permite las filtraciones, también restringe la inclusión de raíces de plantas.

#### **- Menores pendientes**

Para minimizar los gastos por excavación y movimientos de tierra, se tiene un bajo coeficiente de rugosidad pendiente con lo que se minimizan los gastos de obra.

#### **- Aislante**

Las tuberías de PVC son completamente aislantes porque no conduce la electricidad y el calor.

#### **- Atoxicidad**

La tubería de PVC es inocua e inerte, entonces no afecta el sabor, olor, composición del fluido que transporta la tubería.

#### **- Auto extinguable**

Capacidad del PVC para cesar de arder y propagar la combustión por la tubería, después de que el fuego haya sido originado.

#### **- Flexibilidad**

La unión flexible junto con sus propiedades de diseño de la tubería, permiten un buen comportamiento durante eventos sísmicos, porque absorben las deformaciones del terreno, ayudando adicionalmente a la seguridad del proyecto.

#### **- Peso liviano**

Los tubos de PVC poseen una gravedad específica de 1.36-1.46 g/cm<sup>3</sup>, lo cual

hace que las tuberías tengan un peso liviano y esto pueda facilitar su instalación, así como también reduce los costos ya sea de instalación y su transporte.

- **Rapidez en la instalación**

Permite un gran avance en obra, gracias a su peso ligero y a la simplicidad de su instalación acorta los tiempos de trabajo en comparación con otras tuberías hechas de otros materiales.

- **Economía**

Todas estas ventajas se convierten en el tiempo en ahorro de dinero (Eurotubo S. A. C).

**1.3.3. Aplicaciones del PVC**

Construcción	Empaquetado	Mobiliario	Electricidad y Electrónica	Aplicaciones medicas	Vestimenta y anexos	Automotriz	Varios
-Tuberías para agua potable y evacuación, ventanas, persianas, puertas, zócalos, pisos, paredes, laminas para impermeabilidad y canalización para instalaciones eléctricas.	Botellas para agua, frascos y popotes, láminas o films y blister.	Muebles para jardín (reposeras, mesas, etc.); piezas para muebles (manijas, rieles, burletes, etc.); placas divisorias.	Partes eléctricas para artefactos, aislamiento de cables, cajas de distribución eléctrica, enchufes, carcazas y partes para computadoras.	Tubos y bolsas para sangre y diálisis, catéteres, válvulas, dentales, etc.	Calzado (botas, zapatillas), ropa de seguridad, ropa impermeable, guantes, marroquinería (bolsos, valijas, carteras y tapicería).	Tapicería, paneles para tablero, apoyabrazos, protección anticorrosiva y anti vibratoria, etc.	Tarjetas de crédito, artículos de librería, juguetes, mangueras, artículos para riego, etc.

Figura 5. Aplicaciones del PVC

Fuente: Elaboración propia

**1.3.4. Procesos comunes de fabricación de tuberías**

Para fabricar las tuberías de PVC, los procesos empleados son: extrusión, inyección y formación manual de piezas.

**1.3.4.1. Extrusión**

Es un proceso industrial que transforma el material en productos geoméricamente uniformes y seccionados transversalmente definidos. Este proceso consiste en calentar el polímero y pasarlo a través de la matriz, este método es aplicado para los termoplásticos como el polietileno y el PVC.

La máquina extrusora es alimentada de materia prima (resina) desde la tolva, la extrusora se asemeja mucho a una moladora de cocina con mayor tamaño

y de gran peso. El material ingresante está dado por lotes o cargas, su composición está definida por una fórmula científica.

Los gránulos de PVC son derretidos al ser expuestos al calor mientras están contenidos en la cámara de calor también llamado camiseta o cilindro de la máquina. Dentro del cilindro se encuentra el tornillo o husillo que gira en el centro de la cámara, el husillo es impulsado por un motor eléctrico, empujando al material plástico caliente por la matriz la cual fue diseñada para que el material defina una forma tubular. El uso de una variedad de cabezales (matrices) hace que las líneas de producción sean de tipo multiproducto.

Cuando se emplea la matriz de la forma de una larga ranura, el resultado son las películas de plástico. Para la producción de revestimiento de cables se usa la variación del método anterior. La aplicación directa del polímero sobre la superficie del cable mientras pasa a través de la cámara de calor. En nuestro caso para la fabricación de tuberías, el polímero entra a la etapa donde es comprimido entre los componentes de la matriz y la varilla (hembra y macho respectivamente), el diámetro de la tubería es generado por la matriz hembra, y el espesor de la tubería por la matriz macho.

Al momento que la materia prima atraviesa la cámara, esta sale con mayor temperatura a la de entrada, para no perder su forma el material caliente inmediatamente pasa a la etapa de enfriamiento, entra a la tina enfriamiento, en ella la tubería definida es enfriada con agua a bajas temperaturas. (Carrión, 2002, pgs. 82-83).

La fabricación de PVC en la empresa Eurotubo S.A.C. se hace a través del proceso de extrusión, conocido método de proceso industrial, que requiere un control estricto de temperaturas, debido a que el PVC es un material muy complejo al ser procesado, y que, al no ser tratado adecuadamente la temperatura, se descompone fácilmente.

Como en todo proceso de fabricación, es inevitable las fallas que se puedan presentar en los equipos, pero llevando un buen plan de mantenimiento de los equipos y máquinas de producción se minimizara este tipo de fallas no programadas. (Carrión, 2002, pg. 82)

#### **1.3.4.2. Inyección**

Se tiene un molde de diversas formas determinadas por el que se inyecta el polímero o resina fundida mediante un proceso cíclico.

Para que se realice el proceso de inyección, primero el polímero plástico en forma de polvo, en diminutos gránulos son contenidos en la maquina inyectora. Después pasa a la etapa de fundición en el cilindro o cámara de calor, luego material fundido entra a un molde definido para ser comprimido por un pistón. Las máquinas de tipo inyección tiene una estructura de tamaño muy parecida a la de extrusión, mediante el husillo, el material es empujado por este y lo inyecta a un molde. A continuación el material fundido pasa por la etapa de enfriamiento y lo realiza circulando agua a temperaturas frías sobre el molde, el plástico inmediatamente cobra la forma del recipiente. Posteriormente el producto terminado es extraído del molde para luego ser utilizado nuevamente. (Carrión, 2002, pgs. 83-84).

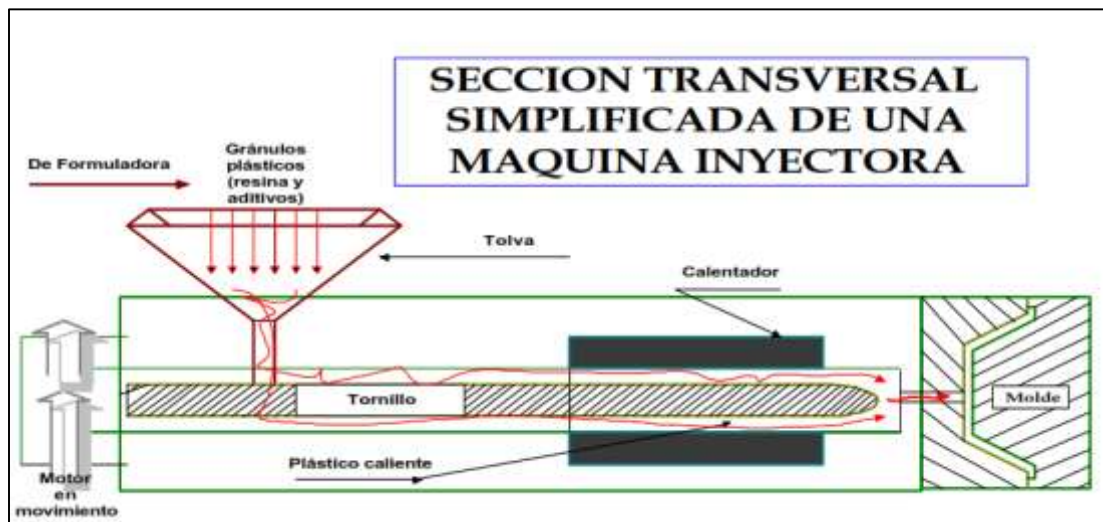


Figura 5. Sección transversal de una máquina inyectora.  
Fuente: Carrión, 2002. pg. 87

### 1.3.5. Extrusora

La extrusora es un aparato que fuerza el material termoplástico acondicionado a pasar dentro de un orificio de modo que se obtiene productos plásticos con definidas dimensiones y características. La extrusión hace que un material termoplástico pase por presión a raves de un orificio continuamente y el material sale con una sección transversal similar a la del orificio.

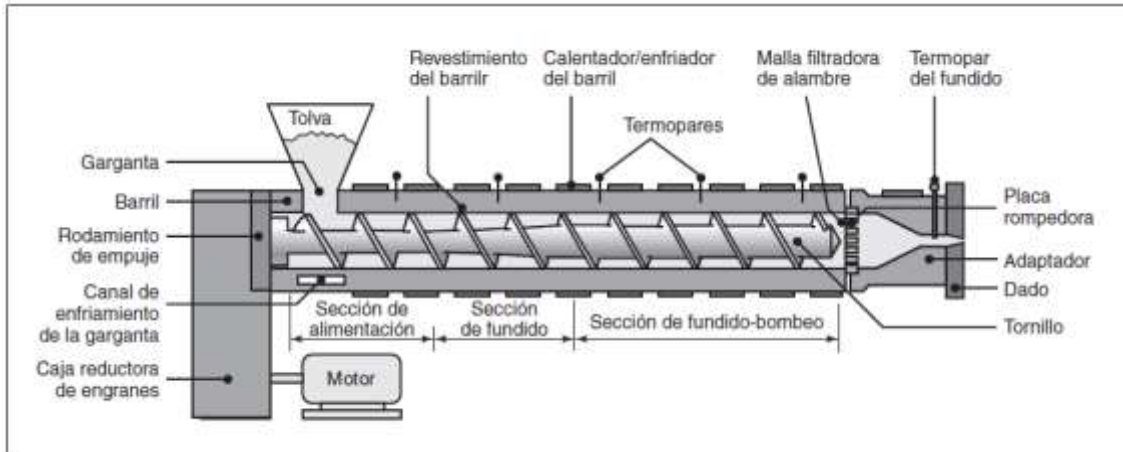


Figura 6. Esquema de una extrusora  
Fuente: Kalpakjian y Schmid, 2008. pg. 537

### 1.3.6. Descripción del equipo

#### 1.3.6.1. Tolva:

Es un depósito donde contiene los pellets de material plástico como materia prima para suministrar constantemente al extrusor.

La tolva debe de ser bien diseñada para que trabaje adecuadamente especialmente en los ángulos de bajada del producto, porque si están mal planeados podrían ocasionar estancamientos del producto y paradas en la producción.

Los materiales que por su composición se compactan rápidamente, se debe de tener una tolva con un sistema vibratorio y dar solución al problema de compactación a través de provocar la caída del material rompiendo los puentes de material y haciendo caer ese material hacia la boca de la alimentación de la tolva.

Si el material que se está trabajando es muy difícil de mover con un sistema vibratorio, se emplea la tolva tipo Crammer que ayuda a mover estos tipos de materiales para que fluya, usando un tornillo para la alimentación. En la figura 7 se esquematiza la tolva Crammer, el tornillo Crammer y el cañón o barril.

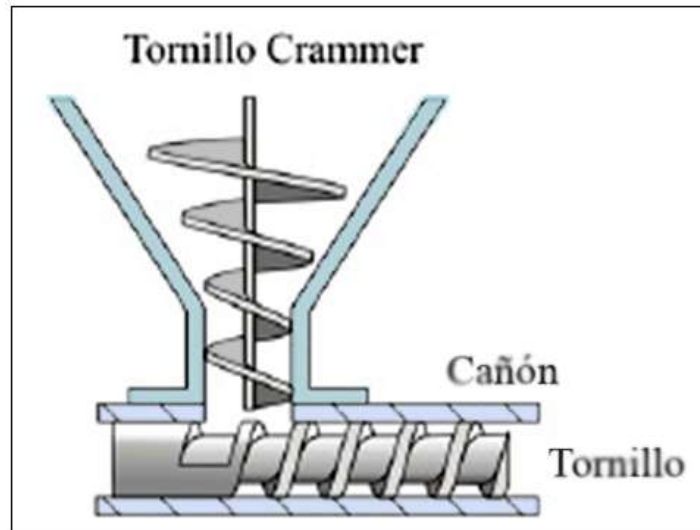


Figura 7. Esquema de una tolva Crammer

Fuente: Tecnología de los plásticos, blogspot, 2011

Las tolvas de secado son utilizadas para retirar en un material que se está procesando la humedad, estos son el reemplazo de los equipos de secado independientes de la máquina. Cuando hay una automatización en los procesos, las extrusoras tienen sistemas de transporte de los materiales desde las zonas de contenedores hasta las tolvas, a través de medios mecánicos o neumáticos. Adicionalmente como equipos auxiliares también se dispone de dosificadores de aditivos hacia la tolva y los sistemas magnéticos o imanes para la obstaculización de materiales ferrosos, que pudieran ocasionar fallos al husillo y otros componentes internos del extrusor.

#### 1.3.6.2. Barril:

Cilindro metálico que se encuentra el husillo o tornillo y es la parte fundamental de la máquina de extrusión. El barril es la carcasa que rodea externamente al tornillo y debe de ser resistente y compatible con el producto que se está procesando para evitar al mínimo el desgaste que se presente por el trabajo.

De acuerdo al material procesado y al producto deseado hay un control desde el tablero de operador para programar sus temperaturas del proceso. En el cañón su cuerpo se aísla con materiales conductivamente térmicos bajos para evitar cambios en la calidad del proceso por problemas de temperatura ambiente.

### 1.3.6.3. Husillo o tornillo:

Dentro de una maquina extrusora el husillo es el que ha generado más cambios tecnológicos dentro de la extrusora y por lo tanto esta pieza es la que hace el éxito de un trabajo de extrusión.

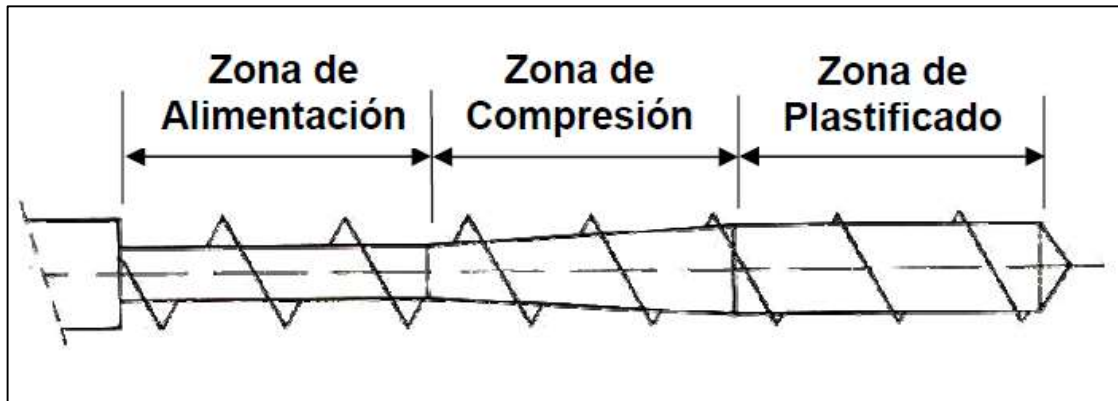


Figura 8. Esquema de las zonas funcionales del tornillo

Fuente: Suéscum, 2007. pg. 26

En la figura 8 se distinguen 3 zonas:

- Zona de Alimentación
- Zona de compresión
- Zona de dosificación

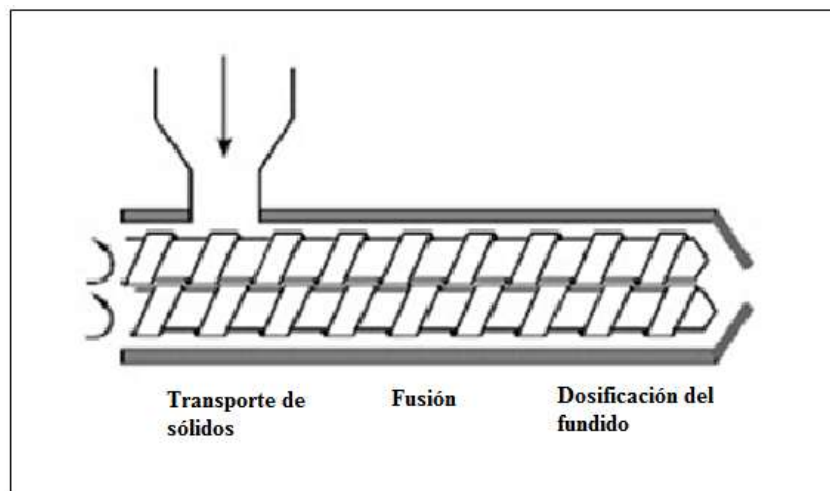


Figura 9. Esquema de extrusor de doble tornillo

Fuente: Tecnología de los plásticos, blogspot, 2011.

### 1.3.6.4. Alabes o Filetes o Paleta de Pistón:

Son los impulsores del producto a través del extrusor, que recorren de un

extremo al otro el tornillo. Las formas y dimensiones van a determinar el material que se procesara y la calidad de la mezcla de la masa cuando sale del equipo. Las dimensiones se esquematizan en la figura 10.

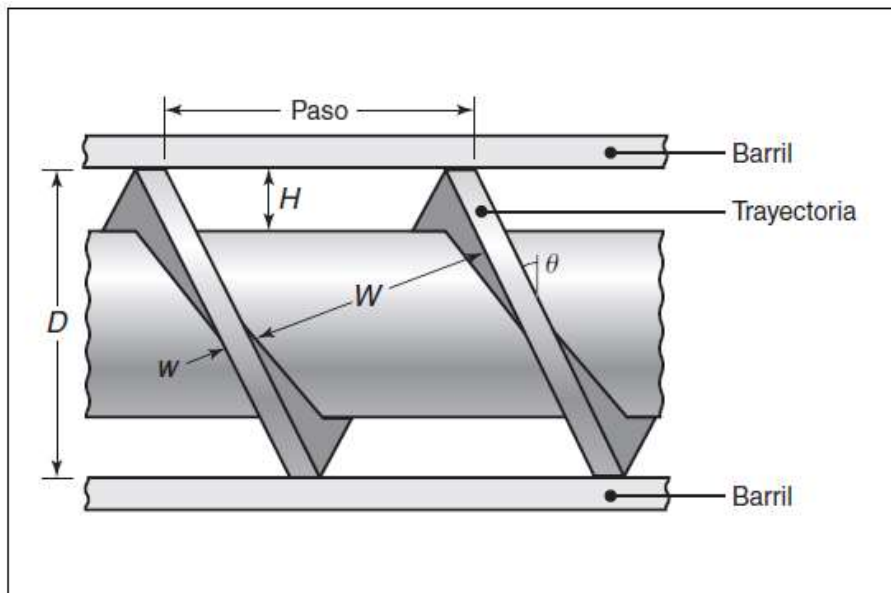


Figura 10. Esquema del tornillo mostrando sus partes, incluyendo la hélice.

Fuente: Kalpakjian y Schmid, 2008. pg. 537

### 1.3.6.5. Sistema de calentamiento del cilindro:

Mediante resistencias eléctricas se genera el calentamiento del cilindro.

### 1.3.6.6. Sistema de enfriamiento del cilindro:

En la mayoría de equipos comerciales, la zona de calentamiento del tornillo en la extrusora viene con ventilación, para controlar la temperatura retirando calor de la extrusora a través del flujo de aire sobre la superficie. Los controladores trabajan cuando supera la temperatura a la prefijación, por efecto de:

- a.- Excesivo calor de transferencia de la resistencia (ejemplo durante el arranque de la máquina).
- b.- Calor excesivo generado por los elementos de mezclado que están en el tornillo de la extrusora. (Mariano, 2011)

### Importancia de la temperatura en la fase de alimentación de la resina

Sistema de enfriamiento de la garganta

Se requiere mantener la temperatura de la zona de alimentación al tornillo en



la mayor parte de los materiales poliméricos a un mínimo de 50°C.(Mariano, 2011)

#### **1.3.6.7. El Motor**

Es el equipo de la extrusora encargada de suministrar la suficiente energía para producir: parte de su fusión (70 a 80%), la alimentación de la resina, transporte y bombeo entre el cabezal y la boquilla. (Mariano, 2011)

#### **1.3.6.8. El Cabezal**

Es quien proporciona o conforma la forma del extrudado.

#### **1.3.6.9. Plato rompedor y filtros**

Es el punto de transición entre el cabezal y la extrusora, fundamental para que el material extrudado salga con calidad.



*Figura 11.* Plato rompedor y filtros.

Fuente: Tecnología de los plásticos. Blogspot.

El diseño del plato es una placa cilíndrica horadada. En la figura 11 se observa el plato rompedor y sus filtros. Las mallas tienen que ser fabricadas con acero inoxidable. (Mariano, 2011).

### 1.3.6.10. Torpedo

Entre la extrusora y el cabezal del ducto de acople de algunos cabezales de extrusión tienen un elemento que contribuye con la función del plato. Se le suele denominar torpedo por su geometría. En el esquema de la figura 12 se observan las vistas lateral y frontal de un torpedo de un cabezal de extrusión. (Mariano, 2011).

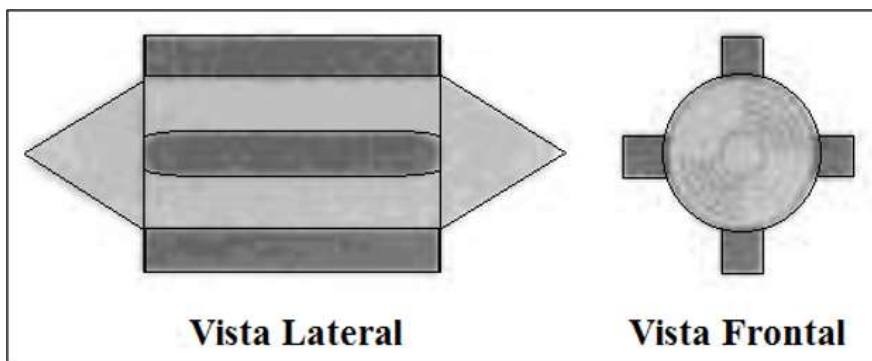


Figura 12. Vistas de un torpedo de un cabezal de extrusión.

Fuente: Tecnología de los plásticos. Blogspot.

### 1.3.6.11. Boquilla

Parte del cabezal que permite la conformación final del extrudado. Encargado que el polímero recorra con flujo y volumen constante alrededor de la boquilla, así obtiene espesores uniformes. Las boquillas modernas presentan dos secciones. La sección primera es la cámara de relajación y la segunda es la cámara de salida. Estas secciones se observan en la figura 13.

