

**UNIVERSIDAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA UTEC**

**Carrera de Ingeniería Mecánica**



**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN  
PROTOTIPO DE MÁQUINA MOLEDORA DE  
CHOCLO CON CAPACIDAD DE 25 KG/H**

**DESIGN AND CONSTRUCTION OF A CORN  
GRINDING MACHINE PROTOTYPE WITH A  
CAPACITY OF 25 KG/H**

Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Mecánico

**Joel Nicolás Guizado Díaz**

**Código 2001210088**

**Asesor**

**José Luis Mantari Laureano**

Lima – Perú

Julio 2018

La tesis

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE MÁQUINA MOLEDORA  
DE CHOCLO CON CAPACIDAD DE 25 KG/H.**

Ha sido aprobada

-----  
[Nombres y apellidos del Presidente de Jurado]

-----  
José Luis Mantari Laureano

-----  
[Nombres y apellidos del Tercer jurado]

*Dedicatoria:*

A Rosa, mi madre que con su fuente infinita de amor, fuerza y coraje me ha enseñado a superarme día a día. A Walter, mi padre y mentor del éxito a través del trabajo constante, por todo su esfuerzo, comprensión y cariño. A Dios por guiarme y cuidarme en este gran reto de mi vida profesional, de igual forma a todas las personas que compartieron momentos de apoyo, cariño y lealtad en mi vida.

*Agradecimientos:*

A Jose Luis Mantari Laureano, por su apoyo y orientación profesional en los últimos años de estudio.

A la empresa de la señora Hethel Barrenechea León por permitirme seguir desarrollando una mejor solución para moler los granos de choclo.

A UTEC, por ser mi casa de estudio y soporte para mi desarrollo profesional.

# TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
<b>RESUMEN</b> .....	12
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	xiii
<b>CAPÍTULO I MARCO TEÓRICO</b> .....	1
1.1 El Maíz .....	1
1.2 Producción del maíz .....	7
1.3 Procesamiento del Maíz.....	8
1.4 Equipos para Molienda.....	12
1.5 Tecnología existente.....	16
<b>CAPÍTULO II METODOLOGÍA</b> .....	19
2.1 Metodología de diseño y desarrollo .....	20
2.1.1 Identificación de Oportunidades.....	20
2.1.2 Identificación de las necesidades.....	25
2.2 Diseño de los elementos de máquina .....	35
2.3 Selección de los elementos de máquina .....	58
2.4 Fabricación del prototipo.....	70
2.5 Evaluación de la masa de choclo .....	70
<b>CAPÍTULO III RESULTADOS</b> .....	72
3.1 Metodología de diseño y desarrollo .....	72
3.2 Determinación de los requerimientos del diseño .....	92
3.3 Potencia Consumida en el tornillo alimentador .....	92
3.4 Potencia consumida en las cuchillas .....	93

3.5	Potencia consumida en los discos .....	93
3.6	Selección de la correa de transmisión .....	96
3.7	Selección del Moto reductor .....	97
3.8	Selección de rodamientos .....	98
3.9	Diámetros del eje.....	99
3.10	Máquina moledora de choclo.....	100
3.11	Evaluación de la masa de choclo .....	101
	<b>CAPÍTULO IV CONCLUSIONES.....</b>	<b>104</b>
	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>105</b>
	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>106</b>
	<b>ANEXOS.....</b>	<b>110</b>

# ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1.1 Características de la diversidad de razas del maíz .....	5
Tabla 1.2 Tipos de Molino según el tamaño del producto final .....	13
Tabla 2.1 Formato de diagrama matricial de selección de clientes .....	26
Tabla 2.2 Formato de la entrevista a un productor de choclo del Distrito de Matahuasi ....	26
Tabla 2.3 Formato de información filtrada por directriz.....	27
Tabla 2.4 Formato de jerarquización de necesidades .....	27
Tabla 2.5 Importancia de necesidades de los discos de molienda .....	28
Tabla 2.6 Importancia de necesidades del sistema de transmisión.....	28
Tabla 2.7 Importancia de necesidades del motor eléctrica en la máquina .....	29
Tabla 2.8 Importancia de necesidades del sistema en general .....	29
Tabla 2.9 Formato de matriz de evaluación de conceptos solución .....	33
Tabla 2.10 Formato matriz de evaluación de conceptos ponderado.....	34
Tabla 2.11. Selección del Factor de carga.....	58
Tabla 2.12. Tabla de correas trapeciales clásicas Optibelt VB .....	59
Tabla 2.13. Selección del diámetro de referencia.....	60
Tabla 2.14 Relación de factor de ángulo de contacto .....	62
Tabla 2.15 Factor de desarrollo " c3" .....	63
Tabla 2.16 Incrementación de Potencia nominal.....	64
Tabla 2.17 Propiedades del acero inoxidable 304 .....	67
Tabla 3.1 Resultados del diagrama matricial de selección de clientes .....	73
Tabla 3.2 Resultado de la entrevista a un productor de choclo .....	74
Tabla 3.3 Resultados de datos de los clientes filtrados por las directrices .....	75
Tabla 3.4 Resultados de las necesidades de forma jerárquica.....	76
Tabla 3.5 Resultado de impacto de las necesidades del disco de molienda.....	77
Tabla 3.6 Resultado de impacto de las necesidades del sistema de transmisión.....	77
Tabla 3.7 Resultado de impacto de las necesidades del motor eléctrico .....	78
Tabla 3.8 Resultado de impacto de las necesidades del sistema general .....	78

Tabla 3.9 Lista métrica relacionada a las necesidades.....	79
Tabla 3.10 Comparación de parámetros con otros equipos molinos de choclo .....	80
Tabla 3.11 Valores ideales y marginales de la máquina moledora de choclo.....	81
Tabla 3.12 Parámetros de la caja negra.....	82
Tabla 3.13 Resultados de la evaluación de los conceptos solución.....	87
Tabla 3.14 Resultados de la matriz ponderada.....	88
Tabla 3.15 Especificaciones de la máquina moledora de choclo .....	90
Tabla 3.16 Costos de fabricación de la máquina moledora de choclo.....	91
Tabla 3.17 . Medidas promedio de las dimensiones de un grano de choclo .....	92
Tabla 3.18 Resultados de parámetros de potencia del tornillo alimentador.....	93
Tabla 3.19 Parámetros para la potencia consumida.....	93
Tabla 3.20 Resultados de diámetro de granos y distancia radial e “ $ra$ ”.....	94
Tabla 3.21 Resultados de la fuerza de corte “ $FC$ ” y “ $\tau$ ” torque generado.....	94
Tabla 3.22 “ $\tau$ ” Torque generado por los granos de choclo en la sección plana .....	95
Tabla 3.23 Potencia pada cada sistema mecánico .....	95
Tabla 3.24 Características del perfil de correa seleccionado .....	96
Tabla 3.25 Resultado de los parámetros de diseño de una correa de transmision.....	96
Tabla 3.26 Selección del moto reductor NMRV .....	97
Tabla 3.27 Selección del rodamiento de bolas del catálogo técnico de SKF. ....	98
Tabla 3.28 Resultados de los diámetros para cada sección del eje motriz.....	99
Tabla 3.29 Materiales utilizados en la prueba de obtención de masa de choclo .....	100
Tabla 3.30 Resultados de la masa obtenida en función del tiempo .....	100

# ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1 Sección transversal del grano de maíz .....	2
Figura 1.2 Muela de piedra de la época neolítica .....	9
Figura 1.3 Molino de mano descrito por Livingstone.....	9
Figura 1.4 Molino manual giratorio.....	10
Figura 1.5 Molienda manual.....	10
Figura 1.6 Piedras de molino segun Beguillet.....	11
Figura 1.7 Agricultor desgranando con la olotera .....	11
Figura 1.8 Agricultor desgranando con la olotera .....	12
Figura 1.9 Molino de Rodillo .....	13
Figura 1.10 Molino de Martillo .....	14
Figura 1.11 Molino de discos .....	15
Figura 1.12 Molino de tambor (flujo restante, molino compartimentado, molino cónico) .	16
Figura 1.13 Molino corona tradicional .....	17
Figura 1.14 Máquina comercializada por la empresa Imarca C.A .....	17
Figura 1.15 Molino comercializado por la empresa Arisa .....	18
Figura 1.16 Máquina fabricada por la empresa Retsch.....	18
Figura 2.1 Estructura del proyecto de tesis .....	19
Figura 2.2 Diagrama de identificación de oportunidades de horizonte .....	20
Figura 2.3 Proceso de identificación de oportunidades .....	21
Figura 2.4 Fabricantes de molinos a nivel mundial .....	24
Figura 2.5 Diagrama para establecer las especificaciones objetivo.....	29
Figura 2.6 Método de generación de conceptos .....	30
Figura 2.7 Caja negra .....	31
Figura 2.8 Forma convencional de una tolva con un tornillo alimentador .....	37
Figura 2.9 Superficie en contacto entre el material y el tornillo transportador.....	39
Figura 2.10 Región superior e inferior en la cámara del tornillo transportador .....	39
Figura 2.11 Esfuerzos en un elemento de la región inferior del tornillo .....	40

Figura 2.12 Fuerzas en la superficie de corte .....	43
Figura 2.13 Fuerzas en la superficie del eje .....	44
Figura 2.14 Fuerzas en el lado posterior del canal .....	45
Figura 2.15 Fuerzas en el lado de conducción del canal .....	47
Figura 2.16 Disco rallador.....	50
Figura 2.17 Mecanismo de cuchillas y disco rallador.....	52
Figura 2.18 Disco fijo .....	53
Figura 2.19 Disco móvil.....	54
Figura 2.20 Zonas de canales espirales y canales rectos.....	54
Figura 2.21 Distribución de granos de choclo en la zona de canales espirales .....	55
Figura 2.22 Representación de corte en un canal espiral .....	55
Figura 2.23 “ $r'$ ” es la distancia entre centros grano – disco móvil.....	56
Figura 2.24 DCL del sistema de transmisión faja polea .....	65
Figura 2.25 Diagrama de cuerpo libre en el eje solido .....	66
Figura 2.26 Comparación de los tipos de rodamientos .....	68
Figura 2.27 Duración recomendada para rodamientos .....	69
Figura 2.28 Factores para rodamientos de bolas .....	69
Figura 2.29 Procedimientos de la evaluación de la masa de choclo molida .....	71
Figura 3.1 Selección de las oportunidades de horizonte .....	72
Figura 3.2 Oportunidades de excelencia seleccionadas .....	73
Figura 3.3 Estructura de funciones .....	83
Figura 3.4 Patente 1 “Grain Mill” .....	84
Figura 3.5 Patente 2 “Corn Milling” .....	84
Figura 3.6 Patente 3 “Grain Milling Degermination Process” .....	85
Figura 3.7 Matriz morfológica.....	86
Figura 3.8 Concepto solución seleccionado "MMC 3" .....	89
Figura 3.9 Masa molida de choclo tomada por el microscopio Leica .....	101
Figura 3.10 Tamaño de las partículas de la masa molida de choclo $50 \mu m$ .....	101
Figura 3.11 Resultados del tamaño de partículas de la masa molida .....	102
Figura 3.12 Resultados del tamaño de partículas de la masa .....	102

Figura 3.13 Comparación de resultados de tamaño de partículas ..... 103

## ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Resultados de las mediciones de los granos de choclo .....	110
Anexo 2. Lista de fallas de un molino corona por los productores de choclo.....	111
Anexo 3. Requerimientos de los productores de choclo .....	112
Anexo 4. Generar y percibir oportunidades .....	113
Anexo 5. Lista de filtrar oportunidades.....	116
Anexo 6. Desarrollo de oportunidades prometedoras .....	117
Anexo 7. Matriz métrica.....	118
Anexo 8. Potencia consumida en el extrusor .....	119
Anexo 9. Cálculo de selección de correa de transmisión .....	122
Anexo 10. Diseño de eje .....	129
Anexo 11. Selección de rodamientos.....	135

## RESUMEN

La producción del maíz en el Perú viene aumentando desde el año 2012 a una tasa promedio de 8.2%, siendo la sierra centro la zona de mayor participación productiva a lo largo del territorio nacional. Sin embargo, las actividades productivas como la molienda se ven limitadas debido a la escasez de máquinas y herramientas, sobre todo para los pequeños y medianos productores, por lo que es necesario contar con nuevas máquinas que permitan incrementar la producción de choclo molido a un bajo costo.

La presente tesis consistió en el diseño y construcción de un prototipo de máquina moledora de choclo con capacidad de 25 kg/h aplicando la metodología de diseño conceptual “Diseño y desarrollo del producto por Karl Ulrich y Eppinger”, en la cual se identificaron las oportunidades de desarrollo y necesidades por parte de los productores de choclo del distrito de Matahuasi, para luego seleccionar el concepto solución “MMC 3”. Asimismo, se desarrolló el procedimiento de cálculo de todos los elementos que componen la máquina, tomando como referencia el libro “Diseño de elementos de máquina por Robert L. Mott” y la selección de los elementos mecánicos a través de catálogos técnicos del mercado nacional.

El prototipo de máquina moledora de choclo resultante cuenta con una capacidad aproximada de 25 kg/h, es impulsado por un motor eléctrico y sus dimensiones geométricas son 530 mm de largo y 987 mm de altura. Además, cuenta con discos en la cámara de molienda de 160 mm de diámetro.

*Palabras clave: molienda, diseño, construcción, choclo, prototipo, elementos mecánicos.*

# INTRODUCCIÓN

Durante muchos años la agricultura ha sido el principal sustento de vida para la población rural, siendo esta fuente de consumo y oportunidad laboral para los habitantes de la región andina del territorio nacional. Según cifras del último Censo Nacional Agropecuario 2012, el 30.5% de la población rural está dedicado al desarrollo de la actividad agropecuaria, incrementándose en 9.5% en los últimos 18 años. [1]

De las 7 125 007 hectáreas de superficie agrícola a nivel nacional, el 13.7 % corresponde al cultivo del choclo [2]. La mayor producción de este cultivo está situada en la Sierra Centro, representada por la Región Junín, con una producción de 235 838 toneladas por año [3]. Los productores de choclo son en su mayoría minifundistas con bajos niveles de instrucción, escasa capacidad empresarial y limitado poder de negociación, por ende, su producción está destinada básicamente a los mercados de abasto de manera directa.

Actualmente, las principales actividades productivas del choclo tales como la molienda y el desgranado se realizan mediante equipos y herramientas artesanales, como cuchillos, morteros de piedra, morteros de madera y molino corona convencional. Estas herramientas no contribuyen a la productividad y desarrollo de la agricultura y generan que los productos sean vendidos a costos muy bajos en comparación al precio establecido en los mercados a 4.80 Soles / kilogramos de choclo. [4]

Por otro lado, el uso de equipos y herramientas artesanales para la producción de choclo, perjudica la salud de los trabajadores al requerir de gran esfuerzo físico. El 21.1 % de productores de la Región Junín registra un grupo etario entre 45-54 años de edad, lo que los hace más vulnerables al esfuerzo físico requerido. [2]

La presente tesis busca desarrollar un prototipo de máquina especializada en la molienda de granos, con una capacidad de 25 Kg/h para la mejora de la calidad de vida de los productores de choclo. Para ello se realizó una investigación acerca del maíz peruano, su diversidad, características, propiedades nutricionales, procesos de molienda y usos; la memoria de cálculo y diseño de la máquina, incluyendo los requerimientos necesarios para

el cálculo, diseño y selección de los elementos mecánicos que componen el prototipo de la máquina; la elaboración de planos de fabricación, ensamble y detalle de todas las piezas que componen el prototipo de máquina y por último, la evaluación de la masa obtenida de las pruebas experimentales y la comparación de la calidad de la masa molida, para evaluar el rendimiento del prototipo de máquina.

