



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

**“DISEÑO DE UN PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE ALMIDÓN A
PARTIR DE LA PAPA CHINA (*Colocasia esculenta*)”**

Trabajo de titulación

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar el grado académico de:

INGENIERO QUÍMICO

AUTOR: TOCAGÓN BONILLA ROBINSON DARÍO

TUTOR: ING. HANNÍBAL LORENZO BRITO MOÍNA PhD.

Riobamba – Ecuador

2018

©2018, Tocagón Bonilla Robinson Darío

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

El tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de titulación “Diseño de un proceso para la obtención de almidón a partir de la Papa China (*Colocasia esculenta*)”, de responsabilidad del Señor Tocagón Bonilla Robinson Darío, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros de Tesis, quedando autorizada su presentación.

| | FIRMA | FECHA |
|---|--------------|----------------------|
| Ing. Hanníbal Lorenzo Brito Moína PhD. DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN | _____ | _____16/08/2018_____ |
| Ing. Paola Fernanda Arguello Fernández Msc. MIEMBRO DEL TRIBUNAL | _____ | _____16/08/2018_____ |
| Ing. Hugo Segundo Calderón Msc. MIEMBRO DEL TRIBUNAL | _____ | _____16/08/2018_____ |

Yo, Tocagón Bonilla Robinson Darío, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de titulación y el patrimonio intelectual del mismo pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Tocagón Bonilla Robinson Darío
Cédula de identidad 100319684-5

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a mis familiares y amigos, en especial a mis padres, los cuales sin interés alguno y de forma incondicional, facilitaron mi superación académica, A mis amigos y profesores que con sus experiencias me han inculcado buenas costumbres, con ideales positivos.

Tocagón Bonilla Robinson Darío

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, extendiendo mi admiración y agradecimiento a Dios, por darme la vida, la sabiduría, la oportunidad y las fuerzas para superarme en el aspecto académico y personal, igualmente a mis padres que, con su esfuerzo y entrega, me han enseñado que lo profesional se constituye en parte fundamental del desarrollo humano.

Agradezco a esta prestigiosa institución y a sus docentes que han sabido impartirme sus conocimientos y experiencias educativas de forma desinteresada.

Tocagón Bonilla Robinson Darío

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

| | |
|------------------------------|---|
| <i>h</i> | Alto del filtro (m). |
| <i>H_T</i> | Altura de la tolva (m). |
| <i>E</i> | Altura del rodete (m). |
| <i>H</i> | Altura del tanque (m). |
| <i>A_{bn}</i> | Ancho banda normalizada (m). |
| <i>j</i> | Ancho de las paletas deflectoras (m). |
| <i>B_s</i> | Ancho del sedimentador (m). |
| <i>A_b</i> | Área banda transportadora (m ²) |
| <i>A_F</i> | Área del filtro (m ²). |
| <i>Q</i> | Calor desprendido en la etapa de secado (W). |
| <i>λ</i> | Calor latente de vaporización (cal/g) |
| <i>C_{PL}</i> | Calores específicos líquido (cal/°C) |
| <i>C_{ps}</i> | Calores específicos sólido (cal/°C) |
| <i>C_{pv}</i> | Calores específicos vapor (cal/°C) |
| <i>ṁ</i> | Capacidad del molino (Kg/h). |
| <i>Q</i> | Caudal del fluido (m ³ /s) |
| <i>Q_s</i> | Caudal que alimenta al sedimentador (m ³ /s). |
| <i>k</i> | Constante de los accesorios. |
| <i>ρ_T</i> | Densidad del tubérculo (Kg/l). |
| <i>D_{ma}</i> | Diámetro de la alimentación a la molienda (mm). |
| <i>D_{mp}</i> | Diámetro de la partícula después de la molienda (mm). |
| <i>∅</i> | Diámetro de la tubería(m) |
| <i>D_a</i> | Diámetro del rodete (m). |
| <i>D_t</i> | Diámetro del tanque (m). |
| <i>B₂</i> | Dimensión mayor de la tolva (m). |
| <i>B₁</i> | Dimensión menor de la tolva (m). |
| <i>f</i> | Factor de fricción de Fanning |
| <i>ṁ_s</i> | Flujo másico del material a secar (Kg/h). |
| <i>X_{AB}</i> | Fracción másica del contenido de materia seca en el almidón bruto. |
| <i>X_{LA}</i> | Fracción másica del contenido de materia seca en la corriente de alimentación |
| <i>X_{AB}</i> | Fracción másica del contenido de materia seca en la corriente de salida |

| | |
|-----------|---|
| X_{RE} | Fracción másica del contenido de materia seca en la corriente residual. |
| g | Gravedad (m/s^2) |
| L_s | Largo del sedimentador (m). |
| X_b | Longitud de la banda transportadora (m). |
| L | Longitud de la paleta (m). |
| m | Masa del tubérculo medida experimentalmente en el laboratorio (Kg). |
| hf | Pérdidas totales. |
| P_{RE} | Peso de la corriente residual de la sedimentación (Kg). |
| P_F | Peso de la fibra (Kg). |
| P_{HE} | Peso de la humedad extraída (Kg). |
| P_{LA} | Peso de la lechada de almidón (Kg). |
| P_{MPA} | Peso de la materia prima aceptada (Kg). |
| P_{MPC} | Peso de la materia prima cortada (Kg). |
| P_{MPB} | Peso de la materia prima en bruto (Kg). |
| P_{MPL} | Peso de la materia prima lavada, pelada y cortada (Kg). |
| P_{MPM} | Peso de la materia prima molida (Kg). |
| P_{MPP} | Peso de la materia prima pelada (Kg). |
| P_{MPR} | Peso de la materia prima rechazada (Kg). |
| P_C | Peso de las cortezas (Kg). |
| P_{RM} | Peso de los residuos del molino (Kg). |
| P_{AL} | Peso del agua de lavado (Kg). |
| P_{AR} | Peso del agua residual de lavado (Kg). |
| P_{AB} | Peso del almidón bruto (Kg). |
| P_{AR} | Peso del almidón refinado (Kg). |
| P_{RL} | Peso del residuo del lavado (Kg). |
| P | Potencia consumida en la molienda (W). |
| H_s | Profundidad del sedimentador (m). |
| r | Radio del filtro (m). |
| R_{mp} | Rendimiento de la materia prima (%). |
| q_t | Requerimiento de calor para el secado |
| T_{sa} | Temperatura de la alimentación ($^{\circ}C$). |
| T_v | Temperatura de vaporización ($^{\circ}C$). |
| T_{hb} | Temperatura del aire en la alimentación ($^{\circ}C$) |
| T_{ha} | Temperatura del aire en la alimentación y salida ($^{\circ}C$). |
| T_{sb} | Temperatura final de los sólidos ($^{\circ}C$). |

| | |
|--------------|---|
| T_{va} | Temperatura final del vapor ($^{\circ}\text{C}$). |
| τ | Tiempo de residencia (s). |
| W | Trabajo generado por el molino (W). |
| ΔE_c | Variación de la energía cinética (W). |
| ΔE_p | Variación de la energía potencial (W). |
| ΔH_a | Variación de la entalpía del almidón (W). |
| v_s | Velocidad del fluido (m/s) |
| \dot{m}_g | Velocidad másica del gas seco (Kg/h) |
| μ | Viscosidad del fluido (kg/ms) |
| V_{mp} | Volumen de la materia prima (m^3). |
| V_{al} | Volumen del agua de lavado (m^3). |
| V_s | Volumen del sedimentador (m^3). |
| V_{tl} | Volumen del tanque de lavado (m^3). |
| V | Volumen del tubérculo medida experimentalmente en el laboratorio (L). |

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|--|-----|
| RESUMEN..... | xx |
| SUMMARY | xxi |
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| CAPITULO I | |
| 1. DIAGNOSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA | 2 |
| 1.1 Identificación del problema..... | 2 |
| 1.2. Justificación del Proyecto | 2 |
| 1.3. Línea Base del proyecto..... | 3 |
| 1.3.1. Antecedentes de la producción de almidón de papa china..... | 3 |
| 1.3.2. Marco conceptual..... | 4 |
| 1.4. Beneficiarios Directos e Indirectos | 41 |
| 1.4.1. Beneficiarios Directos..... | 41 |
| 1.4.2. Beneficiarios Indirectos | 41 |
| CAPITULO II | |
| 2. OBJETIVOS DEL PROYECTO..... | 42 |
| 2.1. Objetivo General | 42 |
| 2.2. Objetivos Específicos..... | 42 |
| CAPITULO III | |
| 3. ESTUDIO TÉCNICO | 43 |
| 3.1 Estudio de mercado | 43 |
| 3.1.1. Descripción de producto | 43 |
| 3.1.2. Análisis de la demanda..... | 44 |
| 3.1.3. Análisis de la oferta de almidón..... | 47 |
| 3.1.4. Precio | 49 |
| 3.1.5. Canales de Distribución | 49 |
| 3.1.6. Capacidad de producción | 49 |
| 3.2. Localización del proyecto | 50 |
| 3.3. Ingeniería del proyecto..... | 50 |
| 3.3.1. Descripción de las condiciones iniciales..... | 50 |
| 3.3.2. Métodos y técnicas..... | 50 |

| | |
|--|-----|
| 3.3.3. Parte experimental..... | 65 |
| 3.3.4. Datos experimentales | 69 |
| 3.4. Cálculos..... | 79 |
| 3.4.1. Balance de materia en la producción de almidón a nivel de laboratorio..... | 79 |
| 3.3.2. Diseño de ingeniería para la obtención de almidón de papa china a escala industrial | 92 |
| 3.5. Resultados. | 123 |
| 3.5.1. Resultados del dimensionamiento de los equipos..... | 123 |
| 3.6. Requerimiento de equipos y maquinaria..... | 126 |
| 3.6.1. Equipos para la producción de almidón de papa china. | 126 |
| 3.6.2. Equipos para controlar la calidad en la producción de almidón..... | 126 |
| 3.7. Análisis de costo/ beneficio del proyecto..... | 127 |
| 3.7.1. Presupuesto de los equipos..... | 127 |
| 3.7.2. Presupuesto de materia prima | 128 |
| 3.7.3. Presupuesto de análisis de laboratorio | 128 |
| 3.7.4. Presupuesto de la mano de obra | 128 |
| 3.7.5. Presupuesto de gastos operativos | 128 |
| 3.7.6. Presupuesto para la elaboración de papa china | 129 |
| 3.8. Descripción del proceso | 130 |
| 3.8.1 Diagrama del proceso de producción de almidón | 130 |
| 3.9. Diseño y distribución de la Planta..... | 134 |
| 3.9.1. Administración..... | 136 |
| 3.9.2. Área productiva..... | 136 |
| 3.10. Cronograma de ejecución del proyecto..... | 137 |
| CONCLUSIONES | 139 |
| RECOMENDACIONES | 140 |
| BIBLIOGRAFÍA | |
| ANEXOS | |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla N° 1- 1: Composición química de varios tubérculos en 100 g..... | 4 |
| Tabla N° 1- 2: Valor nutricional/Macronutrientes..... | 6 |
| Tabla N° 1- 3: Valor nutricional/Micronutrientes..... | 7 |
| Tabla N° 1- 4: Valor nutricional/Antioxidantes..... | 7 |
| Tabla N° 1- 5: Aplicaciones industriales del almidón. | 12 |
| Tabla N° 1- 6: Criterios para la selección del tipo de molienda | 15 |
| Tabla N° 1- 7: Tipos de filtrado en función al mecanismo de filtración..... | 16 |
| Tabla N° 1- 8: Criterios de selección para los diferentes tipos de filtrado..... | 16 |
| Tabla N° 1- 9: Tipos de proceso de filtrado..... | 17 |
| Tabla N° 1- 10: Tipo de extracción..... | 17 |
| Tabla N° 1-11: Principales tipos de secado en base al medio que suministra el calor al sólido. | 18 |
| Tabla N° 1- 12: Tipos de secadores adiabáticos. | 19 |
| Tabla N° 1- 13: Criterios para la selección del tipo de molienda. | 20 |
| Tabla N° 1- 14: Criterios para la selección del tipo de fuerza en la primera molienda. | 20 |
| Tabla N° 1- 15: Criterios para la selección del tipo de molino a aplicar. | 21 |
| Tabla N° 1- 16: Criterios de diseño para molinos..... | 21 |
| Tabla N° 1- 17: Tipos de operación de los molinos..... | 22 |
| | |
| Tabla N° 3 - 1: Empresas importadoras de almidón | 44 |
| Tabla N° 3 - 2: Cálculo de la demanda | 44 |
| Tabla N° 3 - 3: Cálculo de la demanda | 46 |
| Tabla N° 3 - 4: Cálculo de la oferta | 47 |
| Tabla N° 3 - 5: Proyección de la oferta..... | 48 |
| Tabla N° 3 - 6: Condiciones Meteorológicas del Cantón Riobamba..... | 50 |
| Tabla N° 3 - 7: Técnica para la determinación del tamaño y requisitos sensoriales..... | 52 |
| Tabla N° 3 - 8: Técnica para la determinación del contenido de humedad. | 53 |
| Tabla N° 3 - 9: Técnica para la determinación del contenido de materia grasa..... | 54 |
| Tabla N° 3 - 10: Técnica para la determinación del contenido de cenizas. | 55 |
| Tabla N° 3 - 11: Técnica para la determinación del contenido de fibra cruda..... | 56 |
| Tabla N° 3 - 12: Técnica para la determinación del contenido de nitrógeno (Proteína Cruda) .. | 57 |
| Tabla N° 3 - 13: Técnica para la determinación de la distribución del tamaño del gránulo | 58 |
| Tabla N° 3 - 14: Técnica para la determinación del contenido de materia seca. | 59 |

| | |
|--|-----|
| Tabla N° 3 - 15: Técnica para la determinación del contenido de pulpa. | 60 |
| Tabla N° 3 - 16: Técnica para la determinación de la densidad aparente | 61 |
| Tabla N° 3 - 17: Técnica para la determinación de la viscosidad Brookfield..... | 61 |
| Tabla N° 3 - 18: Técnica para la determinación de la temperatura de gelatinización..... | 62 |
| Tabla N° 3 - 19: Técnica para la determinación de la claridad de la pasta | 63 |
| Tabla N° 3 - 20: Técnica para la determinación del pH..... | 64 |
| Tabla N° 3 - 21: Técnica para la determinación de la actividad de agua. | 64 |
| Tabla N° 3 - 22: Clasificación de acuerdo al tamaño de la papa. | 69 |
| Tabla N° 3 - 23: Cumplimiento de requisitos según la norma NTE INEN 1516: 2012C..... | 70 |
| Tabla N° 3 - 24: Resultados de la composición proximal del tubérculo de papa china..... | 70 |
| Tabla N° 3 - 25: Resultados de la valoración de las curvas de secado del almidón. | 70 |
| Tabla N° 3 - 26: Ecuaciones que rigen la cinética de secado..... | 74 |
| Tabla N° 3 - 27: Determinación del tiempo de secado a partir de las curvas de secado..... | 74 |
| Tabla N° 3 - 28: Estadística descriptiva de los resultados de la valoración del tiempo de secado por medio de las curvas de secado. | 75 |
| Tabla N° 3 - 29: Resultados de los parámetros físico – químicos del almidón de papa china.... | 76 |
| Tabla N° 3 - 30: Comparación cualitativa de parámetros de almidones. | 76 |
| Tabla N° 3 - 31: Parámetros de calidad para la selección de la materia prima. | 77 |
| Tabla N° 3 - 32: Variables de proceso para la obtención de almidón..... | 78 |
| Tabla N° 3 - 33: Parámetros de calidad del producto. | 78 |
| Tabla N° 3 - 34: Separación de las operaciones para el balance de materia. | 79 |
| Tabla N° 3 - 35: Resumen del balance de materia de la simulación a escala de laboratorio para la validación del proceso propuesto de extracción de almidón a partir de la papa china..... | 91 |
| Tabla N° 3 - 36: Resumen del balance de materia a nivel industrial. | 98 |
| Tabla N° 3 - 37: Anchos normalizados del CEMA | 102 |
| Tabla N° 3 - 38: Diámetro de rodillos en función del ancho de banda. | 104 |
| Tabla N° 3 - 39: Características de los rodillos ROTRANS..... | 104 |
| Tabla N° 3 - 40: Datos para el cálculo de la masa de la banda transportadora..... | 105 |
| Tabla N° 3 - 41: Coeficiente de fricción en rodillos | 105 |
| Tabla N° 3 - 42: Coeficiente de fricción en accesorios..... | 112 |
| Tabla N° 3 - 43: Especificaciones para el diseño del tonillo transportador. | 113 |
| Tabla N° 3 - 44: Datos para el dimensionamiento del equipo de filtrado..... | 115 |
| Tabla N° 3 - 45: Resultado del dimensionamiento de los equipos. | 123 |
| Tabla N° 3 - 46: Resultado del tipo de operación de la planta..... | 125 |
| Tabla N° 3 - 47: Equipos para la extracción de almidón. | 126 |
| Tabla N° 3 - 48: Equipos para controlar la calidad del almidón..... | 126 |

| | |
|---|-----|
| Tabla N° 3 - 49: Presupuesto de equipos. | 127 |
| Tabla N° 3 - 50: Presupuesto de materia prima. | 128 |
| Tabla N° 3 - 51: Presupuesto de análisis de laboratorio..... | 128 |
| Tabla N° 3 - 52: Presupuesto de mano de obra..... | 128 |
| Tabla N° 3 - 53: Presupuesto de los gastos administrativos. | 128 |
| Tabla N° 3 - 54: Presupuesto de los gastos generados para la producción de almidón | 129 |
| Tabla N° 3 - 55: Costo de producción de la tasa hora de almidón..... | 129 |
| Tabla N° 3 - 56: Descripción del proceso de producción. | 131 |

ÍNDICE DE ECUACIONES

| | |
|--|----|
| Ecuación 1-1: Cálculo de la densidad de la papa china | 22 |
| Ecuación 2-1: Balance de materia en la operación de selección de la materia prima | 23 |
| Ecuación 3-1: Cálculo de rendimiento | 23 |
| Ecuación 4-1: Balance de masa en la operación de limpieza..... | 23 |
| Ecuación 5-1: Balance de materia en la operación de pelado | 23 |
| Ecuación 6-1: Balance de materia en la operación de cortado..... | 24 |
| Ecuación 7-1: Balance de materia en la operación de molienda..... | 24 |
| Ecuación 8-1: Balance de materia en la operación de filtración | 24 |
| Ecuación 9-1: Balance de materia en la operación de sedimentación del almidón..... | 24 |
| Ecuación 10-1: Balance de la materia seca..... | 25 |
| Ecuación 11-1: Balance de materia en el secado | 25 |
| Ecuación 12-1: Balance de la materia seca en el secado | 25 |
| Ecuación 13-1: Balance de materia general en la molienda | 25 |
| Ecuación 14-1: Cálculo del rendimiento..... | 26 |
| Ecuación 15-1: Balance de Energía. | 26 |
| Ecuación 16-1: Cálculo de la carga térmica requerida para la operación de secado..... | 26 |
| Ecuación 17-1: Cálculo del requerimiento de calor para el secado | 27 |
| Ecuación 18-1: Cálculo del volumen de la tolva | 27 |
| Ecuación 19-1: Cálculo de la las dimensiones de la tolva | 27 |
| Ecuación 20-1: Cálculo del área del tubérculo a transportar. | 28 |
| Ecuación 21-1: Calculó de la longitud de banda..... | 28 |
| Ecuación 22-1: Cálculo de la tensión necesaria para mover la banda. | 28 |
| Ecuación 23-1: Cálculo de la tensión necesaria para vencer la resistencia al movimiento de la carga | 28 |
| Ecuación 24-1: Cálculo de la tensión efectiva | 29 |
| Ecuación 25-1: Cálculo de la potencia de accionamiento de la banda transportadora..... | 29 |
| Ecuación 26-1: Cálculo del volumen del tanque de lavado | 29 |
| Ecuación 27-1: Cálculo del volumen de la materia prima | 29 |
| Ecuación 28-1: Cálculo de las dimensiones de un tanque de geometría cilíndrica..... | 30 |
| Ecuación 29-1: Cálculo del diámetro del rodete | 30 |
| Ecuación 30-1: Cálculo de la altura del rodete respecto al fondo del tanque | 30 |
| Ecuación 31-1: Cálculo de la longitud del brazo. | 30 |

| | |
|--|----|
| Ecuación 32-1: Cálculo del ancho para las paletas | 30 |
| Ecuación 33-1: Cálculo de la longitud para las paletas..... | 30 |
| Ecuación 34-1: Cálculo del ancho para las placas deflectoras..... | 31 |
| Ecuación 35-1: Cálculo de la velocidad promedio del flujo | 31 |
| Ecuación 36-1: Cálculo del Número de Reynolds. | 32 |
| Ecuación 37-1: Cálculo de rugosidad relativa. | 33 |
| Ecuación 38-1: Cálculo de las perdidas por fricción. | 33 |
| Ecuación 39-1: Cálculo de las perdidas por accesorios o perdidas secundarias. | 33 |
| Ecuación 40-1: Cálculo de las pérdidas totales..... | 33 |
| Ecuación 41-1: Ecuación de Bernoulli..... | 34 |
| Ecuación 42-1: Cálculo de la potencia de la bomba | 34 |
| Ecuación 43-1: Cálculo de la capacidad equivalente..... | 34 |
| Ecuación 44-1: Cálculo de las revoluciones por minuto..... | 35 |
| Ecuación 45-1: Cálculo de la potencia requerida para el trabajo en vacío. | 35 |
| Ecuación 46-1: Cálculo de la potencia requerida para mover la carga. | 35 |
| Ecuación 47-1: Cálculo de la potencia total requerida por el tornillo sinfín..... | 35 |
| Ecuación 48-1: Cálculo de la capacidad máxima de filtración. | 36 |
| Ecuación 49-1: Cálculo del área de filtrado..... | 36 |
| Ecuación 50-1: Cálculo del radio del filtro..... | 36 |
| Ecuación 51-1: Cálculo de la altura del filtro. | 36 |
| Ecuación 52-1: Cálculo del alto del cono. | 36 |
| Ecuación 53-1: Cálculo del caudal que alimenta al sedimentador..... | 37 |
| Ecuación 54-1: Cálculo del largo del sedimentador. | 37 |
| Ecuación 55-1: Cálculo de las unidades de transferencia de calor | 38 |
| Ecuación 56-1: Determinación de la tasa de remoción de agua | 38 |
| Ecuación 57-1: Cálculo del área de la alimentación del secador | 39 |
| Ecuación 58-1: Geométrica para la determinación del área de una circunferencia. | 39 |
| Ecuación 59-1: Cálculo de la longitud del secador rotatorio. | 39 |
| Ecuación 60-1: Cálculo de la potencia consumida en la reducción del tamaño (molienda). | 40 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|-----|
| Figura N° 1- 1: Enrollamiento helicoidal de la amilosa..... | 8 |
| Figura N° 1- 2: Mecanismos de retrogradación del almidón..... | 10 |
| Figura N° 3 - 1: Molino rotatorio..... | 40 |
| Figura N° 3 - 2: Ubicación de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo..... | 50 |
| Figura N° 3 - 3: Papa china..... | 66 |
| Figura N° 3 - 4: Limpieza y pelado de papa china..... | 66 |
| Figura N° 3 - 5: Cortado de papa china..... | 67 |
| Figura N° 3 - 6: Masa de fibra de papa china..... | 67 |
| Figura N° 3 - 7: Separación física..... | 68 |
| Figura N° 3 - 8: Secado..... | 68 |
| Figura N° 3 - 9: Molienda del almidón bruto de papa china..... | 69 |
| Figura N° 3 - 10: Curva de secado de las 7 muestras. Ensayo 1..... | 72 |
| Figura N° 3 - 11: Curva de secado de las 7 muestras. Ensayo 2..... | 73 |
| Figura N° 3 - 12: Diagrama de bloques del proceso de obtención a nivel de laboratorio..... | 90 |
| Figura N° 3 - 13: Diagrama de bloques del proceso de obtención a nivel industrial..... | 99 |
| Figura N° 3 - 14: Tanque sedimentador..... | 118 |
| Figura N° 3 - 15: Esquema del secador giratorio..... | 122 |
| Figura N° 3 - 16: Diagrama para el corte de la materia prima..... | 131 |
| Figura N° 3 - 17: Diagrama de flujo del proceso de obtención de almidón..... | 134 |
| Figura N° 3 - 18: Distribución de la planta Layout..... | 135 |

ÍNDICE DE GRÁFICOS

| | |
|--|----|
| Gráfico N° 3 - 1: Esquema de secado por acción de lluvia en un secador rotatorio..... | 38 |
| Gráfico N° 3 - 2: Demanda mensual del almidón | 45 |
| Gráfico N° 3 - 3: Demanda anual del almidón..... | 45 |
| Gráfico N° 3 - 4: Demanda anual de papa china..... | 46 |
| Gráfico N° 3 - 5: Oferta del almidón | 48 |

ÍNDICE DE ANEXOS

| | |
|----------------|---|
| ANEXO A | Características físicas de la papa china (<i>Colocasia esculenta</i>) |
| ANEXO B | Determinación del contenido de humedad. |
| ANEXO C | Determinación del contenido de materia grasa. |
| ANEXO D | Determinación de la distribución del tamaño del gránulo. |
| ANEXO E | Determinación del contenido de materia seca. |
| ANEXO F | Determinación del contenido de pulpa. |
| ANEXO G | Determinación de la densidad aparente. |
| ANEXO H | Determinación de la viscosidad Brookfield. |
| ANEXO I | Determinación de la temperatura de gelatinización. |
| ANEXO J | Determinación de la claridad de la pasta. |
| ANEXO K | Determinación de la actividad de agua. |
| ANEXO L | Determinación del contenido de humedad. |
| ANEXO M | Diagrama de Moody. |
| ANEXO N | Coefficiente de resistencia. |
| ANEXO Ñ | Diagrama del Numero de Potencia |
| ANEXO O | Proforma materiales de laboratorio. |
| ANEXO P | Análisis proximal de la papa china. |
| ANEXO Q | Cotización equipos para la extracción de almidón. |
| ANEXO R | Hortalizas Frescas. Papas. Requisitos |
| ANEXO S | Comparación cualitativa de parámetros de almidones. |
| ANEXO T | Requerimientos fisicoquímicos del almidón de yuca. |
| ANEXO U | Dimensiones de la tolva y el sedimentador. |
| ANEXO V | Dimensiones del tanque de agitación. |
| ANEXO W | Dimensiones del equipo de filtrado. |
| ANEXO X | Dimensiones de la licuadora industrial. |
| ANEXO Y | Dimensiones del molino de discos. |
| ANEXO Z | Línea de producción. |

RESUMEN

El presente trabajo tuvo por objetivo diseñar un proceso para la obtención de almidón a partir de la papa china (*Colocasia esculenta*)” proveniente de la amazonia ecuatoriana para resolver problemas de dependencia de importaciones de almidón y escasa o nula industrialización de la materia prima generando ingresos extras y disminuyendo perdidas de materia prima, para lo cual se procedió a realizar un análisis físico y químico de la materia, resultados con los cuales se parte a establecer las condiciones iniciales de diseño y con base en fundamentación teórica se genera un circuito de posibles procesos para la obtención de almidón siendo el idóneo: recepción, clasificación, lavado, pelado, cortado, licuado, filtrado, decantado, secado y molido en los que se establecen los parámetros de control: cortado de la materia prima con un diámetro menor a 12 mm; molienda húmeda con un rango de tamaño de partícula de 0,177 a 0,210 mm; la operación de filtrado debe realizarse en un tamiz # 80; tiempo de decantación de 15 minutos, temperatura de secado máximo 70 °C; humedad del almidón refinado 13% y la finura del almidón refinado de 0,149 mm. Posterior a la obtención de almidón realizamos el análisis físico- químico y organolépticas del almidón de papa china (*Colocasia esculenta*) para determinar sus características de donde los resultados obtenidos indican que es apto para uso industrial y alimenticio. En lo referente al proceso se tiene un rendimiento del 12,90 % en conversión de materia prima a producto y un 19 % de rendimiento económico traducido a que por cada dólar invertido se obtendrá una ganancia de 0,19 dólares. En base a estos datos podemos decir que este diseño es viable para su implementación y generara ingresos no solo para el dueño de la empresa sino también para los agricultores dedicados al cultivo de este tubérculo.

PALABRAS CLAVE: < INGENIERIA Y TECNOLOGIA QUIMICA>, <TECNOLOGIA DE PROCESOS INDUSTRIALES>, <PAPA CHINA (*Colocasia esculenta*) ><, DISEÑO DE PROCESO>, < ALMIDÓN>, < RENDIMIENTO DEL PROCESO>, < TRANSFORMACION DE MATERIA>, < INDUSTRIA ALIMENTICIA>, < ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO>

SUMMARY

An extraction process of starch from taro (*Colocasia esculenta*) cultivated in the Amazon Region of Ecuador was designed to increase starch import and to reinforce industrialization of this raw material, which is scarce or non-existent, resulting in additional revenues and diminishing the waste of raw material. Of the material physicochemical analysis results, the initial design conditions was established. Having reviewed literature, several methods were posed, yet the best one was as follows: storage, classification, cleaning, peeling, chopping, blending, filtering, decanting, drying and milling. Besides, the control parameters were established. The tuber was chopped into small pieces (down to 12 mm in diameter). The particle size ranged from 0.177 to 0.210 mm in the wet-milling process. Fiber was passed through a mesh size 80. Slurry was decanted for 15 minutes, and then it was dried at 70 ° C. The refined starch moisture content was determined as 13%, and refined starch fineness was 0.149 mm. A physicochemical and organoleptic analysis of the taro (*Colocasia esculenta*) starch was carried out after the extraction process. The results showed that in addition food use, taro has industrial applications. The was 19%, that is, \$ 0.19 in profits were generated for each invested dollar. Thus, it can be concluded that the implementation of this process is feasible, and it will generate profits for the owner of the enterprise and the farmers that cultivate this tuber.

KEYWORDS: <CHEMICAL TECHNOLOGY AND ENGINEERING >, <INDUSTRIAL PROCESS TECHNOLOGY>, <TARO (*Colocasia esculenta*)>, < PROCESS DESIGN>, <STARCH>, < STARCH YIELD>, <MATTER TRANSFORMATION>, < FOOD INDUSTRY>, <PHYSICOCHEMICAL ANALYSIS>

INTRODUCCIÓN

La papa china (*Colocasia esculenta*) es un tubérculo producido en la región amazonia del país, de alto valor nutritivo, fácil de cultivar, resistente al ataque de plagas, fácil de almacenar, por lo que el cultivo de este tubérculo es beneficioso desde el punto de vista económico y comercial. (Ekanem, y otros, 2006). Los tubérculos son reconocidos como una fuente barata de carbohidratos en relación a los cereales. Poseen un buen contenido de almidón rápidamente digerible debido a su pequeño tamaño. (Onwueme, 1978)

A pesar de las características de la papa china este no ha sido industrializado de manera integral hasta el momento, por lo que nace el proyecto diseño de un proceso para la obtención de almidón a partir de la papa china (*Colocasia esculenta*)”, que tiene como finalidad generar un producto de calidad que se utilizara como materia prima o insumo en la industria alimenticia y no alimenticia.

Para el desarrollo del proyecto partiremos de la investigación de los aspectos más importantes de la materia prima, el proceso de obtención de almidón y las características que debe cumplir el almidón. Una vez recopilada la información procedemos a la constatación de dicha información mediante ensayos fisicoquímicos y sensoriales de la papa china y del almidón. En lo referente al proceso de transformación se emplea una serie de operaciones unitarias para la extracción de la sustancia a través de determinados procesos desde la recepción hasta el empaçado, pasando por moliendas, secado, extracción, sedimentación y transporte.

El proyecto surge para dar un valor agregado a la papa china mediante su industrialización favoreciendo de esta manera al sector industrial y agrícola del sector. Dotando a la industria alimenticia, papelera, textil y de adhesivos de un producto de calidad y a su vez al sector agrícola de la zona que se dedica al cultivo de la papa china generando empleo y por lo tanto ingresos económicos para el sector.

CAPITULO I

1. DIAGNOSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.1 Identificación del problema

La papa china (*Colocasia esculenta*) es un tubérculo producido en la región amazonia del país, el cual es utilizado únicamente de manera directa en la preparación de los alimentos, sin aprovechar los derivados que se pueden obtener de la materia prima. La no explotación del potencial de la papa china (*Colocasia esculenta*) conlleva a la minimización de los réditos económicos generados por su producción agrícola, productos con baja calidad, presentando además un tiempo de vida útil muy bajo y la subsecuente inexistencia de subproductos que puedan ser requeridos por consumidores de mercados más exclusivos.

De acuerdo a los estudios realizados por (Ferreira, y otros, 1990), la papa china (*Colocasia esculenta*), por su composición química, representa una fuente potencial de almidón, el cual, puede ser extraído, refinado y comercializado como un derivado, logrando generar un producto con mayores aplicaciones alimenticias, tiempo de vida útil, valor agregado y demanda por los mercados distintos a aquellos que consumen el tubérculo de manera directa.

Al conocer de la potencialidad de la papa china como fuente de almidón, resultó pertinente la génesis de un proceso que, procurando el máximo aprovechamiento de la materia prima y en base a sus características, permita la obtención del almidón como derivado, el cual, puede ser aprovechado en distintas aplicaciones industriales y alimenticias.

1.2. Justificación del Proyecto

Teniendo en cuenta que los cultivos por sus características agrícolas y su contribución al desarrollo de varios países, van adquiriendo importancia económica por sus bondades y acceso a mejores mercados, la papa china se ha convertido en uno de los productos agrícolas de mayor auge en el Ecuador, crece bien en las partes altas y bajas de la Amazonía, pero todo depende del suelo, prefiere los suelos arenosos, a orillas de los ríos. Según Tello (entrevista, 2016), hay variedades que crecen mejor en tierra firme, otras en tierras inundables.

De acuerdo con los datos brindados por el MAGAP desde el 2002 al 2012 la papa china registra una producción de 15700 Tm de producción anual para el año 2002 y una producción de 140702 Tm para el año 2012 en el que se observa una tasa de crecimiento promedio de producción del 20 %, siendo necesario obtener subproductos que tengan mayores aplicaciones, es necesario el diseño de un proceso para la obtención de almidón.

Aun cuando, estudios realizados por la (FAO, 2006) reconoce que por el bajo costo de la materia prima y elevada valor del almidón la opción más lógica de obtención es la yuca (*Manihot esculenta crantz*), se deben considerar los beneficios sociales que pueden tener el empleo de otros cultivos alternativos como la papa china (*Colocasia esculenta*). Mediante la industrialización de la papa china, con la fabricación de almidón, se permitirá darle un valor agregado, que ayudará al agricultor a cubrir la inversión en el cultivo y generará un margen de utilidad. El almidón obtenido por medios biotecnológicos se constituye en una importante alternativa para el aprovechamiento de la composición de la papa china (*Colocasia esculenta*).

El proyecto diseño de un proceso para la obtención de almidón usando como materia prima la papa china (*Colocasia esculenta*), presenta un gran potencial económico ya sea para el agricultor o la persona que mediante procesos industriales lo convierte en almidón, al ser la materia prima un tubérculo fácil de cultivar por ende económico y a su vez presentar propiedades óptimas para la hidrólisis por su alto contenido de almidón. Al aplicar procedimientos adecuados dentro del proceso respectivamente esperamos un alto rendimiento del almidón que encaja dentro de los requisitos organolépticos y físico-químicos establecidos por la normativa ecuatoriana.

1.3 Línea Base del proyecto

1.3.1 Antecedentes de la producción de almidón de papa china.

La producción de almidón extraído de los tubérculos, hoy en día se ha convertido en una alternativa de uso en la industria alimentaria y no alimentaria, por cuanto la demanda en el consumo de sustancias extraídas de determinados productos ha dado origen a innovadores procesos de producción.

De acuerdo al trabajo realizado por Delgado (2015), la producción de almidón de la papa china, ha incrementado en un 60% a nivel mundial, ya que varios países de Latinoamérica y Asia, cultivan

este tipo de tubérculo por sus significativos aportes nutritivos dentro de la dieta alimentaria del ser humano.

1.3.2. Marco conceptual

1.3.2.1. Composición química de tubérculos

Los tubérculos son alimentos que provienen de la siembra en tierras fértiles, en las que se identifican grandes cantidades de nutrientes, los procesos que se involucran para el desarrollo de estos alimentos, son cultivo adecuado y tiempo de cosecha, por cuanto los tubérculos abarcan considerables cantidades de vitaminas y nutrientes para el consumo del ser humano.

