

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

**Estudio de factibilidad económica y social de una planta de
producción de urea granulada en el Ecuador**

Ángel Sebastián Segovia Arroyo

Ingeniería Química

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito
para la obtención del título de
Ingeniería Química

Quito, 02 de mayo de 2023

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

HOJA DE CALIFICACIÓN DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA

**Estudio de factibilidad económica y social de una planta de
producción de urea granulada en el Ecuador**

Ángel Sebastián Segovia Arroyo

Nombre del profesor, Título académico

Juan Diego Fonseca Ashton, Ph.D.

Quito, 02 de mayo de 2023

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: Ángel Sebastián Segovia Arroyo

Código: 00210902

Cédula de identidad: 1726857012

Lugar y fecha: Quito, 02 de mayo de 2023

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UNPUBLISHED DOCUMENT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 presente proyecto analiza la factibilidad de producir 100.000 toneladas de urea granulada al año localmente, ya que el Ecuador importa este tipo de fertilizante, aún cuando dicho producto tiene una alta demanda dentro de los cultivos. Se desarrolló el análisis comparativo para determinar el proceso de producción, equipos y tecnología necesaria para llevar a cabo dicho proyecto; además de una evaluación económica, acompañada de un análisis de flexibilidad, con la finalidad de determinar la rentabilidad del proyecto. El proceso escogido fue el Snamprogetti, que cumple con la mayoría de exigencias locales. Todo aquello con la finalidad de producir cerca de 2 millones de sacos de urea granulada de 50 kg cada uno anualmente, los cuales suplen el 37% de las importaciones. El proyecto presenta rasgos positivos de rentabilidad tomando en cuenta una inversión de capital fijo de \$34 millones e ingresos netos cercanos a los \$61 millones por venta de urea comercial a \$49.99, con una tasa interna de retorno del 68% desde el sexto año de producción, por lo que se viabiliza en primera instancia el proyecto. Sin embargo hasta el presente, aún no existe una planta de producción local de urea granulada, aquello que permite ampliar el espectro de análisis hacia los subsidios que varios gobiernos han fijado a lo largo de los años para el presente producto, aún cuando la implementación del presente proyecto permitiría visualizar un crecimiento en la industria petroquímica para el mercado ecuatoriano, y con ello la economía, que beneficie internamente a los ecuatorianos.

Palabras clave: urea, agricultores, cultivos, industria petroquímica, importaciones, subsidios.

ABSTRACT

This project analyzes the feasibility of producing 100,000 tons of granulated urea per year locally, since Ecuador imports this type of fertilizer, even when said product is in high demand within crops. The comparative analysis was developed to determine the production process, equipment, and technology necessary to carry out the said project; in addition to an economic evaluation, accompanied by a flexibility analysis, in order to determine the profitability of the project. The chosen process was Snamprogetti, which complies with most local requirements. All this with the purpose of producing about 2 million bags of granulated urea of 50 kg each per year, which supply 37% of imports. The project presents positive profitability traits taking into account a fixed capital investment of \$34 million and net income close to \$61 million from the sale of commercial urea at \$49.99, with an internal rate of return of 68% from the sixth year of production, so the project is viable in the first instance. However, to date, there is still no local production plant for granulated urea, which allows broadening the spectrum of analysis towards the subsidies that various governments have established over the years for this product, even when the implementation of the This project would allow visualizing growth in the petrochemical industry for the Ecuadorian market, and with it the economy, which internally benefits Ecuadorians.

Keywords: urea, farmers, crops, petrochemical industry, imports, subsidies.

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS	9
ÍNDICE DE TABLAS en anexos	9
ÍNDICE DE FIGURAS.....	11
ÍNDICE DE FIGURAS en anexos.....	11
1. Introducción al proyecto integrador.....	13
1.1. Antecedentes	13
1.1.1. El uso de fertilizantes en la agricultura.....	13
1.1.2. Demanda de urea en el Ecuador.....	14
1.2. Propuesta del proyecto integrador.....	14
1.2.1. Objetivos del Proyecto Integrador	15
1.2.2. Justificación Económica, Social y Ambiental	15
2. Bases del diseño.....	16
2.1. Descripción de la urea	16
2.2. Descripción de materias primas	16
2.3. Factores para la localización de la planta.....	17
2.4. Limitaciones: Comerciales, Ambientales.....	17
3. Selección del proceso de producción de urea granulada localmente.....	19
3.1. Análisis y selección del proceso.....	19
3.2. Descripción del proceso Snamprogetti.....	19
3.3. Balance de masa de producción de urea granulada.....	21
3.4. Energía utilizada en la producción de urea granulada.....	21
4. Diseño de la planta de producción de urea granulada en el Ecuador en base al proceso Snamprogetti.....	23
4.1. Selección y Dimensionamiento de los Equipos	23
4.2. Análisis de seguridad y control automático	24
4.2.1 Análisis Hazop del Reactor (R-001).....	24
4.2.2 Diseño de control del Reactor (R-001).....	25

5.	Análisis económico.....	27
5.1.	Estimación de costos	27
5.1.1.	Estimación de costos de los equipos.....	27
5.1.2.	Estimación de inversión de capital fijo, capital de trabajo, ACC y TAC	28
5.1.3.	Estimación de costos de producción	28
5.2.	Definición del flujo de caja del proyecto	29
5.2.1.	Cálculo de los indicadores de rentabilidad del proyecto (VAN, TIR, PRI, pago de impuestos).....	31
5.3.	Análisis de flexibilidad variando condiciones de producción y precio de venta.	31
6.	Conclusiones	33
7.	Referencias.....	35
8.	Anexos	42
8.1	Anexo A: Terminología	42
8.2	Anexo B: Consideraciones de Seguridad, Localización de la planta y Limitaciones.....	43
8.2.1	Fichas de Seguridad	43
8.2.2	Factores de localización de la planta	44
8.2.3	Limitaciones Ambientales	45
8.3	Anexo C: Selección del proceso de producción de urea granulada.....	46
8.3.1	Diagramas de Bloque de los procesos en estudio.....	46
8.3.2	Categorías para la comparación de procesos.	47
8.3.3	Balances de masa por sección.....	48
8.3.4	Balances de energía por sección	50
8.4	Anexo D: Equipos utilizados en el estudio	54
8.4.1	Características de los equipos.	54
8.5	Anexo E: Estimación económica	56
8.5.1	Estimación de costos de los equipos.....	56
8.5.2	Factores utilizados para la estimación económica.	67
8.5.3	Capital de inversión fijo.....	70
8.5.4	Costos de producción del proyecto.	70
8.5.5	Flujo de caja, indicadores económicos y análisis de flexibilidad del proyecto.	71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Análisis HAZOP del Reactor.....	25
--	----

ÍNDICE DE TABLAS EN ANEXOS

Tabla T 1. Concentraciones límite de emisiones y efluentes.....	45
Tabla T 2. Categorías de los procesos	47
Tabla T 3. Comparación de los procesos	47
Tabla T 4. Balance de masa (R-001)	48
Tabla T 5. Balance de masa (S-001).....	48
Tabla T 6. Balance de masa (D-001)	49
Tabla T 7. Balance de masa (D-002)	49
Tabla T 8. Balance de masa (E-001) y (E-002)	49
Tabla T 9. Balance de masa (T-001).....	50
Tabla T 10. Balance de energía (R-001).....	50
Tabla T 11. Balance de energía corriente líquida (S-001)	51
Tabla T 12. Balance de energía corriente vapor (S-001).....	51
Tabla T 13. Balance de energía (C-001).....	51
Tabla T 14. Balance de energía corriente líquida (D-001)	51
Tabla T 15. Balance de energía corriente vapor (D-001)	52
Tabla T 16. Balance de energía corriente líquida (D-002)	52
Tabla T 17. Balance de energía corriente vapor (D-002)	52
Tabla T 18. Balance de energía (E-001) y (E-002).....	52
Tabla T 19. Balance de energía (T-001)	53
Tabla T 20. Características de los equipos principales	54
Tabla T 21. Características de los equipos auxiliares	55
Tabla T 22. Costos de los equipos principales y auxiliares	67
Tabla T 23. Factor de Lang.....	67
Tabla T 24. Factor de instalación de Hand	68
Tabla T 25. Factor Detallado	68
Tabla T 26. Costo de los equipos principales y auxiliares aplicados los 3 factores	69
Tabla T 27. Capital de inversión fijo en función de los 3 factores	70

Tabla T 28.Costos de energía.....	70
Tabla T 29.Costos de materias primas	70
Tabla T 30.Costos de jornadas laborales	71
Tabla T 31.Costos de producción fijos y variables	71
Tabla T 32.Condiciones del Capital de trabajo.....	72
Tabla T 33.Costos del Capital de trabajo.....	72
Tabla T 34.Ingresos Netos por la venta comercial	72
Tabla T 35.Detalle de la producción paulatina	73
Tabla T 36.Flujo de Caja del estudio de factibilidad	73
Tabla T 37.Resultados de los indicadores económicos	75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de Flujo del proceso Snamprogetti	24
Figura 2. Diagrama de Control del Reactor	26
Figura 3. Flujo de Caja del proyecto.....	30

ÍNDICE DE FIGURAS EN ANEXOS

Figura F 1. MSDS Amoniacó	43
Figura F 2. MSDS Dióxido de Carbono	43
Figura F 3. MSDS Urea	44
Figura F 4. Cultivos de Ciclo Corto y Permanente.....	44
Figura F 5. Diagrama de Bloque Stamicarbon.....	46
Figura F 6. Diagrama de Bloque Toyo	46
Figura F 7. Diagrama de Bloque Snamprogetti	46
Figura F 8. Constantes para la estimación de costos	56
Figura F 9. Especificaciones del Reactor.....	57
Figura F 10. Especificaciones del Separador	57
Figura F 11. Especificaciones del Condensador	58
Figura F 12. Especificaciones del Descomponedor	58
Figura F 13. Especificaciones del Evaporador	59
Figura F 14. Especificaciones de la Torre de granulaci3n.....	59
Figura F 15. Especificaciones del compresor CO ₂	60
Figura F 16. Especificaciones de la bomba de NH ₃	61
Figura F 17. Especificaciones de las bombas en el proceso	62
Figura F 18. Especificaciones de la banda transportadora.....	63
Figura F 19. Especificaciones del silo al granel	64
Figura F 20. Especificaciones de la empacadora	65
Figura F 21. Especificaciones del tanque de almacenamiento NH ₃	66
Figura F 22. Especificaciones del tanque de almacenamiento CO ₂	66
Figura F 23. Flujo de Caja del Escenario 3.....	74
Figura F 24. Flujo de Caja del Escenario 2.....	74

Figura F 25.Flujos de Caja del Escenario 1 74

1. INTRODUCCIÓN AL PROYECTO INTEGRADOR

1.1. Antecedentes

1.1.1. El uso de fertilizantes en la agricultura

La agricultura, es un componente esencial alrededor del mundo al ser el sector que cubre una necesidad vital de todo ser vivo, el alimento. En algunos países en desarrollo la agricultura es el componente principal en la economía, aportando 25% del PIB [1]. Esto tiene una alta relevancia, ya que al depender económicamente en su mayoría de la venta, comercialización y exportación de ciertos productos, también requieren una alta calidad en los mismos; en tal sentido el uso de fertilizantes es importante ya que provee los nutrientes esenciales como NPK (nitrógeno, fósforo y potasio) a las plantas [2]. Comercialmente existen diferentes tipos de fertilizantes: nitrogenados, orgánicos, biofertilizantes [3]. Cada uno con sus características específicas, sin embargo para el estudio local, se han tomado en cuenta los nitrogenados.

Dentro de los fertilizantes nitrogenados, se encuentran los más usados dentro de la agricultura como la urea, sulfato de amonio, nitrato de amonio, MAP y DAP. [3], cuyo uso significativo se debe a que existe una deficiencia generalizada de nitrógeno en los suelos del mundo [4], aquello que debe ser suplido bajo el uso de los fertilizantes nitrogenados para compensar aquello; sin embargo los fertilizantes nitrogenados varían en concentración de nitrógeno, y demás características [3]. Esto permite diferenciar a la urea del resto al ser el fertilizante nitrogenado más utilizado a nivel mundial por su concentración de nitrógeno del 46% p/p y bajo costo [5]. Aquello que permite adentrarnos en la función específica de la urea en los cultivos.

La urea generalmente se la utiliza en suelos alcalinos y neutros, la cual actúa al hidrolizarse con rapidez por efecto de la enzima “ureasa” produciéndose iones de amonio y de amoníaco. En suelos con aplicaciones superficiales de urea se pierde amoníaco (NH_3) por volatilización, el amonio (NH^+4) es absorbido por las arcillas y la materia orgánica del suelo y es eventualmente nitrificado ó absorbido directamente por las plantas [6]. Es así como la urea forma parte del desarrollo de la planta. En tal sentido, su uso, comercialización y venta se ha extendido por varios países, siendo un claro ejemplo Ecuador.

1.1.2. Demanda de urea en el Ecuador

La urea es un producto demandado en tierras ecuatorianas, la cual es utilizada en cultivos de arroz, maíz, caña de azúcar, banano, plátano, papa, cultivos frutales y hortalizas [7]. En donde para obtener una buena calidad en sus productos, se ha determinado que es necesario en las áreas de cultivo por cada hectárea 14 sacos de fertilizantes, divididos en 10 de urea, 2 de fósforo y 2 de potasio [8]. Esto significa una alta cantidad de urea que se requiere para la demanda de suelos activos de cultivo, siendo aproximadamente 1.2 millones de hectáreas de cultivos divididos en cultivos permanentes, es decir que el cultivo ocurre durante todo el año o cultivo corto, es decir por temporadas [9]. Sin embargo, se genera una problemática en el Ecuador, ya que al ser un producto altamente demandado, localmente no es producido.

Esto genera que dentro del Ecuador al existir cero producción de urea local, consecuentemente al no tener oferta de urea, los agricultores prefieren no cultivar al no tener dicho producto ya que la calidad difiere al no usar este tipo de fertilizante, generando una disminución de la capacidad de producción de los suelos activos [8]. En tal sentido, es necesario que el país importe urea.

En el año 2021, Ecuador importó cerca de 271.000 toneladas de urea, particularmente de países como Rusia (36%), Finlandia (23%), Estonia (17%), China (10%), dejando el porcentaje de importación restante a países como Tailandia, Brasil y Bolivia [7]. Esto indica que Ecuador ha sido dependiente de urea extranjera, y de la variación de los precios internacionales por contextos externos, tal es el caso del enfrentamiento bélico entre Rusia y Ucrania lo que ha generado que el precio de urea importado de dicho país aumente considerablemente. Por tal razón en base a lo expuesto previamente, la propuesta del presente estudio se encuentra a continuación.

1.2. Propuesta del proyecto integrador

La presente propuesta del proyecto integrador se basa en analizar la factibilidad económica y social de producir urea localmente, aproximadamente 100.000 toneladas de urea al año, que comprende el 37% de las importaciones. Aquello que permitirá disminuir la dependencia extranjera de urea, generando mayor acceso de urea a los agricultores, y con ello oferta nacional del producto. En función de aquello, se plantean los objetivos a continuación.

1.2.1. Objetivos del Proyecto Integrador

Objetivo General

Desarrollar el estudio de factibilidad para una planta de producción de urea granulada a partir de dióxido de carbono y amoníaco, para suplir parcialmente la demanda nacional actual de urea.

Objetivos Específicos

Con la finalidad de acompañar el cumplimiento del objetivo general, se han propuesto los objetivos específicos que se encuentran a continuación.

1. Seleccionar el proceso más adecuado para la obtención de urea granulada que se adapte a las condiciones del Ecuador.
2. Aplicar un diseño de proceso basado en Snamprogetti para la producción de urea granulada.
3. Evaluar el rendimiento económico del proyecto.

1.2.2. Justificación Económica, Social y Ambiental

Dentro del presente proyecto, existen diferentes incentivos, dentro de los cuales se encuentra el económico, ya que el mercado de urea interno es de \$125 millones anuales, considerando que el precio comercial por cada saco de 50 kg de urea promedia los \$55.40 [10], [11] , [12]. Aquello que motiva en primera instancia a venderlo en \$49.99, permitiendo ser competitivos frente a los precios comerciales actualmente. Todo aquello enfocado en el bienestar social de los agricultores ecuatorianos.

Dentro del ámbito social es importante considerar la disminución de la dependencia estatal de subsidios, esto con la finalidad de evitar conflictos socio-políticos por ofrecimiento del presente producto a precios más bajos. Adicionalmente los agricultores tendrán acceso continuo al producto, en donde la producción agrícola no se verá afectada por el desabastecimiento de urea. Esto permite ir de la mano con la calidad del producto.

La calidad del producto está estrechamente relacionada con el ámbito ambiental, ya que la producción debe considerar que emisiones y efluentes no superen los límites máximos permitidos hacia el medio ambiente, para obtener una urea de calidad [13]. Todos los ámbitos expuestos permiten tener un soporte y justificación para el desarrollo de las bases del diseño para el presente proyecto.

2. BASES DEL DISEÑO

2.1.Descripción de la urea

La urea es conocida también como carbamida, cuyas presentaciones comerciales provienen en gránulos o perlas de color blanco [14].Dicho producto se lo comercializa localmente en sacos de 50 kg. Sin embargo su almacenamiento y cuidado debe ser prolijo, ya que tiene características higroscópicas, es decir una alta capacidad de absorber humedad del ambiente [14]. Por tal razón, debe ser conservado en un rango de 15-25 °C, con la finalidad de evitar agrietamiento en los gránulos de urea, disminución en la calidad de esparcimiento en los cultivos, cambios de color [15]. Todas aquellas consideraciones han sido tomadas en cuenta para la producción de urea requerida localmente.

De acuerdo a la propuesta del proyecto, la misma contempla producir 100.000 toneladas de urea cada año, lo cual representa 278 sacos de 50 kg comercializables en una hora de producción del producto en mención. Sin embargo todo aquello debe ir de la mano de las condiciones y propiedades particulares que presentan las materias primas para producir urea granulada, siendo CO₂ (dióxido de carbono) y NH₃ (amoníaco), los componentes centrales para lograr el producto requerido.

