



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

DIRECCIÓN DE POSGRADOS

MAESTRÍA EN ELECTROMECAÁNICA

MODALIDAD: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Título:

**ANÁLISIS COMPARATIVO EN EL CONSUMO DE ELECTRICIDAD Y
GAS NATURAL EN LA ZONA DE CALEFACCIÓN EN MÁQUINAS
EXTRUSORAS PARA OPTIMIZAR EL PROCESO DE FUNDICIÓN DEL
PLÁSTICO**

Protocolo previo a la obtención del Título de Magister en Electromecánica

Autor:

Pachacama Campaña Israel Patricio

Tutor:

Freire Andrade Verónica Paulina Ing. Ms.C.

LATACUNGA – ECUADOR

2021

AVAL DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación denominado “Análisis comparativo en el consumo de electricidad y gas natural en la zona de calefacción en máquinas extrusoras para optimizar el proceso de fundición del plástico” presentado por “Pachacama Campaña Israel Patricio”, para optar por el Título Magíster en Electromecánica.

CERTIFICO

Que dicho trabajo de investigación ha sido revisado en todas sus partes y se considera que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación para la valoración por parte del Tribunal de Lectores que se designe, su exposición y defensa pública.

Latacunga, noviembre, 15, 2021


.....
Freire Andrade Verónica Paulina Ing. Ms.C
C.C.: 050205622-9

AVAL DEL TRIBUNAL

El trabajo de Titulación: “Análisis comparativo en el consumo de electricidad y gas natural en la zona de calefacción en máquinas extrusoras para optimizar el proceso de fundición del plástico” ha sido revisado, aprobado y autorizado su impresión y empastado, previo a la obtención del título de Magíster en Electromecánica; el presente trabajo reúne los requisitos de fondo y forma para que el estudiante pueda presentarse a la exposición y defensa.


Latacunga, diciembre, 01, 2021



.....
MSc. Moreano Martínez Edwin Homero
C.C.: 050260750-0
Presidente del tribunal



.....
PhD. Laurencio Alfonso Héctor Luis
C.C.: 175836725-2
Lector 2



.....
MSc. Corrales Bastidas Byron Paul
C.C.: 050234776-8
Lector 3

DEDICATORIA

A mi hijo Lucas por ser la razón de mi felicidad, mi fortaleza, mi esfuerzo y mi motivación a seguir adelante en todo momento.

A mi abuelita Piedad que siempre me cuidó cuando era niño. Toda admiración, respeto y amor a los pilares principales de mi vida, mis padres que me han brindado su apoyo en todo momento con gran esfuerzo y sacrificio en la trayectoria de mis estudios.

A mi compañera de vida Doris quien como madre de mi hijo estuvo a mi lado siempre, apoyándome de manera incondicional.

Israel

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por la vida de mis padres y de mi hijo, quienes son los principales promotores de mis sueños. gracias a mi madre por estar dispuesta a acompañarme en mis peores y mejores momentos de mi vida, gracias a mi padre por siempre desear y anhelar siempre lo mejor para mi vida.

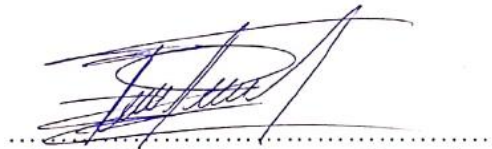
De igual manera agradezco a la vida por este nuevo triunfo y la Universidad Técnica de Cotopaxi por encaminarme a mi formación como profesional.

Israel

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Quien suscribe, declara que asume la autoría de los contenidos y los resultados obtenidos en el presente trabajo de titulación.

Latacunga, noviembre, 15, 2021



Israel Patricio Pachacama Campaña
C.C.: 172383467-5

RENUNCIA DE DERECHOS

Quien suscribe, cede los derechos de autoría intelectual total y/o parcial del presente trabajo de titulación a la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Latacunga, noviembre, 15, 2021




.....
Israel Patricio Pachacama Campaña
C.C.: 172383467-5

AVAL DEL PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Quien suscribe, declara que el presente Trabajo de Titulación: “Análisis comparativo en el consumo de electricidad y gas natural en la zona de calefacción en máquinas extrusoras para optimizar el proceso de fundición del plástico”, contiene las correcciones a las observaciones realizadas por los lectores en sesión científica del tribunal.

Latacunga, diciembre, 01, 2021



.....
MSc. Moreano Martínez Edwin Homero
C.C.: 050260750-0

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
DIRECCIÓN DE POSGRADO

MAESTRÍA EN ELECTROMECAÁNICA

Título: Análisis comparativo en el consumo de electricidad y gas natural en la zona de calefacción en máquinas extrusoras para optimizar el proceso de fundición del plástico.

Autor: Israel Patricio Pachacama Campaña

Tutor: Freire Andrade Verónica Paulina Ing. Ms.C

RESUMEN

El proyecto de investigación consistió en comparar el consumo de electricidad y gas licuado de petróleo en la zona de calefacción en una máquina extrusora para la evaluación de ventajas y desventajas técnicas, económicas y ambientales en la fundición del plástico, para el análisis se consideró el polietileno de baja densidad como materia prima para la fabricación de manguera negra de 1 pulgada, conociendo que la capacidad de la máquina extrusora es de 50 kg/h y el calor específico del polietileno es de 1,9 kJ/kg.K se requiere 5500 W de calor para fundir este material, por lo tanto, existen dos métodos que cumplen con este proceso, el método N. 1 presenta 10 resistencias eléctricas que generan 6000 W, transfiriendo 5495,97 W, con 504,03 W de pérdidas de calor, tiene un rendimiento del 91,59 %, tarda en mantener 200 °C un tiempo de 30'34", el costo mensual de la electricidad que utiliza es de \$ 68,64, produce una cantidad mensual de 8030 kg es decir 401 rollos de manguera y tiene un desperdicio mensual de 220 kg, el método N. 2 transfiere 7311,03 W en forma de calor con 688,97 W de pérdidas, tiene un rendimiento del 91,38 %, se demora 20'35" en mantener una temperatura de 200 °C , el costo mensual del gas natural es de \$ 201,22, produce una cantidad mensual de 8327 kg es decir 416 rollos de manguera y tiene un desperdicio mensual de 110 kg, por lo tanto, se considera que el método de fundición N. 2 que presenta una generación de calor mayoritaria, un rendimiento igualitario, mantiene los 200 °C en menor tiempo, y a pesar de su costo mayoritario en generación de calor es más rentable es la producción de 15 rollos más de manguera de 1 pulgada mensual y su desperdicio de material es doblemente menor.

PALABRAS CLAVE: Electricidad, gas natural, resistencias eléctricas, quemadores industriales y máquina extrusora.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
DIRECCIÓN DE POSGRADO

MAESTRÍA EN ELECTROMECAÁNICA

Title: Comparative analysis of electricity and natural gas consumption in the heating zone of extrusion machines to optimize the plastic melting process.

Author: Israel Patricio Pachacama Campaña

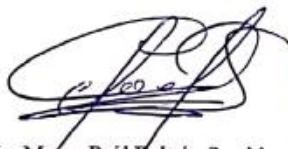
Tutor: Freire Andrade Verónica Paulina Ing. Ms.C

ABSTRACT

The research project consisted of comparing the consumption of electricity and natural gas in the heating zone in an extruder machine for the selection of an optimal process in the melting of plastic, for the analysis, low-density polyethylene was considered as raw material for the manufacture of 1 inch black hose, knowing that the capacity of the extruder is 50 kg / h and the specific heat of polyethylene is 1.9 kJ / kg. K 5500 W of heat is required to melt this material, for Therefore, there are two methods that comply with this process, method No. 1 presents 10 electrical resistances that generate 6000 W, transferring 5495.97 W, with 504.03 W of heat losses, it has a yield of 91.59% , it takes a time of 30'34 "to maintain 200 ° C, the monthly cost of the electricity it uses is \$ 68.64, it produces a monthly amount of 8030 kg that is 401 rolls of hose and has a monthly waste of 220 kg, method No. 2 transfers 7311.03 W in the form of heat with 688.97 W losses, it has a yield of 91.38%, it takes 20'35 "to maintain a temperature of 200 ° C, the monthly cost of natural gas is \$ 49 , 38, produces a monthly quantity of 8327 kg that is 416 hose rolls and has a monthly waste of 110 kg, therefore, the casting method No. 2 is selected, which presents a majority heat generation, an equal performance, it maintains the 200 ° C in less time, has a lower cost in consumption of heating energy, produces 15 more rolls of 1-inch hose per month and its material waste is doubly less.

KEYWORDS: Electricity, natural gas, electric heaters, industrial burners

Yo, Mg Marco Paúl Beltrán Semblantes con cédula de identidad número 0502666514 Licenciado en Ciencias de la Educación especialización Inglés con número de registro de la SENESCYT: 1020-06-701921; **CERTIFICO** haber revisado y aprobado la traducción al idioma inglés del resumen del trabajo de investigación con el título: "Análisis comparativo del consumo de electricidad y gas licuado de petróleo en la zona de calefacción en máquinas extrusoras.." de: Israel Patricio Pachacama Campaña aspirante a Magister en Electromecánica.



Mg. Marco Paúl Beltrán Semblantes
0502666514



CENTRO
DE IDIOMAS

Latacunga, diciembre, 09, 2021

ÍNDICE DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN	1
Antecedentes	1
Planteamiento del Problema.....	1
Formulación del problema	5
Objeto de estudio.....	5
Campo de acción.....	5
Objetivo General.....	5
Objetivos Específicos.....	6
Sistema de tareas en relación con los objetivos específicos	6
Justificación.....	8
Hipótesis.....	9
1. CAPÍTULO 1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	10
1.1 Introducción y objetivo del capítulo	10
1.2 Antecedentes de la investigación o fundamentación del estado del arte	10
1.3 Fundamentación Teórica.....	17
1.3.1 Resistencias Calefactoras	18
1.3.1.1 Tensión en las resistencias	18
1.3.1.2 Consumo de energía eléctrica en resistencias	19
1.3.1.3 Rendimiento de las resistencias	19
1.3.1.4 Transferencia de calor por resistencias	20
1.3.1.5 Tiempos de calentamiento de las resistencias en una extrusora	22

1.3.1.6 Costos de la energía eléctrica.....	22
1.3.2 Gas Licuado de Petróleo	23
1.3.2.1 Consumo energético del gas licuado de petróleo.....	24
1.3.2.2 Tiempo de calentamiento del GLP en una extrusora	25
1.3.2.3 Transferencia de calor por gas licuado de petróleo.....	25
1.3.2.4 Rendimiento del gas licuado de petróleo	27
1.3.2.5 Costos del gas licuado de petróleo	28
1.3.3 Fundición del plástico en extrusión.....	28
1.3.4 Análisis del producto (pellets)	29
1.3.4.1 Costos de mantenimiento	30
1.3.4.2 Tiempo de producción.....	31
1.3.4.3 Costos de fabricación	31
1.3.4.4 Cantidad de desperdicio plástico.....	32
1.4 Máquina extrusora de plástico	33
1.4.1 Partes fundamentales de una máquina extrusora	33
1.4.2 Funcionamiento de una máquina extrusora.....	34
1.5 Conclusiones	35
2. CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS	37
2.1 Introducción y objetivo del capítulo	37
2.2 Análisis de las zonas de calefacción en las máquinas extrusoras a comparar ..	37
2.2.1 Zona de calefacción empleando energía eléctrica.....	37
2.2.1.1 Conexión eléctrica de las resistencia calefactoras	38
2.2.1.2 Control de temperatura.....	39
2.2.2 Zona de calefacción empleando GLP	44

2.2.2.1	Conexión general del sistema de fundición	44
2.3	Metodología de cálculo	47
2.3.1	Calor necesario para la fundición del plástico	47
2.3.2	Energía eléctrica en máquinas extrusoras	48
2.3.2.1	Cálculo del consumo de energía eléctrica en resistencias.....	48
2.3.2.2	Cálculo de la transferencia de calor en resistencias	49
2.3.2.3	Cálculo del rendimiento de las resistencias eléctricas	50
2.3.2.4	Tiempos de calentamiento en la zona de fundición	51
2.3.2.5	Cálculo de los costos de energía eléctrica.....	52
2.3.2.6	Cantidad de producción de la máquina extrusora N. 1	53
2.3.3	Gas licado de petróleo en máquinas extrusoras	54
2.3.3.1	Cálculo de la pérdida de calor por convección	54
2.3.3.2	Cálculo del rendimiento de los quemadores	56
2.3.3.5	Tiempos de calentamiento con quemadores a GLP	56
2.3.3.6	Costos del consumo de gas natural	57
2.4	Tiempos y cantidad de producción de la máquina extrusora N. 2	58
2.5	Conclusiones	59
3.	CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS	60
3.1	Introducción y objetivo del capítulo	60
3.2	Análisis de los resultados	60
3.2.1	Cantidad de calor generada	62
3.2.1.1	Calor generado utilizando el método de fundición N. 1	62
3.2.1.2	Calor generado utilizando el método de fundición N. 2	62
3.2.1.3	Análisis del calor generado	62

3.2.2	Transferencia de calor	64
3.2.2.1	Transferencia de calor utilizando resistencias eléctricas calefactoras	64
3.2.2.2	Transferencia de calor utilizando quemadores a GLP	64
3.2.2.3	Análisis de la transferencia de calor.....	64
3.2.3	Rendimiento de la fuente calorífica	66
3.2.3.1	Rendimiento de las resistencias eléctricas calefactoras	66
3.2.3.2	Rendimiento de los quemadores a gas	66
3.2.3.3	Análisis del rendimiento	66
3.2.4	Tiempos de calentamiento.....	67
3.2.4.1	Tiempos de calentamiento utilizando el método de fundición N. 1....	67
3.2.4.2	Tiempos de calentamiento utilizando el método de fundición N. 2....	67
3.2.4.3	Análisis de los tiempo de calentamiento	68
3.2.5	Costos de consumo energético.....	68
3.2.5.1	Costos de consumo energético utilizando el método de fundición N. 1	69
3.2.5.2	Costos de consumo energético utilizando el método de fundición N. 2	69
3.2.5.3	Análisis de los costos por consumo energético.....	69
3.2.6	Cantidad de producción.....	70
3.2.6.1	Cantidad de producción utilizando el método de fundición N. 1.....	70
3.2.6.2	Cantidad de producción utilizando el método de fundición N. 2.....	70
3.2.6.3	Análisis de la cantidad de producción.....	71
3.3	Valoraciones de la investigación.....	73
3.3.1	Valoración técnica.....	73
3.3.2	Valoración económica.....	73

3.3.2.1 Implementación de resistencias eléctricas calefactoras	74
3.3.2.2 Implementación de quemadores a GLP	75
3.3.3 Valoración ambiental	76
3.4 Conclusiones del capítulo III	78
CONCLUSIONES	79
RECOMENDACIONES	80
Referencias Bibliográficas	81

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Resistencias Eléctricas Calefactoras.....	18
Figura 1.2 Voltímetro Analógico.....	19
Figura 1.3 Transferencia de calor con conducción	20
Figura 1.4 Gas licuado de petróleo y su almacenamiento.....	24
Figura 1.5 Transferencia de calor por convección.....	26
Figura 1.6 Fundición del plástico por resistencias calefactoras.....	29
Figura 1.7 Fundición del plástico por GLP.....	29
Figura 1.8 Pellets de plástico virgen	30
Figura 1.9 Pellets de plástico reciclado.....	30
Figura 1.10 Desechos plásticos en las costa del Ecuador	32
Figura 1.11 Procesos de extrusión en la fabricación de manguera	33
Figura 1.12 Partes de una máquina extrusora de plástico	34
Figura 1.13 Proceso de extrusión con material reciclado	34
Figura 1.14 Zonas del tornillo extrusor.....	35
Figura 2.1 Máquina extrusora N. 1	38
Figura 2.2 División de las zonas de calefacción en la máquina extrusora N. 1	38
Figura 2.3 Control de la temperatura en la máquina extrusora N. 1	40
Figura 2.4 Conexión de la PT100 al módulo AM2 RTD.....	40
Figura 2.5 Diagrama de conexión de control en la máquina extrusora N. 1.....	41
Figura 2.6 Diagrama de potencia del método de fundición N. 1	42
Figura 2.7 Valores de temperatura en la máquina extrusora N. 1.....	43
Figura 2.8 Máquina extrusora N. 2	44
Figura 2.9 Zonas de temperatura de la máquina extrusora N. 2	45
Figura 2.10 Termopar tipo J.....	45
Figura 2.11 Conexión del termopar tipo J al módulo AM2.....	46
Figura 2.12 Circuito amplificador de señal.....	46
Figura 2.13 Instrumentos de medición: voltímetro, amperímetro y cronómetro	49
Figura 2.14 Instrumentos de medición: cronómetro	52

Figura 3.1 Análisis de la cantidad de calor generada.....	63
Figura 3.2 Análisis del consumo de calor	63
Figura 3.3 Análisis de la transferencia de calor	65
Figura 3.4 Análisis de las pérdidas de calor.....	65
Figura 3.5 Análisis del rendimiento.....	67
Figura 3.6 Análisis de los tiempos de calentamiento.....	68
Figura 3.7 Análisis del costo del consumo energético.....	70
Figura 3.8 Análisis de la cantidad de producción en “kg”	71
Figura 3.9 Análisis de la cantidad de producción por rollos.....	72
Figura 3.10 Análisis de la cantidad de desperdicio.....	72
Figura 3.11 Recuperación del material	77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1	Propiedades del gas licuado de petróleo	23
Tabla 2.1	Características de la zona de calefacción en la máquina extrusora N. 1	39
Tabla 2.2	Descripción del diagrama de control.....	41
Tabla 2.3	Descripción del diagrama de control.....	43
Tabla 2.4	Valores del circuito de amplificación	46
Tabla 2.5	Características de la zona de calefacción en la máquina extrusora N. 2....	47
Tabla 2.6	Cálculo de la cantidad de calor requerida	48
Tabla 2.7	Procedimiento para el cálculo del consumo de electricidad	49
Tabla 2.8	Parámetros para el cálculo de la transferencia de calor en las resistencias	50
Tabla 2.9	Cálculo de la transferencia de calor en resistencias eléctricas	50
Tabla 2.10	Cálculo del rendimiento de las resistencias eléctricas	51
Tabla 2.11	Mediciones de tiempo durante el mes de noviembre 2020	51
Tabla 2.12	Cálculo del tiempo de calentamiento en la zona de fundición.....	52
Tabla 2.13	Cálculo económico del consumo la energía eléctrica	53
Tabla 2.14	Producción mensual de manguera en la máquina extrusora N. 1	53
Tabla 2.15	Propiedades del GLP a temperatura ambiente	54
Tabla 2.16	Cálculo del número de Reynolds	54
Tabla 2.17	Cálculo del número de Nusselt	55
Tabla 2.18	Cálculo del coeficiente de transferencia de calor por convección	55
Tabla 2.19	Cálculo de la transferencia de calor utilizando gas natural.....	55
Tabla 2.20	Cálculo del rendimiento de los quemadores a GLP.....	56
Tabla 2.21	Mediciones de tiempo durante el mes de mayo 2021	56
Tabla 2.22	Cálculo del tiempo de calentamiento en la zona de fundición.....	57
Tabla 2.23	Cálculo del tiempo de calentamiento en la zona de fundición.....	58
Tabla 2.24	Producción mensual de manguera en la máquina extrusora N. 2	58
Tabla 3.1	Parámetros de comparación de las máquinas extrusoras	61
Tabla 3.2	Calor generado utilizando el método de fundición N. 1	62
Tabla 3.3	Calor generado utilizando el método de fundición N. 2	62

Tabla 3.4 Datos obtenidos de la transferencia de calor.....	64
Tabla 3.5 Datos obtenidos del rendimiento de los métodos 1 y 2.....	66
Tabla 3.6 Datos obtenidos de los tiempos de calentamiento de los métodos 1 y 2....	68
Tabla 3.7 Valores económicos mensuales de los métodos de fundición 1 y 2	69
Tabla 3.8 Cantidad de producción de manguera de 1 pulgada.....	71
Tabla 3.9 Costos de implementación a resistencias eléctricas	74
Tabla 3.10 Costos de implementación de quemadores a GLP.....	75
Tabla 3.11 Caracterización de los residuos sólidos en Romerillos	76

INTRODUCCIÓN

Antecedentes: El presente proyecto de investigación tiene relación con la Línea N. 4 de Investigación de la Universidad Técnica de Cotopaxi; denominada Procesos Industriales y con la Sublínea N. 3 de Investigación de la Maestría en Electromecánica que corresponde a Eficiencia Energética en Sistemas Electromecánicos y Uso de Fuentes Renovables de Energía; dentro de la investigación planteada se destaca el desarrollo del proceso de fundición del plástico en máquinas extrusoras mediante la utilización de fuentes de energías caloríficas como la electricidad y el gas licuado de petróleo de tal manera que se pueda evaluar ventajas y desventajas técnicas, económicas y ambientales dentro de la producción de manguera de polietileno que puede ser utilizada en el sector de la construcción y/o en el sector agropecuario para regadío.

El proyecto de investigación promueve el desarrollo de tecnologías que impulsan a la producción nacional, así como sujetarse a principios y normativas de calidad, sostenibilidad y producción sistémica, como se manifiesta en los artículos 320 y 385 de la Constitución Nacional de la República del Ecuador.

La propuesta investigativa se alinea con el objetivo #5 del Plan Nacional de Desarrollo 2017 – 2021 “Todo una Vida”, en el que se manifiesta impulsar la productividad y competitividad para el crecimiento económico sostenible de manera redistributiva y solidaria. [1]

Planteamiento del Problema

El proyecto de investigación planteado tiene como objeto de estudio el análisis comparativo del consumo de electricidad y gas licuado de petróleo en máquinas extrusoras, específicamente en la zona de calefacción para evaluar ventajas y desventajas técnicas, económicas y ambientales dentro del proceso de fabricación de manguera.

En el ámbito internacional, la comisión europea denominada “*Energy Union*” fue creado con el objetivo de establecer programas permanentes que lleven a una mejora

continua del sistema energético, dentro de los cuales, el programa con más relevancia es denominado “20-20-20” el cual consiste en reducir el consumo de energía primaria en un 20% de la Unión Europea, reducir el 20% las emisiones de gases y elevar la contribución de energías renovables en un 20%. [2]

Según la Agencia Internacional de Energía, considera que para el año 2030, la demanda energética en América Latina aumente en un 70%, necesitando más de 140 GW (gigavatios) para abastecer la demanda energética, esto conlleva a investigar nuevas fuentes de energía primaria o al uso de otras fuentes de energía como el gas natural, manteniendo la seguridad en el suministro, facilidad de acceso a servicios energéticos y la sostenibilidad medioambiental. [3]

La energía eléctrica es el recurso mayormente demandante en las industrias ecuatorianas, que en su mayoría es generada por hidroeléctricas las cuales son alimentadas por fuentes naturales de generación de agua.

Para la producción de plásticos, la fábrica INGYTEP en asociación con RECIPLAS, utiliza energía eléctrica en un 80% en sus máquinas industriales, generalmente estas máquinas son extrusoras que tienen la función de moldear el plástico en un sin número de formas, dependiendo de la boquilla o cabezal en la parte final de la maquinaria.

Las asociaciones mencionadas presentan una máquina extrusora para desarrollar la investigación, anteriormente esta maquinaria trabajó con resistencias eléctricas calefactoras de tipo abrazadera para cumplir con el proceso de fundición del plástico con el objetivo de producir manguera de polietileno; hoy en día esta máquina específicamente en la zona de fundición del plástico, ha reemplazado las resistencias eléctricas calefactoras por el uso del gas licuado de petróleo cumpliendo de igual manera con el proceso de fundición para posteriormente obtener manguera de polietileno, por lo que se requiere la selección de carácter técnico – científico de una fuente calorífica que optimice este proceso.

El consumo energético de una extrusora es de gran importancia al momento de determinar los costos de un producto en una industria que se dedica a la fabricación de

objetos plásticos, por tal motivo es necesario realizar una investigación estableciendo un análisis comparativo para determinar en la zona de calentamiento de las máquinas extrusoras el proceso adecuado para la fundición del plástico, teniendo en cuenta ventajas y desventajas técnicas, económicas y ambientales. [4]

En el proceso de fundición del plástico en las máquinas extrusoras se pueden detectar varias causas de relevancia, las cuales se representan en la figura 1, mediante el diagrama de Ishikawa.

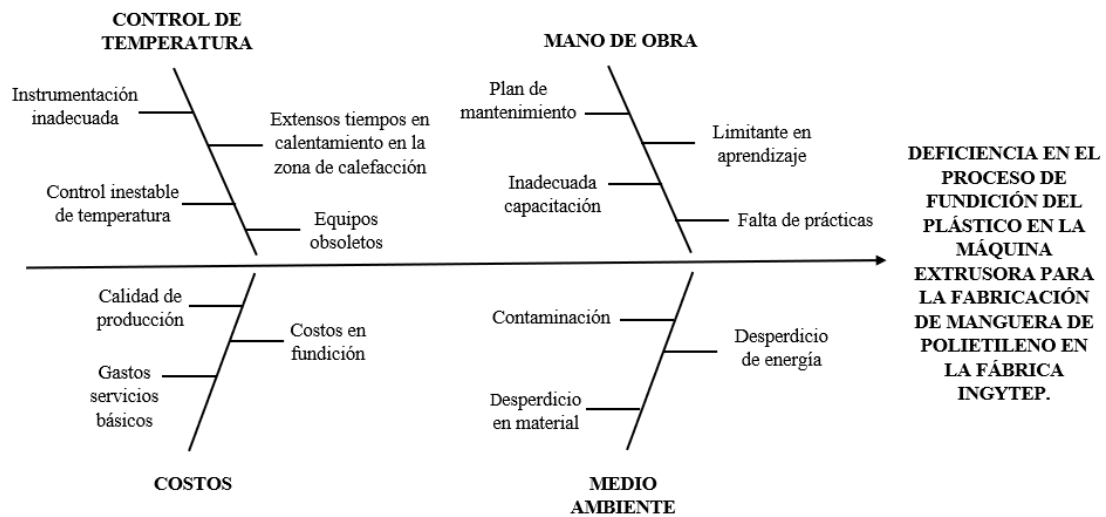


Figura 1 Diagrama de Ishikawa

La figura 1, se establecen las causas principales con sus respectivas subcausas, que inciden directa o indirectamente en el problema de investigación, las cuales se detallan a continuación:

La mano de obra en el proceso de fundición del plástico presenta varias subcausas como los inconvenientes en el plan de mantenimiento y la inadecuada capacitación para los trabajadores que conlleva a un limitante en el aprendizaje. Dentro de los costos que genera el proceso de fundición del plástico se tiene varios inconvenientes que se presentan como la baja calidad en el producto, los gastos por la energía calorífica que es reflejada en el consumo eléctrico y/o el consumo de gas licuado de petróleo.