(Mariano, 2011).

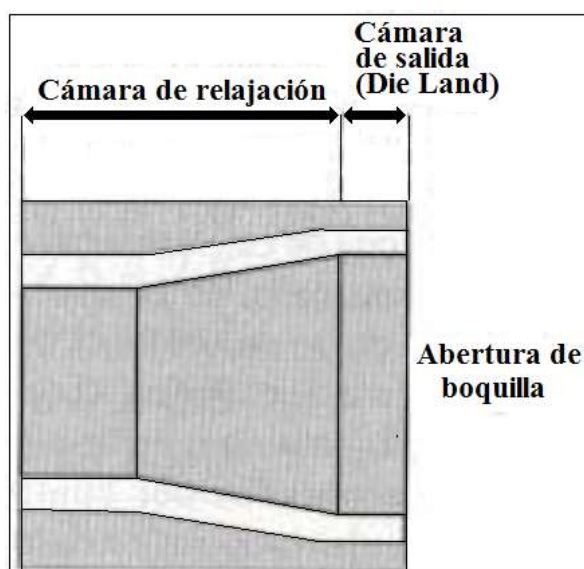


Figura 13. Sección de una boquilla circular de extrusión.

Fuente: Tecnología de los plásticos. Blogspot.

### 1.3.6.12. Relación de compresión y relación L/D

#### a) Relación de Compresión:

Las profundidades de los alabes no son constantes, en la alimentación y en la descarga son diferentes. Además que los materiales plásticos se comportan diferente cuando fluyen. Es resultado de la relación entre las profundidades de los filetes de la descarga y la alimentación, es siempre mayor a uno hasta 4.5 en algunos materiales.

#### b) Longitud

Es importante porque está ligado al desempeño de la producción de una máquina y su costo. Si crece la longitud del husillo y por consiguiente la del extrusor, crece la capacidad de plastificación y la producción de la máquina.

#### c) Diámetro:

Esta directamente influenciado sobre la capacidad productiva de la máquina y aumenta de acuerdo a la longitud del equipo.

Las dimensiones principales del tornillo se suelen decir como la relación: longitud / diámetro (L/D). Que son desde 16:1 a 32:1. (Tecnología de los plásticos, blogspot, 2011).

#### d) Unidad o Tina de Enfriamiento:

Retira el exceso de calor que tiene la tubería cuando sale del tanque de calibración.

Hay 2 tipos de tinas de enfriamiento:

Enfriamiento por esparado

Enfriamiento por inmersión

**Enfriamiento por esparado:** “Es una cámara donde hay boquillas instaladas que rocían agua fría sobre la tubería. Usado para grandes diámetros de tubería donde la velocidad de producción es baja y la aspersion logra un enfriamiento efectivo, por el tiempo de permanencia elevado del producto dentro de este equipo”. (Mariano, 2011)

#### - **Enfriamiento por Inmersión:**

El tubo pasa por una tina con agua enfriándose constante

De esta manera por transferencia de calor también constante se enfría el tubo.

Con respecto al enfriamiento por esparado, esta es usada para tuberías donde por las altas velocidades de extrusión necesitan de un enfriamiento intenso. (Mariano, 2011)

**d) Unidad de Tiro o Jalador:**

Acá es donde se da toda la fuerza que tiene el plástico en movimiento dentro de una línea de extrusión. Hay tres:

- Por Oruga
- De Bandas
- De Ruedas o Rodillos

**e) Unidades de Corte:** De acuerdo al trabajo que se requiere en la producción de tubería flexible hay varios tipos de unidades de corte, una práctica es formar rollos para reducir el trabajo de corte, situación diferente se presenta en la producción de tubería donde el corte del tubo se hace con precisión en rangos de longitud iguales.

Para la selección de unidades de corte de tubería rígida y flexible, es necesario considerar los siguientes factores:

- El diámetro y espesor de pared
- La materia prima utilizada
- La forma y calidad del corte
- La longitud del corte

(Mariano, 2011).

**1.3.7. Aplicaciones de los Productos:**

- Tubería a presión (PVC, HDPE)
- Tubería Conduit (PVC, HDPE)
- Tubería de conducción de drenaje y desagüe
- Tubería para drenaje doméstico (PV)
- Tubería para instalaciones eléctricas (PVC, HDPE, LDP)
- Tubería para gas (PVC, HDPE)
- Mangueras (PVC)
- Tubería para uso médico
- Tubería para agua de riego
- Tubería Industrial (PVC, HDPE y PP)

- Tubería para conducción de agua potable (HDPE).  
(Mariano, 2011).

### 1.3.8. Especificaciones de la máquina

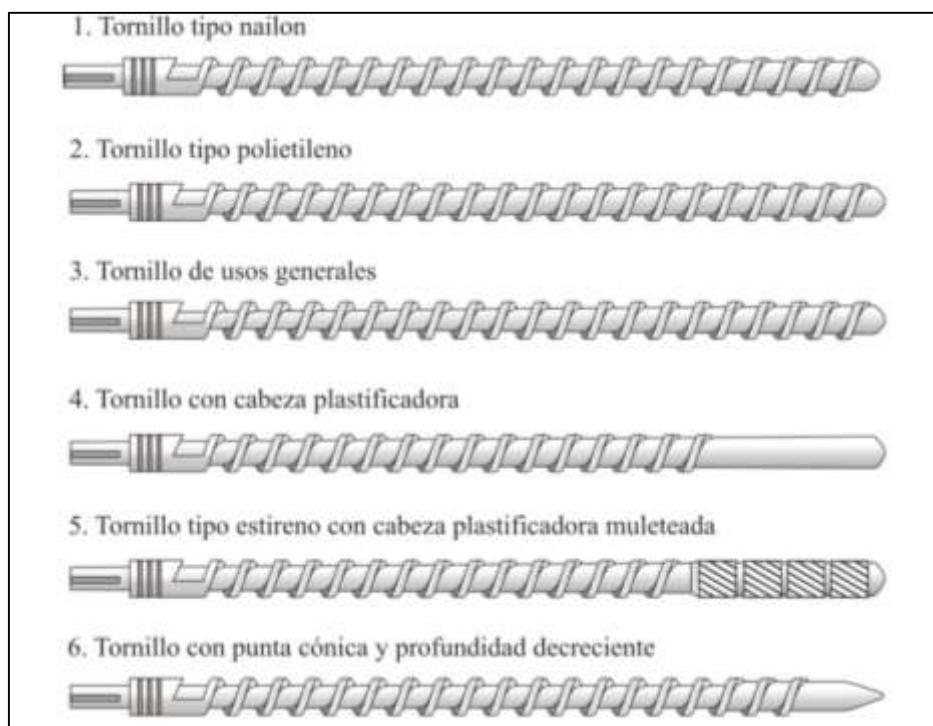
**1.3.8.1. Diámetro del cilindro (D):** Representa al tamaño de la extrusora y también a la velocidad de flujo. La mayoría de las extrusoras tienen diámetros entre 2 y 90 cm. El diámetro del tornillo de la extrusora NEOTEC de EUROTUBO es de 11 cm. En anexo 2 se muestra la placa de la extrusora Neotec de Eurotubo.

**1.3.8.2. Relación Longitud/diámetro (L/D):** La longitud del tornillo aumenta proporcionalmente al diámetro que sirve para fundir, mezclar y homogenizar a una velocidad de giro determinada, por esa razón la relación L/D. La relación L/D para la extrusión de polímeros termoplásticos esta entre 20:1 y 30:1.

**1.3.8.3. Relación de compresión:** Es la relación volumétrica que existe entre las vueltas del filete en la alimentación y dosificación. La relación de compresión oscila entre 2.0 y 4.0.

**1.3.8.4. Configuración del tornillo:** Las características geométricas, así como también el tipo y diseño del tornillo dependerán de la geometría de la boquilla, además de la velocidad del tornillo, comportamiento de fusión del material son de suma importancia para la máquina extrusora.

En la figura 14 se muestran diferentes configuraciones de tornillos:



### 1.3.9. Descripción del funcionamiento de una extrusora

El transporte de la materia prima o de sólidos, el fundido del material a una temperatura ideal de trabajo, la mezcla que se genera en la extrusora, la zona de desgasificado y el formado del material son funciones importantes de la extrusora. (Beltran & Marsilla, 2012, pág. 116)

#### 1.3.9.1. Transporte de sólidos (zona de alimentación)

a) Transporte de la materia prima en la tolva .

Existe un flujo en masa donde no hay material estancado y todo sale, un flujo de salida de la tolva (embudo) donde el material se adhiere a la superficie interna de la tolva y esto genera la formación de puente donde queda obstruido en la garganta de entrada de la extrusora.

Observamos en la figura 15 diferentes cortes.

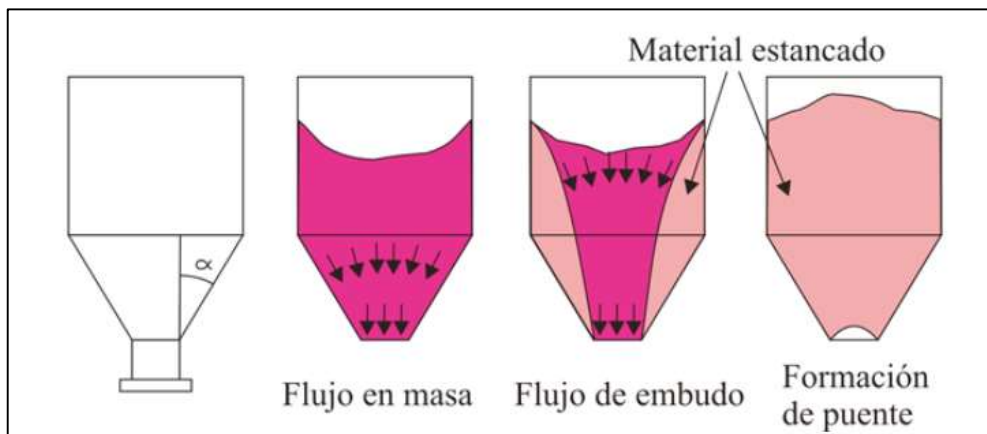


Figura 15. Movimiento de material dentro de una tolva

El transporte del material en esta parte depende del diseño de la tolva y las características del material:

- Una tolva de sección transversal circular se prefiere a la de sección transversal cuadrada debido a la compresión gradual en las circulares.
- *Densidad aparente*: es la densidad del material que incluye el aire contenido entre sus partículas. Es menor que la real. Cuando la densidad aparente es muy baja (20 o 30% de la densidad real), el material no

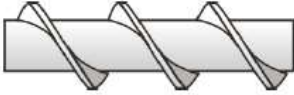

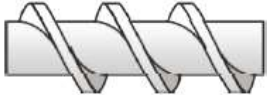

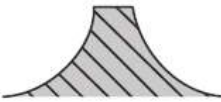

fluirá fácilmente. Se recomienda materiales con densidad aparente igual al 60% aproximadamente.

- Compresibilidad: Es el aumento de la densidad real al presionarlo. Se recomiendan materiales con bajo factor de compresibilidad.
- Coeficiente de fricción: existe dos coeficientes de fricción, interna entre partículas del material y externa entre las partículas de material y la superficie de la tolva en contacto. Para que el flujo en la tolva sea adecuado, ambos coeficientes deben ser bajos, en todo caso será necesario utilizar lubricantes.

b) Transporte de sólidos en el cilindro

Cuando el material sólido cae al interior del canal de la extrusora, el mecanismo de transporte deja de estar controlado por la gravedad y se controla en un transporte inducido por arrastre. Este tipo de flujo tiene lugar debajo de la tolva a lo largo del tornillo en una distancia relativamente corta. (Beltran & Marsilla, 2012, pág. 121).

**TABLA 2.** Tornillos para reducir el coeficiente de fricción entre material y tornillo

Características del tornillo	Diseño adecuado	Diseño defectuoso
Número de filetes	Sencillo 	Doble 
Ángulo del filete	Grande 	Pequeño 
Radio del flanco del filete	Grande 	Pequeño 

Fuente: Beltrán y Marcilla, 2012, pg. 122

**1.3.9.2. Fusión (zona de transición)**

El fundido del material sucede cuando las resistencias calefactoras

proporcionan calor necesario al cilindro, además de la fricción que se genera al roce del material con el tornillo y el cilindro. Normalmente es originado debido al calor  $q$  proporciona el efecto de la fricción, En algunos casos se puede fundir el material sin tener que utilizar el calor externo de las resistencias calefactoras.(Beltran & Marsilla, 2012)

La figura 16 muestra un corte transversal de la zona de transición.

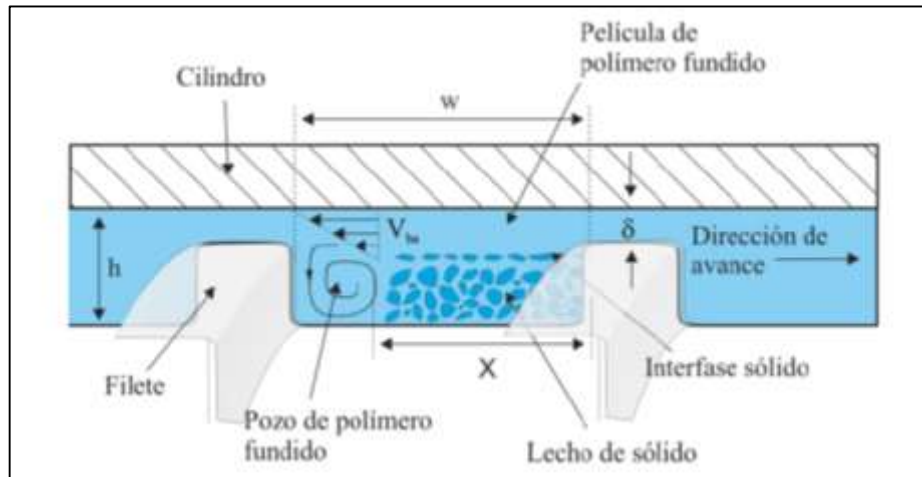


Figura 16. Corte transversal de la extrusora en la zona de transición.

Fuente: Beltrán y Marcilla, 2012, pg. 123

“En la figura 17. Se aprecia la longitud de fusión que es la longitud del tornillo desde que comienza la fusión hasta que termina.

En una extrusora funcionando de forma adecuada la transmisión de calor está muy favorecida, debido a que continuamente tendremos una fina capa de material renovado en contacto con el cilindro. En general se puede despreciar la transmisión de calor entre el pozo fundido y la capa sólida.

La existencia de la capa sólida explica también la eliminación del aire atrapado entre las partículas sólidas. A medida que la capa sólida es compactada y comprimida por el pozo de fundido, el aire atrapado entre las partículas salen hacia el exterior vía la tolva de alimentación” (Beltran & Marsilla, 2012)



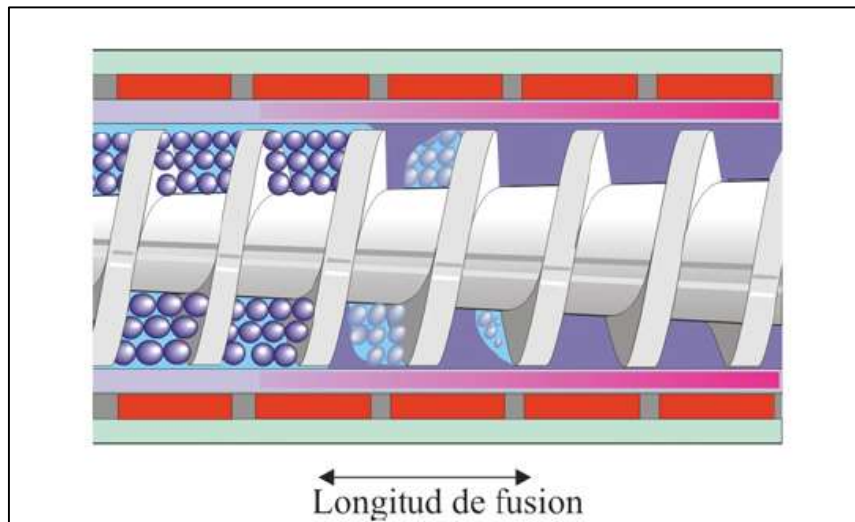


Figura 17. Ancho del pozo de fundido a lo largo de la zona de transición.  
 Fuente: Beltrán y Marcilla, 2012, pg. 124

“En la figura 18 donde se representa la longitud de fusión en función de la temperatura del cilindro para una velocidad del tornillo constante. De acuerdo con lo comentado, la longitud de fusión disminuye (por tanto aumenta la velocidad de fusión) al aumentar la temperatura del cilindro hasta un cierto punto en el que la longitud de fusión aumenta al disminuir la cantidad de calor generado por disipación viscosa” (Beltran & Marsilla, 2012)

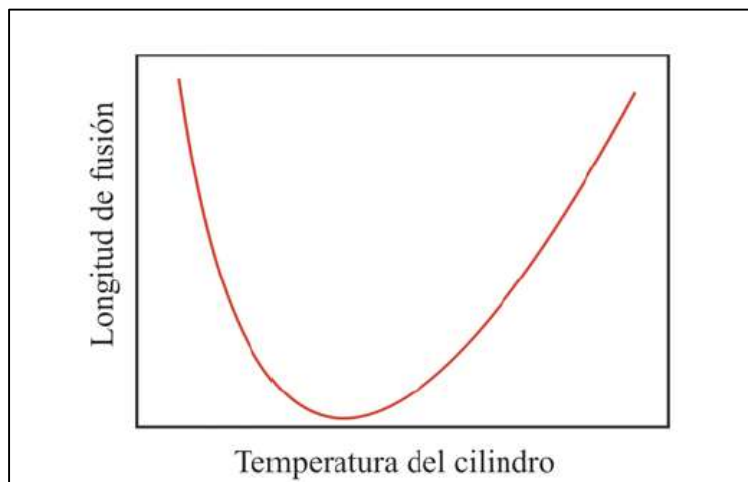


Figura 18. Relación Longitud de fusión vs Temperatura del cilindro para una velocidad constante del tornillo.  
 Fuente: Beltrán y Marcilla, 2012, pg. 125.

“En la figura 19, se observa como la longitud de fusión disminuye al aumentar el ángulo del filete, especialmente para ángulos pequeños. La eficiencia sería máxima con un ángulo de 90°, sin embargo, en este caso

no se produciría el avance del material a lo largo de la máquina. Por tanto, hay que buscar ángulos que den una buena eficiencia para la fusión y un buen transporte del material”. (Beltran & Marsilla, 2012)

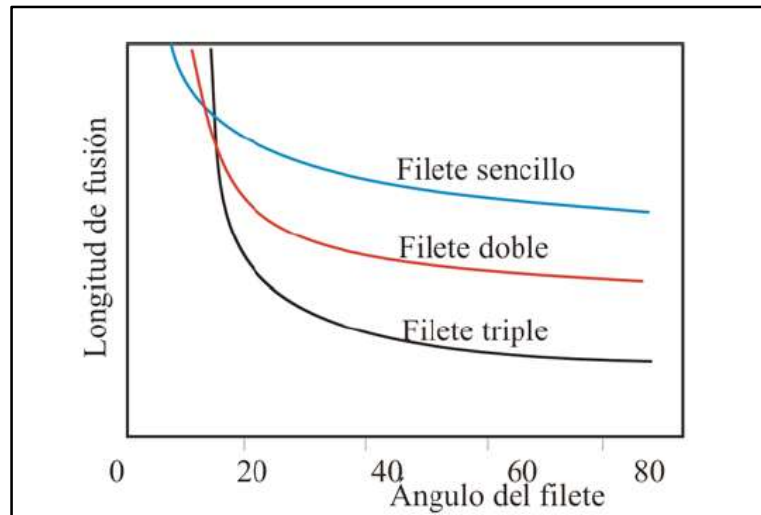


Figura 19. Efecto del ángulo de hélice y el número de filetes sobre la longitud de fusión.

Fuente: Beltrán y Marcilla, 2012, pg. 126

### 1.3.9.3. Transporte del fundido (zona de dosificado)

Esta zona se inicia cuando finaliza la función, es decir, en el punto en que todas las partículas de polímero han fundido. De hecho, la profundidad del canal es uniforme en la zona de dosificado, Por lo que todo el dicho sólido debe haber desaparecido o en caso contrario el aire se eliminaría con mucha dificultad y podría quedar atrapado en el fundido. La zona de dosificado del fundido actúa como una simple bomba en la que el movimiento del material fundido hacia la salida de la extrusora se produce como resultado del giro del tornillo de la configuración helicoidal del mismo.

El estudio del movimiento de un material viscoso en el tornillo de una máquina de extrusión se simplifica considerando tres tipos distintos de flujo:

Flujo de arrastre o de fricción  $Q_d$ : debido a la fricción del material con el tornillo y con las paredes del cilindro.

Flujo de presión o de retroceso  $Q_p$ : opuesto al anterior debido a la diferencia de presión entre la tolva y el cabezal de la máquina.

Flujo de pérdida o de fugas  $Q_f$ : tiene lugar entre el cilindro y el filete del

tornillo, es opuesto al flujo de arrastre.

El flujo total a lo largo del tornillo es la suma de los tres flujos anteriores.  
(Beltran & Marsilla, 2012, pág. 127).

$$\text{Luego: } Q_{\text{total}} = Q_p + Q_d + Q_f$$

#### 1.3.9.4. Modelado de la zona de dosificación

Para estudiar el comportamiento del material dentro del cilindro en el mismo canal del husillo se toma en cuenta las siguientes suposiciones:

- El canal del tornillo se considera de sección rectangular.
- El canal del tornillo se encuentra desenrollado y se escoge el sistema de coordenadas de la figura que continua.
- El cilindro es una superficie plana que se mueve sobre el canal del tornillo, arrastrando el material.
- Se considera que el fundido tiene un comportamiento Newtoniano.
- Se considera que el fundido se comporta como un fluido incompresible.