## **Alcance**

El presente estudio involucra el diseño y construcción del prototipo de la máquina molidora de choclo con capacidad de 25 kg/h. El diseño está basado en el estudio de las oportunidades, exigencias y necesidades que requieren los productores de las comunidades de la Provincia de Huancayo, en el Departamento de Junín, el cual corresponde a una máquina rápida, desmontable y fácil de trasladar.

El estudio no incluirá el diseño para el sistema del desgranado del choclo, por lo tanto, la materia prima de entrada es el choclo previamente desgranado.

A nivel ingenieril, todos los cálculos de los elementos mecánicos que componen el diseño del prototipo final están basados en teorías y procesos de diseño mecánico, incluyendo normas y experimentación en software CAD.

A nivel experimental, el estudio comprende la comparación de la calidad de masa molida obtenida por el prototipo desarrollado en la presente tesis con la masa obtenida de un molino corona manual.

## **Antecedentes**

El proceso de producción del choclo consiste en dos actividades principales: El desgranado y la molienda de los granos. En el Perú ninguna de estas dos actividades se encuentra mecanizadas, empleando herramientas y equipos artesanales que impiden una mayor productividad de sus cosechas y afectan la rentabilidad económica de los propios productores.

En los países productores de choclo de América Latina, se realiza el desgranado y la molienda a través de herramientas artesanales tales como el metate, el cual es un mortero de piedra tallado de forma rectangular, usado en México y Guatemala hasta mediados del Siglo 20. [5]

En México, que es uno de los principales productores de choclo a nivel de Latinoamérica la primera herramienta para moler los granos se denominó tortilladora manual, la cual estaba formada por dos tapas o planchas de metal y una palanca que hace presión sobre ellas. Este mecanismo sigue siendo muy utilizado en la industria alimentaria del país azteca. [6]

Desde el 2009, el molino manual de manivela fabricado por la empresa Landers se introdujo como un mecanismo fácil de moler debido al rozamiento entre la muela de piedra y la otra de metal, este mecanismo es conocido hoy en día como el molino corona convencional. [7]

En el Perú, el equipo artesanal presente en las actividades productivas del choclo es el molino corona. En su mayoría las microempresas de producción de humita ubicadas en Junín contratan personal para moler el choclo con estos equipos que son impulsados por la fuerza humana, debido a que es una de las formas más limpias de moler los granos de choclo. Asimismo, requieren del alquiler de maquinaria externa como molinos corona, para realizar el servicio.

## **Justificación y motivación**

El cultivo de choclo se realiza principalmente en la Región Junín, la cual representa el 21% de la producción a nivel nacional. Específicamente dentro de esta Región, la provincia de Huancayo representa el 51% de la producción de choclo, siendo los distritos de Matahuasi, Mito y Santa Rosa de Ocopa, los mayores productores con 22 mil hectáreas de cultivo. [4]

La comercialización de choclo se realiza a través de mercados de abastos, mayoristas y minoristas distribuidos en las principales ciudades de la Región Junín, teniendo un precio promedio en chacra de S/. 0.85 por kg de choclo sin moler, sin embargo, el choclo desgranado o molido tiene un precio promedio al consumidor final de S/ 4.60 por kg, siendo esta relación económica un sustento considerable de pérdida para los productores de choclo. [8]

El proceso de molienda del choclo en el Perú se da principalmente a través de herramientas convencionales impulsadas por el esfuerzo físico, lo cual conlleva una serie de problemas como la afectación de la salud de los agricultores y los bajos rendimientos de producción.

Según el INEI para la Agricultura y la Alimentación, la mujer agricultora tiene una participación activa en la molienda y selección del choclo mediante los métodos tradicionales con un 50% en la zona centro del Perú. [1]

Por otro lado, los métodos tradicionales no generan un porcentaje significativo de producción y crecimiento en el sector agrícola, es por ello que 6 de cada 10 agricultores contratan el servicio de máquinas de molienda y desgranado del maíz o venden directamente el choclo sin procesar al mercado lo cual genera una disminución del ingreso económico de los agricultores productores de maíz.

El diseño de la máquina molera de choclo permitirá mejorar el rendimiento de la producción del choclo, dándole un valor agregado al producto y mejorando las condiciones de salud de los productores.

## **Objetivo general**

- Realizar el diseño y construcción de un prototipo de máquina moledora de granos de choclo con una capacidad de 25 kg/h.

## **Objetivos específicos**

- Establecer los parámetros de diseño del prototipo de la máquina.
- Calcular las dimensiones de los elementos de la máquina mediante normas de diseño mecánico.
- Construir y ensamblar el prototipo de la máquina moledora de choclo.
- Evaluar la calidad de la masa obtenida del choclo en comparación con el molino corona convencional.

# **CAPÍTULO I**

## **MARCO TEÓRICO**

En el presente capítulo se realiza el estudio del estado del arte y la tecnología existente de los molinos de maíz desarrollados, desde las herramientas más convencionales hasta las más desarrolladas en el mercado actual. Asimismo, se presentan mecanismos complementarios para el diseño del prototipo de máquina.

### **1.1 El Maíz**

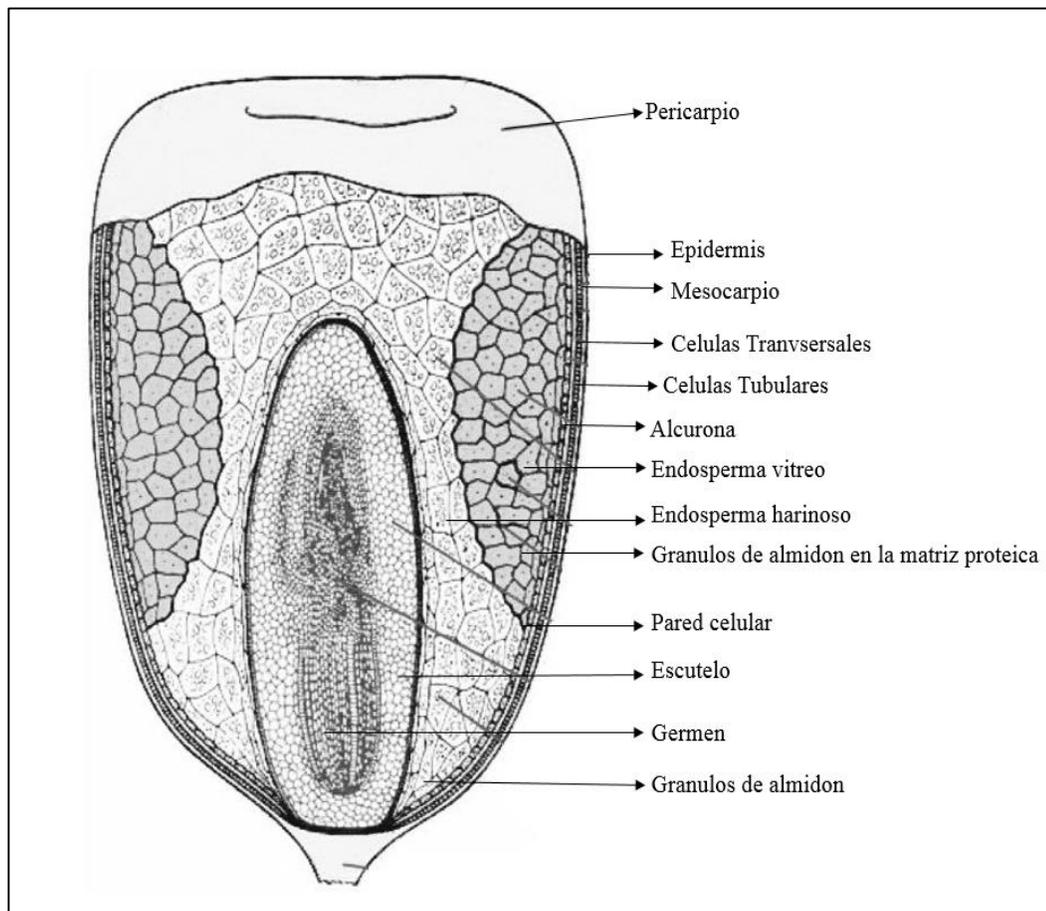
Durante muchos años el maíz ha sido y representado un cultivo importante para las civilizaciones indígenas peruanas [9]. Por ende, este cereal es usado en muchos productos alimenticios de consumo humano, siendo este el uso más importante [10]. El Perú posee la mayor diversidad genética de maíz amiláceo y es representando en el consumo de productos como el tamal, humita, cancha, entre otros, para lo cual la materia prima es el choclo.