Otras de las principales causas de la problemática constituyen la afectación al medio ambiente por los diversos problemas que genera el plástico en la contaminación debido al reciclaje inadecuado y por la falta de información en el uso de energías renovables.

Finalmente, el control de temperatura es la última causa principal en donde radican los tiempos de calentamiento en la zona de calefacción para realizar la fundición del plástico dependiendo del uso de la fuente de energía calorífica, equipos e instrumentos obsoletos. Todas las causas contribuyen al efecto que origina la problemática, que es este trabajo de investigación: Deficiencia en el proceso de fundición del plástico en la máquina extrusora para la fabricación de manguera de polietileno en la fábrica INGYTEP.

En este trabajo de investigación se determinaron diferentes variables independientes como son: tensión en resistencias, consumo de energía eléctrica, rendimiento de las resistencias, cantidad de calor, tiempo de calentamiento, costos de implementación temperatura de extrusión, consumo mensual por tanque de gas y rendimiento del gas natural. Por otra parte, se tienen las diferentes variables dependientes que son: costos de fabricación, cantidad de producción y cantidad de desechos plásticos.

Tabla 1 Matriz de variables independientes

Variables	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Tensión de resistencias	V	Medición	Voltímetro
Consumo de energía eléctrica	kWh	Cálculo	Ecuaciones
Rendimiento de resistencias	%	Cálculo	Ecuaciones
Cantidad de calor	W	Cálculo	Ecuaciones
Tiempo de calentamiento	S	Medición	Cronómetro
Temperatura de extrusión	°C	Medición	Pirómetro
Consumo mensual por tanque de gas	\$	Cálculo	Ecuaciones

Rendimiento del gas natural	%	Cálculo	Ecuaciones
Costos de implementación	\$	Cálculo	Ecuaciones

Tabla 2 Matriz de variables dependientes

Variables	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Costos de fabricación	\$	Cálculo	Ecuaciones
Cantidad de Producción	kg	Cálculo	Ecuaciones
Desechos plásticos	kg	Medición	Balanza

Formulación del problema

Deficiencia en el proceso de fundición del plástico en la máquina extrusora para la fabricación de manguera de polietileno en la fábrica INGYTEP.

Objeto de estudio

Análisis comparativo del consumo de electricidad y gas licuado de petróleo en la fundición del plástico en máquinas extrusoras.

Campo de acción

330000 Ciencias Tecnológicas

- 3310 Tecnología Industrial: 331002 Maquinaria Industrial
- 3311 Tecnología de la Instrumentación: 331105 Equipos Eléctricos de control
- 3312 Tecnología de Materiales: 331210 Plásticos
- 3328 Procesos Tecnológicos: 332818 Transferencia de calor

Objetivo General

Analizar el consumo de energía eléctrica y gas licuado de petróleo en la zona de calefacción de una máquina extrusora mediante un estudio comparativo para la

evaluación de ventajas y desventajas técnicas, económicas y ambientales en el proceso de fundición del plástico.

Objetivos Específicos

- Realizar un investigación bibliográfica en fuentes de relevancia para determinar el comportamiento del proceso de fundición del plástico en una máquina extrusora; así como sus principales variables y categorías.
- Diagnosticar el proceso de fundición del plástico utilizando electricidad y gas licuado de petróleo en la máquina extrusora de la fábrica INGYTEP identificando los diferentes parámetros de operación.
- Determinar los parámetros térmicos, de producción y ambientales mediante la resolución de expresiones matemáticas en el proceso de fundición del plástico en la máquina extrusora.
- Establecer una comparación de los valores y resultados obtenidos entre el uso de la electricidad y el gas licuado de petróleo en una máquina extrusora para la fabricación de manguera.

Sistema de tareas en relación con los objetivos específicos

Objetivos Específicos	Actividad	Resultado de la actividad	Descripción de la actividad
Objetivo 1: Realizar un investigación bibliográfica en fuentes de relevancia para determinar el	Recopilación de información del proceso de fundición del plástico mediante extrusión	Conocimiento actual del proceso de fundición del plástico en extrusión	Investigación bibliográfica

comportamiento del proceso de fundición del plástico en una máquina extrusora; así como sus principales variables y categorías	Identificación de las máquinas extrusoras y levantamiento de información	Diagnóstico del funcionamiento de las máquinas extrusoras	Investigación de campo
Objetivo 2: Diagnosticar el proceso de fundición del plástico utilizando electricidad y gas licuado de petróleo en la máquina extrusora de la fábrica INGYTEP identificando los diferentes parámetros de operación.	Disposición de pruebas en la zona de calentamiento por medio de energía eléctrica	Verificación de los tiempos y variables térmicas en proceso de fundición del plástico	Investigación de campo
	Ejecución de pruebas en la zona de calentamiento por medio de gas licuado de petróleo	Identificación de variables que inciden en la fundición del plástico por medio de gas licuado de petróleo	Investigación de campo
Objetivo 3: Determinar los parámetros térmicos, de producción y ambientales mediante la resolución de expresiones matemáticas en el proceso de fundición del plástico en la máquina extrusora.	Resolución de las expresiones matemáticas térmicas utilizando energía eléctrica	Resultados en el proceso de fundición del plástico con energía eléctrica	Investigación bibliográfica y de campo
	Resolución de las expresiones matemáticas térmicas utilizando gas licuado de petróleo	Resultados en el proceso de fundición del plástico con gas licuado de petróleo	Investigación bibliográfica y de campo

<p>Objetivo 4:</p> <p>Establecer una comparación de los valores y resultados obtenidos entre el uso de la electricidad y el gas licuado de petróleo en una máquina extrusora para la fabricación de manguera.</p>	<p>Distinción del uso de energía eléctrica y gas licuado de petróleo para el proceso de fundición del plástico</p>	<p>Adecuado proceso en la fundición del plástico en máquinas extrusoras</p>	<p>Investigación de campo</p>
	<p>Comparación técnica, económica y ambiental del uso de la electricidad con el gas licuado de petróleo en máquina extrusora</p>	<p>Análisis de resultados de la comparación técnica</p>	<p>Investigación de campo</p>

Justificación

Actualmente, en el sector industrial, el factor más importante es el cumplimiento con la entrega y calidad continua de los productos manufacturados, por tal razón siempre se trata de mejorar el rendimiento de las maquinarias por diferentes métodos como pueden ser: el reemplazo de equipos de control, el continuo mantenimiento, entre otros, en donde el resultado que se obtiene sea un menor consumo energético que es reflejado en los costos de una producción manufacturada, lo que conlleva a una búsqueda permanente del mejor método para mejorar el proceso. [5]

En la industria del plástico para procesos de fabricación de manguera de polietileno, se requiere obtener mayores rendimientos en máquinas extrusoras, pero al encontrarse con limitantes, pueden empeorar el desempeño en la fabricación de productos plásticos generando principalmente altos costos en producción. [6]

Con la presencia de la máquina extrusora de la fábrica INGYTEP se realiza la elaboración de manguera negra de polietilenos de baja o de alta densidad dependiendo

el requerimiento del mercado, uno de los procesos principales para la elaboración de este producto es la parte de fundición del plástico específicamente en la zona de calefacción de la máquina extrusora con temperaturas de aproximadamente 200 °C, para alcanzar esta temperatura se utilizan diferentes procesos como por ejemplo: el uso de la energía eléctrica por medio de resistencias calefactoras y el uso del gas licuado de petróleo.

Al realizar un análisis de comparación entre el uso de la energía eléctrica con el uso del gas licuado de petróleo en máquinas extrusoras, principalmente se enfoca en la caracterización técnica de las dos fuentes de energía calorífica para la evaluación de ventajas y desventajas técnicas, económicas y ambientales.

El proyecto de investigación tiene relevancia dentro de la eficiencia energética, desarrollando actividades que se enfocan a la parte técnica, financiera y medio ambiental, con un capacidad de generar resultados inmediatos que son reflejados económicamente, por lo tanto, se declina por un impacto a corto plazo.

La investigación tiene beneficiarios de manera directa como son los dueños de la fábrica que al mejorar el proceso de fundición del plástico se tendrá un menor consumo de energía y el medio ambiente que al generar menos desechos plásticos contribuyen con un entorno de protección al ecosistema; mientras que los beneficiarios indirectos son personas o empresas que optan por la metodología de optimizar los procesos en base a esta investigación.

Hipótesis

Con el desarrollo del análisis comparativo del consumo de energía eléctrica frente al consumo del gas licuado de petróleo como fuentes generadoras de calor en máquinas extrusoras permitirá la evaluación de las ventajas y desventajas técnicas, económicas y ambientales dentro del proceso de fabricación de manguera.

CAPÍTULO 1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

1.1 Introducción y objetivo del capítulo

En el siguiente capítulo se presenta el marco teórico que cubre los aspectos más relevantes del objeto de estudio con sus variables e indicadores relacionando el desarrollo del proceso de fundición del plástico en máquinas extrusoras mediante la utilización de fuentes de energías caloríficas como la electricidad y el gas licuado de petróleo, por lo que se establece el análisis de trabajos precedentes que sustenten la investigación.

En el presente capítulo se exponen los fundamentos teóricos de los procedimientos para la fundición del plástico en máquinas extrusoras por medio de la electricidad y/o del gas licuado de petróleo.

1.2 Antecedentes de la investigación o fundamentación del estado del arte

En los diversos estudios y bibliografía que se relacionan con el tema “Análisis comparativo del consumo de electricidad y gas licuado de petróleo en la zona de calefacción en máquinas extrusoras para la evaluación de las ventajas y desventajas técnicas, económicas y ambientales” se tienen los siguientes:

- En la Universidad de Kassel en Alemania, se presentó un artículo científico denominado “Energy demand and efficiency measures in polymer processing: comparison between temperate and Mediterranean operating plants”. “Medidas de demanda energética y eficiencia en el procesamiento de polímeros: comparación entre plantas operativas templadas y mediterráneas”. [7]

En el artículo científico, menciona que la plastificación de polímeros requiere una alta demanda de energía eléctrica para generar energía térmica y por ello se realizó una comparación entre 4 plantas industriales de plástico localizadas en Hesse (Alemania).

En Alemania el 23,4% de la generación de electricidad proviene de energías renovables, por lo tanto, la primera planta que utiliza el proceso de inyección – extrusión utiliza gas licuado de petróleo como apoyo técnico a la demanda de la energía eléctrica, para la generación de calor las estaciones del año también tienen influencia,

en verano tiene un 20 % de consumo menor y en el invierno tiene un 22,3% de consumo mayor.

- En la Universidad de Yalova en Turquía, se presentó un artículo científico denominado “Comparison of natural gas fired and induction heating furnaces”. “Comparación de hornos de calefacción de gas natural y de inducción”. [8]

En el artículo científico, se realizó un análisis termodinámico para determinación la comparación de dos hornos, el primero utiliza la energía eléctrica para la fundición del metal, mientras que el segundo utiliza el gas licuado de petróleo como fuente de energía calorífica.

Por medio de las características y datos técnicos de cada una de las fuentes de generación de calor, la eficiencia del horno de inducción es de aproximadamente 52%, mientras que el uso del gas natural se determinó un sistema muy ineficaz por tener pérdidas muy elevadas principalmente por el escape y apertura en las válvulas, obteniendo una eficiencia máxima del 9,5 % y mínima del 1,4%, concluyendo que el horno de inducción es claramente rentable.

- En la ciudad de Estrasburgo – Francia, se presentó un artículo científico para la revisata “European Control Conference” denominado “Monitoring and Modelling of the Energy Consumption in Polymer Extrusion”. [9]

En el artículo científico, se realizó un análisis de eficiencia energética en máquinas extrusoras considerando las condiciones de procesamiento para la reducción de los gastos operativos, en el que se determinó que el principal consumidor de energía eléctrica es el motor extrusor, mientras que los calentadores del barril son responsables de la segunda mayor demanda de energía.

Se utilizó un modelo matemático empírico para los dos principales consumos con el objetivo de predecir la demanda total de energía de la extrusora basado en variables de proceso y parámetros funcionales fácilmente medibles, como materia prima para la modelación se utilizó el polietileno de alta densidad virgen, a temperaturas de 150, 185, 205 y 220 °C respectivamente por cada zona de temperatura.

- En la Universidad Carlos III de Madrid, en España, se desarrolló un proyecto de titulación denominado “Diseño, control y construcción de un extrusor de filamento para impresión 3D”. [10]

El proyecto presenta el diseño y construcción de un sistema de extrusión que produce filamento para uso en impresión 3D, se implementó un sistema electrónico que permite el control de las variables como la temperatura que se utiliza para la fundición de la materia prima y la velocidad del motor extrusor.

El elemento calefactor fue construido utilizando hilo de nicrome, que es un material que se emplea para la fabricación de resistencias calefactoras, por lo que este hilo se coloca enrollado sobre el tubo del barril extrusor, el cual se determinó que a una potencia de 48 W es suficiente para alcanzar temperaturas de aproximadamente 300 °C, su tensión de alimentación es de 24 Vdc con 10 Ohm/m, distribuido en tres zonas de calefacción.

- En México, se presentó una ponencia científica en el Programa Internacional de Conferencias Plastimagen México denominado “Mejorar la eficiencia energética del proceso de extrusión de tubos”. [11]

En la ponencia científica, se realizó un análisis de la eficiencia energética de la máquina extrusora de la serie “Zephyr”, en el que se determinaron varios parámetros principales como; rendimiento, estabilidad de la temperatura de fusión, consumo de energía, factor de eficiencia, calor específico, energía requerida para fundición de HDPE, cantidad de producción, costos de la energía eléctrica, entre otros. Mediante los diferentes cálculos se determinó que la eficiencia de la máquina extrusora es del 88,22%.

- En la Universidad Autónoma de Occidente, en Cali - Colombia, se desarrolló un proyecto de titulación denominado “Diseño e implementación de un sistema de extrusión de filamento para impresión 3D a partir de botellas recicladas”. [12]

El proyecto presenta el diseño y la implementación de un sistema capaz de transformar el reciclaje de botellas en filamentos para suplir el proceso de impresión en 3D, el

material reciclado se funde por medio de resistencias eléctricas utilizando un controlador para la regulación de temperatura.

El sistema de extrusión realiza el proceso de calentado y fundición del plástico, por lo que se requiere variar la temperatura a niveles estándar dependiendo del tipo de material que no alcanzan una temperatura mayor a 250 °C; se diseñó el calentador para tres zonas de temperatura con una alimentación de 12 Vac y un consumo de 3A cada una, el controlador que se utilizó es de la marca ITC 100VH, soportando una gran cantidad de termocoplas para rangos de -50 a 1300 °C.

- En la Universidad Piloto de Colombia, en Bogotá - Colombia, se desarrolló un proyecto de titulación denominado “Conversión equipo extrusor en la zona de calefacción de energía eléctrica a gas natural”. [5]

El proyecto menciona la aportación de una solución viable para la reducción de gastos en el consumo de energía eléctrica en la empresa CIPLAS S.A., por lo que se decidió en cambiar la alimentación de los equipos que usan electricidad, por una fuente de energía a gas natural industrial, que permite reducir los costos en producción, involucrando la responsabilidad social con el cuidado del medio ambiente.

Se programó el cambio de las resistencias eléctricas que generan calor sobre el barril de una máquina extrusora de plástico con la finalidad de moldear la materia prima, fundiéndola a través de ductos que expulsan el gas natural industrial que por chispa controlada, generó ignición para el calentamiento del barril en menor tiempo, comparado con la energía eléctrica y acelerando el proceso de producción, con lo que se obtuvo mediante un bajo recurso de inversión, la disminución hasta un 60% en el consumo de energía eléctrica de la extrusora.

- En la Universidad César Vallejo, en Trujillo - Perú, se desarrolló un proyecto de titulación denominado “Diseño de un sistema de calentamiento usando gas natural en una máquina extrusora que procesa 550 kg/h de tubería plástica ubicada en la línea 5 de la planta N° 1 de la empresa Eurotubo S.A.C para reducir costos de producción”. [13]

El proyecto manifiesta que, la empresa Eurotubo S.A.C se dedica a la fabricación de tubería plástica utilizando máquinas extrusoras para lo cual, en el proceso de fundición del plástico, se lo realiza utilizando energía eléctrica a través de resistencias calefactoras y la empresa no cuenta con un sistema alternativo de calentamiento para sustituir a la energía eléctrica debido a los ocurrentes cortes del suministro eléctrico.

Por tal razón surge la necesidad de diseñar un sistema de calentamiento que no utilice energía eléctrica, en el que se optó usar el gas natural como fuente de energía calorífica, para el diseño se necesitó conocer los parámetros de operación del sistema de calentamiento con resistencias eléctricas que entregaba una potencia de 51,48 kW alcanzando una temperatura de 180 °C.

Como resultado se determinó que el gas natural necesita producir un calor requerido de 68,7 kg/h con una relación aire combustible de 19,7 kg de aire por cada kg de gas natural para obtener la temperatura requerida.

- En Colombia se presentó un artículo científico denominado “Una revisión de sistemas de calentamiento y control de temperatura para extrusión de polímeros”. [6]

En el artículo científico, se presenta una revisión sobre las iniciativas relacionadas con; el calentamiento a gas del barril de extrusión, otros sistemas de calentamiento, modelación y simulación de los perfiles de temperatura, procesamiento de polímeros por el proceso de extrusión, y control de temperatura.

Como resultado se obtuvo que al generar calor mediante una conversión a gas se puede determinar una reducción de un 60 % del consumo de la energía eléctrica, por lo tanto, se concluyó que, el calentamiento a gas es más eficiente que el calentamiento por resistencias eléctricas en el procesamiento de polímeros.

- En la Universidad de Chile de la ciudad de Santiago, en Chile, se desarrolló un proyecto de titulación denominado “Diseño de una extrusora para filamento de impresión 3D”. [14]

El propósito general de este trabajo consistió en diseñar una máquina capaz de tratar materiales termoplásticos disminuyendo su degradación, para generar a partir de éstos, un filamento útil para impresoras 3D.

Para el diseño general del calefactor, se modeló a partir de diferencias finitas su campo de temperaturas en operación, y para lograr la solución de las ecuaciones desarrolladas, se programó una aplicación computacional en lenguaje Java, este programa resuelve un calefactor específico, con medidas, materiales y estado de operación particular, entregando el campo de temperaturas de todo el equipo.

Según el estudio que se realizó para la generación de calor, la manera más cómoda es la utilización de resistencias eléctricas, y puesto que su geometría afecta el diseño, se realizó un sencillo y rápido estudio de mercado. Las termo-resistencias comerciales útiles para este proyecto fueron de fácil acceso y un menor costo, de las cuales sus características técnicas fueron de 200 W y 220V.

- En la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en Riobamba – Ecuador, se desarrolló un proyecto de titulación denominado “Diseño y construcción de un sistema de calentamiento a gas para la fabricación de planchas de polipropileno Techoluz”. [15]

El proyecto manifiesta que para los procesos de extrusión en la elaboración de planchas translucidas se requiere de un sistema de calentamiento, comúnmente esta energía calórica proviene de resistencias eléctricas cuyos costos de energía son relativamente elevados y que la empresa TUBASEC C.A. productora de planchas translucidas de polipropileno busca optimizar sus recursos y en tal virtud se ha planteado el diseño de un sistema a gas el mismo que busca un ahorro energético.

El trabajo consistió en diseñar y construir un sistema de calentamiento a gas que se ubicó en la parte inicial del cañón o tubo de la máquina extrusora permitiendo calentar la materia prima, obteniendo resultados positivos en la reducción del costo de la energía eléctrica y mejorando la eficiencia energética.

Mediante 9 resistencias eléctricas de tipo abrazadera con una tensión de alimentación de 220 Vac y una potencia de 1800 W cada una se obtuvo una temperatura de 300 °C, mientras que con el gas natural a un menor flujo con una potencia de 1580 W se obtuvo una temperatura de 305 °C, por lo tanto, con resistencias eléctricas se gastó aproximadamente 6,5 veces más del gasto producido por el gas natural

- En la Universidad Politécnica Salesiana de la ciudad de Quito, en Ecuador, se desarrolló un proyecto de titulación denominado “Automatización de un sistema extrusor de PVC para fabricación de vinil sellador (empaquetadura) entre el metal y su acristalamiento”. [16]

El presente proyecto se enfocó en la automatización de la máquina extrusora de PVC para la fabricación de vinil sellador utilizado en el área de la construcción de ventanearía y estructura, así como también en el diseño del calentador para la fundición de la materia prima.

Se realizó la caracterización de la toda la máquina extrusora; para el diseño del calentador se ha considerado que para realizar el vinil 26 – 12 se necesitan 4 resistencias calefactoras de tipo abrazadera con un diámetro de 75 mm, una longitud de 100 mm, potencia de 900 W, tensión de 220 Vac con una conexión en serie y una protección (breaker) de 16 A.

El control del temperatura se realizó por medio de un controlador lógico programable mediante histéresis con una rango de temperatura de 125 °C a 145 °C siendo 130 °C la temperatura ideal para la fundición del PVC.

- En la Escuela Superior Politécnica del Chimborazo de la ciudad de Riobamba, en Ecuador, se desarrolló un proyecto de titulación denominado “Diseño y fabricación de una máquina extrusora para crear el filamento de la impresora 3d a partir de material plástico”. [17]

El presente proyecto consistió en el diseño y fabricación de una máquina extrusora utilizada para la fabricación de filamentos para impresoras 3D utilizando los cálculos

para determinar las dimensiones de los diferentes componentes de la máquina en la cual se tiene un enfoque principalmente en la zona de calefacción.

Para el diseño eléctrico se determina el uso de resistencias calefactoras de tipo abrazadera para el proceso de fundición de la materia prima, el mismo que tiene una temperatura de extrusión de 170 °C y que está dividido por 5 zonas de temperatura. Los calefactores tienen una tensión de alimentación de 110 Vac con una dimensión de diámetro 1,25 pulgadas y 4 pulgadas de largo, la temperatura tiene un control on – off por medio del controlador de temperatura de la marca Toky.

- En la Escuela Superior Politécnica del Chimborazo de la ciudad de Riobamba, en Ecuador, se presentó un artículo científico denominado “Diseño y construcción de un extrusor tipo tornillo para la obtención de pellets plástico a partir de botellas recicladas”. [18]

El artículo científico menciona el diseño y construcción de un extrusor para la elaboración de pellets plásticos a partir del reciclaje, enfocándose en la minimización de la contaminación ambiental con desechos plásticos.

Se utilizó cálculos de ingeniería en base a normativas, leyes y principios establecidos determinando los valores de las variables para el diseño de la máquina, especialmente en el uso de resistencias eléctricas de tipo abrazadera para la fundición del material reciclado.

Con la realización de pruebas experimentales en la máquina extrusora se determinó que tiene un tiempo de precalentamiento de 60 minutos, una temperatura en la zona de alimentación de 85 °C, temperatura en la zona de compresión 250 °C, temperatura de dosificación 170 °C, una eficiencia del 90% y un rendimiento del 94%.

1.3 Fundamentación Teórica

En este apartado se dará a conocer los aspectos teóricos fundamentales del objeto de estudio, del campo de acción, ítems, comportamiento y particularidades de las variables correspondiendo a la sustentación teórica del proyecto.

1.3.1 Resistencias Calefactoras

Las resistencias calefactoras son elementos que convierten la energía eléctrica en energía calorífica, existen varios tipos de modelos dependiendo del proceso a utilizarse, la gran mayoría de ellas son fabricadas con un alambre de una aleación de níquel (80%) y cromo (20%), esta aleación soporta temperaturas muy altas (1000°C), es netamente resistivo, muy resistente a los impactos y es inoxidable. [19]

En el sector del termoplástico industrial, las resistencias tipo abrazadera son ampliamente utilizadas para el calentamiento de cilindros de plastificación como se observa en la figura 1.1, para máquinas de moldeo por inyección o para el calentamiento de maquinaria de extrusión plástica. [14]



Figura 1.1 Resistencias Eléctricas Calefactoras

Fuente: [19]

Todas estas resistencias con forma de abrazadera se diferencian esencialmente en el material de su aislamiento, que puede ser de mica o de cerámica, sobre todo, y que se aplican dependiendo del tipo de plástico con el que va a trabajar la extrusora.

1.3.1.1 Tensión en las resistencias

El funcionamiento de estas resistencias calefactoras es por medio de la electricidad, que, al ingresar una determinada tensión, este elemento tiende a generar calor, por lo tanto, se utilizan diferentes tipos de controladores dependiendo de la cantidad de calor que se necesita en el proceso a utilizarse. [12]

A nivel industrial la tensión que se maneja en las resistencias calefactoras es de 110 y 220 V en corriente alterna y su instrumento de medición para determinar el valor de la tensión es el voltímetro como se observa en la figura 1.2.