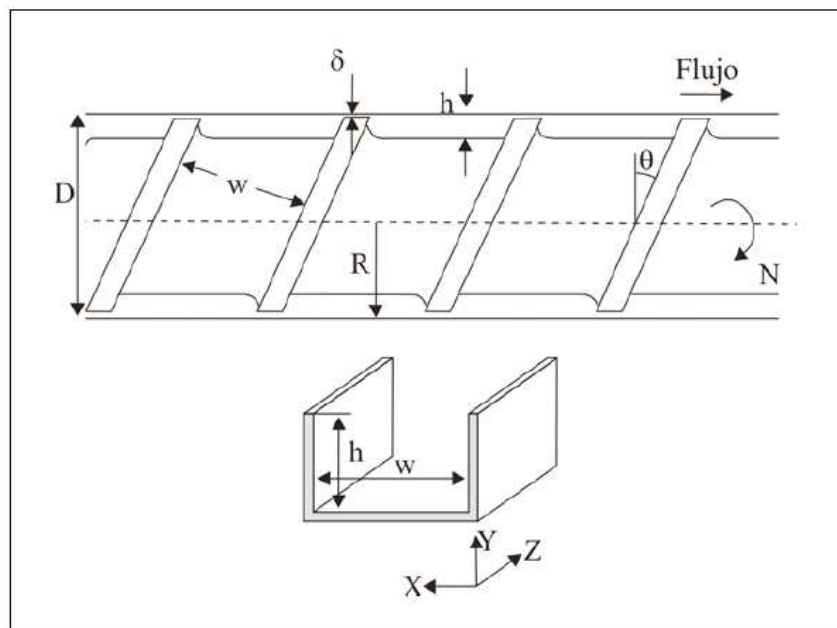


Figura 20. Sistema de coordenada y nomenclatura.

Fuente: Beltrán y Marcilla, 2012, pg. 141

Donde:

$R$  es radio

$D$  es diámetro de tornillo

$\theta$  es el ángulo del filete del tornillo con la vertical.

$w$  es ancho del canal

$\delta$  es la holgura entre el cilindro y el filete

N es el número de revoluciones a las que gira el tornillo.

Tomando en cuenta las consideraciones mencionadas, obtenemos en la forma más general para un determinado tornillo, la fórmula para calcular el caudal del material a través del tornillo de la extrusora:

$$Q = AN - B \frac{\Delta P}{\eta}$$

donde A y B son constantes del tornillo,  $\eta$  es la viscosidad del material.

$$A = \frac{\pi^2 D^2 (\text{sen } \theta \cdot \text{cos } \theta) \cdot h}{2}$$

$$B = \frac{h^3 \pi \cdot D \cdot \text{sen}^2 \theta}{12 \cdot \eta \cdot L}$$

#### 1.3.9.5. Influencia de las variables

En sistema tornillo-boquilla, el caudal extruido depende de variables que se agrupan:

- Dimensiones del tornillo: D, L, h,  $\theta$
- Tipo de polímero:  $\eta$
- Condiciones del proceso: N, T
- Restricción impuesta por la boquilla:  $\Delta P$

#### Efecto de las dimensiones del tornillo

- “La longitud del tornillo afecta solamente al flujo de presión. A mayor longitud del tornillo, disminuye el flujo de presión y la pendiente de la línea operativa del tornillo en la relación de Q vs  $\Delta P$ ”. (Beltran & Marsilla, 2012)
- “La profundidad del canal (h). El aumento de la profundidad del canal supone un aumento de ambos tipos de flujos, pero es más pronunciado sobre el segundo que sobre el primero, pues que este parámetro aparece elevado a la tercera potencia en B (constante del tornillo); luego una pequeña disminución en h se produce una importante disminución de la pendiente en la línea característica del tornillo. La figura 21 muestra

el efecto de  $h$  y  $L$  sobre las rectas operativas de una extrusora”. (Beltran & Marsilla, 2012)

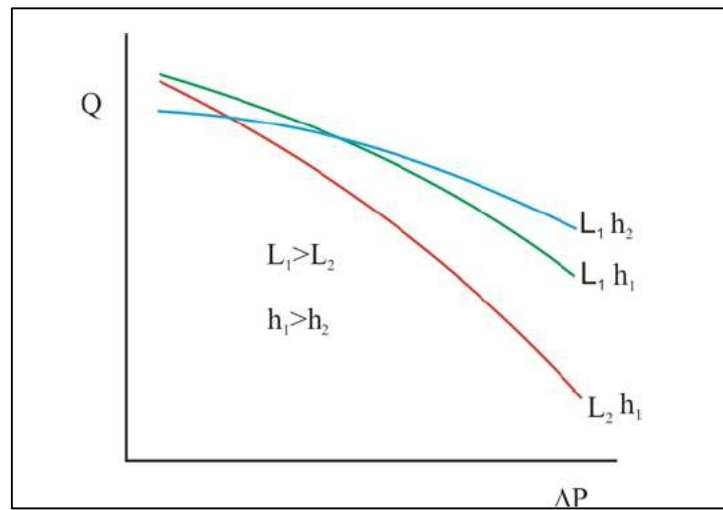


Figura 21. Efecto de la profundidad  $h$  y de la longitud del tornillo  $L$  sobre las rectas operativas del tornillo.

Fuente: Beltrán y Marcilla, 2012, pg. 148

- “El efecto de  $h$  y  $L$  es normal cuando  $\Delta P > 0$  (presión a lo largo de la extrusora aumenta entre la garganta de alimentación y el estrechamiento del plato rompedor y la boquilla). Cuando  $\Delta P < 0$  el caudal de retroceso va en la misma dirección que el de arrastre, por lo que interesará más otros valores de  $h$  y  $L$ ”. (Beltran & Marsilla, 2012)
- “El efecto de otras variables como el ángulo de los filetes ( $\theta$ ), no es tan claro; pero en la práctica el ángulo usado varía entre  $20$  y  $30^\circ$ , aunque en algunos casos se utilizan valores tan bajos como  $10^\circ$ . Cabe mencionar que estos parámetros no son regulables a efecto de aumentar la productibilidad, son datos de diseño de la extrusora”. (Beltran & Marsilla, 2012).

### 1.3.9.6. Efecto de la viscosidad del polímero

- “Una subida en la viscosidad del polímero supone disminuir la pendiente de las rectas. Mas viscosidad del polímero es un mayor consumo energético, por lo que debe usarse materiales de baja viscosidad. Disminuir la viscosidad se puede hacer de varias formas:
  - Aumentando la temperatura de la boquilla a lo largo del cilindro.
  - Utilizando un material de menor peso molecular.

- Usando aditivos como lubricantes internos o plastificantes” (Beltran & Marsilla, 2012)

### 1.3.9.7. Efecto de las condiciones de operación

- Al aumentar el número de vueltas (N), incrementa el flujo de arrastre (pero el flujo de retroceso no se ve afectado) y un mayor caudal.
- “Al aumentar el número de vueltas, crece la cizalla sobre el material, disminuye su viscosidad y en consecuencia aumenta el caudal, aumentando también la pendiente de las líneas operativas del tornillo, como se aprecia en la figura 22”. (Beltran & Marsilla, 2012)

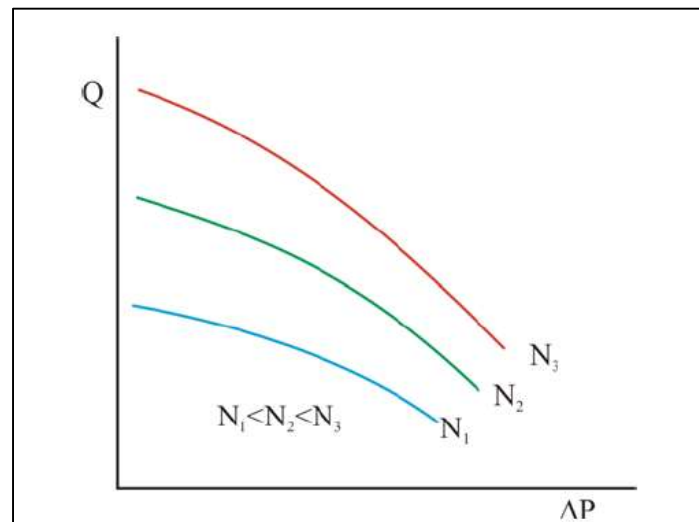


Figura 22. Líneas operativas del tornillo a diferente número de vueltas

Fuente: Beltrán y Marcilla, 2012, pg. 150

### 1.3.9.8. Efecto de la restricción de la boquilla

- La forma de la boquilla no puede ser cualquiera, depende de las dimensiones del perfil que se desea obtener.
- Del comportamiento de la boquilla y del tornillo depende el comportamiento global de la extrusora.
- La cantidad de material que fluye a través de una boquilla en la que hay una diferencia de presión igual a  $\Delta P$  se calcula con:

$$Q = k \frac{\Delta P}{\eta}$$

Donde  $k$  es una constante que depende del orificio de salida de la boquilla. La  $\Delta P$  es la diferencia de presión entre el punto por donde el material entra a la boquilla y la salida (presión atmosférica).

Ejemplo del valor de  $k$  para una boquilla anular de diámetro interno  $R_o$ , diámetro externo  $R_1$  y longitud  $L$  (obtención de tubos)

$$k = \frac{\pi(R_o + R_1)(R_o - R_1)}{12 L}$$

- La representación de las rectas operativas o líneas características de la boquilla donde se consideran el flujo de material a través de una boquilla particular, se ilustra en la figura 23.

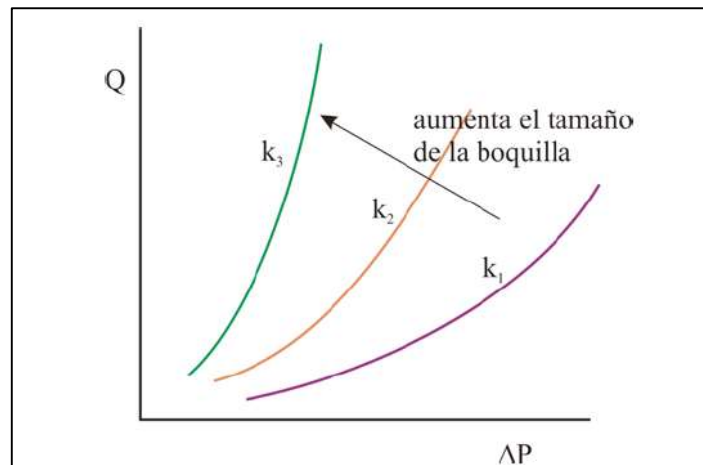


Figura 23. Líneas características de la boquilla

Fuente: Beltrán y Marcilla, 2012, pg. 152

- Al aumento del tamaño del orificio de la boquilla, aumenta el valor de  $k$  y aumenta la pendiente de la recta operativa de la boquilla.

Es importante mencionar que los puntos donde trabaja una extrusora, que se conocen como puntos operativos, son los puntos donde se superponen las operativas de la boquilla con las del tornillo, como se muestra en la figura 24.

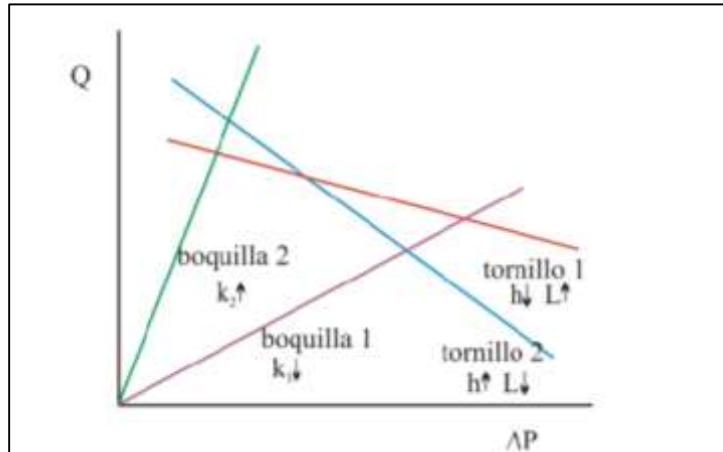


Figura 24. Rectas operativas de un conjunto de boquillas y tornillos.

Fuente: Beltrán y Marcilla, 2012, pg. 153

- En los puntos operativos el caudal que pasa por el tornillo es el mismo que el que pasa por la boquilla:

$$Q_{\text{tornillo}} = Q_{\text{boquilla}}$$

$$AN - B \frac{\Delta P}{\eta} = k \frac{\Delta P}{\eta}$$

donde:

$$\frac{\Delta P}{\eta} = \frac{AN}{k + B}$$

“A partir de esta última ecuación se pueden obtener las dimensiones del tornillo que proporcionan el máximo valor de A, es decir, el máximo rendimiento de la máquina de extrusión en lo que respecta a máximo caudal de material extruido para unas determinadas condiciones de trabajo (N) y un determinado material ( $\eta$ )”. (Beltran & Marsilla, 2012)

### 1.3.10. Líneas de extrusión de tubos, tuberías y perfiles

Los principales componentes son:

- Extrusora
- Boquilla anular
- Sistema de calibrado
- Sistema de enfriamiento
- Zona de tensionado



- Cortador

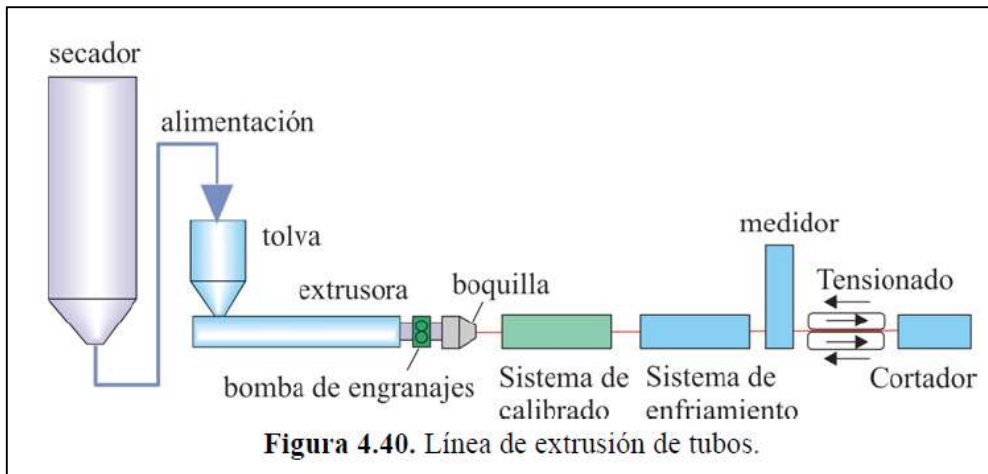


Figura 25. Línea de extrusión de tubos

Fuente: Beltrán y Marcilla, 2012, pg. 156

### 1.3.11. Materia prima para la producción de tubos de PVC

Para la fabricación del tubo es esencial, además de la resina de PVC, pigmentos, lubricantes, estabilizantes y otros aditivos auxiliares.

### 1.3.12. Fórmulas a usar en la planta

- Fórmula para compuesto TP – 630. Tubería para agua a presión, clase 4; 5; 7,5 y 10.

**TABLA 3:** Composición de la materia prima para compuesto TP-630

MATERIAL PARA UNA CARGA	KILOGRAMOS A USAR EN FÓRMULA
Resina de PVC	150
One pack 119 ME 2	5,55
Pigmento (TiO <sub>2</sub> )	0,3
Relleno (CaCO <sub>3</sub> )	6
Negro de humo	0,016
<b>TOTAL</b>	<b>161,866 Kg</b>

Fuente: Eurotubo S. A. C.

#### INFORMACIÓN ADICIONAL:

1 bolsón = 7 cargas = 1133,062 Kg aprox.

Temperatura de mezclado: 113°C.

Temperatura de enfriamiento: 47°C – 50°C (6 minutos aprox.)

Capacidad máxima de un bolsón: 1250 Kg.

**CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL MATERIAL DE CARGA:**

One Pack 119 ME 2: Escamado

PVC resina: Granulado de 5 a 6 micras.

Dióxido de Titanio: Polvo

Carbonato de Calcio: Polvo

Negro de humo: Granulado.

PROCEDENCIA DE LA RESINA PVC (cada bolsa de resina pesa 25 Kg)

PRIMEX: MÉXICO

PETCO: COLOMBIA

FORMOLÓN: EEUU.

OXIVINIL: EEUU.

CHINTEX: EEUU.

AXIALL: EEUU.

- Fórmula para compuesto TA – 630. Tubería para alcantarillado, serie 20 y 25.

**TABLA 4:** *Composición de la materia prima para compuesto TA-630*

<b>MATERIAL PARA UNA CARGA</b>	<b>KILOGRAMOS A USAR EN FÓRMULA</b>
<b>Resina de PVC</b>	150
<b>One pack 119 ME 2</b>	5,55
<b>Pigmento (TiO<sub>2</sub>)</b>	0,3
<b>Relleno (CaCO<sub>3</sub>)</b>	12
<b>Pigmento naranja</b>	0,18
<b>TOTAL</b>	<b>168,03 Kg</b>

Fuente: Eurotubo S. A. C.

### **1.3.13. Control de entrada de materias primas**

La resina de PVC tiene una especial atención por lo que sobresalen otros ensayos:

- Peso aparente
- Granulometría
- Estabilidad térmica
- Humedad

### 1.3.14. Mezclado del PVC (Dryblending)

El mezclado del PVC y aditivos se da en el “*área de formulación de compuestos*”. Cuyo sistema está hecho de:

- 2 contenedores para almacenamiento de la Resina de PVC y  $\text{CaCO}_3$ .
- La mezcladora de velocidades (que viene integrado de un sistema de succión para pasar los contenidos de los contenedores directamente hacia ella)
- Mezclador de enfriamiento.
- Sistema de transporte de tornillo sin fin (que lleva la mezcla final a la Estrujadora).

### 1.3.15. Moldes

“Una vez de mantener el material plastificado de la extrusora, este es enviado al molde, el cual su función principal es la de darle una forma definida. La definición general de un molde es una transición de un agujero circular a una apertura en forma de anillo. Para una tubería de una sola capa, regularmente se utiliza un molde con patas de araña o un molde helicoidal”. (Suescum, 2007, pág. 30).

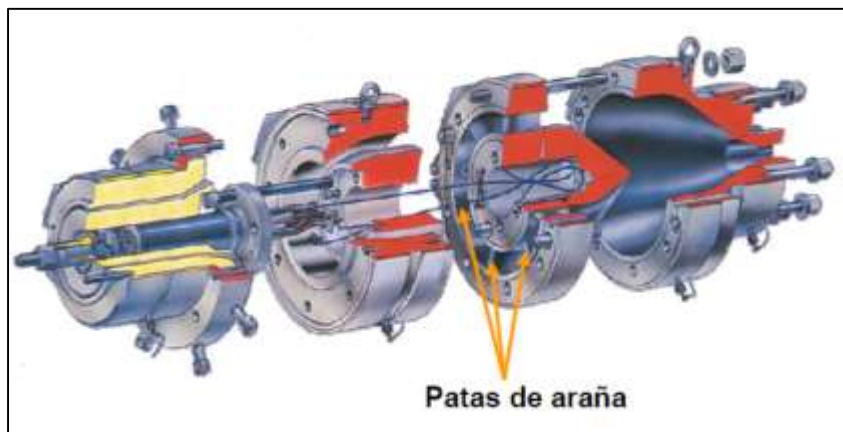


Figura 26. Molde con patas de araña (estrella).

Fuente: Suéscum, 2007. pg. 30

“La diferencia principal de los dos tipos de moldes es el trato del material antes de entregar su forma final. Si se requieren altos rendimientos, se sugiere utilizar un molde de patas de araña, por lo que el helicoidal tiene muchas restricciones. Mediante un buen diseño del molde patas de araña se puede superar el

problema de la unión del plastificado”. (Suescum, 2007)

### 1.3.16. Tina de vacío y enfriamiento:

La función de la tina de vacío y enfriamiento es solidificar y dar una forma geométrica definida (diámetro externo debido al trabajo del calibrador) al material, y a la vez este es plastificado y empujado o succionado sobre la superficie del calibrador. En la etapa de enfriamiento, las boquillas proporcionan agua fría al material para enfriarla lo más rápido posible (de 8°C a 16°C). Luego, el polímero plastificado sigue el proceso de enfriamiento cuando la tina ofrece agua a bajas temperaturas hasta salir del proceso. (Suescum, 2007).



Figura 27. Tina de vacío y enfriamiento.

Fuente: Moya, 2017. pg. 97

### 1.3.17. Jalador

“Para que el material sea trasladado desde el molde por la tina de enfriamiento, no es suficiente el empuje que entrega la extrusora. Para esto se tiene la jaladora que siempre debe de estar en sincronizado con la extrusora”. (Suescum, 2007).



*Figura 28.* Carro de arrastre tipo oruga (jalador).

Fuente: 3DIT Diseño de máquinas

### **1.3.18. Sierra o cortadora:**

El proceso de extrusión es continuo, por lo que al procesar el material sería “infinito” por lo que se lo debe cortar en tramos para obtener el producto final, que en este caso sería la tubería. Este equipo cuenta con un equipo de medición para saber en qué momento corta la tubería y debe estar en sincronismo con la jaladora. (Suescum, 2007, pág. 32).

### **1.3.19. Acampanadora:**

Esta es la última etapa del proceso. Es esta máquina se realizan las denominadas “campanas” en el extremo del tubo. Esto es con la finalidad de que se conecte el extremo de una tubería con el extremo de otra tubería. (Suescum, 2007).



Figura 29. Estructura física de una máquina acampanadora.

Fuente: Suéscum, 2007. pg. 33

### 1.3.20. Inspección del producto terminado

- **Aspecto en tubos:** Los tubos de PVC deben ser rectos. Las superficies interna y externa de los tubos deben ser lisas, sin pliegues, limpias, porosidades y ondulaciones. Los colores estarán de acuerdo a la norma correspondiente al tipo de tubo.
- **Dimensión en tubos:** Los tubos de PVC rígido y los accesorios se hacen cumpliendo estrictas especificaciones y normas de calidad respecto a los siguientes parámetros dimensionales:
  1. Diámetro exterior medio,
  2. Diámetro exterior en cualquier punto,
  3. Diámetro interno,
  4. Espesores de pared en cualquier punto,
  5. Largo útil,
  6. Excentricidad en una sección transversal cualquiera y longitud mínima de inserción.

### **1.3.21. Transporte al almacén de producto terminado**

Luego del control de calidad, las tuberías se trasladan al almacén de producto terminado. Los tubos se transportan siendo amarrados los tubos a través de montacargas.

### **1.3.22. Almacenamiento**

El producto terminado es almacenado y disponible para su venta.

La empresa Eurotubo S.A.C; es una empresa de Perú con más de 20 años en el mercado nacional, se dedica fabricar y comercializar tuberías y conexiones de PVC-U, CPVC, PEAD/HDPE para ser usados en casas y empresarial para la conducción de agua, efluentes y energía.

Una línea de producción se conforma por 6 máquinas principales: La extrusora (plastifica el polímero), la tina de vacío y enfriamiento (da la forma a la tubería y la solidifica a través de agua fría), el marcador (realiza el rotulado en la tubería según normas técnicas), el jalador (realiza el proceso continuo y a velocidad constante), la cortadora (secciona a la tubería según normas) y por último la acampanadora (realiza la campana para el embone en un extremo de cada tubo).

