

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y
AGROINDUSTRIA**

**DISEÑO DE UNA PLANTA AGROINDUSTRIAL PARA LA
ELABORACIÓN DE FIDEO DE PASTA CORTA DE QUINUA
(*Chenopodium quinoa*) LIBRE DE GLUTEN**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA
AGROINDUSTRIAL**

PAOLA KATHERINE MOROCHO ALBUJA
pao_kath@hotmail.com

DIRECTOR: PEDRO GUSTAVO MALDONADO ALVARADO, Ph.D.
pedro.maldonado@epn.edu.ec

Quito, Agosto 2017

© Escuela Politécnica Nacional (2017)
Reservados todos los derechos de reproducción

DECLARACIÓN

Yo, Paola Katherine Morocho Albuja declaro que el trabajo 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.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

Paola Katherine Morocho Albuja

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Paola Katherine Morocho Albuja, bajo mi supervisión.

Ing. Pedro Maldonado, Ph.D.
DIRECTOR DE PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por estar a mi lado, brindarme la alegría de vivir y permitirme cumplir mis metas.

A mi padre por enseñarme a afrontar mis debilidades y a desarrollar mis mayores fortalezas. También por enseñarme lo más importante, a ser una buena persona.

A Aracely porque gracias a su esfuerzo y apoyo he podido cumplir mis sueños.

A Alejo por ser mi mejor amigo, mi mayor ejemplo e incondicional apoyo.

A mis ángeles en la tierra, mis abuelitas Rudy y Faby y mis abuelitos Miguel y Guillermo. A todos ellos que por medio de sus acciones y consejos me dieron el mayor impulso.

A toda mi familia: tíos, tías, primas y primos que por su cariño y ayuda me han permitido llegar hasta aquí.

A todos mis maestros por sus enseñanzas a lo largo de mi vida estudiantil, en especial:

Al Dr Pedro Maldonado que ha sabido guiarme por el camino de este proyecto con paciencia y sabiduría, le agradezco por su colaboración y su amistad.

A todos mis amigos y compañeros especialmente a Erika, por compartir conmigo todos estos años y convertirlos en experiencias inolvidables.

DEDICATORIA

A mi padre Miguel por su amor incondicional y su fe en mí.

A Aracely por enseñarme con su ejemplo a ser una valiosa mujer.

A mis hermanas, Dany y Naty por contagiarme con su alegría y su luz.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

		PÁGINA
Resumen		1
1	Justificación	2
1.1	Análisis de mercado	2
1.1.1	Oferta	2
1.1.2	Demanda	3
1.1.3	Competidores	5
1.2	Capacidad de producción	6
1.3	Localización de la planta	7
1.3.1	Macrolocalización	7
1.3.2	Microlocalización	9
2	Descripción del proceso	11
2.1	El producto	11
2.2	Caracterización de materias primas e insumos	13
2.2.1	Quinoa (chenopodium quinoa)	13
2.2.2	Otros ingredientes e insumos	13
2.3	Caracterización de servicios industriales	13
2.4	Análisis de alternativas tecnológicas	14
2.5	El proceso	17
2.6	Saponinas	18
3	Criterios de evaluación y diseño	19
4	Diseño de la planta o equipo	25
4.1	Diagrama de bloques (BPD) y diagrama de flujo (PFD)	25
4.2	Balance de masa	29
4.3	Planificación de la producción	31
4.4	Balance de energía	34
4.5	Disposición en planta y planos de elevación	36
4.6	Diagrama de tuberías e instrumentación (P&ID) y control	40
4.7	Dimensionamiento y especificaciones de los equipos	43
4.7.1	Dimensionamiento de los secadores	43

4.7.1.1	Caída de presión en el secador	45
4.7.1.2	Potencia del ventilador	45
4.7.1.3	Delección del motor eléctrico del ventilador	46
4.7.1.4	Pérdida de calor por paredes	46
4.7.2	Especificaciones de los equipos de la planta.	47
4.8	Diseño sanitario de la planta	48
5	Evaluación financiera	51
5.1	Inversión	51
5.2	Capital de operación	52
5.3	Estados de resultados proyectados a 10 años	53
5.4	Costos de producción del fideo de quinua	55
5.5	Valor actual neto y tasa interna de retorno	56
6	Conclusiones y recomendaciones	57
6.1	Conclusiones	57
6.2	Recomendaciones	58
	Referencias bibliográficas	59
	Anexos	64

ÍNDICE DE TABLAS

PÁGINA

Tabla 1.1. Porcentajes de lanzamientos de productos con contenido de quinua (2009-2012)	3
Tabla 1.2. Características de pastas disponibles en el mercado estadounidense	5
Tabla 1.3. Datos de la población estimada para en cálculo de la capacidad de producción	6
Tabla 1.4. Matriz de priorización	8
Tabla 1.5. Matriz de ponderación de criterios	9
Tabla 2.1. Formulación de fideo de quinua de pasta corta	11
Tabla 2.2. Composición nutricional del fideo de quinua de pasta corta	11
Tabla 2.3. Insumos utilizados para el embalaje del producto	13
Tabla 2.4. Resultados de pastas con quinua	15
Tabla 3.1. Propiedades del fideo de quinua durante el secado	23
Tabla 4.1. Códificación de equipos en planta	25
Tabla 4.4. Diagrama de Gantt de la producción diaria de fideo de quinua.	32
Tabla 4.5. Resumen del balance de energía de los secadores	34
Tabla 4.6. Balance de energía en el área de producción	35
Tabla 4.7. Nomenclatura de las tuberías de la línea de producción	40
Tabla 4.8. Pérdida de total de carga en accesorios	40
Tabla 4.9. Características de la bomba	41
Tabla 4.10. Simbología de los instrumentos de control	41
Tabla 4.11. Dimensiones de los secadores	43
Tabla 4.12. Pérdidas de presión total dentro del sistema	45
Tabla 4.13. Estructura de las paredes del secador	46
Tabla 4.14. Listado de equipos de la planta	47
Tabla 5.1. Inversión total en la planta elaboradora de fideo de quinua	51
Tabla 5.2. Inversión fija	52
Tabla 5.3. Capital de operación	53

ÍNDICE DE FIGURAS

	PÁGINA
Figura 1.1. Distribución geográfica de la producción de quinua 2014	7
Figura 1.2. Microlocalización de la planta	10
Figura 2.1. Diseño de la presentación de los fideos de pasta corta	12
Figura 3.1. Humedad (%) vs tiempo (min)	22
Figura 4.1. BPD, producción de fideo de pasta corta de quinua libre de gluten	27

ÍNDICE DE ANEXOS

	PÁGINA
ANEXO I	
Balance de masa del proceso de elaboración de fideo de quinua	65
ANEXO II	
Balance de energía del proceso de secado del grano de quinua y del fideo de quinua	77
ANEXO III	
Simbología de equipos	80
ANEXO IV	
Ejemplo de cálculo de la caída de presión dentro del secador	81
ANEXO V	
Elección del ventilador	86
ANEXO VI	
Pérdida de energía en las paredes del secador	89
ANEXO VII	
Cálculo de tiempo de secado para grano de quinua y para el fideo	95
ANEXO VIII	
Ejemplo de cálculo de la potencia de las bombas	100
ANEXO IX	
Fichas técnicas de equipos	104
ANEXO X	
Evaluación económica	117
ANEXO XI	
Identificación de tuberías	122

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue el diseño de una planta industrial elaboradora de pasta corta de quinua libre de gluten. El producto seleccionado está dirigido principalmente a la exportación a Estados Unidos debido a su alto costo de producción y a la demanda de pacientes celiacos concentrada en Norteamérica. Así, la capacidad de producción calculada con la población de California se estableció en 2500 kg de quinua por día. El análisis de localización de la planta permitió establecer la ubicación en la provincia de Imbabura en el Cantón de Pimampiro, principalmente por la cercanía de la materia prima. Después de haber realizado pruebas preliminares de laboratorio, se logró encontrar una masa con buenas características viscoelásticas para pasta corta, con 63,7% de harina de quinua, 7,6% de albumen de huevo y 28,7% de agua. Las operaciones unitarias del proceso fueron: recepción y clasificación de la materia prima, despedregado, escarificado, lavado, centrifugado, acondicionamiento, molienda, mezcla, amasado, extrusión, secado, reposo y finalmente empacado y almacenamiento. Se encontró que la extrusión de la masa de fideo requiere de una humedad de 37%. Los procesos críticos en la elaboración del fideo fueron el acondicionamiento del grano y el secado del fideo. En estos procesos, en particular, se realizaron cálculos puntuales como balances de masa y energía, y diseño de equipos. Así, se estableció unas temperaturas de secado de 65 y 70°C, en el acondicionamiento del grano y el secado del fideo, respectivamente, para alcanzar en ambos procesos una humedad de 12% en el producto resultante. En los procesos antes descritos, el tiempo de secado calculado para el grano de quinua fue de 1 hora y media para el fideo de quinua fue de 4 horas, respectivamente. El consumo mensual de energía de la planta es de 61 690,6 kWh y el consumo mensual de agua es de 62,05 m³. El TIR del proyecto es de 38,14 % y el VAN es de 2 133 691,22 USD por lo que es un proyecto viable.

1 JUSTIFICACIÓN

En este trabajo se realizará el diseño de una planta para la elaboración de fideo de pasta corta de quinua libre de gluten. En los últimos años han aumentado las patologías relacionadas con el consumo del gluten como la sensibilidad al gluten no celíaca (SGNC), la alergia al trigo y la intolerancia al trigo, los síntomas de estas enfermedades desaparecen al eliminar el gluten de la dieta (Navarro & Araya, 2015).

Por las características nutricionales de la quinua y por su potencial se ha concluido que posiblemente una de las mejores presentaciones de un producto de quinua sería la pasta corta. Uno de los productos más populares a nivel mundial ha sido la pasta, debido a su facilidad de preparación, versatilidad, disponibilidad, larga vida útil y bajo costo. En los últimos años la investigación y el desarrollo de pastas libres de gluten se ha extendido y se muestra gran interés en el empleo de pseudocereales ya que incrementan el valor nutritivo de las pastas (Vici, Belli, Biondi, & Polzonetti, 2016, pp. 1-5).

Así, el diseño de una planta de elaboración de fideo de pasta corta a base de quinua que se pretende desarrollar, utiliza materia prima propia del Ecuador y con perspectiva de exportación hacia el mercado estadounidense.

1.1 ANÁLISIS DE MERCADO

1.1.1 OFERTA

La producción nacional de quinua se realiza en la región interandina de 2 500 a 3 600 m.s.n.m. En el período del 2014 – 2015 el MAGAP intervino en 5 878 hectáreas de producción de quinua. De acuerdo a datos compilados por PRO ECUADOR la producción en el Ecuador para el año 2015 fue de 7 488 hectáreas de quinua cultivadas con una producción de alrededor de 10 000 tm (Proecuador, 2015, p. 6).

Estados Unidos también se ha convertido en un productor de quinua pero debido a los bajos rendimientos no abastece la demanda.

En la Tabla 1.1 se presenta las regiones con mayor innovación en productos con quinua, asimismo se evidencia que las principales regiones con innovación en productos con quinua son Norteamérica y Europa. Latinoamérica no ha explotado el potencial de la quinua en productos industrializados, posee un bajo nivel de innovación corresponde a 21,6% del total de lanzamientos de productos con quinua y simplemente se ha consolidado como exportador de quinua en su forma más ordinaria (Corpei, 2012, p. 13).

Tabla 1.1. Porcentajes de lanzamientos de productos con contenido de quinua (2009-2012)

Región	2009	2010	2011	2012	Porcentaje
Norteamérica	26,3%	26,4%	33,2%	38,7%	32,2%
Europa	43,8%	35,8%	32,2%	38,7%	34,2%
Latinoamérica	12,4%	29,0%	26,1%	17,3%	21,6%
Asia Pacífico	14,6%	7,3%	8,1%	10,9%	9,9%
Medio Oriente y África	2,9%	1,6%	0,5%	3,4%	2,1%

(Corpei, 2012, p. 13)

La pasta de quinua podría ser un sustituto a la pasta de trigo tradicional e incluso a otras alternativas existentes como la pasta de harina de arroz. Actualmente en el mercado estadounidense se puede encontrar pastas como espagueti y linguini hechas a base de quinua. La harina de quinua compite con otras harinas como las elaboradas a base de arroz, de soya, de coco, de trigo, entre otras (Proecuador, 2011, p. 16). Además, hay que considerar que el aporte nutricional también es elevado.

1.1.2 DEMANDA

En las últimas décadas las propiedades de la quinua han sido valoradas por expertos quienes han coincidido que la quinua es uno de los mejores

“superalimentos” a nivel mundial, lo que ha permitido su revalorización sobre todo en países desarrollados quienes buscan un nivel de vida más saludable.

El nivel de vida desordenado e insaciable en países de primer mundo ha ocasionado el desarrollo de nuevas enfermedades como la enfermedad celíaca, además de patologías nuevas como la sensibilidad al gluten (Allen, 2015). Las principales manifestaciones de estas enfermedades son los problemas gastrointestinales que afectan la calidad del vida del individuo (Sociedad, 2016). Los países con mayor incidencia son Estados Unidos, Reino Unido, Alemania y Suecia (Proecuador, 2011, p. 4).

La ausencia de gluten en la quinua permite que las personas celíacas la incluyan dentro de su dieta. La demanda de quinua per cápita en el Ecuador es de 24 gr/año, en Bolivia 5 kg/ año y en Perú 2 kg/año (Proecuador, 2014, p. 2). El consumo de quinua en Ecuador es muy bajo, por lo que la mayoría de la producción de grano de quinua es exportado.

En Estados Unidos el consumo de pastas per cápita es de 9 kg/año (AIDEPI, 2006, p. 2) mientras que América Latina, lugar de origen de la quinua no posee un considerable consumo per cápita de grano de quinua o de productos procesados del grano. Por lo tanto, en este estudio se tiene preferencia por la exportación de la pasta de quinua.

En el mercado estadounidense la mayoría de productos libres de gluten poseen como principal materia prima el maíz, arroz, papa, trigo sarraseno (Hager, 2013). Por lo tanto, la quinua podría ser un sustituto de estos productos tradicionales. Estos productos razonablemente son más asequibles puesto que la materia prima es de menor costo como el caso del arroz y el maíz principalmente. Este es un factor que podría afectar la demanda, sin embargo, en general, hay que recalcar que una dieta libre de gluten trae consigo un desbalance de nutrientes. Una dieta libre de gluten es pobre en fibra, baja en vitaminas (B12, D) y minerales (Ca, Fe, Mg, Zn). Este tipo de dieta incrementa el índice glucémico y la carga glucémica de la comida, lo que favorece el sobrepeso. Entonces, se debe destacar que los

productos libres de gluten elaborados con quinua poseen mejor calidad que los productos tradicionales debido a que conservan las atractivas características nutricionales de la quinua (Vici et al., 2016, p. 5).

1.1.3 COMPETIDORES

En Ecuador, pocos productos terminados se producen a base de quinua como barras energéticas, snacks, pan, pasta, entre otros. En el país no se ha encontrado una marca de pasta corta a base de quinua que sea libre de gluten. Randimpak, es una empresa que elabora y promociona su producto como “Pasta de Quínoa”, el cual es un fideo, que además de quinua, incluye trigo en su formulación, lo que impide que sea un producto “gluten free”. El precio de éste producto en Ecuador es oneroso comparado con las pastas a base de trigo, asciende alrededor de 3,00 USD/350 g.

En el mercado estadounidense se han encontrado pastas elaboradas en distintos países y de distintos ingredientes. La Tabla 1.2 muestra una recopilación de algunas pastas disponibles en Estados Unidos, donde se observa que productos con quinua tienen un costo hasta de 4 USD aproximadamente. Es remarcable indicar que los productos con menor costo son aquellos que contienen maíz o arroz, esto es debido a que la materia prima es abundante y esto permite disminuir el costo de producción.

Tabla 1.2. Características de pastas disponibles en el mercado estadounidense

Nombre	Marca	Ingredientes	Peso	Precio USD	País de origen
Shells	Ancient harvest	Quinua y maíz	227 gr	2,69	Bolivia
Spaghetti	Andean Dream	Arroz y quinua	227 gr	3,99	Bolivia
Spaghetti	Jovial	Arroz	340g	4,49	Italia
Pasta corta	Le Veneziane	Maíz	250g	2,29	Italia
Pasta corta	Bionature	Arroz, papa y soya	340g	5,02	Italia

(Proecuador, 2011, pp. 34-35)

1.2 CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN

La población de referencia para el estudio de mercado del producto será el estado de California que abarca a la ciudad de Los Ángeles-USA.

Se ha estipulado que el producto se expenderá en el estado de California e irá enfocado al segmento de población de 25 años en adelante, hombres y mujeres, los cuales comprenden 23 219 217 individuos. Este producto se encuentra principalmente dirigido a personas no tolerantes al gluten, mujeres embarazadas, deportistas, vegetarianos y en general para personas que se preocupan por llevar una vida sana. En Estados Unidos, 1 de cada 133 personas son celíacas, sin embargo, la mayoría no se encuentra diagnosticada (Health24, 2014). En general, el 90% de los productos manufacturados que se encuentran en el mercado no son aptos para celíacos (Celiacos de México, 2013). Se asume que la población demandante potencial insatisfecha es del 9% de la población demandante potencial. La Tabla 1.3 muestra los valores utilizados para calcular la capacidad de producción de la planta al tomar como referencia el estado de California.

Tabla 1.3. Datos de la población estimada para el cálculo de la capacidad de producción

Segmento de población	Descripción	Número de personas
Población de referencia	California (25 años o más)	23 219 217
Población demandante potencial	Celiacos(1%) + mujeres embarazadas, vegetarianos, deportistas (2,5% de la población)	812 672
Población demandante efectiva	Estimación 9%	73 140

(Proecuador, 2011, pp. 8-9)

$$Capacidad = \frac{\text{cantidad promedio necesaria por persona} * \text{Población Demandante Efectiva}}{\text{frecuencia de consumo}} \quad [1.1]$$

En la Ecuación 1.1, la cantidad promedio necesaria de pasta por persona es 9 kg/año para los Estados Unidos (AIDEPI, 2006, p. 2). Eso significa que se consume 658 264 kg de fideo anualmente. Considerando 20 días de trabajo en un mes, es necesario producir 2 742 kg de fideo diario. En este contexto, la capacidad de producción de la planta establecida será de 2 500 kg de quinua por día.

1.3 LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA

1.3.1 MACROLOCALIZACIÓN

De acuerdo a un análisis sectorial de la quinua realizado por PROECUADOR se estima que actualmente existen 7 488 hectáreas de quinua cultivadas (Proecuador, 2015, p. 6). En la Figura 1.1 se puede observar la distribución del cultivo de quinua en el Ecuador. La variedad de quinua Tunkahuán representa el 70% del total de quinua sembrada en el país. Esta variedad se encuentra cultivada desde la provincia del Carchi hasta la provincia del Cañar, donde se favorece el cultivo debido al tipo de suelo y clima de la zona (Peralta, 2010).

Para el análisis de macrolocalización se ha tomado en cuenta principalmente la cercanía de la planta a la materia prima, por lo que se evaluará como opciones las provincias de Carchi, Pichincha e Imbabura.

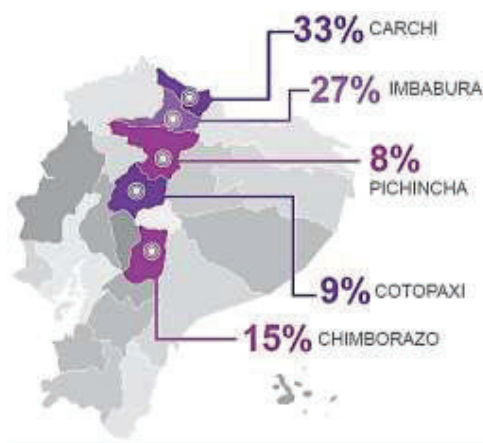


Figura 1.1. Distribución geográfica de la producción de quinua 2014
(Proecuador, 2015)

Para la elección de la provincia en la que se va a localizar la planta se tomaron como criterios de evaluación: materia prima cercana, disponibilidad de servicios básicos, vías de acceso disponible, área amplia disponible, costo de compra accesible, clima favorable, normas y leyes.

Para determinar la relevancia de cada criterio en la evaluación general, se ha resuelto elaborar una matriz de priorización donde:

- 1: Poco importante
- 3: Menos importante
- 5: Igualmente importante
- 7: Más importante
- 9: Muy importante

La Tabla 1.4 muestra los resultados del cálculo de la ponderación para cada criterio, de acuerdo a su importancia. Estos resultados indican que el factor más importante es el costo del terreno, seguido por la disponibilidad de servicios básicos y la facilidad de acceso a la propiedad.

Tabla 1.4.Matriz de priorización

	Materia prima cercana	Servicios básicos	Vías de acceso disponibles	Área amplia disponible	Costo de compra	Clima	Normas y leyes	sumatoria	ponderación
Materia prima cercana	5	5	7	3	5	3	28	13%	
Servicios básicos	5	5	7	3	5	9	34	16%	
Vías de acceso disponibles	5	5	5	5	5	7	32	15%	
Área amplia disponible	3	3	5	1	5	5	22	10%	
Costo de compra	7	7	5	9	9	7	44	21%	
Clima	5	5	5	5	1	1	22	10%	
Normas y leyes	7	1	3	5	3	9	28	13%	
							210	100%	

Al tomar en cuenta los criterios antes descritos, se procede a evaluar las provincias con productoras de quinua. La matriz de ponderación de criterios descrita en la Tabla 1.5 indica que la zona con las mejores características para la macrolocalización de la planta es la provincia de Imbabura.

Tabla 1.5. Matriz de ponderación de criterios

	Materia prima cercana	Servicios básicos	Vías de acceso disponibles	Área amplia disponible	Costo de compra	Clima	Normas y leyes	Resultados ponderados
Localización	13%	16%	15%	10%	21%	10%	13%	
Carchi	5	5	5	5	4	5	3	4,43
Imbabura	5	4	5	5	5	5	4	4,61
Pichincha	4	5	5	3	1	5	2	3,34
Cotopaxi	4	2	2	4	4	2	4	3,1
Chimborazo	5	2	2	4	4	2	4	3,23

1.3.2 MICROLOCALIZACIÓN

El último censo realizado por el INEC muestra que dentro de la provincia de Imbabura, Pimampiro es el cantón con menor población. Además es el único cantón de la provincia cuyo crecimiento poblacional es decreciente provocado por la alta migración rural (Inec, 2010). Con el establecimiento de ésta planta en el sector, se busca disminuir la migración del campo a las zonas urbanas además de promover el desarrollo sostenible y generar fuentes de ingresos.

Desde el año 2005 se ha impulsado la producción de quinua con la variedad INIAP Tunkahuan a través de proyectos realizados por la FAO en conjunto con el MAGAP. Como parte de este proyecto en el año 2008 se tomó en cuenta el cantón Pimampiro localizado en la provincia de Imbabura (Peralta, 2009, p. 6) por lo que

se buscó y analizó una propiedad en venta dentro de esta zona. El terreno dispone de 11 hectáreas con una superficie plana y fértil, y con un costo de 8 700 USD. De acuerdo con la descripción del sitio éste posee agua de regadío, camino de acceso al predio, agua de consumo, luz eléctrica.

El servicio de agua potable en la zona es proporcionado por EMAPA de Pimampiro, la cual brinda la facilidad de instalación de acantarillado y agua potable. Cabe destacar que la producción del fideo implica el uso de agua potable como materia prima (GAD Municipal de San Pedro de Pimampiro, 2013). La temperatura promedio en Pimampiro es de 21°C (GAD Municipal de San Pedro de Pimampiro, 2013).

El terreno está ubicado a 5 km de la vía a la parroquia Mariano Acosta de Imbabura, desde la ciudad de Pimampiro.

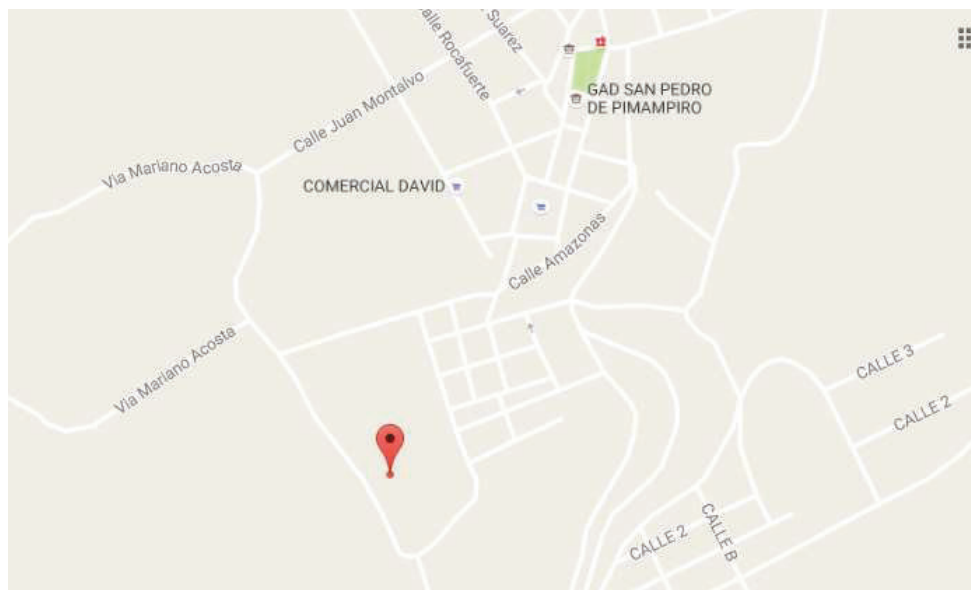


Figura 1.2. Microlocalización de la planta
(Google maps, 2016)

Coordenadas: 0°23'06.3"N 77°56'30.8"W

2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

2.1 EL PRODUCTO

Para diseñar la planta, inicialmente se realizaron pruebas preliminares en las que se elaboró el fideo de quinua a partir de la formulación propuesta por Schonlechner (Schonlechner, Drausinger, Ottenschlaeger, & Jurackova, 2010). En estas pruebas se determinó una humedad final de la masa para fideo de quinua es aproximadamente del 37%, previo al proceso de extrusión. Por lo que para la obtención del producto se emplea la formulación mostrada a continuación en la Tabla 2.1:

Tabla 2.1. Formulación de fideo de quinua de pasta corta

Ingredientes	Contenido %	Humedad%
Harina de quinua	63,7	12%
Albumen	7,6	7%
Agua	28,7	-

Posteriormente estas pruebas preliminares permiten la obtención de datos utilizados como criterio de diseño en algunas operaciones unitarias del proceso. En la Tabla 2.2 se muestra la composición nutricional del fideo de quinua en base seca:

Tabla 2.2. Composición nutricional del fideo de quinua de pasta corta

Nutrientes	Quinua	Albúmina	Fideo
	89%	11%	100%
Energía (kcal/100g)	480 840	382	427 989,6
Proteínas (g/100g)	16,14	86,09	23,8
Grasa (g/100g)	9,43	0	8,4
Carbohidratos (g/100g)	65,59	8,28	59,3
Hierro (mg/100g)	0,002	0	0,002
Zinc (mg/100g)	0,01	0	0,01
Sodio (mg/100g)	5,56	0	4,9
Ceniza	3,32	5,3	3,54

(Peralta, 2010)

Más adelante, en este trabajo, la composición nutricional permitirá calcular la capacidad calorífica del fideo de quinua, útil para el balance de masa del secador.

La presentación del producto será en fundas de polietileno de baja densidad de 250g, la cual se colocará dentro de un empaque de cartón para evitar que la presión durante el almacenamiento dañe el producto, con lo cual también podrá almacenarse a temperatura ambiente.

