

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y AGROINDUSTRIA

**DISEÑO DE UNA PLANTA PARA EL APROVECHAMIENTO Y/O
TRATAMIENTO DE DESECHOS Y SUBPRODUCTOS DE LA
PLANTA DE PRODUCCIÓN DE ÁCIDO CÍTRICO A PARTIR DE
RESIDUOS DE PIÑA**

**DISEÑO DE UN PROCESO PARA EL APROVECHAMIENTO DE LA
TORTA DE FILTRACIÓN Y EL REFINADO ACUOSO GENERADOS
EN LA PRODUCCIÓN DE ÁCIDO CÍTRICO A PARTIR DE
RESIDUOS DE PIÑA**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA QUÍMICA**

JEIMY NOEMI PUJOTA CUZCO

jeimy.pujota@epn.edu.ec

DIRECTOR: LORENA IMELDA JARAMILLO BOLAÑOS

lorena.jaramillo@epn.edu.ec

DMQ, febrero, 2022

CERTIFICACIONES

Yo, Jeimy Noemi Pujota Cuzco, declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

JEIMY PUJOTA

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por Jeimy Noemi Pujota Cuzco, bajo mi supervisión.

LORENA JARAMILLO
DIRECTOR

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el producto resultante del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

JEIMY PUJOTA

LORENA JARAMILLO

DEDICATORIA

A mi madre, Gloria, quien aprendió a caminar a contracorriente.

AGRADECIMIENTO

A la persona más importante en mi vida, mi mamá, gracias por ser la fuerza que me ayuda a seguir, por apoyarme y animarme siempre, gracias por todo el esfuerzo que ha puesto en mi educación académica y humana. Si existe otra vida, espero volver a nacer como su hija.

A mis hermanas, Daisy, Andrea y Melanie, por creer en mí incluso cuando yo no lo hacía, y alegrarme con sus historias.

A cada docente que he tenido, quienes me ayudaron a descubrir el mundo y la ciencia.

Y a Twice, quienes me han dado energía incluso en los momentos más difíciles.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	IV
RESUMEN	XI
ABSTRACT	XII
1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO	1
1.1 Objetivo general	2
1.2 Objetivos específicos	2
1.3 Alcance	2
1.4 Antecedentes	3
1.5. Alternativas tecnológicas	4
1.5.1 Torta de filtración (Biomasa)	4
1.5.2 Refinado acuoso	10
1.5.3 Mercado del suplemento alimenticio animal	12
1.5.4 Producto	13
2 DESCRIPCIÓN DETALLADA DEL PROCESO	14
2.1 Molienda	14
2.2 Mezclado	14
2.3 Extrusión	14
2.4 Secado	15
2.5 Enfriamiento	15
3 BASES Y CRITERIOS DE DISEÑO	16
3.1 Condiciones de operación	16
3.2 Presión y temperatura de operación	16
3.3 Premisas establecidas para el diseño	16
3.4 Criterios de diseño de equipos primarios	17
3.4.1 Molienda	17
3.4.2. Mezclado	21
3.4.3 Extrusión	23
3.4.4. Secado	24

3.4.5. Enfriamiento	31
3.4.6. Tanque de almacenamiento	32
3.5 Criterios de diseño de equipos secundarios	37
3.5.1 Bandas transportadoras	37
3.5.2 Tuberías y bombas	38
3.5.3 Compresores	41
4 DISEÑO DE LA PLANTA	42
4.1 Balance de masa de la producción de suplemento alimenticio animal	42
4.1.1 Molienda	42
4.1.2 Mezclado	42
4.1.3 Extrusión	43
4.1.4. Secado	44
4.1.5 Enfriamiento	45
4.1.6 Empacado	45
4.2 Balance de masa del proceso de recirculación	46
4.3 Balance de energía	47
4.3.1. Secado	47
4.3.2 Enfriamiento	52
4.4 Dimensionamiento y especificaciones de los equipos	54
4.4.1 Dimensionamiento de equipos principales	54
4.4.2 Dimensionamiento de equipos secundarios	75
4.5 Hojas de especificaciones de los equipos	80
4.6 Planificación de la producción	87
4.7 Layout	89
4.8 Diagrama de flujo (PFD)	91
4.9 Diagrama de tubería e instrumentación (P&ID)	95
5 ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD ECONÓMICA	102
5.1 Estudio financiero	102
5.2 Evaluación financiera	105
6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	108
6.1 Conclusiones	108
6.2 Recomendaciones	109
7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	110
ANEXOS	115

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Corrientes de salida generadas en la producción de ácido cítrico	4
Tabla 1.2. Corrientes de salida generadas en la producción de ácido cítrico	6
Tabla 1.3. Porcentaje de proteína bruta y nitrógeno total en residuos agroindustriales luego de FES con el hongo <i>Aspergillus Niger</i>	7
Tabla 1.4. Composición bromatológica de los residuos de piña	7
Tabla 1.5. Comparación de alternativas tecnológicas	9
Tabla 1.6. Comparación de procesos para la producción de suplemento alimenticio	10
Tabla 1.7. Comparación de alternativas tecnológicas para el refinado acuoso	12
Tabla 1.8. Composición de suplementos nutricionales para animales	13
Tabla 1.9. Composición del suplemento alimenticio	13
Tabla 3.1. Presión y temperatura de operación	16
Tabla 3.2. Especificaciones para tanques de almacenamiento de fondo plano conforme al Código API 650	32
Tabla 3.3. Velocidades comunes de succión y descarga en bombas	38
Tabla 4.1. Balance de masa en la molienda	42
Tabla 4.2. Balance de masa en el mezclado	43
Tabla 4.3. Balance de masa de la extrusión	44
Tabla 4.4. Balance de masa del secado	44
Tabla 4.5. Balance de masa del enfriamiento	45
Tabla 4.6. Balance de masa del empacado	46
Tabla 4.7. Balance de masa en la etapa de hidratación sin reciclo	46
Tabla 4.8. Balance de masa en la hidratación con reciclo	46
Tabla 4.9. Número de impactos requeridos en la molienda del material	61
Tabla 4.10. Hoja de especificaciones del molino de martillos	81
Tabla 4.11. Hoja de especificaciones del molino de la mezcladora de paletas	82
Tabla 4.12. Hoja de especificaciones del extrusor	83
Tabla 4.13. Hoja de especificaciones del secador rotativo	84

Tabla 4.14. Hoja de especificaciones del enfriador de aire a contracorriente	85
Tabla 4.15. Hoja de especificaciones del tanque de almacenamiento	86
Tabla 4.16. Distribución de trabajos en la producción de suplemento alimenticio	87
Tabla 5.1. Inversión del proyecto	102
Tabla 5.2. Costos fijos anuales	103
Tabla 5.3. Costos variables anuales	104
Tabla 5.4. Costos anuales de producción	104
Tabla 5.5. Flujo de caja del proyecto	106

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Diagrama de bloques de la producción de ácido cítrico	3
Figura 1.2. Diagrama de bloques para la producción de combustible	5
Figura 1.3. Diagrama de bloques de la alternativa 1	8
Figura 1.4. Diagrama de bloques de la alternativa 2	8
Figura 1.5. Diagrama de bloques de la recirculación del efluente	11
Figura 3.1. Esquema del impacto dentro de un molino de martillos	18
Figura 3.2. Esquema de las dimensiones de la mezcladora	21
Figura 3.3. Efecto de la humedad del material extruido en relación con el coste de producción y la eficiencia alimentaria	24
Figura 3.4. Curva de secado	25
Figura 3.5. Variación de la temperatura en un secador continuo a contracorriente	26
Figura 3.6. Relación temperatura - humedad en un secador continuo	27
Figura 3.7. Zonas de secado a bajas temperaturas	28
Figura 3.8. Esfuerzos permitidos en diferentes materiales (kg/cm ²)	36
Figura 3.9. Detalles de bandas transportadoras con rodillos	37
Figura 4.1. Diagrama de bloques del proceso de molienda	42
Figura 4.2. Diagrama de bloques del proceso de mezclado	43
Figura 4.3. Diagrama de bloques del proceso de extrusión	43
Figura 4.4. Diagrama de bloques de la etapa de secado	44
Figura 4.5. Diagrama de bloques de la etapa de enfriamiento	45
Figura 4.6. Diagrama de bloques del proceso de empaçado	45
Figura 4.7. Diagrama simplificado del secador y sus corrientes principales	47
Figura 4.8. Factores de seguridad en el diseño de equipos	54
Figura 4.9. Diagrama de Gantt	88
Figura 4.10. Layout de la planta	90
Figura 4.11. Diagrama de flujo de la producción de suplemento alimenticio animal	92
Figura 4.12. Diagrama de flujo de la recirculación del refinado acuoso	93

Figura 4.13. Nomenclatura y simbología empleada en los diagramas de flujo	94
Figura 4.14. Diagrama de tubería e instrumentación de la producción de suplemento alimenticio animal. Plano 1	96
Figura 4.15. Diagrama de tubería e instrumentación de la producción de suplemento alimenticio animal. Plano 2	97
Figura 4.16. Diagrama de tubería e instrumentación de la producción de suplemento alimenticio animal. Plano 3	98
Figura 4.17. Diagrama de tubería e instrumentación de la producción de suplemento alimenticio animal. Plano 4	99
Figura 4.18. Diagrama de tubería e instrumentación de la recirculación del refinado acuoso	100
Figura 4.19. Nomenclatura y simbología empleada en los diagramas de tubería e instrumentación	101

RESUMEN

En el procesamiento de residuos de piña para la producción de ácido cítrico se generan 69440,98 kg/día de torta de filtrado y 116 586,03 kg/día de refinado acuosos, como subproductos, los cuales impactan de manera negativa en el ambiente. Debido a esto, el presente trabajo tiene como objetivo el establecimiento de alternativas tecnológicas que permitan el aprovechamiento y/o tratamiento de los dichos subproductos, su diseño, y el análisis financiero de la planta elaborada.

Para ello, se estudiaron las características de la torta de filtrado compuesta por micelio de hongo *Aspergillus Niger* y residuos no fermentados, y considerando el mercado de balanceados para animales, en el Ecuador, se diseñó una planta para la producción de suplemento alimenticio animal (balanceado). Respecto al refinado acuoso, al ser un efluente compuesto casi en su totalidad de agua, se decidió recircularlo a la etapa de hidratación, siendo necesario el diseño de un tanque para su almacenamiento en planta, y de la tubería que lo dirige desde la columna de extracción reactiva hacia dicho tanque.

En el diseño de la planta primero se definió el proceso tecnológico, el cual consta de: molienda, mezclado, extrusión, secado y enfriamiento. Una vez definidas las operaciones se establecieron las bases y criterios de diseño tanto para los equipos principales como para los secundarios. Posteriormente se realizaron los balances de masa y energía, determinando una producción diaria de 1780 bolsas de 40 kg de producto.

Tras determinar los flujos y las condiciones de operación se procedió a realizar el dimensionamiento de los equipos requeridos tanto para la producción del suplemento alimenticio como para la recirculación, y la selección de equipos en catálogos, a excepción del secador rotatorio y el tanque de almacenamiento, los cuales serán construidos de acuerdo al diseño realizado.

La planta diseñada ocupará un total de 2 244 m² y requiere de 28 personas entre administrativos y operarios. Finalmente, tras elaborar los diagramas de flujo y de tubería e instrumentación, se realizó el análisis financiero. En este se determinó una TIR del 325 % y un VAN de USD 11.816.205,03, valores atribuidos al costo nulo de la materia prima principal, los cuales indican que la planta es viable económicamente.

PALABRAS CLAVE: refinado acuoso, torta de filtrado, recirculación, secador rotatorio

ABSTRACT

In the processing of pineapple residues for the production of citric acid, 69440.98 kg/day of filter cake and 116 586.03 kg/day of aqueous refining are generated as by-products, which have a negative impact on the environment. Due to this, the present work has as its objective the establishment of technological alternatives that allow the use and/or treatment of these by-products, their design, and the financial analysis of the plant developed.

To this end, the characteristics of the filter cake composed of *Aspergillus Niger* mycelium and unfermented residues were studied, and considering the animal feed market in Ecuador, a plant was designed for the production of animal feed supplement (balanced). Regarding the aqueous refining, being an effluent composed almost entirely of water, it was decided to recirculate it to the hydration stage, being necessary to design a tank for its storage in the plant, and the piping that directs it from the reactive extraction column to the tank.

In the design of the plant, the technological process was first defined, which consists of: milling, mixing, extrusion, drying and cooling. Once the operations were defined, the bases and design criteria were established for both the main and secondary equipment. Subsequently, mass and energy balances were carried out, determining a daily production of 1780 bags of 40 kg of product.

After determining the flows and operating conditions, the equipment required for the production of the feed supplement and for recirculation was sized and selected from catalogs, with the exception of the rotary dryer and the storage tank, which will be built according to the design.

The designed plant will occupy a total of 2,244 m² and will require 28 people, including administrative and operating personnel. Finally, after preparing the flow, piping and instrumentation diagrams, the financial analysis was carried out. This determined an IRR of 325 % and an NPV of USD 11,816,205.03, values attributed to the zero cost of the main raw material, which indicate that the plant is economically viable.

KEYWORDS: aqueous refining, filter cake, recirculation, rotary dryer

1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO

En la “Producción de ácido cítrico a partir de residuos de piña” se generan subproductos como la torta de filtrado (biomasa) y refinado acuoso compuesto por agua y ácido cítrico (1704,6 mg/L). Los subproductos generados en las diferentes industrias son un problema a nivel mundial, debido a su bajo aprovechamiento y/o deficiente disposición final, lo cual contribuye a la contaminación ambiental (Vargas y Pérez, 2018).

Los subproductos obtenidos en la producción de ácido cítrico poseen un alto potencial de aprovechamiento, la biomasa fúngica se considera un sustituto prometedor para el reemplazo de ingredientes de origen animal y vegetal en la alimentación de ganados, debido a su contenido proteico.

Estudios han demostrado que dicha biomasa procesada, al igual que ciertos productos extraídos de levaduras, microalgas y bacterias, tienen impactos positivos sobre el crecimiento y la modulación inmunológica de animales acuáticos (Gamboa, et. al, 2017). Además, posee un poder calorífico inferior (PCI) cercano a 18,4 MJ/Kg, el cual podría ser aprovechado en la generación de energía a través de la combustión (Aguilar, 2019, p. 7). Por otro lado, el refinado acuoso es el único efluente generado, este, al estar constituido básicamente de agua y ácido cítrico es susceptible de recirculación a la etapa de hidratación en la producción del ácido cítrico.

En este contexto, el presente trabajo de integración curricular propone alternativas tecnológicas para el aprovechamiento de los subproductos generados en la producción de ácido cítrico a partir de residuos de piña. Para ello, con base en una extensa revisión bibliográfica se plantearán y seleccionarán opciones de transformación de los subproductos, se realizará una descripción detallada de los procesos y se definirán las bases y criterios de diseño. A continuación, se realizarán los balances de masa y energía, los diagramas PFD y P&ID, el dimensionamiento y selección de equipos, layout, y se finalizará con el análisis de la factibilidad técnica y económica de las alternativas seleccionadas.

1.1 Objetivo general

Diseñar el proceso de aprovechamiento y/o tratamiento de los efluentes líquidos y residuos sólidos generados durante la producción de ácido cítrico a partir de residuos de piña.

1.2 Objetivos específicos

1. Establecer alternativas tecnológicas para el aprovechamiento de los subproductos obtenidos durante la producción de ácido cítrico a partir de residuos de piña, con base en sus características fisicoquímicas y el mercado.
2. Diseñar el proceso para aprovechar los residuos sólidos (biomasa) generados en el proceso de filtración mediante la elaboración de suplemento alimenticio para animales.
3. Diseñar el proceso de recirculación del refinado acuoso resultante de la extracción reactiva hacia la operación de hidratación de los residuos de piña fermentados, en la producción de ácido cítrico.

1.3 Alcance

El alcance del proyecto consiste en el diseño de alternativas tecnológicas para el aprovechamiento y/o tratamiento de los subproductos generados en la producción de ácido cítrico a partir de residuos de piña, lo cual consiste en:

1. Se plantearán y seleccionarán alternativas tecnológicas para el aprovechamiento y/o tratamiento de los subproductos con base en una revisión bibliográfica de las características y flujo másico de cada subproducto.
2. A través de una revisión bibliográfica se realizará la descripción detallada del proceso y la determinación de los criterios de diseño para las alternativas tecnológicas seleccionadas.
3. Se realizarán los balances de masa y energía para el proceso de aprovechamiento de la torta de filtración (subproducto) generada.
4. Se elaborará el diagrama de flujo (PFD) y el diagrama de tubería e instrumentación (P&ID) del proceso de aprovechamiento de la torta de filtración, incluyendo el dimensionamiento de todas las tuberías.

5. Se realizará el dimensionamiento y la selección de equipos para cada operación unitaria descrita en el proceso de aprovechamiento de la torta de filtración.
6. Se realizará el análisis de la factibilidad técnica de las alternativas propuestas, y se elaborará un escrito final.

1.4 Antecedentes

En la asignatura de diseño de plantas se desarrolló la propuesta tecnológica para la producción de ácido cítrico a partir de residuos de piña. En dicha planta se consideró una alternativa tecnológica basada en la fermentación en estado sólido (FES) como proceso generador del ácido, y de extracción reactiva para su purificación, tal como se muestra en la Figura 1.1, obteniendo ácido cítrico anhidro con una pureza del 99,5 % y características similares a los productos de importación.

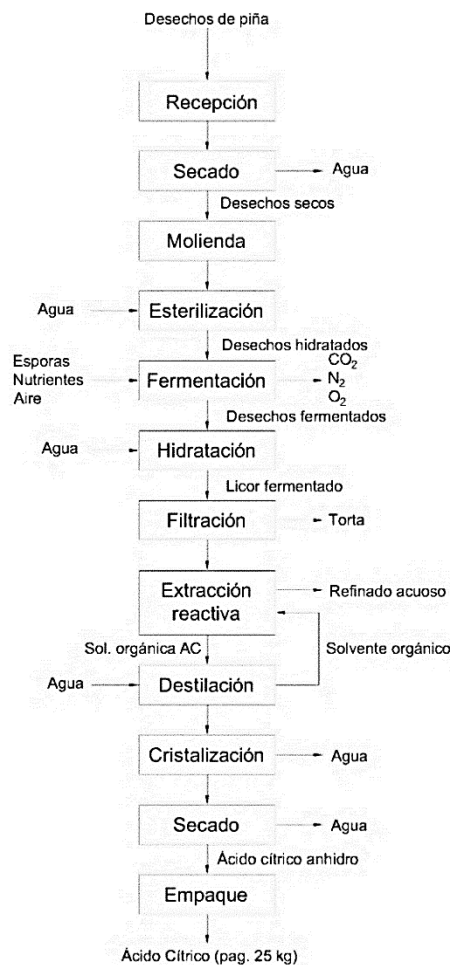


Figura 1.1. Diagrama de bloques de la producción de ácido cítrico

La capacidad de procesamiento de la planta de ácido cítrico es de 47 457 kg /día de residuos de piña, con una producción estimada de 4241,54 kg/día de ácido cítrico, es decir, 169 sacos de 25 kg diarios. De acuerdo a la Figura 1.1, las corrientes de salida se presentan en la Tabla 1.1.

Tabla 1.1. Corrientes de salida generadas en la producción de ácido cítrico

Proceso	Salidas	Cantidad (kg/día)	Detalles
Secado 1 (R 96%)	Agua	23 728,50	Vapor de agua
Fermentación	O ₂	199,23	8 633,44 kg gases/día
	Nitrógeno	7 213,86	
	CO ₂	1 220,34	
Filtración	Torta	69 440,98	Biomasa: micelio y desechos no fermentados
Extracción reactiva	Refinado acuoso	116 586,03	116 387,17 kg agua/día 198,86 kg ácido cítrico/día > 1% p/p AC; 1704,6 mg/L
Cristalización	Agua	4 001,37	Vapor de agua
Secado 2	Agua	200,92	Vapor de agua

Como se observa en la Tabla 1.1, en el proceso de elaboración del ácido cítrico se generan dos subproductos: refinado acuoso y torta de filtrado (biomasa). El refinado acuoso se produce en la extracción reactiva, y tal como su nombre lo indica, es una solución acuosa de ácido cítrico (1704,6 mg/L). Por otra parte, la torta de filtración es biomasa compuesta por micelio del hongo, residuos de piña no fermentados y agua.

1.5. Alternativas tecnológicas

1.5.1 Torta de filtración (Biomasa)

De acuerdo a la Tabla 1.1, diariamente se producen 69 440,98 kg de biomasa, la cual está compuesta por micelio del hongo *Aspergillus Niger*, desechos no fermentados y agua (15% p/p). Para su aprovechamiento se plantean dos alternativas, la primera es su uso como combustible para el caldero en la producción de vapor de agua, y la segunda su uso como materia prima en la elaboración de insumo alimenticio para animales.

- **Combustible**

Esta opción plantea aprovechar el poder calorífico inferior (PCI) de la biomasa generada, cuyo valor es cercano a 18,4 MJ/Kg, mediante la reducción de su humedad del 15 al 5% con el fin de generar energía a través de la combustión (Aguilar, 2019, p. 7).

En la planta de ácido cítrico, se emplean aproximadamente 966 galones de diésel al mes para la generación de vapor, lo cual, considerando el costo actual de este combustible en el mercado ecuatoriano (USD 1,90), representa un costo de USD 1 835.

El PCI del diésel es de 43,1 MJ/Kg (Bastidas & Bolaños, 2014), mientras el de la biomasa agrícola es de 18,4 MJ/Kg, por lo cual, se requiere de 2,3 veces más masa para obtener el calor requerido. Es decir, mensualmente se consumirán 7 280 kg de biomasa al 5% de humedad.

La Figura 1.2 presenta el diagrama de bloques del proceso para la conversión de la biomasa en combustible.

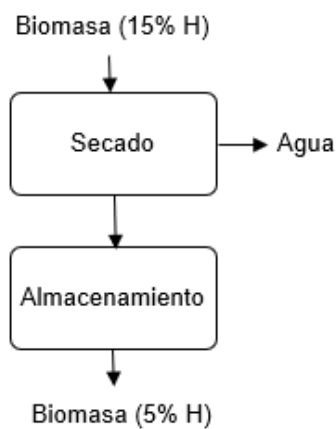


Figura 1.2. Diagrama de bloques para la producción de combustible

En referencia a la Figura 1,2, el proceso para el uso de la biomasa como combustible requiere únicamente de un proceso de secado para su posterior almacenamiento.

- **Suplemento alimenticio animal**

La biomasa fúngica se considera un sustituto prometedor para ingredientes de origen animal y vegetal en la alimentación de ganados, debido a su contenido proteico. Estudios han demostrado que dicha biomasa procesada, al igual que ciertos productos extraídos de levaduras, microalgas y bacterias, tienen impactos positivos sobre el crecimiento y la modulación inmunológica de animales acuáticos (Gamboa, et. al, 2017).

Conforme a lo descrito por Aguilar, Camacho y Serrat (2014), tras 72 horas de fermentación de residuos orgánicos con el hongo filamentoso *Aspergillus Niger*, se tiene una disminución del pH gracias a la generación de ácidos orgánicos, e incrementa el nitrógeno total. Dado que en la producción de ácido cítrico se tienen 144 horas de fermentación, se puede considerar que la biomasa generada posee un contenido importante de ácidos orgánicos y nitrógeno total.

El microorganismo *Aspergillus Niger*, al ser un hongo filamentoso está compuesto por: proteínas, carbohidratos, lípidos, ácidos nucleicos, vitaminas, entre otros. La Tabla 1.2 presenta la composición porcentual de determinados microorganismos (Chacón, 2004).

Tabla 1.2. Corrientes de salida generadas en la producción de ácido cítrico

Componente	Hongos filamentosos	Algas	Levaduras	Bacterias
Grasa (%)	2 - 8	7 - 20	2 - 6	1,5 - 3
Proteína (%)	30 - 50	40 - 63	45 - 56	50 - 83
Aminoácidos (%)	-	-	54	65
Ácidos nucleicos	7 - 10	3 - 8	6 - 12	8 - 16
Humedad (%)	13	6	4,5	2,8
Cenizas (%)	9 - 14	8 - 10	5 - 9,5	3 - 7

(Chacón, 2004)

Como se observa en la Tabla 1.2, los hongos filamentosos tienen un alto contenido proteico, por lo cual, mejoran la composición de la biomasa.

Se ha estudiado el enriquecimiento proteico de residuos agroindustriales con *Aspergillus Niger*, dando como resultado un incremento del 50% en la cantidad de proteína de los residuos, como se presenta en la Tabla 1.3 (Aguilar, Camacho y Serrat, 2014).

Tabla 1.3. Porcentaje de proteína bruta y nitrógeno total en residuos agroindustriales luego de FES con el hongo *Aspergillus Niger*

Componente	Nitrógeno total (%)	Proteína Bruta (%)	Incremento	
			Nitrógeno total (%)	Proteína Bruta (%)
Cascarilla	1,92	12,0	-	-
Torta	1,68	10,5	-	-
C / Hongo A	4,10	25,62	2,18	13,62
C / Hongo B	3,61	22,56	1,69	10,56
T / Hongo A	3,39	21,18	1,71	10,68
T / Hongo A	2,33	14,56	0,65	4,06

(Aguilar, Camacho y Serrat, 2014)

Como se observa en la Tabla 1.3, mediante la fermentación en estado sólido, el contenido de proteína bruta y nitrógeno total se duplican.

La composición de los residuos de piña conforme a lo descrito por Elizondo y Campos (2014), en conjunto con el trabajo de Lopez, WingChing y Rojas (2014), se muestra en la Tabla 1.4.

Tabla 1.4. Composición bromatológica de los residuos de piña

Componente	Cáscara	Cáscara y pulpa	Residuos + 1% urea
Celulosa (%)	19,41	22,2	21,50
Proteína (%)	7,51	8,2	18
Lignina (%)	12,45	4,7	13,53
Hemicelulosa (%)	18,63	27,7	15,89
Carbohidratos no fibrosos (%)	37,5	17,6	-
Nutrientes digestibles totales (%)	59,2	60,2	-
Cenizas (%)	4,02	8,8	4,31

(Elizondo y Campos, 2014; Lopez, WingChing y Rojas, 2014)

Con base en la información de las Tablas 1.3 y 1.4, se puede considerar que la biomasa resultante en la producción de ácido cítrico, en la etapa de fermentación, sufre un enriquecimiento proteico alcanzando el 18% de proteína cruda. Además, dicho contenido proteico puede crecer considerablemente con la adición de 1% de peso de urea. Por lo tanto, la composición de la biomasa es adecuada para ser empleado como suplemento nutricional y competir con los productos existentes en el mercado.

Para la elaboración de suplemento alimenticio animal se consideran dos alternativas, la primera consta de un proceso de molienda, mezclado, esterilización, secado, enfriamiento

y empacado, con el fin de obtener un producto en polvo, tal como se muestra en la Figura 1.3.

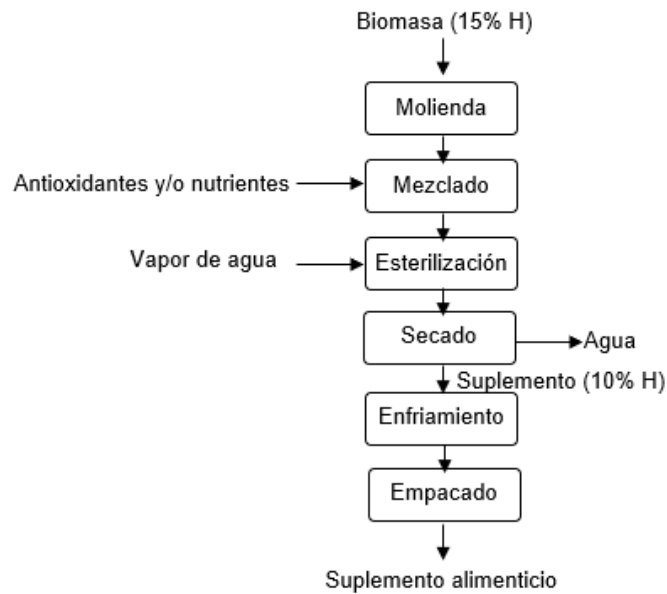


Figura 1.3. Diagrama de bloques de la alternativa 1

La segunda alternativa, descrita en la Figura 1.4, considera un proceso de molienda, mezclado, extrusión, secado, enfriamiento y empacado, generando un producto extruido.

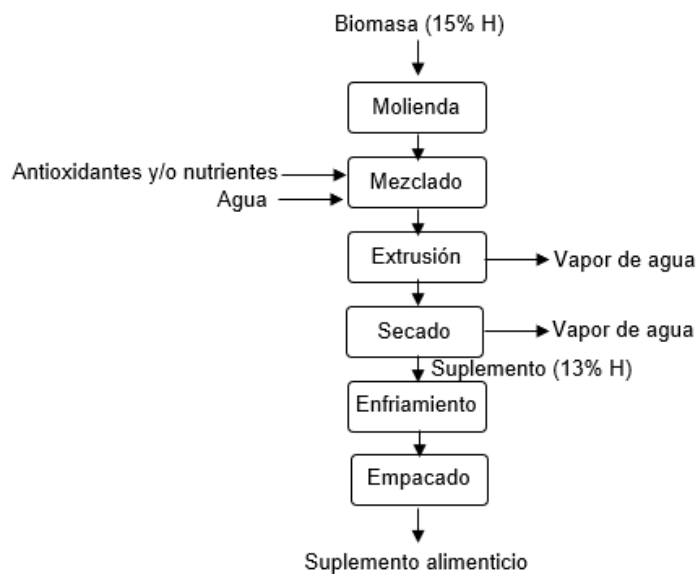


Figura 1.4. Diagrama de bloques de la alternativa 2

- **Selección de alternativa tecnológica**

Con el objetivo de determinar la mejor alternativa tecnológica para la biomasa generada, se realiza la comparación semi-cualitativa de los aspectos tecnológicos, higiénicos y económicos asociados a cada alternativa, esto en una escala del 1 al 10. Para ello se consideran los siguientes aspectos:

- Rentabilidad financiera: la alternativa seleccionada debe reducir los costos de producción de la planta de ácido cítrico y/o generar ganancias adicionales.
- Disponibilidad de equipos e instrumentos (tecnología) en el país: se califica la existencia de la maquinaria a emplearse dentro del país, o en su defecto, los costes de la importación de equipos.
- Generación de residuos: la alternativa seleccionada debe generar la menor cantidad de subproductos y/o residuos posibles.
- Requerimiento de materias primas: se evalúa el requerimiento de materias primas adicionales, mientras menor sea el número de compuestos requeridos, mayor será la calificación.
- Requerimiento de personal: se evalúa el número de personas que se va a necesitar para cumplir con la alternativa.
- Impacto social positivo: analiza la cantidad de empleos que puede ofrecer.