Moreno (2018), de acuerdo a los estudios realizados en el laboratorio de la Universidad de Colombia describe brevemente que los tubérculos se forman en superficies muy finas, los cuales brotan después de determinados procesos de cultivo. Para Chablee (2016), la composición química de los tubérculos, varía de acuerdo al tamaño y tipo de tubérculo.

Tabla N° 1- 1: Composición química de varios tubérculos en 100 g.

| Composición química | Referencia 1 Papa china | Referencia 2 Zanahoria | Referencia 3 Papas nuevas | Referencia 4 Mashua |
|----------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|
| H ₂ O | 73,8 | 89,10 | 76,6 | 86,0 |
| Fibra | 1,7 | 2,60 | 1,0 | 0,8 |
| Grasa | 0,4 | 0,20 | 0,1 | 0,6 |
| Proteína | 8,7 | 1,25 | 1,9 | 1,6 |
| Cenizas | 4,0 | 0,76 | 1,0 | 0,8 |

Elaborado por: Tocagón, R. (2018)

➤ Fibra en los tubérculos

Los tubérculos, son alimentos que contienen considerables cantidades de fibra, suficientes para el aporte nutritivo dentro de ingesta dietética del ser humano. La cantidad de fibra de igual manera dependerá de la contextura y calidad del tubérculo, óptimo para el consumo, por lo tanto, las cantidades antes indicadas no pueden ser exactas, ya estas podrían variar por lo antes argumentado.

➤ **Grasa en los tubérculos**

Según Oliva (2017) “Los tubérculos son alimentos con menor cantidad de grasa que está por debajo del 5%, siendo un producto que garantiza su consumo, el mismo que brinda considerablemente beneficios para la salud del ser humano, y seres que los ingieran” p.69.

Como el autor explicó anteriormente, en la Tabla N° 1-1 es claro evidenciar que la cantidad de grasa de cada tubérculo es muy poca.

➤ **Proteína en los tubérculos**

Igualmente Rueda (2015) explica que los tubérculos aportan modestas cantidades de proteínas, dentro de una porción dietética para el ser humano y todos los demás seres que la consuman, por cuanto se hace referencia a la teoría expuesta por Robles (2016).

➤ **Contenido de Humedad**

Los tubérculos contienen porcentajes de agua, de tal manera que se evidencia un considerable porcentaje de humedad, que de una u otra forma facilita el consumo dentro de una ingesta alimenticia para los seres vivos. Gutierrez (2016), resalta que la humedad es un factor que en muchos casos deteriora el producto o al tubérculo, ya que lo empieza por destruir sus vitaminas y nutrientes.

➤ **Hidratos de carbono en los tubérculos**

La procedencia de los hidratos de carbono, viene de la fotosíntesis, siendo el principal compuesto químico, almacenando energía de la radiación solar, por tanto, que la glucosa radica en las plantas, representando una materia básica para la producción de la mayoría de carbohidratos: el bióxido de carbono reacciona con agua para formar glucosa, con el consecuente desprendimiento de oxígeno: $6\text{CO}_2 + 12\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$. Por su parte, la glucosa da origen a muchos otros azúcares, como la sacarosa y la fructosa, o bien a polímeros como la celulosa y el almidón (Lescano, 2015 pág. 96) .

Como indica su nombre, los hidratos de carbono o carbohidratos (CHO) son compuestos formados por carbono, hidrógeno y oxígeno, presentan la fórmula general $\text{C}_n (\text{H}_2\text{O})_n$, y tienen estructura de polihidroxialdehído o de polihidroxiacetona. Los CHO son los compuestos orgánicos más

abundantes en la naturaleza, y también los más consumidos por los seres humanos (en muchos países constituyen entre 50 y 80% de la dieta poblacional).

Según Montero (2017) En los tubérculos y raíces puede llegar hasta el 30 % predominan los polisacáridos respecto a los azúcares sencillos, lo que hace que tengan un sabor menos dulce y una consistencia más firme que las frutas, debido principalmente a la rigidez que le confieren la celulosa, la hemicelulosa y las pectinas de las paredes celulares, y en algunos casos también a un alto contenido en almidón.

1.3.2.2. Valor nutricional de los tubérculos

Varios autores resaltan que los tubérculos aportan con grandes cantidades de nutrientes para el ser humano, brindando beneficios nutricionales con un enfoque ideal, ya que son altos en carbohidratos de carbono, vitaminas del grupo B y otros minerales.

Según Bettioli (2015) explica que la valoración nutricional de los tubérculos consiste en la identificación de cantidades positivas de macronutrientes y micronutrientes, por lo tanto de acuerdo con el autor se indica las siguientes valoraciones:

Macronutrientes: En la siguiente tabla se indica la valoración nutricional de los tubérculos andinos, tales como Papa nativa, Oca, Mashua, melloco.

Tabla N° 1- 2: Valor nutricional/Macronutrientes

| | Energía (kcal) | Proteínas (g) | Carbohidratos (g) | Fibra (g) | Lípidos (g) |
|-----------------------------|---------------------------|----------------------|--------------------------|------------------|------------------------|
| Requerimientos / Día | 2000 | 50 | 300 | 20 | 66 |
| Papa Blanca | 97 | 2.1 | 22.3 | 0.6 | 0.1 |
| Papa Nativa | 54-115 | 1.2-3 | 17.6 – 31.5 | 4.3 – 7.1 | 0.2 – 0.5 |
| Oca | 30 | 0.8 | 10.4 | 8 | 0.4 |
| Mashua | 50 | 1.5 | 9.8 | 0.9 | 0.7 |
| Melloco | 62 | 1.1 | 14.3 | 0.8 | 0.1 |
| % Requerimientos/Día | | 4.2 | 8.18 | | 0.9 |

Fuente: Bettioli (2015) “Tubérculos andinos”

Elaborado por: Tocagón, R. (2018)

De acuerdo al autor estos datos son resaltados según los importes del Centro Nacional de Alimentación y Nutrición del Instituto Nacional de Salud, en los que se puede observar del valor o las cantidades de cada aspecto nutritivo, incluyentes dentro de la contextura del tubérculo.

Micronutrientes: De igual forma que en los Macronutrientes, en la siguiente tabla se indica la valoración nutricional de los tubérculos andinos, tales como Papa nativa, Oca, Mashua, melloco.

Tabla N° 1- 3: Valor nutricional/Micronutrientes

| | Vit A Retinol (ug) | Vit B1 Tiamina (mg) | Vit B2 Riboflavina (mg) | Vit B3 Niacina (mg) | Vit C (mg) | Ca (mg) | Hierro (mg) | P (mg) | Zn (mg) |
|---------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|--|------------------------------------|-----------------------|--------------------|------------------------|-------------------|--------------------|
| Requerimientos/día | 840 | 1 | 1.1 | 14 | 60 | 1000 | 12 | 670 | 1 |
| Papa blanca | 3 | 0.09 | 0.09 | 1.67 | 14 | 9 | 0.5 | 47 | 0.29 |
| Papa nativa | | | | | 17.74- 30.22 | | 0.38- 1.72 | | 1.62- 1.64 |
| Oca | 0 | 0.005 | 0.94 | 1.09 | 39.7 | 17.2 | 12.5 | 28.2 | 1.8 |
| Mashua | 12 | 0.1 | 0.6 | 0.67 | 77.5 | 12 | 1 | 29 | 0 |
| Melloco | 5 | 0.05 | 0.03 | 0.2 | 11.5 | 3 | 1.1 | 28 | 0 |
| Requerimientos/día | 1.43 | 10 | 85.45 | 7.79 | 129.17 | 1.72 | 104.17 | 4.33 | 113 |

Fuente: Bettioli (2015) "Tubérculos andinos"

Elaborado por: Tocagón, R. (2018)

Capacidad antioxidante: Igualmente Bettioli (2015) señala que los tubérculos están constituidos por antioxidantes, los mismos que se identifican en la siguiente tabla:

Tabla N° 1- 4: Valor nutricional/Antioxidantes

| | CAROTENOIDES (UG G-1) | FENOLES (MG G-1) | ANTONIANOS (MG G-1) | ABTSM (UGTE G-1) |
|--------------------|----------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| Papa Nativa | 2-5 | 0.64 -2.32 | 0.08 -0.8 | 860-3750 |
| Oca | 2-25 | 0.71-1.32 | 0.14-1.3 | 1637-477 |
| Mashua | 1.25 | 0.92-3.37 | 0.5-2.05 | 955-9800 |
| Melloco | ----- | 0.41-0.77 | ----- | 483-1524 |

Fuente: Bettioli (2015) "Tubérculos andinos"

Elaborado por: Tocagón, R. (2018)

Como se lo explico anteriormente todos estos datos presentados en las diferentes tablas por su categoría, están sustentado en los informes del Centro Nacional de Alimentación y Nutrición del Instituto Nacional de Salud, que permiten corroborar porcentajes y cantidades de nutrientes en cada tubérculo.

1.3.2.3. Valor tecnológico de los tubérculos

El valor tecnológico que se le puede dar a los tubérculos, enmarca en un extenso campo de una diversidad de fermentaciones y extracciones, para la elaboración y procesamiento de alimentos derivados (Rodríguez, 2016 pág. 129).

Ejemplos de alimentos derivados son: alcohol, almidón, dextrina, glucosa, fabricación de pastas para sopas, sémolas, etc.

A continuación, se describe el producto que se desarrolla en el presente trabajo.

➤ Almidón

Este carbohidrato es considerado como parte esencial de la ingesta del hombre desde la antigüedad, al mismo tiempo de que se le ha dado un gran número de aplicaciones industriales. Detrás de la celulosa es el polisacárido más significativo y cuantioso desde la perspectiva comercial. Se halla en los tubérculos, cereales y frutas como polisacárido de reserva energética (Badui Dergal, 2006).

Desde la perspectiva química, el almidón es una combinación de dos polisacáridos muy parecidos, la amilasa y la amilopectina; la amilasa una sustancia de la condensación de D-glucopiranosas por medio de enlaces glucosídicos α (1,4), estableciendo cadenas alineadas con 200-2 500 unidades y pesos moleculares hasta de un millón; es decir, la amilosa es una α -D-(1,4)-glucana, cuya unidad repetitiva es la α -maltosa, como se muestra en la figura 1-1 (Badui Dergal, 2006).

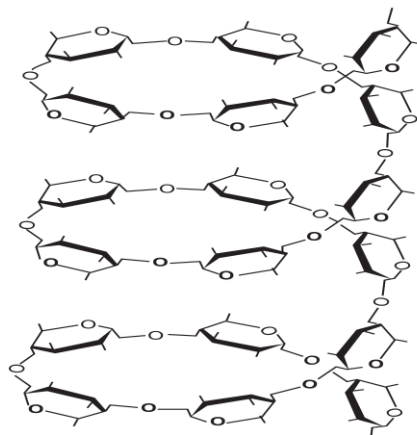


Figura N° 1- 1: Enrollamiento helicoidal de la amilosa.

Fuente: (Badui Dergal, 2006)

Por otro lado, la amilopectina difiere de la amilosa en que contiene ramificaciones que le dan una forma molecular parecida a la de un árbol; las ramas están unidas al tronco central por enlaces α -D-(1,6), localizadas cada 15-25 unidades lineales de glucosa. Su peso molecular es muy elevado, ya que algunas fracciones llegan a llegar hasta a 200 millones de daltones, aunque se han logrado pesos de entre 300,000 y 500,000. En términos globales, los almidones están compuestos aproximadamente 17-27% de amilosa, y el resto de amilopectina (Badui Dergal, 2006).

➤ **Propiedades funcionales del almidón**

Gelatinización

Los gránulos de almidón son insolubles en agua fría, ya que su estructura está bien organizada y contempla una gran estabilidad por las múltiples interacciones que se dan con sus dos polisacáridos que lo componen; no obstante, cuando se calientan empieza un proceso paulatino de absorción de agua en las zonas intermicelares sin forma, que son escasamente organizadas y las más accesibles, ya que los puentes de hidrógeno no son tan numerosos ni resistentes como en las áreas cristalinas (Badui Dergal, 2006).

Al alcanzar ciertas temperaturas (normalmente cercanas a 65°C), aunque varía al tipo de almidón, el gránulo llega a su volumen máximo y pierde tanto su estándar de difracción de rayos X como la propiedad de birrefringencia; si se suministra más calor, el gránulo hinchado, imposibilitado para retener el líquido, se rompe en pedazos, la amilosa y la amilopectina, fuertemente hidratadas, se dispersan en el seno de la disolución (Badui Dergal, 2006).

Al paso que se aumenta la temperatura, se retiene más agua y el gránulo trata de hincharse más y a extender su volumen, fenómeno que puede evidenciarse claramente en el microscopio, sin que se contemple un aumento considerable de la viscosidad; una vez que la parte sin forma se ha hidratado totalmente, la cristalina inicia un proceso parecido, pero para esto se necesita más energía (Badui Dergal, 2006).

Retrogradación

Este fenómeno se conoce como la insolubilización y la precipitación espontánea, principalmente de las moléculas de amilosa, ya que sus cadenas lineales se orientan de forma paralela y reaccionan entre ellas por puentes de hidrógeno a través de sus múltiples hidroxilos; esto se puede

llevar a cabo por diversos caminos, según la temperatura y la concentración del sistema (Badui Dergal, 2006).

Si el medio concentrado de amilosa se calienta y se enfría velozmente hasta llegar a la temperatura ambiente, se forma un gel rígido y reversible, pero si el medio es diluido, son opacas y precipitan cuando se dejan descansar y enfriar paulatinamente como se muestra en la figura N° 1-2.

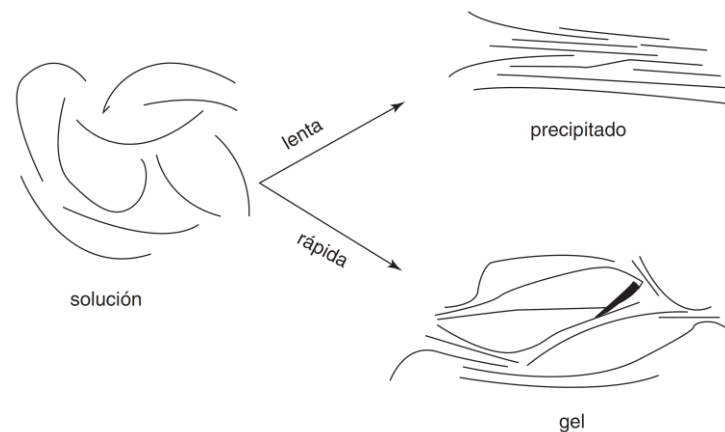


Figura N° 1- 2: Mecanismos de retrogradación del almidón.

Fuente: (Badui Dergal, 2006)

Cada almidón tiene su propia tendencia a la retrogradación, lo cual se depende del contenido de amilosa: es más complicado que la amilopectina la desarrolle, ya que sus ramificaciones impiden la formación de puentes de hidrógeno entre moléculas contiguas; pero, si las soluciones de almidón se congelan y se descongelan continuamente, se produce su insolubilización (Badui Dergal, 2006).

➤ Tipos de almidón.

Almidón nativo

Proceden de diferentes fuentes vegetales y presentan propiedades únicas, que en gran manera son utilizadas en el procesamiento de alimentos de acuerdo a necesidades específicas (Martínez, y otros, 2007), pueden usarse en su forma nativa, sin haberse sometido a tratamientos de estabilización o modificación previa. En la industria los almidones nativos representan una materia prima abundante, de fácil obtención y económica que habitualmente son usados como espesantes para alimentos. Sin embargo, el uso de los almidones nativos en la industria se ve reducido ya que

pierden sus propiedades funcionales en la cadena de producción, el producto que se obtiene es económico, pero de baja calidad.

Almidón modificado

Los almidones modificados son aquellos que han recibido un tratamiento para que estos alcancen las propiedades funcionales deseadas como solubilidad, viscosidad, adhesión, textura, resignación al calor y dispersión para favorecer algún proceso específico (Kim, y otros, 1999).

El almidón modificado presenta muchas aplicaciones funcionales otorgando adhesión, evitando el endurecimiento, estabilizando emulsiones, facilitando el flujo, dando firmeza a espumas, glaseando, retirando humedad, moldeando, así también como estabilizante y espesante. (Ligh, 1990). De acuerdo con (Vian, 1994) las modificaciones principales son la pregelatinización, degradación y derivación.

Pregelatinización

El almidón pregelatinizado es utilizado cuando se necesita que el producto pueda ser reconstruido con agua fría. La estructura del gránulo de almidón se fractura por hervido del almidón nativo y un posterior proceso de secado que admite su posterior empleo en alimentos de preparación rápida. En la industria de adhesivos se utiliza para laminar papel aluminio a papel o cartón (Aristizábal, y otros, 2007).

Degradación

Procesos que conlleva la depolimerización parcial o modificación de moléculas. Estos contienen procesos oxidativos, hidrolíticos y térmicos, los cuales conducen a tres tipos de almidón modificados: de conversión ácida, dextrinas y oxidados. El principal objeto de la conversión es minimizar la viscosidad de los productos para que la solución tenga buenas propiedades de flujo con elevadas concentraciones (Aristizábal, y otros, 2007).

Derivatización

Las transformaciones químicas no degradativas conllevan la adición de pequeñas cantidades de grupos sustituyentes dentro del almidón mediante enlaces éter y éster; esto causa la fragilidad de

los gránulos de almidón, afirma las dispersiones y advierte el alineamiento y retrogradación de las moléculas (Aristizábal, y otros, 2007).

➤ **Aplicaciones del almidón.**

El consumo de almidón se dirige aproximadamente 75 % al sector manufacturero y el 25 % a la industria de comestibles. La producción de papel y cartón usan cerca del 80 % del almidón dirigido al sector manufacturero, seguido de textiles, adhesivos y otras industrias (Aristizábal, y otros, 2007). Las características funcionales que determinan la calidad del almidón son la pureza, granulometría, color, humedad, fibra, ceniza, acides y viscosidad.

Tabla N° 1- 5: Aplicaciones industriales del almidón.

| Industria | Tipo de almidón. | Usos |
|---------------------------|--------------------------|---|
| Industria alimentaria. | Almidón natural o nativo | Medio de moldeo Dador de cuerpo |
| | Almidón modificado | Protector contra la humedad Espesante Aglutinante Emulsificante Estabilizador |
| Industria no alimentaria. | Almidón natural o nativo | Adhesivo. Absorbente en la preparación de jabones |
| | Almidón modificado | Aditivo de sedimentación Aglutinante Dispersante Diluyente |

Fuente: Aristizábal, J. & S. T., 2007.

➤ **Interacción del almidón con otros constituyentes de los alimentos**

De acuerdo con Santillan (2016), este polisacárido influye definitivamente en las propiedades sensoriales de los alimentos, mismas que están determinadas por las interacciones que tenga con los otros componentes; aunque la forma precisa y el mecanismo de estas interacciones no son totalmente conocidos, sus efectos se pueden observar fácilmente. La influencia del agua, las sales, las proteínas y otros, hace que este hidrato de carbono pueda cambiar su temperatura y su velocidad de gelatinización, así como otras características. A continuación, se discuten los principales agentes que modifican la gelatinización del almidón:

Concentración

Uno de los principales factores que afectan las propiedades funcionales de estos polímeros es la cantidad de agua con la que pueden reaccionar; la intensidad y el grado de hinchamiento están en función directa de la concentración de este disolvente, de manera que la adsorción se facilita a medida que aumenta la concentración.

Presencia de solutos

La presencia de solutos hará que disminuya la viscosidad de la disolución de almidón y su afinidad con el agua; al ocurrir esto la estructura del almidón queda más íntegra por lo que se debe aplicar más temperatura para romper dicha estructura

Presencia de grasas

Estos constituyentes hacen que el gel sea menos resistente afectando su acción plastificante, ya que provocan la rotura de la unión de la amilosa.

Acido

Reduce la consistencia del gel, ya que causa la fragmentación de los granos del almidón, donde los granos más pequeños no forman un gel tan fácilmente con los granos grandes.

1.3.2.4. Métodos de extracción de almidón en tubérculos

El almidón se extrae por diversas metodologías dependiendo de la materia prima de la que se obtenga y de los componentes de los que están asociados (Díaz, 1997). La obtención de almidón se realiza sobre todo a base de trigo, papa, mandioca y maíz. En ciertos casos, por ejemplo, en la papa, los gránulos de almidón se encuentran independientes en el interior de las células, de tal modo que su separación es un proceso relativamente sencillo; en ciertos casos como ocurre en los cereales, el almidón se encuentra en el endospermo contenido en una matriz proteica y por ello su extracción resulta más difícil (Belitz, y otros, 1997).

La obtención de almidón a partir de papas es un proceso sencillo: las papas se lavan, pelan y desintegran en máquinas de reducción de tamaño en el que se obtienen pastas que se pasan por

filtros. La lechada de almidón resultante del pasante del filtro es deshidratado y secado hasta alcanzar un valor de humedad deseado en el producto. (Mitch, 1984)

Del proceso descrito anteriormente nacen variaciones para mejorar el rendimiento como:

➤ **Molienda húmeda**

Para la extracción de almidón por vía húmeda los tubérculos se lavan, se retiran las cortezas y son cortados en cubos de aproximadamente 3 cm de longitud, estos cubos son dejados en remojo por 30 minutos en una relación 1:3 (p/v) en solución de bisulfito de sodio con concentración de 1500 ppm. Los cubos son reducidos en una licuadora hasta que se forme una pasta que se pasa a un recipiente que contiene una solución de bisulfato de sodio en el que se mezclan con una relación 1:1 (v/v). De la etapa anterior se obtiene una suspensión denominada lechada que es filtrada en coladores (malla # 80), separando la fibra. El filtrado se deja sedimentar a una temperatura de 4 °C por 3 horas. Posteriormente se separa y se seca por los distintos métodos de secado (Badui Dergal, 2006).

➤ **Por decantación natural**

Las etapas de preparación de la materia prima son iguales a los métodos anteriores. Este proceso conlleva dos etapas de decantación de 6 horas, con adiciones de hidróxido de sodio al 0,02 % con el fin de solubilizar las proteínas. Seguidamente se ajusta el pH hasta 7,0 después se filtra la muestra y el almidón obtenido es secado a 45 °C por 24 horas. Finalmente, el producto es molido y envasado.

1.3.3. Diseño

1.3.3.1. Criterios para la selección de equipos

➤ ***Molienda***

Reducción de tamaño.

Se aplica a todas las formas en las que las partículas de sólidos se pueden cortar o romper en fragmentos más pequeñas. En los procesos industriales la reducción de tamaño de sólidos se lleva a cabo por distintos métodos y con fines diferentes. Los productos comerciales con frecuencia

han de cumplir especificaciones estrictas con respecto al tamaño y en algunas ocasiones a la forma de las partículas que contienen (McCabe, y otros, 2007).

La reducción del tamaño de las partículas también incrementa la reactividad de los sólidos; esto permite la separación por métodos mecánicos de ingredientes no deseados y reduce el tamaño de materiales fibrosos para su fácil tratamiento, así como para facilitar el depósito de desperdicios (McCabe, y otros, 2007).

Tabla N° 1- 6: Criterios para la selección del tipo de molienda

| CRITERIO | TIPO DE MOLIENDA | |
|----------------------------|--|---|
| | Molienda seca | Molienda húmeda |
| Cantidad de agua utilizada | Muy poca | Gran cantidad |
| Objetivo | Separación de partes anatómicas del grano (endospermo, germen, y pericarpio) | Separación de componentes químicos de los granos de cereales (almidón, proteína, fibra) |
| Productos Obtenidos | Harina (endospermo que contiene almidón, gluten y algo de fibra) | Almidón, gluten (proteínas) y fibra, por separado, lo más puros posibles |

Fuente: (McCabe, y otros, 2007)

Elaborado por: Tocagón, R. (2018)

En base a la tabla 1-6 descrito previamente se estableció que el tipo principal de molienda sería por vía húmeda, en vista a que favorece a la extracción del almidón a partir de la materia prima al pasar por el molino. Para la selección del tipo de fuerza a aplicar en la molienda se aplicaron los criterios establecidos dentro de la tabla anterior.

El proceso de molienda húmeda tiene como principal objeto obtener el mayor rendimiento posible de almidón limpio. La molienda de los alimentos se efectúa normalmente por compresión simple, fracturándose antes en el momento de llegar a su límite elástico. La molienda conlleva a la reducción del tamaño de la materia prima para su posterior procesamiento.

➤ *Filtrado*

La filtración es la separación de partículas sólidas a partir de un fluido mediante el paso del fluido a través de un medio filtrante o pared separadora sobre el que se depositan los sólidos. Las filtraciones industriales van desde un sencillo colado hasta separaciones altamente complejas. En la filtración industrial, el contenido de sólidos de la alimentación puede oscilar desde trazas hasta un porcentaje muy elevado (McCabe, y otros, 2007).

Dentro de la tabla 1-7, se establecen los diferentes tipos de filtrado en base al mecanismo de filtración.

Tabla N° 1- 7: Tipos de filtrado en función al mecanismo de filtración

| TIPO | MECANISMO |
|-----------------------------|---|
| Filtro de torta | Se utiliza un medio filtrante por el cual pasa el fluido a filtrar con un tamaño de abertura ligeramente inferior al tamaño de la partícula que se desea separar. Sobre la superficie superior del medio filtrante se acumulan las partículas de mayor tamaño que la abertura del medio filtrante, lo cual genera que se forme una torta filtrante sobre la superficie compuesta por la acumulación de las partículas sólidas. Las partículas de menor tamaño logran pasar a través de la torta y solo se obtienen, en la superficie del medio filtrante, las partículas de tamaño deseado. |
| Filtro clarificador | En los filtros clarificadores las partículas del sólido son atrapadas en el interior del medio filtrante, en la cual no se observa ninguna capa de sólidos en la superficie. Las partículas son captadas por las fuerzas superficiales e inmovilizadas dentro de los canales de flujo. Aun cuando reducen el diámetro efectivo de los canales, normalmente, no llegan a bloquearlo completamente. |
| Filtro de flujo transversal | El fluido que se desea filtrar recorre de manera transversal el medio filtrante, el cual posee aberturas de dimensión ligeramente inferior a la dimensión de las partículas que se desea extraer. El fluido filtrado pasa a través del medio filtrante y los sólidos se concentran en la dirección del flujo de alimentación. |

Fuente: (McCabe, y otros, 2007)

Elaborado por: Tocagón, R. (2018).

En base a lo especificado en el cuadro anterior, se estableció como principal mecanismo de filtrado un filtro de torta, en vista a que dicho sistema permite extraer grandes cantidades de sólidos con un flujo alto de materia.

Dentro de la tabla 1-8, se establecen los criterios de selección para el tipo de impulsión del filtrado.

Tabla N° 1- 8: Criterios de selección para los diferentes tipos de filtrado

| TIPO | APLICACIÓN |
|--|---|
| Presión superior a la atmosférica en la parte superior del fluido | Separación de sólidos de gran tamaño (cristales grandes) similares a los de un lecho de arena |
| Presión atmosférica en la parte superior del fluido y vacío en la parte inferior del medio filtrante | Sólidos de tamaño pequeño. |
| Filtros a presión | Sólidos de tamaño pequeño y con volúmenes de filtrado altos. |

Fuente: (McCabe, y otros, 2007)

Elaborado por: Tocagón, R. (2018).

En vista a que el almidón a extraer es un sólido de tamaño pequeño se estableció un sistema de filtrado a presión atmosférica en la parte superior del fluido.

Para la selección del tipo de operación del sistema de filtrado se analizaron los criterios establecidos en la tabla 1-9.

Tabla N° 1- 9: Tipos de proceso de filtrado

| TIPO DE OPERACIÓN | DESCRIPCIÓN |
|-------------------|--|
| Continua | La descarga de los sólidos extraídos del fluido filtrante se realiza de manera continua. Se aplica principalmente para filtros clarificadores y filtros transversales. Se utiliza para filtrado con presión superior a la atmosférica en la superficie del fluido. |
| Discontinua | La descarga de los sólidos se hace de manera discontinua. Se aplican principalmente para filtros de torta. Se utiliza para filtrado con presión atmosférica y vacío en la parte inferior del medio filtrante. |

Fuente: (McCabe, y otros, 2007)

Elaborado por: Tocagón, R. (2018).

En vista a que las restantes operaciones se realizan a un régimen discontinuo se estableció una operación de filtrado discontinua.

➤ *Sedimentación*

Muchos métodos de separación mecánica se basan en la sedimentación de las partículas sólidas o gotas de líquido a través de un fluido, impulsadas por la fuerza de gravedad o por la fuerza centrífuga. En algunos casos, el objetivo del proceso es separar las partículas de una corriente de fluido con el fin de eliminar contaminantes del fluido o bien recuperar las partículas, en otros casos el fluido es recuperado a para reutilizarse a partir de partículas fraccionadas (McCabe, y otros, 2007).

Tabla N° 1- 10: Tipo de extracción

| TIPO DE EXTRACCIÓN | APLICACIONES |
|------------------------------|---|
| Lixiviación | El componente deseado es extraído por un solvente de un medio inerte sólido, la corriente de producto está representada por la corriente del solvente más el sólido extraído. |
| Separación por sedimentación | El componente deseado es extraído de una suspensión por la acción de la gravedad. El producto está representado por la corriente de fondo del solido separado. |

Fuente: (McCabe, y otros, 2007)

Elaborado por: Tocagón, R. (2018).

En vista a que se desea separar el almidón que se encuentra en suspensión en la corriente de descarga del filtrado, la operación más viable estaba representada por la extracción por sedimentación. El equipo para extracción por sedimentación está compuesto de una cámara de sedimentación que alberga la suspensión el tiempo suficiente para que se produzca la separación de sólido por gravedad, por lo general no menor a 10 min.

En la parte inferior se encuentra una zona de recolección de los sólidos, la cual tiene una geometría prismática triangular con una descarga que permite la extracción del sólido. La carga del fluido a separar se encuentra en la zona superior media del equipo y la descarga del líquido no deseado se produce por desbordamiento a los costados del equipo.

➤ *Secado*

El secado de sólidos consiste en separar pequeñas cantidades de agua u otro líquido de un material sólido con el fin de reducir el contenido de líquido residual hasta un valor aceptablemente bajo. El secado es por lo común la etapa final de una serie de operaciones y, con frecuencia, el producto que se extrae de un secador está listo para ser empaquetado (McCabe, y otros, 2007).

Para la operación de secado se dispone de dos mecanismos principales, acción mecánica y acción térmica. En vista a la naturaleza del producto decantado a secar (principalmente por el tamaño de partícula) el secado mecánico no es factible, por ende, se estableció como principal metodología de secado la acción térmica, es decir, la adición de calor al medio a secar para generar la extracción del líquido por evaporación.

Dentro de la tabla se establecen los principales tipos de secado en base al proceso de transferencia de calor que genera el calentamiento del medio a secar y la extracción del líquido no deseado (en este caso el agua residual dentro del producto decantado).

Tabla N° 1-11: Principales tipos de secado en base al medio que suministra el calor al sólido.

| TIPO | DESCRIPCIÓN | APLICACIÓN Y LIMITACIONES |
|---------------------------|---|---|
| Adiabático o directo | La aplicación de calor al medio a secar se produce directamente por el contacto con un gas caliente. | Se aplica para sólidos con cantidad de humedad. Secado de mayor capacidad. |
| Indirecto o no adiabático | La aplicación de calor se la realiza de manera indirecta, por una placa metálica caliente, el calor es transferido al sólido desde un medio externo tal como vapor de agua condensante, generalmente a través de una superficie metálica con la que el sólido está en contacto. Además, | Se aplica para sólidos que no poseen un alto contenido de agua. Proceso más controlado y que permite obtener productos con una mínima cantidad de agua. |

| | | |
|-------------------|--|--|
| | se puede transferir el calor al sólido por medio de energía dieléctrica, radiante o de microondas. | |
| Directo-indirecto | Se aplican en conjunto dos diferentes medios de transferencia de calor expuestos previamente. | Aplicaciones con sólidos especiales. Proceso de secado muy rápido |

Fuente: (McCabe, y otros, 2007)

Elaborado por: Tocagón, R. (2018).

En vista a que el producto del decantador (medio a secar) dispone de un alto contenido de humedad (humedad del 69%) y en base al punto de la gelificación del almidón se estableció el sistema de secado con una tipología de secado directo.

Dentro de la tabla, se establecen los tipos de secadores adiabáticos o directos contemplados dentro de la determinación del secado del material filtrado.

Tabla N° 1- 12: Tipos de secadores adiabáticos.

| TIPO DE SECADOR | DESCRIPCIÓN | APLICACIONES |
|---|--|--|
| Secador con circulación transversal | El gas circula sobre la superficie de un lecho o una lámina de sólidos, o bien sobre una o ambas caras de una lámina o película continua. | Sólidos en suspensión (alta humedad) con un tamaño de partícula inferior y alta resistencia a la temperatura |
| Secador con circulación a través del sólido | El gas circula a través de un lecho de sólidos granulares gruesos que están soportados sobre un tamiz. Como en el caso del secado con circulación transversal, la velocidad del gas se mantiene baja para evitar el arrastre de partículas sólidas | Sólidos de gran tamaño |
| Secador por acción de lluvia en un secador rotatorio | Los sólidos descienden en forma de lluvia a través de una corriente gaseosa que se mueve lentamente, con frecuencia dando lugar a un arrastre no deseado de las partículas finas en el gas. | Sólidos de alta humedad con tamaño de partícula pequeño y sensibles al calor |
| Secador por lecho fluidizado de sólidos | El gas pasa a través de los sólidos con una velocidad suficiente para fluidizar el lecho. | Sólidos tamaño mínimo de baja humedad |
| Secador por flujo en paralelo gas-sólido en un secador súbito de transporte neumático | Los sólidos son totalmente arrastrados por una corriente gaseosa de alta velocidad y transportados de manera neumática desde un dispositivo de mezcla hasta un separador mecánico. | Sólidos tamaño mínimo de baja humedad |

Fuente: (McCabe, y otros, 2007)

Elaborado por: Tocagón, R. (2018).

En vista a que producto del decantado contiene una alta humedad residual y el almidón es sensible al calor (debido a la gelificación a más de 70°C, temperatura que es menor a la temperatura de

evaporación del agua) se estableció como elemento de secado un secador con secador por acción de lluvia en un secador rotatorio.

➤ *Molienda*

Para tener un producto de acuerdo a los requisitos de calidad establecidos, posterior a la operación de secado del almidón se procede a la molienda de la misma, aumentando de esta manera la superficie específica de cada partícula. Para la selección del tipo de molienda (o vía de molienda) se verificaron los criterios establecidos dentro de la tabla 1-13.

Tabla N° 1- 13: Criterios para la selección del tipo de molienda.

| CRITERIO | TIPO DE MOLIENDA | |
|----------------------------|--|---|
| | Molienda seca | Molienda húmeda |
| Cantidad de agua utilizada | Muy poca | Gran cantidad |
| Objetivo | Separación de partes anatómicas del grano (endospermo, germen, y pericarpio) | Separación de componentes químicos de los granos de cereales (almidón, proteína, fibra) |
| Productos Obtenidos | Harina (endospermo que contiene almidón, gluten y algo de fibra) | Almidón, gluten (proteínas) y fibra, por separado, lo más puros posibles |

Fuente: (McCabe, y otros, 2007)

Elaborado por: Tocagón, R. (2018).

En base al cuadro descrito anteriormente se estableció que el tipo principal de molienda sería por vía seca, en vista a que favorece a los parámetros de calidad del almidón. Para la selección del tipo de fuerza a aplicar en la molienda se aplicaron los criterios establecidos de la tabla 1-14.

Tabla N° 1- 14: Criterios para la selección del tipo de fuerza en la primera molienda.

| TIPO DE FUERZA | APLICACIÓN |
|----------------|--|
| Compresión. | Se emplea para la reducción gruesa de sólidos duros, dando lugar a pocos finos |
| Impacto. | Conduce a sólidos de tamaño muy variado tanto gruesos como intermedios y finos |
| Frotamiento. | Suele conducir a productos muy finos |
| Cizalla. | Suele conducir a trozos de forma muy definida, sin práctica aparición de finos |

Fuente: (McCabe, y otros, 2007)

Elaborado por: Tocagón, R. (2018).

En base a los criterios descritos en el cuadro anterior se estableció que el mejor método de molienda estaba representado por molienda por frotamiento. Para la selección del tipo de molino a con el cual se procede a la primera molienda, se verifico los criterios establecidos dentro de la siguiente tabla:

Tabla N° 1- 15: Criterios para la selección del tipo de molino a aplicar.

| TIPO DE MOLINO | FUERZA APLICADA | PRODUCTOS EN LOS QUE SE EMPLEA |
|-----------------------|----------------------|--|
| De Bolas | Impacto y Cizalla | Harina de pescado, Colorante |
| De Martillos | Impacto | Verduras deshidratadas, Especias, Pimienta, Maíz |
| De Rodillos lisos | Compresión | Refinado de chocolate, Molienda de café |
| De Rodillos Estriados | Compresión y Cizalla | Caña de azúcar, Trigo, Cebada |
| Discos | Frotamiento | Maíz, Trigo, Pimienta, Cacao, Nuez moscada, Clavo |
| Discos y clavos | Cizalla e Impacto | Alginatos, Paprika, Lactosa |

Fuente: (McCabe, y otros, 2007)

Elaborado por: Tocagón, R. (2018)

En base a los criterios de selección determinados en el cuadro precedente se estableció que el mejor molino para la presente operación estaba representado por el molino de discos, el cual se detalla a continuación.