A continuación en la Figura 2.1 se presenta el diseño del empaque del producto propuesto en este trabajo.



Figura 2.1. Diseño de la presentación de los fideos de pasta corta

2.2 CARACTERIZACIÓN DE MATERIAS PRIMAS E INSUMOS

2.2.1 QUINUA (*Chenopodium quinoa*)

En el proceso de producción será utilizada la variedad de quinua INIAP Tunkahuan. Esta variedad es “dulce”, denominada así debido a que tiene una cantidad no significativa de saponina, por lo cual requiere un lavado rápido y un escarificado ligero antes de ser procesada. El contenido de saponina en esta variedad es del 0,06% (Peralta, 2009, p. 14).

2.2.2 OTROS INGREDIENTES E INSUMOS

Acorde a la formulación de los fideos de quinua también se requiere de albúmina de huevo en polvo secada mediante spray dryer con 7% de humedad.

En la Tabla 2.3 se detalla el embalaje que se utilizará para proteger al producto de condiciones ambientales durante su transporte.

Tabla 2.3. Insumos utilizados para el embalaje del producto

Tipo de empaque	Material	Objetivo
Envase primario	Fundas de polipropileno de baja densidad	Proteger al producto de la humedad y contaminación microbiana
Envase secundario	Cajas de cartón	Permite apilar el producto. Y facilita el manejo de varias fundas de 250g de fideo durante el almacenamiento y transporte

2.3 CARACTERIZACIÓN DE SERVICIOS INDUSTRIALES

Los principales servicios industriales que serán necesarios para el funcionamiento de la planta son: energía eléctrica trifásica y agua.

El sector posee energía de alta tensión y cuenta con acometidas de 220V y 380V (conexión trifásica) lo que permite el funcionamiento de los equipos.

Dentro de la planta no es necesaria la utilización de vapor saturado como fluido de calentamiento puesto que el aire de secado dentro del secador será calentado mediante resistencias eléctricas que permiten la transferencia de calor por convección.

2.4 ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS

El principal desafío en la elaboración de la pasta de quinua libre de gluten es el reemplazo del gluten que forma una red viscoelástica por otro mecanismo que permita una aglomeración de elementos. La retrogradación del almidón da rigidez a la pasta después de la cocción, reduce la viscosidad de la superficie y la pérdida de materia en el agua de cocción. La retrogradación se manifiesta en procesos como el aumento de firmeza y la recristalización de los geles de almidón gelatinizados con el tiempo. Las modificaciones que se mencionan son ocasionadas por los cambios estructurales en la amilosa y amilopectina que ocasionan alteración de las características reológicas en los alimentos. Por ejemplo, en el pan, la retrogradación se encuentra directamente relacionada a su envejecimiento (Gudmundsson, 1994, pp. 330-331).

Una alternativa es la incorporación de aditivos a la masa de productos sin gluten. Como sustitutos del gluten se han utilizado: hidrocoloides, gomas, emulsificantes y proteínas. Estos aditivos también permiten formar una red viscoelástica que brinda una consistencia firme a la masa (Schonlechner et al., 2010, p. 341- 343).

En la Tabla 2.4 se presentan los resultados experimentales tomados de bibliografía de pastas elaboradas con quinua y distintos aditivos. La albúmina ha sido utilizada en algunas concentraciones de las que se puede destacar que la adición del 15% de albúmina genera menores pérdidas en la cocción y posee una alta firmeza. En

la Tabla 2.4 el “peso en cocción” se define como el aumento de peso que sufren los fideos durante la cocción, debido a la cantidad de agua que han absorbido, con lo que se determina la capacidad de hinchamiento de los fideos y se calcula en porcentaje de acuerdo al tiempo de cocción. Mientras que la “pérdida en cocción” es el porcentaje de sólidos disueltos en el agua de cocción (Schonlechner et al., 2010, p. 341- 343).

Tabla 2.4. Resultados de pastas con quinua

Aditivo	Tiempo cocción (min)	Peso en cocción (%)	Pérdida en cocción (%)	Textura firmeza (N)
Humedad de la masa 34,5%				
Trigo -	10	303	5,98±0,582	1,55±0,231
Humedad de la masa 30%				
Quinua + Huevo (11,9%)	2,5	244	10,21±1,087	0,77±0,094
Quinua + Proteína de soya (3%)	4,5	255	9,27	0,99±0,354
Quinua + Caseína (3%)	4	254	9,09	0,93±0,368
Quinua + Albúmina (3%)	7	279	8,88	1,22±0,254
Quinua + Albúmina (6%)	6	239	9,94	1,55±0,251
Quinua + Albúmina (9%)	7	236	9,98	2,07±0,323
Quinua + Albúmina (12%)	8	244	10,88	2,28±0,414
Quinua + Albúmina (15%)	8,5	240	7,24	4,62±0,572
Quinua + Albúmina (12%) + DMG	8	270	10,07	3,12±0,212
Quinua + Albúmina (12%) + DATEM	7,5	248	7,12	0,77±0,129

(Schonlechner et al., 2010)

Otras alternativas tecnológicas sugieren la adición de almidones pre-gelatinizados y harinas pre-gelatinizadas. La producción en las pastas libres de gluten se basa en operaciones de calentamiento y enfriamiento de la masa que se fundamentan en dos fenómenos: la gelatinización del almidón y su retrogradación (Mariotti, lametti, Cappa, Rasmussen, & Lucisano, 2011, p. 319).

A mayor gelatinización del almidón, por ejemplo, el proceso de pregelatinización, mejora la calidad en la cocción. Durante la retrogradación del almidón se forman estructuras cristalinas que mejoran el comportamiento del fideo durante la cocción. La retrogradación del almidón puede ser utilizada para dar rigidez a la pasta cocida y para reducir la adhesividad de la superficie de la pasta y la pérdida de sólidos durante la cocción (Mariotti et al., 2011, p. 320). Este tipo de modificaciones en los almidones se los puede llevar a cabo mediante procesos físicos o mediante la adición de almidones pre-gelatinizados en las harinas usadas como materia prima. (Mariotti et al., 2011, p. 320). Sin embargo, controlar ambos procesos, gelatinización y retrogradación del almidón, es complejo ya que se requiere varias horas de trabajo y suficiente energía para calentar y enfriar la masa (Marti & Pagani, 2013, p. 5).

Las harinas pre-gelatinizadas son consideradas una opción más económica para mejorar la calidad de los fideos. Ensayos realizados en arroz demostraron que un porcentaje de sustitución de 50% de la harina de arroz pre-gelatinizada en la elaboración de fideos, mejoró la calidad de la pasta (Marti & Pagani, 2013, p. 6) Sin embargo, un estudio muestra que al realizar pruebas con harina de quinua pre-gelatinizada, la extrusión no mejoró las propiedades viscoelásticas de la masa evidenciándose un pico de viscosidad que podría ser causado por el almidón que no fue gelatinizado en la masa (Schonlechner, 2001, pp. 347-348).

En un estudio comparativo se observó que las pastas de quinua elaboradas con harinas pre-gelatinizadas presentan una textura frágil, mientras que aquellas pastas que tienen la adición de albúmina de huevo presentan una textura más firme y disminuyen pérdidas en la cocción en comparación con otros tratamientos como harina de quinua con adición de proteína de soya, etc. (Schonlechner, 2001, pp. 348-349). Por tal razón, se escogió la albúmina de huevo como agente aglomerante para la formación de la masa viscoelástica para la elaboración de la pasta corta de quinua.

2.5 EL PROCESO

El proceso consta de las siguientes operaciones unitarias: recepción y clasificación de la materia prima, despedregado, escarificado, lavado, centrifugado, acondicionamiento, molienda, mezcla y amasado, extrusión, secado, reposo y finalmente empacado y almacenamiento.

La recepción de materia prima se realiza de acuerdo a los parámetros de calidad establecidos en la norma NTE INEN 1671, como humedad, porcentaje de impurezas y otros contaminantes. Posteriormente en el despedregado se mejora la calidad de grano mediante la eliminación de impurezas a través de cribas.

Para eliminar de forma más eficiente las saponinas, se realizará un proceso de desaponificado combinado: escarificado, lavado y secado del grano. Este proceso permitirá eliminar la mayor cantidad de saponina durante el escarificado, los residuos de saponina serán retirados durante un rápido lavado. Esto permitirá que el grano no adquiera una alta humedad y el secado sea un proceso más rápido en el cual se gaste menor cantidad de recursos. Durante el escarificado se espera eliminar el 65% del contenido de saponina, luego eliminar el contenido de saponina restante con el lavado (Tapia, 2000, p.124).

El proceso de escarificado tiene como finalidad la eliminación del pericarpio de la quinua donde se acumulan la mayor cantidad de saponinas las cuales proporcionan el sabor amargo y astringente al grano que dificulta su consumo. El lavado elimina los residuos de saponina del grano, la quinua “dulce” de acuerdo a la norma NTE INEN 1673:2013, no necesita de un lavado intenso ya que posee bajos niveles de saponina. A continuación, el centrifugado tiene como objetivo disminuir el contenido de agua libre del grano para facilitar el secado. El secado consiste en someter al grano a la acción de una corriente de aire para eliminar la humedad que adquiere durante el lavado. La presencia de agua libre en el grano impide su almacenamiento debido a que favorece el crecimiento de hongos y bacterias. En la molienda se convierte los granos de quinua desaponificada en partículas pequeñas.

Para asegurar una masa consistente y evitar la ruptura del fideo durante la cocción, se realiza un amasado. La mezcla se realiza de acuerdo a la formulación establecida con harina de quinua, albúmina y agua. El proceso de extrusión en frío da forma a la masa de acuerdo a la matriz colocada a la salida del extrusor. Durante este proceso se disminuye la humedad de los fideos y el comportamiento del sólido pasa a ser elástico (Schonlechner et al., 2010, pp. 344-345). Después del secado, el reposo del fideo permite disminuir su temperatura evitando que se humedezca el producto dentro del empaque. Finalmente, el empaquete se realiza en fundas de polietileno de baja densidad, lo que evita las pérdidas debido a factores físicos, químicos o biológicos. Además, facilita la manipulación, protege al producto del ataque de agentes externos como humedad, insectos, entre otros.

2.6 SAPONINAS

Las saponinas son compuestos glucósidos que otorgan el sabor amargo a la quinua, algunas forman complejos insolubles con los minerales lo que dificulta su disponibilidad (Rojas, Soto, Pinto, Jäger, & Padulosi, 2010, p. 121). Por estas razones las saponinas son indeseables durante el procesamiento del grano de quinua. Sin embargo, es necesario destacar que las saponinas cumplen un papel protector para la planta porque evitan el ataque de plagas y animales al cultivo, lo que permite disminuir el uso de agroquímicos. Por este motivo es indeseable la concepción, mediante mejoramiento genético, de una variedad completamente libre de saponina (Sharma et al., 2015, p. 734).

Las saponinas se encuentran en la corteza del grano, por lo que su eliminación puede realizarse por varios métodos: método de lavado por agitación con turbulencia, método con rozamiento, método termomecánico en seco, método químico con lavado y el método combinado (escarificación y lavado del grano) (Meyhuay, 2013, pp. 18-20).

3 CRITERIOS DE EVALUACIÓN Y DISEÑO

1) Recepción y clasificación de la materia prima:

Mediante inspección visual se evalúa el estado de la materia prima. Es necesario que el grano se encuentre alrededor de 12% de humedad, para evitar la fermentación del grano durante su almacenamiento y el ataque de microorganismos (Romo, Rosero, Forero, & Ceron, 2006, p. 117)

Cuando se receipta la materia prima, las muestras son llevadas al laboratorio de calidad donde se analizan: porcentaje de impurezas, humedad del grano, tamaño del grano y evaluación sensorial (color, olor y apariencia).

2) Despedregado:

Este proceso de separación a nivel industrial se realiza con máquinas que poseen cribas de distintos diámetros y ventilación. Se separan materiales extraños como piedras, tierra, vegetales. Se utilizan tamices que posean orificios de 2 mm de diámetro. Para éste proceso se utiliza un separador vibrante (mesa densitométrica). Al final de ésta limpieza se consideran pérdidas no mayores al 12 %. Para el balance de masa se toma como porcentaje promedio de extracción de 4% para desperdicios y 3% de polvo (Nieto y Vimons, 1992, p. 18).

3) Escarificado:

Para esta fase se utilizan pulidoras en seco conformadas por un tornillo sin fin y un cilindro inmóvil que permite la fricción entre el grano y las paredes del cilindro. En este proceso se elimina entre el 6 al 8% de la cascarilla, en promedio se ha establecido el 7% (Marques & Marcal, 1991, p. 72). El polvillo que se desprende es retirado mediante succionadores de aire a través de una malla.

4) Lavado:

El lavado constituye un proceso batch llevado a cabo en un tanque agitado. Los granos de quinua son sometidos a un proceso de fricción húmeda. La fricción entre los granos de quinua y las paredes del equipo permite la eliminación de las cáscaras y los cristales de saponina. Dentro del equipo se encuentran espas que mueven la quinua y la empujan contra una malla, por esta malla atraviesa el agua con saponina.

El tiempo de residencia dentro de equipo de lavado es de 8 minutos. Debido a que la variedad de quinua elegida es “dulce”, es decir, baja en saponina se aplican tratamientos de desaponificación menos agresivos con tiempos de residencia cortos (Nieto, Vimos, Monteros, Caicedo, & Rivera, 1992, p. 19). La relación de agua/quinua que ingresa a la lavadora es de 1:1 de acuerdo a las especificaciones del fabricante del equipo (Vulcanotec, 2016). La humedad final del grano de quinua en el lavado es de 31,8% (Nieto & Soria, 1990, p. 57). Después del lavado se obtienen granos de quinua contenido de saponina menores al 0,05%. (Nieto & Soria, 1990, p. 31).

5) Centrifugado:

El centrifugado se realizará a 1800 rpm (Zavaleta, 2010, p. 88) (Vulcanotec, 2016). Al final del centrifugado se obtendrá el grano de quinua con aproximadamente 19,2% de humedad (Nieto & Soria, 1990, p. 32).

6) Acondicionamiento:

Se realiza con un secador de bandejas debido a que el volumen de producción no justifica la utilización de un secador continuo (Nonhebel & Moss, 1979, p. 57). La humedad final del grano que se requiere es del 12% de humedad (Meyhuay, 2013). Durante este proceso se da una transferencia de calor debido a la evaporación del agua libre que se encuentra en el grano. La temperatura de secado es el estándar para este tipo de proceso de acondicionado, el secador se encuentra alrededor de

70°C con un flujo de aire constante (Almeida, 2015, p.22). Al proceso de secado ingresan 600 kg de grano por lote y se estima que el aire sale del secador a 38°C con 80% de humedad relativa (Treybal, 2008, p.734).

7) Molienda:

El molino de martillos permite una alta eficiencia en la molienda. El tamaño de partícula influye en el nivel de daño del almidón, mientras más pequeña es la partícula mayor es el daño lo que disminuye la absorción de agua e influye en la viscoelasticidad de la pasta (Mariotti et al., 2011, p. 322). En las pruebas preliminares se utilizó un tamiz No.40 de acuerdo a la norma ASTM que posee una abertura de 0,425 mm.

8) Mezcla y amasado:

En el trabajo experimental realizado, el amasado se lo realizó en la tolva de alimentación del extrusor, en donde se agregó el agua en cantidades pequeñas para conseguir una aglomeración más homogénea de las partículas en la pasta. Se evidenció que la humedad de la masa posee gran influencia sobre la calidad de la pasta. Por lo que se determinó que es necesaria una humedad de 37% y un tiempo de amasado de 15 minutos.

En la planta la mezcla se realiza en un equipo individual, se ocupa mezcladora vertical con tornillo sin fin para homogenizar las partículas de la albúmina con la harina.

9) Extrusión:

La extrusión de la pasta se realiza en frío. Un tornillo sin fin obliga a la masa a pasar a través de la matriz o boquilla, a la salida es cortada por una cuchilla rotatoria que da lugar a la pasta corta. Durante la extrusión la masa adquiere un comportamiento plástico, lo que permite deformarse sin volver a su forma inicial (Lorenzini, 2013).

En las pruebas realizadas fue necesario que la humedad de la mezcla para fideo sea de 36,88%, esta humedad permite la extrusión que la masa.

10) Secado:

El proceso de secado en la elaboración de fideos es crítico, debido a que esta etapa define la reología del producto final (Hager, 2013).

A partir de la curva de secado presente en la Figura 3.1 se obtuvo los criterios de diseño necesarios para esta operación, que se presentan en la Tabla 3.1. Estos datos son resultado del ensayo experimental realizado donde se elaboró el fideo de quinua y se secó durante 4 horas a 70°C.

Las condiciones de operación para la muestra fueron: el peso inicial de la muestra fue de 11,5 g; humedad relativa de 12% a 70°C; velocidad del aire 3,6m/s y área de bandeja 0,32 m².

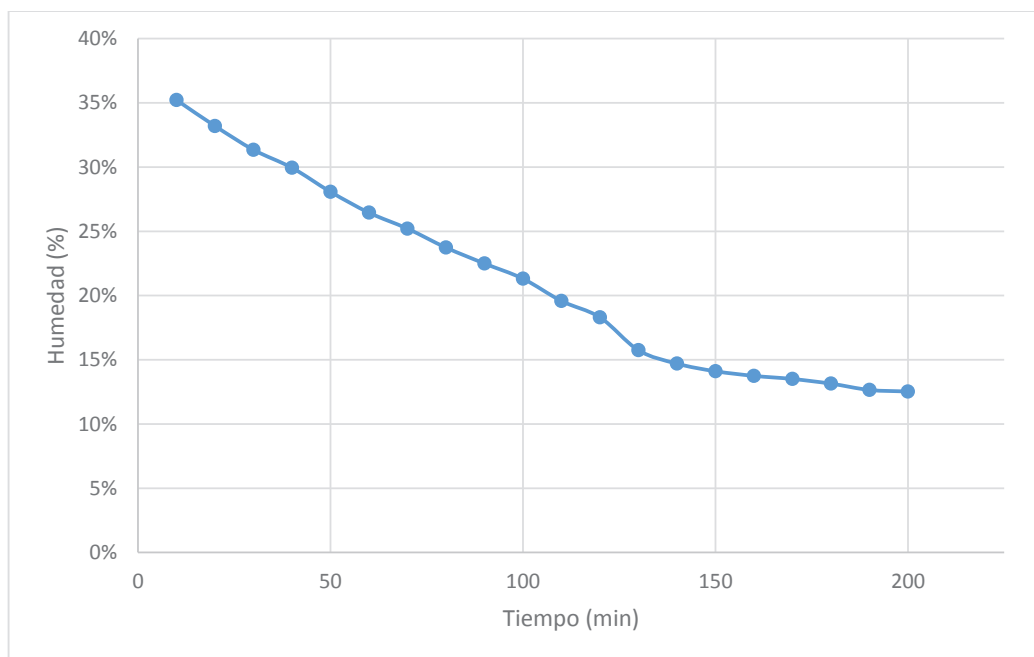


Figura 3.1. Humedad (%) vs tiempo (min)

A continuación en la Figura 3.2 se grafica la velocidad de secado vs humedad a partir de los datos experimentales. Debido a la desviación de los datos se ha construido una curva de tendencia (línea punteada) que permite obtener la humedad crítica del fideo de quinua.

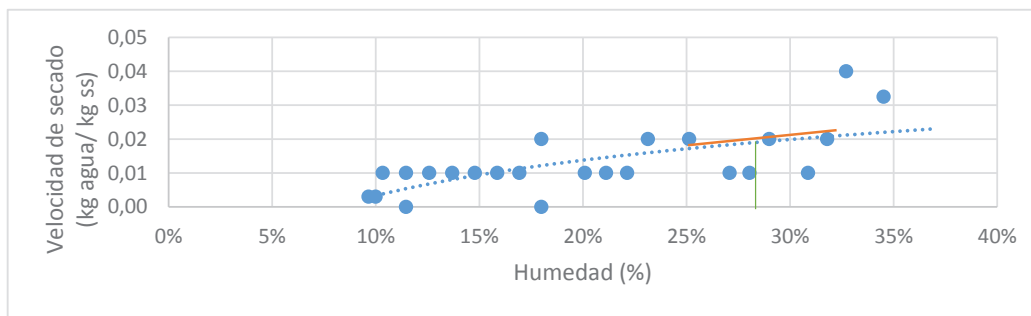


Figura 3.2. Velocidad de secado (kgagua/kgss) vs humedad (%)

Tabla 3.1. Propiedades del fideo de quinua durante el secado

Datos	Símbolo	Valor	Unidades
Humedad crítica del fideo quinua	Hc	28	%
Humedad inicial del fideo quinua	Hi	37	%
Humedad final del fideo de quinua	Hf	12	%

El secado de los fideos se realizará en un secador de bandejas a presión atmosférica, su modalidad de operación será manual. El producto se secará en lotes de 500 kg. Para el secado se utiliza aire calentado por resistencias eléctricas y es soplado entre las bandejas mediante ventiladores (Nonhebel & Moss, 1979, pp. 78-79). Por lo que más adelante se calculará la cantidad de energía necesaria para el calentamiento de la pasta y la energía perdida por las paredes del equipo.

11) Reposo:

El objetivo de esta etapa es disminuir la temperatura de la pasta después que el producto sale del secado, para evitar la condensación de agua dentro del empaque. Los bastidores ocupados de pasta después de ser retirados del secador son expuestos a temperatura ambiente, aproximadamente 21°C. En las pruebas realizadas se alcanza una temperatura que permite empacar los fideos después transcurrir 30 min. El reposo puede conducir a la retrogradación del almidón que a su vez se traduce en la rigidez y disminución en la pérdida de sólidos durante la cocción (Lauck, Zannini, y Arendt, 2012, p. 4). Además se ha demostrado que a menor retrogradación del almidón existe una menor vida útil del producto (Tan, Li, & Tan, 2009, p. 561).

12) Empacado y Embalado:

Para su comercialización la pasta será empacada en bolsas de polietileno de baja densidad. Para disminuir los deterioros mecánicos del producto y disminuir los impactos que pueda sufrir el producto, las bolsas serán colocadas dentro de cajas elaboradas de cartón para su posterior transporte. El empacado se realiza con una máquina empacadora que incorpora balanza. En el embalaje del producto se almacena 45 fundas de fideo por caja de cartón, a su vez son transportadas hasta el almacenamiento por carritos transportadores de carga. Se considera que se llenan 45 fundas por caja en 4 minutos y toma 10 minutos adicionales en llevar 27 cajas a la bodega en cada carrito.

4 DISEÑO DE LA PLANTA O EQUIPO

4.1 DIAGRAMA DE BLOQUES (BPD) Y DIAGRAMA DE FLUJO (PFD)

En la Figura 4.1, se muestra el diagrama de bloques (BPD) de la elaboración de fideo de quinua, a partir de 2 500 kg de grano de quinua al día. La formulación utilizada es la que se encuentra en la Tabla 2.1, la cual fue modificada de Schonlechner, Drausinger, Ottenschlaeger, & Jurackova (2010) para alcanzar una humedad de la masa del 37%. Al final del proceso se obtienen 9 634 unidades de fideo empacados con un contenido de 250 g. Para interpretar el diagrama de flujo (PFD), la Tabla 4.1 presenta el código de identificación asignado para cada equipo.

Tabla 4.1. Códificación de equipos en planta

Código	Nombre
TG100-01	Tolva con tornillo 250
SI101-01	silo mz
TV102-01	Tolva con tornillo 80
CL103-01	Clasificadora
EC104-01	Elevador de cangilones
FG105-01	Escarificador
EC104-02	Elevador de cangilones
TK106-01	Lavadora de granos
TK106-02	Lavadora de granos
TG107-02	Tolva con tornillo 250
TG107-03	Tolva con tornillo 250
FF108-01	Centrifugadora de granos
FF108-02	Centrifugadora de granos
EB109-01	elevador de banda pequeño
DE200-01	Acondicionador
TG201-04	Tolva con tornillo 250
SI202-02	silo mz
TV203-02	Tolva con tornillo 80
SR204-01	Molino de martillos
TV203-03	Tolva con tornillo 80
MZ205-01	mezcladora
TV203-04	Tolva con tornillo 80

EX206-01	Extrusor
EB207-02	elevador de banda pequeño
DE208-01	secador
DE209-02	secador
TG209-05	Tolva con tornillo 250
EM210-01	Empacadora
B-03	Bomba de agua

La simbología para los equipos utilizada en el diagrama PFD se encuentra descrita en el Anexo III.