2.2.Descripción de materias primas

En todo proceso productivo, es necesario el uso de materias primas para elaborar un producto, en tal sentido para el presente proyecto, el CO₂ (dióxido de carbono) es uno de aquellos, el cual se encarga de promover la formación de carbamato de amonio, cuyo paso es necesario para la obtención de la urea [16]. Dicha materia prima se encuentra en forma de gas comercial, almacenada en tanques para su posterior uso dentro de la producción de urea granulada.

Adicionalmente, el NH₃ (amoníaco) es otra materia prima a considerar, la cual se encarga de promover la descomposición del carbamato no convertido en urea [16]. Su relevancia radica en que el carbamato es un subcompuesto previo a la obtención de urea, que se genera en la reacción química tanto del CO₂, como del NH₃, en tal sentido, es importante manejar la menor cantidad de carbamato presente, para aumentar proporcionalmente la cantidad de urea producida. Dicha materia prima se encuentra en forma líquida comercial, almacenada en tanques aislados, para su posterior uso. Las consideraciones de seguridad de ambos compuestos se la encuentra en anexos 8B.

2.3. Factores para la localización de la planta.

En función de las diferentes características que posee tanto las materias primas, como el producto final, se han tomado ciertas consideraciones para escoger el lugar adecuado para el desarrollo del proyecto. El primer factor a tomar en cuenta es el almacenamiento de la urea, el cual debe estar dentro del rango de temperatura mencionado previamente, además de encontrarse en un espacio fresco y ventilado [17]. Adicionalmente, se analizó el ámbito de la distribución de la urea, tomando en cuenta que el Ecuador se caracteriza por tener cultivos de ciclo corto en ciertas provincias como Pichincha, Cotopaxi, Tungurahua, Los Ríos, Manabí, entre otras y aquellas de ciclo permanente, encontradas en todas las provincias costeras del país, los cuales utilizan urea para el manejo de sus cultivos [9]. En tal sentido se ha investigado un espacio específico que cumpla con los requisitos mencionados previamente. Los cultivos de ciclo corto y permanente se encuentran ejemplificados en los anexos 8B.

El espacio geográfico, que cumple con aquellas consideraciones, se encuentra en la provincia de Cotopaxi, cantón Pujilí, el cual tiene una temperatura promedio de 17°C, y mantiene líneas viales de distribución, para generar un gran alcance del producto terminado tanto para zonas que comprenden los cultivos de ciclo corto, como de ciclo permanente [18]. Aquellas características se ajustan a los requerimientos centrales tanto del producto, materias primas, distribución y comercialización.

2.4. Limitaciones: Comerciales, Ambientales

En el desarrollo del proyecto, es importante tomar en cuenta las limitaciones, que permiten reconocer el límite de ciertos aspectos, los cuales deben ser considerados para el diseño del proyecto posteriormente. Dentro de las primeras limitaciones, se encuentran las comerciales; aquellas que dentro del Ecuador están sujetas por el INEN, el cual emite certificados para comercializar cualquier producto a nivel local, en tal sentido la urea también posee una reglamentación, que menciona que la característica física del producto debe presentarse en forma sólido, cristalino, granulado o en forma de perlas, además de poseer una pureza del 98% en el producto final, dejando el 2% restante a humedad y biuret [19]. Esto limita directamente la manera en la que se debe producir y comercializar la urea dentro del Ecuador.

Adicionalmente, se encuentran las limitaciones ambientales, debido a que el proceso de producción de urea granulada, libera emisiones de gases propias del proceso, como también efluentes [13], las cuales deben estar dentro de un rango de concentración máximo, cuyos valores se encuentran en los anexos 8B , con la finalidad de brindar un tratamiento adecuado y

evitar la contaminación hacia el medio ambiente. Tomando en consideración que todas las limitaciones han sido analizadas para una adecuada selección del proceso para la producción de urea granulada.

3. SELECCIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE UREA GRANULADA LOCALMENTE

3.1. Análisis y selección del proceso

La producción de urea granulada, se la desarrolla con diferentes métodos en diferentes partes del mundo industrializado desde 1930 [20]. Los principales procesos para la obtención de dicho producto son Toyo, Stamicarbon y Snamprogetti, cuyos diagramas de bloque se encuentran en anexos 8C. Cada uno de los procesos con características particulares, pero cuya diferencia radica en la separación y reciclaje tanto de amoníaco como de dióxido de carbono y cuyo objetivo de estos procesos busca la maximación de conversión del dióxido de carbono y la optimización para la recuperación de calor [21]. Es por tal razón, que se han analizado las condiciones locales, con la finalidad, de determinar el proceso de producción que se acople a las diferentes condiciones del país.

En tal sentido, se ha generado un cuadro comparativo, referente a los 3 procesos mencionados previamente, analizados en función de variables locales como materias primas, complejidad técnica, patentes, estudios previos locales, con el fin de determinar el proceso que mejor se acople a las condiciones de estudio, el cual se encuentra en la sección de anexos 8C. Habiendo realizado dicho análisis se determinó que el proceso Snamprogetti es aquel que cumple con la mayoría de variables locales.

3.2. Descripción del proceso Snamprogetti

El proceso Snamprogetti se caracteriza por tener 6 secciones a lo largo de la producción de urea granulada. Comienza con la síntesis y recuperación de alta presión, haciendo referencia al reactor (R-001), trabajando a 190 °C y 150 bar [22]. Posteriormente se encuentra la purificación y recuperación de alta presión referente al separador (S-001), que funciona a 205 °C y 150 bar, para llegar a la sección de purificación y recuperación de media y baja presión referentes a los descomponedores (D-001 y D-002), funcionando a 150 °C-18 bar y 140 °C-4.5 bar respectivamente [22]. En este punto los gases extraídos son recuperados en la sección del condensador (C-001), para una recirculación al reactor (R-001). Posteriormente la solución de urea, agua, biuret ingresan a la etapa de concentración al vacío, referente a los evaporadores (E-001 y E-002), que trabajan a 100 °C-0.3 bar y 0.03 bar respectivamente [22]. Finalmente se encuentra la torre de granulación (T-001), previo a la obtención del producto final, el cual

funciona a 150 °C y 1 bar. Expresando las condiciones bajo las cuales trabaja el proceso en mención, es consecuente ir más a detalle con cada una de las secciones.

El proceso escogido, tiene su inicio desde la recepción de materias primas, las cuales deben ser almacenadas según las consideraciones de seguridad particulares que poseen, expresadas en la sección de materias primas. Posteriormente son acondicionadas para el ingreso al reactor.

En el reactor, se producen las reacciones químicas necesarias para formar urea, biuret, agua, carbamato, dióxido de carbono y amoníaco no reaccionado [22]. Sin embargo en este punto la urea se encuentra en porcentajes de pureza menores a los necesarios para ser comercializado, por tal razón los siguientes pasos están basados en un aumento de la pureza del producto.

Posteriormente se encuentra el separador, encargado de la extracción de vapores, tomando a los reactivos que no reaccionaron y enviados hacia el condensador [22]. De manera similar funcionan los descomponedores de media y baja presión, los cuales trabajan bajo condiciones específicas para extraer el excedente de amoníaco y dióxido de carbono [22]. Los gases liberados por las operaciones expresadas previamente pasan hacia un condensador, el cual se encarga de transformar dichos gases en forma líquida para su ingreso al reactor nuevamente [22]. El remanente de los gases extraídos son liberados al ambiente previo tratamiento, tomando en cuenta los límites de concentración ambientales, expuestos previamente. Previo al ingreso a los evaporadores únicamente debe encontrarse solución de urea, biuret y agua.

Los evaporadores trabajan a media y baja presión, cuya función principal es disminuir la mayor cantidad de agua presente en la solución de urea, agua y biuret [22]. Considerando que el remanente de agua liberada es tratada según las limitaciones de concentración ambientales expuestas previamente. Ulteriormente esto permite llegar a la etapa final del proceso.

Llegando a este punto, se encuentra la torre de granulación, caracterizada por ser la operación con mayor altura en comparación con el resto de operaciones, de aproximadamente 25 a 30 metros, en donde se rocía urea fundida desde la parte superior y con grandes cantidades de aire desde la parte inferior, enfrían y forman los gránulos de urea [22]. Se obtienen gránulos de urea entre 2 y 4 mm aproximadamente, en donde es importante considerar la temperatura apropiada de enfriamiento, para evitar problemas de humedad. Finalmente el producto es almacenado tomando las consideraciones necesarias para su conservación.

3.3. Balance de masa de producción de urea granulada

El balance de masa del proceso, se desarrolló en función de la producción de urea granulada establecida, siendo las 100.000 toneladas/año de producción requeridas y los tiempos de producción basados en 300 días de procesamiento al año, permitiendo que los días restantes sean enfocados a mantenimientos, auditorías o contratiempos; lo cual permitirá producir alrededor de 13900 kg/h de urea, referentes a 278 sacos de 50 kg urea granulada/h; para lo cual se requieren una base de 11800 kg/h de CO₂ y 9100 kg/h de NH₃ para cumplir dicho objetivo. Dichas composiciones y tiempos de proceso varían a lo largo de las diferentes secciones que se trabajan en el proceso Snamprogetti. El balance de masa detallado se encuentra en la sección de anexos 8C.

Cada sección se caracteriza por tener una composición de producto final. En la sección de síntesis y recuperación de alta presión, en cuanto al reactor se toma en cuenta el tiempo de residencia de 45 minutos y complejidad técnica [23]. En tal sentido, las reacciones químicas generadas en el reactor para el presente estudio se analizarán en ciclos del reactor, siendo 9600 ciclos/año, permitiendo obtener urea al 34% de pureza, dejando el porcentaje restante a compuestos como biuret, agua, carbamato, NH₃ y CO₂ sin reaccionar, ya que el proceso no es ideal.

En la sección de purificación y recuperación de alta presión se obtiene urea al 65% de pureza. En la sección de media y baja presión se encuentra urea al 76% de pureza, para llegar a la sección de concentración al vacío con un 96% de pureza distribuido en urea, biuret y agua. Finalmente en la sección de granulación se obtiene el 98% pureza de urea comercial, con el porcentaje restante en biuret y agua.

3.4. Energía utilizada en la producción de urea granulada

Es importante considerar la cantidad de energía que se utilizará para la producción de urea granulada, tanto de los equipos principales como de los auxiliares, ya que dicha información permitirá posteriormente realizar una evaluación económica dentro del capítulo 5 del presente estudio. Todo aquello se ha analizado según el diseño de la planta con las condiciones locales de producción.

En función de la producción analizada, se ha determinado que la cantidad de energía necesaria es de aproximadamente 138844,64 (MW/año), una cantidad significativa ya que en las plantas de producción de urea granulada se trabaja de 145.9 a 200.4 kW/h por tonelada de urea producida [24]. Esto indica que el consumo energético específico del presente estudio se

encuentra dentro de los parámetros de producción. Los datos de consumo energético de cada equipo se encuentran en los anexos 8C.

4. DISEÑO DE LA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE UREA GRANULADA EN EL ECUADOR EN BASE AL PROCESO SNAMPROGETTI

En base al proceso de producción escogido, es importante tomar en cuenta los equipos y la dimensión de los mismos para que se lleve a cabo el proyecto. En esta sección se indica la selección y dimensión de los equipos en base a las condiciones de producción, haciendo hincapié en la propuesta del presente proyecto de producir 100.000 toneladas de urea granulada al año.

4.1. Selección y Dimensionamiento de los Equipos

Los equipos utilizados representativos dentro de la producción de urea granulada son: reactor, separador, descomponedores, condensador, evaporadores, torre de granulación. Para la selección de los equipos se tomó en cuenta los proporcionados por la compañía Saipem, encargada de este tipo de proceso en específico en varias partes del mundo. Mientras que para los equipos auxiliares como bombas, compresor, tanques de almacenamiento, fueron tomados del catálogo en internet y seleccionados en función del caudal de producción.

Dentro del dimensionamiento de los equipos, se tomó en cuenta la base de producción de 100.000 toneladas al año de urea granulada, dejando un 5% de tolerancia respecto a la dimensión de cada equipo, con la finalidad de precautelar los equipos ante una sobre producción o emergencias que se pudiesen llevar a cabo por fallas de control u operarios. La respectiva dimensión se llevó a cabo en función de información relacionada con plantas de urea granulada existentes que comparten volúmenes y procesos de producción similares, además del respectivo balance de masa y energía desarrollado [25], [26]. Las diferentes características de cada equipo, como su consumo energético relacionado con el balance de energía, diámetros, alturas, capacidad y demás detalles, se encuentran en la sección de anexos 8D.

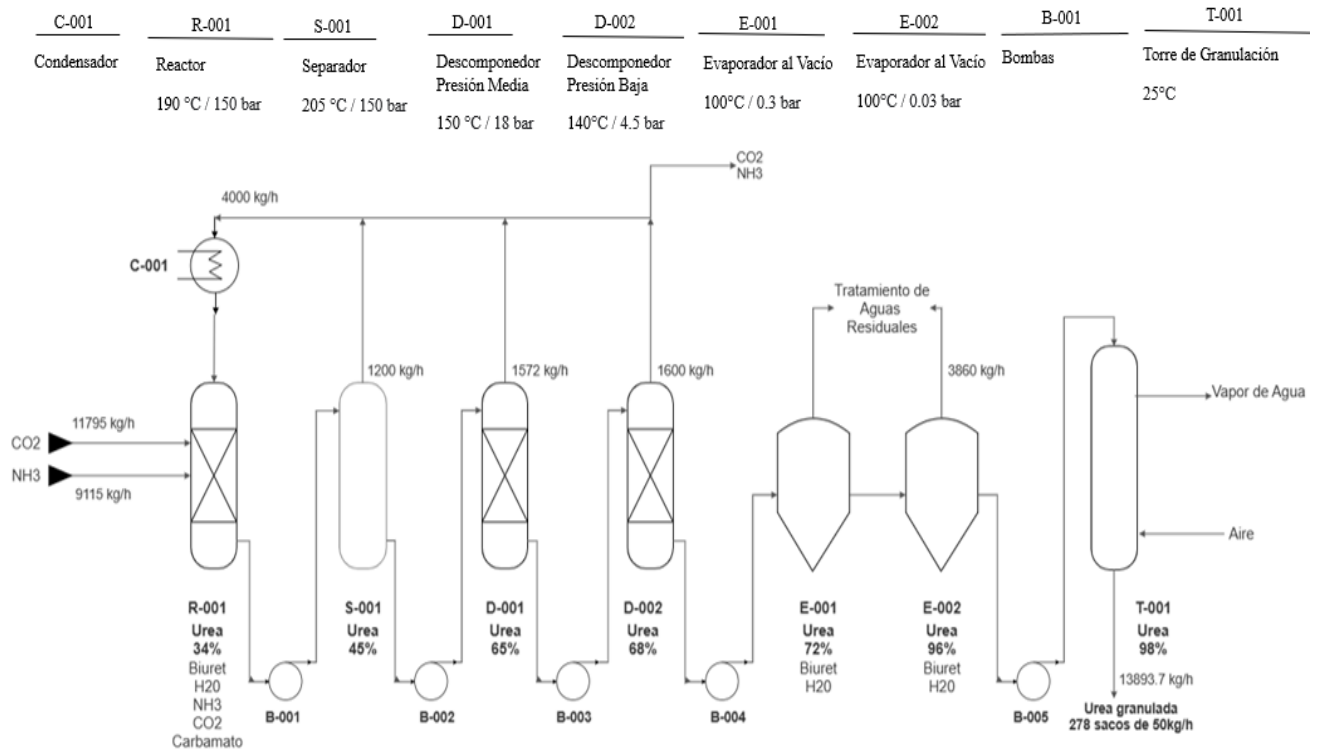


Figura 1. Diagrama de Flujo del proceso Snamprogetti

4.2 Análisis de seguridad y control automático

Dentro de los equipos seleccionados para el diseño de la planta, es importante considerar un análisis de seguridad frente a riesgos existentes que están presentes. En tal sentido se propone realizar un análisis HAZOP para el Reactor (R-001), cuyo equipo es considerado el centro de operaciones de las diferentes reacciones químicas que ocurren para la producción de urea.

4.2.1 Análisis Hazop del Reactor (R-001)

El análisis Hazop permite desarrollar un análisis de peligrosabilidad y operabilidad, en cualquier sección de la planta, en este caso del Reactor (R-001). Por tal razón, se procede a analizarlo en la siguiente tabla a detalle.

Tabla 1. Análisis HAZOP del Reactor

REACTOR (R-001)			
Objetivo: Facilitar la reacción entre el dióxido de carbono y amoníaco para la formación de carbamato y posteriormente de carbamato a urea con una concentración del 34% de pureza.			
Palabra Guía	Variación	Causa	Consecuencias y Acción
Línea No 1. 40000 kg/h . 150 bar. 190 °C. Objetivo: Transportar la urea líquida al 34% de pureza hacia el Separador (S-001).			
No	No hay flujo	La válvula de seguridad de nivel en el reactor está cerrada.	Acumulación de producto en el Reactor (R-001). Instalar LT-R001 y LIC-R001 para controlar LPV-R001.
Más	Más flujo	La válvula atascada está abierta.	Disminución de nivel en el Reactor R-001.
Menos	Menos flujo	La válvula parcialmente está cerrada.	Incremento de nivel en el Reactor R-001.
Línea No 2. Objetivo: Abastecer de agua de refrigeración al Reactor (R-001).			
No	No hay flujo	La válvula está atascada por ende cerrada o la bomba no funciona.	Incremento de temperatura en el Reactor R-001. Instalar TT-V001 y TIC-V001 para controlar el caudal de agua de refrigeración mediante TPV-V001.
Más	Más flujo	La válvula atascada está abierta.	Disminución de temperatura en el Reactor R-001
Menos	Menos flujo	La válvula parcialmente está cerrada.	Incremento de temperatura en el Reactor R-001

4.2.2 Diseño de control del Reactor (R-001)

En base al análisis Hazop desarrollado previamente, este permite ejemplificarlo con las acciones a tomar en cuenta. En primer lugar referente a la Línea No 1 (verde), se prevee el caso de que la válvula que envía el contenido de urea al 34% pureza del reactor (R-001) al separador (S-001), se encuentre ante diferentes escenarios, en tal sentido se colocan controladores e indicadores de nivel [27]. Mientras que para la Línea No 2 (celestes), se prevee el caso de que

exista un incremento de la temperatura del reactor (R-001) por condiciones térmicas, para lo cual se colocan indicadores y controladores de temperatura, tomando en cuenta las consideraciones de operación para el proceso interno del reactor.