La Tabla 1.5 presenta la evaluación de las alternativas tecnológicas propuestas.

Tabla 1.5. Comparación de alternativas tecnológicas

Aspecto	Valor porcentual	Combustible	Suplemento alimenticio para animales
Rentabilidad financiera	25%	5	9
Existencia de la tecnología en el país	15%	8	8
Generación de residuos	25%	4	8
Requerimiento de materias primas	15%	9	6
Requerimiento de personal	10%	7	7
Impacto social positivo	10%	6	7
Total	100%	6,1	7,8

Con un valor de 7,8 sobre 10, la producción de suplemento alimenticio para animales es la alternativa que mejor se acopla para el aprovechamiento de los residuos generados.

Una vez determinada la alternativa tecnológica se selecciona el proceso productivo conforme a los aspectos detallados en la Tabla 1.6.

Tabla 1.6. Comparación de procesos para la producción de suplemento alimenticio

Aspecto	Valor porcentual (%)	Alternativa 1	Alternativa 2
Diversidad de mercado	30%	6	9
Existencia de la tecnología en el país	15%	7	7
Baja generación de residuos	15%	8	8
Facilidad de operación de los equipos	15%	7	8
Facilidad de instalación y operación de los equipos	15%	6	7
Uso de suelo	10%	6	8
Total	100%	6,6	8

La alternativa 1 obtuvo un valor de 6,6 sobre 10, mientras la alternativa 2 alcanzó 8, esto se debe principalmente a que el suplemento alimenticio extruido puede abarcar una mayor diversidad de mercado (Mendoza, 2014). Por lo tanto, la segunda alternativa será la que se desarrolle.

1.5.2 Refinado acuoso

De acuerdo a lo descrito en la Tabla 1.1, el principal efluente en la producción de ácido cítrico es el refinado acuoso procedente la extracción reactiva, con un flujo de 116 586,03 kg/día, cuya concentración de ácido cítrico es de 1704,6 mg/L. Considerando las características del efluente se plantea su recirculación, o el tratamiento del mismo en una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR).

- **Recirculación del refinado acuoso**

En la etapa de hidratación se requiere de 126 803,23 kg de agua por día, considerando la composición de refinado acuoso, se pueden recircular 116 586,03 kg/día del total, y complementar el resto con agua fresca. De esta manera se reducirá el consumo de agua,

y, por ende, el gasto que se tiene en esta materia prima. La corriente sale a una temperatura de 27°C y presión atmosférica. El proceso se ilustra en la Figura 1.5.

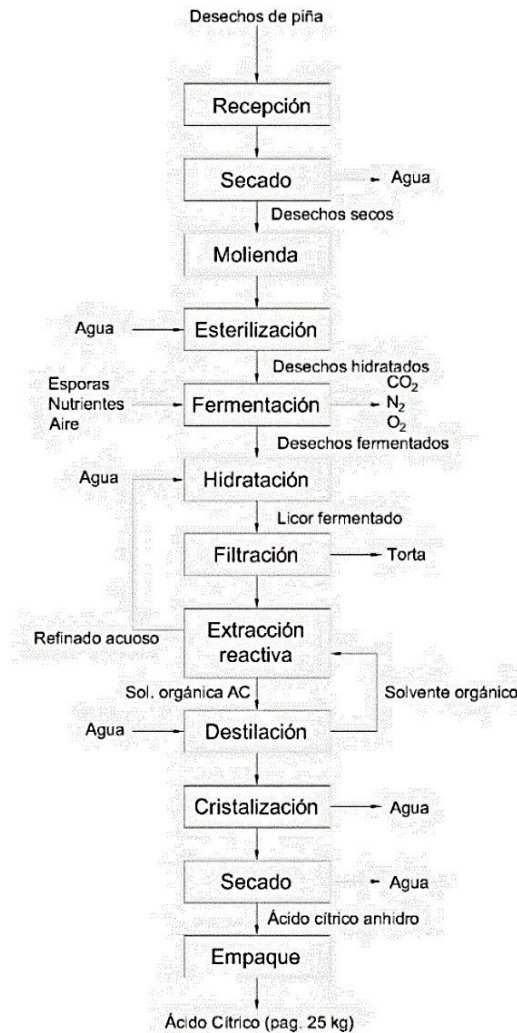


Figura 1.5. Diagrama de bloques de la recirculación del efluente

- **Sistema de tratamiento de efluentes líquidos**

Con base en la naturaleza del efluente, se plantea construir una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), cuyo proceso iniciará con el cribado y desarenado del efluente, después, para reducir el DQO se realizará un proceso de coagulación y floculación. Tras ello se realizará un proceso de sedimentación. Considerando que el ácido cítrico es biodegradable se determinará el tiempo de retención para que la corriente pase bajo la luz solar.

- **Selección de alternativa tecnológica**

En la selección de la alternativa tecnológica más conveniente para el tratamiento y/o aprovechamiento del efluente, se consideran los mismos parámetros evaluados en la sección 1.5.1. La evaluación se presenta en la Tabla 1.7.

Tabla 1 7. Comparación de alternativas tecnológicas para el refinado acuoso

Aspecto	Valor porcentual (%)	Recirculación	PTAR
Rentabilidad financiera	25%	5	1
Existencia de la tecnología en el país	15%	10	8
Generación de residuos	25%	9	6
Requerimiento de materias primas	15%	7	3
Requerimiento de personal	10%	7	7
Impacto social positivo	10%	6	6
Total	100%	7,35	4,7

La calificación otorgada a la PTAR es de 4,7, mientras la recirculación tiene un valor de 7,4. Por lo tanto, se realizará la recirculación del efluente. Esta selección se debe principalmente a que la recirculación no requiere de la adquisición constante de materias primas y reduce los costes de producción del ácido cítrico.

1.5.3 Mercado del suplemento alimenticio animal

La industria del suplemento alimenticio para animales o balanceado, constituye parte del sector manufacturero del Ecuador, cuya demanda incrementa constantemente, tal es el caso que, del año 2007 al 2016 mostró un crecimiento anual del 12% (Muñoz, 2017).

En su producción, las materias primas son las que más se adquieren mediante importaciones puesto que la demanda interna no es cubierta, entre ellas destacan las siguientes: torta de soya, maíz seco y trigo; siendo seguidas por el alimento acuícola (Muñoz, 2017). En el caso de la torta de soya a partir del 2017, se han importado cerca de 62 000 toneladas métricas anualmente (AFABA, 2021).

En el 2021, la demanda de alimentos balanceados tuvo un incremento significativo, por lo cual, hasta finales de septiembre se importaron cerca de 64 000 toneladas de maíz. Adicionalmente, el precio de esta materia prima está sujeto a especulaciones llegando a

USD 20 por quintal, lo cual reduce el margen de ganancias de los productores de suplemento alimenticio (El Comercio, 2021).

De acuerdo a estadísticas de la Industria de alimento balanceado para animales (AFABA) en el año 2020 Ecuador tuvo una producción de aproximadamente 242 921 toneladas métricas de balanceado destinadas para la nutrición ganadera, de conejos y cuyes, avícola, porcicultura y acuicultura.

Con base en una revisión de los productos en el mercado, se elaboró la Tabla 1.8, la cual muestra la composición de varios suplementos alimenticios.

Tabla 1.8. Composición de suplementos nutricionales para animales

Parámetro	Gallos vencedores (Bioalimentar)	Pollo Finalización Pel (Solla +35d)	ProGranado Super Lechero (Pronaca)	ProAves Engorde I (Pronaca)
Humedad (%)	13	13	13	13
Proteína (%)	16	11	13	18
Grasa (%)	3	3,5	3	5
Fibra (%)	4	10	12	5
Cenizas (%)	7	8	8	8
Cantidad (kg)	30	40	40	40
Tamaño pellet (mm)	4 – 5	3	8	4-5
Precio (USD)	-	86,3	23,0	30,78

(Bioalimentar, 2021; Agrizon, 2021; Solla, 2021)

1.5.4 Producto

La composición del producto a elaborarse se basó en los productos descritos en la Tabla 1.8, y la composición de la biomasa luego del enriquecimiento proteico obtenido en la fermentación. El mercado objetivo será la alimentación avícola, y la composición del producto se presenta en la Tabla 1.9. El tamaño del pellet será de 4 mm de diámetro y de largo.

Tabla 1.9. Composición del suplemento alimenticio

Componente	Producto (%)
Grasa	5
Proteína	18
Humedad	10
Cenizas	9

2 DESCRIPCIÓN DETALLADA DEL PROCESO

2.1 Molienda

Para garantizar la eficiencia del proceso, la humedad de la biomasa debe ser menor o igual al 15 % (Chachapoya, 2014). En esta etapa, los residuos ingresan a un tamaño aproximado de 2 mm y serán procesados en un molino de martillos hasta alcanzar una malla 35 (0,42 mm; 420 μ m) debido a que tamaños menores pueden generar afecciones en las vías respiratorias de los animales (Maya, 2016).

Esta operación se realizará en forma continua, y la alimentación del molino se realizará por medio de una banda transportadora.

2.2 Mezclado

Con el fin de incrementar la concentración de antioxidantes y vitaminas se adicionan ácido ascórbico y bisulfito de sodio a razones de 0,04 y 0,025 g/kg de biomasa, respectivamente. A la par, con base en las proporciones mencionadas en el trabajo de Alcántara, et al. (2016), se agregan 1 800 kg/día sal, 2 200 kg/día de melaza y 2 250 kg/día de calcio.

La homogenización de los componentes se realizará en una mezcladora industrial de paletas durante 4 minutos. Se puede añadir vitaminas bajo pedido. En referencia al agua, se añaden 14 719,21 kg/día a 40 °C con el objetivo de alcanzar una humedad del 28% para garantizar una buena consistencia en los pellets (Mendoza, 2014).

2.3 Extrusión

La biomasa hidratada ingresa a la tolva de alimentación y se dirige hacia la zona de transición donde obtiene su forma (4 mm de diámetro). El proceso se realiza a altas temperaturas y presiones en un intervalo de 10 a 25 segundos. Durante este se tienen cambios bruscos de presión, por lo que se estima que se pierde el 5% de la humedad inicial (Ordoñez, 2006, p. 33).

El proceso de extrusión puede realizarse a temperaturas de hasta 200 °C, por lo cual, la producción del suplemento alimenticio se realizará en intervalos de 100, 120 y 150 °C, esto conforme al trabajo de diseño de un proceso de extrusión de Jiménez (2013).

2.4 Secado

El secado se realizará de forma directa con un flujo de aire caliente (90 °C) a contracorriente. En esta etapa se busca reducir la humedad del 23 al 13% (Mendoza, 2014, p. 36).

El equipo empleado será un secador rotativo, en el cual, el material extruido ingresará y abandonará el equipo a 90 °C, permaneciendo 3,06 minutos dentro del equipo. La operación en esta etapa será continua, y tanto la alimentación como la descarga se realizarán mediante bandas transportadoras.

2.5 Enfriamiento

El enfriamiento del producto se realizará con aire a 15 °C en un enfriador de pellets a contracorriente. En este equipo la alimentación ingresa por la parte superior y se descarga por la inferior a una temperatura cercana a la ambiental, siendo en este caso de 15 °C.

A la par del enfriamiento se tiene una reducción de la humedad del 3%. Cabe mencionar que el enfriamiento del material de manera inmediata evita que sufra fracturas y la aparición de mohos (Mendoza, 2014).

Tras obtenerse el suplemento alimenticio seco y frío, se empacará mediante una máquina dosificadora llenando bolsas de 40 kg, las cuales serán selladas de manera inmediata, y el producto se almacenará a temperatura ambiente en un lugar fresco sin exposición directa al sol.

3 BASES Y CRITERIOS DE DISEÑO

3.1 Condiciones de operación

En el proceso de elaboración del suplemento alimenticio los flujos y tiempos de operación se determinan con base en las capacidades de los equipos, el balance de energía y los criterios de diseño. Mientras, para el diseño del proceso de recirculación, el dimensionamiento de las tuberías y del tanque de almacenamiento se determinará en función del flujo a recircular.

3.2 Presión y temperatura de operación

La Tabla 3.1 presenta las presiones y temperaturas de cada operación unitaria en la producción del suplemento alimenticio. Las condiciones ambientales se basan en la ciudad de Quito.

Tabla 3.1. Presión y temperatura de operación

Proceso	Temperatura (°C)	Presión (bar)
Molienda	15	0,72
Mezclado	15	0,72
Extrusión	100-150	5,00
Secado	65-90	0,72
Enfriamiento	Ambiente (15-20)	0,72
Empacado	Ambiente (15-20)	0,72
Corriente de recirculación	27	0,72

3.3 Premisas establecidas para el diseño

Para la producción de suplemento alimenticio avícola y el diseño de tuberías, se consideran las siguientes premisas:

- Las pérdidas de masa durante los procesos son despreciables, a excepción de la molienda, la cual tiene un rendimiento del 98%.
- Las propiedades de la biomasa permanecen constantes durante todas las etapas de producción.
- El refinado acuoso tiene las propiedades del agua debido a su bajo contenido de ácido cítrico.

- En las etapas de secado y enfriamiento las pérdidas de calor por fricción se consideran despreciables.
- La temperatura ambiental se considera estable y de 15 °C para los balances de energía.

3.4 Criterios de diseño de equipos primarios

3.4.1 Molienda

La molienda se realiza por vía seca, ya que la biomasa tiene una humedad menor al 30%, la corriente ingresa con un tamaño de partícula de aproximadamente 2 mm y se reduce a 420 um. En este caso, la partícula no puede ser reducida más allá de la malla 45, puesto que generaría problemas en las vías respiratorias de los ganados (Chachapoya, 2014). La potencia necesaria para la molienda en función del flujo alimentado se calcula mediante las Ecuaciones 3.1 y 3.2 (Arias, 2013).

$$N_m = \left(\frac{0,1}{0,15} \right) * i_d * Q \quad [3.1]$$

$$i_d = \frac{D}{d} \quad [3.2]$$

Donde:

N_m : Potencia del motor (kW)

Q : Flujo másico de entrada (Ton/h)

i_d : Grado de desmenuzamiento

Con base en la potencia necesaria, se determina la potencia de diseño a través de la Ecuación 3.3.

$$P_{diseño} = F_s * N_m \quad [3.3]$$

Donde:

N_m : Potencia del motor (kW)

F_s : Factor de servicio

Los martillos de molturación se encuentran sostenidos por los ejes secundarios, mismos que se distribuyen en separadores para evitar el choque entre ellos. Un esquema simplificado del impacto dentro del molino se presenta en la Figura 3.1, a continuación:

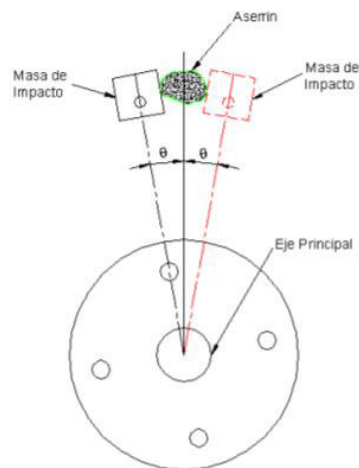


Figura 3.1. Esquema del impacto dentro de un molino de martillos (Arpi y Calderón, 2010)

En referencia a la Figura 3.1, se puede considerar que durante el impacto se forma un triángulo equilátero, donde el ángulo de rotación se determina de forma trigonométrica. El cateto opuesto será el diámetro de partícula que ingresa al molino, mientras la hipotenusa será el radio del rotor.

$$\text{sen } \theta = \frac{\text{cateto opuesto}}{\text{hipotenusa}} \quad [3.4]$$

$$\theta_T = \theta * 2 \quad [3.5]$$

El ángulo determinado corresponde al desplazamiento angular en el instante del impacto (θ_T). La velocidad angular (ω) se relaciona con el tiempo de impacto (t) de acuerdo a la Ecuación 3.6.

$$t = \frac{\theta_T}{\omega} \quad [3.6]$$

La fuerza de impacto se determina con base en la aceleración angular y la inercia del martillo (Arpi y Calderón, 2010). La aceleración rotacional (α) se puede determinar a partir de la Ecuación 3.7.

$$\alpha = \frac{\omega^2 - \omega_o^2}{2 * (\theta - \theta_o)} \quad [3.7]$$

Considerando que a tiempo inicial (0 segundos) la velocidad angular y el ángulo son iguales a cero, la Ecuación 3.7 se modifica como se muestra a continuación:

$$\alpha = \frac{\omega^2}{2 * \theta} \quad [3.8]$$

Arpi y Calderón (2010) en su trabajo mencionan que, para rotores de velocidades mayores a 1800 rpm, es recomendable que las dimensiones de los martillos sean: 5 cm de ancho, 10 a 20 cm de largo y 0,64 cm de espesor. En este contexto, con base en la densidad del acero se calcula el peso de los martillos a través de la Ecuación 3.9.

$$W_{mart} = m_{mart} * g \quad [3.9]$$

Donde:

W_{mart} : Peso de los martillos

m_{mart} : Masa de los martillos

g : Aceleración de la gravedad

La Inercia ejercida por los martillos se determina mediante la Ecuación 3.10.

$$I = 0,5 * m_{\text{mart}} * r^2 \quad [3.10]$$

Con base en la inercia, la fuerza de impacto se determina a través del Principio de D'Lambert, Ecuación 3.11.

$$\sum F * d = \sum I_o * \alpha \quad [3.11]$$

$$F_{\text{impacto}} = \frac{I_o * \alpha}{d} \quad [3.12]$$

El número de martillos (e) se expresa conforme a la Ecuación 3.13.

$$e = \frac{N_{cv} * 8 * 100000 * \eta}{G * R^2 * n^3 * f} \quad [3.13]$$

Donde:

e : Número de martillos

N_{cv} : Potencia nominal transmisible (CV)

η : Rendimiento mecánico de la transmisión

G : Peso de martillo (kg)

- R: Diámetro de martillos (m)
- n: Velocidad angular del rotor (rpm)
- f: Factor de rotación

Donde, la velocidad tangencial se expresa mediante la Ecuación 3.14.

$$v = \frac{2 * \pi * R * n}{60} \quad [3.14]$$

3.4.2. Mezclado

El mezclado consiste en la unión y homogenización de materias primas a través del movimiento mecánico estandarizado (Maya, 2016).

En el dimensionamiento de la carcasa de la mezcladora es recomendable emplear la relación 1,4:1 entre la longitud y el diámetro del equipo, y la relación de 1,1:1 entre la altura y el diámetro (Analuisa y Toasa, 2018). El esquema de las dimensiones se presenta en la Figura 3.2.

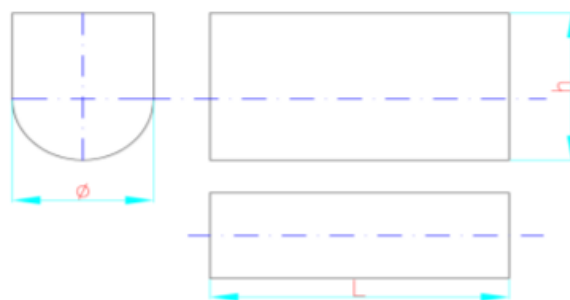


Figura 3.2. Esquema de las dimensiones de la mezcladora (Analuisa y Toasa, 2018)

El volumen del semicilindro se determina de acuerdo a la Ecuación 3.15:

$$V_3 = \pi * l_c * \frac{D_{cc}^2}{8} \quad [3.15]$$

Donde:

V_3 : Volumen cilíndrico de la carcasa

l_c : Longitud de la carcasa

D_{cc} : Diámetro de la carcasa

El volumen rectangular de la mezcladora se determina mediante la Ecuación 3.16.

$$V_r = (h_{mz} - D_{cc}) * l_c * D_{cc} \quad [3.16]$$

Donde:

V_r : Volumen rectangular

h_{mz} : Altura de la mezcladora

El Volumen de la parte cilíndrica se calcula con la Ecuación 3.17.

$$V_{sc} = \frac{1}{8} * \pi * l * D_{cc}^2 \quad [3.17]$$

Donde:

V_{sc} : Volumen de la sección cilíndrica

El índice de mezclado se determina conforme a la Ecuación 3.18 (Maya, 2016).

$$I_p = \frac{S}{\sigma_0} = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{(Nx - 1)\mu(1 - \mu)}} \quad [3.18]$$

Donde:

- I_p : Índice de mezclado
- σ_0 : Desviación estándar para mezclado cero
- s : Desviación estándar
- x_i : Fracción del material trazador
- Nx : Número de muestras
- μ : Fracción global del trazador en la mezcla
- x : Media

3.4.3 Extrusión

La extrusión comprende la cocción, moldeado y deshidratación de una mezcla mediante la aplicación de tensión mecánica y, alta temperatura y presión por un corto lapso de tiempo, dando origen a un pellet ligero y expandido (Ordoñez, 2006, p. 32).

El tornillo de extrusión está compuesto por las siguientes zonas: de alimentación, de amasado o transición, de evaporación y presión, y zona de corte. En este proceso se potencia el suplemento alimenticio dado que el calor desnaturaliza las proteínas, haciéndolas más fáciles de asimilar; los almidones se gelatinizan aumentando su solubilidad, además, las grasas se recubren por proteínas y almidones, por lo que se tornan susceptibles al ataque de los ácidos gástricos (Jiménez, 2013).

Valls (1993), menciona que el producto extruido se descarga a temperaturas entre 100 y 70 °C. Por lo que se asume una temperatura de 90 °C para el proceso en cuestión. Por otra parte, como se observa en la Figura 3.3, la humedad idónea para la extrusión es del 22 al 32%.

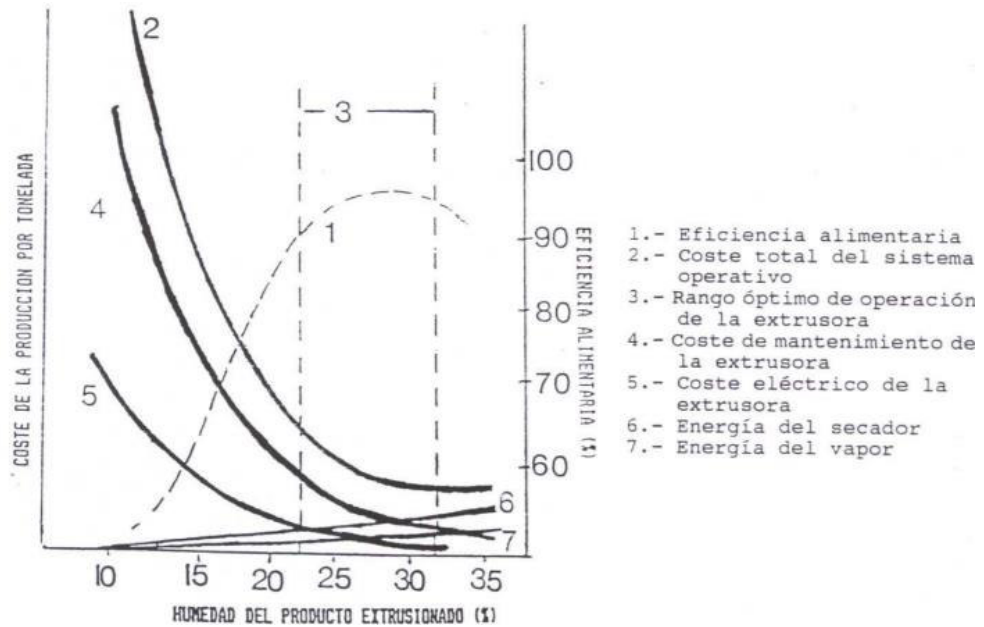


Figura 3.3. Efecto de la humedad del material extruido en relación con el coste de producción y la eficiencia alimentaria (Valls, 1993).

Como se observa en la Figura 3.3, en el rango óptimo de operación (3), la eficiencia es la más alta en relación con los costes de operación, mantenimiento y eléctricos. En este contexto se determinó que en el mezclado se incremente la humedad de la biomasa hasta el 28 % en base húmeda, alcanzando el 23% en la salida.

3.4.4. Secado

El secado es un proceso de separación física mediante el cual se reduce el contenido de agua u otro compuesto volátil. Para describir la operación se analizan la humedad y velocidad de secado, como se describe en las Ecuaciones 3.19 y 3.20 (Suárez, Barrera, & Forero, 2016):

$$X = \frac{W - W_s}{W_s} \quad [3.19]$$

$$N_w = -\frac{W_s}{A_{sec}} \cdot \frac{dX}{dt} \quad [3.20]$$

Donde:

- A_{sec}: Área de secado
- W: Masa de sólido húmedo
- W_s: Masa de sólido seco
- N_w: Velocidad de secado
- X: Humedad del sólido

El secado generalmente se divide en dos etapas, como se aprecia en la Figura 3.4, la primera etapa es decreciente y la segunda constante (Cabrera, 2013).

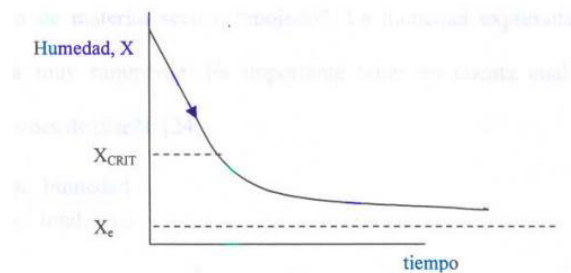


Figura 3.4. Curva de secado (Cabrera, 2013)

El secado en el proceso se realiza a través de un secador rotativo, en el cual una corriente de aire caliente entra en contacto directamente con los pellets de suplemento alimenticio. Este tipo de secadores poseen diámetros de 1 a 3 m (3 a 10 ft), una longitud de 4 a 15 diámetros y velocidades periféricas de 20 a 25 m/min (60 a 75 ft/s), siendo la transmisión de calor la base de su diseño (Espinoza y Vega, 2015, p. 26).

El coeficiente volumétrico de transmisión de calor (U_a), así como la velocidad de transmisión de calor QT, se pueden determinar mediante las Ecuaciones 3.21 y 3.22, respectivamente.

$$U_a = \frac{0,5G^{0,67}}{D} \quad [3.21]$$

$$QT = \frac{0,5G^{0,67}}{D_{sc}} * V_{scd} * \Delta T_m = 0,125 * \pi * D_{scd} * L * G^{0,67} \quad [3.22]$$

Donde:

ΔT_m : Diferencia media de temperatura (°F)

L: Longitud del secador (ft)

V_{scd} : Volumen del secador (ft³)

D_{scd} : Diámetro del secador (ft)

G: Velocidad másica del gas en la sección transversal (lb/ft²h)

U_a : Coeficiente volumétrico de transferencia de calor (BTU/ft²h°F)

Los secadores rotatorios giran a velocidades de 4 a 5 rpm, mientras, la velocidad del aire que ingresa debe estar comprendida entre 1,5 a 2,5 m/s. Cuando se trabaja a contracorriente, la temperatura de salida del material seco es cercana a la temperatura de entrada del aire. Es importante que el aire no supere los 90 °C con el objetivo de evitar la generación de humos (Espinoza y Vega, 2015, p. 37).

Respecto a la longitud de un secador rotatorio, esta se determina con base en las etapas del secado. Durante el secado a altas temperaturas se pueden distinguir tres zonas (Figura 3.5), a cada zona le corresponde una longitud determinada, siendo la suma de estas la longitud del equipo.

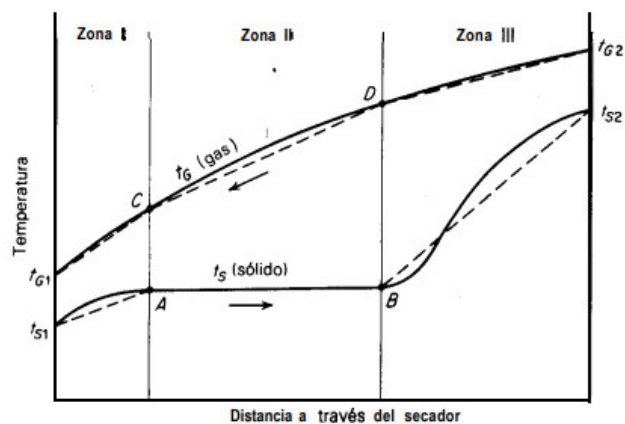


Figura 3.5. Variación de la temperatura en un secador continuo a contracorriente (Treybal, 2000, p. 776)

La zona I se da el precalentamiento del sólido, por lo que no hay se tiene una alta pérdida de humedad, en la zona II se alcanza el equilibrio y se mantiene constante, esto genera la evaporación de la humedad no ligada y superficial, mientras, en la zona III se pierda la humedad ligada (Treybal, 2000, p. 775).

La zona II generalmente es la etapa principal en el secado, por lo que, se deben tomar en cuenta las relaciones de temperatura – humedad del aire (Figura 3.6).