Actualmente el Perú junto con México, son la cuna mundial del maíz, sin embargo, el Perú tiene la ventaja de contar con más variedades silvestres. Alexander Grobman señaló que esta comprobación fue el resultado de las excavaciones hechas entre los años 2007-2011 en los lugares arqueológicos de Paredones y Huaca Prieta, departamento de la Libertad, ubicada en la costa norte peruana [11]. Allí se encontraron 293 muestras de microfósiles (entre mazorcas, tusas o corontas, trozos de tallo y granos) que fueron sometidas a pruebas de datación por radiocarbono, el resultado de estas pruebas reveló una antigüedad que fluctúa entre los 6504 y 7775 años antes del presente, superando así al maíz encontrado en la zona de Guila Naquitz (México) que alcanzó los 6300 años.

### 1.1.1 Estructura del maíz

El grano de maíz está compuesto por tres partes bien diferenciadas: pericarpio, endospermo y germen. Según Zuber y Darrah el principal componente es el endospermo, con aproximadamente 85 % en peso, seguido por el germen, 10 % en peso y finalmente el pericarpio, 5 % en peso. Los granos están dispuestos en una mazorca, unidos a esta por un apéndice inferior, el cual se desintegra a menudo durante los diferentes métodos de procesamiento del maíz. [12]

En la Figura 1.1 se muestra la estructura del grano de maíz.



**Figura 1.1** Sección transversal del grano de maíz  
Fuente [Elaboración propia]

El pericarpio, recubre el grano formado por un conjunto de capas, adheridas unas a otras. Se distinguen cuatro capas las cuales se muestra en la Figura N°1 epidermis, mesocarpio y las capas células transversales y tubulares. El mesocarpio está compuesto por células alargadas de pared gruesa que forman una estructura compacta prácticamente sin espacios intercelulares. Debido a estas características que se genera entre el mesocarpio y las capas internas del pericarpio, una línea de debilitamiento se separa fácilmente de la semilla, este desprendimiento produce que se absorba mayor humedad, dado que agranda los espacios intercelulares debilitando la unión entre el mesocarpio y las capas internas del pericarpio. El espesor del pericarpio es variable siendo más grueso en la base del grano y de menor espesor sobre el germen.

El endospermo es un tejido continuo que contiene unas células ricas en proteína y aceite, la cual se conoce como aleurona, el resto del tejido se conoce como endospermo amiláceo se distingue además en dos regiones. La primera región externa, cercana a la aleurona, es de consistencia dura la cual se conoce como endospermo vítreo o cornea con un alto contenido proteico y otra región interna denominada endospermo harinoso. El almidón se encuentra en células alargadas del endospermo, empaquetado en gránulos de 5 – 30  $\mu\text{m}$  rodeado de una matriz proteica continua. El endospermo vítreo o corneo posee una matriz proteica más gruesa, con gránulos en forma poliédrica por la compresión de los mismos, según se observó por microscopía electrónica de barrido. [13]

Para recuperar el almidón los gránulos deben ser liberados de la matriz proteica en donde se encuentran inmersos. La fricción rica en proteínas obtenida por molienda húmeda se suele llamar gluten.

Finalmente, el tercer componente del grano de maíz es el germen, el cual está compuesto por el embrión y el escutelo. En esta parte del grano se encuentran enzimas que son capaces de degradar las sustancias almacenadas en el endospermo, el germen contiene poco almidón, pero es rico en aceite y proteínas.

### **1.1.2 Diversidad de razas del maíz**

Mediante estudios se han reconocido que la mayor diversidad de razas de maíz se encuentra en el Perú, siendo el grupo más subdividido y rico en rasgos morfológicos y biológicos el maíz amiláceo o también llamado “choclo” [14]. La extrema variedad de las condiciones ecológicas en las que el maíz crece en el Perú, conjuntamente a la hibridación y una selección planificada, ha resultado en la producción de un número alto de razas indicando la gran diversidad genética existente.

El maíz es nombrado como uno de los cultivos con mayor impacto e importancia económica en los andes peruanos, después de la papa [15]. La primera clasificación racial del maíz peruano fue realizada en 1946 [16], teniendo en cuenta la geografía y ubicación en el contexto sudamericano. Sin embargo, en la actualidad no existen estudios acerca del número real de razas de maíces en el Perú, debido al incremento existente de razas que se estudió anteriormente [17]. En la Tabla 1.1 se presenta la clasificación de las razas de la variedad de maíz existentes en la actualidad y que han sido nombradas por Manrique y Salhuana en 1997 [18].

<i>Tipo de razas</i>	<i>Nombre</i>	<i>Color de mazorca</i>	<i>Zona de origen en el Perú</i>
<i>Primitivas</i>	<i>Confite morocho</i>	<i>Amarillo</i>	<i>Sierra</i>
	<i>Confite puntiagudo</i>	<i>Blanco</i>	<i>Sierra</i>
	<i>Confite puneño</i>	<i>Marrón-amarillo</i>	<i>Sierra</i>
	<i>Kculli</i>	<i>Morado</i>	<i>Sierra</i>
	<i>Enano</i>	<i>Blanco</i>	<i>Selva</i>
<i>Derivadas de las primitivas</i>	<i>Mochero</i>	<i>Blanco-púrpura</i>	<i>Costa</i>
	<i>Alazán</i>	<i>Rojos</i>	<i>Costa</i>
	<i>Uchuquilla</i>	<i>Amarillo</i>	<i>Sierra</i>
	<i>Sabanero</i>	<i>Blanco-rojo</i>	<i>Selva</i>
	<i>Piricinco</i>	<i>Bronce</i>	<i>Selva</i>
<i>Segunda derivación</i>	<i>Huachano</i>	<i>Blanco</i>	<i>Costa</i>
	<i>Chancayano</i>	<i>Blanco</i>	<i>Costa</i>
	<i>Arequipeño</i>	<i>Blanco</i>	<i>Sierra</i>
	<i>Chimlos</i>	<i>Rojo-variado</i>	<i>Selva</i>
	<i>Marañón</i>	<i>Bronce</i>	<i>Selva</i>
<i>Razas introducidas</i>	<i>Pardo</i>	<i>Blanco</i>	<i>Costa</i>
	<i>Arizona</i>	<i>Blanco</i>	<i>Costa</i>
	<i>Alemán</i>	<i>Blanco</i>	<i>Selva</i>
	<i>Chuncho</i>	<i>Blanco-amarillo</i>	<i>Selva</i>
	<i>Cuba yellow</i>	<i>Amarillo-blanco</i>	<i>Selva</i>
<i>Razas incipientes</i>	<i>Jora</i>	<i>Marrón</i>	<i>Costa</i>
	<i>Coruca</i>	<i>Marrón</i>	<i>Costa</i>
	<i>Chancayano amarillo</i>	<i>Amarillo</i>	<i>Costa</i>
	<i>Morochillo</i>		<i>Costa</i>
	<i>Morado canteño</i>	<i>Morado</i>	<i>Sierra</i>
	<i>Huanuqueño</i>	-	<i>Sierra</i>
	<i>Sarco</i>	<i>Blanco-rojo</i>	<i>Sierra</i>
<i>Razas no definidas</i>	<i>Tumbesino</i>	<i>Bronce</i>	<i>Costa</i>
	<i>Ajaleado</i>	<i>Blanco</i>	<i>Sierra</i>
	<i>San Jerónimo</i>	<i>Blanco</i>	<i>Sierra</i>
	<i>Perlilla</i>	<i>Amarillo</i>	<i>Selva</i>

**Tabla 1.1** Características de la diversidad de razas del maíz

Fuente: S. M. and Wilfredo, "Diversidad y descripción de las razas del maíz en el Perú," UNALM, Lima, 2004.

