



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ELÉCTRICA**

“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”

---

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICISTA**

**AUTOR**

CÉSPEDES CARAZAS JOSÉ LUIS

**ASESOR ESPECIALISTA:**

MG.ING. JUAN CARLOS BENGEOA SEMINARIO

**ASESOR METODOLÓGICO:**

MG.ING. JAVIER LEÓN LESCANO

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN**

Generación, Transmisión y Distribución de la Energía

**TRUJILLO – PERÚ**

2017

## **PAGINAS PRELIMINARES**

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.



José Luis Céspedes Carazas

Autor

**Presentada a la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Universidad César Vallejo de Trujillo para obtener el título de Ingeniero Mecánico electricista.**

PÁGINA DEL JURADO



---

Ing. Edwin Valderrama Campos

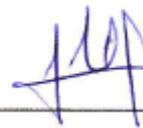
Presidente



---

Ing. Alex Deyvi Tejeda Ponce

Secretario



---

Ing. Javier León Lescano

Vocal

## DEDICATORIA

A dios, por brindarme la vida día a día y regalarme las cosas que me brinda, por estar a mi lado en mis alegrías y tristezas, dándome la fortaleza necesaria para seguir adelante y sobre todo por regalarme lo mejor, mi familia que es mi vida.

A mi papá José Céspedes Alcántara y mi mamá Rosita Carazas Loza, porque no solo les debo la vida, les debo las buenas enseñanzas y de nunca rendirse ante las adversidades y seguir adelante, gracias por el amor, los consejos y por el apoyo, y sobre todo por educación que me dieron, para afrontar una vida profesional.

A mi Hermana Janet, por ser un ejemplo a seguir, a mí hermano Midward, que junto a mi hermana me brindan un gran apoyo incondicional y ser los mejores amigos.

Al pequeño de la familia, Boris, por traer las nuevas energías y alegrías que nos ha llenado el corazón de esta familia.

## AGRADECIMIENTO

A la Universidad César Vallejo y a su distinguida plana docente por las enseñanzas impartidas las que han contribuido a mi formación académica y me ha dado la oportunidad de formarme para ser un profesional útil a la sociedad y a mi amado país.

Al Mg. Ing. Juan Carlos Bengoa Seminario, por contribuir en este proceso de elaboración de tesis de grado con su constante orientación profesional y guía.

De igual modo, gracias infinitas, al Mg. Ing. Javier León Lescano, por su orientación pertinente en la elaboración de mi tesis de grado, por su paciencia y apoyo constante.

A todas aquellas personas que me animaron constantemente a seguir adelante con este proceso de aporte investigativo, mi agradecimiento y consideración.

## DECLARACION DE AUTENTICIDAD

Yo: José Luis Céspedes Carazas, con DNI N°41750432, a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería, Escuela Ingeniería Mecánica Eléctrica, declaro bajo juramento que todos los datos e información que se presenta en la presente tesis son auténticos y veraces.

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

Trujillo, 12 de Diciembre del 2017.



---

José Luis Céspedes Carazas

## ÍNDICE

PAGINAS PRELIMINARES .....	2
DEDICATORIA.....	4
AGRADECIMIENTO .....	5
DECLARACION DE AUTENTICIDAD .....	6
ÍNDICE .....	7
Resumen.....	10
Abstract .....	11
I. Introducción.....	12
1.1. Realidad problemática .....	12
1.2. Trabajos previos .....	13
1.3. Teorías relacionadas al tema.....	15
1.3.1. Los plásticos.....	15
1.3.2. Procesos de moldeo de los plásticos .....	17
1.3.3. Extrusión de plásticos .....	17
1.3.4. Partes de una extrusora. ....	18
1.3.5. Combustión del gas natural.....	21
1.3.6. Sistemas de calentamiento. ....	26
1.3.7. Aislantes térmicos.....	32
1.3.8. Resistencia térmica (R).....	33
1.3.9. Sistema de control de temperatura.....	33
1.3.10. Instalación industrial interna de gas natural. ....	35
1.3.11. Criterios para evaluar las inversiones en la empresa.....	38
1.3.12. Valor actual neto (VAN).....	38
1.3.13. Tasa interna de rentabilidad (TIR) .....	39
1.3.14. Retorno de la inversión (PRI).....	39
1.3.15. Costos de producción.....	39
1.3.16. Gastos de producción.....	40
1.4. Formulación del problema.....	40
1.5. Justificación del estudio.....	40
1.5.1. Relevancia económica.....	40
1.5.2. Relevancia tecnológica .....	40
1.5.3. Relevancia institucional.....	41

1.5.4.	Relevancia socio-ambiental.....	41
1.5.5.	Tiene justificación metodológica,.....	41
1.6.	Hipótesis .....	41
1.7.	Objetivos.....	42
1.7.1.	Objetivo General.....	42
1.7.2.	Objetivos específicos.....	42
II.	Método.....	43
2.1.	Diseño de investigación .....	43
2.1.1.	De acuerdo al fin que se persigue:.....	43
2.1.2.	De acuerdo a la técnica de contrastación: .....	43
2.1.3.	De acuerdo al régimen de investigación: .....	43
2.2.	Variables .....	43
2.2.1.	Variables independientes.....	43
2.2.2.	Variables dependientes.....	43
2.2.3.	Operacionalización de las variables .....	44
2.3.	Población y muestra .....	45
2.4.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	45
2.5.	Métodos de análisis de datos.....	45
2.6.	Aspectos éticos.....	47
III.	RESULTADOS .....	48
3.1.	Análisis del proceso actual de extrusión en la empresa Eurotubo S.A. ....	48
3.1.1.	Características de la extrusora.....	48
3.1.2.	Cálculo del calor útil:.....	48
3.1.3.	Potencia del sistema de calentamiento usando resistencias eléctricas. ....	49
3.1.4.	Pérdidas de calor por convección y radiación. ....	49
3.1.5.	Cálculo del calor neto:.....	51
3.1.6.	Costo de energía eléctrica por día. ....	51
3.2.	Flujo de gases quemados.....	51
3.2.1.	Flujo de gas natural.....	52
3.2.2.	Proceso de combustión del metano .....	52
3.2.3.	Calculando el flujo de aire. ....	53
3.2.4.	Flujo de gases producto de la combustión:.....	54
3.2.5.	Balance de masa del proceso de combustión: .....	54

3.2.6.	Diseño y dimensionamiento de la red de gas natural interna.....	54
3.3.	Diseño del sistema de calefacción en la máquina extrusora. ....	57
3.3.1.	Espacio disponible para el sistema de calentamiento. ....	57
3.3.2.	Requerimientos del sistema de calentamiento. ....	58
3.3.3.	Cálculo del aislante térmico. ....	61
3.4.	Diseño del Sistema de control de temperatura. ....	65
3.4.1.	Especificaciones del sistema de control de temperatura. ....	65
3.5.	Análisis económico financiero.....	68
IV.	Discusión.....	72
V.	Conclusiones.....	74
VI.	Recomendaciones .....	76
VII.	Referencias Bibliográficas.....	77
ANEXOS	.....	80

## Resumen

La empresa Eurotubo S.A.C, para la fabricación de tubería plástica utiliza máquinas extrusoras en las cuales el calor necesario para fundir el plástico a fin de darle la forma final es generado por medio de resistencias eléctricas. La mencionada empresa no cuenta con un sistema de calentamiento alternativo que utilice otra fuente energética que sustituya a la energía eléctrica la cual es brindada por la concesionaria local (Hidrandina S.A), teniendo que parar sus proceso de producción en caso ocurra un corte de suministro eléctrico.

Es por esa razón que surge la necesidad de diseñar un sistema de calentamiento que no utilice energía eléctrica y sabiendo que próximamente se contará en la región con suministro continuo de gas natural para uso industrial es que se plantea que el sistema de calentamiento utilice el mencionado combustible.

El punto de partida para diseñar el nuevo sistema de calentamiento fue en primer lugar conocer los parámetros de operación del sistema de calentamiento con resistencias eléctricas entre los que podemos destacar la temperatura de calentamiento y la potencia calorífica la cual es de 51.48 kW. Posteriormente se realizó los cálculos teóricos para conocer el flujo de gases calientes producto de la combustión del gas natural necesario para producir el calor requerido por el sistema de calentamiento el cual es de 68.7kg/h y la relación aire combustible de 19.7 kg de aire por cada kg de gas natural. Con el objetivo de matener constante la temperatura de calentamiento la cual es de 180 °C como promedio, se plantea el uso de elementos que puedan ser comandador por un controlador lógico programable (PLC).

Para saber si el proyecto planteado es viable se realizaron estudios en base a criterios de inversión como son el valor actual neto (VAN), tasa interna de retorno (TIR) y se calculó cuanto sería el periodo de retorno de la inversión bajo ciertos parámetros, obteniéndose como resultado que el proyecto es rentable con un TIR superior a 70%, un VAN superior a los S/. 100 000 y un periodo de retorno de menor a dos años.

**Palabras Claves:** Extrusora, Sistema de calentamiento, Potencia calorífica, VAN, TIR.

## **Abstract**

The company Eurotubo S.A.C, for the manufacture of plastic pipes uses extruder machines in which the heat necessary to melt the plastic in order to give it the final shape is generated by means of electrical resistances. The aforementioned company does not have an alternative heating system that is connected to the local electric company (Hidrandina S.A), having to stop the production process in the event of a power cut.

This is the reason why the heating system and the heating system can be used in the region with the continuous supply of natural gas for industrial use. .

The starting point to design the new heating system was in the first place where the operating parameters of the heating system with electrical resistance were found, among which we can highlight the temperature of the heating and the heating power of which is 51.48 kW. Later the theoretical calculations were made to know the flow of hot gases product of the combustion of the necessary natural gas to produce the heat required by the heating system which is of 68.7kg / h and the combustible air ratio of 19.7 kg of air for each one kg of natural gas. In order to maintain constant the temperature of the heating is of 180 °C on average, the use of elements that can be compatible with a programmable logic controller (PLC) is considered.

To know if the proposed project is viable, studies were carried out based on investment criteria such as the net present value (NPV), internal rate of return (IRR) and the calculation of the recovery time of the investment in the parameters obtained as a result, that the project is profitable with an IRR above 70%, a NPV above S /. 100,000 and a return period of less than two years.

**Keywords:** Extruder, Heating system, Heat power, VAN, TIR.

## **I. Introducción**

### **1.1. Realidad problemática**

La empresa Eurotubo S.A.C cuenta con más de 20 años dedicada a la fabricación de tubería y accesorios de Policloruro de Vinilo no Plastificado (PVC-U) y Polietileno de alta densidad (HDPE), los cuales son materiales plásticos especiales para la fabricación de los artículos antes mencionados. Los procesos que utiliza la empresa para moldear los plásticos son la inyección y la extrusión, siendo este último el método por el cual se fabrican las tuberías plásticas.

La fabricación de tubería plástica por extrusión es un proceso continuo que se realiza en presencia de calor para fundir el plástico a una temperatura controlada y presión que se consigue utilizando un tornillo giratorio (husillo) el cual empuja al material a través de una abertura en la cual adquirirá su forma final (Groover, 2012).

La empresa obtiene el calor necesario para el proceso de extrusión mediante resistencias eléctricas, las cuales están ubicadas a lo largo del barril o cilindro de extrusión. La energía eléctrica es suministrada por la empresa concesionaria de distribución eléctrica (Hidrandina S.A.), de tal manera que cuando existen cortes de energía la empresa manufacturera debe paralizar sus labores productivas pues no cuenta con otra fuente de energía alternativa para generar calor. El principal problema sucede cuando los cortes de energía son intempestivos pues el plástico calentado queda atrapado en la maquinaria de extrusión.

Una alternativa a la generación de calor es diseñar un sistema de calentamiento utilizando gas natural el cual será suministrado por el consorcio Gases del Pacífico, quien tiene la concesión en la ciudad de Trujillo, de esta manera se pretende evitar paradas de producción por falta de energía para el sistema de calentamiento. Si bien la empresa cuenta con generadores eléctricos, estos sirven para accionar las máquinas y remover el plástico atrapado mediante un proceso que se le denomina purga, lo cual se traduce en pérdidas económicas para la empresa.

## **1.2. Trabajos previos**

Se revisó el trabajo de Cruz, Gloria (2014), quien titula a su investigación “Una revisión de sistemas de calentamiento y control de temperatura para extrusión de polímeros” publicada en la revista Cintex de la Institución Universitaria Pascual Bravo, Vol. 19, Colombia. Plantea que La conversión a gas puede permitir una disminución en el costo energético de 60% en procesos de extrusión de plástico esto comparado con el consumo de energía eléctrica.

Este artículo presenta una revisión sobre iniciativas relacionadas con: calentamiento a gas del barril de extrusión, otros sistemas de calentamiento, modelado y simulación de perfiles de temperatura utilizando el software ANSYS, procesamiento de polímeros, influencia de la temperatura de fusión en el producto extruido y control de temperatura. Concluye además que el calentamiento a gas es más eficiente que el calentamiento por resistencias eléctricas para este proceso, y hace hincapié en el desarrollo de un modelo de control de temperatura para el nuevo sistema.

Además, concluye que el sistema de calentamiento a gas ocasiona cerca de 12 veces menos pérdidas en el transporte de energía por cada kW-hora utilizado en el procesamiento de plástico, comparado con los sistemas que utilizan energía eléctrica; adicionalmente, permite ahorro en el costo energético porque consume menos energía en el arranque, en virtud de la transferencia de calor por convección de los gases de combustión.

La autora hace referencia a la dificultad en la solución analítica de las ecuaciones que rigen los fenómenos de transporte en el proceso de extrusión crea la necesidad de aplicar modelos predictivos de programación liviana o de sintonización de los parámetros de control proporcional, integral y derivativo (PID). Concluye también que una importante causa de error en la validación experimental de estos modelos está relacionada con la selección y calibración de los sensores. Se deben considerar los sensores no invasivos, los cuales son los más utilizados en la industria del plástico, no tienen contacto directo con el fluido, en este caso el polímero fundido, y tienden a registrar la temperatura del barril en vez de la temperatura de proceso (Cruz, 2014).

Por otra parte, Moscoso, Byron y Ualli, Luis (2008), en su tesis denominada “Diseño y construcción de un sistema de calentamiento a gas para la fabricación de planchas techoluz” realizada para obtener el título profesional de Ingenieros Mecánicos; en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Los investigadores proponen utilizar gas licuado de petróleo (GLP) en remplazo de energía eléctrica para el sistema de calentamiento en el barril de la extrusora con la finalidad de construir un sistema de calentamiento a gas para la fabricación de planchas de polipropileno para la empresa Tubasec C.A.

La investigación es de tipo experimental y como punto de partida los investigadores toman las condiciones actuales del proceso del polipropileno el cual es calentado hasta una temperatura de 180 °C con resistencias eléctricas las cuales disipan 16.2 kW de energía calorífica, también realizan el cálculo del calor necesario para fundir 120kg/h de polipropileno el cual es 12.9 kW. Para la potencia de diseño del nuevo sistema de calentamiento utilizan un factor de seguridad de 1.3 teniendo como potencia calorífica de diseño 16.75 kW. Además nos dicen que debido a la continuidad de operación de la planta industrial los costos en energía eléctrica disipados en el sistema de calentamiento por resistencias eléctricas son elevados.

Los investigadores establecieron una temperatura de 300 °C para el diseño del nuevo sistema de calentamiento usando GLP en el barril de extrusión la cual es necesaria para fundir el polipropileno con variaciones de 5 °C,

También calcularon la cantidad de aire necesario para que la combustión del GLP se realice de acuerdo a sus requerimientos y concluyen que por cada kilogramo de GLP se necesita 17.9 kg de aire y que para obtener el calor requerido el flujo de combustible necesario es de 1.32 kg/h y el flujo de aire de 23.62 kg/h.

Los investigadores Realizaron el diseño y posteriormente construyeron el sistema de calentamiento teniendo como base para el diseño de la cámara de combustión el espacio físico disponible en la máquina extrusora.

Los investigadores además compararon los costos de consumo de energía eléctrica y GLP, teniendo como resultado que en energía eléctrica se gasta en las 1909.4 USD por año y 667.42 USD usando GLP (Moscoso y Gualli, 2008).

### 1.3. Teorías relacionadas al tema

#### 1.3.1. Los plásticos.

Son aquellos polímeros orgánicos a los cuales se les puede moldear, pueden ser de origen natural o sintético, los segundos se obtienen en laboratorios o mediante procesos industriales a partir del petróleo o gas natural. El proceso de obtención de polímeros se llama polimerización. Ambos polímeros, naturales y sintéticos están formados por la unión de decenas o cientos de miles de monómeros a lo largo de su estructura química (Soto, 2001).

Según su comportamiento frente al calor se los clasifica en termoestables y en termoplásticos.

Son Termoestables si por acción del aumento de la temperatura fortalecen sus enlaces químicos, no se les puede volver a moldear pues son infusibles e insolubles, A un polímero al cual no se le ha agregado alguna otra sustancia como aditivos se les conoce como Resina (Morales, 2010).

Son Termoplásticos aquellos que por acción del incremento de la temperatura se les puede moldear bajo presión y una vez enfriados volver a realizar el proceso, pertenecen a este grupo el PVC y el HDPE (Budynas, y otros, 2012). Se muestran algunas propiedades de los polímeros en la tabla 1.1.

Tabla 1.1: Propiedades comunes de los polímeros. (Beltrán, y otros, 2012)

Material	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Conductividad eléctrica(S)	Conductividad térmica (W/m.K)
PE	0.9 - 1.0	---	0.32 – 0.4
PC	1.0 - 1.2	---	---
PVC	1.2 – 1.4	10 <sup>-15</sup>	---
ACERO	7.8	5.6	17.5
ALUMINIO	2.7	38.5	211
AIRE	---	---	0.05

### a. El Policloruro de vinilo (PVC)

Es un polímero resistente al impacto, químicos y no inflamable, se degrada por acción de los rayos solares y el calor por lo que en su composición se le agrega estabilizantes y antioxidantes como jabones de bario, cadmio y aceites epoxidados. Se tiene dos tipos (Lafuente, y otros, 1997).

Algunas de las propiedades térmicas del PVC se muestran en la tabla 1.2.

- El PVC no Plastificado (PVC – U). Utilizado en la extrusión de tubería para diferentes usos. densidad 1380 kg/m<sup>3</sup>.
- El PVC plastificado, para muebles, juguetes, etc.

Tabla 1.2: Propiedades del PVC-U.(Goodfellow, 2017)

Propiedades térmicas	
Calor Específico (J/kg.K)	100 - 1500
Conductividad Térmica (W/m.K)	0.12 - 0.25
Temperatura máxima de utilización (°C)	50 - 75
Temperatura mínima de utilización (°C)	-30

### b. El polietileno de alta densidad (HDPE).

Es un polímero que posee alto grado de cristalinidad y su temperatura de fusión es alrededor de 135 °C, su densidad es del orden de 0.96 gr/cm<sup>3</sup>, tiene mayor resistencia a la tracción y dureza que el polietileno de baja densidad (Bilurbina, y otros, 1990). A continuación, en la tabla 1.3 se muestran algunas propiedades.

Tabla 1.3: Propiedades del HDPE.( Goodfellow, 2017)

Propiedades térmicas	
Calor Específico (J/kg.K)	1900
Conductividad Térmica (W/m.K)	0.45 - 0.52
Temperatura máxima de utilización (°C)	55 - 120

### **c. Aditivos.**

La resina base es quien le dará al plástico sus propiedades o características tanto físicas como químicas. Con el objetivo de mejorar o modificar dichas propiedades es que se incorporan Aditivos. Este proceso se realiza en una etapa denominada formulación. Entre los principales aditivos tenemos: Lubricantes, antioxidantes, estabilizantes, desmoldantes, pigmentos, plastificantes, retardantes de flama, absorbentes de luz ultravioleta, materiales reforzantes, entre otros.

#### **1.3.2. Procesos de moldeo de los plásticos**

Para diseñar y realizar el proceso de moldeo de los polímeros los ingenieros han utilizado principios concernientes a la Termodinámica, Mecánica de fluidos y la Transferencia de calor y masa. (Moran, y otros, 2004).

El plástico se moldea mediante diferentes procesos, entre los principales procesos tenemos:

- Compresión
- Inyección
- Extrusión
- Por generación de vacío
- Por introducción de aire

#### **1.3.3. Extrusión de plásticos**

La palabra extruir deriva de la unión de las palabras latinas Ex (afuera) y trudere (Empujar). Este proceso no es nuevo pues fue Arquímedes quien construyó el primer extrusor usado para drenar agua de un río. La extrusión es uno de los procesos para transformar plásticos más usados en el mundo de régimen continuo. (Morales, 2010).

También se entiende por extrusión de un material a la operación de transformación en la cual la materia prima fundida mediante presión atraviesa una boquilla para transformarse en un objeto de sección transversal constante de longitud infinita. Se debe aclarar que no solamente los plásticos utilizan este proceso de transformación sino también es usado para por la industria alimentaria (pastas o fideos), para producir marcos de ventanas de aluminio o PVC, etc. (Beltrán, y otros, 2012).

El proceso de extrusión se realiza en una línea de extrusión de tubería. El proceso de fabricación de tubería empieza con la preparación del formulado que es la mezcla de la resina plástica con los diferentes aditivos los cuales servirán para darle diferentes propiedades a la tubería. Esta mezcla es introducida en la tolva de la extrusora, posteriormente el compuesto es atrapado por el husillo o eje sinfín y empujado a lo largo del cilindro en el cual el calor proveniente de las resistencias eléctricas colocadas como abrazaderas a lo largo del cilindro junto con el calor generado por el rozamiento y la presión es que el compuesto se derrite. Una vez fundido el compuesto, pasa por el cabezal y boquilla en donde adquirirá su forma de tubería para posteriormente ser enfriada, cortada, acampanada, rotulada y almacenada o vendida. Adicionalmente una máquina se encarga de “jalar” la tubería, esta debe direccionar y estar sincronizada con la velocidad de extrusión, además debe sujetar la tubería. En la figura 1.1 se muestra un esquema representativo de una línea de extrusión de tubería plástica.