Figura 1.2 Voltímetro Analógico

Fuente: [12]

1.3.1.2 Consumo de energía eléctrica en resistencias

Para lograr el proceso de extrusión del material, es necesario obtener una temperatura promedio de 200 °C dependiendo del tipo de plástico, por lo tanto, el sistema debe alcanzar esta temperatura y mantenerla. Para determinar el consumo de la energía eléctrica en una resistencia calefactora se debe conocer la tensión de alimentación en Voltios, la cantidad de corriente eléctrica y el tiempo de funcionamiento; por medio de la ecuación 1.1 se determina el valor del consumo. [20]

$$P_R = V \cdot I \cdot t \quad \text{Ec. 1.1}$$

Donde:

- P_R : Consumo de energía eléctrica en resistencias [kWh]
- V : Tensión de alimentación [V]
- I : Cantidad de corriente eléctrica [A]
- t : Tiempo de funcionamiento [h]

1.3.1.3 Rendimiento de las resistencias

El rendimiento de las resistencias calefactoras se puede expresar mediante el cociente entre la energía eléctrica absorbida (energía útil) de su funcionamiento y la energía suministrada; se la representa mediante la ecuación 1.2. [21]

Dado que, la energía suministrada siempre será mayor que el trabajo útil obtenido, el rendimiento siempre será menor del 100% por tener pérdidas por disipación de calor.

$$\eta_R = \frac{P_{res}}{P_T} \cdot 100\% \quad \text{Ec. 1.2}$$

Donde:

- η_R : Rendimiento de las resistencias [%]
- P_{res} : Potencia absorbida [W]
- P_T : Potencia suministrada [W]

1.3.1.4 Transferencia de calor por resistencias

La ley de Joule menciona que “la potencia disipada en un conductor es directamente proporcional a la resistencia del conductor y al cuadrado de la intensidad de corriente que lo cruza; determinada por la ecuación 1.3. [21]

$$P = I^2 \cdot R \quad \text{Ec. 1.3}$$

Donde:

- P : Potencia disipada [W]
- I : Corriente consumida [A]
- R : Resistencia eléctrica [Ω]

El mecanismo de transferencia de calor ocurre cuando existe una diferencia de temperatura entre dos elementos, la transmisión del calor se da del elemento que tiene mayor temperatura hacia el o los elementos con menor temperatura. [22]

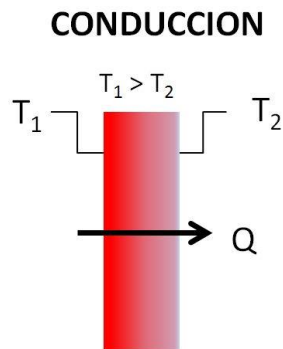


Figura 1.3 Transferencia de calor con conducción

Fuente: [22]

En las resistencias eléctricas la transferencia del calor hacia el barril o camisa extrusora se da por el mecanismo de conducción como se observa en la figura 1.3 y la cantidad de calor se determina mediante la ecuación 1.4. [22]

$$Q_{cond} = \frac{T_1 - T_2}{L/K \cdot A} \quad \text{Ec. 1.4}$$

Donde:

- Q_{cond} : Transferencia de calor por conducción o flujo de calor [W]
- T_1 : Temperatura máxima [°C]
- T_2 : Temperatura mínima [°C]
- L : Espesor de la pared [m]
- K : Conductividad térmica [W/m * °C]
- A : Área transversal de la pared [m²]

En la transferencia de calor existen pérdidas que se generan por diversos factores, el cálculo se lo puede determinar para paredes cilíndricas por medio de la ecuación 1.5.

$$Q_x = 2\pi \cdot L \cdot k \cdot \frac{\Delta T}{\ln(r_2/r_1)} \quad \text{Ec. 1.5}$$

Donde:

- Q_x : Pérdida de calor [W]
- L : espesor de la pared [m]
- C_u : Costo por cada kWh [\\$]
- K : Conductividad térmica [W/m * °C]
- ΔT : Variación de temperatura [°C]
- r_1 : radio menor del cilindro [m]
- r_2 : radio mayor del cilindro [m]

1.3.1.5 Tiempos de calentamiento de las resistencias en una extrusora

El estudio de tiempos se define en cuanto se demora la resistencia eléctrica calefactora en alcanzar su punto óptimo de temperatura para la fundición del plástico, generalmente se utiliza el cronómetro como instrumento de medición y un registro en el cual se consideren los datos medidos. [23]

Por medio de la ecuación 1.6 se puede determinar el promedio de los tiempos establecidos en una muestra que puede ser considerar en un mes de trabajo de la máquina extrusora.

$$P_{tiempo} = \frac{\sum_{i=1}^n Tiempo_i}{n} \quad \text{Ec. 1.6}$$

Donde:

- P_{tiempo} : Tiempo promedio [min]
- Σ Tiempo_i: Sumatoria de tiempo [min]
- n: Cantidad de veces

1.3.1.6 Costos de la energía eléctrica

En Ecuador el costo de la energía eléctrica depende si el sector es de tipo residencial, industrial o comercial, el valor del kWh esta normado por medio del pliego tarifario otorgado en la resolución del ARCONEL N. 035/19, por lo tanto, se puede determinar el costo unitario de la energía eléctrica, por medio de la ecuación 1.7.

$$C_{Electricidad} = P_R \cdot C_U \cdot D \quad \text{Ec. 1.7}$$

Donde:

- $C_{electricidad}$: Costo de la electricidad [\$]
- P_R : Consumo de energía eléctrica en resistencias [kWh]
- C_u : Costo por cada kWh [\$]
- D: Días laborables (22 días)

1.3.2 Gas Licuado de Petróleo

El gas licuado de petróleo es un combustible gaseoso resultado de la descomposición anaerobia de sustancias orgánicas como se observa en la figura 1.4, es una mezcla de hidrocarburos donde su principal componente es el gas metano (CH₄). [5]

Características del gas licuado de petróleo

- En mucho menos contaminante del ambiente en comparación con los otros combustibles.
- La presión en el centro de consumo es manejable por el usuario de acuerdo con sus requerimientos.
- Es susceptible a la compresión o expansión y de fácil transporte.
- La entrega en el punto de consumo puede ser directa evitando el uso de tanques de almacenamiento.
- Debido a su eficiencia y poder calorífico su costo por volumen es económico.

En condiciones de baja presión y temperatura se comporta como un gas ideal, es decir es un fluido con poca densidad, homogéneo, tiende a ocupar el volumen del recipiente que lo contiene y posee baja viscosidad. En la tabla 1.1 se observa las propiedades de gas licuado de petróleo. [6]

Tabla 1.1 Propiedades del gas licuado de petróleo

Densidad relativa	0,65
Poder calorífico superior	9679,73 kcal/m ³
Poder calorífico inferior	9200 kcal/m ³
C _p (presión Cte)	8,57 cal/mol °C
C _v (volumen Cte)	6,56 cal/mol °C

Fuente: [6]



Figura 1.4 Gas licuado de petróleo y su almacenamiento

Fuente: [5]

1.3.2.1 Consumo energético del gas licuado de petróleo

El consumo del gas licuado de petróleo inicialmente se mide en metros cúbicos (m^3), en donde se utiliza un factor de conversión para calcular la cantidad de energía en kWh. El precio del kilovatio hora del gas natural es ahora mismo el más bajo de entre todas las energías combustibles en Latinoamérica. [24]

El calor útil para obtener la energía absorbida por el material se determina por medio de la ecuación 1.7.

$$Q_{util} = \frac{m \cdot C_p \cdot (T_f - T_o)}{t} \quad \text{Ec. 1.8}$$

Donde:

- Q_{util} : Cantidad de calor [kW]
- m : masa de la carga [kg]
- C_p : Calor específico [J/kg °K]
- T_f : Temperatura final (°K)
- T_o : Temperatura inicial (°K)
- t : Tiempo [s]

Para llevar la materia prima a la temperatura de fusión es necesario vencer una resistencia e inercia térmica del cilindro de transporte añadido a las pérdidas

provocadas en el sistema, por lo que se puede considerar una potencia requerida igual al calor útil por un factor de servicio, representado por la ecuación 1.9. [25]

$$Q_{requerido} = Q_{util} \cdot F_s \quad \text{Ec. 1.9}$$

Donde:

- $Q_{requerido}$: Cantidad de calor requerido [kW]
- Q_{util} : Cantidad de calor [kW]
- F_s : Factor de servicio 1,15 valor recomendado [adimensional]

1.3.2.2 Tiempo de calentamiento del GLP en una extrusora

En el proceso de extrusión se debe alcanzar una temperatura aproximada de 200 °C, para lo cual, es necesario realizar un estudio de tiempos en el que menciona, cuánto se demora alcanzar esta temperatura utilizando el gas licuado de petróleo, generalmente se usa el cronómetro como instrumento de medición y un registro en el cual se consideren los datos medidos. [25]

1.3.2.3 Transferencia de calor por gas licuado de petróleo

La combustión puede llevarse a cabo en el medio ambiente o por lo general en cámaras de combustión ya sea aislada con material que evite en lo posible las pérdidas de calor por las paredes de la cámara o no. Para que los quemadores sean eficientes y seguros es necesario elementos para su control como son:

- Sistema de alimentación de combustible y aire
- Sistema de encendido
- Sistema de sensores y válvulas de control
- Sistema de emergencia de encendido y apagado.

La transferencia de calor en este tipo de dispositivos se realiza por convección, de no tener un elemento que fuerce el movimiento del aire se denominará convección natural de lo contrario será forzada, se representa mediante la ecuación 1.10. [26]

$$Q_{conv} = \frac{T_s - T_\infty}{1/h \cdot A_s} \quad \text{Ec. 1.10}$$

Donde:

- Q_{conv} : Transferencia de calor por convección [W]
- T_s : Temperatura superficie [°C]
- T_∞ : Temperatura del fluido [°C]
- h : Coeficiente de calor por convección [$W/m^2 \cdot ^\circ C$]
- A : Área [m^2]

La convección es la transferencia de calor en un fluido y combina los mecanismos de transferencia de calor por conducción y el movimiento global del fluido como se observa en la figura 1.5.

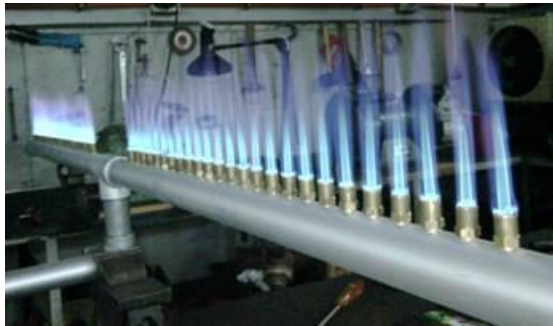


Figura 1.5 Transferencia de calor por convección

Fuente: [26]

- **Determinación del coeficiente de convección**

El coeficiente se conceptualiza como la razón de la transferencia de calor entre una superficie sólida y un fluido en una unidad de área y por unidad de diferencia en la temperatura, se la determina por medio de la ecuación 1.11.

$$h_{conv} = \frac{k \cdot Nu}{D} \quad \text{Ec. 1.11}$$

Donde:

- h_{conv} : Coeficiente de transferencia de calor por convección [$W/m^2 \cdot ^\circ K$]
- k : Conductividad térmica [$W/m^2 \cdot K$]
- Nu : Número de Nusselt
- D : Diámetro del cilindro [m]

- **Número de Reynolds**

Este valor define si un flujo es laminar o turbulento, es adimensional y es la razón de las fuerzas de inercia a las fuerzas viscosas en el fluido, se la determina por medio de la ecuación 1.12.

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot d}{\mu} \quad \text{Ec. 1.12}$$

Donde:

- Re : Número de Reynolds
- ρ : Densidad del fluido [kg/m^3]
- v : Velocidad del fluido [m/s]
- μ : viscosidad [Pa/s]

- **Número de Nusselt**

Para determinar el número de Nusselt se aplica la ecuación 1.13.

$$Nu = 0,023 \cdot (Re)^{0,8} \cdot (Pr)^{0,4} \quad \text{Ec. 1.13}$$

Donde:

- Nu : Número de Nusselt
- Re : Número de Reynolds
- Pr : Número de prandlt

1.3.2.4 Rendimiento del gas licuado de petróleo

Se entiende por rendimiento del gas licuado de petróleo, a la relación entre el calor aportado a la carga y el calor potencial del combustible, medida en pruebas de larga duración; se calcula por de la ecuación 1.14. [25]

$$\eta_{GN} = \frac{P_{ab\ GN}}{P_{T\ GN}} \cdot 100\% \quad \text{Ec. 1.14}$$

Donde:

- η_{GN} : Rendimiento del GLP [%]
- $P_{ab\ GN}$: Potencia absorbida del GLP [W]
- $P_{T\ GN}$: Potencia suministrada del GLP [W]

1.3.2.5 Costos del gas licuado de petróleo

El valor del gas licuado de petróleo para uso industrial tiene un costo de \$ 0,8173 por cada kg de gas, lo que menciona que generalmente un tanque de 15 kg tiene un costo de \$12,25 y para determinar el costo mensual del GLP en una máquina extrusora se determina por la ecuación 1.15.

$$C_{GAS} = \frac{C_{kg/h} \cdot C_{tanque} \cdot t \cdot D}{C} \quad \text{Ec. 1.15}$$

Donde:

- C_{GAS} : Costo del gas licuado de petróleo [\$]
- $C_{kg/h}$: Consumo de los quemadores industriales [kg/h]
- C_{Tanque} : Costo del tanque de 15 kg [\$]
- D : Días laborables (22 días)
- C : Capacidad del tanque de gas [kg]
- t : tiempo de trabajo por día [h]

1.3.3 Fundición del plástico en extrusión

La fundición del plástico por medio de la extrusión consiste en derretir la materia prima que a su vez es transportada desde la zona de alimentación hasta la zona de dosificación por medio del tornillo sin fin. [27]



Figura 1.6 Fundición del plástico por resistencias calefactoras

Actualmente el proceso de fundición del plástico se lo realiza por medio de resistencias eléctricas calefactoras de tipo abrazaderas como se indica en la figura 1.6 con características que dependen del diseño de la zona de calefacción utilizando la energía eléctrica como fuente generadora de calor o también este proceso de fundición es realizado por medio de quemadores que funcionan a gas licuado de petróleo como lo indica la figura 1.7. [28]

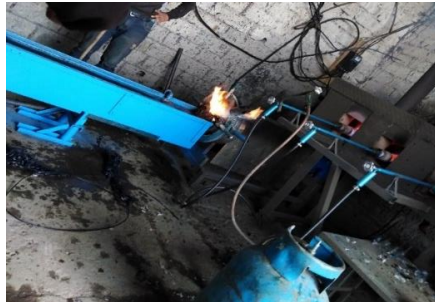


Figura 1.7 Fundición del plástico por GLP

1.3.4 Análisis del producto (pellets)

Los pellets son gránulos plásticos como se observa en la figura 1.8, que corresponden a la forma principal de las resinas plásticas que son producidas y comercializadas, estos materiales se encuentran entre los residuos más abundantes en las costas del mundo, tienen varias formas ovoides esféricas y tamaños de 1 mm cilíndricos a 5 mm, generalmente blancas, transparentes, colores claros en función de su composición química y su propósito final. [29]



Figura 1.8 Pellets de plástico virgen

Fuente: [29]

Estos materiales plásticos también pueden fabricarse a partir de plásticos reciclados para la reutilización en diferentes procesos industriales como materia prima, sustituyendo a los materiales vírgenes a un menor costo como se indica en la figura 1.9.



Figura 1.9 Pellets de plástico reciclado

1.3.4.1 Costos de mantenimiento

Es importante considerar un costo determinado por un mantenimiento con la finalidad de conservar o restaurar un sistema o un proceso industrial específico. Los costos de mantenimiento pueden componerse de la suma de todos los gastos que se requieren para la aplicación y su desempeño, durante un período de tiempo. [1] Se puede clasificarlos en:

- Los costos que tienen relación directa con las operaciones de mantenimiento, como pueden ser: costos administrativos, de mano de obra, de materiales, de repuestos, de subcontratación, de almacenamiento y costos de capital.

- Costos por pérdidas de producción a causa de las fallas de los equipos, por disminución de la tasa de producción y pérdidas por fallas en la calidad del producto debido al mal funcionamiento de los equipos.

1.3.4.2 Tiempo de producción

Es el tiempo de producción necesario para realizar un producto o una serie de productos, este tiempo está compuesto por lo siguiente:

- Tiempo de espera: tiempo en el cual un producto se encuentra detenido sin realizar operación alguna. [20]
- Tiempo de preparación: tiempo en el que se dispone adecuadamente los recursos que se van a efectuar la operación. [20]
- Tiempo de Operación: tiempo consumido para realizar la elaboración del producto. [20]
- Tiempo de transferencia: tiempo en el que se transportan los productos ya han sido sometidos a alguna operación. [20]

1.3.4.3 Costos de fabricación

Son los gastos necesarios que se generan para realizar un producto. En las empresas el costo de producción indica el beneficio bruto de la empresa.

Este costo tiene las siguientes características:

- Para producir se debe gastar, es decir, esto genera un costo.
- Los costos deben ser lo más bajos posibles
- Los costos deben ser eliminados de ser innecesarios.

Los costos se clasifican en:

- Costos Variables: Están sujetos a los cambios constantes en el mercado como pueden ser; materia prima, mano de obra directa, supervisión, mantenimiento, servicios, suministros, entre otros. [21]

- Costos fijos: Son aquellos costos que no poseen cambios en el mercado como pueden ser; costos indirectos, costos de inversión, depreciación, impuestos, seguros, gastos generales, costos de ventas y distribución, entre otros. [21]

1.3.4.4 Cantidad de desperdicio plástico

El desecho de plásticos en Ecuador tiene mayor incidencia en las costas del país con aproximadamente el 88% determinado por las jornadas de limpieza desarrolladas en las zonas costeras, como se visualiza en la figura 1.10; el 11% del total de residuos sólidos generados en el país son plásticos. [17]

El plástico, en todo el planeta, es el material más contaminante del ambiente y solo el 10% se recicla, el resto va a los mares en forma de basura y micropartículas que limitan la generación de oxígeno en los seres vivos y son el alimento de la fauna marina. [12]

Existen campañas de concientización para el reciclaje del plástico que al darle otro uso minimizaría la contaminación que este elemento genera a nivel mundial.



Figura 1.10 Desechos plásticos en las costa del Ecuador

Fuente: [12]

Descripción del objeto de estudio

A continuación, se describe el principio de funcionamiento de la máquina extrusora de plástico, así como sus características técnicas, partes fundamentales y parámetros de trabajo.

1.4 Máquina extrusora de plástico

Es uno de los procesos más importantes de obtención de plásticos en volumen y producción, siendo un proceso continuo, en el que la materia prima es fundida por la acción de temperatura y fricción, esta materia fundida es forzada a pasar por un dado que le proporcione una forma definida como se observa en la figura 1.12 y enfriada para finalmente evitar deformaciones permanentes, por medio de este proceso se fabrican tubos, perfiles, fundas, mangueras, laminas, filamentos, pellets, entre otros. [30]



Figura 1.11 Procesos de extrusión en la fabricación de manguera

1.4.1 Partes fundamentales de una máquina extrusora

Una máquina de extrusión consta de un eje metálico central con alabes helicoidales, llamado husillo o tornillo, instalado dentro de un cilindro metálico denominado cilindro, el cual está revestido con una camisa calefactora de resistencia eléctricas.

En un extremo se encuentra la tolva de alimentación en donde ingresa la materia prima, en ese mismo extremo se encuentra el sistema de accionamiento del husillo, compuesto por un motor y un sistema de reducción de velocidad y finalmente en el otro extremo, específicamente en la punta del tornillo extrusor, se ubica la salida del material y el dado que da la forma final al producto plástico. Las partes de la máquina extrusora se indican en la figura 1.12.

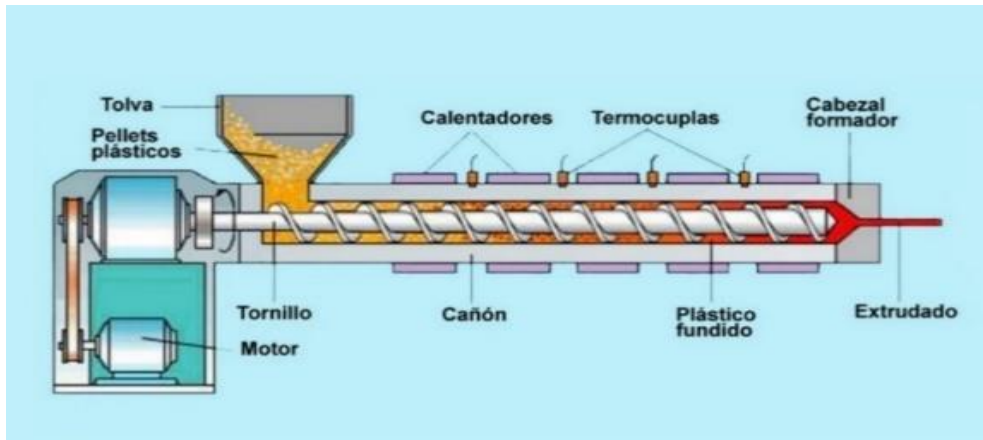


Figura 1.12 Partes de una máquina extrusora de plástico

Fuente: [10]

1.4.2 Funcionamiento de una máquina extrusora

La extrusión de plástico es un proceso industrial que utiliza máquinas extrusoras para procesar materia prima nueva o de reciclaje. El flujo continuo del material, la presión, temperatura y empuje permiten que el material fundido pase por medio de un molde para obtener una forma deseada. [10]

La materia prima que se encuentra en forma de gránulos (pellets), ingresa a través de una tolva de alimentación abasteciendo constantemente al cilindro extrusor para fundir el plástico y empujarlo a lo largo del cilindro por medio del tornillo sin fin generando una presión que al final homogeneiza la materia prima, en la figura 1.13 se determina el proceso completo de la fabricación de manguera negra. [14]



Figura 1.13 Proceso de extrusión con material reciclado

Principalmente una máquina extrusora se basa en el funcionamiento del husillo o tornillo extrusor, existiendo tres zonas importantes a lo largo de la operación como se indica en la figura 1.14:

- Zona de Alimentación: Se ubica en el inicio de la extrusora y se caracteriza por poseer la mayor profundidad en el canal, eso significa que el alma tendrá el menor diámetro de todo el husillo. El material ingresa a esta zona y cumple con la función de compactar y transportar el polímero a la siguiente zona. [16]
- Zona de Transición: Es la zona intermedia del husillo en la que el diámetro del alma va aumentando de manera progresiva, por lo tanto, la profundidad del canal se reduce en comparación con la zona de alimentación, su principal función es fundir al material y transportarlo a la zona de dosificación. [16]
- Zona de Dosificación: Se ubica al final de la extrusora, el diámetro del alma aumenta de forma significativa y la profundidad del canal es casi nula. Esta zona abarca toda la presión generada por la extrusora y dosifica el polímero en estado de fundición hacia la boquilla de salida. [16]

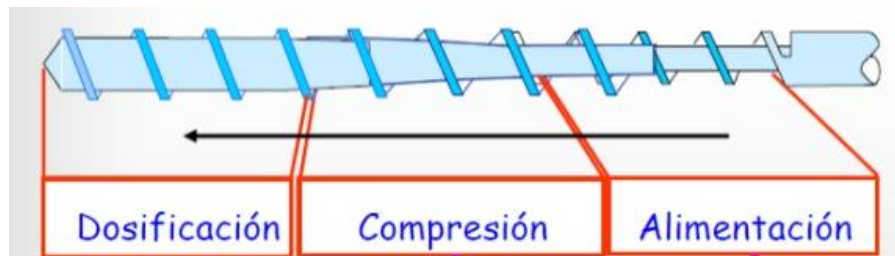


Figura 1.14 Zonas del tornillo extrusor

Fuente: [18]

1.5 Conclusiones

- Los trabajos investigativos desarrollados acerca del objeto de estudio mencionan el funcionamiento y cada una de las partes de una máquina extrusora, mientras que en el campo de acción destacan solamente dos métodos en el proceso de fundición del plástico, de manera prioritaria la utilización de la energía eléctrica y de manera moderna por medio del uso del gas licuado de petróleo.
- No se muestran estudios realizados puntualmente de manera comparativa de la electricidad vs el gas licuado de petróleo aplicado específicamente en máquinas

extrusoras, que garantice el tipo de energía calorífica para los procesos industriales del plástico.

- El aporte científico – técnico emplea la generación de una metodología para la selección de uno de los procesos para la fundición del plástico revisados de manera bibliográfica aportando a una sociedad medioambiental, industrial y económica.

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Introducción y objetivo del capítulo

En el siguiente capítulo se presentan los métodos, procedimientos, materiales y condiciones experimentales que fundamentan los procesos de fundición del plástico en máquinas extrusoras para brindar la solución al problema planteado. El conocimiento del proceso de fundición mediante energía eléctrica y el proceso de fundición a gas licuado de petróleo conlleva al estudio y desarrollo de expresiones matemáticas que representen el fenómeno físico justificando de manera técnica el método seleccionado.

El capítulo plantea desarrollar las expresiones matemáticas propuestas en el capítulo anterior referentes a los procedimientos de fundición del plástico en máquinas extrusoras por medio de la electricidad y/o del gas licuado de petróleo.

2.2 Análisis de las zonas de calefacción en las máquinas extrusoras a comparar

Para realizar el análisis técnico en las zonas de calefacción se determina la caracterización de las máquinas extrusoras a comparar, especialmente en el sistema de fundición del plástico con las diferentes fuentes de energía que generan calor.

A la máquina extrusora de plástico que funciona en su totalidad con energía eléctrica se la denominará como “máquina extrusora N. 1” y al método empleado que utiliza las resistencias eléctricas calefactoras para la fundición del plástico tendrá una denominación de “método de fundición N. 1”.

Por otra parte, la máquina extrusora de plástico que utiliza en un 60 % de energía eléctrica será denominada “máquina extrusora N. 2” y al método empleado que utiliza el gas licuado de petróleo para la fundición de la materia prima plástica tendrá como denominación “método de fundición N. 2”.

