

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

**Estudio de pre factibilidad de una estación de reciclaje y
formación de botellas de vidrio dentro del Distrito Metropolitano
de Quito.**

Ricardo Adrián Villavicencio Flores

Ingeniería Química

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito
para la obtención del título de
Ingeniero Químico

Quito, 08 de mayo de 2020

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

HOJA DE CALIFICACIÓN DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA

**Estudio de pre factibilidad de una estación de reciclaje y formación de
botellas de vidrio dentro del Distrito Metropolitano de Quito.**

Ricardo Adrián Villavicencio Flores

Nombre del profesor, Título académico

Juan Diego Fonseca, PhD

Quito, 08 de mayo de 2020

DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Nombres y apellidos: Ricardo Adrián Villavicencio Flores

Código: 00130125

Cédula de identidad: 1718942301

Lugar y fecha: Quito, mayo de 2020

ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

Nota: El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETHeses>.

UNPUBLISHED DOCUMENT

Note: The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETHeses>.

RESUMEN

El siguiente estudio plantea el diseño de una planta de tratamiento de vidrio reciclado en conjunto con una línea de producción de botellas con 50% de material reciclado, en base a una producción de 22500 unidades mensuales; considerando esto, se realizó un diseño del proceso y de la planta, un análisis de costos e ingresos y finalmente un análisis de riesgos.

Los resultados del diseño del proceso establecieron un flujo de producción de 13,56 kg/h de vidrio para envases utilizando 27,01 kW. En el diseño de la planta, se calculó que el horno, el equipo de mayor gasto energético, debe tener un volumen de 0,28 m³ con consumo de 0,18 m³/h de GLP y 1,10 m³/h de oxígeno, caudales revisados por un sistema de control integrado. Respecto a los costos, el costo total de capital fijo es de 4 \$MM, los ingresos anuales del producto principal llegan a los 0,68 \$MM y el tiempo de recuperación es de 12 años. Para el análisis de riesgos se empleó el análisis HAZOP al horno y para minimizar riesgos durante la jornada laboral se elaboró un Check-list con 32 criterios de verificación antes, durante y después del proceso productivo.

Se determinó que el diseño propuesto es técnicamente factible, considerando sus riesgos y sus medidas de seguridad, pero con rentabilidad baja; sin embargo, se recomienda aumentar por lo menos 6 veces la producción considerada para ofertar un producto con precios dentro del mercado regional y así llegar a un diseño viable.

Palabras clave: botellas, vidrio, reciclaje, proceso, costos, riesgos, calcín

ABSTRACT

The present study refers to the design of a glass treatment plant and a bottle processing line considering 50% of recycled glass and a production of 22500 units monthly. For this purpose, was carried out a process design, a plant design, an economic analysis, and finally a risk analysis.

The design of the process established a glass production flow of 13.56 kg/h using 27.01 kW. The design of the plant calculated that the glass furnace, equipment with the mayor consumption of energy, has to have a recommended volume of 0.28 m³ consuming 0.18 m³/h of LPG and 1.10 m³/h of oxygen gas; flows are checked by a control system. In costs, the fixed capital investment is around 4 \$MM, the annual income of the main product reaches \$ 0.68 MM and the simple pay-back period is 12 years. In operational risks, the HAZOP analysis was applied to the furnace and a Check-list was developed to minimize risk in the workday, which found 32 verification criteria before, during and after the production process.

It was found that the design is technically feasible, considering the risks and security measures, but with low profitability; however, it is recommended to increase the main product production to at least 6 times in order to sell a product with market competitive prices.

Key words: bottle, glass, recycled, process, cost, risk, cullet

TABLA DE CONTENIDO

1. Introducción.....	11
2. Fundamentos teóricos	16
2.1. Descripción del producto	16
2.2. Descripción de materias primas	17
2.2.1. Vidrio reciclado.....	17
2.2.2. Carbonato de calcio (CaCO ₃).....	17
2.2.3. Carbonato de sodio (Na ₂ CO ₃).....	18
2.2.4. Sílice (SiO ₂).....	18
2.3. Limitaciones y normas.	19
2.4. Ubicación de la planta.....	20
2.5. Selección del proceso.....	20
2.6. Terminología especializada.....	23
2.6.1. Recocido.....	23
2.6.2. Calcín.....	24
2.6.3. Aditivos en vidrio.....	24
2.6.4. Propiedades organolépticas.....	24
2.6.5. Vitrificación.....	24
3. Resultados y discusión	25
3.1. Diseño del proceso.....	25
3.2. Diseño de planta.....	25
3.3. Análisis económico.....	27
3.4. Análisis de riesgo	27
4. Conclusiones	29
5. Referencias bibliográficas.....	31
6. Anexo A: Metodología	34

6.1.	Balace de materia y energía	34
6.2.	Diseño de la trituradora de martillo para la unidad de trituración y lavado	34
6.3.	Diseño de banda transportadora	35
6.4.	Diseño tanque de separador por densidad	35
6.5.	Diseño fundidora de vidrio	36
6.6.	Diseño de tuberías de quemadores (horno) y tanques de almacenamiento	36
6.7.	Diseño de un diagrama P&ID:	38
6.8.	Calculo de costos generales	38
6.9.	Análisis de recuperación de inversión	40
6.10.	Análisis HAZOP	40
6.11.	Check list.....	41
7.	Anexo B: Ecuaciones	42
7.1.	Balace de materia y energía	42
7.2.	Trituradora de martillo	42
7.3.	Diseño de banda transportadora	44
7.4.	Diseño de horno	46
7.5.	Diseño de tuberías de quemadores (horno) y tanques de almacenamiento	49
7.6.	Cálculo de costes generales.....	51
8.	ANEXO C: Resultados	54
9.	ANEXO D: Pliegos tarifarios de luz y agua	69

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Propiedades típicas del vidrio sódico cálcico (vidrio común).....	16
Tabla 2: Tabla de decisión comparación botellas de vidrio virgen y vidrio reciclado	21
Tabla 3: Tabla de decisión comparación métodos de moldeo de vidrio	22

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Diamante de seguridad del carbonato de calcio.....	18
Figura 2: Diamante de seguridad del carbonato de sodio.....	18
Figura 3: Diamante de seguridad del sílice	19
Figura 4: Diagrama de bloque proceso de producción de botellas de vidrio con material reciclado	23
Figura 5.A9: Tabla tarifa de costo energético de la Empresa Eléctrica Quito	69
Figura 6.A9: Tabla tarifa de costo agua potable de EPMAPS	69

1. INTRODUCCIÓN

Las botellas de vidrio son parte importante del consumo de bebidas en el mercado ecuatoriano. En el territorio nacional circulan 4800 millones de botellas de vidrio que le hacen competencia a los 1300 millones de botellas plásticas (El Comercio, 2012). Se prefiere en ciertas bebidas como cerveza, licores y, en menor medida, jugos el uso de vidrio en sus botellas debido a sus propiedades inertes y de reutilización (Stanpac, 2020). Esto hace que el vidrio sea demandado frecuentemente para su utilización como contenedor de alimentos.

Sin embargo, en el territorio ecuatoriano las botellas de vidrio son un bien que el propio mercado no puede abastecer; según una base de datos que toma en cuenta las exportaciones e importaciones de más de 243 países, Ecuador gasta entre USD \$ 15 a 18 millones de dólares en la importación de envases de vidrio y dispositivos de cierre, valor que se contrasta con los USD \$ 3 a 10 millones de dólares obtenidos por exportación del mismo tipo de bien (Nosis Trade, 2020). Ciertamente, el vidrio como envase sigue siendo una necesidad para el país y entender cuanto es su valor en el mercado es importante para definir el costo de una nueva estación de botellas de vidrio.

De la mano con la importación de envases de vidrio hay una generación de desechos proporcional; cerca del 2% de los residuos sólidos de las estaciones de transferencia norte y sur, puntos pasajeros de recolección de basura, pertenecen a envases de vidrio (EMGIRS, s/f.a). A nivel nacional la tendencia es la circulación de un promedio de 105504 toneladas de botellas de vidrio en el país, con un porcentaje de reciclaje del 19% (Ministerio de Ambiente, 2015). El reciclado sigue siendo una actividad que no recupera con satisfacción, sin regresar a la cadena de valor, los envases de vidrio.

Existen gestores ambientales encargados de recuperar el vidrio desechado, agruparlo y venderlo. En el Distrito Metropolitano de Quito existen la Empresa Pública Metropolitana de Gestión Integral de Residuos Sólidos (EMGIRS-EP), institución encargada de garantizar la acumulación de desechos de la capital para luego ser enviados a su destino final en un vertedero. Junto con ellos trabajan los Centros de Educación y Gestión Ambiental (CEGAM), en el cual gestores ambientales se encargan de recolectar de las estaciones de transferencia producto que pueda ser reciclado, entre esos el vidrio. Según Burbano (2020), los cuatro CEGAM que existen en Quito recolectan 5 toneladas de vidrio mensuales por cada centro; en base a esta información se conoce un límite de vidrio recuperado, dato importante para conocer la cantidad de vidrio reciclado ofertada en la capital.

Es por ello que el presente estudio plantea aprovechar el vidrio obtenido de los centros de recolección con la implementación de una estación de tratamiento de vidrio reciclado, la misma que trabaje en conjunto con una línea de producción de botellas de vidrio dentro del territorio quiteño; cabe mencionar que es necesario preguntarse a qué precio vender el producto y para ello se necesita saber el precio en el mercado de botellas similares.

Se debe tomar en cuenta que el precio de las botellas de vidrio en el mercado marca la pauta para entender la competitividad del producto nuevo. Comparando el precio de botellas de 330 mL, estos rondan alrededor de los \$ 11 por 27 botellas hasta los \$ 45 por 54 unidades; \$ 0,41 a \$ 0,83 por botella, respectivamente. Estos valores serán referenciales para el precio de las nuevas botellas de vidrio.

Se puede hacer una aproximación del costo del bien a producir partiendo del precio de las materias primas. Para producir vidrio se requiere de: sílice, carbonato de calcio y carbonato de sodio; para hacer una comparación simple con los precios unitarios mostrados anteriormente, se plantea una producción de botellas de 330 mL con peso de 235 gramos por

unidad; bajo esta condición, el precio por unidad de botella llega a los 12 centavos, estableciendo los precios de las materias primas como los precios que se ofertan dentro del territorio ecuatoriano; sin embargo, para llegar a ser más preciso con el valor del bien final, conocer el porcentaje en peso de vidrio reciclado en cada botella es necesario.

Agregando en la fórmula el vidrio reciclado, las botellas de vidrio pueden aumentar o disminuir su valor final. Se conoce que el costo del vidrio reciclado ofertado en los centros de acopio del CEGAM es de 4 a 30 centavos por kilogramo (Ministerio de Ambiente, 2014) y planteando una producción de botellas con 50% en peso de material reciclado, se estima que el precio rondaría entre los 26 a 38 centavos; este valor representa alrededor de cuatro veces el precio de las materias primas. Este incremento en el precio se debe a que, para este caso, cuentan los gastos que conlleva una estación de tratamiento de vidrio reciclado. Con un precio a la venta del doble del costo de producción, esto sugiere que las botellas a producir alcanzan un costo de venta dentro del margen de precios del mercado.

A fin de que el precio de la botella con vidrio reciclado se mantenga dentro de los márgenes del mercado, se tomará en cuenta las condiciones de producción asumidas anteriormente para el diseño de la planta, es decir, la estación de tratamiento de vidrio reciclado y la línea de manufactura de botellas de vidrio formarán botellas de 330 mL de capacidad con 50% en peso de material reciclado asumiendo una producción de 22500 unidades mensuales; con ello se procura tener un producto competitivo que ofrece incluso ventajas a nivel de producción e impacto ambiental, como se explica a continuación.

La incorporación de vidrio reciclado tiene un efecto en las emisiones a la atmósfera y en la energía aplicada para la producción de botellas de vidrio; se produce un ahorro de energía del 2 al 3%, además de una disminución del 5% de emisiones de CO₂ por cada 10 % de vidrio reciclado (calcín) incorporado al proceso (Leblanc, 2019). Aplicado a la industria en cuestión,

esto supone un ahorro de hasta el 15% de energía y una disminución del 25% de emisiones de CO₂. Ciertamente, aprovechar las propiedades del vidrio no solo ofrece un producto competitivo, sino también una oportunidad para la instauración de una industria que puede tener el potencial de aumentar su porcentaje de material reciclado a lo largo de la vida útil de la planta con el aumento de las ventajas debido al reciclado.

Por ello, la planta de tratamiento y formación de botellas es un buen recurso para generar ingresos a partir de material reciclado aprovechable. Esta industria ayudaría a fomentar la producción nacional de botellas con porcentajes de reciclado elevado, generaría ingresos y movimiento de capital dentro del territorio nacional puesto que las materias primas vienen de empresas de producción nacional (Quimpac Ecuador S.A y Produquimic) y de instituciones de reciclado nacionales como los CEGAM. Adicionalmente, fomentaría la práctica del reciclado de vidrio de envases debido a que se sumaría más demanda a este producto descartado, haciendo más atractiva su recolección.

El objetivo general de esta propuesta es plantear una base técnica para desarrollar a futuro una planta de tratamiento de vidrio reciclado en conjunto con una planta de formado de botellas de vidrio reciclado. Para cumplir el objetivo principal, se requiere realizar un diseño del proceso de producción de botellas de vidrio reciclado; posteriormente, se debe realizar el diseño de la planta, un análisis de costos e ingresos y, finalmente, un análisis de riesgos.

La planta a diseñar presentaría nuevas oportunidades para el sector laboral y para el sector del reciclaje. Una nueva industria supondría más plazas de trabajo, lo cual se ha convertido en una necesidad creciente dentro de la capital y también se encontraría dentro de las industrias con una línea de producción orientada al consumo sostenible, dando más valor al trabajo del reciclado que aumenta en importancia y desarrollo en el ámbito logístico y social.

Por otra parte, las empresas ecuatorianas distribuidoras de las materias primas requeridas para la producción de vidrio tendrían un nuevo cliente. Los beneficios económicos se concentrarían en el territorio ecuatoriano lo que ayudaría al desarrollo interno de las industrias y sus competencias.

El precio de las botellas de vidrio tendría la rentabilidad necesaria para apoyar a pequeñas industrias y emprendimientos en el sector alimenticio. Botellas producidas con la mitad de vidrio reciclado (o más) y a un bajo costo significaría una inversión menor para industrias que dependan de este producto, una oportunidad de marketing por su elevado porcentaje en peso de vidrio reciclado, entregando una botella que puede darle un atractivo extra al producto final envasado de los futuros clientes.

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Descripción del producto

El vidrio es uno de los materiales considerados por la FDA como el único material de envasado que es totalmente seguro en cuestiones de inocuidad y preservación de propiedades organolépticas del alimento (Stanpac, 2020); para llegar a tales cualidades, el vidrio cuenta con enlaces de silicio-oxígeno, mayoritariamente, cuya afinidad presenta un estado de energía muy bajo (Walker, 2013), lo que lo convierte en químicamente inerte con la mayoría de sustancias.

El vidrio más común para envasado de productos alimenticios es el vidrio sódico cálcico. Generalmente su estructura comprende un 70-75%, de SiO₂, 12-16% de Na₂O, 10-15% de CaO y <5% de aditivos (Hasanuzzaman, Rafferty, Sajjia y Olavi, 2016). También, típicamente pueden contener de 300 mL a 1L de bebida alcohólica o no alcohólica.

Por lo tanto, la industria producirá botellas de vidrio sódico cálcico en presentación base de 330 mL con colores como: transparente, verde y ámbar, siendo los más predominantes en el vidrio reciclado.

Tabla 1: Propiedades típicas del vidrio sódico cálcico (vidrio común)

Propiedad	Valor
Índice de refracción, n	1.46
% Transmitancia (a 1 μm)	70-80
Densidad, ρ (g/cm^3)	2.5
Conductividad térmica, k ($\text{W}/\text{m}^{\circ}\text{C}$)	1.06
Calor específico, C_p ($\text{J}/\text{g}^{\circ}\text{C}$)	0.87
Punto de ablandamiento ($^{\circ}\text{C}$)	≈ 700
Temperatura de fusión, T_M ($^{\circ}\text{C}$)	≈ 1000
Energía para moldeo (MJ/kg)	8.2-9.2

Fuente: Karazi, Ahad y Benyounis, 2017

2.2. Descripción de materias primas

Para cada materia prima se mencionará su composición química, su industria distribuidora, costo en el mercado, y consideraciones de manipulación y transporte.

2.2.1. Vidrio reciclado.

Tiene las mismas especificaciones que las establecidas en la descripción del producto del anterior punto, ya que la mayoría del vidrio proviene de botellas y envases completos o rotos que son descartados en vertederos de Quito (Quimbita, 2016).

Los encargados de recolectar esta materia prima son los CEGAM y existen cuatro de estos centros distribuidos a lo largo de la capital y sus alrededores (EMGIRS, s/f.b).

- CEGAM Eloy Alfaro OE7-71 Amancay y 4ta transversal, sector la Santiago (Sur).
- CEGAM La Delicia en el barrio la Cristianía 2, Eloy Alfaro y de los Aceitunos (Norte).
- CEGAM Manuela Sáenz en la avenida 24 de mayo, s/n y Pichincha (Centro)
- CEGAM Tumbaco en la parroquia de Pifo, sector Chaupimolino, Pasaje los Eucaliptos.