### **1.1.3 Propiedades nutricionales del maíz**

El maíz se emplea como alimento de necesidad humana en cantidades significativas, además es importante fuente de materia prima para producir almidón y derivados, como edulcorantes, aceite, alcohol, humitas, tamales, entre otros. Este importante cereal puede crecer en diversas condiciones ambientales y adaptarse, por lo cual ha sido usado como alimento del ser humano desde la antigüedad [19]. La calidad de uso del maíz está determinada principalmente por la estructura y composición del grano, las diferencias en estructura y composición dependen del cultivar, así como las prácticas de manejo, clima, suelo, métodos de cosecha y post cosecha, por ello es importante conocer las diferentes propiedades nutricionales que poseen, debido que en algunos casos varía el contenido de almidón y color del endospermo entre una y otra raza.

#### **Carbohidratos**

El endospermo del grano de maíz es la zona más importante de almacenamiento de los carbohidratos y de las proteínas sintetizadas. En la mayoría de razas de los maíces, el endospermo comprende cerca del 84% del peso del grano, el embrión abarca el 10 % y el pericarpio el 6%. El endospermo está en su mayor parte compuesto por almidón con algunas proteínas y trazas de aceites, la mayor parte de los aceites están contenidos en el germen que tiene un alto contenido de proteína. En el Perú existen diferentes razas de maíz amiláceo con un gran contenido, lo cual incrementa el aporte energético del maíz en la alimentación humana. [1]

#### **Proteínas**

Las proteínas constituyen el segundo componente importante, el contenido en el grano de maíz es de 9% aproximadamente [20], la mayor cantidad de las proteínas se encuentran en el endospermo. Estas han sido estudiadas ampliamente y clasificadas según Landry y Moureaux en 1970 en fracciones diferentes: Albúminas, globulinas y nitrógeno no proteico. Con respecto al maíz peruano, se ha encontrado que los maíces harinosos poseen varias capas de aleurona en el grano, lo cual incrementa el contenido de proteínas y vitaminas, favoreciendo la nutrición. [10]

## **Lípidos**

El aceite del grano de maíz esta principalmente en el germen, es un recurso importante en la alimentación humana, ya que contiene un alto grado de ácidos poli-insaturados, principalmente el ácido linoleico. [21]

## **Vitaminas**

El grano de maíz contiene dos vitaminas solubles en grasa, la provitamina A o carotenoide y la vitamina E. La mayoría de los carotenoides se encuentra en el endospermo duro del grano y en pequeñas cantidades en el germen. Por otro lado, el maíz posee un alto contenido de vitaminas hidrosolubles como tiamina, folato y riboflavina [20]. Asimismo, posee gran cantidad de niacina, pero con una baja disponibilidad para ser absorbido por el organismo y para lograrlo se puede realizar el proceso de nixtamalización del maíz, lo cual incrementa la disponibilidad de las proteínas y vitaminas de este alimento. [20]

## **1.2 Producción del maíz**

### **1.2.1 Zonas productivas potenciales**

En la Región Junín, un 46 % de la superficie corresponde a la Sierra y el 54 % corresponde a la Selva. Según el Ministerio Nacional de Agricultura y Riego (Minagri), Junín está ubicada en el primer puesto del ranking de producción del choclo con 60,244 toneladas anuales [1]. La mayor producción se concentra en el distrito de Matahuasi con un 6 % y en el distrito de Concepción con un 5 %. Las altas concentraciones de cultivo se encuentran reflejadas a la cercanía del Valle del Mantaro con los distritos de mayor producción. [22]

### **1.2.2 Proceso productivo del maíz**

Las actividades productivas que se realizan para la producción del maíz en las parcelas comprenden la siembra, cosecha, almacenaje y procesamiento.

**Siembra:** El maíz crece mejor a pleno sol y en suelos francos, bien drenados y con niveles de pH entre 6 y 6.8. Las diversidades de maíz maduran a tasas diferentes, el choclo madura después de unos 60-80 días, otros maduran a media estación. La siembra del maíz se realiza 15 días después de la fecha promedio de la última helada y cuando la temperatura del suelo sea de al menos 15°C. La práctica es colocar dos a tres semillas separadas por 20 a 38 cm en hileras separadas por 75 a 90 cm y la profundidad de las hileras es de 2 a 4 cm.

**Cosecha:** El grano de maíz llega a su madurez fisiológica cuando su contenido de humedad es alrededor de 37-38 %. La cosecha mecanizada se puede realizar cuando el grano tiene aproximadamente un 28 % de humedad, no es recomendable que descienda menos a 15 % debido a que los granos se aplastan y pulverizan. Cuando la cosecha se realiza de forma manual, los límites de humedad no son considerables, en su mayoría dependen de las condiciones climáticas, mano de obra y hábitos tradicionales.

**Almacenaje:** Un mal almacenaje de los granos de maíz, provoca pérdida de peso, calidad y capacidad alimentaria. Lo más importante de un buen almacenamiento es la humedad adecuada del grano, parte de esta humedad se encuentra rodeando la semilla. Para un buen almacenamiento el grano debe estar en un área con rangos de temperatura de 25-28 °C, con una humedad relativa de 70% llegando a un punto de equilibrio para establecer un buen almacenamiento.

**Procesamiento:** Esta actividad abarca 2 actividades principales el desgranado y la molienda de los granos, empleando herramientas artesanales y mecanizadas. Para la molienda de granos de maíz es necesario que estos se encuentren en estado lechoso, ya que este líquido almidonado permitirá su fácil destrucción. Por otro lado, para los granos secos se requiere una actividad previa denominada humidificación.

### **1.3 Procesamiento del Maíz**

#### **1.3.1 Molienda del maíz**

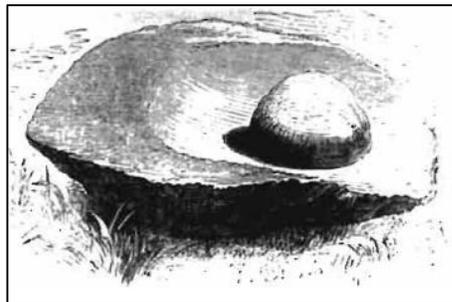
La molienda es una operación de reducción y desintegración del tamaño de los granos sólidos, en la antigüedad correspondía a simples piedras para machacar granos.

A partir de la época neolítica se hace el uso de las muelas, simples piedras planas ligeramente curvadas en el centro, que se movían en movimiento periódico de vaivén sobre otra piedra mayor, que se mantenía fija en el suelo. [23]



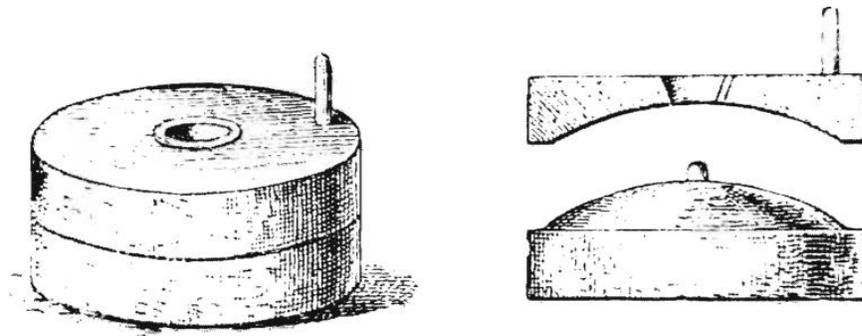
**Figura 1.2** Muela de piedra de la época neolítica  
Fuente: V. P. d. Villareal, «Molinos y molinería,» España, 1888. [23]

Los habitantes de los pueblos africanos también hicieron uso de herramientas artesanales sobre losas o rocas, la piedra móvil solía ser de un tamaño doble que el puño según Livingstone. En su mayoría todas estas actividades con medios tan primitivos, contaminaban la materia prima con las partículas de piedra que empleaban producto de la fricción. [23]