En base a lo recomendado por (McCabe, y otros, 2007) se debe disponer en el molino un disco rotatorio y otro fijo, de metal, para el procesamiento de almidón. El molino a ser aplicado dentro de la etapa de molienda debe cumplir con las condiciones de diseño descritas por (McCabe, y otros, 2007).

Tabla N° 1- 16: Criterios de diseño para molinos.

| CONDICIÓN DE DISEÑO | VALOR |
|--|---|
| Diámetro del material que alimenta al molino | Max. 12 mm; recomendado 8.33mm (12mm recomendado para un flujo másico igual a 100 kg/h de materia a tratar) |
| Diámetro de los discos | De 250 a 1 400 mm (250mm recomendado para un flujo másico igual a 100 kg/h de materia a tratar) |
| Velocidad de los discos | 350 a 700 rpm (350mm recomendado para un flujo másico igual a 100 kg/h de materia a tratar) |
| Numero de discos | 2 |
| Configuración de los discos | Uno y fijo y uno móvil |
| Material de los discos | Metálicos |

Fuente: (McCabe, y otros, 2007)

Elaborado por: Tocagón, R. (2018).

En la tabla 1-17, se describen los dos tipos de operación del molino que se pueden considerar dentro del diseño propuesto:

Tabla N° 1- 17: Tipos de operación de los molinos.

| TIPO | DESCRIPCIÓN | VENTAJAS | DESVENTAJAS |
|------------------|--|--|---|
| Circuito abierto | El molido es suficiente al pasar todo el material una sola vez por el interior del molino. | Equipos de menor complejidad Equipos de menor costo Menor mantenimiento Mayor probabilidad de fallas Equipos adecuados para materiales de menor dureza | Mayor consumo energético Menor uniformidad en los productos |
| Circuito cerrado | El material que no es suficientemente fino es regresado al molino hasta alcanzar el valor deseado. | Menor consumo energético Mayor uniformidad en los productos Equipos adecuados para materiales de elevada dureza | Mayor complejidad en los equipos Mayor costo de los equipos Mayor requerimientos de mantenimiento |

Fuente: (McCabe, y otros, 2007)

Elaborado por: Tocagón, R. (2018).

En base a los criterios establecidos el cuadro anterior se procedió a establecer como principal tipo de molienda bajo una operación de circuito abierto.

1.3.3.2. Densidad

La densidad (ρ) es una magnitud escalar referida a la cantidad de materia en un determinado volumen, permite medir la ligereza o pesadez de una sustancia.

Ecuación 1-1: Cálculo de la densidad de la papa china

$$\rho_T = \frac{m}{V}$$

Dónde:

ρ_T : Densidad del tubérculo (Kg/l).

m : Masa del tubérculo medida experimentalmente en el laboratorio (Kg).

V : Volumen del tubérculo medida experimentalmente en el laboratorio (l).

1.3.3.3. Balances de materia

Los balances de materia son aplicaciones de la ley de la conservación de la masa. El diseño de un nuevo proceso o uno ya existente no está completo hasta que se establezcan las entradas y salidas de todo el proceso, y de cada unidad por separado. El balance de materia no es más que una contabilización de material (Felder, y otros, 2004).

➤ **Selección de materia prima**

Ecuación 2-1: Balance de materia en la operación de selección de la materia prima

$$P_{MPB} = P_{MPA} + P_{MPR}$$

Dónde:

P_{MPB} : Peso de la materia prima en bruto (Kg).

P_{MPA} : Peso de la materia prima aceptada (Kg).

P_{MPR} : Peso de la materia prima rechazada (Kg).

Ecuación 3-1: Cálculo de rendimiento

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{P_{SALIDA}}{P_{ENTRADA}} * 100$$

Dónde:

***Rendimiento*:** Rendimiento de la operación (%).

P_{SALIDA} : Peso de la materia a la salida de la operación (Kg).

$P_{ENTRADA}$: Peso de la materia a la entrada del proceso (Kg).

➤ **Limpieza, pelado y cortado de la materia prima**

Balance de materia en la operación de limpieza

Ecuación 4-1: Balance de masa en la operación de limpieza

$$P_{MPA} + P_{AL} = P_{MPL} + P_{AR}$$

Donde:

P_{AL} : Peso del agua de lavado(Kg).

P_{MPL} : Peso de la materia prima lavada, pelada y cortada (Kg).

P_{RL} : Peso del residuo del lavado (Kg).

P_{AR} : Peso del agua residual de lavado (Kg).

Ecuación 5-1: Balance de materia en la operación de pelado

$$P_{MPL} = P_{MPP} + P_C$$

Donde:

P_C : Peso de las cortezas (Kg).

P_{MPP} : Peso de la materia prima pelada (Kg).

Ecuación 6-1: Balance de materia en la operación de cortado

$$P_{MPP} = P_{MPC}$$

P_{MPC} : Peso de la materia prima cortada (Kg).

➤ **Molienda húmeda.**

Ecuación 7-1: Balance de materia en la operación de molienda

$$P_{MPC} = P_{MPM} + P_{RM}$$

Donde:

P_{MPL} : Peso de la materia prima cortada (Kg).

P_{MPM} : Peso de la materia prima molida (Kg).

P_{RM} : Peso de los residuos del molino (Kg).

➤ **Filtrado**

Ecuación 8-1: Balance de materia en la operación de filtración

$$P_{MPM} + P_{AL} = P_{LA} + P_F$$

Donde:

P_{AL} : Peso agua de lavado (Kg).

P_F : Peso de la fibra (Kg).

P_{LA} : Peso de la lechada de almidón (Kg).

➤ **Sedimentación**

Ecuación 9-1: Balance de materia en la operación de sedimentación del almidón

$$P_{LA} = P_{AP} + P_{RE}$$

Donde:

P_{AP} : Peso del almidón primario (Kg).

P_{RE} : Peso de la corriente residual de la sedimentación (Kg).

Ecuación 10-1: Balance de la materia seca

$$X_{LA}P_{LA} = X_{PAP}P_{AP} + X_{RE}P_{RE}$$

Donde:

X_{LA} : Fracción másica del contenido de materia seca en la corriente de alimentación.

X_{AB} : Fracción másica del contenido de materia seca en la corriente de salida.

X_{RE} : Fracción másica del contenido de materia seca en la corriente residual.

➤ **Secado**

Ecuación 11-1: Balance de materia en el secado

$$P_{AP} = P_{HE} + P_{AB}$$

Donde:

P_{HE} : Peso de la humedad extraída (Kg).

P_{AB} : Peso del almidón bruto (Kg).

Ecuación 12-1: Balance de la materia seca en el secado

$$X_{AP}P_{AP} = X_{AB}P_{AB}$$

Donde:

X_{AB} : Fracción másica del contenido de materia seca en el almidón bruto.

➤ **Molienda**

Ecuación 13-1: Balance de materia general en la molienda

$$P_{AB} = P_{AR}$$

Donde:

P_{AB} : Peso del almidón bruto (Kg).

P_{AR} : Peso del almidón refinado (Kg).

➤ **Rendimiento del proceso**

Ecuación 14-1: Cálculo del rendimiento.

$$R_{mp} = \frac{P_{AR}}{P_{MPB}} * 100$$

Donde:

R_{mp} : Rendimiento de la materia prima (%).

P_{AR} : Peso del almidón refinado (Kg).

P_{MPB} : Peso de la materia prima bruta (Kg).

1.3.3.4. Balance de energía

El balance de energía es un principio físico basado en la ley de la conservación de la energía aplicado para determinar las cantidades de energía que es intercambiada y acumulada dentro de un sistema. Una de las tareas principales de un ingeniero al diseñar un proceso es justificar detalladamente la energía que entra y sale de una unidad de proceso y determinar los requerimientos totales de este proceso. (Felder, y otros, 2004)

Ecuación 15-1: Balance de Energía.

$$\Delta E_c + \Delta E_p + Q - W = \Delta H_a$$

Donde:

ΔE_c : Variación de la energía cinética (W).

ΔE_p : Variación de la energía potencial (W).

Q : Calor desprendido en la etapa de secado (W).

W : Trabajo generado por el molino (W).

ΔH_a : Variación de la entalpia del almidón (W).

Ecuación 16-1: Cálculo de la carga térmica requerida para la operación de secado.

$$\frac{q_t}{\dot{m}_s} = C_{ps}(T_{sb} - T_{sa}) + X_a C_{pL}(T_v - T_{sa}) + (X_a - X_b)\lambda + X_b C_{pL}(T_{sb} - T_v) \\ + (X_a - X_b)C_{pv}(T_{va} - T_v)$$

Donde:

q_t : Requerimiento de calor para el secado

\dot{m}_s : Flujo másico del material a secar (Kg/h).

T_{sa} : Temperatura de la alimentación (°C).

T_v : Temperatura de vaporización (°C).

T_{sb} : Temperatura final de los sólidos (°C).

T_{va} : Temperatura final del vapor (°C).

λ : Calor latente de vaporización (cal/g)

C_{ps} ; C_{PL} ; C_{pv} : Calores específicos del sólido, líquido y vapor, respectivamente (cal/°C)

Ecuación 17-1: Cálculo del requerimiento de calor para el secado

$$q_t = \dot{m}_g C_{sb} (T_{hb} - T_{ha})$$

Donde:

\dot{m}_g : Velocidad másica del gas seco (Kg/h).

C_{sb} : Calor húmedo del gas para la humedad de entrada.

T_{hb} ; T_{ha} : Temperatura del aire en la alimentación y salida (°C).

1.3.3.5. Especificaciones de los equipos

➤ Selección de materia prima

Dimensionamiento de la tolva de alimentación

Ecuación 18-1: Cálculo del volumen de la tolva

$$V_{tolva} = \frac{m_{capacidad}}{\rho_{tuberculo}}$$

Donde:

$m_{capacidad}$: Capacidad de la tolva en una hora de operación

$\rho_{apaente}$: Densidad aparente del tubérculo

Ecuación 19-1: Cálculo de las dimensiones de la tolva

$$V_{tolva} = \frac{(B_1 + B_2 + \sqrt{B_1 * B_2}) H_T}{3}$$

Donde:

H_T : Altura de la tolva (m).

B_1 : Dimensión menor de la tolva (m).

B_2 : Dimensión mayor de la tolva (m).

Dimensionamiento de la banda transportadora

Ecuación 20-1: Cálculo del área del tubérculo a transportar.

$$A_{ft} = \pi * r * (r + g)$$

Donde:

A_{tt} : Área del tubérculo transportada (m^2)

g : Generatriz (m)

Ecuación 21-1: Cálculo de la longitud de banda.

$$A_{ft} = A_b = \frac{X_b A_{bn}}{2}$$

Donde:

A_b : Área de la banda (m^2)

X_b : Longitud de la banda (m)

A_{bn} : Ancho de la banda normalizado 0,40 m

Ecuación 22-1: Cálculo de la tensión necesaria para mover la banda.

$$T_x = 9,8 G * f_x * X_b$$

Donde:

f_x : Coeficiente de fricción de la banda

G : Masa de partes móviles (kg)

Ecuación 23-1: Cálculo de la tensión necesaria para vencer la resistencia al movimiento de la carga

$$T_y = 9,8 Q * f_y * X_b + W_f$$

Donde:

Q : Masa de carga por unidad de área (Kg/m^2).

f_y : Coeficiente de fricción de la banda.

W_f : Peso del tubérculo en la alimentación (Kg).

Ecuación 24-1: Cálculo de la tensión efectiva

$$T_e = T_x + T_y$$

Donde:

T_x : Tensión necesaria para mover la banda.

T_y : Tensión necesaria para vencer la resistencia al movimiento de la carga.

T_e : Tensión efectiva.

Ecuación 25-1: Cálculo de la potencia de accionamiento de la banda transportadora.

$$P_a = T_e * v_b$$

Donde:

P_a : Potencia de accionamiento (Hp).

➤ **Limpieza, pelado y cortado de la materia prima**

Dimensionamiento del tanque de lavado

Ecuación 26-1: Cálculo del volumen del tanque de lavado

$$V_{tl} = 1.20 * (V_{mp} + V_{al})$$

Donde:

V_{tl} : Volumen del tanque de lavado (m³).

V_{mp} : Volumen de la materia prima (m³).

V_{al} : Volumen del agua de lavado (m³).

Ecuación 27-1: Cálculo del volumen de la materia prima

$$V_{mp} = \frac{m_{mp}}{\rho_T}$$

Donde:

ρ_T : Densidad del tubérculo (Kg).

ρ_{mp} : Densidad de la materia prima (Kg/m³)

Ecuación 28-1: Cálculo de las dimensiones de un tanque de geometría cilíndrica.

$$V_{tl} = \pi \frac{D_t^2}{4} H$$

Donde:

D_t : Diámetro del tanque (m).

H : Altura del tanque (m).

Ecuación 29-1: Cálculo del diámetro del rodete

$$D_a = \frac{2D_t}{3}$$

Donde:

D_a : Diámetro del rodete (m).

Ecuación 30-1: Cálculo de la altura del rodete respecto al fondo del tanque

$$\frac{E}{D_t} = \frac{1}{3}$$

Donde:

E : Altura del rodete (m).

Ecuación 31-1: Cálculo de la longitud del brazo.

$$l_{eje} = H_t - E$$

Donde:

l_{eje} : Longitud del brazo (m).

Ecuación 32-1: Cálculo del ancho para las paletas

$$\frac{W}{D_a} = \frac{1}{5}$$

Donde:

W : Ancho de las paletas (m).

Ecuación 33-1: Cálculo de la longitud para las paletas

$$L = \frac{1}{4} * D_a$$

Donde:

L: Longitud de la paleta (m).

Ecuación 34-1: Cálculo del ancho para las placas deflectoras

$$\frac{j}{D_t} = \frac{1}{12}$$

Donde:

j: Ancho de las paletas deflectoras (m).

Calculo de la potencia de la bomba

Las bombas constituyen dispositivos mecánicos que generan altura de carga para transportar un fluido desde una zona a otra, éstas varían de acuerdo a la naturaleza del fluido y trabajan con energía eléctrica. Las bombas se clasifican según las propiedades físico-químicas y de acuerdo al caudal y del fluido:

- Reciprocantes,
- Rotatorias.
- Centrifugas, (Brito, 2001 p. 2).

Calculo del caudal másico o carga

La carga o caudal másico se conceptualiza como la cantidad de masa que se desplaza por sección por unidad de tiempo. (Mott, 2006 p. 153)

Calculo de la velocidad promedio del flujo

“El cálculo de la velocidad se realiza con un caudal de 0,5(L/s)” (PD y OT, 2015 pág. 170). La velocidad promedio se calcula mediante la siguiente expresión:

Ecuación 35-1: Cálculo de la velocidad promedio del flujo

$$v_p = \frac{4Q}{\pi\phi^2}$$

Donde:

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

ϕ : Diámetro de la tubería(m)

Número de Reynolds

Según (Mott, 2006 p. 230) “El número de Reynolds permite identificar el régimen en el que se encuentra el fluido, mediante cuatro variables que son: velocidad, diámetro de tubería, densidad y viscosidad”. Para conocer el régimen del fluido se consideran los siguientes intervalos.

Ecuación 36-1: Cálculo del Número de Reynolds.

- Régimen turbulento: $N_{Re} > 2400$
- Régimen de transición: $2100 > N_{Re} > \text{régimen de transición}$
- Régimen laminar: $N_{Re} \text{ menor a } 2100$

$$N_{Re} = \frac{\rho v_s \phi}{\mu}$$

Donde:

ρ : Densidad del fluido (kg/m^3)

v_s : Velocidad del fluido (m/s)

ϕ : Diámetro de la tubería (m)

μ : Viscosidad del fluido (kg/ms)

Rugosidad relativa

“A la rugosidad relativa se la considera como la relación entre la rugosidad absoluta y el diámetro de la tubería. La rugosidad absoluta según el material tubo extruido, latón, cobre y acero es de $1 \times 10^{-6} m$ ” (Mott, 2006 pp. 235,236)

Ecuación 37-1: Cálculo de rugosidad relativa.

$$Rugosidad\ Relativa = \frac{\varepsilon}{\emptyset}$$

Pérdidas por fricción

Las pérdidas por fricción primaria o longitudinal son las pérdidas causadas por la fricción en tuberías.

Ecuación 38-1: Cálculo de las perdidas por fricción.

$$hfl = f \frac{Lv^2}{\emptyset 2g}$$

Donde:

f: Factor de fricción de Fanning.

L: Longitud de tubería (m).

\emptyset : Diámetro de la tubería (*m*). (Domingo, 2011 p. 57)

Pérdidas por accesorios

Las pérdidas por accesorios también conocidas como pérdidas secundarias son generadas por la fricción producidas en los accesorios que se encuentran en la tubería.

Ecuación 39-1: Cálculo de las perdidas por accesorios o perdidas secundarias.

$$hfm = k \frac{v^2}{2g}$$

Donde:

k: Constante de los accesorios.

Ecuación 40-1: Cálculo de las pérdidas totales.

$$hf = hfm + hfl$$

Donde:

hf: Pérdidas totales.

Ecuación 41-1: Ecuación de Bernoulli

$$\frac{v_2^2}{2g} + Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + hf = \frac{v_1^2}{2g} + Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} \pm H$$

Donde:

v_2 : Velocidad en la descarga (m/s).

v_1 : Velocidad en la succión (m/s).

Z_2 : Altura estática de descarga (m)

Z_1 : Altura estática de succión (m)

P_2 : Presión de descarga (Pa)

P_1 : Presión de succión (Pa)

H : Altura de carga del sistema (m).

hf : Pérdidas totales en tuberías y accesorios.

g : Gravedad (m/s²)

γ : Peso específico

Ecuación 42-1: Cálculo de la potencia de la bomba

$$Hp = \frac{WH}{75n}$$

Donde:

W : Flujo másico (kg/s)

n : Eficiencia 75%

Dimensionamiento del tornillo sin fin transportador.

Ecuación 43-1: Cálculo de la capacidad equivalente.

$$CE = C * CF_1 * CF_2 * CF_3 * CF_4$$

Donde:

CE : Capacidad equivalente.

CF_1 : Factor relativo al paso del tornillo.

CF_2 : Factor relativo al tipo de hélice.

CF_3 : Factor relativo al tipo de paletas (aletas).

CF_4 : factor relativo a condiciones como la inclinación.

Ecuación 44-1: Cálculo de las revoluciones por minuto

$$N = \frac{CE}{\text{Capacidad/rev}}$$

Donde:

N: Revoluciones por minuto.

Ecuación 45-1: Cálculo de la potencia requerida para el trabajo en vacío.

$$H_{pf} = \frac{L * N * F_b * F_d}{1000000}$$

Donde:

HPF: Potencia requerida para el trabajo en vacío y la fricción.

Fm: Factor del material.

L: Longitud (ft).

N: Revoluciones por minuto.

Fd: Factor de tamaño

Fb: factor del soporte intermedio.

Ecuación 46-1: Cálculo de la potencia requerida para mover la carga.

$$H_{pm} = \frac{C * L * w * F_f * F_m * F_P}{1000000}$$

Donde:

HPm: potencia requerida para mover la carga.

C: capacidad en (ft³/h).

w: Peso del material por ft³ (Lb/ft³).

Ff: factor de hélice

Fp: factor de las aletas.

Ecuación 47-1: Cálculo de la potencia total requerida por el tornillo sinfín

$$H_{pt} = \frac{(H_{pf} + H_{pm})F_o}{e}$$

Donde:

HPt: potencia total requerida por el tornillo sinfín.

F₀: factor de sobrecarga

e: eficiencia del sistema motriz

➤ **Filtrado**

Dimensionamiento del equipo de filtrado

Ecuación 48-1: Cálculo de la capacidad máxima de filtración.

$$C = \frac{V_F}{t_F + \sum t_m}$$

Donde:

C: Capacidad máxima de filtración

Ecuación 49-1: Cálculo del área de filtrado.

$$A_F = A_C * \frac{C_F}{C}$$

Donde:

A_F: Área del filtro (m²).

Ecuación 50-1: Cálculo del radio del filtro

$$r^2 = \frac{A_F}{\pi}$$

Donde:

r: Radio del filtro (m).

Ecuación 51-1: Cálculo de la altura del filtro.

$$v = h * \pi * r^2$$

Donde:

h: Alto del filtro (m).

Ecuación 52-1: Cálculo del alto del cono.

$$h_{cono} = \frac{3 v}{\pi * r^2}$$

Donde:

h_{cono}: Altura del cono (m).

➤ **Sedimentación**

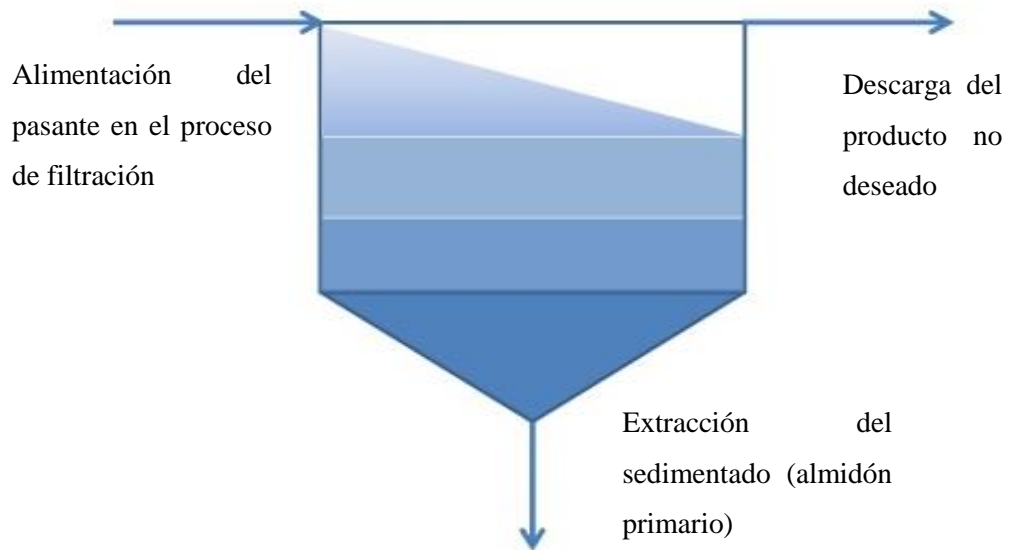


Figura N° 1- 3: Modelo del equipo extractor de almidón

Elaborado por: Tocagón, R. (2018).

Cálculo para el dimensionamiento del tanque de separación por sedimentación

Ecuación 53-1: Cálculo del caudal que alimenta al sedimentador

$$Q_s = \frac{V_s}{\tau}$$

Donde:

Q_s : Caudal que alimenta al sedimentador (m³/s).

V_s : Volumen del sedimentador (m³).

τ : Tiempo de residencia (s).

Ecuación 54-1: Cálculo del largo del sedimentador.

$$L_s = 3B_s$$

Donde:

L_s : Largo del sedimentador (m).

B_s : Ancho del sedimentador (m).

H_s : Profundidad del sedimentador (m).

➤ **Secado**

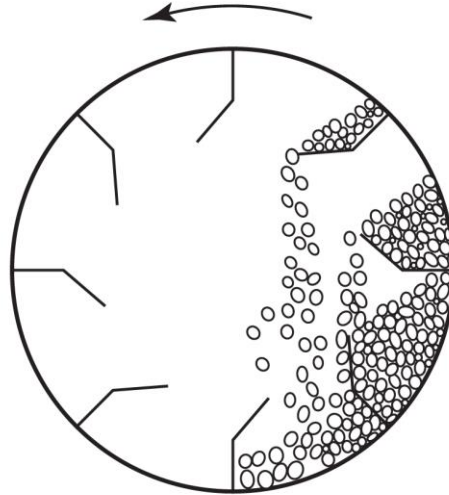


Gráfico N° 3 - 1: Esquema de secado por acción de lluvia en un secador rotatorio.

Fuente: (McCabe, y otros, 2007)

Dimensionamiento del secador rotatorio

Ecuación 55-1: Cálculo de las unidades de transferencia de calor

$$N_t = \int_{T_{ha}}^{T_{hb}} \frac{dT_h}{T_h - T_s}$$

Donde:

N_t : Número de unidades de transferencia.

T_h : Temperatura del fluido de menor capacidad (°C).

T_s : Temperatura del fluido de mayor capacidad (°C).

T_{ha} ; T_{hb} : Temperatura del fluido de menor capacidad a la entrada y salida del sistema de intercambio de calor (°C).

$\overline{\Delta T}$: Diferencia media logarítmica entre las temperaturas de bulbo seco y húmedo (°C).

Ecuación 56-1: Determinación de la tasa de remoción de agua

$$\dot{m}_v = \dot{m}_s(x_a - x_b)$$

Donde:

\dot{m}_v : Tasa de remoción de agua (Kg/h)

x_a : Humedad a la entrada del secador (%).

x_b : Humedad a la salida del secador (%).

Ecuación 57-1: Cálculo del área de la alimentación del secador

$$A = \frac{\dot{m}_g}{G}$$

Donde:

A : Área de la alimentación del secador (m²)

\dot{m}_g : Flujo másico de alimentación (Kg/h)

G : Velocidad másica permitida.

Ecuación 58-1: Geométrica para la determinación del área de una circunferencia.

$$A = \pi \frac{D^2}{4}$$

Donde:

D : Diámetro de la alimentación (m).

Ecuación 59-1: Cálculo de la longitud del secador rotatorio.

$$L = 6.54 * D$$

Donde:

L : Longitud del secador rotatorio (m).

➤ **Molienda**

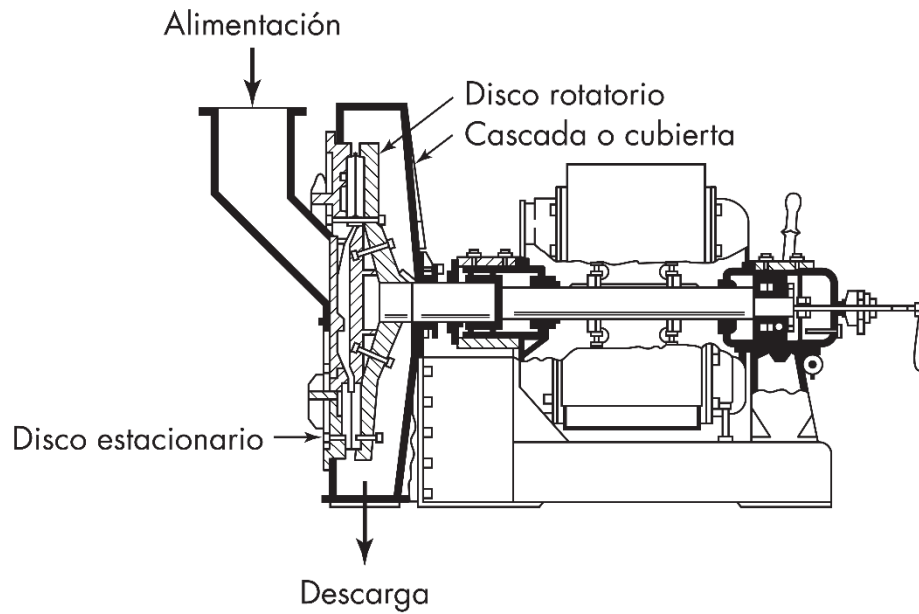


Figura N° 3 - 1: Molino rotatorio

Fuente: (McCabe, y otros, 2007)

Ecuación 60-1: Cálculo de la potencia consumida en la reducción del tamaño (molienda).

$$\frac{P}{\dot{m}} = 10 * w_i \left[\frac{1}{\sqrt{D_{mp}}} - \frac{1}{\sqrt{D_{ma}}} \right]$$

Donde:

P : Potencia consumida en la molienda (W).

\dot{m} : Capacidad del molino (Kg/h).

w_i : Constante de trabajo de la molienda

D_{mp} : Diámetro de la partícula después de la molienda (mm).

D_{ma} : Diámetro de la alimentación a la molienda (mm).

1.4. Beneficiarios Directos e Indirectos

1.4.1. Beneficiarios Directos

- Agricultores dedicados a la producción de papa china, ya que aprovecharán al máximo el cultivo de tubérculos aumentando la ganancia ya que desperdiciarán menores unidades de tubérculos y obtendrán valor económico por la venta de papa china que no logre cumplir los requisitos en mercados internacionales.
- Personas dedicadas a la elaboración y comercialización de almidón, ya que lograrán reducir los costos de producción al tener una materia prima de elaboración más económica, esto permitirá que sean más competitivos en los mercados nacionales, así como también al producir con tecnologías alternativas mejoraran el rendimiento de la producción.
- Los pobladores de los sectores donde se produce papa china ya que los agricultores invertirán mayor cantidad de recursos en sus cultivos lo cual hará que se expandan generando que se tenga una mayor demanda de plazas laborales que ayuden en la producción y las fábricas de bebidas alcohólicas al aumentar su producción por la mayor competitividad se verán en la necesidad de contratar personal, lo cual aumentara las plazas laborales generando así una dinamización de la economía nacional.

1.4.2. Beneficiarios Indirectos

- La población consumidora de almidón o productos elaborados en base a este producto, ya que como se indicó en la sección anterior en todos los estratos sociales en el Ecuador destinan gran cantidad de recursos económicos a la compra de alimentos en base de almidón que se consumen a diario en la vida cotidiana.

CAPITULO II

2. OBJETIVOS DEL PROYECTO

2.1. Objetivo General

- Diseñar un proceso para la obtención de almidón a partir de la papa china (*Colocasia esculenta*).

2.2. Objetivos Específicos

- Evaluar la composición proximal (humedad, fibra, grasa, proteína, extracto libre de nitrógeno y ceniza) de la papa china (*Colocasia esculenta*) de acuerdo a los métodos descritos por la AOAC.
- Evaluar las características física- químicas y organolépticas del almidón de papa china (*Colocasia esculenta*).
- Establecer los puntos de control de proceso para la obtención de almidón a partir de la papa china (*colocasia esculenta*).
- Determinar el rendimiento productivo y económico del proceso de obtención de almidón a partir de la papa china (*Colocasia esculenta*).

CAPITULO III

3. ESTUDIO TÉCNICO

3.1 Estudio de mercado

Para el desarrollo de este proyecto se empieza definiendo al estudio de mercado como el “diagnóstico de necesidades de información y búsqueda sistemática y objetiva mediante el uso de métodos para la obtención e interpretación con el fin de identificar y solucionar problemas oportunidades en el campo del marketing” (Vazquez, y otros, 2014). Según (Malhotra, 2012 pág. 45) manifiesta “es la unión del consumidor, el cliente y el público con el proveedor a través de la obtención de información, de la cual se puede identificar y definir oportunidades productivas.

3.1.1 Descripción de producto

El almidón es una sustancia que tienen una textura blanda, inodora, insípida, en forma de granos o en un aspecto polvoriento, de tal manera que es empleado dentro de la industria alimentaria y no alimentaria, para la elaboración de textiles, producción de papelería, su servicio es útil de reserva para la mayor parte de productos de origen vegetal, el mismo también puede ser extraído de la papa china (Gil, 2010).

3.1.2 Segmentación del mercado

A nivel nacional existen múltiples industrias que se dedican a la elaboración de productos con base de almidón de tubérculos, por lo tanto, según el Banco central del Ecuador, la producción promedio de almidón en los tres últimos años, registra 150.000 toneladas anuales, por cuanto que, al ser un producto no explotado en su totalidad, el impacto en otros mercados marcaría un nuevo inicio productivo.

De acuerdo al trabajo realizado por Miranda (2014), es preciso exponer, que en el país existen empresas, que importan almidón de papa de forma directa (Tabla 3-1).

Tabla N° 3 - 1: Empresas importadoras de almidón

| DESCRIPCION | EMPRESAS |
|-------------|---|
| Almidón | ESPECTROCROM CIA.LTDA |
| | FABRICA DE JURIS CIA. LTDA |
| | GRUVAL CORP S.A |
| | IMPORTADORA ALMEDIA IMPOALMEIDA CIA. LTDA |
| | INDUSTRIA DE ALIMENTOS LA EUROPEA CIA. LTDA |
| | ITALIMENTOS CIA. LTDA |
| | A. SERDELA ECUATORIANA C.A |
| | PRONACA C.A. |

Fuente: Miranda (2014) “Análisis de la producción de almidón de papa china”

Elaborado por: Tocagón, R. (2018)

Como se puede observar en la tabla anterior, la producción de almidón de papa china, tienen fundamentación, ya que existen empresas que por la falta de empresas que procesen la papa china y extraigan su almidón, prefieren realizar importaciones en cantidades muy considerables, por lo tanto, este será el potencial mercado.

3.1.2 Análisis de la demanda

Concepto de la demanda

Se determina como demanda a la cantidad de bienes y servicios que son adquiridos en diferentes precios del mercado ya sea por el consumidor o los consumidores tomando en cuenta que es afectada por diferentes factores como son el gusto personal. Los precios el factor sociológico y el futuro (Argueda, 2013). Se tomará en cuenta el crecimiento demanda proyectada.

Demanda de Almidón

Para este estudio, la demanda se calcula de acuerdo a la producción de los últimos tres años según los datos del Banco Central del Ecuador 150.000 Kg, en base a la tasa de crecimiento del producto interno bruto del Ecuador que para el año 2017 indica que es el 3%, para el efecto a continuación se presenta la siguiente proyección:

Tabla N° 3 - 2: Cálculo de la demanda de almidón.

| Año | Mensual 3% (Kg) | Anual |
|------|-----------------|--------|
| 2018 | 12500 | 150000 |

| | | |
|------|-------|--------|
| 2019 | 12875 | 154500 |
| 2020 | 13261 | 159135 |
| 2021 | 13659 | 163905 |
| 2022 | 14069 | 168825 |
| 2023 | 14491 | 173893 |

Elaborado por: Tocagón, R. (2018)

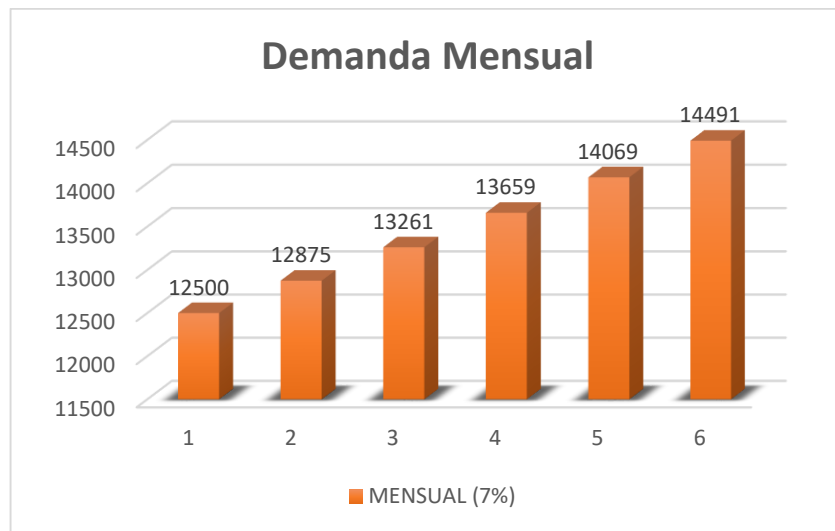


Gráfico N° 3 - 2: Demanda mensual del almidón

Elaborado por: Tocagón, R. (2018)

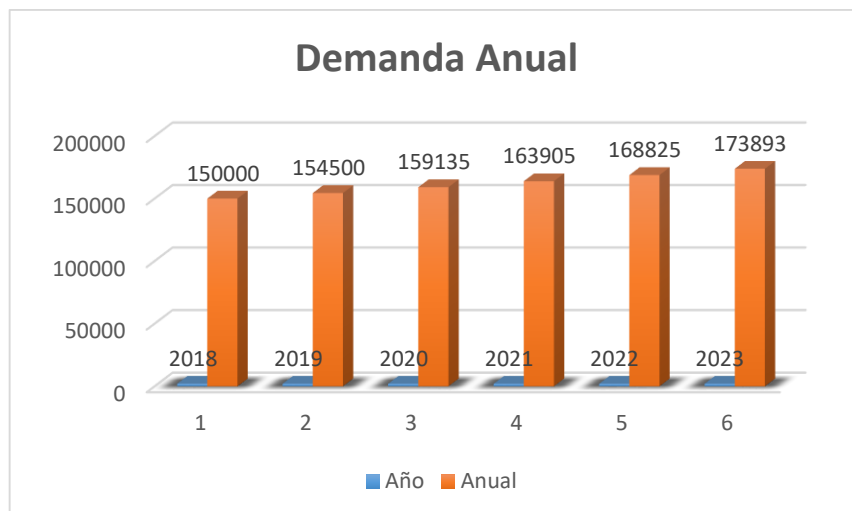


Gráfico N° 3 - 3: Demanda anual del almidón

Elaborado por: Tocagón, R. (2018)

Análisis e interpretación

De acuerdo a los cuadros anteriores, se observa que el incremento de la demanda de almidón de forma mensual y anual, radica en la calidad y la productividad que se va a reflejar, desde el año de inicio (2018-2023), con una tasa de crecimiento del PIB del 3%, demostrando que para el año proyectado se tendría una cantidad de 14491 Kg mensuales y anualmente 173893 Kg.