2.2.2. Carbonato de calcio (CaCO₃).

El carbonato de calcio proviene de la empresa Quimpac Ecuador S.A a un costo de \$ 13,05 el saco de 50 kg. Se recomienda almacenar a esta materia prima en áreas secas y libres de humedad con ventilación. Mantener protegido de la intemperie por peligro de lluvias y se puede almacenar a temperatura ambiente. Al momento de manipulación se debe evitar el contacto con piel u ojos, o inhalarlo de forma prolongada. Se debe vestir equipo de protección personal (GTM, 2016).



Figura 1: Diamante de seguridad del carbonato de calcio

Fuente: GTM, 2016

2.2.3. Carbonato de sodio (Na_2CO_3).

El carbonato de sodio requiere ser igualmente almacenado en un área seca y ventilada, evitando el contacto directo con la luz. Se transporta en sacos y proviene de la empresa Quimpac Ecuador S.A a un costo de \$12,60 el saco de 25 kg. Al ser un compuesto con nivel de riesgo 2, como se observa en la figura 2, se debe evitar el contacto prolongado respecto a piel, ojos y vías respiratorias utilizando el equipo de protección personal adecuado (Quimipac, 2016).



Figura 2: Diamante de seguridad del carbonato de sodio

Fuente: Quimipac, 2016

2.2.4. Sílice (SiO_2).

Para su manejo requiere de protección de ojos, nariz y utilizar guantes para evitar contacto con la piel. Producido por la empresa Produquimic en Ecuador a un valor de \$21,40 el saco de 45 kg. Se debe almacenar en un área seca, ventilada con poca exposición a la luz (Andesia, 2009).



Figura 3: Diamante de seguridad del sílice

Fuente: Andesia, 2009

2.3. Limitaciones y normas.

Las normas que rigen para la producción de vidrio son, en su mayoría, normas dirigidas para la industria en general y sus limitaciones son de carácter ambiental y de costos de servicio básicos.

El Acuerdo Ministerial N°079 ofrece directrices para la cantidad de vidrio reciclado en cada botella producida; se especifica como meta para el año 2022 que el porcentaje de vidrio reciclado que deben tener las nuevas botellas producidas es de 40% en peso (Ministerio de Ambiente, 2016). Esta regulación afecta a la línea de producción, el análisis de costos y la composición del producto final estableciendo un mínimo de reciclaje.

Las limitaciones en la forma de la botella serán establecidas por el molde de la botella. Cada molde viene con las medidas predefinidas que tendrá la botella, depende del lugar de procedencia del molde y de las normas en que se basen sus parámetros.

Las normas de emisiones a la atmósfera por fuentes fijas establecen las concentraciones límite de contaminantes expulsados permitidos por la maquinaria dentro de la planta; por ende, podría ser necesario tomar medidas ambientales para estar dentro de la norma, lo que involucra gastos extras para la operación de la planta

La normativa para la descarga de efluentes determinará si es necesario contar con una unidad de tratamiento antes de descargar el agua residual proveniente del proceso de formación

de las botellas. Por ende, esta norma podría afectar al costo del tratamiento del agua empleada en el proceso, en el caso de que requiera un tratamiento.

2.4. Ubicación de la planta

Por razones de seguridad respecto a zonas urbanas de Quito, la planta tendría que ubicarse en un sector industrial, pero cerca de los lugares donde se clasifica los residuos de vidrio. Por ello la planta se ubicaría en el sector de Calderón, las tarifas de luz y agua se registrarían por la Empresa Eléctrica Quito y la EPMAPS, respectivamente.

2.5. Selección del proceso

El proceso de formación de vidrio puede contar tanto con vidrio reciclado dentro de sus materias primas como no tenerlo; sin embargo, por limitaciones tanto de normativas como del objetivo propio del proyecto que es producir botellas de vidrio con mínimo 50% en peso de material reciclado, la línea de producción contará con una estación de tratamiento del vidrio reciclado. Adicionalmente, para la definición del proceso se deben resaltar y comparar los impactos que tienen la producción de botellas a partir de materias primas vírgenes y las que son totalmente hechas por materias primas recicladas.

Tabla 2: Tabla de decisión comparación botellas de vidrio virgen y vidrio reciclado

Tipo de Botella	Botella de vidrio virgen	Botella de vidrio reciclado
Energía empleada para derretir el vidrio sódico cálcico (kJ/kg vidrio)	2550	1750 (100% reciclado)
Energía total consumida por el horno vidriero (kJ/kg vidrio)	4800	3600 (100% reciclado)
Transporte de vidrio reciclado	No	Sí
Emisiones de CO₂ (ton CO₂/ton botellas nuevas)	0,15	Reducción del 5% de lo emitido por cada 10% de vidrio reciclado
Vida útil del horno vidriero	Normal	Aumento hasta del 30%
Planta de tratamiento de vidrio reciclado requerido	No	Si
Costo total materias primas para producir 1000 botellas/mes (\$)	120	70,5 (100% reciclado)

Fuentes: Leblanc, 2019; Kovačec, Pilipović y Štefanić, 2011), (Gaines y Mintz, 1994

Para el moldeo del vidrio a su forma final de botella existen dos tecnologías; *Narrow Neck Press and blow* (NNPB) y *Blow and blow* (BB). Ambos son métodos para la producción de botellas de boca estrecha para el almacenamiento de bebidas. Sin embargo, el principio de moldeo difiere entre estos dos métodos y esta diferencia permite aclarar cual será la opción a escoger para incorporarlo en la línea de producción.

Tabla 3: Tabla de decisión comparación métodos de moldeo de vidrio

Procedimiento de formado	Narrow Neck Press and blow (NNPB)	Blow and Blow process (BB)
Tiempo de empleo en la industria	Relativamente reciente	Más tiempo empleado en la industria
Especificaciones técnicas del equipo	Mayor complejidad de operación (problema de sobrecalentamiento en premoldeo, alineación del equipo es crítica)	Evita el problema de sobrecalentamiento ya que emplea aire en el premoldeo y moldeo
Ahorro de materia prima	Formación de botellas más livianas que en BB (ahorro en materia prima)	Utiliza más materia prima y las botellas llegan a pesar más
Desempeño del producto final	Desempeño de la botella se mantiene relativamente igual en ambos	

Fuente: Hu, Slusser y Smay, 2016; Eustice, 2008; Neupert, 2014

Por dificultades de instalación y mayores requerimientos técnicos, el proceso de moldeo BB será el considerado para dar la forma de botella al vidrio. Esta decisión se toma en base a que la industria, en sus fases iniciales, es pequeña y tener un equipo con altos requerimientos de instalación supone un costo mayor y una inversión inicial más fuerte. Sin embargo, no se descarta que a futuro pueda adquirirse un equipo de moldeo de NNPB una vez que la planta empiece a generar réditos económicos.

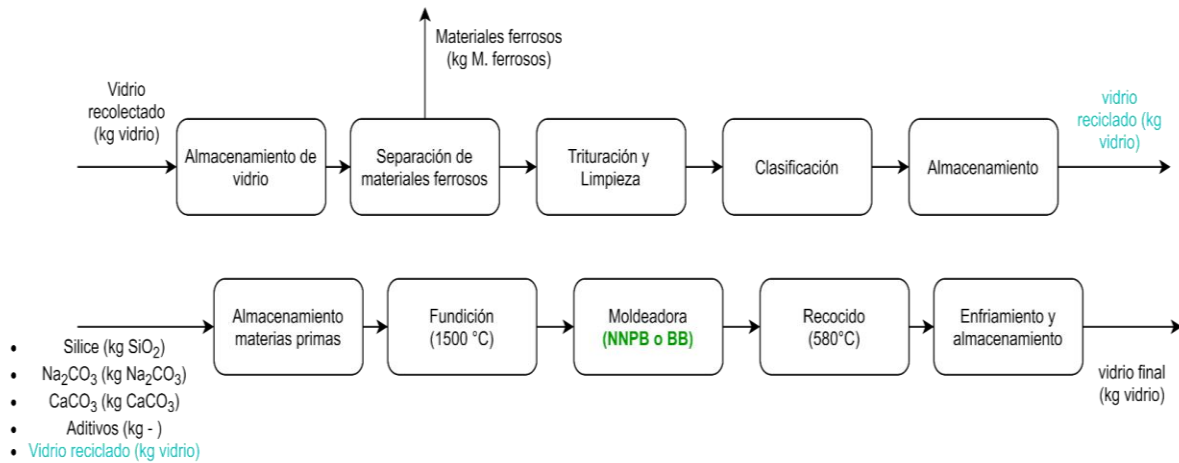


Figura 4: Diagrama de bloque proceso de producción de botellas de vidrio con material reciclado

En la separación de materiales ferrosos se emplea una banda transportadora con separador magnético permanente; la trituración y limpieza se lo hace con un triturador de martillos con tamiz incorporado de 45 mm de malla en conjunto con un separador por densidad; en el clasificador óptico se separa el vidrio por color para su almacenamiento. En la línea de producción de botellas se emplea un horno oxy-fuel, mientras que la moldeadora utilizará el proceso BB antes descrito. El horno de recocido será eléctrico por lo que no requerirá de instalación de tuberías, posterior al recocido, se enfrían las botellas a temperatura ambiente y luego se almacenan para su posterior distribución.

2.6. Terminología especializada

2.6.1. Recocido.

Etapa que libera cualquier esfuerzo residual en la estructura del vidrio para darle más fuerza y resistencia. Se requiere de un horno que controle la curva de enfriamiento de la botella de vidrio.

2.6.2. Calcín.

Es el vidrio triturado y limpio para ser parte de la materia prima en la producción de contenedores de vidrio.

2.6.3. Aditivos en vidrio.

Son todos los compuestos que se añaden a la fórmula para mejorar su resistencia, estabilidad o apariencia.

2.6.4. Propiedades organolépticas.

Son todas las características inherentes del alimento que le ofrecen su sabor, color, olor y textura característicos que pueden ser percibidas por los sentidos de la persona.

2.6.5. Vitrificación.

La transformación de una sustancia a un sólido amorfo no cristalino, siendo un estado generalmente alcanzado por altas de temperaturas.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Diseño del proceso

A partir del diseño del proceso se determinaron las características de todas las corrientes involucradas en el proceso como son el caudal másico, y composiciones; para ello, se utilizaron las ecuaciones de balance de material, además, para conocer el consumo energético, se emplearon los balances de energía.

El balance de materia y energía bajo la metodología especificada en el Anexo A, se aplicó a la estación de tratamiento del vidrio reciclado en paralelo con la línea de manufactura de botellas. Los resultados se observan en el Anexo C, sección 1a y 1b. Los resultados permiten conocer cuánta materia prima es necesaria y, en particular, la cantidad de vidrio reciclado que debe ser tratado para cumplir con las especificaciones finales propuestas del producto; por ello se requiere de 6,78 kg/h de calcín ámbar (producto principal) y 17,12 kg/h de vidrio para reciclar, es decir que entra a la estación de reciclado. Los resultados para las demás botellas de colores se observan en el Anexo C, sección 1a. En cuestiones energéticas el mayor consumo de energía se concentra en el horno de vidrio que requiere 19,43 kW para operar.

El consumo energético para el moldeado, recocido y almacenamiento se basaron en un análisis técnico de industrias vidrieras (EU-MERCI, 2018) donde se establecen porcentajes de consumo que se observan en la sección 1a, Anexo C.

Con los resultados obtenidos se puede tener una base técnica para el dimensionamiento de los equipos, determinar sus costos y realizar el análisis económico.

3.2. Diseño de planta

Para el diseño de la planta, se determinaron características técnicas de los equipos que forman parte del proceso, por ejemplo, potencia de equipos, pérdidas energéticas, dimensiones,

consumo de combustible, rendimiento y sistemas de control; por ende, se aplicaron ecuaciones de diseño, información complementaria obtenida en bibliografía, y un programa de diseño de diagramas de proceso llamado AutoCAD Plant 3D.

En base a la metodología especificada en el Anexo A, los resultados del dimensionamiento de la trituradora, bandas transportadoras, dimensiones del horno y líneas de gas y oxígeno para el horno de fundición y recocido se observa en el Anexo C sección 2, 3, 4 y 5; con esta información se realizó un P&ID para el sistema de control del horno que se observa en el Anexo C.

Para el dimensionamiento de la trituradora se tomó como base de diseño los datos de un artículo referente a la construcción de una trituradora de vidrio de martillo (Aquino y Tamayo, 2015), además de una prueba de impacto de botellas de vidrio donde se obtuvo la energía de impacto (Bolliger, 2009). Para el dimensionamiento del horno, se consideró un factor de exceso de aire de 1.02 para la combustión (Conradt, 2019), se estableció que para los hornos oxy-fuel con ingreso del 50% de material reciclado, su valor energético por tonelada producida es de 5150 MJ/ton (Conradt, 2019), se determinó por interpolación la temperatura de los gases de combustión salientes y valores termodinámicos de una serie de temperaturas de un artículo de Conradt (2008), el tiempo de residencia de la mezcla fundida se estableció a 10h (Beerkens, 2008) y Sharma (1991) establece una razón de 4:1 para el largo y ancho promedios de un horno de vidrio para envases. Para el dimensionamiento de las bandas transportadoras se utilizó tablas y datos de una fuente bibliográfica (Rodríguez, s/f.). Ciertamente para ciertos dimensionamientos se utilizan ecuación generales o globales para dar una visión general del equipo, para mayor precisión sería recomendable realizar simulaciones del proceso.

Los equipos dimensionados servirán para poder realizar mejores aproximaciones de costos por unidad de equipo, siendo esto una base para el análisis económico y recuperación de inversión.

3.3. Análisis económico

Con el análisis económico se determinaron los resultados contables de la planta como son los costos de capital, ingresos y costos de producción, análisis de flujo de caja y retorno de inversión; por tal motivo se emplearon ecuaciones y conceptos económicos como tiempo de recuperación simple, *Inside Battery Limits* (ISBL), *Outside Battery Limits* (OSBL), depreciación lineal, coste de capital y métodos factoriales de estimación de costos.

Siguiendo la metodología en el Anexo A, se resumen los costos del proyecto en Anexo C, sección 9. Con estos resultados se calculó que el proyecto tiene un flujo de caja de USD \$ 0,35 millones anuales, por lo que la industria en cuestión recupera su inversión y empieza a ser rentable posterior a los 12 años dentro del Distrito Metropolitano de Quito, lo que resulta negativo como propuesta para ser analizada por accionistas debido a que se necesitó cambiar el costo unitario de botella a \$2,50 para que la recuperación de inversión esté entre los 5 a 10 años; de hecho, esta acción de aumentar el precio unitario perjudica su competitividad en el mercado.

A la par de un análisis económico, es importante el aspecto de seguridad dentro de la industria cuando se encuentre en operación, por lo tanto, también es necesario un análisis de riesgos.

3.4. Análisis de riesgo

Los análisis de riesgos contemplan los riesgos y peligros involucrados en la operación de una planta industrial; por ello, se toma en cuenta la técnica HAZOP o Análisis Funcional de

Operatividad que identifica riesgos en función de la mentalidad de que los accidentes ocurren por variables de proceso desviadas de sus valores normales y establecidos; además también se aplica un check-list de procedimientos básicos de seguridad, que es una guía para los operarios de un equipo con el fin de minimizar el riesgo de operación, proteger el equipo y garantizar que el proceso productivo se dé con normalidad durante la jornada de trabajo.

Bajo la metodología del Anexo A y tomando en cuenta que el método HAZOP se aplica al equipo más importante de la planta, la fundidora, existen diversos casos por los cuales existe una desviación de las variables de proceso y sus respectivas acciones correctivas; entre los que resultan más importantes son las desviaciones en flujo en las líneas de los quemadores y la temperatura en el horno, todos los demás se encuentra en Anexos C, sección 12. El procedimiento de Check-list para toda la planta, en cambio, contará con los parámetros de la tabla en Anexos C, sección 11, los cuales el operario tendrá que contemplar antes, durante y después de la jornada de trabajo, entre los más importantes están: verificar uso de EPP personal y de los demás operarios, revisión de los equipos y tanques de almacenamiento y registro de consumo de materias primas.

Tomar en cuenta el factor de seguridad ayuda a que el proceso de producción se mantenga sin contratiempos, velando por la integridad de los equipos, instalaciones y personal; este análisis cierra el estudio de prefactibilidad de una industria recicladora de vidrio y formadora de botellas a partir de material reciclado.

4. CONCLUSIONES

El diseño de una estación de tratamiento de vidrio reciclado para incorporarlo como materia prima en una línea de formado de botellas requirió de un estudio que involucró diseño del proceso, de la planta, análisis económico y análisis de seguridad. Cada uno de estos objetivos específicos permitió obtener una visión general y específica de los detalles del proceso, sus especificaciones, riesgos y costos asociados.

Se concluye del diseño del proceso que, respetando las leyes naturales, el proceso es factible. El consumo energético y de materias primas no es elevado debido al tamaño de la industria y su producción esperada, considerando que éste puede variar según el tipo de botella a fabricar respecto al color.

Referente al diseño de la planta, el dimensionamiento de los equipos es útil para poder determinar el alcance técnico de una operación unitaria específica. Es por ello que una producción pequeña derivó en equipos pequeños para efectuar el proceso productivo.