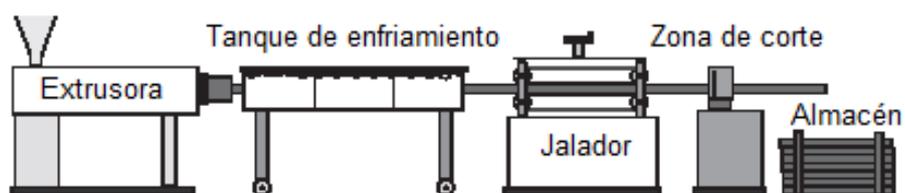


Figura 1.1: Línea de extrusión de tubería plástica (Giles, y otros, 2005)

#### 1.3.4. Partes de una extrusora.

Son descritas por Morales (2010) y se muestra un esquema completo en la figura 1.2.

##### a. Tolva.

Es el depósito donde se coloca la materia prima y sirve para alimentar de manera continua a la extrusora.

##### b. Cilindro o barril

Es la pieza central de la extrusora pues es en su interior donde el plástico es derretido, en el interior del cilindro se encuentra alojado el husillo, el cual gira y comprime, mezcla y aporta por presión calor al proceso de extrusión. El calor aportado por presión es alrededor del 20% del calor total.

El cilindro debe estar fabricado de un material altamente resistente al desgaste y la corrosión, tiene orificios para enfriamiento ya sea por aire o agua además de una chimenea por donde se extraen los vapores. Además Savgorodny señala que los cilindros deberán soportar presiones de hasta 700Kg/cm<sup>2</sup> y temperaturas de hasta 400 °C.

#### **c. Sistema de enfriamiento del cilindro**

Para limitar el sobrecalentamiento del cilindro existe un control del mismo por medio de termocuplas las cuales se encargan de controlar las resistencias eléctricas a fin que operen a una temperatura programada. Las termocuplas a su vez activan ventiladores cuando la temperatura supera el punto requerido.

#### **d. Sistema de calentamiento del cilindro**

Por lo general se realiza mediante resistencias eléctricas las cuales están dispuestas a manera de abrazaderas a lo largo del cilindro. Según Rauwendaa (1974) para fundir la resina el calentamiento debe ser a razón de 38750 a 77500 W/m<sup>2</sup>.

#### **e. El husillo**

Es quien se encargará de transportar y empujar la resina atreves del cilindro, el dimensionamiento del husillo está en función de la boquilla empleada, las propiedades térmicas del polímero de la densidad de la resina, viscosidad, comportamiento reológico, etc. Una extrusora puede trabajar hasta 350 kg/cm<sup>2</sup> de presión. Existe una relación entre el diámetro y la longitud del husillo la cual es 20/1, 24/1 y hasta 30/1.

Los diámetros comúnmente usados varían desde 19.5 mm a 609.6 mm. Trabajan a diferentes velocidades dependiendo de la cantidad de materia prima a extruir y el tipo. El husillo presenta tres Zonas: de transporte, de comprensión y dosificación.

#### **f. Cabezal**

Es la parte final de la extrusora, está formada por dos placas: una fija al cañón y otra móvil en la que se coloca la placa rompedora, la que impedirá que el plástico retome su forma inicial y adopte la forma del molde.

### g. Moto reductor

Es el mecanismo de transmisión de potencia, el cual permite girar al husillo en un rango de velocidad adecuado. El moto reductor está conformado por un conjunto de engranajes.

Hanson (2004) recomienda tener en cuenta las siguientes especificaciones para elegir una extrusora. Se muestra la representación de una máquina extrusora en la figura 1.2.

- El tipo de la resina a procesar
- Propósito final de la extrusora
- Requerimientos de alimentación
- Elementos complementarios del proceso de extrusión
- Identificación de equipos auxiliares para el manejo de la materia prima
- Especificaciones de las fuentes de alimentación de potencia
- Información de los estándares de la planta industrial.

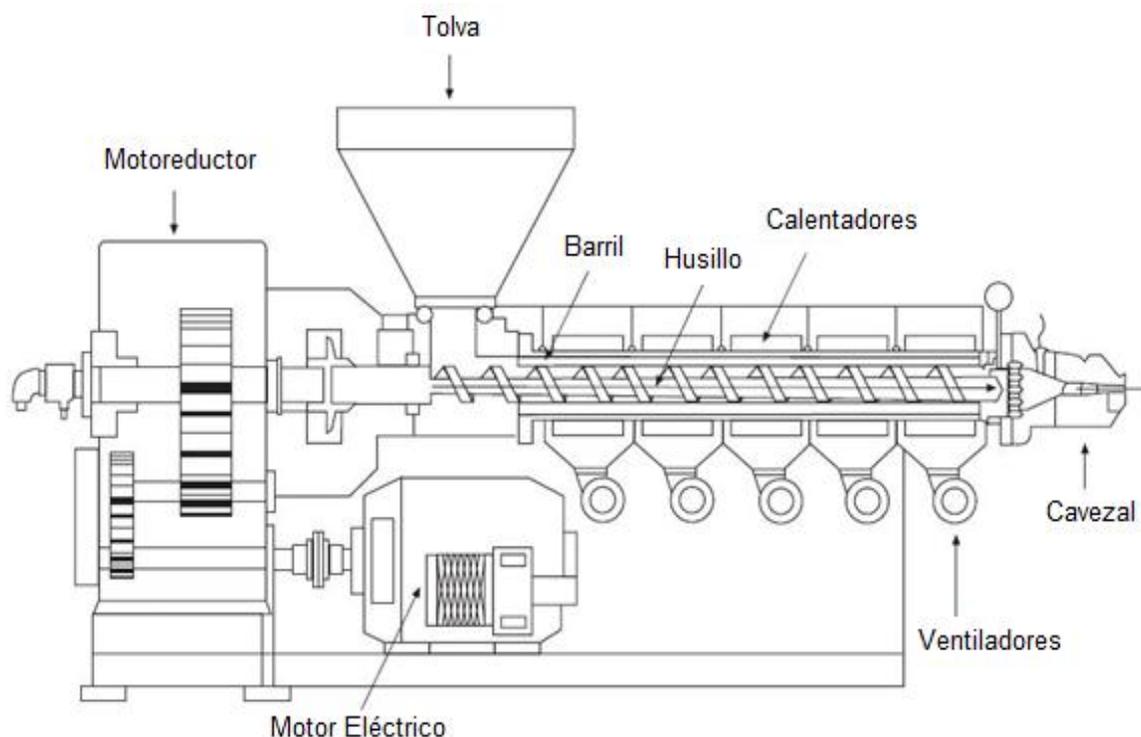


Figura 1.2: Partes de una máquina Extrusora (Giles, y otros, 2005)

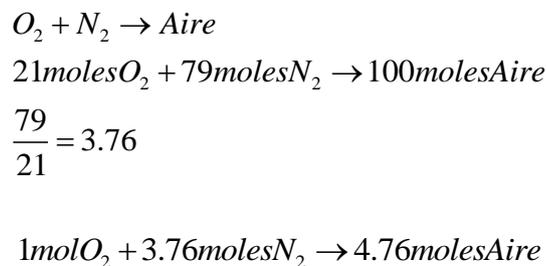
### 1.3.5. Combustión del gas natural

Es un proceso mediante el cual el gas natural reacciona con el oxígeno, generando calor. La reacción de combustión se resume de la siguiente manera:

Combustible (gas natural) + Comburente (aire) = Productos de combustión

La mínima cantidad de aire que se necesita para suministrar la cantidad necesaria de oxígeno para que se realice una combustión completa se le denomina aire teórico. En la realidad el proceso de combustión se realiza con un porcentaje de aire en exceso (Moran, y otros, 2004).

La composición del aire es de 21 % de Oxígeno y 79 % de Nitrógeno, por consiguiente:



La combustión es completa en el caso de los hidrocarburos cuando el carbono, el hidrógeno y el azufre luego de la combustión forman dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), agua (H<sub>2</sub>O) y dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), de no cumplirse lo expresado anteriormente, se llama combustión incompleta (Moran, y otros, 2004).

El proceso de combustión debe ser controlado de tal modo que se obtenga una producción de calor estable para ser transmitida al consumidor. En el proceso se debe suministrar una cantidad exacta de aire por masa de conocida también como la relación aire combustible (R<sub>aire-cble</sub> o también AC) para que se realice una combustión completa (Gafferet, 1981)

$$R_{\text{aire-cble}} = \frac{\dot{m}_{\text{aire}}}{\dot{m}_{\text{cble}}} \quad (1.1)$$

$$AC = \frac{m_{\text{aire}}}{m_{\text{cble}}} \quad (1.2)$$

- Por el número de moles moles la relación aire combustible ( $\overline{AC}$ ) es :

$$\overline{AC} = \frac{\#moles_{aire}}{\#moles_{cble}} \quad (1.3)$$

Esta relación se puede escribir en base molar (moles de aire sobre moles de combustible) o másica (masa de aire sobre masa de combustible). La transformación entre estos valores se hace utilizando las masas atómicas del aire ( $m_{aire}$ ) y del combustible ( $m_{cble}$ ) (Moran, y otros, 2004).

$$AC = \overline{AC} \frac{M_{aire}}{M_{cble}} \quad (1.4)$$

$$\frac{masa_{aire}}{masa_{cble}} = \frac{moles_{aire} \cdot M_{aire}}{moles_{cble} \cdot M_{cble}} \quad (1.5)$$

$M_{aire}$  y  $M_{cble}$  son el peso molecular del aire y el combustible respectivamente.

#### a. El gas natural

El gas natural es un combustible gaseoso resultado de la descomposición anaerobia de sustancias orgánicas y es una mezcla de hidrocarburos donde su principal componente es el gas metano (CH<sub>4</sub>) (Barbierii, 1998).

El gas natural posee determinadas propiedades térmicas las cuales se muestran en la tabla 1.4. Además, presenta algunas de sus características importantes como son:

- Es limpio, pues al quemarse no produce residuos como hollín, eliminando el mantenimiento de los equipos para este aspecto.
- La presión en el centro de consumo es manejable por el usuario de acuerdo a 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 mucho menos contaminante del ambiente en comparación con los otros combustibles.
- Impurezas: helio, oxígeno, vapor de agua, sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S)

### b. Propiedades y comportamiento gas natural.

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 (Perez, y otros, 1994)

Tabla 1.4: Propiedades del GN.(OSINERGMIN, 2016)

Densidad relativa	0,65
Poder calorífico superior	9679.73 kcal/m <sup>3</sup>
Poder calorífico inferior	9200 kcal/m <sup>3</sup>
C <sub>p</sub> (presión Cte)	8,57 cal/mol.°C
C <sub>v</sub> (volumen Cte)	6,56 cal/mol.°C

### c. Composición del gas natural.

En el Perú el gas natural que se comercializa está compuesto por metano (CH<sub>4</sub>) y la mezcla de otros hidrocarburos y gases, el metano representa el 95% de la mezcla. Los gases producto de la combustión del gas natural no representan daño significativo al medio ambiente, ya que contiene menos dióxido de carbono y produce menores emisiones a la atmósfera (Osinermin, 2014).

### d. Combustión del metano.

- Ecuación estequiométrica de la combustión del metano Para 100% de aire teórico:



- Ecuación estequiométrica de la combustión del metano con exceso de aire:



- Donde  $\lambda$  es el coeficiente de exceso de aire y relaciona a la masa de aire real con la masa de aire teórica. En la tabla 1.5 se muestran porcentajes de exceso de aire para algunos combustibles.

$$\lambda = \frac{\dot{m}_{A.real}}{\dot{m}_{A.teórico}} \quad (1.8)$$

- Reemplazando en la ecuación (1.1)

$$R_{aire-cble} = \frac{\lambda \cdot \dot{m}_{A.teórico}}{\dot{m}_{cble}} \quad (1.9)$$

Tabla 1.5: Valores típicos de exceso de aire (toolbox, 2017)

Combustible	Exceso de aire (%)
Antracita	40
Gas natural	5 – 10
Carbón fogonero	20 – 30
Carbón pulverizado	15 – 20
Petróleo (Nº2 y Nº6)	10 - 20

El exceso de aire no debe ser elevado pues significaría que el aire absorbería parte del calor generado en la combustión, así mismo cuando el aire ingresa a la cámara de combustión pre-calentado la temperatura de la llama se incrementa lo cual significa ahorro de combustible.

A fin de evitar la formación de gases inquemados se suele operar los quemadores a gas con un exceso de aire del 15 % (Análisis teórico de la combustión en quemadores de gas natural, 2005).

#### e. Balance de masa durante el proceso de combustión.

En un sistema estacionario el flujo de masa de ingreso y salida del volumen de control es el mismo, es decir la masa de aire y combustible en teoría debe ser igual a la masa de los gases producto de la combustión o gases de escape tal como se aprecia en la figura 1.3.

$$\dot{m}_{entrada} = \dot{m}_{salida} = \dot{m} \quad (1.10)$$

La transferencia neta de masa desde o hacia un volumen control (VC) durante un intervalo de tiempo ( $\Delta T$ ) es igual al aumento o disminución en la masa total durante el intervalo de tiempo. (Cengel, y otros, 2015)

Es decir:

$$\left( \text{Masa total que entra} \right)_{\text{al VC durante } \Delta t} - \left( \text{Masa total que sale} \right)_{\text{del VC durante } \Delta t} = \left( \text{Cambio neto de masa} \right)_{\text{dentro del VC durante } \Delta t}$$

$$(\dot{m}_{aire} + \dot{m}_{Cble}) - \dot{m}_{gases\ de\ escape} = \frac{dm_{VC}}{dt} \quad (1.11)$$

$$\dot{m}_{Cble} + \dot{m}_{Aire} = \dot{m}_{gases\ de\ escape} \quad (1.12)$$

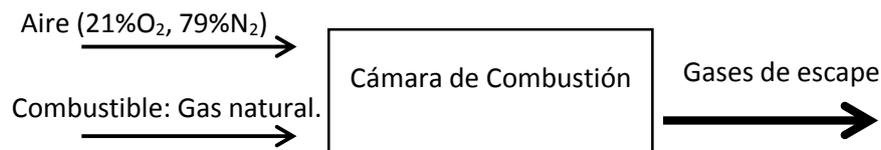


Figura 1.3: Representación de una cámara de combustión  
Fuente: Elaboración propia

Así como existe una relación entre la masa de aire y la masa de combustible, de la misma manera se puede establecer una relación entre la masa de los gases producto de la combustión y el combustible.

$$R_{g.c-cble} = \frac{\dot{m}_{g.c}}{\dot{m}_{cble}} \quad (1.13)$$

Si a cada miembro de la ecuación (1.12) dividimos por el flujo de masa del combustible obtendremos:

$$R_{g.c-cble} = 1 + R_{aire-Cble} \quad (1.14)$$

#### f. Balance de energía

La primera ley de la termodinámica se encarga de establecer las relaciones existentes entre las distintas formas de energía ya sea calor (Q), trabajo (W) o la energía total (E) y establece que “durante un proceso la energía no se puede crear ni destruir; sólo cambiar de forma”. (Cengel, y otros, 2015)

$$\dot{E}_{entrada} = \dot{E}_{salida} \quad (1.15)$$

$$\dot{Q}_{Cble} + \dot{Q}_{Aire} = \dot{Q}_{gases\ de\ escape} \quad (1.16)$$

Si no se tiene interacciones de trabajo el balance de energía será:

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot \Delta h = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T \quad (1.17)$$

Donde:

- $\dot{Q}$ : razón de transferencia de calor (kJ/s)
- $C_p$ : calor específico a presión constante. (J/kg.K)
- $\Delta h$ : diferencia de entalpías (kJ/kg)
- $\Delta T$ : diferencia de temperaturas. (K)

#### g. Balance térmico.

La energía que entra al sistema en la práctica debe ser igual a la energía útil más las pérdidas (Holman, 1998).

$$\dot{Q}_{total} = \dot{Q}_{útil} + \dot{Q}_{perdido} \quad (1.18)$$

### 1.3.6. Sistemas de calentamiento.

#### a. Calentamiento por resistencias eléctricas.

James Joule estudió la relación entre la potencia y la corriente eléctrica dando como resultado el enunciado de una ley que lleva su nombre. La ley de Joule nos dice 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” (Kern, 1987).

$$P = I^2 \cdot R \quad (1.19)$$

Donde:

- $P$  : calor (Watt)
- $I$  : intensidad de corriente (Amper)
- $R$  : resistencia eléctrica ( $\Omega$ )

La resistencia en un metal se puede expresar mediante la ley de Ohm (Harper, 2003).

$$R = \frac{V}{I} \quad (1.20)$$

Donde:

- $V$ : voltaje (V)

Por lo tanto podemos deducir que:

$$P = I^2 \cdot R = I^2 \cdot \frac{V}{I} = I \cdot V$$

(1.21)

- El costo de la energía eléctrica es igual a la potencia por unidad de tiempo y por el costo unitario de la energía eléctrica.

$$\text{Costo} = P \cdot t \cdot C_{unit.} \quad (1.22)$$

El mecanismo de transmisión del calor ocurre cuando existe diferencia de temperatura y la transmisión del calor es del elemento que tiene mayor temperatura hacia el o los elementos con menor temperatura. En las resistencias eléctricas la transmisión del calor hacia el barril se da por el mecanismo de conducción.

La pérdida de calor ( $Q_x$ ) se calcula haciendo uso de la ley de Fourier (Incropera, y otros, 1999).

$$Q_x = -k.A.\frac{\Delta T}{L} [W] \quad (1.23)$$

Donde:

- L: espesor de una pared plana (m)
- $\Delta T$ : variación de la temperatura ( $^{\circ}C$ )
- A: área ( $m^2$ )
- K: conductividad térmica del material (W/m.K)

En paredes cilíndricas (Cengel, 2007):

$$Q_{Cond.cil} = 2.\pi.L.k \frac{\Delta T}{\ln(r_2 / r_1)} \quad (1.24)$$

$r_2$  y  $r_1$ : radio mayor y menor del cilindro respectivamente (m)

## b. Quemadores.

Es un dispositivo en el cual el combustible y el aire son mezclados para que la combustión se efectúe. La potencia del quemador se da por el PCI del combustible y la masa del mismo (Jutglar, y otros, 2012).

$$\dot{Q} = \dot{m}_{Cble} (PCI + Cp.T_{cble}) \quad (1.25)$$

Donde:

- PCI: Poder calorífico inferior del combustible (kJ/kg)
- $C_p$  : calor específico del combustible
- $T_{cble}$ : temperatura del combustible

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. 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 (Incropera, y otros, 1999).

La velocidad de transferencia de energía se calcula mediante una ecuación conocida como la ley de Newton del enfriamiento (Cengel, 2007).

$$Q_c = h.A(T_s - T_\infty) \quad (1.26)$$

Donde:

- h: coeficiente de transferencia de calor (W/m<sup>2</sup>.°C)
- A: área (m<sup>2</sup>)
- T<sub>s</sub>: temperatura de la superficie (°C)
- T<sub>∞</sub>: Temperatura del fluido (°C)

- **El coeficiente de transferencia de calor (h)**

Se puede definir como la razón de la transferencia de calor entre una superficie sólida y un fluido por unidad de área y por unidad de diferencia en la temperatura.

En general, el coeficiente de transferencia de calor por convección varía a lo largo de la dirección del flujo. En esos casos, el coeficiente promedio o medio de transferencia de calor por convección para una superficie se determina al promediar de manera adecuada los coeficientes locales sobre toda esa superficie.

$$h = \frac{K.Nu}{D} \quad (1.27)$$

Donde:

- h: coeficiente de transmisión por convección (W/m.°C)
- K: conductividad térmica del material (W/m.K)
- Nu: número de Nusselt
- D: Diámetro (en caso la superficie sea cilíndrica)

Para el cálculo del coeficiente de transferencia de calor y con el fin de reducir variables es necesario conocer los siguientes números adimensionales (Cengel, y otros, 2015):

- **Número de Grashof ( $Gr_L$ ).**

Representa la razón entre la fuerza de flotabilidad y la viscosa del fluido.

$$Gr_L = \frac{g \cdot \beta (T_s - T_\infty) L_c^3}{\nu^2} \quad (1.28)$$

Donde:

- $\nu$ : viscosidad cinemática del fluido (m<sup>2</sup>/s)
- $L_c$ : longitud característica de la configuración geométrica (m)
- $g$ : aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>)
- $\beta$ : coeficiente de expansión volumétrica = 1/K ( $\beta = 1/T_f$ )
- $T_s$ : temperatura de la superficie (°C)
- $T_\infty$ : temperatura del fluido suficientemente lejos de la superficie (°C)
- $L_c$ : longitud característica

- **Número de Reynolds (Re).**

Es un número adimensional y es la razón de las fuerzas de inercia a las fuerzas viscosas en el fluido. Determina el tipo de flujo.

$$Re = \frac{Fuerzas_{deinercia}}{Fuerzas_{viscosas}} = \frac{V \cdot D}{\nu} = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu} \quad (1.29)$$

Donde:

- $\nu$ : viscosidad cinemática del fluido
- $L_c$ : longitud característica de la configuración geométrica (m)
- $V$ : velocidad del fluido (m/s)
- $\rho$ : densidad (kg/m<sup>3</sup>)
- $\mu$ : viscosidad (Pa/s)
- $L_c$ : longitud característica
- $D$ : diámetro

Se llama flujo laminar si el número de Reynolds es  $\leq 2100$

- **Número de Nusselt (Nu)**

Para cilindros horizontales aplicando la expresión de Churchill y Cho.

$$Nu = \left( 0.6 + \frac{0.387.Ra^{1/6}}{\left( 1 + \left( \frac{0.559}{Pr} \right)^{9/16} \right)^{8/27}} \right)^2 \quad (1.30)$$

- **Número de Prandtl (Pr).**

$$Pr = \frac{v}{\alpha} = \frac{\mu.C_p}{k} \quad (1.31)$$

- **Número de Nusselt (Nu)**

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.4} \quad (1.32)$$

- **Número de Rayleigh (Ra).**

$$Ra = Pr.Gr = \frac{g.\beta(T_s - T_\infty)L_c^3}{v^2}.Pr \quad (1.33)$$

- **Temperatura media de la película:**

Se usa cuando las que la variación de la temperatura de la película y el medio circundante libre son apreciables (Holman, 1998) :

$$T_f = \frac{T_s - T_\infty}{2} \quad (1.34)$$

**c. Transmisión del calor por radiación**

se transmite mediante ondas electromagnéticas y se puede propagar en el vacío, los sólidos, gases y líquidos transmiten, emiten y absorben este tipo de radiación en diferentes grados. La velocidad con la que se libera energía por unidad de área

(E) en W/m<sup>2</sup> es emitida se calcula mediante la forma modificada de la ley de Stefan-Boltzmann (Incropera, y otros, 1999).

$$E = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T_s^4 \quad (1.35)$$

Donde:

- $T_s$ : Temperatura de la Superficie (K)
- $\varepsilon$ : Emisividad de la superficie (con valores en el rango de  $0 \leq \varepsilon \leq 1$ )
- $\sigma$ : constante de Stefan-Boltzmann ( $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$ )

Cengel (2015) manifiesta que cuando se tiene una superficie de emisividad  $\varepsilon$  y un área superficial  $A_s$  a temperatura  $T_s$  encerrada completamente por una superficie mayor a temperatura  $T_\infty$  y el fluido es un gas, aire por ejemplo, se puede usar:

$$\dot{Q}_{rad} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A_s (T_s^4 - T_\infty^4) \quad (1.36)$$

### 1.3.7. Aislantes térmicos.

Sus principales componentes son materiales de baja conductividad térmica (K), la conductividad térmica se compone de la migración de electrones libres ( $K_e$ ) y la vibración de la estructura cristalina ( $K_i$ ). K resulta ser la suma de  $K_e$  y  $K_i$  (Incropera, y otros, 1999).