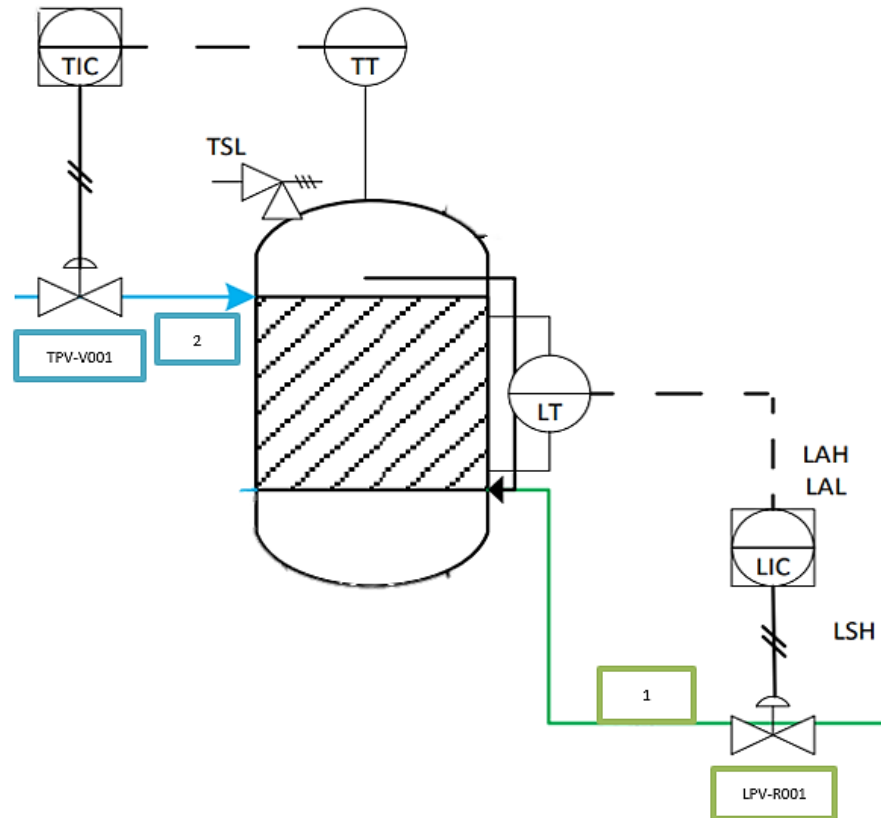


Figura 2. Diagrama de Control del Reactor

5. ANÁLISIS ECONÓMICO

El análisis económico, permite dilucidar con estimaciones si el estudio de factibilidad es viable, en función de las condiciones iniciales de producción. En tal sentido la presente sección detallará la estimación de costos de los equipos, producción, la inversión necesaria, el flujo de caja del proyecto con ingresos y egresos; acompañada de indicadores económicos, como el VAN (valor actual neto), TIR (tasa interna de retorno), PRI (período de recuperación de la inversión); aquello que permitirá desarrollar un análisis de flexibilidad en el que se varíen condiciones como el precio del producto final o la cantidad de producción.

5.1. Estimación de costos

5.1.1. Estimación de costos de los equipos

Al tratarse de una estimación de costos, es importante tener una cercanía a los precios del mercado para los equipos presentes en la planta de producción de urea granulada. En tal sentido para encontrar dichos valores, se los ha obtenido bajo catálogo en línea y a su vez de costos referenciados de otras plantas de urea granulada haciendo una interpolación de los precios, en función del caudal de producción requerido, los cuales fueron corroborados mediante la estimación de costos propuesta por Sinnott [28]. Adicionalmente, fue importante aplicar ciertos factores para ser lo más precisos posible en los precios finales de cada equipo.

Para el presente proyecto, se trabajó con tres factores; el factor de Lang, el cual permite obtener una aproximación del $\pm 20 - 30 \%$, de los costos de los equipos. Adicionalmente el factor de Hand, el cual está basado en el costo de los equipos instalados [29]. Finalmente el factor detallado que emplea varias categorías como erección del equipo, tuberías, ámbito eléctrico, pintura y revestimiento, instrumentación y control, ámbito civil, cada uno de ellos aplicados de acuerdo a la característica particular de cada equipo [28].

A partir del análisis realizado con los tres factores, se determinó que el factor detallado, es aquel valor que se asemeja a las condiciones bajo las cuales se va a desarrollar el análisis económico del presente proyecto, lo que se encuentra relacionado con la inversión de capital fijo explicado posteriormente. Los respectivos valores de cada factor se los puede encontrar en anexos 8E.

5.1.2. Estimación de inversión de capital fijo, capital de trabajo, ACC y TAC

Dentro de la estimación de la inversión de capital fijo, se encuentran los valores tomados en cuenta para el proyecto como el ISBL (inside battery limits), OSBL (outside battery limits), el área ingenieril referente al análisis, guía y dimensión del proyecto, imprevistos el cual permite hacer frente a condiciones no estipuladas en el estudio; el capital de trabajo que permite tener un flujo de dinero base para arrancar el proyecto; el ACC siendo el préstamo, en donde se amortiza el capital durante el período que dura el préstamo y el TAC es el costo anualizado total expresado en porcentaje [30]. Dichos valores han sido desarrollados a lo largo del estudio, con la finalidad de lograr una estimación adecuada.

En base al proyecto, el ISBL tiene una estrecha relación con los valores estimados en función de cada uno de los factores como Hand, Lang, Detallado empleados previamente para la obtención de costos de los equipos. Por otro lado el OSBL comprende un 20% del ISBL haciendo referencia a que el diseño tendrá un crecimiento a futuro con una capacidad máxima de producción del 40% sobre la base actual. Para el área de ingeniería un 7% del ISBL cuyo precio está arraigado al equipo humano encargado del proyecto. Los imprevistos comprenden un 10% del ISBL+OSBL, tomando contratiempos existentes en el desarrollo del proyecto [28]. El capital de inversión fijo, tomando en cuenta las variables expresadas previamente ronda los \$34 millones, valor estimado cuya base son los costos de los equipos. El capital del trabajo tiene ciertos parámetros comprendidos en anexos 8E. Los valores obtenidos para el ACC según los análisis respectivos datan de \$6.71 millones, referente al costo de inversión fijo, tomados en cuenta desde el cuarto año cuando el crecimiento es lineal. Finalmente el TAC brinda un valor del 32.75% referentes a los costos de operación y carga de capital anual total desde el cuarto año de igual manera cuando el crecimiento tiene una tendencia lineal. Los cálculos respectivos se encuentran en la sección de anexos 8E.

5.1.3. Estimación de costos de producción

Para el desarrollo del proyecto, es importante tomar en cuenta los costos fijos que implicarán al momento de implementar la planta de producción. En tal sentido se prevee costos fijos referente a los operarios dentro de la planta, los cuales se han dividido en 4 turnos, cada turno con 40 operarios, trabajando 8 horas diarias continuas, cuyo salario varía según su turno en el día, noche, feriados y habiendo tomado en cuenta las compensaciones al IESS y sus regulaciones [31]. Adicionalmente se prevee un rubro fijo para el equipo encargado de la coordinación y supervisión del proyecto a lo largo del funcionamiento del proyecto.

A su vez se toman en cuenta los costos por mantenimiento ya sea preventivo o correctivo, como referencia el 1% del capital de inversión fija. Por otro lado se toma un 0.6% del capital de inversión fija para impuestos relacionados al SRI, permitiendo cumplir la norma vigente de impuesto a la renta [32]. Se toma en cuenta un 0.3% y 0.8% del capital de inversión fija para gastos varios y permisos ambientales respectivamente. Finalmente de acuerdo a la localización de la planta de producción se ha determinado el costo de alquiler del terreno, referente al área (m²) necesarios. Todos los precios referenciados para obtener un costo acorde al diseño del proyecto.

Consecuentemente, en la estimación de los costos de producción se encuentran los variables, aquellos que difieren en función de las condiciones de producción. Por tal razón, las materias primas son costos variables, ya que los precios pueden variar en función de las condiciones del proveedor, la comercialización, transporte. Adicionalmente, otro costo variable tomado en cuenta es el consumo de energía eléctrica, ya que si disminuye la producción, también el consumo arraigado a los equipos y por ende el precio. Tomando en cuenta, que los precios de la energía eléctrica están referenciados en función de la tasa industrial de 0.092 ctvs, que maneja ELEPCO S.A para la provincia de Cotopaxi, en donde se localizará la planta de producción [33]. La tabla de costos anuales de energía se encuentra en la sección de anexos 8E.

5.2. Definición del flujo de caja del proyecto

El flujo de caja permite visualizar los ingresos y egresos netos de dinero dentro de un proyecto, considerando que los ingresos son las ganancias por la venta de un bien o servicios, mientras que los egresos representa la salida de recursos para cumplir un pago o servicio. Aquello que va de la mano con el tiempo de recuperación de la inversión el cual determina los años para tener flujo necesario de efectivo para cubrir la inversión inicial; todo encontrándose tasado en una tasa de impuesto del 30% desglosado en impuestos a la renta, comercial, ambientales [32].

En base a la Fig 3 ,el flujo de caja del proyecto permite visualizar que hasta el tercer año, el flujo de caja acumulativo brinda resultados negativos, lo que viene relacionado con la producción desarrollada hasta ese año, mientras que para el cuarto año el flujo de caja acumulativo es positivo pero mínimo, lo que significa que existe dinero circulante pero aún es mínimo en comparación de la inversión realizada. Por tal razón, desde el quinto año, el flujo de

caja indica condiciones favorables, lo que se encuentra relacionado con la producción al 100% de su capacidad.

Para el presente proyecto se ha desarrollado el flujo de caja a 10 años, tomando en cuenta que la producción será progresiva hasta alcanzar su máxima capacidad. En tal sentido en función de la Fig 3, se puede observar que existe un flujo de caja negativo, debido a que hasta el tercer año los egresos superan a los ingresos. Tomando en cuenta aquellos los ingresos provienen directamente de la venta del producto a \$49.99 por cada saco de urea granulada de 50 kg, lo que permitirá obtener ingresos anuales netos positivos de casi \$37 millones al quinto año y desde el sexto año de producción de \$61 millones aproximadamente.

Por otra parte los egresos al comprender los costos de producción fijos y variables, capital de trabajo y capital de inversión fijo generan egresos anuales que varían hasta el cuarto año en \$18 millones, para a partir del quinto año de producción mantenerse en \$23.85 millones, ya que solo se toma en cuenta los costos de producción fijos y variables. Todo aquello analizado en relación de la vida útil del proyecto y el tiempo de recuperación de la inversión, el cual se estima que sea a partir del sexto año. Los detalles de ingresos y egresos respecto al flujo de caja se encuentran en anexos 8E.

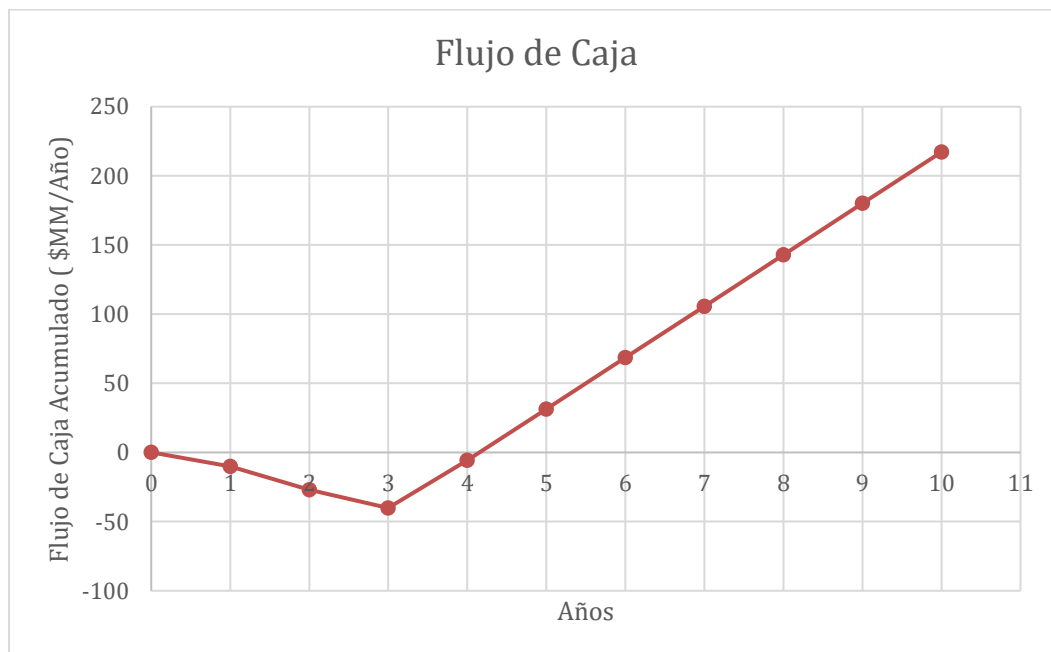


Figura 3. Flujo de Caja del proyecto

5.2.1. Cálculo de los indicadores de rentabilidad del proyecto (VAN, TIR, PRI, pago de impuestos)

Habiendo realizado el flujo de caja respectivo, es importante comprender los indicadores económicos que serán parte del análisis económico dentro del presente proyecto. El VAN actualiza los ingresos y egresos de un proyecto con el fin de conocer la ganancia o pérdida en cierta inversión. Por otro lado el TIR es la rentabilidad que ofrece una inversión [34]. El PRI representa el período en años de la recuperación de la inversión. Dichos indicadores vienen acompañados de un impuesto el cual es una carga fiscal, calculada sobre los ingresos generados de una empresa, cuyo porcentaje fue establecido previamente.

Bajo las condiciones establecidas a lo largo del estudio, el Van es de 45.65, tomando en cuenta que un proyecto para ser viable el VAN deber ser mayor a 1, lo cual dentro del presente proyecto lo hace viable [28]. Mientras que el TIR es de 0.68, para el análisis de rentabilidad el TIR deber ser mayor a 0, lo que significa que por cada \$1 en inversión recibirás \$1.68 en el presente proyecto [28]. Consecuentemente los años del período de recuperación de inversión está dentro del sexto año. Dichos indicadores con un impuesto tasado en un 30% han sido incluidos para el cálculo respectivo, brindando resultados de inversión positivos.

5.3. Análisis de flexibilidad variando condiciones de producción y precio de venta.

Dentro del presente proyecto, es importante conocer la flexibilidad del mismo, haciendo referencia a los posibles escenarios en los que se pueda desarrollar tomando en cuenta, una variación en los precios, cantidad de producción o ambos. En tal sentido se han desarrollado 3 escenarios, considerando un impuesto del 30% para todos los escenarios, con la finalidad de constatar la rentabilidad de los mismos y analizar las posibles variaciones máximas que puede tener el proyecto base, en función de una variación en las condiciones de estudio.

En el primer escenario se ha desarrollado el análisis de rentabilidad al mantener el precio a \$49.99 y disminuir la producción al 50%. Bajo las condiciones establecidas, el VAN es de 7, lo cual lo hace viable, mientras que el TIR es de 0.38, lo que significa que por cada \$1 en inversión recibirás \$1.38, acompañada de un período de recuperación de la inversión en 12 años. Esto brinda en principio resultados positivos de inversión.

En el segundo escenario se ha desarrollado el análisis de rentabilidad al disminuir el precio a \$25 y mantener la producción al 100%. Bajo las condiciones establecidas, el VAN es de 2.1, lo cual en principio es viable mientras que el TIR es de 0.32, lo que significa que por cada \$1 en inversión recibirás \$1.32, acompañada de un período de recuperación de la inversión

al cual se le ha considerado indefinido, ya que el flujo de caja en este escenario no es favorable, lo cual indica que se tendrá porcentaje de retorno de la inversión, pero siempre sin efectivo circulante para el proyecto.

En el tercer escenario, se ha desarrollado el análisis de rentabilidad de disminuir el precio a \$25 y la producción al 50%. Bajo las condiciones establecidas, el VAN es de -14.63, lo cual no lo hace viable por ningún motivo, mientras que el TIR es de 0, lo que significa que no hay recuperación alguna de la inversión, es decir no hay variación en invertir como no invertir en el proyecto bajo las condiciones establecidas dentro del presente escenario, acompañada de un período de recuperación de la inversión al cual se le ha considerado indefinido.

A partir de los tres escenarios, es posible visualizar desde diferentes perspectivas el proyecto; de lo que se puede determinar a partir de los análisis realizados es que para el presente proyecto global, el precio no puede variar del establecido \$49.99, sin embargo es posible disminuir la producción hasta en un 50% en casos extremos como por ejemplo que la demanda de urea disminuya y aún así seguir teniendo rentabilidad. Todo aquello desarrollado con la finalidad de comprender las condiciones favorables y no favorables de variar precio, producción o ambas. Los respectivos diagramas de los tres escenarios se los puede encontrar a detalle en anexos 8E.

6. CONCLUSIONES

En base al presente proyecto se logró realizar el estudio de factibilidad económica y social de una planta de producción de urea granulada, en base a las condiciones locales del Ecuador.

En primer lugar, en base a la investigación, análisis y comparación de los procesos existentes para la producción de urea granulada, en la que se han tomado en cuenta condiciones como materia prima, complejidad técnica, procesos patentados, estudios previos locales; se logró puntuar y concluir que el proceso Snamprogetti es aquel que mejor se acopla a las condiciones locales frente a los otros dos procesos existentes.

Posteriormente, fue posible aplicar el diseño de proceso de la planta de urea granulada local, en base a las consideraciones técnicas que conlleva el proceso Snamprogetti en relación a todos los equipos que intervienen dentro de la producción, conjuntamente con la propuesta del proyecto de producir 100.000 toneladas/año, lo que significaría disminuir en un 37% las importaciones del producto en mención.

En relación a la evaluación económica, es posible concluir que de primera mano el proyecto es rentable. En vista de que los valores tanto del VAN como del TIR son positivos y presentan ingresos cercanos a los \$61 millones desde el sexto año de producción, con un valor del saco comercial de 50 kg en \$49.99; tomando en cuenta que la inversión de capital fijo es de \$34 millones aproximadamente. Adicionalmente es posible concluir que a partir del sexto año, ya se podría tener una recuperación de la inversión inicial, tomando en cuenta que la producción ha sido paulatina los primeros 5 años. Consecuentemente es importante mencionar que las condiciones económicas han sido analizadas en base a diferentes escenarios para conocer hasta qué punto existe rentabilidad en el proceso, de lo que se pudo concluir que el precio de venta máximo es de \$49.99 lo cual permite seguir siendo competitivos frente a la oferta de importación promedio que se encuentra en los \$55,40 aproximadamente, y llegar a tener una disminución de la producción en un máximo del 50% de la capacidad, es decir 50.000 toneladas/año.