Con respecto al análisis de costos e ingresos, en base a los equipos escogidos, se demostró que la planta es de rentabilidad baja debido a una cantidad de producción muy baja; consecuentemente, el costo unitario por botella supera el valor de botellas homologas en el mercado ecuatoriano.

El análisis de seguridad HAZOP realizado alrededor de la fundidora de la planta estableció los valores que pueden desviarse de lo establecido y tomar acciones correctivas. Adicionalmente, se definió más la operación segura de la planta mediante la creación de un Check-list general que promueve una cultura de seguridad, antes, durante y después de la jornada laboral.

Se estudiaron desde distintos enfoques las limitaciones y alcances de proyecto, así como su rentabilidad; por lo tanto, se culminó satisfactoriamente el estudio de prefactibilidad llegando a la conclusión de que técnicamente es posible implementar el proceso propuesto, pero económicamente el proyecto podría no ser atractivo para inversionistas.

Sin embargo, se recomienda considerar una producción mayor de botellas de vidrio y un valor diferente para el precio de una botella de vidrio; por ejemplo, estableciendo un caudal de producción 6 veces mayor al planteado originalmente y un precio unitario del producto de \$ 0,83, que está dentro de los márgenes del mercado, la recuperación de inversión se logra en 10,4 años, lo cual mejora la viabilidad de la implementación de este proyecto.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aquino Fajardo, L. y Tamayo, P. (2015). Diseño y construcción de una Trituradora de Vidrio. *CIENCIA UNEMI*, 4(5), 70-79. <https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol4iss5.2011pp70-79p>
- Arconel. (2019). *Pliego tarifario para las empresas eléctricas de distribución codificado*. Extraído el 14 de febrero de 2020 de <https://www.regulacioneolica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/02/Pliego-Tarifario-SPEE-2019.pdf>
- Andesia. (2009). *Hoja de seguridad, sílica granular*. Extraído el 14 de febrero de http://www.andesia.com/doc/quimicos/HojaSeguridad_Silica-Precipitada.pdf
- Beerkens, R. (2008). Analysis of elementary process steps in industrial glass melting tanks - some ideas on innovations in industrial glass melting. *Ceramics Silikáty*, 52(4), 206-217.
- Bolliger, S., Ross, S., Oesterhelweg, L., Thali, M. y Kneubuehl, B. (2009). Are full or empty beer bottles sturdier and does their fracture-threshold suffice to break the human skull?. *Journal of forensic and legal medicine*, 16, 138-42. doi: 10.1016/j.jflm.2008.07.013
- Burbano, D. (2020). *Datos sobre los CEGAM del Distrito Metropolitano de Quito* [In person]. Entrevista virtual.
- Cámara de Industrias y Producción. (2019). *Norma técnica para emisiones a la atmósfera de fuentes fijas*. Obtenido el 14 de febrero de 2020 de <http://www.cip.org.ec/attachments/article/1357/NORMA%20EMISIONES.pdf>
- Cevallos, G., Cueva, J. y Pinto, K. (2018). Quito, ciudad de altura. *Revista de Investigación Académica y Educación*, 2(1), 6-14. Obtenido el 30 de marzo de 2020 de <https://www.revistaacademica-istcre.edu.ec/admin/postPDF/Quito,ciudaddealtura.pdf>
- Conradt, R. (2019). Prospects and physical limits of processes and technologies in glass melting. *Journal of Asian Ceramic Societies*, 7(4), 377-396. doi: 10.1080/21870764.2019.1656360
- Conradt, R. (2008). The industrial glass-melting process. *The SGTE Casebook*, 282-303. doi:10.1533/9781845693954.2.282
- El Comercio. (2012). *Los envases de vidrio ganan espacio entre los consumidores nacionales*. Obtenido el 11 de febrero de 2020 de <https://www.elcomercio.com/actualidad/negocios/envases-de-vidrio-ganan-espacio.html>
- EPMAPS. (2019). *Pliego tarifario EPMAPS*. Obtenido el 14 de febrero de 2020 de <https://www.aguaquito.gob.ec/wp-content/uploads/2019/06/Pliego-Tarifario-EPMAPS-05.2019.pdf?x42028>
- EMGIRS. (s/f.a). *Caracterización de residuos sólidos urbanos*. Obtenido el 11 de febrero de 2020 de <https://www.emgirs.gob.ec/index.php/zenkit/visitas-al-relleno-sanitario-2>

- EMGIRS. (s/f.b). *Centros de Educación y Gestión Ambiental*. Obtenido el 13 de febrero de 2020 de <https://www.emgirs.gob.ec/index.php/setup/centros-de-educacion-y-gestion-ambiental>
- EU-MERCI. (2018). *Technical analysis-Glass sector (NACE C23.1)*. Obtenido el 13 de febrero de <http://www.eumerci.eu/wp-content/uploads/2018/01/Glass.pdf>
- Eustice, D. (2008). *The Future of Glass Forming Technology for the Manufacture of Lightweight Containers*. WRAP. Obtenido el 14 de febrero de 2020 de <http://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/Forming%20Technology%20Review%20FINAL.pdf>
- Francis, L. F. (2016). *Melt Processes. Materials Processing*, 105–249. doi:10.1016/b978-0-12-385132-1.00003-3
- Gaines, L. y Mintz, M. (1994). *Energy implications of glass-container recycling*. Obtenido el 14 de febrero de 2020 de <https://www.nrel.gov/docs/legosti/old/5703.pdf>
- Gilman, G.F. (2010). *Boiler control systems engineering*. Estados Unidos: International Society of Automation
- GTM. (2016). *Carbonato de calcio, ficha de datos de seguridad*. Obtenido el 14 de febrero de 2020 de <http://www.gtm.net/images/industrial/c/CARBONATO%20DE%20CALCIO.pdf>
- Hasanuzzaman, M., Rafferty, A., Sajjia, M. y Olavi, A-G. (2016). Properties of Glass Materials. *Reference Module in Materials Science and Materials Engineering*. Obtenido el 13 de febrero de 2020 de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128035818039989>. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803581-8.03998-9>
- Hu, W., Slusser, W. y Smay, G. (2016). *FEA performance comparisons of NNPB and BB refillable bottles*. Glass worldwide. Obtenido el 14 de febrero de 2020 de https://americanglassresearch.com/sites/default/files/gw68_114-117nov_dec_2016.pdf
- Jenkins, S. (2020). *2019 chemical engineering plant cost index annual average*. Obtenido el 30 de marzo de 2020 de <https://www.chemengonline.com/2019-chemical-engineering-plant-cost-index-annual-average/>
- KaraziI, S., Ahad, I. y Benyounis, K. (2017). Laser Micromachining for Transparent Materials. *Reference Module in Materials Science and Materials Engineering*. Obtenido el 14 de febrero de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128035818041497>. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803581-8.04149-7>
- Kovačec, M., Pilipović, A. y Štefanić, N. (2011). Impact of Glass Cullet on the Consumption of Energy and Environment in the Production of Glass Packaging Material. *Recent Researches in Chemistry, Biology, Environment and Culture*. ISBN: 978-1-61804-060-2. Obtenido el 14 de febrero de <http://www.wseas.us/e-library/conferences/2011/Montreux/COMICICBIO/COMICICBIO-30.pdf>

- Leblanc, R. (2019). *Quick Facts About Glass Recycling*. Obtenido el 13 de febrero de 2020 de <https://www.thebalancesmb.com/facts-about-glass-recycling-2877982>
- Ministerio de Ambiente. (2014). *Precios de Mercado Referenciales para Materiales Reciclables*. Obtenido el 11 de febrero de 2020 de <https://www.ambiente.gob.ec/precios-de-mercado-referenciales-para-materiales-reciclables/>
- Ministerio de Ambiente. (2015). *Reciclaje de vidrio del país con actores estratégicos del sector*. Obtenido el 13 de febrero de 2020 de <https://www.ambiente.gob.ec/reciclaje-de-vidrio-del-pais-con-actores-estrategicos-del-sector/>
- Ministerio de Ambiente. (2016). *Registro Oficial N° 903, Acuerdo Ministerial 121*. Obtenido el 13 de febrero de 2020 de <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/01/Acuerdo-Ministerial-121-Expedir-la-regulacion-para-la-gestion-de-residuos-de-botellas-de-vidrio-en-el-Ecuador.pdf>
- Neupert, A. (2014). Forming solutions for the Narrow Neck Press and Blow Process. *Glass International*, 37 (5), 37-38. Obtenido el 14 de febrero de 2020 de https://issuu.com/quartzmetals/docs/glass_international_may_2014/40
- Nosis Trade. (2020). 7010-botellas de vidrio. *Comex*. Obtenido el 11 de febrero de 2020 de <https://trade.nosis.com/es/Comex/Importacion-Exportacion/Ecuador/botellas-de-vidrio--bombonas-damajuanas-botellas-frascos-bocales-tarros-envases-tubulares-ampollas-y/EC/7010>
- Presidencia de la República. (s/f.). *Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua, libro VI, anexo 1*. Obtenido el 14 de febrero de 2020 de <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu112180.pdf>
- Quimbita, R. (2016). *Estudio de factibilidad para la creación de una empresa industrial dedicada a la fabricación e instalación de aluminio y vidrio, ubicada en el barrio edén del valle, del Distrito Metropolitano de Quito*. Trabajo de titulación. Universidad Central del Ecuador. Obtenido el 13 de febrero de 2020 de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/15378/1/T-UCE-0003-GM0006-2018.pdf>
- Quimipac. (2016). *Carbonato de Sodio, hoja de seguridad de materiales*. Obtenido el 11 de febrero de 2020 de http://www.quimipac.com.ec/wp-content/uploads/msds/HS_22_C
Obtenido el 14 de febrero de 2020 de ARBONATO%20DE%20SODIO.pdf
- Rodríguez, H. (s/f.). Cálculo y diseño de cintas transportadoras. *Tutorial n°84*. Obtenido el 14 de febrero de 2020 de <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn84.html>
- Sharma, B.K. (1991). *Industrial chemistry*. India: Krishna Prakashan Media.
- Sinnott, R. y Towler, G. (2012). *Diseño en ingeniería química*. España: Editorial Reverté

6. ANEXO A: METODOLOGÍA

6.1. Balance de materia y energía

- 1) Elegir base de cálculo
 - a) Seleccionar caudal principal
 - b) Asumir un caudal múltiplo de 100 si no se conoce a.
- 2) Diagrama de flujo
 - a) Anotar en el diagrama todas las variables conocidas y símbolos para las incógnitas.
 - i) Cada corriente debe tener su caudal y composición o los caudales de cada compuesto
 - ii) Información útil (relación entre variables e incógnitas)
- 3) Lo que no se conoce, determinarlo en términos de los símbolos definidos
- 4) Conversión de unidades, ver que exista consistencia
- 5) Análisis de grados de libertad para cada subsistema y también a nivel general
- 6) Escribir ecuaciones en orden de complejidad.
- 7) Resolver sistema de ecuaciones
- 8) Calcular las variables requeridas del paso 3
- 9) Realizar escalamiento en caso de ser necesario

6.2. Diseño de la trituradora de martillo para la unidad de trituración y lavado

- 1) Definir consideraciones de diseño
- 2) Definir especificaciones de diseño

- 3) Calcular la fuerza de trituración
- 4) Calcular consumo de energía para mover el eje
- 5) Determinación de la longitud de la correa
- 6) Determinar distancia entre el eje transmisor de fuerza y la polea
- 7) Diseño del radio de velocidad de la correa
- 8) Determinación del ángulo de vuelta
- 9) Determinación del torque
- 10) Calcular tensión de la banda

6.3. Diseño de banda transportadora

- 1) Definir consideraciones de diseño
- 2) Definir especificaciones de diseño
- 3) Cálculo del ángulo de inclinación y largo de la banda
- 4) Capacidad de transporte de la banda
- 5) Ancho mínimo de banda
- 6) Velocidad de la banda
- 7) Potencia de banda y del motor
- 8) Diámetro de rodillos según ancho de banda
- 9) Velocidad de giro de los rodillos

6.4. Diseño tanque de separador por densidad

- 1) Definir consideraciones de diseño

- 2) Definir especificaciones de diseño
- 3) Determinar longitud de superficie inclinada
- 4) Determinar volumen total

6.5. Diseño fundidora de vidrio

- 1) Definir consideraciones de diseño
- 2) Definir especificaciones de diseño
- 3) Determinar costo energético global del horno
- 4) Determinar pérdidas de energía y energía entregada a la mezcla
- 5) Determinar caudal de combustible y comburente necesarios
- 6) Determinar volumen de espacio en el horno de los gases de combustión
- 7) Determinar volumen de espacio en el horno del vidrio fundido
- 8) Determinar profundidad del vidrio dentro del horno
- 9) Determinar dimensiones del horno

6.6. Diseño de tuberías de quemadores (horno) y tanques de almacenamiento

1. Definir consideraciones de diseño
2. Definir especificaciones de diseño
3. Seleccionar diámetro de tubería estándar para transporte del comburente
4. Calcular relación de presión entre presión ambiental y presión absoluta dentro del tanque
5. Calcular la relación de presión crítica
6. Comparar los resultados de los literales 4. Y 5.

- 6.1. Si resultado de 4. es mayor a 5.
 - 6.1.1. Se asume que la presión en la boquilla de salida del tanque es igual a la atmosférica
 - 6.1.2. Se calcula el flujo de peso del gas
 - 6.1.3. Se calcula la velocidad de flujo en la boquilla
- 6.2. Si resultado de 4. es menor a 5.
 - 6.2.1. La presión en la boquilla será igual a la presión crítica
 - 6.2.2. Se calcula la velocidad sónica que es igual a la velocidad del flujo
 - 6.2.3. Se calcula el flujo de peso del gas
7. Escribir la ecuación de energía entre los límites establecidos
8. Despejar la presión en quemadores
9. Evaluar pérdidas de energía con la ecuación de Darcy
10. Calcular la caída de presión en la tubería
11. Calcular la presión en quemadores
12. Si el cambio de presión es mayor al 10% repetir el proceso con una tubería de diámetro mayor
13. Determinar dimensiones del tanque, material de construcción, eficiencia de soldadura y tipo de cabezal
14. Calcular volumen del tanque
15. Calcular cantidad de gas almacenado
16. Establecer un tiempo de consumo (consumo hasta el 80% de la cantidad original)

17. Establecer presión de diseño
18. Determinar espesor de pared mínimo

6.7. Diseño de un diagrama P&ID:

1. Elegir una normativa de simbología
2. Basarse en el diagrama de flujo
3. Colocar especificaciones de las tuberías
4. Especificar zonas donde tendrán bypass
5. Colocar la instrumentación (sensores, controladores, indicadores, transductores)
6. Crear una leyenda de las tuberías e instrumentación

6.8. Calculo de costos generales

1. Estimación del costo ISBL
 - 1.1. Realizar la estimación rápida de costes
 - 1.2. Realizar métodos factoriales de la estimación de costo
 - 1.2.1. Factor de Hand
 - 1.2.1.1. Establecer un rango del $\pm 30\%$
 - 1.2.2. Estimación factorial detallada
 - 1.2.2.1. Establecer un rango del $\pm 10\%$
 - 1.2.3. Establecer un margen de costo que coincida con el margen de costos del factor de Hand y el detallado
 - 1.2.4. Realizar un promedio entre los nuevos márgenes de costos

1.2.5. Realizar el ajuste de localización y temporal

2. Establecer el OSBL como el 40% del ISBL
3. Sumar el valor del ISBL y OSBL para dar el costo total de capital fijo
4. Establecer los costos de ingeniería y construcción como el 30% del (ISBL+OSBL)
5. Establecer los gastos imprevistos como el 10% de (ISBL+OSBL)
6. Establecer el costo del capital del trabajo como el 5% de (ISBL+OSBL)
7. Determinar los costos de producción

7.1. Determinar costos de producción fijos

7.1.1. Determinar número de operadores y salario (trabajo de operación)

7.1.2. Costo de supervisión (25% costo del trabajo de operación)

7.1.3. Gasto salarios directos (determinado por rol de pagos)

7.1.4. Mantenimiento (3-5% ISBL)

7.1.5. Impuestos sobre la propiedad y seguros (1-2% ISBL)

7.1.6. Alquiler de tierra como el 1-2% del (ISBL + OSBL)

7.1.7. Gastos generales de la planta (recursos humanos, I&D, control de calidad) se estima como el 65% (7.1.2. + 7.1.3. + 7.1.4.)