- **En paredes cilíndricas la resistencia a la conducción y a la convección será:**

- A la conducción:

$$R_{cond.} = \frac{\ln(r_2 / r_1)}{2 \cdot \pi \cdot L \cdot K} \quad (1.37)$$

- A la convección:

$$R_{cov.} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot r \cdot L \cdot h} \quad (1.38)$$

La resistencia térmica total ( $R_T$ ) es la suma de todas las resistencias.

- En paredes cilíndricas la velocidad del aire ( $V$ ) se calcula con la siguiente ecuación:

$$V = \frac{\dot{m}_{aire}}{\rho \cdot Ac} \quad (1.39)$$

Donde:

- $\dot{m}_{aire}$ : flujo másico del aire (kg/h)
- $\rho$ : densidad del aire (kg/m<sup>3</sup>)
- $Ac$ : área de la sección transversal (m<sup>2</sup>)

### 1.3.8. Resistencia térmica (R).

Existe analogía entre la difusión de calor y la carga eléctrica, es decir, así como la resistencia eléctrica se opone al paso de la corriente eléctrica ( $R_e$ ). De igual forma la resistencia térmica se opone a la difusión del calor y esta puede ser por conducción, convección o radiación y varía de la geometría del medio por el que se trasfiere el calor (Incropera, y otros, 1999). A continuación, en la figura 1.8 se muestra una comparación gráfica de ambos tipos de resistencias.

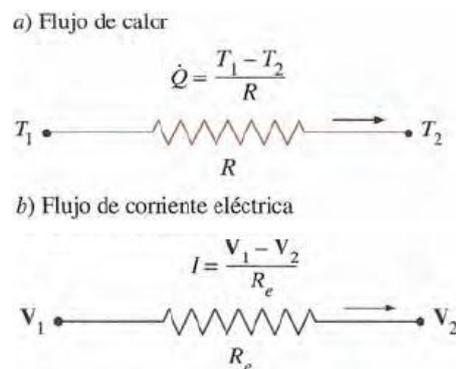


Figura 1.8: Analogía entre resistencia térmica y eléctrica (Cengel, y otros, 2015)

### 1.3.9. Sistema de control de temperatura.

Es el sistema encargado de que el calor generado por el sistema de calentamiento tenga una temperatura estable a fin de que el proceso de calentamiento del plástico sea óptimo. El sistema de control de temperatura está conformado por:

### **a. Controlador lógico programable (PLC).**

Es un dispositivo electrónico programable y se utiliza en la industria para controlar de manera lógica en un lenguaje específico y en tiempo real el funcionamiento de máquinas o procesos. La realización del circuito

### **b. Controlador de temperatura.**

El sensor de temperatura como un termopar es conectado al controlador, el cual compara la temperatura real con la temperatura de control deseada o set point. El controlador también conocido como pirómetro, tiene una salida a un elemento de control, el cual puede ser un contactor en caso los calefactores fuesen resistencias eléctricas o electroválvulas si el sistema de calentamiento fuese con quemadores a gas. Para seleccionar un controlador se tiene en cuenta:

- Tipo de sensor de entrada y rango de temperatura
- Tipo de salida requerida (relé electromecánico, salida analógica)
- Algoritmo de control necesario (encendido / apagado, control proporcional, controlador PID)

El controlador de temperatura encendido/apagado es también conocido como on/off, es la forma de control de temperatura más básica pues la salida del regulador es apagada o encendida sin pasar por un estado intermedio. El cambio se realiza cuando se sobrepasa la temperatura requerida. En un sistema de calentamiento la salida del controlador se acciona cuando la temperatura está por debajo de la requerida y se apaga cuando está sobre el mismo punto (Omega, 2017).

### **c. Termopar**

Es un dispositivo que transforma una magnitud física en una eléctrica. Consta de dos conductores eléctricos metálicos unidos por los extremos y cuyas juntas están a diferente temperatura lo cual genera una diferencia de potencial. La diferencia de potencial depende del tipo de metales y la diferencia de temperatura. La unión de los dos metales forma un par termoeléctrico y la diferencia de potencial o fem (fuerza electromotriz) se denomina fem de Seebeck en honor al investigador que descubrió el fenómeno. Existen diferentes tipos de termopares, los cuales se

muestran en la tabla 1.6, cada uno de ellos tiene características propias como son: sensibilidad, rango, nivel de temperatura, etc (Acevedo, 2003).

Tabla 1.6: Tipos de termopares (Acevedo, 2003).

Tipo de termopar	Materiales	Rango normal
J	Hierro – Constantan	-190 °C a 760 °C
T	Cobre – constantan Cobre – (Cobre – Níquel)	-200 °C a 370 °C
K	Cromel – Alumel (Cromo – Níquel) – (Aluminio – Níquel)	-190 °C a 1260 °C
E	Cromel – constantan	-100 °C a 1260 °C
S	(90% Platino+10%Rodio) – Platino	0 °C a 1480 °C
R	87% Platino+13%Rodio) - Platino	0 °C a 1480 °C

#### d. Electroválvulas

Las electroválvulas o válvulas solenoides son dispositivos diseñados para controlar el flujo (ON-OFF) de un fluido como agua, aire, gas combustible, vapor, etc.

#### 1.3.10. Instalación industrial interna de gas natural.

La red interna de distribución de gas natural se dimensionará únicamente para la extrusora tomada como muestra y estará constituida por tubería, válvulas reguladoras, accesorios, entre otros. La función de esta red es la de suministrar el combustible a los quemadores ubicados en la máquina extrusora.

El sistema de tuberías interna para gas natural seco se realiza en base a las normas técnicas peruanas *NTP* 111.010 y 111.011, en las cuales se especifica la metodología de cálculo y dimensionamiento de redes de gas natural interior y recomiendan que para realizar el dimensionamiento de la red en tubería se puede utilizar diferentes materiales ya sea acero, polietileno o cobre dependiendo de las características propias de la instalación, condiciones ambientales o aspectos que el diseñador tenga a bien considerar.

Aspectos a tener en cuenta:

- Demanda de gas requerida
- Demanda de gas proyectada.

- Longitud de la tubería y cantidad de accesorios
- Gravedad específica y poder calorífico del gas natural seco
- Caída de presión permitida entre el punto de suministro y equipos de consumo.
- Caída de presión permitida entre el punto de suministro y los equipos de consumo.
- Velocidad permisible del gas
- Diámetro interior de la Tubería de distribución (D) y accesorios.
- Velocidad de circulación del gas natural (V).

**a. Caída de presión ( $\Delta P$ ) permitida entre el punto de suministro y los equipos de consumo. Tenemos las fórmulas de Renouard:**

- Cuando la presión (P) es mayor a 100 mbar, válida para  $C/D < 150$ :

$$P_A^2 - P_B^2 = 48600 \cdot s \cdot L \cdot \frac{C^{1.82}}{D^{4.82}} \quad (1.40)$$

- Cuando la presión (P) es menor a 100 mbar:

$$\Delta P = 22759 \cdot s \cdot L \cdot \frac{C^{1.82}}{D^{4.82}} \quad (1.41)$$

Donde:

- PA y PB: caída de presión relativa (kg/cm<sup>2</sup>)
- $\Delta P$ : caída de presión (mbar)
- C: caudal (m<sup>3</sup>/h)
- D: diámetro (mm)
- s: densidad relativa del gas
- L: longitud de la tubería y equivalente de accesorios (m)

**b. Diámetro interior de la tubería de distribución (D) y accesorios.**

Para calcular el diámetro interior de la tubería se utilizará la siguiente fórmula:

$$D = \left( \frac{(23.200 \cdot s \cdot L \cdot C^{1.82})}{\Delta P} \right)^{0.2075} \quad (1.42)$$

Donde:

- $L_{eq}$ : longitud equivalente (m).
- D: diámetro interior (mm).

### c. Velocidad de circulación del gas natural (V).

En todos los tramos la velocidad del gas no debe ser superior a 30m/s con el fin de que no produzca perturbaciones o ruidos.

$$V = \frac{365.35xC}{PxD^2} \quad (1.43)$$

Donde:

- C: caudal (m<sup>3</sup>/h)
- D: diámetro (cm)
- P: presión relativa (mbar).
- V: velocidad del gas (m/s).

### d. Demanda de gas requerida

Se utilizará la fórmula de Poole (hasta 5KPa)

$$C = \sqrt{\frac{D^5 \cdot h}{2 \cdot s \cdot L}} \quad (1.44)$$

Donde:

- C: caudal (m<sup>3</sup>/h)
- D: diámetro (cm)
- h: pérdida de carga en mm de columna de agua
- s: densidad relativa del gas
- L: longitud de la tubería y equivalente de accesorios (m).

### e. Estación de regulación de presión y medición primaria (ERPMP)

Además de medir el caudal de consumo se encarga de controlar y disminuir la presión del gas de acuerdo a lo requerido. El esquema de la ERMP se puede ver en la figura 1.11.

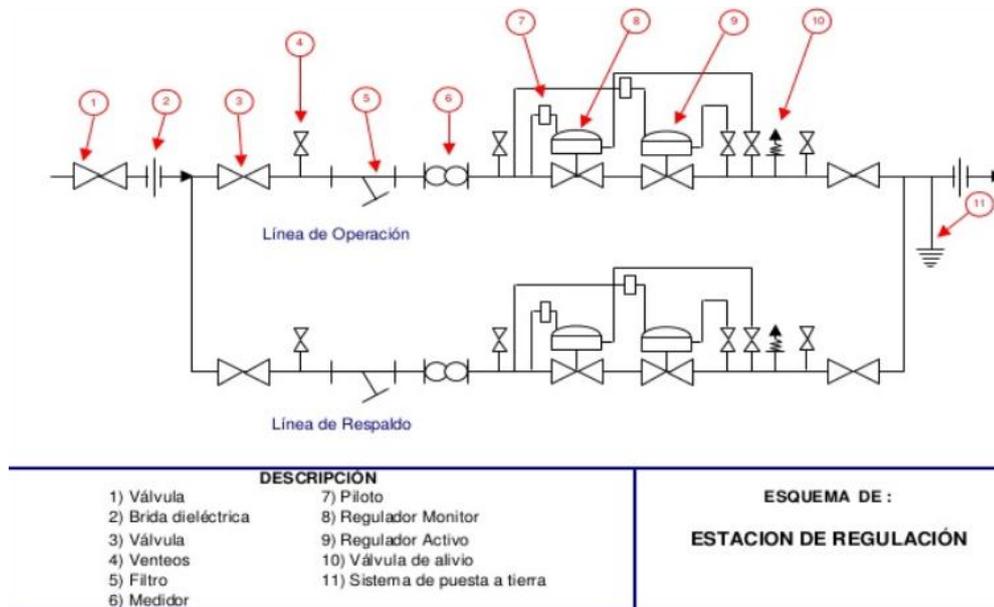


Figura 1.11: Diagrama de la ERPMP

### 1.3.11. Criterios para evaluar las inversiones en la empresa.

Son los indicadores económicos que indicarán si un proyecto es rentable para el inversionista

### 1.3.12. Valor actual neto (VAN)

Determina el valor actualizado de todos los flujos de caja esperados de un proyecto de inversión. El VAN es la diferencia entre el valor actualizado de los cobros menos el valor actualizado de los pagos.

El valor obtenido servirá para la toma de decisiones en cuanto a si la inversión se puede ejecutar o si es mejor que otra si fuera el caso. Para que el proyecto sea viable se debe esperar un  $VAN > 0$ . El VAN considera el valor del dinero en el tiempo (Apaza, 2010).

- Cálculo para una única tasa de descuento

$$VAN = \sum \frac{FC_n}{(1+i)^n} \quad (1.45)$$

- Cálculo para diferentes tasas de descuento

$$VAN = -FC_0 + \frac{FC_1}{(1+i_1)} + \frac{FC_2}{(1+i_1)(1+i_2)} + \dots + \frac{FC_n}{(1+i_1)\dots(1+i_n)} \quad (1.46)$$

Donde:

- FC: flujos de capital
- n: número de periodos de tiempo
- i: tipo interés exigido a la inversión

### 1.3.13. Tasa interna de rentabilidad (TIR)

Se define como aquel tipo de rendimiento que iguala la corriente de flujos de caja tanto positivos como negativos generados por un proyecto de inversión. La TIR es la tasa de rentabilidad que iguala el VAN a cero (Apaza, 2010).

- Cálculo para una única tasa de descuento

$$0 = \sum \frac{FC_n}{(1+i)^n} \quad (1.47)$$

- Cálculo para diferentes tasas de descuento

$$0 = -FC_0 + \frac{FC_1}{(1+i_1)} + \frac{FC_2}{(1+i_1)(1+i_2)} + \dots + \frac{FC_n}{(1+i_1)\dots(1+i_n)} \quad (1.48)$$

### 1.3.14. Retorno de la inversión (PRI)

El tiempo en el que se recuperará la inversión realizada o la inversión a realizar.

$$PRI = \frac{\text{Inversión}[\$]}{\text{Beneficio}[\$/mes]} \quad (1.49)$$

### 1.3.15. Costos de producción

Son los gastos realizados en la fabricación de un producto o en la prestación de un servicio e involucra materiales, mano de obra y costos indirectos de fabricación (Berrío, y otros, 2008).

Son desembolsos de valores para obtener un beneficio en el futuro y son capitalizables e inventariables (Apaza, 2010).

Según Apaza (2010) los costos se pueden clasificar como:

#### **a. Costos directos.**

Son aquellos cuyo valor monetario en un proceso se puede establecer con precisión.

- Costos de mano de obra.
- Costo de materia prima, etc.

#### **b. Costos indirectos.**

Son todos aquellos que no pueden asignarse con precisión.

- Alquiler de maquinaria
- Contratación de personal técnico externo, etc.

#### **1.3.16. Gastos de producción.**

Son los desembolsos que han sido realizados por la parte administrativa y de ventas de la empresa (Apaza, 2010)

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

¿De qué manera diseñar un sistema de calentamiento usando gas natural en la máquina extrusora de tubería plástica de la línea N° 5 de la planta 01 de la empresa Eurotubo S.A.C contribuirá en la reducción de costos de producción?

#### **1.5. Justificación del estudio**

##### **1.5.1. Relevancia económica**

En el presente estudio se pretende demostrar que la utilización de un sistema de calentamiento usando gas natural en el proceso de fabricación de tubería plástica reducirá considerablemente los costos de producción sin afectar la calidad o las propiedades físicas y químicas del producto.

##### **1.5.2. Relevancia tecnológica**

Al realizar la sustitución de los actuales calentadores a resistencias eléctricas por otro sistema que funcionen a gas natural, el sistema no estará afecto a los cortes de energía eléctrica y seguirá operando con normalidad, además el nuevo sistema es factible de implementar en todas las extrusoras con las que cuenta la empresa o puede ser implementado en Industrias similares de transformación de plásticos por efecto del calor.

### **1.5.3. Relevancia institucional**

El sistema de un plan RCM, busca reducir las fallas en operación de la flota vehicular, lo que conllevará a mejorar su competitividad frente a otras Empresas. Esto implica a que el alumno de la Universidad Cesar Vallejo extienda y aplique sus conocimientos al campo laboral.

### **1.5.4. Relevancia socio-ambiental**

Debido a que el uso del gas natural contribuye a mantener y sustentar la cadena de valor del combustible desde su extracción, procesamiento, traslado y venta final a los consumidores de este modo beneficiando directamente a la industria nacional. También se justifica su uso debido a que los gases productos de la combustión son relativamente poco perjudiciales al medio ambiente.

### **1.5.5. Tiene justificación metodológica,**

Para lograr los objetivos planteados se hará uso del método científico y técnicas de investigación aceptadas permitiendo que el estudio sirva de referencia a empresarios o investigadores que deseen determinar que el cambio de sistema energético por otro combustible es posible de tal modo que se cumplan los objetivos planteados sin interferir en la calidad del producto.

A pesar que se proyectan dificultades en el desarrollo del presente proyecto se pretende agotar todos los esfuerzos para lograr los objetivos planteados pues se considera que la investigación a realizar es de suma importancia porque servirá de modelo para las demás industrias de la región.

## **1.6. Hipótesis**

Analizando el proceso de la combustión del gas natural y conociendo la temperatura necesaria para el proceso de extrusión de tubería plástica es posible diseñar un sistema de calentamiento que aproveche el calor generado para la máquina extrusora ubicada en la línea nº5 de la planta 1 de la empresa Eurotubo S.A.C y se logrará reducir costos de producción.

## **1.7. Objetivos**

### **1.7.1. Objetivo General**

Diseñar un sistema de calentamiento usando gas natural en la máquina extrusora que procesa 550 kg/h de tubería plástica ubicada de la línea N°5 de la planta 01 de la empresa Eurotubo S.A. para reducir costos de producción.

### **1.7.2. Objetivos específicos**

- a.** Analizar el proceso actual de extrusión de tubería plástica e identificar los parámetros de operación.
- b.** Determinar el flujo de los gases quemados producto de la combustión del gas natural necesario para el proceso de extrusión.
- c.** Diseñar el sistema de calefacción en la máquina extrusora
- d.** Diseñar el sistema de control de temperatura
- e.** Realizar el análisis económico financiero

## **II. Método**

### **2.1. Diseño de investigación**

#### **2.1.1. De acuerdo al fin que se persigue:**

- **Aplicada.**

Porque la investigación ayudará a solucionar problemas prácticos de la realidad.

#### **2.1.2. De acuerdo a la técnica de contrastación:**

- **Explicativa.**

Porque se explicará los fenómenos físicos que deben cumplirse para que el proyecto sea viable y además se explicará de qué manera están relacionadas las variables consideradas en la investigación.

#### **2.1.3. De acuerdo al régimen de investigación:**

- **Libre.**

Porque el tema de investigación fue elegido por cuenta propia del investigador.

### **2.2. Variables**

#### **2.2.1. Variables independientes**

- Temperatura de extrusión
- Flujo de plástico procesado

#### **2.2.2. Variables dependientes**

- Características técnicas del sistema de calentamiento
- Reducción de costos de producción

### 2.2.3. Operacionalización de las variables

Tabla N°2.1. Operacionalización de las variables (Elaboración propia).

Variable	Definición Conceptual	Definición operacional	Indicadores	Escala de medición
Independientes: - Temperatura de extrusión.	Es la temperatura apropiada a la que se calienta el plástico para poder ser moldeado.	Se debe controlar la cantidad de calor del proceso.	°C grados centígrados	160 – 240°C
- Cantidad de calor necesario para el proceso de extrusión.	Es el calor necesario para procesar una determinada cantidad de materia prima con el fin de fundirla y moldearla como tubería plástica.	Es el resultado de multiplicar el flujo de masa de la materia prima por su calor específico y la diferencia de temperatura del proceso	kW kiloWatts	1 – 100 kW
Dependiente: - Características técnicas del sistema calefactor	Está conformado por todos los elementos que generan y transmiten el flujo de calor hacia el cilindro de extrusión.	Volumen de la cámara de combustión  Espesor del aislante térmico	m <sup>3</sup> metros cúbicos  m metros	0 – 5 m <sup>3</sup>  0.01 – 0.05m
- Reducción de costos de producción.	Es la disminución de los costos que se generan en el proceso de transformación de la materia prima en un producto terminado (Berrío, y otros, 2008)	Es la diferencia de los costos de producción con energía eléctrica con los costos de gas natural.	$\frac{S./}{h}$ Soles por hora.	1 – 20 S/.

### 2.3. Población y muestra

#### **Población:**

La población está conformada por todas las extrusoras de las 15 líneas de producción de tubería plástica de PVC-U y HDPE de las plantas 1 y 2 de la empresa Eurotubo S.A, las cuales utilizan calefactores eléctricos.

#### **Muestra:**

Se considera la extrusora ubicada en la línea N° 5 de la planta 1, pues es una de las líneas que procesa mayor cantidad de materia prima y presenta la mayor incidencia de paradas no programadas.

### 2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para la recolección de los datos de la presente tesis, es necesaria la aplicación de encuestas, observación directa y se hizo análisis documental cuyos instrumentos se muestran en la tabla 2.2.