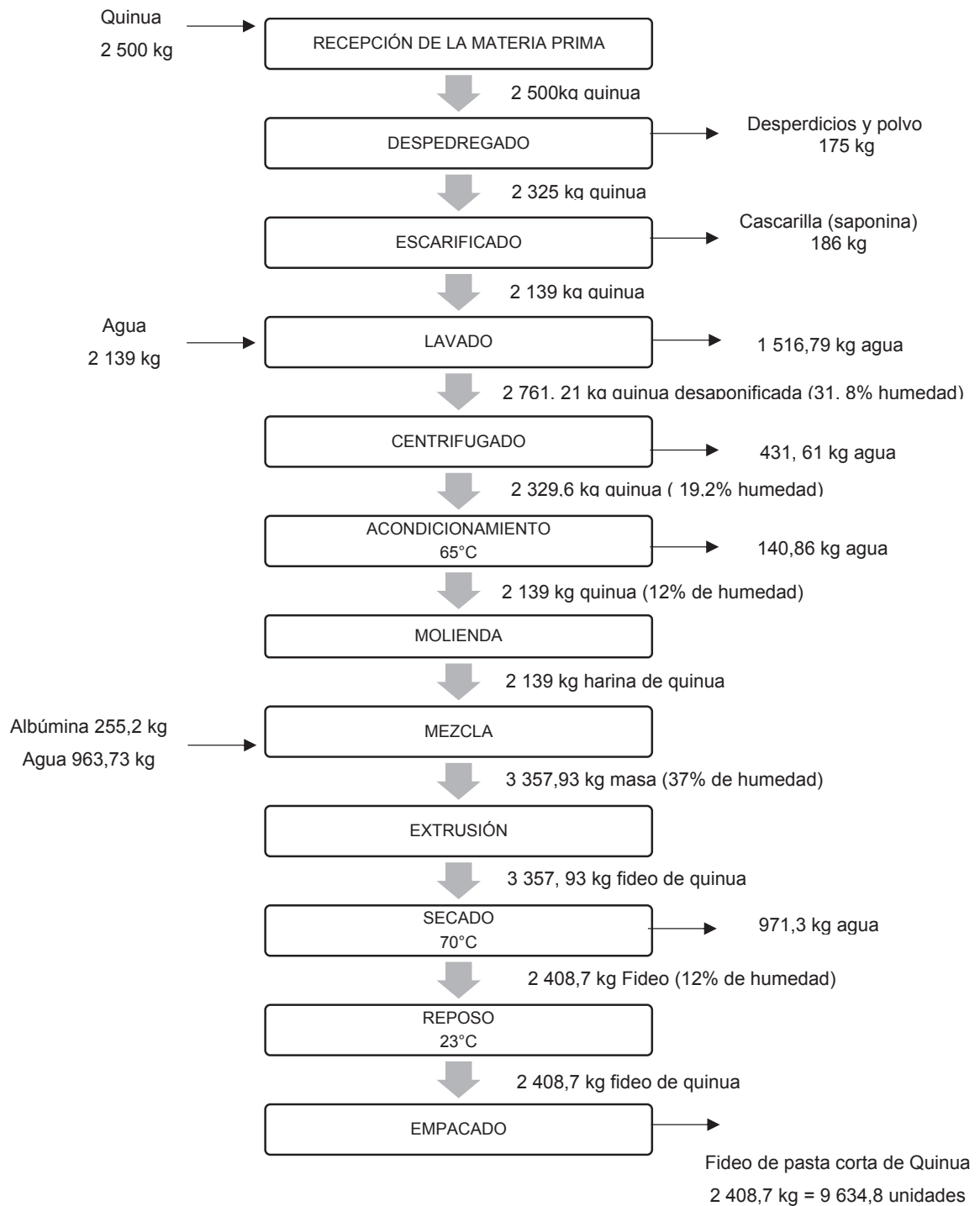
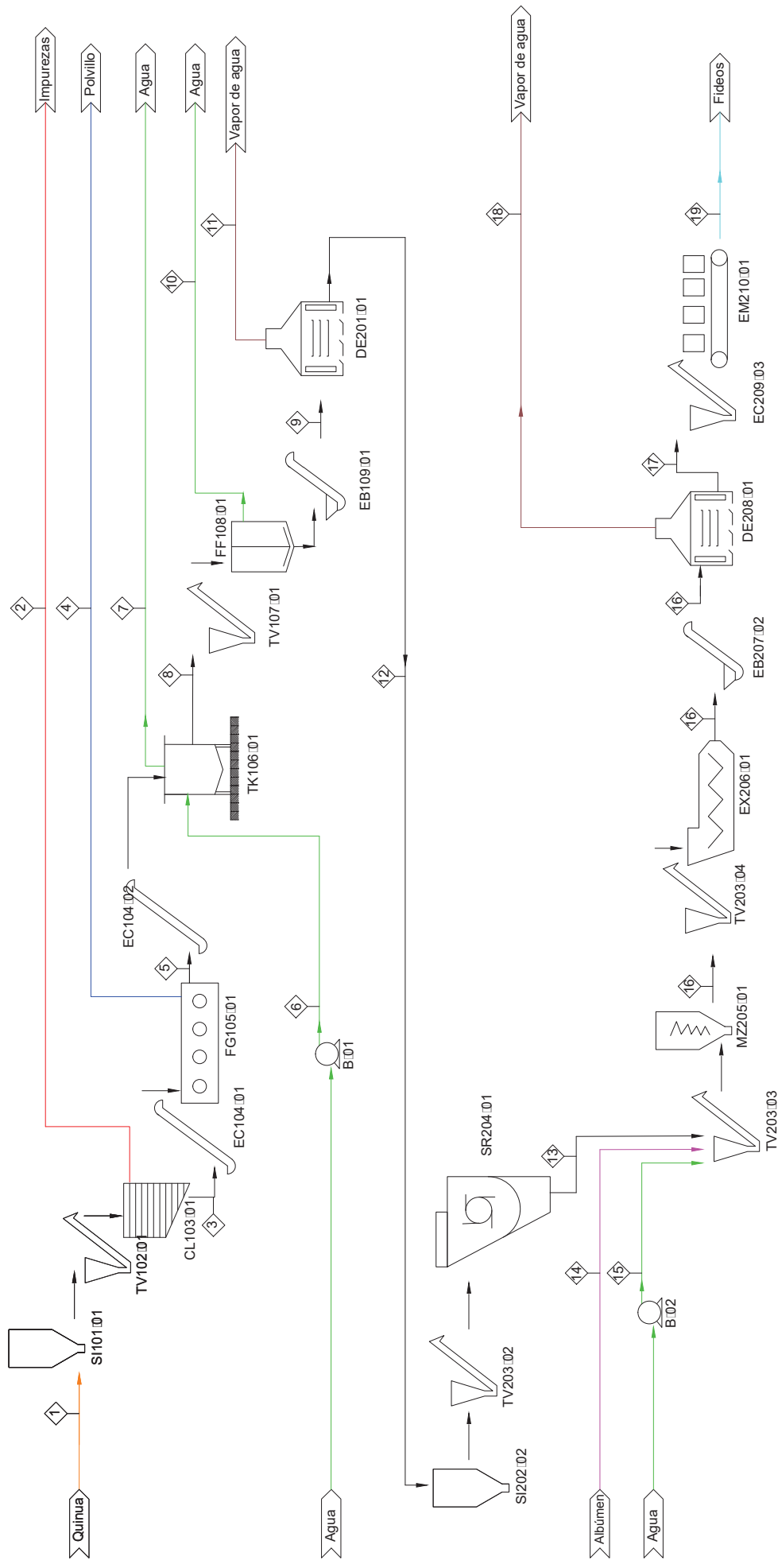


Figura 4.1. BPD, producción de fideo de pasta corta de quinua libre de gluten



COMPONENTE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
QUINOA		2500	2325	2139	2139	2139	2761	2329				2139	2139							
ALBÚMEN														255.2						
AGUA						2139	1516			431.6	190.7			963.7					949.2	
MEZCLA PARA PASTA																				
FIDEO																		2408		
IMPUREZAS																				
SAPONINA																				186
ENERGÍA REQUERIDA												39.3								29,66

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
 FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y AGROINDUSTRIA
 TÍTULO: DIAGRAMA DE FLUJO (PFD) DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DEL FIDEO CORTO DE QUINOA
 ELABORADO POR: PAOLA MOROCHO ALBUJA
 CARRERA: INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
 FECHA: 18/03/2017

4.2 BALANCE DE MASA

En la Tabla 4.2 se resume el balance en la línea de producción. En el Anexo I se encuentran los detalles de los balances de masa.

Tabla 4.2. Resumen del balance de masa en la línea de producción de la pasta corta de quinua libre de gluten

Número de corriente	Unidad	1	2	3	4	5	6	7
Flujo másico	(kg/ día)	2 500	175	2 325	186	2 139	2 139	1 516,8
Granos quinua	(kg/ día)	2 500	-	2 325	-	2 139	-	-
Agua	(kg/ día)	-	-	-	-	-	2 139	1 516,8
Harina de quinua	(kg/ día)	-	-	-	-	-	-	-
Albumen	(kg/ día)	-	-	-	-	-	-	-
Masa	(kg/ día)	-	-	-	-	-	-	-
Fideo	(kg/ día)	-	-	-	-	-	-	-
Impurezas	(kg/ día)	-	175	-	-	-	-	-
Saponina	(kg/ día)	-	-	-	186	-	-	-
Cajas de fideo	(unidades/ día)	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 4.2. (continuación) Resumen del balance de masa en la línea de producción de la pasta corta de quinua libre de gluten

Número de corriente	Unidad	8	9	10	11	12	13
Flujo másico	(kg/ día)	2 761,2	2 329,6	431,6	190,6	2 139	2 139
Granos quinua	(kg/ día)	2 761,2	2 329,6	-	-	2 139	-
Agua	(kg/ día)	-	-	431,6	190,6	-	-
Harina de quinua	(kg/ día)	-	-	-	-	-	2 139
Albumen	(kg/ día)	-	-	-	-	-	-
Masa	(kg/ día)	-	-	-	-	-	-
Fideo	(kg/ día)	-	-	-	-	-	-

Impurezas	(kg/ día)	-	-	-	-	-	-
Saponina	(kg/ día)	-	-	-	-	-	-
Cajas de fideo	(unidades/ día)	-	-	-	-	-	-

Tabla 4.2. (continuación) Resumen del balance de masa en la línea de producción de la pasta corta de quinua libre de gluten

Número de corriente	Unidad	14	15	16	17	18	19
Flujo másico	(kg/ día)	255,2	963,73	3 357,92	2 408,07	949,23	9 634
Granos quinua	(kg/ día)	-	-	-	-	-	-
Agua	(kg/ día)	-	963,73	-	-	949,23	-
Harina de quinua	(kg/día)	-	-	-	-	-	-
Albumen	(kg/ día)	255,2	-	-	-	-	-
Masa	(kg/ día)	-	-	3 357,92	-	-	-
Fideo	(kg/ día)	-	-	-	2 408,7	-	-
Impurezas	(kg/ día)	-	-	-	-	-	-
Saponina	(kg/ día)	-	-	-	-	-	-
Cajas de fideo	(unidades/ día)	-	-	-	-	-	9 634

Se elaboran 2 408,7 kg de fideo a partir de 2 500 kg de quinua, por lo tanto el rendimiento de la elaboración de pasta es de 96,34%.

El balance de masa indica que se consumen 3 102,73 L de agua al día, que representa un gasto de 62,05 m³ de agua en un mes con 20 días laborables.

4.3 PLANIFICACIÓN DE LA PRODUCCIÓN

La planificación diaria de la producción se ha previsto dividirla en 3 etapas:

- En la primera etapa, el grano ingresa a los procesos: despedregado, escarificado, lavado, centrifugado y acondicionado, después de este proceso la mitad del lote de grano ingresa a la molienda mientras que el resto de grano seco será procesado en la siguiente etapa. Esta etapa se distingue en el diagrama con el color rosado.
- La segunda etapa inicia con la molienda de la segunda parte del grano, mientras este proceso se lleva a cabo, el grano molido del día anterior ingresa a la mezcladora y luego al extrusor. Al finalizar la extrusión de igual manera ingresa la parte del lote restante a la mezcladora y extrusión. Esta etapa se distingue en el diagrama de Gantt con el color azul.
- El tercer período inicia con el secado del fideo, el tiempo de cada batch es de 4 horas por lo que este proceso abarca todo el periodo y finaliza con el reposo del fideo, el empaclado y almacenamiento del producto. Esta etapa se distingue en el diagrama con el color amarillo.

A continuación la Tabla 4.4 muestra el diagrama de Gant, los colores más oscuros representan el tiempo de carga de los equipos. La producción se ha considerado en el horario de lunes a viernes. La planificación se plantea realizar dos turnos, el primer turno será de 6:00 a 15:00 horas y el segundo de 15:00 a 24:00.

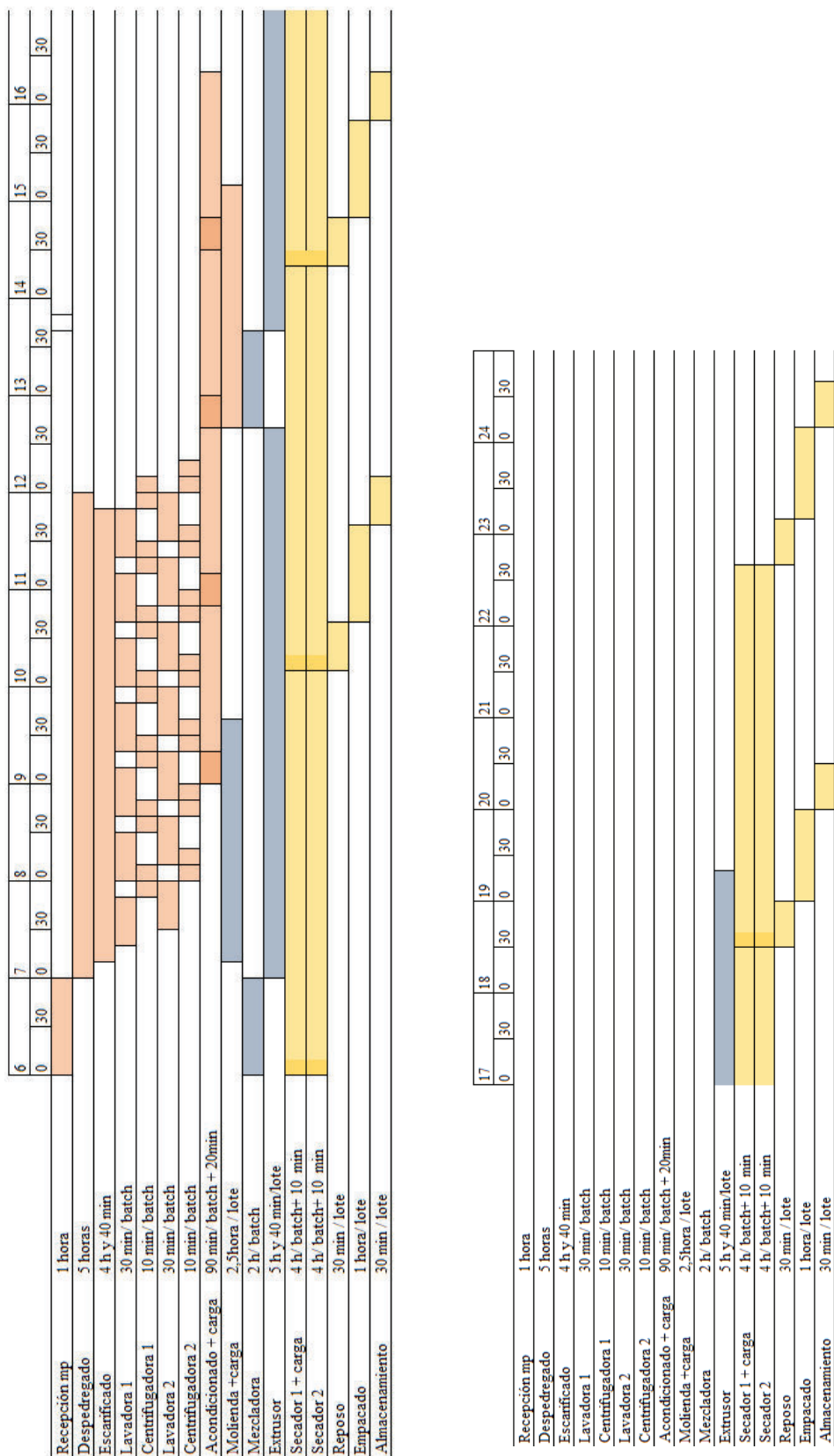


Tabla 4.4. Diagrama de Gantt de la producción diaria de fideo de quinua.

El proceso inicia con la recepción de la materia prima, a continuación el despedregado y el escarificado son procesos continuos que al ser conectados mediante elevador de cangilones permite que el proceso no se interrumpa hasta antes de llegar al lavado. Para el lavado de grano es necesario el uso de 2 lavadoras que trabajan en modo batch, la descripción de la maquinaria indica que la capacidad de producción es de 160kg/ batch y a su vez, cada batch dura 8 min. Sin embargo, hay que considerar el tiempo de enjuague del tanque para eliminar el grano adherido a las paredes. Además, es necesario considerar un tiempo de llenado de la lavadora, por cada batch dentro de la lavadora se ha estimado un tiempo total de 30 minutos. Ambas lavadoras serán llenadas de forma alterna para disminuir los tiempos muertos en cada equipo de lavado.

Después del lavado el grano pasa a un proceso de centrifugado, para este proceso existen 2 centrifugadoras que son llenadas mediante tolvas que reciben el material proveniente de las lavadoras. Las centrifugadoras poseen una capacidad de procesamiento de 120kg/ batch, de acuerdo a la descripción del equipo cada batch dura 6 minutos. A este tiempo es necesario adicionar el periodo de carga y descarga del grano por lo que en total se estima un tiempo total de 10 minutos por cada batch. A continuación, el grano es colocado en bandejas y posteriormente éstas son llevadas al acondicionador donde el grano permanece por una hora y media. El tiempo de carga y descarga de bandejas se estima en 20 minutos. Por lo que cada batch dentro del secador tiene un tiempo total de una hora y 50 minutos. A continuación, los dos primeros batch acondicionados se colocan manualmente en una tolva donde ingresan al molino, que son 1 095 kg. Así mismo a la salida del molino, el material pasa a una tolva que alimenta a la mezcladora donde ingresan 130,57 kg de albúmina.

Como se mencionó, únicamente se procesa la mitad del grano seco. El grano molido cae a una tolva que lo transporta hacia el extrusor donde además ingresa 493,7 kg de agua. Se estima que la mezcla y el llenado se realiza en dos horas. Una tolva recibe el material mezclado y lo transporta hacia el extrusor. El proceso de extrusión dura 5,5 horas. A la salida del extrusor se encuentra una banda transportadora que permite transportar el producto extruído hacia las bandejas para

llenarlas con dicho producto. Un trabajador se dispone en este momento para distribuir de forma homogénea el producto sobre las bandejas. Al finalizar la extrusión se procede a realizar la molienda de la otra mitad de grano y su extrusión.

El secado es la tercera etapa en la que se divide el proceso, por su duración es necesario comenzar con el material extruido el día anterior. El secado de los fideos es un proceso batch que permite procesar 500 kg de fideo por batch. Cada batch dura 4 horas, y se toma un tiempo adicional de 15 minutos para carga y descarga de los carritos transportadores de bandejas. Después del reposo es necesario sacar los carritos y colocarlos fuera del secador a temperatura ambiente donde se enfrían para posteriormente empacarlos. Para empacar y almacenar un lote, el tiempo el empaque es aproximadamente 1 hora y el tiempo de almacenamiento es media hora.

4.4 BALANCE DE ENERGÍA

Las operaciones unitarias críticas desde el punto de vista energético para el proceso de elaboración del fideo de quinua son: el acondicionamiento del grano de quinua y el secado del fideo. En la Tabla 4.3 se muestra el total de la energía requerida para el secado dentro de la planta industrial. Los cálculos correspondientes al balance de energía para el secado del grano y del fideo de quinua se encuentran detallados en el Anexo II.

Tabla 4.3. Resumen del balance de energía de los secadores

Proceso	Energía requerida	Potencia	
	(kJ)	(kW)	(HP)
Acondicionamiento (para 600 kg)	327 026,5	69,4	93,1
Secado del fideo (para 500 kg)	915 316,9	64,6	86,6
Total	1 242 343,5	134,0	179,6

La energía requerida para el secado es de 1 242 343,5 kJ. En este proceso se utilizan 134 kW, lo que corresponde a 179,6 HP . En la Tabla 4.4 se detalla el balance de energía total en el área de producción.

Tabla 4.4. Balance de energía en el área de producción

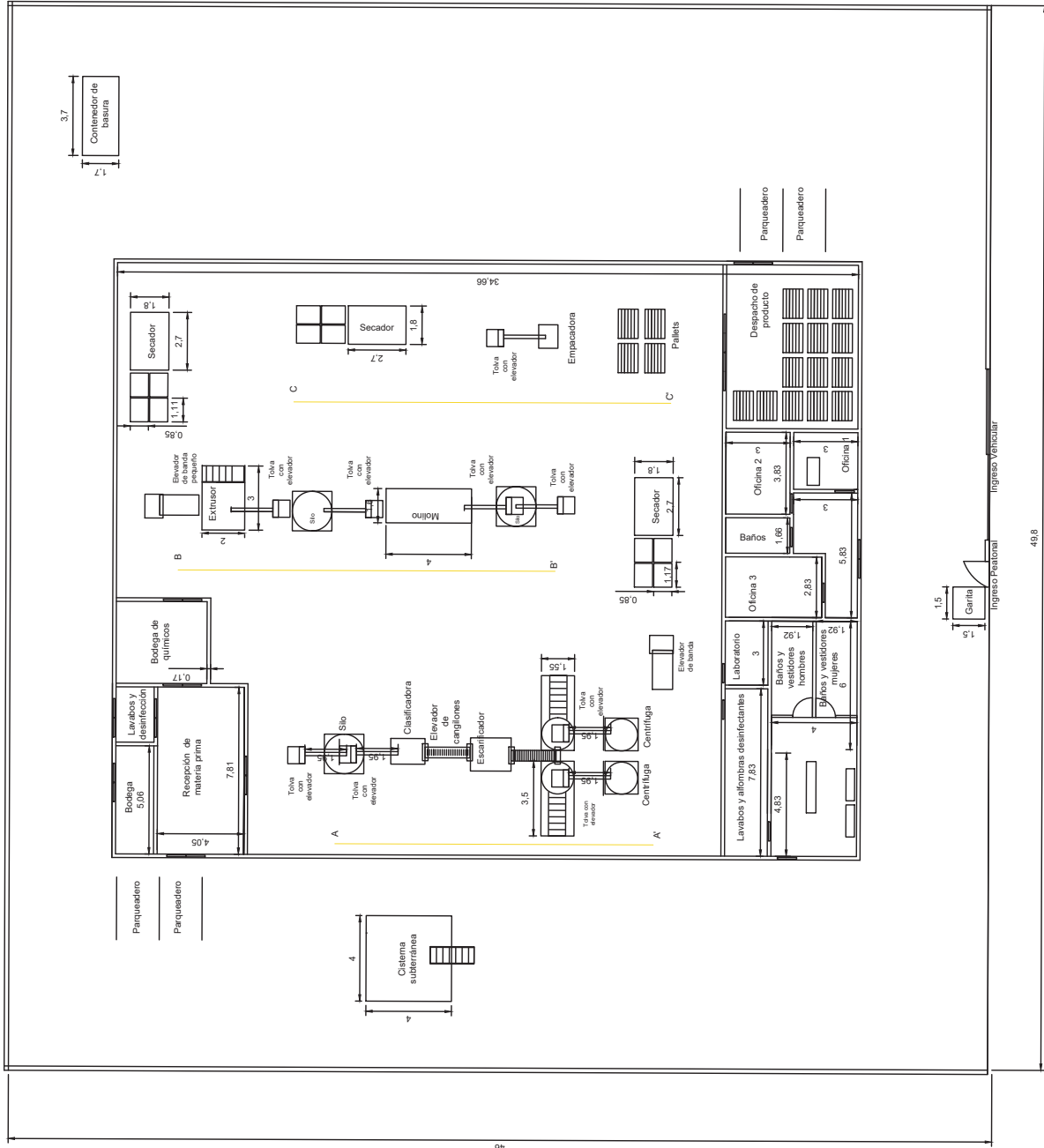
Código	Nombre	Potencia (HP)	Potencia accesorios (HP)		Potencia Total (kW)	Tiempo trabajo (h)	Potencia diaria (kWh)
TG100-01	Tolva con tornillo 250	2,0	-	-	1,5	0,8	1,1
SI101-01	Silo	0,0	-	-	0,0	0,0	0,0
TV102-01	Tolva con tornillo 80	2,0	-	-	1,5	5,0	7,5
CL103-01	Clasificadora	2,0	1,0	Ventilador	2,2	4,7	10,5
EC104-01	Elevador de cangilones	1,0	-	-	0,7	4,7	3,5
FG105-01	Escarificador	12,5	1,0	Sistema neumático	10,1	4,7	46,8
EC104-02	Elevador de cangilones	1,0	-	-	0,7	4,7	3,5
TK106-01	Lavadora de granos	7,5	1,0	Bomba(B-01)	6,3	0,9	5,9
TK106-02	Lavadora de granos	7,5	1,0	Bomba(B-02)	6,3	0,9	5,9
TG107-02	Tolva con tornillo 250	2,0	-	-	1,5	1,2	1,7
TG107-03	Tolva con tornillo 250	2,0	-	-	1,5	1,2	1,7
FF108-01	Centrifugadora de granos	10,0	-	-	7,5	1,4	10,4
FF108-02	Centrifugadora de granos	10,0	-	-	7,5	1,4	10,4
EB109-01	Elevador de banda pequeño	1,3	-	-	1,0	4,5	4,5
DE200-01	Acondicionador	93,1	2,2	Ventilador	71,1	6,0	426,5
TG201-04	Tolva con tornillo 250	2,0	-	-	1,5	0,8	1,1
SI202-02	Silo	0,0	-	-	0,0	0,0	0,0
TV203-02	Tolva con tornillo 80	1,0	-	-	0,7	4,8	3,5
SR204-01	Molino de martillos	40,0	-	-	29,8	4,8	141,7
TV203-03	Tolva con tornillo 80	1,0	-	-	0,7	5,0	3,7
MZ205-01	Mezcladora	7,4	-	-	5,5	1,0	5,5
TV203-04	Tolva con tornillo 80	1,0	-	-	0,7	11,2	8,4
EX206-01	Extrusor	26,8	-	-	20,0	11,2	224,0
EB207-02	Elevador de banda pequeño	1,3	-	-	1,0	11,2	11,2
DE208-01	Secador	86,6	2,2	Ventilador	66,2	16,0	1059,6
DE209-02	Secador	86,6	2,2	Ventilador	66,2	16,0	1059,6
TG209-05	Tolva con tornillo 250	2,0	-	-	1,5	3,5	5,2
EM210-01	Empacadora	5,4	1,0	Compresor	4,7	3,5	16,6
B-03	Bomba de agua	1,0	-	-	0,7	11,3	4,2
						TOTAL	3 084,5 kWh

La Tabla 4.4 muestra que la potencia total requerida en la planta por día es de 3 084,5 kWh, lo que corresponde a 61 690 kWh al mes.

4.5 DISPOSICIÓN EN PLANTA Y PLANOS DE ELEVACIÓN

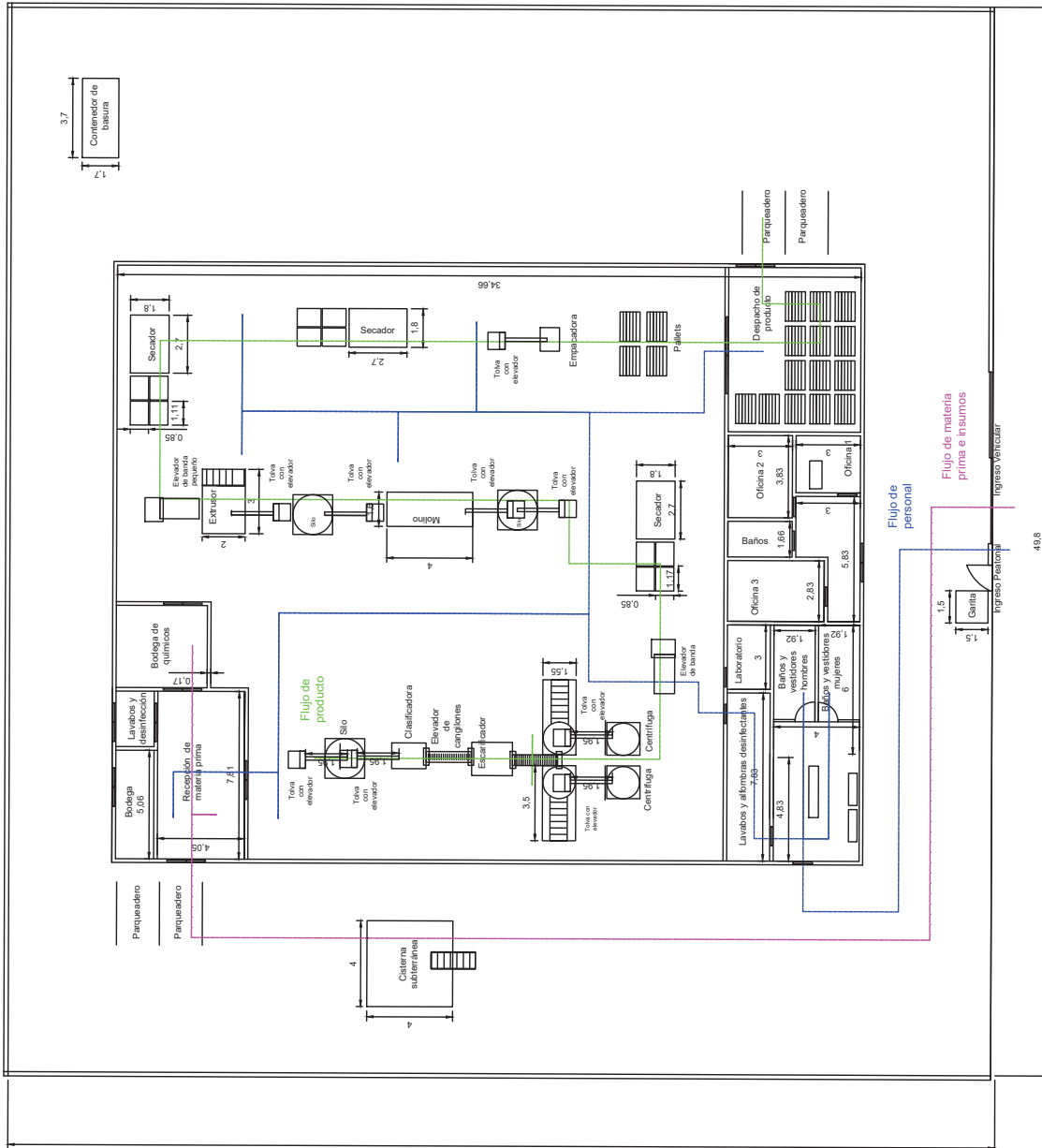
La planta cuenta con un ingreso peatonal y un ingreso vehicular que permite la entrada de los camiones para descarga de materia prima (estacionamiento izquierda) y distribución del producto (estacionamiento derecha). Fuera de la planta se dispone de una cisterna que se encuentra enterrada y es utilizada para abastecimiento de agua. En la sección delantera de la planta se tiene el ingreso a las oficinas administrativas. Los trabajadores de la planta poseen una entrada exclusiva con acceso a baños y vestidores. Previo al ingreso a la zona de producción se cuenta con áreas de limpieza y sanitización.