Mediante un análisis del proceso de extrusión que se da en la Empresa EUROTUBO S. A. C. se propone una mejora en las acciones de prevención y solución de problemas que presenta el procesamiento de extrusión, donde las principales afectaciones son la eficiencia, el alto índice de reproceso y el aumento de producto No Conforme, (Anexo 3) tales factores se ven reflejados en defectos críticos que afectan directamente la calidad del producto lo cual representa tiempos improductivos, reclamaciones y en algunos casos devolución de producto por parte del cliente. Específicamente nos centraremos en la máquina extrusora de procedencia china de marca: NEOTEK, modelo: SJP-110, actualmente llamada por los operarios como Línea N° 5.

El presente trabajo pretende plantear una propuesta de mejora al funcionamiento de la maquina extrusora con el fin de obtener un producto terminado de buena calidad.

Considerado como uno de los componentes más importantes en este proceso el cual cumple la función de otorgar la temperatura ideal de trabajo a toda la parte del cilindro y cabezal son las resistencias calefactoras de níquel – cromo, estas suelen fallar en distintos puntos específicos, lo que provoca defectos en la

estructura de la tubería, también eleva los tiempos muertos de producción debido a las paralizaciones en la línea, provocando reducción de producción y elevación de las horas hombre dedicadas a la reparación.

Finalmente, la elaboración de este estudio será una herramienta importante para realizar los procedimientos necesarios en el área de extrusión, teniendo como objetivo la identificación del origen de la poca productividad, permitiendo aumentar la productividad y generar una mejora eficiente de los recursos.

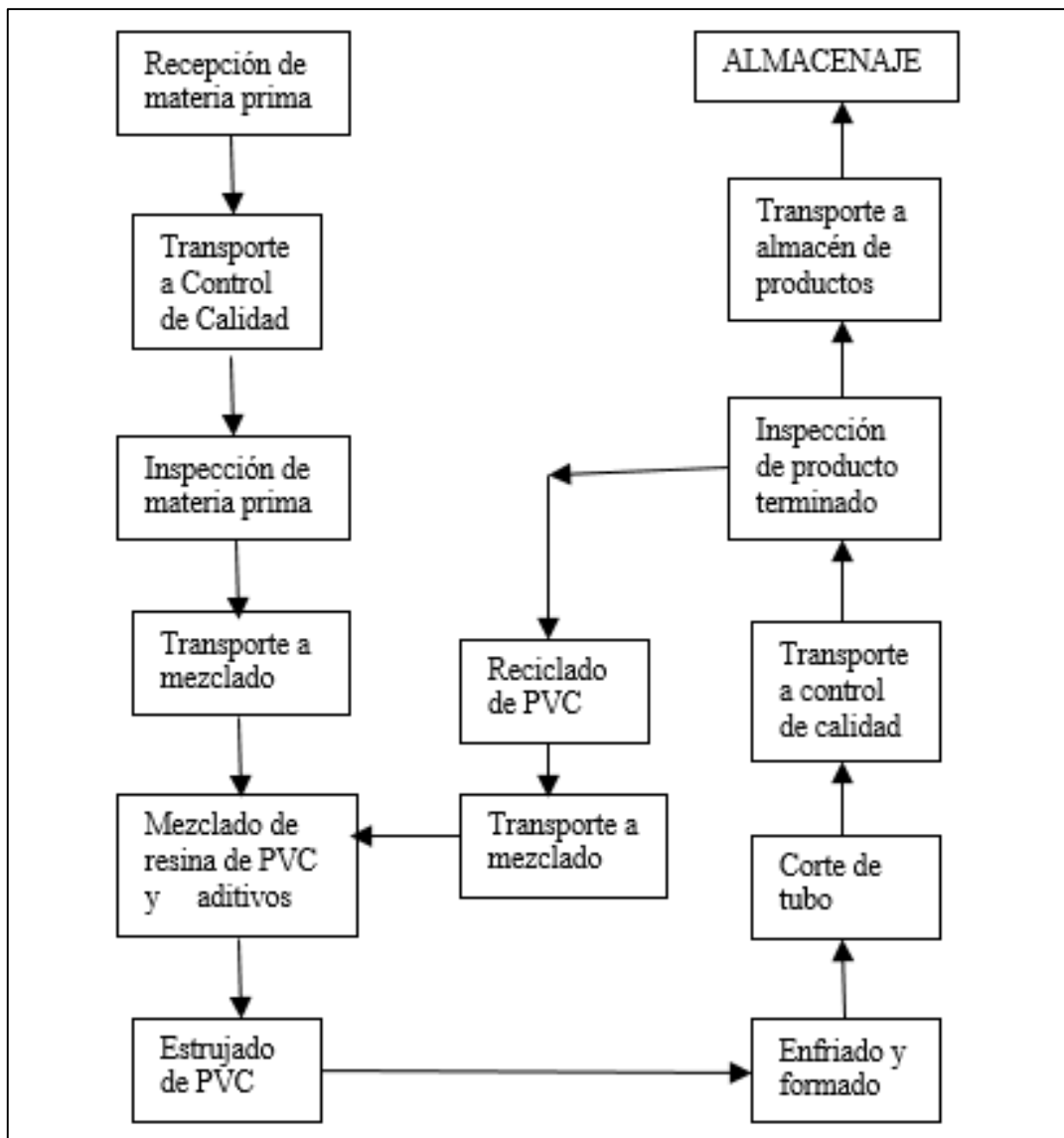


Figura 30. Diagrama de flujo del procesamiento en Eurotubo S. A. C.

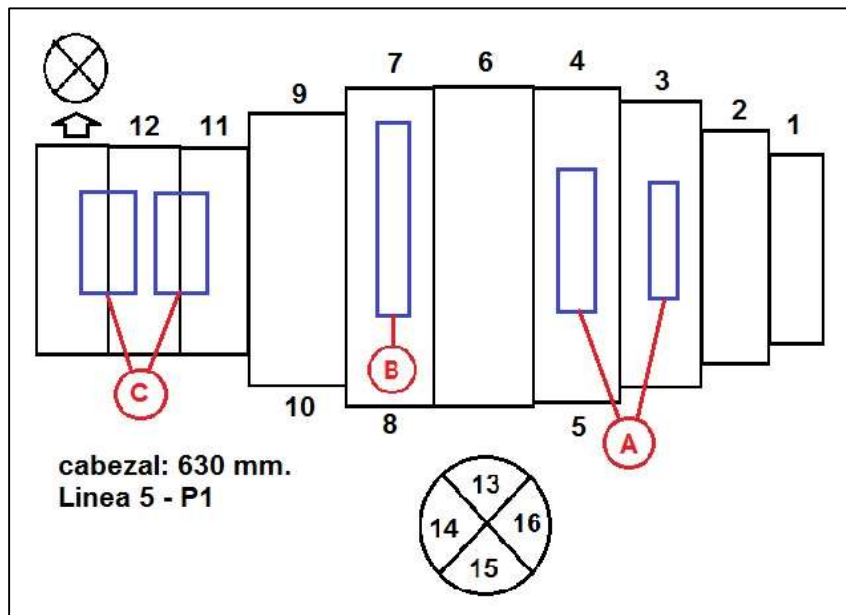
Fuente: Eurotubo S.A.C.



**TABLA 5:** Características técnicas de la extrusora de doble tornillo paralelo

<b>MODELO</b>	<b>SJP-110</b>
<b>POTENCIA DE CONDUCCIÓN (Kw)</b>	<b>75</b>
<b>DIÁMETRO DE TORNILLO (mm)</b>	<b>110</b>
<b>POTENCIA DEL MOTOR PRINCIPAL (Kw)</b>	<b>110</b>
<b>VELOCIDAD DE ROTACIÓN DE TORNILLO (rpm)</b>	<b>45</b>
<b>CAPACIDAD DE SALIDA DE PVC (Kg)</b>	<b>350-650</b>

Fuente: Eurotubo S. A. C.



*Figura 31.* Distribución de las zonas de calentamiento del Cabezal de la línea de resistencias eléctricas: A, B, C son resistencias internas y del 1 hasta el 16 son resistencias.

Fuente: Elaboración propia.

La recomendación importante para un funcionamiento correcto del extrusor es que la zona C debe estar en perfecto estado de funcionamiento.



Figura 32. Extrusor de Eurotubo S.A.C.

Fuente: Elaboración propia

### **1.3.23. Materia prima que se utiliza**

La resina de PVC se dispone en bolsas de 25 Kg de dicha resina y se mezcla con otros insumos: tiza, estearatos, etc. Este formulado se usa en la línea 5 de la Empresa EUROTUBO para la producción de tuberías para sistemas de fluido a presión NTP – ISO 1452, de diámetro nominal de 630 mm, espesor nominal de 30 mm (correspondiente al tipo S10/SDR 21 PN – 10, y longitud de 6 metros.

La carga de dicha mezcla de materia prima es en bolsones de 700 Kg/h para trabajo continuo, produciendo tubos de 630 mm de diámetro de pared gruesa con una velocidad de producción aproximada de 1.5 tubos/hora.

### **Breve descripción general de la Empresa**

#### *Reseña Histórica*

EUROTUBO S.A.C. fue fundada en el departamento de La Libertad en el año 1997 por el empresario Pedro Domínguez Ulloa, desarrollando una de las mejores empresas peruanas, dedicada a la fabricación y comercialización de tuberías y conexiones de PVC para redes de agua potable, alcantarillado e instalaciones domiciliarias de agua y desagüe.

Poco a poco fue posicionándose como una de las mejores empresas dedicadas al rubro de tuberías, expandiéndose a ciudades como Piura, Chiclayo y Lima.

### *Visión*

Ser una industria peruana reconocida por su alto nivel de calidad, con liderazgo en los productos y servicios que brindamos, para el mercado nacional e internacional.

### *Misión*

Somos una industria peruana que ofrece productos de óptima calidad; con la finalidad de obtener un alto grado de satisfacción a nuestros clientes, teniendo como principios la mejora continua, responsabilidad social y respeto al medio ambiente.

### *Valores*

- **Honestidad:** Garantía en la administración de manera adecuada con la colectividad.
- **Disciplina:** Cumplimiento de las normas, procedimientos, políticas, programas y decisiones del organismo y de los órganos rectores.
- **Lealtad:** Identificación del recurso humano, con los objetivos, la cultura y las metas de la organización.
- **Responsabilidad:** Compromiso de responder seriamente a la sociedad, mediante la labor realizada de manera eficiente.
- **Trabajo en equipo:** Se fomenta la integración en equipo con el propósito de alcanzar metas comunes.
- **Reconocimiento al logro:** Se reconoce entre los trabajadores la excelencia y la orientación al logro.
- **Credibilidad:** Mantener una conducta consistente con todos los principios de la organización.

### CLIENTES:

- NETAFIN
- VIRÚ
- BEGGIE
- ARATO
- OLIVOS
- SEDAPAL
- EURODRIP DANPER
- NAANDANJAIN
- AGRONEGOCIOS GENESIS
- SEDALIB S.A.
- SEDAM

- EPS GRAU S.A.
- EMUSAP
- AGUAS DE TUMBES
- EMAPA SAN MARTIN
- EPSEL S.A.
- SEDA
- EMAPA
- EMAPAT S.R.L

Organización de la Empresa

- **Jefe de Producción y Mantenimiento:** Responsable de planificar, organizar, dirigir, controlar y cumplir las actividades del proceso productivo y del proceso de mantenimiento, con el fin de obtener productos de calidad con eficiencia que nos permita la reducción de costos.
- **Asistente de Mantenimiento:** Apoyar al Jefe de Producción y Mantenimiento con respecto a las operaciones que se realizan en la planta.
- **Coordinador de Mantenimiento Mecánico:** Asegurar la operatividad mecánica de los equipos de planta mediante una adecuada gestión de mantenimiento preventivo y correctivo.
- **Coordinador de Mantenimiento Eléctrico:** Asegurar la operatividad eléctrica de los equipos de planta mediante una adecuada gestión de mantenimiento preventivo y correctivo.
- **Electricista:** Ejecutar las actividades previstas en el programa semanal/mensual de mantenimiento eléctrico, realizando tareas técnicas relacionadas con la alimentación eléctrica de la planta, garantizando el flujo eléctrico por el mayor tiempo posible, haciendo uso adecuado de recursos asignados para dichos mantenimientos.
- **Mecánico:** Ejecutar las actividades previstas en el programa semanal/mensual de mantenimiento, garantizando la operatividad de los equipos, además del buen manejo de los recursos asignados para dichos mantenimientos.
- **Tornero:** Fabricar las piezas mecánicas, mediante el uso del torno, esmeril y taladro, para proveer el funcionamiento adecuado de las piezas solicitadas para los equipos de la empresa.

Contamos con la Certificación ISO 9001, la cual certifica la implementación, mantenimiento y mejora de nuestro Sistema de Gestión de Calidad bajo los

requisitos establecidos en la norma. Esta Certificación es el resultado de la implementación de diversos procedimientos internos, sometidos posteriormente a una rigurosa auditoría final a cargo de la entidad certificadora internacional Bureau Veritas, con el respaldo de UKAS Management Systems.

#### ➤ **1.4. Formulación del problema**

¿Cómo mejorar la productividad en el proceso de extrusión de la empresa Eurotubo S.A.C.?

### **1.5 Justificación del estudio**

#### **1.5.1 Económica**

Al identificar los problemas del bajo rendimiento productivo de la empresa, se justifica económicamente porque estos métodos permiten alcanzar el desarrollo de los procesos productivos que se cuenta, mejorando los procedimientos, tiempos improductivos que realiza el operador y que genera pérdidas, aplicando esta metodología habrá una reducción de los costos de producción, los insumos y costo operativo de obra, a través de un mejor procedimiento de trabajo, aumentaran las utilidades de la empresa y en consecuencia incremento del salario del trabajador.

#### **1.5.2 Técnica**

Cada empresa es una realidad diferente a otra desde el punto de vista de la ingeniería, quiere decir que los parámetros de diseño de la máquina, la composición del material utilizado y los valores de funcionamiento de los componentes de la extrusora serán determinantes del rendimiento de la máquina, por consiguiente el presente proyecto plantea, previo diagnóstico, cuánto se alcanzara para generar un incremento de productividad, los procedimientos hay que conocerlos que se están llevando a cabo, para encontrar los problemas que se están pasando en el área de producción y presentar mejoras que generen resultados productivos para la fabricación de tuberías de PVC y finalmente la satisfacción del cliente.

#### **1.5.3 Social**

El continuo desarrollo tecnológico y logístico de las empresas encargados de la transformación de la materia, generan la implementación de nuevos métodos con la consecuente necesidad de requerir más personal calificado, favoreciendo el mercado laboral y mejora social en la calidad de vida de las familias de los trabajadores. Además, al lograr fabricar productos de mejor calidad fabricados con normas de calidad establecidas, se han cambiado en factores finales para que las organizaciones compitan en el mercado actual. Luego, no solamente se logra incrementar los índices

de productividad y calidad de productos, sino también la calidad de vida de las personas en la zona de influencia de la empresa.

El presente proyecto propone dar soluciones a los problemas en la eficiencia de la empresa Eurotubo S.A.C., dedicada a la fabricación de tuberías de PVC, que a pesar de permanecer más de 20 años en el mercado, se ha visto en la obligación de mejorar cada uno de sus procesos, con consecuencias favorables en la calidad de vida de sus trabajadores.

#### **1.5.4 Ambiental**

La Norma Técnica Peruana (NTP – 14001 y NTP – 14004) define el ASPECTO AMBIENTAL como los “elementos de las actividades, productos o servicios de una organización que pueden interactuar con el ambiente causándole un impacto beneficioso o adverso. Por ejemplo, una descarga, emisión, consumo o reutilización de un material, ruido, etc. Un aspecto ambiental significativo es aquel que puede causar un impacto.

En el proceso de extrusión, el impacto ambiental son las relaciones que tienen el proceso de extrusión con la naturaleza o medio.

En este proyecto se priorizaron los siguientes aspectos ambientales: generación de scrap en diferentes partes del proceso y desperdicio de energía eléctrica al mantener bajos rendimientos. Se menciona como aspectos ambientales menos significativos al ruido, alteración del paisaje.

#### **1.6. Hipótesis:**

Es viable elaborar una propuesta para mejorar la productividad del proceso de extrusión en la fabricación de tuberías de PVC de la empresa Eurotubo S.A.C.

#### **1.7. Objetivos:**

##### **1.7.1. Objetivo general:**

Elaborar una propuesta para mejorar la productividad del proceso de extrusión en la fabricación de tuberías de PVC de la empresa Eurotubo S.A.C

##### **1.7.2. Objetivos específicos:**

- Determinar los factores que afectan la productividad en el proceso de extrusión para la fabricación de tuberías de PVC.
- Determinar las partes críticas del proceso.
- Diseñar soluciones a la problemática planteada para mejorar la productividad.

## **II. MÉTODO**

## 2.1. Diseño de investigación

### Tipo de investigación

Aplicada con enfoque Cuantitativo Correlacional

### Nivel de investigación

Correlacional

## 2.2. Variables. Operacionalización

La variable considerada es la productividad que para su determinación cuantitativa se tendrá en cuenta.

La Eficiencia Global de Equipos (OEE, Overall Equipment Efficiency) es un indicador de la productividad, que muestra la capacidad real para producir sin defectos, el rendimiento del proceso y la disponibilidad de los equipos. Es un indicador que requiere de información diaria del proceso.

**TABLA 6:** Operacionalización de la variable Productividad

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
Productividad	Relación entre el resultado de una actividad productiva y el uso de los medios necesarios para la obtención de un lote de producto. La productividad posee por naturaleza una relación de manera directa entre la eficiencia, eficacia y efectividad la cual permite poder plantear un análisis de medición entre la producción final, sus actores y los medios necesarios para la obtención del	El grado de productividad que genera la correlación entre la materia prima utilizados y las unidades producidas en función de un tiempo definido.	Eficiencia Global del Equipo (OEE)	Ordinal

Fuente: Elaboración propia

### Plan de recolección de la información

Con el propósito de realizar un estudio de la productividad de la línea de extrusión en la empresa Eurotubo S. A. C. específicamente NEOTEC (SJP – Parallel Twin Screw Extruder), instalada en la línea de producción N° 5.

Para ello se ha realizado un seguimiento de la información para la elaboración de este proyecto. Las fichas correspondientes a la producción diaria registran todos los valores para el control de la producción diaria ya sea esta en peso bruto o en cantidad de elementos producidos.

Se dispone de información pertinente a:

- Tiempos de operación, y disponibilidad de la maquinaria.
- Materia prima usada por día.



- El valor de la producción diaria.
- Los valores de Scrap (desperdicio) generados en el proceso.

Uso de los instrumentos de recolección de la información:

Para obtener la información necesaria para el presente informe se utilizarán las hojas de registro de producción proveídas por la empresa referente a la línea de extrusión N° 5. Estas hojas contienen valores de producción diaria, horas de funcionamiento, cantidad de desechos producidos y valores complementarios como las horas trabajadas por cada operador sobre la línea. Estos instrumentos permitirán posteriormente realizar el análisis productivo pertinente que nos permita evaluar la situación productiva de la máquina de fabricación de tubería PVC.

### 2.3. Población y muestra

#### Población

Línea de producción N° 05 de planta 1 en la empresa Eurotubo S.A.C.

#### Muestra

Maquina extrusora de la Línea N° 05 de planta 1 en la empresa Eurotubo S.A.C. Para conocer la cantidad muestra que se quiere analizar, se toma como población la producción durante los meses de enero a octubre del año 2018 según lo provisto por la empresa.

**TABLA 7.** *Productividad durante 10 meses del año 2018 para la máquina extrusora de la línea 5.*

Mes	Producción (Kg)	Horas al mes (h)	Productividad (Kg/h)
<b>Enero</b>	150440.6	744	202.20
<b>Febrero</b>	89240.7	672	132.80
<b>Marzo</b>	0.0	000	0.00
<b>Abril</b>	4590.6	720	6.37
<b>Mayo</b>	0.0	000	0.00
<b>Junio</b>	20477.4	720	28.44
<b>Julio</b>	120455.8	744	161.90
<b>Agosto</b>	1200.8	744	1.61
<b>Setiembre</b>	229488.9	720	318.73
<b>Octubre</b>	404560.00	744	543.76
<b>SUMA</b>			<b>1380.98</b>

Fuente: Eurotubo S.A.C. registro de productividad desde el mes de enero hasta octubre.

Se observa en la Tabla 7 una productividad de 1380.98 Kg/h calculada considerando el funcionamiento de los equipos en las horas disponibles mencionadas.

Los meses con productividad cero se deben a que la línea estuvo parada, pero con la capacidad de trabajar.

La ecuación que permite calcular la muestra es:

$$n = \frac{Z^2 * P * Q * N}{Z^2 * P * Q + N * e^2}$$

Donde:

n = Tamaño de la muestra

Z = Nivel de confianza 95% (1.96)

P = Probabilidad de ocurrencia 50%

Q = Probabilidad de no ocurrencia 50%

N = Población o universo (1380.98 Kg/h)

e = Nivel de error 3.5%

Reemplazando valores en dicha ecuación tenemos:

$$n = \frac{1.96^2 * 0.5 * 0.5 * 1380.98}{1.96^2 * 0.5 * 0.5 + 1380.98 * 0.035^2}$$

$$n = 500.09 \approx 501$$

Lo que quiere decir que si se cubre con una muestra equivalente al menos de 501 kg/h se tendrá una observación con la confiabilidad planteada, considerando el mes más cercano a la fecha de estudio se tiene que el mes de octubre cumple con la condición:

$$543.76 > 501.$$

## **2.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad.**

Las técnicas empleadas para el acopio de la información serán:

### **Técnica**

Observación

### **Instrumentos**

Ficha de registro de datos.

## **2.5 Método de análisis de datos**

### **Método**

Inductivo

### **Diseño de investigación**

No experimental – Longitudinal.

## **2.6 Aspectos éticos**

En una Empresa Privada se guardan muy celosamente información tecnológica que determinan las bondades del producto obtenido, además se guardan las reservas de las identidades de los maquinistas que se desenvuelven en dicha empresa; por este motivo la información técnica no es completa, pero si es suficiente para trasladar el conocimiento y las experiencias de un nivel a otro, sobre todo al académico formador de nuevos profesionales.