Capacidad productiva de papa china del sector.

De acuerdo al diario El Telégrafo (2013), menciona que la provincia con mayor capacidad productiva de papa china es Pastaza, en la cual se encuentra un acopio de almacenamiento de aproximadamente 40 toneladas cada 15 días dándonos una producción mensual de 80 toneladas y anual de 960 toneladas, por cuanto en kilogramos se tiene en promedio alrededor de 80000 kg cada mes y al año 960000 kg, suficientes para abastecer la producción de almidón, de tal manera que igualmente se realizará una proyección productiva para 5 años. De acuerdo a la tasa de crecimiento del PIB según el Banco Central del Ecuador 3%.

Tabla N° 3 - 3: Cálculo de la capacidad productiva de papa china.

| Año | Mensual 3% (Kg) | Anual (Kg) |
|------|-----------------|------------|
| 2018 | 80000 | 960000 |
| 2019 | 82400 | 988800 |
| 2020 | 84872 | 1018464 |
| 2021 | 87418 | 1049018 |
| 2022 | 90040 | 1080486 |
| 2023 | 92741 | 1112894 |

Elaborado por: Tocagón, R. (2018)

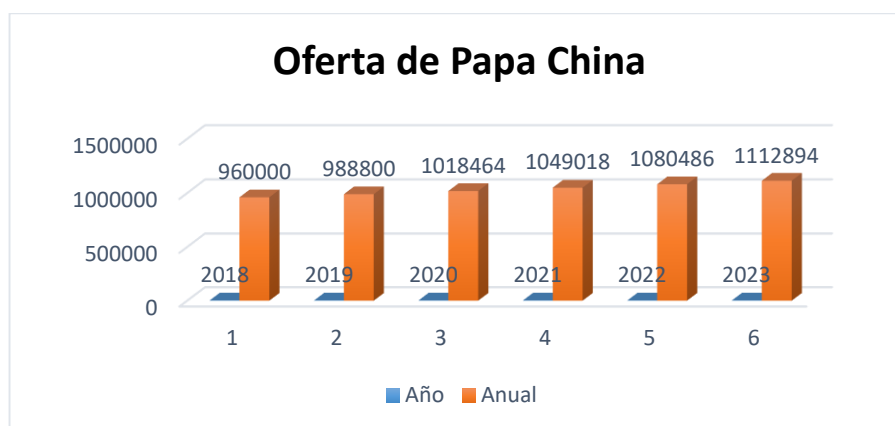


Gráfico N° 3 - 4: Oferta anual de papa china

Elaborado por: Tocagón, R. (2018)

Análisis e interpretación

De acuerdo a los datos que se evidencian en el gráfico N° 3-4, se observa que el valor de la producción de papa china es 960000 kg desde el año 2018, de tal manera que se evidencia la existencia de materia prima, para la producción y obtención del almidón y su potencial uso en varias industrias.

3.1.3. Análisis de la oferta de almidón.

Desde el punto de vista del consumidor la oferta es el conjunto de productos y servicios a los que se les da propiedades físicas o psicológicas (Maqueda, 2012), igual que (Kotler, y otros, 2013 pág. 278) dice que “la oferta de una empresa al mercado incluye tanto bienes tangibles como servicios”. Mientras que (Rosales, 2014) menciona que la oferta es la cantidad de bienes o servicios disponible en el mercado a un precio establecido. Además se considera como un efecto relacionado a la demanda, es el número de mercancías ofertado a los consumidores para satisfacer sus necesidades que incluye un valor monetario y ciclos de tiempo (Ávila, 2013).

Debido a que en la actualidad en Ecuador no existen empresas que se dediquen de forma específica a la extracción de almidón las empresas que lo usan como base se ven en la necesidad de comprar e importar dicho almidón ya sea de yuca, maíz, papa o modificado dependiendo el uso a empresas como Almisa (Paraguay), AMFHER FOODS (México), entre otros. Las empresas que importan almidón se observan en la tabla 3-1.

Para determinar la cantidad de almidón que el proyecto debería procesar (ofertar), se considerará una parte de la demanda no cubierta. De acuerdo a esto se tienen como mercado potencial a las empresas a las que se podría llegar con el producto almidón de papa china, de tal manera que se tiene como meta alcanzar por lo menos el 80% de las empresas. De igual manera una posible proyección de la oferta para 5 años postreros.

Tabla N° 3 - 4: Cálculo de la demanda no cubierta.

| Mercado objetivo | Porcentaje de industrias que no usarían el Almidón | Industrias que no utilizara el Almidón |
|-------------------------|---|---|
| 8 | 20% | 2 |

Elaborado por: Tocagón, R. (2018)

De acuerdo al cuadro anterior se puede determinar que, del total de las empresas existentes, las cuales se dedican a la importación y producción de alimentos a base del almidón, por lo menos 2 empresas no utilizarían representado un 20 % de empresas que no utilizarían nuestro producto. De tal manera que para realizar la proyección igualmente tomaremos como tasa de crecimiento el 3% del PIB en el Ecuador.

Tabla N° 3 - 5: Proyección de la demanda no cubierta.

| Año | Demanda no cubierta (%) |
|------|-------------------------|
| 2018 | 20 |
| 2019 | 20.6 |
| 2020 | 21.21 |
| 2021 | 21.84 |
| 2022 | 22.5 |
| 2023 | 23.17 |

Elaborado por: Tocagón, R. (2018)

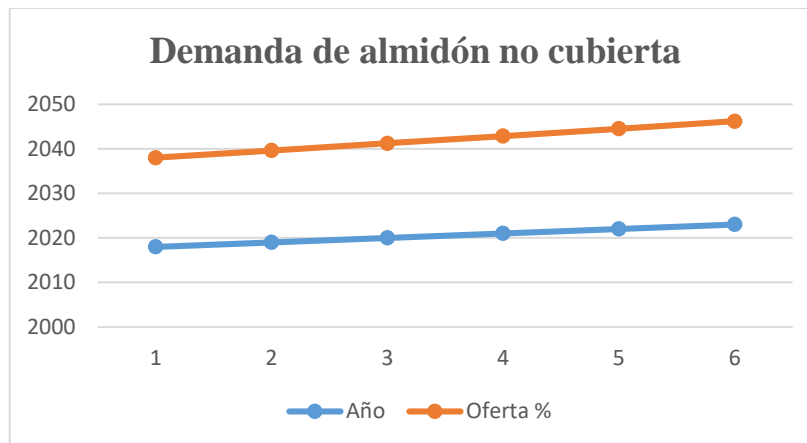


Gráfico N° 3 - 5: Demanda de almidón no cubierta.

Elaborado por: Tocagón, R. (2018)

Análisis e interpretación

Una vez realizado los cálculos correspondientes entre el porcentaje de no aceptación del producto y el mercado objetivo del año 2018, se puede decir que 2 industrias no estarían dispuestas a adquirir nuestros productos ofertados.

3.1.4. Precio

Definiendo al precio, como la cantidad de valor económico que se entrega por la adquisición o disposición de un producto o servicio (Rivera, y otros, 2014). De acuerdo a la página oficial del ministerio de producción agrícola el precio del almidón o fécula tiene un costo de 3,50 USD por Kilogramo.

3.1.5. Canales de Distribución

Kotler & Amstrong (2013) Define “los canales de distribución como un conjunto de instituciones que se relación entre sí para colocar a disposición del consumidor los productos en el mercado”.

El almidón de papa china se venderá directamente a las empresas mencionadas en la tabla 3-1 en presentaciones de 25 kg, ya que el proyecto se estable con la finalidad de suplir el mercado establecido por dichas empresas.

3.1.6. Capacidad de producción

Según Ministerio de Relaciones Laborales (2012) “código de Relaciones laborales” “dice que en el mundo actual de la producción y comercialización de productos así como la prestación de servicios cada vez con más frecuencia ocurre los 365 días del año, las 24 horas del día, por lo que en cada vez más común la necesidad de establecer horarios especiales de trabajo que permitan al ajuste de los requerimientos actuales”.

Luego de haber analizado el estudio de mercado, acerca de la demanda productiva del almidón y la capacidad de producción de papa china en el sector como materia prima, se consideró que para satisfacer la demanda de las empresas que se dedican a la elaboración de productos alimenticios y no alimenticios usando el almidón como materia prima o insumo es necesario crear una línea productiva que trabaje los 12 meses del año, 5 días a la semana, tomando en cuenta que el día laboral consta de 8 horas diarias, establecido por la Normativa del Código de Trabajo vigente. La nueva línea de producción, que se propone, según el análisis realizado de acuerdo al estudio de mercado, se determina que la capacidad productiva para cubrir la demanda proyectada hasta el año 2023, sería de 11592,8 kilogramos mensualmente, contemplando que a diario se produzca 527 kilogramos de almidón.

3.2. Localización del proyecto

La presente investigación se llevó a cabo en laboratorio de procesos industriales en la Facultad de Ciencias de la ESPOCH, ubicada en la provincia de Chimborazo, cantón Riobamba en la Panamericana sur Km 1^{1/2} con coordenadas 1°39'13.4"S 78°40'34.2"W.

Tabla N° 3 - 6: Condiciones Meteorológicas del Cantón Riobamba

| Parámetros | Valores Promedios |
|------------------------|-------------------|
| Altitud, msm. | 2750 |
| Temperatura , °C | 13,5 |
| Precipitación, mm/mes. | 820 |
| Humedad relativa, %. | 75 |

Fuente: (ESPOCH, 2017).

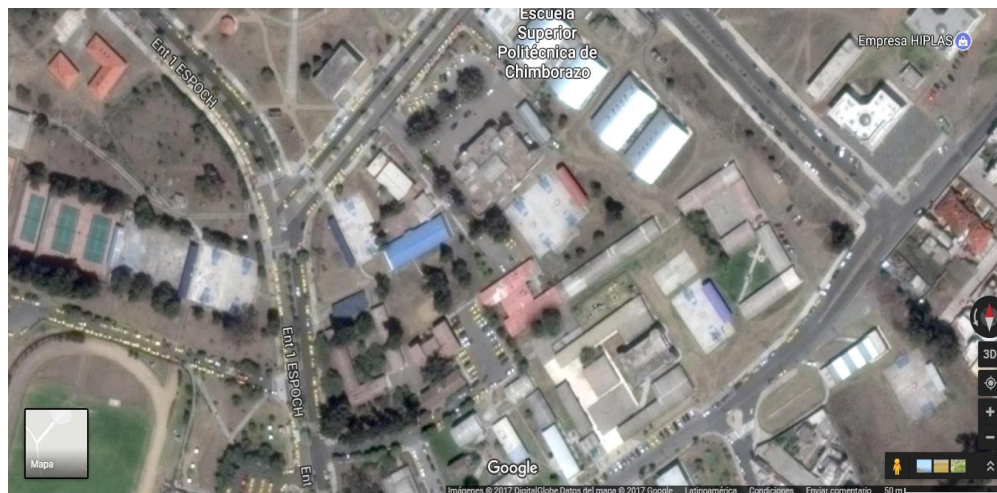


Figura N° 3 - 2: Georreferenciación de la ubicación de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Fuente: (Maps, 2017).

3.3. Ingeniería del proyecto

3.3.1. Descripción de las condiciones iniciales.

Las condiciones iniciales se basaron en la capacidad del proceso de extracción de almidón por el método físico, que dispone el laboratorio de procesos industriales, en el que se determinó los equipos y las dimensiones de los mismos, con base en esto se diseñó la propuesta experimental.

3.3.2. Métodos y técnicas

3.3.2.1. Métodos

➤ Método descriptivo:

En este proyecto se describirá la naturaleza actual del proceso y las variables que conlleva desde su materia prima, productos intermedios y el producto final. Engloba la observación, registro de los parámetros de control y la manipulación de variables que afectan al objeto de estudio, para nuestro trabajo se usan diversas técnicas, equipos, herramientas y materiales en el transcurso del desarrollo experimental en la transformación de la materia prima en el producto deseado.

3.3.2.2. Técnicas

Usamos diversos métodos en la etapa experimental del proyecto que fueron necesarias para la obtención de información que permitió tomar decisiones correctas en el diseño del proceso y cumplimiento de los objetivos. Estas técnicas se muestran de las tablas 3-7 a la 3-21 ubicadas de acuerdo al orden del proceso.

Requisitos sensoriales de la papa china

Tabla N° 3 - 7: Técnica para la determinación del tamaño y requisitos sensoriales.

| Concepto | Materiales | Reactivos | Procedimiento | Cálculos |
|--|---|---|--|--|
| Requisitos generales mínimos que deben cumplir las papas para el consumo humano. | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Balanza analítica, sensibilidad 0.1 mg ➤ Vernier (pie de rey) ➤ Material usual de laboratorio | <ul style="list-style-type: none"> ➤ No necesarios | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Realizar una inspección sensorial de la apariencia del tubérculo. ➤ Pesar la papa china en una balanza analítica con una precisión de 0,1 g. ➤ Con la ayuda de un vernier (pie de rey) medir el diámetro de la papa china a lo largo entre los puntos extremos. ➤ Medir a lo ancho la distancia que existe en la parte más ancha del tubérculo respectivamente. ➤ Reportar las mediciones. | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Medición directa |

Fuente: NTE INEN 1516: 2012

Elaborado por: Tocagón, R. (2018)

Humedad

Tabla N° 3 - 8: Técnica para la determinación del contenido de humedad.

| Concepto | Materiales | Reactivos | Procedimiento | Cálculos |
|--|---|---|---|---|
| Contenido de humedad presente en la papa china | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Balanza analítica, sensibilidad 0.1 mg ➤ Cápsulas de vidrio, porcelana o metálica, con tapa ➤ Desecador con deshidratante adecuado ➤ Estufa regulada a 103±2 °C ➤ Material usual de laboratorio | <ul style="list-style-type: none"> ➤ No necesarios | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Efectuar el análisis en duplicado ➤ Colocar la cápsula destapada y la tapa durante al menos 1 hora en la estufa a la temperatura de secado del producto. ➤ Empleando pinzas, trasladar la cápsula tapada al desecador y dejar enfriar durante 30 a 45 min. Pesar la cápsula con tapa con una aproximación de 0.1 mg. Registrar (m1). ➤ Pesar 5 g de muestra previamente homogeneizada. Registrar (m 2). ➤ Colocar la muestra con cápsula destapada y la tapa en la estufa a la temperatura y tiempo recomendado 105 ° C x 5 horas. ➤ Tapar la cápsula con la muestra, sacarla de la estufa, enfriar en desecador durante 30 a 45 min. ➤ Repetir el procedimiento de secado por una hora adicional, hasta que las variaciones entre dos pesadas sucesivas no excedan de 5 mg (m 3). | <p><i>% Humedad</i></p> $= \frac{m2 - m3}{m2 - m1} * 100$ <p>Donde:</p> <p>m1: masa de la cápsula vacía y de su tapa, en gramos</p> <p>m2: masa de la cápsula tapada con la muestra antes del secado, en gramos</p> <p>m3: masa de la cápsula con tapa más la muestra desecada, en gramos</p> |

Fuente: Official Methods of Analysis. A.O.A.C. 15th Edition 1990.

Elaborado por: Tocagón, R. (2018)

Grasa

Tabla N° 3 - 9: Técnica para la determinación del contenido de materia grasa.

| Concepto | Materiales | Reactivos | Procedimiento | Cálculos |
|--|---|--|--|--|
| Contenido de materia grasa presente en la papa china | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Sistema extractor Soxhlet ➤ Balanza analítica ➤ Papel filtro o dedal de celulosa ➤ Baño termostático ➤ Estufa de aire 103 + 2°C ➤ Tamiz de malla de 1 mm ➤ Manto calefactor o rota vapor ➤ Material usual de laboratorio | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Éter etílico P.E. 40-60°C ➤ Éter de petróleo P.E. 40-60°C | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Preparación de la muestra. ➤ En muestras con mucha humedad homogeneizar y secar a 103+ °C en estufa de aire considerando el tipo de muestra. ➤ Moler y pasar por tamiz de malla de 1 mm ➤ Pesar en duplicado 2 a 5 gramos de muestra preparada en el dedal de extracción o papel filtro previamente pesado y tapado con algodón desgrasado. Registrar m ➤ Secar el matraz de extracción por 30 min a 103+ 2°C. ➤ Pesar el matraz de extracción Registrar m 1 ➤ Poner el matraz de extracción en el sistema soxhlet el dedal en el tubo de extracción y adicionar el solvente al matraz. ➤ Extraer la muestra con el solvente por 6 a 8 horas a una velocidad de condensación de 3-6 gotas/seg. ➤ Una vez terminada la extracción eliminar el solvente por evaporación en rota vapor o baño María bajo campana. Hasta que no se detecte olor a éter. ➤ Secar el matraz con la grasa en estufa a 103+ 2°C por 10 min, enfriar en desecados y pesar. Registrar m 2 . | <p><i>% grasa cruda</i></p> $= \frac{m2 - m1}{m} * 100$ <p>Donde: m: peso de la muestra m1: Tara del matraz solo m2: peso matraz con grasa.</p> |

Fuente: Official Methods of Analysis. A.O.A.C. 15th Edition, U.S.A. (1990)

Elaborado por: Tocagón, R. (2018)

Ceniza

Tabla N° 3 - 100: Técnica para la determinación del contenido de cenizas.

| Concepto | Materiales | Reactivos | Procedimiento | Cálculos |
|---|---|---|---|---|
| Contenido de ceniza en la materia prima | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Balanza analítica, sensibilidad 0,1 mg. ➤ Crisol de porcelana o de otro material inalterable a las condiciones del ensayo. ➤ Mufla con control de temperatura. ➤ Quemador de gas. ➤ Desecador con agente deshidratante apropiado. | <ul style="list-style-type: none"> ➤ No necesarios | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Pesar de 3 a 5 g de muestra de ensayo bien mezclada con aproximación de 1mg, dentro del crisol previamente secado a la temperatura de 550°C por dos horas, enfriado y tarado. ➤ Quemar la muestra de crisol a llama moderada en el quemador de gas hasta que la muestra de ensayo cese el abultamiento o hinchamiento de la misma, indicando esto que ha sido reducida a carbón. Se tendrá cuidado que no se inflame la porción de ensayo ya que puede producirse pérdida de ésta al proyectarse. ➤ Llevar el crisol con la materia carbonizada a la mufla e incinerar a una temperatura de 550°C, hasta obtener cenizas de color blanco grisáceo característico y la masa constante. ➤ Si no se obtiene las cenizas, se deja enfriar el crisol, se humedece el contenido con unas pocas gotas de agua destilada y se evapora el agua a baño maría. Luego se calcina nuevamente hasta masa constante. ➤ Enfriar en el desecador hasta temperatura ambiente e inmediatamente pesar. ➤ Es importante que la incineración se haga a baja temperatura ya que muchos derivados del colágeno contienen cloruros los cuales son fácilmente volátiles. | $\% \text{ cenizas} = \frac{C3 - C1}{C2 - C1} * 100$ <p>Donde:</p> <p>C1= masa del crisol vacío en gramos. C2= masa del crisol con la muestra en gramos. C3= masa del crisol con las cenizas en gramos.</p> |

Fuente: Official Methods of Analysis A.O.A.C 18th Edición 2005, pp. 80

Elaborado por: Tocagón, R. (2018)

Fibra

Tabla N° 3 - 11: Técnica para la determinación del contenido de fibra cruda.

| Concepto | Materiales | Reactivos | Procedimiento | Cálculos |
|---|--|--|---|--|
| Contenido de fibra cruda presente en la papa china. | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Aparato de calentamiento a reflujo. ➤ Balanza analítica, sensibilidad 0,1 mg. ➤ Crisoles de porcelana o de sílica. ➤ Desecador ➤ Bomba de vacío. ➤ Embudo Büchner.. ➤ Estufa a 103 ± 2 °C. ➤ Tamiz de malla 1 mm. ➤ Placa calefactora ➤ Material usual de laboratorio. | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Solución de ácido sulfúrico 0.255 N. ➤ Solución de hidróxido de sodio 0.313 N ➤ Fibra cerámica ➤ Silicona ➤ Antiespumante. ➤ Etanol al 95%. ➤ Éter de petróleo, P.E. 40 – 60 °C. | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Realizar el análisis en duplicado. ➤ Pesar a 0.1 mg alrededor de 2 g de muestra preparada y transferir en al matraz del aparato de calentamiento a reflujo. ➤ Agregar 1.5 a 2.0 g de fibra cerámica preparada. ➤ Agregar 200 ml de H₂SO₄ 0.255 N, hirviendo, gotas de antiespumante y perlas de vidrio. ➤ Conectar el aparato de calentamiento a reflujo y hervir exactamente durante 30 minutos, rotando el matraz periódicamente. ➤ Desmontar el equipo y filtrar a través del embudo Büchner tipo California o sus alternativas. ➤ Lavar con 50 a 75 ml de agua hirviendo, repetir el lavado con 3 porciones de 50 ml de agua o hasta que cese la reacción ácida. ➤ Retornar el residuo al aparato de calentamiento a reflujo y hervir exactamente durante 30 minutos, rotando el matraz periódicamente. ➤ Lavar con 25 ml de H₂SO₄ 0.255 N, hirviendo, con 3 porciones de 50 ml de agua hirviendo y con 25 ml de etanol al 95%. ➤ Remover el residuo y transferir al crisol. ➤ Secar en estufa a 130 ± 2 °C por 2 horas, enfriar en desecador y pesar. ➤ Incinerar 30 minutos a 600 ± 15 °C, enfriar en desecador y pesar. ➤ Determinar un blanco en las mismas condiciones que la muestra. | $C = \frac{(P_i - P_b) \times 100}{P_m}$ <p>%Fibra cruda (base húmeda)</p> $= C * \frac{100 - \% H}{100}$ <p>P_i: Pérdida de peso en la incin P_b: Pérdida de peso del blanco P_m: peso de la muestra % H: Porcentaje de humedad de la muestra cruda.</p> |

Fuente: Official Methods of Analysis 15 th Edition. U.S.A. (1990).

Elaborado por: Tocagón, R. (2018)

Proteína cruda.

Tabla N° 3 - 122: Técnica para la determinación del contenido de nitrógeno (Proteína Cruda)

| Concepto | Materiales | Reactivos | Procedimiento | Cálculos |
|---|--|--|---|---|
| Contenido de proteína cruda en la papa china. | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Balanza analítica, sensibilidad 0.1 mg. ➤ Equipo Kjeldahl ➤ Manto calefactor ➤ pH metro ➤ Material usual de laboratorio. | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Ácido sulfúrico concentrado, p.a. ➤ Sulfato de potasio o sulfato de sodio, p.a. ➤ Sulfato cúprico, p.a. ➤ Solución de hidróxido de sodio al 15 %. ➤ Solución de ácido sulfúrico 0.1 N., ➤ Solución de hidróxido de sodio al 30 %. ➤ Solución indicadora de rojo de metilo al 1 % en etanol. ➤ Solución de hidróxido de sodio 0.1 N. ➤ Ácido bórico al 3 %. ➤ Indicador de Tashiro: rojo de metilo al 0.1 % ➤ Azul de metileno al 0.1 % en relación de 2:1, en alcohol etílico. ➤ Solución de ácido clorhídrico 0.1 N. | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Realizar la muestra en duplicado. ➤ Efectuar un ensayo en blanco usando sacarosa. ➤ Pesar alrededor de 1 g de muestra homogeneizada. ➤ Agregar 3 perlas de vidrio, 10 g de sulfato de potasio o sulfato de sodio, 0.5 g de sulfato cúprico y 20 mL de ácido sulfúrico conc. ➤ Conectar el matraz a la trampa de absorción que contiene 250 mL de hidróxido de sodio al 15 %. ➤ Calentar en manta calefactora y una vez que la solución esté transparente, dejar en ebullición 15 a 20 min. más. ➤ Enfriar y agregar 200 mL de agua. ➤ Conectar el matraz al aparato de destilación, agregar lentamente 100 mL de NaOH al 30 % por el embudo, y cerrar la llave. ➤ Destilar no menos de 150 mL en un matraz que lleve sumergido el extremo del refrigerante o tubo colector. ➤ Cada cierto tiempo es necesario verificar la hermeticidad del equipo de destilación. ➤ Verificar la recuperación. | $\% N = \frac{14 * N * V * 100}{m * 1000}$ $\% Proteina = \frac{14 * N * V * 100 * factor}{m * 1000}$ <p>Donde: V: gasto. m : masa de la muestra, en gramos</p> |

Fuente: A.O.A.C. Official Methods of Analysis 13 th Edition, 1984.

Elaborado por: Tocagón, R. (2018)

Distribución del tamaño del gránulo

Tabla N° 3 - 13: Técnica para la determinación de la distribución del tamaño del gránulo

| Concepto | Materiales | Reactivos | Procedimiento | Cálculos |
|--|--|--|--|--|
| Granulometría para la determinación del tamaño de nominal del almidón. | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Balanza ➤ Equipo Ro-tap con tapa y fondo. | <ul style="list-style-type: none"> ➤ No necesarios. | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Pesarse cada tamiz y el fondo, vacíos y limpios. ➤ Pesarse 100 g de la muestra de almidón y transferirse al tamiz de la parte superior del grupo de tamices. ➤ Agitar el grupo de tamices hasta que la cantidad de almidón que pasa a través de la parte superior del grupo de tamices sea insignificante (aproximadamente 10 minutos). ➤ Remover el tamiz de la parte superior y agitar hasta que la cantidad de almidón a través del siguiente tamiz sea insignificante. ➤ Continuar de igual forma con los otros tamices hasta que todos sean removidos. ➤ Pesarse cada uno de los tamices y el fondo con sus respectivas fracciones de almidón. | $Pr = P2 - P1$ <p>Pr: Peso de material retenido P2: Peso de tamiz más peso del material retenido P1: Peso del tamiz.</p> |

Fuente: ISI, 1999

Elaborado por: Tocagón, R. (2018)

Materia seca

Tabla N° 3 - 14: Técnica para la determinación del contenido de materia seca.

| Concepto | Materiales | Reactivos | Procedimiento | Cálculos |
|---|--|--|---|---|
| Determinación de la materia seca del almidón. | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Balanza analítica con una precisión de 0,01 g ➤ Crisoles plásticos o de vidrio ➤ Horno con temperatura constante y ventilación forzada ➤ Desecador con un agente de secado. | <ul style="list-style-type: none"> ➤ No necesarios. | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Pesar los crisoles vacíos, limpios y enfriarlos en un desecador, después de secar durante cinco horas en un horno a 80 °C (P1). ➤ Pesar en el crisol vacío entre 20- 30 g de la muestra de almidón (P2). ➤ Colocar el crisol con la muestra de almidón en un horno a 80 °C durante 24 horas. ➤ Enfriar los crisoles con el almidón seco en un desecador hasta obtener peso constante (30-45 minutos) (P3). ➤ Pesar los crisoles con la muestra de almidón seca. | $\%materia\ seca = \frac{100 \times (P_3 - P_1)}{(P_2 - P_1)}$ <p>Dónde: P1= Peso crisoles vacíos P2= Peso crisoles más la muestra sin secar P3= Peso crisoles con la muestra seca</p> |

Fuente: ICONTEC, 2002

Elaborado por: Tocagón, R. (2018)

Contenido de pulpa

Tabla N° 3 - 15: Técnica para la determinación del contenido de pulpa.

| Concepto | Materiales | Reactivos | Procedimiento | Cálculos |
|---------------------------------------|--|---|--|---|
| Determinación del contenido de pulpa. | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Balanza analítica con una precisión de 0,01g ➤ Plancha ➤ Cisoles filtrantes ➤ Papel filtro Whatman N° 1 ➤ Horno con calentamiento constante. | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Agua destilada ➤ Ácido clorhídrico 0,4 % | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Hervir 2- 3 g de almidón durante una hora en 100 mL de ácido clorhídrico 0,4 por ciento. ➤ Filtrar el líquido en un crisol filtrante, previamente pesado, provisto de papel filtro. ➤ Lavar con agua caliente. ➤ Secar el crisol a 105-110 °C hasta peso constante. | $\text{Pulpa (\%)} = \frac{[(P2 (g) - (P1 (g) + p4 (g))] \times 100}{P3 (g)}$ <p>Donde:</p> <p>P1: peso del crisol vacío. P2: Peso crisol después del secado. P3: peso muestra analizada. P4: peso del papel filtro.</p> |

Fuente: Grace, 1977

Elaborado por: Tocagón, R. (2018)

Densidad aparente

Tabla N° 3 - 16: Técnica para la determinación de la densidad aparente

| Concepto | Materiales | Reactivos | Procedimiento | Cálculos |
|---------------------------------------|--|--------------|--|---|
| Determinación de la densidad aparente | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Balanza analítica con una precisión de 0,01 g ➤ Probeta graduada de 50 mL ➤ Embudo ➤ Espátula | No necesario | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Pesar la probeta graduada vacía. ➤ Adicionar cuidadosamente con una espátula la muestra de almidón a la probeta de 50 mL por medio de un embudo hasta que el volumen total sea libremente completado. ➤ Pesar la probeta con el almidón. | <ul style="list-style-type: none"> ➤ $\rho = \frac{[P1-P2]}{V}$ <p>P1: <i>peso probeta + almidón suelto (g)</i> P2: <i>peso probeta vacía (g)</i> V: <i>volumen mL</i> ρ: <i>Densidad aparente</i></p> |

Fuente: Smith, 1967

Elaborado por: Tocagón, R. (2018)

Viscosidad Brookfield.

Tabla N° 3 - 177: Técnica para la determinación de la viscosidad Brookfield.

| Concepto | Materiales | Reactivos | Procedimiento | Cálculos |
|--|--|------------------|---|------------------|
| Viscosidad Brookfield del almidón de papa china. | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Balanza analítica con una precisión de 0,01g ➤ Viscosímetro Brookfield ➤ Balón volumétrico de 500 mL ➤ Vaso de precipitado de 1 000 mL ➤ Plancha con agitador ➤ Magneto ➤ Termómetro | ➤ No se necesita | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Pesar 25,0 g de almidón en base seca, disolver en agua destilada y completar a 500 mL. ➤ Colocar la suspensión en un vaso de precipitado de 1000 mL y calentar con agitación hasta ebullición (aproximadamente 15 minutos). ➤ Enfriar el gel hasta 25 °C y tomar una alícuota de 15 mL ➤ Medir la viscosidad a 25 °C, con una velocidad de 10 RPM. | Medición directa |

Fuente: ISI, 2002

Elaborado por: Tocagón, R. (2018)

Temperatura de gelatinización

Tabla N° 3 - 18: Técnica para la determinación de la temperatura de gelatinización.

| Concepto | Materiales | Reactivos | Procedimiento | Cálculos |
|---|--|--|--|--|
| Temperatura a la que el almidón alcanza el punto de gelatinización. | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Balanza analítica con una precisión de 0,01 g ➤ Plancha de calentamiento ➤ Vasos de precipitado de vidrio de 100 y 250 mL ➤ Frascos volumétricos de 100 mL ➤ Pinzas de acero inoxidable ➤ Termómetro con escala de 0-100 °C | <ul style="list-style-type: none"> ➤ No se necesita | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Pesar 10 g de almidón (bs) disolver en agua destilada y completar a 100 mL. ➤ Calentar agua en un vaso de precipitado de 250 mL a 85 °C. ➤ Tomar 50 mL de la suspensión en un vaso de precipitado de 100 mL. ➤ Introducir el vaso de precipitado con la muestra en el agua a 85 °C. ➤ Agitar con el termómetro constantemente la suspensión de almidón hasta que se forma una pasta y la temperatura permanezca estable por unos segundos. ➤ Leer la temperatura de gelatinización. | Se mide directamente en el termómetro. |

Fuente: Grace, 1977

Elaborado por: Tocagón, R. (2018)

Claridad de la pasta.

Tabla N° 3 - 19: Técnica para la determinación de la claridad de la pasta

| Concepto | Materiales | Reactivos | Procedimiento | Cálculos |
|--|---|--|--|--|
| Claridad de la pasta hecha de almidón. | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Balanza analítica con una precisión de 0,01 g ➤ Espectrofotómetro. ➤ Baño con calentamiento constante. ➤ Tubos de centrifuga plásticos con tapa de 50 mL ➤ Agitador de tubo ➤ Pipeta volumétrica de 5 mL | <ul style="list-style-type: none"> ➤ No se necesita | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Pesar en tubos de centrifuga 200 mg de almidón (bs), ➤ Suspender el almidón en 20 mL de agua destilada. ➤ Colocar los tubos en un baño de agua en ebullición durante 30 minutos. ➤ Agitar la suspensión cada cinco minutos. ➤ Después de pasados 30 minutos colocar la suspensión en cubetas del espectrofotómetro y dejar enfriar a temperatura ambiente. ➤ Leer el porcentaje de transmitancia a una longitud de onda de 650 nm, utilizando agua destilada como blanco. | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Se mide directamente en el equipo. |

Fuente: Craig *et al.*, 1989

Elaborado por: Tocagón, R. (2018)

pH

Tabla N° 3 - 20: Técnica para la determinación del pH

| Concepto | Materiales | Reactivos | Procedimiento | Cálculos |
|---|---|--|--|---|
| Potencial de hidrogeno que genera el almidón de papa china estando en solución. | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Medidor de pH (rango de 0 a 14) ➤ Probeta ➤ Embudo ➤ Soluciones tampón de pH 4,0 y 7,0 | <ul style="list-style-type: none"> ➤ No se necesita | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Calibrar el medidor de pH con las soluciones tampón pH 4,0 y pH 7,0 ➤ Mezclar 20,0 g de almidón en base seca con 100 mL de agua destilada (previamente hervida para eliminar el CO₂) durante 15 minutos ➤ Filtrar a través de un papel filtro Whatman N°1 ➤ Tomar una alícuota y medir el pH con una cifra decimal | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Lectura directa del equipo. |

Fuente: ISI, 1999

Actividad de agua

Tabla N° 3 - 21: Técnica para la determinación de la actividad de agua.

| Concepto | Materiales | Reactivos | Procedimiento | Cálculos |
|-----------------------------------|--|--|--|---|
| Actividad del agua en el almidón. | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Espátula. ➤ Equipo ACUA LAB | <ul style="list-style-type: none"> ➤ No se necesita | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Encender el equipo, antes de usarlo esperar por lo menos quince minutos. ➤ Homogenizar la muestra ➤ Colocar la muestra en el contenedor de muestra del equipo ➤ Abrir la tapa del equipo ➤ Colocar el recipiente que contiene la muestra en el interior del equipo ➤ Cerrar la tapa ➤ Esperar que el equipo se estabilice (la muestra alcance una temperatura de 25 °C) ➤ Interpretar los resultados. | <p>El resultado se lee directamente del equipo.</p> |

Fuente: (Badui Dergal, 2006)

Elaborado por: Tocagón, R. (2018)

3.3.3 Parte experimental

En este apartado el investigador controla las variables para determinar la correlación que tienen estas. En esta etapa del proyecto se recopilarán los datos cuantitativos y cualitativos necesarios para validar el proceso.

3.3.3.1 Descripción de la toma de muestras de la materia prima.

La papa china en cantidad suficiente para el proceso de obtención de almidón y su análisis físico químico (50 kg) fue adquirido en el mercado de la ciudad del Puyo.

Según (Bello, 2005) el tipo de muestreo que se elija debe ser representativo y que el total de la población tengan la oportunidad de entrar en la muestra elegida, por lo cual el tipo de muestreo que más se adapta a las condiciones experimentales es aleatorio simple, para lo cual se asigna un número a los tubérculos que fueron adquiridos en mercados locales y que se pondrán en lotes, teniendo en cuenta el día de producción su calidad mediante la inspección visual.

3.3.3.2 Proceso de elaboración a nivel de laboratorio

Para identificar las variables y parámetros de diseño se tomaron los datos obtenidos del proceso de elaboración a nivel de laboratorio, que a continuación, se describe.