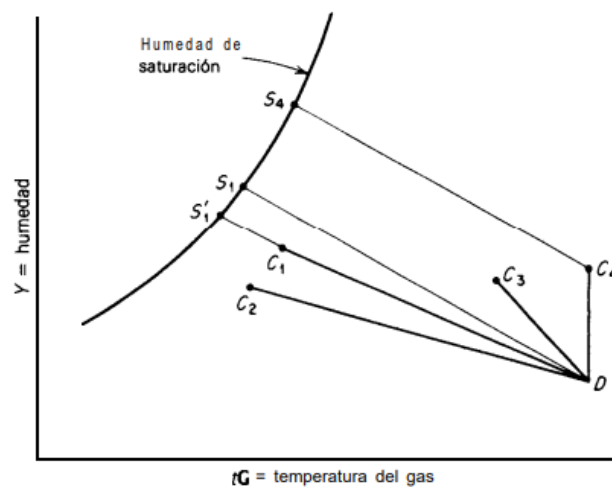


Figura 3.6. Relación temperatura - humedad en un secador continuo (Treybal, 2000, p. 777)

En la Figura 3.5, el punto D corresponde a las condiciones del aire, si el proceso es adiabático, la variación de la humedad y temperatura en la Zona II, se representa con la línea DC. Si existen pérdidas de energía el secado sigue la trayectoria DC₂ (Treybal, 2000, p. 776).

Cuando el secado se da a bajas temperaturas, se pueden distinguir dos zonas de transferencia de calor, como se presenta en la Figura 3.7.

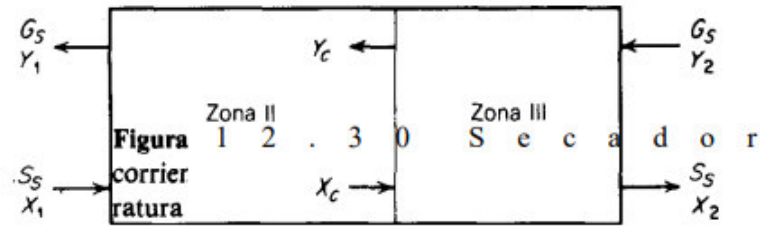


Figura 3.7. Zonas de secado a bajas temperaturas (Treybal, 2000, p. 782)

Como se aprecia en la Figura 3.7, en este caso se puede ignorar la zona I, es decir, el precalentamiento de los sólidos (Treybal, 2000, p. 781). La humedad del aire alimentado incrementa de Y_2 a Y_c .

El tiempo de retención se determina a partir de la siguiente Ecuación 3.23.

$$\theta = \theta_{II} + \theta_{III} = \frac{m_{ss}}{A} \left(\int_{X_c}^{X_1} \frac{dX}{N} + \int_{X_2}^{X_c} \frac{dX}{N} \right) \quad [3.23]$$

Donde:

X_c : Humedad crítica del sólido

θ : Tiempo de retención

A : Superficie específica expuesta que se está secando (A/m_{ss})

m_{ss} : Masa de sólido seco

En la zona II, la humedad del sólido es mayor a su humedad crítica, por ende, el flujo N se define de acuerdo a la Ecuación 3.24.

$$\theta_{II} = \frac{m_{ss}}{A} * \frac{1}{k_Y} \int_{X_c}^{X_1} \frac{dX}{Y_s - Y} \quad [3.24]$$

Puesto que la variación de la humedad del aire se relaciona con la humedad contenida en el sólido, se tiene la Ecuación 3.26.

$$G * dY = m_{ss} * dX \quad [3.25]$$

$$\theta_{II} = \frac{G * dY}{m_{ss}} * \frac{m_{ss}}{A} * \frac{1}{k_Y} \int_{X_c}^{X_1} \frac{1}{Y_s - Y} \quad [3.26]$$

La integral de la Ecuación 3.26 considerando las zonas de secado descritas en la Figura 3.7, da origen a la Ecuación 3.27.

$$\theta_{II} = \frac{G}{m_{ss}} * \frac{m_{ss}}{A} * \frac{1}{k_Y} \ln \left(\frac{Y_s - Y_c}{Y_s - Y_1} \right) \quad [3.27]$$

En la zona III, la humedad del sólido es inferior a la humedad crítica, por lo que se aplican las Ecuaciones 3.28 y 3.29.

$$N = \frac{N_c * (X - X^*)}{X_c - X^*} = \frac{k_Y * (Y_s - Y) * (X - X^*)}{X_c - X} \quad [3.28]$$

$$\theta_{III} = \frac{m_{ss}}{A} * \frac{X_c - X^*}{k_Y} \int_{X_2}^{X_c} \frac{dX}{(Y_s - Y) * (X - X^*)} \quad [3.29]$$

Donde:

X^* : Humedad de equilibrio

Al considerar que no existe transferencia de calor entre las paredes del secador y el sólido, la variación de calor en el secado se puede definir como la suma de la energía transferida

del gas al sólido y las pérdidas al ambiente. De este modo, la longitud diferencial del secador rotatorio puede expresarse de la siguiente manera:

$$dq_G = dq + qQ \quad [3.30]$$

$$dq = dq_G - dQ = U_a * dS * (T_a - T_s) = U * A_i * (T_a - T_s) * dZ \quad [3.31]$$

Donde:

U_a: Coeficiente global de transferencia de calor

T_a: Temperatura del aire

T_s: Temperatura del sólido

S: Superficie interfacial / Sección transversal del secador

A_i: Superficie interfacial / Volumen del secador

Por lo tanto,

$$dq = G * C_s * dt'_G = U_a * A_i * (T_a - T_s) * dZ \quad [3.32]$$

Donde:

dt'_G: Caída de temperatura del gas

C_s: Calor húmedo

Considerando el coeficiente global de transferencia de calor constante, se tiene que:

$$dN_{toG} = \frac{dt'_G}{(T_a - T_s)} = \frac{U * A_i * dZ}{G * C_s} \quad [3.33]$$

$$N_{tOG} = \frac{\Delta t'_G}{\Delta T_m} = \frac{z}{H_{tOG}} \quad [3.34]$$

$$H_{tOG} = \frac{G * C_s}{U * A_i} \quad [3.35]$$

Donde:

t'_G : Variación de temperatura del aire

T_m : Variación de temperatura promedio entre el aire y el sólido

N_{tOG} : Número de unidades de transferencia de calor

H_{tOG} : Longitud de la unidad de transferencia de calor

Considerando que los perfiles de temperatura siguen una tendencia recta, semejante a la Figura 3.5, para cada Zona T_m será el promedio logarítmico de los gradientes de temperatura terminales y N_{tOG} será el número de unidades de transferencia de calor por zona.

3.4.5. Enfriamiento

El producto ingresa al enfriador a una temperatura de 90 °C, la cual debe disminuir para evitar su ruptura o la aparición de moho. El producto sale de 2 a 4 °C sobre la temperatura ambiental. En este caso se considera una temperatura de salida de 15°C. El enfriamiento consiste en la transferencia de calor en el cual un fluido gana la energía perdida por la materia a enfriar, siendo el fluido más común el aire. Adicionalmente se tiene transferencia de masa de agua al aire, lo cual reduce la humedad del material a enfriar (Mendoza, 2014).

El flujo de aire, así como el calor ganado por el aire se determina mediante la ecuación 3.36.

$$q = m * C_p * \Delta T \quad [3.36]$$

Donde:

q: Calor ganado por el aire (W)

m: Flujo másico de aire (kg/s)

C_p : Calor específico del aire (J/kg*K)

ΔT : Variación de la temperatura del aire

3.4.6. Tanque de almacenamiento

El refinado acuoso es un efluente producido en la extracción reactiva durante la producción de ácido cítrico, su composición es de agua con bajas cantidades de ácido cítrico, con el fin de emplearlo en la etapa de hidratación se requiere de un tanque de almacenamiento.

Los procedimientos aplicables en el diseño, montaje, construcción y mantenimiento de tanques de almacenamiento pueden encontrarse en los códigos API 650, API 653, API 12F, NFPA 30, Underwriters Laboratories (UL) 58, 142, etc. Considerando el tipo de fluido, su temperatura de operación (menor a 93,3 °C), y su presión de operación (atmosférica), el diseño se basará en el Código API 650, dirigido para tanque de acero soldado para el almacenamiento de petróleo (API 650, 2016). La Tabla 3.2, se muestran los requerimientos para tanques conforme al código en mención.

Tabla 3.2. Especificaciones para tanques de almacenamiento de fondo plano conforme al Código API 650

Parámetro	Especificación
Temperatura máxima	93,3 °C (200 °F)
Presión interna máxima	Atmosférica
Espesor máximo del cuerpo	444,00 mm
Espesor mínimo del cuerpo:	
Diámetro < 15,2 m	4,76 mm
15,2 < Diámetro < 36,5 m	6,35 mm
36,5 < Diámetro < 60,9 m	7,93 mm
Diámetro > 60,9 m	9,52 mm
Espesor máximo del techo	6,35 + CP (Corrosión Permisible) mm
Espesor mínimo del techo	4,76 mm

(Inglesa, 2016, p. 10)

En el diseño se consideran materiales adecuados seleccionados por la ASTM, entre ellos se encuentran: Acero estructural grado A, B, C y EH36, Acero al carbón grado C, y Acero al carbón para temperaturas de servicio moderado de grado 55, 60, 65 y 70 (API 650, 2016).

En referencia a los accesorios, el tanque debe contener un manhole para la limpieza, revisión y reparación interior, este puede estar en el techo o en el cuerpo. Adicionalmente requiere venteos en la parte más alta para evitar el aumento de la presión interna durante el llenado y vaciado, drenajes y sumideros (drenado de lodos) y boquillas.

Conforme a la Norma API 650, los techos de los tanques pueden ser de tres tipos: techo fijo, techo flotante y sin techo.

- Techo fijo: sirven para la contención de productos no volátiles o con un bajo contenido de sustancias ligeras, siempre y cuando, estas no sean inflamables. Se usan para el almacenamiento de agua, diésel, crudo, etc. Estos pueden ser soportados o auto-soportados.
- Techo flotante: Permiten el almacenamiento de sustancias con alto contenido de volátiles, tales como: gasolinas, alcohol y demás combustibles. El diseño de este techo permite reducir o eliminar el espacio libre entre el techo y el espejo del líquido, lo cual evita la formación de gases y reduce los riesgos de inflamabilidad.
- Sin techo: se emplean en el almacenamiento de productos que no requieran protección contra la contaminación, estos pueden ser: agua residual, agua cruda, agua contra incendios, etc.

A la vez, los techos fijos pueden ser cónicos soportados, cónicos auto-soportados, tipo domo auto-soportados y tipo paraguas auto-soportados. Los techos auto-soportados se apoyan únicamente en la periferia del cuerpo y se diseñan con el espesor mínimo para que soporten su propio peso más las cargas vivas (mínimo 1,76 kg/m²). El ángulo del tanque para techos auto-soportados puede estar entre 9,5° y 37° (Inglesa, 2016, p. 69).

Para diseño del presente tanque se define un techo cónico auto-soportado con un ángulo de 15° respecto a la horizontal. Cabe mencionar que esta clase de cubiertas son recomendables para diámetros mayores a 12,20 m y menores a 18,30 m.

El volumen del tanque se determina mediante la Ecuación 3.37.

$$V_{TT} = V_{ci} + V_{co} \quad [3.37]$$

Donde:

V_{TT} : Volumen del tanque (m^3)

V_{ci} : Volumen del cuerpo cilíndrico (m^3)

V_{co} : Volumen del cuerpo cónico (m^3)

El volumen cilíndrico del tanque se determina conforme a la Ecuación 3.38.

$$V_{ci} = \pi * \frac{D_{ta}^2}{4} * H_{ci} \quad [3.38]$$

Donde:

D_{ta} : Diámetro nominal del tanque (m)

H_{ci} : Altura del cilindro (m)

El volumen del cuerpo cilíndrico es aquel que será ocupado por el agua, en su diseño se considerará un sobredimensionamiento del 20% con el objetivo de facilitar la manipulación y por motivos de seguridad. El volumen del cabezal cónico se determina mediante la Ecuación 3.39.

$$V_{co} = \pi * \frac{D_{ta}^2}{12} * h_{co} \quad [3.39]$$

Donde:

h_{co} : Altura del cabezal cónico (m)

La altura del cabezal cónico se calcula a partir de la Ecuación 3.40.

$$h_{co} = \frac{\sin(\beta)}{\cos(\beta)} * r_t \quad [3.40]$$

Donde:

r_t : Radio del tanque (m)

β : Ángulo del tanque respecto a la horizontal (°)

El espesor del techo debe estar entre 4,76 y 12,7 mm, este se determina conforme a la Ecuación 3.41.

$$T_{tt} = \frac{D_{ta}}{4800 * \sin(\beta)} \quad [3.41]$$

Donde:

T_{tt} : Espesor mínimo requerido en el techo (mm)

En el diseño del cuerpo del tanque el espesor es una función de su diámetro nominal, en este caso, se determinará con base en el método de un pie, el cual es aplicable para tanques con diámetros menores o iguales a 60,96 m (API 650, 2016). El espesor de las placas será el mayor valor obtenido entre la prueba hidrostática y la prueba de condiciones de diseño, esto conforme a las Ecuaciones 3.42 y 3.43 respectivamente.

$$t_{ct} = \frac{0,0005 * D_{ta} * (H_{ci} - 30,48)}{S_t} \quad [3.42]$$

$$t_{cd} = \frac{0,0005 * D_{ta} * (H_{ci} - 30,48) * s}{S_t} + CP \quad [3.43]$$

Donde:

t_{cd} : Espesor del cuerpo con las condiciones de diseño (mm)

- t_{ct} : Espesor del cuerpo con la prueba hidrostática (mm)
- s : Densidad relativa del fluido
- CP: Corrosión permisible (mm)
- S_d : Esfuerzo permisible por condiciones de diseño (kg/cm²)
- S_t : Esfuerzo permisible por prueba hidrostática (kg/cm²)
- H_{cl} : Altura de diseño del nivel de líquido (cm)
- D_{ta} : Diámetro nominal del tanque (cm)

La Figura 3.8 presenta los esfuerzos permisibles en función del material a emplear.

ESPECIFICACION	GRADO	ESFUERZO EN PUNTO CEDENCIA	ESFUERZO A LA TENSION	ESFUERZO DE DISEÑO	ESFUERZO DE PRUEBA
ASTM					
A-283	C	2110	3870	1410	1580
A-285	C	2110	3870	1410	1580
A-131	A,B,CS	2390	4080	1600	1750
A-36		2530	4080	1630	1750
A-131	EH36	2580	4990	1200	2140
A-442	55	2110	3870	1410	1580
A-442	60	2250	4220	1500	1690
A-573	58	2250	4080	1500	1690
A-573	65	2460	4570	1640	1850
A-573	70	2950	4920	1970	2110
A-516	55	2110	3870	1410	1580
A-516	60	2250	4220	1500	1690
A-516	65	2460	4570	1640	1850
A-516	70	2670	4920	1780	2000
A-662	B	2810	4570	1830	1960
A-662	C	3020	4920	1970	2110
A-537	1	3510	4920	1970	2110
A-537	2	4220	5620	2250	2410
A-633	C,D	3510	4920	1970	2110
A-678	A	3510	4920	1970	2110
A-678	B	4220	5620	2250	2410
A-737	B	3510	4920	1970	2110

Figura 3.8. Esfuerzos permitidos en diferentes materiales (kg/cm²) (Inglesa, 2016, p. 61)

3.5 Criterios de diseño de equipos secundarios

3.5.1 Bandas transportadoras

Las bandas transportadoras son equipos de desplazamiento de materiales sólidos, estas pueden diseñarse para grandes capacidades con potencias relativamente pequeñas. El ángulo de inclinación recomendable es de 5 a 15° (Walas, 1990, p. 76). Para el transporte de objetos grandes se emplean bandas con correas, en cambio, para materiales a granel, estas se canalizan con inclinaciones de 20 a 45° (Yáñez, 2021, p. 86)

En el diseño de bandas transportadoras se requiere conocer las características del material, ya que tanto el ancho de la banda como su velocidad son función de la densidad.

En la Figura 3.9, se muestran los datos de transporte de bandas. Adicionalmente, en el Anexo I se presentan los ángulos de inclinación recomendados dependiendo del material a transportar.

Belt width in (cm)	Cross-sectional area of load ft ² (m ²)	Belt speed, ft/min (m/min)		Belt plies		Maximum lump size, in (mm)		Belt speed, ft/min (m/min)
		Normal	Maximum	Minimum	Maximum	Sized material, 80% under	Unsize material, not over 20%	
14 (35)	0.11 (.010)	200 (61)	300 (91)	3	5	2.0 (51)	3.0 (76)	100 (30.5) 200 (61.0) 300 (91.5)
16 (40)	0.14 (.013)	200 (61)	300 (91)	3	5	2.5 (64)	4.0 (102)	100 (30.5) 200 (61.0) 300 (91.5)
18 (45)	0.18 (.017)	250 (76)	350 (107)	4	6	3.0 (76)	5.0 (127)	100 (30.5) 250 (76.2) 350 (106.7)
20 (50)	0.22 (.020)	250 (76)	350 (107)	4	6	3.5 (89)	6.0 (152)	100 (30.5) 250 (76.2) 350 (106.7)
24 (60)	0.33 (.030)	300 (91)	400 (122)	4	7	4.5 (114)	8.0 (203)	100 (30.5) 350 (106.7) 400 (121.9)
30 (75)	0.53 (.049)	300 (91)	450 (137)	4	8	7.0 (178)	12.0 (305)	100 (30.5) 300 (91.5) 400 (121.9)
36 (90)	0.78 (.072)	400 (122)	600 (183)	4	9	8.0 (203)	15.0 (381)	100 (30.5) 400 (121.9) 600 (182.9)
42 (105)	1.09 (.101)	400 (122)	600 (183)	4	10	10.0 (254)	18.0 (457)	100 (30.5) 400 (121.9) 600 (182.9)
48 (120)	1.46 (.136)	400 (122)	600 (183)	4	12	12.0 (305)	21.0 (533)	100 (30.5) 400 (121.9)

Figura 3.9. Detalles de bandas transportadoras con rodillos (Yáñez, 2021, p. 87)

3.5.2 Tuberías y bombas

Las tuberías empleadas deberán estar acompañadas de bombas para la impulsión adecuada del fluido. Las bombas pueden ser de diferentes tipos, siendo las centrífugas las más empleadas en la industria. Para la selección de la bomba es necesario conocer el caudal del fluido y sus propiedades.

En el dimensionamiento de tuberías se determina su diámetro con base en el caudal y la velocidad del fluido. La Tabla 3.3 describe las velocidades más comunes para la succión y descarga.

Tabla 3.3. Velocidades comunes de succión y descarga en bombas

Bomba	Velocidad de succión (ft/s)	Velocidad de descarga (ft/s)
Centrífuga	1 – 4	5 – 10
Reciprocante	1 – 2	3 – 6

(Yáñez, 2021, p. 90)

En este sentido, el área transversal de la tubería se calcula mediante la Ecuación 3.44 y luego se elegirá en la Norma ASTM A53/A53-M02, mientras su material se definirá con base en la Norma ASME B31.3.

$$A_t = \frac{Q_f}{v_f} \quad [3.44]$$

Donde:

A_t : Área transversal (m^2)

Q_f : Caudal del fluido (m^3/s)

v_f : Velocidad del fluido (m/s)

Las pérdidas en la tubería se determinarán mediante las Ecuaciones 3.45, 3.46 y el Diagrama de Moody, Anexo II.

$$h_f = \frac{f_D * L * v_f^2}{D_t * 2 * g} \quad [3.45]$$

$$Re = \frac{v_f * \rho * D_t}{\mu} \quad [3.46]$$

Donde:

f_D : Factor de fricción de Darcy

g : aceleración de la gravedad (m/s^2)

h_f : Cabeza de pérdidas (m)

L : Longitud de la tubería (m)

ρ : Densidad del fluido (kg/m^3)

μ : Viscosidad del fluido ($kg \ m/s$)

La cabeza de la bomba es la altura que la bomba genera y se determina mediante la Ecuación 3.47.

$$H_B = \frac{\Delta P}{\gamma} + \frac{\Delta v_f^2}{2 * g} + \Delta z + h_{fs} + h_{fd} + \sum K \frac{v_f^2}{2 * g} \quad [3.47]$$

Donde:

H_B : Cabeza de la bomba (m)

γ : Peso específico del fluido (N/m^3)

h_{fs} : Cabeza de pérdidas por succión (m)

h_{fd} : Cabeza de pérdidas por descarga (m)

K : Constante de accesorio

ΔP : Variación de presión (Pa)

Δz : Variación de nivel (m)

La potencia de la bomba (PB) se determina mediante la Ecuación 3.48.

$$P_B = \gamma * Q_f * H_B \quad [3.48]$$

La altura total dinámica (TDH) se determina a partir de las Ecuaciones 3.49, 3.50 y 3.51.

$$TDH = P_d - P_s \quad [3.49]$$

$$P_s = \Delta H_{ss} - \Delta H_{fs} \quad [3.50]$$

$$P_d = \Delta H_{sd} + \Delta H_{fd} \quad [3.51]$$

Donde:

P_d : Presión de descarga (psi)

P_s : Presión de succión (psi)

ΔH_{ss} : Cabezal estático de succión (psi)

ΔH_{sd} : Cabezal estático de descarga (psi)

ΔH_{fs} : Pérdidas por accesorios y fricción en la succión (psi)

ΔH_{fd} : Pérdidas por accesorios y fricción en la descarga (psi)

Los cabezales estáticos y las pérdidas por accesorios y fricción, tanto en la succión como en la descarga, se determina mediante las Ecuaciones 3.52, 3.53, 3.54 y 3.55.

$$\Delta H_{ss} = \rho * H_s \quad [3.52]$$

$$\Delta H_{sd} = \rho * H_d \quad [3.53]$$

$$\Delta H_{fs} = h_{fs} + \sum K * \frac{v^2}{2 * g} \quad [3.54]$$

$$\Delta H_{fs} = h_{fs} + \sum K * \frac{v^2}{2 * g} \quad [3.55]$$

Donde:

H_s: Altura en la línea de succión

H_d: Altura en la línea de descarga

h_{fs}: Cabeza de pérdidas en la succión

h_{fd}: Cabeza de pérdidas en la descarga

3.5.3 Compresores

Los compresores son equipos que permiten el transporte de gases, las tuberías en este caso se diseñan con base en el caudal y velocidad del fluido, esta última debe ser menor a 60 ft/s. Los compresores se dividen en rotodinámicos y de desplazamiento positivo, y su selección depende en gran medida de las características del gas.

4 DISEÑO DE LA PLANTA

4.1 Balance de masa de la producción de suplemento alimenticio animal

4.1.1 Molienda

La Figura 4.1 presenta el diagrama de la etapa de molienda del proceso.

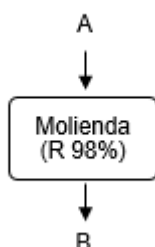


Figura 4.1. Diagrama de bloques del proceso de molienda

Al proceso ingresan 69 440,98 kg/día de biomasa (A) con un 15% de humedad y tamaño aproximado de 2 mm, el cual se reduce a 420 μ m. Se consideran pérdidas del 2%, generando 68 052,16 kg/día de biomasa molida.

Tabla 4.1. Balance de masa en la molienda

Símbolo	Entrada	Salida	Cantidad [kg/día]
A	Biomasa		69440,98
B		Biomasa molida	68052,16
		Pérdidas (2%)	1388,82
	Entrada - Salida		0

4.1.2 Mezclado

La formulación del suplemento alimenticio se fundamentó en las materias primas y cantidades descritas en los trabajos de Ordoñez (2006) y Alcántara, et. al, (2016), por lo

que, se añaden ácido ascórbico, bisulfito de sodio, calcio, sal, melaza y agua fresca en las siguientes cantidades: 2,31, 1,45, 2250, 1800, 2200 y 14719,21 kg/día, respectivamente.

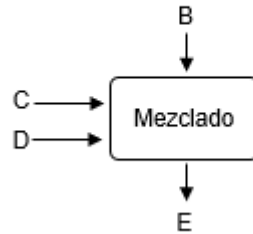


Figura 4.2. Diagrama de bloques del proceso de mezclado

Tras el proceso se obtienen 89 025,13 kg/día de mezcla acondicionada.

Tabla 4.2. Balance de masa en el mezclado

Símbolo	Entrada	Salida	Cantidad [kg/día]
B	Biomasa molida		68052,16
C	Antioxidantes y nutrientes		6253,76
D	Agua		14719,21
E		Mezcla acondicionada	89025,13
	Entrada - Salida		0,00

4.1.3 Extrusión

En la extrusión se evapora el 5% del agua, debido a los cambios súbitos de presión.

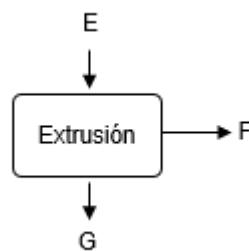


Figura 4.3. Diagrama de bloques del proceso de extrusión

Al extrusor ingresan 89025,13 kg/día de mezcla acondicionada y se descargan pellets con dimensiones de 4 mm de diámetro y 4 mm de longitud.

Tabla 4.3. Balance de masa de la extrusión

Símbolo	Entrada	Salida	Cantidad [kg/día]
E	Mezcla acondicionada		89025,13
F		Agua	5780,85
G		Suplemento alimenticio húmedo	83244,28
	Entrada - Salida		0,00

4.1.4. Secado

La Figura 4.4 muestra el diagrama de bloques de la etapa de secado, en esta se reduce la humedad del 23 al 13%.

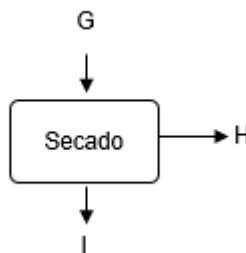


Figura 4.4. Diagrama de bloques de la etapa de secado

Con aire a 90 °C se realizará el secado de 83 244,28 kg/día de suplemento alimenticio húmedo, descargando 73 675,97 kg/día de suplemento seco.

Tabla 4.4. Balance de masa del secado

Símbolo	Entrada	Salida	Cantidad [kg/día]
G	Suplemento alimenticio húmedo		83244,28
I		Suplemento alimenticio seco	73675,97
H		Agua	9568,31
	Entrada - Salida		0,00

4.1.5 Enfriamiento

Se busca llegar a una temperatura próxima a la ambiental, para facilitar el empaclado, mantener la forma del producto y evitar el crecimiento de mohos.

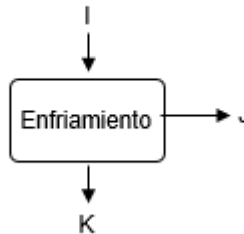


Figura 4.5. Diagrama de bloques de la etapa de enfriamiento

El suplemento alimenticio seco se enfría con aire en un enfriador de aire a contracorriente, en el proceso se pierden 2 455,87 kg/día de agua.

Tabla 4.5. Balance de masa del enfriamiento

Símbolo	Entrada	Salida	Cantidad [kg/día]
I	Suplemento alimenticio seco		73675,97
K		Suplemento alimenticio	71220,11
J		Agua	2455,87
	Entrada - Salida		0,00

4.1.6 Empacado

La etapa de empaclado se representa gráficamente en la Figura 4.6.



Figura 4.6. Diagrama de bloques del proceso de empaclado

Se empaacan bolsas de 40 kg, dando un total de 1780 paquetes diariamente.

Tabla 4.6. Balance de masa del empacado

Símbolo	Entrada	Salida	Cantidad [kg/día]
K	Suplemento alimenticio		71220,11
L		Suplemento alimenticio	71220,11
Entrada - Salida			0,00

4.2 Balance de masa del proceso de recirculación

Al emplear una corriente de recirculación con una concentración de 1704,6 mg/L de ácido cítrico permite el ahorro de 116 586,06 kg/día de agua pura en la hidratación de los desechos de piña fermentados. La Tabla 4.7 presenta el balance de masa en la etapa de hidratación sin la recirculación del refinado acuoso.

Tabla 4.7. Balance de masa en la etapa de hidratación sin reciclo

Entrada	Salida	Cantidad [kg/día]
Desechos fermentados		63444,120
Agua fresca		126803,23
	Licor fermentado	190247,35
Entrada - Salida		0,000

La Tabla 4.8 muestra el cambio el balance de masa en la etapa de hidratación considerando la recirculación.

Tabla 4.8. Balance de masa en la hidratación con reciclo

Entrada	Salida	Cantidad [kg/día]
Desechos fermentados		63444,12
Refinado acuoso		116583,03
Agua fresca		10207,20
	Licor fermentado	190247,35
Entrada - Salida		0,000

4.3 Balance de energía

El balance de energía se realiza para la elaboración de un suplemento alimenticio animal, los cálculos pertinentes al proceso de recirculación del refinado acuoso en la producción de ácido cítrico, se detallan en el trabajo “Elaboración de ácido cítrico a partir de residuos de piña”, por lo que, no forman parte del alcance del presente documento.

4.3.1. Secado

El proceso de secado se da en contracorriente, es decir, el aire ingresa por la parte inferior del equipo mejorando la transferencia de calor, esta etapa, de manera simplificada, se representa en el la Figura 4.7.