En el área de producción, los equipos se encuentran distribuidos en configuración "S". Además, se encuentran otras áreas: laboratorio, bodega de insumos y productos químicos, bodega de limpieza, y un área para el lavado de utensilios. A continuación, se presenta el layout donde se puede observar el flujo de producto, flujo de materia prima e insumos y flujo de personal. Los planos de elevación graficados corresponden a las vistas de las secciones A-A', B-B' y C-C' que se aprecian en el layout de la planta.



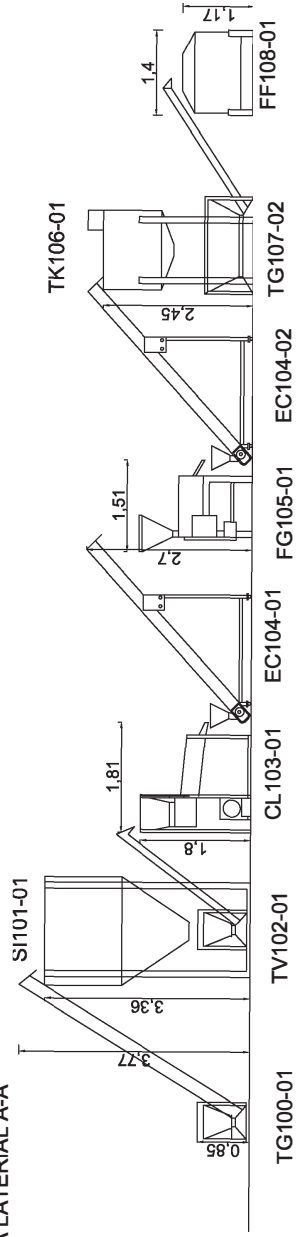
Secciones utilizadas para realizar planes de elevación

ESUELA POLITÉCNICA NACIONAL
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y AGROINDUSTRIA
TÍTULO: LAYOUT DE LA PLANTA ELABORADORA DE FIBRO CORTO DE QUINUA
ELABORADO POR: PAOLA KATHERINE MOROCHO ALBUJA
CARRERA: INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
FECHA: 16/07/2017

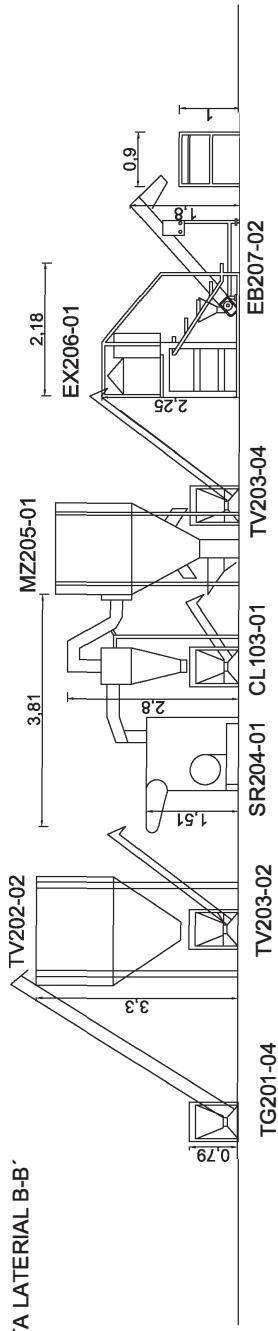


ESUELA POLITÉCNICA NACIONAL
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y AGRINDUSTRIA
TÍTULO: LAYOUT CON FLUJO DE MATERIALES EN LA PLANTA ELABORADORA DE FIDEO CORTO DE QUINUA
ELABORADO POR: PAOLA KATHERINE MOROCHO ALBUJA
CARRERA: INGENIERÍA AGRINDUSTRIAL
FECHA: 15/01/2017

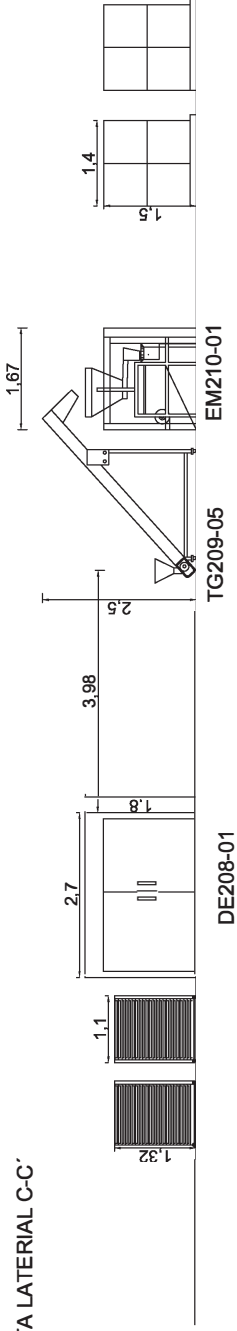
VISTA LATERAL A-A'



VISTA LATERAL B-B'



VISTA LATERAL C-C'



ESQUEJA POLITÉCNICA NACIONAL
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y AGROINDUSTRIA
TÍTULO: VISTA LATERAL DE LA PLANTA ELABORADORA DE FIDEO CORTO DE QUINOA
ELABORADO POR: PAOLA KATHERINE MOROCHO ALBUJA
CARRERA: INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
FECHA: 18/03/2017

4.6 DIAGRAMA DE TUBERÍAS E INSTRUMENTACIÓN (P&ID) Y CONTROL

La Tabla 4.5 muestra las especificaciones de las tuberías en la planta de producción del fideo de quinua. Los símbolos estándar empleados para el control automático y para la identificación de tuberías se realiza con el Manual de Ingeniería de Diseño de PDVSA (PDVSA, 1994).

Tabla 4.5. Nomenclatura de las tuberías de la línea de producción

No. corriente	Identificación	Diámetro nominal (pulg)	Flujo	Material
6	3"-T-S1-AP-101	3	Agua potable	Acero inoxidable
7	2"-T-S1-AC-102	2	Agua + saponina	Acero inoxidable
10	2"-T-S1-AC-103	2	Agua + saponina	Acero inoxidable
15	3"-T-S1-AP-104	3	Agua potable	Acero inoxidable

En la línea 3"-T-S1-AP-101 se dispone de una bomba que transporta el agua desde la cisterna hacia la lavadora de granos, cuyas características se describen en la Tabla 4.6. La tubería 3"-T-S1-AP-104 dispone de una bomba que transporta el agua potable que ingresa al extrusor. En ambas tuberías se calcula que son necesarios 4 codos de 90° y una válvula de compuerta. El valor de la pérdida total de carga también se muestra en la Tabla 4.6. El proceso de cálculo de la pérdida por fricción y la pérdida por accesorios se encuentra descrito en el Anexo IV.

Tabla 4.6. Pérdida de total de carga en accesorios

No. corriente	Identificación	Accesorio	Cantidad	Pérdida total de carga
6	3"-T-S1-AP-101	Válvula check	1	0,38 m
		Codo de 90°	4	
15	3"-T-S1-AP-104	Válvula check	1	0,38 m
		Codo de 90°	4	

La Tabla 4.7 indica las características de las bombas presentes en el diagrama P&ID.

Tabla 4.7. Características de la bomba

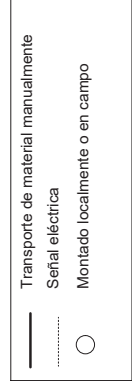
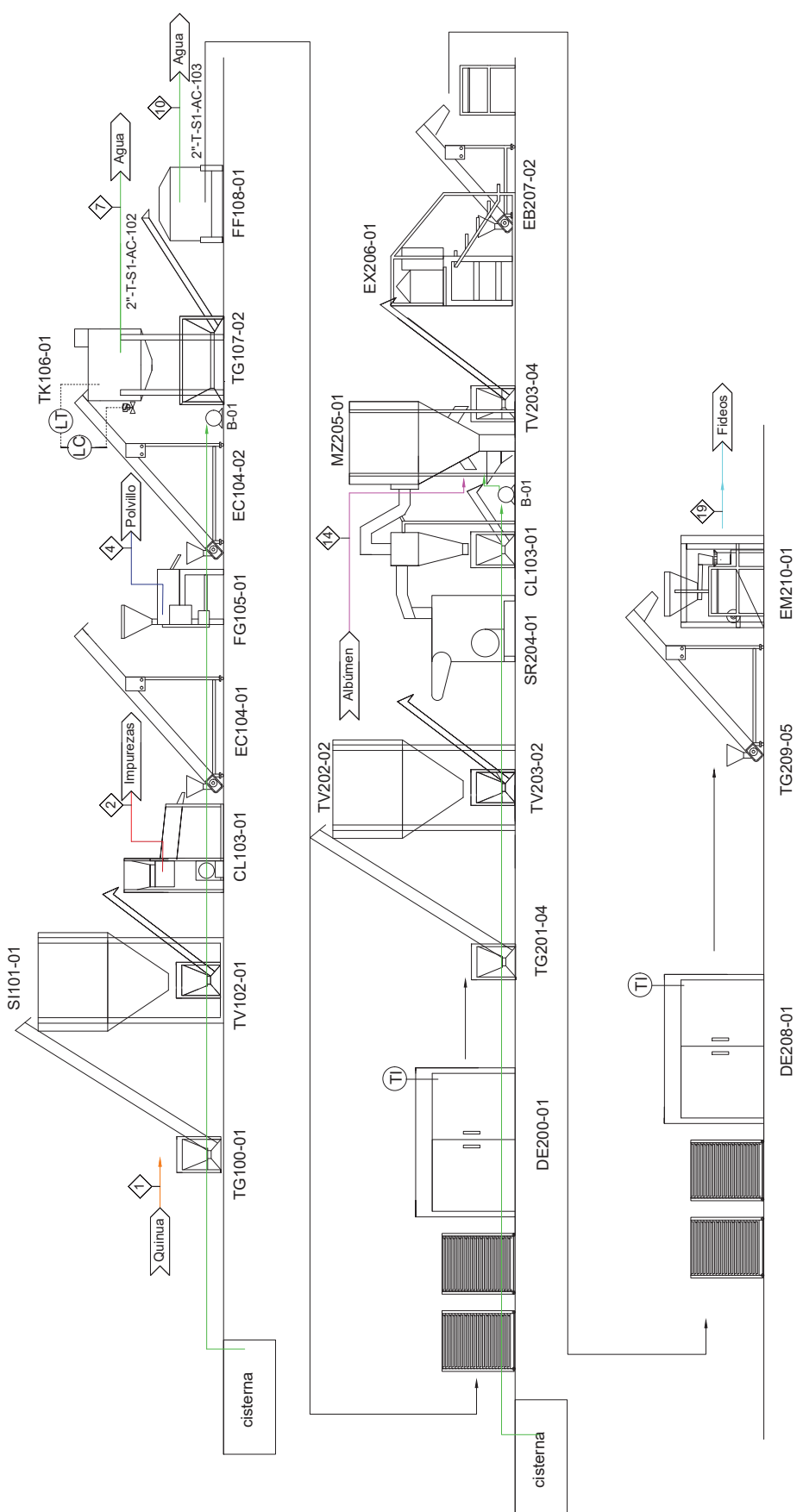
No. Corriente	Potencia (HP)	Tipo
6	1	Centrífuga
15	1	Centrífuga

La Tabla 4.8 contiene la nomenclatura de los instrumentos de control presentes en el P&ID de la planta de producción de fideo de quinua.

Los indicadores de temperatura se encuentran en los secadores mientras que el control de nivel en la lavadora de granos se ejecuta mediante un sensor de nivel de modalidad SI-NO en la parte superior del tanque para evitar el desbordamiento de agua. Un transmisor denominado LIT envía una señal eléctrica hacia el controlador LC que a su vez envía una señal hacia la válvula de control solenoide.

Tabla 4.8. Simbología de los instrumentos de control

Símbolo	Instrumento
LC	Controlador de nivel
LT	Transmisor de nivel
TI	Indicador de temperatura



ESCUOLA POLITÉCNICA NACIONAL
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y AGROINDUSTRIA
TÍTULO/DIAGRAMA DE TUBERÍAS E INSTRUMENTACIÓN(P&ID)
Y CONTROL DE LA PLANTA DE FIDEOS DE QUINOA
ELABORADO POR: PAOLA MOROCHO ALBUJA
CARRERA: INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
FECHA: 01/05/2017

4.7 DIMENSIONAMIENTO Y ESPECIFICACIONES DE LOS EQUIPOS

En este trabajo se propone el diseño de secadores de bandejas para el acondicionamiento del grano y para el secado de la pasta. El resto de equipos: clasificadora, elevadores, transportadores, escarificador, lavadora, molino, mezcladora, centrifugadora, extrusor, empacadora y silos fueron seleccionados mediante catálogo.

4.7.1 DIMENSIONAMIENTO DE LOS SECADORES

De acuerdo al balance de masa, se propone utilizar secadores bandejas en modalidad batch. El secado del grano de quinua se realizará para cargas de 500 kg. Mientras que para el fideo de quinua se realizará por cargas de 600 kg. La Tabla 4.9 muestra las dimensiones propuestas para los secadores de grano y de fideo.

Tabla 4.9. Dimensiones de los secadores

Dimensiones	Valor	Unidades
Alto	1,8	m
Ancho	2,7	m
Profundidad	2	m
Largo de la bandeja	0,98	m
Ancho de la bandeja	0,85	m
Alto de la bandeja	3	cm
Contenido de quinua/bandeja	5	kg
Contenido de fideo/bandeja	6	kg
Número de bandejas	25	Bandeja/ bastidor
Número de bastidores	4	unidades
Área total del secador	27,72	m ²

Para el dimensionamiento de los secadores se utiliza una de las disposiciones más comunes que es un secador con dos puertas y cuatro bastidores. La dimensión de las bandejas se toma en base a uno de los diseños más frecuentes que son 0,8 x

0,4 cm y el secador cuenta con un área interna (que incluye el piso) de 30m^2 . Cada secador cuenta con una entrada en el lado superior izquierdo y una salida de aire en el lado inferior derecho. Además, cuenta con un ventilador que facilita la circulación del aire caliente sobre las bandejas. (Nonhebel & Moss, 1979, p. 83). La dimensión de los secadores es de $2,7\text{m} \times 1,8\text{m}$ y profundidad 2m

La Figura 4.2 y la Figura 4.3 muestran las dimensiones de los secadores, la disposición del ventilador y de los bastidores.

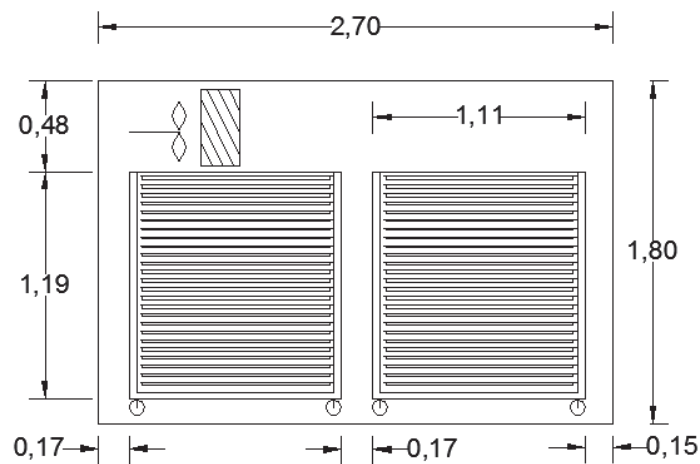


Figura 4.2 Vista frontal del secador propuesto.

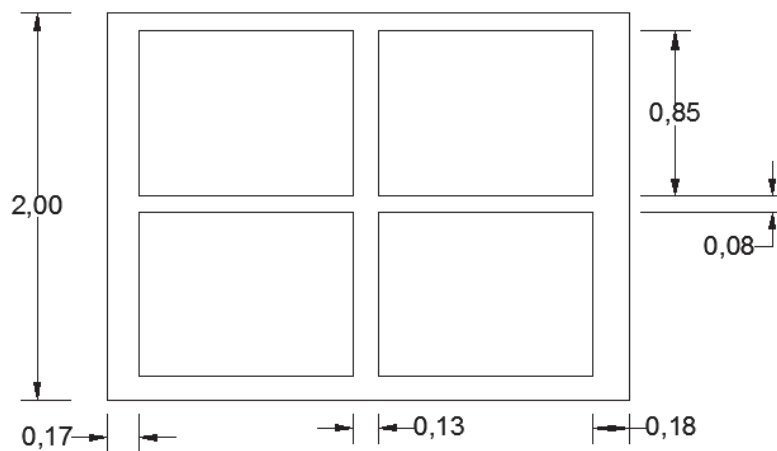


Figura 4.3 Vista superior del secador propuesto.

4.7.1.1 Caída de presión en el secador

Para elegir el ventilador correcto es necesario analizar las caídas de presión dentro de la cámara del secador. Para calcular la caída de presión dentro del secador, se ha decidido dividir el secador en 4 secciones: pasillo superior, pasillo derecho, pasillo izquierdo y flujo sobre las bandejas. La Tabla 4.10 presenta los resultados del cálculo de la caída de presión dentro del secador. En el Anexo IV se encuentra el detalle de los cálculos respectivos.

Tabla 4.10. Pérdidas de presión total dentro del sistema

Secciones del secador	Pérdidas de presión (Pa)
Sección superior	0,049
Sección lateral derecha	0,076
Sección lateral izquierda	0,256
Flujo sobre bandejas	89,232
Total	89,612

La pérdida total del secador es de 89,612 Pa.

4.7.1.2 Potencia del ventilador

Para encontrar el punto de operación del ventilador es necesario intersecar la curva característica del sistema con la curva del ventilador. Los principales parámetros útiles para la selección del ventilador son la pérdida de carga y el caudal de aire dentro del secador que son $P_1: 89,612 Pa$ y $\dot{V}_1: 23\ 328 \frac{m^3}{h}$, respectivamente, el cálculo de estos valores se aprecian en el Anexo V. Ambos valores permiten la obtención de la curva característica del sistema.

Se ha optado por la selección de un ventilador centrífugo ya que son los indicados para mover caudales pequeños, pero a elevada presión (Salvador Escoda S.A, 2010).

La curva del ventilador centrífugo es obtenida del catálogo Greenheck de la serie 21 & 41. En el Anexo V también se muestra el cálculo del punto de intersección. El resultado de las características encontradas son: caudal 32 000 m³/h en el eje de las abscisas y pérdida de carga de 300 Pa en el eje de las ordenadas.

4.7.1.3 Selección del motor eléctrico del ventilador

El motor eléctrico se calculará a partir de la potencia requerida por el ventilador. Se ha calculado la potencia requerida por el secador que es de 2,287 kW. Los cálculos respectivos se encuentran en el Anexo V. Se ha elegido utilizar resistencias eléctricas para el calentamiento del aire ubicadas a la salida del ventilador.

4.7.1.4 Pérdida de calor por paredes

El aislamiento térmico de la pared del secador permite proteger las superficies calientes de problemas técnicos (evita la condensación), problemas económicos (ahorro de energía) y además mantiene la temperatura dentro del proceso. La condensación se presenta cuando un vapor saturado, como el agua, entra en contacto con un sólido cuya temperatura superficial es inferior a la temperatura de saturación y como resultado se forma un líquido como el agua (Geankopolis, 1998, p. 296). Para evitar este fenómeno se procura utilizar como aislantes a materiales de baja conductividad térmica, la Tabla 4.11 muestra los materiales propuestos para la estructura de las paredes y techo.

Tabla 4.11. Estructura de las paredes del secador

Parámetro	Símbolo	Valor	unidades
<u>Material 1: tol</u>			
Espesor 1	e1	0,0011	m
conductividad térmica	k1	90	W/m°C
<u>Material 2: Fibra cerámica</u>			
Espesor 2	e2	0,1	m
conductividad térmica	k2	0,026	W/m°C
<u>Material 3: Acero</u>			
Espesor 3	e3	0,002	m
conductividad térmica	k3	15	W/m°C

En el Anexo VI se encuentran los cálculos de la pérdida de calor por las paredes y por el techo del secador. Por las paredes del secador se pierde 238,62 W y por el techo del secador 62,38 W. Ambos valores suman una pérdida total de 301 W.

El cálculo del tiempo total de secado del grano de quinua a 65°C dio como resultado aproximadamente 1 hora. La potencia necesaria para secar 600 kg de grano es de 39,33 kW con una resistencia necesaria de 1,23 ohm.

El cálculo del tiempo total de secado a 70°C para el fideo de quinua dio como resultado aproximadamente 4 horas. La potencia necesaria para secar 500 kg de fideo es de 26,66 kW y la resistencia necesaria es de 1,63 ohm. Los cálculos respectivos se encuentran en el Anexo VII.

4.7.2 ESPECIFICACIONES DE LOS EQUIPOS DE LA PLANTA.

Los equipos han sido seleccionados de acuerdo al balance de masa y a las especificaciones presentadas por el proveedor. La Tabla 4.12 muestra el resumen de las características de los equipos escogidos para la planta de producción, mientras que en el Anexo IX se presentan las hojas de especificación de cada uno.

Tabla 4.12. Listado de equipos de la planta

Código	Nombre	Número de unidades	Potencia (HP)	Ancho (m)	Largo (m)	Alto (m)
CL103	Clasificadora	1	2	1,2	1,6	1,8
EC104	Elevador de cangilones	2	1	0,5	2,5	2,5
FG105	Escarificador	1	12,5	1,55	1,9	1,85
TK106	Lavadora de granos	2	7,5	1	1,1	2,7
FF108	Centrifugadora de granos	2	10	1,61	1,32	1,2
SI202	Silo	2	0	1,85	1,85	3,3
SR204	Molino de martillos	1	40	1,6	4	2,8
MZ205	Mezcladora	1	7,38	1,85	1,85	3,3
EX206	Extrusor	1	26,82	2	3	2,2
TV203	Tolva con tornillo 80	4	1	0,65	0,65	0,8

TV209	Tolva con tornillo 250	3	2,01	0,8	0,8	1,6
EB207	Elevador de banda pequeño	1	1,34	0,7	1,85	1,5
EM210	Empacadora	1	5,36	1,51	1,32	1,5
DE200	Acondicionador	1	4,01	2,15	5,15	2,75
DE208	Secador	1	3,02	2,15	5,15	2,75

4.8 DISEÑO SANITARIO DE LA PLANTA

Para el diseño higiénico de la planta se tomarán como guía las normas de Buenas Prácticas de Manufactura (ARCSA, 2015), así:

Ventanas y puertas:

- Se colocarán mallas para evitar el ingreso de insectos
- Inclinación para evitar la acumulación de polvo.
- En áreas como el de producción del fideo donde el producto se encuentre expuesto no deberán existir aberturas en las puertas o ventanas.

Filtros sanitarios

- A la entrada de las salas de producción se encontrarán lavamanos y de forma visible estará el procedimiento de lavado.
- No se contará con pediluvios, para la desinfección del calzado se utilizarán alfombras de desinfección debido a que éste es un ingreso a zona seca.

Equipo de limpieza y desinfección:

- Los utensilios de limpieza deberán ser guardados limpios, secos y en orden dentro del espacio asignado dentro de la planta.

Dentro de la planta existe un área designada para que el personal pueda colocarse el uniforme y guardar su ropa.

Dentro de la planta los trabajadores deben contar con:

- Gorra/cofia
- Cubreboca
- Túnica de color blanco

- Guantes
- Botas

El personal de mantenimiento deberá utilizar overol azul.

Instalaciones eléctricas y redes de agua

- Los tomacorrientes deben estar colocados en la pared, no deben encontrarse cables sueltos.

Iluminación

- Los sistemas de luz se encontrarán suspendidas sobre la línea de producción.
- Los sistemas de iluminación deberán contar con protección, en caso de ruptura de los focos y otros sistemas de luz.

Calidad de aire y ventilación

- Los sistemas de ventilación y aire deben poseer filtros.
- Control de temperatura y humedad ambiental
- Es necesario contar con mecanismos para controlar temperatura y humedad del ambiente.

Instalaciones sanitarias

- Al ingreso y salida de las áreas de trabajo es necesario contar con los implementos de aseo.
- Se colocará los basureros fuera de la planta.
- Para el control de ratas y ratones es necesario colocar trampas en los exteriores de la planta.

Disposición de desechos sólidos y líquidos

- Es necesario la remoción frecuente de los desechos sólidos para evitar malos olores y la llegada de plagas.

Equipos y utensilios

- Las bandejas y utensilios que se encuentren en contacto con el alimento deben tener una profunda limpieza, para lo cual se asignó un área.

- Las tuberías y cisternas deben limpiarse y desinfectarse bajo un programa preventivo.

Monitoreo de equipos

- Se implementarán hojas técnicas y planes de mantenimiento de los equipos.

Materias primas e insumos

- En el proceso de inspección se rechazarán aquellos que no cumplan con las normas establecidas.
- Dentro de la bodega se encontrarán todos los productos ordenados y rotulados por tipo de insumo.
- Se contará con procedimientos y registros para las principales operaciones realizadas.

5 EVALUACIÓN FINANCIERA

A continuación se mencionan los criterios para la evaluación económica. La capacidad de la planta es de 2 500 kg de quinua por día, con lo que se obtiene 2 408,7 kg de fideo diario. Se considera 20 días de trabajo por mes con dos turnos de 8 horas laborables por día, que corresponde a 16 horas de operación. El número de trabajadores dentro de la planta es de 14 personas repartidos en dos turnos. El personal administrativo y de ventas cuenta con 8 personas. El precio del valor unitario del producto es de 2,66 USD/ 250g, con una ganancia del 15%.

5.1 INVERSIÓN

La Tabla 5.1 muestra la inversión total de la planta, que asciende a 1 604 688 USD. La inversión fija involucra los recursos tangibles (equipos, muebles, maquinarias entre otros) y los no tangibles (gastos de constitución). La inversión fija es el 17,01% de la inversión total. El capital de operación corresponde al 82,99%, este rubro permite que la planta funcione inicialmente con materiales, mano de obra, entre otros.

Tabla 5.1. Inversión total en la planta elaboradora de fideo de quinua

Descripción	Valor (USD)	%
Inversión fija (Tabla 5.2)	496 235,87	17,01
Capital de operaciones (Tabla 5.3)	2 421 379,55	82,99
INVERSIÓN TOTAL	2 917 615,41	100,00
CAPITAL PROPIO	1 312 926,93	45,00
FINANCIAMIENTO	1 604 688,48	55,00

La Tabla 5.1 muestra que la inversión fija posee el porcentaje más representativo en el costo total de la planta. En la Tabla 5.2 se describe los ítems que componen la inversión fija, entre ellos se tiene que los gastos por construcción son de 43,9% y por maquinaria 36,1%, que son los valores más representativos dentro de la inversión fija. En los gastos de la construcción se toma en cuenta la edificación de

la fábrica, oficinas, laboratorio, cerramiento, corredores, bodega y reservorio de agua.

La maquinaria de producción fue cotizada por la empresa Vulcanotec S.A y ATIMEC. Vulcanotec S.A es una empresa peruana cuyos costos son FOB, por lo que se ha estimado un 5% del total del financiamiento de los equipos para gastos extras por transporte, instalación y montaje.