➤ Recepción de la materia prima

La papa china, materia prima usada para la realización de nuestro proyecto fue adquirida en el mercado de la ciudad del Puyo misma que será transportada a la ciudad de Riobamba donde se encuentra ubicado el laboratorio de Investigación de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo para su posterior tratamiento.

➤ Clasificación y selección de la papa china

Se clasificó la materia prima eliminando aquellas que no cumplían con los requisitos de la tabla 3-7, utilizando únicamente los tubérculos que no presentaban: materia extraña visible, germinando, con malos olores, manchas y mohos de acuerdo.



Figura N° 3 - 3: Papa china

Tomado por: Tocagón, R. (2018)

➤ **Lavado y pelado de la materia prima**

Se procedió a lavar la materia prima con abundante agua para eliminar la tierra e impurezas, luego se procedió a pelar de forma manual y posteriormente se lavó nuevamente con agua para eliminar todas las impurezas de tierra que posee. Verificando que se retiró toda la cáscara y que quede toda la papa china de color blanco.



Figura N° 3 - 4: Limpieza y pelado de papa china

Tomado por: Tocagón, R. (2018)

➤ **Cortado**

En esta operación se reduce el tamaño de la papa china antes de ingresar al proceso de molienda húmeda que se realizó en una licuadora para así facilitar la operación.



Figura N° 3 - 5: Cortado de papa china

Tomado por: Tocagón, R. (2018)

➤ **Molienda húmeda**

Para que se pueda realizar la extracción del almidón se debe tener una pasta en la cual se puedan separar las sustancias no deseadas del almidón (fibra). Esta operación consiste especialmente en aumentar la superficie de contacto de la papa facilitando la salida de las moléculas de almidón de la fibra, se realizó de forma mecánica utilizando una licuadora industrial de acero inoxidable hasta convertir la papa china en una pasta fina.

➤ **Filtración y lavado de la materia prima molida**

En esta etapa la pasta obtenida en la operación de molienda húmeda se lavó con abundante agua y agitación constante hasta separar finalmente el almidón de la celulosa haciendo uso de un tamiz. De este proceso depende la pureza del almidón, ya que mientras menos celulosa tenga el producto final este será de mejor calidad.



Figura N° 3 - 6: Masa de fibra de papa china

Tomado por: Tocagón, R. (2018)

➤ **Sedimentación y decantado de la lechada de almidón**

Esta operación consistió en la separación física del almidón de los demás componentes no deseados, para lo cual se colocó el líquido filtrado en una probeta, después de esto se dejó reposar la solución hasta que se observó la formación de dos fases, ya que el almidón al ser más denso e insoluble en el agua se depositó en la parte inferior de la probeta, posteriormente se extrajo esta sustancia blanca eliminando la mayor cantidad de agua residual.



Figura N° 3 - 7: Separación física

Tomado por: Tocagón, R. (2018)

➤ **Secado del almidón primario**

Con la finalidad de eliminar el agua retenida en el almidón se procedió a secar a 60°C en horno tipo secador de bandejas de flujo de aire hasta que el almidón presentó un valor de humedad adecuado a la norma.



Figura N° 3 - 8: Secado

Tomado por: Tocagón, R. (2018)

Para determinar el comportamiento del almidón primario dentro del proceso de secado se realizó la construcción de las curvas de secado para determinar el tiempo que se demorara en secar el almidón primario.

➤ **Molienda de almidón bruto**

Tras el secado las partículas de almidón se aglutinan por lo que es necesario realizar un proceso de molienda para separar dichas partículas hasta que cumpla con las características establecidas por la normativa para considerar al almidón como un producto de calidad.



Figura N° 3 - 9: Molienda del almidón bruto de papa china

Tomado por: Tocagón, R. (2018)

➤ **Almacenamiento del almidón primario**

Terminado el proceso el almidón es almacenado en un lugar libre de humedad y luz de sol para evitar que se produzcan fenómenos de descomposición y así poder prolongar el tiempo de almacenamiento del almidón.

3.3.4. Datos experimentales

3.3.4.1. Datos del análisis físico-químico de la materia prima

Tabla N° 3 - 22: Clasificación de acuerdo al tamaño de la papa.

| Parámetro evaluado | Valor |
|---------------------------|----------------------|
| Peso (g) | 120,7 +/-10,5 |
| Largo (mm) | 100,4 +/- 15,5 |
| Ancho (mm) | 44,8 +/-5,7 |
| Diámetro (mm) | 72,6 +/- 10,6 |
| Categoría | Grado N° 1 o Primera |

Elaborado por: Tocagón, R. (2018)

Tabla N° 3 - 23: Cumplimiento de requisitos según la norma NTE INEN 1516: 2012C

| Requisitos | Evaluación |
|------------------------------------|------------|
| Enteras y con la piel bien formada | Si |
| Sanas | Si |
| Limpias | Si |
| Exentas de plagas | Si |
| Firmes y de aspecto fresco | Si |
| Sin germinar | Si |
| Exentas de olores | Si |
| Enverdecimiento | No |
| Manchas de mohos | No |

Elaborado por: Tocagón, R. (2018)

Tabla N° 3 - 24: Resultados de la composición proximal del tubérculo de papa china.

| PRUEBA | CONTENIDO EN % | METODO / NORMA |
|------------------------------|----------------|----------------|
| Contenido de Humedad | 69,18 | AOAC 950.46A |
| Contenido de Grasa | 3,61 | AOAC 996.06A |
| Contenido de Cenizas | 1,57 | AOAC 923.03A |
| Contenido de Proteína | 3.61 | AOAC 984.13A |
| Contenido de Fibra | 0.53 | AOAC 945. 13A |
| Contenido Libre de Nitrógeno | 25,64 | |

Elaborado por: Tocagón, R. (2018)

Considerando que la calidad de un producto depende directamente de la calidad de la materia prima y de las etapas del proceso en sí, es pertinente conocer el estado en el que la materia prima ingresa al proceso, para ello se midió: humedad, materia seca, cenizas, fibra, proteína y el ELN, además de tamaño, peso, diámetro, apariencia.

Como se observa en la Tabla N° 3-24 alcanzamos el cumplimiento de los requisitos según la norma NTE INEN 1516: 2012C. En cuanto a la composición proximal del almidón de papa china podemos observar que se encuentra dentro de los rangos determinados por (Ferreira, y otros, 1990).

3.3.4.2. Datos del secado del almidón primario.

Tabla N° 3 - 25: Resultados de la valoración de las curvas de secado del almidón.

| MUESTRA | INTERVALO DE TIEMPO | % HUMEDAD REMOVIDA | PESO TOTAL | PESO DE LA MUESTRA |
|---------|---------------------|--------------------|------------|--------------------|
| M1 | 10 | 0.00 | 1074.74 | 98.34 |
| | 20 | 39.75 | 1035.65 | 59.25 |
| | 30 | 65.12 | 1010.7 | 34.3 |

| | | | | |
|----|----|-------|---------|--------|
| | 40 | 70.03 | 1005.87 | 29.47 |
| | 50 | 70.03 | 1005.87 | 29.47 |
| M2 | 10 | 0.00 | 1078.24 | 101.84 |
| | 20 | 33.91 | 1043.71 | 67.31 |
| | 30 | 55.39 | 1021.83 | 45.43 |
| | 40 | 63.28 | 1013.8 | 37.4 |
| | 50 | 66.42 | 1010.6 | 34.2 |
| | 60 | 66.42 | 1010.6 | 34.2 |
| M3 | 10 | 0.00 | 1081.44 | 105.04 |
| | 20 | 18.04 | 1062.49 | 86.09 |
| | 30 | 41.95 | 1037.38 | 60.98 |
| | 40 | 56.48 | 1023.11 | 45.71 |
| | 50 | 65.61 | 1012.52 | 36.12 |
| | 60 | 66.93 | 1011.14 | 34.74 |
| | 80 | 67.52 | 1010.52 | 34.12 |
| M4 | 10 | 0.00 | 1117.17 | 140.77 |
| | 20 | 20.39 | 1088.46 | 112.06 |
| | 30 | 47.35 | 1055 | 74.11 |
| | 40 | 59.55 | 1033.34 | 56.94 |
| | 50 | 63.81 | 1027.34 | 50.94 |
| | 60 | 65.06 | 1025.58 | 49.18 |
| | 70 | 65.06 | 1025.58 | 49.18 |
| M5 | 10 | 0.00 | 1175.34 | 194.45 |
| | 20 | 9.27 | 1157.32 | 176.43 |
| | 30 | 51.15 | 1071.38 | 94.98 |
| | 40 | 55.67 | 1062.59 | 86.19 |
| | 50 | 59.27 | 1055.6 | 79.2 |
| | 60 | 60.77 | 1052.68 | 76.28 |
| | 70 | 60.77 | 1052.68 | 76.28 |
| M6 | 10 | 0.00 | 1227.53 | 251.13 |
| | 20 | 13.54 | 1198.01 | 217.12 |
| | 30 | 29.43 | 1158.12 | 177.23 |
| | 40 | 39.99 | 1127.11 | 150.71 |
| | 50 | 50.60 | 1100.45 | 124.05 |
| | 60 | 57.85 | 1086.74 | 105.85 |
| | 70 | 58.87 | 1079.7 | 103.3 |
| | 80 | 58.87 | 1079.7 | 103.3 |
| M7 | 10 | 0.00 | 1194.24 | 217.84 |
| | 20 | 13.80 | 1164.17 | 187.77 |
| | 30 | 27.84 | 1133.6 | 157.2 |
| | 40 | 42.23 | 1102.24 | 125.84 |
| | 50 | 53.33 | 1078.07 | 101.67 |
| | 60 | 63.51 | 1060.38 | 79.49 |
| | 70 | 63.89 | 1055.06 | 78.66 |
| | 80 | 65.21 | 1052.18 | 75.78 |
| | 90 | 65.21 | 1052.18 | 75.78 |

Elaborado por: Tocagón, R. (2018)

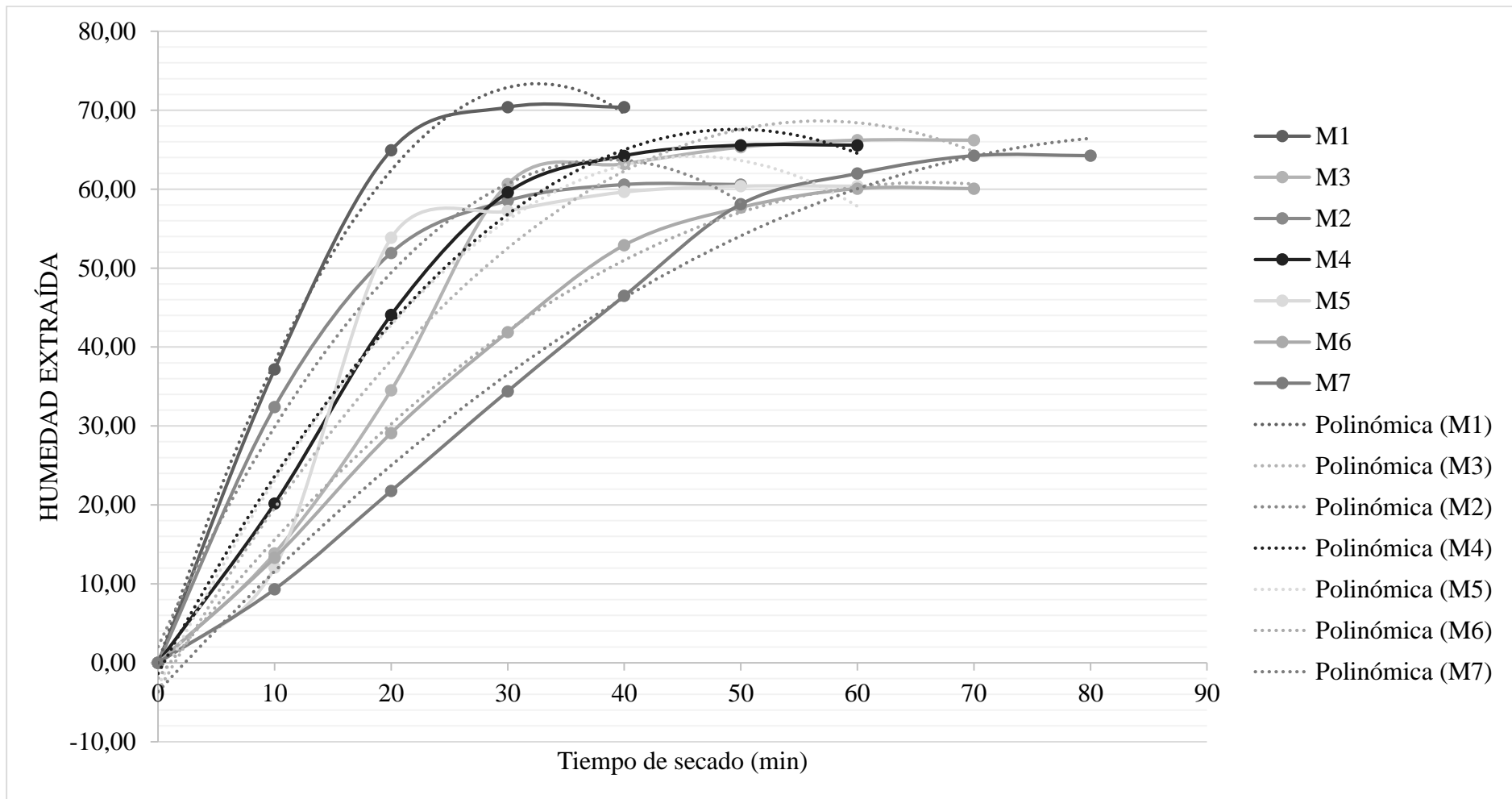


Figura N° 3 - 10: Curva de secado de las 7 muestras. Ensayo 1

Elaborado por: Tocagón, R. (2018).

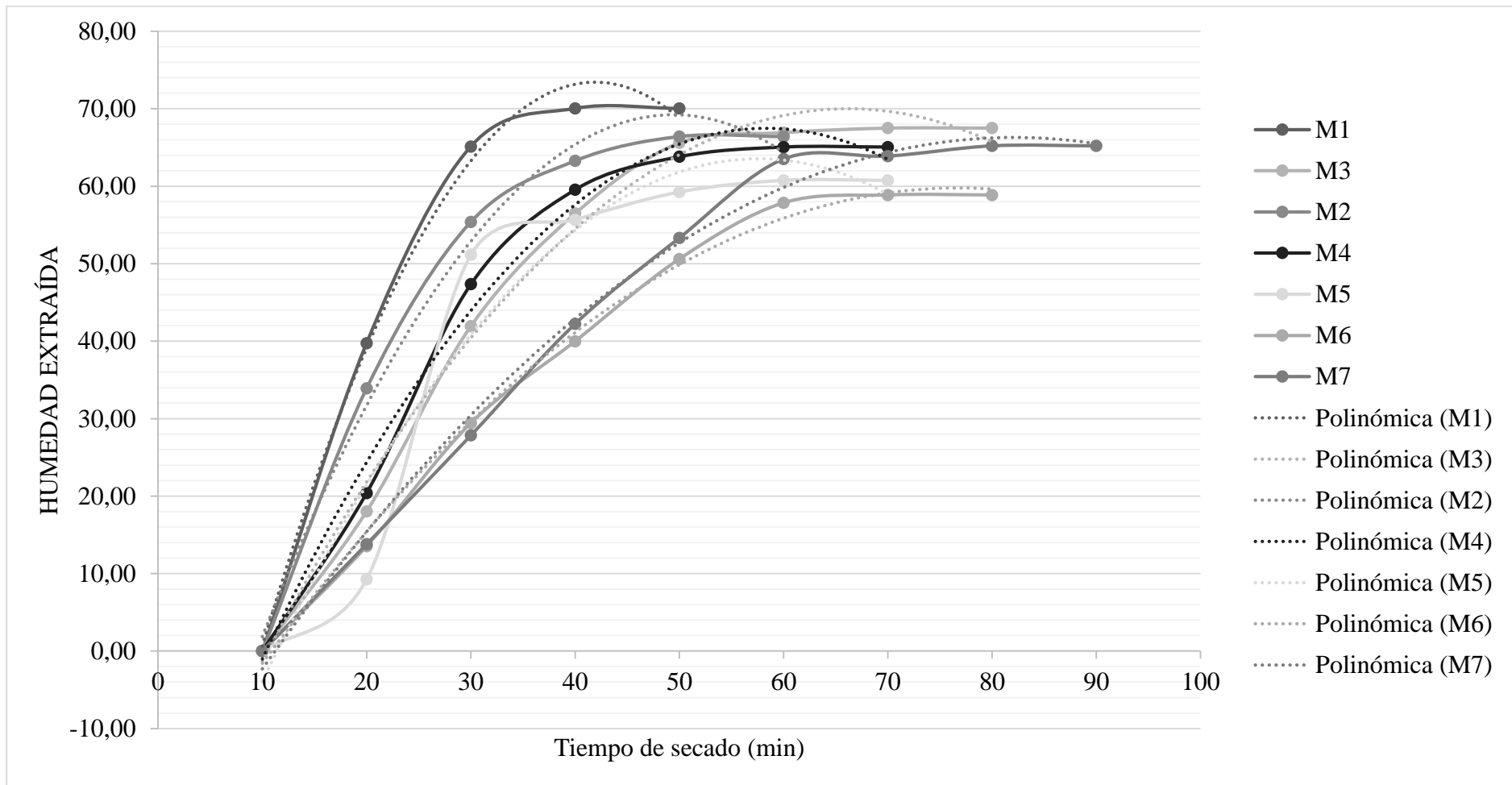


Figura N° 3 - 11: Curva de secado de las 7 muestras. Ensayo 2.

Elaborado por: Tocagón, R. (2018)

Para la determinación del tiempo de secado necesario se establecieron las ecuaciones, por regresiones polinómicas, que rigen las curvas de secado de las 7 muestras analizadas, las cuales se describen en la siguiente tabla:

Tabla N° 3 - 26: Ecuaciones que rigen la cinética de secado

| ENSAYO | MUESTRA | ECUACIÓN QUE RIGE LA CINÉTICA | COEFICIENTE DE CORRELACIÓN |
|----------|---------|-------------------------------------|----------------------------|
| ENSAYO 1 | 1 | $y = -0.0414x^2 + 3.1973x + 2.0523$ | $R^2 = 0.9876$ |
| | 2 | $y = -0.0691x^2 + 4.5021x - 0.0291$ | $R^2 = 0.9962$ |
| | 3 | $y = -0.028x^2 + 2.7804x - 1.3725$ | $R^2 = 0.993$ |
| | 4 | $y = -0.0318x^2 + 2.9234x - 2.9406$ | $R^2 = 0.9295$ |
| | 5 | $y = -0.0223x^2 + 2.5402x - 3.5618$ | $R^2 = 0.9721$ |
| | 6 | $y = -0.0093x^2 + 1.6196x - 3.6716$ | $R^2 = 0.9882$ |
| | 7 | $y = -0.0143x^2 + 1.8954x - 1.9357$ | $R^2 = 0.996$ |
| ENSAYO 2 | 1 | $y = -0.0714x^2 + 5.9874x - 52.097$ | $R^2 = 0.9957$ |
| | 2 | $y = -0.0137x^2 + 2.1083x - 21.273$ | $R^2 = 0.9965$ |
| | 3 | $y = -0.0298x^2 + 3.43x - 35.235$ | $R^2 = 0.9299$ |
| | 4 | $y = -0.0293x^2 + 3.4215x - 32.305$ | $R^2 = 0.9893$ |
| | 5 | $y = -0.0434x^2 + 4.2863x - 36.666$ | $R^2 = 0.991$ |
| | 6 | $y = -0.0132x^2 + 2.1666x - 22.665$ | $R^2 = 0.9938$ |
| | 7 | $y = -0.0226x^2 + 2.9872x - 28.902$ | $R^2 = 0.9921$ |

Elaborado por: Tocagón, R. (2018)

Por medio de las operaciones de reemplazo, y conociendo que se necesita extraer de la corriente de salida de la operación de molido un 56% de la humedad, se determinaron los tiempos de secado expresados dentro de la tabla 3-27.

Tabla N° 3 - 27: Determinación del tiempo de secado a partir de las curvas de secado

| ECUACIÓN MODIFICADA | TIEMPO DE SECADO |
|----------------------------------|------------------|
| $0.0414x^2 + 3.1973x - 53.9477$ | 24.903 |
| $-0.0691x^2 + 4.5021x - 56.0291$ | 16.753 |
| $-0.028x^2 + 2.7804x - 57.3725$ | 29.251 |
| $-0.0318x^2 + 2.9234x - 58.9406$ | 29.861 |
| $-0.0223x^2 + 2.5402x - 59.5618$ | 33.019 |
| $-0.0093x^2 + 1.6196x - 59.6716$ | 52.931 |
| $-0.0143x^2 + 1.8954x - 57.9357$ | 47.817 |
| $-0.0714x^2 + 5.9874x - 108.097$ | 26.307 |
| $-0.0137x^2 + 2.1083x - 77.273$ | 60.206 |

| | |
|---------------------------------|--------|
| $-0.0298x^2 + 3.43x - 91.235$ | 41.724 |
| $-0.0293x^2 + 3.4215x - 88.305$ | 38.506 |
| $-0.0434x^2 + 4.2863x - 92.666$ | 31.964 |
| $-0.0132x^2 + 2.1666x - 78.665$ | 54.216 |
| $-0.0226x^2 + 2.9872x - 84.902$ | 41.371 |

Elaborado por: Tocagón, R. (2018)

Dentro de la tabla 3-28, se establecen los resultados de la estadística descriptiva aplicada a los resultados del cálculo del tiempo de secado en base a las ecuaciones de cinética de secado determinadas a partir de las curvas, para alcanzar la humedad deseada en el producto de 13%. Dentro del cuadro citado se puede evidenciar que, en promedio el tiempo de secado necesario para obtener el porcentaje de humedad deseado es igual a 37.77 min.

Tabla N° 3 - 28: Estadística descriptiva de los resultados de la valoración del tiempo de secado por medio de las curvas de secado.

| DESCRIPTIVOS | | | | |
|------------------|---|-----------------|----------------|--|
| Estadísticos | | Valor | Error estándar | |
| Tiempo de secado | Media | 37,7735 | 3,36748 | |
| | 95% de intervalo de confianza para la media | Límite inferior | 30,4985 | |
| | | Límite superior | 45,0485 | |
| | Media recortada al 5% | 37,6951 | | |
| | Mediana | 35,7625 | | |
| | Varianza | 158,759 | | |
| | Desviación estándar | 12,59996 | | |
| | Mínimo | 16,75 | | |
| | Máximo | 60,21 | | |
| | Rango | 43,45 | | |
| | Rango intercuartil | 20,58 | | |
| | Asimetría | 0,269 | 0,597 | |
| Curtosis | -0,731 | 1,154 | | |

Elaborado por: Tocagón, R. (2018)

3.3.4.3. Datos de la caracterización físico-química del almidón

Finalizada la etapa de obtención de almidón a escala de laboratorio, se procedió al análisis físico químico para comparar los resultados con los Requisitos fisicoquímicos del almidón de yuca descritos por (Aristizábal, y otros, 2007).

Tabla N° 3 - 29: Resultados de los parámetros físico – químicos del almidón de papa china.

| Parámetros | Resultados | Rango Estándar | METODO / NORMA |
|-----------------------------------|----------------|----------------|----------------------------|
| Actividad de agua. | 0,35+/-0,02 | < a 0,65 | Ferrer, 2017 |
| Claridad de la pasta, % | 97,1+/-0,4 | 12,5-95 | Craig <i>et al.</i> , 1989 |
| Contenido de cenizas, % | 0,25+/-0,06 | < 0,12 | AOAC 923.03 ^a |
| Contenido de humedad, % | 11,80+/-0,45 | < 12 | AOAC 950.46 ^a |
| Contenido de materia seca, % | 88,36+/-1,96 | 87-90 | ICONTEC, 2002 |
| Contenido de pulpa, % | 0,28+/-0,02 | < 0,3 | Grace, 1977 |
| Densidad aparente; g/ml | 0,47+/-0,04 | 1,560 | Smith, 1967 |
| pH | 6,48+/-0,15 | 4,5 – 5,5 | ISI, 1999 |
| Tamaño de gránulo, % | 99,55+/-0,13 | 99,0 | ISI, 1999 |
| Temperatura de gelatinización, °C | 71+/-6,25 | 57,5-70 | Grace, 1977 |
| Viscosidad Brookfield, Cp | 2544+/-117 ,41 | 840 -1 500 | ISI, 2002 |

Elaborado por: Tocagón, R. (2018)

El almidón de papa china puede considerarse superior al almidón de maíz en varios aspectos como por ejemplo en su blancura, bajo contenido de fibra e impurezas que lo hacen útil en la industria del papel y el cartón (Aristizábal, y otros, 2007). Otro aspecto importante es su alta consistencia en la gelificación útil en la elaboración de salchichas (Torres Rapelo, y otros, 2013), y alta temperatura de gelatinización permitiendo procesos de secados más rápidos (Palomino, y otros, 2010). Por tanto, el punto clave es que el almidón nativo de papa china sin modificaciones tenga estas funcionalidades especiales.

La industria del almidón es muy variable y diversificada, los almidones son altamente sustituibles, pero en general los almidones provenientes de tubérculos tienen propiedades funcionales que les dan competitividad frente a almidones de otras fuentes (Aristizábal, y otros, 2007). Sin embargo, el precio y la localización son los principales factores que determinan la demanda de los almidones y su uso.

Tabla N° 3 - 30: Comparación cualitativa de parámetros de almidones.

| Parámetro | Papa China | Maíz | Yuca |
|---|------------|------|------|
| Productividad de la materia prima | Alto | Alto | Bajo |
| Competitividad del precio de la materia prima | Medio | Alto | Alto |

| | | | |
|---|-------|-------|-------|
| Eficiencia de conversión de almidón | Bajo | Alto | Medio |
| Valor de subproductos | Bajo | Medio | Bajo |
| Costo de eliminación de residuos | Medio | Bajo | Alto |
| Competitividad del precio del almidón | Bajo | Alto | Alto |
| Aplicación en la industria alimenticia | Alto | Medio | Alto |
| Aplicación en la industria no alimenticia | Medio | Alto | Medio |
| Aplicación en edulcorantes | Bajo | Alto | Medio |
| Avances en investigación y desarrollo | Alto | Alto | Bajo |

Fuente: Aristizábal, J. & S. T., 2007

La Tabla N° 3 – 30 presenta una comparación de los factores de producción, procesamiento y mercado de los almidones de yuca, papa china y maíz desde un punto de vista cualitativo. Si bien es cierto en términos generales no se observa que el uso del almidón de papa china sea más competitivo que los otros, sin embargo, se debe considerar sus características fisicoquímicas y funcionales, y su relación socioeconómica con las personas que los cultivan, venden y consumen. Por esta razón se desarrolla el proyecto generar un mayor volumen de producción haciendo que alguna de las características de la tabla 3 - 30 cambie a alto.

3.3.4.4. Variables y parámetros del proceso

Dentro de la tabla 3-31 y 3-32, se describen las principales variables de la materia prima (papa china) y los parámetros de calidad deseados en el producto.

Tabla N° 3 - 31: Parámetros de calidad para la selección de la materia prima.

| Descripción. | Parámetro | Valor de control |
|--|------------|---|
| Potencialidad de la materia prima para ser aplicada dentro del proceso. Conjunto de características que describen funcionalmente, nutricionalmente y organolépticamente a la materia prima y que permiten establecer | Apariencia | Color café oscuro característico sin presencia de zonas de distinto color. Uniforme en toda la superficie. La presencia de impurezas (restos de tierra, ramas, hojas) no debe superar 1% del volumen total de toda la materia prima |
| | Tamaño | 9,2 cm de diámetro máximo 6,2 cm de diámetro mínimo |

| | | |
|--|---|-------------|
| su idoneidad y rendimiento para un proceso en la obtención de un derivado. | Contenido de humedad | 75 % máximo |
| | Contenido de materia seca | 25 % mínimo |
| | Contenido de cenizas | 2 % máximo |
| | Resistencia al corte, cizallamiento y triturado | Baja |
| | Resistencia de la corteza | Baja |

Elaborado por: Tocagón, R. (2018).

Tabla N° 3 - 32: Variables de proceso para la obtención de almidón

| Etapas del proceso | Variables | Rango de operación. | Unidad |
|---------------------|---|---------------------|---------|
| Cortado | Tamaño de la papa pelada y cortada. | < a 12 | mm |
| Molienda vía húmeda | Reducción del tamaño de partícula. | 0,177 a ,210 | Mm |
| | Tiempo de molienda | 4 a 6 | minutos |
| Filtrado | Tamaño de partícula del almidón Residuo de fibra | Luz de malla # 80 | mm |
| Decantación | Tiempo de decantación del almidón. | < 15 | Minutos |
| Secado | Temperatura de secado. | < a 70 | ° C |
| | Humedad del almidón a la salida | 13 | % |
| | Humedad del almidón en la alimentación | 69 | % |
| Molienda | Tamaño de partícula del almidón | < a 0,149 | Mm |

Elaborado por: Tocagón, R. (2018)

Las variables que se identificaron en el proceso de obtención son: tamaño de la papa cortada, tamaño de partícula en las moliendas, tiempo de decantación y temperatura de secado; las mismas que establecen las condiciones en las que se operara la planta.

Tabla N° 3 - 33: Parámetros de calidad del producto.

| Descripción | Parámetros | Valor de control |
|-------------|--------------------|------------------|
| | Actividad de agua. | < a 0,65 |

| | | |
|---|-----------------------------------|-------------|
| Características nutricionales, funcionales y de aceptación del consumidor que presenta el producto. | Contenido de Humedad, % | < a 13 |
| | Contenido de materia seca, % | 87-90 |
| | Contenido de pulpa, % | < a 0,3 |
| | Contenido de cenizas, % | < 0,12 |
| | Densidad aparente, g/mL | 0,47 |
| | pH | 6,5 |
| | Tamaño del gránulo, mm | < a 0,149 |
| | Temperatura de gelatinización, °C | 57,5-70 |
| | Viscosidad Brookfield, cP | 1500 - 2600 |

Fuente: Aristizábal, J. & S. T., 2007

3.4. Cálculos

3.4.1. Balance de materia en la producción de almidón a nivel de laboratorio.

Para ejecutar la validación (comprobación de la idoneidad del proceso propuesto en la obtención del producto esperado), se procedió a la simulación, a escala de laboratorio, de las operaciones especificadas dentro del diseño, realizándose la valoración de los parámetros de operación más importantes.

Para el balance de materia, el proceso se dividió en operaciones que generan corrientes de alimentación, descarga y corrientes residuales. Las operaciones en las cuales se dividió el proceso, para la facilidad del cálculo, se describen dentro de la tabla 3-32.

Tabla N° 3 - 34: Separación de las operaciones para el balance de materia.

| OPERACIÓN | FLUJOS | | |
|----------------------------------|--|--|---|
| | Entrada | Salida | |
| | | Materiales deseados | Residuos |
| RECEPCIÓN DE LAS MATERIAS PRIMAS | PAPA CHINA (<i>Colocasia esculenta</i>)” | Materia prima que cumple con los estándares de calidad | Materia prima rechazada |
| PREPARACIÓN DE LA MATERIA PRIMA | Materia prima aceptada | Materia prima lavada | Impurezas |
| | Materia prima lavada | Materia prima pelada | Cortezas |
| | Materia prima pelada | Materia prima cortada | No se genera residuos en esta operación |
| MOLIENDA | Materia prima cortada | Materia prima molida | No se genera residuos en esta operación |
| FILTRADO | Materia prima molida | Lechada de almidón | Fibra |

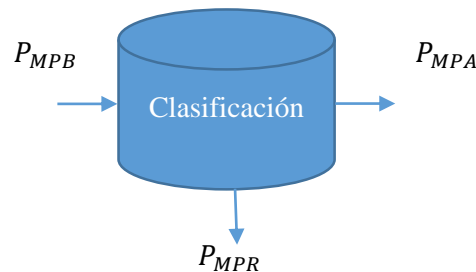
| | | | |
|------------|--------------------|------------------|---|
| EXTRACCIÓN | Lechada de almidón | Almidón primario | Agua residual de la extracción |
| SECADO | Almidón primario | Almidón bruto | Agua extraída |
| MOLIENDA | Almidón bruto | Almidón refinado | No se genera residuos en esta operación |

Elaborado por: Tocagón, R. (2018)

➤ Balance de materia en la operación de selección de la materia prima

La operación de recepción de la materia prima consiste principalmente en determinar los tubérculos, del lote receptados, cuales cumplen con los estándares de calidad establecidos, los cuales se especificaron previamente. Para determinar la idoneidad del proceso, se realizó la obtención, a escala de laboratorio, del almidón con los parámetros especificados en el diseño propuesto. Para ello se realizó la compra de un lote de materia prima a productores de las zonas de mayor producción de papa china.

El lote utilizado en la prueba de laboratorio disponía de un peso inicial igual a 3215.58g; posteriormente se procedió a la clasificación y aceptación de cada uno de los tubérculos presentes dentro del lote analizado, obteniéndose que la materia prima aceptada poseía un peso igual a 3183,75g; lo cual representa que la cantidad de tubérculos rechazados estaba valorada en 31,83g; es decir que el 99,01% de la materia prima fue aceptada.



A continuación, se describen la ecuación que representa al balance de materia para la operación descrita.

De la **ecuación 2-1**:

$$P_{MPB} = P_{MPA} + P_{MPR}$$

$$P_{MPR} = P_{MPB} - P_{MPA}$$

$$P_{MPR} = 3215,58 - 3183,75$$

$$P_{MPR} = 31,83 \text{ g}$$

- **Cálculo del rendimiento en la operación de limpieza usando la ecuación 3-1:**

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{P_{MPA}}{P_{MPR}} * 100$$

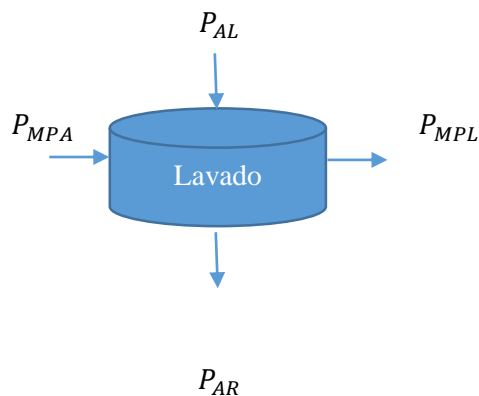
$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{3183,75}{3215,58} * 100$$

$$\text{Rendimiento (\%)} = 99,01$$

➤ **Balance de materia en la operación de preparación de la materia prima**

La operación de limpieza, pelado y cortado origina como flujos de salida la materia prima preparada y agua y residuos de la limpieza. El peso inicial de la materia prima clasificada, correspondió a 3183,75g; en tanto que el peso final obtenido de la materia prima pelada, lavada y cortada resultó igual a 2372,77g; por ende, el peso de los materiales solidos residuales fue igual a 810,98g; como se indicó previamente, para el lavado de la materia prima se utilizó una relación de agua de lavado y materia prima igual a 1:1 el valor del peso del agua utilizada en el lavado fue igual a 3183,75g la cual fue descargada completamente de la materia prima posterior al lavado. A continuación, se describe la ecuación de balance de materia que rige a la presente operación.

- **Balance de materia en la operación de limpieza**



De la ecuación 4-3: Balance de masa en la operación de limpieza

$$P_{MPA} + P_{AL} = P_{MPL} + P_{AR}$$

$$P_{AR} = 3183,75 + 3183,75 - 3062,10$$

$$P_{AR} = 3305,40 \text{ g}$$

- *Cálculo del rendimiento de la operación de limpieza*

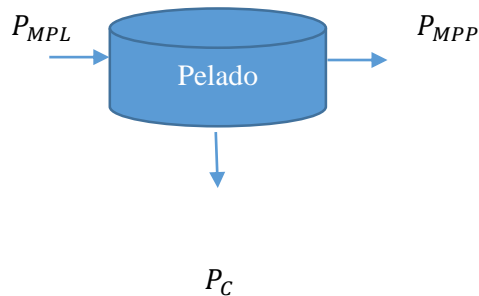
$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{P_{MPL}}{P_{MPA}} * 100$$

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{3062,10 \text{ g}}{3183,75 \text{ g}} * 100$$

$$\text{Rendimiento (\%)} = 96,18$$

Balance de materia en la operación de pelado.

De la **Ecuación 5-1**:



$$P_{MPL} = P_{MPP} + P_C$$

$$P_C = P_{MPL} - P_{MPP}$$

$$P_C = 3062,10 - 2372,77$$

$$P_C = 689,33 \text{ g}$$

Cálculo del rendimiento de la operación de pelado.