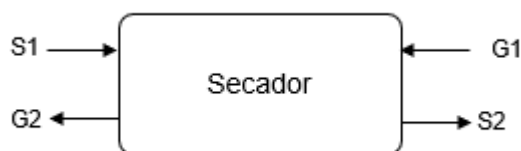


Figura 4.7. Diagrama simplificado del secador y sus corrientes principales

En la Figura 4.7, S representa la corriente del sólido y G el flujo de aire. Mientras los números 1 y 2 hacen referencia a la entrada y salida, respectivamente. El balance de energía se realiza mediante la Ecuación 4.1.

$$G * H'_{G1} + m_{ss} * H'_{S1} = G * H'_{G2} + m_{ss} * H'_{S2} + Q \quad [4.1]$$

Donde:

G: Flujo másico de aire seco (kg/día)

m_{ss} : Flujo másico de sólidos secos (kg/día)

H'_{G1} : Entalpía del aire de entrada (kJ/kg)

H'_{G2} : Entalpía del aire de salida (kJ/kg)

- H'_{G1} : Entalpía del aire de entrada (kJ/kg)
 H'_{S1} : Entalpía del sólido de entrada (kJ/kg)
 H'_{S2} : Entalpía del sólido de salida (kJ/kg)
 Q : Calor perdido (kJ/kg)

Considerando que las pérdidas de energía en forma de calor son despreciables, la Ecuación 4.1 se ordena para dar origen a la Ecuación 4.2.

$$m_{ss} * (H'_{S1} - H'_{S2}) = G * (H'_{G2} - H'_{G1}) \quad [4.2]$$

La entalpía del aire se determina con las Ecuaciones 4.3 y 4.4.

$$H'_G = C_S * (T_G - T_o) + \lambda * Y \quad [4.3]$$

$$C_S = 1,005 + 1,88 * Y \quad [4.4]$$

Donde:

- Y : Humedad absoluta del aire (kg H₂O/kg aire seco)
 T_o : Temperatura de referencia (°C)
 T_G : Temperatura del aire (°C)
 λ : Calor latente a la temperatura de referencia (kJ/kg)

Considerando la temperatura de referencia como 0 °C, el calor latente será igual a 2500,9 kJ/kg. Adicionalmente, al reemplazar la Ecuación 4.4 en la Ecuación 4.3 se obtiene la Ecuación 4.5.

$$H'_G = (1,005 + 1,88 * Y) * (T_G) + 2500,9 * Y \quad [4.5]$$

Se considera que el aire de Quito se encuentra a 11,5 °C y una HR del 81% (Climate – Data, 2022). Por lo cual, Y_1 será igual a 0,007 kg H₂O/kg aire seco. El aire sale del equipo a 35 °C con una humedad desconocida (Y_2). Respecto al suplemento extruido, este ingresa a 90 °C y se descarga a 90 °C, debido a que el equipo opera a contracorriente.

Sustituyendo los valores mencionados en la Ecuación 4.5 se tiene la entalpía del aire a la entrada y la Ecuación 4.6.

$$H'_{G1} = (1,005 + 1,88 * 0,007) * (90) + 2500,9 * 0$$

$$H'_{G1} = 109,14 \frac{kJ}{kg}$$

$$H'_{G2} = (1,005 + 1,88 * Y_2) * (35) + 2500,9 * Y_2$$

$$H'_{G2} = 2566,7 * Y_2 + 35,18 \quad [4.6]$$

La entalpía de los sólidos se calcula conforme a la Ecuación 4.7.

$$H'_S = C_{ps} * (T_S - T_o) + X * C_{pH2O} * (T_S - T_o) \quad [4.7]$$

Donde:

X: Humedad en base seca del sólido (kg H₂O/kg masa seca)

T_o: Temperatura de referencia (°C)

T_S: Temperatura del sólido (°C)

C_{ps}: Capacidad calorífica del sólido (kJ/kg°C)

C_{H2O}: Capacidad calorífica del agua (kJ/kg°C)

Tal como se estableció para la entalpía del aire, la temperatura de referencia será de 0 °C. La capacidad calorífica del agua se determinó a la temperatura media, dando un valor de 4,187 kJ/kg°C.

Patricia Della (1998), en su estudio de los procesos de conversión térmica de la biomasa describe que la capacidad calorífica de esta en función de la temperatura y la humedad, de acuerdo a la Ecuación 4.8.

$$C_{ps} = 0,259 + 9,75 * 10^{-4} * X + 6,05 * 10^{-4} * T_s + 1,3 * 10^{-5} * T_s * X \quad [4.8]$$

Donde:

X: Humedad en base seca del sólido

T_s: Temperatura del sólido (°F)

C_{ps}: Capacidad calorífica del sólido (BTU/lb°F)

Para el Cálculo del C_{ps} se emplearon los valores medios de temperatura y humedad, y se asumió que su valor se mantiene constante durante todo el proceso.

$$C_{ps} = 0,259 + 9,75 * 10^{-4} * 0,224 + 6,05 * 10^{-4} * 171,5 + 1,3 * 10^{-5} * 171,5 * 0,224$$

$$C_{ps} = 0,377 \frac{BTU}{lb^{\circ}F} = 1,579 \frac{kJ}{kg^{\circ}C}$$

La entalpía del sólido en la entrada y salida del secador se determina a continuación:

$$H'_{s1} = 1,579 * 90 + 0,299 * 4,187 * 90$$

$$H'_{s1} = 254,67 \frac{kJ}{kg}$$

$$H'_{s2} = 1,579 * 90 + 0,149 * 4,187 * 90$$

$$H'_{s2} = 198,42 \frac{kJ}{kg}$$

Adicionalmente, se realiza el balance de masa en el secador obteniéndose la Ecuación 4.9.

$$G * Y_1 + \dot{m}_{ss} * X_1 = G * Y_2 + \dot{m}_{ss} * X_2 \quad [4.9]$$

Donde:

X₁: Humedad en base seca del sólido a la entrada (kg H₂O/kg masa seca)

X₂: Humedad en base seca del sólido a la salida (kg H₂O/kg masa seca)

Y₁: Humedad absoluta del aire a la entrada (kg H₂O/kg aire seco)

Y₂: Humedad absoluta del aire a la salida (kg H₂O/kg aire seco)

G: Flujo másico de aire seco (kg /día)

Despejando G se obtiene la Ecuación 4.10.

$$G = \frac{\dot{m}_{ss}(X_2 - X_1)}{(Y_1 - Y_2)} \quad [4.10]$$

Se reemplazan las Ecuaciones 4.6 y 4.10 en la Ecuación 4.1, y a la vez los valores de entalpías determinados.

$$64098,1 * (254,67 - 198,42) = \frac{64098,1(0,149 - 0,299)}{(0,007 - Y_2)} * (2566,7 * Y_2 + 35,18 - 95,48)$$

$$Y_2 = 0,033 \frac{kg H_2O}{kg \text{ aire seco}}$$

$$G = 374\,185,02 \frac{kg \text{ aire seco}}{día}$$

$$H'_{G2} = 118,78 \frac{kJ}{kg}$$

4.3.2 Enfriamiento

El principio de funcionamiento del enfriador de tambor rotativo es similar al del secador, por ende, el balance de energía se realiza con las Ecuaciones descritas en la sección 4.3.1. En este caso, los pellets ingresan a una temperatura de 90 °C y salen a 15 °C, en cambio, el aire ingresa a 15 °C y sale a 85 °C, valor que cumple con el límite de temperatura de descargas atmosféricas. En el proceso se pierden un 3% de humedad.

La entalpía del aire en la entrada y salida del enfriador se calcula a partir de la Ecuación 4.5.

$$H'_{A1} = (1,005 + 1,88 * 0,007) * (90) + 2500,9 * 0,007$$

$$H'_{A1} = 32,78 \frac{kJ}{kg}$$

$$H'_{A2} = (1,005 + 1,88 * Y_{A2}) * (25) + 2500,9 * Y_{A2}$$

$$H'_{A2} = 2660,7 * Y_{A2} + 85,43 \quad [4.11]$$

La capacidad calorífica de los sólidos se calcula con los valores medios de los datos descritos y la Ecuación 4.8.

$$C_{ps} = 0,259 + 9,75 * 10^{-4} * 0,13 + 6,05 * 10^{-4} * 126,5 + 1,3 * 10^{-5} * 126,5 * 0,13$$

$$C_{ps} = 0,336 \frac{BTU}{lb^{\circ}F} = 1,406 \frac{kJ}{kg^{\circ}C}$$

La entalpía de los sólidos a la entrada y salida se determina mediante la Ecuación 4.7.

$$H'_{ES1} = 1,406 * 90 + 0,299 * 4,187 * 90$$

$$H'_{ES1} = 182,86 \frac{kJ}{kg}$$

$$H'_{ES2} = 1,406 * 15 + 0,299 * 4,187 * 15$$

$$H'_{ES2} = 28,07 \frac{kJ}{kg}$$

El aire de entrada al enfriador tiene una humedad absoluta de 0,007 kg H₂O/kg aire. Se reemplazan las Ecuaciones 4.11 y 4.10 en la Ecuación 4.1, y a la vez las entalpías determinadas.

$$64098,1 * (182,86 - 28,07) = \frac{64098,1(0,149 - 0,111)}{Y_{A2}} * (2585,5 * Y_{A2} + 45,225 - 32,73)$$

$$Y_{A2} = 0,059 \frac{kg H_2O}{kg aire seco}$$

$$G = 47\,531,26 \frac{kg aire seco}{día}$$

$$H'_{A2} = 241,52 \frac{kJ}{kg}$$

4.4 Dimensionamiento y especificaciones de los equipos

El dimensionamiento de equipos se realizará con base en los factores de seguridad especificados por Walas (1990).

Equipment	Design Variable	Range of Safety Factor (%)
Compressors, reciprocating	piston displacement	11–21
Conveyors, screw	diameter	8–21
Hammer mills	power input	15–21 ^a
Filters, plate-and-frame	area	11–21 ^a
Filters, rotary	area	14–20 ^a
Heat exchangers, shell and tube for liquids	area	11–18
Pumps, centrifugal	impeller diameter	7–14
Separators, cyclone	diameter	7–11
Towers, packed	diameter	11–18
Towers, tray	diameter	10–16
Water cooling towers	volume	12–20

Figura 4.8. Factores de seguridad en el diseño de equipos (Walas, 1990, p. 7)

4.4.1 Dimensionamiento de equipos principales

- **Molino de martillos**

Para obtener la producción por hora consideramos un total de 4 horas de molienda al día.

$$Flujo_{biomasa} = 69\,440,98 \frac{kg}{día} * \frac{1\,día}{4\,h} = 17\,360,25 \frac{kg}{h}$$

La capacidad de diseño se calcula empleando el factor de producción (Fp), el cual puede estar entre el 15 y 20 % sin que se generen inconvenientes energéticos (Arpi y Calderón, 2010). Se considera un Fp de 18% para el cálculo de la capacidad de diseño.

$$Flujo_{diseño} = 17\,360,25 \frac{kg}{h} * \frac{1\,t}{1000\,kg} * 1,18 = 20,49 \frac{t}{h}$$

La potencia requerida para la molienda se calcula con base en el flujo de diseño (alimentación) y el grado de desmenuzamiento de acuerdo a las Ecuaciones 3.1 y 3.2.

$$i_d = \frac{2 \text{ mm}}{0,42 \text{ mm}} = 4,76$$

$$N_m = \left(\frac{0,1}{0,15} \right) * 4,76 * 20,49 \frac{t}{h} = 65,03 \text{ kW} = 87,21 \text{ HP}$$

El motor debe tener una potencia de 87,21 HP para garantizar la inercia del sistema.

El molino empleará un sistema de transmisión de potencia mediante bandas. Para ello se debe elegir el factor de servicio (Fs) con base en el Anexo IV.

La potencia de diseño se obtiene mediante la Ecuación 3.3.

$$P_{diseño} = 1,14 * 87,21 \text{ HP} = 122,09 \text{ HP} = 91,04 \text{ kW}$$

La sección de la banda de transmisión para el diseño y su velocidad, así como el diámetro mínimo de polea recomendado se determinan de manera gráfica en el Anexo IV. De esta manera, se tiene que, para la transmisión de 122,09 HP se requieren 2100 rpm con poleas SPB/5V, y se recomienda un diámetro de polea mayor a 6,8 in.

A continuación, se calcula la relación de reducción de velocidad (r_{red}), Ecuación 4.12, la cual para los molinos es del 25 al 35%, con el objetivo de incrementar el torque de trabajo (Arpi y Calderón, 2010).

$$r_{red} = \frac{\text{rpm polea matriz}}{\text{rpm polea conducida}} \quad [4.12]$$

Considerando una reducción del 30%, se tiene la siguiente velocidad:

$$\text{rpm polea conducida} = 0,7 * 2100 \text{ rpm} = 1470 \text{ rpm}$$

$$r_{red} = \frac{2100}{1470} = 1,43$$

El diámetro de la polea conducida se determina a través de la Ecuación 4.13.

$$\frac{Dp}{dp} = r_{red} \quad [4.13]$$

Donde:

Dp: Diámetro mayor, polea conducida (in)

dp: Diámetro menor, polea conductora (in)

$$Dp = 1,43 * 6,8 \text{ in} = 9,71 \text{ in}$$

La distancia entre los centros de poleas se determina de manera tal que, no se ocasionen choques, ni sea poco práctica. Los criterios para ello se presentan en las Ecuaciones 4.14 y 4.15.

$$a_{mín} = 0,7(dp + Dp) \quad [4.14]$$

$$a_{máx} = 2(dp + Dp) \quad [4.15]$$

Donde:

a_{mín}: Distancia mínima entre centros

a_{máx}: Distancia máxima entre centros

$$a_{mín} = 0,7(6,8 + 9,71) = 11,56 \text{ in}$$

$$a_{m\acute{a}x} = 2(6,8 + 9,71) = 33,03 \text{ in}$$

Tomando en cuenta que la distancia entre los centros debe estar entre 11,56 y 33,03 in, se elige 23 in en el presente trabajo. La longitud de la banda de transmisi3n (L_o) se calcula en funci3n de la Ecuaci3n 4.16.

$$L_o = 2 * a_o + 1,57 * (Dp + dp) + \frac{(dp + Dp)^2}{4 * a_o} \quad [4.16]$$

Donde:

a_o : Distancia entre centros (in)

L_o : Longitud de la banda de transmisi3n (in)

$$L_o = 2 * 23 + 1,57 * (6,8 + 9,71) + \frac{(6,8 + 9,71)^2}{4 * 23} = 74,89 \text{ in}$$

El 3ngulo de contacto en la transmisi3n por correa abierta y con dos poleas se calcula con la Ecuaci3n 4.17.

$$\alpha_1 = 2 * \cos^{-1} \left[\frac{Dp - dp}{2 * a_o} \right] \quad [4.17]$$

Donde:

α_1 : 3ngulo de contacto ($^{\circ}$)

$$\alpha_1 = 2 * \cos^{-1} \left[\frac{9,71 - 6,8}{2 * 22} \right] = 172,40^{\circ} \approx 180^{\circ}$$

La cantidad de bandas (z) a emplearse se determinan mediante la Ecuación 4.18.

$$z \geq \frac{N * fs}{N_1 * c_\alpha * c_L} \quad [4.18]$$

Donde:

N: Potencia útil admisible (kW)

N₁: Potencia nominal transmisible (kW)

fs: Factor de seguridad

c_α: Coeficiente de ángulo de contacto

c_L: Coeficiente por corrección de la longitud

Los valores de coeficientes se determinaron con base en los datos del Anexo IV.

$$z \geq \frac{91,04 \text{ kW} * 1,4}{91,04 \text{ kW} * 0,984 * 0,92} = 1,55 \approx 2 \text{ bandas}$$

Como se presentó en la sección 3.4.1, durante el impacto se puede considerar que la partícula y los martillos describen un triángulo equilátero, es esta forma, el ángulo de desplazamiento se calcula de la siguiente manera:

$$\theta = \sin^{-1} \left(\frac{20}{200} \right) = 0,100 \text{ rad}$$

$$\theta_T = 2 * \theta = 0,200 \text{ rad}$$

Una vez determinado el ángulo de desplazamiento angular en el instante del impacto (θ_T). Se calcula la velocidad angular (ω).

$$\omega = \frac{1470 \text{ rev}}{\text{min}} * \frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ rev}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} = 153,94 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$t = \frac{0,200 \text{ rad}}{153,94 \frac{\text{rad}}{\text{s}}} = 0,0013 \text{ s}$$

Por ende, la aceleración angular a tiempo cero es igual a:

$$\alpha = \frac{153,94^2}{2 * 0,200} = 59\ 143,28 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$$

Considerando las siguientes dimensiones: 5 cm de ancho, 12 cm de largo y 0,64 cm de espesor, y la densidad del acero, se determina el peso de los martillos.

$$m_{\text{mart}} = 5 \text{ cm} * 12 \text{ cm} * 0,64 \text{ cm} * \frac{8 \text{ g}}{\text{cm}^3} * \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} = 0,31 \text{ kg}$$

$$W_{\text{mart}} = 0,31 \text{ kg} * \frac{9,81 \text{ m}}{\text{s}^2} = 3,01 \text{ N}$$

A continuación, se determina la inercia de los martillos y la fuerza de impacto.

$$I = 0,5 * 0,31 \text{ kg} * (0,2 \text{ m})^2 = 0,006 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$F_{\text{impacto}} = \frac{0,006 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} * 59\ 143,28 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}}{0,2 \text{ m}} * \frac{1 \text{ kN}}{1000 \text{ N}} = 1,817 \text{ kN}$$

La fuerza total de impacto será igual a la suma de la carga viva y el peso del martillo.

$$F_{Total} = 1,817 \text{ kN} + \frac{3,01}{1000} \text{ kN} = 1,82 \text{ kN}$$

Para determinar el número de martillos, primero se calcula la velocidad tangencial conforme a la Ecuación 3.14, El factor de rotación se elige de acuerdo al Anexo IV.

$$v = \frac{2 * \pi * 0,4 \text{ m} * 1470 \text{ rpm}}{60} = 61,58 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$61,58 \frac{\text{m}}{\text{s}} \rightarrow f = 0,0099$$

El rendimiento del sistema de transmisión, como se planteó para la Ecuación 3.13, es del 70%.

$$e = \frac{123,8 \text{ CV} * 8 * 100000 * 0,7}{0,31 \text{ kg} * (0,4 \text{ m})^2 * (1470 \text{ rpm})^3 * 0,0099} = 44,85 \approx 45$$

Se considera que la resistencia de compresión de la biomasa de trabajo es similar al de la biomasa de madera, con un valor de 107,90 kg/cm² (10,79 MPa), de esta manera, el esfuerzo de compresión se calcula con la Ecuación 19.

$$\sigma = \frac{F_{compresión}}{A} \quad [4.19]$$

$$F_{compresión} = 10,79 \text{ MPa} * \pi * (0,01)^2 = 3,39 \text{ kN}$$

La cantidad de impactos se obtiene de acuerdo a la Ecuación 4.20.

$$\# \text{ Impactos} = \frac{F_{\text{compresión}}}{F_{\text{total}}} \quad [4.20]$$

$$\# \text{ Impactos} = \frac{3,39 \text{ kN}}{1,82 \text{ kN}} = 1,87$$

Asumiendo que la partícula se divide por la mitad, se calcula los impactos necesarios para alcanzar el diámetro deseado.

Tabla 4.9. Número de impactos requeridos en la molienda del material

Nº	Fuerza de compresión	Número de impactos
1	3,39	1,866
2	0,847	0,466
3	0,212	0,117
4	0,005	0,029
5	0,013	0,007
6	0,003	0,002
7	0,001	0,0005
Total		2,487

El número de impactos por revolución es 24,5 rev/s, considerando un eje de 4 martillos se obtiene un total de 98 golpes por segundo. De esta manera el tiempo de trituración será igual a:

$$\text{tiempo} = 2,5 \text{ impactos} * \frac{s}{24,5 \text{ impactos}} = 0,1 \text{ s}$$

- **Mezcladora de paletas**

En el presente diseño se plantea el uso de una mezcladora horizontal de paletas, debido a que, son adecuadas para la producción de alimento balanceado animal a partir de harinas, concentrados y pastas, además permiten la inclusión de líquidos y tienen un menor tiempo de mezclado que las verticales (Andrango y Naranjo, 2012, p. 40).

La densidad de la biomasa se considera de 280 kg/m³ (Martínez, 2009, p. 132). La cal, sal, ácido ascórbico y bisulfito de sodio tienen densidades entre 334 y 140 kg/m³, mientras

para la melaza y el agua son de 1200 y 1000 kg/m³, respectivamente. Por ende, para el dimensionamiento del equipo se considera un valor promedio de 540 kg/m³.

La mezcladora considera un factor de seguridad del 15 % para evitar el sobrellenado de la misma, esto garantiza un funcionamiento óptimo (Fernández y Quintero, 2014). El flujo total de materiales a ser mezclados es de 89 025,13 kg/día.

$$Flujo_{diseño} = 89\,025,13 \frac{kg}{día} * \frac{1\, día}{4,5\, horas} * \frac{1\, t}{1000\, kg} * 1,15 = 25,79 \frac{t}{h}$$

Considerando el flujo de alimentación se va a realizar el diseño para equipos de 5,4 t/h, dando un total de 3 mezcladoras.

A continuación, se diseña la tolva de alimentación para las mezcladoras.

Al equipo ingresan diferentes materias primas hasta alcanzar un total de 5400 kg. Es importante considerar que su llenado se dará hasta el 80% de la altura del mezclador. Con el objetivo de tener el diámetro más adecuado para el equipo se usa una relación 2.4:1 entre la altura y el diámetro.

$$V_c = \frac{m_d}{\rho_m} \quad [4.21]$$

Donde:

m_d: Masa

ρ_m: Densidad media de la carga

V_c: Volumen de carga

$$V_c = \frac{5400\, kg}{540 \frac{kg}{m^3}} = 10\, m^3$$

El volumen de la sección cilíndrica y cónica se determinan mediante las Ecuaciones 4.22 y 4.23, respectivamente.

$$V_1 = \pi * h_1 * \frac{D_c^2}{4} \quad [4.22]$$

$$V_2 = \pi * \frac{h_2}{3} * \frac{D_c^2}{4} \quad [4.23]$$

Donde:

V_1 : Volumen de carga de la sección cilíndrica

V_2 : Volumen de carga de la sección cónica

D_c : Diámetro de la tolva

h_1 : Altura de la sección cilíndrica

h_2 : Altura de la sección cónica

Con base en las Ecuaciones 4.22 y 4.23 y la relación entre la altura y el diámetro se determinan la Ecuación 4.24.

$$1,8849 * D_c^3 - 0,4712 * D_c^2 = 10 \quad [4.24]$$

Al resolver la Ecuación 4.24 se determina que el diámetro del cilindro debe ser de 1,83 m, por lo tanto, para simplificar el diseño se considera 1,80 m. Por otra parte, la altura de llenado calculada es de 4,40 m, mientras la altura total del tanque será de 5,5 m. Respecto a las alturas de la sección cilíndrica y cónica, estas serán de 2,4 y 2,0 m respectivamente.

A continuación, se realiza el dimensionamiento de la carcasa de la mezcladora.

De acuerdo a las relaciones mencionadas en la sección 3.4.2, la relación entre la longitud y diámetro del equipo será de 1,4:1, mientras, la relación de la altura con el diámetro será de 1,1:1.

Como se determinó anteriormente, el volumen de carga será de 10 m^3 . El volumen del semicilindro se determina de acuerdo a la Ecuación 3.15 y las relaciones descritas.

$$10 \text{ m}^3 = \pi * 1,4 * D_{cc} * \frac{D_{cc}^2}{8}$$

$$D_{cc} = 2,63 \text{ m} \approx 2,6 \text{ m}$$

$$l = 1,4 * D_{cc} = 3,68 \text{ m} \approx 3,7 \text{ m}$$

$$h = 1,1 * D_{cc} = 2,89 \approx 2,9 \text{ m}$$

El volumen de la sección cilíndrica (V_{sc}) se determina a continuación:

$$V_{sc} = \frac{1}{8} * \pi * 3,68 \text{ m} * (2,63 \text{ m})^2 = 10 \text{ m}^3$$

El volumen total de la mezcla es la suma del volumen rectangular y el de la sección cilíndrica, dando un valor de $12,55 \text{ m}^3$.

- **Extrusor**

Con base en los catálogos disponibles en el mercado, se seleccionó un extrusor de tornillo doble PolyTwin™ 125, diseñado para la producción de micropellets y pellets estándar de frituras. Este equipo tiene una capacidad de hasta 8000 kg/h, por lo cual, considerando una sobreproducción del 15%, se requieren de 3 unidades en planta. Su potencia es de 710 kW, la longitud es de 9,1 m y su ancho de 2,22 m.

- **Secador rotativo**

El diámetro del secador se determina mediante la Ecuación 4.25 (Rodríguez, 2019, p. 65):

$$D_{sc} = \sqrt{\frac{4 * G}{(1 - F_l) * \pi * G_h}} \quad [4.25]$$

Donde:

D_{sc} : Diámetro del secador (m)

G: Flujo de aire seco (kg/h)

G_h : Flujo de aire húmedo (kg/h)

F_L : Factor de llenado

El flujo de aire seco que ingresa al equipo se determinó en el balance de energía, considerando que el equipo trabaja 4 horas a diario, este es de 93 546,26 kg/h. Por otro lado, el flujo de aire húmedo se determina con base en la humedad del aire que ingresa, siendo de 94 201,08 kg/h. El factor de llenado se considera del 40% (Espinoza y Vega, 2015, p. 45).

$$D_{sc} = \sqrt{\frac{4 * 93546,26}{(1 - 0,4) * \pi * 94201,08}} = 1,45 \text{ m} \approx 1,50 \text{ m}$$

El diámetro debe estar en el rango de 1 a 3 m, por ende, 1,50 m, cumple con las especificaciones.

La longitud del secador rotativo se determina con base en las Zonas de secado a bajas temperaturas, dado que no se superan los 100 °C, por lo tanto, la zona I de secado se desprecia. La temperatura de bulbo húmedo es igual a 33,5 °C, esta se determinó con base en la temperatura de bulbo seco del aire se salida y su humedad.

Para determinar las entalpías del sólido se procede a determinar su capacidad calorífica a temperatura media:

$$C_{ps} = 0,259 + 9,75 * 10^{-4} * 0,224 + 6,05 * 10^{-4} * 194 + 1,3 * 10^{-5} * 194 * 0,224$$

$$C_{ps} = 0,377 \frac{BTU}{lb^{\circ}F} = 1,579 \frac{kJ}{kg^{\circ}C}$$

$$H'_{SA} = 1,579 * (33,5 - 0) + 0,299 * 4,187 * (33,5 - 0) = 94,84 \frac{kJ}{kg}$$

$$H'_{SB} = 1,579 * (33,5 - 0) + 0,149 * 4,187 * (33,5 - 0) = 73,80 \frac{kJ}{kg}$$

Se determina el calor húmedo del gas de entrada (C_s) para la zona III.

$$C_s = 1,005 + 1,884 * 0,007 = 1,02 \frac{kJ}{kg}$$

A continuación, se realiza un balance de energía para obtener la temperatura del aire en el inicio de la zona III. Se consideran despreciables las pérdidas por calor.

$$G * C_s * (T_{eA} - T_D) = \dot{m}_{SS} * (H'_{S2} - H'_{SB}) + Q \quad [4.26]$$

$$93546,26 * 1,02 * (90 - T_D) = 16024,53 * (198,42 - 73,80) + 0$$

$$T_D = 69,03 \text{ }^{\circ}C$$

La variación de temperatura promedio entre el aire y los sólidos será la siguiente:

$$\Delta T_m = \frac{(90 - 35) + (69,90 - 33,5)}{2} = 45,27 \text{ } ^\circ\text{C}$$

El gradiente de temperatura del aire se calcula con la Ecuación 4.27.

$$\Delta t'_G = \frac{m_{ss} * (H'_{S2} - H'_{SB})}{G * C_s} \quad [4.27]$$

$$\Delta t'_G = \frac{16024,53 * (198,42 - 73,80)}{93546,26 * 1,02} = 20,97 \text{ } ^\circ\text{C}$$

El número de unidades de transferencia en la zona III será:

$$N_{tOG} = \frac{20,97 \text{ } ^\circ\text{C}}{45,27 \text{ } ^\circ\text{C}} = 0,463$$

En la zona II, dado que ya tenemos la temperatura intermedia, el número de unidades de transferencia de calor se calcula como:

$$\Delta t_g = 69,03 - 33,5 = 35,53 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_m = \frac{34,03}{\ln\left(\frac{35,53}{20,97}\right)} = 64,51 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$N_{tOG} = \frac{35,53 \text{ } ^\circ\text{C}}{64,51 \text{ } ^\circ\text{C}} = 0,528$$

$$N_{tOG \text{ total}} = 0,463 + 0,528 = 0,991$$

El área transversal del secador se determina con la Ecuación 4.28.

$$A_i = \frac{\pi}{4} * D_{sc}^2 \quad [4.28]$$

$$A_i = \frac{\pi}{4} * 1,5^2 = 1,77 \text{ m}^2$$

$$\frac{G}{A_i} = \frac{93546,26 \frac{kg}{h}}{1,77 \text{ m}^2} * \frac{1h}{3600 s} = 15,00 \frac{kg}{\text{m}^2 * s}$$

$$U = \frac{237 * 15,00^{0,67}}{1,5} = 969,64 \frac{W}{\text{m}^3 * ^\circ C}$$

$$H_{tOG} = \frac{15,00 * 1005}{969,64 * 1,77} = 15,55 \text{ m}$$

$$z = 0,991 * 15,55 \text{ m} = 15,40 \text{ m}$$

La longitud del secador debe ser de máximo 15 veces el radio, siendo este valor de 22,5 m, la longitud determinada está dentro de los parámetros.

La pendiente del secador rotativo se determina con base en la velocidad periférica de la carcasa, la cual está comprendida entre 20 y 25 m/min. En el diseño del presente proyecto se considera una velocidad de 22 m/min.