Tabla 2.2: Técnicas e instrumentos del proyecto (Elaboración propia)

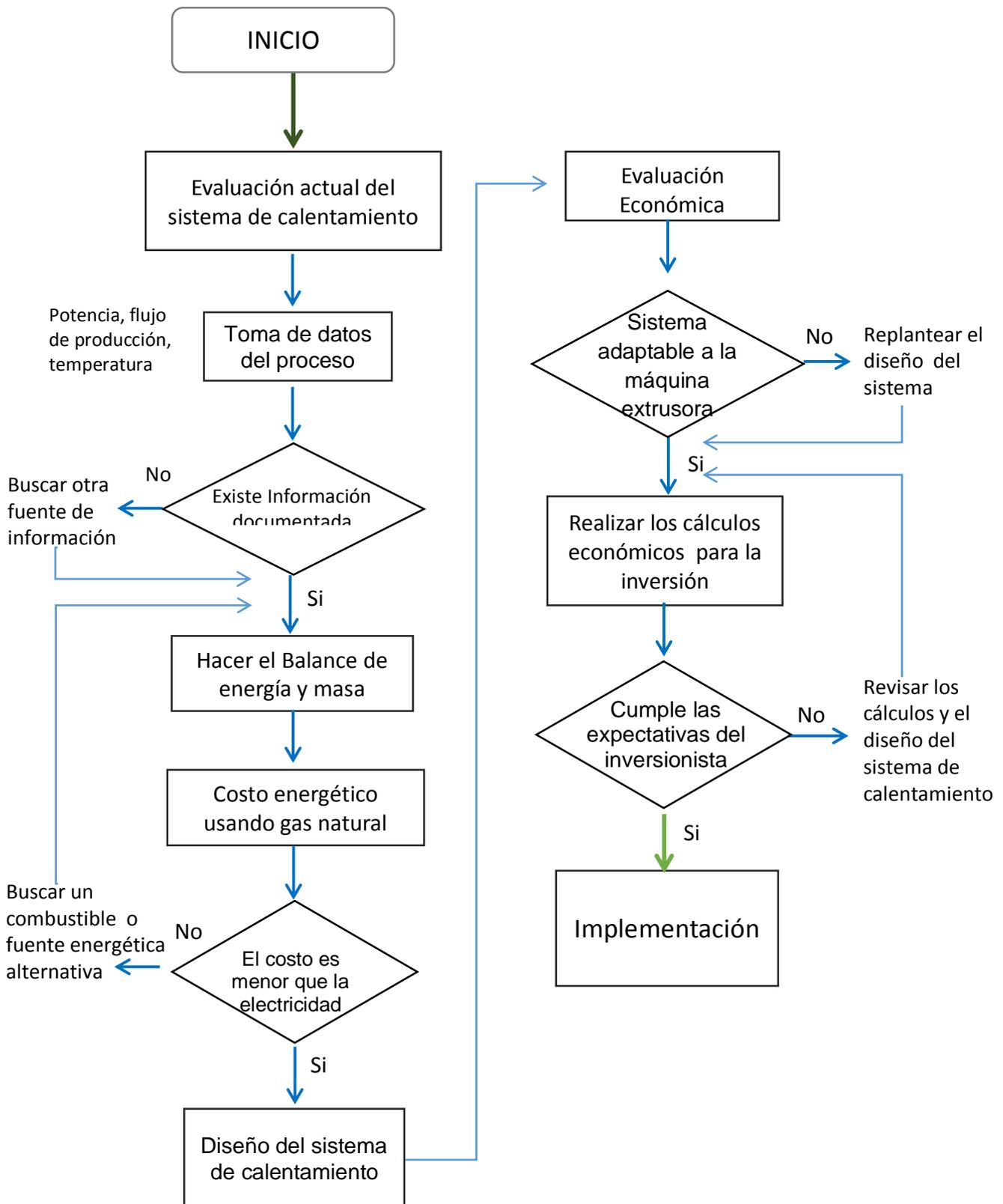
<b>Técnica</b>	<b>Instrumento</b>
Encuesta	Ficha cuestionario
Observación	Guía de observación
Análisis documental	Fichas de registro

### 2.5. Métodos de análisis de datos

La información recolectada mediante las técnicas e instrumentos especificados en la tabla 2.2 se procesará mediante el programa Excel.

Posteriormente con los resultados obtenidos se podrá aplicar la propuesta teniendo en cuenta el tiempo, la capacidad y los medios de financiación. A continuación, se muestra el flujograma del proceso de investigación.

- Flujograma del proceso de investigación. (Elaboración propia).



- Diagrama de Ishikawa condición actual de la Empresa identificando las posibles causas que pueden generar elevados costos de producción (figura 2.1).

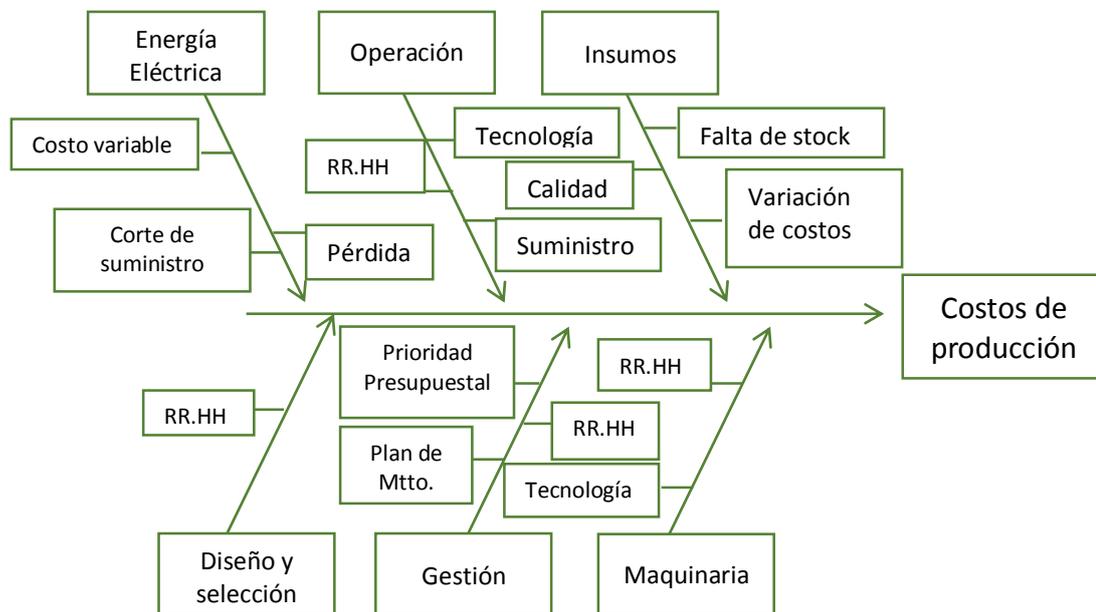


Figura 2.1: Diagrama de Ishikawa (Elaboración propia)

Para el análisis de datos producto de las técnicas e instrumentos de recolección de datos se realizará utilizando el software Microsoft Excel, el cual nos permitirá presentar de manera dinámica mediante gráficos y tablas el consolidado de la información obtenida.

Se calculará el costo del nuevo sistema de calentamiento, la cantidad de dinero que se ahorrará utilizando el sistema de calentamiento a gas natural, el tiempo de montaje del sistema así como el tiempo de retorno de la inversión.

## 2.6. Aspectos éticos

Las fuentes de información usadas en la presente investigación están debidamente citadas así como la información propia del autor de esta investigación.

### III. RESULTADOS

#### 3.1. Análisis del proceso actual de extrusión en la empresa Eurotubo S.A.

El funcionamiento de la línea N° 5 en la planta 01 de la Empresa EUROTUBO S.A.C (figura 3.1) en condiciones normales de funcionamiento es de 24 horas por día, teniendo paradas programadas por mantenimiento, por cortes intempestivos del servicio de energía eléctrica o falla en algún componente de la línea.

El inicio de operaciones de producción comienza con el calentamiento del cilindro de la extrusora, el cual es un proceso que toma alrededor de tres horas pues se realiza a temperatura controlada de manera paulatina hasta conseguir que el cilindro o barril alcance la temperatura de 180 °C.

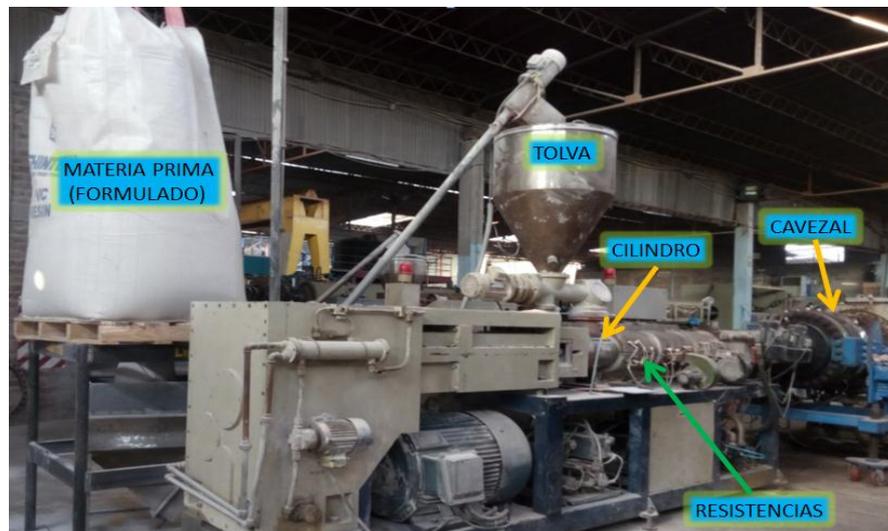


Figura 3.1: Extrusora ubicada en la línea 5 de la planta n°1 de la empresa Eurotubo S.A.C. (Elaboración propia)

##### 3.1.1. Características de la extrusora.

- Calefactores	:	Resistencias Eléctricas
- Presión de extrusión	:	6.6 MPa
- Longitud del cilindro de extrusión	:	290 cm
- Diametro del cilindro de extrusión	:	26.4 cm

##### 3.1.2. Cálculo del calor útil:

El calor útil es la energía absorbida por el HDPE necesaria para ser fundido y posteriormente ser moldeado. El HDPE ingresa a la extrusora a temperatura

ambiente (25 °C) y es calentado hasta 180 °C, temperatura a la cual se le puede moldear.

Los datos de flujo de y temperatura de fundición del HDPE fueron obtenidos en la planta de producción y para el calor específico ( $C_p$ ) se usará la tabla 1.3.

Datos:

- flujo de materia prima (HDPE) : 550 Kg/h
- Calor específico ( $C_p$ ) : 1.9 kJ/kg K
- Temperatura de ingreso : 25 C°
- Temperatura de fundición : 180 C°

Usando la ecuación (1.17) tenemos que:

$$\dot{Q}_{\text{útil}} = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T = 550 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \times 1.9 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{C}^\circ} \times (180 - 25) \text{C}^\circ = 44.9 \text{ kW}$$

### 3.1.3. Potencia del sistema de calentamiento usando resistencias eléctricas.

- Con una pinza amperimétrica se midió el valor de la intensidad de corriente (I) en cada una de las 13 (N) resistencias eléctricas obteniéndose un valor de 18 Amperios (A).
- Por lo tanto:  $I = 18 \times 13 = 234 \text{ A}$ .
- El voltaje de alimentación en las resistencias eléctricas es de 220 V.
- De la ecuación (1.21) tenemos que la potencia es de:

$$P = V \cdot I_{\text{total}} = 220 \text{ V} \times 234 \text{ A} = 51.48 \text{ kW}$$

### 3.1.4. Pérdidas de calor por convección y radiación.

Calculamos las pérdidas producidas por calentamiento con resistencias eléctricas.

De la tabla A.5 usaremos las propiedades del aire a 25 °C:

- Densidad : 1.177 kg/m<sup>3</sup>
- Conductividad térmica (K) : 0.0262 W/m.°C
- Número de prandtl (Pr) : 0.708
- Calor específico ( $C_p$ ) : 1.006 kJ/kg.°C
- Aceleración de la gravedad (g) : 9.81 m/s<sup>2</sup>

- a. Con la ecuación (1.34) calculamos la temperatura media de la película:

$$T_f = \frac{T_s - T_\infty}{2} = \frac{180 - 25}{2} = 155^\circ C$$

$$\nu = 1.879 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

Y sabiendo que el coeficiente de expansión volumétrica es:

$$\beta = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{155} = 6.45 \times 10^{-3} \text{ }^\circ C^{-1}$$

- b. De la ecuación (1.28) obtenemos el Número de Grashof:

$$Gr_L = \frac{g \cdot \beta (T_s - T_\infty) L_c^3}{\nu^2} = \frac{9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 6.45 \times 10^{-3} \text{ }^\circ C^{-1} (180^\circ C - 25^\circ C) \times (0.35 \text{ m})^3}{(2.879 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}})^2} = 5.07 \times 10^8$$

- c. El número de Rayleigh lo obtenemos usando la ecuación (1.33)

$$Ra = Pr \cdot Gr = 0.708 \times 5.07 \times 10^8 = 3.58 \times 10^8$$

- d. El número de Nusselt lo calculamos aplicando la expresión de Churchill y Cho de la ecuación (1.30):

$$Nu = \left[ 0.6 + \frac{0.387 Ra^{1/6}}{\left( 1 + \left( \frac{0.559}{Pr} \right)^{9/16} \right)^{8/27}} \right]^2 = \left[ 0.6 + \frac{0.387 (3.58 \times 10^8)^{1/6}}{\left( 1 + \left( \frac{0.559}{0.708} \right)^{9/16} \right)^{8/27}} \right]^2 = 83.9$$

- e. Para hallar el coeficiente de convección (h) usaremos la ecuación (1.27)

$$h = \frac{K \cdot Nu}{D} = \frac{0.0262 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ C} \times 83.9}{0.26 \text{ m}} = 8.45 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ C}$$

- f. Conociendo el valor de h calculamos las pérdidas de calor por convección ( $Q_c$ ) usando la ecuación (1.26):

$$\text{El Área (A) de la zona de calefacción es: } A = \pi \cdot D \cdot L = \pi (0.26 \text{ m}) (2.9 \text{ m}) = 2.37 \text{ m}^2$$

$$Q_c = h.A(T_s - T_\infty) = 8.45 \frac{W}{m.^{\circ}C} \times 2.37m^2 (180 - 25)^{\circ}C = 3.1kW$$

- g. Para hallar las pérdidas por radiación utilizamos la ecuación (1.36) :  
El valor de  $\epsilon$  del acero a 180 °C es de 0.659 (Flores, 2013).

$$\dot{Q}_{rad} = \epsilon \cdot \sigma \cdot A_s (T_s^4 - T_{alred.}^4) = 5.67 \times 10^{-8} \times 0.659 \times 2.37 (453.15)^4 - (298.15)^4 = 3.03kW$$

### 3.1.5. Cálculo del calor neto:

Para saber qué cantidad de calor realmente es aprovechado restamos las pérdidas de calor por convección y radiación.

$$\dot{Q}_{Neto} = \dot{Q}_{total} - (\dot{Q}_c + \dot{Q}_{rad}) = 51.48 - (3.1 + 3.03) = 45.35KW$$

### 3.1.6. Costo de energía eléctrica por día.

La empresa Eurotubo S.A.C posee una tarifa MT3 (tabla A.9) lo que en la práctica significa que la tarifa por kW.h consumido varía con el transcurso de las horas, Teniendo que pagar dos tipos de tarifas En el horario de 18:00 y 23:00 (hora punta).

- Costo por 1kW.h fuera de punta : S/. 0.1744 (19 horas)
- Costo por 1kW.h en punta : S/. 0.2169 (5 horas)

Costo de energía eléctrica por 24 horas ( $C_{dia}$ ):

$$C_{dia} = (0.1744 \times 19 \times 51.48) + (0.2169 \times 5 \times 51.48) = 226.4 \text{ Soles / día}$$

## 3.2. Flujo de gases quemados.

El proceso de combustión del metano se realiza con aire y combustible a la presión de 1atmósfera y a temperatura ambiente (25°C).

La temperatura de los gases calientes producto de la combustión será de 180°C. Se realizará un análisis estequiométrico de la combustión del metano el cual es el componente principal del gas natural.

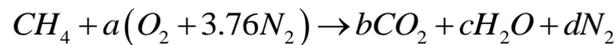
### 3.2.1. Flujo de gas natural.

Calculamos el flujo de gas necesario para generar la misma cantidad de calor que las resistencias eléctricas ( $\dot{Q}_{total}$ ) lo cual la obtenemos despejando de la ecuación (1.25):

$$\dot{m}_{GN} = \frac{\dot{Q}_{total}}{PCI_{GN} + Cp_{GN} \cdot T_{GN}^{\circ}} = \frac{51.48 \frac{kJ}{s}}{55856 \frac{kJ}{kg} + 1.9 \frac{kJ}{kg \cdot ^{\circ}C} \times 25^{\circ}C} \times 3600 = 3.32 \frac{kg}{h}$$

### 3.2.2. Proceso de combustión del metano

a. Hallamos la relación aire – combustible (AC) en la combustión perfecta del metano de la ecuación (1.6):



Balanceando la ecuación:

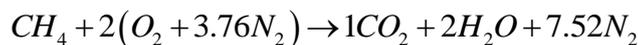
$$C : 1 \rightarrow b \Rightarrow b = 1$$

$$H : 4 \rightarrow c(2) \Rightarrow c = 2$$

$$O : a(2) \rightarrow 1(2) + 2(1) \Rightarrow a = 2$$

$$N : (2)(3.76)(2) \rightarrow d(2) \Rightarrow d = 7.52$$

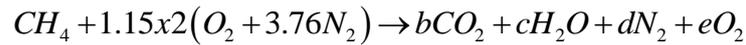
Nos queda:



- Moles de aire :  $2(1+3.76) = 9.52$
- Moles de combustible : 1
- Entonces la relación aire-combustible (AC) utilizando la ecuación (1.4) :

$$AC = \overline{AC} \times \frac{M_{aire}}{M_{cble}} = 9.52 \times \frac{28.97 \text{kg}_{aire} / \text{mol}}{16.04 \text{kg}_{cble} / \text{mol}} = 17.19 \frac{\text{kg}_{aire}}{\text{kg}_{cble}}$$

b. Hallamos la relación aire – combustible (AC) en la combustión del metano con un exceso del 15% según Serrano y Carranza (2005) es un porcentaje adecuado para quemadores. Por lo tanto tenemos un coeficiente de exceso de aire de  $\lambda=1.15$ . utilizando la ecuación (1.7):



- Hallamos la relación aire combustible con un exceso de aire ( $R_{\text{aire-cble}}$ ):

$$R_{\text{aire-cble}} = AC(1.15) = 19.7$$

- Procedemos a realizar el balance de ecuación 15% de exceso de aire.

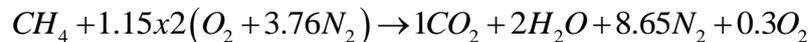
$$C : 1 \rightarrow b \Rightarrow b = 1$$

$$H : 4 \rightarrow c(2) \Rightarrow c = 2$$

$$O : (1.15)(2)(2) \rightarrow b(2) + c(1) + e(2) \Rightarrow e = 0.3$$

$$N : (1.15)(2)(3.76)(2) \rightarrow d(2) \Rightarrow d = 8.65$$

Nos queda:



- Moles de aire :  $1.15x2(1+3.76) = 10.95$
- Moles de combustible : 1
- la relación aire-combustible (AC) utilizando la ecuación (1.4) y el peso molecular del aire y el metano (ver tabla A.1):

$$R_{\text{aire-cble}} = \overline{AC}x \frac{M_{\text{aire}}}{M_{\text{cble}}} = 10.95x \frac{28.97 \text{ kg}_{\text{aire}} / \text{mol}}{16.04 \text{ kg}_{\text{cble}} / \text{mol}} = 19.7 \frac{\text{kg}_{\text{aire}}}{\text{kg}_{\text{cble}}}$$

- Pesos moleculares obtenidos de la tabla periódica de los elementos químicos:

$$C : 12.011$$

$$H : 1.0079$$

$$O : 15.999$$

$$N : 14.007$$

- Reemplazando en la ecuación de combustión con exceso de aire tenemos:



$$m_{\text{Cble}} = m_{CH_4} = 16.04 \text{ kg}_{\text{cble}}$$

$$m_{\text{Aire}} = m_{2(O_2+3.76N_2)} = 315.86 \text{ kg}_{\text{aire}}$$

### 3.2.3. Calculando el flujo de aire.

Despejamos la masa de aire de la ecuación (1.1):

$$\dot{m}_{aire} = R_{aire-cble} \cdot \dot{m}_{cble} = 19.7 \frac{kg_{aire}}{kg_{cble}} \times 3.32 \frac{kg_{cble}}{h} = 65.4 \frac{kg_{aire}}{h}$$

### 3.2.4. Flujo de gases producto de la combustión:

- Primero hallaremos la relación gases de combustión – combustible para ello utilizaremos la ecuación (1.14).

$$R_{g.c-cble} = 1 + R_{aire-cble} = 1 + 19.7 = 20.7 \frac{kg_{g.c}}{kg_{cble}}$$

- De la ecuación (1.13) despejamos el flujo de los gases de combustión:

$$\dot{m}_{g.c} = R_{g.c-cble} \cdot \dot{m}_{cble} = 20.7 \frac{kg_{g.c}}{kg_{cble}} \times 3.32 \frac{kg_{cble}}{h} = 68.7 \frac{kg_{g.c}}{h}$$

### 3.2.5. Balance de masa del proceso de combustión:

La suma de los flujos de masa del aire y el combustible debe ser igual al flujo de masa de los gases producto de la combustión, lo cual se comprueba mediante la ecuación (1.12).

$$\begin{aligned} \dot{m}_{aire} + \dot{m}_{cble} &= \dot{m}_{g.c} \\ (65.4 + 3.32) \frac{kg}{h} &= 68.7 \frac{kg}{h} \\ 68.7 \frac{kg}{h} &= 68.7 \frac{kg}{h} \end{aligned}$$

### 3.2.6. Diseño y dimensionamiento de la red de gas natural interna.

La instalación de redes internas de gas natural comprende el diseño y montaje de red de tuberías, unión de tuberías, los soportes, anclajes, ganchos, accesorios, válvulas, sistema de seguridad del quemador y equipo de regulación y medición, así como la prueba de hermeticidad se realizarán y seleccionarán teniendo como base las normas técnicas peruanas NTP 111.010 y NTP 111.011.