**Figura 1.3** Molino de mano descrito por Livingstone  
Fuente: V. P. d. Villareal, «Molinos y molinería,» España, 1888. [23]

De aquí al molino de piedra giratoria, no hay más que un paso, se adivinó que era mayor utilidad hacer girar la piedra superior sobre otra fija, que proporcionarle simplemente un movimiento de vaivén. [23]



**Figura 1.4** Molino manual giratorio

Fuente: V. P. d. Villareal, «Molinos y molinería,» España, 1888. [23]

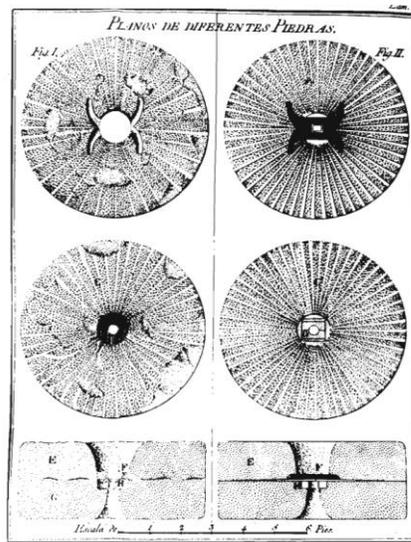
Los israelitas emplearon unas ollas, piedras desiguales, la inferior estaba fija en el suelo y tenía un relieve cónico, donde encajaba la piedra superior, el grano se introducía por el orificio situado en el centro de la piedra móvil y se le ponía en movimiento mediante una palanca clavada en la mitad de su radio. [23]



**Figura 1.5** Molienda manual

Fuente: V. P. d. Villareal, «Molinos y molinería,» España, 1888. [23]

Las muelas eran empleadas como herramienta principal en el molino manual giratorio. En la antigüedad, la división de estas piedras se denominaba soltera y otra volandera, la naturaleza de las mismas dependía de la finalidad del molino. Las formas de las piedras en su mayoría eran cilíndricas rebajadas, es decir en forma de disco, siendo la piedra soltera de base plana y la volandera cóncava con su cara inferior. [23]



**Figura 1.6** Piedras de molino segun Beguillet  
 Fuente: V. P. d. Villareal, «Molinos y molinería,» España, 1888. [23]

### 1.3.2 Desgranado del maíz

Las herramientas y prácticas del desgranado del maíz en la antigüedad fueron diversas. En América Latina se empleó la olotera, herramienta proveniente de México donde se desgrana el maíz de forma manual. Comprende un conjunto de garojos a cada lado formando un círculo regular de unos 30 o 40 cm de diámetro sujetados con alambres, pletinas metálicas y cañas trenzadas, para desgranar el maíz se agarra la mazorca con una mano y se restriega con fuerza sobre la superficie del olote. [24]



**Figura 1.7** Agricultor desgranando con la olotera  
 Fuente: M. d. nansa, «Maices del nansa,» 22 Febrero 2013. [En línea]. Available:  
<http://maicesdelnansa.blogspot.com/2013/02/las-oloter-as-utensilios-para-desgranar.html>. [Último acceso: 12  
 Marzo 2018]. [24]

El mayal, es una herramienta que se empleó en Europa, específicamente en Portugal, donde fue denominada malhada del milho. Está compuesta por un mango de madera largo atado a una maza corta y estrecha. La actividad consiste en golpear las mazorcas de maíz una vez puesto sobre las eras. [23]



**Figura 1.8** Agricultor desgranando con la olotera  
Fuente: V. P. d. Villareal, «Molinos y molinería,» España, 1888. [23]

#### 1.4 Equipos para Molienda

La molienda es una operación de reducción de tamaño de manera similar a la trituración, los productos obtenidos por molienda son más pequeños y de forma más regular que los surgidos de trituración. Durante la reducción del tamaño, las partículas del alimento se someten a un esfuerzo (por la aplicación de las fuerzas mecánicas) y se crea una tensión interna que provoca distorsión y deformación de las partículas. En la Tabla 1.2 se presenta una clasificación de equipos de molienda en función del tamaño del material requerido.

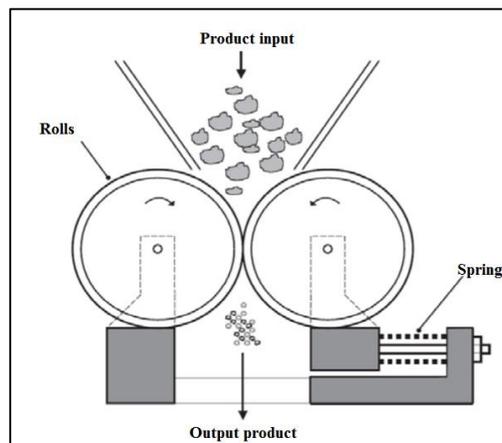
<i>Rango de reducción</i>	<i>Nombre genérico</i>	<i>Tipo de equipo</i>
<i>Grueso e intermedio</i>	<i>Molino de gruesos ‘Crushers’</i>	<i>Molino de Rodillos</i>
<i>Intermedio y fino</i>	<i>Molino de finos ‘Mills o Grinders’</i>	<i>Molino de Martillo</i> <i>Molino de Discos</i> <i>Molino de Rodillos</i>
<i>Fino y Ultra fino</i>	<i>Molinos de ultra finos ‘Ultra fine grinders’</i>	<i>Molino de Martillo</i> <i>Molino de Bolas</i>

**Tabla 1.2** Tipos de Molino según el tamaño del producto final  
Fuente: Elaboración Propia

### 1.4.1 Molino de rodillo

En este tipo de molino dos cilindros rotan en sentido contrario de manera que las partículas son atrapadas y sometidas a fuerzas de compresión que causan la reducción del tamaño. Puede definirse la distancia entre ambos rodillos, manipulando el resorte de alivio del equipo.

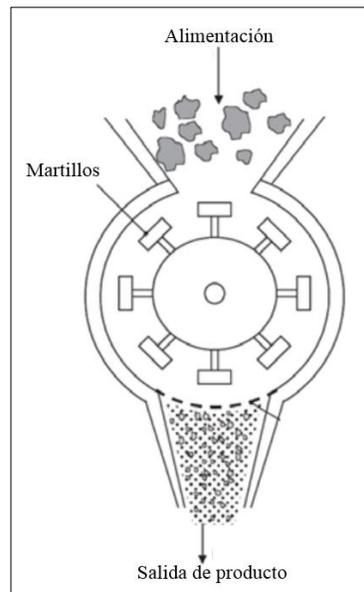
En su mayoría la superficie de los rodillos puede ser lisa, corrugada o puede tener dientes (disco dentado). Los molinos dentados no pueden moler sólidos muy duros. Los molinos de rodillos no poseen un tiempo de residencia característico, se denominan equipos de un solo paso. [25]



**Figura 1.9** Molino de Rodillo  
Fuente: FAM, "Roller mills," Magdeburg, 2018. [25]

### 1.4.2 Molino de martillos

Este tipo de molino es muy común en la industria alimentaria enfocada a los cereales. Es utilizado para reducir a granulometría mediante la rotación de un eje al que está endosado pequeños martillos encajados en una carcasa. El funcionamiento del molino de martillos inicia en la sección de entrada mediante un alimentador, el material se dirige hacia la zona de molienda, el cual consta de martillos formados usualmente por barras de acero que pasan a una determinada velocidad, triturando por el choque entre el material y los martillos. [26]

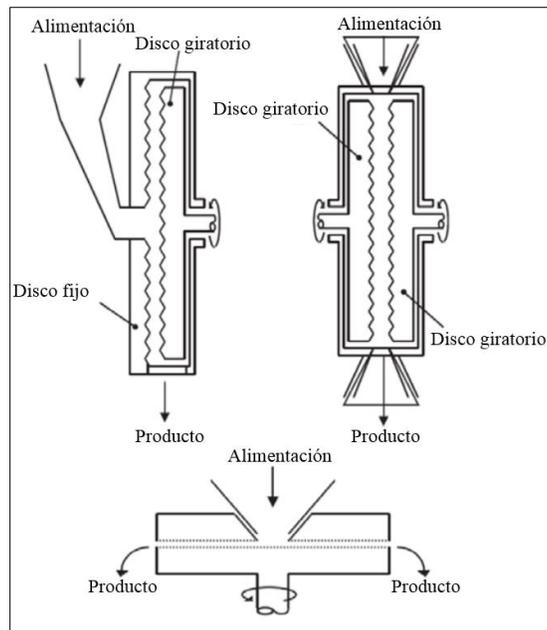


**Figura 1.10** Molino de Martillo  
Fuente: FAM, "Hammer mills," Magdeburg, 2018.[26]

### 1.4.3 Molino de discos

En los molinos de discos de atrición se utilizan fuerzas de corte para lograr la reducción de tamaño, principalmente para obtener partículas finas. En un molino de atrición doble, los discos rotan en direcciones opuestas, lo que facilita un intenso desgaste.