2.2.1 Zona de calefacción empleando energía eléctrica

Uno de los métodos de fundición del plástico mayormente comunes en máquinas extrusoras es mediante la utilización de resistencias eléctricas calefactoras de tipo abrazadera que permiten la conversión de la energía eléctrica en energía calorífica.



Figura 2.1 Máquina extrusora N. 1

En la figura 2.1 se observa la máquina extrusora N. 1 compuesta por una tolva de alimentación, resistencias eléctricas calefactoras, tornillo sin fin, cilindro extrusor, boquilla y equipos de control.

2.2.1.1 Conexión eléctrica de las resistencia calefactoras

La máquina extrusora N. 1 está dividida por 4 zonas de calefacción en el proceso de fundición del plástico por lo que está compuesto por 10 resistencias eléctricas de tipo abrazadera, la primera zona se conforma por 2 resistencias, la segunda zona contiene 3 resistencias, la tercera zona cuenta con 2 resistencias y la cuarta zona presenta 3 resistencias, esta división se visualiza en la figura 2.2.



Figura 2.2 División de las zonas de calefacción en la máquina extrusora N. 1

En la tabla 2.1 se determinan las características técnicas de la zona de calefacción como son: el tipo de conexión de las resistencias eléctricas calefactoras, la potencia de consumo, el nivel de tensión de alimentación, el diámetro y la longitud de la resistencia calefactora de la máquina extrusora N. 1.

Tabla 2.1 Características de la zona de calefacción en la máquina extrusora N. 1

Características de la zona de calefacción empleando energía eléctrica	
Tipo de resistencia	Abrazadera
Número de zonas de calefacción	4
Tipo de conexión entre resistencias	Paralelo
Potencia en cada resistencia	600 W
Tensión de alimentación	220 Vac
Longitud de la resistencia	100 mm
Diámetro de la resistencias	100 mm
Tipo de material a fundir	Polietileno de alta densidad
	Polietileno de baja densidad

2.2.1.2 Control de temperatura

El control de la temperatura de la máquina extrusora N. 1 se lo realiza por medio del controlador lógico programable “LOGO 8” utilizando dos módulos de expansión denominados “AM2 RTD” compatibles directamente con LOGO 8, estos módulos tienen dos entradas analógicas con valores normalizados (4 – 20 mA) para la conexión directa de los sensores “Detectores de temperatura por resistencia RTD” que son utilizados principalmente para temperaturas de hasta 200 °C.

En la figura 2.3 se puede observar la conexión del LOGO 8 con sus dos módulos de expansión para temperatura; el sistema de fundición del plástico se ha dividido en 4

zonas de temperatura para lo cual se utilizaron 4 sensores PT100 de tres hilos, en la figura 2.4 se observa la forma de conexión del sensor al módulo.



Figura 2.3 Control de la temperatura en la máquina extrusora N. 1

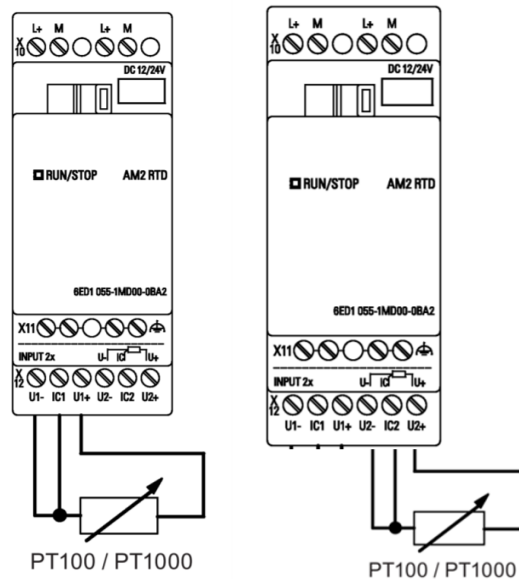


Figura 2.4 Conexión de la PT100 al módulo AM2 RTD

El diagrama de conexión de la parte electrónica del método de fundición N.1 utilizando resistencias eléctricas se presenta en la figura 2.5 dentro del cual se tienen los siguientes detalles: la protección eléctrica principal de todo el proceso de fabricación de manguera, la protección eléctrica secundarias para los selectores y contactores, fusible de protección para el equipo electrónico (Logo 8), selectores de dos posiciones como entradas y la bobina de los contactores para la activación de las resistencias calefactoras como salidas del Logo 8.

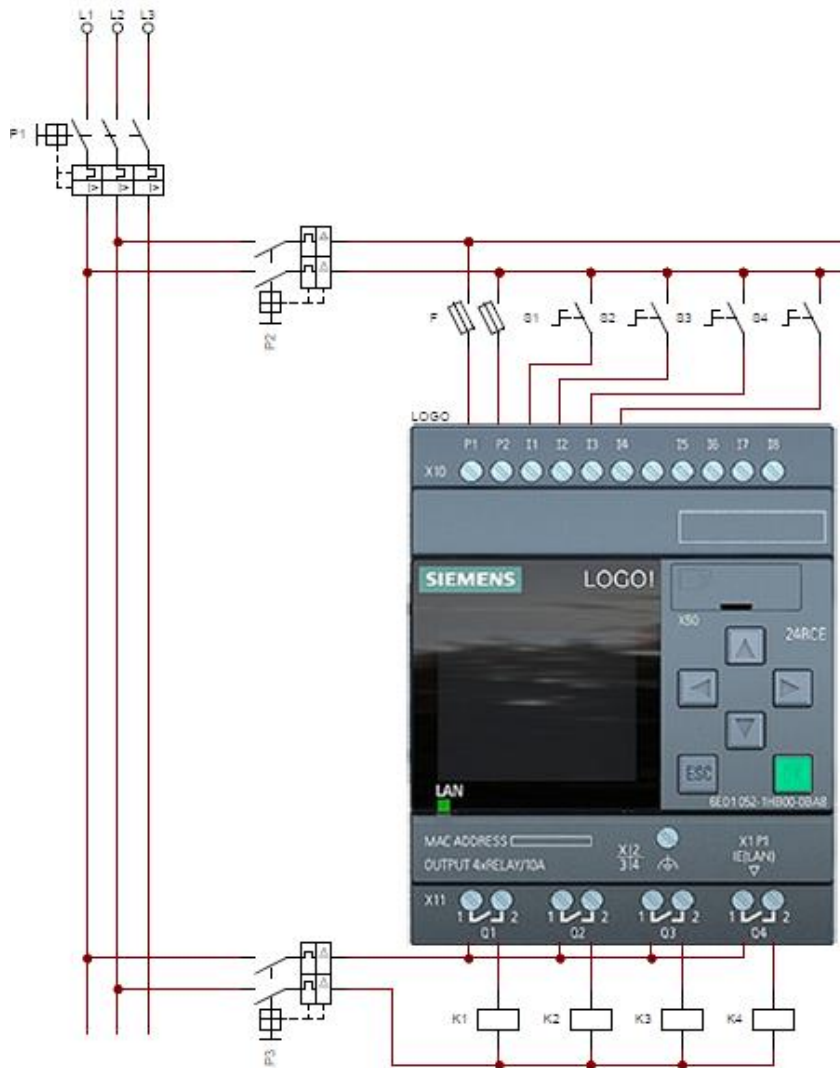


Figura 2.5 Diagrama de conexión de control en la máquina extrusora N. 1

Tabla 2.2 Descripción del diagrama de control

Designación	Descripción
P1	Protección principal
P2	Protección secundaria 1 de los selectores
P3	Potencia secundaria 2 para los relés
F	Fusible de protección del Logo 8

S1, S2, S3 y S4	Selectores On/Off de las zonas de calefacción
K1, K2, K3 y K4	Contactores On/Off para las Resistencias eléctricas
LOGO	Controlador lógico programable Logo v8

El diagrama de conexión de la parte de potencia de las resistencias eléctricas calefactoras se presenta en la figura 2.6 dentro del cual se tienen los siguientes detalles: la protección eléctrica principal, protección eléctrica por zonas, contactos secundarios y luces indicadoras.

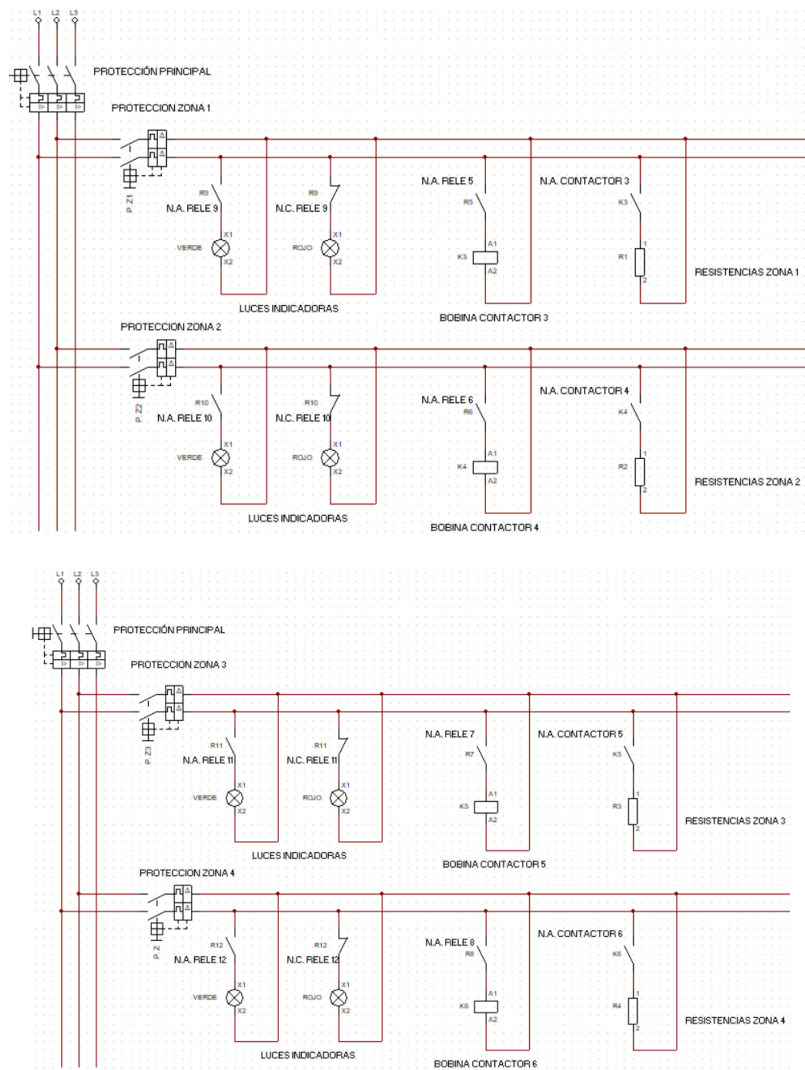


Figura 2.6 Diagrama de potencia del método de fundición N. 1

Tabla 2.3 Descripción del diagrama de control

Designación	Descripción
P1	Protección principal
PZ1, PZ2, PZ3, PZ4	Protección de cada zona
R1, R2, R3, R4	Resistencias calefactoras por zonas
Verde y Rojo	Luces indicadoras
RL1, RL2, RL3 y RL4	Relés de activación para las zonas de calefacción
K1, K2, K3 y K4	Contactores On/Off para las Resistencias eléctricas

El valor de la temperatura se considera en unidades de grados centígrados, estos valores pueden ser visualizados en una computadora por medio de una conexión ethernet utilizando un cable de red UTP Cat. 6 con conectores RJ45 entre el LOGO 8 y el ordenador, este tipo de conexión es denominado Logo Web Server y se indica en la figura 2.7.



Figura 2.7 Valores de temperatura en la máquina extrusora N. 1

2.2.2 Zona de calefacción empleando GLP

El segundo método de fundición del plástico en máquinas extrusoras es por medio del uso del gas licuado de petróleo, este método es muy poco común en este tipo de maquinarias, el proceso se cumple con la generación de combustión a través del aire y el gas licuado de petróleo para generar energía en forma de calor.

En la figura 2.8 se observa la máquina extrusora N. 2 que utiliza un sistema de control y una fuente de energía calorífica diferente para la fundición del plástico, en la zona de calefacción se utiliza ladrillo rojo como material refractario por todo el cilindro extrusor para guardar el calor generado por el gas licuado de petróleo.



Figura 2.8 Máquina extrusora N. 2

2.2.2.1 Conexión general del sistema de fundición

El flujo de gas licuado de petróleo es transportado por medio de una tubería de cobre de 1/2 pulgada y controlado de manera automática mediante electroválvulas que elevan o disminuyen la temperatura dependiendo del tipo de plástico a fundir, generalmente en un rango de 190 – 210 °C. El proceso de fundición de la máquina extrusora N. 2 presenta 4 zonas de calefacción distribuidas de la siguiente manera:

- 3 zonas perteneciente al barril extrusor, como indica la figura 2.8.
- 1 zona en el cabezal de la extrusora



Figura 2.9 Zonas de temperatura de la máquina extrusora N. 2

El instrumento para realizar la medición de temperatura es el termopar tipo J que alcanza temperaturas aproximadas de $600\text{ }^{\circ}\text{C}$, este instrumento está conectado con un módulo de entradas analógicas compatibles con el LOGO 8 denominado AM2, adicional el instrumento tiene a su salida variaciones de tensión en mili – voltios en función del cambio de temperatura, por lo tanto, es necesario realizar un acondicionamiento de señal (amplificador) para normalizar la tensión en un rango de $0 - 10\text{ V}$.



Figura 2.10 Termopar tipo J

En la figura 2.10 se puede observar la conexión del termopar tipo “J” conjuntamente con el circuito acondicionador de señal obteniendo valores normalizados de $0 - 10\text{ V}$ para finalmente, conectarlo al módulo de expansión de entradas analógicas AM2.

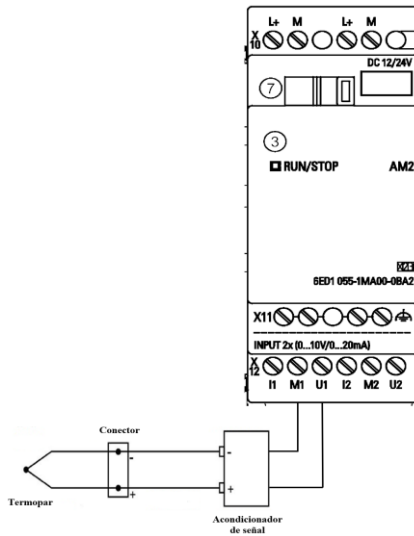


Figura 2.11 Conexión del termopar tipo J al módulo AM2

La termocupla tipo J tiene en su salida una señal de tensión en mV, por lo tanto, es necesario realizar una amplificación a valores normalizados de 0 – 10 V, para ello se implementó un circuito electrónico denominado amplificadores de señal, el cual consta de elementos como: amplificador LM741, resistencia 1, resistencia 2, Tensión de entrada y salida, representados en la siguiente tabla.

Tabla 2.4 Valores del circuito de amplificación

Resistencia 1	100 k Ω
Resistencia 2	324,88 Ω
Tensión de entrada a 200 °C	11,334 mV
Tensión de salida a 200 °C	3,5 V

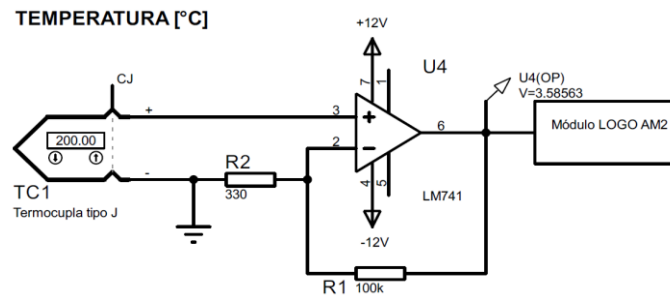


Figura 2.12 Circuito amplificador de señal

En la tabla 2.5 se determinan las características técnicas de la zona de calefacción como son: el tipo de combustible, tipo de tubería, cantidad de suministro de gas, cantidad de zonas, actuador, potencia, tipo de material a fundir, diámetro y longitud del barril extrusor.

Tabla 2.5 Características de la zona de calefacción en la máquina extrusora N. 2

Características de la zona de calefacción empleando GLP	
Tipo de combustible	Gas licuado de petróleo
Número de zonas de calefacción	4
Dispositivo actuador	Electroválvula
Potencia suministrada	2000 W
Tipo de tubería	Cobre 1/2 pulgada
Capacidad de la centralina	3 tanques (15 kg c/u)
Longitud del barril extrusor	100 cm
Diámetro del barril	100 mm
Tipo de material a fundir	Polietileno de alta y baja densidad

2.3 Metodología de cálculo

En este apartado se calcularán las expresiones matemáticas describiendo la metodología aplicada a la selección del proceso óptimo de fundición del plástico en máquinas extrusoras.

2.3.1 Calor necesario para la fundición del plástico

En la zona de fundición del plástico de la máquina extrusora se tiene que considerar una cantidad de calor mínima para cumplir con el proceso de extrusión, para lo cual se emplea la ecuación 1.8, tomando en cuenta que el barril de extrusión tiene una

capacidad de 50 kg y el calor específico del polietileno es de 1,9 kJ/kg.K a un tiempo de 8 horas laborables.

Por medio de las pérdidas provocadas en el sistema por diferentes factores ambientales es necesario considerar un factor de servicio de 1,15.

Tabla 2.6 Cálculo de la cantidad de calor requerida

Parámetro	Valor
Masa	50 kg
Calor específico del polietileno	1,90 kJ/kg.K
Temperatura inicial	20 °C
Temperatura final	200 °C
Tiempo	8 horas
Factor de servicio	1,15
Cantidad de calor mínimo necesario	
$Q_{\text{mínimo}} = \frac{50 \text{ kg} \cdot 1,9 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{°K}} \cdot (473 \text{ °K} - 293 \text{ °K})}{3600 \text{ s}} \cdot 1,15$	
$Q_{\text{mínimo}} = 5,46 \text{ kW}$	

2.3.2 Energía eléctrica en máquinas extrusoras

Determinando que la temperatura para la fundición del polietileno es de 200 °C, por lo tanto, se consideran los siguientes cálculos:

2.3.2.1 Cálculo del consumo de energía eléctrica en resistencias

Para obtener el valor del consumo de la energía eléctrica en la zona de calefacción para la fundición del polietileno, se utiliza la ecuación 1.1 que tiene los siguientes parámetros; intensidad de corriente, voltaje y tiempo de funcionamiento.



Figura 2.13 Instrumentos de medición: voltímetro, amperímetro y cronómetro

En la tabla 2.7 se tienen los parámetros para el desarrollo de la expresión matemática, tomando en consideración que cada resistencia eléctrica tiene un consumo de 2,27 A, para lo cual se utiliza los diferentes instrumentos de medición visualizados en la figura 2.13 como son: amperímetro, voltímetro y cronómetro.

Tabla 2.7 Procedimiento para el cálculo del consumo de electricidad

Parámetro	Instrumento	Valor
Intensidad de corriente	Amperímetro	27,27 A
Voltaje	Voltímetro	220 Vac
Tiempo	Cronómetro	8 h
Consumo de energía eléctrica en resistencias $P_R = (220 \text{ Vac} \cdot 27,27 \text{ A}) \cdot 8 \text{ h}$ $P_R = 6 \text{ kW} \cdot 8 \text{ h}$ $P_R = 48 \text{ kWh}$		

2.3.2.2 Cálculo de la transferencia de calor en resistencias

Para desarrollar el cálculo de la transferencia de calor en las resistencias eléctricas se debe conocer que se lo realiza por medio de la conducción, por lo tanto, se utiliza la ecuación 1.4, con los siguientes parámetros; temperatura máxima, temperatura mínima, espesor de la pared, conductividad térmica y radio, detallados en la tabla 2.8.

Tabla 2.8 Parámetros para el cálculo de la transferencia de calor en las resistencias

Parámetro	Valor
Temperatura máxima	200 °C
Temperatura mínima	20 °C
Espesor de la pared	0,01 m
Conductividad térmica	51,20 W/m.K
Radio	0,05 m

El valor máximo de temperatura corresponde a la temperatura de fusión del plástico considerado a 200 °C, la temperatura mínima es considerada la temperatura ambiente, el espesor y el área son datos medidos del barril extrusor y la conductividad térmica se selecciona la del polietileno.

En la tabla 2.9 se tiene el cálculo de la transferencia de calor en la zona de calefacción de la máquina extrusora N. 1 por medio de resistencias eléctricas.

Tabla 2.9 Cálculo de la transferencia de calor en resistencias eléctricas

Procedimiento
$Q_{cond} = 2\pi \cdot 0,01 \text{ m} \cdot 51,20 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \cdot \frac{(473 \text{ K} - 293 \text{ K})}{\ln\left(\frac{0,05}{0,045}\right)}$
$Q_{cond} = 5495,97 \text{ W}$

2.3.2.3 Cálculo del rendimiento de las resistencias eléctricas

Para realizar el cálculo del rendimiento de las resistencias eléctricas, se utiliza la ecuación 1.2, con los siguiente parámetros; potencia absorbida y potencia suministrada, la resolución de esta expresión se detalla en la tabla 2.10. El valor de la potencia absorbida se considera el valor obtenido del cálculo de la transferencia de calor por

resistencias, mientras que la potencia suministrada es la sumatoria de la potencia de todas las resistencias.

Tabla 2.10 Cálculo del rendimiento de las resistencias eléctricas

Parámetro	Valor
Potencia absorbida	5495,97 W
Potencia suministrada	6000 W
Rendimiento de las resistencias eléctricas	
$\eta_R = \frac{5495,97 W}{6000 W} \cdot 100\%$	
$\eta_R = 91,60 \%$	

2.3.2.4 Tiempos de calentamiento en la zona de fundición

Para determinar el tiempo que se demora la zona de calefacción en mantener la temperatura de 200 °C con las resistencias eléctricas calefactoras se utiliza un cronómetro como instrumento de medición del tiempo; se toma una muestra de mediciones que se realizaron durante el mes de noviembre 2020, los datos son tabulados en la tabla 2.11.

Tabla 2.11 Mediciones de tiempo durante el mes de noviembre 2020

	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
Día	02	03	04	05	06
[min]	31'52"	31'24"	30'21"	30'52"	29'57"
Día	09	10	11	12	13
[min]	32'06"	29'29"	30'05"	30'23"	29'31"
Día	16	17	18	19	20
[min]	30'12"	31'02"	30'45"	31'01"	31'23"

Día	23	24	25	26	27
[min]	29'56"	30'25"	30'14"	31'11"	29'33"
Día	30				
[min]	30'09"				



Figura 2.14 Instrumentos de medición: cronómetro

Para determinar el tiempo general que necesitan las resistencias eléctricas calefactoras en establecer la temperatura óptima para empezar con el proceso de la extrusión se realiza el promedio de los datos adquiridos, el cual se puede determinar con la ecuación 1.6.

Tabla 2.12 Cálculo del tiempo de calentamiento en la zona de fundición

Procedimiento
$P_{tiempo} = \frac{\sum_{i=1}^{21} Tiempo_i}{21}$
$P_{tiempo} = 30'34"$

2.3.2.5 Cálculo de los costos de energía eléctrica

Para determinar el valor económico de la energía eléctrica se utiliza la ecuación 1.7 conociendo que el costo por kWh en Ecuador según el ARCONEL para Cotopaxi es de \$ 0,065, en la tabla 2.13 se determina el cálculo.

Tabla 2.13 Cálculo económico del consumo la energía eléctrica

Procedimiento
$C_{Electricidad} = 48 kWh \cdot \$0,065 \cdot 22 \text{ días}$
$C_{Electricidad} = \$ 68,64 \text{ mensuales}$

2.3.2.6 Cantidad de producción de la máquina extrusora N. 1

Conociendo que la máquina extrusora tiene una capacidad de 50 kg/h y el rollo de manguera de polietileno para construcción de 1 pulgada tiene 20 kg, se puede detallar los siguientes datos en la tabla 2.14.

Tabla 2.14 Producción mensual de manguera en la máquina extrusora N. 1

Capacidad de la máquina	50 kg/h
Tiempo de calentamiento	0,50 horas = 30 min
Tiempo de trabajo	7,50 horas
Desperdicio de material	10 kg/día
$Pro_{mensual} = \frac{\left(50 \frac{kg}{h} \cdot 7,50 h \cdot 22 \text{ días}\right) - (10 kg \cdot 22 \text{ días})}{20 kg}$ $Pro_{mensual} = \frac{8030 kg \text{ mensual}}{20 kg}$ $Pro_{mensual} = 401 \text{ rollos de manguera 1 pulgada}$	

Según la tabla 2.14 se conoce la máquina extrusora utilizando resistencias eléctricas en la zona de fundición del plástico puede producir de manera mensual 401 rollos de manguera de 1 pulgada.

2.3.3 Gas licado de petróleo en máquinas extrusoras

Se presenta a continuación el método N. 2 que corresponde al uso del GLP como fuente generadora de energía calorífica, para lo cual se detallan los cálculos respectivos.

2.3.3.1 Cálculo de la pérdida de calor por convección

Para determinar la cantidad de calor que se pierde al momento de utilizar el GLP a través de la convección, se debe primero calcular el número de Reynolds, el número de Nusselt, el coeficiente de transferencia de calor por convección y finalmente las pérdidas de calor. En la tabla 2.15 se tienen las propiedades del gas licuado de petróleo a temperatura ambiente.