La velocidad de la cámara angular se calcula con la Ecuación 4.29.

$$N = \frac{V_p}{\pi * D_{sc}} \quad [4.29]$$

Donde:

V_p : Velocidad periférica (m/min)

N : Velocidad angular (rpm)

$$N = \frac{22 \frac{m}{min}}{\pi * 1,5 m} = 4,67 rpm = 0,078 s^{-1}$$

La pendiente del secador se calcula con la Ecuación 4.30.

$$S = \frac{0,3344 * \dot{m}_{ss}}{\Phi_D * \rho_s * N^{0,9} * D_{sc}} \quad [4.30]$$

Donde:

ρ_s : Densidad del sólido

Φ_D : Retención sin flujo de gas

La retención se determina a partir de la Ecuación 4.31.

$$\Phi_D = \Phi_{D0} \pm K * G \quad [4.31]$$

$$K = \frac{0,6085}{\rho_s * d_p^{0,5}} \quad [4.32]$$

Donde:

ρ_s : Densidad del sólido (kg/m³)

Φ_D : Retención

d_p : Diámetro de partícula (m)

El valor de retención seleccionado es de 0,15, y el diámetro de partícula de 0,42 mm. La densidad de los pellets extruidos suele estar en el rango de 1000 a 1200 kg/m³, no obstante, cuando se trabaja a granel suele ser de 600 a 800 kg/m³ (Arpi y Calderón, 2010, p. 63). En este contexto, se considera una densidad de 800 kg/m³.

$$K = \frac{0,6085}{800 * 0,00042^{0,5}} = 0,037$$

$$\phi_D = 0,15 + (0,037 * 15,00) = 0,707$$

Entonces,

$$S = \frac{0,3344 * 10,08}{0,707 * 800 * 0,078^{0,9} * 1,5} = 0,0396 \frac{m}{m}$$

$$S = 0,0396 \frac{m}{m} * 15,40 m = 60,92 cm = 6,1\%$$

El tiempo de retención se determina con la Ecuación 4.33.

$$\theta = \frac{z * \phi_{DO} * \rho_s}{\dot{m}_{ss}} \quad [4.33]$$

$$\theta = \frac{15,40 m * 0,15 * 800 \frac{kg}{m^3}}{10,08 \frac{kg}{m^2 * s}} = 183,43 s = 3,06 min$$

El quemador se selecciona con base en la energía que requiere el equipo, para ello se emplea la Ecuación 4.34.

$$Q_{quemador} = U * V * \Delta T \quad [4.34]$$

Donde:

U: Coeficiente global de transferencia de calor

V: Volumen del secador a diseñar

ΔT : Gradiente de temperatura entre el gas y el sólido

$$V = 1,77 \text{ m}^2 * 15,40 \text{ m} = 27,22 \text{ m}^3$$

$$Q_{quemador} = 0,96964 \frac{\text{kW}}{\text{m}^3\text{°C}} * 27,22 \text{ m}^3 * 55\text{°C} = 1451,47 \text{ kW} = 4\,952\,612,23 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}$$

Para determinar el flujo de calor a emplearse (CT), se consideran pérdidas del 5 % (Rodríguez, 2019, p. 91).

$$C_T = \frac{1451,47 \text{ kW}}{(1 - 0,05)} = 1527,86 \text{ kW} = 5\,213\,276,03 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}$$

El consumo de combustible (Cc) se determina con la Ecuación 4.35.

$$C_c = \frac{C_T}{P_c} \quad [4.35]$$

En el equipo se empleará gas licuado de petróleo (GLP) como combustible, por ende, el poder calorífico será de 2 821 kJ/kg.

$$C_c = \frac{1527,86 \frac{kJ}{s}}{2821 \frac{kJ}{kg}} * \frac{3600 s}{1 h} = 1949,8 \frac{kg}{h}$$

El flujo diario de combustible será de 7800 kg, es decir, 68 860 ft³/h.

La potencia se determina mediante la siguiente Ecuación 4.36.

$$Potencia = 0,00045 * W_t * V_p + 0,00012 * B * D_{sc} * f_r * n \quad [4.36]$$

Donde:

W_t: Peso final de la cámara de secado

B: Masa del sólido (kg)

f_r: Promedio de caídas del sólido por revolución (entre 1 y 2)

n: Velocidad de rotación de la cámara de secado (rpm)

V_p: Velocidad periférica (m/s)

Para el cálculo del peso del equipo se define el material del que será construido, es este caso, se empleará acero inoxidable fino debido a su resistencia a las altas temperaturas. El acero inoxidable austenítico tipo 304, contiene cromo y níquel, su densidad es de 7850 kg/m³, tiene una resistencia a la tracción de 515 MPa.

En el secador se emplearán 27 elevadores de 8 kg cada uno.

Entonces, el peso del secador es:

$$W_t = 0,73 m^3 * 7850 \frac{kg}{m^3} + 8kg * 27 = 5912,8 kg$$

Se determina un factor de seguridad del 30 %, dando un peso final de 7686,65 kg, aproximadamente 7700 kg.

$$Potencia = 0,00045 * 7700 \text{ kg} * 0,367 \frac{\text{m}}{\text{s}} + 0,00012 * 16024,53 \text{ kg} * 1,5 * 1 * 0,078 \frac{1}{\text{s}}$$

$$Potencia = 1,50 \text{ kW}$$

- **Enfriador de aire a contracorriente**

El enfriador seleccionado contiene un sistema de vaciamiento especial para mantener la integridad de los pellets. El flujo de aire ingresa por la parte inferior del equipo, posee sensores para medir el nivel de pellets en el equipo. El aire ingresa a temperatura ambiental y se calienta hasta 45 °C. La empresa Sangati Berga ofrece el enfriador modelo RQR 5, con una capacidad de 15 ton/h.

- **Tanque de almacenamiento**

La corriente de recirculación es de 116 503,03 kg/día a 27 °C y presión atmosférica, mientras el flujo de agua fresca requerido es de 10 207,20 kg/día. Considerando un sobredimensionamiento del 20%, el volumen del tanque a dimensionar es de 152,57 m³. En el diseño se establece una relación diámetro altura de 1,5. De este modo, las dimensiones del tanque serán:

$$152,57 \text{ m}^3 = \pi * \frac{(1,5 * H_{ci})^2}{4} * H_{ci}$$

$$H_{ci} = 4,42 \text{ m}$$

$$D_{ta} = 1,5 * 4,42 \text{ m} = 6,63 \text{ m}$$

$$r = \frac{6,63 \text{ m}}{2} = 3,32 \text{ m}$$

Habiendo calculado las dimensiones del tanque se determina la altura del cabezal cónico y posteriormente su volumen, cabe resaltar que el ángulo considerado es de 15°.

$$h_{co} = \frac{\sin(15^\circ)}{\cos(15^\circ)} * 3,32 \text{ m} = 0,89 \text{ m}$$

$$V_{co} = \pi * \frac{(6,63 \text{ m})^2}{12} * 0,89 \text{ m} = 10,22 \text{ m}^3$$

El espesor del techo cónico se determina con base al diámetro del tanque y el ángulo respecto a la horizontal:

$$T_{tt} = \frac{6\ 630}{4800 * \sin(15)} = 5,34 \text{ mm}$$

Dado que el espesor determinado es mayor al espesor mínimo (4,76 mm), el espesor del fondo será de 5,34 mm.

El volumen total del tanque es la suma del volumen de diseño con el volumen del cabezal, es decir, 162,79 m³.

El tanque de almacenamiento será vertical con fondo plano. Los cimientos que soportarán el tanque deben poseer una resistencia mayor a 3000 lb/ft², por lo cual, se empleará una base de asfalto con un grosor de 30 cm. Con el fin de prevenir deformaciones en el tanque, su fondo tendrá un espesor de 6,3 mm más el espesor de corrosión (2 mm), dando un total de 8,3 mm. Adicionalmente, para el uso de una placa anular el diámetro del tanque tendrá un grosor de 51 mm más que el diámetro exterior del cuerpo cilíndrico (Inglesa, 2016, p. 56).

La altura de las virolas (placas) de un tanque pueden medir de 1 a 2 m, en el presente diseño, se consideran virolas de 1,5 m, lo cual da un total de 3 virolas. En la determinación del espesor de las virolas del cuerpo del tanque se considera una corrosión permisible de 2 mm, además, el material a emplear será acero al carbono A-283 grado C, cuyos esfuerzos de diseño y de prueba hidrostática son de 1410 y 1580 kg/cm², respectivamente.

Para la placa cercana al fondo del tanque el espesor es:

$$t_{ct} = \frac{0,0005 * 663 \text{ cm} * (442 \text{ cm} - 30,48)}{1580 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}} = 0,09 \text{ mm}$$

$$t_{cd} = \frac{0,0005 * 663 \text{ cm} * (442 \text{ cm} - 30,48) * 0,997}{1410 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}} + 2 \text{ mm} = 2,10 \text{ mm}$$

De los valores calculados se elige el mayor, no obstante, dicho valor es menor al espesor mínimo, por ende, el espesor de la virola será de 4,76 mm. De manera similar se realiza el cálculo para la virola del medio y la de la parte superior, dando como resultados espesores de 2,06 y 2,03 mm, correspondientemente. Por lo tanto, todas las virolas tendrán un espesor de 4,76 mm.

4.4.2 Dimensionamiento de equipos secundarios

- **Bandas transportadoras**

Para el transporte de los sólidos hacia el molino, del molino a la mezcladora, del extrusor hacia el secador y del secador hacia el enfriador se emplearán bandas transportadoras. Con base en la Figura 3.9, para un diámetro de partícula de la biomasa es recomendable un ancho de banda de 14 in (35 cm), dando un área total de 0,11 ft² (0,01 m²), y una velocidad de 91 m/min. La inclinación de la banda será de 28° conforme a lo descrito en el Anexo I.

La longitud de las bandas se define con base en la longitud de los equipos y el espacio disponible. En el caso de la alimentación al molino de martillos, considerando un ángulo de 28 ° y la altura de 1,42 m, esta tendrá 3,5 m.

La banda que alimenta al distribuidor rotatorio tendrá una longitud de 5,10 m, mientras las que alimentan a las mezcladoras serán de 3 m. Cabe mencionar que todas las bandas serán canalizadas.

- **Tuberías y bombas**

Las tuberías a dimensionar son para agua, vapor de agua, aire y combustible. A continuación, se presenta el dimensionamiento de la tubería de recirculación, las demás se determinaron de manera similar, y los cálculos se presentan en el Anexo V.

Considerando que la temperatura del refinado acuoso sale a 27 °C, la temperatura de diseño se determina de la siguiente manera:

$$T_{diseño} = T_{op} + 10^{\circ}C$$

$$T_{diseño} = (27 + 10)^{\circ}C = 37^{\circ}C$$

Respecto a la presión de operación, la extracción reactiva se realiza a presión atmosférica, por ende, la presión de diseño será de 50 psig.

Con el objetivo de determinar el diámetro adecuado para la tubería, se emplea la Ecuación 3.44. Para obtener el valor de la velocidad, de acuerdo a las recomendaciones mostradas en la Tabla 3.1, para la succión se establece un valor de 3 ft/s, y para la descarga 8 ft/s. Las tuberías serán de acero inoxidable. Entonces, el diámetro de la tubería de succión será el siguiente:

$$A_t = \frac{26,06 \frac{m^3}{h}}{3291,84 \frac{m}{h}} = 7,92E - 3 m^2$$

$$D_t = \sqrt{\frac{4 * 7,92E - 3 m^2}{\pi}} = 0,10 m = 3,95 in$$

Para la descarga:

$$A_t = \frac{26,06 \frac{m^3}{h}}{8778,24 \frac{m}{h}} = 2,97E - 3 m^2$$

$$D_t = \sqrt{\frac{4 * 2,98E - 3 m^2}{\pi}} = 0,06 m = 2,42 in$$

Con base en los diámetros calculados, se define que el diámetro para las tuberías de succión y de descarga serán de 4 y 2,5 in conforme a lo establecido en la Norma ASTM A53, respectivamente. Por lo cual, se calculan las velocidades para la succión y la descarga.

Velocidad de la succión:

$$A_t = \frac{\pi}{4} * (0,1016 m)^2 = 8,11E - 03 m^2$$

$$v_s = \frac{26,13 \frac{m^3}{h}}{8,11E - 03 m^2} = 3 222,95 \frac{m}{h} = 2,94 \frac{ft}{s}$$

Velocidad de la descarga:

$$A_t = \frac{\pi}{4} * (0,0635 m)^2 = 3,17E - 03 m^2$$

$$v_d = \frac{26,13 \frac{m^3}{h}}{3,17E - 03 m^2} = 8 250,76 \frac{m}{h} = 7,52 \frac{ft}{s}$$

Las velocidades calculadas están dentro de los rangos permitidos, entonces, a continuación, se determinan las cabezas de pérdidas en las tuberías. Para lo cual, se

estima una longitud de 17 m, considerando la distribución de los equipos en la planta de producción de ácido cítrico. La rugosidad del material de la tubería es de 0,045 mm y la gravedad de 9,81 m/s².

El número de Reynolds (Re) para la succión y la descarga son:

$$Re_s = \frac{0,9 \frac{m}{s} * 993,37 \frac{kg}{m^3} * 0,1016 m}{6,92E - 04 \frac{kg}{m * s}} = 1,31E + 05$$

$$Re_d = \frac{2,29 \frac{m}{s} * 993,37 \frac{kg}{m^3} * 0,0635 m}{6,92E - 04 \frac{kg}{m * s}} = 2,09E + 05$$

Los números de Reynolds son mayores a 3000, por lo cual, el flujo se considera turbulento. El factor de Darcy se determina en el Diagrama de Moody (Anexo II), mediante Re y la rugosidad relativa, la cual es de 4,43E-04 para la succión y de 7,09E-04 para la descarga. De este modo, los factores de Darcy para la succión y la descarga son 0,018 y 0,02, respectivamente. El valor de las cabezas de pérdidas se determina estableciendo una longitud de 5 m para la tubería de succión, y de 12 m para la tubería de descarga.

$$h_{fs} = \frac{0,018 * 5 m * (0,9 \frac{m}{s})^2}{0,1016 m * 2 * 9,81 \frac{m}{s^2}} = 0,04 m$$

$$h_{fd} = \frac{0,02 * 12 m * (2,29 \frac{m}{s})^2}{0,0635 m * 2 * 9,81 \frac{m}{s^2}} = 1,01 m$$

En el cálculo de la cabeza de bomba se requiere de las constantes de los accesorios empleados. Tanto en la succión como en la descarga se van a emplear codos, una válvula de bola y una válvula check, adicionalmente se consideran las pérdidas en la entrada y salida de la tubería.

La altura de la columna de extracción reactiva es de 1,5 m, y la altura del tanque de almacenamiento es de 4,42 m. Se considera un cambio de altura de 2,21 m. En este sentido, la cabeza de la bomba se calcula de la siguiente manera:

$$H_B = \frac{2,29^2 - 0,9^2}{2 * 9,81} + (2,21 - 0) + 0,04 + 1,01 + 15,7 * \frac{0,9^2}{2 * 9,81} + 16,2 * \frac{2,29^2}{2 * 9,81}$$

$$H_B = 8,47 \text{ m}$$

La potencia de la bomba será:

$$P_B = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 993,37 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 26,13 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} * 8,47 \text{ m} * \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} * \frac{1 \text{ kW}}{1000 \text{ W}}$$

$$P_B = 0,60 \text{ kW} = 0,80 \text{ HP}$$

En el cálculo de la altura total dinámica (TDH), se requiere de la presión de descarga y de succión, así como, de los cabezales correspondientes.

Para la succión se considera la altura de la columna como altura del líquido, es decir, 1,5 m.

$$\Delta H_{ss} = 993,37 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 1,5 \text{ m} * \frac{2,2 \text{ lb}}{1 \text{ kg}} * \frac{1 \text{ m}^2}{1550 \text{ in}^2} = 2,11 \text{ psi}$$

$$\Delta H_{fs} = 0,04 + 15,7 * \frac{0,9^2}{2 * 9,81} = 0,68 \text{ m}$$

$$\Delta H_{fs} = 0,68 \text{ m} * 993,37 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * \frac{2,2 \text{ lb}}{1 \text{ kg}} * \frac{1 \text{ m}^2}{1550 \text{ in}^2} = 0,96 \text{ psi}$$

$$P_s = 2,11 - 0,96 = 1,16 \text{ psi}$$

Para la descarga se considera la altura que alcanzará el fluido en el tanque diseñado, es decir, 4,42 m.

$$\Delta H_{sd} = 993,37 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 4,42 \text{ m} * \frac{2,2 \text{ lb}}{1 \text{ kg}} * \frac{1 \text{ m}^2}{1550 \text{ in}^2} = 6,23 \text{ psi}$$

$$\Delta H_{fd} = 1,01 + 16,2 * \frac{2,29^2}{2 * 9,81} = 5,32 \text{ m}$$

$$\Delta H_{fd} = 5,35 \text{ m} * 993,37 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * \frac{2,2 \text{ lb}}{1 \text{ kg}} * \frac{1 \text{ m}^2}{1550 \text{ in}^2} = 7,50 \text{ psi}$$

$$P_d = 6,23 + 7,50 = 13,73 \text{ psi}$$

Por lo tanto,

$$TDH = 13,73 - 1,16 = 12,57 \text{ psi}$$

4.5 Hojas de especificaciones de los equipos

En la presente sección se muestran las hojas de especificación seleccionadas para los equipos principales. Los catálogos fueron seleccionados con base en las dimensiones y capacidades calculadas anteriormente.

Tabla 4.10. Hoja de especificaciones del molino de martillos

FICHA DE ESPECIFICACIONES N°1		
Equipo: Molino de martillos		
Fabricante: La Meccanica	Modelo: MM150-2P	Etiqueta en planta: HM-001
Dimensiones Longitud: 3,04 m Ancho: 2,016 m Altura: 1,42 m	Especificaciones Capacidad máxima: 24 Ton/h Potencia: 110 kW Peso: 2215 kg Número de martillos: 40-80	
Modalidad del equipo: continuo		
Esquema del equipo		

Tabla 4.11. Hoja de especificaciones del molino de la mezcladora de paletas

FICHA DE ESPECIFICACIONES N°2		
Equipo: Mezcladora de paletas		
Fabricante: La Meccanica	Modelo: SP-10000	Etiqueta en planta: MD-001
Dimensiones Longitud: 5,36 m Ancho: 2,17 m Altura: 2,74 m	Especificaciones Capacidad máxima: 10 m ³ Potencia: 90 kW Peso: 8200 kg Tiempo de mezclado: 4 min	
Modalidad del equipo: batch		
Esquema del equipo		

Tabla 4.12. Hoja de especificaciones del extrusor

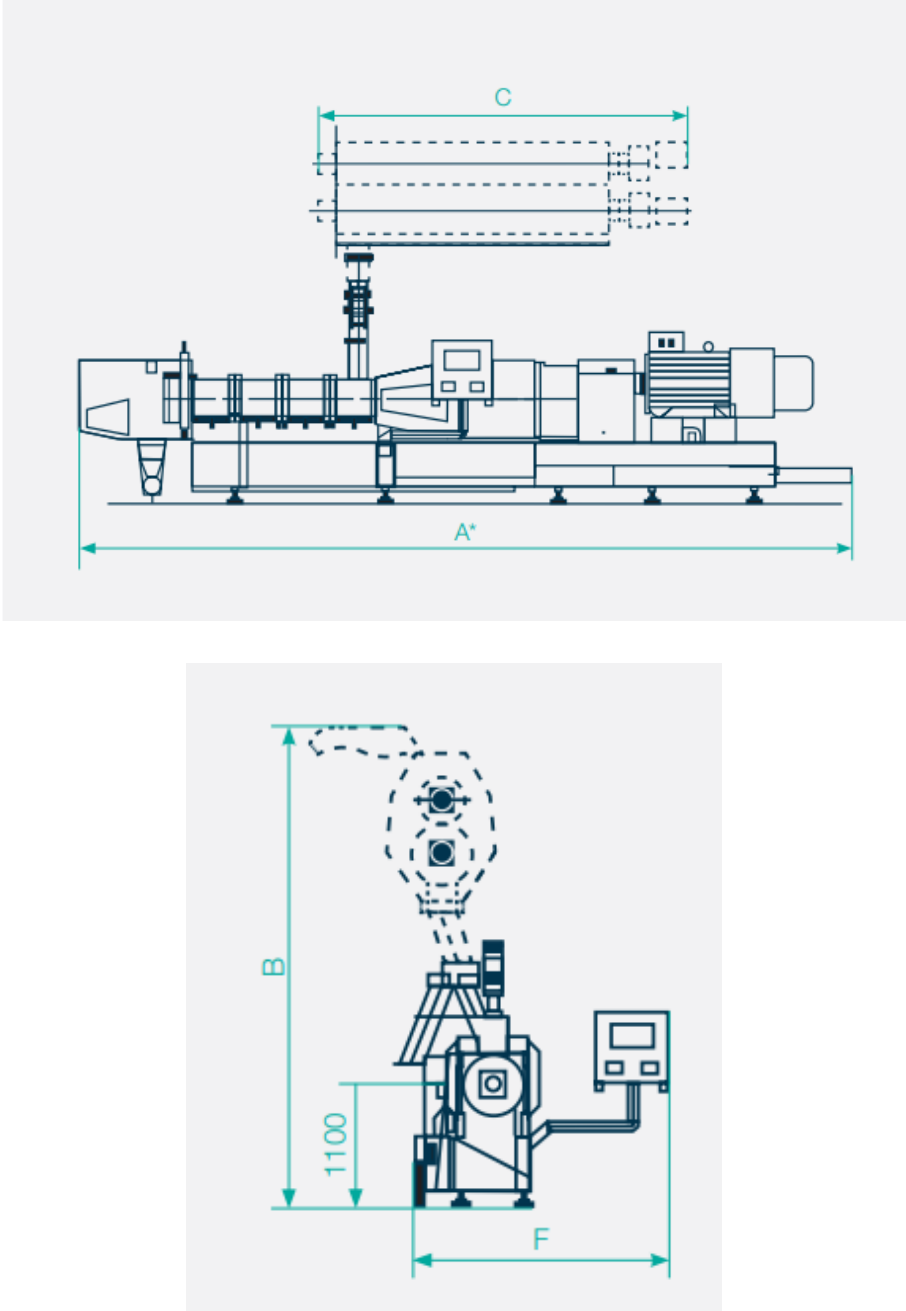
FICHA DE ESPECIFICACIONES N°3		
Equipo: Extrusor		
Fabricante: BUHLER	Modelo: PolyTwinTM 125	Etiqueta en planta: A-001
Dimensiones Longitud: 9,1 m Ancho: 2,22 m Altura: 4,23 m	Especificaciones Capacidad máxima: 8000 kg/h Potencia: 710 kW Diámetro del tornillo: 125 mm Tiempo de operación: 15 s	
Modalidad del equipo: continuo		
Esquema del equipo		
 <p>The image contains two technical drawings of the extruder. The top drawing is a side view showing the overall length of the machine, labeled as A*. It also shows the vertical height of the extrusion head, labeled as C. The bottom drawing is a front view showing the width of the machine, labeled as F. It also shows the height from the base to the top of the extrusion head, labeled as B. A specific height of 1100 is indicated from the base to the top of the motor housing.</p>		

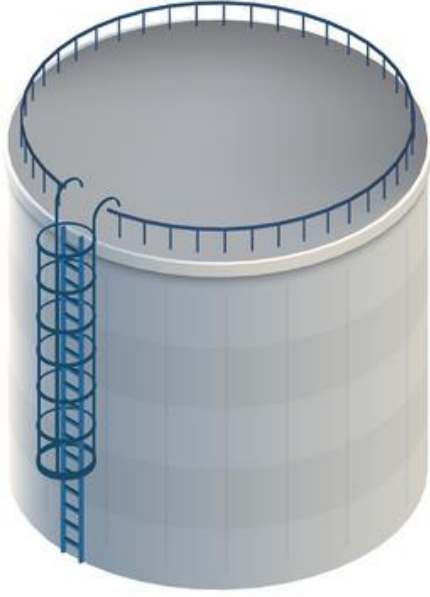
Tabla 4.13. Hoja de especificaciones del secador rotatorio

FICHA DE ESPECIFICACIONES N°4		
Equipo: Secador rotatorio		
Fabricante: PROENSI	Modelo: Diseñado	Etiqueta en planta: D-001
Dimensiones Diámetro: 1,5 m Longitud: 15,4 m	Especificaciones Capacidad máxima: 10 m ³ Potencia: 1,5 kW Peso: 5 912,8 kg Tiempo de retención: 3,06 min Combustible: GLP Grado de inclinación: 6,1 % Potencia del quemador: 1 451,5 kW Material: Acero inoxidable 304	
Modalidad del equipo: continuo		
Esquema del equipo		
<p>(DIRECT-HEAT TYPE) DRYER</p>		

Tabla 4.14. Hoja de especificaciones del enfriador de aire a contracorriente

FICHA DE ESPECIFICACIONES N°5		
Equipo: Enfriadora de pellets con aire a contracorriente		
Fabricante: SANGATI BERGA	Modelo: RQR 5	Etiqueta en planta: PC-001
Dimensiones Longitud: 3,34 m Ancho: 2,61 m Altura: 3,45 m	Especificaciones Capacidad máxima: 15 Ton/h Potencia: 10 kW Peso: 1520 kg	
Modalidad del equipo: continuo		
Esquema del equipo		

Tabla 4.15. Hoja de especificaciones del tanque de almacenamiento

FICHA DE ESPECIFICACIONES N°6		
Equipo: Tanque de almacenamiento del refinado acuoso		
Fabricante: ACINDEC	Modelo: Diseñado	Etiqueta en planta: TK-001
Dimensiones Diámetro cuerpo: 6,63 m Altura cuerpo: 4,5 m Altura del techo: 90 cm	Especificaciones Volumen total: 163,18 m ³ Número de virolas: 3 Espesor de las virolas: 4,76 mm Espesor del techo: 5,34 mm Espesor del fondo: 8,3 mm Material: Acero al carbono A-283 grado C,	
Descripción del equipo: Tanque vertical con fondo plano y techo cónico, para el almacenamiento de refinado acuoso.		
Esquema del equipo <div style="text-align: center;">  </div>		

4.6 Planificación de la producción

La producción de suplemento alimenticio es un proceso semicontinuo dado que la etapa de mezclado se realiza por lotes. Esta se realizará durante aproximadamente 5 horas, de 10:00 am a 15:10 pm, de acuerdo al Diagrama de Gantt presentado en la Figura 4.9.

La jornada laboral inicia con el cargado del molino a las 10:00 am, operación que se realiza de a través de una banda transportadora. La biomasa molida se alimenta a través de bandas transportadoras hacia las tolvas de alimentación de las mezcladoras de paletas, los nutrientes, antioxidantes y la melaza se añaden manualmente, mientras, el agua se adiciona a través de una tubería. La descarga de las mezcladoras se realiza manualmente.

La mezcla acondicionada pasa a las extrusoras a través de tornillos sin fin, los pellets generados, con ayuda de bandas transportadoras se dirigen hacia los secadores de tambor rotativo, y posteriormente a un enfriador vertical con aire a contracorriente. El producto final se dirige a una empacadora donde se llenan sacos de 40 kg. Las tareas serán repartidas de acuerdo a la Tabla 4.16.

Tabla 4.16. Distribución de trabajos en la producción de suplemento alimenticio

Operación	Personas involucradas	Tiempo de operación (h)
Molienda	3	4
Mezclado	6	4
Extrusión	1	4
Secado	1	4
Empaque y almacenamiento	3	4

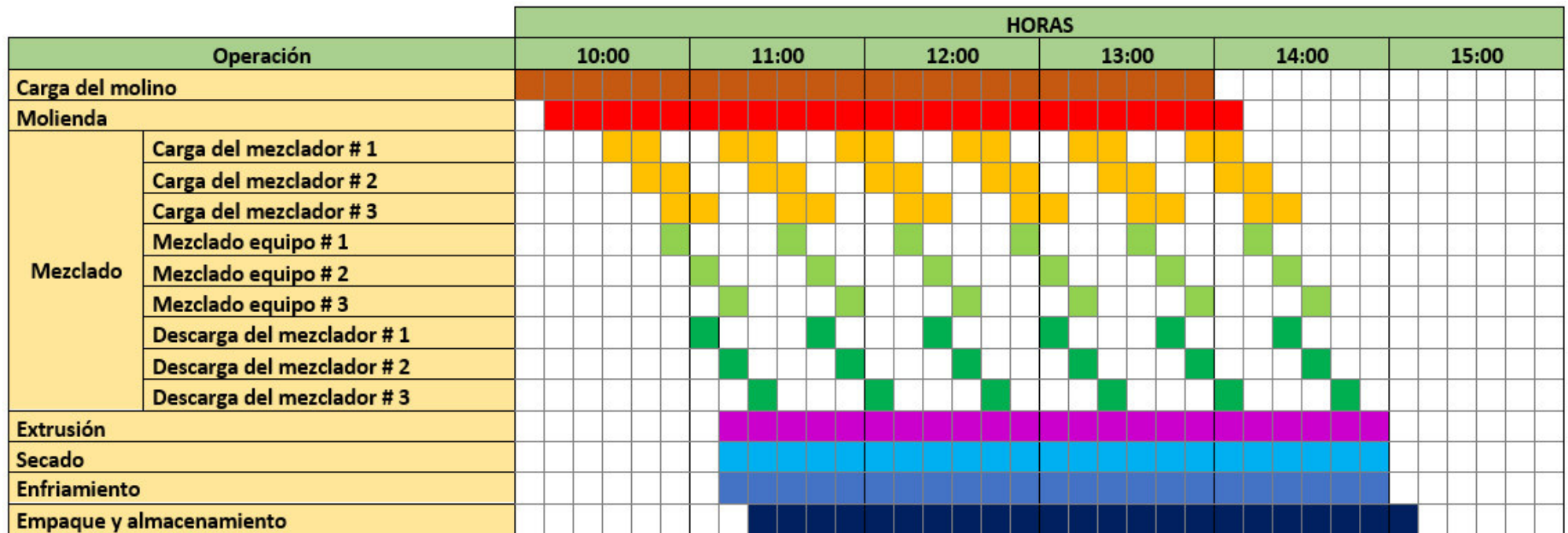


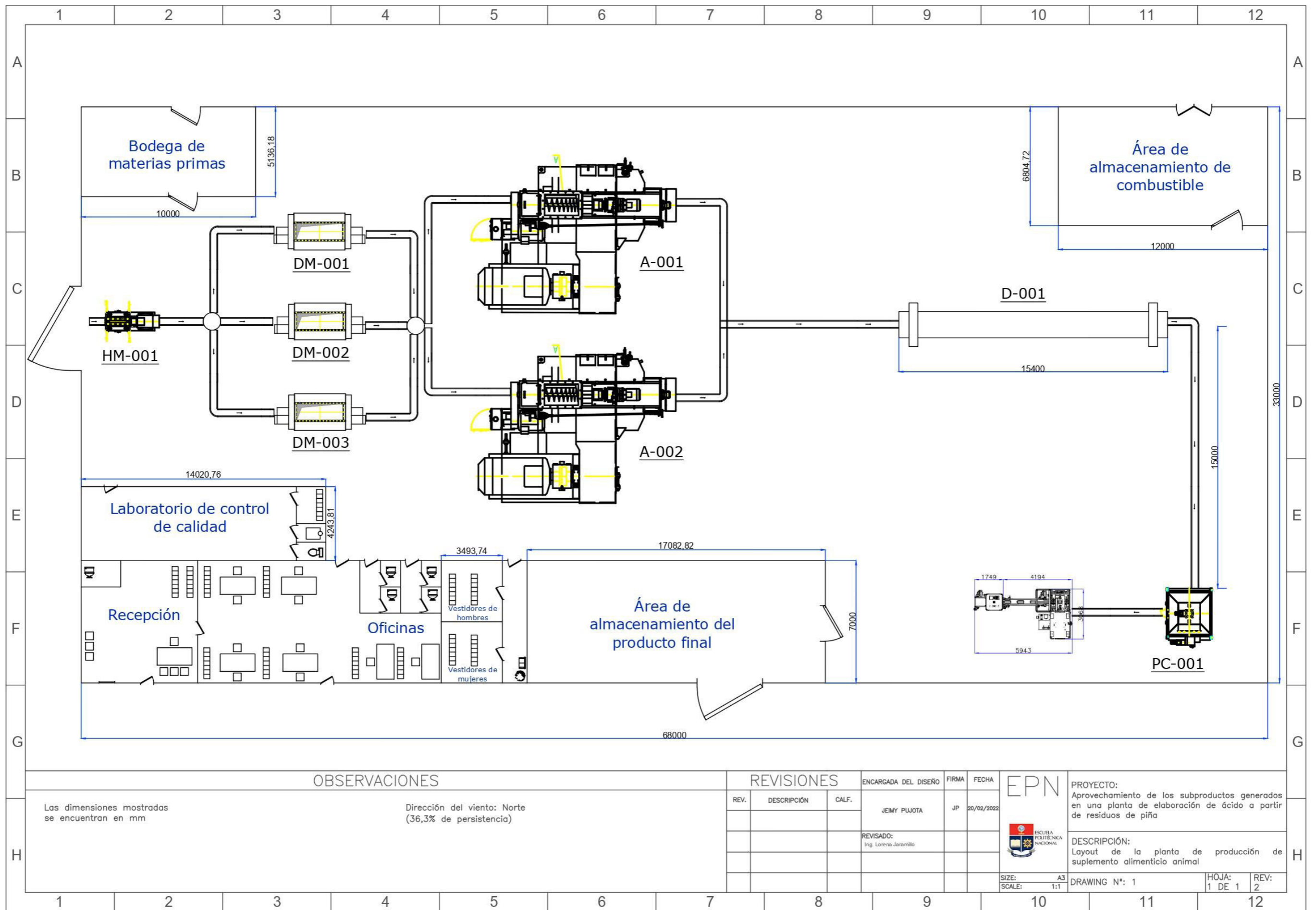
Figura 4.9. Diagrama de Gantt

4.7 Layout

El terreno seleccionado para la planta de ácido cítrico a partir de residuos de piña se encuentra ubicado en el parque industrial Itulcachi, al este de Quito. Este tiene una extensión de 6000 m², de los cuales 2912,8 m² son ocupados por la planta de ácido cítrico.