Dentro de los impactos esperados al ser un producto de alto valor agregado dentro del Ecuador, es posible concluir que se disminuirá parcialmente la dependencia extranjera de urea granulada, se generará un beneficio a cerca de 250.000 agricultores quienes podrán aprovechar en su máxima capacidad las áreas de cultivo, para finalmente como productor de urea granulada ser parte de un comercio interno de \$125 millones de dólares anuales.

Sin embargo, es importante concluir y enfatizar el tema de los subsidios que tiene el presente producto, el cual ha sido objeto de control social dentro del tema político, ya que al tener a un bajo costo la urea granulada comercial, disminuyen el fomento de inversión para desarrollar una planta de producción de urea local, además de que los agricultores o personajes del sector agrícola tienden a tener cierto lineamiento político por aquel apoyo del gobierno destinado hacia ellos. Por tal razón es importante analizar y viabilizar con mayor profundidad la propuesta de factibilidad del presente estudio.

7. REFERENCIAS

- [1] B. Mundial, «Agricultura y Alimentos,» 1 Abril 2022. [En línea]. Available: <https://www.bancomundial.org/es/topic/agriculture/overview>. [Último acceso: 8 Marzo 2023].
- [2] Sembralia, «Fertilizantes NPK: ¿Qué son y para qué sirven?,» 26 Agosto 2020. [En línea]. Available: <https://sembralia.com/blogs/blog/fertilizantes-npk>. [Último acceso: 14 Enero 2023].
- [3] Intagri, «Guía de Fertilizates Nitrogenados para Cultivos,» Información de fertilizantes, s/f. [En línea]. Available: <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/guia-de-fertilizantes-nitrogenados-para-cultivos>. [Último acceso: 24 Enero 2023].
- [4] DANE, «Insumos y Factores Asociados a la producción agropecuaria,» Información de precios y abastecimiento del sector agropecuario, 12 Septiembre 2012. [En línea]. Available: https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/insumos_factores_de_produccion_septiembre_2012.pdf. [Último acceso: 16 Febrero 2023].
- [5] C. Crespo, «Portal Frutícola,» Medio informativo, 7 Junio 2019. [En línea]. Available: <https://www.portalfruticola.com/noticias/2019/06/07/la-urea-caracteristicas-ventajas-y-desventajas-de-esta-fuente-nitrogenada/>. [Último acceso: 2 Marzo 2023].
- [6] Pacifex, «Gavilon,» Fichas técnicas de fertilizantes, 10 Enero 2018. [En línea]. Available: <https://innovacionagricola.com/wp-content/uploads/2016/05/Urea-Pacifex-ficha-tecnica.pdf>. [Último acceso: 12 Febrero 2023].
- [7] MAGAP, «Ministerio de Agricultura y Ganadería,» Medio Informativo Gubernamental, 13 Octubre 2019. [En línea]. Available: <https://www.agricultura.gob.ec/agricultores-pagaran-el-50-del-costo-comercial-del-saco-de-urea/>. [Último acceso: 1 Marzo 2023].
- [8] P. V, «Plan V Periodismo,» Medio Informativo, 9 Noviembre 2021. [En línea]. Available: <https://www.planv.com.ec/historias/sociedad/se-viene-una-crisis-alimenticia-el-2022>. [Último acceso: 12 Febrero 2023].
- [9] B. C. d. Ecuador, «Boletín de Análisis Agropecuario,» Resultados Económicos, 8 Abril 2022. [En línea]. Available:

<https://contenido.bce.fin.ec/documentos/PublicacionesNotas/Catalogo/Encuestas/Coyuntura/Integradas/etc202104.pdf>. [Último acceso: 17 Febrero 2023].

- [10] AGRIZON, «Agripac,» Productos Fertilizantes, 16 Enero 2023. [En línea]. Available: <https://www.e-agrizon.com/producto/dap-18-46-0-50-kg/>. [Último acceso: 14 Febrero 2023].
- [11] R. Camacho, Interviewee, *Comunicación personal precio de urea granulada en Fertisa*. [Entrevista]. 27 Febrero 2023.
- [12] L. Vélez, Interviewee, *Comunicación personal del precio de urea granulada y amoniaco líquido en Agripac*. [Entrevista]. 27 Febrero 2023.
- [13] IFC, «Guías sobre medio ambiente, salud y seguridad para la producción de fertilizantes nitrogenados,» Grupo del Banco Mundial, Washington, 2007.
- [14] A. Lema, «Textos Científicos,» Medio Informativo Urea, 11 Agosto 2005. [En línea]. Available: <https://www.textoscientificos.com/quimica/urea>. [Último acceso: 26 Febrero 2023].
- [15] YARA, «Propiedades Físicas de los Fertilizantes,» Características físicas de la Urea, 12 Junio 2006. [En línea]. Available: <https://www.yara.com.mx/nutricion-vegetal/almacenaje-y-manejo-de-fertilizantes/propiedades-fisicas-de-fertilizantes/>. [Último acceso: 13 Marzo 2023].
- [16] A. Fernández, «Ingeniería Química.net,» 1 Julio 2014. [En línea]. Available: <https://www.ingenieriaquimica.net/articulos/366-urea-procesos-de-obtencion>. [Último acceso: 12 Enero 2023].
- [17] YPF, «Ficha de Seguridad,» Producción de Fertilizantes, 12 Diciembre 2016. [En línea]. Available: <https://www.ypfagro.com.ar/img/documentos/5df2ae1078aa10ca868803849.pdf>. [Último acceso: 9 Marzo 2023].
- [18] Meteored, Estadística climática, 12 Febrero 2023. [En línea]. Available: https://www.meteored.com.ec/tiempo-en_Pujili-America+Sur-Ecuador-Cotopaxi--1-20045.html. [Último acceso: 13 Febrero 2023].
- [19] INEN, «Fertilizantes o Abonos.Urea.Requisitos,» 8 Octubre 1997. [En línea]. Available: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/212-1.pdf>. [Último acceso: 14 Enero 2023].

- [20] M. Z. D. B. Edrisi A, «Urea synthesis using chemical looping process-techno-economic evaluation of a novel plant configuration for a green production,» *Greenh Gas Control*, vol. 1, n° 44, pp. 42-51, 2016.
- [21] M. Aly, «Empirical modeling of urea synthesis chemical equilibria,» *IJITEE*, vol. 9, n° 8, p. 727, 2019.
- [22] SAIPEM, «SNAMPROGETTI UREA TECHNOLOGY,» Producción de urea granulada, 12 Diciembre 2016. [En línea]. Available: https://www.saipem.com/sites/default/files/2019-03/spm_UREAri_L02_14_01_10.pdf. [Último acceso: 18 Enero 2023].
- [23] J. Sánchez, «Textos Científicos,» Medio Informativo producción de urea, 11 Agosto 2008. [En línea]. Available: <https://www.textoscientificos.com/quimica/urea/produccion>. [Último acceso: 15 Marzo 2023].
- [24] L. Fiamelda, «Analysis of water and electricity consumption of urea fertilizer industry: case study PT. X,» *ITAMSA*, vol. 1, n° 472, p. 8, 2020.
- [25] R. Erick, «IPN,» Fabricación de urea en México, 10 Marzo 2017. [En línea]. Available: <https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/24030/3/Tesis%20Evaluaci%C3%B3n%20t%C3%A9cnica%20y%20econ%C3%B3mica%20para%20la%20fabricaci%C3%B3n%20de%20la%20urea%20en%20M%C3%A9xico.pdf>. [Último acceso: 12 Enero 2023].
- [26] E. S. Y. K. G. N. H. MORIKAWA, «Mega Capacity Urea Plants,» 12 Septiembre 2012. [En línea]. Available: https://www.toyo-eng.com/jp/ja/products/petrochemical/urea/technical_paper/pdf/2002_Mega-capacity_Urea_Plants.pdf. [Último acceso: 12 Febrero 2023].
- [27] M. Hecker, «University of Groningen,» 13 Junio 2016. [En línea]. Available: https://fse.studenttheses.ub.rug.nl/15512/1/CE_BC_2016_UreaGroupReport.pdf. [Último acceso: 10 Marzo 2023].
- [28] G. T. a. R. K. Sinnott, «Chemical Engineering Design - Principles, Practice and Economics of Plant and Process Design,» *Elsevier*, vol. 2, n° 11, pp. 60-72, 2013.
- [29] AIM, «Agricultural Information Modules,» Economía de Proyecto, 11 Octubre 1998. [En línea]. Available: <https://www.nzdl.org/cgi-bin/library?e=d-00000-00---off-0aginfo--00-0---0-10-0---0---0direct-10---4-----0-11--11-en-50---20-help---00-0-1-00-0--4---0-0-11-10-OutfZz-8-10&cl=CL1.3&d=HASH016f501aa8554cb2273ab912.6.3.3.2>=1>. [Último acceso: 14 Febrero 2023].

- [30] B. Serna, «Principios de la Evaluación Económica de un proyecto,» 15 Agosto 2018. [En línea]. Available: https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/20225/fichero/3_Principios+de+la+Evaluaci%C3%B3n+de+Proyectos+Quimicos.pdf. [Último acceso: 15 Marzo 2023].
- [31] IESS, «Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social,» 12 Diciembre 2022. [En línea]. Available: <https://www.iess.gob.ec/en/web/afiliado/servicios-y-prestaciones>. [Último acceso: 11 Marzo 2023].
- [32] SRI, «Servicio de Rentas Internas,» 12 Enero 2023. [En línea]. Available: <https://www.sri.gob.ec/voy-a-iniciar-mi-negocio>. [Último acceso: 25 Febrero 2023].
- [33] E. S.A., «Empresa Eléctrica de Cotopaxi,» 15 Diciembre 2022. [En línea]. Available: <https://elepcosa.com.ec/>. [Último acceso: 14 Marzo 2023].
- [34] J. López, «Economipedia,» Significados económicos, 1 Septiembre 2020. [En línea]. Available: <https://economipedia.com/definiciones/indicador-economico.html>. [Último acceso: 24 Febrero 2023].
- [35] Costacurta, Reactor producers, 22 Noviembre 2022. [En línea]. Available: <https://www.costacurta.com/products/reactor-internals/>. [Último acceso: 15 Febrero 2023].
- [36] N. S. M. Equipment, Stripper Columns, 12 Octubre 2022. [En línea]. Available: <https://suntechmetal.en.made-in-china.com/product/OvKJlsgULacF/China-Titanium-Sb265-Gr-2-Stripping-Column.html>. [Último acceso: 2 Marzo 2023].
- [37] H. Engineering, Manufactura en Condensadores, 12 Julio 2022. [En línea]. Available: <https://www.larsentoubro.com/heavy-engineering/products-services/process-plant/fertiliser/carbamate-condensers/>. [Último acceso: 2 Marzo 2023].
- [38] S. P. Solutions, 12 Diciembre 2022. [En línea]. Available: <https://www.indiamart.com/proddetail/vacuum-evaporator-21602340955.html?pos=20&kwd=vacuum%20evaporator&tags=BA|||7645.151||product||TS&prdnmfrm=1>. [Último acceso: 2 Marzo 2023].
- [39] H. G. TRADE, 22 Diciembre Prilling Tower . [En línea]. Available: https://es.made-in-china.com/co_gainstrade/product_28-6-6-Urea-Based-NPK-Prilling-High-Tower-Technology_uorogsyrrg.html. [Último acceso: 2 Marzo 2023].

- [40] DENAIR, Air compressors, 12 Diciembre 2022. [En línea]. Available: <https://shdenair.en.made-in-china.com/product/dCpEcIoxnyWu/China-Similar-Sullair-6000m3-H-Centrifugal-Air-Compressor-for-Sale.html>. [Último acceso: 1 Marzo 2023].
- [41] Shenyang, Pump Production, 18 Octubre 2022. [En línea]. Available: https://es.made-in-china.com/co_sylcpump/product_Bb1-15000m3-H-Horizontal-Double-Suction-Oil-Refining-Industry-Pump_eisogisiy.html. [Último acceso: 1 Marzo 2023].
- [42] S. Z. I. Pump, 20 Diciembre 2022. [En línea]. Available: https://es.made-in-china.com/co_zg-pump/product_Horizontal-Self-Priming-Single-Stage-Anti-Corrosive-Sea-Water-Chemical-Process-Centrifugal-Pump-Duplex-Stainless-Steel-Titanium-Nickel-Monel-Hastelloy-20-Alloy_rnshryehg.html. [Último acceso: 2 Marzo 2023].
- [43] C. Machinery, 12 Diciembre 2022. [En línea]. Available: https://spanish.alibaba.com/p-detail/Waste-1600478827489.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal_offer.d_title.161a73c1fIwg7o. [Último acceso: 1 Marzo 2023].
- [44] S. Engineer, 14 Noviembre 2022. [En línea]. Available: <https://spanish.alibaba.com/p-detail/Feed-1600445118069.html?s=p>. [Último acceso: 2 Marzo 2023].
- [45] L. T. Commercial, 15 Octubre 2020. [En línea]. Available: https://spanish.alibaba.com/p-detail/Industrial-1600530439894.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal_offer.d_title.314535249dTUEY. [Último acceso: 3 Marzo 2023].
- [46] CYTSA, 11 Noviembre 2022. [En línea]. Available: <https://www.cytza.com.mx/tanques-almacenamiento.php#:~:text=Los%20tanques%20de%20almacenamiento%20y,ASME%20Secci%C3%B3n%20VIII%20Div%201..> [Último acceso: 3 Marzo 2023].
- [47] A. INDUSTRIES, 10 Septiembre 2022. [En línea]. Available: <https://pdf.directindustry.es/pdf-en/asco-carbon-dioxide/polyurethane-insulated-co2-storage-tank/38377-966165.html#open1636857>. [Último acceso: 4 Marzo 2023].
- [48] M. Centeno, «Fertilab,» Producción de Fertilizantes, 24 Noviembre 2021. [En línea]. Available: <https://www.fertilab.com.mx/blog/248-biuret-en-fertilizantes-y-suelos/>. [Último acceso: 14 Febrero 2023].
- [49] C. d. I. Agronómicas, «Laboratorio de Suelos y Foliare,» Investigación en el sector agrícola, 9 Diciembre 2002. [En línea]. Available:

- http://www.nutricaoeplantas.agr.br/site/downloads/unesp_jaboticabal/Memoria_CursoFertilizacionFoliar.pdf. [Último acceso: 8 Febrero 2023].
- [50] E. Cobos, «Gestión Digital,» Medio informativo, 12 Marzo 2019. [En línea]. Available: <https://revistagestion.ec/economia-y-finanzas-analisis/la-agricultura-aun-es-el-diamante-en-bruto-del-pais>. [Último acceso: 14 Febrero 2023].
- [51] M. Del Pozo, «Fertilizante Nitrogenado,» Información de la urea, 24 Septiembre 2014. [En línea]. Available: <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/28476/NR02557.pdf>. [Último acceso: 4 Marzo 2023].
- [52] P. Franco, «El Universo,» Medio Informativo, 15 Agosto 2022. [En línea]. Available: <https://www.eluniverso.com/noticias/economia/la-entrega-de-urea-subsencionada-al-50-llega-a-casi-6000-sacos-nota/>. [Último acceso: 11 Febrero 2023].
- [53] S. Jiménez, «EL SUBSIDIO DE LA UREA Y SU INCIDENCIA DE LOS PRODUCTORES AGRÍCOLAS DEL ECUADOR,» Universidad Agraria del Ecuador, Guayaquil, 2020.
- [54] J. Pedrosa, «Economipedia,» Medio Informativo Económico, 1 Junio 2020. [En línea]. Available: <https://economipedia.com/definiciones/subsidio.html>. [Último acceso: 2 Marzo 2023].
- [55] O. Mónica, «Primicias,» Medio Informativo, 14 Febrero 2022. [En línea]. Available: <https://www.primicias.ec/noticias/economia/aumento-precio-agroquimicos-urea-alimentos-ecuador/>. [Último acceso: 11 Enero 2023].
- [56] D. & M. I. J. & E. J. Sánchez, Suelos del Ecuador, Clasificación, Uso y Manejo., Quito: Instituto Geográfico Militar, 2022.
- [57] S. Shah, «The Fertilizer War,» vol. 1, n° 246, pp. 42-45, 2022.
- [58] M. Valverde, «SZCHIMMER & SCHWARZ,» Medio informativo agrícola, 28 Enero 2021. [En línea]. Available: <https://www.zschimmer-schwarz.es/noticias/fertilizantes-agricolas-tipos-de-fertilizantes-usos-y-beneficios/>. [Último acceso: 14 Febrero 2023].
- [59] L. Esconder Co., Columnas de Separación, 11 Octubre 2021. [En línea]. Available: <https://www.indiamart.com/proddetail/stripping-column-23402881030.html?pos=1&pla=n&prdnmfrm=1>. [Último acceso: 2 Marzo 2023].
- [60] J. V. Systems, Producción de evaporadores al vacío, 12 Diciembre 2022. [En línea]. Available: <https://www.indiamart.com/proddetail/vacuum-evaporator-for-wastewater->

2850838626262.html?pos=3&kwd=vacuum%20evaporator&tags=A|||7650.5557|Price|pro
xy|||LSlc&prdnmfrm=1. [Último acceso: 2 Marzo 2023].

8. ANEXOS

8.1 Anexo A: Terminología

A lo largo del presente proyecto existen términos relevantes, los cuales serán tratados con su significado a continuación para facilitar la lectura del estudio.

- **Biuret:** Subproducto del proceso de producción de urea granulada, que debe mantener concentraciones menores al 1% para no generar acidificación en los suelos.
- **Carbamato:** Producto intermedio entre la reacción de amoníaco y dióxido de carbono, previo a la obtención de urea.
- **INEN:** Instituto Ecuatoriano de Normalización, ente estatal encargado de emitir certificados para la comercialización y venta de productos dentro del territorio ecuatoriano.
- **Subsidio:** Considerado una ayuda provista por parte del ente gubernamental con la finalidad de estimular la demanda de un bien.
- **PIB:** El producto interno bruto es un indicador económico que refleja el valor monetario referentes a todos los bienes y servicios finales producidos por un país en cierto tiempo.