7.1.8. Gastos medioambientales como el 1% (ISBL + OSBL)

7.1.9. Licencias (costo del permiso de funcionamiento)

7.1.10. Gastos de capital (en función del coste global del capital [promedio ponderado del coste de la deuda y el coste del capital contable])

7.2. Determinar costos de producción variable

7.2.1. Costo materias primas utilizadas

7.2.2. Costo de servicio de agua potable, energía eléctrica

7.2.2.1. Energía de planta 1,2 veces energía consumida en proceso

7.2.3. Reactivos consumibles

7.2.4. Costo del transporte

6.9. Análisis de recuperación de inversión

1. Realizar una tabla de flujo de caja
2. Conocer el coste global de capital, método y periodo de depreciación, impuesto a la renta
3. Calcular el valor actual neto NPV
4. Calcular el IRR o DCFROR
5. Determinar el tiempo de recuperación de inversión simple y retorno de inversión (ROI)

6.10. Análisis HAZOP

1. Establecer el nodo de proceso
2. Establecer todos los factores de riesgo para todos los parámetros aplicativos (nivel, caudal, presión, temperatura, composición, fase, servicios, contención, mantenimiento)
3. Crear la tabla de valoración de riesgos
 - 3.1. Tener palabras guías
 - 3.2. La desviación (determinado por 2.)
 - 3.3. Determinación de la causa
 - 3.4. Explicar el escenario

3.5. Establecer las consecuencias

3.6. Dar a entender las respectivas salvaguardas

3.7. Establecer un criterio de valoración numérico o por color de los riesgos

3.8. Establecer las acciones correctivas

6.11. Check list

1. Determinar el formato del check list
2. Basarse en un esquema pre definido
3. Adaptar el esquema pre definido a la industria de reciclado y formación de botellas de vidrio

7. ANEXO B: ECUACIONES

7.1. Balance de materia y energía

$$\text{Entrada} - \text{Salida} + \text{Generación} = \text{Acumulación} \quad (1)$$

$$\sum \dot{n}_{i,Entrada} * M_i - \sum \dot{n}_{i,salida} * M_i + \dot{R}_i * M_i = \frac{dn_i}{dt} * M_i \quad (2)$$

Los balances energéticos se obtienen por ecuaciones de diseño, por especificaciones de operación de los equipos o por consumos energéticos encontrados en bibliografías.

$\dot{n}_{i,x}$ = flujo molar de la especie i , x : entrada o salida de un sistema [kmol/h]

M_i = masa molar de compuesto i [kg/kmol]

\dot{R}_i = generación de compuesto i por reacción [kmol/h]

$\frac{dn_i}{dt}$ = acumulación de la especie i en el sistema [kmol/h]

7.2. Trituradora de martillo

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{D_1}{D_2} \quad (3)$$

$$\omega_2 = \frac{2 * \pi * N_2}{60} \quad (4)$$

$$v_t = \left(\frac{2 * E_{ip}}{m_b} \right)^{1/2} \quad (5)$$

$$R_g = \frac{v_t * 60}{N_2 * 2 * \pi} \quad (6)$$

$$m_i = m_m * n_f \quad (7)$$

$$E_{im} = \frac{1}{2} * \frac{1}{3} * m_i * (L_m)^2 * (\omega_2)^2 \quad (8)$$

$$v_c = \frac{D_2}{2} * \left(2 * \pi * \frac{N_2}{60} \right) \quad (9)$$

$$C = 2D_1 + D_2 \quad (10)$$

$$L = 2C + \frac{\pi}{2}(D_1 + D_2) + \frac{D_1 + D_2}{4C} \quad (11)$$

$$\alpha = \pi - \frac{D_2 - D_1}{C} \quad (12)$$

$$A_{tc} = \frac{1}{2} * \left(a_c + a_c - 2 * \left(\tan \left(\frac{\delta * \pi}{180} \right) * h_c \right) \right) * h_c \quad (13)$$

$$T = \frac{P_m * 745,7 * 60}{2 * \pi * N_1} \quad (14)$$

$$T_1 = \frac{T}{D_1/2} \quad (15)$$

$$e = \frac{T_1}{A_{tc}} \quad (16)$$

$$T_2 = \frac{T_1}{e^{0,22 * \alpha * \csc(\beta * \frac{\pi}{180} / 2)}} \quad (17)$$

$$P_c = \frac{(T_1 - T_2) * v_c}{745,7} \quad (18)$$

$$d_{eje} = \left(\frac{32 * T * L_{eje}}{\pi * Mr * \frac{\varphi * \pi}{180}} \right)^{1/4} \quad (19)$$

$N_{1,2}$ = velocidad polea conductora, conducida [rpm]

$D_{1,2}$ = diámetro polea conductora, conducida [m]

$N_{1,2}$ = velocidad polea conductora, conducida [rpm]

ω_2 = velocidad angular de la polea conducida [rad/s]

$v_{t,c}$ = velocidad tangencial de ruptura, de la correa [m/s]

$E_{i,im}$ = energía de impacto de ruptura, energía de impacto de martillos [J]

$m_{b,i,m}$ = masa de la botella de vidrio, de impacto, de un martillo [kg]

R_g = radio de giro [m]

n_f = número de martillos en fila [-]

L_m = largo de martillo [m]

C = distancia entre centros [m]

α = ángulo de contacto de polea conductora con correa [rad]

A_{tc} = área transversal de la correa [mm²]

a_c = ancho de correa (mm)

h_c = grosor de correa (mm)

δ = ángulo de inclinación de la correa = 20° para correa tipo A

T = torque transmitido al eje [Nm]

$P_{m,c}$ = potencia del motor, potencia transmitida por la correa [hp]

T_1 = tensión de correa en lado apretado [N]

e = estrés en banda [N/mm²]

T_2 = tensión de correa en lado flojo (N)

β = Ángulo de apertura de la garganta de la polea = 32°

d_{eje} = diámetro de eje portador de martillos [m]

L_{eje} = longitud del eje portador de martillos [m]

Mr = módulo de rigidez [N/m²]

φ = mínimo ángulo de torsión [°]

7.3. Diseño de banda transportadora

$$\text{Anchura de banda} > 4 * \text{tamaño de los trozos mayores} \quad (20)$$

$$A = 0.25 * \tan(\beta) * [I + (b - I) * \cos(\lambda)]^2 + I_1 * \sin(\lambda) * [I + I_1 * \cos(\lambda)] \quad (21)$$

$$b = 0.9 * B - 0.05 \quad (22)$$

$$I_1 = 0.5 * (b - I) \quad (23)$$

$$Q_v = v * A * k \quad (24)$$

$$k = 1 - 1.64 * \left(\frac{\varphi * \pi}{180}\right)^2 \quad (25)$$

$$P_T = P_1 + P_2 \quad (26)$$

$$P_1 = \frac{C_b * v + Q_m}{C_l * K_f} \quad (27)$$

$$H = L * \sin(\varphi) \quad (28)$$

$$P_2 = \frac{H * Q_m}{367} \quad (29)$$

$$P_M = \frac{P_T}{\eta_m * \eta_r} \quad (30)$$

$$F_t = \frac{P_T * 1000}{v} \quad (31)$$

$$F_{tA} = 1.6 * F_t \quad (32)$$

$$\mu_A = \mu + 0.05 \quad (33)$$

$$T_{1A} = \frac{F_{tA} * e^{\mu_A * \pi}}{e^{\mu_A * \pi} - 1} \quad (34)$$

$$T_{2A} = \frac{F_{tA}}{e^{\mu_A * \pi} - 1} \quad (35)$$

$$D_{Tmin} = \frac{36 * F_t}{p * \pi * \alpha^0 * B} \quad (36)$$

$$M_A = \frac{(T_{1A} + T_{2A}) * D_T}{2} \quad (37)$$

$$R = \frac{T_{1 \text{ ó } 2A} * C_s}{B}; \text{ el mayor entre } T_{1A} \text{ y } T_{2A} \quad (38)$$

A = área sección transversal material en banda [cm^2]

β = ángulo de reposo del material transportado [rad]

I = ancho de banda ocupado por material [cm]

b = ancho de banda total ocupada por material [cm]

λ = ángulo de inclinación del perfil de la cinta transportadora [$^\circ$]

I_1 = ancho de banda inclinada ocupada por material [cm]

B = anchura de banda total [cm]

$Q_{v,m}$ = carga volumétrica por cinta, carga másica [cm^3/s , kg/s]

v = velocidad de banda [m/s]

k = coeficiente de reducción por inclinación de cinta [-]

φ = ángulo de inclinación de la cinta [rad]

$P_{T,1,2}$ = potencia total en la cinta, desplazamiento horizontal, elevación vertical [kW]

$C_{b,l}$ = factor de ancho de banda, factor de longitud de banda [-]

K_f = factor de servicio (normal, condiciones estándar) = 1

H = altura a la que alcanza la cinta transportadora [m]

L = longitud de la cinta transportadora [m]

P_M = potencia consumida por el motor eléctrico [kW]

$\eta_{m,r}$ = rendimiento del motor eléctrico = 0,85 ; rendimiento de la caja reductora = 0,96

F_t = fuerza tangencial en estado estacionario de la cinta [N]

F_{tA} = fuerza tangencial en arranque de la cinta [N]

μ = coeficiente de fricción entre banda y tambor [-]

μ_A = coeficiente de fricción entre banda y tambor en el arranque [-]

$T_{1A,2A}$ = tensión en el lado más tenso en el arranque, menos tenso en el arranque [N]

D_{Tmin} = diámetro mínimo de tambor motriz [m]

p = capacidad de transmisión tambor/banda = 1600 kg/m²

α^o = ángulo de contacto entre banda y tambor = 180°

M_A = par motor en el arranque [Nm]

R = Resistencia nominal mínima [N/mm]

C_s = coeficiente de seguridad según tipo de banda = 10

7.4. Diseño de horno

$$T_{ex} = \zeta * (T_{ad} - T_0) + T_0 \quad (39)$$

$$H_{ex} = (1 - y_C) * \Delta H_{chem}^o + \Delta H(T_{ex}) \quad (40)$$

$$P_{ex} = H_{ex} * p \quad (41)$$

$$P_{loss} = P_{in} - P_{ex} \quad (42)$$

$$P_{fire} = P_{ex} + P_{wH} + P_{wL} \quad (43)$$

$$(P_{wH} + P_{wL}) = 0,4 * P_{fire} \quad (44)$$

$$P_{flue} = P_{in} - P_{fire} \quad (45)$$

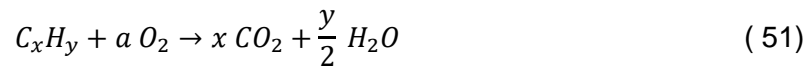
$$T_{ht} = \sqrt{(T_{ad} - T_0) * (T_{ex} - T_0)} + T_0 \quad (46)$$

$$P_{ht} = P_{ex} + P_{wL} \quad (47)$$

$$P_{wL} = 0,30 * P_{ht} \quad (48)$$

$$P_{wL} = P_{ht} - P_{ex} \quad (49)$$

$$P_{wH} = P_{fire} - P_{ht} \quad (50)$$



$$a = x + y/4 \quad (52)$$

$$c_{flue} = f_{e,CO_2} * c_{CO_2} + f_{e,H_2O} * c_{H_2O} \quad (53)$$

$$V'_{flue} = \frac{P_{flue}}{c_{flue} * (T_{flue} - T_0)} \quad (54)$$

$$V'_F = \frac{V'_{flue}}{(n_{flue} + (\lambda - 1) * n_{O_2})} \quad (55)$$

$$V'_{bg} = (m'_{batch} - p) * \left(\frac{V^{id}}{M_{bg}} \right) \quad (56)$$

$$V_H = \frac{t_{H,nom} * V'_{flue}}{(T_{ntp} / < T_H >)} \quad (57)$$

$$V_L = \frac{t_{L,nom} * p}{\rho_{melt}} \quad (58)$$

T_{ex} = temperatura de salida de la mezcla fundida [°C]

T_{ad} = temperatura de combustión adiabática para horno oxy – fuel = 2780 °C

T_0 = temperatura ambiental [°C]

ζ = Eficiencia de temperatura para combustión oxy – fuel = 0,46

H_{ex} = energía por tonelada suministrada a la mezcla fundida [kWh/ton]

y_c = fracción másica de calcín en mezcla [-]

ΔH_{chem}° = demanda de calor estándar de la conversión del lote a fundido [kWh/ton]

$\Delta H(T_x)$ = calor de la mezcla a la temperatura de salida del horno [kWh/ton]

P_{ex} = energía suministrada a la mezcla fundida [kW]

p = cantidad producida de vidrio [ton/h]

P_{loss} = energía total perdida por el horno [kW]

P_{in} = energía de consumo total del horno [kW]

P_{fire} = energía suministrada a la mezcla y refractores [kW]

$P_{wH,wL}$ = energía perdida en paredes (zona de combustión), (zona de fundición) [kW]

P_{flue} = calor transportado por el gas de combustión saliente [kW]

T_{ht} = temperatura de la mezcla fundida dentro del horno [°C]

P_{ht} = calor transferido a la mezcla y refractores (zona de fundición) [kW]

c_{flue} = capacidad calorífica de los gases de combustión [J/mol * K, kWh/m³K]

c_{CO_2,H_2O} = capacidad calorífica del CO₂, H₂O [J/mol * K]

f_{e,CO_2,H_2O} = fracción estequiométrica de CO₂, H₂O y gases de combustión

V'_{flue} = caudal de gas de combustión saliente [m³/h]

T_{flue} = temperatura de los gases de combustión salientes = 1396 °C

n_{flue,O_2} = razón estequiométrica de vol. de gas combust./oxígeno y vol. de combustible

λ = factor de exceso de comburente = 1,02

V'_{bg} = caudal de gas acumulado en el horno [m³/h]

m'_{batch} = flujo másico de materia prima ingresada al horno [kg/h]

V^{id} = volumen molar según gas ideal = 22,4 m³/kmol

M_{bg} = masa molar de los gases acumulados en el horno (por reacción) [g/mol]

V_H = volumen de la zona de los gases de combustión [m³]

$t_{H,nom}$ = tiempo de residencia de los gases en el horno = 60 s

T_{ntp} = 273 K

$\langle T_H \rangle$ = temperatura media de los gases de combustión [K]

V_L = volumen del espacio de vidrio fundido en el horno [m³]

$t_{L,nom}$ = tiempo de residencia del vidrio fundido [h]

ρ_{melt} = densidad del vidrio fundido [ton/m³]

7.5. Diseño de tuberías de quemadores (horno) y tanques de almacenamiento

$$\frac{P_2}{\gamma_2} + z_2 + \frac{v_1^2}{2g} - h_L = \frac{P_3}{\gamma_3} + z_3 + \frac{v_2^2}{2g} \quad (59)$$

$$P_2 = P_3 + \gamma_2 * h_L + \gamma_2 * (z_3 - z_2) \quad (60)$$

$$h_L = f \left(\frac{L}{D} \right) \left(\frac{v_2^2}{2g} \right) + f_T \left(\frac{L_e}{D} \right) \left(\frac{v_2^2}{2g} \right) \quad (61)$$

$$N_R = \frac{v_2 D}{\nu} \quad (62)$$

$$\text{rugosidad relativa} = \frac{D}{\epsilon} \quad (63)$$

Determinar el factor f por diagrama de Moody

$$\gamma_1 = 2.70 * \frac{(P_1 + P_{atm})[psia]}{T_1 [^{\circ}R]} \quad [lb/pie^3] \quad (64)$$

$$P_1(abs) = P_1 + P_{atm} \quad (65)$$

$$\text{Relación de presión} = \frac{P_{atm}}{P_1(abs)} \quad (66)$$

$$\left(\frac{P'_2}{P_1} \right)_c = \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1}} \quad (67)$$

Para resultado 6.1.

$$W = A_2 \sqrt{\frac{2gk}{k-1} (P_1 \gamma_1) \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{2/k} - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{(k+1)/k} \right]} \quad (68)$$

$$v_2 = \left\{ \left(\frac{2gP_1}{\gamma_1} \right) \left(\frac{k}{k-1} \right) \left[1 - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{(k-1)/k} \right] \right\}^{1/2} \quad (69)$$

Para resultado 6.2.

$$P_2 = P'_2 = P_1 \left(\frac{2}{k+1} \right)^{k/(k-1)} \quad (70)$$

$$W_{m\acute{a}x} = A_2 \sqrt{\left(\frac{2gk}{k+1} \right) (P_1 \gamma_1) \left(\frac{2}{k+1} \right)^{2/(k-1)}} \quad (71)$$

$$\gamma_2 = \gamma_1 \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{1/k} \quad (72)$$

$$v_2 = c = \sqrt{\frac{kgP_2'}{\gamma_2}} \quad (73)$$

$$P_1 V_t = n_t R T_1 \quad (74)$$

Volumen y área superficial de tanques, espesor mínimo de pared en cuerpo y cabezal

$$V_t = \pi * \frac{(D_i)^2}{4} * (L_t - 2 * \beta * D_i) + 2 * (D_i)^3 * C * \frac{\pi}{24} * (2) \quad (75)$$

$$A_{st} = 2 * \pi * \frac{D_i}{2} * (L_t - 2 * \beta * D_i) + 2 * \frac{\pi * (D_i)^2}{8} * \left(2 + \frac{1}{4\omega} * \ln \left(\frac{2\omega + 2}{2 - \sqrt{3}} \right) \right) \quad (76)$$

$$t = \frac{P_i D_i}{2SE - 1,2 * P_i} \quad (77)$$

$$t_{cab} = \frac{P_i D_i}{2SE - 0,2 * P_i} \quad (78)$$

P_x = presión en x; tanque (x = 1); boquilla (x = 2); quemadores (x = 3) [Pa] [psi]

γ_x = peso específico en x; $\gamma_2 = \gamma_3 \left[\frac{\text{lb}}{\text{pie}^3} \right] \left[\frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \right]$

z_x = altura desde el nivel del piso en x [m]

h_L = pérdidas totales en tubería [m]

f = factor - f del diagrama de Moody [-]

L = longitud de tubería [m] [pulg]

D = diámetro de tubería [m] [pulg]

v_2 = velocidad de flujo en boquilla [m/s] [pies/s]

g = aceleración gravitacional = 9,81 m/s² = 32,2 pies/s²

f_T = factor de fricción (depende del tamaño nominal) [-]

