



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA**

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
EN INGENIERÍA EN MECATRÓNICA**

**TEMA:**

**MÁQUINA SEMIAUTOMÁTICA DESGRANADORA Y  
DOSIFICADORA DE ARVEJA PARA EL SECTOR ARTESANAL**

**AUTOR: JHONNY ISRAEL ALAJO NÚÑEZ**

**DIRECTOR:**

**MSC. DIEGO LUIS ORTIZ MORALES**

**IBARRA, 2020**



## UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

### FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

### AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

#### 1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

<b>DATOS DEL CONTACTO</b>		
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD</b>	230006803-4	
<b>APELLIDOS Y NOMBRES</b>	ALAJO NÚÑEZ JHONNY ISRAEL	
<b>DIRECCIÓN</b>	SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS, AV. COTACACHI Y PUYO, ESQUINA.	
<b>EMAIL</b>	jialajon@utn.edu.ec	
<b>TELÉFONO FIJO</b>	<b>TELÉFONO MÓVIL</b>	0962751939
<b>DATOS DE LA OBRA</b>		
<b>TÍTULO</b>	MÁQUINA SEMIAUTOMÁTICA DESGRANADORA Y DOSIFICADORA DE ARVEJA PARA EL SECTOR ARTESANAL	
<b>AUTOR</b>	JHONNY ISRAEL ALAJO NÚÑEZ	
<b>FECHA</b>	11/3/2020	
<b>PROGRAMA</b>	PREGRADO	
<b>TÍTULO POR EL QUE OPTA</b>	INGENIERÍA EN MECATRÓNICA	
<b>DIRECTOR</b>	MSC. DIEGO LUIS ORTIZ MORALES	

## 2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrollo, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de esta y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra a los 11 días de marzo de 2020.

Firma: *Israel Alajo*

Jhonny Israel Alajo Núñez

230006803-4



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

**CERTIFICACIÓN**

En calidad de Director del presente trabajo de titulación titulado: **MÁQUINA SEMIAUTOMÁTICA DESGRANADORA Y DOSIFICADORA DE ARVEJA PARA EL SECTOR ARTESANAL** Ha sido desarrollado por el Sr. Jhonny Israel Alajo Núñez para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica, certifico que el mencionado proyecto fue realizado bajo mi dirección.

Es todo en cuanto puedo certificar en honor a la verdad.

A handwritten signature in blue ink, reading 'Diego Ortiz', is written over a horizontal dotted line.

Ing. Diego Ortiz MSc

DIRECTOR

## AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios en primer lugar por bendecirme con la vida y permitirme llegar a la culminación de mi carrera profesional.

A mi madre +Carmina Núñez a quien recorro frecuentemente mediante la oración, por otorgarme sus bendiciones desde el cielo junto al Padre Celestial, y ser ella mi principal motivación durante esta etapa.

A mi padre Milton Alajo por haberme brindado su total apoyo incondicional y orientación, quien ha sacrificado tanto para que yo pueda educarme en esta prestigiosa institución, por su sabiduría frente a los problemas que se presentaron durante este largo camino y por su comprensión ante los errores que pude cometer.

A mi tía, Sra. Carlota Velasco por su enorme generosidad, por ser una incansable luchadora, por guiar mis pasos en el camino de la fe, por inculcarme sus valores, por mantener unida nuestra familia, por ser vivo ejemplo de abnegación, y por disponer sus recursos en mi beneficio, sin los cuales no habría podido finalizar mis estudios.

A mi tía, Sra. Marcia Panchi por cuidar de mi bienestar y salud en todo momento, por su preocupación, amor y cariño que solo una madre puede procurar, por sus sabios consejos, infinita compasión y cuyas enseñanzas me permitieron sobrellevar los retos que se me presentaron.

A mis abuelitas, Sra. Edelina Aldaz, Sra. Hilda Velasco y mi abuelito, Sr. Luis Núñez quienes siempre han estado dispuestos a contribuir y comprometidos con mi formación personal y profesional y por ser unos abuelitos cariñosos y acogedores.

A mis primos, Paulina, Cristian y Evelin, quienes han sido mis hermanos mayores desde siempre, en quienes puedo confiar y contar siempre con su apoyo incondicional.

A mis hermanos, Kelly, Ariel y Waleska, por sus cálidas bienvenidas y palabras de aliento que me mostraron en todo momento.

A mi tío, +Sr. Gonzalo Abraján, por abrirme las puertas de su hogar y recibirme bondadoso, y que por sus buenas acciones ahora goza de la gracia eterna junto al Padre Celestial.

## **DEDICATORIA**

Esta tesis la dedico a mi numerosa y muy querida familia, quienes siempre han guiado mis pasos y aplaudido mis pequeños logros, absolutamente todos fueron esenciales en este camino que recorrí y que ahora culmino con éxito, sin ustedes no lo hubiera logrado.

## CONTENIDO

CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN.....	1
<b>1.1 ANTECEDENTES</b> .....	1
<b>1.1.1 Actualidad</b> .....	2
<b>1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA</b> .....	3
<b>1.3 OBJETIVOS</b> .....	4
<b>1.3.1 Objetivo General</b> .....	4
<b>1.3.2 Objetivos Específicos</b> .....	4
<b>1.4 ALCANCE</b> .....	4
<b>1.5 JUSTIFICACIÓN</b> .....	5
CAPÍTULO II.....	7
MARCO TEÓRICO .....	7
<b>2.1 Proceso de desgrane manual de arveja tierna</b> .....	7
<b>2.2 Características morfológicas y fisiológicas de la arveja tierna</b> .....	7
<b>2.3 Máquinas desgranadoras de guisantes existentes</b> .....	7
<b>2.4 Sistemas de desgranado de guisantes</b> .....	9
2.4.1 Tambor con púas radiales .....	9
2.4.2 Tornillo sin fin.....	10
2.4.3. Rodillos moleteados .....	10
2.4.4 Rodillos lisos .....	11
2.4.5 Rodillos de Nylon 6.....	11

<b>2.5 Control de dosificación</b> .....	12
2.5.1 Celda de carga .....	12
2.5.2 Módulo HX711 .....	12
2.5.3 PLC DELTA DVP 12SS2 .....	13
<b>2.6 Estructura de soporte</b> .....	13
CAPITULO III .....	15
METODOLOGÍA.....	15
<b>3.1 Diseño conceptual</b> .....	15
<b>3.2 Despliegue de la Función de Calidad (QFD)</b> .....	15
3.2.1 Desarrollo del QFD .....	15
<b>3.3 Estructuración sistemática de funciones</b> .....	17
3.3.1 Alternativas para cada subfunción.....	18
<b>3.4 Alternativas de solución</b> .....	20
3.4.1 Solución Amarilla.....	20
3.4.2 Solución roja.....	20
3.4.3 Solución azul .....	20
3.4.4 Solución naranja .....	20
<b>3.5 Selección de solución</b> .....	22
<b>3.6 Potencia de corte para los guisantes</b> .....	26
3.6.1 Cálculo del torque.....	26
3.7.1 Reducción Motor-Eje secundario .....	27

3.7.2	Reducción Eje secundario-Rodillo de desgrane .....	28
3.7.3	Longitud de las bandas de transmisión.....	29
<b>3.8</b>	<b>Diseño mecánico del rodillo de desgrane.....</b>	<b>30</b>
3.8.1	Concentradores de esfuerzo del rodillo de desgrane .....	31
3.8.3	Esfuerzos principales .....	33
3.8.4	Análisis del rodillo por fatiga .....	34
3.8.5	Factor de seguridad.....	37
<b>3.9</b>	<b>Análisis de la estructura de soporte .....</b>	<b>37</b>
3.9.1	Propiedades mecánicas del material .....	39
3.9.2	Segundo momento de área y radio de giro .....	39
3.9.3	Razón de esbeltez .....	39
3.9.4	Carga crítica y carga permisible .....	41
CAPÍTULO IV .....		43
RESULTADOS .....		43
<b>4.1</b>	<b>Validación de resultados .....</b>	<b>43</b>
<b>4.2</b>	<b>Análisis económico financiero .....</b>	<b>46</b>
4.2.1	Costos Directos.....	46
4.2.2	Costos Indirectos .....	47
4.2.3	Gastos de ingeniería.....	48
4.2.4	Costo Total .....	48
<b>4.3</b>	<b>Rentabilidad del Proyecto.....</b>	<b>48</b>

CAPÍTULO V .....	51
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	51
<b>5.1 Conclusiones</b> .....	51
<b>5.2 Recomendaciones</b> .....	51
Bibliografía.....	52

## ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1: Desgranadora manual de guisantes y frejol.....	1
Ilustración 2: Desgranadora manual de guisantes por cilindro con clavijas radiales .....	2
Ilustración 3: Máquina desgranadora de fréjol seco.....	8
Ilustración 4: Máquina desgranadora de guisantes tiernos.....	8
Ilustración 5: Rodillo con púas radiales .....	9
Ilustración 6: Tornillo sin fin.....	10
Ilustración 7: Rodillos moleteados .....	10
Ilustración 8: Rodillos lisos .....	11
Ilustración 9: Nylon 6.....	11
Ilustración 10: Celda de carga de 20 Kg.....	12
Ilustración 11: Módulo HX711.....	13
Ilustración 12: DVP 12SS2 .....	13
Ilustración 13: Estructura de soporte .....	14
Ilustración 14: Caja negra de la desgranadora de arveja .....	17
Ilustración 15: Estructura funcional de la desgranadora de arveja.....	17
Ilustración 16: Diagrama de fuerzas internas del rodillo de desgrane.....	31
Ilustración 17: Diseño CAD del rodillo.....	31
Ilustración 18: Factor geométrico de concentración de esfuerzos $k_t$ para un eje con filete de hombro en flexión.....	32
Ilustración 19: Análisis de la estructura de soporte.....	38
Ilustración 20: Líneas de falla en una columna de Euler, Johnson y corta.....	41

Ilustración 21: Análisis estático, SolidWorks .....	42
Ilustración 22: Curva de tendencia .....	42
Ilustración 23: Sistema de control Máquina desgranadora.....	43
Ilustración 24: Prototipo sistema de desgrane .....	44
Ilustración 25: Prototipo mecanismo de engranajes .....	44
Ilustración 26: Mecanismo de engranajes .....	45
Ilustración 27: Máquina desgranadora .....	45
Ilustración 28: Granos desgranados de un saco de 40 lb.....	46

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Características de plc.....	18
Tabla 2: Sensor de peso y celda de carga.....	19
Tabla 3: Motores eléctricos disponibles en el medio.....	19
Tabla 4: Matriz morfológica.....	21
Tabla 5: Evaluación del peso específico de cada criterio.....	22
Tabla 6: Evaluación del peso específico del criterio suministro energético.....	23
Tabla 7: Evaluación del peso específico del criterio capacidad de producción.....	23
Tabla 8: Evaluación del peso específico del criterio estructura de soporte.....	24
Tabla 9: Evaluación del peso específico del criterio ergonomía.....	24
Tabla 10: Evaluación del peso específico del criterio velocidad de los rodillos.....	25
Tabla 11: Tabla de conclusiones.....	25
Tabla 12: Coeficientes del factor de superficie.....	34
Tabla 13: Coeficientes del factor de tamaño.....	34
Tabla 14: Coeficientes para el factor de carga.....	35
Tabla 15: Coeficientes para el factor de temperatura.....	35
Tabla 16: Coeficientes para el factor de confiabilidad.....	35
Tabla 17: Coeficientes para el límite de resistencia a la fatiga.....	36
Tabla 18: Elementos soportados en la estructura.....	38
Tabla 19: Propiedades mecánicas del material de la estructura.....	39
Tabla 20: Condiciones de extremo y factores de longitud efectiva de la columna.....	40

Tabla 21: Costos Directos .....	47
Tabla 22: Costos Indirectos .....	47
Tabla 23: Gastos de Ingeniería .....	48
Tabla 24: Costo de diseño y construcción .....	48
Tabla 25: Indicadores .....	49
Tabla 26: Proyección anual de flujo de fondos .....	49
Tabla 27: VAN, TIR, IVAN .....	49

## Lista de Anexos

- A Matriz QFD resultante
- B Planos Mecánicos
- C Planos Eléctricos
- D Manual de Operación
- E Código de balanza electrónica

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación responde al desarrollo de una máquina semiautomática desgranadora y dosificadora de arveja tierna para el sector artesanal, cuyo objetivo es introducir una opción tecnológica, frente a la técnica manual utilizada actualmente para desgranar arveja tierna en microempresas. El estudio parte del diseño conceptual, dentro del cual se presentan varias alternativas de solución, en función de las características requeridas para la máquina, para lo cual, se emplea el *método ordinal de criterios ponderados* para seleccionar la mejor de ellas. La máquina trabaja con dos modos de funcionamiento, los cuales son: manual y automático, el operador selecciona a conveniencia cuál de ellos emplear según la demanda del producto. El proceso se desarrolla en cuatro fases: sistema de control, arranque del sistema, desgranado y sistema de dosificación y pesaje. Se utilizó el software SolidWorks para el diseño asistido por computador (CAD) con sus respectivos planos mecánicos. El sistema de desgrane es ajustable para evitar que los granos extraídos se destruyan en la vaina, este sistema requiere un mantenimiento periódico para alargar su vida útil y mejorar su eficiencia. Los resultados fueron validados ejecutando varias pruebas de funcionamiento.