8.2 Anexo B: Consideraciones de Seguridad, Localización de la planta y Limitaciones

8.2.1 Fichas de Seguridad

Dentro de los compuestos involucrados que forman parte del presente proyecto, es importante tomar en cuenta la ficha de seguridad con las consideraciones respectivas.

Amoniaco

TABLA DE SEGURIDAD		
NOMBRE COMERCIAL:	AMONIACO ANHIDRO	
FÓRMULA QUÍMICA :	NH ₃	
NÚMERO CAS :	7664-41-7	
MASA MOLAR :	17,031 g/mol	
ESTRUCTURA QUÍMICA :		HMIS: Azul (Salud): 3 Rojo (Inflamabilidad): 1 Amarillo(Reactividad): 2 Blanco : Corrosivo
ALMACENAMIENTO:	Mantener alejado de ácidos y bases fuertes, halógenos materiales orgánicos, cromatos, zinc, estaño, cobre, níquel.	Mantener en un lugar fresco y bien ventilado.

Figura F 1.MSDS Amoniaco

Dióxido de Carbono

TABLA DE SEGURIDAD		
NOMBRE COMERCIAL:	DIOXIDO DE CARBONO	
FÓRMULA QUÍMICA :	CO ₂	
NÚMERO CAS :	124-38-9	
MASA MOLAR :	44.01 g /mol	
ESTRUCTURA QUÍMICA :		HMIS: Azul (Salud): 2 Rojo (Inflamabilidad): 0 Amarillo(Reactividad): 0 Blanco : Asfixiante simple
ALMACENAMIENTO:	Ventilación local o campana de extracción en el área de trabajo.	Utilizar sistemas de detección de gases.

Figura F 2.MSDS Dióxido de Carbono

Urea


TABLA DE SEGURIDAD		
NOMBRE COMERCIAL:	UREA	
FÓRMULA QUÍMICA :	CH ₄ N ₂ O	
NÚMERO CAS :	57-13-6	
MASA MOLAR :	60,06 g /mol	
ESTRUCTURA QUÍMICA :	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{H}_2\text{N}-\text{C}-\text{NH}_2 \end{array}$	HMIS: Azul (Salud): 1 Rojo (Inflamabilidad): 0 Amarillo(Reactividad): 0
ALMACENAMIENTO:	En espacios con temperaturas entre los 15 -25 °C	No almacenar junto a henos o productos orgánicos como plaguicidas y combustibles

Figura F 3.MSDS Urea

8.2.2 Factores de localización de la planta

Dentro de los factores de localización en consideración se encuentran el almacenamiento y la cercanía del espacio físico escogido para la distribución a los cultivos de ciclo corto y permanente.

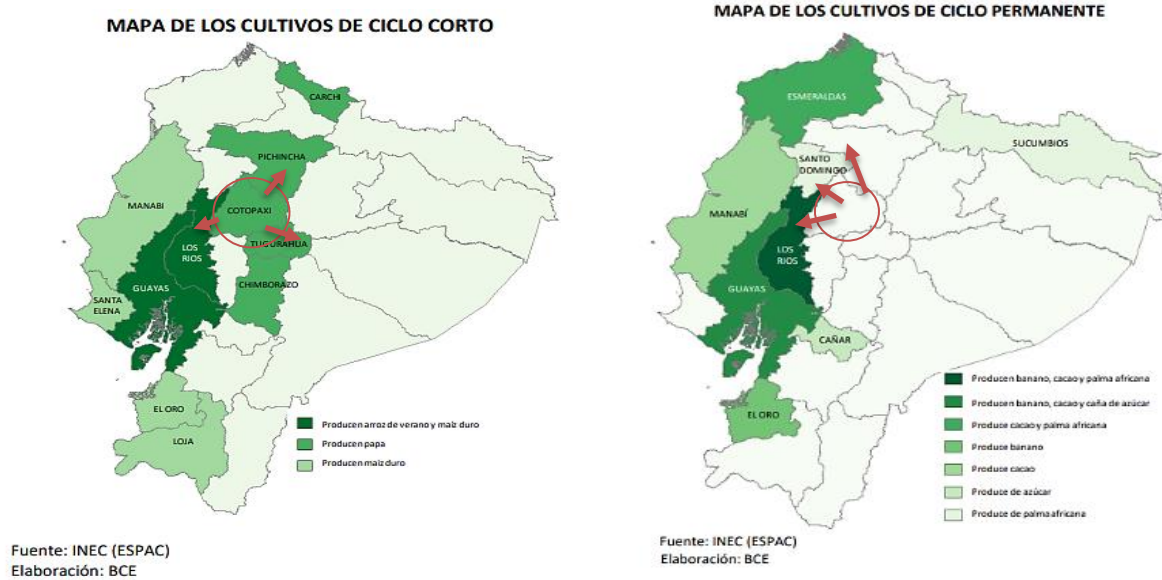


Figura F 4.Cultivos de Ciclo Corto y Permanente

En base a la Fig F 4., es posible identificar a la provincia de Cotopaxi, cantón Pujilí un centro de distribución considerable [7], además de cumplir con la temperatura promedio de 15-25°C para el almacenamiento del producto.

8.2.3 Limitaciones Ambientales

Dentro del proceso de producción es importante tomar en cuenta las limitaciones ambientales [13], para que el proceso mantenga las concentraciones inferiores a las presentadas en la siguiente tabla.

Tabla T 1. Concentraciones límite de emisiones y efluentes

	CO₂ (Dióxido de Carbono)	NH₃ (Amoniac)	Urea
Emisiones (gases)	20 mg/Nm ³	50 mg/Nm ³	50 mg/Nm ³
Efluentes (líquidos)	5 mg/L	5 mg/L	1 mg urea/L

El límite de concentraciones máximas fueron consideradas dentro del diseño del proyecto.

8.3 Anexo C: Selección del proceso de producción de urea granulada

8.3.1 Diagramas de Bloque de los procesos en estudio

1. Buscar bibliográficamente los procesos utilizados en producción de urea.
2. Definir operaciones unitarias y diagramas de bloque.

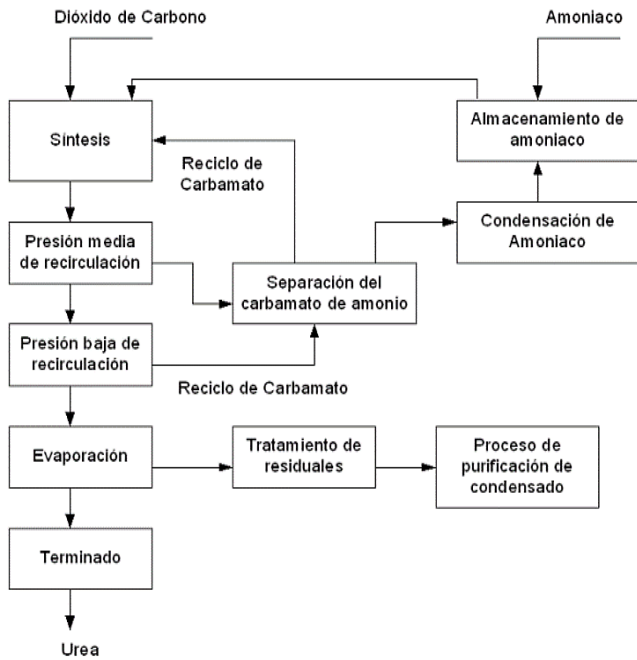


Figura F 7. Diagrama de Bloque Snamprogetti

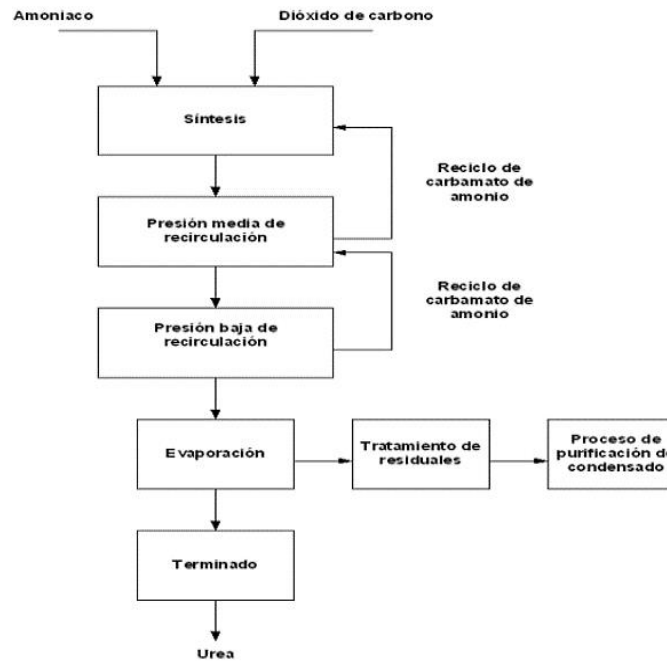


Figura F 6. Diagrama de Bloque Toyo

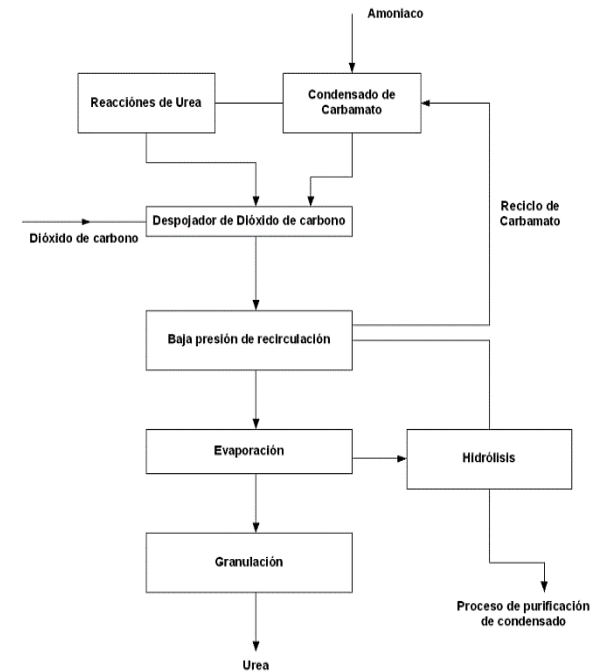


Figura F 5. Diagrama de Bloque Stamicarbon

8.3.2 Categorías para la comparación de procesos.

1. Categorizar los procesos encontrados en disponibilidad de materias primas, complejidad técnica, patentes, estudios previos locales. Siendo 1 el menos viable y 3 el más viable.

Tabla T 2. Categorías de los procesos

	1	2	3
Materias Primas (Costo)	Menos económico	Medio económico	Más económico
Materias Primas (Disponibilidad)	No disponible	Disponibilidad temporal	Disponibilidad total
Complejidad técnica (instalación)	Alta	Media	Baja
Complejidad técnica (operaciones unitarias)	(≥ 10 O.U)	($6 \geq x \leq 9$ O.U)	(≤ 5 O.U)
Patentes	Costo de patente	Restricciones de uso	Liberadas
Estudios previos locales	Tesis de grado	Informes	No existen

2. Escoger el proceso de obtención de urea más adecuado según el punto previo.

Tabla T 3. Comparación de los procesos

VARIABLES PROCESOS	MATERIAS PRIMAS		COMPLEJIDAD TÉCNICA		PATENTES	ESTUDIOS PREVIOS LOCALES	TOTAL
	Costo	Disponibilidad	Complejidad instalación	Número de Operaciones Unitarias	Liberadas, Costo de patente, Restricciones de uso	Tesis de grado locales, Informes locales, No existen	
PROCESO TOYO	2	3	2	2	1	3	13
PROCESO STAMICARBON	1	3	3	3	3	1	14
PROCESO SNAMPROGETTI	3	3	2	2	3	3	16

8.3.3 Balances de masa por sección

1. Investigación de la demanda nacional del producto, considerando principalmente importaciones al no ser producido localmente.
2. Identificar la materia prima disponible (producida localmente o importada).
3. Verificar la demanda actual existente y compararla con el nivel de producción de la planta.
4. Desarrollo de los 8 pasos para el balance de masa.

Reactor (R-001)

Tabla T 4. Balance de masa (R-001)

ALIMENTACION		
Material	Flujo (kg/h)	Participación %
Ingreso		
NH ₃	9115.067	43.590
CO ₂	11795.968	56.410
Total	20911.035	100
Recirculación		
CO ₂ , NH ₃ , Carbamato	19121.645	100%
Total	40032.680	100

SALIDA		
Material	Flujo (kg/h)	Participación %
Sin reaccionar		
NH ₃	1375.971	3.437
CO ₂	1769.395	4.420
Productos		
Urea	13611.111	34
Agua	4101.780	10.246
Biuret	52.778	0.132
Carbamato	19121.645	47.765
Total	40032.680	100

Separador (S-001)

Tabla T 5. Balance de masa (S-001)

ALIMENTACION		
Material	Flujo (kg/h)	Participación %
Sin reaccionar		
NH ₃	1375.971	3.437
CO ₂	1769.395	4.420
Productos		
Urea	13611.111	34
Agua	4101.780	10.246
Biuret	52.778	0.132
Carbamato	19121.645	47.765
Total	40032.680	100.000

SALIDA		
Material	Flujo (kg/h)	Participación %
Salida Inferior		
NH ₃	1375.971	6.580
CO ₂	1769.395	8.462
Urea	13611.111	65.091
Agua	4101.780	19.615
Biuret	52.778	0.252
Total	20911.035	100.000
Salida Superior		
CO ₂ , NH ₃ , Carbamato	19121.645	
Total	40032.680	100

Descomponedor media presión (D-001)*Tabla T 6. Balance de masa (D-001)*

ALIMENTACION		
Material	Flujo (kg/h)	Participación %
NH ₃	1375.971	6.580
CO ₂	1769.395	8.462
Urea	13611.111	65.091
Agua	4101.780	19.615
Biuret	52.778	0.252
Total	20911.035	100.000

SALIDA		
Material	Flujo (kg/h)	Participación %
NH ₃	687.985	3.558
CO ₂	884.698	4.575
Urea	13611.111	70.384
Agua	4101.780	21.211
Biuret	52.778	0.273
Total	19338.352	100.000
Salida Superior		
NH ₃	687.985	43.36
CO ₂	884.698	56.64
Total	1572.683	100

Descomponedor baja presión (D-002)*Tabla T 7. Balance de masa (D-002)*

ALIMENTACION		
Material	Flujo (kg/h)	Participación %
NH ₃	687.985	3.558
CO ₂	884.698	4.575
Urea	13611.111	70.384
Agua	4101.780	21.211
Biuret	52.778	0.273
Total	19338.352	100

SALIDA		
Material	Flujo (kg/h)	Participación %
Urea	13611.111	76.615
Agua	4101.780	23.088
Biuret	52.778	0.297
Total	17765.669	100
Salida Superior		
NH ₃	687.985	43.36
CO ₂	884.698	56.64
Total	1572.683	100

Evaporadores al Vacío (E-001) y (E-002)*Tabla T 8. Balance de masa (E-001) y (E-002)*

ALIMENTACION		
Material	Flujo (kg/h)	Participación %
Urea	13611.111	76.615
Agua	4101.780	23.088
Biuret	52.778	0.297
Total	17765.669	100

SALIDA		
Material	Flujo (kg/h)	Participación %
Urea	13611.111	97.886
Agua	241.177	1.734
Biuret	52.778	0.380
Total	13905.066	100
Disminución de % Agua		
Agua	3860.603	21.73

Torre de Granulación (T-001)

Tabla T 9. Balance de masa (T-001)

ALIMENTACION		
Material	Flujo (kg/h)	Participación %
Urea	13611.111	97.886
Agua	241.177	1.734
Biuret	52.778	0.380
Total	13905.066	100.000

SALIDA		
Material	Flujo (kg/h)	Participación %
Urea	13611.111	97.966
Agua	229.822	1.654
Biuret	52.778	0.380
Total	13893.711	100.000
Disminución de % Agua		
Agua	11.360	0.1

8.3.4 Balances de energía por sección

1. Tiempos de operación de cada equipo en base al caudal de producción del balance de masa.
2. Cálculo de la cantidad de energía consumida durante el proceso.