Para la acometida de gas natural necesario para el sistema de calentamiento, se propone que la instalación de la red sea de tipo aéreo, para tal fin se empleará elementos de sujeción normados y se tendrá especial cuidado de respetar las

distancias mínimas de seguridad con otras redes ya sean eléctricas, agua, aire o lo que esté contemplado en las normas.

El tramo de tubería comprendida entre la válvula de bloqueo de servicio del distribuidor de gas y la entrada a los reguladores de la estación de regulación de presión y medición primaria así como la tubería que alimenta directamente los equipos de consumo, se calculará con una caída de presión máxima no superior al 10% de la presión mínima de suministro.

Los tramos de red interna comprendidos entre dos etapas de regulación se calcularán con una caída máxima del 50% de la presión regulada al comienzo de esos tramos.

En la tabla 2.2 se muestra el consolidado de los resultados, así mismo se muestra el esquema de la red interna en la figura diseño de la red interna en la figura 3.2.

Datos:

- Potencia : 51.48kW = 44264.8kcal/h
- Factor de seguridad : 1.2
- Potencia de diseño: (44264.8kcal/h)(1.2) : 53117.8kcal/h = 0.2107MMBtu
- Poder calorífico superior del gas natural (PCS) : 9679.73 kcal/m<sup>3</sup>
- C: caudal de gas natural = Potencia/Poder calorífico superior

$$Caudal = \frac{53117.7 \frac{kcal}{h}}{9679.73 \frac{kcal}{m^3}} = 5.4 \frac{m^3}{h} = 3628.8 \frac{m^3}{mes}$$

- s: densidad relativa del gas : 0.65
- h: pérdida de carga en mm de columna de agua : 100 m.c.a.
- L: longitud de la tubería y eq. de accesorios : 26 m
- P: presión mínima permitida : 21 mbar = 2.205kg/cm<sup>2</sup>

#### a. Calculamos el diámetro de la tubería (D).

Para hallar el diámetro de la tubería despejamos de la ecuación (1.44):

$$D = \sqrt[5]{\frac{C^2 \cdot 2 \cdot s \cdot L}{h}} = \sqrt[5]{\frac{5.4^2 \cdot 2 \cdot 0.65 \cdot 26}{100}} = 1.58 \text{ cm}$$

Ahora buscamos un diámetro comercial que sea congruente con el diámetro obtenido en la tabla (A-12) de los anexos el cual es de  $\frac{3}{4}$  de pulgada o 19.1mm.

**b. Velocidad de circulación del gas natural (V).**

Para el cálculo de la velocidad del gas utilizaremos la ecuación (1.43) y en el resultado se debe verificar que la velocidad no exceda los 30m/s.

$$V = \frac{365.35 \cdot C}{P \cdot D^2} = \frac{365.35 \cdot 5.4}{21 \cdot 1.91^2} = 25.7 \frac{m}{s}$$

**c. Calculamos la caída de presión ( $\Delta P$ )**

Como la presión (P) es menor a 100 mbar utilizaremos la ecuación (1.41).

$$\Delta P = 22759 \cdot s \cdot L \cdot \frac{C^{1.82}}{D^{4.82}} = 22759 \cdot 0.65 \cdot 26 \cdot \frac{5.4^{1.82}}{19.1^{4.82}} = 5.5 \text{ mbar}$$

Tabla 3.1: datos para el dimensionamiento de tuberías y accesorios  
(Elaboración propia)

tramo	L (m)	C (m <sup>3</sup> /h)	v (m/s)	P in. (mbar)	P f (mbar)	$\Delta P$ (mbar)	D (mm)	Material
A-B	26	5.4	25.7	21	15.5	5.5	19.1	cobre

**d. Costo de gas natural por día.**

De acuerdo al consumo por mes corresponde la categoría C (ver tabla A.15) debido al consumo en m<sup>3</sup> de gas natural.

$$C_{GN} = \dot{m}_{GN} \cdot C_{unitarioGN}$$

$$C_{GN} = 0.2107 \frac{MMBtu}{h} \times \frac{\$4.73}{1MMBtu} \times \frac{3.32S}{1\$} \times \frac{24h}{1día} = 79.4 \text{ soles / día}$$

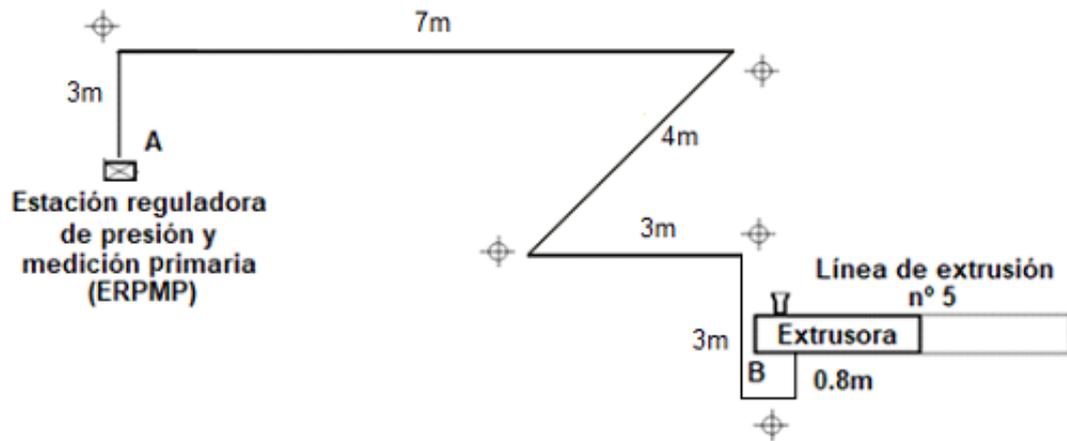


Figura 3.2: Esquema de línea de gas natural para la extrusora ubicada en la línea 5 de la planta n°1 de la empresa Eurotubo S.A.C (Elaboración propia)

### 3.3. Diseño del sistema de calefacción en la máquina extrusora.

Se realizará el diseño de la cámara de combustión teniendo en cuenta el espacio disponible y las dimensiones de la extrusora, además se tendrá como prioridad solamente realizar cambios en el sistema de calentamiento sin modificar elementos o piezas estructurales en la máquina extrusora.

Los elementos como sensores de temperatura y controladores de temperatura en la medida de lo posible no serán removidos sino que también formaran parte del control de temperatura del nuevo sistema de calentamiento.

#### 3.3.1. Espacio disponible para el sistema de calentamiento.

Como se puede observar en la figura 3.3 solamente se han descrito las dimensiones relevantes para el diseño del nuevo sistema de calentamiento.

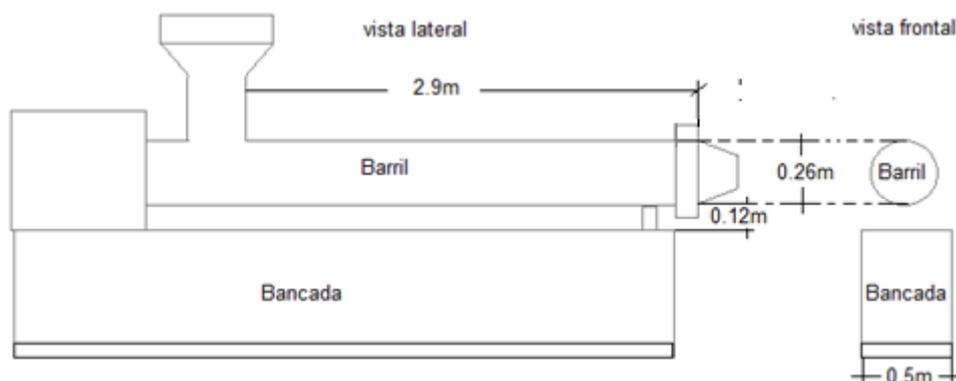


Figura 3.3: Dimensiones para el sistema de calentamiento (Elaboración propia)

Se presenta a continuación esquemas de los posibles diseños del sistema de calentamiento usando gas natural.

### **3.3.2. Requerimientos del sistema de calentamiento.**

- El sistema de calentamiento debe generar calor en un rango de temperatura de entre 160 a 240°C (tabla A.4), pues la máquina extrusora debe ser capaz de procesar PVC y HDPE.
- La temperatura a largo del barril debe ser monitoreada constantemente para lo cual se debe usar los sensores de temperatura y pirómetros con los que cuenta actualmente la extrusora.
- El sistema de control de temperatura debe ser automático de tal manera que no se necesite un operario.
- Cada zona del barril del extrusor debe ser calentado uniformemente de tal modo que de ocurrir un incremento de temperatura en cualquier zona, inmediatamente el sistema de control de temperatura debe corregir la falla.

Se presenta a continuación esquemas de los posibles diseños del sistema de calentamiento usando gas natural. Todas las figuras de los diseños propuestos fueron elaboración propia del autor de esta investigación.

#### **a. Calentamiento con gases producto de la combustión usando un solo quemador (figura 3.4).**

- Para este sistema se propone fabricar una chaqueta metálica circular sobre el barril de la extrusora de tal modo que retenga los gases quemados y a su vez estos sirvan para calentar el barril.
- Para este sistema se usarán cálculos de transferencia de calor y se tomará como modelo los intercambiadores de calor a contraflujo.
- En este sistema se puede regular el quemador para que el flujo de gas y aire de tal manera que los gases producto de la combustión entreguen el calor requerido.
- La temperatura a lo largo del barril será monitoreada en todo momento.
- No se podrá tener un control de calentamiento de cada zona del barril, pues el calor proviene de una sola fuente, razón por la cual el sistema no nos garantiza que se cumplan todos los requerimientos.

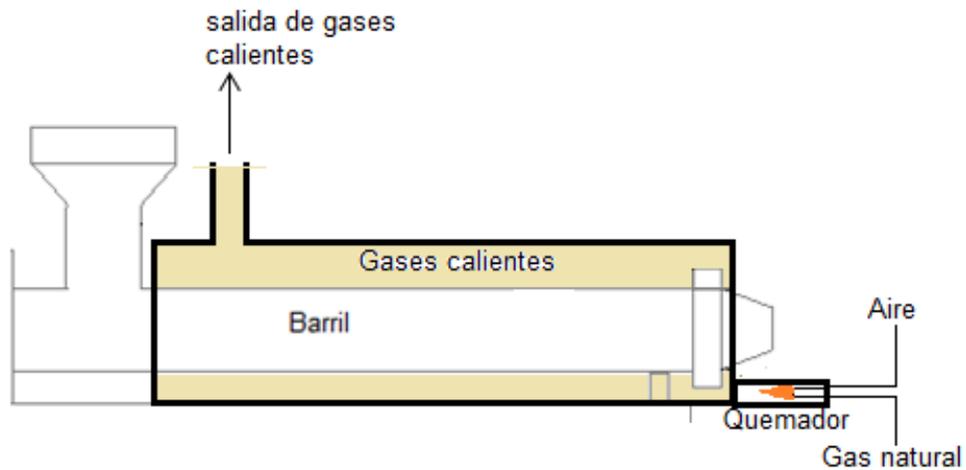


Figura 3.5: Sistema de calentamiento usando un quemador

**b. Calentamiento con quemadores distribuidos a lo largo del barril de extrusión (figura 3.6).**

- En este sistema de calentamiento si hay un control de temperatura por zonas ya que se distribuye uniformemente el calor.
- Si alguna zona de la extrusora incrementara su temperatura, inmediatamente el sistema de control cortaría el flujo de gas al calefactor y se retomaría la alimentación del combustible cuando el control de temperatura lo indique.
- La desventaja en este sistema es que se perdería calor al medio ambiente por ende el cálculo realizado en el punto 3.2 no sería exacto y se necesitaría mayor flujo de combustible y aire para lograr los requerimientos del proceso.

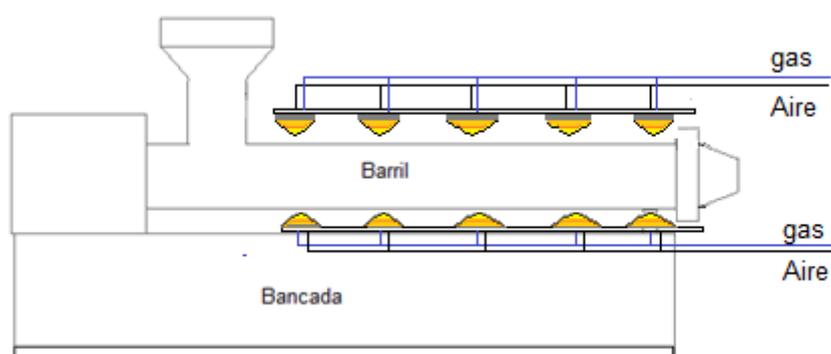


Figura 3.6: Sistema de calentamiento con calefactores distribuidos

c. **Calefacción distribuida a lo largo del barril con una chaqueta metálica que a su vez tendrá una capa de aislante térmico (figura 3.7).**

- En esta propuesta se combina los dos sistemas anteriores.
- Se mantiene el método de calentamiento por zonas tal como se hace con resistencias eléctricas, se propone que el barril sea dividido en 5 zonas de tal manera que se tenga un mejor control de la temperatura.
- En este diseño el gas es controlado por electroválvulas.

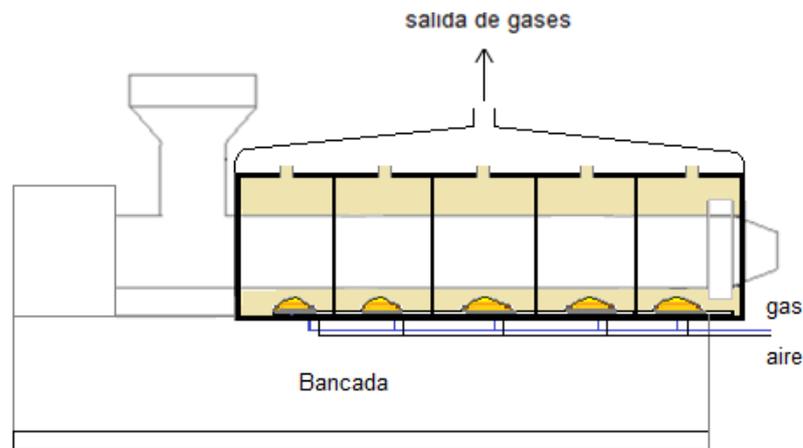


Figura 3.7: Sistema de calentamiento con calefactores distribuidos y encerrados con una chaqueta metálica cubierta con aislante térmico.

- En la figura 3.8 se muestra la vista lateral del cilindro y la chaqueta metálica cubierta con un aislante térmico el espacio entre ambos será la cámara de combustión. La propuesta de diseño está en función al espacio libre disponible siendo el diseño planteado el que se muestra a continuación (las medidas están en centímetros):

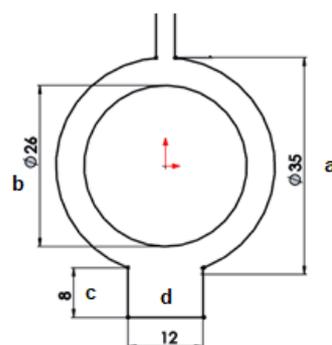


Figura 3.8: Vista lateral del barril y la chaqueta metálica.

Donde:

a: diámetro de la cámara de combustión

b: diámetro del barril

c: altura de la base de los quemadores

d: espesor de la base de los quemadores

L: longitud del cilindro (igual a la longitud de la cámara de combustión)

d. **Volumen de la cámara de combustión ( $V_{cc}$ ):**

$$V_{c.c} = \frac{\pi(a^2 - b^2)}{4} xL + c.d.L$$

$$V_{c.c} = \frac{\pi(0.35^2 - 0.26^2)}{4} x2.9 + 0.08x0.12x2.9$$

$$V_{c.c} = 0.19m^3$$

### 3.3.3. Cálculo del aislante térmico.

En la figura 3.9 se muestra la cámara de combustión y el espesor del aislante el cual tendremos que calcular. Para la construcción de la cámara de combustión se utilizará acero inoxidable propone que sea con acero AISI 310 y se utilizará fibra de vidrio ( $K=0.0300 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$ ) por ser un aislante que se puede adecuar a la geometría del diseño propuesto. Para llegar a la superficie externa el calor cumple los mecanismos de transmisión de convección y conducción los cuales se representa con simbología de resistencias eléctricas en la figura 3.10.

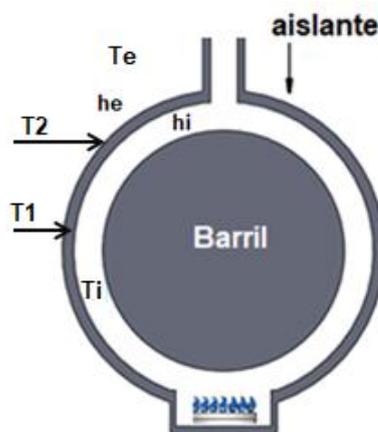


Figura 3.9: Cámara de combustión con aislante térmico

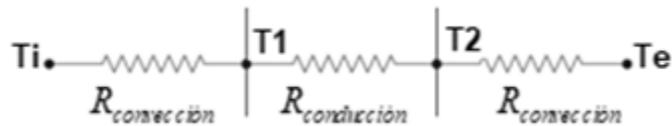


Figura 3.10: Representación eléctrica de las resistencias térmicas

**a. Propiedades del aire a 180 °C tomadas de la tabla A.6**

- Densidad ( $\rho$ ) : 0.7833 kg/m<sup>3</sup>
- Viscosidad cinemática ( $\nu$ ) : 31.71x10<sup>6</sup> m<sup>2</sup>/s
- Conductividad térmica (K) : 0.0371 W/m.°C
- Número de prandtl (Pr) : 0.683
- Calor específico (Cp) : 1.021 kJ/kg.°C

**b. De la ecuación (1.39) calculamos la velocidad del aire.**

$$V = \frac{\dot{m}_{aire}}{\rho \cdot Ac} = \frac{\dot{m}_{aire}}{\rho \cdot \pi(R^2 - r^2)} = \frac{60.86 \frac{kg}{h}}{0.7833 \frac{kg}{m^3} \times \pi((0.175m)^2 - (0.13m)^2)} = 0.5 \frac{m}{s}$$

**c. El número de Reynolds se calcula usando la ecuación (1.29)**

$$Re = \frac{V \cdot D}{\nu} = \frac{0.5 \frac{m}{s} \times 0.35m}{31.71 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}} = 5520.5$$

Si se cumpliera:  $Re \leq 2300$  el flujo sería laminar.

**d. Para hallar el número de Nusselt utilizaremos la ecuación (1.32)**

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.4} = 0.023 \times 5520.5^{0.8} \times 0.683^{0.4} = 19.45$$

**e. Cálculo del coeficiente de transferencia de calor (hi) utilizando la ecuación (1.27)**

$$h_i = \frac{K.Nu}{D} = \frac{0.0371 \frac{W}{m \cdot ^\circ C} \times 19.45}{0.35m} = 2.06 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

**f. Cálculo del coeficiente de transferencia de calor (he).**

Datos:

- Longitud de la cámara : 2.9 m
- Temperatura externa (Te) : (25+273.15)=298.15 K
- Temperatura interna (Ti) : (180+273.15)=453.15 K
- Conductividad térmica (K) : 0.39 W/m.°C
- Diámetro externo : 0.35m
- Diámetro interno : 0.29m (asumiendo 3 cm de aislante)
- Temperatura media de la película :

$$T_f = \frac{T_s - T_\infty}{2} = \frac{T_i - T_e}{2} = \frac{180 - 25}{2} = 77.5^\circ C$$

- Área de la zona de calefacción :

$$A = \pi.D.L = \pi(0.35m)(2.9m) = 3.18m^2$$

**g. Propiedades del aire a 77.5 °C (tabla A.5):**

- Densidad ( $\rho$ ) : 0.9980 kg/m<sup>3</sup>
- Viscosidad cinemática ( $\nu$ ) : 20.76x10<sup>-6</sup> m<sup>2</sup>/s
- Conductividad térmica (K) : 0.0300 W/m.°C
- Número de prandt (Pr) : 0.697
- Calor específico (Cp) : 1.009 kJ/kg.°C
- Viscosidad dinámica ( $\mu$ ) : 2.075x10<sup>-5</sup> kg/m.s
- Aceleración de la gravedad (g) : 9.81m/s<sup>2</sup>

$$\beta = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{(77.5 + 273.15)K} = 2.85 \times 10^{-3} K^{-1}$$

h. Se calcula el número de Rayleigh con la ecuación (1.33)

$$Ra = \frac{g \cdot \beta (T_s - T_\infty) L_c^3}{\nu^2} \cdot Pr = \frac{9.81 \frac{m}{s^2} \times 2.85 \times 10^{-3} K^{-1} (115) K (0.35m)^3}{(2.056 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s})^2} \times 0.697 = 3.06 \times 10^8$$

i. Para hallar el número de Nusselt usaremos la ecuación (1.30) :

$$Nu = \left( 0.6 + \frac{0.387 \cdot Ra^{1/6}}{\left( 1 + \left( \frac{0.559}{Pr} \right)^{9/16} \right)^{8/27}} \right)^2 = \left( 0.6 + \frac{0.387 (3.06 \times 10^8)^{1/6}}{\left( 1 + \left( \frac{0.559}{0.697} \right)^{9/16} \right)^{8/27}} \right)^2 = 79.7$$

j. El cálculo del coeficiente de convección ( $h_e$ ) se realiza utilizando la ecuación (1.27)

$$h_e = \frac{K \cdot Nu}{D} = \frac{0.0300 \frac{W}{m \cdot ^\circ C} \times 79.7}{0.35m}$$

$$h_e = 6.83 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

k. Las pérdidas por convección se calculan con la ecuación (1.26)

$$Q_c = h_e \cdot A (T_s - T_\infty) = 6.83 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \times 3.18m^2 (180 - 25)^\circ C = 3.36kW$$

l. Para el cálculo del flujo de calor utilizaremos la ecuación mostrada en la figura 1.8 de donde despejaremos  $r_2$ .

$$Q = \frac{(T_i - T_e)}{R_{cov.} + R_{cond.} + R_{cov.}} = \frac{(T_i - T_e)}{\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot r \cdot L \cdot h_i} + \frac{\ln(r_2 / r_1)}{2 \cdot \pi \cdot L \cdot k} + \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot r \cdot L \cdot h_e}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot L (T_i - T_e)}{\frac{1}{r_i \cdot h_i} + \frac{\ln \frac{r_e}{r_i}}{K} + \frac{1}{r_e \cdot h_e}}$$

Por lo tanto:

$$Q = \frac{2\pi L(T_i - T_e)}{\frac{1}{r_i h_i} + \frac{\ln \frac{r_e}{r_i}}{K} + \frac{1}{r_e h_e}} = \frac{2824.3}{\frac{1}{0.22} + \frac{\ln \frac{r_e}{0.17}}{0.0300} + \frac{1}{r_e (6.83)}}$$

$$3360 = \frac{2824.3}{\frac{1}{0.22} + \frac{\ln \frac{r_e}{0.17}}{0.0300} + \frac{1}{r_e (6.83)}}$$

$$r_e = 0.181m$$

**h. Espesor del aislante:**  $(0.181-0.17) \times 2 = 0.022 \text{ m} = 2.2 \text{ cm}$

### 3.4. Diseño del Sistema de control de temperatura.

#### 3.4.1. Especificaciones del sistema de control de temperatura.

a. El sistema de control de temperatura consta de los siguientes elementos por cada zona del barril de la extrusora además de un pulsador de inicio (ON) y uno de parada (OFF) (ver figura 3.11).

b. se muestra el conexionado de los elementos con el PLC. Para conectar los dispositivos al PLC se deben identificar previamente.