**PALABRAS CLAVE:** MÁQUINA DESGRANADORA, ARVEJA TIERNA, DOSIFICACIÓN, PESAJE.

## ABSTRACT

*The present research work responds to the development of a semi-automatic machine peeler and metering of sweet peas for the artisanal sector, whose objective is to introduce a technological option, compared to the manual technique currently used to shear tender peas in microenterprises. The study starts from the conceptual design, within which several solution alternatives are presented, depending on the characteristics required for the machine, for which, the ordinal method of weighted criteria is used to select the best one. The machine works with two modes of operation, which are: manual and automatic, the operator selects which one to use according to the demand of the product. The process takes place in four phases: control system, system startup, shelling and dosing and weighing system. SolidWorks software was used for computer-aided design (CAD) with their respective mechanical drawings. The shelling system is adjustable to prevent the extracted grains from being destroyed in the sheath, this system requires periodic maintenance to extend its useful life and improve its efficiency. The results were validated by running several functional tests.*

**KEYWORDS: DRUMMING MACHINE, EARTH VESSEL, DOSAGE, WEIGHING**

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 ANTECEDENTES

Existen decenas de patentes registradas desde finales del siglo XVIII de máquinas desgranadoras de guisantes y frejol maduros o secos, principalmente en Estados Unidos, como muestran los casos de [1] y [2], los cuales coinciden en hacer uso del método de trituración por rodillos para descascarillar los guisantes, y los granos extraídos debido a la dureza característica de su estado de maduración no se destruyen al atravesar los cilindros. Además, estas maquinarias, están orientada al sector agroindustrial donde las escalas de producción son de enormes proporciones.

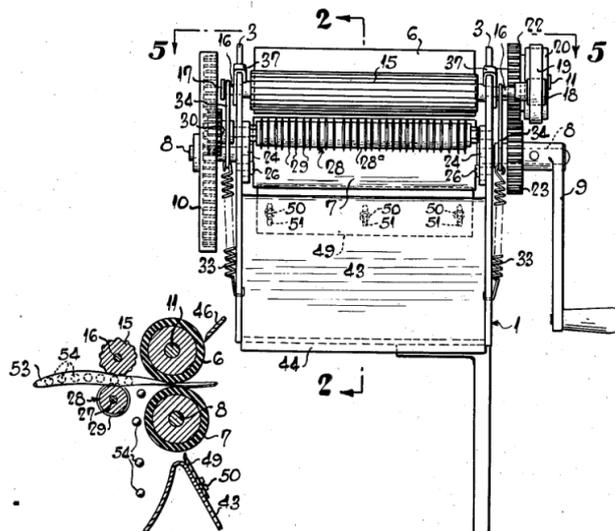


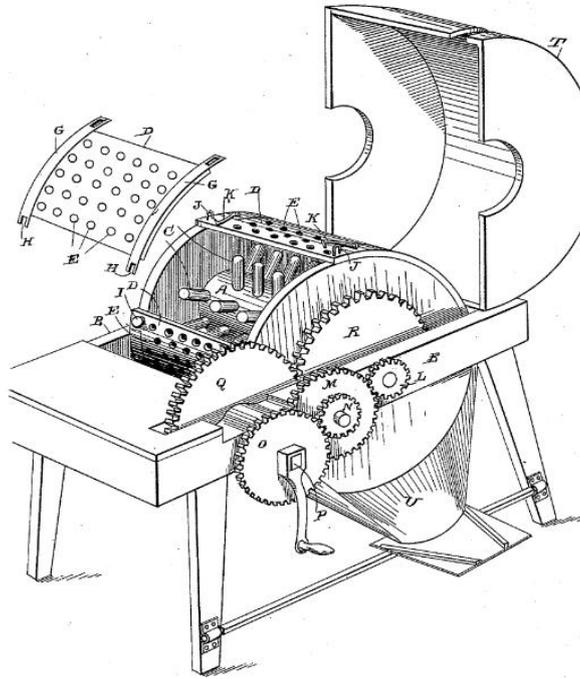
Ilustración 1: Desgranadora manual de guisantes y frejol

Fuente: [2]

La Ilustración 1 corresponde a una desgranadora manual de guisantes patentada en 1938 donde se puede apreciar la forma en que la vainita atraviesa los rodillos, los granos son extraídos sin destruirlos y el desperdicio o cascara es separada hacia otra dirección.

Existe otro método para desgranar guisantes, el cual consiste en un cilindro con clavijas radiales encerrado en una cámara con orificios en sus paredes por donde escapan los granos, como se observa en la Ilustración 2; los guisantes se introducen en la cámara retirando la cubierta D, el cilindro gira mientras los guisantes son golpeados

por las clavijas para abrirlos y extraer los granos. La desventaja de esta máquina es la forma en la que se suministran los guisantes, debido a que el proceso se debe detener para abrir la tapa T y retirar la cubierta D.



*Ilustración 2: Desgranadora manual de guisantes por cilindro con clavijas radiales*

Fuente: [3]

### **1.1.1 Actualidad**

En el tiempo actual existen empresas situadas en países de primer mundo dedicadas a la fabricación de máquinas desgranadoras de guisantes, las cuales en su mayoría optan por el método de trituración por rodillos para extraer los granos e incluyen un motor eléctrico para hacer eficiente el proceso, tal es el caso de Zhengzhou Shuliy Machinery Co. Ltd. en China, Southern Garden Tools en EE. UU y Promaquinas RG en Colombia.

Otro aspecto que las empresas han analizado es el tamaño de la maquinaria que producen, se han diseñado desgranadoras fáciles de transportar y operar, las capacidades de producción varían de acuerdo con las dimensiones de la máquina, y de esta manera consiguen expandir el mercado hacia otros sectores además del agroindustrial [4].

Todas las bondades que brindan estas máquinas al proceso de descascarillado de guisantes resultan atractivas para las pymes en el ámbito del comercio de alimentos de consumo diario y es lógico esperar que la acogida de las desgranadoras sea positiva, pero la realidad es distinta, en el medio nacional no se observa la aplicación de esta tecnología, de hecho, la situación es peor, ni siquiera se conoce su existencia.

## **1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

Hablar de tecnificación en los mercados tradicionales de productos de primera necesidad es un tabú, es evidente que la implementación tecnológica en este sector es intrascendente a pesar de ser un pilar en la economía del país, los comerciantes continúan usando técnicas obsoletas y poco eficientes para vender sus productos, la responsabilidad de este anacronismo recae en las restrictivas políticas de importación de maquinaria y el limitado progreso tecnológico del medio.

Es común observar a los propietarios -y colaboradores- de pequeñas tiendas de abastos, supermercados y dentro de los mercados municipales, en todo el territorio nacional, desgranar los guisantes empleando la tradicional y única técnica conocida, la cual consiste en extraer los granos manualmente, que además deben hacerlo rápidamente cuando la demanda es alta, y en reiteradas ocasiones los comerciantes pierden ventas por el tiempo que requiere desvainar manualmente estos guisantes. Una persona habilidosa tarda aproximadamente tres minutos en desgranar una libra de haba, mientras que la misma cantidad de arveja o fréjol requiere cuatro minutos debido a que los granos son más pequeños y ligeros, estos tiempos llegan a aumentar en épocas de invierno cuando las vainitas presentan humedad, por lo tanto, es más complicado extraer los granos, y perecen en menor tiempo.

En micro mercados, el personal se ve obligado a detener sus labores asignadas cuando no posee en stock la cantidad de granos tiernos requerida por él o los clientes, para desgranar el producto a tiempo y completar la orden que en ocasiones supera las veinte libras.

La alta demanda de los guisantes obliga a los gerentes de micro mercados a contratar personal adicional para llevar a cabo el proceso de extracción manual de granos tiernos, esta medida desesperada genera un impacto negativo en las utilidades que puede

llegar a alcanzar el 50% de las ganancias por el comercio de esta gama de productos, ya que resulta insostenible elevar los precios; es por esta razón que las empresas deciden asumir estos excesivos costos de producción como única alternativa viable.

El proceso de extracción manual de granos acarrea además problemas de salud y salubridad, en primer lugar, los miembros de personal que realiza esta actividad normalmente presentan un significativo deterioro en dedos y uñas de las manos, además al encontrarse sometidos al contacto con la suciedad, corren el riesgo de contraer infecciones; paralelamente los granos extraídos adquieren un nivel de insalubridad generado por la presencia de bacterias microscópicas.

## **1.3 OBJETIVOS**

### **1.3.1 Objetivo General**

Construir una máquina semiautomática desgranadora y dosificadora de arveja para los micro mercados de alimentos.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Diseñar el sistema mecánico y eléctrico de desgranado de arveja
- Construir el sistema mecánico y eléctrico de desgranado de arveja
- Implementar un sistema semiautomático de dosificación de arveja
- Validar el prototipo

## **1.4 ALCANCE**

La máquina semiautomática desgranadora y dosificadora será diseñada para desgranar arveja tierna, con una capacidad de producción mínima de 40 lb/h.

La máquina está orientada a ser utilizada en el sector artesanal de comercio de productos de primera necesidad, donde se encuentran incluidos: supermercados, micro mercados y mercados municipales.

Comprende el diseño mecánico del dispositivo, que incluye un sistema de desgranado, un mecanismo de transmisión de potencia. Adicionalmente, se implementará

un sistema semiautomático de dosificación de arvejas tiernas que permitirá el funcionamiento de la máquina en base a la demanda inmediata del producto.

## **1.5 JUSTIFICACIÓN**

El propósito principal del proyecto es aportar una transferencia tecnológica al sector artesanal de comercio de productos de primera necesidad de acuerdo con el Eje 2: Economía al servicio de la sociedad, contemplado en los Objetivos Nacionales de Desarrollo [5], lo cuales comprenden:

- 5.- Impulsar la productividad y competitividad para el crecimiento económico sustentable, de manera redistributiva y solidaria
- 6.- Desarrollar las capacidades productivas y del entorno, para lograr la soberanía alimentaria y el desarrollo rural integral.

Existen gran cantidad diseños patentados de máquinas desgranadoras en su mayoría enfocadas hacia granos secos y con escalas de producción industrial, el proceso para desgranar de guisantes tiernos requiere mayor cuidado del grano para evitar destrozarlo.

La máquina semiautomática desgranadora y dosificadora de guisantes permite alcanzar la tecnificación del proceso de desgranado de arveja tierna, al mismo tiempo el grano extraído reflejará mejoras en su calidad como consecuencia de la eliminación del contacto con las manos, de manera que, no presentará impurezas ni suciedad, contrario a la tradicional técnica empleada hasta ahora. La efectividad de producción está garantizada, además disminuirán las pérdidas por perecimiento de los guisantes, lo cual significa un crecimiento en los ingresos de las microempresas.



## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Proceso de desgrane manual de arveja tierna**

La arveja o guisante se encuentra dentro del grupo de alimentos de consumo diario con alta demanda en el país, principalmente en estado tierno y es comercializada por sus productores como verdura [6]; es decir, en vaina verde, esto debido a que los granos tardan mayor tiempo en perecer cuando aún permanecen en sus cortezas, y principalmente porque desgranar manualmente las vainas requiere una adicional inversión de recursos humanos y tiempo de trabajo que no es rentable puesto que los precios se elevarían en el mercado.

La técnica para conseguir extraer los granos de las vainitas es sencilla, cualquier persona es capaz de realizar esta labor, consiste en abrir la corteza con ayuda de las uñas o yemas de los dedos, esta tarea es repetitiva e insalubre. En épocas de lluvia las vainitas presentan alto grado de humedad y el desgrane manual se vuelve un poco más complicado y demoroso.

#### **2.2 Características morfológicas y fisiológicas de la arveja tierna**

La arveja o llamada por su nombre botánico *Pisum sativum* es una planta herbácea de la familia de las leguminosas proveniente de Europa y ampliamente cultivada en la región sierra ecuatoriana, más específicamente en las provincias de: Carchi, Imbabura, Pichincha, Cotopaxi, Tungurahua, Bolívar, Chimborazo, Azuay y Loja [7].

Según [8], son legumbres oblongas y polispermos, altura entre 5 y 10 cm, suelen tener de 4 a 10 semillas, de forma y color variable. Las vainas pueden ser dehiscentes, comprimidas y terminada en una pequeña curva contiene numerosas semillas esféricas

#### **2.3 Máquinas desgranadoras de guisantes existentes**

El desarrollo de las máquinas desgranadoras de guisantes en el Ecuador se ha acentuado principalmente en el sector agrícola para la producción a escalas industriales de granos secos, mismos que poseen características morfológicas y fisiológicas significativamente diferentes a los granos tiernos, razón por la cual los sistemas de

desgrane en las maquinas difieren según el estado de los guisantes a descascarillar, sean estos maduros o tiernos.

Los guisantes maduros o secos son descascarillados con mayor rudeza debido a que sus granos poseen alto grado de rigidez, en consecuencia, su integridad física no resulta afectada, pero se requiere motores de elevada potencia para ejecutar el proceso correctamente.

La Ilustración 3 corresponde a una máquina desgranadora de frejol seco que utiliza un motor mono cilíndrico de 10 hp para una capacidad de carga de entre 15 a 20 qq/h [9].