De los 3087,2 m² restantes, se emplearán aproximadamente 2 244 m² para la planta de producción de suplemento alimenticio animal. Los 843,2 m² restantes serán destinados para áreas verdes y parqueaderos.

Con base en las dimensiones de los equipos, a continuación, se presenta el Layout de la planta de suplemento alimenticio.





OBSERVACIONES

Las dimensiones mostradas se encuentran en mm
 Dirección del viento: Norte (36,3% de persistencia)

REVISIONES

REV.	DESCRIPCIÓN	CALF.	ENCARGADA DEL DISEÑO	FIRMA	FECHA
			JEIMY PLUJOTA	JP	20/02/2022
			REVISADO: Ing. Lorena Jaramillo		


PROYECTO:
 Aprovechamiento de los subproductos generados en una planta de elaboración de ácido a partir de residuos de piña


DESCRIPCIÓN:
 Layout de la planta de producción de suplemento alimenticio animal

SIZE: A3
 SCALE: 1:1
 DRAWING N°: 1
 HOJA: 1 DE 1
 REV: 2

Figura 4.10. Layout de la planta

4.8 Diagrama de flujo (PFD)

El diagrama de flujo representa de manera esquemática las operaciones unitarias a emplearse en la elaboración de suplemento alimenticio para animales. Este se realizó con base en el Manual de Ingeniería de Diseño de la empresa Petróleos de Venezuela SA.

En la parte superior de los diagramas se presenta la nomenclatura y características de los equipos empleados. La Tabla con las características de las corrientes se muestran en la parte inferior.

La Figura 4.11 presenta el diagrama de flujo para el suplemento alimenticio, mientras, la Figura 4.12 muestra el diagrama para la recirculación del refinado acuoso.

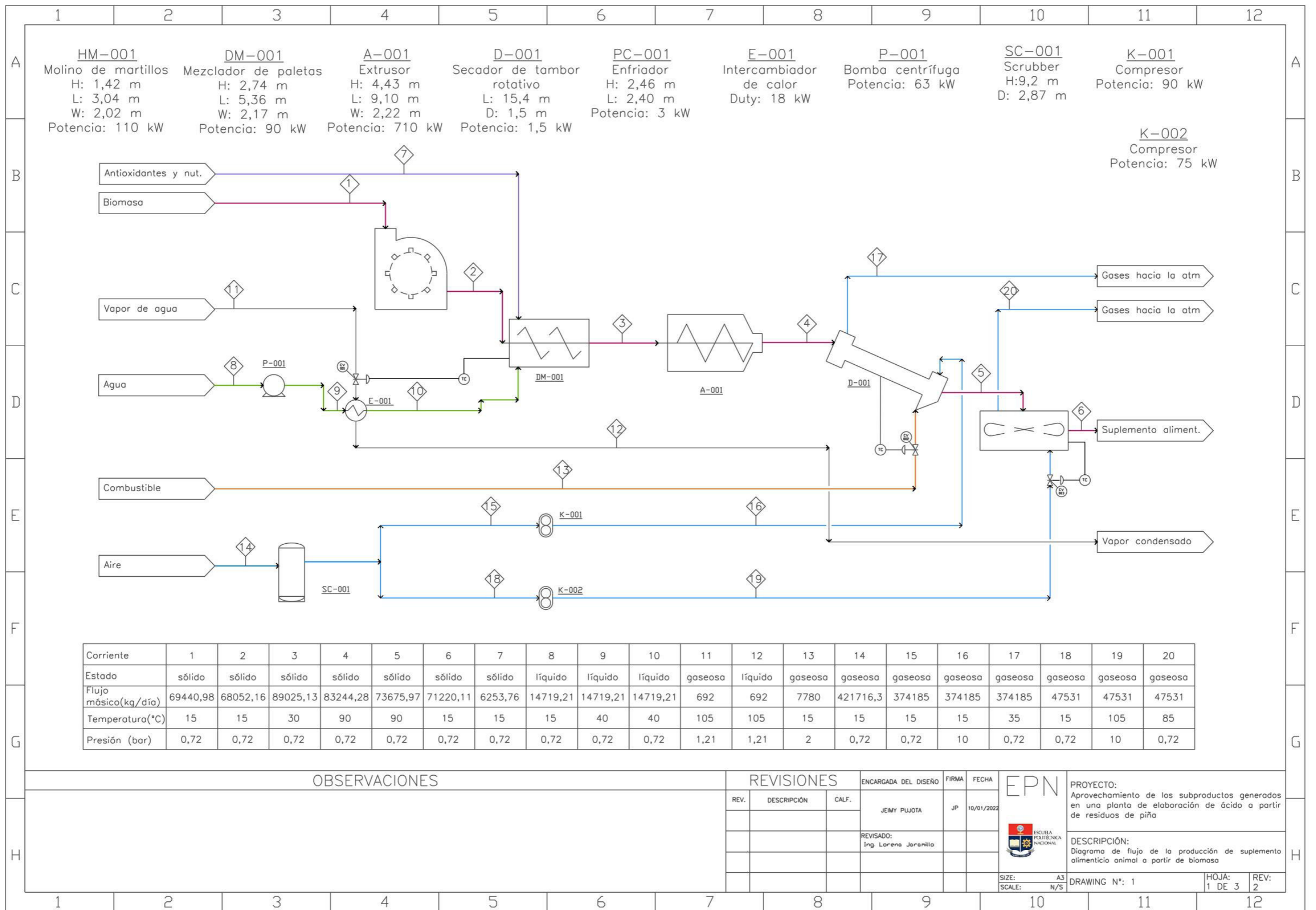


Figura 4.11. Diagrama de flujo de la producción de suplemento alimenticio animal

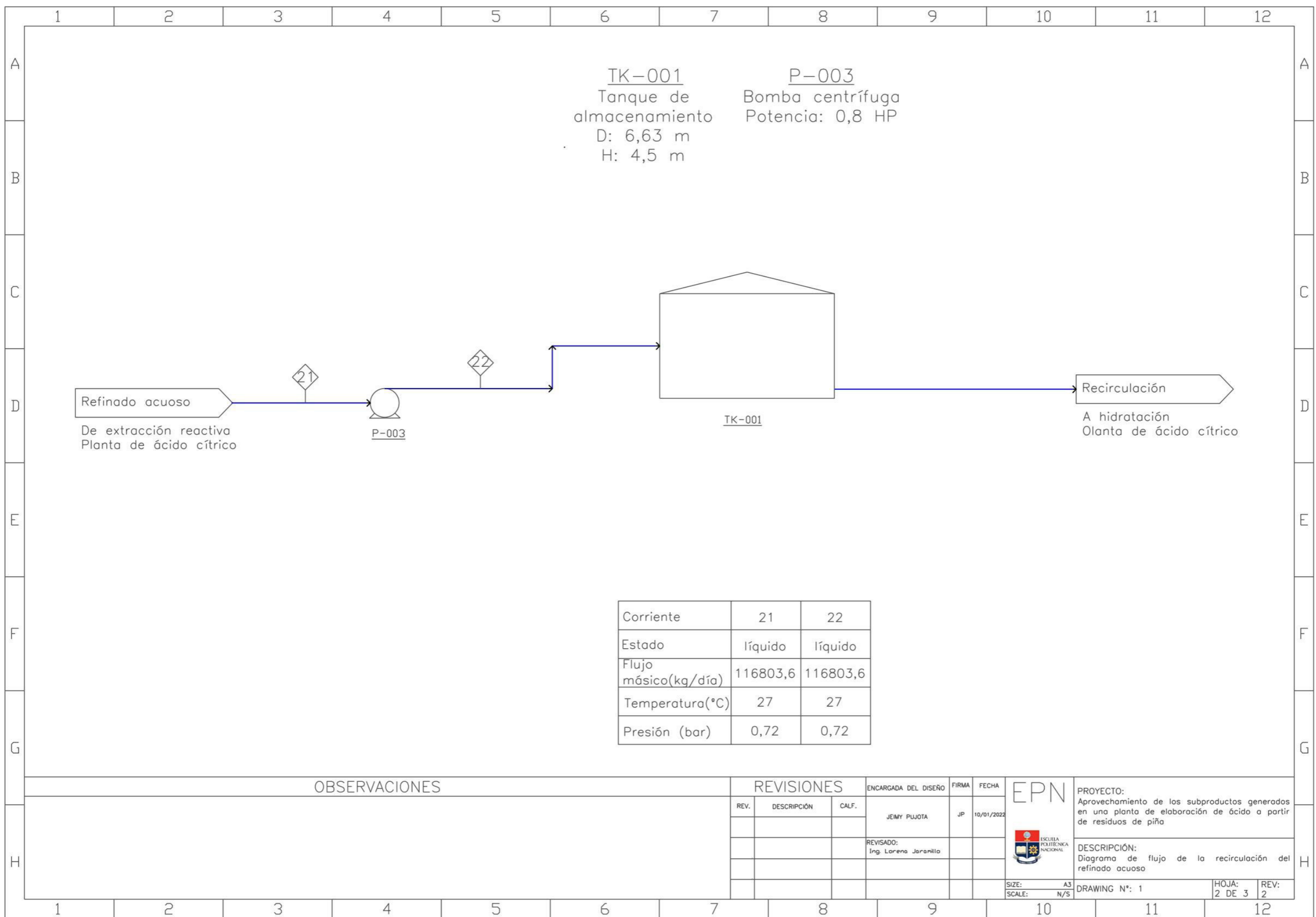


Figura 4.12. Diagrama de flujo de la recirculación del refinado acuoso

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12																																																								
A		<table border="1"> <thead> <tr> <th>SÍMBOLO</th> <th>EQUIPO</th> <th>CÓDIGO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>MOLINO DE MARTILLOS</td> <td>HM-001</td> </tr> <tr> <td></td> <td>MEZCLADOR</td> <td>DM-001</td> </tr> <tr> <td></td> <td>EXTRUSOR</td> <td>A-001</td> </tr> <tr> <td></td> <td>SECADOR ROTATIVO</td> <td>D-001</td> </tr> <tr> <td></td> <td>ENFRIADOR</td> <td>PC-001</td> </tr> <tr> <td></td> <td>TANQUE DE ALMACENAMIENTO</td> <td>TK-001</td> </tr> </tbody> </table>				SÍMBOLO	EQUIPO	CÓDIGO		MOLINO DE MARTILLOS	HM-001		MEZCLADOR	DM-001		EXTRUSOR	A-001		SECADOR ROTATIVO	D-001		ENFRIADOR	PC-001		TANQUE DE ALMACENAMIENTO	TK-001	<table border="1"> <thead> <tr> <th>SÍMBOLO</th> <th>EQUIPO</th> <th>CÓDIGO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>INTERCAMBIADOR DE CALOR</td> <td>E-001</td> </tr> <tr> <td></td> <td>BOMBA CENTRIFUGA</td> <td>P-001</td> </tr> <tr> <td></td> <td>COMPRESOR ROTATIVO</td> <td>K-001</td> </tr> <tr> <td></td> <td>VÁLVULA DE CONTROL</td> <td>CV-001</td> </tr> <tr> <td></td> <td>SCRUBBER</td> <td>SC-001</td> </tr> </tbody> </table>				SÍMBOLO	EQUIPO	CÓDIGO		INTERCAMBIADOR DE CALOR	E-001		BOMBA CENTRIFUGA	P-001		COMPRESOR ROTATIVO	K-001		VÁLVULA DE CONTROL	CV-001		SCRUBBER	SC-001	<table border="1"> <thead> <tr> <th>LÍNEA DE PROCESO</th> <th>PROCESO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>ALIMENTACIÓN DIRECTA</td> </tr> <tr> <td></td> <td>ANTIOXIDANTES Y NUTRIENTES</td> </tr> <tr> <td></td> <td>AGUA</td> </tr> <tr> <td></td> <td>COMBUSTIBLE</td> </tr> <tr> <td></td> <td>AIRE (GASES)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>VAPOR DE AGUA</td> </tr> <tr> <td></td> <td>REFINADO ACUOSO</td> </tr> </tbody> </table>				LÍNEA DE PROCESO	PROCESO		ALIMENTACIÓN DIRECTA		ANTIOXIDANTES Y NUTRIENTES		AGUA		COMBUSTIBLE		AIRE (GASES)		VAPOR DE AGUA		REFINADO ACUOSO	A
SÍMBOLO	EQUIPO	CÓDIGO																																																																			
	MOLINO DE MARTILLOS	HM-001																																																																			
	MEZCLADOR	DM-001																																																																			
	EXTRUSOR	A-001																																																																			
	SECADOR ROTATIVO	D-001																																																																			
	ENFRIADOR	PC-001																																																																			
	TANQUE DE ALMACENAMIENTO	TK-001																																																																			
SÍMBOLO	EQUIPO	CÓDIGO																																																																			
	INTERCAMBIADOR DE CALOR	E-001																																																																			
	BOMBA CENTRIFUGA	P-001																																																																			
	COMPRESOR ROTATIVO	K-001																																																																			
	VÁLVULA DE CONTROL	CV-001																																																																			
	SCRUBBER	SC-001																																																																			
LÍNEA DE PROCESO	PROCESO																																																																				
	ALIMENTACIÓN DIRECTA																																																																				
	ANTIOXIDANTES Y NUTRIENTES																																																																				
	AGUA																																																																				
	COMBUSTIBLE																																																																				
	AIRE (GASES)																																																																				
	VAPOR DE AGUA																																																																				
	REFINADO ACUOSO																																																																				
B														B																																																							
C														C																																																							
D														D																																																							
E														E																																																							
F														F																																																							
G														G																																																							
H		OBSERVACIONES					<table border="1"> <thead> <tr> <th>REV.</th> <th>DESCRIPCIÓN</th> <th>CALF.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			REV.	DESCRIPCIÓN	CALF.													ENCARGADA DEL DISEÑO JEMY PUJOTA	FIRMA JP	FECHA 12/01/2022		PROYECTO: Aprovechamiento de los subproductos generados en una planta de elaboración de ácido a partir de residuos de piño	DESCRIPCIÓN: Equipos empleados y líneas de flujo	SIZE: A3 SCALE: N/S	DRAWING N°: 1	HOJA: 3 DE 3	REV: 2	H																																		
REV.	DESCRIPCIÓN	CALF.																																																																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12																																																									

Figura 4.13. Nomenclatura y simbología empleada en los diagramas de flujo

4.9 Diagrama de tubería e instrumentación (P&ID)

El diagrama de tubería e instrumentación muestra un esquema de los equipos, instrumentos, tuberías y válvulas en la planta de producción de suplemento alimenticio animal. En este diagrama se proponen lazos de control en los equipos con el objetivo de asegurar la calidad del producto.

Cabe mencionar que, de manera similar al Diagrama de Flujo, los esquemas de los equipos se basaron en el Manual de Ingeniería de Diseño de la empresa Petróleos de Venezuela SA.

Para facilitar el entendimiento de los diagramas, se dividió al proceso en secciones, en las cuales se aprecian los respectivos lazos de control. En el proceso principal se emplean bandas transportadoras.

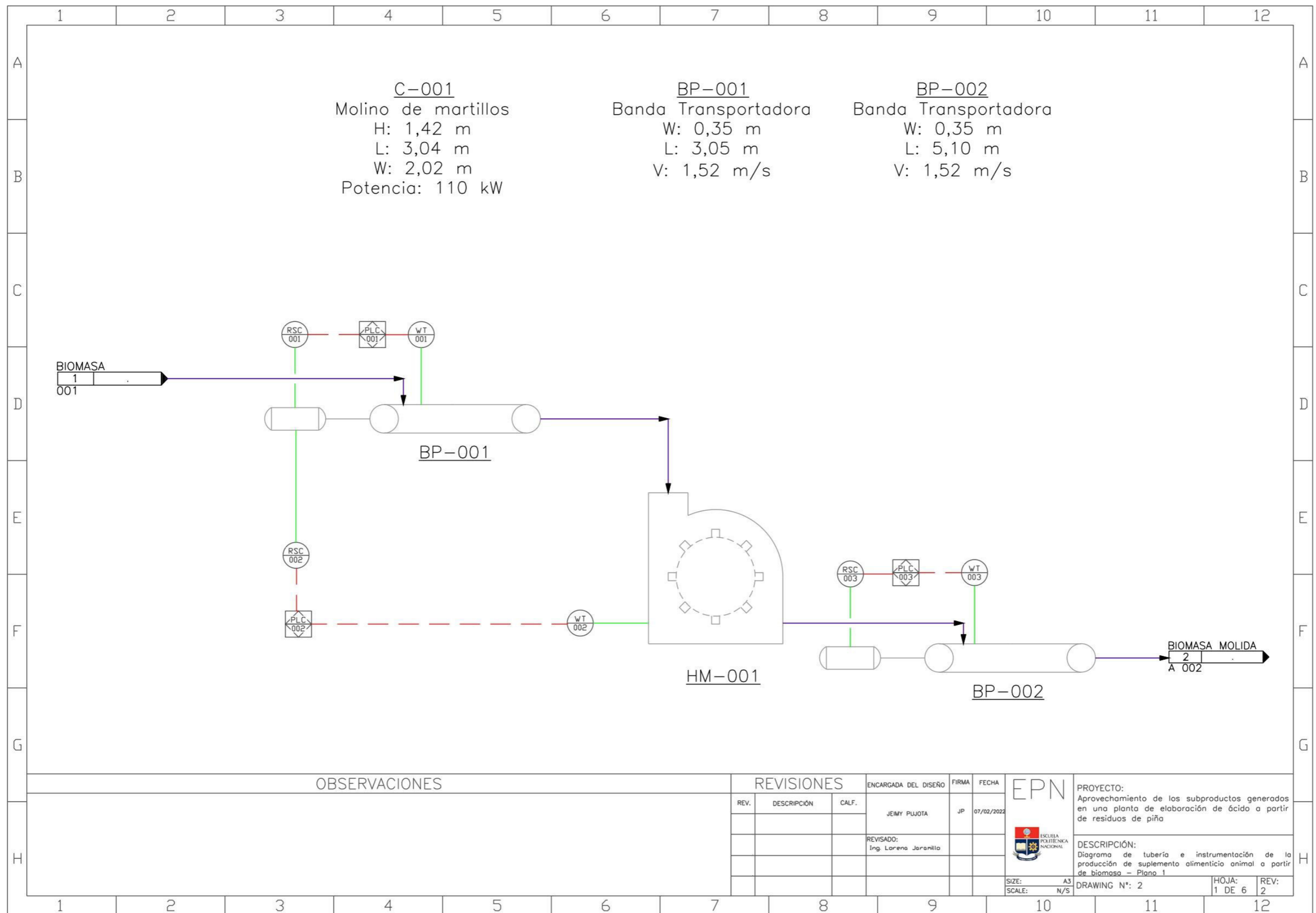


Figura 4.14. Diagrama de tubería e instrumentación de la producción de suplemento alimenticio animal. Plano 1

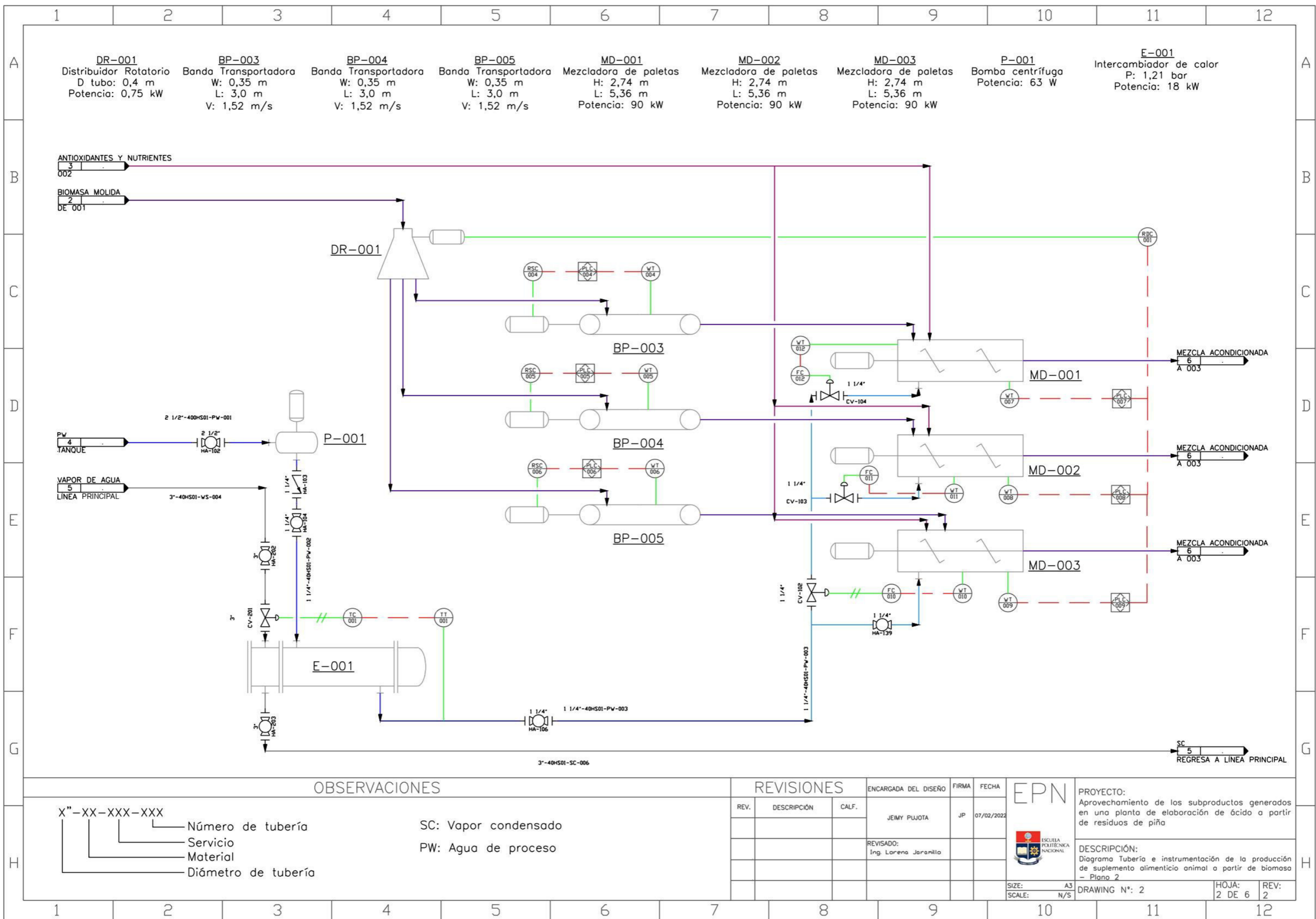


Figura 4.15. Diagrama de tubería e instrumentación de la producción de suplemento alimenticio animal. Plano 2

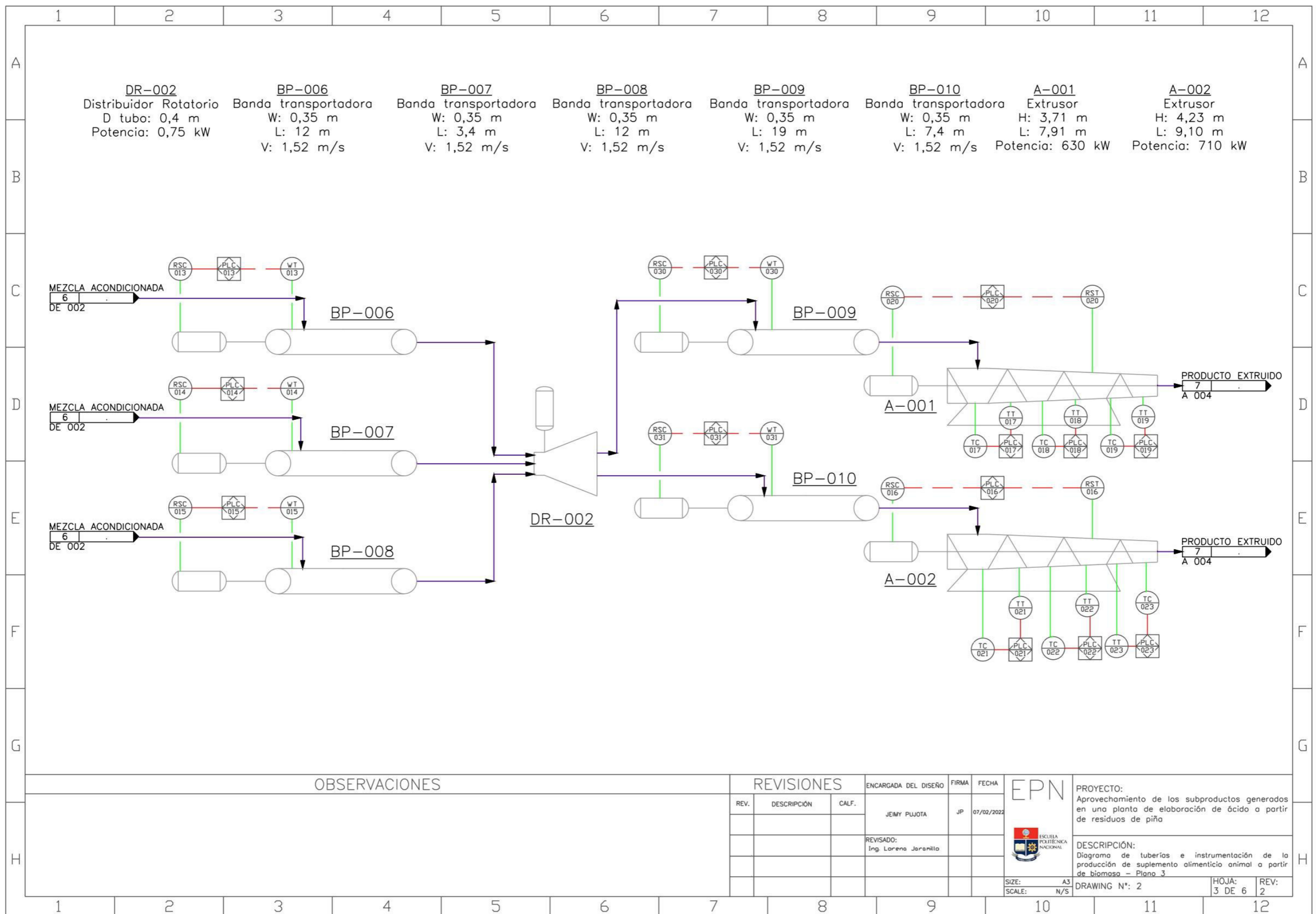


Figura 4.16. Diagrama de tubería e instrumentación de la producción de suplemento alimenticio animal. Plano 3