Tabla 2.15 Propiedades del GLP a temperatura ambiente

Parámetro	Valor
Densidad	0,657 kg/m ³
Conductividad térmica	0,034 W/m.°K
Número de prandtl	0,7428
Calor específico	2,285 kJ/kg.°K
Viscosidad dinámica	1,101 x 10 ⁻⁵ kg/m.s

- **Número de Reynolds**

El número de Reynolds se determina por medio de la ecuación 1.12

Tabla 2.16 Cálculo del número de Reynolds

Procedimiento
$Re = \frac{0,657 \frac{kg}{m^3} \cdot 15 \frac{m}{s} \cdot 0,0127 m}{1,101 \times 10^{-5} \frac{kg}{m.s}}$
$Re = 11367,71$

- **Número de Nusselt**

El número de Nusselt se determina por medio de la ecuación 1.13

Tabla 2.17 Cálculo del número de Nusselt

Procedimiento
$Nu = 0,023 \cdot (11367,71)^{0,8} \cdot (0,7428)^{0,4}$ $Nu = 35,86$

- **Coefficiente de transferencia de calor por convección**

El coeficiente de transferencia de calor se determina por medio de la ecuación 1.11

Tabla 2.18 Cálculo del coeficiente de transferencia de calor por convección

Procedimiento
$h_{conv} = \frac{35,86 \cdot 0,034 \frac{W}{m \cdot K}}{0,1 m}$ $h_{conv} = 12,19 \frac{W}{m^2 \cdot K}$

- **Pérdida de calor**

La cantidad de pérdida de calor se determina por medio de la ecuación 1.10

Tabla 2.19 Cálculo de la transferencia de calor utilizando gas natural

Procedimiento
$Q_{xconv} = \frac{473 K - 293 K}{1 / \left(12,19 \frac{W}{m^2 \cdot K} \cdot 0,314 m^2 \right)}$ $Q_{xconv} = 688,97 W$

Las cantidad de pérdidas de calor es de 688,97 W, es decir que de los 8000 W que genera el método de fundición N. 2 solamente transfiere 7311,02 W.

2.3.3.2 Cálculo del rendimiento de los quemadores

Para realizar el cálculo del rendimiento de los quemadores, se utiliza la ecuación 1.8, con los siguiente parámetros; potencia absorbida del gas licuado de petróleo y potencia suministrada por el gas natural, la resolución de esta expresión se detalla en la tabla 2.20.

Tabla 2.20 Cálculo del rendimiento de los quemadores a GLP

Parámetro	Valor
Potencia absorbida por GLP	7311,02 W
Potencia suministrada del GLP	8000 W
Rendimiento de los quemadores	
$\eta_{GN} = \frac{7311,02 \text{ W}}{8000 \text{ W}} \cdot 100\%$ $\eta_R = 91,38 \%$	

2.3.3.5 Tiempos de calentamiento con quemadores a GLP

Para determinar el tiempo que se demora la zona de calefacción de la máquina extrusora en establecer y mantener la temperatura de 200 °C utilizando los quemadores a gas licuado de petróleo se utiliza un cronómetro como instrumento de medición del tiempo; se toma una muestra de mediciones que se realizaron durante el mes de mayo 2021, los datos son tabulados en la tabla 2.21.

Tabla 2.21 Mediciones de tiempo durante el mes de mayo 2021

	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
Día	03	04	05	06	07
[min]	20'42"	21'24"	21'31"	20'02"	20'57"

Día [min]	10 20'06"	11 19'29"	12 21'02"	13 20'23"	14 19'31"
Día [min]	17 21'12"	18 20'25"	19 20'45"	20 21'01"	21 20'29"
Día [min]	24 20'46"	25 19'58"	26 20'05"	27 21'19"	28 20'43"
Día [min]	31 20'29"				

Para determinar un tiempo general que necesitan los quemadores a gas natural en establecer la temperatura óptima para empezar con el proceso de la extrusión se realiza el promedio de los dato adquiridos., el cual se puede determinar con la ecuación 1.6.

Tabla 2.22 Cálculo del tiempo de calentamiento en la zona de fundición

Procedimiento
$P_{tiempo} = \frac{\sum_{i=1}^{21} Tiempo_i}{21}$ $P_{tiempo} = 20'35"$

2.3.3.6 Costos del consumo de gas natural

En la tabla 2.23 se describe el costo del consumo de gas GLP que se utiliza para el sistema de fundición del plástico, considerando que cada quemador industrial tiene un consumo de 0,35 kg/h y el tanque de gas licuado de petróleo es de 15 kg, para lo cual se aplica la ecuación 1.15.

Tabla 2.23 Cálculo del tiempo de calentamiento en la zona de fundición

Parámetro	Valor
Consumo de los quemadores	1,40 kg/h
Tiempo	8 horas
Tanque de gas industrial	\$ 12,25
<p>Consumo de (kg) del gas GLP</p> $C_{GAS} = \frac{1,40 \frac{kg}{h} \cdot 8 h \cdot 22 \text{ días} \cdot \$12,25}{15 kg}$ $C_{GAS} = \$ 201,22 \text{ mensuales}$	

2.4 Tiempos y cantidad de producción de la máquina extrusora N. 2

Conociendo que la máquina extrusora tiene una capacidad de 50 kg/h y el rollo de manguera de polietileno para construcción de 1 pulgada tiene 20 kg, se puede detallar los siguientes datos en la tabla 2.24.

Tabla 2.24 Producción mensual de manguera en la máquina extrusora N. 2

Capacidad de la máquina	50 kg/h
Tiempo de calentamiento	0,33 horas = 20 min
Tiempo de trabajo	7,67 horas
Desperdicio de material	5 kg/día
$Pro_{mensual} = \frac{\left(50 \frac{kg}{h} \cdot 7,67 h \cdot 22 \text{ días}\right) - (5 kg \cdot 22 \text{ días})}{20 kg}$ $Pro_{mensual} = \frac{8327 kg \text{ mensual}}{20 kg}$ $Pro_{mensual} = 416 \text{ rollos de manguera 1 pulgada}$	

Según la tabla 2.24 se conoce la máquina extrusora utilizando quemadores industriales a gas licuado de petróleo en la zona de fundición del plástico puede producir de manera mensual 416 rollos de manguera de 1 pulgada.

2.5 Conclusiones

- Se desarrollaron las expresiones matemáticas de los dos métodos, utilizando la energía eléctrica y el gas natural, para la fundición del plástico en máquinas extrusoras.
- Se utilizó instrumentos calibrados para la toma de valores de los diferentes parámetros establecidos por las expresiones matemáticas, brindando soluciones para comparar las metodologías mencionadas en las máquinas extrusoras.
- El aporte científico – técnico emplea la generación de una metodología para la selección de uno de los procesos para la fundición del plástico aplicando leyes fundamentales de la energía eléctrica y el gas natural.

CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1 Introducción y objetivo del capítulo

Es necesario establecer los diferentes criterios, valoraciones y resultados a partir de la resolución de expresiones matemáticas y el desarrollo de simulaciones por software que justifiquen el proceso óptimo para la fundición del plástico en máquinas extrusoras de tal manera que tenga validación la hipótesis científica planteada para contribuir con el desarrollo actual del sector industrial.

El presente capítulo plantea valorar los resultados obtenidos detallando los fundamentos científicos e interpretar la selección de uno de los procesos de fundición del plástico dando solución al problema planteado en el proyecto de investigación.

3.2 Análisis de los resultados

Una vez expuestos los resultados obtenidos en el capítulo anterior, se presenta a continuación el análisis de resultados en forma comparativa entre los dos tipos de métodos (el gas licuado de petróleo y las resistencias eléctricas calefactoras), que son aplicados para la fundición del plástico en el proceso de extrusión, este análisis permite determinar diferencias, ventajas, desventajas, con los datos más relevantes que conduzcan a conclusiones objetivas.

En la tabla 3.1 se presentan los indicadores de la máquina extrusora N. 1 y la máquina extrusora N. 2, que son datos obtenidos para realizar la comparación entre el uso de las resistencias eléctricas calefactoras y el uso del gas licuado de petróleo, de los cuales son: consumo energético, rendimiento, transferencia de calor, tiempos de calentamiento, calidad del producto final, tiempos de producción, cantidad de producción, cantidad de residuos plásticos, costos de implementación y costos de consumo energético.

Tabla 3.1 Parámetros de comparación de las máquinas extrusoras

<p>Máquina extrusora N. 1</p> 	<p>Máquina extrusora N. 2</p> 
<p>Fuente de calor: Resistencias eléctricas</p>	<p>Fuente de calor: Gas licuado de petróleo</p>
<p>Cantidad de calor generada</p>	<p>Cantidad de calor generada</p>
<p>Consumo de energía eléctrica</p>	<p>Consumo de calor por gas licuado de petróleo</p>
<p>Transferencia de calor por conducción</p>	<p>Transferencia de calor por convección</p>
<p>Pérdidas de calor</p>	<p>Pérdidas de calor</p>
<p>Rendimiento de las resistencias eléctricas</p>	<p>Rendimiento del gas licuado de petróleo</p>
<p>Tiempos de calentamiento en la zona de calefacción</p>	<p>Tiempos de calentamiento en la zona de calefacción</p>
<p>Costos en planilla eléctrica</p>	<p>Costos de gas licuado de petróleo</p>
<p>Cantidad de producción</p>	<p>Cantidad de producción</p>
<p>Cantidad de residuos plásticos</p>	<p>Cantidad de residuos plásticos</p>

3.2.1 Cantidad de calor generada

3.2.1.1 Calor generado utilizando el método de fundición N. 1

Para realizar el análisis del consumo de la electricidad en método de fundición N. 1 se toma en cuenta que al utilizar 10 resistencias eléctricas calefactoras de 600 W cada una a un nivel de tensión de 220 Vac, se puede determinar una cantidad de calor de 6000W, como se detalla en la tabla 3.2.

Tabla 3.2 Calor generado utilizando el método de fundición N. 1

Consumo de energía eléctrica en 8 horas laborables	48 kWh
Cantidad de calor generada por 10 resistencias eléctricas	6 kW

3.2.1.2 Calor generado utilizando el método de fundición N. 2

Utilizando 4 quemadores de gas licuado de petróleo de 2000 W cada uno colocados a una distancia de 12 cm por cada quemador se determina que la cantidad de calor que genera es de 8000 W, como se detalla en la tabla 3.3.

Tabla 3.3 Calor generado utilizando el método de fundición N. 2

Cantidad de calor necesario para fundir el plástico	5,50 kW
Cantidad de calor generada por 4 quemadores a GLP	8 kW
Consumo de calor en 8 horas laborables	64 kWh

3.2.1.3 Análisis del calor generado

Utilizando el método de fundición N. 1 se determina que las resistencias eléctricas calefactoras generan una cantidad de calor de 6 kW que es inferior a la cantidad de calor de 8 kW que genera el método de fundición N. 2, los datos analizados se pueden determinar en la figura 3.1. Utilizando cualquiera de los dos métodos es posible realizar el proceso de fundición del plástico ya que solamente se necesita 5,5 kW.

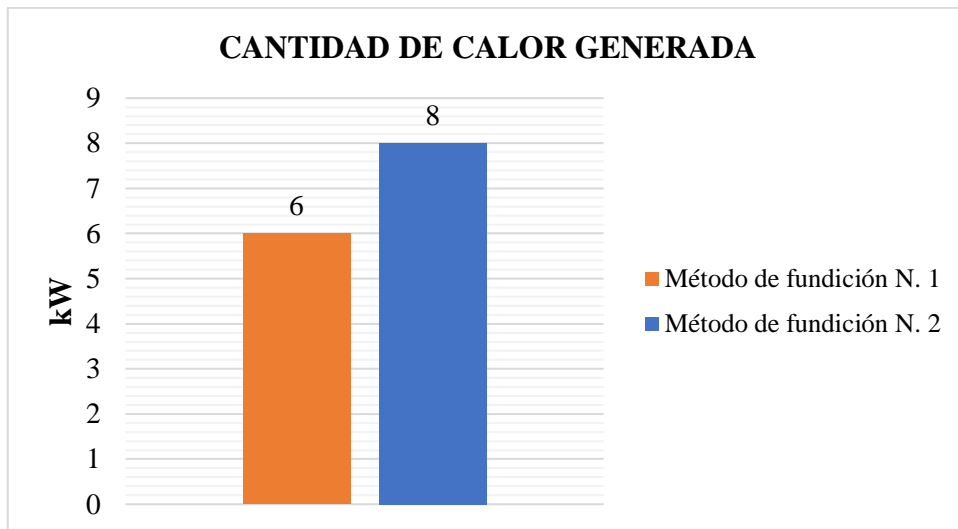


Figura 3.1 Análisis de la cantidad de calor generada

Para establecer el consumo de calor se consideran las 8 horas de trabajo de la máquina extrusora, por lo tanto, en el método de fundición N. 1 se determina que tiene un consumo de energía eléctrica de 48 kWh provocada por las resistencias eléctricas calefactoras y el método de fundición N. 2 tiene un consumo de calor de 64 kWh de los 4 quemadores que utilizan el gas licuado de petróleo siendo este valor superior, los datos analizados se expresan en la figura 3.2.

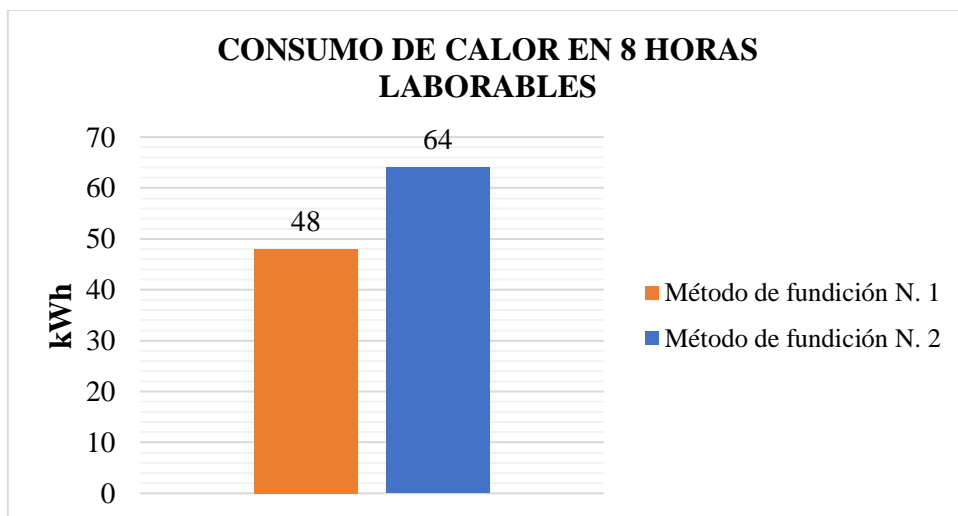


Figura 3.2 Análisis del consumo de calor

3.2.2 Transferencia de calor

A continuación, se presentan los datos obtenidos de la transferencia de calor provocada por las resistencias eléctricas calefactoras y los quemadores a gas licuado de petróleo para su posterior análisis.

3.2.2.1 Transferencia de calor utilizando resistencias eléctricas calefactoras

El método de fundición N. 1 utiliza la transferencia de calor por conducción, en donde se presentan parámetros como la variación de temperatura, conductividad térmica, espesor y el área del cilindro extrusor, este cálculo se realizó en la tabla 2.6.

3.2.2.2 Transferencia de calor utilizando quemadores a GLP

Los quemadores a gas licuado de petróleo realizan el proceso de transferencia de calor por medio de la convección tomando en cuenta parámetros como la variación de la temperatura, coeficiente de calor por convección y el área del cilindro extrusor, este cálculo de realizó en la tabla 2.16.

Tabla 3.4 Datos obtenidos de la transferencia de calor

	Método de fundición N. 1	Método de fundición N. 2
Calor generado	6000 W	8000 W
Transferencia de calor	5495,97 W	7311,03 W
Pérdidas	504,03 W	688,97 W

3.2.2.3 Análisis de la transferencia de calor

El método de fundición N. 1 que utiliza resistencias eléctricas calefactoras genera 6000 W de calor y realiza una transferencia de 5495,97 W al cilindro extrusor, mientras que el método de fundición N. 2 que utiliza quemadores a gas licuado de petróleo genera 8000 W y transfiere 7146,71 W en forma de calor, estos datos se pueden visualizar en la siguiente figura 3.3

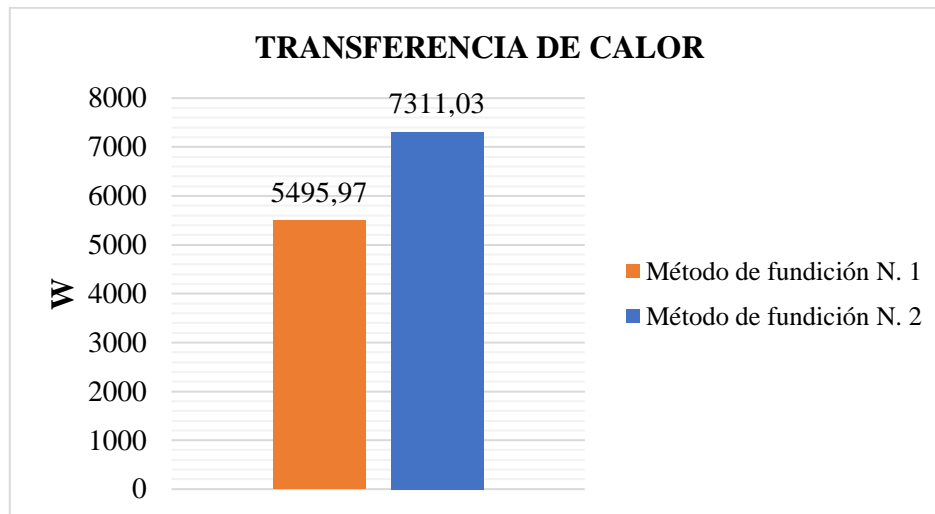


Figura 3.3 Análisis de la transferencia de calor

En la transferencia de calor existen pérdidas que son provocadas por agentes externos como: situación de la maquinaria, cambios climáticos, entre otros, por lo que el método de fundición N. 1 provoca pérdidas de aproximadamente 504,03 W, mientras que el método de fundición N. 2 mantiene pérdidas de calor de 688,97 W, por lo tanto, se considera que el método de fundición N. 1 presenta una menor cantidad de pérdidas, los datos analizados se pueden visualizar en la figura 3.4.

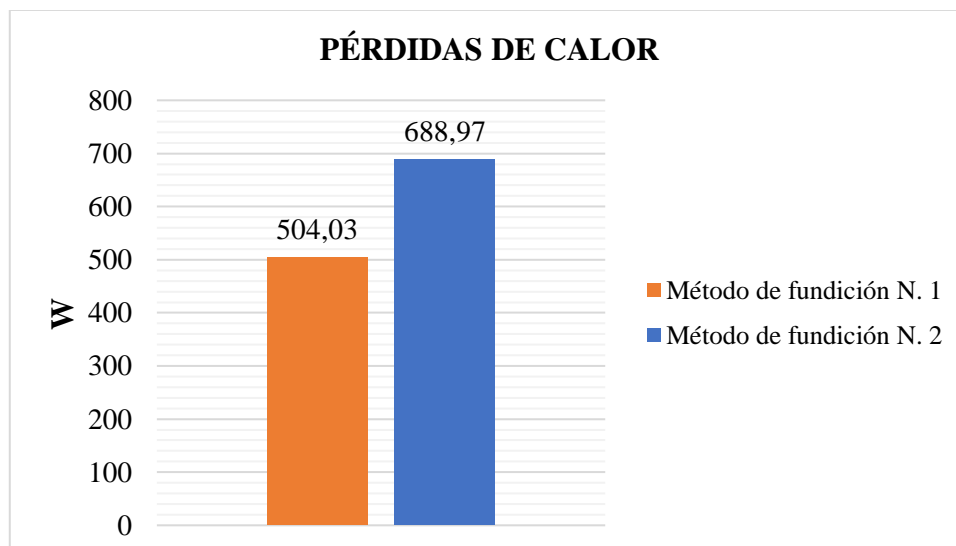


Figura 3.4 Análisis de las pérdidas de calor

3.2.3 Rendimiento de la fuente calorífica

A continuación, se presentan los datos obtenidos del rendimiento de las resistencias eléctricas calefactoras y el rendimiento de los quemadores a gas para su posterior análisis.

3.2.3.1 Rendimiento de las resistencias eléctricas calefactoras

Una vez determinado el análisis de los valores de la cantidad de calor generada y el consumo de energía eléctrica mediante las resistencias calefactoras se procede al análisis del rendimiento del método de fundición N. 1, estos datos fueron calculados por medio de la tabla 2.7 y expresados en la tabla 3.4.

3.2.3.2 Rendimiento de los quemadores a gas

En la tabla 2.17 se tiene el proceso para el cálculo del rendimiento de los 4 quemadores que utilizan el gas licuado de petróleo para la fundición del plástico, este resultado es expresado en tabla 3.5

Tabla 3.5 Datos obtenidos del rendimiento de los métodos 1 y 2

Rendimiento de los métodos de fundición	
Método de fundición N. 1	91,59 %
Método de fundición N 2	91,38 %

3.2.3.3 Análisis del rendimiento

El rendimiento de las resistencias eléctricas calefactoras que corresponden al método de fundición N. 1 es del 91,59 %, mientras que el rendimiento de los quemadores que utilizan el gas licuado de petróleo del método de fundición N. 2 es del 91,38 %, esto menciona que utilizando cualquiera de los dos métodos para la fundición del plástico, van a tener un rendimiento similar, el 0,20% de diferencia no es considerable, los datos analizados se pueden visualizar en la figura 3.5.

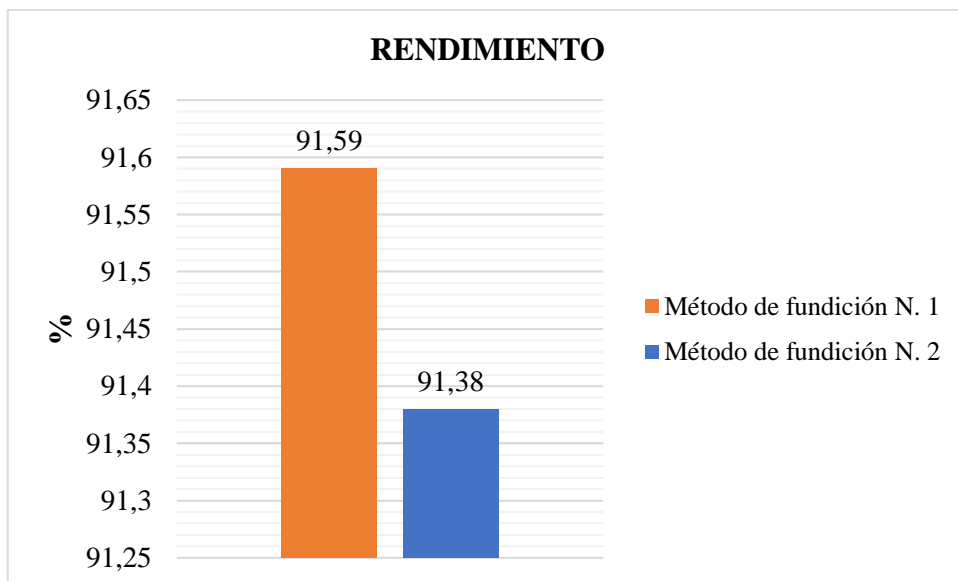


Figura 3.5 Análisis del rendimiento

3.2.4 Tiempos de calentamiento

A continuación, se presentan los datos obtenidos de los tiempos de calentamiento del cilindro extrusor al utilizar las resistencias eléctricas calefactoras y al utilizar los quemadores a gas licuado de petróleo.

3.2.4.1 Tiempos de calentamiento utilizando el método de fundición N. 1

En la tabla 2.8 se detallan los tiempos de calentamiento utilizando las resistencias eléctricas calefactoras por cada día laboral (21 días) que fueron tomados a lo largo del mes de noviembre del 2020 utilizando un cronómetro como instrumento de medición, el valor que se analiza es el promedio de todos los valores.

3.2.4.2 Tiempos de calentamiento utilizando el método de fundición N. 2

En la tabla 2.18 se detallan los tiempos de calentamiento utilizando los quemadores a gas licuado de petróleo por cada día laboral (21 días) que fueron tomados a lo largo del mes de mayo del 2021 utilizando un cronómetro como instrumento de medición, el valor que se analiza es el promedio de todos los valores.

Tabla 3.6 Datos obtenidos de los tiempos de calentamiento de los métodos 1 y 2

Tiempo de calentamiento de la zona de fundición del plástico	
Método de fundición N. 1	30'34"
Método de fundición N 2	20'35"

3.2.4.3 Análisis de los tiempo de calentamiento

El tiempo que se demora en alcanzar y mantener una temperatura constante utilizando el método de fundición N. 1 es de 30 minutos con 34 segundos, mientras que utilizando el método de fundición N. 2 se demora un tiempo de 20 minutos y 35 segundos, lo que menciona que existe una diferencia de 10 minutos aproximadamente, lo cual puede ser considerado como una pérdida de producción, los datos analizados se pueden visualizar en la figura 3.6.

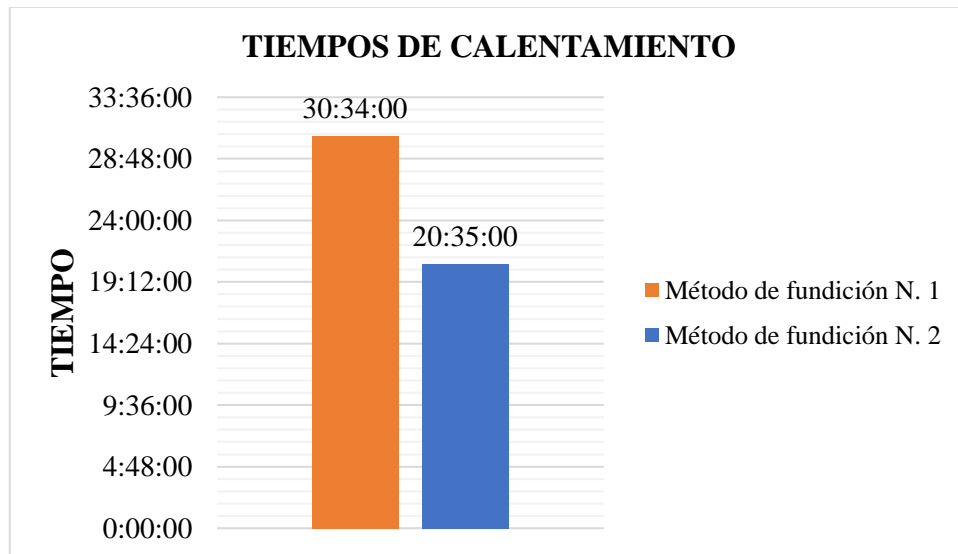


Figura 3.6 Análisis de los tiempos de calentamiento

3.2.5 Costos de consumo energético

A continuación, se presentan los costos por el consumo energético utilizando las resistencias eléctricas calefactoras y al utilizar los quemadores a GLP.