*Ilustración 3: Máquina desgranadora de fréjol seco*

Fuente: [9]

Por otra parte, los guisantes tiernos no soportarían el descascarillado proporcionado por una máquina de similares características como la mostrada en la Ilustración 3, los granos quedarían arruinados al atravesar los rodillos del sistema de desgrane. Por sus propias características, las vainitas en estado tierno requieren un método diferente para conseguir extraer sus granos sin destruirlos; en la Ilustración 4 se puede apreciar una desgranadora de guisantes tiernos con un motor de  $\frac{1}{2}$  hp de potencia para una capacidad de carga mínima de 30 kg/h [10].



*Ilustración 4: Máquina desgranadora de guisantes tiernos*

Fuente: [10]

En contraste, las desgranadoras de guisantes secos requieren motores con mayor potencia en relación con las máquinas para granos tiernos debido a los sistemas de descascarillado que requieren los guisantes de acuerdo con el estado en que se encuentren y la capacidad de producción necesaria.

## 2.4 Sistemas de desgranado de guisantes

El sistema de desgranado es el conjunto más importante de las máquinas desgranadoras porque hace posible la función principal de estas. Los métodos varían de acuerdo con el estado del guisante, maduro o tierno, a continuación, se describen las técnicas más comunes.

### 2.4.1 Tambor con púas radiales

Las máquinas desgranadoras de guisantes secos en su mayoría emplean el sistema de desgranado que consiste en un compartimiento y un tambor con púas radiales en su interior, el cual, al girar destroza las vainitas y el grano se desprende de estas sin sufrir daño. Este método requiere gran fuerza para conseguir extraer los granos del interior de sus guías, en efecto, los motores destinados a desempeñar esta tarea comúnmente son de elevada potencia. [4]

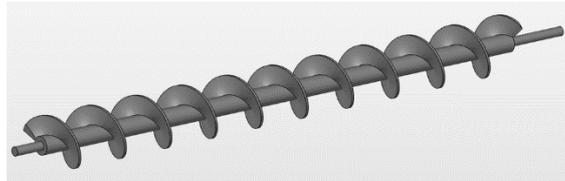


*Ilustración 5: Rodillo con púas radiales*

Fuente: [4]

### 2.4.2 Tornillo sin fin

Este método también es adecuado para guisantes maduros, el tornillo sin fin arrastra y corta las vainitas, y durante este proceso se retiran los granos de sus cavidades, pero estos son más propensos a ser destruidos también por el tornillo. Este sistema se observa principalmente en tractores, para producciones a escalas enormes. [4]



*Ilustración 6: Tornillo sin fin*

Fuente: [11]

### 2.4.3. Rodillos moleteados

Los sistemas de molienda por rodillos moleteados se pueden adaptar para desgranar guisantes tiernos, pero una parte de los granos pueden ser destruidos. El proceso requiere que las vainitas se acerquen de forma perpendicular al molino, este empieza a absorber los guisantes por un extremo ejerciendo gran presión en él, de manera que el extremo opuesto del guisante se abre permitiendo a los granos salir de sus guías quedando vacío el guisante, el cual es expulsado, atravesando el interior de los rodillos.



*Ilustración 7: Rodillos moleteados*

Fuente: [12]

#### 2.4.4 Rodillos lisos

Los rodillos lisos de acero son ampliamente utilizados en la industria alimenticia, el proceso de desgrane es el mismo aplicado en los rodillos moleteados, pero este tipo de rodillos incurren en el proceso de desgrane, las vainitas y sus granos son destruidos o simplemente los rodillos no poseen el agarre suficiente para arrastrar las vainitas.



*Ilustración 8: Rodillos lisos*

Fuente: [13]

#### 2.4.5 Rodillos de Nylon 6

El nylon 6 es un polímero que puede mecanizarse fácilmente como si fuera un acero, sus propiedades mecánicas son adecuadas para el desgrane de guisantes tiernos, debido a su elasticidad, el grano de arveja no corre el peligro de ser destruido durante el proceso [14].



*Ilustración 9: Nylon 6*

Fuente: [14]

Además, se elimina la superficie lisa de estos rodillos moleteando un labrado para aumentar su fuerza de agarre y evitar que estos se deslicen cuando las vainitas de arveja liberan fluidos vegetales.

## 2.5 Control de dosificación

El control de dosificación monitorea la producción en escalas medibles, en este caso la variable a vigilar es el peso, es decir, la cantidad de granos extraídos. Este sistema se compone de los siguientes elementos:

- Celda de carga
- Modulo HX711
- Plc Delta DVP 12SS2

### 2.5.1 Celda de carga

Es un transductor que convierte la fuerza aplicada sobre ella en una señal eléctrica medible. A pesar de existir varios tipos de sensores, las células de carga son el sensor de fuerza más común del mercado.

Los diseños de células de carga se pueden distinguir de acuerdo con el tipo de señal de salida generada (neumático, hidráulico, eléctrico) o de acuerdo con la forma en que detectan el peso (flexión, cizalladura, compresión, tensión, etc) [15].



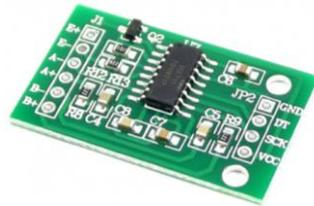
*Ilustración 10: Celda de carga de 20 Kg*

Fuente: [16]

### 2.5.2 Módulo HX711

El módulo HX711 es un transmisor entre las celdas de carga y un microcontrolador como Arduino, permitiendo leer el peso en la celda de manera sencilla. Es compatible con las celdas de carga de 5kg, 20kg y 50kg. Utilizado en sistemas de medición automatizada, procesos industriales, industria médica.

El chip HX711 posee internamente la electrónica para la lectura del puente de Wheatstone formado por la celda de carga y también un conversor ADC de 24 bits. Se comunica con el microcontrolador por medio de un protocolo de tipo serial mediante 2 pines (Clock y Data) [17].



*Ilustración 11: Módulo HX711*

Fuente: [17]

### 2.5.3 PLC DELTA DVP 12SS2

El PLC delgado de la segunda generación de la serie DVP-SS2 mantiene las funciones básicas de control secuencial del PLC de la serie DVP-22 pero con una velocidad de ejecución más rápida y una capacidad mejorada de monitoreo en tiempo real [18].



*Ilustración 12: DVP 12SS2*

Fuente: [18]

## 2.6 Estructura de soporte

La estructura de soporte debe sostener, como su nombre lo indica, a los elementos que componen la máquina desgranadora, también puede ser llamada coloquialmente como *mesa*, precisamente porque la forma de la estructura se asemeja a una mesa.

Normalmente las estructuras o mesas se construyen con tubos cuadrados o ángulos de acero.

La Ilustración 13 muestra una estructura de soporte semejante a una mesa con cuatro pilares, se diseñó con ayuda de Solidworks, y fue fabricada con ángulos de 1 ½ in de acero ASTM A36.

La estructura debe soportar los siguientes elementos: motor, sistema de desgrane, sistema reductor de velocidad y la canaleta.



*Ilustración 13: Estructura de soporte*

## **CAPITULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1 Diseño conceptual**

Esta fase de gran importancia es el punto de partida del proyecto porque en ella se especifican las características y funciones de la desgranadora semiautomática de guisantes. Se describen los atributos que se esperan de la máquina en función a los requerimientos del proceso que debe ejecutar para conseguir extraer los granos de las vainitas sin destruirlos.

#### **3.2 Despliegue de la Función de Calidad (QFD)**

El Despliegue de la Función de Calidad (QFD) es uno de los métodos que frecuentemente se emplea en el diseño conceptual para captar las demandas reales del mercado y plasmarlas como objetivos de diseño, mismos que deben permanecer presentes en todas las fases posteriores para obtener un producto (o en este caso, una máquina) que responda realmente a las expectativas del cliente [19].

##### **3.2.1 Desarrollo del QFD**

Retomando el argumento del párrafo anterior, es correcto asumir que la primera tarea del QFD es detectar las demandas del cliente y enlistarlas como procede a continuación.

###### **3.2.1.1 Demandas del cliente**

Este proyecto no cuenta con un auspiciante privado, pero como se detalla en el capítulo uno, la máquina está orientada a las pymes del sector artesanal en el ámbito del comercio de alimentos de consumo diario; en virtud de aquello, el objetivo es cubrir desde una perspectiva general las demandas de estas empresas.

- Facilidad para el suministro energético
- Capacidad de producción mayor en relación con la producción artesanal
- Fácil de utilizar
- Dimensiones no muy extensas

- Fácil de instalar
- Fácil de transportar
- Fácil mantenimiento

### 3.2.1.2 Lista de parámetros técnicos

Los parámetros técnicos son unidades físicas medibles elaboradas por el ingeniero, a partir de las demandas del cliente.

- Electricidad como fuente de energía: 110v-220v.
- Capacidad de producción medible en libras por hora.
- Ergonomía
- Medidas de la máquina
- Velocidad de los rodillos (50-80 rpm).
- Partes móviles.
- Tiempo de trabajo antes de darle mantenimiento

### 3.2.1.3 Matriz QFD resultante

La casa de la calidad fue elaborada mediante software para facilitar los cálculos necesarios de esta herramienta, se puede observar en el Anexo A.

### 3.2.1.4 Resultados de la casa de la calidad

Los requerimientos funcionales para considerar son los siguientes:

- ✓ Suministro energético: el motor de la desgranadora semiautomática debe ser eléctrico, con voltajes entre 110v y 220v.
- ✓ Capacidad de producción: la desgranadora semiautomática deberá producir 40 lb/h para cubrir la demanda diaria del guisante.
- ✓ Estructura que soporte las cargas: la máquina no será de grandes dimensiones debido a que deberá ser instalada en las instalaciones de la empresa y no ocupar demasiado espacio.
- ✓ Ergonomía: la funcionalidad de la máquina no debe presentar complejidad para el operador.
- ✓ Velocidad de los rodillos: la velocidad adecuada para evitar destruir el grano de arveja debe oscilar entre 50 y 80 rpm.

### 3.3 Estructuración sistemática de funciones

En ingeniería mecatrónica, es común desglosar sistemáticamente las funciones de un producto en proceso de diseño para entender de mejor manera el objetivo de este.

La función principal de la máquina es extraer el grano de la vainita de arveja tierna sin destruirlo, en la Ilustración 4 se evidencian las entradas y salidas desde una perspectiva global de la desgranadora.

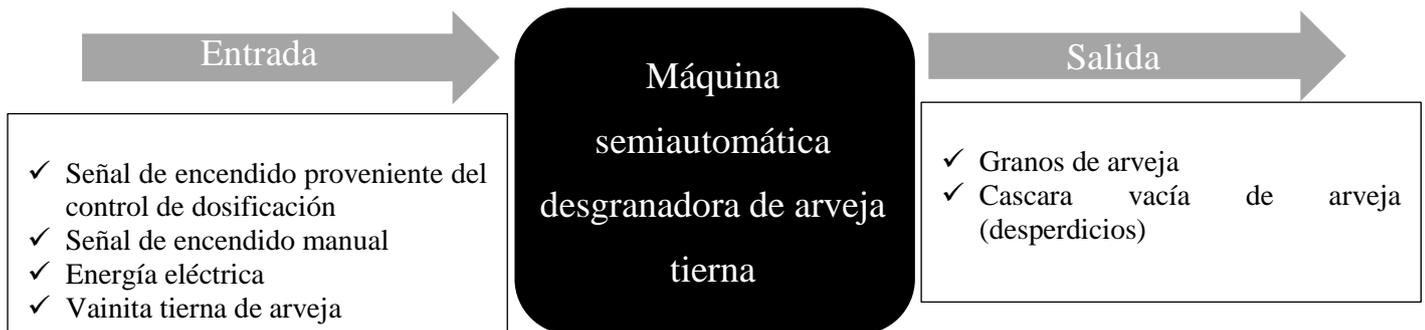


Ilustración 14: Caja negra de la desgranadora de arveja

El proceso completo, de inicio a fin, que ejecuta la desgranadora de arveja se observa en la Ilustración 15, desglosado en subfunciones encerradas en un módulo. Este sistema de organización permite analizar cada etapa independientemente, de esta manera, se generan varias alternativas de operación para cada subfunción, en efecto, se conseguirán varias soluciones o prototipos de la máquina desgranadora.