### **III. RESULTADOS**

1. Para determinar los factores que afectan la productividad durante la extrusión para la fabricación de tuberías de PVC en la empresa Eurotubo S. A. C en la ciudad de Trujillo, se hace uso de un indicador de productividad llamado OEE (Overall Equipment Efficiency) que significa eficiencia global del equipo, que además de analizar una máquina, permite evaluar el rendimiento productivo total de una empresa. La Eficiencia Global de los Equipos es un indicador muy importante que representa el potencial real para producir sin fallas, es decir es un indicador poderoso que necesita de información real de funcionamiento de la línea de producción de la empresa. La OEE es una herramienta que evalúa en forma comparativa, ósea puede ser usado para evaluar los elementos del proceso de producción, que para nuestro caso consideramos: *Disponibilidad, Rendimiento y Calidad*, según recomendaciones en **5s, Kaizen, Lean Manufacturing, Six Sigma y TPM**. La Eficiencia Global de los Equipos es calificada como una de las herramientas de evaluación más eficientes para la toma de decisiones respecto al sistema productivo.
2. Para determinar las partes críticas del proceso, primero se calcula el promedio de la OEE en base a los datos de información diaria del mes de octubre del 2008 (Disponibilidad, Rendimiento y Calidad), siendo éste del 63%, existiendo una tendencia a mantenerse la OEE, además uno de los picos de producción está en torno al 70% que en realidad es una medida baja de OEE que indica la subutilización del equipo. Luego calculamos la correlación de Pearson para el mes de octubre de la OEE respecto a cada variable: Disponibilidad, Rendimiento y Calidad. El cálculo se realizó en hoja de cálculo.

**TABLA 8.** Resumen: correlaciones, valoraciones y reajustes necesarios.

Correlación	Valores de r	Tipo y Grado de Correlación	Reajustes
<b>OEE vs Disponibilidad</b>	0.8447	positivo fuerte	No necesario
<b>OEE vs Rendimiento</b>	-0.07859	negativa fuerte	Indispensable
<b>OEE vs Calidad</b>	0.18488	positiva débil	Recomendable

Fuente: Elaboración propia.

Luego, las partes críticas están relacionadas con el rendimiento y la calidad.

Este resultado es consecuencia de los siguientes cálculos:

El proyecto de investigación utilizó datos de Eurotubo S.A.C. de la ciudad de

Trujillo. Se dispuso de información diaria correspondiente al mes de octubre de 2018 (Tabla 9), referido a:

- Fecha
- Tiempo de disponibilidad de la línea (TD)
- Tiempo de funcionamiento de la línea (TF)
- Producción Real (PR)
- Capacidad de la máquina (C)
- Desperdicios generados (D)

Esta información será necesaria para el análisis de la OEE de la línea de producción que forma parte la máquina de extrusión de PVC NEOTEC (SJP – Parallel Twin Screw Extruder), instalada en la línea número 5 de la planta, donde se podrá analizar las posibles razones que generan este problema.

**TABLA 9:** Datos de producción del mes de octubre del 2018.

Mes de Octubre						
Fecha	TD (h)	TF (h)	PR (Kg)	C (Kg/h)	D (Kg)	FLUJO MASICO PR/TF (Kg/h)
01/10/2018	24	20	10040.5	700	42.5	502.025
02/10/2018	24	19	9595.2	700	40.25	505.010526
03/10/2018	20	18	9036.6	700	20.8	502.033333
04/10/2018	24	18	9144.8	700	33.5	508.044444
05/10/2018	24	22	11220.6	700	30.55	510.027273
06/10/2018	23	22	11176.4	700	12.9	508.018182
07/10/2018	24	23	11799.6	700	15.7	513.026087
08/10/2018	24	23	11960.8	700	25.7	520.034783
09/10/2018	24	24	12120.9	700	28.6	505.0375
10/10/2018	24	22	11000.6	700	30.85	500.027273
11/10/2018	24	22	11110.6	700	35.65	505.027273
12/10/2018	23	22	10780.5	700	15.88	490.022727
13/10/2018	24	18	9018.5	700	18.8	501.027778
14/10/2018	24	22	11044.6	700	22.95	502.027273
15/10/2018	24	23	11477.7	700	25.68	499.030435
16/10/2018	24	22	11330.6	700	45.97	515.027273
17/10/2018	24	21	11025.8	700	68.9	525.038095
18/10/2018	24	24	11952.4	700	56.78	498.016667
19/10/2018	22	21	10479.6	700	48.9	499.028571
20/10/2018	20	20	10080.6	700	34.65	504.03
21/10/2018	24	22	10978.9	700	13.98	499.040909
22/10/2018	24	20	10030.2	700	24.87	501.51
23/10/2018	24	19	9534.2	700	28.95	501.8
24/10/2018	24	19	9536.1	700	22.65	501.9

<b>25/10/2018</b>	24	20	10010.6	700	20.55	500.53
<b>26/10/2018</b>	24	20	10018.8	700	33.65	500.94
<b>27/10/2018</b>	24	23	11247.6	700	30.55	489.026087
<b>28/10/2018</b>	24	22	10978.5	700	22.8	499.022727
<b>29/10/2018</b>	24	23	11270.6	700	29.65	490.026087
<b>30/10/2018</b>	24	22	10956.7	700	26.9	498.031818
<b>31/10/2018</b>	24	22	11026.4	700	60.76	501.2
<b>TOTALES</b>		<b>658</b>	<b>330985.5</b>			<b>15594.5881</b>

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 9 muestra el detalle del mes de octubre del 2018 con la información más relevante sobre su producción. Se observa la disponibilidad de 24 horas en la mayoría de días y su respectivo tiempo de funcionamiento, además de la producción diaria, la capacidad del equipo que es invariante y los desperdicios generados.

La recopilación diaria de información permite llegar a obtener un grado de precisión para un valor de OEE diario.

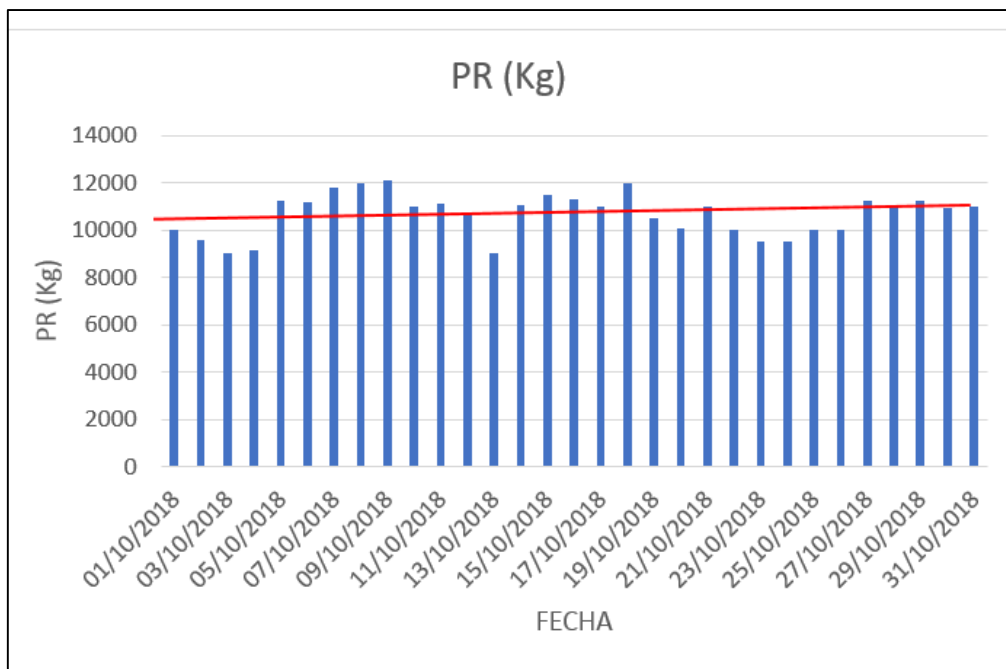


Figura 33. Producción real diaria de octubre del 2018.

Fuente: Elaboración propia.

Observamos en la Figura 33 la representación de una línea de tendencia para la producción real diaria del mes de octubre, el noveno día del mes se observó la mayor producción real y para el día 3 se observó la producción real más baja. Sin embargo la línea de tendencia señala un ligero incremento de la producción en el mes.

Cabe recalcar que la línea de tendencia fue determinada utilizando la ley de los mínimos cuadrados.

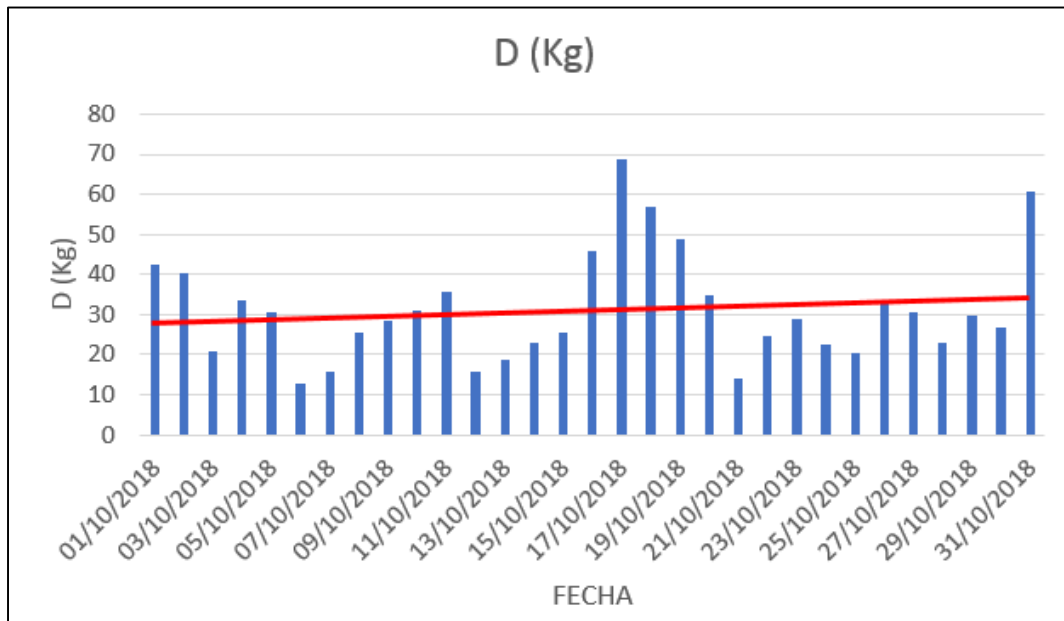


Figura 34. Desperdicios diarios del mes de octubre de 2018.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 34 presenta una línea de tendencia que muestra un ligero incremento de desperdicios durante los días del mes, el día 17 de octubre se observó la mayor cantidad de desperdicio de materia prima y para el día 6 se observó el desperdicio más bajo, cabe mencionar que la eficiencia depende mucho de la optimización de los recursos en el proceso.

Las tablas anteriores muestran la selección de datos necesarios para realizar el análisis de la productividad por OEE, cada columna muestra las unidades de medida y producción que día a día se reportan para llevar un estricto control de su producción. El control diario de esta información permite que el presente estudio sea mucho más confiable.

Los datos que se pudieron recopilar fueron seleccionados con el propósito de facilitar el cálculo de OEE para la línea de extrusión de tubería PVC.

Dicha información se analizará de la siguiente manera:

#### **Cálculo de la OEE:**

$$\text{OEE} = \text{Disponibilidad} * \text{Rendimiento} * \text{Calidad}$$

(Ingeniería Industrial. Herramientas para el Ingeniero Industrial)

Disponibilidad (d): 
$$d = \frac{TF}{TD}$$

Donde TF es tiempo de funcionamiento y TD es tiempo de disponibilidad de la línea.



$$\text{Rendimiento (r):} \quad r = \frac{\frac{1}{C}}{\frac{TF}{PR}}$$

Donde TF es tiempo de funcionamiento de la línea, PR es la producción real y C es la capacidad de la máquina.

$$\text{Calidad (c):} \quad c = \frac{PR}{PR+D}$$

Las relaciones mostradas permitirán conocer la eficiencia general con la que se está ocupando la máquina de extrusión en la línea de producción de tuberías PVC. Se observa que el valor de 700 Kg/h es constante puesto que es la capacidad de producción de la máquina lo cual es invariable.

Para interpretar la productividad de la empresa se aplican las fórmulas expresadas anteriormente con el propósito de obtener la OEE diario en el mes de Octubre. Se obtienen de los valores de las variables independientes: Disponibilidad, Rendimiento y Calidad para en base a ellos obtener un valor de OEE.

**TABLA 10:** *Cálculo de la OEE para el mes de octubre del 2018*

Fecha	TD (h)	TF (h)	PR (Kg)	C (Kg/h)	D (Kg)	d	r	c	OEE
1/10/2018	24	20	10040.5	700	42.50	0.833	0.717	0.996	0.6263
2/10/2018	24	19	9595.2	700	40.25	0.792	0.721	0.996	0.5687
3/10/2018	20	18	9036.9	700	20.80	0.9	0.717	0.998	0.6440
4/10/2018	24	18	9144.8	700	33.50	0.75	0.725	0.996	0.5416
5/10/2018	24	22	11220.6	700	30.55	0.916	0.728	0.997	0.6648
6/10/2018	22	20	10120.9	700	12.90	0.909	0.723	0.999	0.6565
7/10/2018	24	23	11799.6	700	15.70	0.958	0.733	0.998	0.7008
8/10/2018	22	20	10180.9	700	25.70	0.909	0.727	0.997	0.6588
9/10/2018	24	24	12120.9	700	28.60	1.000	0.721	0.812	0.5854
10/10/2018	24	22	11000.6	700	30.85	0.916	0.714	0.997	0.6520
11/10/2018	24	22	11110.6	700	35.65	0.916	0.721	0.997	0.6584
12/10/2018	22	19	9690.9	700	15.88	0.863	0.728	0.998	0.6270
13/10/2018	24	18	9018.5	700	18.80	0.75	0.716	0.998	0.5359
14/10/2018	24	22	11044.6	700	22.95	0.916	0.717	0.998	0.6555
15/10/2018	24	23	11477.7	700	25.68	0.958	0.713	0.998	0.6817
16/10/2018	24	22	11330.6	700	45.97	0.916	0.736	0.996	0.6715
17/10/2018	24	21	11025.8	700	68.90	0.875	0.750	0.994	0.6523
18/10/2018	24	24	11952.4	700	56.78	1.000	0.711	0.995	0.7074
19/10/2018	21	20	10300.6	700	48.90	0.952	0.736	0.995	0.6972
20/10/2018	20	20	10080.6	700	34.65	1.000	0.720	0.996	0.7171
21/10/2018	24	22	10978.9	700	13.98	0.916	0.655	0.997	0.5982
22/10/2018	24	20	10030.2	700	24.87	0.833	0.716	0.997	0.5946
23/10/2018	24	19	9534.2	700	28.95	0.792	0.717	0.997	0.5662

<b>24/10/2018</b>	24	19	9536.1	700	22.65	0.792	0.717	0.998	0.5667
<b>25/10/2018</b>	24	20	10010.6	700	20.55	0.833	0.715	0.998	0.5944
<b>26/10/2018</b>	24	20	10018.8	700	33.65	0.833	0.716	0.997	0.5946
<b>27/10/2018</b>	24	23	11247.6	700	30.55	0.958	0.699	0.997	0.6676
<b>28/10/2018</b>	24	22	10978.5	700	22.80	0.916	0.713	0.998	0.6518
<b>29/10/2018</b>	24	23	11270.6	700	29.65	0.958	0.700	0.997	0.6692
<b>30/10/2018</b>	24	22	10956.7	700	26.90	0.916	0.711	0.997	0.6493
<b>31/10/2018</b>	24	22	11026.4	700	60.76	0.916	0.716	0.995	0.6526

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 8 se visualiza que el valor de la disponibilidad por lo general adquiere el valor de 1, al igual que de la calidad pero no ocurre así con el valor del rendimiento. De manera general se obtiene un valor promedio de OEE de 63.57% para todo el mes de octubre.

$$PROMEDIO\ OEE = \frac{\Sigma\ Total\ OEE}{31\ dias}$$

$$PROMEDIO\ OEE = \frac{19.7081}{31}$$

$$PROMEDIO\ OEE = 0.63574 = 63.57\%$$

Considerando la siguiente tabla, el promedio de OEE calculada es de 63.57% la calificación es inaceptable.

**TABLA 11:** Valoración y descripción de diferentes OEE

OEE	Valoración	Descripción
<b>0 - 64%</b>	Deficiente Inaceptable	Se producen significativas pérdidas económicas y muy baja competitividad
<b>65 - 74%</b>	Regular	Es aceptable solo si se está en proceso de mejora. Se producen pérdidas económicas. Existe baja Competitividad.
<b>75 - 84%</b>	Aceptable	Debe continuar la mejora para alcanzar una buena Valoración. Bajas pérdidas económicas. Competitividad ligeramente baja.
<b>85 - 94%</b>	Buena	Entra en valores de clase mundial. Buena Competitividad.
<b>95 - 100%</b>	Excelente	Valores de clase mundial. Alta competitividad.

Fuente: Ingeniería Industrial on line.

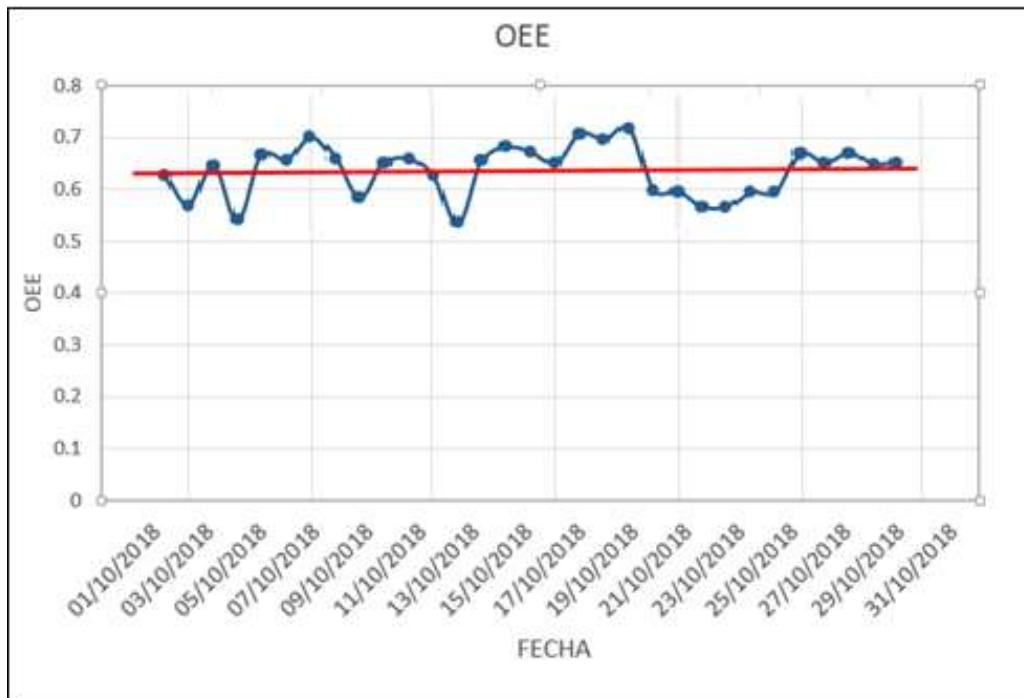


Figura 35. Gráfica de la OEE diario para el mes de octubre del 2018.

Fuente: Elaboración propia.

Claramente se observa en la Figura 35, la existencia de una tendencia a mantenerse el OEE, además uno de los picos de producción está en torno al 70% que en realidad es una medida baja de OEE que indica la subutilización del equipo. Esta subutilización deberá ser analizada en la propuesta.

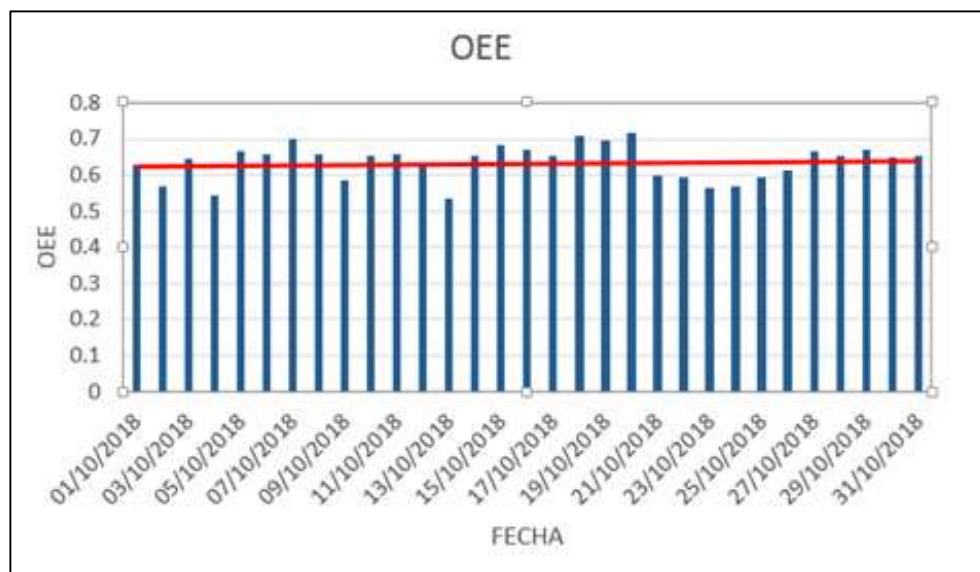


Figura 36. Diagrama de barras de la OEE para todo el mes de octubre del 2018.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 36, se pudo observar que presenta una línea de tendencia de incremento

ligero, el día 20 del mes de Octubre se observó la mayor eficiencia en los equipos de extrusión y para el día 13 se observó la eficiencia más baja. Se observan fluctuaciones de los valores de OEE. Posteriormente será necesario investigar a que se debe esta disminución productiva.

### **Correlación de variables**

Para establecer la incidencia de las variables en el proceso de extrusión en PVC, se utilizará el método cuantitativo estadístico llamado correlación de Pearson, teniendo como variable independiente a los tres diferentes elementos que influyen en el cálculo del OEE como son el rendimiento, la disponibilidad y la calidad, que es el resultado general del desempeño de los equipos. El método de Pearson permitirá visualizar cuál de las variables tiene mayor influencia para así poder tener una idea de por dónde empezar el proceso de mejora. (Edwards, A. L. 1976).