Elementos de entrada:

- 5 sensor de temperatura conectados a un controlador de temperatura con salida de relé (P)
- 5 fotoceldas conectadas a un relé (KA)

Elementos de salida:

- 5 electroválvulas de control on/off de gas natural (EV)
- 5 generadores de chispa conectados a un relé (K)
- 5 ventiladores conectados a un contactor (kM)

c. El calentamiento inicia cuando se presiona el pulsador (ON) de tal manera que acciona el generador de chispa (K), la electroválvula (EV) y el ventilador (KM). Una vez encendida la llama del quemador dentro de la cámara de

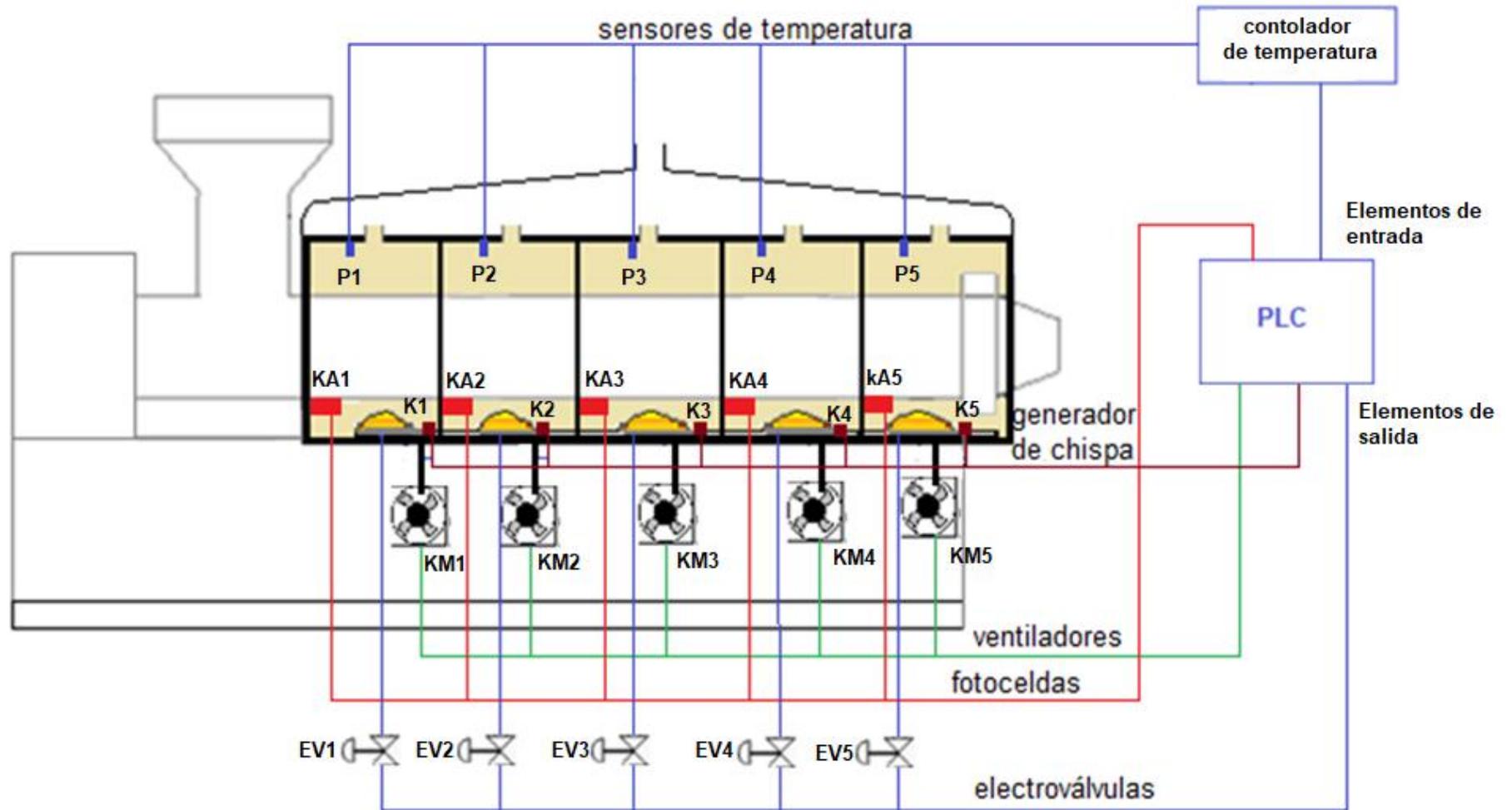
combustión, es detectada por la fotocelda (KA), quien desactiva al generador de chispa (K). Previamente es necesario haber programado el controlador de temperatura hasta a la temperatura de calentamiento (set point), que es 180 °C. La temperatura es monitoreada por el sensor de temperatura quien envía la información al controlador de temperatura. Si la temperatura supera el set point, el controlador de temperatura (P) se encargará de cortar energía eléctrica a la electroválvula (EV). Una vez la temperatura esté por debajo del set point nuevamente se encenderá automáticamente la electroválvula.

- d. Los elementos de entrada y de salida deberán cumplir con las características necesarias para operar bajo las condiciones propias de un sistema de calentamiento como altas temperaturas, funcionamiento ininterrumpido, deben ser de fácil montaje y que exista en el mercado local.
- e. Se sugiere que al momento de adquirir el PLC, se tenga en cuenta que sea de una marca reconocida y además se debe tener presente que no solamente de debe adquirir el equipo sino además el software respectivo necesario para la programación lógica. En la figura 3.10 se muestra un PLC de la marca Siemens modelo S7-1200. El cual se sugiere para ser implementado como controlador.



Figura 3.10: PLC modelo S7-1200 marca Siemens (Elaboración propia)

Figura 3.11: esquema del control de temperatura (Elaboración propia)



### 3.5. Análisis económico financiero.

El objetivo de realizar el análisis económico financiero es mostrar si la propuesta de cambiar el sistema de calentamiento a resistencias eléctricas por uno que utilice gas natural resulta ser beneficioso para el inversionista.

Tabla 3.2 Presupuesto de inversión (Elaboración propia)

Item	Nombre	Cant.	Precio Unitario S/.	Precio Total S/.
1	<b>Cámara de combustión</b>			
	Quemadores	5	80.00	400.00
	Plancha de acero AISI 310 1.5mm	4	160.00	640.00
	Soldadura	1	150.00	150.00
	Corte y rolado	1	50.00	50.00
	Fibra de vidrio	1	120.00	120.00
	<b>Subtotal</b>			<b>1,360.00</b>
2	<b>Instalación de red de tuberías para gas</b>			
	Estación de Regulación y Medición	1	15,000.00	15,000.00
	Cañería de cobre	30	15.00	450.00
	Accesorios	1	150.00	150.00
	Válvulas reguladoras de presión	5	75.00	375.00
	<b>Subtotal</b>			<b>15,975.00</b>
3	<b>Sistema de control de temperatura</b>			
	Cable para alta temperatura	4	15.00	60.00
	Cable #14 AWG	10	1.00	10.00
	Pulsadores	2	35.00	70.00
	Fotoceldas	5	42.00	210.00
	Generadores de chispa	5	23.00	115.00
	Relés de 8 pines, 3A con base para riel din	10	35.00	350.00
	PLC con módulo de 8 entradas	1	2,200.00	2,200.00
	Luces piloto led de 5w	12	18.00	216.00
	Portafusibles	15	25.00	375.00
	Fusibles	15	2.00	30.00
		<b>Subtotal</b>		
4	<b>Mano de obra</b>			
	Jefe de obra	1	1,500.00	1,500.00
	Proyectista IG3	1	1,500.00	1,500.00
	Electricista	1	300.00	300.00
	Mecánico	1	300.00	300.00
	<b>Subtotal</b>			<b>3,600.00</b>
5	<b>Transporte</b>	1	200.00	200.00
	<b>Subtotal</b>			<b>200.00</b>
<b>Total de Inversión</b>				<b>24,771.00</b>

La implementación del sistema de calentamiento a gas natural conlleva el uso de accesorios y equipos sin los cuales no podría entrar en funcionamiento el nuevo sistema, por lo tanto el análisis comprende describir en primer lugar los costos de equipamiento y mano de obra a utilizar.

Una vez conocido el monto de la inversión inicial (Ver tabla 3.2) se verificará que el tiempo de retorno de la inversión no sea un periodo prolongado.

Se propone que el íntegro de la inversión sea asumido por la empresa Eurotubo S.A.C, tal como se detalla en la tabla 3.3.

Tabla 3.3 Inversión y financiamiento (Elaboración propia)

<b>INVERSION</b>		
<b>Descripción</b>		<b>Monto (S/.)</b>
Total incluye equipos y mano de obra		<b>24,771.00</b>
Otros		-
<b>TOTAL DE COSTOS ESTIMADOS</b>		24,771.00
<b>TOTAL DE INVERSION DEL PROYECTO</b>		<b>S/.</b> <b>24,771.00</b>
<b>FINANCIAMIENTO</b>		
<b>Descripción</b>		<b>Monto (S/.)</b>
Aporte propio, % Inversión total	100%	<b>S/.</b> <b>24,771.00</b>
Financiamiento		<b>S/.</b> -
Total inversión		<b>S/.</b> <b>24,771.00</b>
<b>Condiciones del Financiamiento</b>		
<b>Descripción</b>		<b>Monto (S/.)</b>
Préstamo		<b>S/.</b> -
Tasa efectiva anual		0.00%
Tasa efectiva mensual		0.00%
Plazo, meses		1
cuota mensual, Soles/mes		<b>S/.</b> -

Para saber si el proyecto de inversión debe llevarse a cabo o no, se evaluará el valor actual neto (VAN), el periodo de retorno de la inversión (PRI) y la tasa interna de retorno (TIR). Los resultados del cálculo se observan en la tabla 3.4. para la realización de la proyección de gastos se utilizó la tabla A.17.

Tabla 3.4 VAN, PRI y TIR del sistema de calentamiento usando gas natural (Elaboración propia)

Precios por hora	Años										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Precio Energía Eléctrica a 5 años		9.43	9.62	9.81	10.01	10.21	10.42	10.62	10.84	11.05	11.27
Precio Gas a 5 años		3.31	3.37	3.44	3.51	3.58	3.65	3.73	3.80	3.88	3.95

Horas disponibles proyectadas	Años										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		5,921.49	6,513.64	6,643.91	6,776.79	6,912.32	7,050.57	7,191.58	7,335.41	7,482.12	7,631.76

Simulador de incremento de tasa efectiva de utilización 20%

	Años										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Utilización efectiva		2,110.63	2,786.03	2,927.01	3,075.11	3,230.72	3,394.19	3,565.94	3,746.37	3,935.94	4,135.10
Costo Energía Eléctrica/H.		19,910.30	26,807.23	33,704.16	40,601.08	47,498.01	54,394.94	61,291.87	68,188.80	75,085.72	81,982.65
Costo Energía Gas/H.		6,982.68	9,401.47	10,074.73	10,796.21	11,569.34	12,397.85	13,285.68	14,237.10	15,256.64	16,349.20
<b>Ahorro</b>		<b>12,927.62</b>	<b>17,405.75</b>	<b>23,629.42</b>	<b>29,804.88</b>	<b>35,928.67</b>	<b>41,997.09</b>	<b>48,006.19</b>	<b>53,951.70</b>	<b>59,829.08</b>	<b>65,633.45</b>

<b>Beneficio, neto</b>	<b>- 24,771.00</b>	<b>12,927.62</b>	<b>17,405.75</b>	<b>23,629.42</b>	<b>29,804.88</b>	<b>35,928.67</b>	<b>41,997.09</b>	<b>48,006.19</b>	<b>53,951.70</b>	<b>59,829.08</b>	<b>65,633.45</b>
<b>Recuperación de capital</b>	<b>- 24,771.00</b>	<b>- 11,843.38</b>	<b>5,562.38</b>	<b>29,191.80</b>	<b>58,996.68</b>	<b>94,925.35</b>	<b>136,922.44</b>	<b>184,928.63</b>	<b>238,880.33</b>	<b>298,709.41</b>	<b>364,342.86</b>

<b>COK</b>	15%
<b>VAN</b>	137,143.78
<b>TIR</b>	79%
<b>Número de años</b>	<b>10</b> <b>Años</b>

PRI (Años)	1.81	<b>Años</b>
<b>PRI: Periodo de Retorno de la Inversión</b>		
PRI (Años) = (VA(Io)) / (VA(Bn) / N)		

#### Comentarios:

(1) El cuadro precio por hora muestra el precio expresado en soles por cada hora. Para proyectar el precio se consideró un incremento anual de 2%, para incorporar la variable de inflación. El incremento no tiene un impacto significativo en los resultados.

(2) El cuadro horas disponibles proyectadas se trabajó con los datos de los últimos 12 meses, de horas disponibles para la línea 5. Con los datos obtenidos se observa que sólo hay una tasa de utilización del 36%. Los siguientes 10 años se proyectaron considerando un incremento en la tasa efectiva de utilización en 20%, para el segundo año, para luego mantener el crecimiento en 3% anual. Estas variables tienen un importante efecto en el resultado de la evaluación del proyecto ya que a medida que mayor sea la tasa efectiva de utilización, los resultados serán más favorables.

(3) En el cuadro Flujo de beneficios económicos se observa la cantidad de horas utilizadas por año, así como el costo que representa la opción de energía eléctrica, el costo de Gas y el ahorro para la empresa.

(4) Para la evaluación del proyecto se utilizaron 3 indicadores: VAN, TIR y PRI. En un escenario conservador, se observa que los resultados obtenidos son favorables, con un VAN positivo, una TIR alta, siendo el periodo de recuperación de la inversión inferior a 2 años.

## IV. Discusión

4.1 Diseñar un sistema de calentamiento con una fuente energética distinta de la energía eléctrica supone una inversión inicial para el empresario y además que el nuevo sistema cumpla con los requerimientos propios del proceso de extrusión a fin de no afectar la calidad del producto. Se tomó como referencia la investigación de Cruz (2014) en el que plantea que la conversión a gas contribuiría significativamente en ahorro por gasto energético hasta en un 60% y además plantea que el calentamiento de barril es más eficiente gases calientes producto de la combustión del gas natural que con resistencias eléctricas, Cruz refiere que realizó el modelamiento de transferencia de calor con el software Ansys.

4.2 El calor necesario para fundir 550kg/h de plástico es necesario 44.9 kW, lo cual no considera las pérdidas de calor y es el resultado de multiplicar la masa del plástico por su calor específico a presión constante y por la diferencia de temperatura. Este método de obtención de la potencia calorífica se corrobora con la teoría de transferencia de calor y además es utilizada en la investigación de Moscoso y Ualli (2008).

4.3 El método de control de temperatura propuesto en la presente investigación es el on/off pues se trata que la temperatura se mantenga en un punto fijo y en este caso el controlador solamente activa o desactiva a los calefactores y en el proceso existe variaciones de temperatura. Cruz (2014) en su investigación habla sobre lo complejo en la solución analítica que rigen los fenómenos de transporte y propone que con un controlador de temperatura que sea proporcional, integral y derivativo (PID) se podría aplicar modelos predictivos de programación liviana para el control de temperatura, sin lugar a dudas lo propuesto por Cruz (2014) respecto al método de control de temperatura trae consigo mayores ventajas sobre el método propuesto por mi persona ya que un controlador PID utiliza algoritmos más sofisticados. Cabe resaltar además que los plásticos no necesitan un nivel estricto de temperatura sino que por lo general tienen una temperatura de extrusión que puede variar en algunos grados centígrados por lo que no existiría diferencia en usar uno u otro controlador de temperatura.

4.4 Realizar el análisis del sistema de calentamiento actual significa encontrar la potencia calorífica necesaria para procesar determinada cantidad de materia prima, saber el flujo de masa de plástico que se procesa y conocer la temperatura a la cual se debe calentar el barril. Es así que para Moscoso y Ualli (2008) fue el punto de partida para determinar la potencia calorífica de diseño para construir un horno que utilice gas licuado de petróleo (GLP) como reemplazo de las resistencias eléctricas en el proceso de extrusión de plásticos, la investigación que ellos realizaron fue de tipo experimental a diferencia de la presente investigación. El polímero con el que trabajaron fue polipropileno el cual funde a 180°C.

4.5 Para saber cuánta masa de aire, combustible y gases producto de la combustión utilizaron cálculos estequiométricos. Un aporte importante que realizan es que el aire empleado en la combustión del GLP será previamente calentado por los gases calientes. La relación aire combustible que ellos calcularon fue de 17.9 kg de aire por cada kilogramo de GLP lo cual no difiere significativamente de la misma relación para el gas natural la cual es de 19.7 kg aire/kg de combustible. la ventaja sustancial entre usar uno y otro gas es que en el caso del gas natural el suministro es continuo, es decir por tubería directamente a la fábrica, no siendo así en el caso del GLP. Además los gases producto de la combustión en el caso del gas natural son más amigables con el medio ambiente.

4.6 Moscoso y Ualli (2008) realizan el cálculo anual de los pagos por compra de energía eléctrica y también realizan el cálculo de cuanto se pagaría si se usaría GLP, obteniendo como resultado un ahorro del 75% a favor del GLP. Para el caso de usar gas natural en la presente tesis el ahorro representa alrededor del 65%. La investigaciones de sustituir las resistencias eléctricas por un gas se hacen teniendo en cuenta en ambos casos la disponibilidad y continuidad de suministro del combustible. En el caso de la presente investigación se realiza el diseño del sistema calefactor usando gas natural sabiendo que en pocos meses se contará con el suministro continuo del combustible lo cual representa una oportunidad para la empresa de reducir sus costos de producción sustituyendo el sistema actual de calentamiento.

## V. Conclusiones

5.1 Se diseñó un sistema de calentamiento utilizando gas natural tomando como base las características de una máquina extrusora ubicada en la línea n°5 de la Planta 1 de la empresa Eurotubo S.A.C y se comprobó que efectivamente se ahorra un promedio de 65% en gastos de energía utilizando gas natural.

5.2 Se analizó el proceso actual de extrusión de tubería plástica en donde el promedio de temperatura de extrusión es de 180°C, además se calculó el calor necesario para procesar 550kg/h de materia prima el cual es 44.9kW, así mismo conociendo el valor de las resistencias eléctricas y conociendo el nivel de tensión eléctrica se llegó a la conclusión que las resistencias eléctricas disipan 51.48kW, lo que se realizó luego fue calcular la cantidad de calor que se pierde al ambiente tanto por radiación como por convección obteniendo un total de 6.13kW. Finalmente se calculó la cantidad de dinero que se paga en un periodo de 24 horas para eso se tuvo en cuenta el tipo de tarifa que paga la empresa la cual es MT3 y se obtuvo como resultado que en un periodo de 24 horas la empresa paga 226.4 soles.

5.3 Se calculó la cantidad de gases producto de la combustión para generar el mismo calor que las resistencias eléctricas. Primero se calculó que el flujo de gas natural necesario es de 3.32kg/h, de la ecuación estequiométrica de la combustión del metano se obtuvo la relación de aire y combustible entre ambas sustancias, la cual es de  $19.7\text{kg}_{\text{aire}}/\text{kg}_{\text{cble}}$  pudiendo deducir que el flujo de aire es de 65.4kg/h y el flujo de gases calientes es de 68.7k/h. también se realizaron los cálculos para el dimensionamiento de la red interna de gas natural teniendo como bases para el cálculo la Norma Técnica Peruana NTP 111.010 y 111.011.

5.4 Antes de proceder a diseñar el sistema de calentamiento se presentaron y describieron tres propuestas de diseño en la cual debía elegirse la propuesta más viable y que garantice que la transmisión de calor se realizaría sin cambios bruscos de temperatura y que además la temperatura tendría que mantenerse en cierto rango. Se calculó en primer lugar el volumen de la cámara de combustión el cual es de 0.19m<sup>2</sup> y también se calculó también el espesor del aislante térmico.

5.5 Se diseñó el sistema de control de temperatura a con el fin de que la temperatura no varíe más de lo permitido que puede ser hasta 10°C, es así que se diseñó un sistema de control de temperatura cuyo cerebro o controlador principal sea un PLC el cual se sugiere sea de la marca Siemens en el modelo S7-1200.