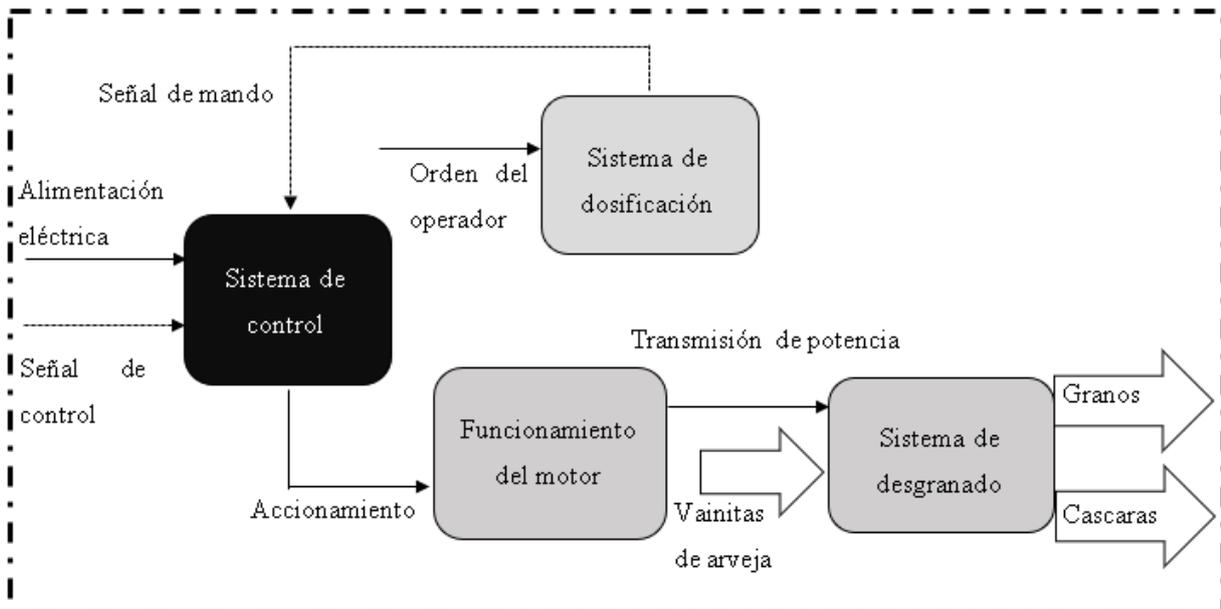


Ilustración 15: Estructura funcional de la desgranadora de arveja

### 3.3.1 Alternativas para cada subfunción

La máquina semiautomática comprende cuatro subfunciones para ejecutar el proceso de desgranado, a continuación, se proponen alternativas de solución para cada uno:

#### 3.3.1.1 Sistema de control

El sistema de control es analógicamente el cerebro de la máquina desgranadora, este controla el modo de funcionamiento (manual o automático), en modo automático se encarga de recibir la señal del sistema de dosificación, esta es, la cantidad en libras de arveja que deberán ser desgranadas. Tras recibir la orden, deberá enviar una señal para encender el motor, y completada la cantidad arveja requerida inicialmente deberá apagar el motor y reestablecer el sistema de dosificación para nuevas órdenes.

En modo manual, el operador puede encender y apagar directamente el motor, sin pasar por el sistema de dosificación.

La opción más común para controlar motores eléctricos es el controlador lógico programable (plc), y existen amplias gamas de selección de este, como se muestra en la Tabla 1.

*Tabla 1: Características de plc*

<b>Modelo</b>	<b>Entradas y salidas</b>	<b>Alimentación</b>
Delta DVP 12SS2	8 entradas digitales 4 salidas digitales	24 VDC
Simatic s7-200	24 entradas digitales 16 salidas digitales	120 VAC

#### 3.3.1.2 Sistema de dosificación

La función de este sistema consiste principalmente en asegurar que se cubra la demanda inmediata solicitada por el cliente con un rango mínimo de error. Comprende una celda de carga para obtener una medida del peso, de la misma manera como la haría una balanza electrónica, con un módulo adecuado para transmitir las lecturas desde el sensor hasta el sistema de control.

En la Tabla 2 se detallan las características de las celdas de carga disponibles en el mercado con su respectivo sensor.

*Tabla 2: Sensor de peso y celda de carga*

<b>Nombre</b>	<b>Capacidad</b>	<b>Alimentación</b>
Celda de carga con sensor hx711	20 kg	5 V
Celda de carga con sensor hx711	50 kg	5V

### 3.3.1.3 Funcionamiento del motor

El módulo lógico programable es el encargado de encender y apagar el motor eléctrico de acuerdo con el proceso de desgranado. La Tabla 3 detalla las características de los motores eléctricos disponibles en el medio local.

*Tabla 3: Motores eléctricos disponibles en el medio*

<b>Motor</b>	<b>Potencia</b>	<b>Revoluciones</b>	<b>Alimentación</b>
Motor monofásico abierto Weg	$\frac{3}{4}$ Hp	1800 rpm	110/220 VAC
Motor monofásico Abierto Weg	$\frac{1}{2}$ Hp	1800 rpm	110/220 VAC
Motor Trifásico Siemens	1 Hp	3600 rpm	110/220 VAC

### 3.3.1.4 Sistema de desgranado

Las opciones para el sistema de desgranado apreciadas detalladamente en el capítulo 2 son las siguientes:

- Tambor con púas radiales
- Tornillo sin fin
- Rodillos moleteados
- Rodillos lisos
- Rodillos de nylon 6

Los tipos de canaletas por donde transitarán los guisantes hasta llegar a los rodillos pueden ser las siguientes:

- Canaleta ranurada
- Canaleta rectangular

### **3.4 Alternativas de solución**

Las alternativas de solución guardan estrecha relación con los resultados de la casa de la calidad, estas se generan después de emplear la técnica de la matriz morfológica como se observa en la Tabla 4.

#### 3.4.1 Solución Amarilla

El diseño contiene el plc DVP 12SS2 que toma las lecturas de la celda de carga para 20 kg a través del módulo hx711, y controla el funcionamiento del motor de  $\frac{1}{2}$  Hp, este complementa al sistema de desgranado conformado por dos rodillos de nylon y una canaleta ranurada por donde recorrerán los guisantes.

#### 3.4.2 Solución roja

Este diseño se compone de un plc s7-200 que toma las lecturas de la celda de carga para 50 kg a través del módulo hx711, y controla el funcionamiento del motor de  $\frac{3}{4}$  Hp, este complementa al sistema de desgranado conformado por dos rodillos lisos de acero y una canaleta rectangular por donde recorrerán los guisantes.

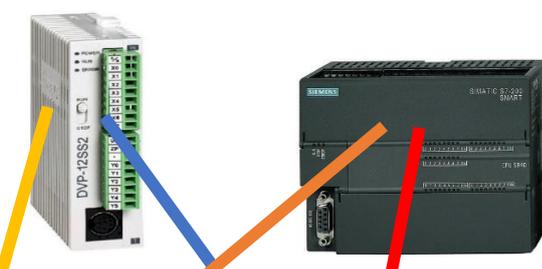
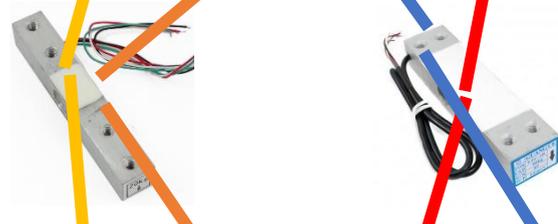
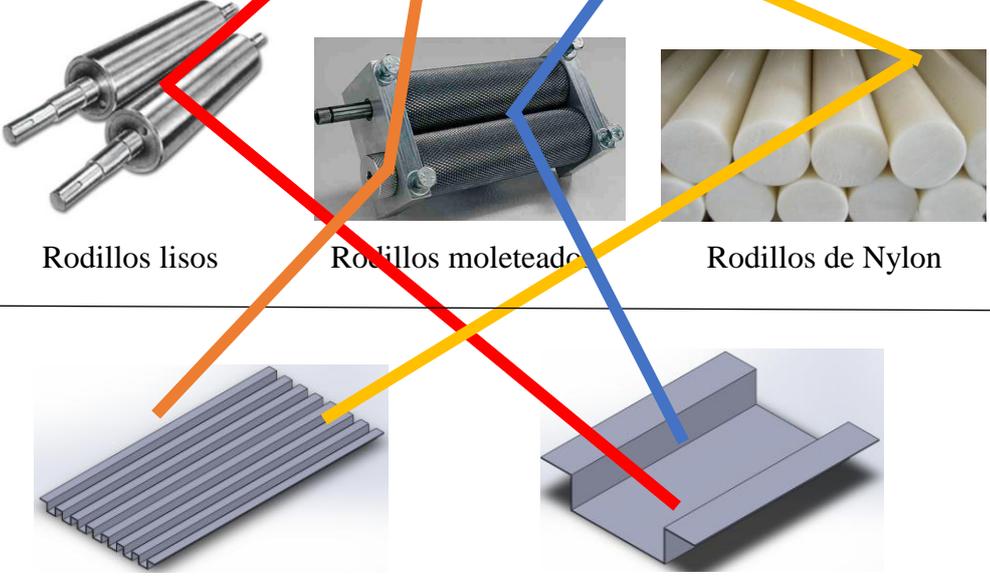
#### 3.4.3 Solución azul

El diseño contiene el plc DVP 12SS2 que toma las lecturas de la celda de carga para 50 kg a través del módulo hx711, y controla el funcionamiento del motor de 1 Hp, este complementa al sistema de desgranado conformado por dos rodillos moleteados y una canaleta rectangular por donde recorrerán los guisantes.

#### 3.4.4 Solución naranja

Este diseño se compone de un plc s7-200 que toma las lecturas de la celda de carga para 20 kg a través del módulo hx711, y controla el funcionamiento del motor de  $\frac{3}{4}$  Hp, este complementa al sistema de desgranado conformado por dos rodillos moleteados y una canaleta ranurada por donde recorrerán los guisantes.

Tabla 4: Matriz morfológica

<p>Sistema de control</p>	 <p>DVP 12SS2                      S7-200</p>
<p>Sistema de dosificación</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Celdas de carga</li> <li>• Modulo HX711</li> </ul>	 <p>20 kg                                      50 kg</p>
<p>Funcionamiento del motor</p>	 <p>1/2 Hp                                      3/4 Hp                                      1 Hp</p>
<p>Sistema de desgranado</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Canaletas</li> </ul>	 <p>Rodillos lisos                      Rodillos moleteados                      Rodillos de Nylon</p> <p>Canaleta ranurada                      Canaleta rectangular</p>

### 3.5 Selección de solución

Se va a emplear el “Método ordinal de criterios ponderados” recomendado por [20] para decidir entre diversas soluciones, el cual permite obtener resultados globales suficientemente significativos sin la necesidad de evaluar los parámetros de cada propiedad y sin tener que estimar numéricamente el peso de cada criterio. Ver Tabla 5

Velocidad de los rodillos > Ergonomía > Estructura = Producción > Suministro Energético

Tabla 5: Evaluación del peso específico de cada criterio

Criterios	Suministro energético	Capacidad de producción	Estructura de soporte	Ergonomía	Velocidad de los rodillos	$\Sigma+1$	Ponderación
Suministro energético		0,5	0,5	0,5	0	2,5	0,1471
Capacidad de producción	1		0,5	0,5	0	3	0,1765
Estructura de soporte	1	0,5		0,5	0	3	0,1765
Ergonomía	1	1	0,5		0	3,5	0,2059
Velocidad de los rodillos	1	1	1	1		5	0,2941
					Suma	17	1

S. Amarilla > S. Roja > S. Azul < S. Naranja

*Tabla 6: Evaluación del peso específico del criterio suministro energético*

Suministro energético	Solución amarilla	Solución roja	Solución azul	Solución naranja	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución amarilla		1	1	0,5	3,5	0,35
Solución roja	0		1	0,5	2,5	0,25
Solución azul	0	0		0	1	0,1
Solución naranja	0,5	0,5	1		3	0,3
				Suma	10	1

S. Amarilla < S. Roja = S. Azul > S. Naranja

*Tabla 7: Evaluación del peso específico del criterio capacidad de producción*

Capacidad de producción	Solución amarilla	Solución roja	Solución azul	Solución naranja	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución amarilla		0	0	0,5	1,5	0,15
Solución roja	1		0,5	1	3,5	0,35
Solución azul	1	0,5		1	3,5	0,35
Solución naranja	0,5	0	0		1,5	0,15
				Suma	10	1

S. Amarilla > S. Roja = S. Azul < S. Naranja

Tabla 8: Evaluación del peso específico del criterio estructura de soporte

Estructura de soporte	Solución amarilla	Solución roja	Solución azul	Solución naranja	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución amarilla		1	1	0,5	3,5	0,35
Solución roja	0		0,5	0	1,5	0,15
Solución azul	0	0,5		0	1,5	0,15
Solución naranja	0,5	1	1		3,5	0,35
				Suma	10	1

S. Amarilla > S. Roja < S. Azul > S. Naranja

Tabla 9: Evaluación del peso específico del criterio ergonomía

Ergonomía	Solución amarilla	Solución roja	Solución azul	Solución naranja	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución amarilla		1	0,5	1	3,5	0,35
Solución roja	0		0	0,5	1,5	0,15
Solución azul	0,5	1		1	3,5	0,35
Solución naranja	0	0,5	0		1,5	0,15
				Suma	10	1

S. Amarilla > S. Roja = S. Azul = S. Naranja
--

Tabla 10: Evaluación del peso específico del criterio velocidad de los rodillos

Velocidad de los rodillos	Solución amarilla	Solución roja	Solución azul	Solución naranja	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución amarilla		1	1	1	4	0,4
Solución roja	0		0,5	0,5	2	0,2
Solución azul	0	0,5		0,5	2	0,2
Solución naranja	0	0,5	0,5		2	0,2
				Suma	10	1

Tabla 11: Tabla de conclusiones

Conclusiones	Suministro Energético	Capacidad de producción	Estructura de soporte	Ergonomía	Velocidad de los rodillos	$\Sigma$	Prioridad
Solución amarilla	0,35*0,15	0,15*0,18	0,35*0,18	0,35*0,21	0,4*0,28	0,328	1
Solución roja	0,25*0,15	0,35*0,18	0,15*0,18	0,15*0,21	0,2*0,28	0,215	4
Solución azul	0,1*0,15	0,35*0,18	0,15*0,18	0,35*0,21	0,2*0,28	0,235	2
Solución naranja	0,3*0,15	0,15*0,18	0,35*0,18	0,15*0,21	0,2*0,28	0,223	3

La solución amarilla es la que posee la mejor prioridad, la solución azul es la segunda mejor puntuada pero aun así existe una diferencia significativa en relación con la amarilla.