Reactor (R-001)

Tabla T 10. Balance de energía (R-001)

Material	Calor específico a 40 °C (Cp)	Unidades	Valor	Unidades
NH ₃	0.53	cal/ gm°C	2.219	kJ/kg °C
CO ₂	0.22	cal/ gm°C	0.9211	kJ/kg °C
	Calor específico a 180 °C (Cp)			
Carbamato	0.62	cal/ gm °C	2.596	kJ/kg °C

Material	Energía (m*Cp*ΔT)	Unidades
NH ₃	8.09E+05	kJ/h
CO ₂	4.35E+05	kJ/h
Carbamato	8.94E+06	kJ/h
Total	1.02E+07	kJ/h
Total	2.85E+03	kW

Material	Calor específico a 180 °C (kJ/kmol °C)	Fracciones molares	Tasa de flujo (kmol/h)
NH ₃	39.15	0.098	80.792
CO ₂	42.37	0.049	40.204
Urea	121.32	0.276	226.625
Agua	75.37	0.278	227.877
Biuret	183.8	0.001	0.512
Carbamato	202.49	0.298	244.927
Total			820.937
Cp de la mezcla	120.86	kJ/kmol°C	
Energía (mCpΔt)	1.79E+07	kJ/h	
Total	5.00E+03	kW	

Separador (S-001)*Tabla T 11. Balance de energía corriente líquida (S-001)*

Material	Calor específico a 185 °C (kJ/kmol °C)	Fraciones molares	Tasa de flujo (kmol/h)
NH ₃	41.31	0.140	80.792
CO ₂	44.22	0.070	40.204
Urea	135.3	0.393	226.625
Agua	75.37	0.396	227.877
Biuret	183.8	0.001	0.512
Total			576.010
Cp de la mezcla	92.093	kJ/kmol°C	
Energía (mCpΔt)	9813680.196	kJ/h	
Total	2747.830	kW	

Tabla T 12. Balance de energía corriente vapor (S-001)

Material	Calor específico a 185 °C (kJ/kmol °C)	Tasa de flujo (kmol/h)
NH ₃ , CO ₂ , Carbamato	202.49	244.927
Cp de la mezcla	210	kJ/kmol°C
Energía (mCpΔt + mλ)	13190670.7	kJ/h
Total	3693.388	kW

Condensador (C-001)*Tabla T 13. Balance de energía (C-001)*

Material	Calor específico a 25 °C (kJ/kmol °C)	Tasa de flujo (kmol/h)
NH ₃ , CO ₂ , Carbamato	202.49	1523.821
Cp de la mezcla	210	kJ/kmol°C
Energía (mCpΔt + mλ)	320002.440	kJ/h
Total	89.601	kW

Descomponedor de media presión (D-001)*Tabla T 14. Balance de energía corriente líquida (D-001)*

Material	Calor específico a 140 °C (kJ/kmol °C)	Fraciones molares	Tasa de flujo (kmol/h)
NH ₃	38.4	0.078	40.394
CO ₂	42.37	0.039	20.102
Urea	123.84	0.440	226.625
Agua	75.37	0.442	227.877
Biuret	170.92	0.001	0.512
Total			515.510
Cp de la mezcla	92.589	kJ/kmol°C	
Energía (mCpΔt)	6682299.071	kJ/h	
Total	1871.044	kW	

Tabla T 15. Balance de energía corriente vapor (D-001)

Material	Calor específico a 140 °C (kJ/kmol °C)	Tasa de flujo (kmol/h)
NH ₃	38.4	0.668
CO ₂	42.37	0.332
Total		60.496
Cp de la mezcla	39.719	kJ/kmol°C
Energía (m(CpΔt + λ))	1663826.538	kJ/h
Total	465.871	kW

Descomponedor de baja presión (D-002)

Tabla T 16. Balance de energía corriente líquida (D-002)

Material	Calor específico a 80 °C (kJ/kmol °C)	Tasa de flujo (kmol/h)
Urea	107.76	0.498
Agua	75.37	0.501
Biuret	149	0.001
Total		455.014
Cp de la mezcla	91.585	kJ/kmol°C
Energía (mCpΔt)	3333799.135	kJ/h
Total	933.464	kW

Tabla T 17. Balance de energía corriente vapor (D-002)

Material	Calor específico a 140 °C (kJ/kmol °C)	Tasa de flujo (kmol/h)
NH ₃	0.668	40.394
CO ₂	0.332	20.102
Total		60.496
Cp de la mezcla	37.570	kJ/kmol°C
Energía (m(CpΔt + λ))	1244322.63	kJ/h
Total	348.410	kW

Evaporadores (E-001) y (E-002)

Tabla T 18. Balance de energía (E-001) y (E-002)

Material	Calor específico a 100°C (kJ/kmol °C)	Tasa de flujo (kmol/h)
Urea	0.942	226.625
Agua	0.056	13.399
Biuret	0.002	0.512
Total		240.536
Cp de la mezcla	107.476	kJ/kmol°C
Energía (mCpΔt)	2197400.398	kJ/h
Total	615.272	kW

Torre de granulación (T-001)*Tabla T 19. Balance de energía (T-001)*

Material	Calor específico a 100°C (kJ/kmol °C)	Tasa de flujo (kmol/h)
Urea	0.945	226.625
Agua	0.053	12.768
Biuret	0.002	0.512
Total		239.905
Cp de la mezcla	93.479	kJ/kmol°C
Energía (mCpΔt)	560652.587	kJ/h
Total	156.983	kW

8.4 Anexo D: Equipos utilizados en el estudio

8.4.1 Características de los equipos.

1. Compilar la información de los equipos actualmente utilizados en la industria para cada operación, en función de los equipos proporcionados por la compañía Saipem.
2. Selección en base al diseño de los equipos a ser utilizados.
3. Determinación del caudal que cada equipo debe manejar a partir del balance de masa, mencionado en el punto anterior.
4. Dimensionamiento de los equipos principales de acuerdo con los análisis desarrollados previamente y especificaciones de otras plantas existentes de urea granulada [26].

Tabla T 20. Características de los equipos principales

Equipo	Tipo	Especificaciones
R-001	Reactor de Flujo Continuo CSTR	Capacidad: Recomendado 44.000 kg/h Potencia: 5.00E+03 kW Altura: 8 (m) Diámetro: 1.4 (m)
S-001	Columna de Separación	Capacidad: Recomendado 42.000 kg/h Potencia: 2.75 E+03 kW Altura: 7 (m) Diámetro: 1.2 (m)
D-001	Descomponedor de Media Presión	Capacidad: Recomendado 24.000 kg/h Potencia: 1.87 E+03 kW Altura: 6 (m) Diámetro: 1.4 (m)
D-002	Descomponedor de Baja Presión	Capacidad: Recomendado 22.000 kg/h Potencia: 0.933 E+03 kW Altura: 5.4 (m) Diámetro: 1.4 (m)
C-001	Condensador	Capacidad: Recomendado 8.000 kg/h Potencia: 0.089 E+03 kW Número de tubos: 1430 Espesor de la placa de tubos: 350 (mm)
E-001	Evaporador al Vacío	Capacidad: Recomendado 20.000 kg/h Energía: 0.615 E+03 kW Presión: 0.3 bar
E-002	Evaporador al Vacío	Capacidad: Recomendado 18.000 kg/h Energía: 0.523 E+03 kW Presión: 0.03 bar
T-001	Torre de Granulación	Capacidad: Recomendado 16.000 kg/h Energía: 0.156 E+03 kW Altura: 25 (m) Diámetro: 2.4 (m)

1. Para el dimensionamiento de los equipos auxiliares se tomó en cuenta los caudales de producción y por catálogo en línea se determinó las especificaciones técnicas.

Tabla T 21. Características de los equipos auxiliares

Equipo	Tipo	Especificaciones
Compresor CO ₂	DAC200	Capacidad: 115-208 m ³ /min Potencia: 0.618 E+03 kW Dimensiones: 4250x2150x2350 (mm)
Bomba NH ₃	Bb1 Bombas anticorrosivas	Capacidad: 11000 m ³ /h Potencia: 0.275 E+03 kW
Bombas	ZB Bombas	Capacidad: 2050 m ³ /h Potencia: 45kW
Banda Transportadora	Banda transportadora al granel	Dimensiones: 5x1x2 (m) Potencia: 3 kW
Silo de almacenamiento previo empaque	Silo de granos	Capacidad: 7.85 m ³ Dimensiones: 1.8x1.5x5.19 (m)
Empacadora	Empacadora al granel	Capacidad: 6 sacos/ min Potencia: 2.2 kW Dimensiones: 800x900x1900 (mm)
Tanque de almacenamiento NH ₃	Tanque aislado Cytsa	Capacidad: Recomendado 19700 L. Dimensiones: 5.4x2.36x1.98 (m)
Tanque de almacenamiento CO ₂	Tanque VT PU	Capacidad: Recomendado 14700 kg Altura: 7300 (mm) Diámetro: 1800 (mm)

8.5 Anexo E: Estimación económica

8.5.1 Estimación de costos de los equipos.

En base a lo expuesto en el contenido del proyecto, se obtuvo la información de los equipos mediante catálogo en línea para los equipos auxiliares en la cual se ha desarrollado una interpolación con los precios del catálogo en base a la capacidad requerida respectivamente, sin embargo para ciertos equipos principales que no tienen un precio abierto al público, se ha hecho una relación económica en función de otras plantas de producción de urea granulada y se aplicó las correlaciones para ciertos equipos con la guía del libro de Sinnott para corroborar dichos resultados [25], [28].

Para la aplicación de estimación de costos con las correlaciones del libro de Sinnott, se aplicó la siguiente fórmula en base al equipo requerido:

$$C_e = a + b * S^n$$

En donde:

C_e : Costo del equipo el cual está basado en el lugar de origen.

a,b: Constantes presentes en la Fig F 8.

S: Parámetro de medida con sus respectivas unidades en la Fig F 8.

n: Valor del exponente para cada equipo.

Equipment	Units for Size, S	S_{lower}	S_{upper}	a	b	n	Note	Equipment	Units for Size, S	S_{lower}	S_{upper}	a	b	n	Note
Agitators & mixers								Exchangers							
Propeller	driver power, kW	5.0	75.0	4,300	1,920	0.8		U-tube shell and tube	area, m ²	10.0	1,000.0	10,000	88	1.0	
Spiral ribbon mixer	driver power, kW	5.0	35.0	11,000	420	1.5		Floating head shell and tube	area, m ²	10.0	1,000.0	11,000	115	1.0	
Static mixer	Liters/s	1.0	50.0	780	62	0.8		Double pipe	area, m ²	1.0	80.0	500	1,100	1.0	
Boilers								Thermosyphon reboiler							
Packaged, 15 to 40 bar	kg/h steam	5,000.0	200,000.0	4,600	62	0.8		U-tube Kettle reboiler	area, m ²	10.0	500.0	14,000	95	1.0	
Field erected, 10 to 70 bar	kg/h steam	20,000.0	800,000.0	-90,000	93	0.8		Plate and frame	area, m ²	1.0	180.0	1,100	850	0.4	3
Centrifuges								Filters							
High-speed disk	diameter, m	0.26	0.49	63,000	260,000	0.8		Plate and frame	capacity, m ³	0.4	1.4	76,000	54,000	0.5	
Atmospheric suspended basket	power, kW	2.0	20.0	37,000	1,200	1.2		Vacuum drum	area, m ²	10.0	180.0	-45,000	56,000	0.3	
Compressors								Furnaces							
Blower	m ³ /h	200.0	5,000.0	4,200	27	0.8		Cylindrical	duty, MW	0.2	60.0	53,000	69,000	0.8	
Centrifugal	driver power, kW	132.0	29,000.0	8,400	3,100	0.6		Box	duty, MW	30.0	120.0	7,000	71,000	0.8	
Reciprocating	driver power, kW	100.0	16,000.0	240,000	1.33	1.5		Packings							
Conveyors								304 ss Raschig rings							
Belt, 0.5 m wide	length, m	10.0	500.0	21,000	340	1.0		Ceramic intalox saddles	m ³			0	3,700	1.0	
Belt, 1.0 m wide	length, m	10.0	500.0	23,000	575	1.0		304 ss Pall rings	m ³			0	930	1.0	
Bucket elevator, 0.5 m bucket	height, m	10.0	35.0	14,000	1,450	1.0		PVC structured packing	m ³			0	250	1.0	
Crushers								304 ss structured packing							
Reversible hammer mill	tonne/h	20.0	400.0	400	9,900	0.5		Pressure vessels							
Pulverizers	kg/h	200.0	4,000.0	3,000	390	0.5		Vertical, cs	shell mass, kg	150.0	69,200.0	-400	230	0.6	5
Crystallizers								Horizontal, cs							
Scraped surface crystallizer	length, m	7.0	280.0	41,000	40,000	0.7		Vertical, 304 ss	shell mass, kg	90.0	124,200.0	-10,000	600	0.6	5
Distillation columns								Horizontal, 304 ss							
See pressure vessels, packing, and trays								Shell mass, kg	170.0	114,000.0	-15,000	560	0.6		
Dryers								Pumps and drivers							
Direct contact rotary	area, m ²	11.0	180.0	-7,400	4,350	0.9	1	Single-stage centrifugal	flow liters/s	0.2	500.0	3,300	48	1.2	
Pan	area, m ²	1.5	15.0	-5,300	24,000	0.5	2	Explosion-proof motor	power, kW	1.0	2,500.0	920	600	0.7	
Spray dryer	evap rate kg/h	400.0	4,000.0	190,000	180	0.9		Condensing steam turbine	power, kW	100.0	20,000.0	-19,000	820	0.8	
Evaporators								Reactors							
Vertical tube	area, m ²	11.0	640.0	17,000	13,500	0.6		Jacketed, agitated	volume, m ³	0.5	100.0	14,000	15,400	0.7	
Agitated falling film	area, m ²	0.5	12.0	29,000	53,500	0.6		Jacketed, agitated, glass-lined	volume, m ³	0.5	25.0	13,000	34,000	0.5	
								Tanks							
								Floating roof							
								Cone roof							
								Trays							
								Sieve trays							
								Valve trays							
								Bubble cap trays							
								Utilities							
								Cooling tower & pumps							
								Packaged mechanical refrigerator							
								Water ion exchange plant							

(continued)

Figura F 8. Constantes para la estimación de costos

Esto permitió corroborar los valores obtenidos en base a otras plantas de producción de urea granulada.

Reactor (R-001). Proveedor: Costacurta [25], [35].

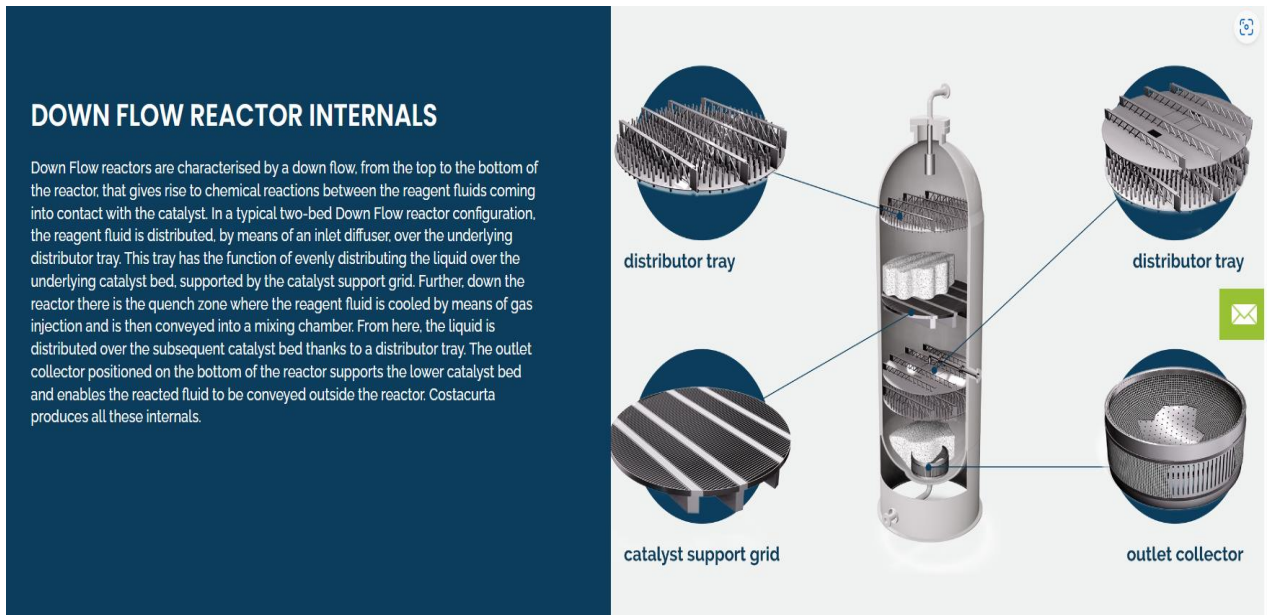


Figura F 9. Especificaciones del Reactor

Separador (S-001). Proveedor: Nanjing Suntech Metal Equipment Co., Ltd [25], [36]

Titanium Sb265 Gr. 2 Stripping Column

Reference FOB Price ⓘ

To Be Negotiated 1 Piece (Min. Order)

Function:	Separation Pressure Vessel
Application:	Fine Chemicals Project
Material:	Titanium
Pressure:	0.1MPa≤p<1.6MPa
Storage Medium:	Vessel: Dihydroxyhenzene; Coil: Water Steam
Pressure Level:	Medium Pressure (1.6MPa≤p<10.0MPa)

Customization: Available | [Customized Request](#)

Download Product Catalog ⓘ

Figura F 10. Especificaciones del Separador

Condensador (C-001). Proveedor: Heavy Engineering [25], [37]



Supplied to SAFCO V, Saudi Arabia.

Nos. Supplied: Over 50

Process: Saipem / Toyo / Stamicarbon / UreaCasale

Tube sheet thickness: 300-380 mm

Heat Transfer area: 1500 to 3265 sq.m

No. of 'U' Tubes: 960 to 2298

Figura F 11.Especificaciones del Condensador

Descomponedor (D-001) y (D-002). Proveedor: Heavy Engineering [25], [37]



Nos. Supplied: Over 100

Process: HaldorTopsoe, KBR, Linde, ThyssenKruppUhde

Synthesis loop heat exchangers with thick tubesheet (thicknesses varying from 200 to 350 mm), fabricated from Cr-Mo Steel.

Figura F 12.Especificaciones del Descomponedor

Evaporadores (E-001) y (E-002). Proveedor: SVAAR Process Solutions Pvt., Ltd [25], [38]

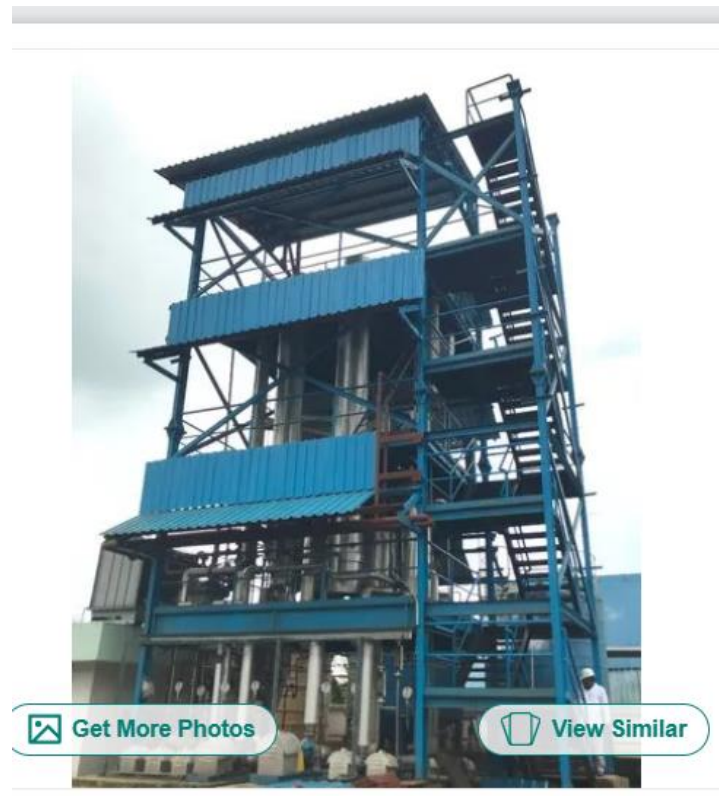


Figura F 13. Especificaciones del Evaporador

Torre de granulación (T-001). Proveedor: HENGSHUI GAINS TRADE Co., Ltd [25], [39]

The image shows a tall, cylindrical granulation tower. It has a white body with red Chinese characters and a logo. The tower is mounted on a blue base. The background is a clear sky.