5.6 para realizar el análisis económico financiero se trabajó con los reportes de los últimos 12 meses (de octubre 2016 a setiembre 2017) haciendo una comparación entre las horas disponibles de la línea 5 donde se obtuvo que se utilizó solamente el 36% del total. Los siguientes 10 años se proyectaron considerando un incremento en la tasa efectiva de utilización en 20%, para el segundo año, para luego mantener el crecimiento en 3% anual. Estas variables tienen un importante efecto en el resultado de la evaluación del proyecto ya que a medida que mayor sea la tasa efectiva de utilización, los resultados serán más favorables. Para la evaluación del proyecto se utilizaron 3 indicadores: VAN, TIR y PRI. Se observa que los resultados obtenidos son favorables, con un VAN positivo (superior a los 100 000 soles), una TIR alta (cerca del 80 %), siendo el periodo de recuperación de la inversión inferior a 2 años.

## **VI. Recomendaciones**

6.1 se recomienda llevar registro documentado de los parámetros o condiciones de operación del sistema de calentamiento a fin de que sirvan de guía para futuras mejoras o cambios una vez esté implementado el sistema de calentamiento usando gas natural.

6.2 Realizar el estudio de sustitución de resistencias eléctricas por gas natural para todas las líneas de extrusión con las que cuenta la planta si y sólo si el empresario se convence con resultados objetivos que la inversión inicial es recuperable en el corto o mediano plazo.

6.3 Realizar estudios sobre otros métodos de sistemas de calentamiento que no necesariamente incluya calentamiento por gases quemados sino por otro medio de transmisión del calor.

## VII. Referencias Bibliográficas.

1. Acevedo, José. 2003. Control avanzado de procesos. MADRID : Ediciones Diaz de santos S.A, 2003. 84-7978-545-4.
2. Análisis teórico de la combustión en quemadores de gas natural. Serrano, Juan y Carranza , Yamid. 2005. 29, Pereira : Universidad tecnológica de Pereira, 2005, Vol. 3. 0122-1701.
3. Apaza, Mario. 2010. Consultor Económico Financiero. Lima : Instituto Pacífico S.A.C, 2010. 978-9972-234-70-5.
4. Barbierii, E. 1998. El pozo Ilustrado, PDVSA. Caracas : Editorial del centro internacional de Educación y Desarrollo (FONCIED), 1998.
5. Beltrán, Maribel y Marcilla, Antonio. 2012. Tecnología de Polímeros. Alicante : Universidad de Alicante, 2012. 978-84-9717-232-5.
6. Berrío, Deysi y Castrillón, Jaime. 2008. Costos para Gerenciar Organizaciones Manufactureras, Comerciales y de Servicios. Barranquilla : Uninorte, 2008. 978-958-8252-75-9.
7. Bilurbina, Luis y Liesa, Francisco. 1990. Materiales no Metálicos Resistentes a la Corrosión. Barcelona : Marcombo, 1990. 84-267-0760-4.
8. Budynas, Richard G. y Nisbett, J. Keith. 2012. Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley. Novena edición. México D.F : Mc Graw Hill, 2012. 978-607-15-0771-6.
9. Cengel, Yunus A. y Boles, Michael A. 2015. TERMODINÁMICA. Octava. México D.F : Mc Graw Hill, 2015. 978-607-15-1281-9.
10. Giles, Harold F, Wagner , Jhon R y Mount, Eldridge M. 2005. Extrusion: The definitive processing guide and handbook. New York : William Andrew Inc., 2005. 0-8155-1473-5.
11. Groover, Mikell P. 2012. *Fundamentos de manufactura moderna*. México D.F : Mc Graw Hill, 2012. 0471-74485-6.

12. Holman, J.P. 1998. Transferencia de Calor. Octava. Madrid : Mc Graw Hill, 1998. 007-844785-2.
13. Incropera, Frank p y Dewitt, David P. 1999. Fundamentos de transferencia de calor. México D.F : Prentice Hall, 1999. 0-471-30460-3.
14. Jutglar, luis y Galán, Maribel. 2012. Termodinámica. primera edición. Barcelona : Marcombo, 2012. 978-84-267-1733-7.
15. Kern, Donald Q. 1987. Procesos de Transferencia de Calor. Mexico D.F : Mc Graw Hill, 1987.
16. Lafuente, Santiago V.L., Burguete, Isabel y Altaba, Belén. 1997. Introducción a la Química Orgánica. Castellón : Universitat Jaume, 1997. 84-8021-160-1.
17. Morales, J. Eduardo. 2010. Introducción a la Ciencia y Tecnología de los Plásticos. México d.f : Editorial Trillas S.A, 2010. 978-607-17-0624-9.
18. Moran, Michael J. y Shapiro, Howard N. 2004. Fundamentos de Termodinámica Técnica. Segunda. Barcelona : REverté, 2004. 84-291-4313-0.
19. Omega. 2017. controladores de temperatura. [En línea] omega, 2017. [Citado el: 9 de noviembre de 2017.] <https://es.omega.com/prodinfo/controladores-de-temperatura.html>.
20. Osinergmin. 2014. La industria del gas natural en el Perú a diez años del proyecto camisea. Lima : Tamayo, Jesús; Salvador, Julio; Vásquez, Arturo; García, Raúl, 2014. 978-612-47350-3-5.
21. Osinergmin. 2017. Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería. [En línea] Osinergmin, Noviembre de 2017. [Citado el: 12 de Noviembre de 2017.] <http://www.osinergmin.gob.pe/>.
22. Perez, Ramiro y Martínez, Marcías. 1994. Ingeniería de gas natural. Maracaibo : Ingenieros Consultores S.R.L, 1994. 980-296-398-4.
23. Soto, José Luis. 2001. *Química orgánica*. Madrid : Síntesis S.A, 2001. Vol. II. 84-7738-905-5.

24. toolbox, The Engineering. 2017. Optimal combustion process-Fuel and excess air. [En línea] The Engineering toolbox, 2017. [Citado el: 12 de Noviembre de 2017.] [www.engineeringtoolbox.com](http://www.engineeringtoolbox.com).
25. Tuberías de Polietileno de Alta Densidad (PEAD/HDPE). EUROTUBO, S.A.C. 2016. 2016, EUROTUBO.
26. Cruz, Gloria. 2014. Una Revisión de Sistemas de Calentamiento y Control de Temperatura para Extrusión de Polímeros. Revista Cintex de la Institución Universitaria Pascual Bravo, Vol. 19, Colombia
27. Moscoso, byron F. y Gualli Luis V. 2008. Diseño y construcción de un sistema de calentamiento a gas para la fabricación de planchas de Polipropileno Techoluz. Tesis de grado perío a la obtención del título de Ingenieros Mecánicos. Escuela politécnica de Chimborazo, riobamba-Ecuador.
28. Análisis teórico de la combustión en quemadores de gas natural. Serrano, Juan y Carranza , Yamid. 2005. 29, Pereira : Universidad tecnológica de Pereira, 2005, Vol. 3. 0122-1701.

## ANEXOS

Tabla A.1: Masa molar, constante de gas y calores específicos de ciertas sustancias (Cengel, y otros, 2015).

Sustancia	Masa molar $M$ , kg/kmol	Constante de gas $R$ , kJ/kg · K*	Calores específicos a 25°C		
			$c_p$ , kJ/kg · K	$c_v$ , kJ/kg · K	$k = c_p/c_v$
Aire	28.97	0.2870	1.005	0.7180	1.400
Amoniaco, NH <sub>3</sub>	17.03	0.4882	2.093	1.605	1.304
Argón, Ar	39.95	0.2081	0.5203	0.3122	1.667
Bromo, Br <sub>2</sub>	159.81	0.05202	0.2253	0.1732	1.300
Isobutano, C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	58.12	0.1430	1.663	1.520	1.094
<i>n</i> -Butano, C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	58.12	0.1430	1.694	1.551	1.092
Carbono, bióxido de, CO <sub>2</sub>	44.01	0.1889	0.8439	0.6550	1.288
Carbono, monóxido de, CO	28.01	0.2968	1.039	0.7417	1.400
Cloro, Cl <sub>2</sub>	70.905	0.1173	0.4781	0.3608	1.325
Clorodifluorometano (R-22), CHClF <sub>2</sub>	86.47	0.09615	0.6496	0.5535	1.174
Etano, C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	30.070	0.2765	1.744	1.468	1.188
Etileno, C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	28.054	0.2964	1.527	1.231	1.241
Fluoruro, F <sub>2</sub>	38.00	0.2187	0.8237	0.6050	1.362
Helio, He	4.003	2.077	5.193	3.116	1.667
<i>n</i> -Heptano, C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	100.20	0.08297	1.649	1.566	1.053
<i>n</i> -Hexano, C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	86.18	0.09647	1.654	1.558	1.062
Hidrógeno, H <sub>2</sub>	2.016	4.124	14.30	10.18	1.405
Kriptón, Kr	83.80	0.09921	0.2480	0.1488	1.667
Metano, CH <sub>4</sub>	16.04	0.5182	2.226	1.708	1.303
Neón, Ne	20.183	0.4119	1.030	0.6180	1.667
Nitrógeno, N <sub>2</sub>	28.01	0.2968	1.040	0.7429	1.400
Óxido nítrico, NO	30.006	0.2771	0.9992	0.7221	1.384
Nitrógeno, bióxido de, NO <sub>2</sub>	46.006	0.1889	0.8060	0.6171	1.306
Oxígeno, O <sub>2</sub>	32.00	0.2598	0.9180	0.6582	1.395
<i>n</i> -Pentano, C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	72.15	0.1152	1.664	1.549	1.074
Propano, C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	44.097	0.1885	1.669	1.480	1.127
Propileno, C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	42.08	0.1976	1.531	1.333	1.148
Agua, H <sub>2</sub> O	18.015	0.4615	1.865	1.403	1.329
Sulfuro, bióxido de, SO <sub>2</sub>	64.06	0.1298	0.6228	0.4930	1.263
Tetraclorometano, CCl <sub>4</sub>	153.82	0.05405	0.5415	0.4875	1.111
Tetrafluoroetano (R-134a), C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> F <sub>4</sub>	102.03	0.08149	0.8334	0.7519	1.108
Trifluoroetano (R-143a), C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> F <sub>3</sub>	84.04	0.09893	0.9291	0.8302	1.119
Xenón, Xe	131.30	0.06332	0.1583	0.09499	1.667

\*La unidad kJ/kg · K es equivalente a kPa · m<sup>3</sup>/kg · K. La constante de gas se calcula de  $R = R_u/M$ , donde  $R_u = 8.31447$  kJ/kmol · K es la constante de gas universal y  $M$  la masa molar.

Fuente: Valores de calores específicos se obtuvieron principalmente de rutinas de propiedad preparadas por The National Institute of Standards and Technology (NIST), Gaithersburg, MD.

Tabla A.2: Propiedades de materiales aislantes a una temperatura media de 24 °C (Cengel, y otros, 2015).

Material	Espesor, $L$ mm	Densidad, $\rho$ kg/m <sup>3</sup>	Conductividad térmica, $k$ W/m · K	Calor específico, $c_p$ kJ/kg · K	Valor $R$ (para los espesores de la lista, $L/k$ ), K · m <sup>2</sup> /W
<b>Colcha y lámina</b>					
Fibra mineral (forma fibrosa procesada a partir de roca, escoria o vidrio)	50 a 70 mm	4.8-32	—	0.71-0.96	1.23
	75 a 90 mm	4.8-32	—	0.71-0.96	1.94
	135 a 165 mm	4.8-32	—	0.71-0.96	3.32
<b>Tablero y losa</b>					
Vidrio celular		136	0.055	1.0	—
Fibra de vidrio (ligamento orgánico)		64-144	0.036	0.96	—
Poliestireno expandido (bolitas moldeadas)		16	0.040	1.2	—
Poliuretano expandido ( $R$ -11 expandido)		24	0.023	1.6	—
Perlita expandida (ligamento orgánico)		16	0.052	1.26	—
Caucho expandido (rígido)		72	0.032	1.68	—
Fibra mineral con aglomerante de resina		240	0.042	0.71	—
Corcho		120	0.039	1.80	—
<b>Rociado o formado en el sitio</b>					
Espuma de poliuretano		24-40	0.023-0.026	—	—
Fibra de vidrio		56-72	0.038-0.039	—	—
Uretano, mezcla de dos partes (espuma rígida)		70	0.026	1.045	—
Gránulos de lana mineral con aglomerantes de asbesto/inorgánico (rociado)		190	0.046	—	—
<b>Relleno flojo</b>					
Fibra mineral (de roca, escoria o vidrio)	~ 75 a 125 mm	9.6-32	—	0.71	1.94
	~165 a 222 mm	9.6-32	—	0.71	3.35
	~191 a 254 mm	—	—	0.71	3.87
	~185 mm	—	—	0.71	5.28
Aerogel de sílice		122	0.025	—	—
Vermiculita (expandida)		122	0.068	—	—
Perlita (expandida)		32-66	0.039-0.045	1.09	—
Aserrín o virutas		128-240	0.065	1.38	—
Aislamiento celulósico (papel molido o pulpa de madera)		37-51	0.039-0.046	—	—
<b>Aislamiento para techo</b>					
Vidrio celular	—	144	0.058	1.0	—
Preformado, para usarse arriba del tablero	13 mm	—	—	1.0	0.24
	25 mm	—	—	2.1	0.49
	50 mm	—	—	3.9	0.93
<b>Aislamiento reflector</b>					
Polvo sílice (al vacío)		160	0.0017	—	—
Hoja de aluminio separando colchones de vidrio esponjoso; 10 a 12 capas (al vacío); para aplicaciones criogénicas (150 K)		40	0.00016	—	—
Hoja de aluminio y laminado de vidrio y papel; 75 a 150 capas; para aplicaciones criogénicas (150 K)		120	0.000017	—	—

Tabla A.3: propiedades físicas de algunos gases (valores aproximados a 68°F y 14.7 lb/pulg<sup>2</sup>) (Crane, 2009).

Nombre del gas	Fórmula química o símbolo	Peso molecular aproximado <i>M</i>	Densidad lb/pie <sup>3</sup> <i>ρ</i>	Peso específico con relación al aire <i>S<sub>g</sub></i>	Constante individual del gas <i>R</i>	Calor específico a temperatura ambiente Btu /Lb °F		Capacidad calorífica por pie cúbico		<i>k</i> igual a <i>c<sub>p</sub>/c<sub>v</sub></i>
						<i>c<sub>p</sub></i>	<i>c<sub>v</sub></i>	<i>c<sub>p</sub></i>	<i>c<sub>v</sub></i>	
Acetileno (etino)	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	26.0	.0682	0.907	59.4	0.350	0.269	.0239	.0184	1.30
Aire		29.0	.0752	1.000	53.3	0.241	0.172	.0181	.0129	1.40
Amoniaco	NH <sub>3</sub>	17.0	.0448	0.596	91.0	0.523	0.396	.0234	.0178	1.32
Argón	A	39.9	.1037	1.379	38.7	0.124	0.074	.0129	.0077	1.67
n-Butano	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	58.1	.1554	2.067	26.5	0.395	0.356	.0614	.0553	1.11
Dióxido de carbono	CO <sub>2</sub>	44.0	.1150	1.529	35.1	0.205	0.158	.0236	.0181	1.30
Monóxido de carbono	CO	28.0	.0727	0.967	55.2	0.243	0.173	.0177	.0126	1.40
Cloro	Cl <sub>2</sub>	70.9	.1869	2.486	21.8	0.115	0.086	.0215	.0162	1.33
Etano	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	30.0	.0789	1.049	51.5	0.386	0.316	.0305	.0250	1.22
Etileno	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	28.0	.0733	0.975	55.1	0.400	0.329	.0293	.0240	1.22
Helio	He	4.0	.01039	0.1381	386.3	1.250	0.754	.0130	.0078	1.66
Ácido clorhídrico	HCl	36.5	.0954	1.268	42.4	0.191	0.135	.0182	.0129	1.41
Hidrógeno	H <sub>2</sub>	2.0	.00523	0.0695	766.8	3.420	2.426	.0179	.0127	1.41
Sulfuro de hidrógeno	H <sub>2</sub> S	34.1	.0895	1.190	45.2	0.243	0.187	.0217	.0167	1.30
Metano	CH <sub>4</sub>	16.0	.0417	0.554	96.4	0.593	0.449	.0247	.0187	1.32
Cloruro de metilo	CH <sub>3</sub> Cl	50.5	.1342	1.785	30.6	0.240	0.200	.0322	.0268	1.20
Gas natural*	---	19.5	.0502	0.667	79.1	0.560	0.441	.0281	.0221	1.27
Óxido nítrico	NO	30.0	.0780	1.037	51.5	0.231	0.165	.0180	.0129	1.40
Nitrógeno	N <sub>2</sub>	28.0	.0727	0.967	55.2	0.247	0.176	.0180	.0127	1.41
Óxido nitroso	N <sub>2</sub> O	44.0	.1151	1.530	35.1	0.221	0.169	.0254	.0194	1.31
Oxígeno	O <sub>2</sub>	32.0	.0831	1.105	48.3	0.217	0.155	.0180	.0129	1.40
Propano	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	44.1	.1175	1.562	35.0	0.393	0.342	.0462	.0402	1.15
Propano propileno	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	42.1	.1091	1.451	36.8	0.358	0.314	.0391	.0343	1.14
Dióxido de azufre	SO <sub>2</sub>	64.1	.1703	2.264	24.0	0.154	0.122	.0262	.0208	1.26

Tabla A.4: propiedades del aire (toolbox, 2017)

Temperature (K)	Specific Heat		Ratio of Specific Heats - k - ( $c_p/c_v$ )	Dynamic Viscosity - $\mu$ - ( $10^{-5}$ kg/m s)	Thermal Conductivity ( $10^{-5}$ kW/m K)	Prandtl Number	Kinematic Viscosity <sup>1)</sup> - $\nu$ - ( $10^{-5}$ m <sup>2</sup> /s)	Density <sup>1)</sup> - $\rho$ - (kg/m <sup>3</sup> )	Diffusivity - $\alpha$ - ( $10^{-6}$ m <sup>2</sup> /s)
	- $c_p$ - (kJ/kgK)	- $c_v$ - (kJ/kgK)							
175	1.0023	0.7152	1.401	1.182	1.593	0.744	0.586	2.017	
200	1.0025	0.7154	1.401	1.329	1.809	0.736	0.753	1.765	10.17
225	1.0027	0.7156	1.401	1.467	2.020	0.728	0.935	1.569	
250	1.0031	0.7160	1.401	1.599	2.227	0.720	1.132	1.412	15.67
275	1.0038	0.7167	1.401	1.725	2.428	0.713	1.343	1.284	
300	1.0049	0.7178	1.400	1.846	2.624	0.707	1.568	1.177	22.07
325	1.0063	0.7192	1.400	1.962	2.816	0.701	1.807	1.086	
350	1.0082	0.7211	1.398	2.075	3.003	0.697	2.056	1.009	29.18
375	1.0106	0.7235	1.397	2.181	3.186	0.692	2.317	0.9413	
400	1.0135	0.7264	1.395	2.286	3.365	0.688	2.591	0.8824	36.94
450	1.0206	0.7335	1.391	2.485	3.710	0.684	3.168	0.7844	
500	1.0295	0.7424	1.387	2.670	4.041	0.680	3.782	0.7060	
550	1.0398	0.7527	1.381	2.849	4.357	0.680	4.439	0.6418	
600	1.0511	0.7640	1.376	3.017	4.661	0.680	5.128	0.5883	
650	1.0629	0.7758	1.370	3.178	4.954	0.682	5.853	0.5430	
700	1.0750	0.7879	1.364	3.332	5.236	0.684	6.607	0.5043	
750	1.0870	0.7999	1.359	3.482	5.509	0.687	7.399	0.4706	
800	1.0987	0.8116	1.354	3.624	5.774	0.690	8.214	0.4412	
850	1.1101	0.8230	1.349	3.763	6.030	0.693	9.061	0.4153	
900	1.1209	0.8338	1.344	3.897	6.276	0.696	9.936	0.3922	
950	1.1313	0.8442	1.340	4.026	6.520	0.699	10.83	0.3716	
1000	1.1411	0.8540	1.336	4.153	6.754	0.702	11.76	0.3530	
1050	1.1502	0.8631	1.333	4.276	6.985	0.704	12.72	0.3362	
1100	1.1589	0.8718	1.329	4.396	7.209	0.707	13.70	0.3209	
1150	1.1670	0.8799	1.326	4.511	7.427	0.709	14.70	0.3069	
1200	1.1746	0.8875	1.323	4.626	7.640	0.711	15.73	0.2941	
1250	1.1817	0.8946	1.321	4.736	7.849	0.713	16.77	0.2824	
1300	1.1884	0.9013	1.319	4.846	8.054	0.715	17.85	0.2715	
1350	1.1946	0.9075	1.316	4.952	8.253	0.717	18.94	0.2615	
1400	1.2005	0.9134	1.314	5.057	8.450	0.719	20.06	0.2521	
1500	1.2112	0.9241	1.311	5.264	8.831	0.722	22.36	0.2353	
1600	1.2207	0.9336	1.308	5.457	9.199	0.724	24.74	0.2206	
1700	1.2293	0.9422	1.305	5.646	9.554	0.726	27.20	0.2076	
1800	1.2370	0.9499	1.302	5.829	9.899	0.728	29.72	0.1961	
1900	1.2440	0.9569	1.300	6.008	10.233	0.730	32.34	0.1858	

<sup>1)</sup> At pressure 1 atm

Tabla A.5: Emisividades normales ( (Díez, 1996)