3.2.5.1 Costos de consumo energético utilizando el método de fundición N. 1

En la tabla 2.10 se detalla el valor económico mensual por la utilización de la energía eléctrica a través de las resistencias calefactoras, considerando que el consumo es de 48 kWh y según el pliego tarifario del ARCONEL el kWh tiene un valor de \$0,065.

3.2.5.2 Costos de consumo energético utilizando el método de fundición N. 2

En la tabla 2.20 se detalla el valor económico por la utilización del gas natural, en donde se conoce que un quemador consume 1,40 kg/h y el valor de un cilindro de gas industrial es de \$ 12,25.

Tabla 3.7 Valores económicos mensuales de los métodos de fundición 1 y 2

Valores económicos mensuales	
Método de fundición N. 1	\$ 68,64
Método de fundición N 2	\$ 201,22

3.2.5.3 Análisis de los costos por consumo energético

Utilizando el método de fundición N. 1 que corresponde a las resistencias eléctricas calefactoras el costo del consumo energético mensual es de \$ 68,64, considerando que la máquina extrusora trabaja de lunes a viernes las 8 horas laborables, mientras que utilizando el método de fundición N. 2 que corresponde al gas natural se tiene un valor mensual por consumo energético de \$ 201,22 de igual manera se considera que la máquina trabaja de lunes a viernes 8 horas diarias.

En la figura 3.7 se pueden visualizar los valores económicos de los dos métodos de fundición del plástico, existe una gran diferencia de aproximadamente \$ 132,58 mensuales, lo que menciona que el método de fundición N. 1 es favorable en cuestiones de costos energéticos.

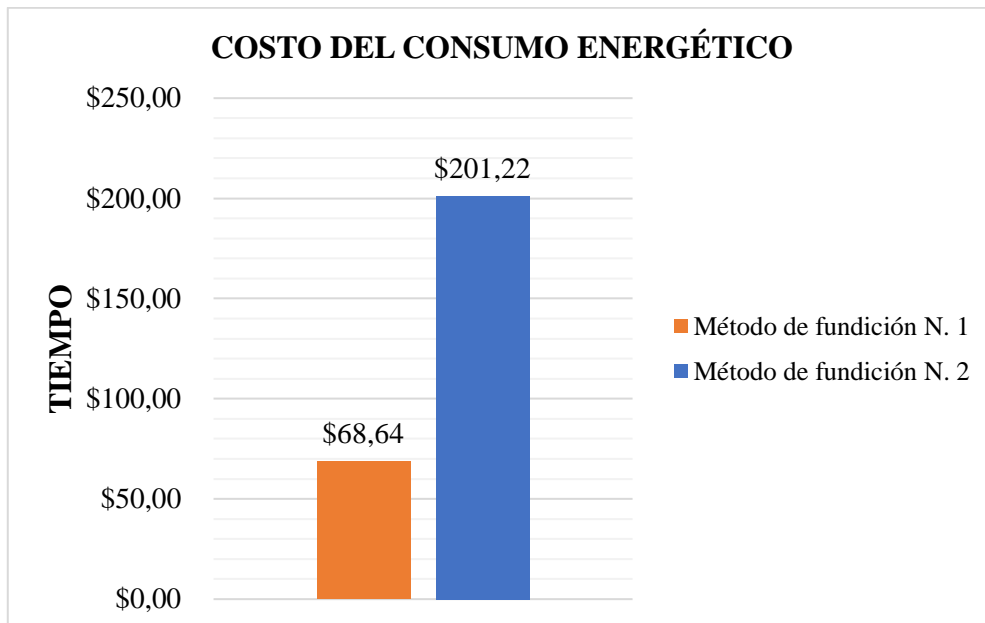


Figura 3.7 Análisis del costo del consumo energético

3.2.6 Cantidad de producción

A continuación, se presenta la cantidad de producción utilizando las resistencias eléctricas calefactoras y al utilizar los quemadores a gas licuado de petróleo.

3.2.6.1 Cantidad de producción utilizando el método de fundición N. 1

En la tabla 2.11 se detalla el procedimiento para determinar la cantidad de producción mensual al utilizar el método de fundición N. 1, se toma en cuenta el análisis de 20 kg que es el peso del rollo de 100 metros de manguera negra para luz de 1 pulgada considerando que la máquina extrusora presenta una capacidad de 50 kg/h.

3.2.6.2 Cantidad de producción utilizando el método de fundición N. 2

En la tabla 2.21 se detalla el procedimiento para determinar la cantidad de producción mensual al utilizar el método de fundición N. 2, de igual manera para considerar un análisis comparativo se utilizan los mismos 20 kg que es el peso del rollo de 100 metros de manguera negra para luz de 1 pulgada En la tabla 3.8 se presentan los valores por kg mensual, rollos de manguera y desperdicio del material.

Tabla 3.8 Cantidad de producción de manguera de 1 pulgada

Cantidad de producción de manguera de 1 pulgada	
Método de fundición N. 1	8030 kg mensual
	401 rollos de manguera mensual
	220 kg/mensual de desperdicio
Método de fundición N 2	8327 kg mensual
	416 rollos de manguera mensual
	110 kg/mensual de desperdicio

3.2.6.3 Análisis de la cantidad de producción

Utilizando el método de fundición N. 1 la máquina extrusora produce 8030 kg mensuales de material plástico terminado, mientras que el método que utilizando el método de fundición N. 2 la máquina produce 8327 kg mensuales de material terminado, obteniendo una diferencia de 297 kg mensuales.

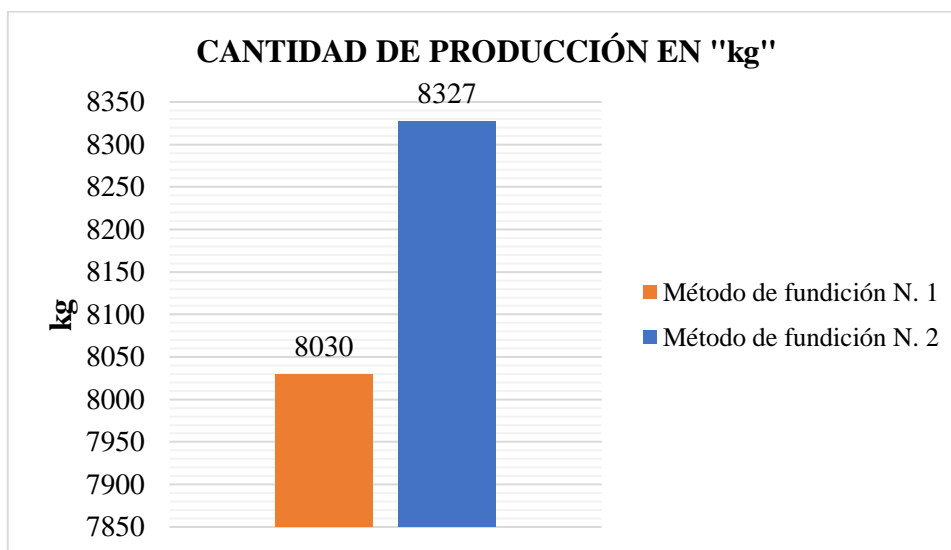


Figura 3.8 Análisis de la cantidad de producción en “kg”

El rollo de manguera de 1 pulgada tiene un peso de 20 kg, por lo tanto, la cantidad de rollos mensuales utilizando el método de fundición N. 1 es de 401 rollos, mientras que el método de fundición N. 2 produce 416 rollos de manguera, obteniendo una diferencia de 15 rollos mensuales.

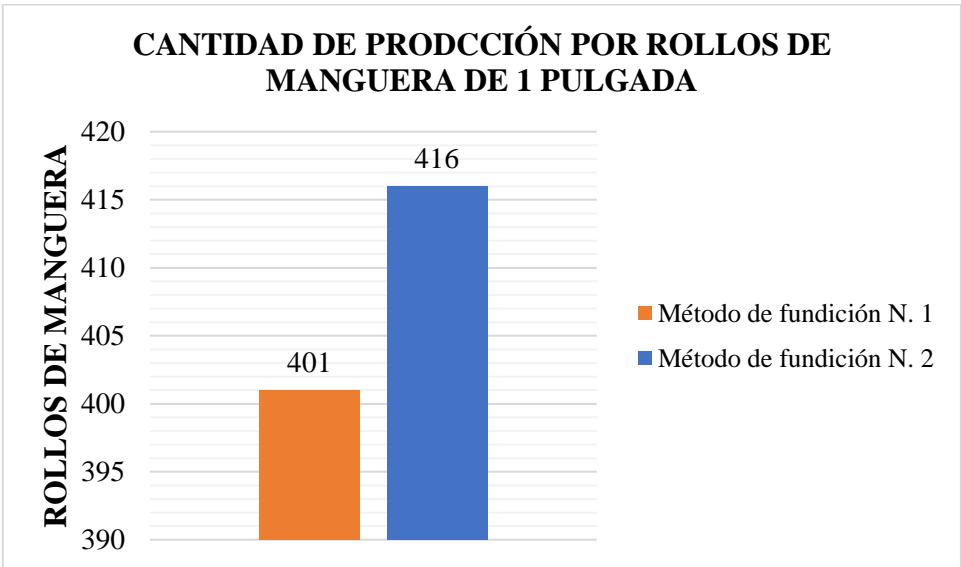


Figura 3.9 Análisis de la cantidad de producción por rollos

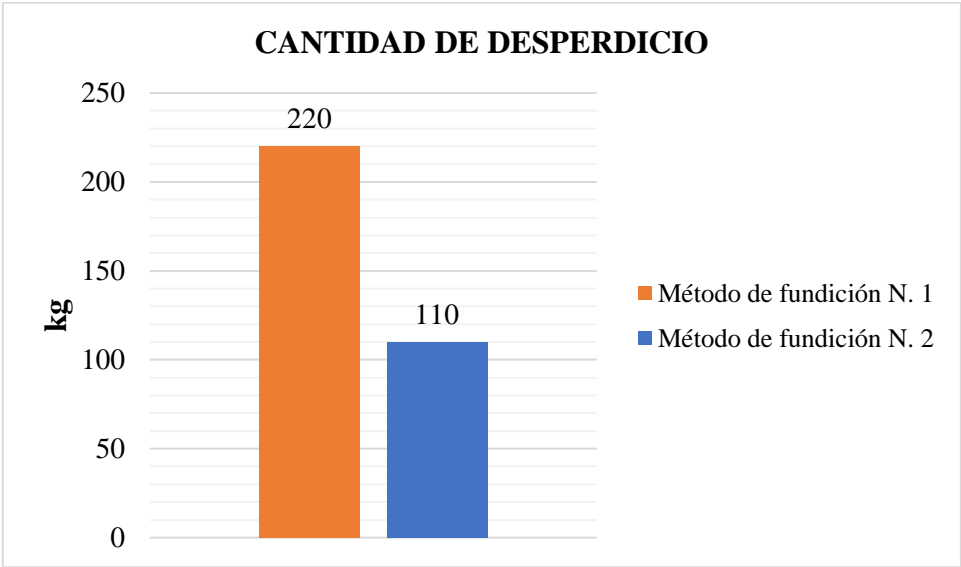


Figura 3.10 Análisis de la cantidad de desperdicio

En la figura 3.10 se puede observar que la cantidad de material que se desperdicia utilizando el método de fundición N. 1 es de 220 kg, mientras que el método de fundición N. 2 tiene una cantidad de desperdicio de 110 kg mensuales, obteniendo una doble diferencia entre los dos métodos.

3.3 Valoraciones de la investigación

A continuación, se presentan las valoraciones del proyecto de investigación en la que se menciona la valoración técnica, parte económica, impacto ambiental e impacto social.

3.3.1 Valoración técnica

El proceso de fundición del plástico es la parte de mayor importancia en las máquinas extrusoras, debido a que ésta debe alcanzar y mantener una temperatura en un rango aproximado de 180 a 220 °C dependiendo del tipo de plástico a extruir.

Existen varios tipos de fuentes caloríficas para realizar este proceso, las más utilizadas en la industria es utilizando resistencias eléctricas calefactoras que convierten la energía eléctrica en energía calorífica, otro método es utilizando quemadores industriales a gas licuado de petróleo.

El control de la variable principal que es la temperatura se puede dar por varios métodos utilizando diferentes equipos eléctricos y/o electrónicos, en la industrial se utiliza en mayor cantidad el control On/Off porque no se requiere tener gran estabilidad en la temperatura.

3.3.2 Valoración económica

La valoración económica radica en el costo de implementación de un sistema de fundición del plástico para una máquina extrusora utilizando resistencias eléctricas calefactoras y utilizando quemadores a gas licuado de petróleo.

3.3.2.1 Implementación de resistencias eléctricas calefactoras

En la tabla 3.9 se detallan los componentes necesarios para la implementación de un sistema de fundición utilizando resistencias eléctricas calefactoras, la parte electrónica para el control de temperatura se lo realiza a través de un control On/Off.

Tabla 3.9 Costos de implementación a resistencias eléctricas

Ítem	Descripción	Cant.	V. Unitario	V. Total
1	Resistencia eléctrica calefactora de tipo abrazadera con 600 W, 10 x 10 cm, tensión de alimentación 220 Vac	10	\$ 30,00	\$ 300,00
2	Conductor eléctrico para elevadas temperaturas (mínimo 250 °C) 12 AWG	¼ rollo	\$ 44,00	\$ 11,00
3	Sensor de temperatura tipo PT100 con 3 entradas	4	\$ 25,00	\$ 100,00
4	Controlador lógico programable (Logo v8) 110 – 220 Vac	1	\$ 150,00	\$ 150,00
5	Módulo AM2 RTD	2	\$ 130,00	\$ 260,00
6	Fuente de alimentación LOGO 24 Vdc	1	\$ 90,00	\$ 90,00
7	Conductor eléctrico flexible 12 AWG	½ rollo	\$ 40,00	\$ 20,00
8	Contactador de 20 A 1 N.O. + 1 N.C.	4	\$ 25,00	\$ 100,00
9	Interruptor termomagnético 20 A 2P	4	\$ 20,00	\$ 80,00
TOTAL				\$ 1111,00

Para la implementación de las resistencias eléctricas es necesario un valor de mil ciento once dólares americanos (\$ 1111,00).

3.3.2.2 Implementación de quemadores a GLP

En la tabla 3.10 se detallan los componentes que se necesitan para la implementación de un sistema de fundición utilizando quemadores a gas licuado de petróleo, el control de temperatura se lo realiza por medio de un control On/Off.

Tabla 3.10 Costos de implementación de quemadores a GLP

Ítem	Descripción	Cant.	V. Unitario	V. Total
1	Quemador industrial	4	\$ 30,00	\$ 120,00
2	Tubería de cobre ½ pulgada	9 m	\$ 50,00	\$ 75,00
3	Sensor de temperatura tipo termocupla J con 3 entradas	4	\$ 15,00	\$ 60,00
4	Controlador lógico programable (Logo v8) 110 – 220 Vac	1	\$ 150,00	\$ 150,00
5	Módulo de salidas entradas Logo AM2	2	\$ 130,00	\$ 260,00
6	Fuente de alimentación LOGO 24 Vdc	1	\$ 90,00	\$ 90,00
7	Conductor eléctrico flexible 16 AWG	½ rollo	\$ 26,00	\$ 13,00
8	Relé de accionamiento 220 Vac	5	\$ 15,00	\$ 75,00
9	Electroválvula 220 Vac	4	\$ 30,00	\$ 120,00
10	Centralina de gas natural de 45 kg de capacidad	1	\$ 250,00	\$ 250,00
11	Manómetro analógico 300 PSI	1	\$ 30,00	\$ 30,00
12	Encendedor electrónico	4	\$ 15,00	\$ 60,00

13	Amplificador de señal para termocupla	4	\$ 10,00	\$ 40,00
TOTAL				\$ 1343,00

Para la implementación de los quemadores industriales a gas licuado de petróleo es necesario un valor de mil treientos cuarenta y tres dólares americanos (\$ 1343,00).

3.3.3 Valoración ambiental

Para realizar un producto final en una máquina extrusora es muy importante conocer el tipo de materia prima que se va a ocupar, existen productos como la madera plástica, fundas de basura, manguera negra, entre otros, que es posible fabricarlos con plástico reciclado, esto conlleva a colaborar al medio ambiente y concientizar a la sociedad para fomentar el reciclaje.

La Planta de Reciclaje del Centro de Tratamiento y Disposición Final de Residuos Sólidos “Romerillos” se encuentra ubicada en el cantón Mejía y se dedica a la recolección diferenciada de residuos tanto orgánicos como inorgánicos; dentro de la parte de desechos inorgánicos realizan una clasificación entre cartón, papel, plástico, PET, vidrio, chatarra, entre otros, estos materiales son empacados y comercializados generalmente a empresas privadas para convertirlas en un producto final.

En la siguiente tabla se detalla una caracterización e porcentaje de la cantidad de los residuos sólidos que ingresan al Centro de Tratamiento Romerillos.

Tabla 3.11 Caracterización de los residuos sólidos en Romerillos

Descripción	Porcentual	Cantidad	Dirección
Recolección no diferenciada	44,58 %	16,18 Ton/día	Relleno Sanitario
Materiales orgánicos	6,1 %	2,21 Ton/día	Relleno Sanitario

	1,25 %	0,45 Ton/día	Compostaje de material orgánico
Cartón	6,87 %	2,49 Ton/día	Reciclaje
Papel	5,23 %	1,90 Ton/día	Reciclaje
Plástico	8,99 %	3,26 Ton/día	Reciclaje
PET	7,73 %	2,81 Ton/día	Reciclaje
Vidrio	5,36 %	1,95 Ton/día	Reciclaje
Chatarra	4,29 %	1,56 Ton/día	Reciclaje
Material inorgánico rechazado	9,60 %	3,48 Ton/día	Relleno Sanitario
Total	100 %	36,30 Ton/día	

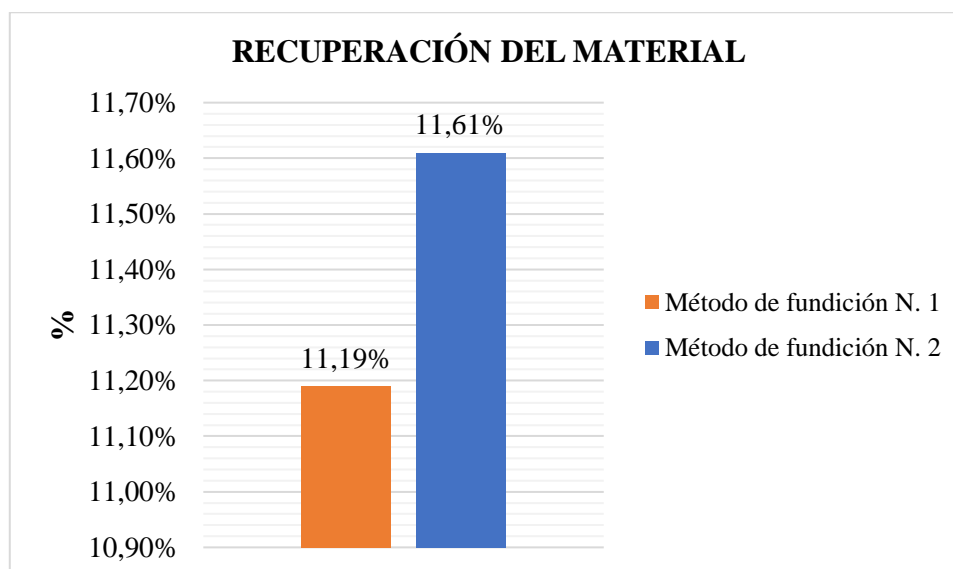


Figura 3.11 Recuperación del material

Al Centro de Tratamiento Romerillos ingresa una cantidad de plásticos reciclables aproximada de 3,26 Ton/día equivalente al 8,99 % de los residuos sólidos que ingresan a la planta, estos plásticos pasan por un proceso de almacenamiento, lavado y aglutinado para una posterior comercialización como materia prima. La empresa

“Ingytep” adquiere esta materia prima reciclada para la fabricación de manguera, por lo tanto, utilizando el método de fundición N. 1 la máquina extrusora necesita una cantidad de 365 kg/día equivalente a un 11,19 % de los plásticos que el Centro de Tratamiento Romerillos recupera, mientras que utilizando el método de fundición N. 2 la máquina extrusora necesita una cantidad de 378,5 kg/día lo que equivale al 11,61 %.

3.4 Conclusiones del capítulo III

- Se realizó el análisis comparativo entre el método de fundición N. 1 correspondiente a las resistencias eléctricas con el método de fundición N. 2 que es por utilizando quemadores industriales, se utilizaron parámetros como: el consumo de energía calorífica, pérdidas de calor, rendimiento, tiempos de calentamiento en la zona de fundición del plástico, costos de energía calorífica y cantidad de producción.
- Se efectuó una valoración económica con los elementos que fueron implementados en el método de fundición N. 1 y los materiales para el método de fundición N. 2, en el que solamente existe una diferencia de \$ 232,00.

CONCLUSIONES

- Para el proceso de fundición del plástico en una máquina extrusora, es necesario alcanzar y mantener una temperatura de 200 °C que utiliza el polietileno de baja densidad para la obtención de manguera negra como producto final, el calor específico de este material es de 1,90 kJ/kg.K y teniendo una capacidad de 50 kg/h en la máquina se necesita una cantidad de calor de 5,5 kW mínimo para cumplir con el proceso.
- La máquina extrusora N. 1 presenta 10 resistencias eléctricas calefactoras de tipo abrazadera de 600 W cada una dividida en 4 zonas de calefacción a lo largo del cilindro extrusor, este método genera 6000 W de calor y presenta un control de temperatura On/Off, por otra parte, en la máquina extrusora N. 2 se tiene 4 quemadores industriales a gas licuado de petróleo de 2000 W cada uno, generando 8000 W de calor para realizar el proceso de fundición del plástico de igual manera tiene un control de temperatura On/Off.
- El método de fundición N. 1 transfiere 5495,97 W con pérdidas de 504,03 W, un rendimiento del 91,59 %, tarda mantener 200 °C un tiempo de 30'34'', el costo mensual de la energía eléctrica es de \$ 68,64, produce una cantidad 8030 kg/mes es decir 401 rollos de manguera de 1 in y desperdicia 220 kg/mes, mientras que el método de fundición N. 2 transfiere 7311,03 W, con 688,97 W de pérdidas, un rendimiento del 91,38 %, tarda en mantener 200 °C un tiempo de 20'35'', el costo mensual del GLP es de \$ 201,22, produce 8327 kg/mes es decir 416 rollos de manguera de 1 in y desperdicia 110 kg/mes.
- Según los resultados de las expresiones matemáticas el método de fundición N. 2 con quemadores industriales a GLP es el método que tiene mayor cantidad de ventajas técnicas, económicas y ambientales para realizar el proceso de fundición del plástico en una máquina extrusora, tiene una generación de calor mayoritaria aproximada de 2000 W de diferencia, el rendimiento que presenta es igualitario 91 %, alcanza y mantiene una temperatura de 200 °C en menor

tiempo (10 min. de diferencia), a pesar de tener un costo mensual elevado (\$ 132,58 mensuales de diferencia), tiene una mayor rentabilidad en la producción de 15 rollos más de manguera de 1 in mensual y su desperdicio de material es doblemente menor.

RECOMENDACIONES

- Es recomendable utilizar material refractario en la máquina extrusora N. 2 para reducir las pérdidas de calor que se generan al momento de realizar el proceso de fundición del plástico.
- Es necesario realizar un programa de mantenimiento preventivo y correctivo en la máquina extrusora N. 2, mediante inspecciones continuas a los equipos eléctricos, electrónicos, centralina de gas licuado de petróleo, quemadores industriales, entre otros, con el objetivo de alargar la vida útil de la máquina.
- Utilizar las expresiones matemáticas planteadas y la aplicación por software como metodologías para futuras investigaciones o diseños en construcción en donde se requiera el cálculo de parámetros fundamentales del proceso de fundición del plástico utilizando máquinas extrusoras.
- Considerar una posible investigación en el proceso de fundición del plástico utilizando el método de la inducción como una posible fuente calorífica para determinar una comparación técnica con el uso del gas natural.