### 3.6 Potencia de corte para los guisantes

Se iniciará partiendo de la velocidad de corte para guisantes secos, el rango debe oscilar entre 50 y 80 rpm; debido a que la máquina desgranadora requiere mayor torque que velocidad. Según [9] el rango de velocidad requerido para desgranar frejol seco debe ser entre 800 y 1200 rpm, pero los guisantes maduros poseen mayor rigidez en comparación con los guisantes tiernos, esta velocidad terminaría moliendo los guisantes en lugar de descascararlos, por esta razón se toma la velocidad mencionada inicialmente. La fuerza de corte necesaria para abrir las vainitas del guisante se obtiene de la fuerza que puede ejercer una de las manos de una persona [21] en un rango de edad entre 18 y 30 años es aproximadamente 154,32 lb\*ft.

El rodillo conductor posee una dimensión menor al rodillo conducido, su radio es de 2,5cm.

$$Pot = \frac{T \times rpm}{5252} \quad (1)$$

Donde,

$T$ = torque necesario para abrir las vainitas de los guisantes

$rpm$ = 60 rpm

#### 3.6.1 Cálculo del torque

$$T = r \times F \times n \quad (2)$$

Donde,

$F$ =fuerza de corte requerida para abrir los guisantes: 154,32 lb\*ft

$r$ = radio del rodillo conductor: 2,5 cm=0,025 m

$n$ = número de rodillos: 2

$1 \text{ lb} \cdot \text{ft} = 0,1383 \text{ kg} \cdot \text{f}$

$F$ =209,2 N en el Sistema Internacional

Reemplazando los valores de radio, fuerza de corte y numero de rodillos en la ecuación (2) se calcula el torque necesario para desgranar las vainitas de arveja:

$$T = 10,46 \text{ N} \cdot \text{m}$$

A continuación, se convierten las unidades de torque al sistema inglés para poder utilizar la fórmula de la ecuación (1):

$$1 \text{ N} \cdot \text{m} = 0,7376 \text{ lb} \cdot \text{ft} \qquad T = 7,715 \text{ lb} \cdot \text{ft}$$

El torque calculado y las revoluciones requeridas se reemplazan en la ecuación (1) y se obtiene la potencia de corte para las vainitas de arveja:

$$Pot = 0,08814 \text{ Hp}$$

El factor de servicio para los motores de  $\frac{1}{2}$  Hp y 1720 rpm según [22] es 1.25.

$$Pot_{diseño} = 0,1102 \text{ Hp}$$

La potencia del motor eléctrico seleccionado es 0,5 Hp debido a la oferta del mercado local, en efecto, es superior a la potencia de diseño, es decir, satisface la potencia requerida para el proceso de desgrane de la máquina.

### **.3.7 Transmisión de potencia por polea**

El motor seleccionado para la máquina posee una velocidad angular de 1720 rpm, supera en gran medida la velocidad requerida para desgranar las vainitas de arveja, por este motivo, es necesario añadir un sistema reductor de velocidad.

A continuación, se va a determinar el número de poleas necesario para conseguir la velocidad requerida y el diámetro que deben poseer cada una de ellas.

#### **3.7.1 Reducción Motor-Eje secundario**

Debido a la enorme reducción de velocidad requerida para la desgranadora, es necesario utilizar un eje secundario o intermedio para conseguir un rango de velocidad de entre 100 a 200 rpm. Se parte conociendo la velocidad angular del motor, el diámetro de la polea conductora y la velocidad deseada en el eje secundario o intermedio.

$$N_1 \times D_1 = N_2 \times D_2 \qquad (3)$$

Donde:

- $N_1$ =Velocidad del motor, 1720 rpm
- $D_1$ = Diámetro de la polea (conductora) del eje del motor, 2in
- $N_2$ = Velocidad reducida, 300-350 rpm
- $D_2$ = Diámetro de la polea conducida

Despejando  $D_2$  de la ecuación (3) y reemplazando valores:

$$D_2 = \frac{N_1 D_1}{N_2} \quad (4)$$

$$D_2 = 11,47 \text{ in}$$

En el mercado existen diámetros estandarizados para poleas, además, dentro de las especificaciones del cliente existe la restricción de tamaño de la máquina desgranadora, motivo por el cual, las poleas no deben poseer diámetros enormes, entonces la polea seleccionada para la reducción en el eje secundario es de 10 in.

Despejando  $N_2$  de la ecuación (3) y reemplazando el valor real de la polea  $D_2$ :

$$N_2 = \frac{N_1 D_1}{D_2} \quad (5)$$

$$N_2 = 344 \text{ rpm}$$

La velocidad obtenida se encuentra dentro del rango establecido.

### 3.7.2 Reducción Eje secundario-Rodillo de desgrane

Utilizando la relación de la ecuación (3), definimos la nueva ecuación para este caso de la siguiente manera:

$$N_2 \times D_2 = N_3 \times D_3 \quad (6)$$

Donde:

$$N_2 = 344 \text{ rpm}$$

$$D_2 = 3 \text{ in}$$

$$N_3 = \text{velocidad de rodillo entre 50-80 rpm}$$

$$D_3 = \text{Diámetro de la polea del rodillo}$$

Despejando  $D_3$  de la ecuación (6) y reemplazando los valores establecidos anteriormente podemos determinar el diámetro de la polea del rodillo:

$$D_3 = \frac{N_2 D_2}{N_3} \quad (7)$$

$$D_3 = 17,2 \text{ in}$$

La polea real seleccionada posee un diámetro de 18 in.

Despejando  $N_3$  de la ecuación (7) y reemplazando el nuevo diámetro de la polea del rodillo se tiene:

$$N_3 = \frac{N_2 D_2}{D_3} \quad (8)$$

$$N_3 = 57,33 \text{ rpm}$$

La velocidad  $N_3$  resultante se encuentra dentro el rango de velocidad establecido para desgranar guisantes tiernos.

### 3.7.3 Longitud de las bandas de transmisión

La longitud primitiva de la correa ( $L_p$ ) de una transmisión se calcula directamente a partir de la siguiente expresión [23]:

$$L_p = 2E + \frac{\pi}{2}(D + d) + \frac{(D-d)^2}{4E} \quad (9)$$

donde,

- E es la distancia entre ejes de poleas;
- d es el diámetro de la polea menor;
- D es el diámetro de la polea mayor;

#### 3.7.3.1 Distancia entre ejes Motor-Eje secundario

La distancia entre ejes de las poleas suele estar establecida en la transmisión que debe calcularse. No obstante, puede que en algunos casos este dato no esté decidido, quedando a mejor criterio calcular esta distancia [23].

Si la relación de transmisión R está comprendida entre 1 y 3, la distancia entre ejes (E) es:

$$E \geq \frac{(R+1)*d}{2} + d \quad (10)$$

Donde:

- E es la distancia entre poleas;
- R es la relación de transmisión;
- d es el diámetro de la polea menor;

#### A. Relación de transmisión

$$R = \frac{D_2}{D_1} \quad (11)$$

$$R = 5$$

La relación de transmisión es mayor que 3, en este caso la distancia entre poleas E debe ser mayor o igual que el diámetro de la polea mayor D [24].

Reemplazando R en la ecuación (10):

$$E = 8 \text{ in}$$

E no satisface la inecuación  $E \geq D$ , por este motivo se asume que E es 10 in.

Reemplazando E en la ecuación (9):

$$Lp = 40,45 \text{ in} = 102,7 \text{ cm}$$

La medida de la banda real utilizada es A42.

#### 3.7.3.2 Distancia entre ejes Eje secundario-Rodillo de desgrane

Utilizando el mismo criterio del sistema reductor anterior se procede a obtener la relación de transmisión para este caso.

#### A. Relación de transmisión

Reemplazando valores en la ecuación (11) se obtiene:

$$R = 6$$

Reemplazando R en la ecuación (10):

$$E = 13,5 \text{ in} = 34,29 \text{ cm}$$

Reemplazando E en la ecuación (9):

$$Lp = 64,15 \text{ in} = 162,9,0 \text{ cm}$$

La medida de la banda real utilizada es A68.

El valor aproximado de E para  $Lp=68$  es, 15,8.

### 3.8 Diseño mecánico del rodillo de desgrane

El rodillo de desgrane será sometido a una carga P1 de 200N para determinar si este fallará o no, en la Ilustración 16 se observa el diagrama de fuerzas internas generado con el software MDSolids 3.5, los puntos A y B representan las chumaceras donde se

asentará el rodillo, las cuales generan dos reacciones debido a P1.

$$R_{AY}=100N \quad R_{BY}=100N$$

El momento flector máximo se encuentra en el punto de aplicación de la carga P1, este es:  $M_{MAX}=15N.m$

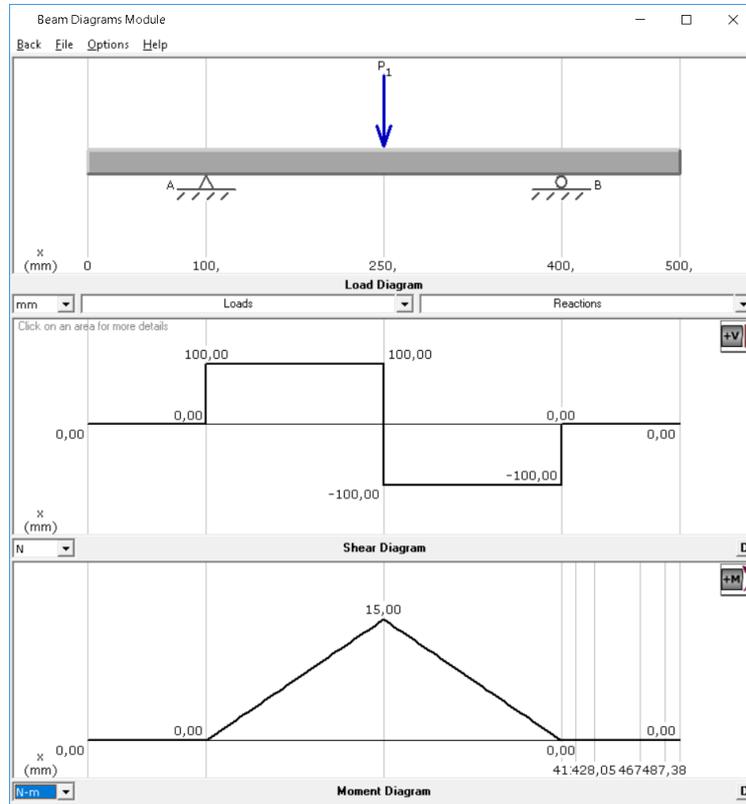


Ilustración 16: Diagrama de fuerzas internas del rodillo de desgrane

### 3.8.1 Concentradores de esfuerzo del rodillo de desgrane

En la Ilustración 17 se puede observar un cambio de geometría en el rodillo, se trata del lugar donde se asentarán las chumaceras, esta diferencia genera un concentrador de esfuerzo por cada chumacera. Las dimensiones son simétricas, es por este motivo que solo se calculará un factor de concentrador de esfuerzos.

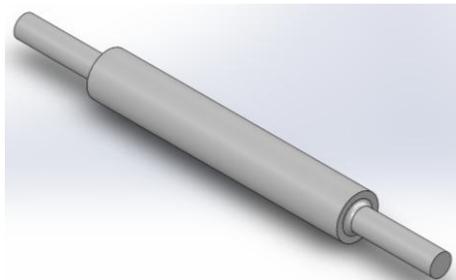


Ilustración 17: Diseño CAD del rodillo

$$K_t = A \left( \frac{r}{d} \right)^b \quad (12)$$

Donde

r: 5mm

d: 25,4mm

D: 50mm

$$\frac{D}{d} = 1,969$$

En la Ilustración 18 se observan los parámetros para calcular concentradores de esfuerzos, de ella se realiza una interpolación para obtener los valores de A y b.