**TABLA 12:** *Resumen de la OEE para el cálculo de la correlación del mes de octubre*

<b>Fecha</b>	<b>d</b>	<b>r</b>	<b>c</b>	<b>OEE</b>
<b>1/10/2018</b>	0.833	0.717	0.996	0.6263
<b>2/10/2018</b>	0.792	0.721	0.996	0.5687
<b>3/10/2018</b>	0.9	0.717	0.998	0.6440
<b>4/10/2018</b>	0.75	0.725	0.996	0.5416
<b>5/10/2018</b>	0.916	0.728	0.997	0.6648
<b>6/10/2018</b>	0.909	0.723	0.999	0.6565
<b>7/10/2018</b>	0.958	0.733	0.998	0.7008
<b>8/10/2018</b>	0.909	0.727	0.997	0.6588
<b>9/10/2018</b>	1.000	0.721	0.812	0.5854
<b>10/10/2018</b>	0.916	0.714	0.997	0.6520
<b>11/10/2018</b>	0.916	0.721	0.997	0.6584
<b>12/10/2018</b>	0.863	0.728	0.998	0.6270
<b>13/10/2018</b>	0.75	0.716	0.998	0.5359
<b>14/10/2018</b>	0.916	0.717	0.998	0.6555
<b>15/10/2018</b>	0.958	0.713	0.998	0.6817
<b>16/10/2018</b>	0.916	0.736	0.996	0.6715
<b>17/10/2018</b>	0.875	0.750	0.994	0.6523
<b>18/10/2018</b>	1.000	0.711	0.995	0.7074
<b>19/10/2018</b>	0.952	0.736	0.995	0.6972
<b>20/10/2018</b>	1.000	0.720	0.996	0.7171
<b>21/10/2018</b>	0.916	0.655	0.997	0.5982
<b>22/10/2018</b>	0.833	0.716	0.997	0.5946
<b>23/10/2018</b>	0.792	0.717	0.997	0.5662
<b>24/10/2018</b>	0.792	0.717	0.998	0.5667
<b>25/10/2018</b>	0.833	0.715	0.998	0.5944
<b>26/10/2018</b>	0.833	0.716	0.997	0.5946
<b>27/10/2018</b>	0.958	0.699	0.997	0.6676

<b>28/10/2018</b>	0.916	0.713	0.998	0.6518
<b>29/10/2018</b>	0.958	0.700	0.997	0.6692
<b>30/10/2018</b>	0.916	0.711	0.997	0.6493
<b>31/10/2018</b>	0.916	0.716	0.995	0.6526

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 12 señala los valores calculados previamente de disponibilidad, rendimiento, calidad y OEE para el mes de octubre. De la observación previa se visualiza que los valores de rendimiento son los más bajos, así que aparentemente serían los de mayor influencia para el OEE. Tanto disponibilidad como calidad se encuentran muy cercanos a uno.

A continuación se generará tres casos de estudio: con el propósito de visualizar donde existe un vínculo más fuerte para el cálculo de la OEE. Se analizará la correlación de estas variables con el propósito de visualizar donde se encuentran la mayoría de las dificultades para la empresa.

A continuación se desarrollará un ejemplo de cálculo para la determinación de la correlación. En el primer caso se declarará las variables de la siguiente manera:

*$x = \text{Disponibilidad}$*

*$y = \text{Eficiencia real de los equipos}$*

A continuación, se hace el cálculo de la media aritmética de cada variable, utilizando la siguiente ecuación y con los datos observados en la Tabla 13. El mes de octubre genera un total de 31 datos para el estudio.

Para el valor  $x$ , el  $\bar{x}$  promedio será:

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$$

Para el valor  $y$ , el  $\bar{y}$  promedio será:

$$\bar{y} = \frac{\sum y}{n}$$

Después se procede a calcular la variabilidad de  $X$  y  $Y$  respecto a su promedio, con la siguiente ecuación para cada uno de los días que conforman los 31 datos de estudio:

$$X = x - \bar{x}$$

$$Y = y - \bar{y}$$

A continuación, se procederá a realizar el cálculo de los cuadrados de X e Y, y el valor generado por el producto de las variables XY.

Enseguida, se procederá a realizar la tabla de cálculos de toda la base de datos del mes de octubre.

**TABLA 13:** Valores para correlación con la disponibilidad para el mes de octubre.

Fecha	d (x)	r	c	OEE (y)	X	Y	X <sup>2</sup>	Y <sup>2</sup>	X.Y
01/10/2018	0.833	0.717	0.996	0.6263	-0.060290323	-0.00944516	0.00363492	8.9211E-05	0.00056945
02/10/2018	0.792	0.721	0.996	0.5687	-0.101290323	-0.06704516	0.01025973	0.00449505	0.00679103
03/10/2018	0.9	0.717	0.998	0.644	0.006709677	0.00825484	4.502E-05	6.8142E-05	5.5387E-05
04/10/2018	0.75	0.725	0.996	0.5416	-0.143290323	-0.09414516	0.02053212	0.00886331	0.01349009
05/10/2018	0.916	0.728	0.997	0.6648	0.022709677	0.02905484	0.00051573	0.00084418	0.00065983
06/10/2018	0.909	0.723	0.999	0.6565	0.015709677	0.02075484	0.00024679	0.00043076	0.00032605
07/10/2018	0.958	0.733	0.998	0.7008	0.064709677	0.06505484	0.00418734	0.00423213	0.00420968
08/10/2018	0.909	0.727	0.997	0.6588	0.015709677	0.02305484	0.00024679	0.00053153	0.00036218
09/10/2018	1	0.721	0.812	0.5854	0.106709677	-0.05034516	0.01138696	0.00253464	-0.00537232
10/10/2018	0.916	0.714	0.997	0.652	0.022709677	0.01625484	0.00051573	0.00026422	0.00036914
11/10/2018	0.916	0.721	0.997	0.6584	0.022709677	0.02265484	0.00051573	0.00051324	0.00051448
12/10/2018	0.863	0.728	0.998	0.627	-0.030290323	-0.00874516	0.0009175	7.6478E-05	0.00026489
13/10/2018	0.75	0.716	0.998	0.5359	-0.143290323	-0.09984516	0.02053212	0.00996906	0.01430685
14/10/2018	0.916	0.717	0.998	0.6555	0.022709677	0.01975484	0.00051573	0.00039025	0.00044863
15/10/2018	0.958	0.713	0.998	0.6817	0.064709677	0.04595484	0.00418734	0.00211185	0.00297372
16/10/2018	0.916	0.736	0.996	0.6715	0.022709677	0.03575484	0.00051573	0.00127841	0.00081198
17/10/2018	0.875	0.75	0.994	0.6523	-0.018290323	0.01655484	0.00033454	0.00027406	-0.00030279
18/10/2018	1	0.711	0.995	0.7074	0.106709677	0.07165484	0.01138696	0.00513442	0.00764626
19/10/2018	0.952	0.736	0.995	0.6972	0.058709677	0.06145484	0.00344683	0.0037767	0.00360799
20/10/2018	1	0.72	0.996	0.7171	0.106709677	0.08135484	0.01138696	0.00661861	0.00868135
21/10/2018	0.916	0.655	0.997	0.5982	0.022709677	-0.03754516	0.00051573	0.00140964	-0.00085264
22/10/2018	0.833	0.716	0.997	0.5946	-0.060290323	-0.04114516	0.00363492	0.00169292	0.00248066
23/10/2018	0.792	0.717	0.997	0.5662	-0.101290323	-0.06954516	0.01025973	0.00483653	0.00704425
24/10/2018	0.792	0.717	0.998	0.5667	-0.101290323	-0.06904516	0.01025973	0.00476723	0.00699361
25/10/2018	0.833	0.715	0.998	0.5944	-0.060290323	-0.04134516	0.00363492	0.00170942	0.00249271
26/10/2018	0.833	0.716	0.997	0.5946	-0.060290323	-0.04114516	0.00363492	0.00169292	0.00248066
27/10/2018	0.958	0.699	0.997	0.6676	0.064709677	0.03185484	0.00418734	0.00101473	0.00206132
28/10/2018	0.916	0.713	0.998	0.6518	0.022709677	0.01605484	0.00051573	0.00025776	0.0003646
29/10/2018	0.958	0.7	0.997	0.6692	0.064709677	0.03345484	0.00418734	0.00111923	0.00216485
30/10/2018	0.916	0.711	0.997	0.6493	0.022709677	0.01355484	0.00051573	0.00018373	0.00030783
31/10/2018	0.916	0.716	0.995	0.6526	0.022709677	0.01685484	0.00051573	0.00028409	0.00038277
<b>TOTALES</b>	<b>27.69</b>	<b>22.24</b>	<b>30.71</b>	<b>19.708</b>	<b>2.839E-08</b>	<b>0.01625484</b>	<b>0.14717239</b>	<b>0.07146446</b>	<b>0.08633449</b>

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 13 presenta todos los valores necesarios para generar la correlación de Pearson para el mes de octubre. Obtenidos los valores necesarios se procede a

utilizar las ecuaciones que se indican para finalmente proceder a calcular el índice de correlación  $r_1$ . (Edwards, A. L. 1976)

$$r_1 = \frac{\sum XY}{\sqrt{(\sum X^2) * (\sum Y^2)}}$$

$$r_1 = \frac{0.08633449}{\sqrt{(0.14717239) * (0.07146446)}}$$

$$r_1 = 0.8447$$

**TABLA 14:** Resumen de correlación Disponibilidad vs OEE

n	31 días del mes de Octubre
$\Sigma x$	27.69
$\Sigma y$	22.24
$\Sigma X.Y$	0.08633449
$\Sigma X^2$	0.14717239
$\Sigma Y^2$	0.07146446
<b>Correlación</b>	<b>0.8447</b>

Fuente: Elaboración propia

Tanto la Tabla 11 y Tabla 12 muestran todos los valores utilizados para obtener la correlación entre las variables DISPONIBILIDAD VS OEE (Overall Equipment Efficiency) que con 31 datos disponibles muestra una correlación de 0.8447, como se detalla más adelante esta correlación es positiva fuerte y aparentemente no es el motivo del bajo valor de OEE obtenido.

A continuación se muestra una gráfica de dispersión, para visualizar la correlación de ambas variables.

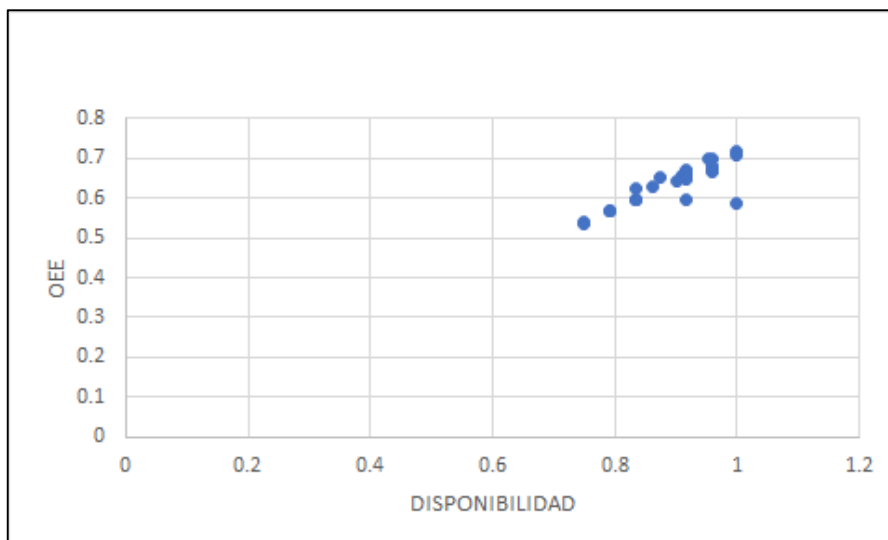


Figura 37. Dispersión de los puntos de Disponibilidad vs OEE.

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 37 muestra la dispersión de los puntos de disponibilidad para la línea de tendencia, lo que muestra que la correlación es fuerte por la gran proximidad de los datos hacia la línea, y por ende su correlación positiva fuerte.

La tabla 13 contiene los datos de disponibilidad (x) y Eficiencia real (y):

**TABLA 15:** *Datos de la Disponibilidad y la OEE correspondientes*

Fecha	d (x)	OEE (y)	x.y	x <sup>2</sup>
01/10/2018	0.833	0.6263	0.5217079	0.693889
02/10/2018	0.792	0.5687	0.4504104	0.627264
03/10/2018	0.9	0.644	0.5796	0.81
04/10/2018	0.75	0.5416	0.4062	0.5625
05/10/2018	0.916	0.6648	0.6089568	0.839056
06/10/2018	0.909	0.6565	0.5967585	0.826281
07/10/2018	0.958	0.7008	0.6713664	0.917764
08/10/2018	0.909	0.6588	0.5988492	0.826281
09/10/2018	1	0.5854	0.5854	1
10/10/2018	0.916	0.652	0.597232	0.839056
11/10/2018	0.916	0.6584	0.6030944	0.839056
12/10/2018	0.863	0.627	0.541101	0.744769
13/10/2018	0.75	0.5359	0.401925	0.5625
14/10/2018	0.916	0.6555	0.600438	0.839056
15/10/2018	0.958	0.6817	0.6530686	0.917764
16/10/2018	0.916	0.6715	0.615094	0.839056
17/10/2018	0.875	0.6523	0.5707625	0.765625
18/10/2018	1	0.7074	0.7074	1
19/10/2018	0.952	0.6972	0.6637344	0.906304
20/10/2018	1	0.7171	0.7171	1
21/10/2018	0.916	0.5982	0.5479512	0.839056
22/10/2018	0.833	0.5946	0.4953018	0.693889
23/10/2018	0.792	0.5662	0.4484304	0.627264
24/10/2018	0.792	0.5667	0.4488264	0.627264
25/10/2018	0.833	0.5944	0.4951352	0.693889
26/10/2018	0.833	0.5946	0.4953018	0.693889
27/10/2018	0.958	0.6676	0.6395608	0.917764
28/10/2018	0.916	0.6518	0.5970488	0.839056
29/10/2018	0.958	0.6692	0.6410936	0.917764
30/10/2018	0.916	0.6493	0.5947588	0.839056
31/10/2018	0.916	0.6526	0.5977816	0.839056
<b>TOTALES</b>	<b>27.692</b>	<b>19.7081</b>	<b>17.6913895</b>	<b>24.884168</b>

Fuente: Elaboración propia

La línea de tendencia se determinará aplicando la ley de los mínimos cuadrados cuya fórmula es:



$$Y = \left( \frac{n \sum(x.y) - \sum x \cdot \sum y}{n \sum x^2 - |\sum x|^2} \right) x + \left( \frac{\sum y \cdot \sum x^2 - \sum x \cdot \sum(x.y)}{n \sum x^2 - |\sum x|^2} \right)$$

Reemplazando valores en la:

$$Y = \left( \frac{31 \cdot \sum(x.y) - \sum x \cdot \sum y}{n \sum x^2 - |\sum x|^2} \right) x + \left( \frac{\sum y \cdot \sum x^2 - \sum x \cdot \sum(x.y)}{n \sum x^2 - |\sum x|^2} \right)$$

$$Y = \frac{31(17.69139) - 27.692(19.708)}{31(24.884) - 27.692^2} X + \frac{19.708(24.884) - 27.692(17.69139)}{31(24.884) - 27.692^2}$$

$$Y = \frac{2.6791}{4.5571} X + 0.116$$

$$Y = 0.58789X + 0.1106$$

calculando para:  $x = 0.75, y = 0.5515$

$x = 1, y = 0.69849$

La tendencia estará determinada por la recta con los puntos obtenidos:

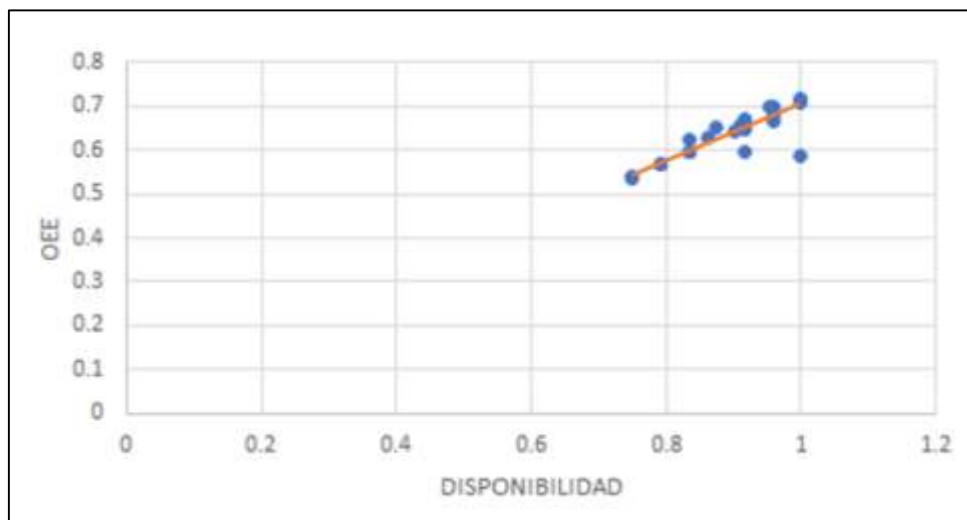


Figura 38. Línea de la tendencia de la Disponibilidad vs OEE.

Fuente: Elaboración propia.

Observamos la tendencia al incremento de la disponibilidad cuando aumenta la Eficiencia real del equipo.

Ahora se procederá a calcular una segunda correlación para el rendimiento siguiendo el mismo procedimiento que se empleó para hallar la correlación entre la disponibilidad y la Eficiencia real del equipo, se declararán las variables de la

siguiente manera:

$x = \text{Rendimiento}$

$y = \text{Eficiencia real de los equipos (OEE)}$

**TABLA 16:** Valores para la correlación con el rendimiento para el mes de octubre

Fecha	d	r (x)	c	OEE (y)	X	Y	X <sup>2</sup>	Y <sup>2</sup>	X.Y
01/10/2018	0.833	0.717	0.996	0.6263	-0.00070968	-0.00944516	5.0364E-07	8.9211E-05	6.70302E-06
02/10/2018	0.792	0.721	0.996	0.5687	0.003290323	-0.06704516	1.0826E-05	0.00449505	-0.0002206
03/10/2018	0.9	0.717	0.998	0.644	-0.00070968	0.008254839	5.0364E-07	6.8142E-05	-5.8583E-06
04/10/2018	0.75	0.725	0.996	0.5416	0.007290323	-0.09414516	5.3149E-05	0.00886331	-0.00068635
05/10/2018	0.916	0.728	0.997	0.6648	0.010290323	0.029054839	0.00010589	0.00084418	0.000298984
06/10/2018	0.909	0.723	0.999	0.6565	0.005290323	0.020754839	2.7988E-05	0.00043076	0.0001098
07/10/2018	0.958	0.733	0.998	0.7008	0.015290323	0.065054839	0.00023379	0.00423213	0.000994709
08/10/2018	0.909	0.727	0.997	0.6588	0.009290323	0.023054839	8.631E-05	0.00053153	0.000214187
09/10/2018	1	0.721	0.812	0.5854	0.003290323	-0.05034516	1.0826E-05	0.00253464	-0.00016565
10/10/2018	0.916	0.714	0.997	0.652	-0.00370968	0.016254839	1.3762E-05	0.00026422	-6.03E-05
11/10/2018	0.916	0.721	0.997	0.6584	0.003290323	0.022654839	1.0826E-05	0.00051324	7.45417E-05
12/10/2018	0.863	0.728	0.998	0.627	0.010290323	-0.00874516	0.00010589	7.6478E-05	-8.9991E-05
13/10/2018	0.75	0.716	0.998	0.5359	-0.00170968	-0.09984516	2.923E-06	0.00996906	0.000170703
14/10/2018	0.916	0.717	0.998	0.6555	-0.00070968	0.019754839	5.0364E-07	0.00039025	-1.402E-05
15/10/2018	0.958	0.713	0.998	0.6817	-0.00470968	0.045954839	2.2181E-05	0.00211185	-0.00021643
16/10/2018	0.916	0.736	0.996	0.6715	0.018290323	0.035754839	0.00033454	0.00127841	0.000653968
17/10/2018	0.875	0.75	0.994	0.6523	0.032290323	0.016554839	0.00104266	0.00027406	0.000534561
18/10/2018	1	0.711	0.995	0.7074	-0.00670968	0.071654839	4.502E-05	0.00513442	-0.00048078
19/10/2018	0.952	0.736	0.995	0.6972	0.018290323	0.061454839	0.00033454	0.0037767	0.001124029
20/10/2018	1	0.72	0.996	0.7171	0.002290323	0.081354839	5.2456E-06	0.00661861	0.000186329
21/10/2018	0.916	0.655	0.997	0.5982	-0.06270968	-0.03754516	0.0039325	0.00140964	0.002354445
22/10/2018	0.833	0.716	0.997	0.5946	-0.00170968	-0.04114516	2.923E-06	0.00169292	7.0345E-05
23/10/2018	0.792	0.717	0.997	0.5662	-0.00070968	-0.06954516	5.0364E-07	0.00483653	4.93546E-05
24/10/2018	0.792	0.717	0.998	0.5667	-0.00070968	-0.06904516	5.0364E-07	0.00476723	4.89998E-05
25/10/2018	0.833	0.715	0.998	0.5944	-0.00270968	-0.04134516	7.3424E-06	0.00170942	0.000112032
26/10/2018	0.833	0.716	0.997	0.5946	-0.00170968	-0.04114516	2.923E-06	0.00169292	7.0345E-05
27/10/2018	0.958	0.699	0.997	0.6676	-0.01870968	0.031854839	0.00035005	0.00101473	-0.00059599
28/10/2018	0.916	0.713	0.998	0.6518	-0.00470968	0.016054839	2.2181E-05	0.00025776	-7.5613E-05
29/10/2018	0.958	0.7	0.997	0.6692	-0.36451613	0.033454839	0.13287201	0.00111923	-0.01219483
30/10/2018	0.916	0.711	0.997	0.6493	-0.00670968	0.013554839	4.502E-05	0.00018373	-9.0949E-05
31/10/2018	0.916	0.716	0.995	0.6526	-0.00170968	0.016854839	2.923E-06	0.00028409	-2.8816E-05
<b>TOTALES</b>	<b>27.692</b>	<b>22.249</b>	<b>30.719</b>	<b>19.7081</b>	<b>0.34351613</b>	<b>0.01625484</b>	<b>0.13968676</b>	<b>0.07146446</b>	<b>-0.00785215</b>

Fuente: Elaboración propia

Seguindo los pasos del cálculo anterior, se tiene:  $r_2 = -0.07859$  (Edwards, A. L. 1976)

$$r_2 = \frac{\sum XY}{\sqrt{(\sum X^2) * (\sum Y^2)}}$$

$$r_2 = \frac{-0.00785215}{\sqrt{(0.13968676) * (0.07146446)}}$$

$$r_2 = -0.07859$$

Todos los cálculos realizados se resumen en la tabla siguiente:

**TABLA 17:** Resumen de correlación Rendimiento vs OEE

n	31 días del mes de Octubre
$\Sigma x$	22.249
$\Sigma y$	19.7081
$\Sigma X.Y$	-0.00785215
$\Sigma X^2$	0.13968676
$\Sigma Y^2$	0.07146446
<b>Correlación</b>	<b>-0.07859</b>

Fuente: Elaboración propia

Tanto la Tabla 16 y Tabla 17 muestran todos los valores utilizados para obtener la correlación entre las variables RENDIMIENTO VS OEE (Overall Equipment Efficiency) que con 31 datos obtenidos muestra una correlación de **-0.07859**, como se detalla más adelante esta correlación es negativa moderada, por consiguiente, esta variable es un motivo del bajo valor de OEE obtenido para la empresa Eurotubo S. A.C.