Dentro de la inversión fija se ha considerado la inversión en equipos y muebles de cocina, además de suministros de oficina y vehículos, entre otros. El detalle se encuentra en la Tabla AX.1 del Anexo X.

Tabla 5.2. Inversión fija

Descripción	Valor	%
Terrenos y construcciones (Tabla AX.1)	218 040,0	43,9
Maquinaria y equipo (Tabla AX.3)	179 132,5	36,1
Activos no corrientes (Tabla AX.5)	89 333,3	18,0
Subtotal	486 505,8	98,0
Imprevistos de la inversión fija	9 730,1	2,0
TOTAL	496 235,9	100,0

5.2 CAPITAL DE OPERACIÓN

El cálculo del capital de operación para un tiempo de 6 meses dentro de la planta se muestra en la Tabla 5.3. En el diagrama de Gantt se observa que los equipos que necesitan mayor manipulación se encuentran en el primer turno mientras que en el segundo turno se encuentran equipos que operan solos y que necesitan una mínima operación manual, como los secadores. Por lo tanto, como mano de obra directa se propone utilizar 10 trabajadores en planta en el primer turno y 2 en el segundo turno. El número de trabajadores en planta total es de 14, la Tabla AX.9 del Anexo X contiene mayor detalle el cálculo del rubro correspondiente a la carga fabril.

Además de los materiales indirectos (fundas, etiquetas, cartón), suministros (agua, lubricantes, gas). Para los gastos en ventas se tiene en cuenta la publicidad, personal de ventas de 5 personas y un porcentaje por imprevistos de 5%. Los detalles de gastos por ventas totales se encuentran en la Tabla AX.11 del Anexo X.

Tabla 5.3. Capital de operación

Descripción de egresos	Tiempo (meses)	Valor (USD)
Materiales Directos (Tabla AX.8)	6	1 709 653,2
Carga Fabril (Tabla AX.9)	6	41 055,0
Mano de Obra Directa (Tabla AX.10)	6	587 424,0
Gastos de administración (Tabla AX.12)	6	11 644,1
Gastos de venta (Tabla AX.11)	6	23 089,5
Reserva de productos terminados	6	42 741,3
Cuentas por cobrar	6	5 772,4
TOTAL		2 421 379,5

5.3 ESTADOS DE RESULTADOS PROYECTADOS A 10 AÑOS

La Tabla 5.4 representa el flujo de fondos proyectado a 10 años. En el año 0 el flujo de fondos es negativo debido a la inversión realizada en la planta. Los costos totales a lo largo de los 10 años incluyen a los costos directos, la carga fabril, gastos por ventas y gastos administrativos necesarios para que la planta funcione, todos estos rubros son devengados del ingreso por ventas a 2,66 USD/ 250g de fideo, con lo que se obtiene la utilidad marginal. El detalle del cálculo del precio de venta al público se encuentra en el Anexo X, en Tabla X.6, donde se obtiene que el costo de producción es de 2,32 USD/250g de fideo y se espera una ganancia del 15%.

Al final de los 10 años se calcula un valor de rescate de la infraestructura y de los equipos de acuerdo a su depreciación en el tiempo. Al final de la tabla se obtiene el flujo de fondos netos proyectados.

En la Tabla 5.4 el flujo neto efectivo muestra que al año 3 se recupera la inversión.

Tabla 5.4. Flujo de fondos netos proyectados a 10 años

CONCEPTO	Año									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Inversión inicial	2 917 615,41	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ingreso por ventas	0	6 150 346	6 398 666	6 657 012	6 925 789	7 205 418	7 496 336	7 799 001	8 113 885	8 441 484
Costos directos	0	3 501 416	3 641 473	3 787 132	3 938 617	4 096 162	4 260 008	4 430 409	4 607 625	4 791 930
Carga fabril	0	1 176 384	1 223 440	1 272 377	1 323 272	1 376 203	1 431 251	1 488 501	1 548 041	1 609 963
Gastos ventas	0	46 179	48 026	49 947	51 945	56 184	58 431	60 768	63 199	65 727
Gasto administrativo	0	23 798	24 750	25 740	26 770	27 841	28 954	30 112	31 317	32 570
Costos totales	0	4 747 778	4 937 689	5 135 196	5 340 604	5 554 229	5 776 398	6 007 454	6 247 752	6 497 662
Utilidad marginal	0	1 402 568	1 460 977	1 521 815	1 585 184	1 651 189	1 719 939	1 791 547	1 866 134	1 943 822
Impuestos	0	350 642	365 244	380 454	396 296	412 797	429 985	447 887	466 533	485 955
Valor rescate infraestructura	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Valor rescate equipos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Flujo neto efectivo	-2 917 615,41	1 051 926	1 095 733	1 141 362	1 188 888	1 238 392	1 289 954	1 343 660	1 399 600	1 457 866

5.4 COSTOS DE PRODUCCIÓN DEL FIDEO DE QUINUA

La Tabla 5.5 muestra que la materia prima e insumos son el rubro más representativo dentro de la producción del fideo, ya que representa el 90,03% del presupuesto.

Tabla 5.5. Estructura productiva

	C cantidad	Precio unitario	Precio total	%
Materias Primas (A)			3 419 306,40	87,59%
Quinoa	50,00	1 500,00	900 000,00	
Albumina	5,10	40 000,00	2 449 920,00	
Agua	19,27	300,00	69 386,40	
(Materiales de producción (B))			138 729,60	3,55%
Fundas PP 1 250g	2 312 160,00	0,01	11 560,80	
Etiquetas	2 312 160,00	0,01	11 560,80	
Cartón	38 536,00	0,25	115 608,00	
Insumos (C)			92 587,17	2,37%
Energía eléctrica (Kw-h)	61 690,60	0,10	74 028,72	
Combustible (galones)	1 000,00	1,30	15 600,00	
Agua (m3)	62,05	0,75	558,45	
Lubricantes (gal)	10,00	20,00	2 400,00	
Otros (D)			100 867,43	2,58%
Imprevistos			11 951,55	
Seguros de maquinaria			18 938,63	
Gastos ventas			46 179,00	
Gastos administrativos			23 798,25	
Reparaciones y mantenimiento (E)			18 938,63	0,49%
INSUMOS = A+B+C+D+E			3 770 429,22	96,58%
Mano de obra			102 810,00	2,63%
Mano de Obra Directa			82 110,00	
Mano de Obra Indirecta			20 700,00	
Carga fabril	-		30 722,74	0,79%
Valor agregado			133 532,74	3,42%
Insumos + valor agregado		USD	3 903 961,96	100,00%

5.5 VALOR ACTUAL NETO Y TASA INTERNA DE RETORNO

La Tabla 5.6 muestra los valores utilizados para el cálculo del punto de equilibrio.

Tabla 5.6. Punto de equilibrio

Descripción	Costos Fijos (USD)	Costos Variables (USD)
		<i>Totales</i>
Materiales Directos	3 419,3	3 419 306,4
Mano de Obra Directa	82 110,0	821,1
Carga Fabril	18 106,6	0,0
a) Mano de Obra Indirecta	20 700,0	0,0
b) Materiales indirectos	0,0	277 459,2
c) Depreciación	1 536,1	30 722,7
d) Suministros	9 258,7	92 587,2
e) Reparaciones y mantenimiento	189,4	18 938,6
f) Seguros	18 938,6	0,0
g) Imprevistos	11 951,6	0,0
Gastos de ventas	46 179,0	0,0
Gastos administración, generales	23 798,3	0,0
Gastos financieros	324 208,3	0,0
TOTAL	560 395,9	3 839 835,2

Con los valores de la Tabla 5.6 se determina que el punto de equilibrio es de 24,25%, es decir sobre este porcentaje el proyecto comienza a generar ganancias y se cubren los costos asociados a la elaboración del producto.

El flujo de fondos neto para cada periodo y la tasa de descuento permiten calcular indicadores financieros como el TIR y el VAN. Para el cálculo del VAN se utilizó una tasa de descuento de 20%, con la que el VAN es igual a 2 133 691,22, 56 USD y el TIR es 38,14%.

El VAN al ser positivo indica que el proyecto es viable, mientras que la TIR indica que es un proyecto rentable debido a que éste porcentaje supera a la tasa de interés que brindan los bancos la cual oscila alrededor del 14%.

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- La planta de fideo de quinua se diseñó para una capacidad de procesamiento de 2 500 kg de quinua por día, obteniéndose 2 408,7 kg de fideo, por lo que el rendimiento fue de 96,35%.
- La selección de una variedad dulce de quinua permitió utilizar procesos de desaponificación menos agresivos, como un breve lavado durante 8 minutos. La alternativa tecnológica escogida para la elaboración del fideo de pasta corta de quinua fue el reemplazo del gluten de harina de trigo por la adición de 7,6% de albúmina de huevo, como agente aglomerante.
- El secado es el principal cuello de botella dentro de la planta y además es considerado la operación unitaria más crítica dentro del proceso, por lo que la mejora del mismo permitió el aumento de la productividad.
- La formulación de harina de quinua fue: 63,7%, albumen 7,6% y agua 28,7%. La humedad final de la masa para el fideo de quinua previo al proceso de extrusión fue de 37%. Esta formulación con esta humedad permitieron obtener una masa viscoelástica adecuada para la producción de fideos cortos a base de quinua.
- El balance total de energía dentro de la planta indica que los 26 equipos y sus respectivos accesorios entre ellos bombas, compresores y ventiladores requieren de 3 084,5 kW por día de trabajo. Los equipos de la planta operan con 61 690,6 kWh por mes que representa 6 169 USD mensuales.
- El VAN y la TIR son 2 133 691,22, y 38,14%. respectivamente, con estos indicadores se demostró que es un proyecto viable y rentable. Mientras que

el punto de equilibrio es de 19,56% que es el punto donde se equiparan los ingresos y egresos de la empresa.

6.2 RECOMENDACIONES

- Para disminuir costos se podría utilizar una única forma de desaponificación la cual puede ser únicamente por lavado o por fricción del grano. Para la implementación de una planta de menor costo se podría eliminar el proceso de desaponificado y receptor la quinua previamente desaponificada. Con esta modificación se evitaría el gasto en varios equipos como clasificadora, escarificadora, lavadora, centrifugadora, elevadores de cangilones que suman un costo representativo.
- Sería recomendable utilizar un secador rotario para el secado de los granos de quinua porque este tipo de secadores poseen mayor capacidad por carga y el grano no tiene el peligro de romperse o deformarse durante el secado.
- Para el secado del grano también se podría trabajar con variaciones de humedad que permitan utilizar menor cantidad de albúmina y así reducir los costos de la materia prima.
- Para disminuir los costos de producción se podría incluir otro grano libre de gluten en la formulación como arroz o maíz.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AIDEPI. (2006). Análisis de mercado: pastas secas en el sudoeste de los Estados Unidos. Roma. Recuperado de [http://www.argentinatradenet.gov.ar/sitio/datos/docus/ANALISIS DE MERCADO.pdf](http://www.argentinatradenet.gov.ar/sitio/datos/docus/ANALISIS_DE_MERCADO.pdf)
- Allen, P. J. (2015). Gluten-Related Disorders: Celiac disease, gluten allergy, Non-celiac gluten sensitivity. *Pediatric Nursing*, 41, 146–150. Recuperado de <http://search.proquest.com/openview/d479e15ad0ebbaa84e496a05c6834cf3/1?pq-origsite=gscholar>
- Almeida, J. (2015). Mejoramiento del proceso productivo de quinua (*Chenopodium quinua,w*), en el centro poscosecha de granos andinos “imbadino”, magap-imbabura.". Ibarra.
- ARCSA. (2015). Norma Técnica Sustitutiva de Buenas Prácticas de Manufactura para Alimentos Procesados. Quito. Recuperado de <http://www.controlsanitario.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/08/Registro-Oficial-Res-042-BPM-Alimentos.pdf>
- Celíacos de México. (2013). Manifiesto celíaco. México. Recuperado de <http://celiacosdemexico.org.mx/los-documentos/manifiesto-celiaco>
- Choi, & Okos. (1986). *Effects of temperature and composition on the thermal properties of foods*. New York: Food Engineering and Process Applications.
- Corpei. (2012). Tendencias y oportunidades del mercado de quinua. Quito.
- GAD Municipal de San Pedro de Pimampiro. (2013). EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE PIMAMPIRO. Pimampiro. Recuperado de http://www.pimampiro.gob.ec/pimampiro/index.php?option=com_content&view=article&id=92:emapa&catid=39:guia-de-tramites&Itemid=1
- Geankopolis, C. (1998). *Procesos de transporte y operaciones unitarias* (3rd ed.). México: Cecsa.
- Google maps. (2016). Mapa de pimampiro. Retrieved October 20, 2016, from <https://www.google.com.ec/maps/place/0%C2%B023'06.3%22N+77%C2%B056'30.8%22W/@0.3859253,->

77.9447703,16.29z/data=!4m5!3m4!1s0x0:0x0!8m2!3d0.3850833!4d-

77.9418889

- Greenheck. (2010). Centrifugal Fans serie 21 & 41. Schofield.
- Gudmundsson, M. (1994). Retrogradation of starch and the role of its components, 246, 329–341. [http://doi.org/10.1016/0040-6031\(94\)80100-2](http://doi.org/10.1016/0040-6031(94)80100-2)
- Hager, A. (2013). *Cereal products for specific dietary requirements Evaluation and improvement of technological and nutritional Doctor of Philosophy – PhD in Food Science and Technology*. Recuperado de https://cora.ucc.ie/bitstream/handle/10468/1274/PhDThesis_Hager_final_corrected.pdf?sequence=1
- Health24. (2014). Gluten free diet may lift “brain fog.” Cape Town. Recuperado de <http://www.health24.com/News/Gluten-free-diet-may-lift-brain-fog-20140627>
- Hidrostal. (2012). Bomba centrífuga 2858. Lima. Recuperado de <http://www.hidrostal.com.pe/contenidos/downpdf.php?&sidc=5>
- Industrias Robertone. (2016). P300 extrusoras. Buenos Aires. Recuperado de <http://www.robertonesrl.com.ar/index.php/p300>
- Inec. (2010). Resultados del censo 2010 de población y vivienda en el Ecuador. Quito. Recuperado de <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Manu-lateral/Resultados-provinciales/imbabura.pdf>
- Lauck, A. H. F., Zannini, E., & Arendt, E. K. (2012). Development of gluten-free fresh egg pasta based on oat and teff flour. *European Food Research and Technology*, (318). <http://doi.org/10.1007/s00217-012-1813-9>
- Lorenzini, R. (2013). Pasta production, mixing and extrusion. Milano. Recuperado de <http://italianfoodmaterialsandmachinery.com/pasta-productionmixing-and-extrusion/>
- Mariotti, M., Iametti, S., Cappa, C., Rasmussen, P., & Lucisano, M. (2011). Characterisation of gluten-free pasta through conventional and innovative methods: Evaluation of the uncooked products. *Journal of Cereal Science*, 53(3), 319–327. <http://doi.org/10.1016/j.jcs.2011.02.001>
- Marques, J., & Marcal, D. (1991). *Principios de secado de granos psicometria higroscopia*. Santiago: Fao. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/X5057S/x5057S00.htm>
- Marti, A., & Pagani, A. (2013). What can play the role of gluten in gluten free pasta ?

- Trends in Food Science & Technology*. Milan: Elsevier Ltd.
<http://doi.org/10.1016/j.tifs.2013.03.001>
- Meyhuay, M. (2013). *Operaciones de Poscosecha*. Lima. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-ar364s.pdf>
- Navarro, E., & Araya, M. (2015). Sensibilidad no celíaca al gluten. Una patología más que responde al gluten. *Revista Médica de Chile*.
<http://doi.org/10.4067/S0034-98872015000500010>
- Nieto, C., & Soria, M. (1990). "Investigación en posproducción de quinua en Ecuador." Quito: INIAP. Recuperado de <https://idlibnc.idrc.ca/dspace/bitstream/10625/10440/1/86860.pdf>
- Nieto, C., & Vimons, C. (1992). *La quinua, cosecha y poscosecha algunas experiencias en Ecuador*. Quito. Recuperado de [http://www.iniap.gob.ec/nsite/images/documentos/QUINUA INIAP TUNKAHUAN 2010 \(1\).pdf](http://www.iniap.gob.ec/nsite/images/documentos/QUINUA_INIAP_TUNKAHUAN_2010_(1).pdf)
- Nieto, C., Vimos, C., Monteros, C., Caicedo, C., & Rivera, M. (1992). INIAP INGAPERCA e INIAP TUNKAHUAN dos variedades de quinua de bajo contenido de saponina. Quito: INIAP.
- Nonhebel, G., & Moss, H. (1979). *El secado de sólidos en la industria química*. Barcelona: Reverté.
- PDVSA. (1994). Manual de Ingeniería de Diseño. Caracas. Recuperado de s0fb7dc202e860a59.jimcontent.com/download/version/1438030322/.../l-tp_1_3.pdf
- Peralta, E. (2009). LA QUINUA EN ECUADOR "Estado del Arte." Quito: INIAP. Recuperado de [http://www.iniap.gob.ec/nsite/images/documentos/ESTADO DEL ARTE QUINUA 2.pdf](http://www.iniap.gob.ec/nsite/images/documentos/ESTADO_DEL_ARTE_QUINUA_2.pdf)
- Peralta, E. (2010). INIAP TUNKAHUAN variedad mejorada de quinua de bajo contenido de saponina. Quito: INIAP. Recuperado de [http://www.iniap.gob.ec/nsite/images/documentos/QUINUA INIAP TUNKAHUAN 2010 \(1\).pdf](http://www.iniap.gob.ec/nsite/images/documentos/QUINUA_INIAP_TUNKAHUAN_2010_(1).pdf)
- Proecuador. (2011). Perfil de quinua y elaborados en Estados Unidos. Quito.
- Proecuador. (2014). Perfil de pastas alimenticias en Venezuela. Quito.
- Proecuador. (2015). *QUINUA*. Quito.
- Rojas, W., Soto, J. L., Pinto, M., Jäger, M., & Padulosi, S. (2010). *Granos Andinos*.

Roma.

- Romo, S., Rosero, A., Forero, C., & Ceron, E. (2006). Potencial nutricional de harinas de quinua (*Chenopodium quinoa* w) variedad piartal en los andes colombianos primera parte. San Juan de Pasto.
- Salvador Escoda S.A. (2010). Manual práctico de ventilación. Barcelona.
- Schonlechner, R. (2001). Investigation of the Processing Aspects of the pseudocereals Amaranth and Quinoa. Vienna.
- Schonlechner, R., Drausinger, J., Ottenschlaeger, V., & Jurackova, K. (2010). Functional Properties of Gluten-Free Pasta Produced from Amaranth , Quinoa and Buckwheat. *Plants Foods Human Nutrition*, 339–349. <http://doi.org/10.1007/s11130-010-0194-0>
- Sharma, V., Chandra, S., Dwivedi, P., & Parturkar, M. (2015). Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd .): A Nutritional Healthy Grain, 3(9), 725–736.
- Sociedad. (2016, January 29). Sensibilidad al gluten sin ser celíaco, nueva enfermedad que va en aumento. Barcelona. Recuperado de <http://www.elperiodico.com/es/noticias/sociedad/sensibilidad-gluten-sin-ser-celico-nueva-enfermedad-que-aumento-4855358>
- Tan, H., Li, Z., & Tan, B. (2009). Starch noodles : History , classification , materials , processing , structure , nutrition , quality evaluating and improving. *Food Research International*, 42(5-6), 551–576. <http://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.02.015>
- Tapia, M. (2000). Cultivos andinos subexplotados y su aporte a la alimentación. Santiago de Chile: FAO. Recuperado de https://issuu.com/b.mendozaelizabeth/docs/cultivos_andinos_subexplotados_y_s1
- Treybal, R. E. (2008). *Operaciones de transferencia de masa*. Nueva Inglaterra: Mc Graw Hill.
- Vici, G., Belli, L., Biondi, M., & Polzonetti, V. (2016). Clinical Nutrition Gluten free diet and nutrient deficiencies : A review. *Clinical Nutrition*, (May), 1–6. <http://doi.org/10.1016/j.clnu.2016.05.002>
- Vulcanotec. (2016). Maquinaria agroindustrial. Lima. Recuperado de <https://www.vulcanotec.com/es/productos/nuestras-maquinas>
- Zavaleta, R. (2010). Diseño conceptual para la descontaminación y economía de

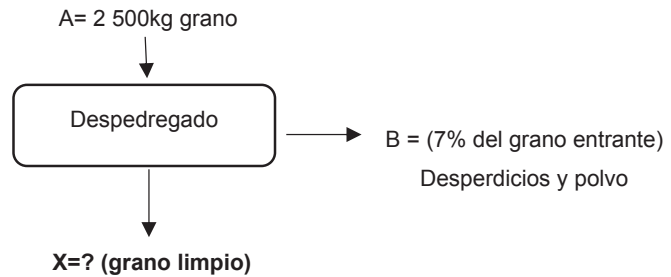
agua en plantas de desamargado de quinua. La Paz.

ANEXOS

ANEXO I

BALANCE DE MASA DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE FIDEO DE QUINUA

1) Despedregado



$$X = 2\,500\text{kg} - 7\% * (2\,500\text{kg})$$

$$X = 2\,325\text{ kg}$$

Mermas

$$7\% * (2\,500\text{kg}) = 175\text{kg}$$

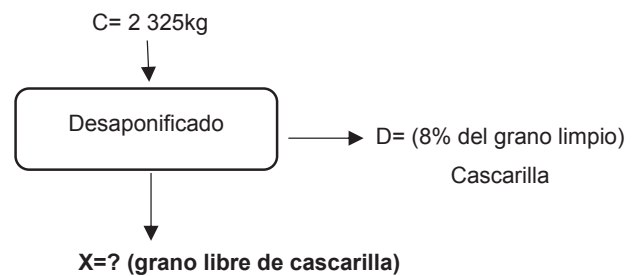
Donde:

A: Grano de quinua (kg)

B: Desperdicios y polvo (kg)

X: grano limpio (kg)

2) Desaponificado



$$X = 2\,325\text{kg} - 5\% * (2\,325)$$

$$X = 2\,139\text{ kg}$$

Cascarilla:

$$5\% * (2\ 325\ \text{kg}) = 186\ \text{kg}$$

Sólidos del grano:

$$S_q = (100\% - 12\%) * X$$

$$S_q = (100\% - 12\%) * 2\ 139\ \text{kg}$$

$$S_q = 1\ 882,32$$

Cantidad de agua en el grano:

$$L_{q1} = 12\% * X$$

$$L_{q1} = 12\% * 2\ 139\ \text{kg}$$

$$L_{q1} = 256,68\ \text{kg de agua en el grano de quinua}$$

Donde:

C: Grano de quinua limpio (kg)

D: Cascarilla de la quinua (kg)

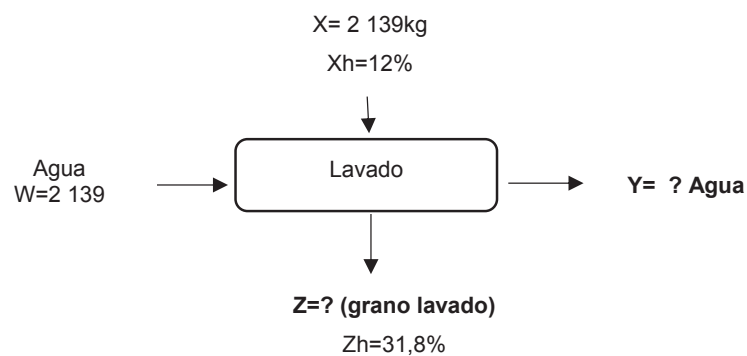
X: grano de quinua libre de la cascarilla (kg)

Xh: humedad del grano (%)

S_q: masa de sólidos en el grano de quinua(kg)

L_{q1}: masa de agua en el grano de quinua (kg)

3) Lavado



Cantidad de agua de entrada:

Relación Quinua: Agua es 1:1

W = 2 139 kg de agua

Cantidad de agua residual:

$$Z = S_q + L_{q1}$$

S_q = 1 882,32 kg de sólidos

$$Zh = \frac{L_{q2}}{L_{q2} + S_q} * 100$$

$$31,8\% = \frac{L_{q2}}{L_{q2} + 1\,882,32} * 100$$

$$L_{q2} = 878,89 \text{ Kg de agua}$$

Grano lavado:

$$Z = W - (L_{q2} - L_{q1})$$

$$Z = 2\,139 \text{ kg} - (878,89 \text{ Kg} - 256,68 \text{ kg})$$

$$Z = 2\,761,2 \text{ kg de grano lavado}$$

Balance de masa total:

$$X + W = Y + Z$$

$$2\,761,2 \text{ kg} = 2\,139 \text{ kg} + Y - 20\,320,05 \text{ kg}$$

$$Y = 1\,516,79 \text{ kg de agua}$$

Donde:

X: grano de quinua libre de la cascarilla (kg)

W: Agua limpia (kg)

Y : Agua con saponina (kg)

Xh: % de humedad del grano antes de ingresar al lavado

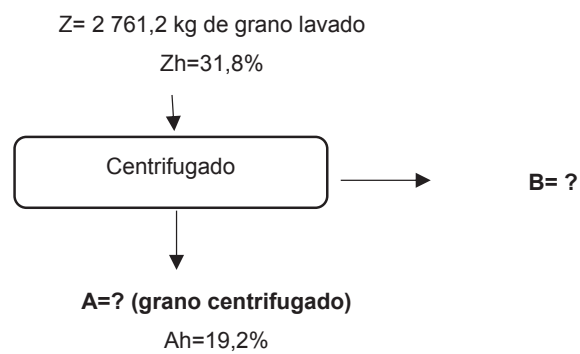
Zh: % de humedad del grano después del lavado

Wh = Yh= % de humedad del agua

S_q: masa de sólidos en el grano de quinua (kg)

L_{q2}: masa de agua en el grano de quinua después del lavado (kg)

4) Centrifugado



Cantidad de agua en Z:

$$Z_{\text{agua}} = Z(Zh)$$

$$Z_{\text{agua}} = 2\,761,2 \text{ kg (31,8\%)} = 878,06 \text{ kg}$$

Grano centrifugado:

$$S_q = 1\,882,32 \text{ kg de s\u00f3lidos}$$

$$Ah = \frac{L_{q3}}{L_{q3} + S_q} * 100$$

$$19,2\% = \frac{L_{q3}}{L_{q3} + 1\,882,32} * 100$$

$$L_{q3} = 447,28 \text{ Kg de agua en el grano centrifugado}$$

$$A = S_q + L_{q3}$$

$$A = 1\,882,32 \text{ kg} + 447,28 \text{ kg}$$

$$A = 2\,329,6 \text{ kg de grano centrifugado}$$

Cantidad de agua en B:

$$Z = A + B$$

$$B = 2\,761,2 \text{ kg} - 2\,329,6 \text{ kg}$$

$$B = 431,61 \text{ kg de agua}$$

Donde:

Z: grano lavado (kg)

A: grano lavado y centrifugado (kg)

B: Agua desprendida en el centrifugado (kg)

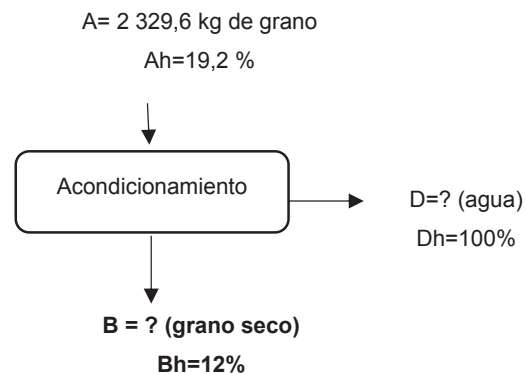
Ah: % de humedad del grano despu\u00e9s del centrifugado