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{P_{MPP}}{P_{MPL}} * 100$$

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{2372,77}{3062,10} * 100$$

$$\text{Rendimiento (\%)} = 77,49$$

Balance de materia en la operación de cortado



De la ecuación 6-1:

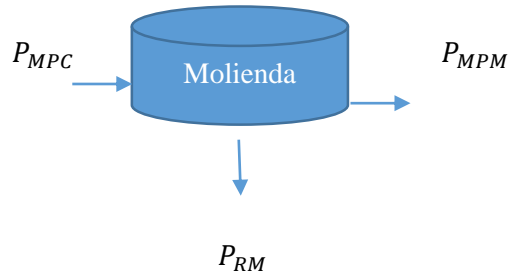
$$P_{MPP} = P_{MPC}$$

$$P_{MPC} = 2372,77 \text{ g}$$

➤ Balance de materia en la operación de molienda

La operación de molienda consistió en la reducción de tamaño de la materia prima previamente pelada, lavada y cortada hasta una suspensión que permitiera la extracción de almidón por sedimentación. Los principales flujos generados en la molienda estuvieron representados por la materia prima preparada (entrada), la suspensión de almidón (salida) y el material residual acumulado en el molino (residuos).

Por medio del proceso replicado a escala de laboratorio, se obtuvo que el flujo de ingreso a la operación del molido (el cual era igual al flujo de descarga de la operación anterior) era igual a 2372,77g; en tanto que el flujo de descarga de la operación de molienda se determinó en un valor igual a 2352,84g; lo cual representa que la cantidad de material acumulado dentro del molino era igual a 19,93 g de residuos. A continuación, se muestra la ecuación que rige el balance de materia para la presente operación.



Ecuación 7-1: Balance de materia en la operación de molienda

$$P_{MPC} = P_{MPM} + P_{RM}$$

$$P_{RM} = P_{MPC} - P_{MPM}$$

$$P_{RM} = 2372,77 - 2352,84 \text{ g}$$

$$P_{RM} = 19,93 \text{ g}$$

- *Cálculo del rendimiento de la operación de molienda.*

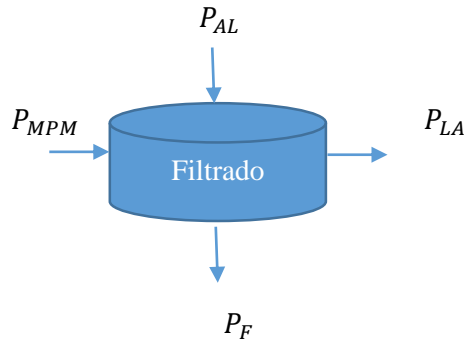
$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{P_{MPM}}{P_{MPC}} * 100$$

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{2352,84}{2372,77} * 100$$

$$\text{Rendimiento (\%)} = 99,16$$

➤ **Balance de materia en la operación de filtración**

La operación de separación consiste en separar el almidón de la fibra haciendo uso de un filtro. Los principales flujos generados en la filtración estuvieron representados por la materia prima molida (entrada), la suspensión de almidón (salida) y el material residual retenido en el filtro como torta de filtrado (residuos). El peso del agua de lavado corresponderá a una relación 2:1 para de esta forma tener una óptima salida del almidón de la fibra. El peso de la materia prima molida es de 2352,84 g con una humedad del 80 %, por ende, el agua utiliza para el lavado es de 4705,68 g y el peso de la fibra a la salida del proceso es de 784,28 g con una humedad del 86 %.



En base a la **ecuación 8-1**: Balance de materia en la operación de filtración

$$P_{MPM} + P_{AL} = P_{LA} + P_F$$

$$P_{LA} = 2352,84 + 4705,68 - 784,28$$

$$P_{LA} = 6274,24 \text{ g}$$

Balance de la materia seca

$$P_{MPM}X_{MPM} + P_{AL}X_{PAL} = P_{LA}X_{PLA} + P_F X_{PF}$$

$$X_{PLA} = \frac{P_{MPM}X_{MPM} + P_{AL}X_{PAL} - P_F X_{PF}}{P_{LA}}$$

$$X_{PLA} = \frac{2352,84 * 0,2 - 784,28 * 0,14}{6274,24}$$

$$X_{PLA} = 0,0575$$

Cálculo de la fracción de fibra en la operación de filtrado.

$$X_F = \frac{P_F}{P_{MPM}}$$

$$X_F = \frac{784,28}{2352,84}$$

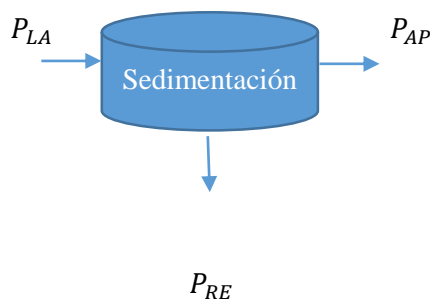
$$X_F = 0,33$$

➤ **Balance de materia en la operación de sedimentación del almidón**

El proceso de sedimentación consistió en la separación parcial del almidón del agua que conformaba la suspensión generada de la operación de filtrado por medio de la gravedad en un separador por sedimentación.

Para la resolución del balance de materia resultó pertinente la determinación del contenido de humedad presente en la corriente de alimentación y de salida. La suspensión producto de la operación de filtrado presento un contenido de humedad igual a 99,94 %, en tanto que la corriente de descarga (almidón en bruto) presento un contenido de humedad igual a 69%. De igual manera se cuantifico la cantidad de humedad de la descarga, registrándose que la misma presento una humedad igual a 100%. A continuación, se establecen las ecuaciones que rigen el balance de materia en la presente operación:

Habiendo determinado las fracciones másicas del contenido de materia seca en la simulación a escala de laboratorio del proceso (por medio de la siguiente ecuación $X + Y = 1$; donde Y es el contenido de humedad) en cada corriente, y conociendo que la corriente de alimentación era igual a 6274,24 g (la cual era igual a la corriente de salida de la operación de filtrado), se estableció el siguiente sistema de ecuaciones que rige el balance de materia en la presente operación:



En base a la **ecuación 9-1**: Balance de materia en la operación de sedimentación del almidón

$$P_{LA} = P_{AP} + P_{RE}$$

$$P_{AP} = P_{LA} - P_{RE}$$

De la ecuación 10-1: Balance de la materia seca

$$X_{LA}P_{LA} = X_{PAP}P_{AP} + X_{RE}P_{RE}$$

$$X_{LA}P_{LA} = X_{PAP}(P_{LA} - P_{RE})$$

$$0,0575 * 6274,24 = 0,31 * (6274,24 - P_{RE})$$

$$P_{RE} = 5110,47 \text{ g}$$

$$P_{AP} = 1163,77 \text{ g}$$

- **Cálculo del rendimiento de la operación de sedimentación.**

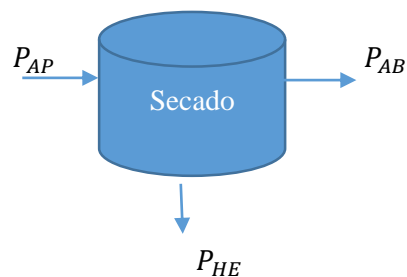
$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{P_{AP}}{P_{LA}} * 100$$

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{1163,77}{6274,24} * 100$$

$$\text{Rendimiento (\%)} = 18,55$$

➤ **Balance de materia en el secado**

Para mejorar la calidad de la materia prima y cumplir con los estándares de calidad fijados en las restricciones del diseño, se estableció una etapa de secado posterior a la etapa de extracción del almidón. El secado, como se establecieron en los criterios de diseño de la etapa del equipo de secado, debía reducir el contenido de agua del almidón en bruto desde 69% hasta 13% de humedad del producto final.



Las ecuaciones que rigen el balance de masa en el proceso de secado se presentan a continuación por:

De la **ecuación 11-1**: Balance de materia en el secado

$$P_{AP} = P_{HE} + P_{AB}$$

De la **ecuación 12-1**: Balance de la materia seca en el secado

$$X_{AP}P_{AP} = X_{AB}P_{AB}$$

Habiendo determinado las variables de las ecuaciones que rigen el balance de materia en el secado, se resolvieron las ecuaciones obteniéndose los siguientes resultados:

$$X_{AP}P_{AP} = X_{AB}P_{AB}$$

$$P_{AB} = \frac{X_{AP}P_{AP}}{X_{AB}}$$

$$P_{AB} = \frac{0,31 * 1163,77}{0,87}$$

$$P_{AB} = 414,68g$$

$$P_{HE} = 749,09 g$$

- **Cálculo del rendimiento de la operación de secado.**

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{P_{Ab}}{P_{AP}} * 100$$

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{414,68}{1163,77} * 100$$

$$\text{Rendimiento (\%)} = 35,63$$

- **Balance de materia general en la molienda**

Con la finalidad de alcanzar los requerimientos de calidad del almidón se opta por realizar una operación de molienda en el que el flujo de alimentación es el almidón bruto y el flujo de salida es el almidón refinado y su cálculo de lo realiza en base a la **ecuación 13-1**.



$$P_{AB} = P_{AR}$$

$$P_{AR} = 414,68 \text{ g}$$

3.4.1.1. Diagrama de bloques del balance de masa general.

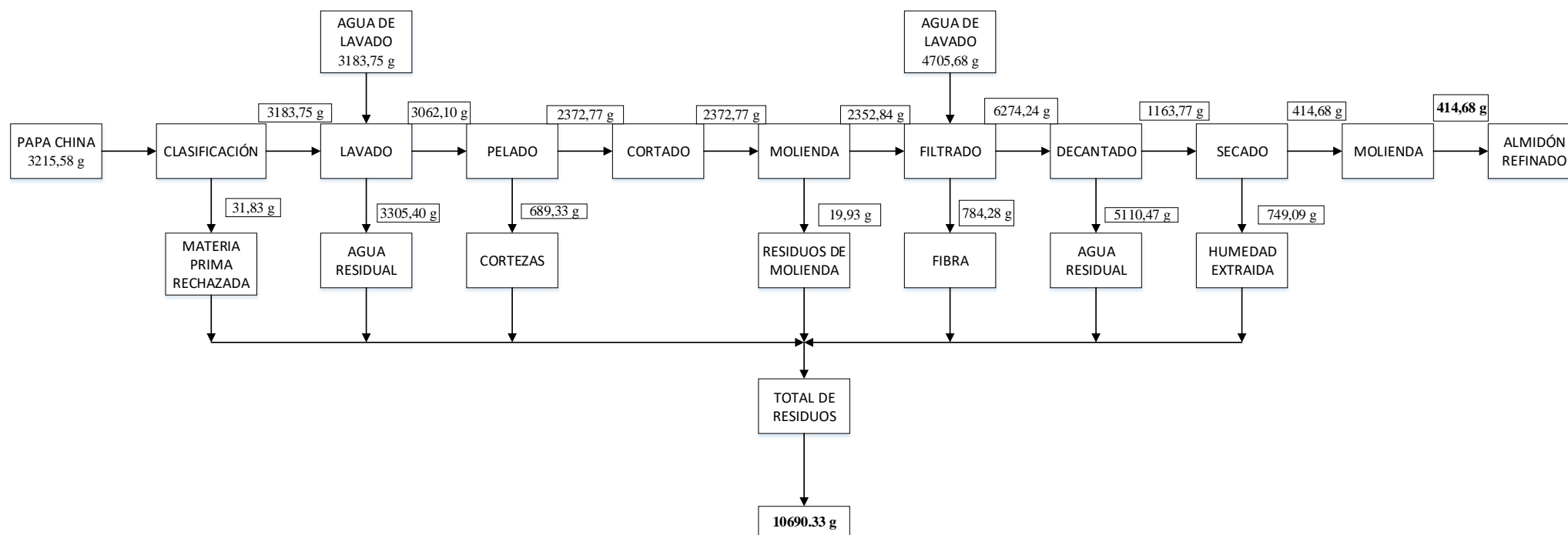


Figura N° 3 - 12: Diagrama de bloques del proceso de obtención de almidón a nivel de laboratorio.

Elaborado por: Tocagón, R. (2018)

3.4.1.2. Determinación del rendimiento de la materia prima

Dentro de la tabla 3-35, se establece el resumen del balance de materia de la simulación a escala de laboratorio para la validación del proceso propuesto.

Tabla N° 3 - 35: Resumen del balance de materia de la simulación a escala de laboratorio para la validación del proceso propuesto de extracción de almidón a partir de la papa china.

| OPERACIÓN | FLUJO | VALOR (g) | RENDIMIENTO % |
|--|--|-----------|---------------|
| Recepción y clasificado de la materia prima | Peso inicial de la materia prima | 3215,58 | 99,01 |
| | Peso de la materia prima aceptada | 3183,75 | |
| | Peso de la materia prima rechazada | 31,83 | |
| Preparación de la materia prima (pelado, cortado y lavado) | Peso de la materia prima lavada | 3062,10 | 96,18 |
| | Agua residual del lavado | 3305,40 | |
| | Agua para lavado | 3183,75 | |
| | Peso de la materia prima pelada | 2372,77 | 77,49 |
| | Cortezas del pelado | 689,33 | |
| | Peso de la materia prima cortada | 2372,77 | |
| Molienda | Peso de la materia prima molida | 2352,84 | 99,16 |
| | Peso de los restos acumulados en el molino | 19,93 | |
| Filtrado | Peso de la lechada de almidón | 6274,24 | ----- |
| | Peso de la torta de filtrado | 784,28 | |
| Extracción del almidón | Peso del almidón primario | 1163,77 | 18,55 |
| | Peso de los residuos de la extracción | 5110,47 | |
| Secado del almidón | Peso del almidón bruto | 414,68 | 35,63 |
| | Peso de la humedad extraída | 749,09 | |
| Molienda del almidón | Peso del almidón refinado | 414,68 | 100 |

Elaborado por: Tocagón, R. (2018)

Para la determinación del rendimiento de la materia prima, se aplicó la **ecuación 14-1**.

$$R_{mp} = \frac{P_{AR}}{P_{MPB}} * 100$$

$$R_{mp} = \frac{414,68}{3215,58} * 100$$

$$R_{mp} = 12,90 \%$$

El valor del rendimiento, numéricamente, podría apreciarse como bajo, no obstante, se debe considerar que el proceso de extracción del almidón parte de una materia prima rica en agua y que, en base a las especificaciones de calidad del producto, el almidón refinado debía presentar un bajo contenido de humedad.

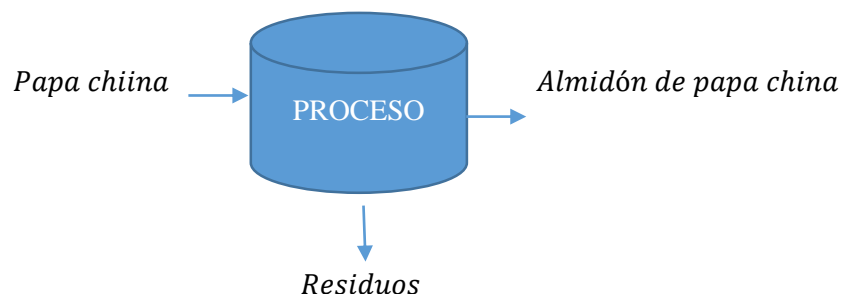
3.3.2. Diseño de ingeniería para la obtención de almidón de papa china a escala industrial

3.3.2.1 Balances de masa y energía

Balance de masa en la producción de almidón a nivel industrial.

Para realizar el balance de masa a nivel industrial partiremos de los datos recopilados del estudio de mercado y del proceso de obtención de almidón a nivel de laboratorio.

➤ Cálculo de la materia prima.



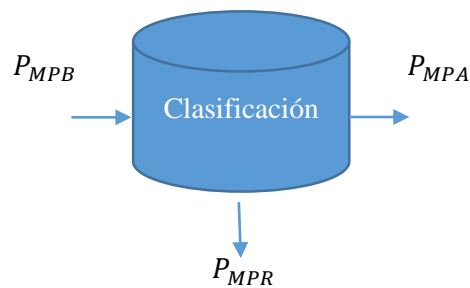
El cálculo se realizará partiendo como base el rendimiento obtenido en el proceso de obtención de almidón a nivel de laboratorio y en base a la **ecuación 14-1**:

$$\text{Materia prima} = \frac{\text{Producto}}{\text{Rendimiento (\%)}} * 100$$

$$\text{Materia prima} = \frac{65,88 \text{ kg/h}}{12,90} * 100$$

$$\text{Materia prima} = 510,70 \text{ kg/h}$$

➤ **Balance de materia en la operación de recepción de la materia prima**



A continuación, se describen la ecuación que representa al balance de materia para la operación descrita.

Ecuación 3-1: Cálculo de rendimiento:

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{P_{MPA}}{P_{MPB}} * 100$$

$$P_{MPA} = \frac{\text{Rendimiento (\%)}}{100} * P_{MPB}$$

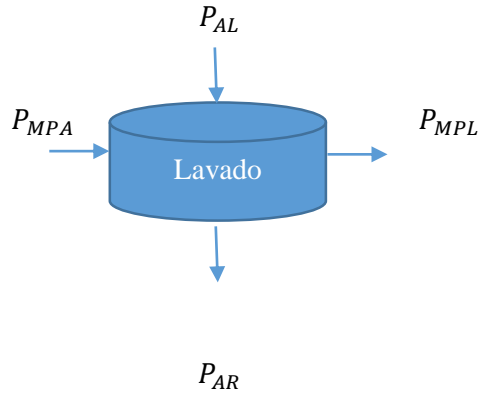
$$P_{MPA} = 505,64 \text{ kg/h}$$

$$P_{MPR} = P_{MPB} - P_{MPA}$$

$$P_{MPR} = 5,06 \text{ kg/h}$$

➤ **Balance de materia en la operación de preparación de la materia prima**

○ **Balance de materia en la operación de limpieza**



$$P_{MPL} = \frac{\text{Rendimiento (\%)}}{100} * P_{MPA}$$

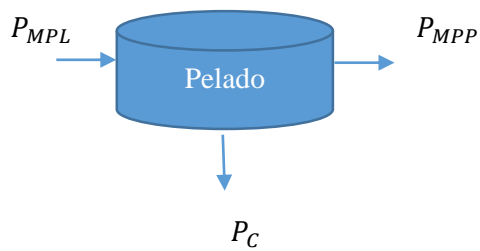
$$P_{MPL} = 486,33 \text{ kg/h}$$

De la **ecuación 4-1**:

$$P_{AR} = P_{MPA} + P_{AL} - P_{MPL}$$

$$P_{AR} = 524,96 \text{ kg/h}$$

○ **Balance de materia en la operación de pelado**



$$P_{MPP} = \frac{\text{Rendimiento (\%)}}{100} * P_{MPL}$$

$$P_{MPP} = 376,85 \text{ kg/h}$$

A partir de la **ecuación 5-1**: Balance de materia en la operación de pelado se calculó el peso de las cortezas resultantes de la operación de pelado.

$$P_{MPL} = P_{MPP} + P_C$$

$$P_C = P_{MPL} - P_{MPP}$$

$$P_C = 109,47 \text{ kg/h}$$

○ **Balance de materia en la operación de cortado**

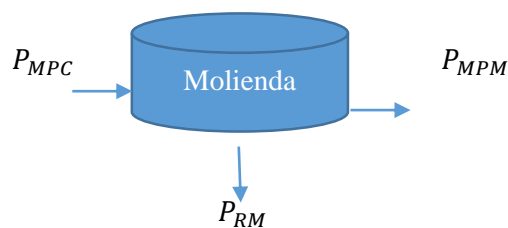


De la **ecuación 6-1**: Balance de materia en la operación de cortado tenemos:

$$P_{MPP} = P_{MPC}$$

$$P_{MPC} = 376,85 \text{ kg/h}$$

➤ **Balance de materia en la operación de molienda**



$$P_{MPM} = \frac{\text{Rendimiento (\%)}}{100} * P_{MPC}$$

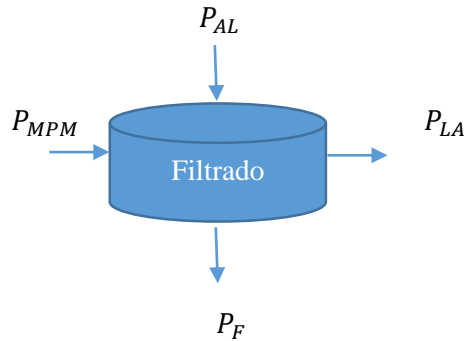
$$P_{MPM} = 373,69 \text{ kg/h}$$

En base a la **ecuación 7-1**: Balance de materia en la operación de molienda

$$P_{RM} = P_{MPC} - P_{MPM}$$

$$P_{RM} = 3,17 \text{ kg}$$

➤ **Balance de materia en la operación de filtración**



$$P_{AL} = 2 * P_{MPM}$$

$$P_{AL} = 747,38 \text{ kg/h}$$

De la **ecuación 8-1**: Balance de materia en la operación de filtración.

$$P_{MPM} + P_{AL} = P_{LA} + P_F$$

$$P_{LA} = P_{MPM} + P_{AL} - P_F$$

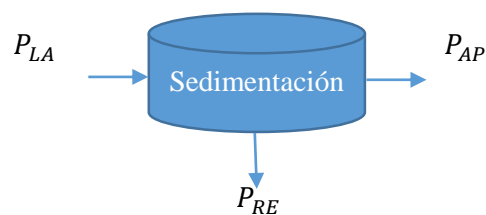
○ **Balance de la materia seca**

$$P_{MPM}X_{MPM} + P_{AL}X_{PAL} = P_{LA}X_{PLA} + P_F X_{PF}$$

$$P_F = 124,56 \text{ kg/h}$$

$$P_{LA} = 996,50 \text{ kg/h}$$

➤ **Balance de materia en la operación de sedimentación de almidón**



A partir de la **ecuación 9-1**: Balance de materia en la operación de sedimentación del almidón

$$P_{LA} = P_{AP} + P_{RE}$$

Balance de la materia seca en base a la ecuación 10-1

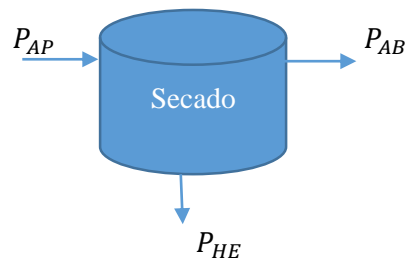
$$X_{LA}P_{LA} = X_{PAP}P_{AP} + X_{RE}P_{RE}$$

$$P_{AP} = \frac{X_{LA} * P_{LA}}{X_{LA}}$$

$$P_{AP} = 184,84 \text{ kg/h}$$

$$P_{RE} = 811,67 \text{ kg/h}$$

➤ **Balance de materia en el secado calculado a partir de la ecuación 11-1.**



$$P_{AP} = P_{HE} + P_{AB}$$

○ **Balance de la materia seca en el secado de la ecuación 12-1.**

$$X_{AP}P_{AP} = X_{AB}P_{AB}$$

$$P_{AB} = \frac{X_{PAP}P_{AP}}{X_{PAB}}$$

$$P_{AB} = 65,86 \text{ kg/h}$$

$$P_{HE} = 118,98 \text{ kg}$$

➤ **Balance de materia general en la molienda en base a la ecuación 13-1.**



$$P_{AB} = P_{AR}$$

$$P_{AR} = 65,86 \text{ kg/h}$$

Tabla N° 3 - 36: Resumen del balance de materia a nivel industrial.

| OPERACIÓN | FLUJO | VALOR (Kg) |
|--|--|------------|
| Recepción y clasificado de la materia prima | Peso inicial de la materia prima | 510,70 |
| | Peso de la materia prima aceptada | 505,64 |
| | Peso de la materia prima rechazada | 5,06 |
| Preparación de la materia prima (pelado, cortado y lavado) | Peso de la materia prima lavada | 486,33 |
| | Agua residual del lavado | 524,96 |
| | Agua para lavado | 505,64 |
| | Peso de la materia prima pelada | 376,85 |
| | Cortezas del pelado | 109,47 |
| | Peso de la materia prima cortada | 376,85 |
| Molienda | Peso de la materia prima molida | 373,69 |
| | Peso de los restos acumulados en el molino | 3,17 |
| Filtrado | Peso de la lechada de almidón | 996,50 |
| | Peso de la torta de filtrado | 124,56 |
| Extracción del almidón | Peso del almidón primario | 184,84 |
| | Peso de los residuos de la extracción | 811,67 |
| Secado del almidón | Peso del almidón bruto | 65,86 |
| | Peso de la humedad extraída | 118,98 |
| Molienda del almidón | Peso del almidón refinado | 65,86 |

Elaborado por: Tocagón, R. (2018)

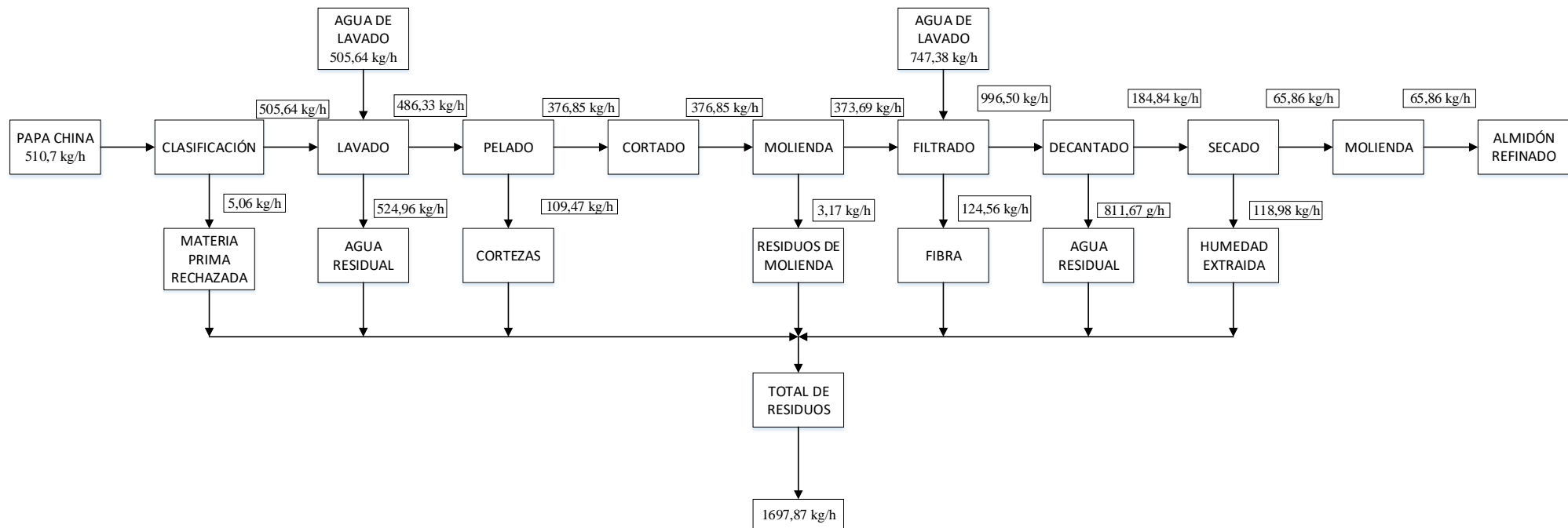


Figura N° 3 - 13: Diagrama de bloques del proceso de obtención de almidón a nivel industrial.

Elaborado por: Tocagón, R. (2018)

3.3.2.2. Balance de Energía en el proceso de producción de almidón a nivel industrial.

Para realizar el balance de energía de todo el proceso se interpreta el calor generado en el secado del almidón y el trabajo suministrado para la acción del molino, razón por la cual el balance de energía para la producción de almidón se representa de acuerdo a la ecuación 15-1:

$$\Delta E_c + \Delta E_p + Q - W = \Delta H_a$$

Consideramos despreciables a la energía cinética y potencial por lo que la ecuación 60-1 se reduce a:

$$Q - W = \Delta H_a$$

Cálculo de la carga térmica requerida para la operación de secado

Para la determinación de la carga térmica requerida en la operación de secado se partió de la siguiente ecuación:

Ecuación 16-1: Cálculo de la carga térmica requerida para la operación de secado

$$\frac{q_t}{\dot{m}_s} = C_{ps}(T_{sb} - T_{sa}) + X_a C_{PL}(T_v - T_{sa}) + (X_a - X_b)\lambda + X_b C_{PL}(T_{sb} - T_v) \\ + (X_a - X_b)C_{pv}(T_{va} - T_v)$$

Considerando que la capacidad de calor del vapor a la temperatura de roció:

Considerando que se aplicará como secador un equipo adiabático (es decir un secador directo con gas caliente), el calor para el secado será suministrado por el gas que circula internamente y entra en contacto con el material a secar. Para determinar el calor suministrado (o el calor perdido por el gas de secado) se partió de la siguiente ecuación.

Calculo del requerimiento de calor para el secado en base a la ecuación 17-1.

$$q_t = \dot{m}_g C_{sb}(T_{hb} - T_{ha})$$

Considerando que el calor latente de evaporación del agua es igual a $2471,14 \text{ kg/h}$; que la capacidad calorífica del vapor a la temperatura del aire a la salida es igual a $1,881 \text{ kg/h} \cdot ^\circ K$; que la capacidad calorífica del almidón es igual a $1,22 \text{ kg/h} \cdot ^\circ K$; que la capacidad calorífica del agua

es igual a $4,186 \text{ kg/h} * \text{ }^\circ\text{K}$ y que la temperatura máxima que puede alcanzar el sólido es igual a 75°C (para evitar la gelificación del almidón), se estableció que el requerimiento de calor para el secado era igual a:

$$\frac{q_t}{\dot{m}_s} = C_{ps}(T_{sb} - T_{sa}) + X_a C_{PL}(T_v - T_{sa}) + (X_a - X_b)\lambda + X_b C_{PL}(T_{sb} - T_v) + (X_a - X_b)C_{pv}(T_{va} - T_v)$$

$$q_t = 154195 \text{ kJ/h} = 42,83 \text{ Kw/h}$$

Remplazando los datos en la ecuación del balance general de energía, la variación de energía cinética será igual a:

$$Q - W = \Delta H_a$$

$$\Delta H_a = (42,83 - 0,152) \text{ Kw}$$

$$\Delta H_a = 42,68 \text{ Kw}$$

3.3.2.3. Cálculo del dimensionamiento de los equipos.

Con base a los datos recopilados en los ensayos de laboratorio para la obtención experimental de almidón a partir de papa china y a la bibliografía pertinente para diseño de equipos descritos principalmente por (McCabe, y otros, 2007), se procedió a realizar el cálculo de los equipos para el diseño del proceso.

➤ Dimensionamiento de la tolva de alimentación

Cálculo de la densidad de la papa china de la ecuación 1-3.

$$\delta_t = \frac{m}{V}$$

$$\delta_t = \frac{55,565 \text{ g}}{50 \text{ ml}} * \frac{1000 \text{ ml}}{1 \text{ l}} * \frac{1 \text{ Kg}}{1000 \text{ g}}$$

$$\delta_t = 1,11 \frac{\text{Kg}}{\text{l}}$$

Cálculo del volumen de la tolva de la ecuación 18-1

Para conocer el volumen del tubérculo que ingresa al proceso lo hacemos de acuerdo a la siguiente expresión:

$$V_{tolva} = \frac{m_{capacidad}}{\rho_{tuberculo}}$$

$$V_{tolva} = \frac{505,64}{1,1}$$

$$V_{tolva} = 459,67 L = 0,46 m^3$$

Para realizar el cálculo de la altura se considera una forma trapezoidal y se lo calcula con la siguiente ecuación bajo el mejor criterio a partir de la ecuación 19-1.

$$V_{tolva} = \frac{(B_1 + B_2 + \sqrt{B_1 * B_2})H_T}{3}$$

$$V_{tolva} = \frac{(0,40 + 0,90 + \sqrt{0,40 * 0,90})(0,8)}{3}$$

$$V_{tolva} = 0,46 m^3$$

➤ Dimensionamiento de la banda transportadora

Tabla N° 3 - 37: Anchos normalizados del CEMA

| ANCHOS NORMALIZADOS POR EL CEMA (mm) | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1800 | 1500 | 1350 | 1200 | 1050 | 900 | 750 | 600 | 500 | 450 | 400 |

Fuente: (Sierra, et al., 2014 p. 100)

Elaborado por: Tocagón, R. (2018)

El ancho de la banda transportadora elegida es el de 400 mm, estimado para los cálculos siguientes:

Cálculo de la cantidad de materia prima transportado:

$$Q = \frac{510,70 \text{ kg}}{h} * \frac{1 \text{ papa}}{0,12 \text{ kg}} * \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} = 71 \frac{\text{papas}}{\text{min}}$$

Cálculo del área del tubérculo a transportar de la ecuación 20-1

$$A_{ft} = \pi * r * (r + g)$$

$$A_{ft} = \pi * (0,017) * (0,017 + 0,046)$$

$$A_{ft} = 3,33 \times 10^{-3} m^2 * 71$$

$$A_{ft} = 0,24 m^2$$

Calculó de la longitud de banda de la ecuación 21-1.

$$A_{ft} = A_b = \frac{X_b A_{bn}}{2}$$

Despejando la longitud:

$$X_b = \frac{2A_b}{A_{bn}}$$

$$X_b = \frac{2(0,22)}{0,40}$$

$$X_b = 1,10 m$$

Aplicando un factor de seguridad del 10%

$$X_b = 1,10 * (1,1) = 1.21 m$$

Cálculo de la velocidad de la banda:

$$v_b = 1,21 \frac{m}{min} * \frac{1 min}{60 s} = 0,02 \frac{m}{s}$$

Cálculo del peso máximo que soporta la banda:

$$P_{max} = N^{\circ} \text{ tuberculos} * P_{unidad} = 71 * 0,12 \text{ kg}$$

$$P_{max} = 8,52 \text{ kg}$$

Selección de los rodillos

Para seleccionar el diámetro del rodillo y espesor, lo hacemos con base a la siguiente tabla

Tabla N° 3 - 38: Diámetro de rodillos en función del ancho de banda.

| BANDA | 400 | 500 | 650 | 800 | 1000 | 1200 | 1400 | 1600 | 1800 | 2000 |
|--------|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|
| ∅ (mm) | | | | | | | | | | |
| 63,5 | X | X | X | | | | | | | |
| 70 | | X | X | X | | | | | | |
| 76 | | X | X | X | X | | | | | |
| 89 | | X | X | X | X | | | | | |
| 102 | | | X | X | X | X | | | | |
| 108 | | | X | X | X | X | X | | | |
| 127 | | | | X | X | X | X | X | | |
| 133 | | | | X | X | X | X | X | | |
| 152,4 | | | | | | X | X | X | X | |
| 159 | | | | | | X | X | X | X | |
| 193,7 | | | | | | | | | X | X |

Fuente: (Santacruz, et al., 2008 p. 81)

Elaborado por: Tocagón, R. (2018)

En base al ancho de banda normalizado se escoge el diámetro del rodillo normalizado siendo este de 63,5 mm. Con el dato del ancho de banda tenemos las especificaciones para los rodillos.

Tabla N° 3 - 39: Características de los rodillos ROTRANS

| DIAMTERO RODILLO(mm) | ESPESOR DEL TUBO(mm) |
|----------------------|----------------------|
| 63,5 | 3 |
| 70 | 3 |
| 76 | 3 |
| 89 | 3 |
| 102 | 3,6 |
| 108 | 3,8 |

| | |
|-----|-----|
| 127 | 4 |
| 133 | 4 |
| 152 | 4,5 |
| 159 | 5 |

Fuente: (ROTRANS, 2014 p. 14)

Elaborado por: Tocagón, R. (2018)

Cálculo de la masa de la banda:

Tabla N° 3 - 40: Datos para el cálculo de la masa de la banda transportadora

| Peso de la banda | Tipo de material | Espesor |
|-----------------------|------------------|---------|
| 0,7 kg/m ² | Uretano | 0,07 mm |

Elaborado por: Tocagón, R. (2018)

Cálculo de la masa de la banda

$$M_b = A_{ft} * P_m$$

$$M_b = 0,22 * 0,7$$

$$M_b = 0,15 \text{ kg}$$

La masa del producto por unidad de área es:

$$\frac{m}{a} = 0,0278 \frac{\text{carga segundo}}{v_b} = 0,0278 \frac{125}{0,02}$$

$$\frac{m}{a} = 0,05 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

Para el cálculo de la tensión necesaria se tiene:

Tabla N° 3 - 41: Coeficiente de fricción en rodillos

| TIPO DE COJINETE | ESTADO | VALOR DE f |
|------------------|--------------|---------------|
| | Favorable | 0,018 |
| RODAMIENTO | Normal | 0,020 |
| | Desfavorable | 0,023 - 0,030 |
| FRICCION | | 0,05 |

Fuente: (Santacruz, et al., 2008 p. 75)

Elaborado por: Tocagón, R. (2018)

Cálculo de la tensión necesaria para mover la banda de la ecuación 22-1.

$$T_x = 9,8 G * f_x * X_b$$

$$T_x = 9,8 * 24 * 0,020 * 1,21$$

$$T_x = 5,7 N$$

Cálculo de la tensión necesaria para vencer la resistencia al movimiento de la carga de la ecuación 23-1.

$$T_y = 9,8 Q * f_y * X_b + W_f$$

$$W_f = 505,64 * 9,81 = 4960,33 N$$

$$T_y = (9,8 * 0,05 * 0,05 * 1,21) + 4960,33$$

$$T_y = 4960,36 N$$

Cálculo de la tensión efectiva de la ecuación 24-1.

$$T_e = T_x + T_y$$

$$T_e = 4960,36 + 5,7$$

$$T_e = 4966,05 N$$

Cálculo de la potencia efectiva de la banda transportadora de la ecuación 25-1.

$$P_a = T_e * v_b$$

$$P_a = 4966,05 * 0,02 = 99,32 W$$

$$P_a = 0,13 HP$$

Aplicando un 25% como factor de seguridad por choques, oscilaciones y demás factores se tiene:

$$(0,13 * 1,25) = 0,16 \text{ Hp} = 0,11 \text{ Kw}$$

➤ **Dimensionamiento del tanque de lavado**

Para los cálculos del tanque de lavado se consideró que el mismo operara bajo un modelo de tanque agitado con palas rectas.