$\frac{L_e}{D}$ = longitud equivalente para pérdidas por valvulas [-]

N_R = número de Reynolds [-]

ν = viscosidad cinemática del fluido [m²/s]

ϵ = rugosidad de pared [m]

T_1 = temperatura del fluido dentro del tanque [$^{\circ}R$]

P'_2 = presión crítica en la boquilla [psi]

k = exponente adiabático del fluido [-]

W = flujo del fluido en boquilla [lb/s]

$W_{m\acute{a}x}$ = flujo del fluido en boquilla superando la presión crítica [lb/s]

A_2 = área transversal en boquilla [pies²]

c = velocidad sónica [pies/s]

V_t = volumen del tanque [m^3]

D_i = diámetro interno del cilindro (tanque) [m]

L_t = altura total del tanque [m]

β = relación profundidad de cabezal y diámetro del tanque

C = factor adimensional ; para cabezal ASME 2:1 $\rightarrow C = 1/2$

ω = factor adimensional; para cabezal elipsoidal 2:1 $\rightarrow \omega = 0,866$

t = espesor mínimo de pared [mm]

P_i = presión de diseño = $1.1 * P_1$ [Pa] [psi]

S = esfuerzo permisible máximo (según material) [N/m^2]

E = eficiencia de soldadura

t_{cab} = espesor mínimo de pared en cabezal [mm]

7.6. Cálculo de costes generales

$$C_e = a + bS^n \quad (79)$$

$$C = \left(\sum F_{Hand} * C_e \right)_{f\ inst} + \left(\sum C_e \right)_{no\ f\ inst} \quad (80)$$

$$C = \sum_{i=1}^{i=M} C_{e,i,CS} [(1 + f_p)f_m + (f_{er} + f_{el} + f_i + f_c + f_s + f_l)] \quad (81)$$

$$C = \sum_{i=1}^{i=M} C_{e,i,A} [(1 + f_p) + (f_{er} + f_{el} + f_i + f_c + f_s + f_l)/f_m] \quad (82)$$

$$\text{Costo año actual} = \text{costo año "n"} * \frac{\text{índice costo año actual}}{\text{índice costo año "n"}} \quad (83)$$

$$LF_{\text{año actual}} = LF_{\text{año "n"}} * \frac{\text{cambio de moneda a USD año actual}}{\text{cambio de moneda a USD año "n"}} \quad (84)$$

$$\text{Costo planta localización A} = \text{Costo planta base US Gulfcoast} * (LF_{\text{año actual}}) \quad (85)$$

$$B_m = C - \frac{m * C_d}{n} \quad (86)$$

$$i_c = (DR * i_d) + ((1 - DR) * i_e) \quad (87)$$

$$NPV = \sum_{n=1}^{n=t} \frac{CF_n}{(1 + i)^n} \quad (88)$$

$$\sum_{n=1}^{n=t} \frac{CF_n}{(1 + i')^n} = 0 \quad [IRR] \quad (89)$$

$$ROI_{\text{pre-impuestos}} = \frac{\text{Flujo de caja pre - impuestos}}{\text{inversión total}} * 100\% \quad (90)$$

$$\text{Tiempo de recuperación simple} = \frac{\text{inversión total}}{\text{flujo de caja neto anual promedio}} \quad [\text{años}] \quad (91)$$

C_e = Coste del equipo en base a US Gulf Coast, Enero 2007 [USD]

a, b = constantes de estimación de costes de equipo [-]

S = parametro de tamaño/capacidad/potencia [-]

n = exponente por tipo de equipo [-]

C = Coste ISBL por método de Hand ec. (80) o detallado ec. (81 – 82)[USD]

F_{Hand} = factor de instalación de Hand [-]

$C_{e,i,CS}$ = coste del equipo adquirido en acero al carbono [USD]

$C_{e,i,A}$ = coste del equipo adquirido en aleación [USD]

$f_{p,m,er,el,i,c,s,l}$ = factor de instalación para: tuberías, material, montaje de equipo, trabajo eléctrico, instrumentación y control de proceso, ingeniería civil, estructuras y edificios, protección y aislamiento.

LF_i = factor de localización en año i [-]

B_m = valor contable del activo después de m años de depreciación [USD]

C_d = valor amortizado que se deprecia en n años [USD]

$i_{c,d,e}$ = coste de capital, interés promedio en créditos, coste de capital contable [%]

DR = tipo de deuda [-]

NPV = valor actual neto del proyecto [USD]

CF_n = flujo de caja en el año n [USD]

t = vida del proyecto [años]

i = tipo de interés = coste de capital [%]

i' = tipo de plusvalía actual de devolución [%]

IRR = tipo de interés de devolución = tipo interno de devolución [%]

$ROI_{pre-impuestos}$ = retorno de inversión pre impuestos [%]

8. ANEXO C: RESULTADOS

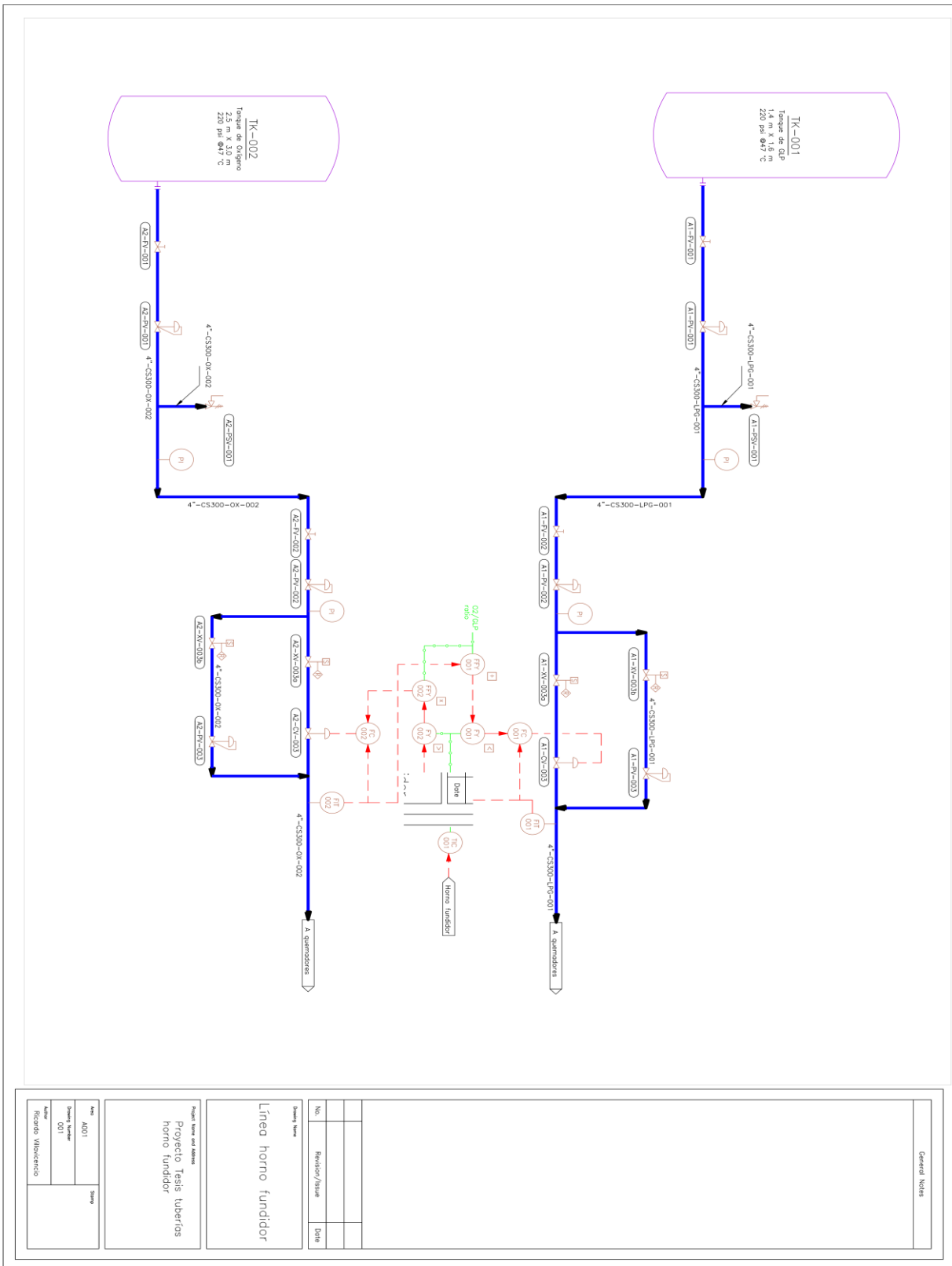
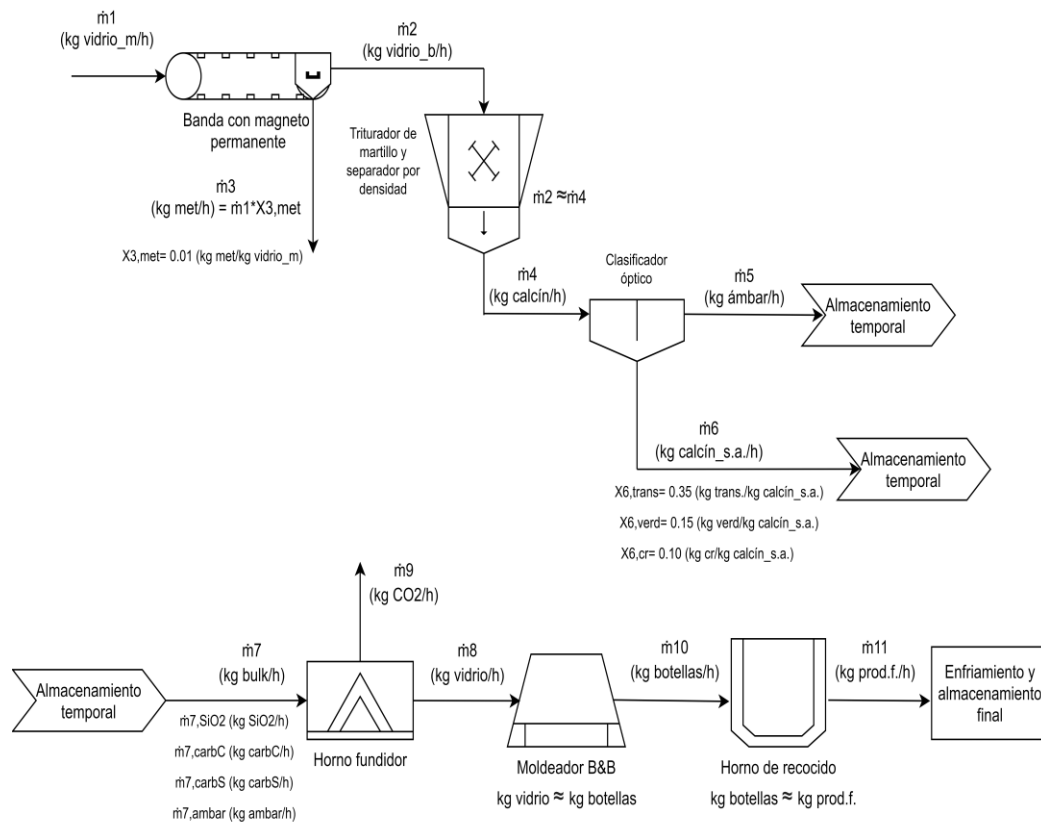


Diagrama de flujo del proceso



Fundición						Moldeado, Recocido, Enf. Y almace.			
Entrada, m_7			Salida, m_8 , m_9			Entrada, m_8 , m_{10}		Salida, m_{10} , m_{11}	
Color de botella	Transparente	Verde	Color de botella	Transparente	Verde	Transparente	Verde	Transparente	Verde
Silice	4,33	1,86	CO ₂ , m_9	337,01	144,43	11,86	5,08	11,86	5,08
Carbonato de calcio	1,38	0,59	Vidrio prod, m_8	11,86	5,08				
Carbonato de sodio	1,22	0,52							
Vidrio r.	5,93	2,54							

Sección 1b: Balance de masa y energía horno

En base a la metodología referente al balance de materia y energía explicada en Anexo A

Constantes

Masa molar	g/mol
Óxido de calcio	56,08
Óxido de sodio	61,98
Carbonato de calcio	100,09
Carbonato de sodio	105,99
Dioxido de carbono	44,01

Botella ámbar

Botellas vidrios (n) (unid/mes)	10000	kg prod./h	13,56	base horas de producción (h/año)			2080		
Peso por botella (g)	235	kg prod./mens	2350						
Material	Porcentaje (%)	Conversión a materias primas disponibles (g)	Precio de mercado por kilogramo referencial (USD)	Peso base para el precio de mercado (kg)	Valor invertido por n unidades de botellas	Total por n botellas (\$)	Precio por botella (\$)	Precio (considerando costos de fabricación) x3 (\$)	
Silice	73	1715500	21,4	45	815,82	1201,17	0,12	0,36	
Óxido de calcio	13	545248	13,05	50	142,31				
Óxido de sodio	12	482239	12,6	25	243,05				
Suma (g)		2742987							
Reciclaje (%)	50	Conversión a materias primas disponibles (g)	Precio de mercado por kilogramo referencial (USD)	Peso base para el precio de mercado (kg)	Valor invertido por n unidades de botellas	Total por n botellas (\$)	Precio por botella (\$)	x4 (contando sección de reciclado) (\$)	
Silice	73	857750	21,4	45	407,91	953,09	0,10	0,38	
Óxido de calcio	13	272624	13,05	50	71,15				
Óxido de sodio	12	241120	12,6	25	121,52				
Vidrio reciclado	-	1175000	0,3	1	352,50				
Ton v reclic		1,175							
Suma (g)		2546493							

Botella trans.

Botellas vidrios (n) (unid/mes)	8750	kg prod./h	11,86	base horas de producción (h/año)			2080		
Peso por botella (g)	235	kg prod./mens	2056,25						
Material	Porcentaje (%)	Conversión a materias primas disponibles (g)	Precio de mercado por kilogramo referencial (USD)	Peso base para el precio de mercado (kg)	Valor invertido por n unidades de botellas	Total por n botellas (\$)	Precio por botella (\$)	Precio (considerando costos de fabricación) x3 (\$)	
Silice	73	1501063	21,4	45	713,84	1051,03	0,12	0,36	
Óxido de calcio	13	477092	13,05	50	124,52				
Óxido de sodio	12	421959	12,6	25	212,67				
Suma (g)		2400114							
Reciclaje (%)	50	Conversión a materias primas disponibles (g)	Precio de mercado por kilogramo referencial (USD)	Peso base para el precio de mercado (kg)	Valor invertido por n unidades de botellas	Total por n botellas (\$)	Precio por botella (\$)	x4 (contando sección de reciclado) (\$)	
Silice	73	750531	21,4	45	356,92	833,95	0,08	0,33	
Óxido de calcio	13	238546	13,05	50	62,26				
Óxido de sodio	12	210980	12,6	25	106,33				
Vidrio reciclado	-	1028125	0,3	1	308,44				
Ton v reclic		1,028							
Suma (g)		2228182							

Botella verde

Botellas vidrios (n) (unid/mes)	3750	kg prod./h	5,08	base horas de producción (h/año)			2080		
Peso por botella (g)	235	kg prod./mens	881,25						
Material	Porcentaje (%)	Conversión a materias primas disponibles (g)	Precio de mercado por kilogramo referencial (USD)	Peso base para el precio de mercado (kg)	Valor invertido por n unidades de botellas	Total por n botellas (\$)	Precio por botella (\$)	Precio (considerando costos de fabricación) x3 (\$)	
Silice	73	643313	21,4	45	305,93	450,44	0,12	0,36	
Óxido de calcio	13	204468	13,05	50	53,37				
Óxido de sodio	12	180840	12,6	25	91,14				
Suma (g)		1028620							
Reciclaje (%)	50	Conversión a materias primas disponibles (g)	Precio de mercado por kilogramo referencial (USD)	Peso base para el precio de mercado (kg)	Valor invertido por n unidades de botellas	Total por n botellas (\$)	Precio por botella (\$)	x4 (contando sección de reciclado) (\$)	
Silice	73	321656	21,4	45	152,97	357,41	0,04	0,14	
Óxido de calcio	13	102234	13,05	50	26,68				
Óxido de sodio	12	90420	12,6	25	45,57				
Vidrio reciclado	-	440625	0,3	1	132,19				
Ton v reclic		0,441							
Suma (g)		954935							

Tipo de botella	Cantidad materias primas (kg/h)		
	Ámbar	Transparente	Verde
Silice	4,95	4,33	1,86
Carbonato de calcio	1,57	1,38	0,59
Carbonato de sodio	1,39	1,22	0,52
Vidrio r.	6,78	5,93	2,54
Entrada al horno	14,69	12,85	5,51
Salida del horno	13,56	11,86	5,08
CO2 emitido	385,16	337,01	144,43
Materia prima total sin vidrio r	7,91	6,92	2,97

Cantidad de botellas por tipo de vidrio

Color/Tipo	Salida del clasificador (kg/h)	Botellas de vidrio (unidades/mensuales)
Transparente	5,93	8750
Verdes	2,54	3750
Cristal	1,69	-
Ámbar	6,78	10000
Total		22500