Y para visualizar la tendencia de la correlación de ambas variables se grafica rendimiento vs OEE.

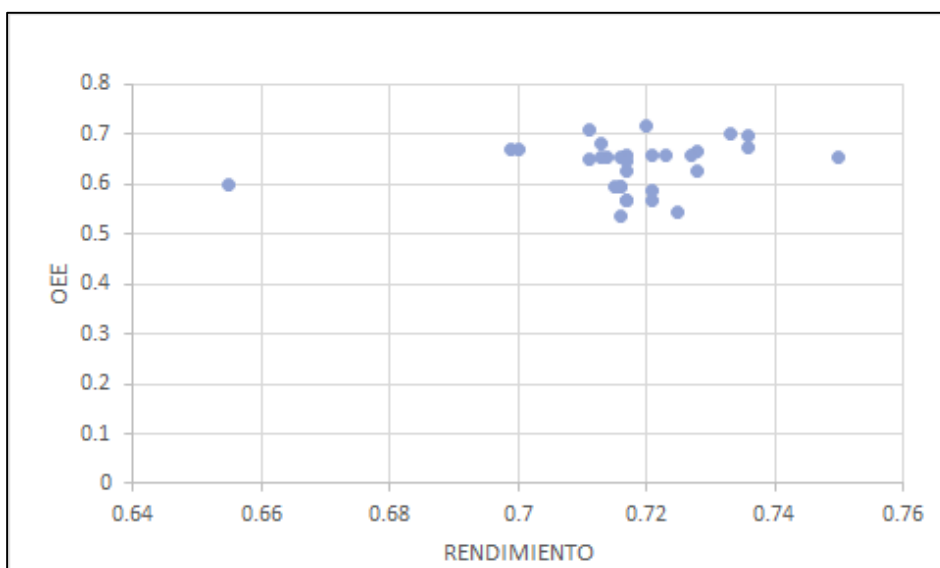


Figura 39. Dispersión de los datos Rendimiento vs OEE.

Fuente: elaboración propia.

**TABLA 18:** Datos del Rendimiento y la OEE correspondientes

Fecha	r (x)	OEE (y)	x.y	x <sup>2</sup>
01/10/2018	0.717	0.6263	0.4490571	0.514089
02/10/2018	0.721	0.5687	0.4100327	0.519841
03/10/2018	0.717	0.644	0.461748	0.514089
04/10/2018	0.725	0.5416	0.39266	0.525625
05/10/2018	0.728	0.6648	0.4839744	0.529984
06/10/2018	0.723	0.6565	0.4746495	0.522729
07/10/2018	0.733	0.7008	0.5136864	0.537289
08/10/2018	0.727	0.6588	0.4789476	0.528529
09/10/2018	0.721	0.5854	0.4220734	0.519841
10/10/2018	0.714	0.652	0.465528	0.509796
11/10/2018	0.721	0.6584	0.4747064	0.519841
12/10/2018	0.728	0.627	0.456456	0.529984
13/10/2018	0.716	0.5359	0.3837044	0.512656
14/10/2018	0.717	0.6555	0.4699935	0.514089
15/10/2018	0.713	0.6817	0.4860521	0.508369
16/10/2018	0.736	0.6715	0.494224	0.541696
17/10/2018	0.75	0.6523	0.489225	0.5625
18/10/2018	0.711	0.7074	0.5029614	0.505521
19/10/2018	0.736	0.6972	0.5131392	0.541696
20/10/2018	0.72	0.7171	0.516312	0.5184
21/10/2018	0.655	0.5982	0.391821	0.429025
22/10/2018	0.716	0.5946	0.4257336	0.512656
23/10/2018	0.717	0.5662	0.4059654	0.514089
24/10/2018	0.717	0.5667	0.4063239	0.514089
25/10/2018	0.715	0.5944	0.424996	0.511225
26/10/2018	0.716	0.5946	0.4257336	0.512656
27/10/2018	0.699	0.6676	0.4666524	0.488601
28/10/2018	0.713	0.6518	0.4647334	0.508369
29/10/2018	0.7	0.6692	0.46844	0.49
30/10/2018	0.711	0.6493	0.4616523	0.505521
31/10/2018	0.716	0.6526	0.4672616	0.512656
<b>TOTALES</b>	<b>22.249</b>	<b>19.7081</b>	<b>14.1484443</b>	<b>15.975451</b>

Fuente: Elaboración propia

A continuación procedemos a graficar la tendencia del rendimiento:

$$Y = \left( \frac{n \sum(x \cdot y) - \sum x \cdot \sum y}{n \sum x^2 - |\sum x|^2} \right) x + \left( \frac{\sum y \cdot \sum x^2 - \sum x \cdot \sum(x \cdot y)}{n \sum x^2 - |\sum x|^2} \right)$$

Reemplazando valores en la fórmula:

$$Y = \frac{31(14.1484) - 22.249(19.7081)}{31(15.975451) - 22.249^2} X + \frac{19.7081(15.975451) - 22.249(14.1484)}{31(15.975451) - 22.249^2}$$

$$Y = \frac{0.1148831}{0.22098}X + 0.25816$$

$$Y = 0.51988X + 0.25816$$

calculando para:  $x = 0.6, y = 0.57$

$x = 0.8, y = 0.674$

La tendencia estará determinada por la recta con los puntos obtenidos:

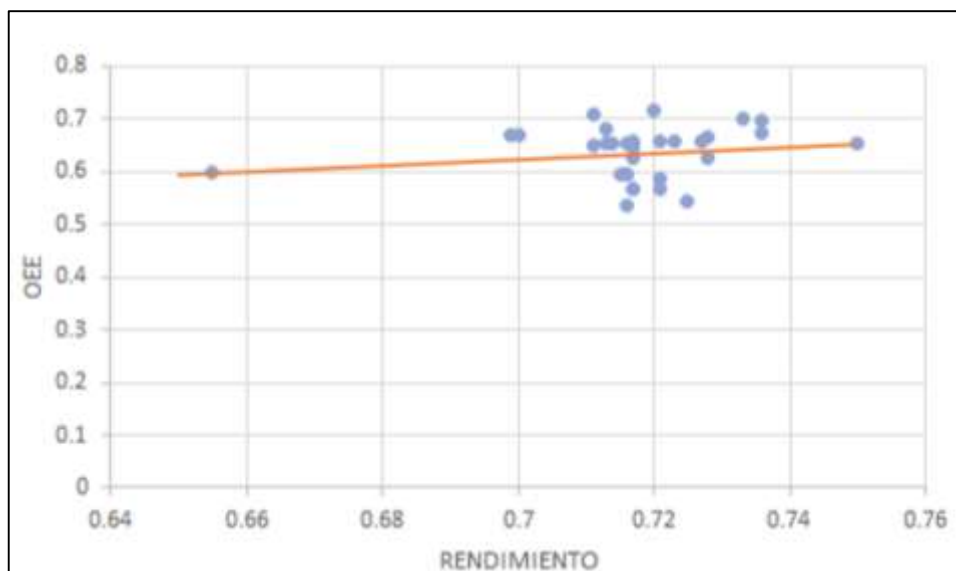


Figura 40. Línea de la tendencia del Rendimiento vs OEE.

Fuente: elaboración propia.

Se observa la tendencia del comportamiento del rendimiento respecto a la eficiencia real, siendo directamente proporcional, pero con una leve pendiente positiva.

A continuación se determina la correlación con la última de las variables llamada calidad, siguiendo los procedimientos de cálculos anteriores.

$X = \text{Calidad}$

$Y = \text{Eficiencia real de los equipos (OEE)}$

**TABLA 19:** Valores para la correlación del OEE con la calidad del mes de octubre

Fecha	d	r	c(x)	OEE (y)	X	Y	X <sup>2</sup>	Y <sup>2</sup>	X.Y
01/10/2018	0.833	0.717	0.996	0.6263	0.005064516	-0.009445161	2.5649E-05	8.9211E-05	-4.7835E-05
02/10/2018	0.792	0.721	0.996	0.5687	0.005064516	-0.067045161	2.5649E-05	0.00449505	0.00033955
03/10/2018	0.9	0.717	0.998	0.644	0.007064516	0.008254839	4.9907E-05	6.8142E-05	5.8316E-05
04/10/2018	0.75	0.725	0.996	0.5416	0.005064516	-0.094145161	2.5649E-05	0.00886331	-0.0004768
05/10/2018	0.916	0.728	0.997	0.6648	0.006064516	0.029054839	3.6778E-05	0.00084418	0.0001762
06/10/2018	0.909	0.723	0.999	0.6565	0.008064516	0.020754839	6.5036E-05	0.00043076	0.00016738
07/10/2018	0.958	0.733	0.998	0.7008	0.007064516	0.065054839	4.9907E-05	0.00423213	0.00045958
08/10/2018	0.909	0.727	0.997	0.6588	0.006064516	0.023054839	3.6778E-05	0.00053153	0.00013982
09/10/2018	1	0.721	0.812	0.5854	-0.17893548	-0.050345161	0.03201791	0.00253464	0.00900854
10/10/2018	0.916	0.714	0.997	0.652	0.006064516	0.016254839	3.6778E-05	0.00026422	9.8578E-05

11/10/2018	0.916	0.721	0.997	0.6584	0.006064516	0.022654839	3.6778E-05	0.00051324	0.00013739
12/10/2018	0.863	0.728	0.998	0.627	0.007064516	-0.008745161	4.9907E-05	7.6478E-05	-6.178E-05
13/10/2018	0.75	0.716	0.998	0.5359	0.007064516	-0.099845161	4.9907E-05	0.00996906	0.00070536
14/10/2018	0.916	0.717	0.998	0.6555	0.007064516	0.019754839	4.9907E-05	0.00039025	0.00013956
15/10/2018	0.958	0.713	0.998	0.6817	0.007064516	0.045954839	4.9907E-05	0.00211185	0.00032465
16/10/2018	0.916	0.736	0.996	0.6715	0.005064516	0.035754839	2.5649E-05	0.00127841	0.00018108
17/10/2018	0.875	0.75	0.994	0.6523	0.003064516	0.016554839	9.3913E-06	0.00027406	5.0733E-05
18/10/2018	1	0.711	0.995	0.7074	0.004064516	0.071654839	1.652E-05	0.00513442	0.00029124
19/10/2018	0.952	0.736	0.995	0.6972	0.004064516	0.061454839	1.652E-05	0.0037767	0.00024978
20/10/2018	1	0.72	0.996	0.7171	0.005064516	0.081354839	2.5649E-05	0.00661861	0.00041202
21/10/2018	0.916	0.655	0.997	0.5982	0.006064516	-0.037545161	3.6778E-05	0.00140964	0.00022769
22/10/2018	0.833	0.716	0.997	0.5946	0.006064516	-0.041145161	3.6778E-05	0.00169292	0.00024953
23/10/2018	0.792	0.717	0.997	0.5662	0.006064516	-0.069545161	3.6778E-05	0.00483653	0.00042176
24/10/2018	0.792	0.717	0.998	0.5667	0.007064516	-0.069045161	4.9907E-05	0.00476723	0.00048777
25/10/2018	0.833	0.715	0.998	0.5944	0.007064516	-0.041345161	4.9907E-05	0.00170942	0.00029208
26/10/2018	0.833	0.716	0.997	0.5946	0.006064516	-0.041145161	3.6778E-05	0.00169292	0.00024953
27/10/2018	0.958	0.699	0.997	0.6676	0.006064516	0.031854839	3.6778E-05	0.00101473	0.00019318
28/10/2018	0.916	0.713	0.998	0.6518	0.007064516	0.016054839	4.9907E-05	0.00025776	0.00011342
29/10/2018	0.958	0.7	0.997	0.6692	0.006064516	0.033454839	3.6778E-05	0.00111923	0.00020289
30/10/2018	0.916	0.711	0.997	0.6493	0.006064516	0.013554839	3.6778E-05	0.00018373	8.2204E-05
31/10/2018	0.916	0.716	0.995	0.6526	0.004064516	0.016854839	1.652E-05	0.00028409	6.8507E-05
<b>TOTALES</b>	<b>27.69</b>	<b>22.24</b>	<b>30.71</b>	<b>19.7081</b>	<b>0.357870968</b>	<b>2 x E-11</b>	<b>0.03312387</b>	<b>0.07146446</b>	<b>0.00899539</b>

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 19 muestra los valores que generan la correlación de Pearson del OEE con la calidad para el mes de octubre.

$$r_3 = \frac{\sum XY}{\sqrt{(\sum X^2) * (\sum Y^2)}}$$

$$r_3 = \frac{0.00899539}{\sqrt{(0.03312387) * (0.07146446)}}$$

$$r_3 = 0.18488$$

El coeficiente de correlación, a veces también llamado coeficiente de correlación cruzada, es una cantidad que da la calidad de un ajuste de mínimos cuadrados a los datos originales. (Edwards, A. L. 1976). Todos los cálculos se resumen en la Tabla 20.

**TABLA 20:** Resumen de correlación Calidad vs OEE.

n	31 días del mes de Octubre
$\Sigma x$	30,71
$\Sigma y$	19,708
$\Sigma X.Y$	0.00899539
$\Sigma X^2$	0.03312387
$\Sigma Y^2$	0.07146446
<b>Correlación</b>	<b>0.18488</b>

Fuente: Elaboración propia

Las Tabla 19 y 20 muestran todos los valores utilizados para obtener la correlación entre las variables CALIDAD VS OEE (Overall Equipment Efficiency) que con 31 datos muestra una correlación de 0.18488, que como se detalla más adelante esta correlación es positiva débil y podría de cierta manera tener influencia sobre el valor de OEE calculado, sin embargo no es una de las más fuertes.

Y se realizó un gráfica de dispersión para visualizar la tendencia de correlación de ambas variables.

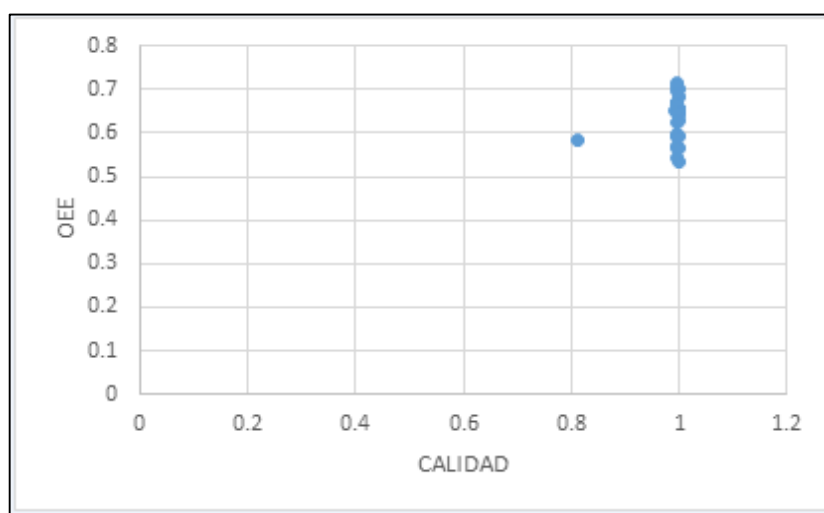


Figura 41. Dispersión de los datos de la Calidad vs OEE.

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 41 muestra la dispersión de los puntos de calidad. No se observa que exista una fuerte relación de linealidad con el OEE sin embargo aparentemente esta medianamente ligada y tiene cierta influencia.

Con los datos que siguen se graficará la línea de tendencia.

**TABLA 21:** Datos de la calidad y la OEE correspondientes

Fecha	c(x)	OEE (y)	x.y	x <sup>2</sup>
01/10/2018	0.996	0.6263	0.6237948	0.992016
02/10/2018	0.996	0.5687	0.5664252	0.992016
03/10/2018	0.998	0.644	0.642712	0.996004
04/10/2018	0.996	0.5416	0.5394336	0.992016
05/10/2018	0.997	0.6648	0.6628056	0.994009
06/10/2018	0.999	0.6565	0.6558435	0.998001
07/10/2018	0.998	0.7008	0.6993984	0.996004
08/10/2018	0.997	0.6588	0.6568236	0.994009
09/10/2018	0.812	0.5854	0.4753448	0.659344
10/10/2018	0.997	0.652	0.650044	0.994009
11/10/2018	0.997	0.6584	0.6564248	0.994009

<b>12/10/2018</b>	0.998	0.627	0.625746	0.996004
<b>13/10/2018</b>	0.998	0.5359	0.5348282	0.996004
<b>14/10/2018</b>	0.998	0.6555	0.654189	0.996004
<b>15/10/2018</b>	0.998	0.6817	0.6803366	0.996004
<b>16/10/2018</b>	0.996	0.6715	0.668814	0.992016
<b>17/10/2018</b>	0.994	0.6523	0.6483862	0.988036
<b>18/10/2018</b>	0.995	0.7074	0.703863	0.990025
<b>19/10/2018</b>	0.995	0.6972	0.693714	0.990025
<b>20/10/2018</b>	0.996	0.7171	0.7142316	0.992016
<b>21/10/2018</b>	0.997	0.5982	0.5964054	0.994009
<b>22/10/2018</b>	0.997	0.5946	0.5928162	0.994009
<b>23/10/2018</b>	0.997	0.5662	0.5645014	0.994009
<b>24/10/2018</b>	0.998	0.5667	0.5655666	0.996004
<b>25/10/2018</b>	0.998	0.5944	0.5932112	0.996004
<b>26/10/2018</b>	0.997	0.5946	0.5928162	0.994009
<b>27/10/2018</b>	0.997	0.6676	0.6655972	0.994009
<b>28/10/2018</b>	0.998	0.6518	0.6504964	0.996004
<b>29/10/2018</b>	0.997	0.6692	0.6671924	0.994009
<b>30/10/2018</b>	0.997	0.6493	0.6473521	0.994009
<b>31/10/2018</b>	0.995	0.6526	0.649337	0.990025
<b>TOTALES</b>	<b>30.719</b>	<b>19.7081</b>	<b>19.538451</b>	<b>30.473671</b>

Fuente: Elaboración propia

A continuación procedimos a graficar la tendencia del rendimiento: la alta correlación se debe a la cercanía que muestran los datos respecto a la línea.

$$Y = \left( \frac{n \sum(x \cdot y) - \sum x \cdot \sum y}{n \sum x^2 - |\sum x|^2} \right) x + \left( \frac{\sum y \cdot \sum x^2 - \sum x \cdot \sum(x \cdot y)}{n \sum x^2 - |\sum x|^2} \right)$$

Reemplazando valores en la fórmula:

$$Y = \frac{31(19.53845) - 30.719(19.7081)}{31(30.47367) - 30.719^2} X + \frac{19.7081(30.47367) - 30.71(19.53845)}{31(30.47367) - 30.719^2}$$

$$Y = \frac{0.2788261}{1.026809} X + 0.36666$$

$$Y = 0.271546X + 0.36666$$

calculando para:  $x = 0.8, y = 0.58389$

$x = 1, y = 0.6382$

La tendencia estará determinada por la recta con los puntos obtenidos:



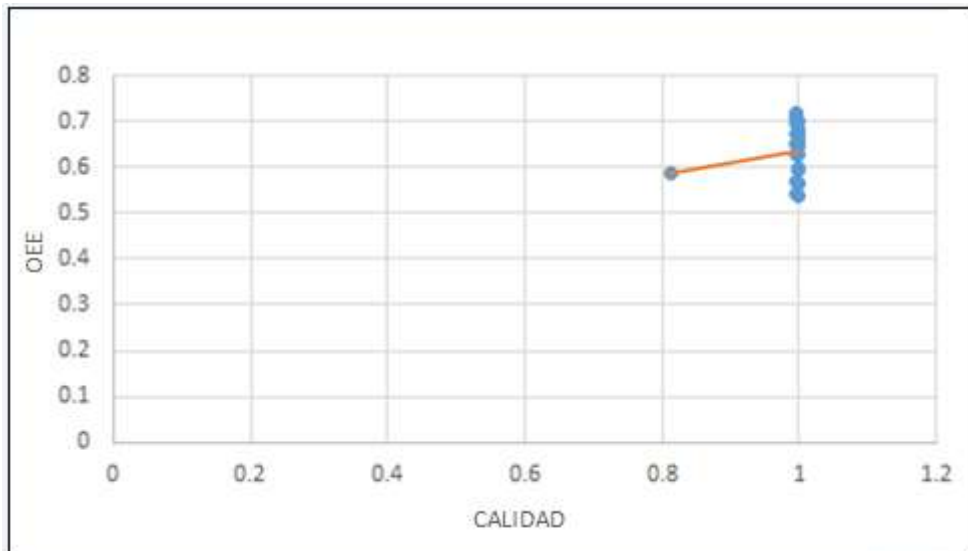


Figura 42. Línea de la tendencia de la Calidad vs OEE.

Fuente: Elaboración propia.

Se observa un ligero incremento del rendimiento a un incremento reducido en la OEE.

Para identificar el tipo de relación entre las variables se tomará como criterio los valores indicados en la Tabla 22.

**TABLA 22:** *Correlación lineal entre dos variables*

Valores de $r$	Tipo y grado de correlación
<b>-1</b>	Negativa perfecta
<b><math>-1 &lt; r \leq -0.8</math></b>	Negativa fuerte
<b><math>-0.8 &lt; r &lt; -0.5</math></b>	Negativa moderada
<b><math>-0.5 \leq r &lt; 0</math></b>	Negativa débil
<b>0</b>	No existe
<b><math>0 &lt; r \leq 0.5</math></b>	Positiva débil
<b><math>0.5 &lt; r &lt; 0.8</math></b>	Positiva moderada
<b><math>0.8 \leq r &lt; 1</math></b>	Positiva fuerte
<b>1</b>	Positiva perfecta

Fuente: Hurtado y Domínguez Sánchez, 2009

La tabla expuesta señala los valores que generan una correlación fuerte o débil entre dos variables, según esta tabla se comparará los valores obtenidos previamente en los cálculos.

- Para  $r_1$ , la correlación de disponibilidad y OEE, es de **0.8447** y corresponde a un grado de correlación positivo fuerte.
- Para  $r_2$ , la correlación de rendimiento y OEE, es de **-0.07859** y corresponde a un grado de correlación negativa fuerte.

- Para  $r_3$ , la correlación de calidad y OEE, es de **0.18488** y corresponde a un grado de correlación positiva débil.
3. Diseñar soluciones a la problemática planteada para mejorar la productividad. Como consecuencia de los resultados anteriormente descritos, las soluciones a la problemática dependerá de los cambios desde el punto de vista técnico de diseño, con la adecuación de algunas variables de funcionamiento de los componentes relacionados con el rendimiento de la línea de producción y de la calidad del producto obtenido por el funcionamiento de la línea de producción.
- Se asume que en el punto operativo de la extrusora el caudal que circula por el tornillo es igual al que sale por la boquilla.