Para el dimensionamiento del tanque de lavado, de acuerdo al balance de masa sabemos que la materia prima a ser lavada en una hora es 505,64 kg, la cual posee una densidad superior a la del agua. Se calculó a partir de la **ecuación 26-1**.

$$V_{tl} = 1,20 * (V_{mp} + V_{al})$$

EL factor 1,20 representa al 20% de sobredimensionamiento para impedir derrames por la agitación del tanque.

Considerando que la relación de materia prima y del agua de lavado en la operación de lavado era igual a 1:1 o $V_{mp} = V_{al}$ la ecuación anterior se transforma en:

$$V_{tl} = 2,40 * (V_{mp})$$

Habiendo establecido como base de cálculo que la materia prima a tratar en el proceso propuesto era igual a 505,64 kg, y que se verifica que la densidad del agua es superior a la densidad de la materia prima (para factibilidad del cálculo se asume que son iguales sin afectar a los resultados, en vista a que dicha presunción sobredimensiona el equipo, es decir 1Kg/L), el volumen de la materia prima a tratar en la operación de lavado resultó igual a:

Cálculo del volumen de la materia prima de la ecuación 27-1.

$$V_{mp} = \frac{m_{mp}}{\rho_{mp}}$$

$$V_{mp} = \frac{505,64}{1,1}$$

$$V_{mp} = 459,67 L$$

Por ende, el volumen necesario para el tanque de lavado resultó:

$$V_{tl} = 1213,54 L$$

$$V_{tl} = 1,21 m^3$$

Cálculo de las dimensiones de un tanque de geometría cilíndrica de la ecuación 28-1.

Para el dimensionamiento del tanque de lavado se aplicó las relaciones descritas por referentes al diseño de paletas de un tanque de agitación estándar. Para la determinación de la altura y del diámetro total del tanque se partió de las ecuaciones que establecen la geometría del mismo.

$$V_{tl} = \pi \frac{D_t^2}{4} H$$

Considerando, en base al diseño de un tanque estándar, que $D_t = H$, la ecuación anterior se traduce en:

$$V_{tl} = \pi \frac{D_t^3}{4}$$

$$D_t = \sqrt[3]{\frac{4V_{tl}}{\pi}}$$

$$D_t = \sqrt[3]{\frac{4 * 1,21}{\pi}}$$

Habiendo determinado previamente el volumen del tanque de lavado, el diámetro y la altura del tanque resultaron:

$$D_t = 1,15 m$$

$$H = 1,15 m$$

Cálculo del diámetro del rodete de la ecuación 29-1:

$$D_a = \frac{2D_t}{3}$$

$$D_a = \frac{2(1,25)}{3}$$

$$D_a = 0,77 \text{ m}$$

Cálculo de la altura del rodete respecto al fondo del tanque de la ecuación 30-1.

$$\frac{E}{D_t} = \frac{1}{3}$$

$$E = \frac{1,15}{3}$$

$$E = 0,38 \text{ m}$$

Cálculo de la longitud del brazo de la ecuación 31-1.

$$l_{eje} = H_t - E$$

$$l_{eje} = 1,15 - 0,38$$

$$l_{eje} = 0,77 \text{ m}$$

Cálculo del ancho para las paletas de la ecuación 32-1

$$\frac{W}{D_a} = \frac{1}{5}$$

$$W = \frac{0,77}{5}$$

$$W = 0,15 \text{ m}$$

Cálculo de la longitud para las paletas de la ecuación 33-1.

$$\frac{L}{D_a} = \frac{1}{4}$$

$$L = \frac{0,77}{4}$$

$$L = 0,19 \text{ m}$$

Cálculo del ancho para las placas deflectoras de la ecuación 34-1.

$$\frac{j}{D_t} = \frac{1}{12}$$

$$j = \frac{1,15}{12}$$

$$j = 0,10 \text{ m}$$

Calculo de la velocidad promedio del flujo de la ecuación 35-1.

$$v_p = \frac{4Q}{\pi\phi^2}$$

$$v_p = \frac{4 * 5x10^{-4}}{\pi(0,0254)^2}$$

$$v_p = 0,99 \text{ m/s}$$

Calculo del número de Reynolds de la ecuación 36-1.

$$N_{Re} = \frac{\rho v_s \phi}{\mu}$$

$$N_{Re} = \frac{998,23 * 0,99 * 0,0254}{1,005x10^{-3}}$$

$$N_{Re} = 24976,61 \text{ Flujo turbulento}$$

Calculo de rugosidad relativa de la ecuación 38-1.

$$\text{Rugosidad Relativa} = \frac{\varepsilon}{\phi}$$

$$\text{Rugosidad Relativa} = \frac{1,5 \times 10^{-3}}{0,0254}$$

$$\text{Rugosidad Relativa} = 0,06$$

Calculo del factor de fricción

Para un régimen de carácter turbulento:

$\frac{N_{Re}}{\frac{\varepsilon}{\phi}} \rightarrow$ Diagrama de Moody $\rightarrow f$ (factor de fricción de Fanning) (Mott, 2006 p. 236)

$$\frac{\phi}{\varepsilon} = \frac{0,0254}{0,0015} = 16,9 \approx 17$$

El factor de fricción es 0,075. Por interpolación del diagrama de Moody.

Cálculo de las pérdidas por fricción de la ecuación 39-1.

Las pérdidas por fricción primaria o longitudinal son las pérdidas causadas por la fricción en tuberías.

Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$hfl = f \frac{Lv^2}{\phi 2g}$$

$$hfl = 0,075 \frac{25(0,99)^2}{(0,0254)(2)(9,81)}$$

$$hfl = 3,69$$

Calculo de las pérdidas por accesorios usando la ecuación 26-1:

Tabla N° 3 - 42: Coeficiente de fricción en accesorios.

| NUMERO | CONSTANTE | ACCESORIO | PERDIDA TOTAL |
|---------------|-----------|---------------------------|---------------|
| 6 | 0,90 | Codo 90° estándar roscado | 5,4 |
| 2 | 0,05 | Válvula de bola | 0,1 |
| 1 | 1 | Conexión T | 1 |
| PERDIDA TOTAL | | | 3,9 |

Elaborado por: Tocagón, R. (2018)

$$hfm = k \frac{v^2}{2g}$$

$$hfm = 3,9 \frac{0,99^2}{2(9,81)}$$

$$hfm = 0,19$$

Calculo de las pérdidas totales usando la ecuación 40-1.

$$hf = hfm + hfl = 3,69 + 0,19 = 3,88$$

En un sistema de flujo se usan dos puntos de referencia y se emplea la **ecuación 41-1**: Ecuación de Bernoulli.

$$\frac{v_2^2}{2g} + Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + hf = \frac{v_1^2}{2g} + Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} \pm H$$

$$\frac{v_2^2}{2g} + hf = \pm H$$

$$\frac{0,99^2}{2(9,81)} + 3,88 = \pm H$$

$$\pm H = 3,93$$

Cálculo de la potencia de la bomba de la ecuación 42-1.

$$Hp = \frac{WH}{75n}$$

$$Hp = \frac{WH}{75n}$$

$$Hp = \frac{0,14 * 3,93}{75 * 0,75}$$

$$Hp = 0,01$$

Calculo de la potencia del motor.

Con el número de Reynolds en el diagrama se obtiene N_{po} para calcular la potencia del motor.

$$N_{po} = 2,2$$

$$P = \frac{N_{po}}{gc} * \rho * N^3 * \theta_r^5$$

$$P = \frac{2,2}{1} * 998,23 * 0,8^3 * 0,77^5$$

$$P = 304,35 W = 0,4 HP$$

➤ *Cálculo para el dimensionamiento del tornillo sin fin transportador.*

Tabla N° 3 - 43: Especificaciones para el diseño del tonillo transportador.

| Material transportado | Coficiente de llenado | Densidad del material | Máximo tamaño del grano | Capacidad requerida | Trayectoria del transportador | Tipo de hélice |
|-----------------------|-----------------------|------------------------|-------------------------|--|-------------------------------|----------------|
| Papa china cortada | 30 % | 1113 Kg/m ³ | ½ pulg. | 376,85 kg/h o 11,96 ft ³ /h | Inclinado | Cortada |

Elaborado por: Tocagón, R. (2018)

Cálculo de la capacidad equivalente usando la ecuación 43-1.

$$CE = C * CF_1 * CF_2 * CF_3 * CF_4$$

$$CE = 11,96 * 1,5 * 1,57$$

$$CE = 28,16 = 0,80$$

Cálculo de las revoluciones por minuto usando la ecuación 44-1.

$$N = \frac{CE}{Capacidad/rev}$$

$$N = \frac{28,16}{1,49}$$

$$N = 18,90 \text{ RPM}$$

Cálculo de la potencia requerida para el trabajo en vacío usando la ecuación 45-1.

$$H_{pf} = \frac{L * N * F_b * F_d}{1000000}$$

$$H_{pf} = \frac{7,05 * 18,90 * 13,5 * 1,0}{1000000}$$

$$H_{pf} = 0,0018 \text{ HP} = 0,00134 \text{ Kw}$$

Cálculo de la potencia requerida para mover la carga en base a la ecuación 46-1.

$$H_{pm} = \frac{C * L * w * F_f * F_m * F_P}{1000000}$$

$$H_{pm} = \frac{11,96 * 7,05 * 69,48 * 1,15 * 1,7 * 1,0}{1000000}$$

$$H_{pm} = 0,11 \text{ HP} = 0,0085 \text{ Kw}$$

Cálculo de la potencia total requerida por el tornillo sinfín en base a la ecuación 47-1.

$$H_{pt} = \frac{(H_{pf} + H_{pm})F_o}{e}$$

$$H_{pt} = \frac{(0,0018 \text{ HP} + 0,11 \text{ HP}) * 3,0}{0,88}$$

$$H_{pt} = 0,05 \text{ HP} = 0,037 \text{ Kw}$$

➤ **Dimensionamiento del equipo de filtrado**

Tabla N° 3 - 44: Datos para el dimensionamiento del equipo de filtrado

| Volumen filtrado en el laboratorio | Volumen filtrado a nivel industrial | Área de filtrado | Tiempo de filtrado en la el laboratorio | Tiempo óptimo de filtrado | Ciclos |
|------------------------------------|-------------------------------------|---------------------|---|---------------------------|--------|
| $7,06 * 10^{-3} \text{ m}^3$ | $0,95 \text{ m}^3/\text{h}$ | $0,020 \text{ m}^2$ | 3,82 minutos | 15 minutos | 2 |

Cálculo de la capacidad máxima de filtración a escala de laboratorio en base a la ecuación 48-1.

$$C = \frac{V_F}{t_F + \sum t_m}$$

$$C = \frac{7,06 * 10^{-3}}{15 + 3,82}$$

$$C = 0,023 \text{ m}^3/\text{h}$$

Cálculo del área de filtrado en base a la ecuación 49-1.

Para no tener retrasos en el proceso de filtrado se ejecutará en dos equipos de filtrado.

$$A_F = A_C * \frac{C_F}{C}$$

$$A_F = 0,020 * \frac{0,48}{0,023}$$

$$A_F = 0,41 \text{ m}^2$$

Cálculo del radio del filtro en base a la ecuación 50-1.

$$r^2 = \frac{A_F}{\pi}$$

$$r = \sqrt{\frac{A_F}{\pi}}$$

$$r = \sqrt{\frac{0,41 \text{ m}^2}{\pi}}$$

$$r = 0,36 \text{ m}$$

Cálculo de la altura del filtro en base a la ecuación 51-1.

$$v = h * \pi * r^2$$

$$h = \frac{v}{\pi * r^2}$$

$$h = \frac{0,48}{\pi * 0,36}$$

$$h = 1,18 \text{ m}$$

Cálculo del alto del cono en base a la ecuación 52-1.

$$h_{cono} = \frac{3 v}{\pi * r^2}$$

$$h_{cono} = \frac{3 * 0,48}{\pi * 0,36}$$

$$h_{cono} = 3,54 \text{ m}$$

➤ **Dimensionamiento del tanque de separación por sedimentación**

El tanque de separación por sedimentación debe contener el fluido un tiempo suficiente (de 10 min a 15 min) para lograr la separación. El área del tanque (de geometría rectangular) se determinó en base al volumen requerido. Para la determinación del volumen se partió de la siguiente ecuación:

Ecuación 53-1: Cálculo del caudal que alimenta al sedimentador

$$Q_s = \frac{V_s}{\tau}$$

Conociendo que se estableció como base de cálculo un caudal igual a 996,50 kg/h y que la densidad del almidón es igual a 1.55 kg/L (determinados experimentalmente en el almidón producido), el caudal que alimenta el sedimentador fue igual a:

De la **ecuación 1-1:** Cálculo de la densidad.

$$m = \rho_a * Q$$

$$m = 1.55 * 996,50$$

$$\dot{m} = 642,90 \text{ L/h}$$

Para maximizar el rendimiento, el tiempo de residencia se determinó en 15 min. El volumen del tanque resultó igual a:

$$V_s = 160,73 \text{ L ó } 0,16 \text{ m}^3$$

Según la Organización Panamericana de la Salud (2015), para mejorar el proceso de sedimentación recomienda que se cumplan las siguientes relaciones:

De la **ecuación 54-1:** Cálculo del largo del sedimentador.

$$L_s = 3B_s$$

$$L_s = 3H_s$$

Conociendo que la geometría del sedimentador está representada por la siguiente relación:

$$V_s = L_s \cdot B_s \cdot H_s$$

Por ende, el largo del sedimentador se obtuvo a raíz de la siguiente ecuación:

$$L_s = \sqrt[3]{15V_s}$$

$$L_s = \sqrt[3]{15 * 0,16}$$

$$L_s = 1,33 \text{ m}$$

Por ende, las restantes dimensiones resultaron iguales a:

$$B_s = 0,45 \text{ m}$$

$$H_s = 0,27 \text{ m}$$

Esquema del tanque de extracción por sedimentación

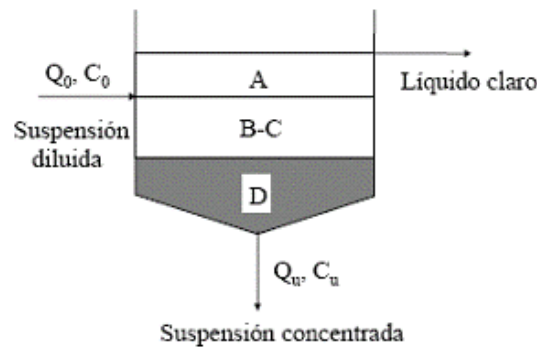


Figura N° 3 - 14: Tanque sedimentador
Elaborado por: Tocagón, R. (2018)

➤ Dimensionamiento del secador rotatorio

Cálculo de las unidades de transferencia de calor

Para la determinación de las dimensiones del secador rotatorio se estableció en primer lugar el valor de las unidades de transferencia de calor, para lo cual se partió de la siguiente ecuación:

Ecuación 55-1: Cálculo de las unidades de transferencia de calor

$$N_t = \int_{T_{ha}}^{T_{hb}} \frac{dT_h}{T_h - T_s}$$

Conociendo que el secador operara de manera adiabática (en base a los criterios de diseño descritos previamente) y que el gas de calentamiento está representado por el aire (el cual se encuentra inicialmente a una temperatura ambiental de 18°C y debe calentarse hasta máximo 75°C para evitar la gelificación del almidón), la ecuación anterior se traduce a:

$$N_t = \frac{T_{hb} - T_{ha}}{\Delta T}$$

En vista a que el sistema de transferencia de calor (gas calentando al solido húmedo) está conformado entre el aire caliente y el agua a extraer, el término $\overline{\Delta T}$ se determina con la siguiente ecuación:

$$\overline{\Delta T} = \frac{T_{hb} - T_{wb} - (T_{ha} - T_{wa})}{\ln \left[\frac{(T_{hb} - T_{wb})}{(T_{ha} - T_{wb})} \right]}$$

Reemplazando los términos similares en las ecuaciones anteriores, y considerando que para el sistema agua aire $T_{wa} = T_{wb}$, la ecuación se transformó en:

$$N_t = \ln \left[\frac{(T_{hb} - T_{wb})}{(T_{ha} - T_{wb})} \right]$$

Considerando que la temperatura de evaporación del agua es igual a 100°C y que para incrementar la velocidad de secado se estableció que el aire ingrese al secador con una temperatura superior en un 30% a la temperatura de evaporación, es decir que la temperatura a la cual ingresa el aire debe ser igual a 130°C y que para sistemas de transferencia de calor de dos fases en contacto aire-agua (como es el caso del sistema de secado del almidón) el valor de $N_t = 1,5$; por lo tanto el valor de la temperatura del gas en la descarga resultó igual a:

$$T_{ha} = 13,34^\circ C$$

En base a la ecuación 56-1 se determinó de la tasa de remoción de agua

Para determinar la tasa de remoción de agua necesaria para alcanzar la humedad final en el producto, se partió de la siguiente ecuación:

$$\dot{m}_v = \dot{m}_s(x_a - x_b)$$

Considerando que en esta parte del proceso la alimentación al secador será de 184,84 kg/h y que la alimentación y el producto deben presentar un porcentaje de agua igual a 69% y 13% respectivamente para cumplir con los criterios del proceso, se determinó que la tasa de remoción de agua debía ser igual a:

$$\dot{m}_v = 105,75 \text{ kg/h}$$

Considerando que el calor latente de evaporación del agua es igual a $2471,14 \text{ kg/h}$; que la capacidad calorífica del vapor a la temperatura del aire a la salida es igual a $1,881 \text{ kg/h} * \text{°K}$; que la capacidad calorífica del almidón es igual a $1,22 \text{ kg/h} * \text{°K}$; que la capacidad calorífica del agua es igual a $4,186 \text{ kg/h} * \text{°K}$ y que la temperatura máxima que puede alcanzar el sólido es igual a 75°C (para evitar la gelificación del almidón), se estableció que el requerimiento de calor para el secado era igual a:

$$\frac{q_t}{\dot{m}_s} = C_{ps}(T_{sb} - T_{sa}) + X_a C_{PL}(T_v - T_{sa}) + (X_a - X_b)\lambda + X_b C_{PL}(T_{sb} - T_v) + (X_a - X_b)C_{pv}(T_{va} - T_v)$$

$$q_t = 154195 \text{ kJ/h} = 42,83 \text{ Kw/h}$$

Determinación de la corriente de aire de secado

Conociendo que el aire será el fluido que suministre el calor para el secado, para determinar el flujo de aire que debe alimentarse al secador, se partió de la ecuación de balance de calor del aire, la cual se describe a continuación:

$$q_t = \dot{m}_g * c_{sb}(T_{hb} - T_{ha})$$

En base a las tablas psicométricas, se determinó que el calor específico del aire húmedo a la temperatura especificada era igual a $0,837 \text{ kJ}/\text{kg} * ^\circ\text{C}$, se obtuvo que la corriente de aire con que se debería alimentar al equipo sería igual a:

$$\dot{m}_g = \frac{q_t}{c_{sb}(T_{hb} - T_{ha})}$$

$$\dot{m}_g = 1322,76 \text{ kg}/\text{h}$$

Dentro de la bibliografía de referencia, se especifica que, para evitar la generación de polvo, la velocidad másica permitida que debe circular a través del secador no supere los $2000 \text{ kg}/\text{m}^2 * \text{h}$, por definición, se estableció a la siguiente ecuación para el cálculo del área de la alimentación del secador:

Cálculo del área de la alimentación del secador en base a la ecuación 57-1.

$$A = \frac{\dot{m}_g}{G}$$

$$A = \frac{1322,76}{2000}$$

$$A = 0,66 \text{ m}^2$$

De la ecuación 58-1: Geométrica para la determinación del área de una circunferencia.

$$A = \pi \frac{D^2}{4}$$

$$D = \sqrt[2]{\left(\frac{4A}{\pi}\right)}$$

$$D = \sqrt[2]{\left(\frac{4 * 0,66 \text{ m}^2}{\pi}\right)}$$

$$D = 0,92 \text{ m}$$

Para determinar el valor de la longitud del equipo, se partió de la siguiente relación empírica establecida por (McCabe, y otros, 2007): A partir de la ecuación 59-1:

$$L = 6,54 * D$$

$$L = 6,54 * 0,92$$

$$L = 6,02 \text{ m}$$

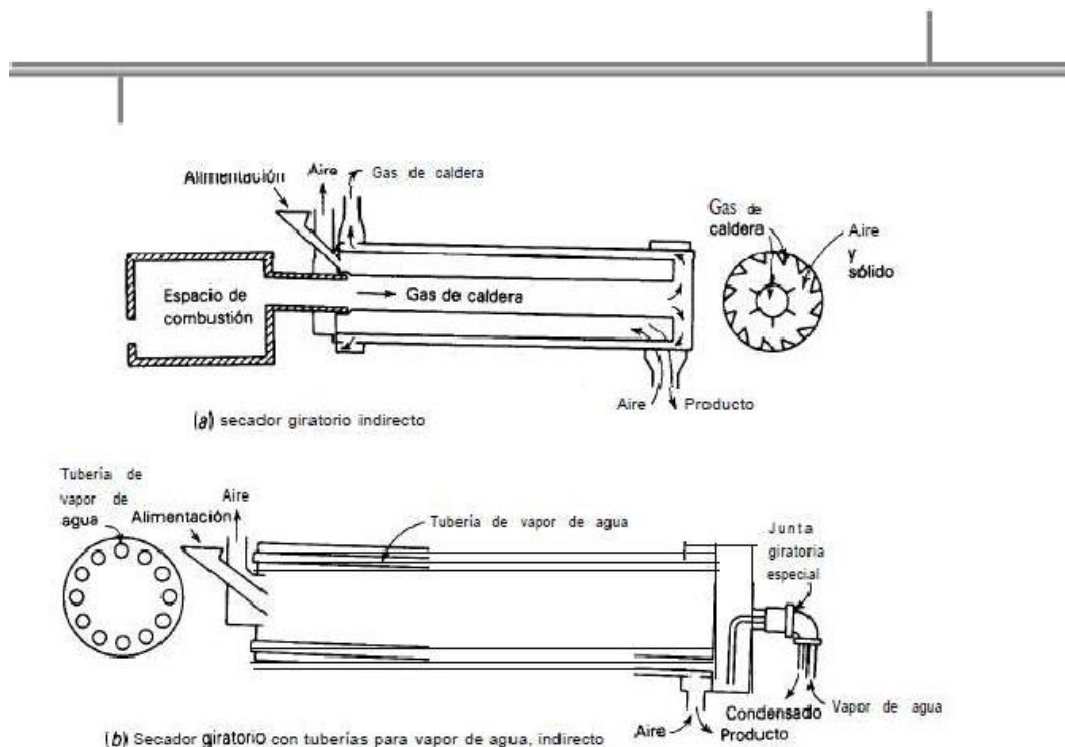


Figura N° 3 - 15: Esquema del secador giratorio.

Fuente: (McCabe, y otros, 2007)

➤ **Dimensionamiento del molino de discos.**

Cálculo de la potencia consumida en la reducción del tamaño (molienda).

Conociendo que el almidón bruto obtenido en la operación de secado tiene un diámetro nominal de 0,297 mm y se espera tener después de la molienda un diámetro de partícula menor a 0,149 mm, para la determinación de la cantidad de energía consumida en la molienda del almidón bruto, se partió de la **ecuación 60-1**, establecida de acuerdo a la ley de Bond:

$$\frac{P}{m} = 10 * w_i \left[\frac{1}{\sqrt{D_{mp}}} - \frac{1}{\sqrt{D_{ma}}} \right]$$

En base al autor (Cortazar, y otros, 2008), el valor de la constante de molienda es igual a 0,48 $Kw \cdot h/kg$, la energía consumida para la molienda resultó igual a:

$$\frac{P}{\dot{m}} = 10 * 0,34 \left[\frac{1}{\sqrt{0,297}} - \frac{1}{\sqrt{0,749}} \right]$$

$$\frac{P}{\dot{m}} = 2,31 \text{ kw} \cdot h/kg$$

La potencia consumida, conociendo que de la operación de secado sale una corriente igual a 65,86 kg/h , la potencia consumida resultó igual a:

$$P = 2,31 * 65,86$$

$$P = 0,152 \text{ kw} = 0,20 \text{ HP}$$

3.5. Resultados.

3.5.1. Resultados del dimensionamiento de los equipos.

Tabla N° 3 - 45: Resultado del dimensionamiento de los equipos.

| TOLVA DE ALIMENTACIÓN | | |
|------------------------------------|--------------|----------------|
| Descripción | Valor | Unidad |
| Volumen | 0,51 | m ³ |
| Altura | 0,80 | m |
| Dimensión menor | 0,40 | m |
| Dimensión mayor | 0,90 | m |
| Material acero inoxidable AISI 304 | | |
| BANDA TRANSPORTADORA | | |
| Descripción | Valor | Unidad |
| Ancho de la banda | 0,40 | m |
| Longitud de banda. | 1,21 | m |
| Diámetro del rodillo | 63,5 | mm |
| Potencia requerida | 0,04 | HP |
| Material de la banda: Uretano | | |

| TANQUE DE LAVADO | | |
|---------------------------------------|--------------|----------------|
| Descripción | Valor | Unidad |
| Volumen | 1,21 | m |
| Diámetro | 1,15 | m |
| Alto | 1,15 | m |
| Potencia del motor | 1,00 | HP |
| Material acero inoxidable AISI 304 | | |
| PALETAS DEL TANQUE DE LAVADO | | |
| Descripción | Valor | Unidad |
| Longitud del brazo | 0,77 | m |
| Ancho de las paletas | 0,15 | m |
| Longitud de las paletas | 0,19 | m |
| Material acero inoxidable AISI 304 | | |
| TORNILLO SIN FIN TRANSPORTADOR | | |
| Diámetro | 6,0 | Pulgadas |
| Longitud | 2,15 | m |
| Altura de la hélice | ¾ | Pulgada |
| Voluta | Helicoidal | ----- |
| Potencia requerida | 0,5 | HP |
| Material fundición gris | | |
| LICUADORA INDUSTRIAL | | |
| Descripción | Valor | Unidad |
| Diámetro | 0,59 | m |
| Alto | 1,13 | m |
| Potencia del motor | 3 | Kw |
| Velocidad del motor | 1700 | RPM |
| Material acero inoxidable AISI 304 | | |
| FILTRADOR | | |
| Descripción | Valor | Unidad |
| Área del filtro | 0,41 | m ² |
| Radio del filtro | 0,36 | m |
| Alto del filtro | 1,18 | m |
| Alto del cono del filtro | 3,54 | m |
| Material acero inoxidable AISI 304 | | |
| TANQUE DE SEDIMENTACIÓN | | |
| Descripción | Valor | Unidad |
| Volumen | 0,16 | m ³ |
| Largo | 1,33 | m |
| Profundidad | 0,27 | m |
| Base | 0,45 | m |
| Material acero inoxidable AISI 304 | | |
| SECADOR ROTATORIO | | |
| Descripción | Valor | Unidad |

| | | |
|------------------------------------|--------------|----------------|
| Área | 0,66 | m ² |
| Diámetro | 0,92 | m |
| Longitud | 6,02 | m |
| Material acero inoxidable AISI 304 | | |
| MOLINO DE DISCOS | | |
| Descripción | Valor | Unidad |
| Ancho | 0,44 | m |
| Fondo | 0,87 | M |
| Alto | 0,40 | m |
| Potencia | 0,20 | HP |
| Velocidad de discos | 440 | RPM |
| Material acero endurecido. | | |

Elaborado por: Tocagón, R. (2018)

La planta de procesamiento de papa china para la obtención de almidón operaría mediante un proceso semicontínuo en un estado transitorio. Ya que los subprocesos recepción, clasificación, limpieza, pelado, cortado, molienda, filtrado y decantado son procesos tipo batch y los subprocesos secado y molienda son procesos continuos tal como se muestra en la **Tabla 3-45**.

Tabla N° 3 - 46: Resultado del tipo de operación de la planta.

| ETAPA | PROCESO | EQUIPO | TIEMPO DE RESIDENCIA (minutos) | TIPO DE PROCESO |
|--------------|---------------|-----------------------|-----------------------------------|----------------------|
| 1 | Recepción | Tolva de alimentación | 2 | Proceso Batch |
| 2 | Clasificación | Banda transportadora | 5 | Proceso Batch |
| 3 | Limpieza | Tanque de lavado | 10 | Proceso Batch |
| 4 | Pelado | Peladora | 8 | Proceso Batch |
| 5 | Cortado | Cortadora | 5 | Proceso Batch |
| 6 | Molienda | Licuadora | 5 | Proceso Batch |
| 7 | Filtrado | Filtro de torta | 15 | Proceso Batch |
| 8 | Decantado | Decantador | 10 | Proceso Batch |
| 9 | Secado | Secador rotatorio | - | Proceso Continuo |
| 10 | Molienda | Molino de discos | - | Proceso Continuo |
| Total | | | 60 | Proceso semicontínuo |

Elaborado por: Tocagón, R. (2018)

Por ende, la planta opera como un proceso semicontínuo. Una vez que los subprocesos de secado y molienda sean alimentados estos trabajarían continuamente para alcanzar la tasa de producción deseada.

3.6. Requerimiento de equipos y maquinaria

En las tablas 3-47 y 3-48, se presentan los requerimientos de equipos, tecnología y maquinaria para la extracción y control de calidad en el proceso de obtención del almidón, además se indica la función de cada uno, la capacidad requerida y el subproducto y producto obtenido. Esta última información proviene del balance de masa.

3.6.1 Equipos para la producción de almidón de papa china.

Tabla N° 3 - 47: Equipos para la extracción de almidón.

| Equipo | Cantidad | Función | Capacidad Requerida | Producto |
|-----------------------|----------|--|---------------------|-----------------------|
| Tolva de balanza | 1 | Alimentación de materia prima al proceso | 511 kg/h | Papa china |
| Banda transportadora | 1 | Transporte y clasificación de material en el proceso | 511 kg/h | Tubérculo clasificado |
| Tanque de lavado | 1 | Lavado de tubérculos | 1011 kg/h | Tubérculo lavado |
| Máquina de cortado | 1 | Reducción de tamaño | 486 kg/h | Tubérculo troceado |
| Licuadora industrial | 1 | Reducción de tamaño | 377 kg/h | Pasta del tubérculo |
| Filtrador discontinuo | 1 | Separación de la fibra y del almidón | 374 kg/h | Lechada de almidón |
| Sedimentador | 2 | Sedimentación del almidón primario | 1121 kg/h | Almidón primario |
| Secador Rotatorio | 1 | Secar el almidón primario | 997 kg/h | Almidón bruto |
| Molino de discos | 1 | Reducción de tamaño | 65,86 Kg/h | Almidón refinado |
| Maquina empacadora | 1 | Empacar el producto para la comercialización | 65,86 Kg/h | Producto empacado |
| Bomba | 2 | Transporte de fluidos (agua de lavado) | 1253,02 Kg/h | Agua de lavado |

Elaborado por: Tocagón, R. (2018)

3.6.2 Equipos para controlar la calidad en la producción de almidón.

Tabla N° 3 - 48: Equipos para controlar la calidad del almidón

| Parámetro | Equipo de medición | Cantidad |
|---------------------------|--|----------|
| Análisis físico – químico | Balanza analítica, sensibilidad 0.1 mg | 1 |
| | Material usual de laboratorio | 1 |

| | | |
|--------------------------|-----------------------------|---|
| | Estufa regulada a 103±2 ° C | 1 |
| | Termómetro | 1 |
| | Mufla | 1 |
| Tamaño de granulo | Cascada de tamices | 1 |
| PH | pH metro | 1 |
| Viscosidad. | Viscosímetro Brookfield | 1 |
| Actividad de agua | Equipo ACUA LAB | 1 |

laborado por: Tocagón, R. (2018)

3.7. Análisis de costo/ beneficio del proyecto

En este punto se abordará en detalle el presupuesto total del proyecto y las ganancias que se generará en la implementación del proyecto.

3.7.1. Presupuesto de los equipos

Para la determinación del valor de los equipos se escogió presupuestarlo con la empresa INNOMECC ya que esta empresa se dedica a la producción de maquinaria e insumos para la industria, los resultados de la proforma se reportan en la tabla 3-49.

Tabla N° 3 - 49: Presupuesto de equipos.

| Equipo | Cantidad | Costo, \$ |
|-----------------------|----------|-----------|
| Tolva | 1 | 450 |
| Banda transportadora | 1 | 950 |
| Tanque de lavado | 1 | 2500 |
| Tornillo sin fin | 1 | 1800 |
| Licuada industrial | 1 | 450 |
| Filtrador discontinuo | 1 | 1150 |
| Sedimentador | 2 | 500 |
| Secador Rotatorio | 1 | 3500 |
| Molino de discos | 1 | 4500 |
| Maquina empacadora | 1 | 970 |
| SUBTOTAL | | 16.770 |
| IVA 12 % | | 2012,4 |
| TOTAL | | 18782,4 |

Fuente: INNOMECC, (2018).

Elaborado por: Tocagón, R. (2018).

3.7.2. Presupuesto de materia prima

Tabla N° 3 - 50: Presupuesto de materia prima.

| Materia | Costo Unitario, \$ | Unidades, \$ | Costo Total, \$ |
|----------------|--------------------|--------------|-----------------|
| Papa china | 0,30 | 511 | 153,3 |
| Agua | 0,8 | 1,5 | 2,3 |
| Insumos varios | 0,10 | 20 | 2 |
| Total | | | 157,6 |

Elaborado por: Tocagón, R. (2018)

3.7.3. Presupuesto de análisis de laboratorio

Tabla N° 3 - 51: Presupuesto de análisis de laboratorio

| Análisis | Costo Unitario, \$ | Costo Total, \$ |
|---|--------------------|-----------------|
| Determinación del contenido de humedad de la papa china | 10,00 | 20,00 |
| Determinación del contenido de materia grasa de la papa china | 15,00 | 30,00 |
| Determinación del contenido de fibra de la papa china | 15,00 | 30,00 |
| Determinación del contenido de proteína de la papa china | 15,00 | 30,00 |
| Determinación del contenido de cenizas de la papa china | 10,00 | 20,00 |
| Determinación de la densidad aparente del almidón | 1,00 | 2,00 |
| Determinación del contenido de materia seca del almidón | 1,00 | 2,00 |
| Determinación de la viscosidad BROOKFIELD | 1,00 | 2,00 |
| Claridad de la pasta | 10,00 | 20,00 |
| Total | 78,00 | 156,00 |

Elaborado por: Tocagón, R. (2018).

3.7.4. Presupuesto de la mano de obra

Tabla N° 3 - 52: Presupuesto de mano de obra

| Personal | Costo Unitario, \$ | Costo Total, \$ |
|----------|--------------------|-----------------|
| Técnico | 700,00 | 700,00 |
| Operador | 400,00 | 1200,00 |
| Total | | 1900,00 |

Elaborado por: Tocagón, R. (2018).

3.7.5. Presupuesto de gastos operativos

Tabla N° 3 - 53: Presupuesto de los gastos administrativos.

| Gastos Administrativos | Costo Unitario, \$ | Costo Total, \$ |
|------------------------|--------------------|-----------------|
| Contador | 500,00 | 500,00 |
| Transporte | 50,00 | 50,00 |
| Total | 550,00 | 550,00 |

Elaborado por: Tocagón, R. (2018).