Sección 2: Dimensionamiento trituradora de martillo

En base a la metodología referente al triturador y separador por densidad explicada en Anexo A

Consideraciones y especificaciones de diseño	
Carga (kg/h)	16,95
Potencia del motor (hp)	3
Velocidad del motor (rpm), N1	1100
Diámetro polea conductora (mm), D1	150
Diámetro polea conducida (mm), D2	304,8
Densidad acero AISI 4340 para martillo (g/cm ³)	7,85
Largo de martillo (cm)	12
Espesor de martillo (mm)	18
Ancho de martillo (mm)	50
Masa de martillo (g)	847,8
Tipo de correa	A
Grosor de correa (mm)	9
Ancho de correa (mm)	12,5
Longitud de eje (m)	0,4
Módulo de rigidez del acero dulce (GN/(m ²))	78
Mínimo ángulo de torsión (°)	0,05

Prueba de impacto

Energía de impacto botella (J)	40
Masa de la botella (g)	391
Grosor de botella (mm)	3,6

Resultados triturador	
Área de contacto vidrio-martillo (mm ²)	21,6
Velocidad del eje (rpm)	541,34
Velocidad angular (rad/s)	56,69
Velocidad tangencial (m/s)	14,30
Radio de giro (cm), Rg	25,23
Masa de impacto (g)	5086,80
Número de martillos por fila	6
Número de filas porta martillos	4
Número de martillos	24
Energía de impacto (J)	39,23
Velocidad de correa (m/s)	8,64
Distancia entre centros (m)	0,60
Longitud de correa (m)	1,93
Angulo de contacto de polea conductora (rad)	2,89
Área transversal de correa (mm ²)	83,02
Torque transmitido al eje (Nm)	19,42
Tensión de correa en lado apretado (N)	258,94
Estrés en la banda (N/(mm ²))	3,12
Tensión de correa en lado flojo (N)	25,88
Potencia transmitida por la correa (hp)	2,70
Diámetro mínimo del eje (mm)	32,84

Resultado volumen separador por densidad

Altura de contenedor (m)	1
Longitud de contenedor triangular (m)	3
Ancho cinta transportadora (m)	0,48
Volumen de contenedor limpiador (m ³)	0,72

Sección 3: Dimensionamiento bandas transportadoras

En base a la metodología referente a bandas transportadoras en Anexo A

Banda transportadora con separador magnético (BT1)

Consideraciones y especificaciones de diseño	
Densidad de vidrio (g/cm ³)	2,5
Carga transportada por cinta (kg/h)	17,12
Tamaño de trozos mayores (cm)	12,00
Ángulo de reposo del material transportado (°)	18,00
Largo de ocupación de la cinta (m)	3,00
Altura final de cinta por inclinación (m)	0,00
Largo de cinta (m)	3,00
Coefficiente de reducción	1,00
Velocidad de banda (m/s)	0,20
Factor de ancho de banda	86
Factor de longitud de banda	222
Coefficiente de fricción	0,35
Coefficiente de seguridad de banda	10
Ángulo inclinación perfil de cinta transportadora (°)	0,00

Banda transportadora para trituración entrada (BT2)

Consideraciones y especificaciones de diseño	
Densidad de vidrio (g/cm ³)	2,5
Carga transportada por cinta (kg/h)	16,95
Tamaño de trozos mayores (cm)	12,00
Ángulo de reposo del material transportado (°)	18,00
Largo de ocupación de la cinta (m)	10,00
Altura final de cinta por inclinación (m)	3,00
Largo de cinta (m)	10,44
Coefficiente de reducción	0,84
Velocidad de banda (m/s)	0,20
Factor de ancho de banda	86
Factor de longitud de banda	222
Coefficiente de fricción	0,35
Coefficiente de seguridad de banda	10
Ángulo inclinación perfil de cinta transportadora (°)	20,00

Banda transportadora para separador por densidad (BT3)

Consideraciones y especificaciones de diseño	
Densidad de vidrio (g/cm ³)	2,5
Carga transportada por cinta (kg/h)	16,95
Anchura de banda (cm)	48,00
Ángulo de reposo del material transportado (°)	18,00
Largo de ocupación de la cinta (m)	3,00
Altura final de cinta por inclinación (m)	1,00
Largo de cinta (m)	3,16
Coefficiente de reducción	0,80
Velocidad de banda (m/s)	0,20
Factor de ancho de banda	86
Factor de longitud de banda	222
Coefficiente de fricción	0,10
Coefficiente de seguridad de banda	10
Ángulo inclinación perfil de cinta transportadora (°)	0,00

Banda transportadora para entrada a clasificador (BT4)

Consideraciones y especificaciones de diseño	
Densidad de vidrio (g/cm ³)	2,5
Carga transportada por cinta (kg/h)	16,95
Anchura de banda (cm)	55,00
Ángulo de reposo del material transportado (°)	18,00
Largo de ocupación de la cinta (m)	4,00
Altura final de cinta por inclinación (m)	1,80
Largo de cinta (m)	4,39
Coefficiente de reducción	0,62
Velocidad de banda (m/s)	0,20
Factor de ancho de banda	86
Factor de longitud de banda	222
Coefficiente de fricción	0,20
Coefficiente de seguridad de banda	10
Ángulo inclinación perfil de cinta transportadora (°)	20,00

Banda transportadora para entrada a horno (BT5)

Consideraciones y especificaciones de diseño	
Densidad de mezcla (g/cm ³)	2,58
Carga transportada por cinta (kg/h)	14,69
Anchura de banda (cm)	48,00
Ángulo de reposo del material transportado (°)	18,00
Largo de ocupación de la cinta (m)	4,00
Altura final de cinta por inclinación (m)	2,18
Largo de cinta (m)	4,55
Coefficiente de reducción	0,40
Velocidad de banda (m/s)	0,20
Factor de ancho de banda	86
Factor de longitud de banda	222
Coefficiente de fricción	0,35
Coefficiente de seguridad de banda	10
Ángulo inclinación perfil de cinta transportadora (°)	20,00

Banda transportadora para salida moldeadora (BT6)

Consideraciones y especificaciones de diseño	
Densidad de vidrio (g/cm ³)	2,5
Carga transportada por cinta (kg/h)	13,56
Tamaño de trozos mayores (cm)	13,00
Ángulo de reposo del material transportado (°)	18,00
Largo de ocupación de la cinta (m)	4,00
Altura final de cinta por inclinación (m)	0,00
Largo de cinta (m)	4,00
Coefficiente de reducción	1,00
Velocidad de banda (m/s)	0,20
Factor de ancho de banda	86
Factor de longitud de banda	222
Coefficiente de fricción	0,35
Coefficiente de seguridad de banda	10
Ángulo inclinación perfil de cinta transportadora (°)	0,00

Energía total en bandas (W)	9,57
------------------------------------	-------------

Resultados

Anchura de banda (cm)	48
Ancho de banda ocupado por material (cm)	43,15
Ancho de banda inclinada ocupada por material (cm)	0,00
Área transversal del material transportado (cm ²)	151,24
Carga volumétrica por cinta (cm ³ /s)	3024,88
Potencia horizontal (kW)	1,33E-03
Potencia para elevación vertical (kW)	0,00
Potencia total (kW)	1,33E-03
Potencia del motor (kW)	1,63E-03
Fuerza tangencial en régimen estacionario (N)	6,63
Fuerza tangencial en arranque (N)	10,61
Coefficiente de fricción en arranque	0,40
Tensión en el lado más tenso en el arranque (N)	14,83
Tensión en el lado menos tenso en el arranque (N)	4,22
Resistencia nominal mínima (N/mm)	0,31
Diámetro mínimo de tambor motriz (mm)	0,55
Par motor en el arranque [Nm]	5,24E-03

Resultados

Anchura de banda (cm)	48
Ancho de banda ocupado por material (cm)	43,15
Ancho de banda inclinada ocupada por material (cm)	13,58
Área transversal del material transportado (cm ²)	273,50
Carga volumétrica por cinta (cm ³ /s)	4611,54
Potencia horizontal (kW)	1,31E-03
Potencia para elevación vertical (kW)	1,39E-04
Potencia total (kW)	1,45E-03
Potencia del motor (kW)	1,78E-03
Fuerza tangencial en régimen estacionario (N)	7,26
Fuerza tangencial en arranque (N)	11,61
Coefficiente de fricción en arranque	0,40
Tensión en el lado más tenso en el arranque (N)	16,23
Tensión en el lado menos tenso en el arranque (N)	4,62
Resistencia nominal mínima (N/mm)	0,34
Diámetro mínimo de tambor motriz (mm)	0,60
Par motor en el arranque [Nm]	6,27E-03

Resultados

Ancho de banda ocupado por material (cm)	43,15
Ancho de banda inclinada ocupada por material (cm)	0,00
Área transversal del material transportado (cm ²)	151,24
Carga volumétrica por cinta (cm ³ /s)	2430,12
Potencia horizontal (kW)	1,31E-03
Potencia para elevación vertical (kW)	4,62E-05
Potencia total (kW)	1,36E-03
Potencia del motor (kW)	1,67E-03
Fuerza tangencial en régimen estacionario (N)	6,80
Fuerza tangencial en arranque (N)	10,87
Coefficiente de fricción en arranque	0,15
Tensión en el lado más tenso en el arranque (N)	28,94
Tensión en el lado menos tenso en el arranque (N)	18,06
Resistencia nominal mínima (N/mm)	0,60
Diámetro mínimo de tambor motriz (mm)	0,56
Par motor en el arranque [Nm]	1,32E-02

Resultados

Ancho de banda ocupado por material (cm)	49,45
Ancho de banda inclinada ocupada por material (cm)	15,56
Área transversal del material transportado (cm ²)	359,20
Carga volumétrica por cinta (cm ³ /s)	4434,77
Potencia horizontal (kW)	1,31E-03
Potencia para elevación vertical (kW)	8,31E-05
Potencia total (kW)	1,40E-03
Potencia del motor (kW)	1,71E-03
Fuerza tangencial en régimen estacionario (N)	6,98
Fuerza tangencial en arranque (N)	11,17
Coefficiente de fricción en arranque	0,25
Tensión en el lado más tenso en el arranque (N)	20,53
Tensión en el lado menos tenso en el arranque (N)	9,36
Resistencia nominal mínima (N/mm)	0,37
Diámetro mínimo de tambor motriz (mm)	0,51
Par motor en el arranque [Nm]	7,55E-03

Resultados

Ancho de banda ocupado por material (cm)	43,15
Ancho de banda inclinada ocupada por material (cm)	13,58
Área transversal del material transportado (cm ²)	273,50
Carga volumétrica por cinta (cm ³ /s)	2182,48
Potencia horizontal (kW)	1,14E-03
Potencia para elevación vertical (kW)	8,22E-05
Potencia total (kW)	1,23E-03
Potencia del motor (kW)	1,50E-03
Fuerza tangencial en régimen estacionario (N)	6,13
Fuerza tangencial en arranque (N)	9,80
Coefficiente de fricción en arranque	0,40
Tensión en el lado más tenso en el arranque (N)	13,70
Tensión en el lado menos tenso en el arranque (N)	3,90
Resistencia nominal mínima (N/mm)	0,29
Diámetro mínimo de tambor motriz (mm)	0,51
Par motor en el arranque [Nm]	4,47E-03

Resultados

Anchura de banda (cm)	13,00
Ancho de banda ocupado por material (cm)	11,65
Ancho de banda inclinada ocupada por material (cm)	0,00
Área transversal del material transportado (cm ²)	11,02
Carga volumétrica por cinta (cm ³ /s)	220,49
Potencia horizontal (kW)	1,05E-03
Potencia para elevación vertical (kW)	0,00E+00
Potencia total (kW)	1,05E-03
Potencia del motor (kW)	1,29E-03
Fuerza tangencial en régimen estacionario (N)	5,25
Fuerza tangencial en arranque (N)	8,40
Coefficiente de fricción en arranque	0,40
Tensión en el lado más tenso en el arranque (N)	11,75
Tensión en el lado menos tenso en el arranque (N)	3,34
Resistencia nominal mínima (N/mm)	0,90
Diámetro mínimo de tambor motriz (mm)	1,61
Par motor en el arranque [Nm]	1,21E-02

Sección 4: Dimensionamiento horno

En base a la metodología referente al horno en Anexo A

Consideraciones y especificaciones de diseño	
Tipo de horno	Oxy-fuel
Razón largo-ancho del horno	4
Factor de exceso de comburente	1,02
Densidad de vidrio fundido (ton/m ³)	2,31
Tiempo de residencia de gases de combustión (s)	60
Tiempo de residencia de vidrio fundido (h)	10
Energía por tonelada de vidrio producido (MJ/ton)	5150
Porcentaje de vidrio reciclado (%)	50
Cantidad de vidrio producido (kg/h)	13,56
Materia prima que ingresa al horno (kg/h)	14,69
Eficiencia de temperatura	0,46
Temperatura ambiental (°C)	25
Temperatura de combustión adiabática (°C)	2780
Temperatura de gases de combustión salientes (°C)	1396
Demanda de calor estándar de la conversión de lote a fundido (kWh/ton)	681
Calor de la mezcla a la temperatura de salida del horno (kWh/ton)	454,6
Razón energía perdida en paredes y energía entregada al horno y contenido	0,4
Razón energía perdida en paredes (zona de fundición) y Pht	0,3
Porcentaje de propano en GLP (%)	40
Porcentaje de butano en GLP (%)	60
Masa Molar de CO ₂ (g/mol)	44,01
Masa Molar de H ₂ O (g/mol)	18,02
Volumen molar, gas ideal (m ³ /kmol)	22,4
Cantidad de C en un átomo de propano	3
Cantidad de H en un átomo de propano	8
Cantidad de C en un átomo de butano	4
Cantidad de H en un átomo de butano	10

Estequiometría combustión de propano		Estequiometría combustión de butano	
C ₃ H ₈	1	C ₄ H ₁₀	1
O ₂	5	O ₂	6,5
CO ₂	3	CO ₂	4
H ₂ O	4	H ₂ O	5

Capacidad calorífica de CO₂ (J/(mol*K))		Capacidad calorífica del H₂O (J/(mol*K))	
A	58,166390	A	30,092000
B	2,720074	B	6,832514
C	-0,492289	C	6,793435
D	0,038844	D	-2,534480
E	-6,447293	E	0,082139

Resultados	
Energía total de consumo del horno (kW)	19,40
Temperatura de salida de la mezcla (°C)	1292,30
Energía por tonelada suministrada a la mezcla fundida (kWh/ton)	795,10
Energía suministrada a la mezcla fundida (kW)	10,78
Energía perdida por el horno (kW)	8,62
Energía suministrada a la mezcla y refractores (kW)	17,97
Calor transportado por el gas de combustión saliente (kW)	1,43
Temperatura de mezcla fundida dentro del horno (°C)	1893,53
Calor transferido a mezcla y refractores (zona de fundición) (kW)	15,40
Calor perdido en refractores (zona de fundición) (kW)	4,62
Calor perdido en refractores (zona de combustión) (kW)	2,57
Capacidad calorífica de CO ₂ a T gas de combustión (J/(mol*K))	59,20
Capacidad calorífica de H ₂ O a T gas de combustión (J/(mol*K))	48,67
Fracción estequiométrica de CO ₂ y gases de combustión	0,44
Fracción estequiométrica de H ₂ O y gases de combustión	0,56
Capacidad calorífica de gases de combustión (J/(mol*K))	53,29
Cp volumétrico de gases de combustión (KWh/(m ³ *K))	6,83E-04
Caudal de gas de combustión saliente (m ³ /h)	1,53
Razón estequiométrica de V de gas combust. y V de combustible	8,20
Razón estequiométrica de V de oxígeno y V de combustible	5,90
Caudal de GLP (m ³ /h)	0,18
Caudal de Oxígeno (m ³ /h)	1,10
Caudal de gas acumulado en el horno (m ³ /h)	0,86
Volumen espacio gas de combustión (m ³)	0,22
Volumen de espacio de vidrio fundido en horno (m ³)	0,059
Ancho de horno (m)	0,4
Largo de horno (m)	1,6
Profundidad de vidrio fundido (m)	0,09
Altura de horno (m)	0,44

Sección 5: Dimensionamiento tuberías y tanques línea calentamiento por llama

En base a la metodología referente a tuberías y tanques de almacenamiento en Anexo A

Consideraciones y especificaciones de diseño

Masas molares de comburente y combustibles	
Masa molar de propano (kg/kmol)	44,1
Masa molar de butano (kg/kmol)	58,12
Masa molar de O ₂ (kg/kmol)	16

	Línea GLP	Línea O ₂
Temperatura (°C)	18	18
Caudal requerido (m ³ /s)	5,10E-05	3,07E-04
Volumen molar, gas ideal (m ³ /kmol)	22,4	22,4
Cédula de tubería	40	40
Tamaño nominal de tubería (pulg)	4	4
Factor de fricción (depende de tamaño nominal)	0,018	0,018
Diámetro exterior tubería (pulg)	4,500	4,500
Diámetro exterior tubería (mm)	114,3	114,3
Diámetro interior tubería (pulg)	4,026	4,026
Diámetro interior tubería (mm)	102,3	102,3
Espesor de pared tubería (pulg)	0,237	0,237
Espesor de pared tubería (mm)	6,02	6,02
Presión manométrica del tanque alimentador (psi)	200	200
Exponente adiabático	1,131	1,4
Presión atmosférica (mmHg)	540	540
Material de la tubería	Acero al carb	Acero al carb
Rugosidad de la pared (m)	4,60E-05	4,60E-05
Viscosidad cinemática (m ² /s)	2,30E-07	1,34E-05
Altura del piso a los quemadores (m)	1,5	1,5