A=0,9106

b=-0,2842

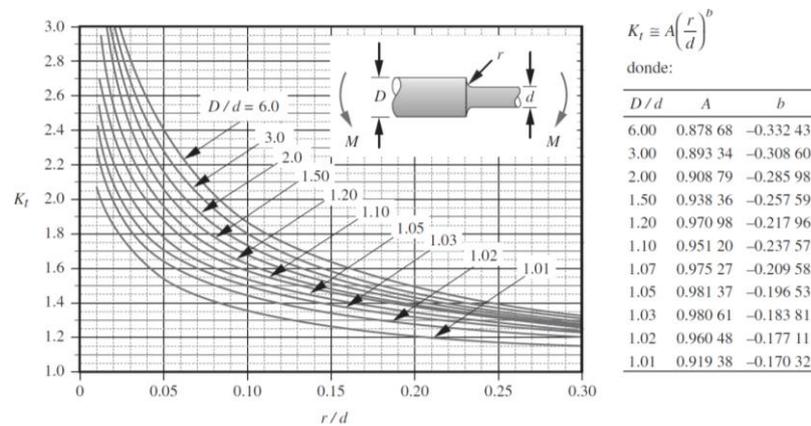


Ilustración 18: Factor geométrico de concentración de esfuerzos  $K_t$  para un eje con filete de hombro en flexión

Fuente: [25]

Reemplazando los valores obtenidos en la ecuación (12) se calcula:

$$K_t = 1,445$$

### 3.8.2 Esfuerzos nominales

Módulo de sección para secciones circulares macizas:

$$S = \frac{\pi}{32} D^3 \quad (13)$$

Donde:

D: diámetro menor del rodillo 25,4mm

$$S=1609\text{mm}^3$$

Área de la sección transversal del rodillo:

$$A = \pi r^2 \quad (14)$$

$$A = 506,7 \text{ mm}^2$$

Con el módulo de sección y el área calculados, se procede a calcular los esfuerzos nominales:

$$\sigma = K_t \frac{M}{S} \quad (15)$$

$$\sigma = 13,47 \text{ MPa}$$

$$\tau = K_t \frac{V}{A} \quad (16)$$

$$\tau = 0,2852 \text{ MPa}$$

### 3.8.3 Esfuerzos principales

Se hace uso de las fórmulas proporcionadas por el Circulo de Mohr considerando un estado plano de esfuerzos para calcular los esfuerzos principales.

$$C = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \quad (17)$$

$$R = \sqrt{a^2 + \tau^2} \quad (18)$$

$$a = \sigma_x - C \quad (19)$$

$$\sigma_1 = C + R \quad (20)$$

$$\tau_{MAX} = R \quad (21)$$

Reemplazando el valor del esfuerzo nominal en la ecuación (17) y en la ecuación (19):

$$C = 6,735 \text{ MPa}$$

$$a = 6,735 \text{ MPa}$$

Reemplazando estos valores en la ecuación (18):

$$R = 6,741 \text{ MPa}$$

$$\sigma_1 = 13,47 \text{ MPa}$$

$$\tau_{MAX} = 6,741 \text{ MPa}$$

### 3.8.4 Análisis del rodillo por fatiga

El rodillo de desgrane estará sometido a la carga del tipo flexión rotativa, este caso particular posee las siguientes características:

$$\sigma_{MIN} = -\sigma_{MAX}$$

$$\sigma_m = 0$$

$$\sigma_a = \sigma_{MAX}$$

La resistencia a la fatiga de los elementos mecánicos es generalmente inferior a la de las probetas debido a que es afectada por factores como:

- Acabado superficial,  $k_a$

Tabla 12: Coeficientes del factor de superficie

Para $S_{ut}$ en MPa se usa		
Acabado superficial	A	B
Esmerilado	1.58	-0.085
Maquinado o rolado en frio	4.51	-0.265
Rolado en caliente	57.7	-0.718
Forjado	272	-0.995

Fuente: [25]

- Tamaño y forma de la pieza,  $k_b$

Tabla 13: Coeficientes del factor de tamaño

Para $d \leq 0.3$ in (8mm)	$C_{\text{tamaño}} = 1$
Para $0.3$ in $< d \leq 10$ in	$C_{\text{tamaño}} = 0.869d^{-0.097}$
Para $8$ mm $< d \leq 250$ mm	$C_{\text{tamaño}} = 1.189d^{-0.097}$

Fuente: [25]

- Tipo de carga,  $k_c$

Tabla 14: Coeficientes para el factor de carga

Flexión	$C_{carga} = 1$
Carga axial	$C_{carga} = 0.70$

Fuente: [25]

- Temperatura de operación,  $k_d$

Tabla 15: Coeficientes para el factor de temperatura

Para $T \leq 450^\circ\text{C}$ ( $840^\circ\text{F}$ ):	$C_{temp} = 1$
Para $450^\circ\text{C} < T \leq 550^\circ\text{C}$ :	$C_{temp} = 1 - 0.0058(T - 450)$
Para $840^\circ\text{F} < T \leq 1020^\circ\text{F}$ :	$C_{temp} = 1 - 0.0032(T - 840)$

Fuente: [25]

- Confiabilidad deseada,  $k_e$

Tabla 16: Coeficientes para el factor de confiabilidad

% de confiabilidad	$C_{conf}$
50	1.000
90	0.897
95	0.868
99	0.814
99.9	0.753
99.99	0.702
99.999	0.659
99.9999	0.620

Fuente: [25]

- Límite de resistencia a la fatiga,  $S_e'$

Tabla 17: Coeficientes para el límite de resistencia a la fatiga

<b>Aceros:</b>	$S_e' \approx 0.5 S_{ut}$	<b>Para <math>S_{ut} &lt; 200</math> kpsi (1400 MPa)</b>
	$S_e' \approx 100$ kpsi (700 MPa)	Para $S_{ut} \geq 200$ kpsi (1400 MPa)
<b>Hierros:</b>	$S_e' \approx 0.4 S_{ut}$	Para $S_{ut} < 60$ kpsi (400 MPa)
	$S_e' \approx 24$ kpsi (160 MPa)	Para $S_{ut} \geq 60$ kpsi (400 MPa)
<b>Aluminios</b>	$S_{f'@5E8} \approx 0.4 S_{ut}$	Para $S_{ut} < 48$ kpsi (330 MPa)
	$S_{f'@5E8} \approx 19$ kpsi (130 MPa)	Para $S_{ut} \geq 48$ kpsi (330 MPa)
<b>Aleaciones</b>	$S_{f'@5E8} \approx 0.4 S_{ut}$	Para $S_{ut} < 40$ kpsi (280 MPa)
<b>de cobre:</b>	$S_{f'@5E8} \approx 14$ kpsi (100 MPa)	Para $S_{ut} \geq 40$ kpsi (280 MPa)

Fuente: [25]

Según [26], la resistencia a la tracción última ( $S_{ut}$ ) del Nylon 6 es 82,7 MPa.

El coeficiente para Nylon 6 se puede obtener de cualquiera de las secciones de la Tabla 17 debido a que satisface todas las condiciones  $S_{ut}$ , excepto en el apartado de aceros.

Se realiza el cálculo de acuerdo con la Tabla 17 del límite de resistencia a la fatiga:

$$S_e' = 0,4(82,7 \text{ MPa})$$

$$S_e' = 33,08 \text{ MPa}$$

El factor de superficie se obtiene de acuerdo con la Tabla 12:

$$K_a = 4,51(82,7)^{-0,265}$$

$$K_a = 1,4$$

El factor de tamaño se calcula conforme a lo que se muestra en la Tabla 13:

$$K_b = 1,24(25,4)^{-0,107}$$

$$K_b = 0,8772$$

La carga aplicada es de tipo flexión, se toma el valor que se muestra en la Tabla 14:

$$K_c = 1 \text{ (flexión)}$$

La máquina trabajará a temperatura ambiente, se toma el valor de acuerdo con la Tabla 15:

$$K_d=1 \text{ (T. ambiente)}$$

Se desea una confiabilidad del 99%, la Tabla 16 muestra el valor para adecuado:

$$K_e=0,814 \text{ (99\%)}$$

Una vez calculados los factores se procede a reemplazarlos en la ecuación 22 para obtener el límite de resistencia del rodillo de desgrane:

$$Se = Se' \times K_a \times K_b \times K_c \times K_d \times K_e \quad (22)$$

$$Se = 33,07 \text{ MPa}$$

### 3.8.5 Factor de seguridad

Se calcula el factor de seguridad tipo 1 para cargas uniaxiales

$$Nf = \frac{Se}{\sigma_{MAX}} \quad (22)$$

$$Nf = 2,5$$

El factor de seguridad obtenido es superior a 1, esto significa que el rodillo de desgrane no fallará al aplicarle una carga de 200 N.

## 3.9 Análisis de la estructura de soporte

Para la estructura de soporte de la máquina desgranadora se usarán ángulos de 1 ½ in y 70 cm de longitud, de acero ASTM A36, además, para su análisis se tratarán los pilares como columnas.

En primer lugar, se calcula la carga total a la cual estará sometida la estructura, para esto, se suman las cargas que ejerce cada elemento que estará soportado en la estructura, los cuales son los siguientes:

Tabla 18: Elementos soportados en la estructura

<b>Motor</b>	<b>10 kg</b>
<b>Capacidad de carga</b>	20 kg
<b>Bandeja</b>	5 kg
<b>Rodillos</b>	4 kg
<b>chumaceras</b>	3 kg
<b>Poleas</b>	10 kg
<b>Eje secundario</b>	2 kg
<b>Adicional</b>	10 kg
<b>Total</b>	<b>64 kg</b>

La carga total es 64 kg, la estructura de soporte corresponde a una mesa de cuatro patas, esta carga total se divide para los cuatro pilares de la estructura y se analiza uno de ellos como si fuera una columna.

A continuación, se transforma esa carga total en unidad de fuerza multiplicándola por la gravedad de la tierra dando como resultado:

$$P = 627,2 \text{ N}$$

Se divide esta fuerza para los cuatro pilares de la estructura dando un resultado de 156,8N, esta fuerza se aplica como se observa en la Ilustración 19.

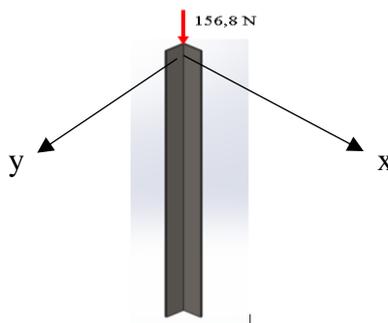


Ilustración 19: Análisis de la estructura de soporte

### 3.9.1 Propiedades mecánicas del material

Las características del material de la estructura de soporte se pueden observar en la Tabla 19.

Tabla 19: Propiedades mecánicas del material de la estructura

<b>Acero A36</b>	
Módulo de Elasticidad (E)	200 GPa
Esfuerzo de fluencia a la compresión (S <sub>yc</sub> )	152 MPa
Resistencia a la fluencia (S <sub>y</sub> )	250 MPa

Fuente: [27]

### 3.9.2 Segundo momento de área y radio de giro

Con la ayuda de [28] se calculó el área y el segundo momento de área de la sección transversal de la columna, los resultados son los siguientes:

$$Y_{o_y} = 36625 \text{ mm}^4 \qquad A = 240 \text{ mm}^2$$

La ecuación del radio de giro  $k$  se muestra a continuación:

$$k = \sqrt{\frac{I}{A}} \qquad (23)$$

Donde  $I$  es el segundo momento de área y  $A$  corresponde al área.

Reemplazando valores en la Ecuación 23 obtenemos:

$$k = 12,35$$

### 3.9.3 Razón de esbeltez

La razón de esbeltez se calcula con la ecuación 24 que se muestra a continuación,

$$S_r = \frac{l_{ef}}{k} \qquad (24)$$

Donde  $l_{ef}$  corresponde a la longitud efectiva de la columna la cual se obtiene de la Tabla 20.

Tabla 20: Condiciones de extremo y factores de longitud efectiva de la columna

Condiciones de extremo	Valores	Recomendados	Valores
	Teóricos	Por la AISC	conservadores
<b>Redondeada-redondeada</b>	$l_{ef} = l$	$l_{ef} = l$	$l_{ef} = l$
<b>Articulada-articulada</b>	$l_{ef} = l$	$l_{ef} = l$	$l_{ef} = l$
<b>Empotrada-libre</b>	$l_{ef} = 2l$	$l_{ef} = 2.1l$	$l_{ef} = 2.4l$
<b>Empotrada-articulada</b>	$l_{ef} = 0.707l$	$l_{ef} = 0.80l$	$l_{ef} = l$
<b>Empotrada-empotrada</b>	$l_{ef} = 0.5l$	$l_{ef} = 0.65l$	$l_{ef} = l$

Fuente: [25]

Se tomará la condición de extremo empotrada-libre y se reemplazan los valores en la ecuación 24,

$$S_r = 119,0$$

Además, se calcula el valor de  $(Sr)_D$  correspondiente al punto tangente entre las curvas de Euler y Johnson que se observa en la Ilustración 20.

$$(Sr)_D = \pi \sqrt{\frac{2E}{S_{yc}}} \quad (25)$$

Reemplazando los valores de E y  $S_{yc}$  se obtiene:

$$(Sr)_D = 161,16$$

La razón de esbeltez  $S_r$  de la columna se encuentra a la izquierda del punto tangente y, por lo tanto, está en la región de Johnson (Ilustración 20).