3.7.6. Presupuesto para la elaboración de papa china

Tabla N° 3 - 54: Presupuesto de los gastos generados para la producción de almidón

| Presupuestos | Costo Total, \$ |
|---|-----------------|
| Presupuesto de equipos | 18782,4 |
| Presupuesto de materia prima | 156,5 |
| Presupuesto de análisis de laboratorio | 156 |
| Presupuesto de mano de obra | 1900 |
| Presupuesto de los gastos administrativos | 550 |
| Total | 21546 |

Elaborado por: Tocagón, R. (2018).

De acuerdo a lo establecido en la sección anterior la inversión total necesaria para la implementación de una empresa de producción de almidón es igual a \$ 21546 el cual interviene la inversión en maquinaria equipos y productos, de acuerdo con esto se tiene que calcular el costo de producción unitaria para 511 kg/h de papa china, calculando el costo energético de la producción y el costo de materia prima y de persona de acuerdo a esta producción, estos datos se reportan en la tabla 3-54.

Tabla N° 3 - 55: Costo de producción de la tasa hora de almidón

| Detalle | Costo Total, \$ |
|--------------------------|-----------------|
| Materia Prima | 157,6 |
| Mano de Obra | 10,80 |
| Costo Energético | 1,70 |
| Gastos Administrativos | 18,33 |
| Análisis de Laboratorio | 5,2 |
| Costo de Producción | 193,63 |
| Costo de venta | 230,51 |
| Relación Beneficio-Costo | 1,19 |

Elaborado por: Tocagón, R. (2018).

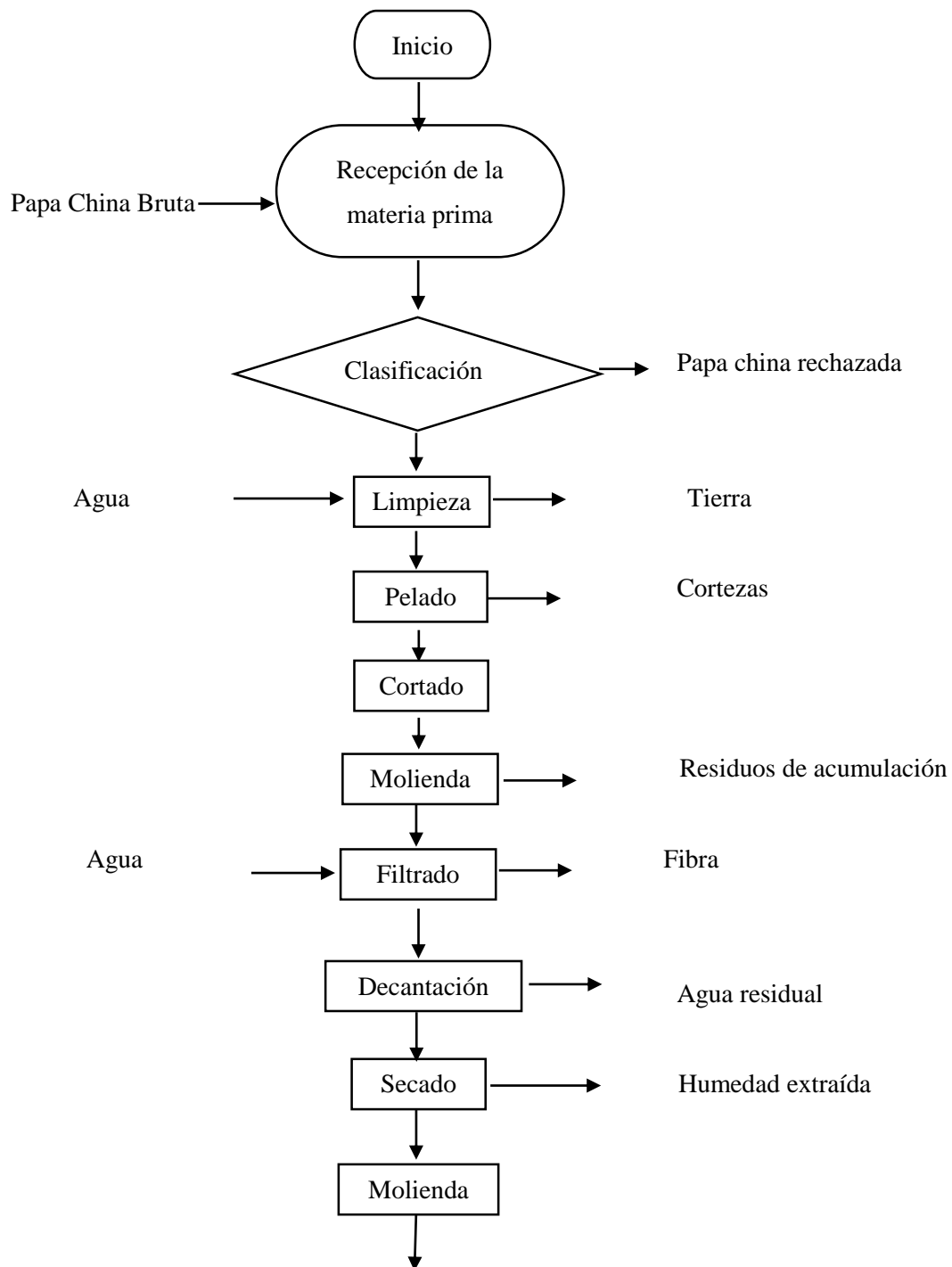
Después del análisis del costo por producir almidón a partir de 511 kg/h de papa china, se establece el valor en el mercado del almidón para determinar la relación beneficio costo el cual actualmente en el mercado está en \$3,5 por kilogramo, de acuerdo con esto el costo de venta de los 65,86 kg

del almidón será igual a \$230,51; de acuerdo con este valor la relación beneficio costo de la producción de almidón de papa china será igual a 1,19; lo que indica que por cada dólar invertido el productor tendrá como ganancia 0,19 centavos, esto es un indicativo de que el productor que desee invertir en la producción de almidón de papa china tendrá un buen margen..

3.8. Descripción del proceso

3.8.1 Diagrama del proceso de producción de almidón

| Materias primas, Insumos y Suministros | Línea principal del proceso | Residuos |
|--|-----------------------------|----------|
|--|-----------------------------|----------|



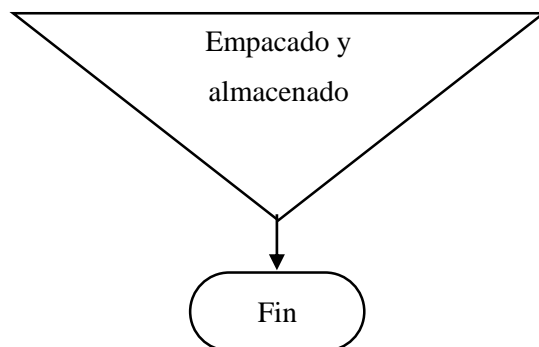










Figura N° 3 - 16. Diagrama para el corte de la materia prima

Elaborado por: Tocagón, R. (2018)

Tabla N° 3 - 56: Descripción del proceso de producción.

| ETAPAS DEL PROCESO | DETALLE | SECCION |
|--|--|---------|
| Recepción de la materia prima | Se receta y pesa la cantidad de tubérculo calculada y estimada en este documento para la elaboración del almidón. | |
| Toma de muestra | Se toma una muestra del lote de cosecha, para ejecutar la caracterización fisicoquímica e inspección de calidad de la tuna | |
| Caracterización fisicoquímica de la muestra | Se realiza la caracterización fisicoquímica de la muestra, si los resultados son favorables cumpliendo los requisitos de la normativa para papas fresca se aprueba entonces el procesamiento de todo el lote de cosecha. | |
| Inspección y Selección | Se selecciona aquellos tubérculos en óptimas condiciones para procesarla mediante la inspección visual en la banda transportadora. | |
| Lavado | Los tubérculos son lavados en un tanque con paletas, que ayudan a la rápida limpieza del tubérculo con una relación agua materia prima 1:1 | |
| Pelado | Para el procesamiento del tubérculo es necesario eliminar la corteza ya que este afectaría a la calidad del producto. Se realiza de forma manual. | |

| | | |
|------------------------|---|---|
| | |  |
| Cortado | Con la finalidad de ayudar en el proceso de extracción del almidón se procede a cortar la papa china pelada aumentando así la superficie de contacto de la materia prima. |  |
| Molienda húmeda | En esta etapa considerada una de las más críticas procedemos a llevar a la materia prima a una molienda húmeda en el que controlaremos drásticamente el tamaño de partícula ya que un tamaño de partícula grande representaría una dificultad en la extracción de almidón en cambio un tamaño de partícula muy pequeño representaría una baja calidad del producto ya que se vería contaminado con restos de fibra. |  |
| Filtrado | La pasta obtenida en el proceso de molienda se lava con abundante agua relación 1:2 con la finalidad de extraer la mayor cantidad de almidón posible. |  |
| Decantado | Una vez culminada el filtrado se dejará en reposo la lechada obtenida por un máximo de 15 min, en el que el almidón al ser insoluble en agua formará un precipitado que posteriormente se separa obteniendo así el denominado almidón primario. |  |
| Secado | En esta etapa el almidón primario con una humedad de 69 % se secará hasta alcanzar un 13 % que es el especificado por la normativa haciendo uso de corrientes de aire caliente. En esta etapa se obtendrá el almidón bruto |  |
| Molienda | En la molienda se refinará el almidón haciéndolo apto para su comercialización como producto de calidad. El producto obtenido del secado se encuentra en un estado de aglomeración por lo que es necesario | |

| | | |
|-------------------------------------|--|---|
| | <p>reducir su tamaño hasta que alcance el especificado por la normativa.</p> |  |
| <p>Envasado y etiquetado</p> | <p>Finalmente, el almidón se envasa en sacos de 25 kg de capacidad para su uso industrial como insumo o materia prima. Finalmente se etiqueta.</p> |  |

Elaborado por: Tocagón, R. (2018)

3.9. Diseño y distribución de la Planta

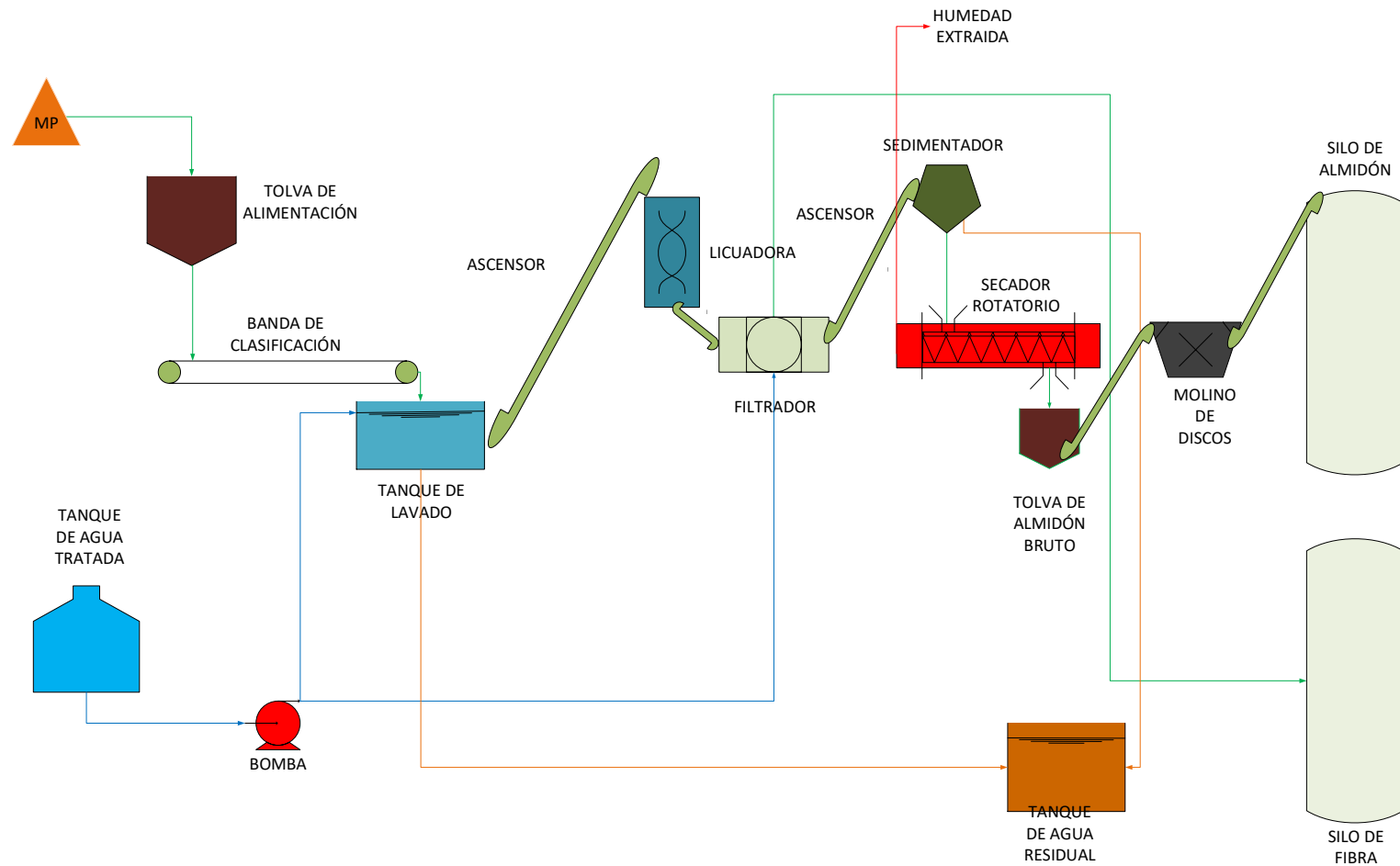


Figura N° 3 - 17: Diagrama de flujo del proceso de obtención de almidón.

Elaborado por: Tocagón, R. (2018)

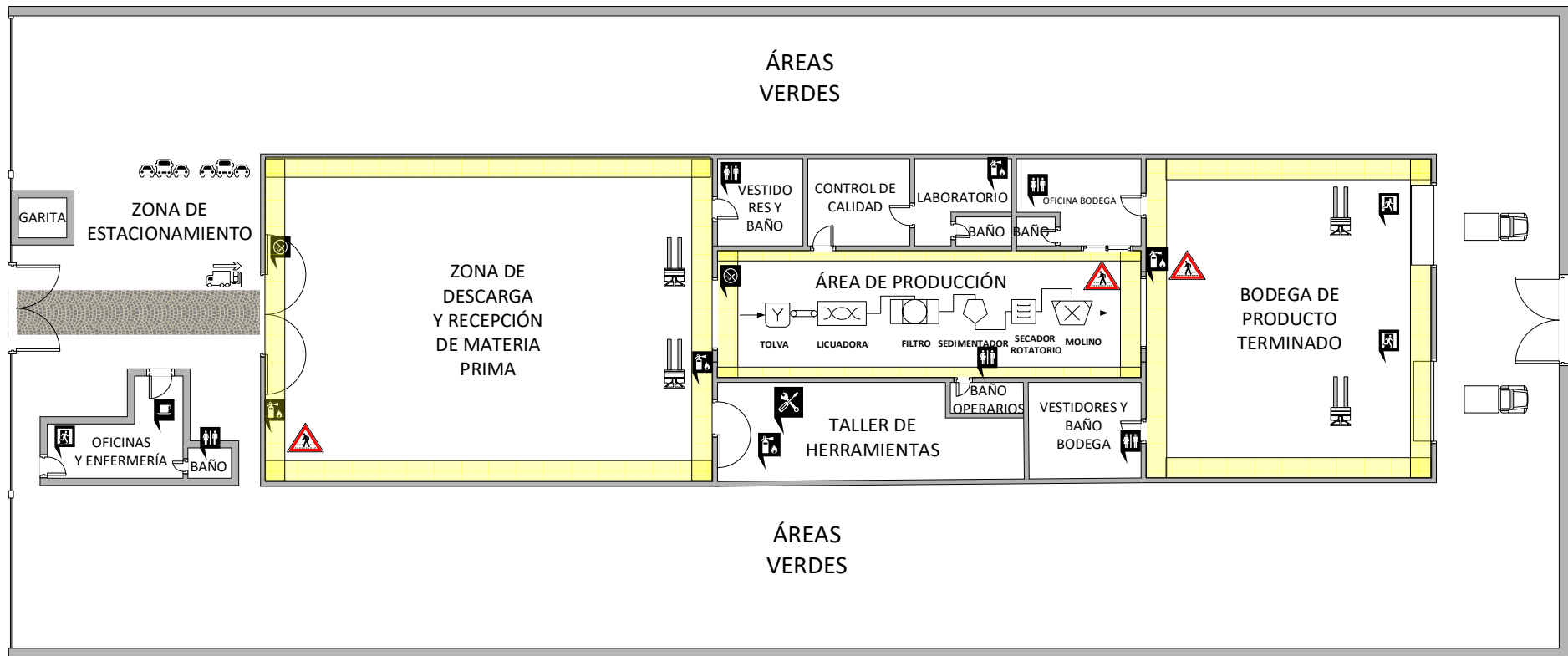


Figura N° 3 - 18: Distribución de la planta Layout

Elaborado por: Tocagón, R. (2018)

Como se puede observar en la ilustración anterior, la planta producto, para la extracción de almidón de la papa china, se constituye de 6 departamentos, los cuales se encuentran interrelacionado, para alcanzar la eficiencia productiva.

3.9.1. Administración

Este es un departamento de forma jerárquica, se sitúa en el primer lugar, ya que mediante la administración que disponga una empresa, dependerá de la eficiencia productiva, en muchos de los casos se constituye de un gerente, contador, y demás colaboradores o socios de la empresa.

3.9.2. Área productiva

Un departamento, encargado de producir, todo el almidón posible, a fin de satisfacer una demanda potencial en base a consumidores que se dedican a la elaboración, producción y comercialización de productos a base del almidón de papa china.

3.9.3 Almacenamiento y terminado

En esta sección se almacenaría toda la materia prima y producto terminado que se obtuviera luego de una determinada secuencia de procesos.

3.10. Cronograma de ejecución del proyecto

| ACTIVIDADES | TIEMPO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--------|---|---|---|--------|---|---|---|--------|---|---|---|--------|---|---|---|--------|---|---|---|--|
| | 1° mes | | | | 2° mes | | | | 3° mes | | | | 4° mes | | | | 5° mes | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| Revisión bibliográfica | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | |
| Elaboración del anteproyecto | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Presentación y aprobación del anteproyecto | | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Diagnóstico inicial del laboratorio | | | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Adquisición de la papa china | | | | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | | | |
| Caracterización de la papa china | | | | | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | | | |
| Obtención del almidón | | | | | | | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | |
| Caracterización del almidón | | | | | | | | | ■ | ■ | | | | | | | | | | | |
| Ordenamiento y tabulación información | | | | | | | | | | ■ | ■ | | | | | | | | | | |
| Análisis de la información | | | | | | | | | | | ■ | ■ | | | | | | | | | |
| Cálculos y propuestas (Dimensión del sistema de producción) | | | | | | | | | | | | ■ | ■ | | | | | | | | |
| Elaboración de borradores | | | | | | | | | | | | | ■ | ■ | | | | | | | |
| Corrección borradores | | | | | | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | | | | | |
| Tipiado del trabajo final | | | | | | | | | | | | | | | | ■ | ■ | | | | |
| Empastado y presentación del trabajo final | | | | | | | | | | | | | | | | | ■ | ■ | | | |
| Auditoría académica | | | | | | | | | | | | | | | | | | ■ | ■ | | |
| Defensa del trabajo | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ■ | ■ | |

Elaborado por: Tocagón, R (2018)

3.11. Análisis y discusión de resultados.

Con el diseño del proceso se abarca una serie de estudios relacionados con el análisis de la materia prima, variables de proceso, operaciones unitarias, análisis del producto terminado, rendimiento del proceso y rendimiento económico.

En lo referente al análisis de la materia prima, se tomaron en cuenta las propiedades físicas diámetro y peso que lo encasillo en la categoría N° 1 o de primera, en cuanto al análisis químico se puede decir que la propiedad más influyente en el proceso es la humedad de 69,18 %. El análisis fisicoquímico nos dirige a tomar la decisión de aceptar una materia prima que cumpla con los siguientes estándares: contenido de humedad 75 % máximo; diámetro 9,2 cm máximo; contenido de cenizas 2 % máximo y una apariencia fresca de color café oscuro, uniforme en toda su superficie y sin resto de materiales extraños. Controlando estos parámetros aseguraremos el buen desempeño del proceso y por ende un producto de calidad.

Para el diseño del proceso se realizaron pruebas piloto a nivel de laboratorio del cual se extrajeron e interpretaron los resultados con los que se constituyeron las variables de control para el proceso: cortado en el que se inspeccionara que la papa cortada tenga un tamaño menor a 12 mm, molienda húmeda en el que se controlara que el tamaño de la partícula este en un rango de 0,177 a 0,210 mm asegurando así la rápida extracción de almidón puro, filtrado en una malla N° 80 (0,210 mm) con aspersion de agua en una relación almidón primario agua 1:2, decantación por gravedad en lapsos de 15 minutos, secado a 70 ° C en el que se vigilara que la humedad al ingreso no sea superior a 69 % y a la salida inferior al 13 %, finalmente la molienda en un molino de discos que entregara un producto con un diámetro de partícula menor a 0,149 mm.

El proceso tendrá una alimentación de materia prima de 510,7 kg/h y se tendrá como producto final almidón refinado con un flujo de 65,86 kg/h reflejando un rendimiento del proceso 12,90 % que puede considerarse bajo, pero hay que tener en cuenta que tan solo para iniciar el proceso la humedad de nuestra materia prima representa 69,18 % en peso. En cuanto al beneficio económico se presenta como rentable generando una ganancia del 19 % por el total del costo de materia prima invertida.

A pesar del bajo rendimiento del proceso hay que tener en cuenta la calidad del producto y los beneficios sociales que tendrá la implementación del proceso en la zona. De esta manera se podrá contribuir al sector agrícola de la zona asegurando una demanda continua de papa china (*colocasia esculenta*), que genera mayor ganancia al agricultor al tratarse de un cultivo de fácil producción, resistente a plagas y alto rendimiento por hectárea.

CONCLUSIONES

- Se estableció el proceso industrial óptimo para la obtención de almidón a partir de la papa china (*Colocasia esculenta*), los cálculos de ingeniería determinaron los parámetros de diseño de los equipos involucrados en el proceso.
- Se evaluó la composición proximal de la papa china en base a las técnicas descritas por la AOAC (Official Methods of Analysis), arrojando como resultados un 69,18 % de contenido de humedad; 3,61 % contenido de grasa; 1,57 % contenido de ceniza; 3,61 % contenido de proteína; 0,53 % contenido de fibra y 25,64 % como ELN.
- Al evaluar las características físico- químicas y organolépticas del almidón de papa china (*Colocasia esculenta*) se obtuvieron los resultados siguientes: actividad de agua 0,35+/-0,02; claridad de la pasta 97,1+/-0,4 %; contenido de cenizas 0,25+/-0,06 %; contenido de humedad 11,80+/-0,45 %; contenido de materia seca 88,36+/-1,96 %, contenido de pulpa % 0,28+/-0,02, densidad aparente 0,47+/-0,04 g/mL; pH 6,48+/-0,15; tamaño de gránulo 99,55+/-0,13 %, temperatura de gelatinización 71+/-6,25°C y viscosidad Brookfield, 2544+/-117 41 cP.
- Se establecieron los puntos de control de proceso para mejorar la producción sin perder la calidad del producto los cuales son: cortado de la materia prima con un diámetro menor a 12 mm; molienda húmeda con un rango de tamaño de partícula de 0,177 a 0,210 mm; la operación de filtrado debe realizarse en un tamiz #80; tiempo de decantación de 15 minutos, temperatura de secado máximo 70 °C; humedad del almidón refinado 13% y la finura del almidón refinado de 0,149 mm.
- El rendimiento productivo y económico del proceso de obtención de almidón a partir de la papa china (*Colocasia esculenta*) son respectivamente: 12,90 % y 19 %.

RECOMENDACIONES

- Mantener los criterios de diseño y un control de variables estricto para un correcto desempeño del proceso y calidad del producto.
- Realizar un estudio para el correcto uso de los residuos, esencialmente la fibra residual que representa la mayor cantidad de desecho sólido existente.
- Se recomienda la aplicación a nivel industrial del proceso propuesto para la obtención de almidón a partir de la papa china “*Colocasia Esculenta*”, en vista a que, dentro del aspecto de calidad y del aspecto económico, la aplicación del proceso generara productos de alta calidad y un rendimiento económico sustancial.

BIBLIOGRAFÍA

Aguado Alonso, J. *INGENIERÍA DE LA INDUSTRIA ALIMENTARIA*. España : SÍNTESIS, 1999.

Aguado Alonso, José. *INGENIERIA DE LA INDUSTRIA ALIMENTARIA. CONCEPTOS BÁSICOS*. España : SÍNTESIS, 1999.

Anon, J. *Operaciones de Separación en Ingeniería Química*. I. Madrid : PEARSON EDUCACIÓN, 2004.

Aristizábal, Johanna, Sánchez, Teresa y Mejía, Danilo. *Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca*. I. Roma : ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN., 2007.

Astiasarán, I. & Martínez, J. A. *ALIMENTOS Composición y Propiedades*. I. Madrid : McGraw-Hill., 2003.

Ávila, Juan. *Econimía*. México : Editorial Umbral, 2013.

Badui Dergal, Salvador. *Química de los alimentos*. Cuarta. México : PEARSON, 2006.

Balaguer, Francisco. *Alidones, Féculas y sus derivados de fabricación*. Primera edición. Bogotá - Colombia : Fb&c Limited Publications, 2018.

Belitz, H D y Grosch, W. *Química de los alimentos* Editorial Acribia, S.A. Zaragoza (España) : s.n., 1997.

Bello, León Darío. *Estadística como apoyo a la Investigación*. Mexico : L.Vieco e Hijas Ltda, 2005.

Bermúdez, Angel. *Raíces y tubérculos andinos, avances de investigación I.* Primera edición. Barcelona - España : Canadá, 2017.

Bettioli, Daniela. Tuberculos andinos. [En línea] 2015. [Citado el: 05 de Julio de 2018.] <https://es.slideshare.net/bettiold/tubrculos-andinos-valor-alimentaria-y-nutricional-20015>.

Brito, Hannibal. *Texto Basico de Operaciones Unitarias II.* Riobamba : s.n., 2001.

Cañar, Alberto. *Tuberculos: Extraccion de almidón.* Tercera edición. Barcelona - España : Ediciones Parainfo S.A, 2017.

Chablee, Albert. *Composición química de .* Primera edición. Madrid - España : Ediciones Narcea S.A, 2016.

Cortazar, M y Figueroa, L. *CONSUMO DE ENERGÍA Y DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑO DE PARTÍCULA EN LA MOLIENDA DE CANELA (Cinnamomum zeylanicum) Y PIMIENTA NEGRA (Piper nigrum L).* México : Universidad Nacional Autónoma de México, 2008.

Delgado, Erika. *Extraccion de almidon de la papachina para la produccion de una bebida .* Ambato - Ecuador : Universidad Tecnica de Ambato, 2015.

Departamento de Normas y Control de Calidad. *NMX-F-382-1986 ALIMENTOS. ALMIDÓN.* I. MEXICO : Departamento de Normas y Control de Calidad, 1986.

Díaz, L. Rendimiento y caracterización de almidón de frutos de castaño (*Castanea sativa*) y araucaria (*Araucaria araucana* (Mol.)K.Koch). Santiago : Universidad de Chile, 1997.

Domingo, Agustín. Apuntes de Mecanica de Fluidos. [En línea] 2011. [Citado el: 10 de Mayo de 2017.] <http://oa.upm.es/6531/1/amd-apuntes-fluidos.pdf>.

Ekanem, A M y Osuji, J. *Mitotic index studies on edible cocoyams (Xanthosoma and Colocasia spp).* 2006. pág. 4.

El Telegrafo. Produccion de Papa China. *Regional Centro.* 07 de Septiembre de 2013.

ESPOCH, Estación Agrometeorológica de la Facultad de Recursos Naturales. *Condiciones Experimentales del cantón RIobamba.* 2017. págs. 5-7.

Fairlie, Tommy, Morales, Marciano y Holle, Miguel. *Raíces y tuberculos andinos: Avances de investigación Tomo I.* Primera edición. Lima - Perú : Ediciones CONDESAN, 2017.

FAO. *El mercado de almidón añade valor a la yuca.* 2006.

Felder, Richard M y Rousseau, Ronald W. *PRINCIPIOS ELEMENTALES DE LOS PROCESOS QUÍMICOS.* MÉXICO : LIMUSA, S.A, 2004.

Fernandez, Eva. *Bioquímica aplicada.* Primera edición. Cali - Colombia : Editoriales CIAT, 2016.

Ferreira, Salomon, Pardo, Clemencia y Ortiz, Elsa. *ESTUDIO QUÍMICO BROMATOLÓGICO DE LA COLOCASIA ESCULENTA (TARO).* 1990. Vol. 18.

Gil, Angel. *Tratado de nutrición Tomo II: Composición y Calidad nutritiva de los alimentos.* Segunda edición. Colombia : Editorial médica Panamericana, 2010.

Grajales, Guillermo. *Estudio de mercado y comercialización.* Costa Rica : IICA, 2012.

Gutierrez, George. *Raíces y tubérculos andinos: Alimnetos de ayer para la gente de hoy.* Edicion 114. Quito - Ecuador : Editoriales INIAP, 2016.

Gutiérrez, José Bello. *Ciencia bromatológica: Principios generales de los alimentos.* Segunda edición. Madrid - España : Ediciones Diaz de Santos, 2000.

Herrera, Juan. *Biotechnología y alimentación.* Primera Edición. Barcelona - España : Ediciones Diaz de Santos, 2016.

INEN. *AZUCAR DETERMINACION DEL AZUCAR REDUCTOR.* QUITO : INEN, 2017.

Instituto Ecuatoriano de Normalización. *NTE INEN-ISO 1666. ALMIDONES Y FÉCULAS. I.* Quito : INEN, 2014.

Kim, C. T., y otros. Effects of phosphorylating salts and temperature on the preparation of rice starch phosphates by extrusion. . *Starch/Starke.* 1999, págs. 260-286.

Kotler, Philip y Armstrong, Gary. *Canales de distribución de productos; Fundamentos del Marketing.* Madrid - España : PEARSON EDUCACIÓN, 2013.

Lescano, Fernando. *Composición química y digestibilidad in vitro de ensilados de tubérculos de papa china (Colocasia.* [ed.] Instituto de Ciencia Animal. La Habana - Cuba : s.n., 2015. págs. 59-64. Vol. 49. ISSN: 0034-7485.

Ligth, J. M. Modified foof starches: why, what, where and how. . *Cereal Foods World.* 1990, págs. 1081-1092.

López, Josep. *Química y Biología de los alimentos II.* Segunda edición. Barcelona - España : Ediciones Diaz de Santos, 2016.

Malhotra, Naresh K. *Investigación de mercado.* México : Ediciones Pearson, 2012.

Maps, Google. <https://www.google.com.ec>. [En línea] 21 de Noviembre de 2017. <https://www.google.com.ec/maps/@-1.6587458,-78.6765092,263m/data=!3m1!1e3?hl=es-419>.

Maqueda, Javier. *Marketing estrategico para empresas de servicios.* España : Ediciones Díaz de Santos, 2012.

Martínez, F., y otros. Effects of high energy millon on some functional properties of jicama starch (*Pachyrrhizus erosus* L. Urban) and cassava starch (*Manihot esculenta* Crantz) . *Journal of Food Engineering.* . 2007, págs. 1212-1220.

McCabe, Warren L. , Smith, Julian C. y Harriot, Peter . *OPERACIONES UNITARIAS EN INGENIERÍA QUÍMICA.* México, D. F. : McGraw-Hill, 2007.

Mimisterio de Relaciones Laborales. *Capacidad de produccion.* Quito - Ecuador : s.n., 2012.

Miranda, Maria Fernanda. *Análisis de la producción de almidon de papa china.* Quito - Ecuador : Unibversidad Internacional SEK, 2014.

Mitch, E. Potato Starch: Production and Uses. *Chemistry and Technology.* New York : Academic Press, 1984.

Montero, Freddy. *Raices y tuberculos en la nutrición humana.* Segunda edición. Barcelona - España : Ediciones Diaz de Santos S.A, 2017.

Moreno, Olga. *Agricultura Andina.* Primera edición. Lima - Perú : Ediciones Parainfo S.A, 2018.

Mott, Robert. *Mecanica de Fluidos.* [ed.] Pablo Miguel Guerrero Rosas. Sexta. s.l. : Pearson Educacion, 2006. pág. 153.

Ockerman, H. *Industrialización de subproductos de origen animal.* Ohio : ACRIBIA, S.A., 2007.

Oliva, Ignacio. *Patología esterna.* Cuarta edición. Madrid - España : Imprenta Gaspar y Roig Editores, 2017.

Onwueme, I. *Tropical Tuber Crops.* New York-EEUU : John Wiley and, 1978.

ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD. *GUÍA PARA EL DISEÑO DE DESARENADORES Y SEDIMENTADORES.* I. Lima : OPS, 2015.

Palomino, Carolina, Molina, Yulimar y Pérez, Elevina. *Atributos físicos y composición química de harinas y almidones de los tubérculos de Colocasia esculenta (L.) Schott y Xanthosoma sagittifolium (L.) Schott.* CARTAGENA - VALLEDUPAR : REVISTA LASALLISTA DE INVESTIGACIÓN, 2010. págs. 58 - 66. Vol. 10.

Parreño , Josefa, Ruiz, Enar y Casado, Ana. *Dirección Comercial: Instrumento del marketing.* San Vicente : Editorial Club Universario, 2015.

PD y OT, Equipo Técnico. *Visión. Sistema Nacional de Información.* GAD Parroquial Rural San Gerardo . 2015. pág. 31.

Richardson, J M y Coulson, J F. *Ingeniería química. Operaciones básicas.* II. SEVILLA : EDITORIAL REYERTÉ, S. A., 2003.

Rivera, Jaime y López-Rua, Menmcía. *Dirección de marketing.* Madrid : ESIC, 2014.

Robles, Marcelo. *Ingeniería Química.* Primera edición. Barcelona - España : Editoriales NEWS S.A, 2016.

Rodríguez, Francisco. *INGENIERÍA DE LA INDUSTRIA ALIMENTARIA. OPERACIONES DE CONSERVACIÓN.* España : SÍNTESIS, 2002.

Rodriguez, Melia. *Innovacion y cambio tecnologico dentro del area alimenticia de tuberculos.* Primera edición. Lima - Perú : Ediciones Pearson S.A, 2016.

Rosales, José. *Elementos de microeconomía*. s.l. : Editorial Universidad Estatal a Distancia EUNED, 2014.

ROTRANS. *Rodillos, Características Generales*. Burgos, España : s.n., 2014.

Rueda, Jose Luis. *Raíces y tubérculos*. Segunda edición. Barcelona - España : Ediciones Diaz de Santos, 2015.

Santacruz, Edgar y Suárez, Jesús. *Universidad de la Salle, Facultad de Ingeniería de Diseño y Automatización Electrónica*. Bogota, Colombia : s.n., 2008. Diseño y modelamiento de una máquina dosificadora y empacadora de frutas deshidratadas.

Santillan, Klever. *Tubérculos: Almidos y utilización*. Primera edición. Bogotá - Colombia : Ediciones Parainfo S.A, 2016.

Sierra, Roberto y Legrá, Arístides. *Procedimiento para seleccionar la velocidad óptima en bandas transportadoras de menas lateríticas*. Mexico : Santillan, 2014.

Somolinos, Rodríguez. *Ingeniería de la industria alimentaria. Operaciones de procesamiento de alimentos*. I. España : SÍNTESIS, 2002.

Tirira, Lenin y Castro, Diego. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. *Diseño y Construcción de una máquina despulpadora de frutas*. [En línea] 29 de 01 de 2014. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3715/1/15T00586.pdf>.

Torres Rapelo, Alberto Luis, Montero Castillo, Piedad Margarita y Julio González, Lesbia Cristina. *UTILIZACIÓN DE ALMIDÓN DE MALANGA (Colocasia esculenta L.) EN LA ELABORACIÓN DE SALCHICHAS TIPO FRANKFURT*. Cartagena : NUSCA, 2013.

Vanaclocha, Ana y Requena, José. *Procesos de conservación de alimentos*. Madrid : Mundiprensa, 2003.

Vazquez, Antonio y Juan, Gutierrez. *Investigacion de mercados.* Madrid : Ediciones Paraninfo, 2014.

Vian, A. *Introducción a la química industrial.* segunda. Barcelona, España : Reverté, 1994.

ANEXOS