Luego 
$$Q_{\text{tornillo}} = Q_{\text{boquilla}}$$

- El caudal del material que pasa por el tornillo se calcula tomando en cuenta las características internas de la extrusora, parámetros de su funcionamiento y haciendo uso de la siguiente fórmula:

$$Q_{\text{tornillo}} = AN - B \frac{\Delta P}{\eta} \quad \text{ecuación 1}$$

Donde A y B son constantes del tornillo, y se calculan usando las siguientes formulas:

$$A = \frac{\pi^2 D^2 (\text{sen}\theta \cdot \text{cos}\theta) h}{2} \quad \text{ecuación 2}$$

$$B = \frac{h^3 \pi D \text{sen}^2 \theta}{12 \eta L} \quad \text{ecuación 3}$$

D es diámetro del tornillo igual a 110 mm.

$\theta$  es ángulo del filete del tornillo, respecto a la vertical igual a  $20^\circ$

N es la velocidad de giro del tornillo, igual a 45 RPM

$\eta$  es la viscosidad del plástico fundido dentro del tornillo, igual a  $10^6$ .

h es el grosor de la pared del cilindro, igual a 4 mm.

L es la longitud del tornillo, igual a 2200 mm. ( $L/D = 20$ ).

$\Delta P$  es la restricción de presión en la boquilla, igual a 1 atm.

Luego reemplazando: 
$$A = \frac{\pi^2 110^2 (\text{sen}20 \cdot \text{cos}20) 4}{2} = 19190.78$$

$$B = \frac{4^3 \pi \cdot 110 \cdot \text{sen}^2 20}{12 \times 1000000 \times 2200} = 9.80 \times 10^{-8}$$

Reemplazando en la fórmula de  $Q_{\text{tornillo}}$ : (el segundo término es muy pequeño comparado con el primero, luego lo omitimos)

$$Q_{\text{tornillo}} = AN - B \frac{\Delta P}{\eta} = 19190.78 \times 45 \text{ RPM} = 863585.1 \text{ mm}^3/$$

*min*

$$= 51815106 \text{ mm}^3/\text{h} = 0, 51815106 \text{ m}^3/\text{h}$$

Si el peso específico del material fundido en el tornillo es  $1600 \text{ Kg/m}^3$ , entonces la velocidad másica será:  $0.51815106 \times 1600 = 829 \text{ Kg/h}$

Calculando el promedio de la velocidad másica de producción diaria del mes de Octubre, utilizando datos de la Tabla 9 tendremos:

$$\text{Promedio de la velocidad masica} = \frac{\sum(PR/TF)}{31}$$

$$\text{Promedio de la velocidad masica} = \frac{\sum(330985.5/658)}{31}$$

$$\text{Promedio de la velocidad masica} = 503.05123 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{hr}}\right)$$

Por consiguiente la eficiencia del tornillo será:

$$\text{Eficiencia del tornillo} = \frac{\text{Velocidad Real}}{\text{Velocidad Calculada}}$$

$$\text{Eficiencia del tornillo} = \frac{503.05123 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{hr}}\right)}{829 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{hr}}\right)}$$

$$\text{Eficiencia del tornillo} = 0.6068 = 60.68\%$$

En un análisis ligero de los resultados observamos que la eficiencia del tornillo no es la más conveniente, por lo tanto el tornillo debería de cambiarse.

#### **IV. DISCUSIÓN**

**a. Determinar los factores que afectan la productividad en el proceso de extrusión para la fabricación de tuberías de PVC en la empresa Eurotubo S. A. C.**

Para el desarrollo del proyecto de investigación, la empresa cuenta con un sistema de información y formatos elaborados en el programa Excel, usados para poder determinar los factores que afectan su productividad.

En realidad más que determinar los factores que afectan la productividad haciendo uso de fórmula y cálculos, lo que se hizo es tomar en cuenta y considerar las recomendaciones que proponen las teorías de Kaizen (cambio para mejorar), las 5s (descartar los residuos, ubicar en un lugar adecuado, eliminar la suciedad, señalar los puntos anómalos, mejora continua), Lean Manufacturing (filosofía de gestión orientada a eliminar ocho tipos de “desperdicios” sobreproducción, inventario, tiempo de espera, exceso de procesado, transporte, movimiento y defectos, potencial humano sub-utilizado en productos manufacturados, mantenimiento productivo total) TPM: (filosofía de mantenimiento que busca minimizar las pérdidas productivas por el estado de los equipos, buscar mantener los equipos siempre disponibles para trabajar a su capacidad máxima productos de la calidad exigida, sin paradas no planificadas y cero desperfectos), Six Sigma indicador convertida en una estrategia para acelerar las mejoras y alcanzar niveles de desempeño con la eliminación de las causas que generan errores: cero defectos en los procesos.

Estas teorías se integran en el indicador de productividad OEE (eficiencia global del equipo), considerado como una herramienta de evaluación más eficaz para decidir lo más adecuado referente al sistema productivo.

Es pertinente mencionar que lo considerado en los antecedentes por: Palomino; Mora, Suarez y Rodríguez; Buestan y Samaniego; Cervera; Díaz Osorio y los autores del presente proyecto existió concordancia en el uso de las teorías tales como: Kaizen, Lean Manufacturing, TPM, Six Sigma y el indicador de la productividad OEE en la determinación de los factores de la productividad en el proceso de extrusión para la fabricación de tuberías de PVC en la empresa Eurotubo S.A.C.

**b. Determinar las partes críticas del proceso**

En la determinación de las partes críticas del proceso, necesarios corregir para incrementar el rendimiento de la línea de producción, se tomaron en cuenta como componentes del proceso: la disponibilidad, el rendimiento y la calidad.

En los cálculos se utilizaron datos reales de la producción diaria durante el mes

de octubre del 2018 (Tabla 9). Al realizar los cálculos de la OEE promedio se obtuvo un valor de 63.57% que de acuerdo a la Tabla 11 se valoró como la más deficiente e inaceptable; además se determinó que el rendimiento es el más negativo siguiendo la calidad y la menos negativa la disponibilidad (Tabla 8).

Se hace mención que ninguno de los índices de correlación resultó ser CERO que significaría que esa variable no tiene relación con la productividad.

En la Tabla 9 se observa que de los 31 días del citado mes solamente 26 días la máquina estuvo disponible las 24 horas del día, el resto de días fueron menores lo que incrementa los tiempos muertos de la maquinaria; también se observa en la misma tabla, 28 tiempos diarios de funcionamiento son menores que los tiempos disponibles diarios, situación nada conveniente porque significa que hay horas – máquina perdidas.

El resultado obtenido como OEE promedio indicadora de la variable independiente más afectante negativamente: el Rendimiento, concuerda con Díaz Osorio respecto a la pertinencia de su aplicación en el proceso de extrusión del presente proyecto de investigación.

Respecto a los desperdicios, siempre se presentaron en la producción diaria. Como en todo proceso real, existen los desperdicios. Ningún proceso es perfecto.

Son importantes estos resultados porque nos permite hacer un diagnóstico del funcionamiento de la línea de producción observando las variables afectadas determinantemente en la eficiencia de la producción.

**c. Diseñar soluciones a la problemática planteada para mejorar la productividad**

En el diseño de las soluciones que permitan mejorar la productividad, se tomaron en cuenta criterios técnicos de los componentes de la maquinaria utilizada, adecuación de ciertas variables de funcionamiento y la calidad del producto obtenido.

Se inicia considerando el cumplimiento de la ley de conservación de la materia cuando afirmamos que en el punto operativo de la extrusora, el caudal del material fundido que fluye por el tornillo es igual al caudal de la masa que pasa por la boquilla. Por consiguiente tomando en cuenta las características internas de la extrusora, parámetros de su funcionamiento y aplicando las ecuaciones 1, 2 y 3 mencionadas en la página 102, dio como resultado un caudal de 829 Kg/h. comparando este valor con la velocidad másica promedio 503.05123 Kg/h en base a los datos reales de productividad de la Tabla 9 se obtuvo un resultado de 60.68% de eficiencia. Este

resultado es muy importante porque nos describe la deficiencia en el rendimiento de la línea de producción.

Esta eficiencia calculada ha sido obtenida tomando en cuenta criterios que igualmente fueron utilizados por Mera, Suéscum, Peña, Sarco y Quevedo, Palomino, Mora zuarez y Rodríguez, Buestan y Samaniego, Garate y Díaz autores de proyectos de investigación considerados en los trabajos previos.

## **V. CONCLUSIONES**



Para nuestro estudio, las deficiencias en la elaboración de tubería de PVC se orientaron en la formulación del compuesto, la zona del cabezal y los moldes y a la tina de enfriamiento. Se ubicó que la dilatación del producto estaba ligado con el diseño del molde. Los problemas de rendimiento son principalmente al espesor de pared y los problemas de reversión. Se elevó la contrapresión sobre los cojinetes de los husillos al aumentar la alimentación de mezcla polimérica a la máquina, después de la mejora en la productividad; esto causa una limitante en la velocidad del husillo que está relacionada en función de la intensidad máxima que puede tomar el motor. Se analizó la situación problemática de la línea de producción N° 5 de la Empresa Eurotubo S. A. C. utilizando registros documentales y técnicas de observación, en el área de producción, y de acuerdo a eso se esquematizó un diagrama causa-efecto (Figura 4), muestran las causas que originan la ineficiencia en la productividad, además se describió los fenómenos que suceden en el interior de la extrusora y nos permiten detallar lo siguiente:

#### REFERIDOS AL COMPUESTO

1. Falta de lubricante externo que provoca
  - Incremento de la fricción interna..
  - Aumento de la temperatura.
  - Disminución de fluidez.
  - Degradación del material.
  - Generación de rayas y rugosidad en el interior de la tubería.
  - Aparición de rayas amarillas a lo largo de la tubería. Es señal de degradación.
2. Dilatación de la tubería al salir del cabezal.
3. Aumento de la contrapresión.
4. Consecuencia: Reducción de la eficiencia de la máquina.

#### REFERIDOS A LOS MOLDES

5. El molde no da suficiente facilidad para unir apropiadamente la separación del plastificado logrado por las patas de araña.

Para una satisfactoria unión entre las patas de araña, el tiempo dentro de los conos del molde debe mantenerse igual o mayor al tiempo de relajación de las moléculas (tiempo promedio para que se adhieran las paredes de la separación de las patas de araña). Situación que no se verifica. Además se debe verificar también que:

6. Cuando mínimo es el tiempo de relajación, la unión se efectúa más rápido. Consecuentemente, el tiempo necesario para la unión es proporcional al tiempo de relajación.
7. Por experiencia en Eurotubo S.A.C, el tiempo de residencia aproximado es de 5 segundos en molde pequeño y hasta 300 segundos en un molde grande. Luego, para hacer una unión de buena calidad el tiempo de relajación tiene que ser disminuido.

#### REFERIDOS A LA TINA DE ENFRIAMIENTO

8. En la tina se solidifica la tubería y da el diámetro externo exacto, después de salir del molde. Se debe controlar el enfriamiento.
9. De igual manera se debe evitar que el tubo se contraiga, existiendo dos maneras de lograrlo: hacer vacío en la tina no permitiendo que el tubo se “chupe”, y la otra es instalar un tapón dentro del tubo y darle una presión de aire dentro de la misma para empujar las paredes hacia afuera. El uso de ambos métodos depende del diámetro de la tubería a fabricar. En nuestro caso se recurre a una tina con vacío.

#### REFERIDOS AL COMPORTAMIENTO ENTRE LAS VARIABLES

10. En los gráficos correspondientes al mes de octubre de 2018: producción diaria real desperdicios diarios, cálculo diario de la OEE, Diagrama de barras de la OEE diario, se observan una ligera tendencia a aumentar, lo que significa que el comportamiento de esas variables no se observa, entendiéndose que la eficiencia es invariable.
11. En el gráfico de la dispersión de los puntos de la OEE vs disponibilidad no se observa dispersión notable.
12. De igual manera el gráfico de la línea de la tendencia de la disponibilidad confirma lo anteriormente indicado.
13. El comportamiento de la OEE vs rendimiento se observa mayor dispersión.
14. El comportamiento de la calidad vs OEE es muy particular, posiblemente obedezca a un solo factor determinante de la variabilidad de la OEE.

## **VI. RECOMENDACIONES**

Se recomienda a la empresa:

#### 1. CAMBIOS EN LA FORMULACIÓN DEL COMPUESTO

Para nuestro caso recomendamos utilizar cera polietilénica como lubricante externo de modo que el material fluirá adecuadamente a través del túnel, tornillo y el molde; generando una contrapresión ilimitando el rendimiento de la máquina, además que debido a la gran resistencia al fluir regularmente, generan altas temperaturas degradando el material plastificado al salir del molde.

#### 2. MODIFICACIONES AL DISEÑO INICIAL DEL MOLDE

En caso de la utilización de las patas de araña, el requerimiento de un tiempo de residencia igual o mayor al tiempo de relajación sugiere definir la longitud del molde si es que se quiere lograr mayores rendimientos; al aumentar de este mismo se debe mantener una relación con el tiempo cuando el material permanece dentro del molde.

#### 3. MODIFICACIÓN DE LOS CALIBRADORES

Esta modificación se sugiere cuando hay una considerable fricción entre la masa fundida y el calibrador, generando reversión en la tubería, debido al engrosamiento del material dificultando el enfriamiento a tiempo del calibrador a la entrada, por lo que se recomienda reemplazar por un calibrador de menor espesor.

#### 4. CAMBIOS EN EL PROCESO

Las modificaciones que se pueden hacer son en los parámetros de temperaturas del proceso para impedir que el material se adhiera al túnel, molde o tornillo y se pierda. También influye en la fabricación de tubería sin rugosidad en la pared interna de la tubería.

#### 5. Luego de realizar los cambios en los moldes, cambios de la formulación, cambios en las temperaturas de trabajo y enfriamiento del material al ingreso del calibrador y no hay resultados favorables, también se recomienda inspeccionar el sistema de enfriamiento de los husillos.

## **REFERENCIAS**

- Beltrán, M. y Marcilla, A. (2012). Tecnología de Polímeros. Procesado y Propiedades. Publicaciones Universidad de Alicante. Texto Docente. Edición. N° de páginas 276.
- Buestan, B. y Samaniego, G. (2010). *Implementación de una Mejora de Calidad y Productividad en una PYME del Sector Plástico*. (Tesis de Grado). ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA. Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción. Revista Tecnológica ESPOL. 2010.
- Carrión, J. 2002. Costos Estandar-ABC para la Industria de Plásticos-Línea de Tuberías y Accesorios de PVC. (Caso SURPLAS S. A. C.). Tesis de Maestría.
- Condori K. (2016). Aplicación del estudio del trabajo para incrementar la productividad en la fabricación de tuberías de pvc en la empresa Grupo Diferlim S.A.C, Los Olivos, 2016.
- Díaz, L. (2016). Propuesta de mejoramiento en la productividad del Proceso Valle del Cauca de Extrusión de Tubería PVC en la Empresa CONSTRUPLAST. Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ingeniería, Valle del Cauca Santiago de Cali.
- Edwards, A. (1976). An introduction to linear regression and correlation.
- Galarza, R y Barcia, K. 1992. Aplicación de un Proceso de Mejora Continua en un Taller Mecánico utilizando la Técnica de Mantenimiento Productivo Total (TPM). ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA. Guayaquil. Ecuador.
- Garate, C. (2015). Diseño de un Sistema de Producción, para mejorar la Productividad en la Fábrica de Accesorios y Tuberías Plásticas E. I. R. L., basado en Producción Esbelta- Chiclayo 2015. (Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Industrial). Universidad Señor de Sipán. Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Urbanismo. Escuela Académico Profesional de Ingeniería Industrial.
- Ingeniería Industrial. Herramientas para el Ingeniero Industrial, Eficiencia Global de los Equipos (OEE).
- Kalpakjian, S y Schmid, S. (2008). *Manufactura, ingeniería y tecnología*. (5ª ed.). PEARSON EDUCACIÓN. México.
- Mera, G. (2008). Optimización de los Procesos de Producción de Tuberías PVC de la Empresa BOPLAST en Guayaquil Ecuador. (Tesis de pregrado).
- Mora, L., Suarez, D., Rodríguez, D. (2010). Implementación de una Metodología de calidad y productividad en una Pyme del sector Plástico. (Tesis de grado). Repositorio de la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL. Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción. Revista Tecnológica ESPOL.

Palomino, M. (2012). *Aplicación de Herramientas de Lean Manufacturing en las líneas de envasado de una Planta Envasadora de Lubricantes*. (Tesis para optar el Título de Ingeniero Industrial). Pontificia Universidad Católica del Perú. Facultad de Ciencias e Ingeniería. Lima. Perú.

Peña, G., Sarcos, M. y Quevedo, G. (2016). Efecto del perfil de temperatura en la extrusora (G201) de PEBD con respecto a la calidad del producto final. (Tesis de pregrado).

Pérez, R., Torres, A. y Candal, M. (2013). Efecto de las variables del proceso de extrusión sobre la relación estructura-propiedades de películas tubulares de PEBD. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, ISSN-e 0121-6651, Vol. 14, N°. 6, 2013, págs. 257-274.

TECNOLOGÍA DE LOS PLÁSTICOS (15 de marzo de 2011). Extrusión de Materiales Plásticos. Publicado por Mariano.

Suércum, J. (2007). Mejoramiento de la eficiencia de una extrusora de doble tornillo, para fabricación de tubería. (Tesis de pregrado).

3DIT. Diseño de máquinas. Colombia. Información.

## **ANEXOS**



ANEXO 1: Equipos y Máquinas que conforman la Línea N°5 de Eurotubo.





ANEXO 2: Placa original de la extrusora Neotec en la Línea N°5 de Eurotubo.



ANEXO 3. Tubos producidos con diferentes fallas



ANEXO 4. Certificados de Validez de Contenido del Instrumento

**CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO**

ITEM	CRITERIOS A EVALUAR						Observaciones (si debe eliminarse o modificarse un ítem por favor indique)
	Pertinencia <sup>1</sup>		Relevancia <sup>2</sup>		Claridad <sup>3</sup>		
	Sí	No	Sí	No	Sí	No	
1	X		X		X		
2	X		X		X		
3	X		X		X		
4	X		X		X		
5	X		X		X		
6	X		X		X		
7	X		X		X		
<b>Aspectos Generales</b>					Sí	No	
El instrumento contiene instrucciones claras y precisas para responder el cuestionario					X		
Los ítems permiten el logro del objetivo de la investigación					X		
El número de ítems es suficiente para recoger la información. En caso de ser negativa su respuesta, sugiera los ítems a añadir					X		
<b>VALIDEZ</b>							
APLICABLE				X	NO APLICABLE		
APLICA ATENDIENDO A LAS OBSERVACIONES							

<sup>1</sup>**Pertinencia:** El ítem corresponde al concepto teórico formulado de la variable y/o dimensión.

<sup>2</sup>**Relevancia:** El ítem es apropiado para representar el indicador de la dimensión y la variable.

<sup>3</sup>**Claridad:** Se entiende sin dificultad alguna el enunciado del ítem, es conciso, exacto y directo.

**DATOS GENERALES DEL EXPERTO**

Apellidos y nombres: *Paredes Corvera Edwin Danilo*

Profesión: *Ingeniero Electrónico*

Especialidad: *Gestión de proyectos*

  
 CIP 224573  
 Firma del Experto

## CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO

ÍTEM	CRITERIOS A EVALUAR						Observaciones (si debe eliminarse o modificarse un ítem por favor indique)
	Pertinencia <sup>1</sup>		Relevancia <sup>2</sup>		Claridad <sup>3</sup>		
	Sí	No	Sí	No	Sí	No	
1	X		X		X		
2	X		X		X		
3	X		X		X		
4	X		X		X		
5	X		X		X		
6	X		X		X		
7	X		X		X		
<b>Aspectos Generales</b>					Sí	No	
El instrumento contiene instrucciones claras y precisas para responder el cuestionario					X		
Los ítems permiten el logro del objetivo de la investigación					X		
El número de ítems es suficiente para recoger la información. En caso de ser negativa su respuesta, sugiera los ítems a añadir					X		
<b>VALIDEZ</b>							
APLICABLE				X	NO APLICABLE		
APLICA ATENDIENDO A LAS OBSERVACIONES							

<sup>1</sup>Pertinencia: El ítem corresponde al concepto teórico formulado de la variable y/o dimensión.

<sup>2</sup>Relevancia: El ítem es apropiado para representar el indicador de la dimensión y la variable.

<sup>3</sup>Claridad: Se entiende sin dificultad alguna el enunciado del ítem, es conciso, exacto y directo.

### DATOS GENERALES DEL EXPERTO

Apellidos y nombres: *IPARRAGUIRAS LOZANO ARQUIMEDES*

Profesión: *INGENIERO MECANICO*

Especialidad: *DISEÑO MAQUINAS.*

  
 Arquimedes Iparraguiras Lozano  
 ING. MECANICO  
 R. CIP. 72016

Firma del Experto

**CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO**

ÍTEM	CRITERIOS A EVALUAR						Observaciones (si debe eliminarse o modificarse un ítem por favor indique)
	Pertinencia <sup>1</sup>		Relevancia <sup>2</sup>		Claridad <sup>3</sup>		
	Sí	No	Sí	No	Sí	No	
1	X		X		X		
2	X		X		X		
3	X		X		X		
4	X		X		X		
5	X		X		X		
6	X		X		X		
7	X		X		X		
<b>Aspectos Generales</b>					Sí	No	
El instrumento contiene instrucciones claras y precisas para responder el cuestionario					X		
Los ítems permiten el logro del objetivo de la investigación					X		
El número de ítems es suficiente para recoger la información. En caso de ser negativa su respuesta, sugiera los ítems a añadir					X		
<b>VALIDEZ</b>							
APLICABLE				X	NO APLICABLE		
APLICA ATENDIENDO A LAS OBSERVACIONES							

<sup>1</sup>**Pertinencia:** El ítem corresponde al concepto teórico formulado de la variable y/o dimensión.  
<sup>2</sup>**Relevancia:** El ítem es apropiado para representar el indicador de la dimensión y la variable.  
<sup>3</sup>**Claridad:** Se entiende sin dificultad alguna el enunciado del ítem, es conciso, exacto y directo.

**DATOS GENERALES DEL EXPERTO**

Apellidos y nombres: *José López José Escobar*  
 Profesión: *Ingeniero Mecánico*  
 Especialidad: *Diseño e Investigación*

  
 .....  
 Firma del Experto  
 CIP 82348