Zh: % de humedad del grano antes del centrifugado

Bh: % de humedad del agua

Sq: masa de s\u00f3lidos en el grano de quinua (kg)

L_{q3} : masa de agua en el grano de quinua despu\u00e9s del centrifugado (kg)

5) Acondicionamiento

$$A = B + D$$

$$D = A - B$$

$$D = 2\,329,6 \text{ kg} - B$$

Balance de masa respecto al contenido de agua:

$$A (A_h) = B (B_h) + D (D_h)$$

$$2\,329,6 \text{ kg} * (19,2 \%) = B * (12\%) + D (100\%)$$

$$2\,329,6 \text{ kg} * (19,2\%) = B * (12\%) + (2\,329,6 \text{ kg} - B) (100\%)$$

$$B = 2\,139 \text{ kg de grano seco}$$

$$D = 190,6 \text{ kg de agua}$$

Donde:

A: grano lavado y centrifugado (kg)

B: grano seco (kg)

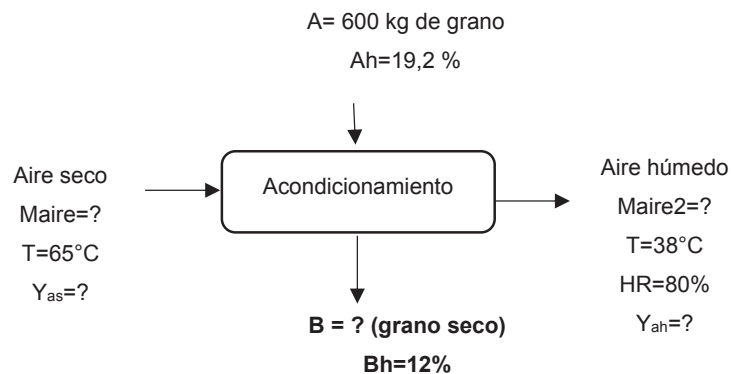
C: Agua eliminada en el acondicionado (kg)

A_h: % de humedad del grano antes del secado

B_h: % de humedad del grano después del secado

D_h: % de humedad del agua

Balance de masa de cada lote:



$$A = B + D$$

$$D = A - B$$

$$D = 600 \text{ kg} - B$$

Balance de masa respecto al contenido de agua:

$$A (A_h) = B (B_h) + D (D_h)$$

$$600 \text{ kg} * (19,2 \%) = B * (12\%) + D (100\%)$$

$$600 \text{ kg} * (19,2\%) = B * (12\%) + (600 \text{ kg} - B) (100\%)$$

$$B = 551 \text{ kg de grano seco}$$

Se evaporan 49 kg de agua

Sólidos en A:

$$A_s = 100\% - 19,2\%$$

$$A_s = 80,8\%$$

Sólidos en B:

$$B_s = 100\% - 12\%$$

$$B_s = 88\%$$

Para la salida de la corriente de aire, en tablas psicrométricas:

$$Y_{ah} = 0,035 \frac{\text{kg vapor}}{\text{kg aire seco}}$$

Suponiendo un secado adiabático, en tablas psicrométricas si la temperatura con la que ingresa el aire es de 65°C, entonces:

$$Y_{as} = 0,023 \frac{\text{kg vapor}}{\text{kg aire seco}}$$

$$M_{as} = \frac{(A * Ah) - (B * Bh)}{(Y_{ah} - Y_{as})}$$

$$M_{as} = \frac{(600 * 0,192) - (551 * 0,12)}{(0,035 - 0,023)}$$

$$M_{as} = 4\,091 \text{ kg}$$

Masa de aire entrante:

$$M_{aire} = M_{as} + M_{as} * Y_{as}$$

$$M_{aire} = 4\,091 + 4\,091 * 0,025$$

$$M_{aire} = 4\,185 \text{ kg}$$

Masa de aire saliente:

$$M_{aire2} = M_{as} + M_{as} * Y_{ah}$$

$$M_{aire2} = 4\,091 + 4\,091 * 0,035$$

$$M_{aire2} = 4\,234,1 \text{ kg}$$

Donde:

A: grano lavado y centrifugado (kg)

B: grano seco (kg)

C: Agua eliminada en el acondicionado (kg)

Ah: % de humedad del grano antes del secado

Bh: % de humedad del grano después del secado

Dh: % de humedad del agua

As: % sólidos en la corriente A

Bs: % sólidos en la corriente B

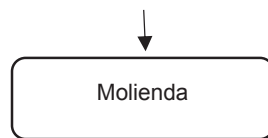
M_{as}: masa de aire seco (kg)

M_{aire}: masa de aire seco que entra al secador (kg)

M_{aire2}: masa de aire seco que sale del secador (kg)

6) Molienda

B = 2 139 kg grano de quinua
Bh = 12%



C = 2 139 kg (harina de quinua)
Ch = 12%

Donde:

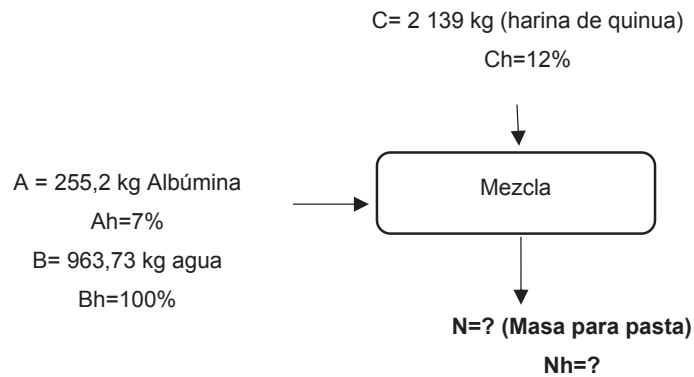
B: grano de quinua seco (kg)

C: harina de quinua (kg)

Bh: % humedad del grano

Ch: % humedad de la harina de quinua

7) Mezcla



Balance de masa total:

$$A+C+B = N$$

$$255,2 \text{ kg} + 2\,139 \text{ kg} + 963,73 \text{ kg} = N$$

$$N = 3\,357,93 \text{ kg}$$

Balance de masa respecto al contenido de agua:

$$C (Ch) + B (Bh) + A (Ah) = N (Nh)$$

$$255,2 \text{ kg} * (7\%) + 2\,139 \text{ kg} * (12\%) + 963,73 \text{ kg} * (100\%) = 3\,357,93 \text{ kg} * (Nh)$$

$$Nh = 36,88 \%$$

Donde:

C: harina de quinua (kg)

A: Albúmina de huevo (kg)

B: Agua (kg)

N: masa para pasta (kg)

Ch: % de humedad de la harina de quinua antes de la mezcla

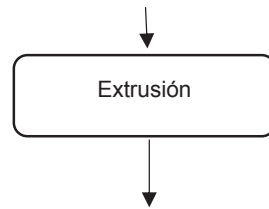
Ah: % de humedad de la albúmina

Bh: % de humedad del agua

Nh: % de humedad de la masa después de la mezcla

8) Extrusión

N= 3 357,93 kg de masa para pasta
Nh=36,88 %



B = 3 357,93 kg (fideo extruido)

Bh=36,88 %

Donde:

N: masa para pasta (kg)

B: fideo extruido (kg)

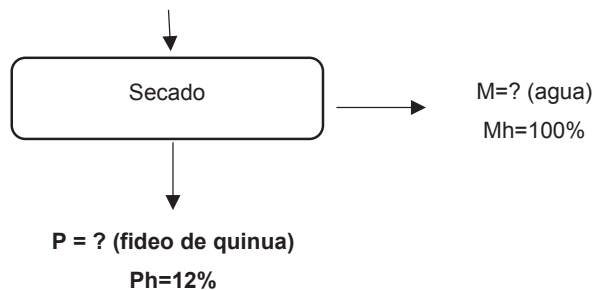
Nh: % humedad de la masa para pasta

Bh: % humedad del fideo extruido

9) Secado

B= 3 357,93 kg de pasta

Bh=36,88%



$$B = M + P$$

$$M = B - P$$

$$M = 3\,357,93 \text{ kg} - P$$

Balance de masa respecto al contenido de agua:

$$B (Bh) = M (Mh) + P (Ph)$$

$$3\,357,93 \text{ kg} (36,88\%) = P(12\%) + M (100\%)$$

$$3\,357,93 \text{ kg} (36,88\%) = P(12\%) + (3\,357,93 \text{ kg} - P) (100\%)$$

$$P = 2\,408,7 \text{ kg de fideo}$$

$$M = 949,23 \text{ kg de agua evaporada}$$

Donde:

B: pasta extruída (kg)

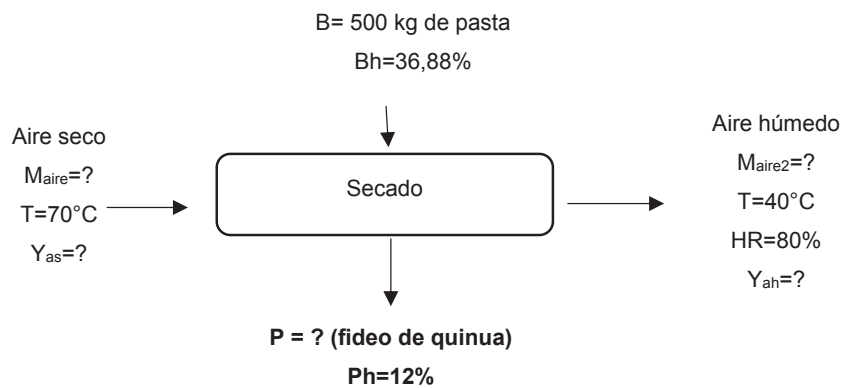
P: pasta seca (kg)

A: Agua eliminada en el secado (kg)

Bh: % de humedad de la pasta antes del secado

Ph: % de humedad de la pasta después del secado

Mh: % de humedad del agua



$$B = M + P$$

$$M = B - P$$

$$M = 500 \text{ kg} - P$$

Balance de masa respecto al contenido de agua:

$$B (Bh) = M (Mh) + P (Ph)$$

$$500 \text{ kg} (36,88\%) = P(12\%) + M (100\%)$$

$$500 \text{ kg} (36,88\%) = P(12\%) + (500 \text{ kg} - P) (100\%)$$

$$P = 359 \text{ kg de fideo}$$

$$M = 141 \text{ kg de agua evaporada}$$

Sólidos en P:

$$P_s = 100\% - 36,88\%$$

$$P = 63,12\%$$

Sólidos en B:

$$B_s = 100\% - 12\%$$

$$B_s = 88\%$$

Para la salida de la corriente de aire, en tablas psicrométricas:

$$Y_{ah} = 0,035 \frac{kg \text{ vapor}}{kg \text{ aire seco}}$$

Suponiendo un secado adiabático, en tablas psicrométricas si la temperatura con la que ingresa el aire es de 70°C, entonces:

$$Y_{as} = 0,021 \frac{kg \text{ vapor}}{kg \text{ aire seco}}$$

$$M_{as} = \frac{(A * Ah) - (B * Bh)}{(Y_{ah} - Y_{as})}$$

$$M_{as} = \frac{(500 * 0,3688) - (141 * 0,12)}{(0,035 - 0,021)}$$

$$M_{as} = 10\,097 \text{ kg}$$

Masa de aire seco entrante:

$$M_{aire} = M_{as} + M_{as} * Y_{as}$$

$$M_{aire} = 10\,097 + 10\,097 * 0,021$$

$$M_{aire} = 10\,309,45 \text{ kg}$$

Masa de aire seco salida:

$$M_{aire2} = M_{as} + M_{as} * Y_{ah}$$

$$M_{aire2} = 10\,097 + 10\,097 * 0,035$$

$$M_{aire2} = 10\,450,81 \text{ kg}$$

Donde:

B: pasta extruida (kg)

P: pasta seca (kg)

A: Agua eliminada en el secado (kg)

Bh: % de humedad de la pasta antes del secado

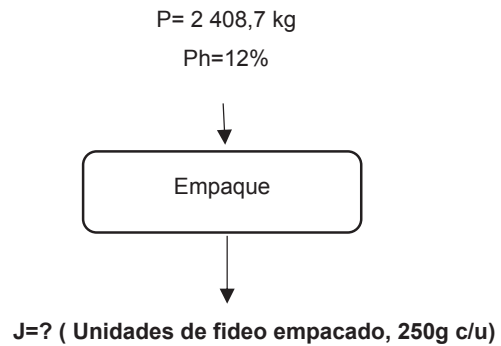
Ph: % de humedad de la pasta después del secado

Mh: % de humedad del agua

M_{aire}: masa de aire seco que entra al secador (kg)

M_{aire2}: masa de aire seco que sale del secador (kg)

10) Empaque



$$J = 2\,408,7 \text{ kg} / 0,250$$

J= 9 634, 81 unidades de fideos de 250 g cada una

Donde:

P: pasta seca (kg)

Ph: % humedad de la pasta seca

J: Unidades de fideo empacado

ANEXO II

BALANCE DE ENERGÍA DEL PROCESO DE SECADO DEL GRANO DE QUINUA Y DEL FIDEO DE QUINUA.

Inicialmente se calculó la capacidad calorífica del grano de quinua a partir de su composición nutricional (Choi & Okos, 1986), como se muestra en la Tabla AII.1

Tabla AII.1 Composición de la quinua variedad Tunkahuan y capacidad calorífica de sus componentes

Quinua variedad Tunkahuan Componentes	%	Cp (kJ/kg°C)
Agua	12%	4,19
Proteína	13,88%	2,08
Grasa	8,11%	2,06
Carbohidratos	56,41%	1,65
Ceniza	2,81%	1,20
Fibra	4,78%	1,95
Total	100%	2,02

Tabla AII.2 Parámetros del proceso de secado de grano

Datos	Símbolo	Valor	Unidades
Masa de aire de secado	m_A	4	kg
Calor específico del aire	C_{pA}	1,01	kJ/kg°C
Temperatura de secado	T_f	65	°C
Temperatura inicial	T_o	21	°C

Para el cálculo del calor necesario para disminuir la humedad del grano de quinua se utilizó la siguiente fórmula:

$$Q_T = Q_A + Q_B \quad [\text{AII.1}]$$

Cálculo del calor necesario para calentar el aire del secador del grano (Q_A):

$$Q_A = m_A * C_{pA}(T_f - T_o) \quad [\text{AII.2}]$$

Reemplazando los valores en la Ecuación AII.2, $Q_A = 182\,160$ kJ

Cálculo del calor necesario para evaporar el agua del grano de quinua (Q_B):

$$Q_B = m_{\text{agua}} * L_p \quad \text{[AII.3]}$$

Tabla AII.3. Parámetros necesarios para calcular el calor que permite la evaporación

Datos	Símbolo	Valor	Unidades
Masa de agua a evaporar	m_{agua}	49,09	kg
Calor de vaporización	L_p	2 345,38	kJ/kg

Reemplazando los valores de la Tabla AII.3 en la Ecuación AII.3, $Q_B = 115\,136,84$ kJ

El calor necesario para secar 600 kg de quinua es $Q_T = 327\,026,52$ kJ

Cálculo del calor necesario para 500 kg de fideo:

Tabla AII.4 Composición de la pasta de quinua y capacidad calorífica de sus componentes

Componentes Pasta de quinua	%	Cp (kJ/kg°C)
Agua	12%	4,20
Proteína	20,97%	2,09
Grasa	7,39%	2,06
Carbohidratos	52,17%	1,66
Ceniza	3,11%	1,21
Fibra	4,35%	1,95
Total		2,08

Para el cálculo del calor necesario para calentar el aire del secador se utilizó la Ecuación AII.4.

Cálculo del calor necesario para calentar el aire del secador de fideo (Q_A):

$$Q_A = m_A * C_{pA} (T_f - T_o) \quad \text{[AII.4]}$$

Tabla AII.5. Parámetros necesarios para calentar el aire que ingresa al secador

Datos	Símbolo	Valor	Unidades
Masa del fideo de quinua	m_A	500	kg
Calor específico del fideo	C_{pA}	1,01	kJ/kg°C
Temperatura de secado	T_f	70	°C
Temperatura a inicio del secado	T_o	21	°C

Reemplazando los valores en la Ecuación AII.4, $Q_A = 500\ 710\ \text{kJ}$

Cálculo del calor necesario para evaporar el agua del fideo de quinua (Q_B):

$$Q_B = m_{\text{agua}} * L_p \quad [\text{AII.5}]$$

Tabla AII.6. Parámetros necesarios para calcular el calor de la evaporación del agua del fideo de quinua

Datos	Símbolo	Valor	Unidades
Masa de agua a evaporar	m_{agua}	142,0454	kg
Calor de vaporización	L_p	2 333,02	kJ/kg

Reemplazando los valores en la Ecuación AII.5, $Q_B = 331\ 396,3068\ \text{kJ}$


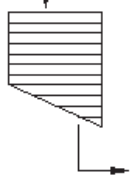
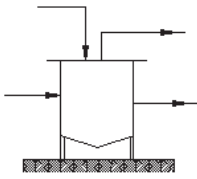
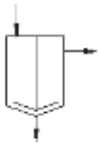
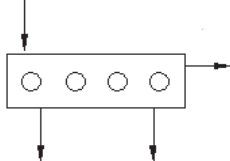

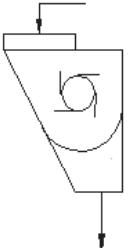
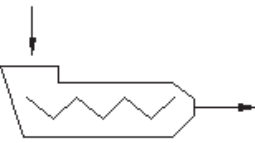
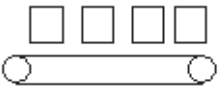
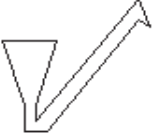
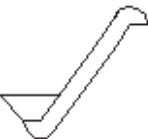


El calor necesario para secar 500 kg de fideo de quinua con la fórmula AII.1 se obtiene que $Q_T = 915\ 316,94\ \text{kJ}$

ANEXO III

SIMBOLOGÍA DE EQUIPOS

La simbología de los equipos utilizados en el diagrama PFD, se encuentran en la Tabla AIII.1.

Tabla AIII.1. Simbología de los equipos utilizados en la planta de producción

Equipos			
			
Elevador de cangilones	Clasificadora	Lavadora de granos	
			
Centrifuga	Escarificador	Horno secador	
			
Molino de martillos	Extrusor	Empacadora	
			
Elevador de banda	Tolva con elevador	Silo	Mezcladora

ANEXO IV

EJEMPLO DE CÁLCULO DE LA CAÍDA DE PRESIÓN DENTRO DEL SECADOR

Ecuación de Darcy:

$$h_L = f \cdot \frac{L}{D_h} \cdot \frac{V^2}{2g} \quad [\text{AIV.1}]$$

Donde:

h_L : pérdida de energía por fricción (Nm/N)

f: Factor de fricción

L: Longitud del ducto (m)

V: Velocidad media del flujo (m/s)

D_h : Diámetro hidráulico (m)

g: aceleración de la gravedad (m/s²)

$$D_h = \frac{4A_c}{PM} \quad [\text{AIV.2}]$$

PM: perímetro mojado (m)

Ac: Área de la sección transversal (m²)

El diámetro hidráulico para secciones no circulares se puede calcular con la geometría del ducto:

$$PM = 2a + 2b \quad [\text{AIV.3}]$$

Donde:

a: ancho del ducto (m)

b: altura del ducto (m)

Para determinar el factor de fricción es necesario conocer si el flujo es turbulento o laminar, para esto es necesario calcular el número de Reynolds:

$$Re = \frac{VD_h}{\nu} \quad [\text{AIV.4}]$$

Donde:

Re: número de Reynolds

V: velocidad media del fluido (m/s)

Dh: Diámetro hidráulico (m)

v: viscosidad cinemática del fluido (m²/s)

Si $Re < 2300$ existe flujo laminar, y el factor de fricción se reemplaza en la ecuación de Darcy:

$$64 = \frac{64}{Re} \quad [AIV.5]$$

Si $Re > 2300$, existe flujo turbulento, y el factor de fricción depende del número de Reynolds y la rugosidad relativa, ambos son números adimensionales:

$$r = \frac{D_h}{\varepsilon} \quad [AIV.6]$$

Donde:

R: Rugosidad relativa del ducto (adimensional)

Dh: diámetro hidráulico (m)

ε : rugosidad relativa de la superficie del ducto (m)

Con el número de Reynolds y el factor de fricción, el factor de fricción puede ser hallado en el diagrama de Moody.

A continuación con la Ecuación AIV.7 se puede determinar la pérdida de energía por fricción:

$$\Delta P = \rho g h_L \quad [AIV.7]$$

Donde:

ΔP : caída de presión (Pa)

ρ : Densidad del fluido (kg/m³)

g: Aceleración de la gravedad

h_L : Pérdida por fricción (Nm/N)

Tabla AIV.1 Caída de presión entre las bandejas de aire secador

PARÁMETRO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDADES
Cálculo de la densidad del aire			
densidad del aire	ρ_a	0,791018375	kg/m ³
Constante de los gases ideales	Ra	0,287	kPam ³ /kgK
Temperatura del aire	Ta	70	°C

	Ta	343	K
Presión atmosférica	Patm	77,86863982	kPa
Altura sobre el nivel del mar	z	2165	m
<u>Pérdida de energía por fricción</u>			
Pérdida de energía por fricción	hL	0,460434448	Nm/N
Longitud del ducto	L	2,22	m
Velocidad media del flujo	V	1,2	m/s
Diámetro hidráulico	Dh	0,058959538	m
Aceleración de la gravedad	g	9,8	m/s ²
<u>Cálculo del diámetro hidráulico</u>			
Area sección transversal	Ac	0,051	
Perímetro mojado	PM	3,46	
<u>Cálculo del perímetro mojado si es cuadrado</u>			
Ancho del ducto	a	1,7	m
altura del ducto	b	0,03	m
<u>Cálculo del número de Reynolds</u>			
Número de Reynolds	Re	384,5187233	
Velocidad media del fluido	V	1,2	m/s
Diámetro hidráulico	Dh	0,058959538	m
Viscosidad cinemática del fluido	v	0,000184	m ² /s
Si Re < 2300, es un flujo laminar			
Factor de Fanning	f	0,16644183	
<u>Cálculo de la caída de presión</u>			
Caída de presión	ΔP	3,569278669	Pa
Densidad del fluido	ρ	0,791018375	kg/m ³
Aceleración de la gravedad	g	9,8	m/s ²
Pérdida por fricción	hL	0,460434448	Nm/N

Tomando en cuenta que existen 25 espacios entre bandejas, el total de la caída de presión en esta sección es igual a $\Delta P * \#$ espacios entre bandejas que da como resultado 89,23 Pa.

Tabla AIV.2 Caída de presión del pasillo superior del secador

PARÁMETRO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDADES
<u>Pérdida de energía por fricción</u>			
Pérdida de energía por fricción	hL	0,00626059	Nm/N
Longitud del ducto	L	2,3	m
Velocidad media del flujo	V	2	m/s
Diámetro hidráulico	Dh	0,685714286	m
Aceleración de la gravedad	g	9,8	m/s ²
<u>Cálculo del diámetro hidráulico</u>			
Area sección transversal	Ac	0,576	

Perímetro mojado	PM	3,36	
<u>Cálculo del perímetro mojado si es cuadrado</u>			
Ancho del ducto	a	1,2	m
altura del ducto	b	0,48	m
<u>Cálculo del número de Reynolds</u>			
Número de Reynolds	Re	7453,416149	
Velocidad media del fluido	V	2	m/s
Diámetro hidráulico	Dh	0,685714286	m
Viscosidad cinemática del fluido	v	0,000184	m ² /s
Si Re > 2300, es un flujo turbulento			
Factor de Fanning	f	0,008586667	
<u>Cálculo de la caída de presión</u>			
Caída de presión	ΔP	0,048531969	Pa
Densidad del fluido	ρ	0,791018375	kg/m ³
Aceleración de la gravedad	g	9,8	m/s ²
Pérdida por fricción	hL	0,00626059	Nm/N

Tabla AIV.3 Caída de presión del pasillo derecho del secador

PARÁMETRO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDADES
<u>Pérdida de energía por fricción</u>			
Pérdida de energía por fricción	hL	0,009792299	Nm/N
Longitud del ducto	L	2,7	m
Velocidad media del flujo	V	1,2	m/s
Diámetro hidráulico	Dh	0,225	m
Aceleración de la gravedad	g	9,8	m/s ²
<u>Cálculo del diámetro hidráulico</u>			
Area sección transversal	Ac	0,216	
Perímetro mojado	PM	3,84	
<u>Cálculo del perímetro mojado si es cuadrado</u>			
Ancho del ducto	a	0,12	m
Altura del ducto	b	1,8	m
<u>Cálculo del número de Reynolds</u>			
Número de Reynolds	Re	2 445,65217	
Velocidad media del fluido	V	2	m/s
Diámetro hidráulico	Dh	0,225	m
Viscosidad cinemática del fluido	v	0,000184	m ² /s
Si Re > 2 300, es un flujo turbulento			
Factor de Fanning	f	0,011107006	
<u>Cálculo de la caída de presión</u>			
Caída de presión	ΔP	0,075909707	Pa
Densidad del fluido	ρ	0,791018375	kg/m ³
Aceleración de la gravedad	g	9,8	m/s ²
Pérdida por fricción	hL	0,009792299	Nm/N

Tabla AIV.4 Caída de presión del pasillo izquierdo del secador

PARÁMETRO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDADES
<i><u>Pérdida de energía por fricción</u></i>			
Pérdida de energía por fricción	hL	0,03303323	Nm/N
Longitud del ducto	L	2,7	m
Velocidad media del flujo	V	1,2	m/s
Diámetro hidráulico	Dh	0,188037068	m
Aceleración de la gravedad	g	9,8	m/s ²
<i><u>Cálculo del diámetro hidráulico</u></i>			
Area sección transversal	Ac	0,17856	
Perímetro mojado	PM	3,7984	
<i><u>Cálculo del perímetro mojado si es cuadrado</u></i>			
Ancho del ducto	a	0,0992	m
altura del ducto	b	1,8	m
<i><u>Cálculo del número de Reynolds</u></i>			
Número de Reynolds	Re	2 043,88117	
Velocidad media del fluido	V	2	m/s
Diámetro hidráulico	Dh	0,188037068	m
Viscosidad cinemática del fluido	v	0,000184	m ² /s
Si Re > 2300, es un flujo turbulento			
Factor de Fanning	f	0,01148113	
<i><u>Cálculo de la caída de presión</u></i>			
Caída de presión	ΔP	0,256072942	Pa
Densidad del fluido	ρ	0,791018375	kg/m ³
Aceleración de la gravedad	g	9,8	m/s ²
Pérdida por fricción	hL	0,03303323	Nm/N

ANEXO V

ELECCIÓN DEL VENTILADOR

La pérdida de carga es útil para la elección del ventilador. La curva se genera a partir de la siguiente fórmula:

$$P_2 = P_1 \cdot \left(\frac{\dot{V}_2}{\dot{V}_1}\right)^2 \quad [\text{AVI.1}]$$

Donde:

P_1 : Pérdida de carga inicial (Pa)

P_2 : Pérdida de carga final (Pa)

\dot{V}_1 : Caudal inicial del sistema (m^3/s)

\dot{V}_2 : Caudal final del sistema (m^3/s)

Los principales parámetros para la selección del ventilador son

P_1 : 89,612 Pa y \dot{V}_1 : 23 328 $\frac{\text{m}^3}{\text{h}}$

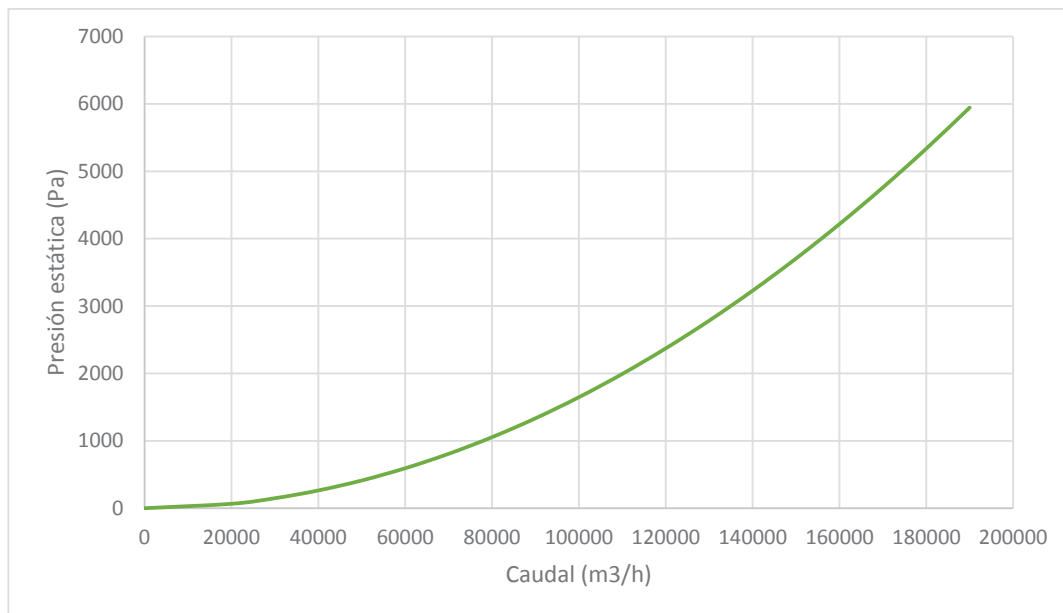


Figura AV.1 Curva característica del sistema.