28-6-6 Urea-Based NPK Prilling torre alta y la tecnología

Precio FOB de Referencia ⓘ Conseguir Precio Último >

US\$ 1.000.000,00 / Set | 1 Set (Pedido Mínimo)

After-sales Service: Long Life Aftersales Service

Warranty: 1 Year

Tipo: Máquina granuladora de abono

voltaje: 380V

Proceso de dar un título: YO ASI

Description: NPK Prilling High Tower

< [Icons] >

♥ Favoritos | 🔗 Compartir [Social Media Icons]

Figura F 14. Especificaciones de la Torre de granulación

Compresor CO₂. Proveedor: DENAIR Co., Ltd [40].



Similar Sullair 6000m³/H Centrifugal Air Compressor for Sale

Reference FOB Price ⓘ

US \$20,000.00-500,000.00 / Piece | 1 Piece (Min. Order)

- Mute: Mute
- Impeller: Closed
- Cooling System: Water Cooling
- Lubrication Style: Oil-Free
- Material: Cast Iron
- Type: Multiaxial Type

Customization: Available | [Customized Request](#)



♥ Favorites | Share

Product Description		Company Info.	
Basic Info.			
Model NO.	DAC series	Motor Power	150-7500 Kw
Free Air Delivery	2100-90000m ³ /Hr	Exhaust Pressure	40 Kgf/Cm ²
Color	White	Weight	2400
Transport Package	Standard Woode Packing	Specification	iso, ce, gc, tuv certification
Trademark	DENAIR	Origin	Shanghai, China
HS Code	8501510010	Production Capacity	150 Sets Per Day

Figura F 15. Especificaciones del compresor CO₂

Bomba NH₃. Proveedor: Shenyang bomba Liancheng Co., Ltd [41]



SY PUMPS
Electric & Diesel

ISO CE TUV Rofco

Precio FOB de Referencia Conseguir Precio Último >

US\$ 2.500,00-5.250,00 / Set | 1 Set (Pedido Mínimo)

After-sales Service: 1 Year

Warranty: 1 Year

Max. Head: Less Than 200m

Máxima capacidad: Less Than 11600m³/H

Tipo de conducción: Motor

Material: Hierro Fundido

< >

♥ Favoritos
🔗 Compartir

Descripción de Producto	Información de la Compañía		
Información Básica.			
No. de Modelo.	BB1	Estructura	Bomba de Un Solo Cuerpo
Montaje	Bombas para líquidos	Energía	Energía Eléctrica
Puesta En Marcha	Bomba Eléctrica	Tipo	Centrifugal Pump
Aplicación	Bomba de Agua Residual, Bomba de Lodos, Bomba Química	Industria	Chemical Pump
Medios de comunicación	Bombas de aguas residuales	Rendimiento	Bomba Wear
Teoría	Bomba Centrifuga	Medium T	Less Than 300c
Capacity	Less Than 11600m ³ /H	Head	Less Than 200m
Pressure	Less Than 2.5MPa	MOQ	1 Set
Delivery Time	According to Your Quality	Original	China Pump
Pump Features	Double Ends Mechanical Seal	Use in	Power Plant, Irrigation, Water Supply
Other Details	Pls Check in Follow Data	Paquete de Transporte	Export Wooden Case
Especificación	As details	Marca Comercial	Taillide
Origen	Shenyang, China	Código del HS	8413810090
Capacidad de Producción	50000 Set/ Year		

Figura F 16. Especificaciones de la bomba de NH₃

Bombas del proceso. Proveedor: Sichuan Zigong Industrial Pump Co., Ltd [42]



La horizontal de una etapa de autocebado Anti-Corrosive Proceso químico de agua de mar bomba centrífuga de titanio, acero inoxidable Dúplex, níquel, Monel, Hastelloy, de aleación de 20#

Precio FOB de Referencia ⓘ

[Conseguir Precio Último >](#)

US\$ 3.000,00-30.000,00 / Pieza | 1 Pieza (Pedido Mínimo)

Max.Head:	150 M
Máxima capacidad:	2050 M3/H
Tipo de conducción:	Motor
Número Impulsor:	Sistema de Bomba de una Etapa
Presión Laboral:	Bomba Media de Presión
Influyente Tipo de Impulsor:	Bomba de Succión Única



Descripción de Producto

Información de la Compañía

Información Básica.

No. de Modelo.	ZB	Posición del Eje de la bomba	Bomba Horizontal
Revestimiento de la bomba combinada	Radial Split Casing	Altura de montaje	Centrífuga de succión
Impulsor	Cerrado	Uso	Bomba, Bombas, Bomba de circulación, Chemical Pump
Materials	SS304, SS316, SS316L, Titanium, Monel, 2205, CD4mu	Manufacturer Level	Top Level
Shaft Sealing	Mechanical Seal and Packing	Pump Arrangement	Pipe Hung, Horizontal
Pump Transmission	Direct Coupled, Gear Box, V-Belts, Universal Joint	Flange Standard	Customized
Motor Brand	ABB, Siemens or Reputed Chinese Brands	Pump Bearing	SKF, NSK or Reputed Chinese Brands
Paquete de Transporte	Standard Seaworthy Packing	Especificación	Customized
Marca Comercial	Gaofeng	Origen	China
Código del HS	8413709990	Capacidad de Producción	11000 PCS/Year

Figura F 17. Especificaciones de las bombas en el proceso

Banda Transportadora. Proveedor: ConTrust Machinery Co., Ltd [43]



Cinta transportadora de clasificación de residuos, Material a granel, alimentación de riel plegable

★ ★ ★ ★ ★ 1.0 1 Reseñas 1 comprador

1 - 9 Unidades **950,00 US\$**
 >= 10 Unidades **790,00 US\$**

Beneficios: Reembolsos rápidos en pedidos de menos de 1000 USD [Reclamar ahora >](#)

Tipo

Capacidad de Carga

Número de Modelo

Muestras: Transportador de gravedad, , **2.000,00 US\$/Unidad** Pedido mínimo : 1 Unidad [Comprar muestras](#)

Plazo de entrega:	Quantity (Unidades)	1 - 1	2 - 10	> 10
	Hora del Est.(días)	5	10	Para negociar

Descripción general

Detalles rápidos

Industrias aplicables:	Material de construcción de tiendas, Planta de fabrica...	Exposición de ubicación:	Los Estados Unidos, Filipinas, La India, Tailandia, Mar...
Condición:	Nuevo	Material:	De goma
Característica del material:	skidproof	Estructura:	Cinta transportadora
Marca:	Contrust	Lugar del origen:	Henan, China
Energía (W):	750W/3kW/4kW	Voltaje:	Customizable
Garantía:	1 año	Dimensión (L*W*H):	5*1*2m
: Informe de prueba:	Siempre	Ancho o diámetro:	600mm
Marketing tipo:	New Product	Video saliente de inspección:	Siempre
Los componentes principales.:	Motor, Caja de cambios	Garantía de los componentes principales.:	1 año
Frame Material:	High strength galvanized steel	Peso (KG):	200 kg
Motor:	750W/3kW/4kW	Product name:	Belt Conveyor Machine
Usage:	Construction use	Keyword:	Folding conveying belt
Materials of belt:	3-ply PVC rail belt	Type:	Mobile belt
Feature:	Positive and negative rotation	Function:	Conveying cereal grain
		Advantage:	Elevated belt machine

Figura F 18. Especificaciones de la banda transportadora

Silo de almacenamiento previo empaque. Proveedor: Shelley Engineer Co., Ltd [44]



Ver imagen más grande



Silos de trigo para alimentación, Silo pequeño para almacenamiento de granos, precio en venta

1 - 4 Sets **1.800,00 US\$** >= 5 Sets **1.500,00 US\$**

Beneficios: Cupones de USD 500

[Reclamar ahora >](#)

Capacidad: **7.85m3**

Número de Modelo: **De acero galvanizado SILO**

Plazo de entrega:	Quantity (Sets)	1 - 5	> 5
	Hora del Est.(días)	45	Para negociar

Personalizacion: **Logotipo personalizado** (Pedido mínimo 1 Set)
Personalización gráfica (Pedido mínimo 2 Sets)
 More >

Descripción general

Detalles rápidos

Industrias aplicables:	Planta de fabricación, Alimentos y Bebidas de la fábr...	Exposición de ubicación:	Canadá, Viet Nam, Filipinas, Perú, Arabia Saudita, In...
Video saliente de inspección:	Siempre	: Informe de prueba:	Siempre
Garantía de los componentes principales.:	1 año	Marketing tipo:	Producto ordinario
Material:	De acero, Galvanizado de chapa de acero	Los componentes principales.:	Silo cuerpo
Marca:	TSE SILO	Condición:	Nuevo, Nuevo
Peso:	911 KG	Lugar del origen:	China
Clave de puntos de venta:	Los parámetros técnicos	Dimensión (L*W*H):	1,8*1,8*5,19 M
Diámetro:	1,8 m	Garantía:	Más de 5 años
Aplicación:	Silos de almacenamiento	Nombre del producto:	Silos
Palabra clave:	Silos DE GRANO	Altura Total:	5,19 m
Color:	Galvanizado revestimiento	Certificado:	ISO9001
		MOQ:	1 set
		De origen:	Principal de China de la tierra

Figura F 19. Especificaciones del silo al granel

Empacadora. Proveedor: Luohe Topan Commercial Co., Ltd [45]



Ver imagen más grande



Añadir para c... Compartir

Máquina Industrial de envasado de granos de arroz, Pellet de alimentación Animal de acero inoxidable

>= 1 Sets

6.350,00 US\$

Beneficios: Reembolsos rápidos en pedidos de menos de 1000 US\$ [Reclamar ahora >](#)

Potencia

Plazo de entrega:	Quantity (Sets)	1 - 100	> 100
	Hora del Est.(días)	15	Para negociar

Personalizacion: Logotipo personalizado (Pedido mínimo 1 Set)
Embalaje personalizado (Pedido mínimo 1 Set)
More v

Detalles de la compra

Protección con Trade Assurance

Envío: [Comunícate con el proveedor](#) para negociar los detalles del envío

Pagos: ...

Descripción general

Detalles rápidos

Tipo:	Máquina de embalaje multifunción	Capacidad de producción:	6 bag/min
Industrias aplicables:	Planta de fabricación, Alimentos y Bebidas de la fábr...	Peso (KG):	600
Condición:	Nuevo	Exposición de ubicación:	Malasia, Espana
Uso:	Comida, Médico	Función:	Relleno, sellado
Material de embalaje:	Plástico, Papel, Bolsa tejida	Tipo de empaquetado:	Bolsas
Voltaje:	220V 50/60Hz o personalizado	Grado automático:	Semiautomática
Dimensión (L*W*H):	800*900*1900mm	Tipo conducido:	Eléctrico
Clave de puntos de venta:	Fácil de operar	Lugar del origen:	China
Garantía de los componentes principales.:	1 año	Garantía:	1 año
El uso de:	De llenado de la máquina de embalaje	: Informe de prueba:	Siempre
Tipo de sellado:	De coser	Video saliente de inspección:	Siempre
Característica:	Alto eficaz	Los componentes principales.:	PLC
Adecuado para:	Gránulo de llenado máquina de embalaje	Después de servicio de ventas se:	Video de apoyo técnico
Marketing tipo:	Nuevo Producto 2020	Tipo de máquina:	Semi automática bolsa de sellado de llenado de la má...
		Material:	Acero inoxidable
		Automaticity:	Control de pantalla táctil
		Máquina de embalaje de la función:	Peso de la bolsa de embalaje

Figura F 20.Especificaciones de la empacadora

Tanque almacenamiento NH₃. Proveedor: CYTSA [46]

Tanques de Almacenamiento de Amoniaco



Los tanques de almacenamiento y aplicadores de Amoniaco **CYTSA**, utilizados para su aplicación y transporte, cuentan con una capacidad nominal de 500 hasta 350,000 litros. Estos tanques son diseñados y fabricados en apego a la Norma Oficial Mexicana vigente y de acuerdo al Código ASME Sección VIII Div 1.

- Presión de diseño 17.58 kgf/cm² (250psi).
- Acabado en pintura primaria.
- Diseño y construcción de acuerdo a necesidades específicas del cliente.
- Fabricación con acero de norma, cumpliendo con especificaciones ASTM.
- Estampa ASME (disponible a solicitud del interesado).
- Radiografiados 100%.
- Conexiones NPT y entradas bridadas adicionales bajo pedido.
- Cuentan con válvulas de seguridad, de entrada y salida de fluido, Indicador de nivel, y protector de válvulas y controles.
- Placa de conexión a tierra.
- Silletas disponibles a solicitud del interesado.
- Preparación para sistema contra incendios.
- Garantía del tanque contra defectos de fabricación de 10 años.
- Envíos a todo el mundo.

Capacidad nominal agua		A Diámetro		B Longitud		C Distancia entre bases		D Ancho de bases		Peso	
Litros	Galones	m	in	m	in	m	in	m	in	kg	lb
12,600	3,329	2.22	87.55	4.05	159	1.5	59	0.25	9.84	2,381	5,249
17,200	4,544	2.22	87.55	5.27	207	1.98	78	0.25	9.84	3,203	7,061
19,700	5,204	2.36	92.73	5.4	213	1.98	78	0.30	11.81	3,748	8,263
32,700	8,638	2.36	92.73	8.45	333	3.9	154	0.60	23.62	6,174	13,611
45,700	12,073	2.36	92.73	11.5	453	5.85	230	0.60	23.62	8,600	18,960
66,000	17,435	3.38	133.14	8.63	340	3.4	134	0.60	23.62	11,890	26,213
89,000	23,511	3.38	133.14	11.25	443	5.1	201	0.60	23.62	16,069	35,426
112,000	29,587	3.38	133.14	13.87	546	6.6	260	0.60	23.62	20,246	44,635
125,000	33,022	3.38	133.14	15.35	604	8.07	318	0.60	23.62	22,592	49,807
135,000	35,663	3.38	133.14	16.49	649	8.2	323	0.60	23.62	24,424	53,846
158,200	41,792	3.38	133.14	19.12	753	10.2	402	0.80	31.5	28,745	63,372
181,200	47,868	3.38	133.14	21.74	856	11.9	469	0.80	31.5	32,922	72,581
227,300	60,000	3.38	133.14	26.98	1,062	15.3	602	0.80	31.5	41,278	91,002
250,000	66,043	3.38	133.14	29.61	1,166	17	669	0.80	31.5	45,456	100,213
350,000	92,460	3.7	145.69	34.15	1,344	20.42	804	1.00	39.37	66,000	145,505

Figura F 21. Especificaciones del tanque de almacenamiento NH₃

Tanque almacenamiento CO₂. Proveedor: ASCO [47]

Pos. 002

ASCO CO₂ VT PU Storage Tank, 15t (33'069 lb)TÜV/PED

part no. 4046603

15t vertical, with a maximum filling weight of 14'700 kg (32'408 lb)

- diameter: 1'800 mm (71 in) / height: 7'300 mm (285 in)
- empty weight: approx. 5'300 kg (11'685 lb)
- working temperature: -40 °C to +50 °C

Safety valve setting 24 bar (348 psi), vessel made of carbon steel, PU insulated

Tank to be supplied complete with all pipework in stainless steel, valves and safety devices.

Incl.:

- back-up valves on filling liquid and gas line
- 2 liquid withdrawal valves
- 2 gas withdrawal valves
- refrigeration coil

Figura F 22. Especificaciones del tanque de almacenamiento CO₂

En tal sentido se ha desarrollado una estimación de los costos de los equipos, en donde se toma en cuenta el lugar de origen del equipo, al cual se le multiplica por un factor de localización de acuerdo al lugar de importación, y adicionalmente un factor de material relacionado al material si es de acero al carbono (x1) o de acero inoxidable (x1.3) [28], cuyos valores se encuentran en la tabla a continuación.

Tabla T 22. Costos de los equipos principales y auxiliares

Equipos	Costos	Lugar de origen	Factor de Localización	Cantidad	Factor Material	Total
Reactor	\$ 2,400,000.00	ITALIA	1.3	1	1.3	\$ 4,056,000.00
Separador	\$ 1,400,000.00	INDIA	1.5	1	1.3	\$ 2,730,000.00
Condensador	\$ 90,000.00	INDIA	1.5	1	1.3	\$ 175,500.00
Descomponedor de media presión	\$ 120,000.00	INDIA	1.5	1	1.3	\$ 234,000.00
Descomponedor de baja presión	\$ 114,000.00	INDIA	1.5	1	1.3	\$ 222,300.00
Torre de evaporación al vacío 0.3 bar	\$ 160,000.00	INDIA	1.5	1	1.3	\$ 312,000.00
Torre de evaporación al vacío 0.03 bar	\$ 130,000.00	INDIA	1.5	1	1.3	\$ 253,500.00
Torre de granulación	\$ 1,000,000.00	CHINA	1.9	1	1	\$ 1,900,000.00
Compresor CO ₂	\$ 30,000.00	CHINA	1.9	1	1	\$ 57,000.00
Bomba NH ₃	\$ 5,500.00	CHINA	1.9	1	1	\$ 10,450.00
Bombas	\$ 6,000.00	CHINA	1.9	4	1	\$ 45,600.00
Banda Transportadora	\$ 950.00	CHINA	1.9	3	1	\$ 5,415.00
Silo de almacenamiento previo	\$ 1,800.00	CHINA	1.9	1	1	\$ 3,420.00
Empacadora	\$ 7,000.00	CHINA	1.9	1	1	\$ 13,300.00
Tanque almacenamiento NH ₃	\$ 50,000.00	MEXICO	1.03	1	1.3	\$ 66,950.00
Tanque almacenamiento CO ₂	\$ 65,000.00	MEXICO	1.03	1	1.3	\$ 87,035.00
					TOTAL	\$ 10,172,470.00

8.5.2 Factores utilizados para la estimación económica.

Factor de Lang

En base a la bibliografía, el factor de Lang está basado en el tipo de procesamiento con el que se va a trabajar dentro del proyecto, y en función de aquello el valor de los costos de los equipos. El factor de Lang utiliza los siguientes factores [28].

Tabla T 23. Factor de Lang

Tipo de Procesamiento	Factor Lang
Sólidos	3
Fluidos	5
Mixto	4

En la tabla T 23, en función de trabajar con sólidos, fluidos o mixtos se multiplica el costo del equipo específico con el factor de Lang establecido.