Por último, el molino tipo Burh es el molino de disco más antiguo, muy usado para la molienda de harina. El cual consiste en dos discos montados sobre un eje vertical, el disco de la parte superior se encuentra fijo, mientras el de abajo es móvil. [27]



**Figura 1.11** Molino de discos

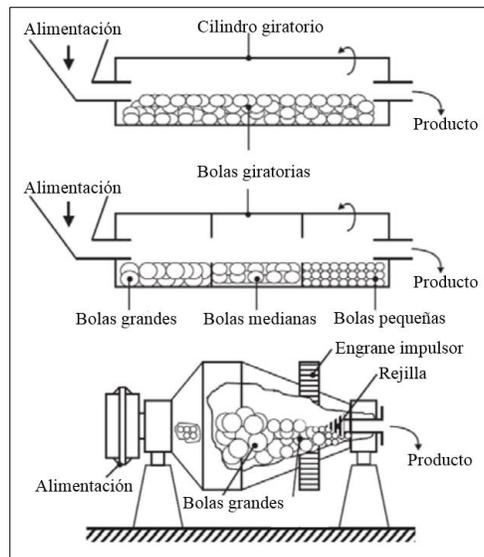
Fuente: A. L. and T. O., "Size reduction of solids crushing and grinding equipment," Chapman and Hall , New York, 1997 [27]

#### 1.4.4 Molino de tambores

Los molinos de tambores son muy usados en muchas industrias para lograr una molienda fina. Básicamente poseen un tambor cilíndrico horizontal que gira a baja velocidad, se encuentra parcialmente lleno de bolas o de barras. La carcasa está usualmente recubierta de una lámina de acero al carbono, porcelana o goma, mientras que las bolas son de acero o piedra. El movimiento produce que tanto el material a moler como las bolas o barras del equipo sean levantadas en las paredes del tambor producto de la rotación; la rotación y el impacto del material favorecen a la molienda.

Se pueden instalar baffles en el tambor, dividiendo el compartimiento del equipo donde se cargarán bolas de diferentes tamaños. Esta disposición permite entregar más energía en las zonas donde hay partículas de mayor tamaño.

El tambor cónico utiliza la segregación del material de una manera eficiente, al girar el tambor las bolas más grandes se trasladan hacia el punto de mayor diámetro, mientras que las pequeñas se trasladan hacia la salida del equipo. [27]



**Figura 1.12** Molino de tambor (flujo restante, molino compartimentado, molino cónico)

Fuente: A. L. and T. O., "Size reduction of solids crushing and grinding equipment," Chapman and Hall , New York, 1997. [27]

## 1.5 Tecnología existente

En América Latina el desarrollo de las máquinas molidoras de choclo no tuvo mayores avances que la implementación de un molino corona convencional. La empresa Landers empezó a fabricar en 1956 molinos para la producción del maíz, denominado años después “molino corona” el cual hoy en día es comercial en todo el mercado latinoamericano. El molino corona era fabricado de hierro gris y puso fin definitivo al pilón.

En el mercado peruano el molino corona tuvo mayor impacto en el sector agrario y doméstico, para realizar las actividades de procesamiento del choclo. Esta máquina está compuesta por una tolva baja alimentadora, la cual permite recibir los granos de choclo, para ser dirigido a través del tornillo sin fin hacia los discos de molienda. Estos discos están complementados por un ajuste en el disco fijo, el cual permite regular la distancia entre discos, el mecanismo de la máquina está impulsado a través de una manivela manual.



**Figura 1.13** Molino corona tradicional

Fuente: "Easy cencosud," cencosud, [Online]. Available: <https://www.easy.com.co/p/molino-tradicional-114200-granos/>. [Accessed 12 Febrero 2018]. [28]

Actualmente en China fabrican moledoras de cereal (maíz, trigo, cebada) compuestas por una pequeña tolva de alimentación, un disco en forma de cuchillas y una rejilla con cortes transversales. Esta máquina es comercializada en el Mercado sudamericano, específicamente en Venezuela y Chile a través de la empresa Imarca C.A.



**Figura 1.14** Máquina comercializada por la empresa Imarca C.A

Fuente: "Imarca C.A," Distribuidora Imarca , [Online]. Available: <http://www.imarca.com.ve/Molinos-de-carnes.php>. [Accessed 13 Febrero 2018]. [29]

En México, la empresa ARISA comercializa equipos para el sector agrícola, molinos para nixtamal y especias de mesa. Los molinos pueden moler maíz, arroz, cacao y especias y están compuestos por una tolva alimentadora de materia prima, seguida por un transportador sin fin y unos discos acoplados al mismo eje motriz. [30]



**Figura 1.15** Molino comercializado por la empresa Arisa

Fuente: "Arisa," Arisa maquinaria S.A, [Online]. Available: <http://www.arisa.com.mx/molinos.html>. [Accessed 22 Febrero 2018]. [30]

Por otro lado, Retsch es una empresa con sede principal en Alemania líder a nivel mundial en máquinas metalográficas. Esta empresa cuenta con el molino de discos DM200, el cual presenta un robusto diseño con alto grado de trituration, con un ajuste preciso de la abertura de salida. Actualmente este equipo cuenta con una aplicación de molienda preliminar y fina.



**Figura 1.16** Máquina fabricada por la empresa Retsch

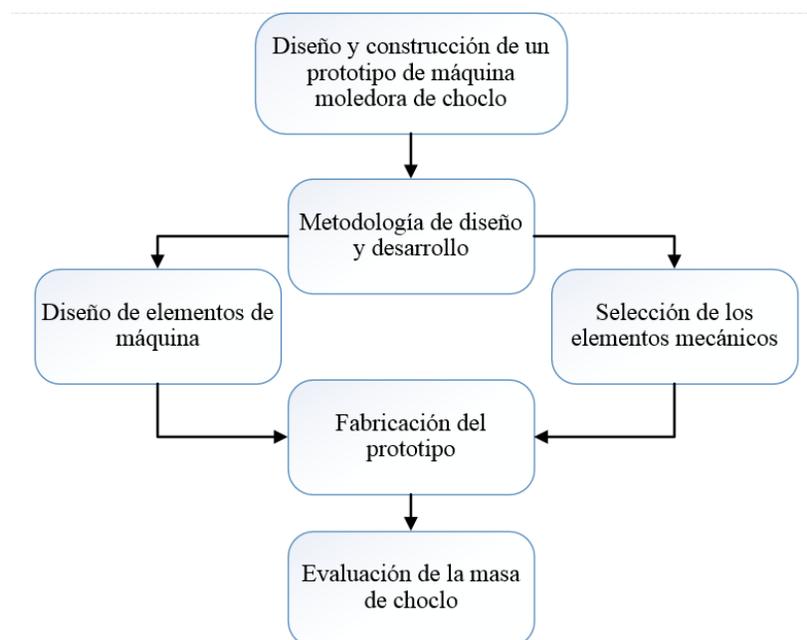
Fuente: Retsch, "Retsch milling sieving assisting," [Online]. Available: <https://www.retsch.es/es/>. [Accessed 13 Marzo 2018]. [31]

## CAPÍTULO II

# METODOLOGÍA

El presente capítulo detalla la metodología empleada para el diseño de la máquina moladora de choclo. Se tomó como referencia el libro “Diseño y Desarrollo del Producto” elaborado por Karl T. Ulrich y Steven Eppinger. Esta metodología está compuesta por seis etapas fundamentales: Planeación, desarrollo del concepto, diseño en el nivel del sistema, diseño a detalle, pruebas y refinamiento. [32]

Por otro lado, para el diseño de los elementos de máquina se empleó la metodología establecida en el libro “Diseño de Elementos de Máquinas” de Robert L. Mott. Asimismo, para la selección de los elementos de máquinas calculados se utilizaron catálogos comerciales del mercado nacional tales como Optibelt para la transmisión por fajas, SKF para los rodamientos, DMK para el motor eléctrico, Multi-Aceros para las planchas estructurales del diseño de la máquina. La estructura del trabajo de investigación consistió en los pasos que se presentan en la **Figura 2.1**, los mismos que se explican a detalle en los párrafos posteriores.