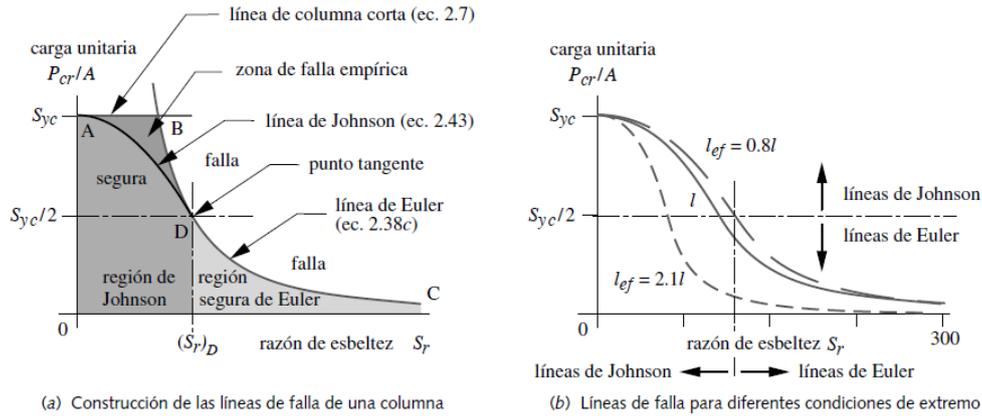


Ilustración 20: Líneas de falla en una columna de Euler, Johnson y corta

### 3.9.4 Carga crítica y carga permisible

A continuación, se procede a calcular la carga crítica  $P_{cr}$  con la ecuación 26.

$$P_{cr} = A \left[ S_{yc} - \frac{1}{E} \left( \frac{S_{yc} S_r}{2\pi} \right)^2 \right] \quad (26)$$

Reemplazando valores:

$$P_{cr} = 26525 \text{ MPa}$$

Se asume un factor de seguridad  $N$  de 2 para determinar la carga permisible con la ecuación 27.

$$P_{permisible} = \frac{P_{cr}}{N} \quad (27)$$

Reemplazando valores:

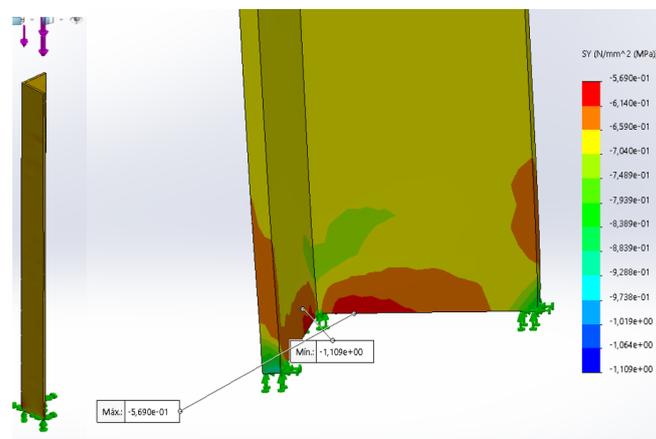
$$P_{permisible} = 13262.5 \text{ MPa}$$

La carga aplicada se obtiene luego de dividir la fuerza entre el área como se realiza a continuación:

$$\frac{P}{A} = \frac{156,8 \text{ N}}{240 \text{ mm}^2} = 0,6533 \text{ MPa}$$

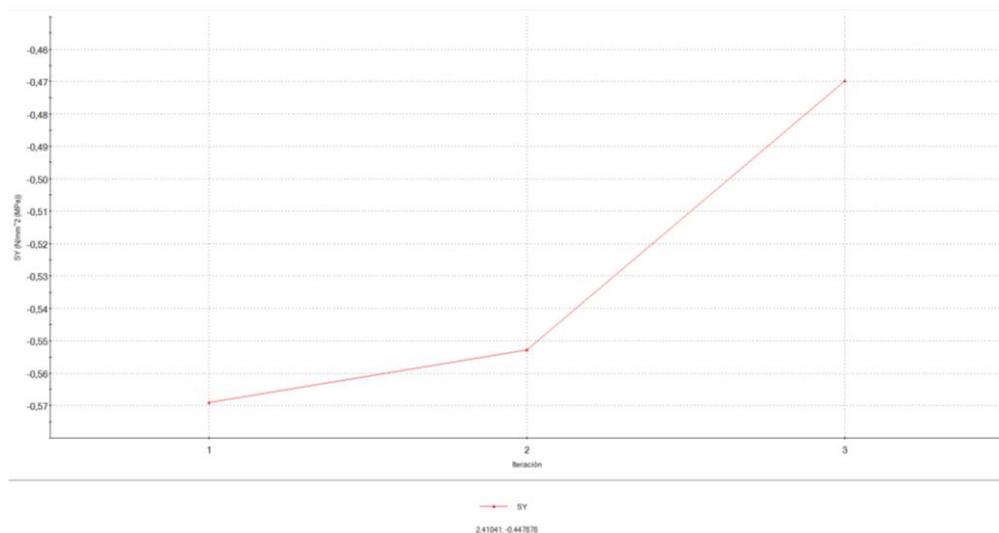
La carga permisible es mucho mayor la carga aplicada, es decir, la estructura soportará una carga mucho más grande que la carga a la cual estará sometida.

A continuación, se presenta un análisis estático realizado en SolidWorks que permitirá validar los datos obtenidos numéricamente, ver Ilustración 21.



*Ilustración 21: Análisis estático, SolidWorks*

Además, se ejecutó un análisis de convergencia para obtener el error entre los datos calculados matemáticamente y los datos de la simulación. Ver Ilustración 22.



*Ilustración 22: Curva de tendencia*

El porcentaje de error entre los datos obtenidos matemáticamente y el resultado del análisis estático corresponde al 0,69%.

## CAPÍTULO IV

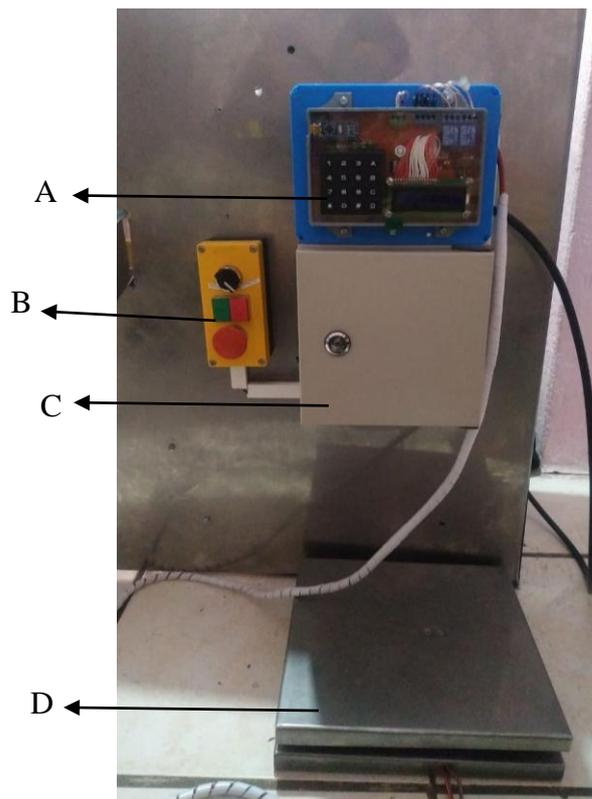
### RESULTADOS

#### 4.1 Validación de resultados

En la Ilustración 23 se puede apreciar el sistema de control de la máquina desgranadora el cual incluye:

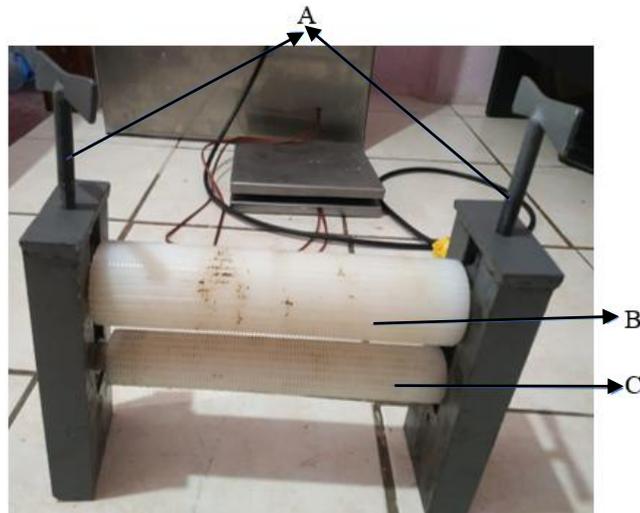
- A. Control de la balanza
- B. Botonera
- C. Gabinete de control
- D. Balanza electrónica

En el anexo B se encuentran los planos mecánicos, anexo C corresponde a planos eléctricos, y en anexo D se explica a detalle el modo de operación del sistema automático.



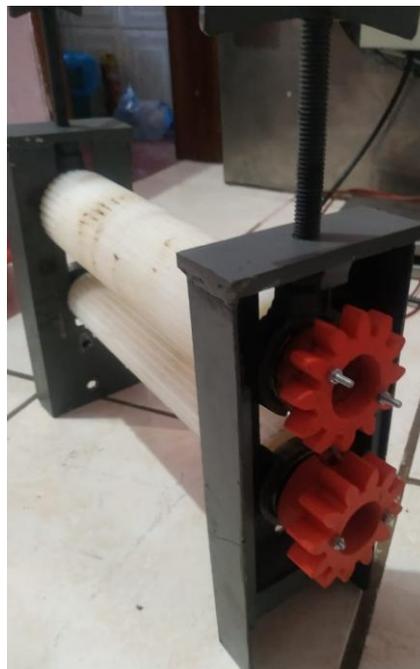
*Ilustración 23: Sistema de control Máquina desgranadora*

El prototipo del sistema de desgrane incluye un mecanismo (A) que permite desplazar perpendicularmente el rodillo conducido (B) respecto al rodillo conductor (C) para ajustarlos de acuerdo con la necesidad.



*Ilustración 24: Prototipo sistema de desgrane*

El sistema de desgrane requiere un mecanismo de engranajes para transmitir fuerza desde el rodillo conductor hacia el rodillo conducido. Ver Ilustración 25



*Ilustración 25: Prototipo mecanismo de engranajes*

El mecanismo de engranajes ensamblado finalmente se muestra en la Ilustración 26, los cuales están fabricados en acero de transmisión.



*Ilustración 26: Mecanismo de engranajes*

La Ilustración 27 muestra la máquina desgranadora construida y ensamblada en su totalidad.



*Ilustración 27: Máquina desgranadora*

La humedad relativa de las vainitas de arveja a desgranar debe ser inferior al 90%, [29], el porcentaje del producto que se destruye es 14%, esto ocurre debido a que los granos no son uniformes en tamaño, es decir, existe variaciones en el diámetro de cada

grano, unos son más grandes que otros, los granos más pequeños se destruyen al ingresar a los rodillos.



*Ilustración 28: Granos desgranados de un saco de 40 lb*

La capacidad real de la máquina desgranadora satisface la capacidad teórica de 40lb/h, desgrana una libra por cada 1,5 minutos.

## **4.2 Análisis económico financiero**

Este análisis determina el costo total de fabricación de la máquina semiautomática desgranadora de arveja tierna, para lo cual se contabilizan los gastos parametrizando estos en directos, indirectos y gastos de ingeniería.

### **4.2.1 Costos Directos**

Los costos directos corresponden a los materiales adquiridos para la construcción de los diferentes sistemas que constituyen la máquina. Ver Tabla 21

Tabla 21: Costos Directos

Costos Directos			
Descripción	Unidad	Costo unitario	Costo total
Nylon 6 (m)	1	\$ 35,00	\$ 35,00
Chumaceras de pared	6	\$ 7,50	\$ 45,00
Chumaceras de banco	2	\$ 7,00	\$ 14,00
Motor Weg 1/2Hp	1	\$ 105,00	\$ 105,00
Cepillos de limpieza	2	\$ 3,50	\$ 3,50
Angulo 40mmx3mm A36	2	\$ 11,35	\$ 22,70
Resortes	4	\$ 4,50	\$ 18,00
Tool brillante inoxidable 1 mm	1	\$ 47,60	\$ 47,60
Poleas	1	\$ 35,70	\$ 35,70
Bandas	1	\$ 12,70	\$ 12,70
Pintura anticorrosiva	1	\$ 7,00	\$ 7,00
Tornillos autoperforantes 3/4	50	\$ 0,03	\$ 1,50
Acero transmisión	1	\$ 9,00	\$ 9,00
Sensor de carga y modulo	1	\$ 15,00	\$ 15,00
Materiales Electrónicos	1	\$ 14,00	\$ 14,00
Caja de control	1	\$ 20,00	\$ 20,00
Botonera y botones	1	\$ 15,00	\$ 15,00
Plc DVP 12SS2	1	\$ 200,00	\$ 200,00
Material Eléctrico	1	\$ 10,00	\$ 10,00
<b>Total</b>			<b>\$ 630,70</b>

#### 4.2.2 Costos Indirectos

Los costos indirectos corresponden a la maquinaria y herramientas utilizadas para la construcción de la máquina. Ver Tabla 22

Tabla 22: Costos Indirectos

Costos Indirectos			
Descripción	Unidad	Costo unitario	Costo total
Torneado de Nylon 6	1	\$ 15,00	\$ 15,00
Corte y soldado de estructura de soporte	1	\$ 50,00	\$ 50,00
Doblado de tool	1	\$ 15,00	\$ 15,00
Soldado de soporte de rodillos	1	\$ 20,00	\$ 20,00
Transporte	1	\$ 7,00	\$ 7,00
<b>Total</b>			<b>\$ 107,00</b>

### 4.2.3 Gastos de ingeniería

En esta sección se describen los gastos requeridos durante la etapa de investigación, en la Tabla 23 se pueden apreciar estos consumos.