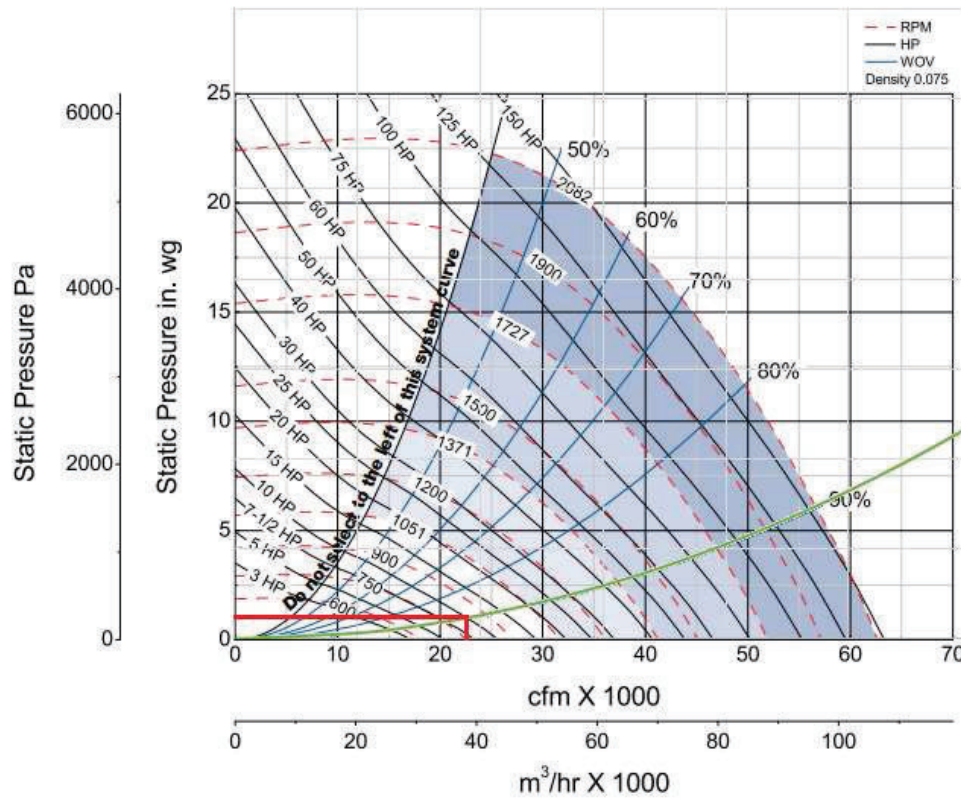


Figura AV.2 Intersección de la curva característica del sistema con la curva del ventilador. (Greenheck, 2010)

En la Figura AV.2 se puede observar el punto de intersección, donde las características de operación son: caudal 32 000 m³/h en el eje de las abcisas y 300 Pa en el eje de las ordenadas.

El cálculo de la potencia requerida se realiza con Ecuación AV.3:

$$P_r = \frac{\dot{V} \cdot \Delta P}{10^6 \cdot \eta} \quad [\text{AV.3}]$$

Donde:

P_r : Potencia requerida por el ventilador (kW)

\dot{V} : Caudal del sistema (L/s)

η : Eficiencia del ventilador centrífugo

Tabla AV.1 Parámetros para el cálculo de la potencia del ventilador

Parámetros	Unidades	Valor
Caudal	m ³ /h	23 328
Caída de presión del sistema	Pa	300
Eficiencia del ventilador	%	0,85
Potencia del ventilador	kW	2,287

ANEXO VI

PÉRDIDA DE ENERGÍA EN LAS PAREDES DEL SECADOR

A continuación se realizará el análisis de la pérdida de calor del secador por las paredes y por el techo del secador:

$$Q_{Total} = Q_{paredes} + Q_{techo}$$

Q_{Total} : Calor total perdido en el secador (W)

$Q_{paredes}$: Calor perdido por las 4 paredes del secador (W)

Q_{techo} : Calor perdido por el techo del secador (W)

En la Figura AVI.1 se grafica las distintas capas que poseen las paredes del secador y el perfil de temperatura que se presenta a través de ellas.

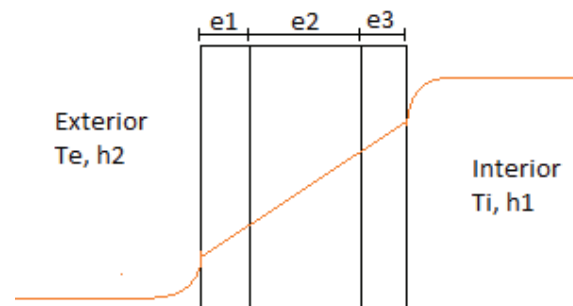


Figura AVI.1. Perfil de la temperatura en las paredes del secador

Para disminuir las pérdidas de calor por las paredes del secador se propone utilizar a plancha de acero inoxidable de 2 mm de espesor, como material aislante dos planchas de fibra cerámica de 0,5 mm de espesor y finalmente tol de espesor 0,0011 mm

La Tabla AVI.1 indica la composición de la pared del secador y sus respectivas propiedades (espesor y conductividad térmica).

Tabla AVI.1 Estructura de la pared del secador

Paredes		Valor	Unidades
<u>Material 1:</u> tol			
Espesor 1:	e1	0,0011	m
Conductividad térmica:	k1	90	W/m°C
<u>Material 2:</u> Fibra cerámica			
Espesor 2:	e2	0,1	m
Conductividad térmica:	k2	0,026	W/m°C
<u>Material 3:</u> Acero			
Espesor 3:	e3	0,002	m
Conductividad térmica:	k3	15	W/m°C

Para calcular la pérdida de calor a través de las paredes del secador es necesario conocer los valores de los parámetros que definen el flujo del aire que circula dentro del secador a 70°C. La Tabla AVI.2 presenta éstos valores:

Tabla AVI.2 Parámetros característicos del flujo del aire interno del secador

Parámetro	símbolo	Valor	Unidades
Temperatura interna	Ti	343	K
Coefficiente de convección	hi	16,99	W/m ² K
Velocidad de flujo	V	1,2	m/s
Número de Prandlt	Pr	0,700729242	
Viscosidad cinemática	v	0,00001994	m ² /s
Conductividad térmica	K	0,029551805	W/mK
Viscosidad dinámica	u	0,0000204	Pa.s

Tabla AVI.3 Parámetros característicos del flujo del aire externo del secador

Parámetro	símbolo	Valor	Unidades
Temperatura externa	Te	21	°C
Velocidad de flujo	V	0,3	m/s
Número de Prandlt	Pr	0,709835	
Viscosidad cinemática	v	0,00001514	m ² /s
Conductividad térmica	K	0,02551856	W/m ² K
Viscosidad dinámica	u	0,00001815	Pa.s

Para hallar el calor que se pierde es necesario conocer la temperatura la pared interna del secador y el coeficiente de convección externo. Para este proceso es necesario utilizar las ecuaciones que se muestran a continuación, inicialmente se

va a asumir un valor de h_e y al final, mediante varias iteraciones (o mediante la función solver de excel), se va a encontrar el valor verdadero del calor que se pierde a través de las paredes del secador.

En las paredes laterales:

$$Q_{paredes} = \frac{T_e - T_i}{RTC} \quad [AVI.1]$$

$$RTC = \left(\frac{1}{hi_1} + \frac{e1}{k1} + \frac{e2}{k2} + \frac{e3}{k3} + \frac{1}{he_1} \right) * \left(\frac{1}{A_1} \right) \quad [AVI.2]$$

$$Q_{paredes} = \frac{T_e - T_{w1}}{RTC} \quad [AVI.3]$$

$$A_1 = 16,92 \text{ m}^2$$

$$\text{Inicialmente se asume; } h_e = 6,38 \frac{W}{m^2K}$$

$$RTC = 0,102 \frac{K}{W}$$

$$Q_{paredes} = -479,55 \text{ W}$$

La obtención del coeficiente de convección externo depende de los números adimensionales Prandtl, Nusselt, Rayleigh, Grashof. Todas estas propiedades deben ser evaluadas a la Temperatura del film, T_f .

$$T_f = \frac{T_{w1} + T_e}{2} \quad [AVI.4]$$

$$K = 8 \cdot 10^{-5} \cdot T_f + 0,0013 \quad [AVI.5]$$

$$\mu = 5 \cdot 10^{-8} \cdot T + 2 \cdot 10^{-6} \quad [AVI.6]$$

$$Pr = 1,2173 \cdot T^{-0,095} \quad [AVI.7]$$

$$Cp = 1 \cdot 10^{-6} \cdot T^2 - 0,0005 \cdot T + 1,0705 \quad [AVI.8]$$

$$\rho = 380,56 \cdot T^{-1,016} \quad [AVI.9]$$

$$B = \frac{1}{T_b} \quad [AVI.10]$$

$$Gr = \frac{L^3 \cdot \rho^2 \cdot g \cdot B \cdot \Delta T}{\mu^2} \quad [AVI.11]$$

$$Ra = Gr \cdot Pr \quad [AVI.12]$$

$$Nu = \left\{ 8,825 + \frac{0,387 \cdot Ra^{1/6}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{Pr} \right)^{9/16} \right]^{3/2}} \right\} \quad [AVI.13]$$

$$T_f = 296,22 \text{ K}$$

$$K = 0,02 \frac{W}{m \cdot K}$$

$$\mu = 1,681E-05 \text{ (Pa.s)}$$

$$Pr = 0,7089$$

$$C_p = 1,01013 \frac{kJ}{kg \cdot K}$$

$$\rho = 1,1729 \frac{kg}{m^3}$$

$$B = 0,0034 \frac{1}{K}$$

Con el cálculo de Gr, Ra y Nu es posible obtener el coeficiente de convección externo, Ecuación AVI.14:

$$Nu = \frac{h_{e1} \cdot L}{k} \quad [AVI.14]$$

$$Gr = 1,12 \text{ E}+10$$

$$Ra = 7,977 \text{ E}+09$$

$$Nu = 625,8$$

$$h_{e1} = 6,25 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Es necesario realizar iteraciones para hallar el valor verdadero del calor.

$$A_1 = 16,92 \text{ m}^2$$

$$RTC = 0,102179 \frac{K}{W}$$

$$Q_1 = -478,66 \text{ W}$$

El cálculo de la pérdida de calor por el techo del secador sigue un procedimiento similar.

$$A_2 = 5,4 \text{ m}^2$$

$$\text{Si se asume; } h_e = 1,1359 \frac{W}{m^2K}$$

$$RTC = 0,45418674 \frac{K}{W}$$

$$Q_2 = -107,89 \text{ W}$$

$$RTC = 0,163026216 \frac{K}{W}$$

$$T_{w1} = 311,59 \text{ K}$$

*Si para la obtención del h de convección del exterior depende de los números adimensionales

$$Q_{techo} = \frac{Te-Ti}{RTC} \quad [AVI.15]$$

$$RTC = \left(\frac{1}{hi_2} + \frac{e1}{k1} + \frac{e2}{k2} + \frac{e3}{k3} + \frac{1}{he_2} \right) * \left(\frac{1}{A_2} \right) \quad [AVI.16]$$

$$Q_2 = \frac{Te-Tw_2}{RTC} \quad [AVI.17]$$

De la misma manera, es necesario el cálculo de la temperatura de film para calcular los números adimensionales.

$$Tf = \frac{Tw_2 + Tb}{2} \quad [AVI.18]$$

$$K = 8 \cdot 10^{-5} \cdot Tf + 0,0013 \quad [AVI.19]$$

$$\mu = 5 \cdot 10^{-8} \cdot T + 2 \cdot 10^{-6} \quad [AVI.20]$$

$$Pr = 1,2173 \cdot T^{-0,095} \quad [AVI.21]$$

$$Cp = 1 \cdot 10^{-6} \cdot T^2 - 0,0005 \cdot T + 1,0705 \quad [AVI.22]$$

$$\rho = 380,56 \cdot T^{-1,016} \quad [AVI.23]$$

$$B = \frac{1}{Tb} \quad [AVI.24]$$

$$Gr = \frac{L^3 \cdot \rho^2 \cdot g \cdot B \cdot \Delta T}{\mu^2} \quad [AVI.25]$$

$$Ra = Gr \cdot Pr \quad [AVI.26]$$

$$Nu = 0,27 \cdot Ra^{1/4} \quad [AVI.27]$$

$$T_f = 302,79 \text{ K}$$

$$K = 0,0255235 \frac{\text{W}}{\text{m K}}$$

$$\mu = 1,714\text{E-}05 \text{ (Pa.s)}$$

$$\text{Pr} = 0,7074384$$

$$\text{Cp} = 1,01018467 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$$

$$\rho = 1,147037 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Con el cálculo de Gr, Ra y Nu es posible obtener el coeficiente de convección externo de la Ecuación AVI.28:

$$Nu = \frac{h_{e2} \cdot L}{k} \quad [\text{AVI.28}]$$

$$\text{Gr} = 5,168\text{E+}10$$

$$\text{Ra} = 3,656\text{E+}10$$

$$\text{Nu} = 118,064$$

$$h_{e2} = 1,116085 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}}$$

Es necesario realizar iteraciones para hallar el valor verdadero de calor

$$A_2 = 5,4 \text{ m}^2$$

$$\text{RTC} = 0,457084 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

$$Q_2 = - 107,2 \text{ W}$$

Calor total:

$$Q = - 585,86 \text{ W}$$

ANEXO VII

CÁLCULO DEL TIEMPO DE SECADO PARA GRANO DE QUINUA Y PARA EL FIDEO

Cálculo del tiempo de secado para el grano de quinua:

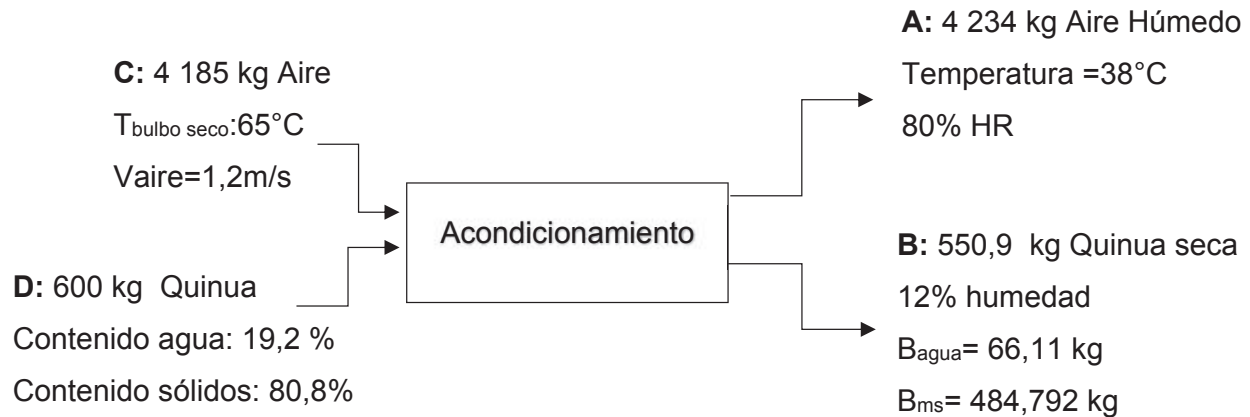


Figura AVII.1. Esquema del acondicionamiento del grano de quinua

Cálculo de la velocidad crítica de secado (R_c):

$$R_c = \frac{h \cdot (T - T_{bh})}{L_p} \quad [\text{AVII.1}]$$

Cálculo de coeficiente convectivo (h) para el flujo del aire:

$$h = 0,0204 \cdot G^{0,8} \quad [\text{AVII.2}]$$

Cálculo del flujo másico del aire (G):

$$G = v \cdot \rho \quad [\text{AVII.3}]$$

Cálculo de la densidad del aire caliente:

$$\rho = \frac{\text{masa aire caliente}}{\text{volumen específico}} = \frac{1+w}{ve} \quad [\text{AVII.4}]$$

$$\rho = 1,035 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$G = 1,24 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} = 4474,29 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{h}}$$

$$h = 16,99 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

Con las tablas de vapor a $T_{bh} = 31,29^{\circ}\text{C}$, el $L_p = 2\,427,52 \text{ kJ/kg} = 2\,427\,526,8 \text{ J/kg}$

Reemplazando los valores en la Ecuación AVII.1 R_c

$$R_c = 0,0002359 \frac{\text{kg agua}}{\text{m}^2 * \text{s}}$$

Cálculo de la humedad en la masa del grano de quinua:

$$X_c = \frac{H_c}{(1-H_c)} \quad [\text{AVII.5}]$$

$$X_c = 0,1765 \frac{\text{kg agua}}{\text{kg ss}}$$

$$X_i = 0,2376 \frac{\text{kg agua}}{\text{kg ss}}$$

$$X_f = 0,136363 \frac{\text{kg agua}}{\text{kg ss}}$$

Cálculo del tiempo de secado a velocidad constante (t_1):

$$t_1 = \frac{S}{A * R_c} * (X_i - X_f) \quad [\text{AVII.6}]$$

Reemplazando los datos en la Ecuación AVII.6, $t_1 = 1\,460,77 \text{ seg} = 0,4 \text{ horas}$

Cálculo del tiempo de secado a velocidad decreciente (t_2):

$$t_2 = \frac{S}{A * R_c} * \ln \frac{X_c}{X_f} \quad [\text{AVII.7}]$$

Reemplazando los datos en la Ecuación AVII.8, $t_2 = 3\,251 \text{ seg} = 0,9 \text{ horas}$

Cálculo del tiempo total de secado t_T :

$$t_T = t_1 + t_2 \quad [\text{AVII.8}]$$

$$t_T = 1,3 \text{ horas}$$

Cálculo del calor necesario para secar 600kg de grano de quinua:

$$Q = \frac{Q_{total}}{t_{total}} \quad [\text{AVII.9}]$$

$$Q = 69,4 \text{ kW}$$

Cálculo de la intensidad (I) de la resistencia a utilizar en el secador:

$$P = V * I$$

[AVII.10]

Donde:

P: potencia de consumo (W)

V: Tensión (V)

I: Intensidad (A)

$$I = \frac{P}{V} = \frac{69\,406,2\text{ W}}{220\text{ V}}$$

$$I = 315,48\text{ A}$$

Cálculo de la intensidad (R) de la resistencia a utilizar en el secador:

$$P = I^2 * R$$

[AVII.11]

P: potencia de consumo (W)

I: Intensidad (A)

R: resistencia (ohm)

$$R = \frac{P}{I^2} = \frac{69\,406,2}{315,48^2}$$

$$R = 0,697\text{ ohm}$$

Cálculo del tiempo de secado para el fideo de quinua:

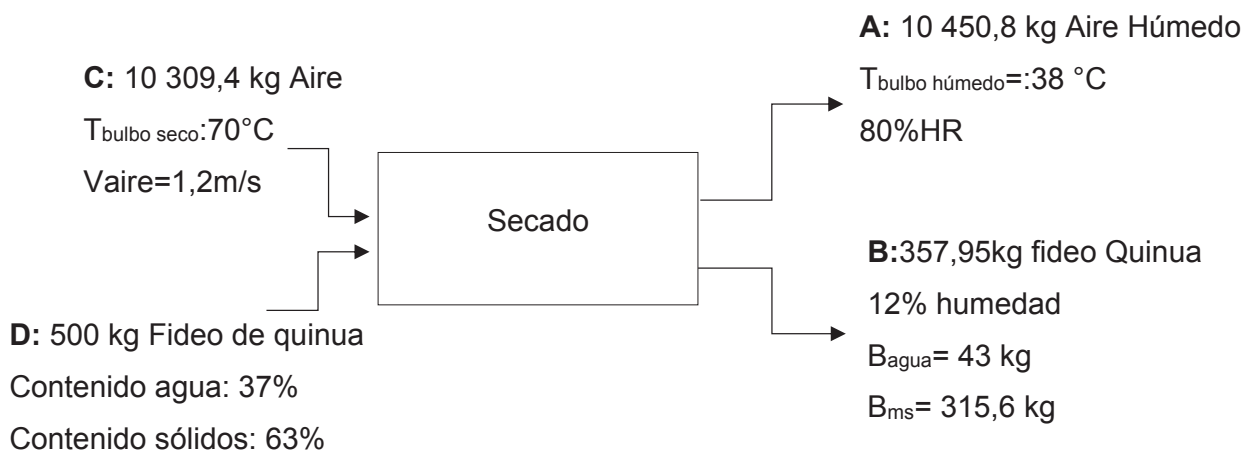


Figura AVII.2. Esquema del acondicionamiento del grano de quinua

El procedimiento de cálculo del tiempo de secado del fideo de quinua es similar al secado del grano de quinua. Con la Ecuación AVII.1, AVII.2, AVII.3, AVII.4 se obtiene los siguientes valores:

$$\rho = 0,0169$$

$$G = 1,22 \frac{kg}{m^2 * s} = 4392,93 \frac{kg}{m^2 * h}$$

$$h = 16,74 \frac{W}{m^2 K}$$

Con las tablas de vapor a $T_{bh} = 35,6^\circ C$, el $L_p = 2\,416,082 \frac{KJ}{Kg} = 2\,416\,082 \frac{J}{Kg}$

Reemplazando los valores en la Ecuación AVII.1, R_c es:

$$R_c = 0,0002383 \frac{Kg\ agua}{m^2 * s}$$

El cálculo de la humedad en la masa del fideo de quinua se obtiene a partir de la Ecuación AVII.5:

$$X_c = 0,389 \frac{kg\ agua}{kg\ ss}$$

$$X_i = 0,587 \frac{kg\ agua}{kg\ ss}$$

$$X_f = 0,136 \frac{kg\ agua}{kg\ ss}$$

Cálculo del tiempo de secado a velocidad constante (t_1):

Se calcula con la Ecuación AVII.6. Reemplazando los datos se obtiene que el tiempo de secado a velocidad constante es de 7 453,22 seg, igual a 2,06 horas

Cálculo del tiempo de secado a velocidad decreciente (t_2):

Se calcula con la Ecuación AVII.7. Reemplazando los datos en la Ecuación AVII. 7 se tiene:

$$t_2 = 6\,735,98 \text{ seg} = 1,87 \text{ horas}$$

Cálculo del tiempo total de secado:

A partir de la Ecuación AVII.8 se tiene:

$$t_T = 3,93 \text{ horas}$$

Debido al tiempo de secado obtenido de aproximadamente 4 horas, se concluye que es necesario la implementación de otro secador con las mismas características para cumplir con la producción programada por día.

Cálculo del calor necesario para secar 600 kg de fideo de quinua:

A partir de la Ecuación AVII.9 se tiene:

$$Q = 64,55 \text{ kW}$$

Cálculo de la intensidad (I) de la resistencia a utilizar en el secador a partir de la Ecuación AVII.10:

$$I = 293,41 \text{ A}$$

Cálculo de la intensidad (R) de la resistencia a utilizar en el secador a partir de la Ecuación AVII.11:

$$R = \frac{P}{I^2} = \frac{64\,550,62}{293,41^2}$$

$$R = 0,75 \text{ ohm}$$

ANEXO VIII

EJEMPLO DE CÁLCULO DE LA POTENCIA DE LAS BOMBAS

A continuación se presenta el cálculo realizado en la corriente 6 del diagrama P&ID. En este ejemplo el flujo de agua sale de la cisterna y es llevada a la lavadora de granos con la ayuda de una bomba centrífuga, que se puede observar en la Figura AVIII.1.

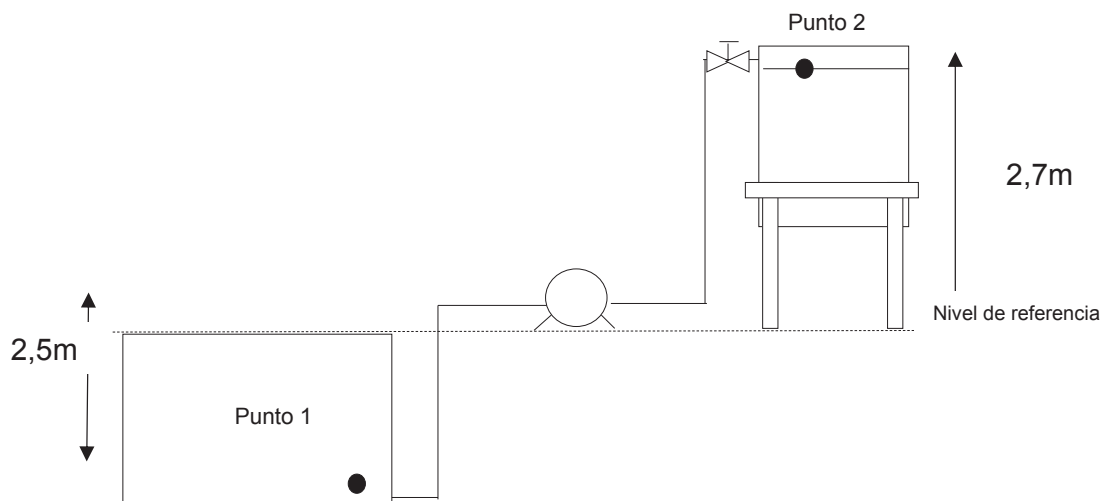


Figura AVIII.1. Diagrama de la circulación del agua desde la cisterna a la lavadora de granos.

Para el balance de energía en el sistema es necesaria la ecuación de Bernoulli:

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + H_B - f_{fr} - f_{acc} = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{v_2^2}{2g} \quad [\text{AVIII.1}]$$

Donde:

P: presión, [Pa]

γ : peso específico, [N/m³]

v: velocidad, [m/s]

z: altura, [m]

H_B: altura necesaria de la bomba, [m]

f_{fr} pérdida por fricción, [m]

f_{acc} pérdida por accesorios, [m]

La Ecuación AVIII.1 se puede simplificar en la Ecuación AVIII.2 debido a que se trabajará a presión atmosférica y se considera que la velocidad del fluido es la misma.