Referencias Bibliográficas

- [1] S. T. P. Ecuador, «Plan Nacional de Desarrollo 2017 – 2021 Toda una Vida,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.planificacion.gob.ec/plan-nacional-de-desarrollo-2017-2021-toda-una-vida/>.
- [2] J. M. Egea Krauel y E. Trigueros García, «Perspectivas para el gas natural en Europa Relevancia del sistema gasista español para la Unión de la Energía,» 2017. [En línea]. Available: file:///D:/Users/DELL/Downloads/ce46_07_perspectivasparaelgasnaturalenauropa_jmegea_etrigueros.pdf.
- [3] G. R. Latinoamérica, «El futuro energético del sistema eléctrico en América Latina,» 05 02 2019. [En línea]. Available: <https://gereportslatinoamerica.com/el-futuro-energ%C3%A9tico-del-sistema-el%C3%A9ctrico-en-am%C3%A9rica-latina-a54105757c7>.
- [4] A. Jimenez Ramos y A. Borroto Nordelo, «Mejoramiento de la eficiencia energética en los procesos de extrusión de tuberías plásticas,» Agosto 2015. [En línea]. Available: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59012015000200011.
- [5] D. A. Amaya Peñaloza y J. R. Alarcón Revelo, «Conversión Equipo extrusión en la zona de calefacción de energía eléctrica a gas natural,» 2014. [En línea]. Available: <http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/4219>.
- [6] G. Cruz, «Una Revisión de Sistemas de Calentamiento y Control de Temperatura para Extrusión de Polímeros,» 24 09 2015. [En línea]. Available: <https://revistas.pascualbravo.edu.co/index.php/cintex/article/view/43>.
- [7] D. Khripko, A. Schluter, B. Rommel y M. Rosano , «Energy demand and efficiency measures in polymer processing: comparison between temperate and

- Mediterranean operating plants,» 29 01 2016. [En línea]. Available: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40095-015-0200-2>.
- [8] K. Karabekir Mah y M. Fakultesi, «Comparison of natural gas fired and induction heating furnaces,» 03 2015. [En línea]. Available: https://www.researchgate.net/publication/271446125_Comparison_of_Natural_Gas_Fired_and_Induction_Heating_Furnaces.
- [9] C. Abeykoon, K. Adrian L., J. Vera Sorronche, E. Brown y Coates, «Monitoring and Modelling of the Energy Consumption in Polymer Extrusion,» 06 27 2015. [En línea]. Available: https://www.researchgate.net/publication/263542720_Monitoring_and_Modelling_of_the_Energy_Consumption_in_Polymer_Extrusion.
- [10] D. Trapero Moreno, «Diseño, control y construcción de un extrusor de filamento para impresión 3D,» 24 09 2016. [En línea]. Available: <https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/20112>.
- [11] A. Borroto Nordelo, «Mejorar la eficiencia energética del proceso de extrusión de tubos,» 10 11 2017. [En línea]. Available: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59012015000200011.
- [12] G. Ramos Espinosa y G. A. Lombana Gómez, «Diseño e implementación de un sistema de extrusión de filamento para impresión 3D a partir de botellas recicladas,» 06 06 2019. [En línea]. Available: <https://red.uao.edu.co/bitstream/10614/11024/5/T08590.pdf>.
- [13] J. L. Céspedes Carazas, «Diseño de un sistema de calentamiento usando gas natural en una máquina extrusora que procesa 550 kg/h de tubería plástica ubicada en la línea 5 de la planta N° 1 de la empresa Eurotubo S.A.C para

- reducir costos de producción,» 12 12 2017. [En línea]. Available: <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/23059>.
- [14] C. A. García Acevedo, «Diseño de una extrusora para filamento 3D,» 06 2015. [En línea]. Available: <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/135054>.
- [15] B. Moscoso Verdezoto y L. Gualli Aucancela, «Diseño y construcción de un sistema de calentamiento a gas para la fabricación de planchas de polipropileno Techoluz,» 31 05 2015. [En línea]. Available: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/287>.
- [16] F. I. Zumba Aldaz, «Automatización de un sistema extrusor de PVC para fabricación de vinil sellador (Empaquetadura) entre el metal y su acristalamiento,» 03 2017. [En línea]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/14062>.
- [17] C. A. Gutiérrez Paredes y L. E. Vargas Ayala, «Diseño y fabricación de una máquina extrusora para crear el filamento de la impresora 3D a partir de material reciclado,» 15 11 2017. [En línea]. Available: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/7922>.
- [18] H. L. Brito Moína, C. X. Flores Herrera y K. G. Salazar Llangari, «Diseño y construcción de un extrusor tipo tornillo para la obtención de pellets plástico a partir de botellas recicladas,» 10 2018. [En línea]. Available: https://www.researchgate.net/publication/326623088_Diseño_y_construcción_de_un_extrusor_tipo_tornillo_para_la_obtención_de_pellets_plástico_a_partir_de_botellas_recicladas.
- [19] A. F. Giraldo Saldarriaga y L. C. Pardo Peña, «Rediseño de una máquina extrusora de plástico,» 02 05 2019. [En línea]. Available: <http://red.uao.edu.co/bitstream/10614/11246/5/T08639.pdf>.

- [20] V. P. Peralta Ortiz, «Propuesta para automatización y control estadístico del proceso de extrusión de polipropileno en la planta de producción Inducuerdas,» 11 2017. [En línea]. Available: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/7832>.
- [21] F. Y. Cubides Alfonso, «Plan de mantenimiento integral para las extrusoras de plástico en las pequeñas y medianas empresas de Bogotá,» 15 06 2018. [En línea]. Available: <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/13563/1/CubidesAlfonsoFedyYamith2018.pdf>.
- [22] M. A. Romero Olivio, «Estudio del consumo energético en la planta de producción Carvajal Empaques,» 13 03 2018. [En línea]. Available: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/10165>.
- [23] J. Deng, K. Li y E. Harkin Jones, «Energy monitoring and quality control of a single screw extruder,» 20 02 2016. [En línea]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261913007289>.
- [24] C. A. Vargas Isaza, J. C. Posada Correa, L. Y. Jaramillo Zapata y L. A. García, «Consumos de energía en la industria del plástico: Revisión de estudios realizados,» 28 07 2015. [En línea]. Available: https://www.researchgate.net/publication/305222155_Consumo_de_energia_en_la_industria_del_plastico_revision_de_estudios_realizados.
- [25] J. C. Serrano y Y. A. Carranza Sanchez, «Análisis teórico de la combustión en quemadores de gas natural,» 29 12 2015. [En línea]. Available: <https://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/6627>.
- [26] P. Lloret Bassecourt, «Estado de la tecnología en la cadena de valor del gas natural: Aplicaciones a nuevos productos y servicios,» 05 2015. [En línea]. Available: <https://riunet.upv.es/handle/10251/53239>.

- [27] F. Y. Cubides Alfonso, «Plan de mantenimiento integral para las extrusoras de plástico en las pequeñas y medianas empresas de Bogotá,» 15 06 2018. [En línea]. Available: <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/13563/1/CubidesAlfonsoFreddyYamith2018.pdf>.
- [28] H. L. Brito Moína, C. X. Flores Herrera y K. G. Salazar Llangari, «Diseño y construcción de un extrusor tipo tornillo para la obtención de pellets plástico a partir de botellas recicladas,» 10 2018. [En línea]. Available: https://www.researchgate.net/publication/326623088_Diseño_y_construcción_de_un_extrusor_tipo_tornillo_para_la_obtención_de_pellets_plástico_a_partir_de_botellas_recicladas.
- [29] C. M. Cobos Maldonado, «Diseño de un sistema de extrusión peletizado para el procesamiento de los residuos plásticos para la empresa municipal de la ciudad de Cuenca EMAC,» 15 12 2015. [En línea]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/11164/1/Diseño%20de%20un%20sistema%20de%20extrusión%20peletizado%20para%20el%20procesamiento%20de%20los%20residuos%20plásticos%20para%20la%20Empresa%20Municipal%20de%20Aseo%20de%20Cuenca%20EMAC.pdf>.
- [30] R. Vargas, R. Santiago y M. Patiño, «Diseño y construcción de un controlador de temperatura programable para una máquina extrusora,» 25 07 2015. [En línea]. Available: http://www.revcolfis.org/publicaciones/vol40_2/4002385.pdf.

ANEXOS

ANEXO 1

Método de fundición N. 1 (Resistencias eléctricas)



ANEXO 2

Resistencias de tipo abrazadera



Resistencias Abrazaderas



Las resistencias abrazaderas son muy utilizadas en la industria del plástico, comcretamente se utiliza para el calentamiento de los usillos de la maquinaria de inyección.

Para que la disipación del calor sea lo más precisa posible, las resistencias de abrazadera han de estar completamente apretadas al usillo.

Bajo plano



Este tipo de resistencias se fabrica bajo plano de cada cliente. No existen medidas estándar, y la carga superficial no debe sobrepasar los $4w \times cm^2$.

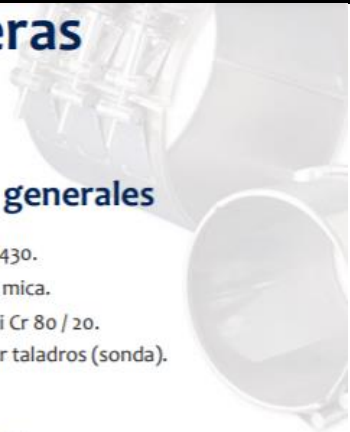
Con cuerpo de mica o cerámico

Existen dos formas de fabricación para éste tipo de resistencia industrial. La fabricación de la resistencia con cuerpo de mica o con cuerpo cerámico, teniendo las cerámicas la posibilidad de ejercer un mayor impacto térmico a la hora de trabajar.

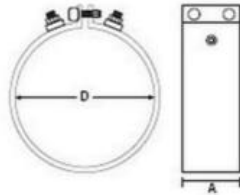


Resistencias Abrazaderas

especificaciones técnicas



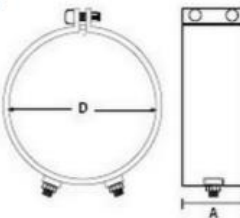
1



Características generales

- Funda chapa AISI - 430.
- Alma y aislamiento mica.
- Cinta calefactora Ni Cr 80 / 20.
- Posibilidad de llevar taladros (sonda).

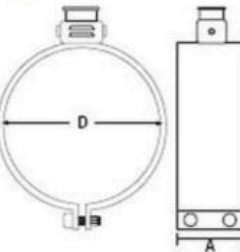
2



Tipos de conexión

- Cables. *Figura 5*
- Tornillos. *Figura 1 - 2*
- Cajetín recto (C/R). *Figura 3*
- Cajetín curvo 90° (C/C). *Figura 4*

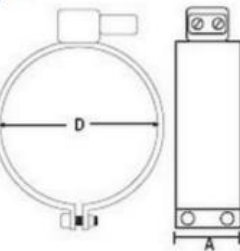
3



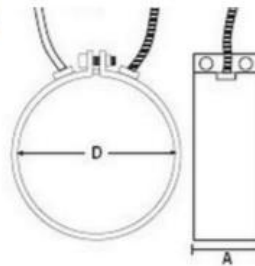
Control de calidad

- Aislamientos: 5 Megahomios a 500v cc en frio (mínimo).
- Rigidez dieléctrica: 1500v 1 segundo.
- Potencia: +5 % - 10 %.

4



5



ANEXO 3

Fabricación de manguera 1/2



ANEXO 3

Fabricación de manguera 2/2



ANEXO 4

Máquina extrusora N. 1 1/2



Tolva de alimentación



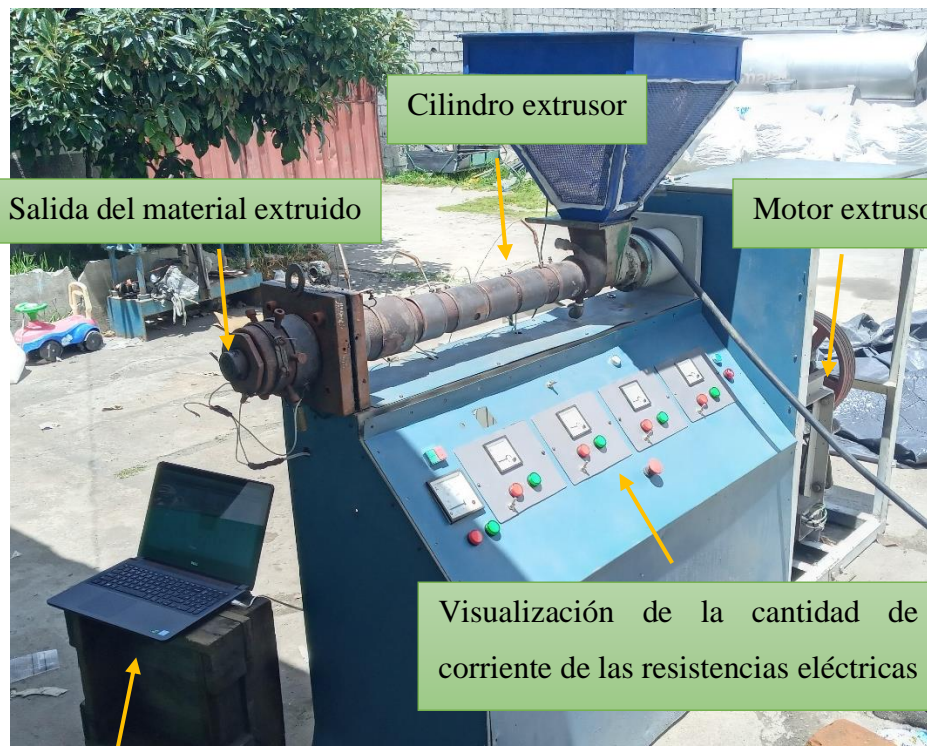
Resistencias eléctricas

Cabezal

Tablero de control

ANEXO 4

Máquina extrusora N. 1 2/2



Cilindro extrusor

Salida del material extruido

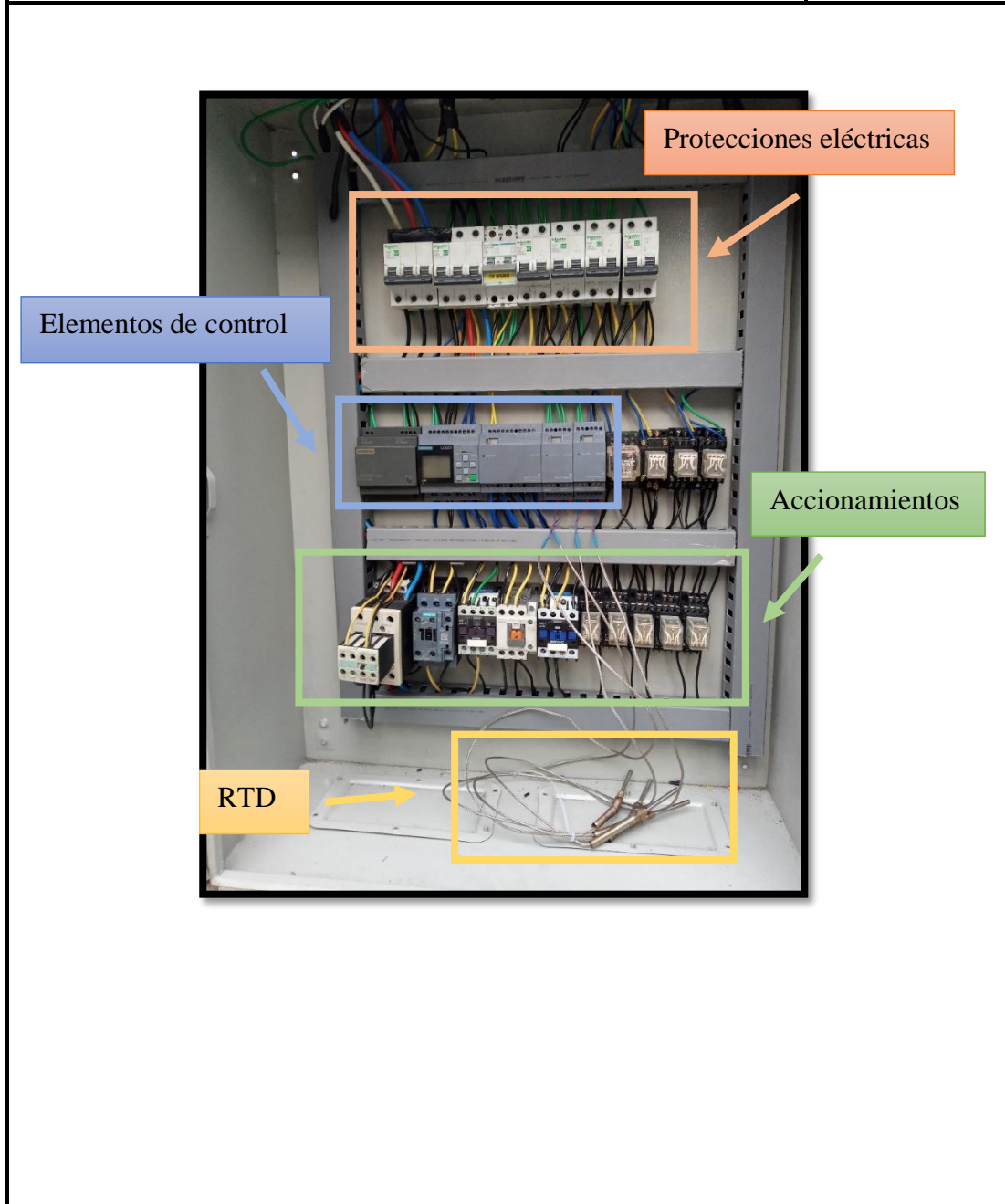
Motor extrusor

Visualización de la cantidad de corriente de las resistencias eléctricas

Visualización de temperaturas

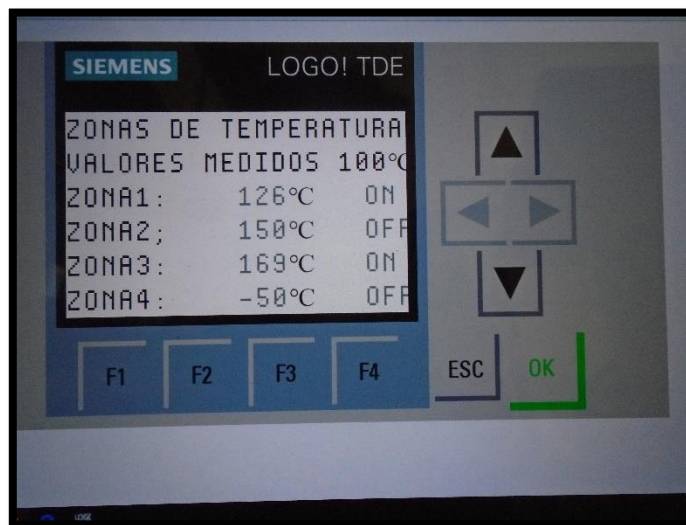
ANEXO 4

Tablero de control de la máquina extrusora N. 1



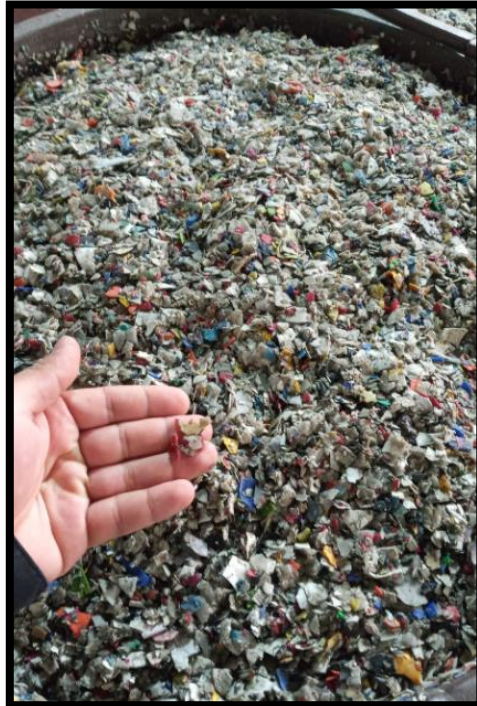
ANEXO 5

Visualización de la temperatura en la máquina extrusora N. 1



ANEXO 6

Materia prima plástica PEBD 1/2



ANEXO 6

Materia prima plástica PEBD 2/2



Hoja de Datos Técnicos



Grupo: Polímeros

Jacarandas # 100 Nivel A-2

Fraccionamiento Rancho Alegre I

96558 Coatzacoacoas, Ver.

Tel. (01-921) 2-11-12-60 Fax 2-11-12-64

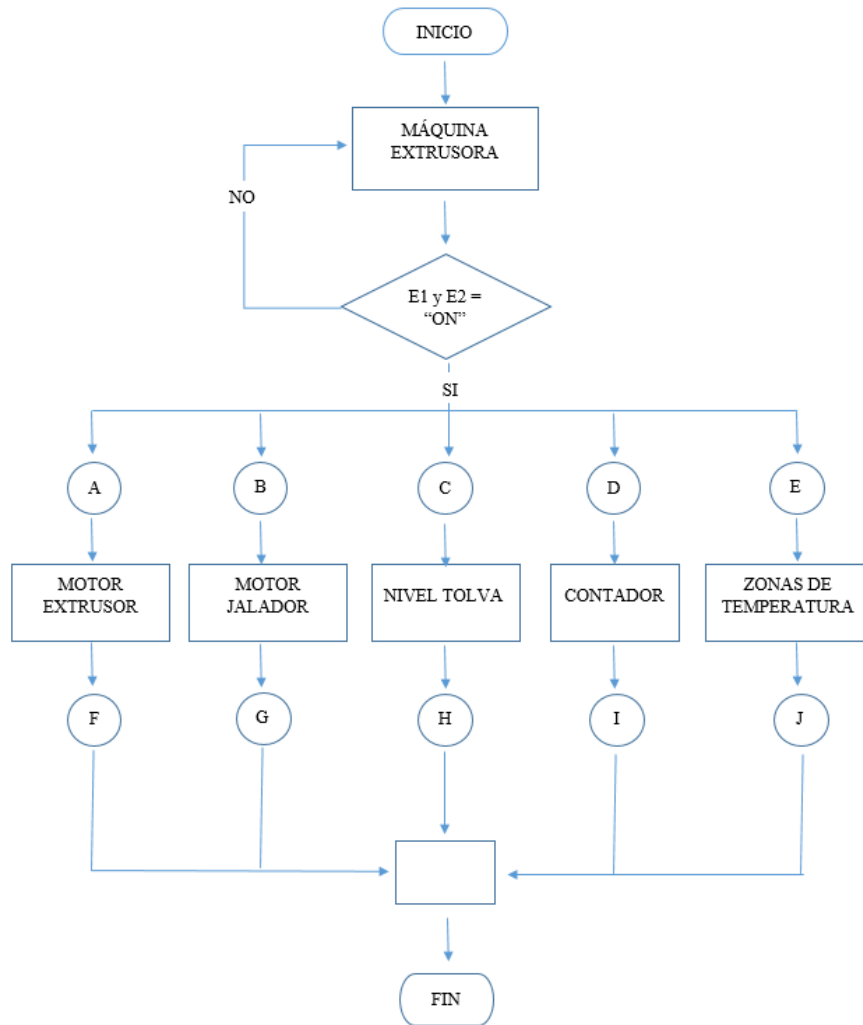
Polietileno de Baja Densidad Grado 20020X

Especificación	Unidad	Especificación de Venta	Método de Prueba	Valor Típico
Índice de Fluidéz	gr/10 min.	1.8 – 2.3	ASTM-D-1238	1.94
Densidad	gr/cm ³	0.9195 - 0.9220	ASTM-D-1505 ó ALKATHENE 25	0.9205
Resistencia máxima a la tensión	MPa (psi)	-	ASTM-D-638	10.9 (1579)
Elongación máxima	%	-	ASTM-D-638	635
Resistencia al impacto	Gr	-	ASTM-D-1709	150
Resistencia al rasgado	Nw/mm (lb/in)	-	ASTM-D-1004	63.7 (364)
Claridad	Unidades	-	ALKATHENE 57	22
Nebulosidad	%	9.5 Max	ASTM-D-1003	4
Película	-	A	ALKATHENE 68	A
Contaminación	-	A	ALKATHENE 48	A
Color	-	A	ALKATHENE 48	A
Corte	-	A	ALKATHENE 48	A

Condiciones*: Temperatura: 160 - 190°C. Dado: 170-190°C, Relación de Soplado: 1.5 a 3 veces el diámetro del dado