Tabla 23: Gastos de Ingeniería

Gastos de Ingeniería			
Descripción	Unidad	Costo unitario	Costo total
Investigación teórica (internet)	1	\$ 30,00	\$ 30,00
Planos impresos	1	\$ 6,00	\$ 6,00
Investigación exploratoria	1	\$ 15,00	\$ 15,00
Total			\$ 51,00

### 4.2.4 Costo Total

El costo de diseño y construcción de la máquina se puede observar en la Tabla 24, el cual corresponde a la suma de los gastos directos, indirectos y de ingeniería.

Tabla 24: Costo de diseño y construcción

Costo Total			
Descripción	Unidad	Costo unitario	Costo total
Costos directos	1	\$ 626,49	\$ 630,70
Costos indirectos	1	\$ 107,00	\$ 107,00
Gastos de ingeniería	1	\$ 51,00	\$ 51,00
Total			\$ 788,70

## 4.3 Rentabilidad del Proyecto

Para calcular la rentabilidad del proyecto se analizaron las variables de la Tabla 25, es necesario recalcar que el precio del saco de arveja fluctúa constantemente de acuerdo con la temporada o producción, esto influye en el precio de la libra de arveja desgranada.

Tabla 25: Indicadores

Indicadores para considerar	Cantidad	Unidad
Arveja desgranada	\$ 1,25	lb
Saco de arveja en vaina	\$ 40,00	unidad
Rendimiento Saco	40	lb
Demanda diaria	40	lb
Máquina	\$ 800,00	unidad
Depreciación	\$ 80,00	año
Depreciación	\$ 0,22	día
Consumo Eléctrico	\$ 20,42	año
Operador	\$ 520	mes

Se tomó el precio más elevado del saco de arveja en vaina para realizar los cálculos que se detallan en la Tabla 26.

Se fijó el TMAR en 16,67%.

El tiempo de recuperación de la inversión se encuentra entre el primer y segundo año como se puede apreciar en la Tabla 26, en la casilla marcada.

Tabla 26: Proyección anual de flujo de fondos

Año	Ingreso	Egreso	Flujo de Fondos	F.F. Actual	F.F. Acumulado
0	\$ 0	\$ 800,00	\$ -800,00		
1	\$ 18.250,00	\$ 17.543,26	\$ 706,74	\$ 605,76	\$ 605,76
2	\$ 18.250,00	\$ 17.543,26	\$ 706,74	\$ 519,20	\$ 1.124,96
3	\$ 18.250,00	\$ 17.543,26	\$ 706,74	\$ 445,02	\$ 1.569,98
4	\$ 18.250,00	\$ 17.543,26	\$ 706,74	\$ 381,43	\$ 1.951,42
5	\$ 18.250,00	\$ 17.543,26	\$ 706,74	\$ 326,93	\$ 2.278,35
6	\$ 18.250,00	\$ 17.543,26	\$ 706,74	\$ 280,22	\$ 2.558,57
7	\$ 18.250,00	\$ 17.543,26	\$ 706,74	\$ 240,18	\$ 2.798,76
8	\$ 18.250,00	\$ 17.543,26	\$ 706,74	\$ 205,87	\$ 3.004,62
9	\$ 18.250,00	\$ 17.543,26	\$ 706,74	\$ 176,45	\$ 3.181,07
10	\$ 18.250,00	\$ 17.543,26	\$ 706,74	\$ 151,24	\$ 3.332,31

El valor actual neto mostrado en la Tabla 27 es mayor a 0, lo que indica que el proyecto es rentable, además el TIR de 88% es superior al TMAR lo cual confirma la rentabilidad. El IVAN indica que la ganancia por cada dólar invertido es de \$3,17.

Tabla 27: VAN, TIR, IVAN

VAN	\$ 2.532,31	Es rentable	
TIR	88%	TIR > TMAR	Rentable
IVAN	\$ 3,17	Ganancia/usd invertido	



## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1 Conclusiones**

- El diseño del sistema mecánico se realizó en SolidWorks, este permitió además ejecutar un análisis estático de la estructura de soporte de la máquina desgranadora alcanzando un factor de seguridad mínimo de 2, los datos arrojados fueron cotejados con los valores obtenidos numéricamente dando un porcentaje de error de 0,69%.
- El sistema mecánico consta de una estructura de soporte, a la cual se fijan el sistema de desgranado, la canaleta y tolva por donde transitan las vainitas de arveja y el motor, y cuya inversión bordea los \$800.
- El sistema de dosificación se basa en una celda de carga instalada en una balanza, la cual se enlaza con una pantalla lcd para mostrar en todo momento el pesaje del producto, y además se incluye un teclado que permite al operador ingresar datos e instrucciones.
- La capacidad real de producción de la máquina satisface la capacidad teórica establecida en 40lb/h, pero existe un 14% de desperdicio producto de la humedad y heterogeneidad de tamaño que presentan ciertas vainitas.

#### **5.2 Recomendaciones**

- Optimizar la estructura de soporte con elementos de dimensiones menores, verificando el factor de seguridad y estabilidad de la máquina.
- Se recomienda moletear ambos rodillos de desgrane con una profundidad de pasada de 1mm y un labrado cuadrado de 2 mm.
- Reducir en un 30% las dimensiones de la balanza en la cual se instala la celda de carga para darle una mayor estabilidad y en efecto, un mejor pesaje.
- Es recomendable que las vainitas a desgranar no presenten abundante humedad para evitar que los rodillos se deslicen entre sí y reducir el porcentaje de desperdicio.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] G. Taylor, «Sheller and method of use thereof». EE.UU. Patente US7493852B2, 17 Junio 2005.
- [2] J. M. Hawkins, «Pea and bean sheller». EE.UU. Patente US2183769A, 28 Julio 1938.
- [3] E. O. MOULTON, «Pea Sheller». EE. UU. Patente US457538A, 11 Agosto 1891.
- [4] Whuan Anon Tech-Trade Co.,Ltd, «Whuan Anon Tech-Trade Co.,Ltd,» Alibaba, 2019. [En línea]. Available: [https://anon.en.alibaba.com/?spm=a2700.md\\_es\\_ES.cordpanyb.1.62e86740JMdlUA](https://anon.en.alibaba.com/?spm=a2700.md_es_ES.cordpanyb.1.62e86740JMdlUA). [Último acceso: 27 Mayo 2019].
- [5] Consejo Nacional de Competencias, «Consejo Nacional de Competencias,» 2017. [En línea]. Available: <http://www.competencias.gob.ec/el-plan-nacional-para-el-buen-vivir-esta-disponible-para-la-ciudadania/>. [Último acceso: 12 Mayo 2017].
- [6] L. Minchala y M. Guamán, «Iniap,» Noviembre 2004. [En línea]. Available: <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/2326>. [Último acceso: 12 Mayo 2019].
- [7] N. Carapaz y R. Nancy, «Repositorio UTN,» Mayo 2012. [En línea]. Available: <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/2038/2/03%20AGP%20147%20TESIS.pdf>. [Último acceso: 13 Mayo 2019].
- [8] P. Venegas, «Repositorio UTC,» Abril 2011. [En línea]. Available: <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/777/1/T-UTC-0599.pdf>. [Último acceso: 13 Mayo 2019].

- [9] J. Changuán y E. Yanchaliquín, «Repositorio Institucional de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo,» 2016. [En línea]. Available: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/5759/1/15T00651.pdf>. [Último acceso: 13 Mayo 2019].
- [1 MS Machinery, «MS Machinery,» 2003. [En línea]. Available: 0] [https://msmachinery.en.alibaba.com/?spm=a2700.md\\_es\\_ES.deiletai6.1.7931236b1ngsn2&tracelog=product\\_detail\\_cp](https://msmachinery.en.alibaba.com/?spm=a2700.md_es_ES.deiletai6.1.7931236b1ngsn2&tracelog=product_detail_cp). [Último acceso: 13 Mayo 2019].
- [1 Picswe, «Picswe,» 2019. [En línea]. Available: <https://picswe.net/pics/sin-fin-1176.html>. [Último acceso: 28 Mayo 2019].
- [1 Cerveza de Argentina, «Cerveza de Argentina,» [En línea]. Available: 2] <http://www.cervezadeargentina.com.ar/articulos/moledorarodillos.html>. [Último acceso: 28 Mayo 2019].
- [1 Engormix, «Engormix,» [En línea]. Available: [https://www.engormix.com/meosa-3construcciones/rodillos-acero-corrugados-lisos-molinos-sh571\\_pr25218.htm](https://www.engormix.com/meosa-3construcciones/rodillos-acero-corrugados-lisos-molinos-sh571_pr25218.htm). [Último acceso: 28 Mayo 2019].
- [1 Professional Plastics, «Professional Plastics,» 2019. [En línea]. Available: 4] <https://www.professionalplastics.com/es/MC907.html>. [Último acceso: 9 Junio 2019].
- [1 Omega, «Omega,» Spectris Company, 2003. [En línea]. Available: 5] <https://es.omega.com/prodinfo/celulas-de-carga.html>. [Último acceso: 28 Mayo 2019].
- [1 Naylamp Mechatronics, «Naylamp Mechatronics,» [En línea]. Available: 6] <https://naylampmechatronics.com/sensores/157-celda-de-carga-20kg.html>. [Último acceso: 28 Mayo 2019].

[1 Naylamp Mechatronics, «Naylamp Mechatronics,» [En línea]. Available:  
7] <https://naylampmechatronics.com/sensores/147-modulo-hx711-transmisor-de-celda-de-carga.html>. [Último acceso: 28 Mayo 2019].

[1 Delta, «Delta ww,» [En línea]. Available:  
8] <http://www.deltaww.com/products/CategoryListT1.aspx?CID=060301&PID=253&hl=en-us&Name=DVP-SS2+Series>. [Último acceso: 6 Noviembre 2019].

[1 J. Marzal, J. Diego-Mas y M. Artacho, «Despliegue de la Función de Calidad  
9] (QFD),» de *Diseño de Producto: Métodos y Técnicas*, Valencia, Alfaomega Grupo Editor S.A., 2004, pp. 65-86.

[2 C. Riba, *Diseño concurrente*, Barcelona: Edicions UPC, 2002.  
0]

[2 L. Muñoz, E. de la Vega, F. Lopez, B. Ortiz y K. Lucero, «Semac,» 2009. [En línea].  
1] Available: <http://www.semac.org.mx/archivos/congreso11/BIOM01.pdf>. [Último acceso: 29 Mayo 2019].

[2 Motor Tico, «Motor Tico,» Enero 2015. [En línea]. Available:  
2] <http://www.motortico.com/biblioteca/MotorTico/2015%20ENE%20-%20Factor%20de%20Servicio%20en%20Motores%20Electricos.pdf>. [Último acceso: 29 Mayo 2019].

[2 M. Melgarejo, «academia.edu,» [En línea]. Available:  
3] [https://www.academia.edu/31914795/Corras\\_calculo\\_clasificacion](https://www.academia.edu/31914795/Corras_calculo_clasificacion). [Último acceso: 1 Junio 2019].

[2 Ingemecánica, «Ingemecánica,» [En línea]. Available:  
4] <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn121.html>. [Último acceso: 11 Junio 2019].

[2 R. Norton, Diseño de Máquinas, Un enfoque integrado, Naucalpan de Juárez:  
5] Pearson Education, 2011.

[2 Matweb, «Matweb,» [En línea]. Available:  
6] <http://qepp.matweb.com/search/DataSheet.aspx?Bassnum=P1SM26&ckck=1>.  
[Último acceso: 4 Diciembre 2019].

[2 Matweb, «Matweb,» [En línea]. Available:  
7] <http://www.matweb.com/search/datasheet.aspx?matguid=d1844977c5c8440cb9a3a967f8909c3a&ckck=1>. [Último acceso: 21 Julio 2019].

[2 skyciv, «skyciv,» 21 Julio 2019. [En línea]. Available: <https://skyciv.com/es/free-moment-of-inertia-calculator/?fbclid=IwAR3E54cI5ZKzJdwb8z9bQ2leLgKlAly53UIX5OrZ8YTT3NTvUwm9wGWq8KU>. [Último acceso: 21 Julio 2019].

[2 L. Rojano, «Repositorio Universidad Técnica de Ambato,» 2006. [En línea].  
9] Available:  
<https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/3353/1/P88%20Ref.2977.pdf>. [Último acceso: 29 Febrero 2020].

[3 Organización Mundial de la Salud, «Organización Mundial de la Salud,» 27 Febrero  
0] 2015. [En línea]. Available:  
<https://www.who.int/mediacentre/news/releases/2015/ear-care/es/>. [Último acceso:  
18 Mayo 2019].

[3 Logicbus, «Logicbus,» [En línea]. Available: <https://www.logicbus.com.mx/plc.php>.  
1] [Último acceso: 28 Mayo 2019].

- [3 Siemens, «Industry Siemens,» 2019. [En línea]. Available:  
2] <https://www.industry.siemens.com/home/aan/es/ecuador/Documents/lista%20de%20precios.pdf>. [Último acceso: 28 Mayo 2019].