Altura de la bomba:

$$H_B = Z_2 + f_{fr} + f_{acc} - Z_1 \quad [\text{AVIII.2}]$$

Factores de fricción en tuberías y accesorios:

$$f_{fr} = f_D \frac{L v^2}{\phi 2g} \quad [\text{AVIII.3}]$$

$$f_{acc} = K_1 \frac{v^2}{2g} + K_2 \frac{v^2}{2g} + .. \quad [\text{AVIII.4}]$$

La Tabla AVIII.1 presenta los valores de los parámetros conocidos.

Tabla AVIII.1. Parámetros que intervienen en el cálculo de la potencia de la bomba

Característica	Símbolo	valor	unidades
Diámetro interno de la tubería	Di	0,0762	m
Área interna	A	0,00456	m ²
Densidad del fluido (agua)	P	1000	kg/ m ³
Viscosidad del fluido (agua)	μ	0,001	Pa s
Caudal	Q	0,007	m ³ /s
Velocidad	v	1,535	m/s
Rugosidad de la tubería	e	4,6*10 ⁻⁵	mm
Longitud de la tubería	L	13,3	m
Accesorios		cantidad	K
Codos 90°		4	0,75
Válvula (compuerta)		1	0,17

Inicialmente es necesario calcular si es flujo laminar o turbulento, para lo que se emplea el número de Reynolds de la Ecuación AVIII.5 (Geankopolis, 1998, p. 57)

$$R_e = \frac{D_i v \rho}{u} \quad [\text{AIV.5}]$$

Donde:

Re: número de Reynolds, (adimensional)

Di: diámetro interno de la tubería, (m)

v : velocidad del fluido, (m/s)

ρ : densidad del fluido, (kg/m³)

μ : viscosidad del fluido, (Pa*s)

Al reemplazar los valores en la Ecuación AVIII.5 se tiene que $Re = 116\,967$. Al ser $Re > 2\,300$, se trata de un fluido turbulento por lo que para el cálculo del factor de fricción es necesario utilizar el diagrama de Moody que representa el factor de fricción versus el número de Reynolds y la rugosidad relativa. La rugosidad relativa se calcula con la Ecuación AVIII.6 (Geankopolis, 1998, p. 102)

$$e_r = \frac{e}{D_i} \quad \text{[AVIII.6]}$$

Donde:

e_r : rugosidad relativa, (adimensional)

e : rugosidad, (m)

D_i : diámetro interno de tubería, (m)

$$e_r = 0,0006$$

Con la rugosidad relativa y el número de Reynolds se obtiene que el factor de fricción (f_D) es igual a 0,0042. Al reemplazar los valores en la Ecuación AVIII.3 y Ecuación AVIII.4 se tiene:

$$f_{fr} = 0,0881 \, m$$

$$f_{acc} = 0,381 \, m$$

Para el cálculo de la altura de la bomba se utiliza la Ecuación AVIII.2:

$$H_B = 5,669 \, m$$

Potencia teórica de la bomba:

$$P_{teórica} = H_B \times \rho \times g \times Q \quad \text{[AVIII.7]}$$

Para el cálculo de la potencia teórica de la bomba se emplea la Ecuación AVIII.7:

$$P_{teórica} = 0,522 \, Hp$$

La eficiencia de la bomba se conoce mediante un catálogo que presenta las curvas características. Con el caudal y la altura de la bomba se conoce la eficiencia, en la Figura AVIII.2 se muestra el ejemplo para este caso.

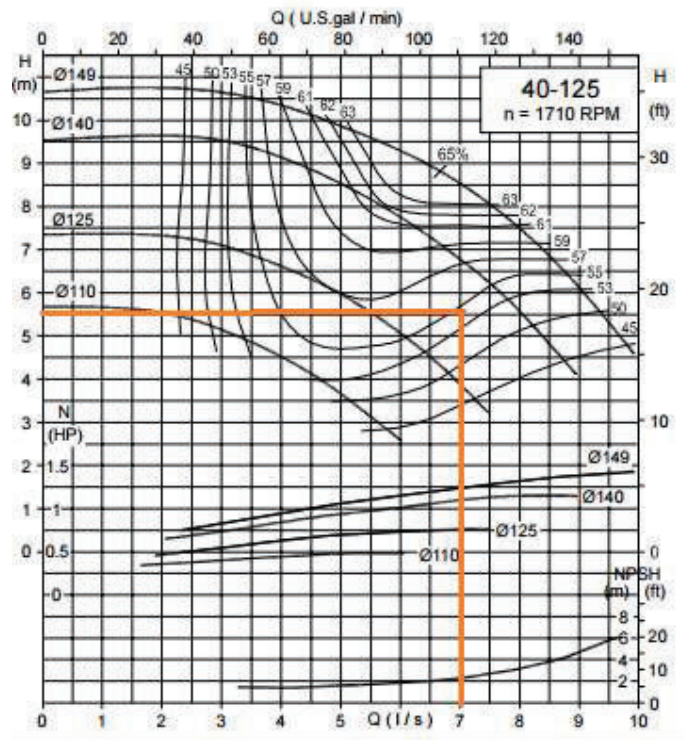


Figura AVIII.2. Eficiencia de la bomba (Hidrostal, 2012, p. 8)

Potencia real de la bomba:

$$P_{real} = \frac{P_{teórica}}{\% \text{ eficiencia}}$$

[AVIII.8]

La potencia real de la bomba viene dada por la ecuación AVIII.8. Si la eficiencia de la bomba es del 57%, se tiene que:

$$P_{real} = 0,931 \text{ HP}$$

Por lo tanto la potencia de la bomba es 1HP.

ANEXO IX


FICHAS TÉCNICAS DE EQUIPOS

FICHA DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS				
EQUIPO(Ref): Clasificadora			SIMBOLOGÍA: CL103-01	
FUNCIÓN: Permite limpiar el grano proveniente del campo.			No. UNIDADES: 1	
ESPECIFICACIONES OPERATIVAS: En la primera etapa de suciedad separa la suciedad y la materia extraña más pequeña (paja, tierra, terrones), en la segunda etapa se elimina la materia extraña grande y algunas otras impurezas. En la tercera etapa se somete el grano a una corriente de aire, con lo cual se expulsa la materia extraña más liviana como el polvo fino, paja fina y productos extraños como grano dañado. La separación del producto se hace por medio de mallas de acero intercambiables. Para la quinua se utilizará una malla #60.				
COMPONENTES: Manivela para regulación de presión de aire Compuerta de acceso para cambio de mallas Base para criba Dimensiones de la criba 0,6 x 0,8 m				
DIMENSIONAMIENTO				
PRODUCTIVIDAD	ANCHO	LARGO	ALTO	PESO
500 kg/h	1,2m	1,6m	1,8m	180kg
ELÉCTRICA:		POTENCIA REQUERIDA (HP)	TENSIÓN(V)	FRECUENCIA (HZ)
		2 HP	220/380/440V	50/60Hz
CONSUMO:		AGUA	VAPOR	AIRE COMPRIMIDO
		No	No	No
DIAGRAMA:				
				


(Vulcanotec, 2016)

FICHA DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS				
EQUIPO(Ref): Elevador de cangilones			SIMBOLOGÍA: EC104-01; EC104-02	
FUNCIÓN: Transporte de granos			No. UNIDADES: 2	
ESPECIFICACIONES OPERATIVAS: Posee una cinta motora accionada por una polea que la soporta e impulsa, sobre el cual van fijados un determinado número de cangilones. Los cangilones van unidos a la cinta o cadena por la parte posterior, mediante tornillos.				
COMPONENTES: Tablero de control de mando y arrancador con variador de velocidad que permite regular la alimentación Variador electrónico de velocidad Banda y chevrones sanitarios. Estructura en acero al carbono. Características de trabajo de la faja: Temperatura -10°C / 80°C.				
DIMENSIONAMIENTO				
PRODUCTIVIDAD	ANCHO	LARGO	ALTO	PESO
	0,5m	2,5m	2,5m	250kg
ELÉCTRICA:		POTENCIA REQUERIDA (HP)	TENSIÓN(V)	FRECUENCIA (HZ)
		1 HP	220/380/440V	50/60Hz
CONSUMO:		AGUA	VAPOR	AIRE COMPRIMIDO
		No	No	No
DIAGRAMA:				
				

(Vulcanotec, 2016)

FICHA DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS				
EQUIPO(Ref): Escarificador			SIMBOLOGÍA: FG105-01	
FUNCIÓN: Permite la eliminación del pericarpio de la quinua donde se acumula la mayor cantidad de saponinas.			No. UNIDADES: 1	
ESPECIFICACIONES OPERATIVAS: Es un tornillo sin fin dentro de un cilindro inmóvil. El polvillo es eliminado a través de succionadores de aire. La quinua se frota entre si, lo que permite la separación de la saponina de forma seca.				
COMPONENTES: Succionadores de aire Salida del producto terminado Escalerilla y andador de inspección				
DIMENSIONAMIENTO				
CAPACIDAD	ANCHO	LARGO	ALTO	PESO
500 kg/h	1,55m	1,9m	1,85 m	250kg
ELÉCTRICA:		POTENCIA REQUERIDA	TENSIÓN	FRECUENCIA (HZ)
		Motor: 12,5 HP	220/380/440v	50/60 Hz
CONSUMO: Motor del sistema neumático: 1.0HP (0.75KW), 220/380/440v, 50/60Hz, trifásico		AGUA	VAPOR	AIRE COMPRIMIDO
		No	No	No
DIAGRAMA:				
				

(Vulcanotec, 2016)

FICHA DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS				
EQUIPO(Ref): Lavadora de granos			SIMBOLOGÍA: TK106-01; TK106-02	
FUNCIÓN: Lavado de la quinua. Para la desprender la saponina, responsable del sabor amargo.			No. UNIDADES: 2	
ESPECIFICACIONES OPERATIVAS: Equipo diseñado para el lavado de quinua por medio centrífugo.				
COMPONENTES: Motor Bomba de agua				
DIMENSIONAMIENTO				
CAPACIDAD	ANCHO	LARGO	ALTO	PESO
160kg/batch. 8 min/ batch	1m	1,1m	2,7m	250 kg
ELÉCTRICA:		POTENCIA REQUERIDA	TENSIÓN(V)	FRECUENCIA (HZ)
		Motor:7,5HP	220/380/440v	60Hz
CONSUMO:		AGUA	VAPOR	AIRE COMPRIMIDO
		Si Bomba (1HP)	Si	No
DIAGRAMA:				
				

(Vulcanotec, 2016)


FICHA DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS				
EQUIPO(Ref): Molino de martillos			SIMBOLOGÍA: SR204-01	
FUNCIÓN: Molienda del grano para formar la harina			No. UNIDADES: 1	
ESPECIFICACIONES OPERATIVAS: Equipo para moler quinua. Cámara de triturado formado por un juego de martillos. Aspiradora incorporada que neumáticamente transporta el producto al ciclón principal. Ciclón principal con sistema de válvula de gozne que no requiere amarre de costal. Motor incorporado sobre una plataforma deslizante que no requiere desajuste de pernos para el cambio de velocidad de trabajo (poleafaja). Acabado sanitario				
COMPONENTES: Tamices de 0.6mm a 25mm 100 martillos de 3mm. de fácil intercambio. Polea mixta de doble velocidad				
DIMENSIONAMIENTO				
CAPACIDAD	ANCHO	LARGO	ALTO	PESO
450kg/hora	1,6m	4 m	2,8 m	320kg
ELÉCTRICA:		POTENCIA REQUERIDA	TENSIÓN(V)	FRECUENCIA (HZ)
		Motor: 40 HP	220/380/440 V	50/60 Hz
CONSUMO:		AGUA	VAPOR	AIRE COMPRIMIDO
		No	No	No
DIAGRAMA:				
				

(Vulcanotec, 2016)

FICHA DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS				
EQUIPO(Ref): Centrifugadora de granos			SIMBOLOGÍA: FF108-01; FF108-02	
FUNCIÓN: Permite separar el excedente de líquido adherido al producto por medio de fuerza centrífuga.			No. UNIDADES: 2	
ESPECIFICACIONES OPERATIVAS: Equipo diseñado para el lavado de quinua por medio centrífugo.				
COMPONENTES: Motor Bomba de agua				
DIMENSIONAMIENTO				
CAPACIDAD	ANCHO	LARGO	ALTO	PESO
120kg/batch. 6 min/ batch	1,61	1,32m	1,2m	350 kg
ELÉCTRICA:		POTENCIA REQUERIDA	TENSIÓN(V)	FRECUENCIA (HZ)
		Motor: 10 HP	220/380/440 V	50/ 60Hz
CONSUMO:		AGUA	VAPOR	AIRE COMPRIMIDO
		Si Bomba (1 HP)	SI	No
DIAGRAMA:				
				

FICHA DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS				
EQUIPO(Ref): Extrusor			SIMBOLOGÍA: EX206-01	
FUNCIÓN: Prensa para la formación de pasta corta			No. UNIDADES: 1	
ESPECIFICACIONES OPERATIVAS: Amasar todo tipo de masa de harina y sémola, combinable con máquinas automáticas de corte, máquinas para nidos de pasta, para raviolos y para cappellettis. Está especialmente indicada para todos los tipos de pasta corta y larga.				
COMPONENTES: <ul style="list-style-type: none"> • Cuba de amasado, para la producción de masas en continuo; ejes de las palas de acero inoxidable desmontables y extraíbles para facilitar la limpieza. • Cuchillo electrónico con posibilidad de regulación de la longitud del corte • Carro sobre ruedas • Estructura completamente realizada en acero inoxidable • Cuadro eléctrico de control que cumple las normas de seguridad • Cuadro de mandos para todas las funciones • Motorización externa independiente 				
DIMENSIONAMIENTO				
CAPACIDAD	ANCHO	LARGO	ALTO	PESO
300 kg/h	2m	3m	2,2m	1 800 kg
ELÉCTRICA:		POTENCIA REQUERIDA	TENSIÓN(V)	FRECUENCIA (HZ)
		26,82 HP	-	-
CONSUMO:		AGUA	VAPOR	AIRE COMPRIMIDO
		No	No	No
DIAGRAMA:				
				


(Industrias Robertone, 2016)


FICHA DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS				
EQUIPO(Ref): Empacadora de pesaje de una balanza			SIMBOLOGÍA: EM210-01	
FUNCIÓN: Máquina empacadora automática con sistema de pesaje de una balanza, para embolsado de productos granulados o sólidos			No. UNIDADES: 1	
ESPECIFICACIONES OPERATIVAS: Transporta el producto sin romperlo o estropearlo por medio de bandeja vibratoria desde la tolva hasta la balanza de pesaje. Sellado en dos lados, dos costuras verticales dentadas por mordazas de temperatura constante. Conforma las fundas a partir de rollos de polipropileno o laminados de diferente composición.				
COMPONENTES: Pesaje: 10-250 gramos Capacidad: 25-45 bolsas/ min Control: por medio de microprocesador con pantalla y teclado simplificado				
DIMENSIONAMIENTO				
CAPACIDAD	ANCHO	LARGO	ALTO	PESO
25-45 bolsas/ min	1,51m	1,32m	1,5m	1 180 kg
ELÉCTRICA:		POTENCIA REQUERIDA	TENSIÓN(V)	FRECUENCIA (HZ)
		5,36	280	60
CONSUMO:		AGUA	VAPOR	AIRE COMPRIMIDO
		No	No	Si. 0,6 m ³ /min
DIAGRAMA:				
				

FICHA DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS				
EQUIPO(Ref): Tolva con tornillo transportador pequeño			SIMBOLOGÍA: TV102-01; TV203-02; TV203-03; TV203-04	
FUNCIÓN: Recapta y transporta el material			No. UNIDADES: 4	
ESPECIFICACIONES OPERATIVAS: Transporta el material con un tornillo sin fin. La capacidad de la tolva es de 80kg				
COMPONENTES: Motor				
DIMENSIONAMIENTO				
CAPACIDAD	ANCHO	LARGO	ALTO	PESO
600kg/h	0,65m	0,65m	0,8 m	80kg
ELÉCTRICA:		POTENCIA REQUERIDA	TENSIÓN(V)	FRECUENCIA (HZ)
		0,75 kw	220v	60Hz
CONSUMO:		AGUA	VAPOR	AIRE COMPRIMIDO
		No	No	No
DIAGRAMA:				
				

FICHA DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS				
EQUIPO(Ref): Tolva con tornillo transportador grande			SIMBOLOGÍA: TG100-01; TG107-02; TG107-03; TG201-04; TG209-05	
FUNCIÓN: Recepta y transporta el material			No. UNIDADES: 5	
ESPECIFICACIONES OPERATIVAS: Transporta el material con un tornillo sin fin. La capacidad de la tolva es de 250 kg				
COMPONENTES: Motor				
DIMENSIONAMIENTO				
CAPACIDAD	ANCHO	LARGO	ALTO	PESO
3000 kg/h	0,8 m	0,8 m	1,6 m	300 kg
ELÉCTRICA:		POTENCIA REQUERIDA	TENSIÓN(V)	FRECUENCIA (HZ)
		1,5 kw	220v	60Hz
CONSUMO:		AGUA	VAPOR	AIRE COMPRIMIDO
		No	No	No
DIAGRAMA:				
				

FICHA DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS				
EQUIPO(Ref): Elevador de banda transportadora			SIMBOLOGÍA: EB109-01; EB207-02	
FUNCIÓN: Transporte de material			No. UNIDADES: 2	
ESPECIFICACIONES OPERATIVAS: Posee rodillos y correas que permiten el transporte del material de manera uniforme				
COMPONENTES: Velocidad: 183 m/ min				
DIMENSIONAMIENTO				
CAPACIDAD	ANCHO	LARGO	ALTO	PESO
-	0,7 m	1,85m	1,5m	455 kg
ELÉCTRICA:		POTENCIA REQUERIDA	TENSIÓN(V)	FRECUENCIA (HZ)
		1,34 HP	220v	60Hz
CONSUMO:		AGUA	VAPOR	AIRE COMPRIMIDO
		No	No	No
DIAGRAMA:				
				

FICHA DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS				
EQUIPO(Ref): Mezcladora			SIMBOLOGÍA: MZ205-01	
FUNCIÓN:			No. UNIDADES: 1	
ESPECIFICACIONES OPERATIVAS: Tanque de mezcla que transporta el material en la tolva hacia la parte superior del barril por el huso del tornillo y luego cae nuevamente al tanque para seguir mezclando circularmente con el fin de mezclar de manera uniforme.				
COMPONENTES: Motor con baja potencia y alta capacidad de mezcla para realizar una mezcla uniforme				
DIMENSIONAMIENTO				
CAPACIDAD	ANCHO	LARGO	ALTO	PESO
2000 kg/ batch	1,5m	1,3m	3m	450 kg
ELÉCTRICA:		POTENCIA REQUERIDA (HP)	TENSIÓN(V)	FRECUENCIA (HZ)
		7,38	220	60Hz
CONSUMO:		AGUA	VAPOR	AIRE COMPRIMIDO
		No	No	No
DIAGRAMA:				
				

FICHA DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS			
EQUIPO(Ref): Silo		SIMBOLOGÍA: SI101-01; SI202-02	
FUNCIÓN:		No. UNIDADES: 2	
ESPECIFICACIONES OPERATIVAS: Tanque de almacenamiento que permite la recepción del material en la parte superior y descarga por la parte inferior, los granos caen por gravedad			
COMPONENTES: Motor con baja potencia y alta capacidad de mezcla para realizar una mezcla uniforme			
DIMENSIONAMIENTO			
CAPACIDAD	DIAMETRO	ALTO	PESO
2500 kg	1,8	3,8m	305 kg
ELÉCTRICA:	POTENCIA REQUERIDA (HP)	TENSIÓN(V)	FRECUENCIA (HZ)
	-	220	60Hz
CONSUMO:	AGUA	VAPOR	AIRE COMPRIMIDO
	No	No	No
DIAGRAMA:			
			

ANEXO X

EVALUACIÓN ECONÓMICA

Tabla AX.1. Activos fijos

Descripción	Área (m2)	Valor Unitario (USD)	Valor Total (USD)
Terreno (50 m * 46 m)	2 300	8	18 400
Fábrica	504	200	100 800
Oficinas, laboratorio, lockers	118	500	59 000
Cerramiento (m)	192	120	23 040
Corredores y bodegas	48	250	12 000
Reservorio Agua (4*4*2,5 m3)	40	120	4 800
		TOTAL	218 040

Tabla AX.2. Costo de maquinaria

Nombre	Precio unitario	No. equipos	Valor (USD)
Clasificador	5 950	1	5 950
Escarificador	8 500	1	8 500
Elevador	1 500	2	3 000
Lavadora	11 000	2	22 000
Centrifuga	8 850	2	17 700
Molino	12 000	1	12 000
Estrusor	8 000	1	10 000
Secador	22 000	1	22 000
Acondicionador	22 000	1	22 000
Empacadora	17 000	1	17 000
Tolva 80	1 500	4	6 000
Tolvas 250	2 200	3	11 000
Estantes-Pallets	1 000	1	1 000
Silo	2 500	2	5 000
Mezcladora	2 500	1	2 500
Elev pequeño	1 000	2	2 000
Otros	2 000	1	2 000
		TOTAL	169 650

Tabla AX.3. Costo total de maquinaria e instalación

Descripción	Valor (USD)
Equipo de Producción (Importado y Nacional)	169 650
Equipo Auxiliar	1 000
Gastos de Instalación y Montaje	8 482,5
TOTAL	179 132,5

Tabla AX.4. Costo total de equipos y muebles de oficina

Descripción	unidades	costo unitario	costo total
Computador	2	700	1 400
Escritorios	2	300	600
Muebles	4	400	1 600
Anaqueles	5	300	1 500

Tabla AX.5. Costo de activos no corrientes

Descripción	Valor (USD)
1. Equipos y muebles de oficina	5 100
2. Talleres	4 241,25
3. Constitución de la sociedad	2 000
4. Repuestos y accesorios	4 241,25
5. Laboratorios	8 000
6. Intereses durante la construcción (15% anual)	32 706
7. Gastos de puesta en marcha	2 544,75
8. Suministros de Oficina (3 meses)	500
9. Vehículos (Distribución)	30 000
TOTAL	89 333,25

Tabla AX.6. Costo de producción

Descripción	Valor (USD)	%
Materiales directos (Anexo D-1)	3 419 306,4	63,9
Mano de obra directa (Anexo D-2)	82 110,0	1,5
Carga fabril (Anexo D-3)	1 207 106,9	22,5
a) Mano de obra indirecta	20 700,0	0,4
b) Materiales indirectos	450 871,2	8,4
c) Depreciación	30 722,7	0,6
e) Suministros	92 587,2	1,7
d) Reparación y mantenimiento	18 938,6	0,4
f) Seguros	18 938,6	0,4
g) Imprevistos	11 951,6	0,2
TOTAL	5 353 233,2	100,0
Unidades producidas kg	2 312 160,0	
Costo por unidad	2,32	

Tabla AX.7. Ventas netas anuales del producto terminado

PRODUCTO (S)	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total Anual
		(USD)	(USD)
Producto Terminado	2 312 160	2,66	6 150 346
		TOTAL	6 150 346

Tabla AX.8. Costo de materiales directos

Descripción	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total Anual
	(TM)	(USD)	(USD)
Quinoa	50	1 500	900 000
Albumina	5,10	40 000	2 449 920
Agua	19,27	300	69 386,4
		TOTAL	3 419 306,4

Tabla AX.9. Costo total de la carga fabril

Descripción	Nº	Valor	Total
		Mensual	Anual
A. MANO DE OBRA INDIRECTA			
Jefe de Planta		900	0
Guardian - portero	2	375	9 000
Conserje	1	375	4 500
Bodeguero	1	375	4 500
Secretaria Producción		600	0
		Subtotal	18 000
		Cargas sociales (15%)	2 700
		TOTAL	20 700
B. MATERIALES INDIRECTOS			
Descripción	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
Fundas PP 1 250g	2 312 160	0,005	138 729,6
Etiquetas	2 312 160	0,005	138 729,6
Cartón	57 804	0,25	173 412
		TOTAL	450 871,2
C. DEPRECIACIÓN			
Descripción	Vida Útil	Costo	Valor Anual
	(Años)	(USD)	(USD)
Construcciones	20	199 640	9 982
Maquinaria y equipo	10	170 650	17 065
Laboratorio	5	8 000	1 600
Repuestos y accesorios	5	4 241,25	848,3
Imprevistos de la inversión fija	10	9 730,12	973
Gastos de puesta en marcha	10	2 544,75	254,5
		TOTAL	30 722,7
D. SUMINISTROS			
Descripción	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
Energía eléctrica (Kw-h)	61 691	0,1	74 028,72

Combustible (galones)	1 000	1,3	15 600
Agua (m3)	62,05	0,75	558,45
Lubricantes (gal)	10	20	2 400
		TOTAL	92 587,17
E. REPARACIONES Y MANTENIMIENTO			
Descripción	%	Costo	Valor Total
Maquinaria y equipo	5	179 132,5	8 956,625
Edificios y Construcciones	5	199 640	9 982
		TOTAL	18 938,625
F. SEGUROS			
Descripción	%	Costo	Valor Total
Maquinaria y equipo	5	179 132,5	8 956,625
Edificios y Construcciones	5	199 640	9 982
		TOTAL	18 938,625
G. IMPREVISTOS DE LA CARGA FABRIL			
			Valor Total (USD)
	Aprox. 1% de todos los rubros anteriores		11 951,6
	TOTAL GENERAL		1 207 106,9

Tabla AX.10. Costo total de la mano de obra directa

Descripción	Número	Sueldo Mensual (USD)	Total Anual (USD)
Calificados	1	850	10 200
Semi-calificados	1	600	7 200
No calificados	12	375	54 000
		Subtotal	71 400
		Cargas sociales (15%)	10 710
		TOTAL	82 110

Tabla AX.11. Gastos de ventas totales

Personal	Nº	Sueldo Mensual (USD)	Total Anual (USD)
Jefe de Ventas	1	600	7 200
Bodeguero	1	375	4 500
Secretaria	1	375	4 500
Chofer	2	375	9 000
		Subtotal	25 200
		Cargas sociales (15%)	3 780
		Subtotal	28 980
GASTOS DE PROMOCIÓN			
Publicidad			10 000
Distribución			5 000

Subtotal	43 980
Imprevistos (5%)	2 199
TOTAL	46 179

Tabla AX.12. Gastos de administración y generales

PERSONAL	N°	Sueldo Mensual (USD)	Total Anual (USD)
Gerente	1	1 000	12 000
Contador	1	100	1 200
Jefe Compras	1	375	4 500
		Subtotal	17 700
		Cargas sociales (15%)	2 655
		Subtotal	20 355
Depreciación de muebles y equipo de oficina (10 años)			510
Gastos de oficina			1 200
Teléfonos			600
		Imprevistos (5%)	1 133,25
		TOTAL	23 798,25

Tabla AX.13. Gastos financieros

CONCEPTO	(USD)
Amortización de intereses durante la construcción (10 años)	3 270,6
Intereses del préstamo (20%)	320 937,7
	324 208,3

ANEXO XI

IDENTIFICACIÓN DE TUBERÍAS

1. Diámetro nominal: diámetro de la tubería en pulgadas
2. Tipo de material del cual está compuesta la tubería
3. Tipo de unión y presión nominal: detalla la unión entre los tramos de líneas a presión.
4. Fluido: identifica el fluido que circula el tramo
5. Número de área y línea: ubica a la línea y el área en que se encuentra.

Tabla AXI.1. Identificación de materiales para tuberías y accesorios

Abreviación	Tipo de material
T	Acero inoxidable

Tabla AXI.2. Identificación del tipo de unión

Abreviación	Tipo de unión
S1	Brida

Tabla AXI.3. Identificación de las áreas

Abreviación	Área
100	Área de desaponificación de quinua
200	Área de elaboración del fideo

Tabla AXI.4. Identificación de los fluidos

Abreviación	Fluido
AP	Agua potable
AC	Agua con saponina