Resultados

	GLP	O ₂
Peso específico del gas (lb/(pies ³))	1,084	1,084
Peso específico del gas (kN/(m ³))	0,169	0,169
Relación de presión, R _i	0,050	0,050
Relación de presión crítica, R _c	0,578	0,528
R _i >R _c	FALSO	FALSO
Presión en boquilla (psi)	115,65	105,66
Velocidad de flujo (pies/s)	79,40	83,25
Área transversal de tubería (pies ²)	0,09	0,09
Área transversal de tubería (m ²)	8,21E-03	8,21E-03
Flujo en boquilla (lb/s)	56,27	60,70
Caudal de tubería en boquilla (pies ³ /s)	7,02	7,36
Caudal de tubería en boquilla (m ³ /s)	0,20	0,21
Diámetro, D (m)	0,10	0,10
D/ε	2223	2223
Longitud de tubería (m)	35	32
L/D	342,3	312,9
Velocidad de flujo (m/s)	24,20	25,37
Número de Reynolds	1,08E+07	1,94E+05
Factor de fricción	0,0164	0,0187

Resultados línea GLP

Tipo	Longitud equivalente	Coefficiente de pérdida	Cantidad	Perdida de energía (m)
Tubería	342,3		5,609	1
Válvula de compuerta	8	0,144	6	25,79
Codo 90°	30	0,540	12	193,46
Te estándar	20	0,360	6	64,49
Masa molar GLP (kg/kmol)	52,51	Sumatoria de pérdidas (m)		451,21
Flujo de GLP en boquilla (kmol/s)	0,486	Presión de entrada al quemador (kPa)		720,96
Flujo GLP en quemador (kmol/s)	0,439	Presión de entrada al quemador (psi)		104,57
Flujo GLP requerido en quemador	2,28E-06	Porcentaje de pérdida (%)		9,58

Resultados línea O₂

Tipo	Longitud equivalente	Coefficiente de pérdida	Cantidad	Perdida de energía (m)
Tubería	312,9		5,859	1
Válvula de compuerta	8	0,144	6	28,35
Codo 90°	30	0,540	7	124,04
Te estándar	20	0,360	6	70,88
Flujo de O ₂ en boquilla (kmol/s)	1,721	Sumatoria de pérdidas (m)		415,51
Flujo O ₂ en quemador (kmol/s)	1,554	Presión de entrada al quemador (kPa)		658,09
Flujo O ₂ requerido en quemador	1,37E-05	Presión de entrada al quemador (psi)		95,45
		Porcentaje de pérdida (%)		9,66

Dimensionamiento tanques (Cilíndricos)

Consideraciones y especificaciones de diseño

	Tanque de GLP	Tanque de O ₂
Diámetro del tanque (m) - (in)	1,4	55,1
Altura del tanque (m) - (in)	2	78,7
Material de tanque	Acero inoxidable 304	Acero inoxidable 304
Densidad del material (kg/m ³)	8000	8000
Esfuerzo máximo permisible (N/(m ²))	1,38E+08	1,38E+08
Eficiencia de soldadura	1	1
Cabezal	Elíptico 2:1	Elíptico 2:1
Relación profundidad de cabezal y diámetro del tanque	0,25	0,25
Brida (m) - (in)	0,076	3
		0,076
		3

Resultados

	Tanque de GLP	Tanque de O ₂
Volumen de tanque (m ³)	2,72	16,61
Área superficial tanque (m ²)	9,97	33,58
Cantidad de gas almacenado (kmol)	1,55	9,46
Cantidad de gas almacenado (kg)	81,35	151,37
Tiempo consumo 80% (h)	151,3	153,5
Presión de diseño (Pa)	1516847	1516847
Presión de diseño (psi)	220	220
Espesor de pared mínimo (mm)	7,75	13,84
Espesor de pared mínimo cabezal (mm)	7,71	13,76

Sección 6: Determinación de costos fijos y de trabajo

En base a la metodología referente a costos generales en Anexo A

Equipo	Capacidad	Unidades	a	b	n	Costo (USD)
Cintas transp (BT1)	3,00	m	36000	640	1	37920,00
Cintas transp (BT2)	10,44	m	36000	640	1	42681,80
Cintas transp (BT3)	3,16	m	36000	640	1	38023,86
Cintas transp (BT4)	4,39	m	36000	640	1	38807,26
Cintas transp (BT5)	4,55	m	36000	640	1	38914,72
Cintas transp (BT6)	4,00	m	36000	640	1	38560,00
Tanque GLP, vertical ai 304	618,02	kg carcasa	15000	68	0,85	31027,36
Tanque O2, vertical ai 304	3718	kg carcasa	15000	68	0,85	88665,81
Horno de vidrio	0,0194	MW	37000	95000	0,8	41053,93
Horno de recocido	0,0015	MW	37000	95000	0,8	37520,86

Precio consultado	
Equipo	Costo (USD)
Trituradora	1236,00
Clasificador	10000,00
Moldeadora	170000,00

Costos (Hand)

Equipo	Factor instalación	Factor material	Costo (USD)
Cintas transp (BT1)	2,5	1	94800,00
Cintas transp (BT2)	2,5	1	106704,49
Cintas transp (BT3)	2,5	1	95059,64
Cintas transp (BT4)	2,5	1	97018,15
Cintas transp (BT5)	2,5	1	97286,79
Cintas transp (BT6)	2,5	1	96400,00
Tanque GLP, vertical ai 304	4	1,3	161342,27
Tanque O2, vertical ai 304	4	1,3	461062,23
Horno de vidrio	2	1	82107,86
Horno de recocido	2,5	1	93802,15
Trituradora	2,5	-	3090,00
Clasificador	2,5	1,3	32500,00
Moldeadora	2,5	1,3	552500,00
Costo total (USD)			1973673,58
Rango superior (USD) +30%			2565775,66
Rango inferior (USD) -30%			1381571,51

Costos detallados (procesamiento de sólidos)

Equipo	Costo (USD)	Factor material	Factor inst tubería	Factor inst montaje eq	Factor inst trab elect	Factor inst instrum y cp	Factor inst ing civil	Factor inst estruc edif	Factor inst protecc	Costo corregido (USD)
Cintas transp (BT1)	37920,00	1	0	0,6	0,15	0,2	0,2	0,1	0,05	87216,00
Cintas transp (BT2)	42681,80	1	0	0,6	0,15	0,2	0,2	0,1	0,05	98168,13
Cintas transp (BT3)	38023,86	1	0	0,6	0,15	0,2	0,2	0,1	0,05	87454,87
Cintas transp (BT4)	38807,26	1	0	0,6	0,15	0,2	0,2	0,1	0,05	89256,70
Cintas transp (BT5)	38914,72	1	0	0,6	0,15	0,2	0,2	0,1	0,05	89503,85
Cintas transp (BT6)	38560,00	1	0	0,6	0,15	0,2	0,2	0,1	0,05	88688,00
Tanque GLP, vertical ai 304	31027,36	1,3	0,2	0,6	0,15	0,2	0,2	0,1	0,05	88738,25
Tanque O2, vertical ai 304	88665,81	1,3	0,2	0,6	0,15	0,2	0,2	0,1	0,05	253584,23
Horno de vidrio	41053,93	1	0,2	0,6	0,15	0,2	0,2	0,1	0,05	102634,82
Horno de recocido	37520,86	1	0	0,6	0,15	0,2	0,2	0,1	0,05	86297,98
Trituradora	1236,00	-	0	0,6	0,15	0,2	0,2	0,1	0,05	2842,80
Clasificador	10000,00	1,3	0	0,6	0,15	0,2	0,2	0,1	0,05	26000,00
Moldeadora	170000,00	1,3	0	0,6	0,15	0,2	0,2	0,1	0,05	442000,00
Costo total (USD)										1542385,62
Rango superior (USD) +10%										1696624,19
Rango inferior (USD) -10%										1388147,06

Costo ISBL planta	
Rango superior (USD)	1696624,19
Rango inferior (USD)	1388147,06
Promedio, Costo ISBL (USD)	1542385,62

Costo ISBL ajuste temporal (basado en CEPICI)	
Índice de costos año 2007	567,5
Índice de costos año 2019	607,5
Costo ISBL 2019 (USD)	1651100,029
Tasa promedio de inflación (2019-2020)	2,29%
Costo al año 2020, inflación (USD)	1688910,219

Costo ISBL ajuste local (método Bridgewater)	
Factor de locación	1,2
Costo ISBL-2020-Ecuador (USD)	2026692,263

Determinación inversión capital fijo	
ISBL (USD)	2026692,26
OSBL (40%ISBL) (USD)	810676,91
ISBL +OSBL (USD)	2837369,17
Costos de ingeniería y construcción (USD)	851210,75
Gastos imprevisto (USD)	283736,92

Determinación capital de trabajo	
Capital de trabajo (USD)	141868,46

Sección 7: Determinación de costos de producción fijos

En base a la metodología referente a costos generales en Anexo A

Número de operadores y salarios

Fases de proceso	Operador 1	Operador 2	Operador 3	Operador 4
Alimentación a trituradora	x			
Alimentación a trituradora		x		
Alimentación a horno			x	
Enfriamiento y empaçado				x

Otros costos de producción	
Costos de supervisión (USD)	6683,20
Mantenimiento (USD)	60800,77
Impuestos sobre la propiedad y seguros (USD)	20266,92
Alquiler de tierra (USD)	28373,69
Gastos generales de planta (USD)	61240,90
Gastos medioambientales (USD)	28373,69
Licencias (USD)	2000,00

Cálculo de Salarios y Beneficios				
Sueldo Base mensual (USD)	400	400	400	400
Sueldo Anual (USD)	4,800	4,800	4,800	4,800
Décimo Tercer Sueldo (USD)	400	400	400	400
Décimo Cuarto Sueldo (USD)	400	400	400	400
Aporte Patronal (USD)	583	583	583	583
Fondo de Reserva (USD)	(N/A)	(N/A)	(N/A)	(N/A)
Seguro Médico (USD)	500	500	500	500
Sub-total (USD)	6683,20	6683,20	6683,20	6683,20

Total Salarios y Beneficios (USD)	26732,80
--	-----------------

Sección 8: Determinación de costos de producción variable

En base a la metodología referente a costos generales en Anexo A

Costos materias primas	Costo Unit. (USD/kg)	Cantidad requerida (kg/mes)	Total (USD/mes)
Silice	0,48	1929,94	917,79
Óxido de calcio	0,26	613,40	160,10
Óxido de sodio	0,50	542,52	273,43
Vidrio reciclado	0,30	2643,75	793,13

Costo Total Materias Primas (USD/mes)	2144,45
Costo Total Materias Primas (USD/año)	25733,35

Reactivos consumibles

	Costo Unit. (USD/kg)	Cantidad requerida (kg/año)	Total (USD/año)
GLP	0,188384	3522,72	663,62
Oxígeno	0,104157	6461,59	673,02

Costo Total Reactivos Consumibles (USD/año)	1336,64
--	----------------

Costo del transporte

Valor mensual (USD)	# de meses	Costo total (USD/año)
500	12	6000,00

Costos totales producción variable (USD/año)	55914,7311
---	-------------------

Costo de servicio de agua potable, energía eléctrica

Energía			Agua potable	
Energía proceso (kW)	Energía planta (kW)	Tarifa kWh (USD/kWh)	Consumo de agua (m ³)	Tarifa mensual USD/(m ³ -mes)
27,02	32,43	0,0814	200	0,72
horas trabajo-año (h/año)	Total (USD/año)	Total energía (USD/mes)	Total agua (USD/año)	Total agua (USD/mes)
8000	21116,74	1759,73	1728,00	144,00

Sección 9: Análisis de recuperación de inversión

En base a la metodología referente a recuperación de inversión en Anexo A

Ingresos por producto principal

Cantidad de botellas (bot/mes)	Precio por botella (USD/bot)	Ingreso mensual (USD/mes)	Ingreso mensual (USD/año)
22500	2,5	56250	675000

Horas trabajo		8,000 h/año	333,33 días/año							
Ingresos y costos de producción				Costos de capital		Calendario de construcción				
USD/año				USD		Año	% CF	% CT	% FCOP	% VCOP
Ingreso por producto principal	675000,0	Costo ISBL	2026692,3	1	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	
Ingreso por producto secundario	0,0	Costo OSBL	810676,9	2	0,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	
Costo de materias primas	25733,3	Costos de ing. y const.	851210,8	3	0,00%	0,00%	100,00%	100,00%	100,00%	
Costo servicios básicos	22844,7	Gastos imprevistos	283736,9	4	0,00%	0,00%	100,00%	100,00%	100,00%	
Costos consumibles	1336,6	Costo total capital fijo (CF)	3972316,8	5	0,00%	0,00%	100,00%	100,00%	100,00%	
VCOP	49914,7	Capital de trabajo (CT)	141868,5	6	0,00%	0,00%	100,00%	100,00%	100,00%	
Salarios y supervisión	33416,0			7+	0,00%	0,00%	100,00%	100,00%	100,00%	
Mantenimiento	60800,8									
Impuesto sobre la propiedad y seguros	20266,9									
Licencias, alquiler de tierra, otros gastos	119988,3									
FCOP	234472,0									

Supuestos económicos

Coste de capital contable	20%	Tipo de deuda	0,6	Impuesto a la renta	25%
Interés promedio en créditos	18%			Método de depreciación	Lineal
Coste de capital	0,188			Periodo de depreciación	10 años

Análisis de flujo de caja

Project year	Valores en USD										Valor actual del flujo de caja	NPV
	Capital extraído	Ingreso venta producto	CCOP	Beneficio bruto	Depreciación	Ingresos gravables	Impuestos pagados	Flujo de caja	Flujo de caja	NPV		
1	3972316,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-3972316,8	-3343701,0	-3343701,0	
2	141868,5	675000,0	284386,7	390613,3	397231,7	-6618,4	0,0	248744,8	176246,8	-3167454,3		
3	0,0	675000,0	284386,7	390613,3	397231,7	-6618,4	-1654,6	392267,9	233955,6	-2933498,7		
4	0,0	675000,0	284386,7	390613,3	397231,7	-6618,4	-1654,6	392267,9	196932,3	-2736566,3		
5	0,0	675000,0	284386,7	390613,3	397231,7	-6618,4	-1654,6	392267,9	165767,9	-2570798,4		
6	0,0	675000,0	284386,7	390613,3	397231,7	-6618,4	-1654,6	392267,9	139535,3	-2431263,1		
7	0,0	675000,0	284386,7	390613,3	397231,7	-6618,4	-1654,6	392267,9	117454,0	-2313809,1		
8	0,0	675000,0	284386,7	390613,3	397231,7	-6618,4	-1654,6	392267,9	98867,0	-2214942,1		
9	0,0	675000,0	284386,7	390613,3	397231,7	-6618,4	-1654,6	392267,9	83221,4	-2131720,8		
10	0,0	675000,0	284386,7	390613,3	397231,7	-6618,4	-1654,6	392267,9	70051,6	-2061669,1		
11	0,0	675000,0	284386,7	390613,3	397231,7	-6618,4	-1654,6	392267,9	58966,0	-2002703,1		
12	0,0	675000,0	284386,7	390613,3	0,0	390613,3	-1654,6	392267,9	49634,7	-1953068,4		
13	0,0	675000,0	284386,7	390613,3	0,0	390613,3	97653,3	292960,0	31202,9	-1921865,5		
14	0,0	675000,0	284386,7	390613,3	0,0	390613,3	97653,3	292960,0	26265,0	-1895600,5		
15	0,0	675000,0	284386,7	390613,3	0,0	390613,3	97653,3	292960,0	22108,6	-1873491,9		
16	0,0	675000,0	284386,7	390613,3	0,0	390613,3	97653,3	292960,0	18610,0	-1854881,9		
17	0,0	675000,0	284386,7	390613,3	0,0	390613,3	97653,3	292960,0	15664,9	-1839217,0		
18	0,0	675000,0	284386,7	390613,3	0,0	390613,3	97653,3	292960,0	13186,0	-1826031,0		
19	0,0	675000,0	284386,7	390613,3	0,0	390613,3	97653,3	292960,0	11099,3	-1814931,7		
20	0,0	675000,0	284386,7	390613,3	0,0	390613,3	97653,3	292960,0	9342,9	-1805588,8		

Análisis Económico

Flujo de caja promedio anual	345534,8 USD/año	Valor actual	10 años	-2061669,1 USD	Tipo de	10 años	-3,0%
Tiempo de recuperación simple	11,9 años	neto (NPV)	15 años	-1873491,9 USD	interés de	15 años	3,4%
Retorno de inversión (10 años)	-0,14%		20 años	-1805588,8 USD	devolución	20 años	5,8%
Retorno de inversión (15 años)	2,42%	NPV en año	19	-1814931,7 USD			

Sección 10: Análisis de recuperación de inversión (caso de aumento de producción, X6)

En base a la metodología referente a recuperación de inversión en Anexo A

Ingresos por producto principal

Cantidad de botellas (bot/mes)	Precio por botella (USD/bot)	Ingreso mensual (USD/mes)	Ingreso mensual (USD/año)
135000	0,83	112050	1344600