<b>METALES</b>	<i>Estado superficie</i>	<i>Temperatura (°C)</i>	<i>Emisividad <math>\epsilon</math></i>	<b>NO METALES</b>	<i>Estado superficie</i>	<i>Temperatura (°C)</i>	<i>Emisividad <math>\epsilon</math></i>
Aluminio	<i>placa pulida</i>	25	0,040	Amianto	<i>en cartón</i>	37	0,960
Aluminio	<i>placa pulida</i>	200-600	0,038-0,06	Amianto	<i>en papel</i>	37	0,930
Aluminio	<i>oxidado</i>	100-500	0,20-0,33	Ladrillo	<i>1,5962</i>	1000	0,380
Aluminio	<i>placa mate</i>	25	0,070	Ladrillo	<i>rojo, rugoso</i>	20	0,930
Antimonio	<i>pulido</i>	37-260	0,28-0,31	Ladrillo	<i>gris, satinado</i>	1100	0,750
Latón	<i>oxidado</i>	200-500	0,600	Ladrillo	<i>silíceo</i>	540	0,800
Latón	<i>pulido</i>	20-300	0,05-0,032	Carbón,	<i>filamento</i>	1050-1400	0,526
Latón	<i>placa usada</i>	50-350	0,220	Carbón,	<i>carbonilla bujías</i>	95-270	0,953
Latón	<i>mate</i>	50	0,202	Carbón,	<i>negro de humo</i>	20	0,930
Cromo	<i>pulido</i>	37-1100	0,058	Cerámica	<i>alfarería, satinado</i>	20	0,900
Cobre	<i>negro oxidado</i>	37	0,780	Cerámica	<i>porcelana</i>	22	0,920
Cobre	<i>ligeramente mate</i>	25	0,037	Cerámica	<i>refractaria, negra</i>	93	0,940
Cobre	<i>pulido</i>	37-260	0,04-0,05	Arcilla	<i>caldeada</i>	70	91
Cobre	<i>1,5962</i>	80	0,018	Hormigón	<i>rugoso</i>	37	0,94
Oro	<i>no pulido</i>	20	0,470	Vidrio	<i>liso</i>	22	0,940
Oro	<i>pulido</i>	37-260	0,020	Vidrio	<i>1,5962</i>	260-530	0,95-0,85
Hierro	<i>oxidado</i>	100	0,740	Hielo	<i>liso</i>	0	0,966
Hierro	<i>esmerilado</i>	20	0,240	Hielo	<i>rugoso</i>	0	0,985
Hierro	<i>pulido</i>	425-1025	0,14-0,38	Mármol	<i>grano fino pulido</i>	22	0,93
Hierro	<i>todo oxidado</i>	20	0,69	Mica		37	0,75
Hierro	<i>laminado</i>	925-1100	0,87-0,95	Mampostería	<i>emplastecida</i>	0	0,930
Fundición	<i>mecanizada</i>	22	0,44	Papel	<i>ordinario</i>	20	0,8-0,9
Fundición	<i>1,5962</i>	200-600	0,64-0,78	Papel	<i>amianto</i>	20	0,950
Plomo	<i>1,5962</i>	200	0,63	Papel	<i>alquitranado</i>	20	0,910
Plomo	<i>oxidado gris</i>	23	0,280	Papel	<i>ordinario</i>	95	0,920
Plomo	<i>pulido</i>	130-260	0,08-0,056	Yeso blanco	<i>rugosa</i>	20	0,930
Magnesio	<i>pulido</i>	37-260	0,07-0,13	Porcelana	<i>vidriada</i>	20	0,930
Magnesio	<i>oxidado</i>	275-825	0,55-0,2	Cuarzo fundido	<i>rugoso</i>	20	0,930
Molibdeno	<i>para filamentos</i>	700-2600	0,10-0,20	Goma blanda	<i>gris</i>	25	0,860
Molibdeno	<i>pulido</i>	150-480	0,02-0,05	Goma dura	<i>negra rugosa</i>	25	0,950
1,5962	<i>pulido</i>	37	0,170	Madera de haya	<i>láminas</i>	25	0,935
Níquel	<i>1,5962</i>	260-540	0,37-0,48	Madera de encina	<i>láminas</i>	25	0,885
Níquel	<i>pulido</i>	100-260	0,045-0,07	Tierra		37	0,950
Níquel	<i>1,5962</i>	37-260	0,04-0,06	<b>PINTURAS</b>			
Platino	<i>1,5962</i>	260-540	0,06-0,1	Aluminio	<i>bronce de</i>	100	0,300
Platino	<i>placa pulida</i>	260-540	0,06-0,1	Aluminio	<i>esmaltado rugoso</i>	20	0,390
Platino	<i>1,5962</i>	260-540	0,07-0,11	Aluminio pintado	<i>1,5962</i>	150-300	0,350
Platino	<i>filamento</i>	26-1225	0,04-0,19	Aluminio	<i>Al 10%, laca 22%</i>	100	0,520
Plata	<i>pulida, pura</i>	225-625	0,02-0,03	Aluminio	<i>Al 26%, laca 27%</i>	100	0,300
Plata	<i>pulida</i>	37-370	0,02-0,03	Laca	<i>blanca</i>	100	0,925
Acero	<i>pulido</i>	23	0,160	Laca	<i>negra mate</i>	80	0,970
Estaño	<i>brillante</i>	225-265	0,02-0,03	Aceite	<i>pintura</i>	20	0,89-0,97
Estaño	<i>pulido</i>	37-370	0,070	Aceite pintura	<i>todos los colores</i>	100	0,92-0,96
Tungsteno	<i>para filamentos</i>	3300	0,390	Baquelita	<i>esmaltada</i>	80	0,935
Tungsteno	<i>filamento envejecido</i>	25-3300	0,03-0,35	Esmalte	<i>blanco rugoso</i>	20	0,900
Cinc	<i>oxidado</i>	20	0,250	Esmalte	<i>negro brillante</i>	25	0,876
Cinc	<i>pulido</i>	225-325	0,05-0,06	Pintura al aceite		1-200	0,885
				Imprimación minip		20-1100	0,930

Tabla A.6: Propiedades de metales sólidos (Cengel, y otros, 2015).

Composición	Punto de fusión, R	Propiedades a 540 R				Propiedades a varias temperaturas (R)					
		$\rho$ lbm/ft <sup>3</sup>	$c_p$ (Btu/lbm · R)	$k$ (Btu/h · ft · R)	$\alpha \times 10^6$ ft <sup>2</sup> /s	$k$ (Btu/h · ft · R)/ $c_p$ (Btu/lbm · R)					
						180	360	720	1 080	1 440	1 800
Aluminio:	1 679	168	0.216	137	1045	174.5	137	138.6	133.4	126	
Puro						0.115	0.191	0.226	0.246	0.273	
Aleación 2024-T6 (4.5% Cu, 1.5% Mg, 0.6% Mn)	1 395	173	0.209	102.3	785.8	37.6	94.2	107.5	107.5		
Aleación 195, cast (4.5% Cu)		174.2	0.211	97	734	0.113	0.188	0.22	0.249		
Berilio	2 790	115.5	0.436	115.6	637.2	572	174	93	72.8	61.3	52.5
						0.048	0.266	0.523	0.621	0.624	0.72
Bismuto	981	610.5	0.029	4.6	71	9.5	5.6	4.06			
						0.026	0.028	0.03			
Boro	4 631	156	0.264	15.6	105	109.7	32.06	9.7	6.1	5.5	5.7
						0.03	0.143	0.349	0.451	0.515	0.558
Cadmio	1 069	540	0.055	55.6	521	117.3	57.4	54.7			
						0.047	0.053	0.057			
Cromo	3 812	447	0.107	54.1	313.2	91.9	64.1	52.5	46.6	41.2	37.8
						0.045	0.091	0.115	0.129	0.138	0.147
Cobalto	3 184	553.2	0.101	57.3	286.3	96.5	70.5	49.3	39	33.6	80.1
						0.056	0.09	0.107	0.12	0.131	0.145
Cobre:	2 445	559	0.092	231.7	1 259.3	278.5	238.6	227.07	219	212	203.4
Puro						0.06	0.085	0.094	0.01	0.103	0.107
Bronce comercial (90% Cu, 10% Al)	2 328	550	0.1	30	150.7	24.3	30	34			
Bronce al fósforo para engranes (89% Cu, 11% Sn)	1 987	548.1	0.084	31.2	183	23.7	37.6	42.8	0.130		
Latón para cartuchos (70% Cu, 30% Zn)	2 139	532.5	0.09	63.6	364.9	43.3	54.9	79.2	86.0		
Constantán (55% Cu, 45% Ni)	2 687	557	0.092	13.3	72.3	9.8	1.1	0.09	0.101		
						0.06	0.09				
Germanio	2 180	334.6	0.08	34.6	373.5	134	56	25	15.7	11.4	10.05
						0.045	0.069	0.08	0.083	0.085	0.089
Oro	2 405	1 205	0.03	183.2	1 367	189	186.6	179.7	172.2	164.09	156
						0.026	0.029	0.031	0.032	0.033	0.034
Iridio	4 896	1 404.6	0.031	85	541.4	99.4	88.4	83.2	79.7	76.3	72.8
						0.021	0.029	0.031	0.032	0.034	0.036
Hierro:											
Puro	3 258	491.3	0.106	46.4	248.6	77.4	54.3	40.2	31.6	25.01	19
						0.051	0.091	0.117	0.137	0.162	0.232
Armco (99.75% puro)		491.3	0.106	42	222.8	55.2	46.6	38	30.7	24.4	18.7
						0.051	0.091	0.117	0.137	0.162	0.233
Aceros al carbono:		490.3	0.103	35	190.6			32.8	27.7	22.7	17.4
Simple al carbono (Mn $\leq$ 1%, Si $\leq$ 0.1%)								0.116	0.113	0.163	0.279
AISI 1010		489	0.103	37	202.4			33.9	28.2	22.7	18
								0.116	0.133	0.163	0.278
Al carbono-silicio (Mn $\leq$ 1%, 0.1% < Si $\leq$ 0.6%)		488	0.106	30	160.4			28.8	25.4	21.6	17
								0.119	0.139	0.166	0.231
Al carbono-manganeso-silicio (1% < Mn $\leq$ 1.65%, 0.1% < Si $\leq$ 0.6%)		508	0.104	23.7	125			24.4	23	20.2	16
								0.116	0.133	0.163	0.260
Aceros al (bajo) cromo:		488.3	0.106	21.8	117.4			22	21.2	19.3	15.6
$\frac{1}{2}$ Cr- $\frac{1}{2}$ Mo-Si (0.18% C, 0.65% Cr, 0.23% Mo, 0.6% Si)								0.117	0.137	0.164	0.231
1 Cr- $\frac{1}{2}$ Mo (0.16% C, 1% Cr, 0.54% Mo, 0.39% Si)		490.6	0.106	24.5	131.3			24.3	22.6	20	15.8
								0.117	0.137	0.164	0.231
1 Cr-V (0.2% C, 1.02% Cr, 0.15% V)		489.2	0.106	28.3	151.8			27.0	24.3	21	16.3
								0.117	0.137	0.164	0.231

Tabla A.7: calificación tarifaria de la empresa Eurotubo S.A.C.

Recibo N° 501-41214314 La Esperanza/Trujillo Recibo por Consumo del 01/09/2016 al 30/09/2016				 EMPRESA REGIONAL DE SERVICIO PÚBLICO DE ELECTRICIDAD E HIDROCARBUROS S.A. Of. Principal Av. España 1033 - Trujillo R.U.C. 20132023540	
Cliente: Eurotubo S.A.C. R.U.C.: 20376113443 Dirección: Mz. E1 Lote 09 Pq.Ind. Norte Referencia: Ruta: 30-262-1 Tarifa: MT3 Medición: Medía Tension Tensión: 10 kV SED: E-304877 Tipo Suministro: Trifásica-Aérea(C5.2)	Serie Medidor: 000000017422239 - Electrón. N° Hilos Medidor: 4 Modalidad: Potencia Variable Inicio Contrato: 11/09/2014 Termino Contrato: 10/09/2017	<b>Setiembre-2016</b> <b>CÓDIGO 60133564</b>		Promedio Máxima Demanda: 519.0541 Potencia Contratada: 360.0000	Calificación: 130 Horas Punta:

Tabla A.8: pliego tarifario del servicio público de energía (Osinergrmin, 2017)

**Empresa: Hidrandina**

Pliego

TRUJILLO

Vigencia

4/Nov/2017

2

	MEDIA TENSIÓN	UNIDAD	TARIFA
			Sin IGV
<b>TARIFA MT2:</b>	<b>TARIFA CON DOBLE MEDICIÓN DE ENERGÍA ACTIVA Y CONTRATACIÓN O MEDICIÓN DE DOS POTENCIAS 2E2P</b>		
	Cargo Fijo Mensual	S./mes	6.52
	Cargo por Energía Activa en Punta	ctm. S./kW.h	21.69
	Cargo por Energía Activa Fuera de Punta	ctm. S./kW.h	17.44
	Cargo por Potencia Activa de Generación en HP	S./kW-mes	55.32
	Cargo por Potencia Activa de Distribución en HP	S./kW-mes	12.24
	Cargo por Exceso de Potencia Activa de Distribución en HFP	S./kW-mes	13.67
	Cargo por Energía Reactiva que exceda el 30% del total de la Energía Activa	ctm. S./kVar.h	4.18
<b>TARIFA MT3:</b>	<b>TARIFA CON DOBLE MEDICIÓN DE ENERGÍA ACTIVA Y CONTRATACIÓN O MEDICIÓN DE UNA POTENCIA 2E1P</b>		
	Cargo Fijo Mensual	S./mes	6.52
	Cargo por Energía Activa en Punta	ctm. S./kW.h	21.69
	Cargo por Energía Activa Fuera de Punta	ctm. S./kW.h	17.44
	Cargo por Potencia Activa de generación para Usuarios:		
	Presentes en Punta	S./kW-mes	51.53
	Presentes Fuera de Punta	S./kW-mes	25.43
	Cargo por Potencia Activa de redes de distribución para Usuarios:		
	Presentes en Punta	S./kW-mes	13.25
	Presentes Fuera de Punta	S./kW-mes	13.47
	Cargo por Energía Reactiva que exceda el 30% del total de la Energía Activa	ctm. S./kVar.h	4.18

Tabla A.9: resistencia de codos, accesorios y válvulas para gas natural expresada en longitud de tubería recta (m) (NTP 111.010)

Nominal pipe size in (Schedule 40)	Inside diameter (d) mm	Threaded fittings†				Valves (threaded, flanged, or welded)				90° welding elbows and smooth bends‡				Welding tees		
		Elbows		Tee	Plug	Globe	Angle	Swing check	R/d§ = 1-1/2	Forged	Mitre**	90° welding elbows and smooth bends‡		Forged	Mitre**	
		45°	90°									90° welding elbows and smooth bends‡	Welding tees			
k factor =		0.42	0.9	1.8	0.9	10	5	25	0.36	1.35	1.8					
n = L/D ratio†† =		14	30	60	30	333	167	83	12	45	60					
																
3/8	12.52	0.18	0.37	0.75	0.37	4.18	2.09	1.04	0.15	0.56	0.75					
1/2	15.80	0.22	0.47	0.94	0.47	5.27	2.64	1.29	0.19	0.17	0.94					
3/4	20.93	0.29	0.63	1.26	0.63	6.98	3.47	1.74	0.25	0.94	1.26					
1	26.64	0.37	0.80	1.60	0.80	8.87	4.45	2.22	0.32	1.20	1.60					
1-1/4	35.05	0.49	1.05	2.10	1.05	11.67	5.82	2.92	0.42	1.58	2.10					
1-1/2	40.89	0.49	1.23	2.45	1.23	13.62	6.83	3.41	0.49	1.84	2.45					
2	52.50	0.73	1.58	3.14	1.58	17.50	8.75	4.39	0.63	2.36	3.14					
2-1/2	62.71	0.88	1.88	3.75	1.88	20.88	10.45	5.21	0.75	2.82	3.75					
3	77.93	1.09	2.34	4.66	2.34	25.97	12.98	6.49	0.94	3.51	4.66					
4	102.3	1.23	3.08	6.16	3.08	34.14	17.07	8.53	1.23	4.60	6.16					
5	128.2	1.79	3.84	7.68	3.84	42.67	21.33	10.67	1.54	5.76	7.68					

Tabla A.10: diámetro y espesor mínimo de la tubería de acero (NTP 111.010)

<b>Diámetro nominal</b>		<b>Espesor mínimo de la pared (mm)</b>
<b>mm</b>	<b>Pulgadas</b>	
10,3	1/8	1,7
13,7	¼	2,2
17,1	3/8	2,3
21,3	½	2,8
26,7	¾	2,9
33,4	1	3,4
42,2	5/4	3,6
48,3	1½	3,7
60,3	2	3,9

Tabla A.11: Espesor mínimo de la tubería de polietileno SDR 17.6 serie métrica (NTP 111.010)

<b>Tamaño nominal (mm)</b>	<b>Espesor de la pared (mm)</b>
32	2,3
40	2,3
63	5,8
110	6,3
160	9,1
200	11,4
250	14,2

Tabla A.12: diámetro y espesor mínimo de la tubería de cobre (NTP 111.010)

<b>Diámetro externo</b>		<b>Espesor de pared</b>	
<b>pulgadas</b>	<b>milímetro</b>	<b>pulgada</b>	<b>milímetro</b>
5/8	15,9	0,040	1,02
¾	19,1	0,042	1,07
7/8	22,3	0,045	1,14
1 1/8	29	0,050	1,27

Tabla A.13: categorías tarifarias (Osinermin, 2017)

<b>Categoría Tarifaria</b>	<b>Rango de Consumo (Sm<sup>3</sup>/mes)</b>
A1	Hasta 30 Sm <sup>3</sup> /mes
A2	Desde 31 hasta 300 Sm <sup>3</sup> /mes
B	Desde 301 hasta 1 000 Sm <sup>3</sup> /mes
C	Desde 1 001 hasta 50 000 Sm <sup>3</sup> /mes
D	Desde 50 001 hasta 900 000 Sm <sup>3</sup> /mes
E	Consumidor Independiente con un consumo mayor a 900 000 Sm <sup>3</sup> /mes
<b>Categorías especiales: independientemente de la magnitud de consumo mensual</b>	
GNV	Para estaciones de servicio y/o gasocentros de gas natural vehicular.

Sm<sup>3</sup>: Metros cúbicos a condiciones estándar

Tabla A.14: precio del gas natural según categorías (Osinermin, 2017)

Categoría	Pass-Through (US\$/MMBTU)			Tarifa Media "Otras Redes"	Precio Medio Final de GN
	Precio del gas	PTRPT 1/	PTRPD 1/		
A	1.80	1.08	0.17	6.85	9.90
B	1.80	1.08	0.17	5.33	8.38
C	1.80	1.08	0.17	1.68	4.73
D	1.80	1.08	0.17	0.60	3.65

Tabla A.15: kilogramos producidos y Horas de producción por línea (Eurotubo S.A.C).

		<b>KG. PRODUCIDOS</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>Total</b>
<b>PLANTA 01</b>	L-1	15.9mm - 48mm	39,332	45,500	35,320	68,830	44,418	41,070	27,655	38,190	39,433	41,117	42,508	38,451	501,825
	L-2	60mm - 110mm	8,674	33,734	65,138	114,627	79,986	17,777	31,381	57,482	55,658	53,187	51,147	57,100	625,890
	L-3	110mm - 200mm	82,098	113,750	144,585	172,985	164,804	117,651	34,356	102,146	106,261	111,838	116,441	103,009	1,369,924
	L-4	315mm - 500mm	4,566	190,750	131,760	178,789	208,607	75,108	114,538	154,228	147,961	139,466	132,454	152,914	1,631,139
	L-5	500mm - 630mm	86,477	115,560	170,437	27,050	147,289	11,138	33,025	28,375	14,363	56,400	74,489	77,477	842,081
	L-6	13mm - 54mm	44,985	39,717	52,064	51,525	58,794	43,709	20,527	36,095	38,190	41,029	43,373	36,534	506,543
	L-7	160mm - 250mm	128,754	156,429	123,381	219,579	198,902	103,662	78,095	118,116	124,616	133,426	140,698	119,479	1,645,137
	L-8	160mm - 250mm	5,618	6,494	14,740	10,572	4,915	2,283	25,297	15,816	14,359	12,384	10,754	15,510	138,742
	L-9	315mm - 630mm	8,233	10,470	12,706	14,942	17,179	17,124	20,124	22,033	20,124	17,536	15,400	21,633	197,506
<b>PLANTA 02</b>	L-1	15.9mm - 33mm	158,389	73,781	133,532	137,727	122,827	69,947	50,861	58,015	70,192	86,699	100,322	60,568	1,122,861
	L-2	54mm - 114mm	128,420	127,964	95,931	141,828	119,434	82,799	59,144	68,695	78,504	91,801	102,775	70,752	1,168,048
	L-3	160mm - 315mm	221,857	133,415	145,337	185,394	152,266	127,788	91,586	94,643	108,755	127,885	143,674	97,602	1,630,200
	L-4	60mm - 114mm	40,555	92,153	112,381	122,885	29,309	45,563	28,587	37,040	44,617	54,888	63,365	38,628	709,971
	L-5	63mm - 355mm	1,971	42,715	31,912	35,577	8,599	1,760	10,448	7,598	10,448	14,311	17,499	8,196	191,034
	L-6	16mm - 63mm	156	9,211	6,418	3,830	1,056	886	2,925	1,540	2,029	2,692	3,240	3,331	37,313
		<b>H. PROD.</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>Total</b>
<b>PLANTA 01</b>	L1		239	285	271	481	320	288	224	303	302	302	301	303	3,617
	L2		56	157	334	549	405	113	177	305	293	281	263	304	3,237
	L3		311	399	433	592	502	394	105	311	331	351	380	313	4,422
	L4		24	486	351	437	555	198	304	403	387	370	346	402	4,261
	L5		200	263	346	88	356	24	104	89	116	153	183	188	2,111
	L6		358	260	354	423	456	448	264	394	387	380	370	394	4,488
	L7		406	442	362	582	545	400	232	364	379	394	416	365	4,885
	L8		71	100	72	56	32	16	133	65	66	67	68	66	812
	L9		40	32	24	16	8	42	20	18	20	23	25	32	300
<b>PLANTA 02</b>	L1		583	265	520	507	466	239	188	211	257	303	370	215	4,124
	L2		473	455	385	548	515	320	280	323	348	374	411	325	4,756
	L3		576	437	400	509	420	371	287	288	323	358	409	292	4,671
	L4		184	432	440	550	139	257	144	196	224	252	291	199	3,308
	L5		24	412	160	287	71	16	68	41	68	95	134	122	1,497
	L6		16	440	297	149	40	25	72	17	50	83	130	116	1,434