Factor de Hand

El factor de Hand, se caracteriza por el costo de los equipos cuando ya se encuentran instalados, en tal sentido al costo del equipo se le debe multiplicar por el factor de instalación, detallado a continuación para los diferentes equipos existentes dentro del proyecto [28] .

Tabla T 24. Factor de instalación de Hand

Tipo de Equipo	Factor instalación Hand
Compresores	2.5
Columnas de Destilación	4
Calentadores a fuego	2
Intercambiadores de calor	3.5
Instrumentación	4
Equipos misceláneos	2.5
Tanques a presión	4
Bombas	4

En la tabla T 24, se pueden encontrar los factores a multiplicar, en función del equipo presente en el proyecto, sin embargo en el caso de que el equipo no se encuentre especificado dentro de la presente tabla, se debe multiplicar por el factor Equipos misceláneos.

Factor Detallado

Para el factor detallado, se consideran aspectos que en los 2 métodos previos no se toman en cuenta, en tal sentido es posible llegar a una estimación más detallada del costo [28]. Los factores se encuentran a continuación.

Tabla T 25. Factor Detallado

Factor	Factores Detallados de instalación			
	Información	Fluidos	Fluidos y Sólidos	Sólidos
fer	Erección del equipo	0.3	0.5	0.6
fp	Tuberías	0.8	0.6	0.2
fel	Eléctrico	0.2	0.2	0.15
fi	Instrumentación y control	0.3	0.3	0.2
fc	Civil	0.3	0.3	0.2
fs	Estructuras y edificios	0.2	0.2	0.1
fl	Pintura y revestimiento	0.1	0.1	0.05
fm	Material	Depende del material		

En la tabla T 25, se encuentran diferentes factores que se toman en cuenta para la determinación del costo de cada equipo; en primer lugar se escoge el tipo de procesamiento con el que se va a trabajar, posteriormente se suman los valores de los factores que requiera dicho equipo, un punto a tomar en cuenta es que el factor material ya sea de acero al carbono (x1) o de acero inoxidable (x1.3) [28], está relacionado con las tuberías del equipo en específico, por ejemplo el reactor (R-001) al encontrarse frente a niveles altos de corrosividad, debe ser de acero inoxidable y por ende las tuberías también para continuar con la linealidad del proceso, en tal sentido se añade dicho factor adicional.

Finalmente a continuación están los valores para cada equipo en función de cada factor desarrollado.

Tabla T 26. Costo de los equipos principales y auxiliares aplicados los 3 factores

Equipos	Cantidad	Total	Factor de Lang	Factor de Hand	Factor Detallado
Reactor	1	\$ 4,056,000.00	\$ 20,280,000.00	\$ 10,140,000.00	\$ 9,896,640.00
Separador	1	\$ 2,730,000.00	\$ 13,650,000.00	\$ 9,555,000.00	\$ 6,661,200.00
Condensador	1	\$ 175,500.00	\$ 877,500.00	\$ 438,750.00	\$ 428,220.00
Descomponedor de media presión	1	\$ 234,000.00	\$ 1,170,000.00	\$ 585,000.00	\$ 570,960.00
Descomponedor de baja presión	1	\$ 222,300.00	\$ 1,111,500.00	\$ 555,750.00	\$ 542,412.00
Torre de evaporación al vacío 0.3 bar	1	\$ 312,000.00	\$ 1,560,000.00	\$ 1,092,000.00	\$ 761,280.00
Torre de evaporación al vacío 0.03 bar	1	\$ 253,500.00	\$ 1,267,500.00	\$ 887,250.00	\$ 618,540.00
Torre de granulación	1	\$ 1,900,000.00	\$ 7,600,000.00	\$ 4,750,000.00	\$ 4,180,000.00
Compresor CO ₂	1	\$ 57,000.00	\$ 285,000.00	\$ 142,500.00	\$ 96,900.00
Bomba NH ₃	1	\$ 10,450.00	\$ 52,250.00	\$ 41,800.00	\$ 17,765.00
Bombas	4	\$ 45,600.00	\$ 228,000.00	\$ 182,400.00	\$ 77,520.00
Banda Transportadora	3	\$ 5,415.00	\$ 16,245.00	\$ 13,537.50	\$ 5,956.50
Silo de almacenamiento previo	1	\$ 3,420.00	\$ 10,260.00	\$ 8,550.00	\$ 5,814.00
Empacadora	1	\$ 13,300.00	\$ 39,900.00	\$ 33,250.00	\$ 11,970.00
Tanque almacenamiento NH ₃	1	\$ 66,950.00	\$ 334,750.00	\$ 267,800.00	\$ 163,358.00
Tanque almacenamiento CO ₂	1	\$ 87,035.00	\$ 435,175.00	\$ 348,140.00	\$ 212,365.40
		\$ 10,172,470.00	\$ 48,918,080.00	\$ 29,041,727.50	\$ 24,250,900.90

8.5.3 Capital de inversión fijo.

El capital de inversión fijo, está relacionado directamente con el costo de los equipos, habiendo desarrollado los análisis respectivos. En base a aquello, se toma en consideración el valor obtenido mediante el factor detallado cuyo valor está más a detalle con las especificaciones del proyecto. A partir de aquello, y bajo la guía del contenido de la presente propuesta se obtienen los siguientes valores.

Tabla T 27. Capital de inversión fijo en función de los 3 factores

	Factor de Lang	Factor de Hand	Factor Detallado
ISBL	\$ 48,918,080.00	\$ 29,041,727.50	\$ 24,250,900.90
OSBL	\$ 9,783,616.00	\$ 5,808,345.50	\$ 4,850,180.18
Ingeniería	\$ 3,424,265.60	\$ 2,032,920.93	\$ 1,697,563.06
Imprevistos	\$ 5,870,169.60	\$ 3,485,007.30	\$ 2,910,108.11
CF Inversión	\$ 67,996,131.20	\$ 40,368,001.23	\$ 33,708,752.25

8.5.4 Costos de producción del proyecto.

En base a los costos de producción, se tomaron en cuenta los variables y fijos. Dentro de los variables se encuentran las materias primas y costos de energía que tienen estrecha relación con la producción establecida, siendo las 100.000 toneladas de urea granulada al año.

Tabla T 28. Costos de energía

Consumo de Energía	19283.98	Kw/h
Costo Total	\$ 1774.13	\$/h
Costo de Energía al año	\$ 12,773,706.98	\$/año

En la tabla T 28, se encuentran los costos de energía en base al balance de energía desarrollado, y bajo la tasa de ELECPSO S.A para industrias en Cotopaxi [33].

Tabla T 29. Costos de materias primas

Materia Prima	Precio	Consumo kg/año	\$/año
CO ₂	22.78	371700.35	\$ 8,467,333.96
NH ₃	1.2	287223.07	\$ 344,667.68
		TOTAL	\$ 8,812,001.65

En la tabla T 29, se encuentra el costo de materias primas por año, en relación al balance de materia establecido.

Posteriormente, dentro de los costos fijos se encuentran los sueldos de los operarios, los cuales han sido establecidos en función del turno de trabajo que emplee, ya sea en la mañana, tarde, noche, feriados. Todo basado en la regulación estipulada por el IESS [31].

Tabla T 30. Costos de jornadas laborales

Turno	Cantidad de Personal	Sueldo individual / Año	Recargos	Sueldo total trabajadores / Año
1	40	\$ 5,760.00	\$ 1,728.00	\$ 299,520.00
2	40	\$ 6,060.00	\$ 1,818.00	\$ 315,120.00
3	40	\$ 6,180.00	\$ 1,854.00	\$ 321,360.00
4	40	\$ 6,276.00	\$ 1,882.80	\$ 326,352.00
			TOTAL	\$ 1,262,352.00

A partir de aquello, a continuación se muestran los costos de producción con los valores detallados, en base a la información estipulada dentro del presente estudio.

Tabla T 31. Costos de producción fijos y variables

Materias Primas	\$ 8,812,001.65
Energía	\$ 12,773,706.98
Operarios	\$ 1,262,352.00
Coordinación y Supervisión	\$ 60,000.00
Mantenimiento	\$ 337,087.52
Impuestos	\$ 202,252.51
Alquiler anual del terreno	\$ 120,000.00
Gastos Varios	\$ 101,126.26
Permisos Ambientales	\$ 269,670.02
Costos Fijos	\$ 2,352,488.31
Costos Variables	\$ 21,585,708.63
Total Costo de Producción	\$ 23,938,196.94

8.5.5 Flujo de caja, indicadores económicos y análisis de flexibilidad del proyecto.

El presente estudio está desarrollado para 10 años de vida útil, y un porcentaje de impuestos del 30% desglosado en impuestos a la renta, comercial, ambientales [32]. El flujo de caja se desarrolló tomando cuenta el capital de inversión fijo, costos de capital de trabajo, costos fijos y variables de producción.

El capital de trabajo, explicado en el contenido del presente estudio es esencial ya que comprende la cantidad necesaria en efectivo para arrancar con la producción, cuyo análisis se encuentra en base a las condiciones establecidas a continuación.

Tabla T 32. Condiciones del Capital de trabajo

Materias Primas	3 Semanas de consumo
Productos	Costo de producción de 3 semanas
Liquidez	Costo de producción de 1 semana
Obtención de créditos	Materia prima de 6 semanas
Repuestos	1.1% del ISBL + OSBL

Aquello que nos brinda los siguientes resultados.

Tabla T 33. Costos del Capital de trabajo

	\$/período	
Materias Primas	\$	205,613.37
Productos	\$	558,557.93
Liquidez	\$	558,557.93
Obtención de créditos	\$	558,557.93
Repuestos	\$	320,111.89
Total	\$	2,201,399.05

A continuación se presenta el cuadro de ingresos netos, en función de las condiciones establecidas dentro del proyecto, es decir la venta de urea comercial a \$49.99 por cada saco de 50 kg, teniendo en cuenta que la producción es paulatina y llega al 100% de su capacidad en el quinto año, lo que significaría producir un poco más de 2 millones de sacos de urea granulada desde el quinto año. Acompañado de los ingresos brutos a los cuales se le resta el 30% de impuesto a la renta por venta y comercialización, lo que permite llegar a los ingresos netos de cada año.

Tabla T 34. Ingresos Netos por la venta comercial

Nivel de producción	Año	Urea Producida (sacos de 50kg)	Venta	Ingresos Brutos	Impuesto 30%	Ingresos Netos
0%	1	0	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
0%	2	0	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
30%	3	600480	\$30,017,995.20	\$6,588,090.17	\$1,976,427.05	\$4,611,663.12
75%	4	1501200	\$75,044,988.00	\$51,615,082.97	\$15,484,524.89	\$49,638,655.92
100%	5	2001600	\$100,059,984.00	\$76,630,078.97	\$22,989,023.69	\$61,145,554.08

Oportunamente para el desarrollo del flujo de caja, respecto a los costos, se tomó en cuenta los siguientes factores para la producción paulatina.

Tabla T 35. Detalle de la producción paulatina

Año	Costo	Detalle
1	30% Capital Fijo	Ingeniería y artículos con tiempos extensos de entrega
2	50% Capital Fijo	Adquisición y construcción
3	20% Capital Fijo + Capital de trabajo + Costo de Produccion Fijos + 30% Costos de produccion variables	Construcción y producción inicial
4	Costo de produccion fijos + 60% costo de produccion variables	Puesta a punto de la planta
5	Costo de produccion fijos + costos de produccion variables	Producción total según las bases de diseño

A partir de aquello, en base a los ingresos netos y costos de producción fijos y variables, se ha desarrollado el flujo de caja a detalle, el cual se encuentra a continuación.

Tabla T 36. Flujo de Caja del estudio de factibilidad

Año	Costos [\$/año]	Ingresos [\$/año]	Flujo Caja	Flujo Caja Acumulado
1	10.11	0	-10.11	-10.11
2	16.85	0	-16.85	-26.96
3	17.74	4.6	-13.14	-40.1
4	15.25	49.64	34.39	-5.71
5	23.85	61	37.15	31.44
6	23.85	61	37.15	68.59
7	23.85	61	37.15	105.74
8	23.85	61	37.15	142.89
9	23.85	61	37.15	180.04
10	23.85	61	37.15	217.19

A continuación se presentan las gráficas de los flujos de caja, en base a los análisis de flexibilidad de acuerdo a los 3 escenarios determinados dentro del presente estudio.

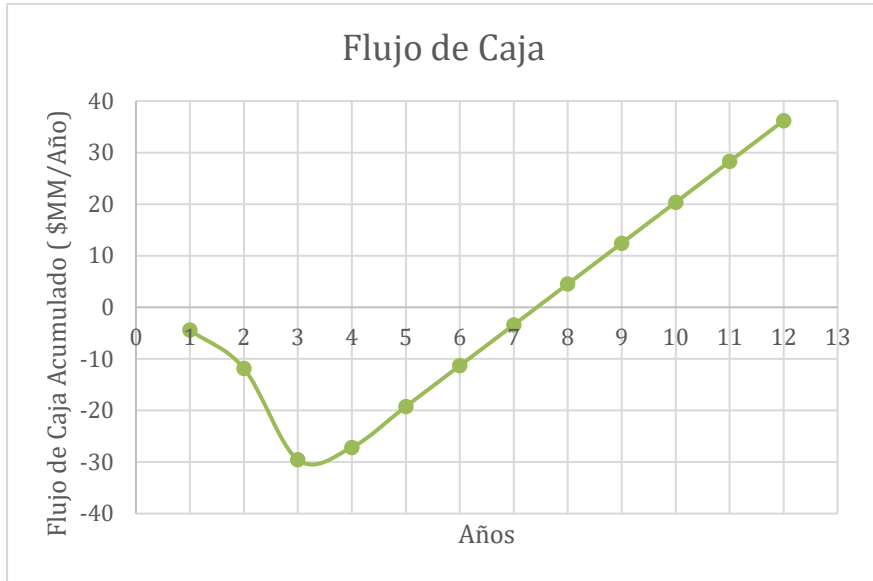


Figura F 25. Flujo de Caja del Escenario 1

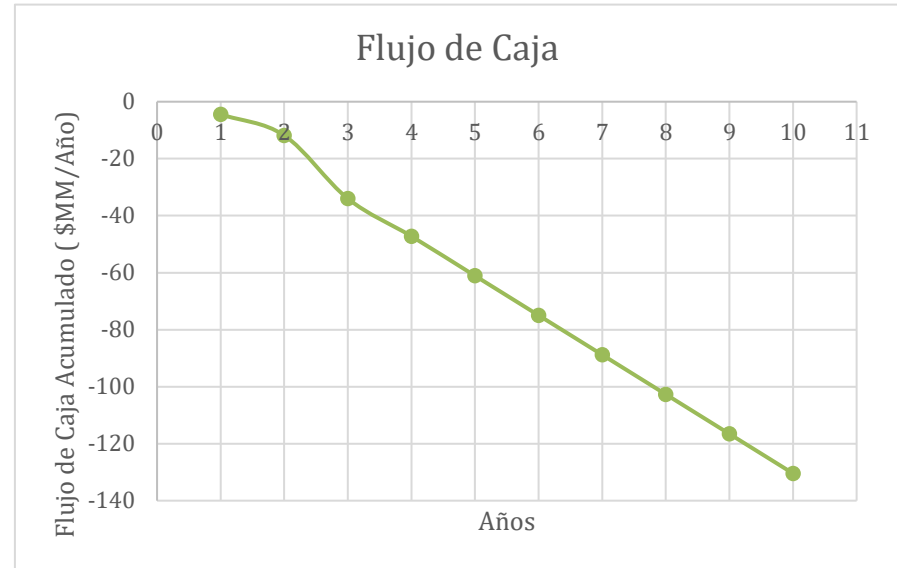


Figura F 24. Flujo de Caja del Escenario 2

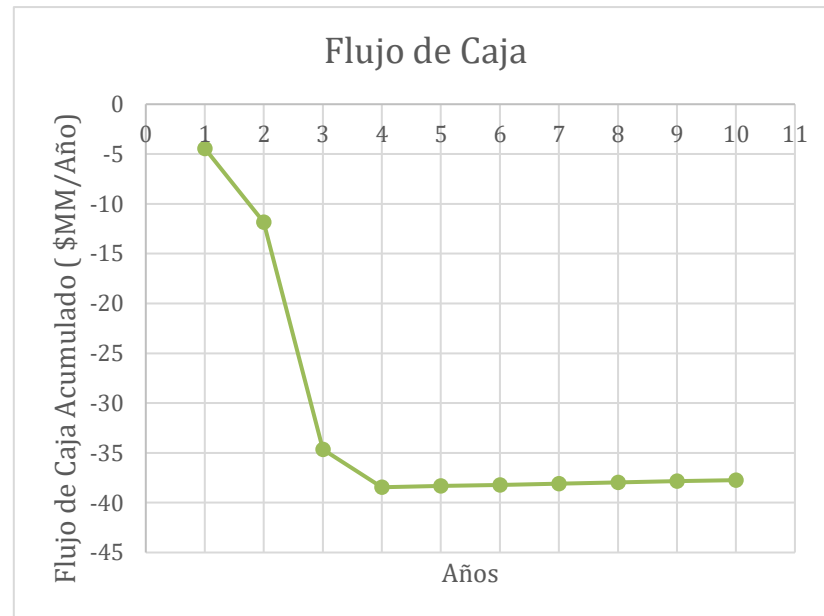


Figura F 23. Flujo de Caja del Escenario 3

En base a los flujos de caja tanto del presente estudio, como de los 3 escenarios de flexibilidad establecidos, es posible determinar los indicadores económicos:

VAN:

$$VAN = \sum_{i=0}^n \frac{F * Ci}{(1 + r)^i}$$

TIR: Utilizando la función propia de Excel.

PRI:

$$PRI = \frac{\text{Inversión inicial}}{\text{Utilidad año 1}}$$

Tabla T 37. Resultados de los indicadores económicos

	Escenario estudio del Proyecto	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
VAN (USD)	45.65	7	2.1	-14.63
TIR	0.68	0.38	0.32	0
PRI (años)	6	12	indefinido	indefinido

El detalle particular presenta el escenario 2, que a pesar de tener indicadores económicos positivos, es necesario remitirse al flujo de caja para obtener información más a detalle de la rentabilidad del proyecto en esas condiciones.