ANEXO 7

Flujograma del control de la máquina extrusora 1/5

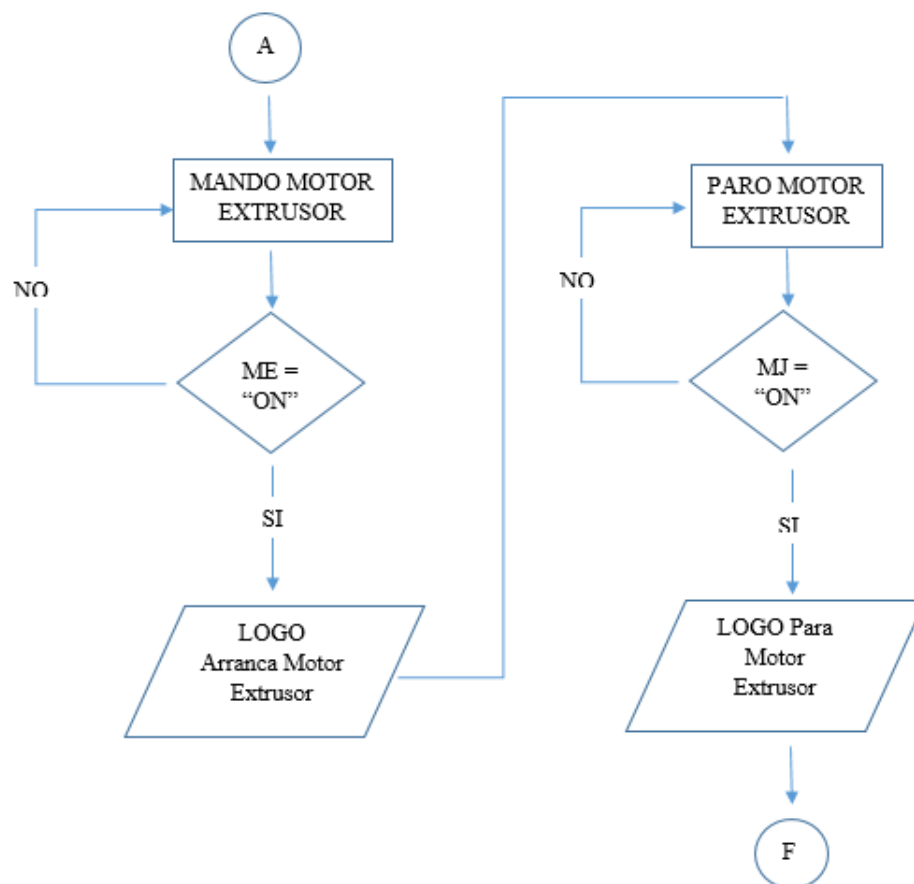


E1: Pulsador de emergencia en la máquina extrusora

E2: Pulsador de emergencia de la máquina tensora

ANEXO 7

Flujograma del control de la máquina extrusora 2/5

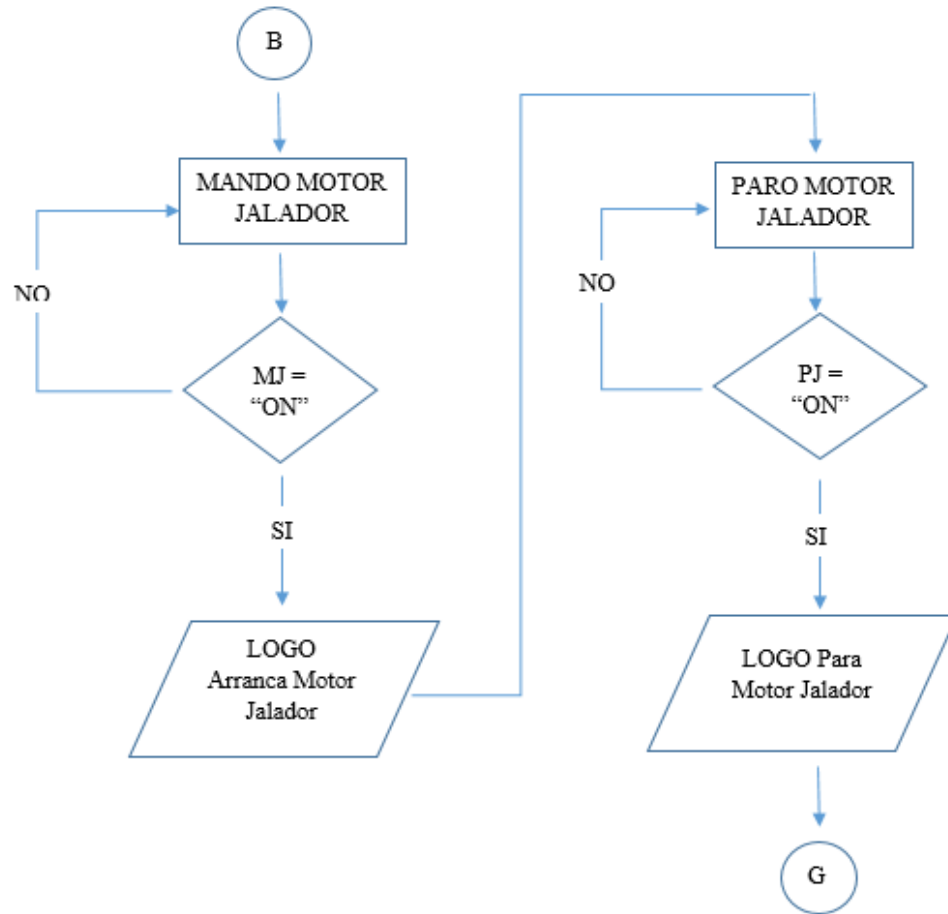


ME: Pulsador de mando del motor extrusor

MJ: Pulsador de paro del motor extrusor

ANEXO 7

Flujograma del control de la máquina extrusora 3/5

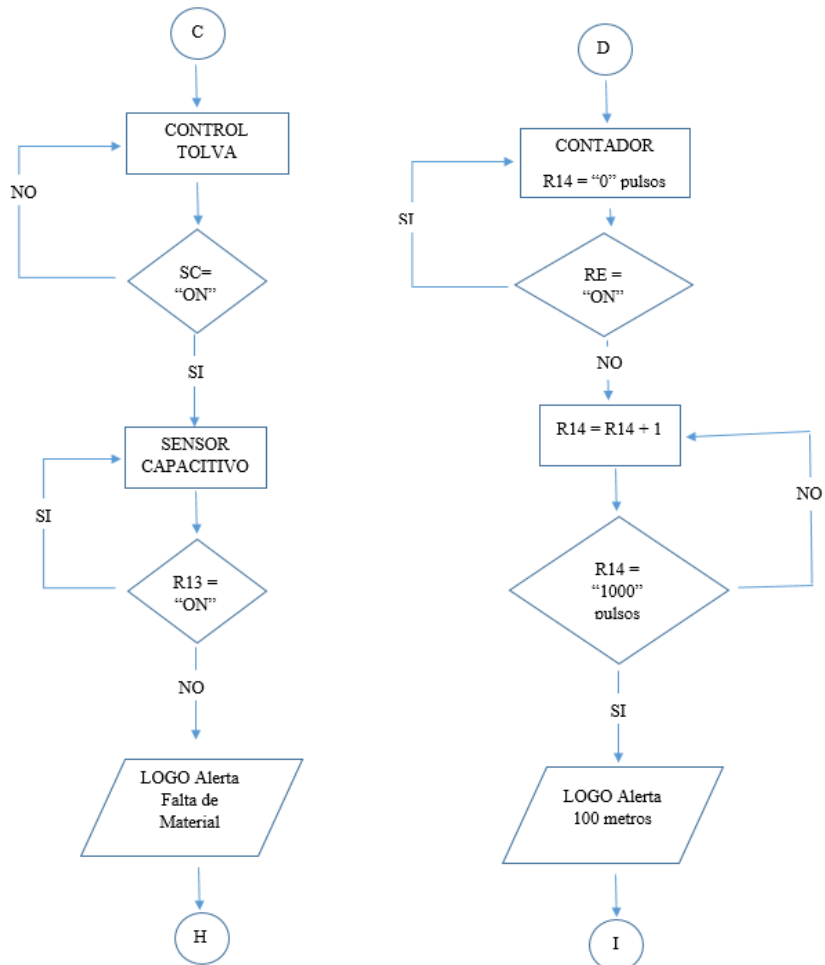


MJ: Pulsador de mando del motor tensor (Jalador)

PJ: Pulsador de paro del motor tensor (Jalador)

ANEXO 7

Flujograma del control de la máquina extrusora 4/5



SC: Sensor capacitivo activado

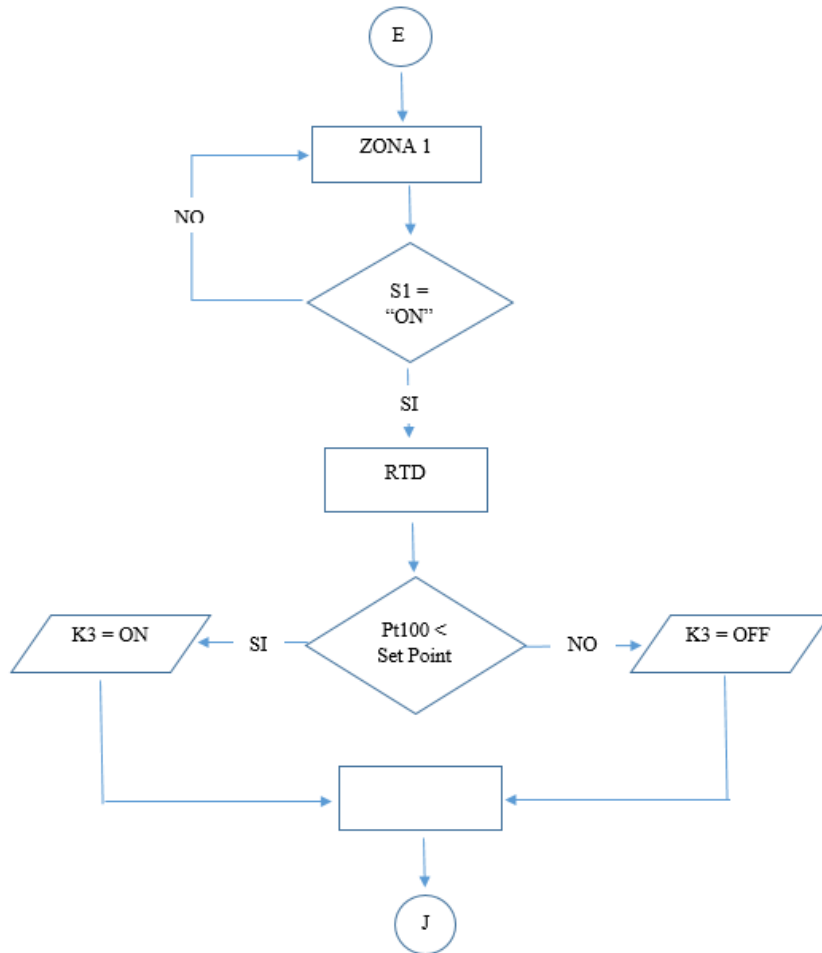
R13: Falta material en la tolva

RE: Reset a 0 metros de manguera

R14: Contador de metros de manguera

ANEXO 7

Flujograma del control de la máquina extrusora 5/5



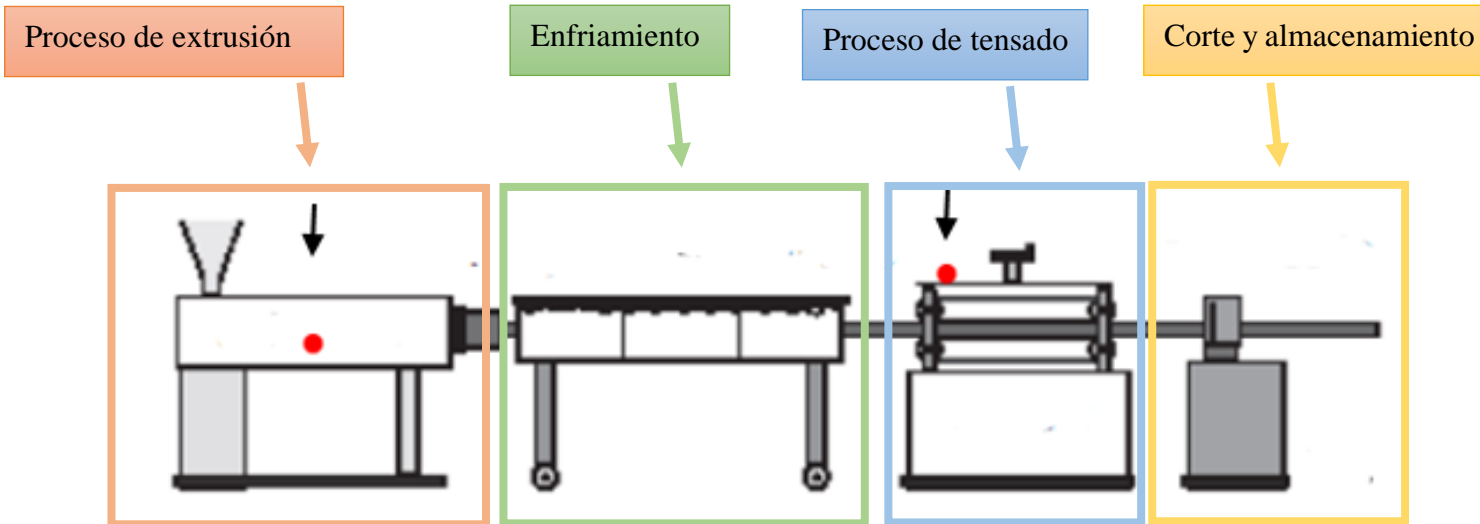
S1: Selector 1 activado

K3: Resistencias eléctricas

ANEXO 8



Diagrama general de un proceso de fabricación de manguera



ANEXO 9

Datos técnicos del quemador industrial



Quemadores de gas industrial, producto en oferta, 2020, en China



Detalles rápidos

Lugar del origen: Zhejiang, China
Número de Modelo: Industrial Gas Stove-001
Servicio postventa...: Devolución y reemplazo

Tipo: Estufas de gas
Material de superfi...: De hierro fundido
Aplicación: Al aire libre, Hogar

Item: Industrial Gas Stove-001
No. of Gas Burner: 1
Installation: Portable, Easily Assembled, Folding
Safety Device: Flame Safety Device
Ignition: Lighter

Marca: K&G or OEM

No. de Quemador d...: 1

Garantía: 1 año

Instalación: Portátil

Certificación: CE, Rohs, SONCAP

Fuente de energía: De Gas

Type: Gas Cooktops

Applications: Widely

Material: cast iron

Gas Type: Butane, LPG, Propane

[View larger image](#)

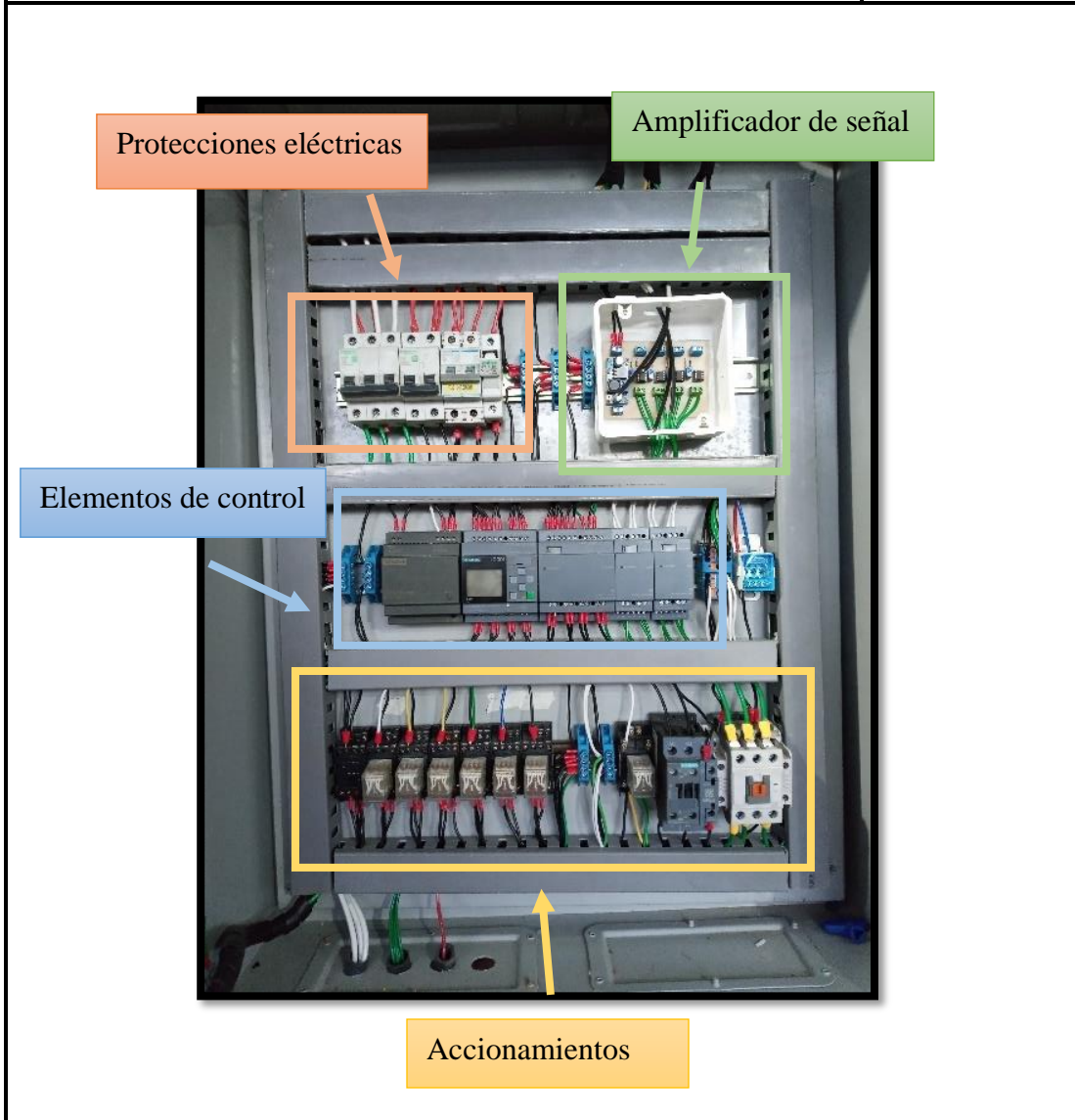


PRODUCT DESCRIPTION

Artículo No	QS-M04
Material:	De hierro fundido
Tamaño:	39,5*17,5*5CM
N.W:	2kgs
Embalaje	10pcs/ctn
EmbalajeTamaño (cm)	41*23*27
Cantidad (unidades) 20gp/40hq	11200

ANEXO 10

Tablero de control máquina extrusora N. 2

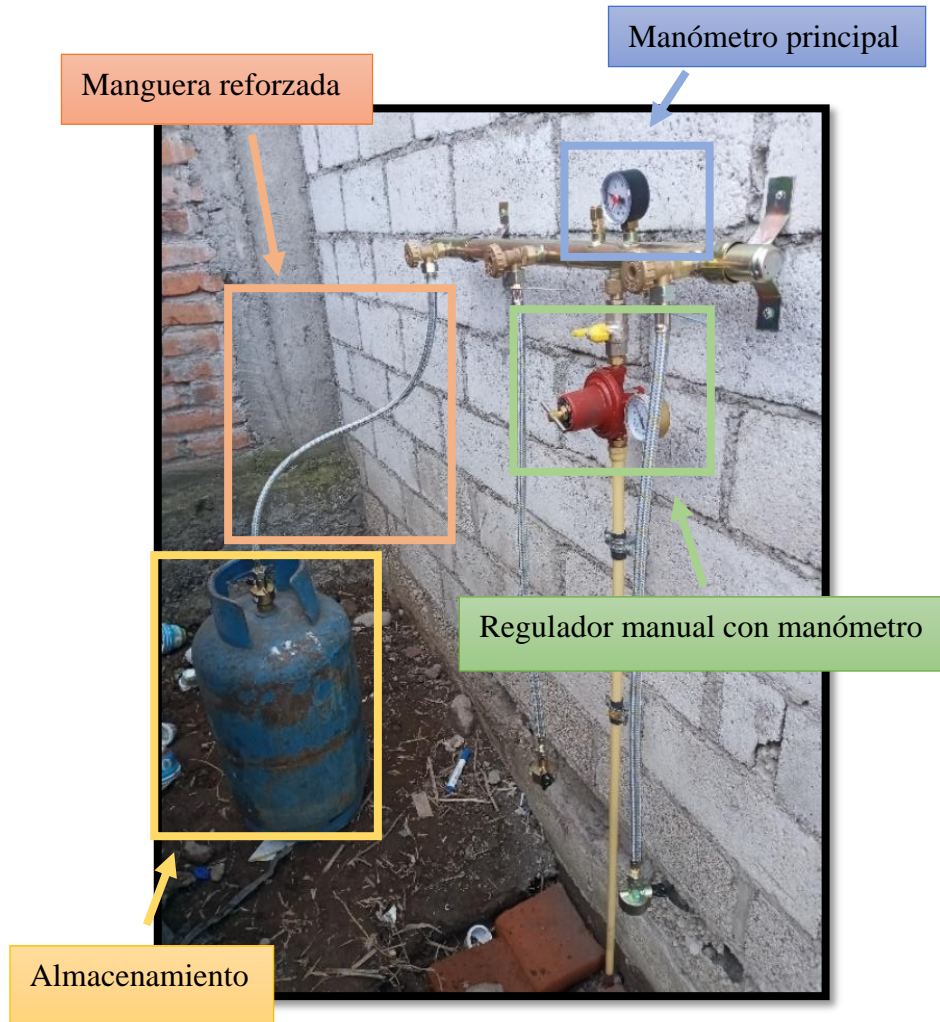


ANEXO 11

Método de fundición N. 2 (Quemadores a gas natural)



ANEXO 12
Centralina de gas natural



ANEXO 13

Datos técnicos del gas licuado de petróleo



FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Conforme al Reglamento CE N° 1907/2006 - REACH y Reglamento CE N° 1272/2008 - CLP

GAS LICUADO DE PETRÓLEO

SECCIÓN 1. IDENTIFICACIÓN DE LA SUSTANCIA O LA MEZCLA Y DE LA SOCIEDAD O LA EMPRESA

1.1 Identificador del producto

Nombre comercial	GAS LICUADO DE PETRÓLEO
Nombre Químico	Mezclas de propanos y butanos
Sinónimos	GLP (Gas Licuado de Petróleo).
N° CAS	68512-91-4
N° CE (EINECS)	270-990-9
N° Índice (Anexo VI)	
Reglamento CE N° 1272/2008	649-083-00-0
N° Registro	NP
N° Autorización	NP

1.2 Usos pertinentes identificados de la sustancia o de la mezcla y usos desaconsejados

Combustible.
Propelente.

1.3 Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad



Empresa	REFINERÍA LA PAMPILLA, S.A.A.
Dirección	Casilla Postal 10245 Km. 25 Carretera a Ventanilla. Lima-1 PERU
Teléfono	(51-1) 517-2021(51-1) 517-2022
Fax	(51-1) 5172026
Correo electrónico	NP

1.4 Teléfono de emergencia

Carechem 24: +34 9 1114 2520
Carechem 24: +44 (0) 1235 239 670

SECCIÓN 2. IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS

2.1 Clasificación de la sustancia o de la mezcla	2.2 Elementos de la etiqueta
Clasificación Reg. (CE) 1272/2008 (CLP)	Etiquetado

Gases inflamables: Gas infl. 1 Gases a presión: Gas a pres.	Pictogramas GHS02 GHS04	 
	Palabra de advertencia	Peligro
	Indicaciones de peligro	H220: Gas extremadamente inflamable. H280: Contiene gas a presión; peligro de explosión en caso de calentamiento.
	Información suplementaria	NP
	Consejos de prudencia	P102: Mantener fuera del alcance de los niños. P210: Mantener alejado del calor, de superficies calientes, de chispas, de llamas abiertas y de cualquier otra fuente de ignición. No fumar. P377: Fuga de gas en llamas: No apagar, salvo si la fuga puede detenerse sin peligro. P280: Llevar guantes/prendas/gafas/máscara de protección. P410+P403: Proteger de la luz del sol. Almacenar en un lugar bien ventilado.



FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

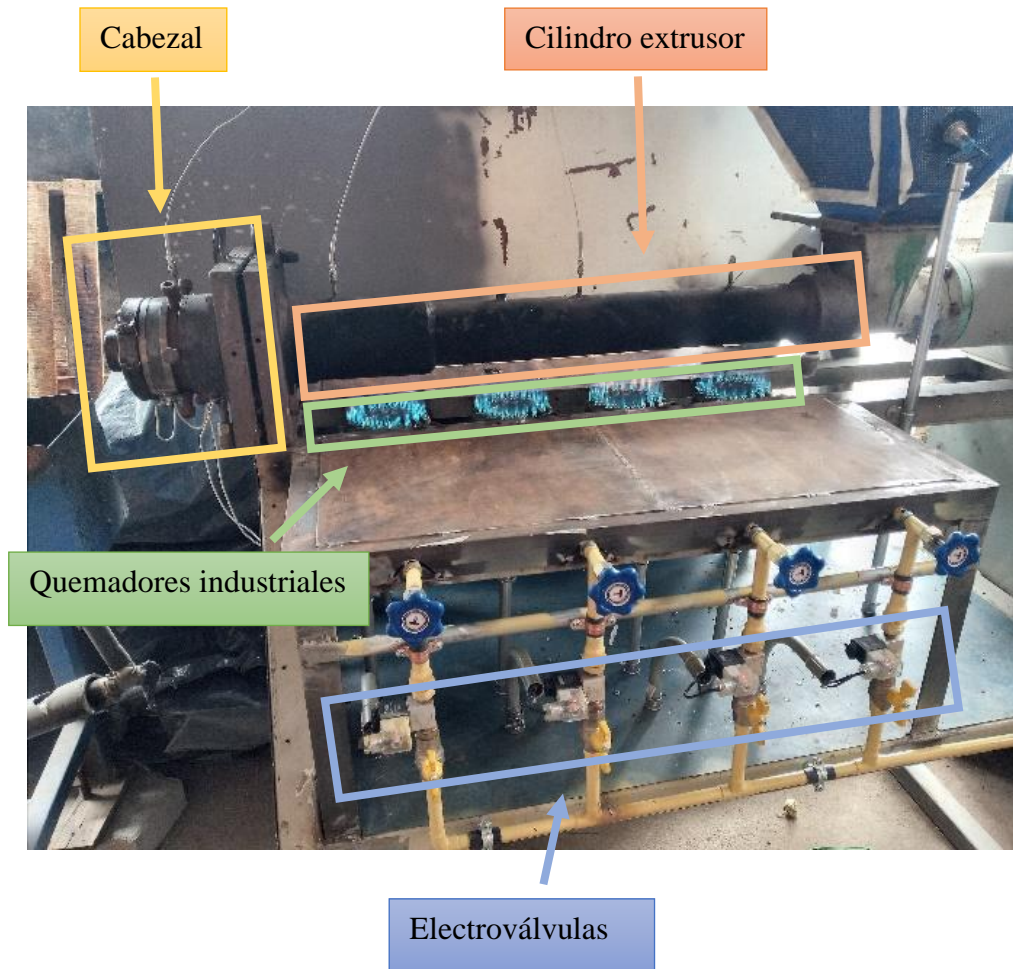
Combinación compleja de hidrocarburos producida por destilación y condensación del petróleo crudo.
Compuesta de hidrocarburos con un número de carbonos dentro del intervalo de C3 a C5, en su mayor parte de C3 a C4.

Componentes peligrosos Reg. (CE) 1272/2008 (CLP)	Concentración (%)	Indicaciones de peligro
Hidrocarburos, ricos en C3-4, destilado del petróleo; Gases de petróleo. (1,3-butadieno < 0.1%) Nº CAS: 68512-91-4 Nº CE (EINECS): 270-990-9	>99	H220, H280

ANEXO 14

Máquina extrusora de plástico N. 2

1/2



ANEXO 14

Máquina extrusora de plástico N. 2

2/2



Capa reforzada de ladrillo



Tubería de cobre ½ pulgada