Horas trabajo		8,000 h/año	333,33 días/año							
Ingresos y costos de producción				Costos de capital		Calendario de construcción				
USD/año				USD		Año	% CF	% CT	% FCOP	% VCOP
Ingreso por producto principal		1344600,0	Costo ISBL		3237146,4	1	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Ingreso por producto secundario		0,0	Costo OSBL		1294858,6	2	0,00%	100,00%	100,00%	100,00%
Costo de materias primas		154400,1	Costos de ing. y const.		1359601,5	3	0,00%	0,00%	100,00%	100,00%
Costo servicios básicos		112266,5	Gastos imprevistos		453200,5	4	0,00%	0,00%	100,00%	100,00%
Costos consumibles		4470,8	Costo total capital fijo (CF)		6344806,9	5	0,00%	0,00%	100,00%	100,00%
VCOP		271137,4	Capital de trabajo (CT)		226600,2	6	0,00%	0,00%	100,00%	100,00%
Salarios y supervisión		33416,0				7+	0,00%	0,00%	100,00%	100,00%
Mantenimiento		97114,4								
Impuesto sobre la propiedad y seguros		32371,5								
Licencias, alquiler de tierra, otros gastos		177484,9								
FCOP		340386,7								

Supuestos económicos

Coste de capital contable	20%	Tipo de deuda	0,6	Impuesto a la renta	25%
Interés promedio en créditos	18%	Método de depreciación	Lineal	Periodo de depreciación	10 años
Coste de capital	0,188				

Análisis de flujo de caja

Project year	Valores en USD									
	Capital extraído	Ingreso venta producto	Beneficio bruto	Depreciación	Ingresos gravables	Impuestos pagados	Flujo de caja	Valor actual del flujo de caja	NPV	
1	6344806,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-6344806,9	-5340746,6	-5340746,6	
2	226600,2	1344600,0	611524,1	733075,9	634480,7	98595,2	0,0	506475,7	358860,5	-4981886,0
3	0,0	1344600,0	611524,1	733075,9	634480,7	98595,2	24648,8	708427,1	422518,6	-4559367,4
4	0,0	1344600,0	611524,1	733075,9	634480,7	98595,2	24648,8	708427,1	355655,4	-4203712,0
5	0,0	1344600,0	611524,1	733075,9	634480,7	98595,2	24648,8	708427,1	299373,2	-3904338,8
6	0,0	1344600,0	611524,1	733075,9	634480,7	98595,2	24648,8	708427,1	251997,7	-3652341,1
7	0,0	1344600,0	611524,1	733075,9	634480,7	98595,2	24648,8	708427,1	212119,3	-3440221,8
8	0,0	1344600,0	611524,1	733075,9	634480,7	98595,2	24648,8	708427,1	178551,6	-3261670,3
9	0,0	1344600,0	611524,1	733075,9	634480,7	98595,2	24648,8	708427,1	150295,9	-3111374,3
10	0,0	1344600,0	611524,1	733075,9	634480,7	98595,2	24648,8	708427,1	126511,7	-2984862,6
11	0,0	1344600,0	611524,1	733075,9	634480,7	98595,2	24648,8	708427,1	106491,3	-2878371,3
12	0,0	1344600,0	611524,1	733075,9	0,0	733075,9	24648,8	708427,1	89639,2	-2788732,1
13	0,0	1344600,0	611524,1	733075,9	0,0	733075,9	183269,0	549806,9	58559,4	-2730172,7
14	0,0	1344600,0	611524,1	733075,9	0,0	733075,9	183269,0	549806,9	49292,4	-2680880,3
15	0,0	1344600,0	611524,1	733075,9	0,0	733075,9	183269,0	549806,9	41491,9	-2639388,4
16	0,0	1344600,0	611524,1	733075,9	0,0	733075,9	183269,0	549806,9	34925,9	-2604462,5
17	0,0	1344600,0	611524,1	733075,9	0,0	733075,9	183269,0	549806,9	29398,9	-2575063,6
18	0,0	1344600,0	611524,1	733075,9	0,0	733075,9	183269,0	549806,9	24746,5	-2550317,1
19	0,0	1344600,0	611524,1	733075,9	0,0	733075,9	183269,0	549806,9	20830,4	-2529486,7
20	0,0	1344600,0	611524,1	733075,9	0,0	733075,9	183269,0	549806,9	17534,0	-2511952,7

Análisis Económico

Flujo de caja promedio anual	633782,3 USD/año	Valor actual neto (NPV)	10 años	-2984862,6 USD	Tipo de interés de devolución	10 años	-0,5%
Tiempo de recuperación simple	10,4 años	NPV en año	15 años	-2639388,4 USD		15 años	5,6%
Retorno de inversión (10 años)	1,35%		20 años	-2511952,7 USD		20 años	7,7%
Retorno de inversión (15 años)	3,98%			-2529486,7 USD			

Sección 11: Formato de hoja Check-list

En base a la metodología referente a Check-list en Anexo A

Check list de procedimientos	Marca	Comentario
Antes de operación		
Se verifica la asistencia del personal responsable de la operación		
Los operarios usan el equipo de protección personal (EPP)		
El área de trabajo se encuentra limpio y sin riesgos de caída (ej: piso mojado, obstáculos en áreas de operación)		
El ambiente de trabajo se encuentra bien iluminado		
Se revisó la presión en los tanques que no supere los 100 psi ni baje de 10 psi tanto para el tanque de GLP como el de Oxígeno		
Se corroboró que los tanques de GLP y Oxígeno no pierdan presión por fugas		
Se revisó estado de válvulas manuales y válvulas de control		
Se revisó que el sistema de control funcione con normalidad		
Se revisó las conexiones eléctricas de los equipos (trituradora, clasificador, moldeadora y horno de recocido)		
Se revisó que todos los equipos estén con sus salvaguardas correspondientes		
Se revisó en registro que se efectuó el cambio de agua diario correspondiente en el clasificador de rasqueta		
Se valida la existencia física de la materia prima para la producción del día		
Se verificó los horarios establecidos de hidratación y almuerzo del personal operativo		
Durante operación		
Se mantiene el uso de EPP durante todo el proceso productivo		
Se verifica que las salvaguardas se mantengan en su sitio durante todo el proceso de producción		
Se verifica cumplimiento de los procesos de producción		
Se valida posibles desviaciones de las condiciones de operación en los equipos		
Se realizan controles de calidad durante el proceso y al finalizar el proceso		
Finalizada la jornada		
Se apagaron los equipos tomando en cuenta las medidas de seguridad para cada uno		
Se verifica el correcto almacenaje del producto terminado acorde a los lotes de producción registrados		
Se revisó que los equipos se encuentre correctamente apagados para realizar la limpieza de los mismos		
Se colocó candado de seguridad antes de realizar la limpieza		
Se realizó la limpieza de los equipos		
Se retiró candados de seguridad de todos los equipos que se realizó la respectiva limpieza		
Se realizó limpieza del piso de planta y sanitarios (diario)		
Se valida cronograma de mantenimientos de los equipos (semanalmente)		
Validar el registro de consumo de la materia prima del día		
Se revisó presión en los tanques de almacenamiento de GLP y Oxígeno		
Se verifica posición y estado de válvulas		
Se apaga la iluminaria de la planta		
Se deja con seguridad los accesos a la planta y oficina		
Se activó la alarma de seguridad para ingreso a las instalaciones		

Sección 12: Análisis HAZOP aplicado al horno de fundición de vidrio
 En base a la metodología referente a análisis HAZOP en Anexo A

Nodo	Desviación		Causas	Consecuencias	Salvaguardas	Comentarios	R.R.E.		Recomendaciones
	PG	Parámetro					F	S	
Horno de fundición	Bajo	Fujo	Obstrucción en tuberías de GLP y Oxígeno, rotura de tubería, fuga en tubería, tanques de almacenamiento con presión menor a 10 PSI, cambios de variable en sistema de control, falta de estabilidad en sistemas de control, válvula manual semi-abierta, falla en conexiones eléctricas entre sistema de control y válvulas, falla en sensores.	La mezcla de materia prima no reaccionará o reaccionará parcialmente, pérdida de calidad del lote, posible daño físico a personal y contaminación por fugas, peligro de daños en equipo de moldeo.	Ninguna	Un bajo flujo alterará la relación de combustión entre GLP y Oxígeno por lo cual altera directamente al producto final lo que puede llevar a pérdidas de presión elevadas en tanques de almacenamiento, provocando desperdicio de materia prima y tiempo de trabajo.	2	4	Revisar periódicamente las líneas de gas de GLP y Oxígeno, corroborando que el sistema de control esté en óptimas condiciones al igual que las válvulas. Realizar mantenimientos según cronograma establecido en el proceso.
Horno de fundición	Alto	Fujo	Variables en sistema de control alteradas; falla en conexiones eléctricas entre sistema de control y válvulas, falta de estabilidad en sistemas de control, falla en sensores.	Consumo excesivo de gases de combustión, incremento en costos de adquisición de GLP y Oxígeno, daños en cerámica refractaria interna del horno, gota de vidrio fuera de la temperatura de moldeo-peligro de daños en equipo de moldeo.	Ninguna	Un alto flujo puede suponer una longitud de llama mayor, provocando un acercamiento de llama a la pared opuesta del horno con el posible daño del área de contacto.	2	4	Revisar periódicamente las líneas de gas de GLP y Oxígeno, corroborando que el sistema de control esté en óptimas condiciones al igual que las válvulas. Realizar mantenimientos según cronograma establecido en el proceso.
Horno de fundición	No	Fujo	Rotura completa de tubería, obstrucción total, falla en sistema de control, presión de tanques de GLP y Oxígeno menor a 10 psi, falla en sensores.	No existe reacción de combustión, materia prima no reacciona dentro del horno, contaminación al ambiente, daños físicos al personal.	Ninguna	Una fuga total de gas inflamable aumenta el riesgo de incendio en la planta con posible peligro de muerte al personal, si no es por fuga, se considera día laboral perdido y pérdidas de producción.	1	5	Revisar periódicamente las líneas de gas de GLP y Oxígeno, corroborando que el sistema de control esté en óptimas condiciones al igual que las válvulas. Realizar mantenimientos según cronograma establecido en el proceso. Cumplir con la frecuencia de abastecimiento de GLP y Oxígeno.
Horno de fundición	Alto	Temperatura	Falla en sistema de control, calibración inadecuada, falla en sistema eléctrico y/o sensores.	Posible daño al equipo de moldeo, aumenta el riesgo de accidentes laborales por quemaduras a operarios, daño al horno y pérdida de materia prima.	Alrededor de horno, no acceso al interior o paredes exteriores	Una falla en sistema de control o sensores puede elevar temperatura de la llama y provocar que la gota de vidrio salga del horno a temperatura mayor que la recomendada para moldeo aumentando también la temperatura de las paredes internas y externas del horno.	3	3	Verificar conexiones entre sistema de control y válvulas, así mismo con los sensores. Realizar mantenimientos según cronograma establecido en el proceso.

Horno de fundición	Bajo	Temperatura	Falla en sistema de control, calibración inadecuada, falla en sistema eléctrico y/o sensores.	Posible daño al equipo de molido y pérdida de materia prima.	Alrededor de horno, no acceso al interior o paredes exteriores	Falla en sistema de control y/o sensores no permiten el correcto balance de GLP y oxígeno, aumentando el riesgo también de que las llamas se apaguen dentro del horno.	3	2	Verificar conexiones entre sistema de control y válvulas, así mismo con los sensores. Realizar mantenimientos según cronograma establecido en el proceso.
Horno de fundición	Diferente de	Composición	Personal no cumple con la proporción de materia prima a la entrada del horno, materia prima de calidad diferente respecto a otros lotes, problemas en línea de reciclado y abastecimiento, falta de inducción pertinente al personal.	Pérdida en calidad de producto (fuera de los estándares de producción).	Ninguna	Cambiar la proporción de las materias primas o no verificar la calidad de las mismas provoca un efecto negativo en la calidad del producto final.	3	2	Capacitar al personal periódicamente, verificación de calidad de las materias primas, mantener los procedimientos accesibles a todo el personal operativo.
Horno de fundición	No	Electricidad	Apagones, falla en sistemas de conexión en sensores y/o sistema de control, olvido de candados de seguridad en sistema eléctrico después de los mantenimientos periódicos.	Parada de producción, pérdida de horas laborales, no cumplimiento con los pedidos a clientes.	Si, al sistema eléctrico (candados de seguridad para mantenimientos)	Al no contar con energía eléctrica y no disponer de generadores, imposibilita el cumplir con la producción; falta de energía en sistema de ignición, sensores inactivos, sistema de control apagado, banda transportadora que alimenta al horno inmovilizada.	1	3	Verificar conexiones e instalaciones eléctricas acorde a calendario de mantenimiento preventivo. Revisión de retiro de candados al finalizar la jornada de mantenimiento.
Horno de fundición	Menos	Nivel	Falta de materia prima necesaria, problemas en formación de gota de vidrio, falta de inducción pertinente al personal.	Pérdida en calidad de producto (fuera de los estándares de producción) generando productos no conformes que necesitarían reprocesos, aumento en costos de producción.	Ninguna	Si no se alcanza el nivel de vidrio fundido dentro del horno los productos no cumplirán con los estándares de calidad determinados generando rechazo en el producto final, teniendo que enviarlos a reproceso lo cual significa aumento de costos de producción.	2	2	Capacitar y evaluar al personal periódicamente en los procesos de producción. Realizar mantenimientos al horno según cronograma estipulado.
Horno de fundición	Mas	Nivel	Exceso de ingreso de materia prima al horno, problemas en formación de gota de vidrio, falta de inducción pertinente al personal.	Pérdida en calidad de producto (fuera de los estándares de producción) generando productos no conformes que necesitarían reprocesos, aumento en costos de producción.	Ninguna	Aumento de nivel dentro del horno ocurre por exceso de materia prima en la entrada y/o falla o taponomiento del orificio donde se produce la gota de vidrio lo que provoca un cambio en la calidad del producto final.	2	2	Capacitar y evaluar al personal periódicamente en los procesos de producción. Realizar mantenimientos al horno según cronograma estipulado.

9. ANEXO D: PLIEGOS TARIFARIOS DE LUZ Y AGUA

NIVEL VOLTAJE	ALTO VOLTAJE CON DEMANDA HORARIA DIFERENCIADA		
L-V 06h00 hasta 18h00 L-V 18h00 hasta 22h00 L-V 22h00 hasta 06h00*** S,D 18h00 hasta 22h00	BOMBEO AGUA SERVICIO PÚBLICO DE AGUA POTABLE		1,414
	2,100	0,039	
		0,065	
		0,031	
L-V 06:00 hasta 18:00 horas L-D: 18:00 hasta 22:00 horas L-D: 22:00 hasta 06:00 horas SyD: 06:00 hasta 18:00 horas	ESTACIÓN DE CARGA RÁPIDA		1,414
	4,050	0,069	
		0,066	
		0,043	
L-V 08:00 hasta 18:00 horas L-V 18:00 hasta 22:00 horas L-V 22:00 hasta 08:00 horas*** S,D,F 18:00 hasta 22:00 horas	INDUSTRIALES		1,414
	4,053	0,0805	
		0,0925	
		0,0481	
	0,0805		
NIVEL VOLTAJE	ALTO VOLTAJE CON DEMANDA HORARIA DIFERENCIADA (Grupo - AV2)		
L-V 06:00 hasta 18:00 horas L-V 18:00 hasta 22:00 horas L-V 22:00 hasta 06:00 horas*** S,D,F 18:00 hasta 22:00 horas	INDUSTRIALES		7,0660
	3,940	0,0678	
		0,0814	
		0,0543	
	0,0678		

Figura 5.A9: Tabla tarifa de costo energético de la Empresa Eléctrica Quito

Fuente: Arconel, 2019

CUADRO N° 1						
PLIEGO TARIFARIO						
CONSUMOS: DOMESTICO, OFICIAL Y MUNICIPAL						
VIGENTE A PARTIR DE CONSUMOS DE JUNIO DE 2015						
CARGO FIJO POR CONEXIÓN USD	RANGOS DE CONSUMO					
	0 - 11 m ³		12 - 18 m ³		> 18 m ³	
	Tarifa básico USD	Tarifa adicional USD	Tarifa básico USD	Tarifa adicional USD	Tarifa básico USD	Tarifa adicional USD
2,10	0,00	0,31	3,41	0,43	6,42	0,72

CUADRO N° 2	
PLIEGO TARIFARIO	
CONSUMOS COMERCIAL E INDUSTRIAL	
CARGO FIJO CONEXIÓN USD	TARIFA USD/m ³
2,10	0,72

CUADRO N° 3		
Descuento por condición socioeconómica en función de la sectorización económica del suelo urbano del DMQ		
Sector Económico	Descuento	Sector económico
9	22,00%	Bajo
8	22,00%	Bajo-medio
7	10,00%	Bajo-alto
6	10,00%	Medio-bajo
5	5,00%	Medio
4	0,00%	Medio-alto
3	0,00%	Alto-bajo
2	0,00%	Alto-medio
1	0,00%	Alto

* La Metodología, conformación y cálculo por sector económico viene definido en la zona catastral municipal

Figura 6.A9: Tabla tarifa de costo agua potable de EPMAPS

Fuente: EPMAPS, 2019