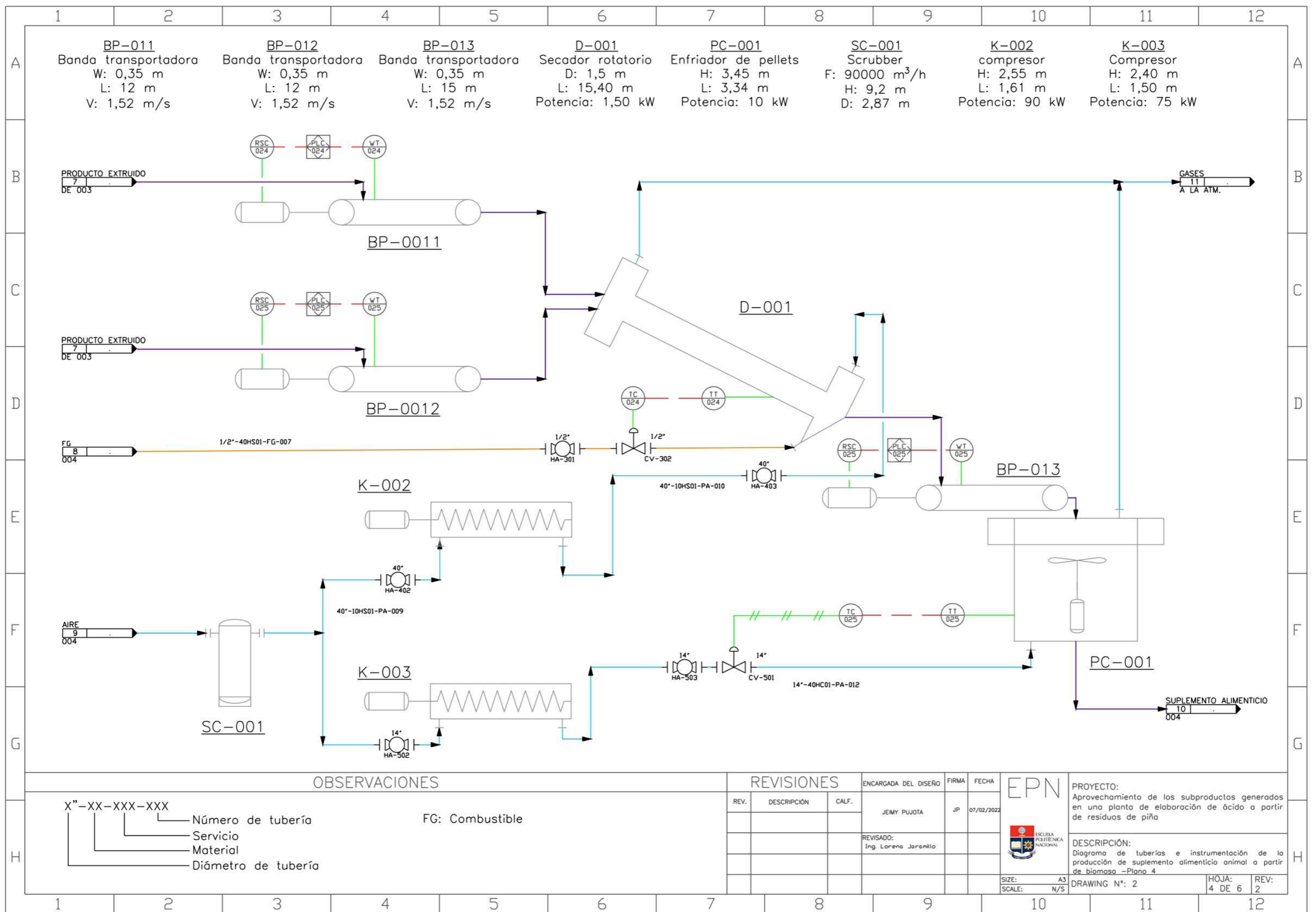


Figura 4.17. Diagrama de tubería e instrumentación de la producción de suplemento alimenticio animal. Plano 4

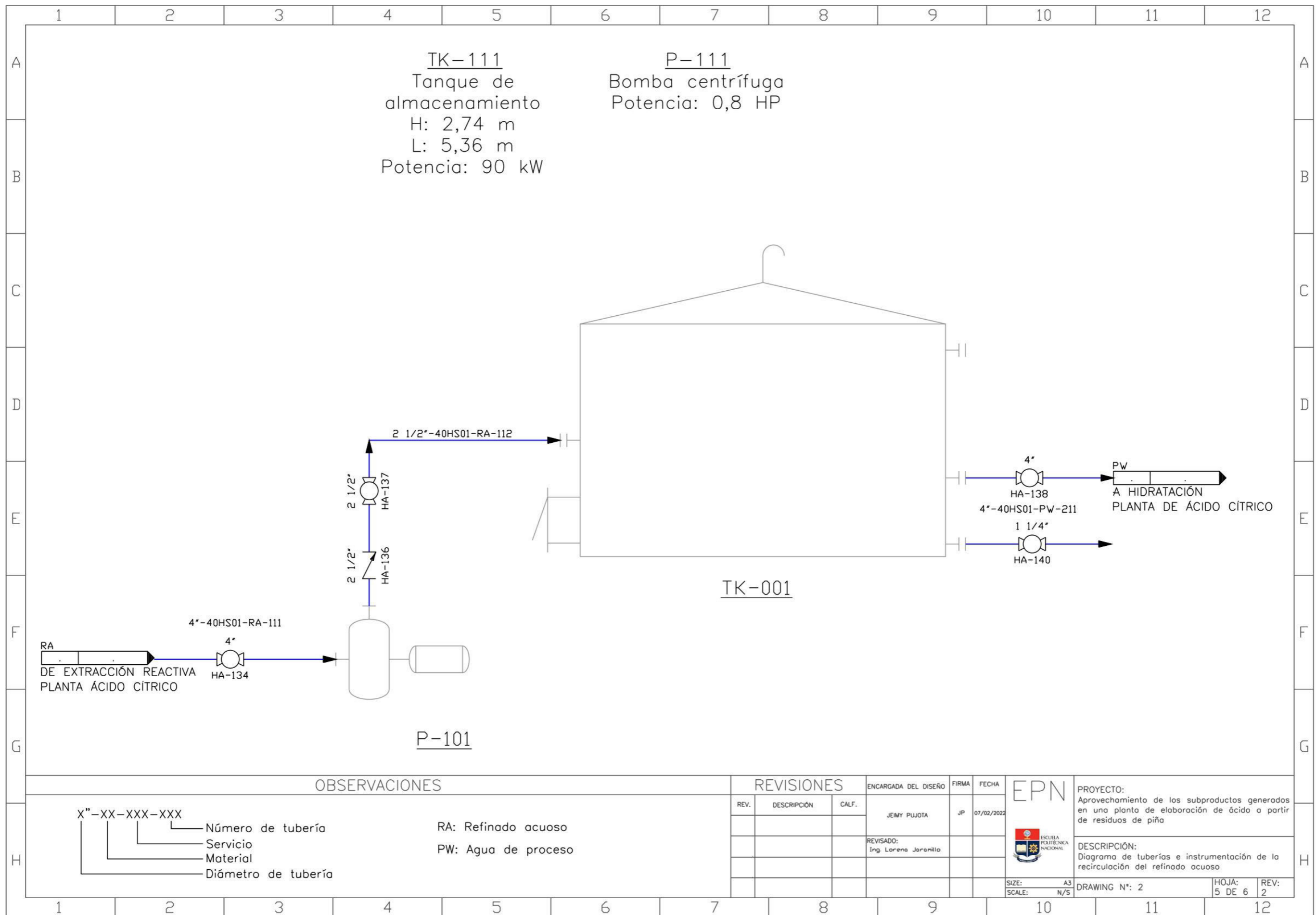


Figura 4.18. Diagrama de tubería e instrumentación de la recirculación del refinado acuoso

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A		SÍMBOLO	EQUIPO	CÓDIGO		SÍMBOLO	EQUIPO	CÓDIGO	SÍMBOLO	INSTRUMENTO		
B			Molino de martillos	<u>HM-001</u>			Banda transportadora	<u>BP-001</u>		Transmisor de peso		
C			Mezcladora de paletas	<u>MD-001</u>			Distribuidor rotativo	<u>DR-001</u>		Controlador de velocidad rotacional		
D			Extrusor	<u>A-001</u>			Bomba centrífuga	<u>P-001</u>		Controlador lógico programable		
E			Secador rotativo	<u>D-001</u>			Compresor de tornillo	<u>K-001</u>		Transmisor de velocidad rotacional		
F			Enfriador de pellets	<u>PC-001</u>						Transmisor de temperatura		
G			Intercambiador de calor	<u>E-001</u>						Controlador de temperatura		
H			Scrubber	<u>SC-001</u>						Controlador de flujo		
			Tanque de almacenamiento	<u>TK-111</u>								
	OBSERVACIONES				REVISIONES			ENCARGADA DEL DISEÑO	FIRMA	FECHA	EPN	
	La alimentación directa hace referencia a aquella que se realiza de manera manual o por bandas transportadoras, es decir, alimentación sin tubería.				REV.	DESCRIPCIÓN	CALF.	JEMY PUJOTA	JP	07/02/2022	PROYECTO: Aprovechamiento de los residuos generados en una planta de elaboración de ácido a partir de residuos de pino	
								REVISADO: Ing. Lorena Jaramila			DESCRIPCIÓN: Equipos, instrumentos de control y líneas de flujo	
											SIZE: A3	DRAWING N°: 2
											SCALE: N/S	HOJA: 6 DE 6
												REV: 2

Figura 4.19. Nomenclatura y simbología empleada en los diagramas de tubería e instrumentación

5 ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD ECONÓMICA

5.1 Estudio financiero

Los egresos se dividen en 3 grupos: inversiones, egresos no desembolsables y egresos desembolsables. Las inversiones son aquellos rubros monetarios que cubren la operación y puesta en marcha de la planta, y, en función de su destino se clasifican en activos fijo, gastos preoperativos y capital de trabajo.

Los activos fijos son inversiones sobre terrenos, edificios, instalaciones y maquinaria. Los gastos preoperativos consisten en los estudios técnicos, ambientales y de mercado, permisos de funcionamiento, puesta en marcha de la planta, etc. Mientas, el capital de trabajo son los fondos requeridos para garantizar la correcta operación de la planta durante un tiempo determinado.

Las inversiones se presentan en la Tabla 5.1., el detalle de las inversiones se describe en el Anexo VI.

Tabla 5.1. Inversión del proyecto

Denominación	Valor [USD]
Inversión fija	
Terreno y construcciones	84.720,00
Maquinaria y equipo	262.000,00
Instalación de maquinaria y equipos	78.600,00
Instrumentación	25.000,00
Tuberías y accesorios	40.000,00
Equipo y muebles de oficina	5.820,00
Capital de operación	297.684,00
TOTAL, INVERSIONES	793.824,00

Para la determinación de los costos en terrenos y construcciones se consideró un espacio de 2 240 m² para la planta, y un valor de 30 USD/m², y al capital de operación como el 60% de la inversión fija. Adicionalmente, se estima que el costo de la instalación de la maquinaria y equipos es igual al 30% de la compra.

Para determinar el costo de la maquinaria y equipos se revisaron diferentes catálogos, hasta obtener aquellos que se acoplen a las necesidades de la planta. Para el cálculo de

los egresos desembolsables y no desembolsables se consideró que el valor del mantenimiento de la maquinaria y equipos corresponde al 5% del valor de su adquisición, mientras para el mantenimiento de edificios es del 2%.

En el caso de la instrumentación, como se aprecia en la sección 4.9, la planta cuenta con controles automatizados en cada una de las bandas transportadoras.

Los costos fijos corresponden a los rubros que no varían y se abonan mensualmente, este es el caso de los salarios para administrativos y operarios.

La planta va a contar con 14 operarios encargados de realizar el trabajo de acuerdo a la distribución mostrada en la Tabla 4.16. Respecto al personal administrativo, la planta estará dirigida por un gerente general, bajo su mando directo se encontrarán los siguientes cargos: analista de operación, analista de control de calidad, analista de ventas y contadora general. Adicionalmente se contará con un encargado de bodega, secretaria, vendedores, auxiliar contable y guardias. Sumando un total de 14 trabajadores.

La Tabla 5.2. muestra el total de los costos fijos.

Tabla 5.2. Costos fijos anuales

Costos Fijos	Valor [USD]
Salarios administrativos	\$210.382,40
Salarios operarios	116.905,25

Los costos fijos presentados en la Tabla 5.2, se basan en salarios de USD 500 para la mano de obra directa. En el cálculo se consideraron todos los beneficios de la ley, el detalle se presenta en el Anexo VI.

La Tabla 5.3, presenta los costos variables, en los que destaca el combustible, por su alto valor.

Tabla 5.3. Costos variables anuales

Designación de la materia prima	Valor [USD]
Melaza	153.120,00
Sal	207.360,00
Carbonato de calcio	113.400,00
Agua	2.543,48
Ácido ascórbico	5.987,52
Bisulfito de sodio	522,00
Sacos con diseño	128.160,00
Energía eléctrica	384.000,00
Combustible	1.778.400,00

En referencia a los costos no desembolsables, estos corresponden a la depreciación de terrenos, maquinaria y equipos, vehículos y objetos de computación. En el caso de los edificios se considera una depreciación del 5%, en la maquinaria y equipos el 10% y en los equipos de cómputo el 33%. La Tabla 5.4 presenta los costos anuales de producción.

Tabla 5.4. Costos anuales de producción

Designación del rubro	Valor
Materiales directos	\$482.933,00
Mano de obra directa	\$116.905,25
<u>Carga Fabril</u>	
Mano de obra indirecta	\$210.382,40
Materiales indirectos	\$2.290.560,00
<u>Depreciaciones</u>	
Construcciones	\$870,00
Maquinaria y Equipo	\$26.200,00
Muebles y equipos de oficina	\$1.164,00
Otros Activos	\$3.000,00
<u>Mantenimiento</u>	
Maquinaria y Equipo	\$1.310,00
Edificios	\$348,00
SUB-TOTAL COSTOS DE PRODUCCION	\$3.133.672,65
Imprevistos	\$313.367,26
TOTAL, COSTOS ANUALES DE PRODUCCION	\$3.447.039,91

El valor de los imprevistos es el 10% de los sub costos de producción. Considerando los costos directos e indirectos, se tiene que el precio por cada kilogramo de suplemento alimenticio producido, es de aproximadamente USD 0,18.

El precio del producto será de USD 18 por 40 kg, dando un valor de USD 0,45 por cada kg. Este precio fue definido con base en los productos similares en el mercado. Entonces, considerando la venta del total del producto, se tendrán ingresos anuales de USD 7.691.760,00.

5.2 Evaluación financiera

El flujo de caja se determinó considerando un aporte de USD 100 000 por parte de los socios, y un financiamiento con dividendos para 10 años con un interés del 12%.

Para el año 2022, el impuesto a la renta es del 37% (El Universo, 2021). Por ende, se considera dicho valor en la evaluación financiera.

La rentabilidad del proyecto se define con base en los indicadores financieros, principalmente el TIR y VAN. Para la determinación del TIR se considera una tasa del 12,5%.

La Tabla 5.5 muestra el flujo de caja del proyecto.

Tabla 5.5. Flujo de caja del proyecto

Designación	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Aportación de socios (USD)	100.000,00										
Ventas (USD)		7.691.760,0	7.691.760,0	7.691.760,0	7.691.760,0	7.691.760,0	7.691.760,0	7.691.760,0	7.691.760,0	7.691.760,0	7.691.760,0
(-) Depreciación (USD)		31.234,0	31.234,0	31.234,0	31.234,0	31.234,0	31.234,0	31.234,0	31.234,0	31.234,0	31.234,0
(-) Costo de Producción (USD)		3.447.039,91	3.447.039,91	3.447.039,91	3.447.039,91	3.447.039,91	3.447.039,91	3.447.039,91	3.447.039,91	3.447.039,91	3.447.039,91
Flujo bruto (USD)		4.213.486,09	4.213.486,09	4.213.486,09	4.213.486,09	4.213.486,09	4.213.486,09	4.213.486,09	4.213.486,09	4.213.486,09	4.213.486,09
(-) Dividendo de financiamiento (USD)	(693.824,00)	122.795,86	122.795,86	122.795,86	122.795,86	122.795,86	122.795,86	122.795,86	122.795,86	122.795,86	122.795,86
Flujo antes de impuestos (USD)		4.090.690,22	4.090.690,22	4.090.690,22	4.090.690,22	4.090.690,22	4.090.690,22	4.090.690,22	4.090.690,22	4.090.690,22	4.090.690,22
(-) Impuestos (37%) (USD)		1.513.555,38	1.513.555,38	1.513.555,38	1.513.555,38	1.513.555,38	1.513.555,38	1.513.555,38	1.513.555,38	1.513.555,38	1.513.555,38
Flujo neto (USD)	-793.824,00	2.577.134,84	2.577.134,84	2.577.134,84	2.577.134,84	2.577.134,84	2.577.134,84	2.577.134,84	2.577.134,84	2.577.134,84	2.577.134,84

Con base en el flujo de caja se determinaron los indicadores financieros VAN y TIR, dando valores de USD 11.816.205,03 y 325 %, respectivamente. Lo cual muestra que el proyecto es rentable, ya que el TIR sobrepasa la tasa propuesta, y el VAN es positivo.

Como se mencionó anteriormente, en la producción de suplemento alimenticio animal o balanceados, las materias primas principales son el maíz, trigo y la torta de soya, en el 2021, la tonelada de maíz importada tuvo un precio de USD 330 (Primicias, 2021). Por lo tanto, para producir la misma cantidad de suplemento alimenticio se requeriría una inversión anual de USD 5.464.800,00, únicamente en maíz, lo cual encarece el precio del producto, siendo necesario vender en USD 24 la bolsa de 40 kg de suplemento alimenticio (0,60 USD/kg), con el fin de obtener un TIR del 49%.

En este sentido, el TIR de 325% se debe a que la materia prima principal no tiene costo, y adicionalmente, cuenta con un enriquecimiento proteico gracias a la fermentación.

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- En la producción de ácido cítrico a partir de residuos agroindustriales de piña, se genera una torta de filtrado compuesta por desechos no fermentados y micelio del hongo *Aspergillus Niger*, el crecimiento del hongo permite un enriquecimiento proteico en dichos subproductos, alcanzando el 18 % de proteína bruta.
- Con base en las características de 69 440,98 kg/día de torta de filtrado y el mercado de la alimentación para ganados en Ecuador, se diseñó una planta para la producción de suplemento alimenticio avícola extruido (balanceado), la cual producirá 1780 bolsas de 40 kg diariamente.
- El procesamiento de la torta de filtrado se realizará mediante operaciones de molienda, mezclado, extrusión, secado y enfriamiento. Este será semicontinuo ya que el mezclado se realizará por lotes. Se producirá un pellet de 4 mm de diámetro y 4 mm de largo, con 10% de humedad y 18% de contenido proteico.
- La planta requerirá de un espacio de 2 244 m², y tendrá una distribución en L. En ella laborarán 28 personas, 14 como mano de obra directa, y 14 como mano de obra indirecta. El horario de operación de la planta será de 10h00 a 15h30.
- El refinado acuoso producido en la extracción reactiva durante la producción de ácido cítrico a partir de residuos de piña, tiene una concentración de 1704,6 mg/L de ácido cítrico, lo cual lo hace apto para recircularse a la etapa de hidratación de la planta en mención, permitiendo un ahorro de 116 586,03 kg/día de agua, lo cual se traduce en USD 20.146,07 al año.
- El estudio financiero de la planta determinó un VAN de USD 11.816.205,03 y una TIR del 325 %. El valor de la TIR se atribuyó a los bajos costos de materia prima directa. Con base en estos indicadores se consideró que el proyecto es factible.
- En la recirculación del refinado acuoso se diseñó un tanque de almacenamiento con una capacidad de 152,6 m³, al cual se alimentará a través de una tubería de 2,5 in. Para transportar el fluido se requerirá una bomba centrífuga de 0,8 HP.

6.2 Recomendaciones

- Elaborar la formulación del suplemento alimenticio animal con la adición de 1% de urea para incrementar el contenido proteico e incursionar en la nutrición porcina y acuícola.
- Diseñar adecuaciones de la planta de producción de ácido cítrico para la implementación de nuevas líneas de producto, con el objetivo de ingresar a diferentes mercados de la alimentación animal.
- Establecer alternativas tecnológicas para el aprovechamiento de las corrientes gaseosas producidas en la planta, con el fin de optimizar la eficiencia energética.
- Diseñar un intercambiador de calor para el agua que ingresa al mezclado, con base en la corriente gaseosa procedente del secador rotativo.

7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] AFABA. (2021). *Estadísticas. Principales países importadores de balanceado*. Recuperado de: <https://www.afaba.org/> (Diciembre, 2021).
- [2] Agrizon. (2021). *Producto Lórica*. Recuperado de: <https://www.e-agrizon.com/producto/lorica-38-3-1-6-1-8-mm-25-kg/> (Diciembre, 2021).
- [3] Aguilar, B., Camacho, M., & Serrat, M. (2014). Enriquecimiento proteico de residuales agroindustriales mediante fermentación sólida con el hongo filamentoso *Aspergillus niger*. *Revista Cubana de Química*, 26(1), 17-25. Recuperado en 15 de noviembre de 2021, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-54212014000100003&lng=es&tlng=es.
- [4] Aguilar, D. (2019). *Determinación del potencial energético de la biomasa residual de cultivos de banano en el cantón Machala, El Oro, Ecuador* (Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Ambiental). Universidad Politécnica salesiana, Cuenca.
- [5] Alcántara, J., et al. (2016). *Alimentos balanceados YOLI*. Universidad de Piura. Piura, Perú.
- [6] Analuisa, C., y Toasa, H. (2018). *Implementación de una máquina mezcladora para balanceado en la microempresa avícola San Nicolás ubicada en la parroquia San Buenaventura* (Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniero Electromecánico). Universidad técnica de Cotopaxi, Latacunga.
- [7] Andrango, H., y Naranjo, L. (2012). *Diseño y construcción de una mezcladora y dosificadora de suplemento nutricional para ganado con una capacidad de hasta 125 kg/h para la empresa química Riandi CIA LTDA* (Trabajo previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico). Escuela Politécnica Nacional, Quito.
- [8] API 650. (2016). *Welded tanks for oil storage*. Tercera edición. Recuperado de: https://www.academia.edu/32769624/API_650_EN_ESPANOL_pdf (Febrero, 2022).
- [9] Arias, D. (2013). *Estudio del proceso de trituración de los residuos sólidos orgánicos para reducir la contaminación residual en el mercado mayorista de ambato*. Universidad Técnica de Ambato, (Ambato).

- [10] Arpi, J., y Calderón, C. (2010). *Diseño de una máquina pelletizadora en base a la disponibilidad de residuos madereros de la ciudad de Cuenca para su aprovechamiento energético* (Tesis de grado previa a la obtención del título de Ingeniero Mecánico con mención en Diseño de Máquinas). Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca.
- [11] Bastidas, G., y Bolaños, J. (2014). *Estudio del desempeño de acondicionadores de combustible en vehículos, a través de la inducción magnética en la re polimerización del Diésel* (Tesis de grado para la obtención del título de Ingeniero en Mecánica Automotriz). Universidad Internacional del Ecuador, Quito.
- [12] Bioalimentar. (2021). *Suplemento nutricional*. Recuperado de: <https://www.bioalimentar.com/guia-marcas/> (Diciembre, 2021).
- [13] Cabrera, V. (2013) *Proceso de secado*. Recuperado de http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/cabrera_v_a/capitulo5.pdf (Noviembre, 2021).
- [14] Chachapoya, D. (2014). *Producción de alimentos balanceados en una planta procesadora en el cantón Cevallos* (Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniero Agroindustrial). Escuela Politécnica Nacional, Quito.
- [15] Chacón, A. (2004). Perspectivas actuales de la proteína unicelular (scp) en la agricultura y la industria. *Agronomía Mesoamericana*, vol. 15, núm. 1, pp. 93-106. Costa Rica. Universidad de Costa Rica Alajuela.
- [16] Climate – Data. (2022). *Clima Quito: Temperatura, Climograma y Tabla climática para Quito*. Recuperado de: <https://es.climate-data.org/america-del-sur/ecuador/provincia-de-pichincha/quito-1012/> (Enero, 2022).
- [17] Della, P. (1998). *Estudio de procesos de conversión térmica de biomasa* (Tesis presentada para obtener el grado de Doctor en Ciencias Químicas) Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires.
- [18] El Comercio. (2021). *Agricultores e industriales reclaman por especulación*. Recuperado de: <https://www.elcomercio.com/actualidad/ecuador/agricultores-importacion-maiz-especulacion-productores.html#:~:text=%C3%89%20estima%20que%20los%20intermediarios,en%20el%202019%2C%2037%20000>. (Febrero, 2022).

- [19] Elizondo, J., y Campos, C. (2014). Características nutricionales de la cáscara de piña ensilada con cantidades crecientes de urea y heno. *Nutrición animal tropical*, 8(2), 51–71. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/nutrianimal/article/view/17581>.
- [20] El Universo. (2021). *Estos son los cambios, en materia económica, que regirán en el 2022*. Recuperado de: <https://www.eluniverso.com/noticias/economia/estos-son-los-cambios-en-materia-economica-que-regiran-en-el-2022-nota/#:~:text=En%20cuanto%20al%20impuesto%20a,%3B%20antes%20llegaba%20al%2035%20%25> (Febrero, 2022).
- [21] Espinoza, B., y Vega, J. (2015). *Re-ingeniería de un secador rotatorio didáctico para el laboratorio de operaciones unitarias* (Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Químico). Universidad Estatal de Guayaquil, Guayaquil.
- [22] Fernández, C., y Quintero, V. (2014). *Diseño y construcción de una mezcladora de balanceado para pollos parrilleros Máquina con una capacidad de 1000 kg/h.* (Trabajo previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico). Escuela Politécnica Nacional, Quito.
- [23] Gamboa, J., et al. (2017). La biomasa microbiana como ingrediente en la nutrición acuícola. *Investigación y Desarrollo en Nutrición Acuícola*. Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México, pp. 213-263. ISBN 978-607-27-0822-8.
- [24] Inglesa. (2016). *Diseño y cálculo de tanques de almacenamiento*. Recuperado de: <https://www.fnmt.es/documents/10179/10666378/Dise%C3%B1o+y+c%C3%A1lculo+de+tanques+de+almacenamiento.pdf/cf73a420-13f2-248f-034a-d413cb8a3924> (Febrero, 2022).
- [25] Jiménez, J. (2013). *Diseño del proceso de extrusión para la elaboración de un suplemento nutricional con base en la mezcla de amaranto, quinua, chocho y avena* (Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniera Química). Escuela Politécnica Nacional. Quito.
- [26] López, M., WingChing, R., y Rojas, A. (2014). Metaanálisis de los subproductos de piña (*Ananas comosus*) para la alimentación animal. *Agronomía Mesoamericana*, 25 (2), 383-391. Recuperado el 28 de enero de 2022, de http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1659-13212014000200016&lng=en&tlng=es.

- [27] Martínez, S. (2009). *Evaluación de la biomasa como recurso energético renovable en Cataluña*. Universitat de Girona, Cataluña.
- [28] Maya, S. (2016). *Procesos de Producción de Alimentos balanceados Planta de Concentrados COLANTA Itagüí*. Corporación Universitaria Lasallista, Caldas.
- [29] Mendoza, A. (2014). *Elaboración de harina de papa china (Colocasia Esculenta) y banano (Musa X Paradisiaca) como suplemento nutricional para alimentación animal* (Tesis previa a la obtención del título de Ingeniero Agroindustrial). Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo.
- [30] Muñoz, D. (2017). *Estudio de la cadena de valor de alimentos balanceados en el Ecuador*. Universidad Andina Simón Bolívar, Quito.
- [31] Ordoñez, I. (2006). *Elaboración de suplementos nutricionales con base en el uso integral de las plantas de yuca (Manihot esculenta Crantz) y batata (Ipomoea batatas Lam), por medio de extrusión, para la alimentación de animales monogástricos*. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/20.500.12324/19218>.
- [32] Primicias. (2021). *El alto precio de maíz complica a la cadena agroalimentaria*. Recuperado de: <https://www.primicias.ec/noticias/economia/productores-balanceado-maiz-ecuador/> (Febrero, 2021).
- [33] Solla (2021). *Suplemento Nutricional*. Recuperado de: <https://www.solla.com/productos/acuicultura/mojarras-38> (Diciembre, 2021).
- [34] Suárez, L., Barrera, R., & Forero, A. (2016) Evaluación de alternativas de secado en el proceso de elaboración de harina de lombriz. *Transformación y Agroindustria*, pp. 55-71.
- [35] Treybal, R. (2000). Operaciones de transferencia de masa. 2a Edición. México: Mc Graw Hill.
- [36] Valls, A. (1993). *El proceso de extrusión en cereales y habas de soja. Efecto de la extrusión sobre la utilización de nutrientes*. IX Curso de Especialización FEDNA: Avances en Nutrición y Alimentación Animal, España.
- [37] Vargas, Y., y Pérez, L. (2018). Aprovechamiento de residuos agroindustriales para el mejoramiento de la calidad del ambiente. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 14 (1), 59-72.

- [38] Walas, S. (1990). *Chemical process equipment: Selection and desing*. Butterworth-Heinemann.
- [39] Yánez, M. (2021). Diseño de una planta para la producción de combustible líquido por medio de pirólisis de neumáticos fuera de uso (NFU) (Proyecto de titulación previo a la obtención del título de Ingeniera Química). Escuela Politécnica Nacional, Quito.

ANEXOS

ANEXO I. Ángulos de inclinación para bandas transportadoras

Material	Average Weight (lb/cuft)	Angle of Repose (degrees)	Recommended Maximum Inclination
Alum, fine	45-50	30-45	
Alumina	50-65	22	10-12
Aluminum sulfate	54	32	17
Ammonium chloride	45-52		
Ammonium nitrate	45		
Ammonium sulfate	45-58		
Asbestos shred	20-25		
Ashes, coal, dry, $\frac{1}{2}$ in. max	35-40	40	20-25
Ashes, coal, wet, $\frac{1}{2}$ in. max	45-50	50	23-27
Ashes, fly	40-45	42	20-25
Asphalt, $\frac{1}{2}$ in. max	45		
Baking powder	40-55		18
Barium carbonate	72		
Bauxite, ground	68	35	20
Bentonite, 100 mesh max	50-60		
Bicarbonate of soda	40-50		
Borax, $\frac{1}{2}$ in.	55-60		
Borax, fine	45-55		20-22
Boric acid, fine	55		
Calcium acetate	125		
Carbon, activated, dry, fine	8-20		
Carbon black, pelleted	20-25		
Casein	36		
Cement, Portland	94	39	20-23
Cement, Portland, aerated	60-75		
Cement clinker	75-95	30-40	18-20
Charcoal	18-25	35	20-25
Chips, paper mill	20-25		
Clay, calcined	80-100		
Clay, dry, fine	100-120	35	20-22
Clay, dry, lumpy	60-75	35	18-20
Coal, anthracite, $\frac{1}{2}$ in. max	60	35	18
Coal, bituminous, 50 mesh max	50-54	45	24
Coal, bituminous, $\frac{1}{2}$ in. max	43-50	40	22
Coal, lignite	40-45	38	22
Coke breeze, $\frac{1}{4}$ in. max	25-35	30-45	20-22
Copper sulfate	75-85	31	17
Cottonseed, dry, delinted	35	29	16
Cottonseed, dry, not delinted	18-25	35	19
Cottonseed meal	35-40	35	22
Cryolite dust	75-90		
Diatomaceous earth	11-14		
Dicalcium phosphate	40-50		
Disodium phosphate	25-31		
Earth, as excavated, dry	70-80	35	20
Earth, wet, containing clay	100-110	45	23
Epsom salts	40-50		
Feldspar, $\frac{1}{2}$ in. screenings	70-85	38	18
Ferrous sulfate	60-75		
Flour, wheat	35-40		
Fullers earth, dry	30-35	23	
Fullers earth, oily	60-65		
Grain, distillery, spen, dry	30		
Graphite, flake	40		
Grass seed	10-12		
Gravel, bank run	90-100	38	20
Gravel, dry, sharp	90-100		15-17
Gravel, pebbles	90-100	30	12
Gypsum dust, aerated	60-70	42	23
Gypsum, $\frac{1}{2}$ in. screenings	70-80	40	21
Iron oxide pigment	25	40	25
Kaolin talc, 100 mesh	42-56	45	23
Lactose	32		
Lead arsenate	72		

Figura A1.1. Ángulos de inclinación para bandas transportadoras (Walas, 1990, p. 78)

ANEXO II. Diagrama de Moody

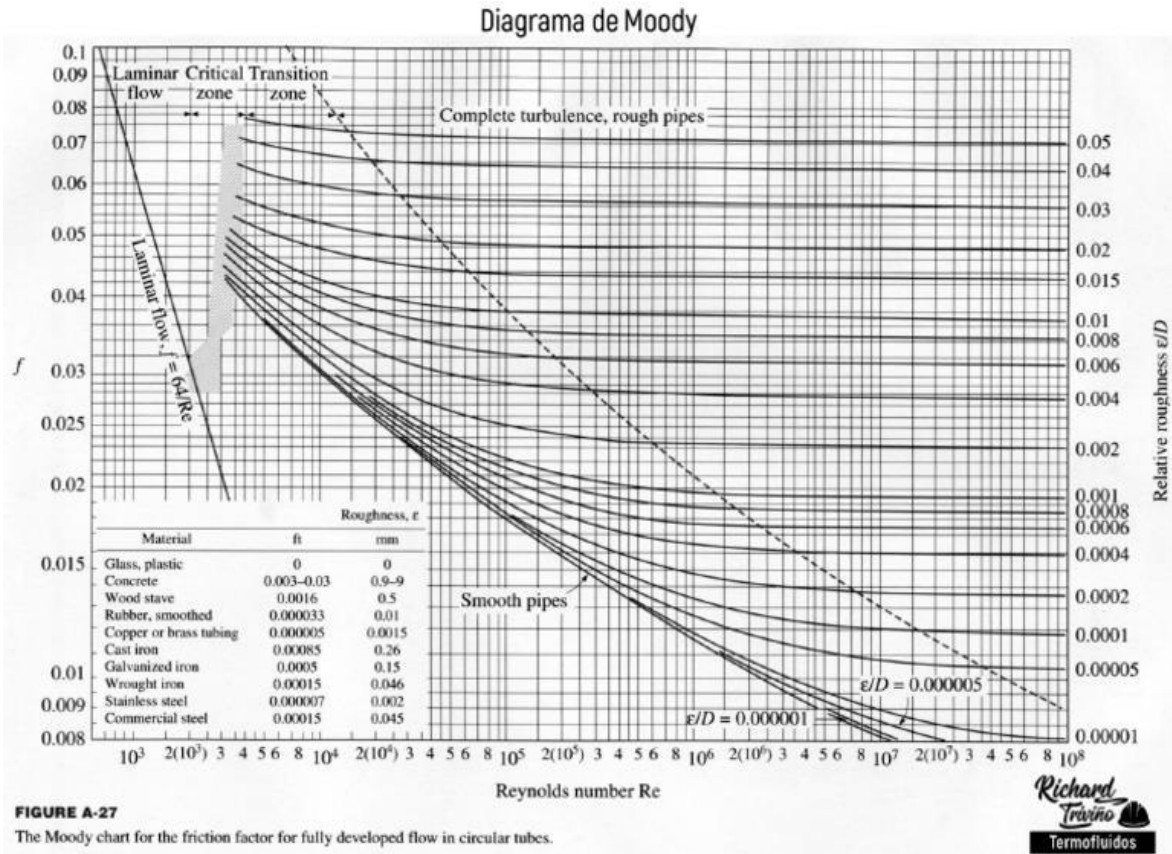


Figura AII.1. Diagrama de Moody (Yáñez, 2021, p. 91)

ANEXO III. Memorias de cálculo del balance de masa

- **Molienda**

Se considera un rendimiento del 98%.

$$A * (0,98) = B$$

$$69440,98 \frac{kg \text{ biomasa}}{día} * (0,98) = 68052,16 \frac{kg \text{ biomasa molida}}{día}$$

- **Mezclado**

Ordoñez (2006) y Alcántara, et. al, (2016), mencionan que es adecuado tener un 3% de calcio, 2,5% de sal y 3,0% de melaza en la composición del suplemento a formular, por lo que se realizó el cálculo mediante prueba y error, sin considerar la adición de agua.

$$\%Calcio = \frac{2250 \text{ kg calcio}}{68052,16 \text{ kg biomasa} + 6253,76 \text{ kg antioxidantes y nutrientes}} = 3,0 \%$$

$$\%Sal = \frac{1800 \text{ kg sal}}{68052,16 \text{ kg biomasa} + 6253,76 \text{ kg antioxidantes y nutrientes}} = 2,4 \%$$

$$\%Melaza = \frac{2200 \text{ kg melaza}}{68052,16 \text{ kg biomasa} + 6253,76 \text{ kg antioxidantes y nutrientes}} = 3,0 \%$$

La Figura Al.1. muestra el diagrama de bloques de esta etapa.

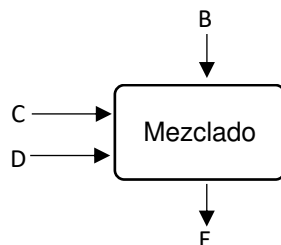


Figura AIII.1. Diagrama del proceso de mezclado

Donde, D corresponde al agua a ser adicionada en la mezcla y C a la corriente de antioxidantes y nutrientes. La cantidad de agua a adicionar se calcula a continuación:

$$\frac{w}{w + C + \text{biomasa seca}} * 100\% = 28\%$$

$$\frac{w}{w + 6253,76 + 57844,34} * 100\% = 28\%$$

$$w = 24927,04 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

$$D = 24927,04 - 10207,82 = 14719,21 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

- **Extrusión**

Durante la extrusión se evapora un 5% del agua contenida, pasando del 28 al 23%. El agua evaporada (F) se determina a continuación:

$$\frac{w}{w + \text{biomasa seca acondicionada}} * 100\% = 28\%$$

$$\frac{w}{w + 64098,10} * 100\% = 23\%$$

$$w = 19146,18 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

$$F = 24927,04 - 19146,18 = 5780,85 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

- **Secado**

Se reduce el contenido de agua del 23 al 13%. La corriente de agua que se retira (H) se calcula a continuación:

$$\frac{w}{w + \text{biomasa seca extruida}} * 100\% = 13\%$$

$$\frac{w}{w + 64098,10} * 100\% = 13\%$$

$$w = 9577,88 \frac{kg}{día}$$

$$H = 19146,18 - 9577,88 = 9568,31 \frac{kg}{día}$$

- **Enfriamiento**

En el enfriamiento el aire arrastra parte de la humedad del suplemento alimenticio, llegando a valores de máximo el 10% en el producto final. La corriente J representa el agua retirada durante esta etapa.

$$\frac{w}{w + \text{biomasa seca extruida}} * 100\% = 10\%$$

$$\frac{w}{w + 64098,10} * 100\% = 10\%$$

$$w = 7122,01 \frac{kg}{día}$$

$$J = 9577,88 - 7122,01 = 2455,87 \frac{kg}{día}$$

ANEXO IV. Datos requeridos para el diseño del molino de martillos

A continuación, se presenta la Figura AIV.1, correspondiente a valores del Factor de servicio (Fs).

FACTORES DE SERVICIOS TÍPICOS.						
Tipo de máquinas que es impulsada	Motores C.A.: Torque normal Motores CD: bobinado en derivación. Motores: de cilindro múltiple			Motores CA: Torque alto. Motores CD: bobinado en serie, bobinado compuesto Motores: de 4 o menos cilindros.		
	<6 H. por día	6-15 H por día	>15 H. por día	<6 H. por día	6-15 H por día	>15 H. por día
Agitadores, ventiladores, ventiladores con tolva, bombas centrífugas.	1.0	1.1	1.2	1.1	1.2	1.3
Generadores, herramientas para máquinas, mezcladoras, transportes.	1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4
Elevadores de baldes, máquinas textiles, molinos de martillos, transportadores, pesados.	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6
Trituradores, molinos de bola, malacates, extrusoras de hule.	1.3	1.4	1.5	1.5	1.6	1.8
Cualquier máquina que se pueda ahogar	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0

Figura AIV.1. Factores de servicio (Arpi y Calderón, 2010)

La sección de banda adecuada se elige con base en la potencia del motor en la Figura AIV.2.

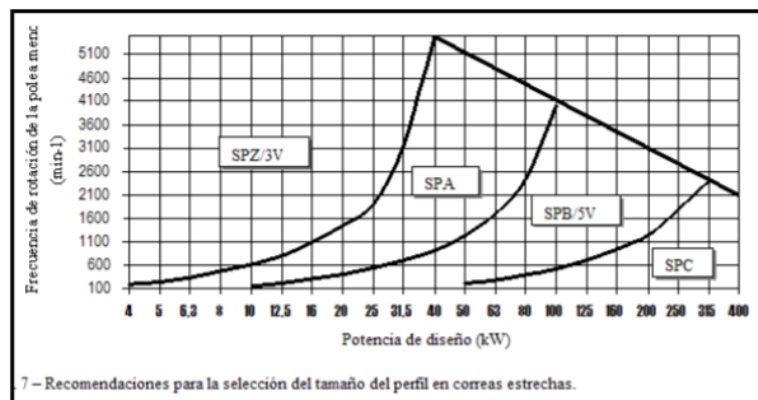


Figura AIV.2. Frecuencia de rotación en función de la potencia de diseño (Arpi y Calderón, 2010)

El diámetro de patea se determina según la Figura AIV.3.

Potencia del Motor Eléctrico															
[rpm]	1/2	3/4	1	1.5	2	3	5	7.5	10	15	20	25	30	40	50
870	2.2	2.4	2.4	2.4	3.0	3.0	3.8	4.4	4.4	5.2	6.0	6.8	6.8	8.2	8.4
1160	-	2.2	2.4	2.4	2.4	3.0	3.0	3.8	4.4	4.4	5.2	6.0	6.8	6.8	8.2
1750	-	-	2.2	2.4	2.4	2.4	3.0	3.0	3.8	4.4	4.4	4.4	5.2	6.0	6.8
3500	-	-	-	2.2	2.4	2.4	2.4	3.0	3.0	3.8	4.4	4.4	-	-	-

Figura AIV.3. Diámetro de patea en función de la velocidad del motor (Arpi y Calderón, 2010)

Las longitudes estándar para bandas se presentan en la Figura AIV.4, a continuación:

Longitudes de banda estándar para bandas 3V, 5V y 8V (pulg)				
Sólo 3V	3V y 5V	3V, 5V y 8V	5V y 8V	Sólo 8V
25	50	100	150	375
26.5	53	106	160	400
28	56	112	170	425
30	60	118	180	450
31.5	63	125	190	475
33.5	67	132	200	500
35.5	71	140	212	
37.5	75		224	
40	80		236	
42.5	85		250	
45	90		265	
47.5	95		280	
			300	
			315	
165			335	
			355	

Figura AIV.4. Longitudes estándar de bandas (Arpi y Calderón, 2010)

Los coeficientes de ángulo de contacto y de corrección de longitud se determinan con base en la Tabla AIV.1 y la Figura AIV.5 respectivamente.

Tabla AIV.1. Coeficientes de ángulo de contacto

α (°)	180	174	169	163	157	151	145	127	120
c_α	1,00	0,99	0,97	0,96	0,94	0,93	0,91	0,85	0,82

(Arpi y Calderón, 2010)

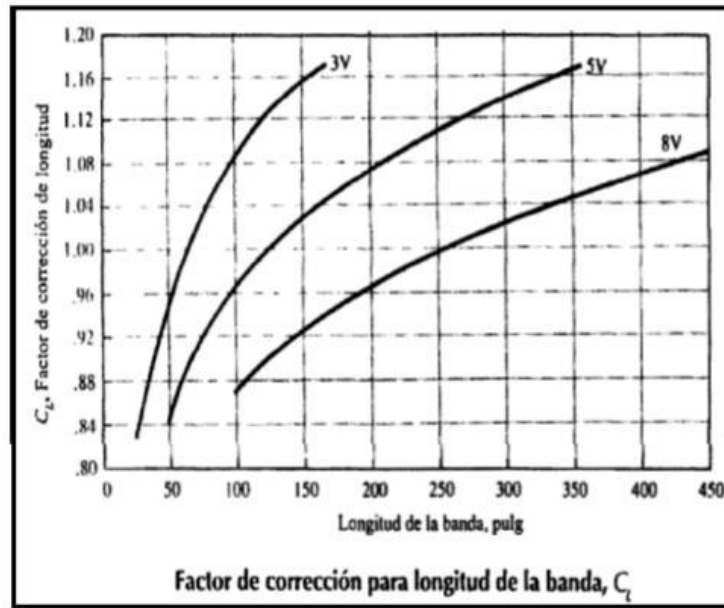


Figura AIV.5. Coeficiente de corrección de longitud (Arpi y Calderón, 2010)

El factor de diseño se determina mediante los valores en la Tabla AIV.2.

Tabla AIV.2. Factor de diseño en función de la velocidad tangencial

Velocidad tangencial (m/s)	Factor de diseño, f
30	0,016
40	0,010
50	0,0093
60	0,0099

(Arpi y Calderón, 2010)

ANEXO V. Tuberías diseñadas en Instrucalc

Con el objetivo de determinar el diámetro adecuado para la tubería. Para obtener el valor de la velocidad, de acuerdo a las recomendaciones, se establece un valor de 4 ft/s.

$$A_t = \frac{3,27 \frac{m^3}{h}}{4389,12 \frac{m}{h}} = 7,45E - 4 m^2$$

$$D_t = \sqrt{\frac{4 * A_t}{\pi}}$$

$$D_t = \sqrt{\frac{4 * 7,45E - 4 m^2}{\pi}} = 0,03 m = 1,2 in$$

La temperatura de diseño se determina a continuación:

$$T_{diseño} = T_{op} + 10^{\circ}C$$

$$T_{diseño} = (15 + 10)^{\circ}C = 25^{\circ}C$$

Respecto a la presión de operación, considerando que serán líneas de drenaje atmosférico, la presión de diseño será de 50 psig.

Con base en los parámetros calculados anteriormente, se determinaron las características de la tubería en Instrucalc, quedando las mostradas en la Figura AV.1.

Common input data

Tag Fluid Start End

Pipe Length ft Pipe I.D. in Elevations ft

Steel Tubing Cast iron Galv iron Asphalted Concrete Wood

Number of - Gate val|Globe val|Check val|90 deg ell|45 deg ell|Thru tee|Branch tee

Entrance 1 1 Exit

Variable input data

	Case 1	Case 2	Case 3
Fluid flow kg/h	3679.8		
Temperature degC	25		
Source pressure psig	50		
SG @ flow conditions	.9982		
Viscosity cp	.8895		
Equipment losses psi			

Pipe Condition

New Good Old

Output data

	Case 1	Case 2	Case 3
Loss per 100 ft psi	.1235		
End pressure psig	49.77		
Liquid velocity ft/s	1.088		
Reynolds number	23329		

Equivalent line length ft

Figura AV.1. Resultados de tubería diseñada en Instrucalc (DN 2,5)

En este caso, la tubería está constituida por acero SCH40, y diámetro nominal de 2,5 in. Las pérdidas generadas son de 0,124 psi (menor a 0,25 psi), y su velocidad es de 1,1 ft/s, valor que cumple con las especificaciones. De manera similar se determinó el diámetro de las demás tuberías.

Common input data

Tag Fluid Start End

Pipe Length ft Pipe I.D. in Elevations ft

Steel Tubing Cast iron Galv iron Asphalted Concrete Wood

Number of - Gate val|Globe val|Check val|90 deg ell|45 deg ell|Thru tee|Branch tee

Entrance 1 1 Exit

Variable input data

	Case 1	Case 2	Case 3
Fluid flow kg/h	3679.8		
Temperature degC	25		
Source pressure psig	100		
SG @ flow conditions	.9982		
Viscosity cp	.8895		
Equipment losses psi			

Pipe Condition

New Good Old

Output data

	Case 1	Case 2	Case 3
Loss per 100 ft psi	3.177		
End pressure psig	95.38		
Liquid velocity ft/s	4.061		
Reynolds number	45069		

Equivalent line length ft

Figura AV.2. Dimensiones de tubería de descarga de la bomba (DN 1 ¼ SCH80)

Common input data

Tag Fluid **Water** Start End

Pipe Length ft **100** Pipe I.D. in **1.278** Elevations ft

Steel Iubing Cast iron Galv iron Asphalted Concrete Wood

Number of - Gate valv | Globe val | Check val | 90 deg ell | 45 deg ell | Thru tee | Branch tee

Entrance Exit

Variable input data	Case 1	Case 2	Case 3
Fluid flow kg/h	3679.8		
Temperature degC	25		
Source pressure psig	100		
SG @ flow conditions	.9982		
Viscosity cp	.8895		
Equipment losses psi	10		

Pipe Condition: New Good Old

18/2/2022

Output data

Loss per 100 ft	psi	Case 1	Case 2	Case 3	Equivalent line length
Loss per 100 ft	psi	3.177			ft 473.1
End pressure	psig	84.97			
Liquid velocity	ft/s	4.061			
Reynolds number		45069			

Figura AV.3. Dimensiones de las tuberías secundarias de agua (DN 1 ¼ SCH80)

Common input data

Tag Fluid **Air** Start End

Pipe Length ft **100** Pipe I.D. in **13.124** Elevations ft

Steel Iubing Cast iron Galv iron Asphalted Concrete Wood

Number of - Gate valv | Globe val | Check val | 90 deg ell | 45 deg ell | Thru tee | Branch tee

Entrance Exit

Variable input data	Case 1	Case 2	Case 3
Fluid flow kg/h	11882.82		
Temperature degC	25		
Source pressure psig	14		
Molecular weight	28.964		
Specific heat ratio (Cp/Cv)	1.428		
Viscosity cp	.01829		
Critical temperature degR	238.7		
Critical pressure psia	547		
Equipment losses psi			

Pipe Condition: New Good Old

Output data

Loss per 100 ft	psi	Case 1	Case 2	Case 3	Equivalent line length
Loss per 100 ft	psi	.07			ft 100
End pressure	psig	13.93			
Gas velocity	ft/s	53.7			
Gas sonic velocity	ft/s	1147			

Figura AV.4. Dimensiones de la tubería de aire que alimenta el enfriador (DN 14 SCH40)

<i>Common input data</i>		Tag	Fluid	Start	End
Pipe Length	ft	100	Air		
	Pipe I.D.	in	35.376	Elevations	ft
<input checked="" type="radio"/> Steel <input type="radio"/> Tubing <input type="radio"/> Cast iron <input type="radio"/> Galv iron <input type="radio"/> Asphalted <input type="radio"/> Concrete <input type="radio"/> Wood					
Number of - Gate valv Globe val Check val 90 deg ell 45 deg ell Thru tee Branch tee					
<input type="checkbox"/> Entrance		0	0		<input type="checkbox"/> Exit
<i>Variable input data</i>		Case 1	Case 2	Case 3	Pipe Condition
Fluid flow	kg/h	93546.26			<input type="radio"/> New
Temperature	degC	25			<input checked="" type="radio"/> Good
Source pressure	psig	14			<input type="radio"/> Old
Molecular weight		28.964			
Specific heat ratio (Cp/Cv)		1.428			
Viscosity	cp	.01829			
Critical temperature	degR	238.7			
Critical pressure	psia	547			
Equipment losses	psi				
<i>Output data</i>					Equivalent line length
Loss per 100 ft	psi	.026			ft
End pressure	psig	13.97			100
Gas velocity	ft/s	58.09			
Gas sonic velocity	ft/s	1147			

Figura AV.5. Dimensiones de la tubería de aire que alimenta el secador (DN 41 SCH10)

<i>Common input data</i>		Tag	Fluid	Start	End
Pipe Length	ft	100	Steam		
	Pipe I.D.	in	3.068	Elevations	ft
<input checked="" type="radio"/> Steel <input type="radio"/> Tubing <input type="radio"/> Cast iron <input type="radio"/> Galv iron <input type="radio"/> Asphalted <input type="radio"/> Concrete <input type="radio"/> Wood					
Number of - Gate valv Globe val Check val 90 deg ell 45 deg ell Thru tee Branch tee					
<input type="checkbox"/> Entrance		1	1		<input type="checkbox"/> Exit
<i>Variable input data</i>		Case 1	Case 2	Case 3	Pipe Condition
Fluid flow	kg/h	173			<input type="radio"/> New
Temperature	degC	119			<input checked="" type="radio"/> Good
Source pressure	psig	14			<input type="radio"/> Old
Molecular weight		18			
Specific heat ratio (Cp/Cv)		1.31829			
Viscosity	cp	.0123			
Critical temperature	degR	1165			
Critical pressure	psia	3208			
Equipment losses	psi				
<i>Output data</i>					Equivalent line length
Loss per 100 ft	psi	.06886			ft
End pressure	psig	13.86			209.1
Gas velocity	ft/s	30.02			
Gas sonic velocity	ft/s	1594			

Figura AV.6. Dimensiones de la tubería de vapor de agua (DN 3 SCH40)

ANEXO VI. Datos del análisis financiero

Tabla AVI.1. Parámetros definidos para el análisis financiero

Nombre del Parámetro	Valor del Parámetro	Unidad
Aportación de socios	100.000,00	USD
Aporte Patronal al IESS	11,15	% de valor sueldo o salario
Costo de construcción de bodegas y galpones	30,00	USD/m ²
Costo de construcción de oficinas	30,00	USD/m ²
Costo de construcción de Infraestructura	30,00	USD/m ²
Duración de capital de operación	1	meses
Impuesto a la renta sobre utilidades	37	%
Interés bancario por anualidad	12	%
Mantenimiento de maquinaria y equipos	5	% valor de maquinaria y equipo
Mantenimiento de edificios	2	% del valor de edificios
Número de turnos de trabajo	1	
Promedio de instalación de maquinaria y equipos	30	% promedio del costo de maquinaria y equipos
Amortización de edificios	20	años
Amortización de Maquinaria y Equipo	10	años
Amortización de Muebles y Equipo de oficina	3	años
Amortización de otros activos	5	años

Tabla AVI.2. Nómina de la mano de obra directa

Operador de Máquina o Proceso	Salario Mensual	Aporte Patronal de 11.15% al IESS	Recargos por turnos nocturnos	Total, mensual, ex-bonificaciones	Total, anual, ex-bonificaciones	Vacaciones	13avo	14avo	Fondo de Reserva	Gran total anual
Carga de molino	\$500,00	\$55,75	\$0,00	\$555,75	\$6.669,00	\$277,88	\$555,75	\$292,00	\$555,75	\$8.350,38
Carga de molino	\$500,00	\$55,75	\$0,00	\$555,75	\$6.669,00	\$277,88	\$555,75	\$292,00	\$555,75	\$8.350,38
Carga de molino	\$500,00	\$55,75	\$0,00	\$555,75	\$6.669,00	\$277,88	\$555,75	\$292,00	\$555,75	\$8.350,38
Carga de la mezcladora	\$500,00	\$55,75	\$0,00	\$555,75	\$6.669,00	\$277,88	\$555,75	\$292,00	\$555,75	\$8.350,38
Carga de la mezcladora	\$500,00	\$55,75	\$0,00	\$555,75	\$6.669,00	\$277,88	\$555,75	\$292,00	\$555,75	\$8.350,38
Carga de la mezcladora	\$500,00	\$55,75	\$0,00	\$555,75	\$6.669,00	\$277,88	\$555,75	\$292,00	\$555,75	\$8.350,38
Carga de la mezcladora	\$500,00	\$55,75	\$0,00	\$555,75	\$6.669,00	\$277,88	\$555,75	\$292,00	\$555,75	\$8.350,38
Carga de la mezcladora	\$500,00	\$55,75	\$0,00	\$555,75	\$6.669,00	\$277,88	\$555,75	\$292,00	\$555,75	\$8.350,38
Carga de la mezcladora	\$500,00	\$55,75	\$0,00	\$555,75	\$6.669,00	\$277,88	\$555,75	\$292,00	\$555,75	\$8.350,38
Carga de la mezcladora	\$500,00	\$55,75	\$0,00	\$555,75	\$6.669,00	\$277,88	\$555,75	\$292,00	\$555,75	\$8.350,38
Distribuidor rotativo	\$500,00	\$55,75	\$0,00	\$555,75	\$6.669,00	\$277,88	\$555,75	\$292,00	\$555,75	\$8.350,38
Secador	\$500,00	\$55,75	\$0,00	\$555,75	\$6.669,00	\$277,88	\$555,75	\$292,00	\$555,75	\$8.350,38
Empaque	\$500,00	\$55,75	\$0,00	\$555,75	\$6.669,00	\$277,88	\$555,75	\$292,00	\$555,75	\$8.350,38
Empaque	\$500,00	\$55,75	\$0,00	\$555,75	\$6.669,00	\$277,88	\$555,75	\$292,00	\$555,75	\$8.350,38
Empaque	\$500,00	\$55,75	\$0,00	\$555,75	\$6.669,00	\$277,88	\$555,75	\$292,00	\$555,75	\$8.350,38
									TOTAL	\$116.905,25

Tabla AVI.3. Nómina de la mano de obra indirecta

Puesto de Trabajo	Salario Mensual	Aporte Patronal de 11.15% al IESS	Recargos por turnos nocturnos	Total, mensual, ex-bonificaciones	Total, anual, ex-bonificaciones	Vacaciones	13avo	14avo	Fondo de Reserva	Gran total anual
Gerente	\$2.000,00	\$223,00	\$0,00	\$2.223,00	\$26.676,00	\$1.111,50	\$2.223,00	\$292,00	\$2.223,00	\$32.525,50
Analista de producción	\$1.200,00	\$133,80	\$0,00	\$1.333,80	\$16.005,60	\$666,90	\$1.333,80	\$292,00	\$1.333,80	\$19.632,10
Analista de control de calidad	\$1.200,00	\$133,80	\$0,00	\$1.333,80	\$16.005,60	\$666,90	\$1.333,80	\$292,00	\$1.333,80	\$19.632,10
Contadora	\$1.000,00	\$111,50	\$0,00	\$1.111,50	\$13.338,00	\$555,75	\$1.111,50	\$292,00	\$1.111,50	\$16.408,75
Auxiliar contable	\$600,00	\$66,90	\$0,00	\$666,90	\$8.002,80	\$333,45	\$666,90	\$292,00	\$666,90	\$9.962,05
Bodeguera	\$600,00	\$66,90	\$0,00	\$666,90	\$8.002,80	\$333,45	\$666,90	\$292,00	\$666,90	\$9.962,05
Supervisor de planta	\$800,00	\$89,20	\$0,00	\$889,20	\$10.670,40	\$444,60	\$889,20	\$292,00	\$889,20	\$13.185,40
Secretaria	\$600,00	\$66,90	\$0,00	\$666,90	\$8.002,80	\$333,45	\$666,90	\$292,00	\$666,90	\$9.962,05
Analista de ventas	1000	\$111,50	\$0,00	\$1.111,50	\$13.338,00	\$555,75	\$1.111,50	\$292,00	\$1.111,50	\$16.408,75
Vendedor	500	\$55,75	\$0,00	\$555,75	\$6.669,00	\$277,88	\$555,75	\$292,00	\$555,75	\$8.350,38
Vendedor	500	\$55,75	\$0,00	\$555,75	\$6.669,00	\$277,88	\$555,75	\$292,00	\$555,75	\$8.350,38
Vendedor	500	\$55,75	\$0,00	\$555,75	\$6.669,00	\$277,88	\$555,75	\$292,00	\$555,75	\$8.350,38
Vendedor	500	\$55,75	\$0,00	\$555,75	\$6.669,00	\$277,88	\$555,75	\$292,00	\$555,75	\$8.350,38
Guardia (3)	1800	\$200,70	\$0,00	\$2.000,70	\$24.008,40	\$1.000,35	\$2.000,70	\$292,00	\$2.000,70	\$29.302,15
									TOTAL	\$210.382,40