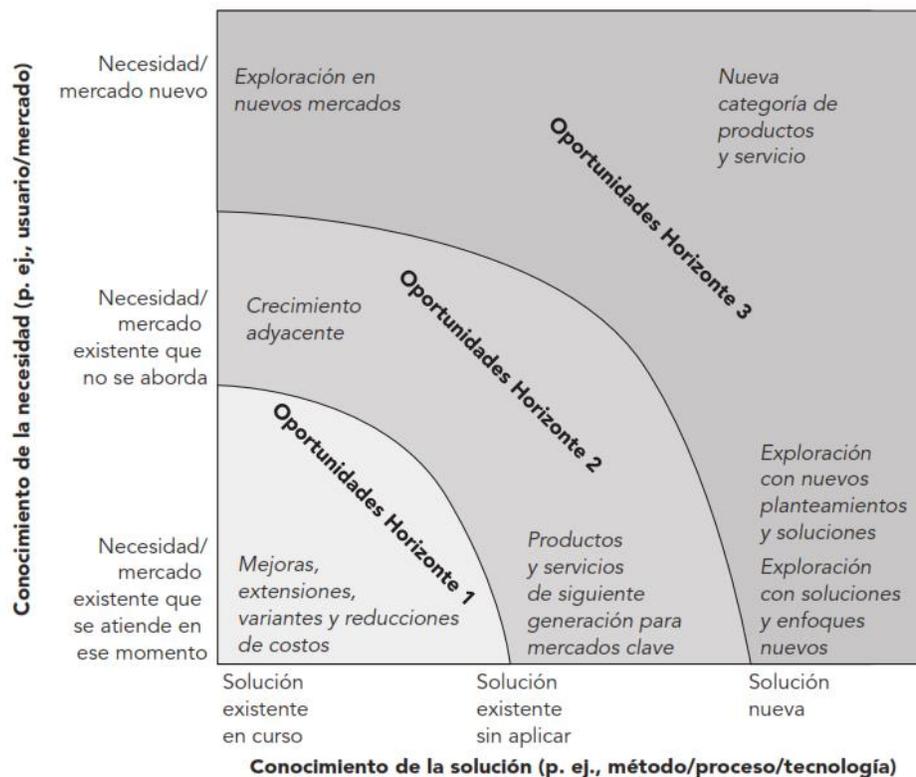
**Figura 2.1** Estructura del proyecto de tesis  
Fuente: Elaboración Propia

## 2.1 Metodología de diseño y desarrollo

Para el desarrollo conceptual de la máquina moladora de choclo se tomó como base la metodología elaborada por Karl T. Ulrich y Steven Eppinger.

### 2.1.1 Identificación de Oportunidades

El desarrollo de una nueva máquina moladora de choclo representa oportunidades basadas en la “Tecnología Existente”, porque se conoce una solución probable y también en “Conocimiento de Mercado”, porque se selecciona los clientes potenciales para la aplicación de la máquina moladora de choclo. Por ende según el contexto se seleccionó las oportunidades de horizonte, según la Figura 2.2.

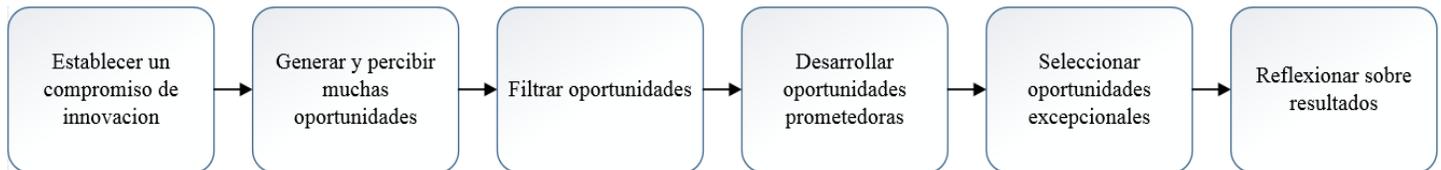


**Figura 2.2** Diagrama de identificación de oportunidades de horizonte

Fuente: K. T. Ulrich and S. D. Eppinger, Diseño y desarrollo de producto, Mexico D.F: McGraw Hill , 2009.

## Proceso de Identificación de Oportunidades

El proceso de identificación de oportunidades está dividido en los seis pasos siguientes:



**Figura 2.3** Proceso de identificación de oportunidades

Fuente: K. T. Ulrich and S. D. Eppinger, Diseño y desarrollo de producto, Mexico D.F: McGraw Hill , 2009.

[32]

## Establecimiento de un compromiso de innovación

El estatus de innovación articula la idea central del proyecto de tesis, “diseño y construcción de un prototipo de máquina moladora de choclo con capacidad de 25 kg/h” y el aporte de innovación el cual se enfocó en el diseño de los discos de la cámara de molienda.

## Generación de oportunidades

Para estimular la generación de oportunidades se aplicaron cinco técnicas:

1. Implicación de tendencias: Se identificaron los avances de tecnologías empleadas al sector de maquinaria agrícola. [Ver Figura 2.4]
2. Elaboración de lista de fallas: Se elaboró la lista de fallas en base a los equipos empleados por los productores de choclo del distrito de Matahuasi, con el objetivo de conocer las oportunidades de mejora. [ Ver Anexo 2]
3. Estudio de clientes: Para el diseño propuesto de la máquina moladora de choclo, se entrevistó a los productores de choclo del distrito de Matahuasi, Provincia de Concepción del Departamento de Junín. Por ende, se enlista la función principal de la máquina moladora de choclo y los requerimientos de los productores (Ver Anexo 3).

4. Imitación de Mercadotecnia: Los avances y desarrollos de las empresas competitivas ayudan a generar otras posibles soluciones desde una referencia establecida, por ello para la presente tesis se tomó como referencia los fabricantes de molino a nivel mundial ubicados en Alemania, China y México, los mismos que se presentan en la Figura 2.4.
5. Oportunidad de las capacidades: El diseño tomó en cuenta los siguientes factores:
  - a) ‘Valioso’, ¿Cuál es la diferencia entre este prototipo de máquina moledora de choclo a otras máquinas molidoras diseñadas y fabricadas? se enlistaron las oportunidades de la máquina (ver Anexo 4).
  - b) ‘Raro’, se enlistaron las características que otras máquinas molidoras no podrán realizar. Por ejemplo, en el prototipo propuesto, la trituration completa de la cáscara del grano de choclo es un punto particular, para muchos fabricantes el problema es la trituration de la cáscara superficial del grano, la cual comprende temas de diseño geométrico de los discos de molienda.
  - c) ‘Inimitable’, se enlistaron las oportunidades únicas e inimitables para conservar el valor y la particularidad. La parte geométrica de los discos de molienda fueron el recurso más importante para el funcionamiento de la máquina.
  - d) ‘Insustituible’, se enlistaron oportunidades insustituibles. Los discos de molienda constituyen el elemento principal en la máquina moledora y son insustituibles, debido a la estructura geométrica que presentan y su alto costo de fabricación.

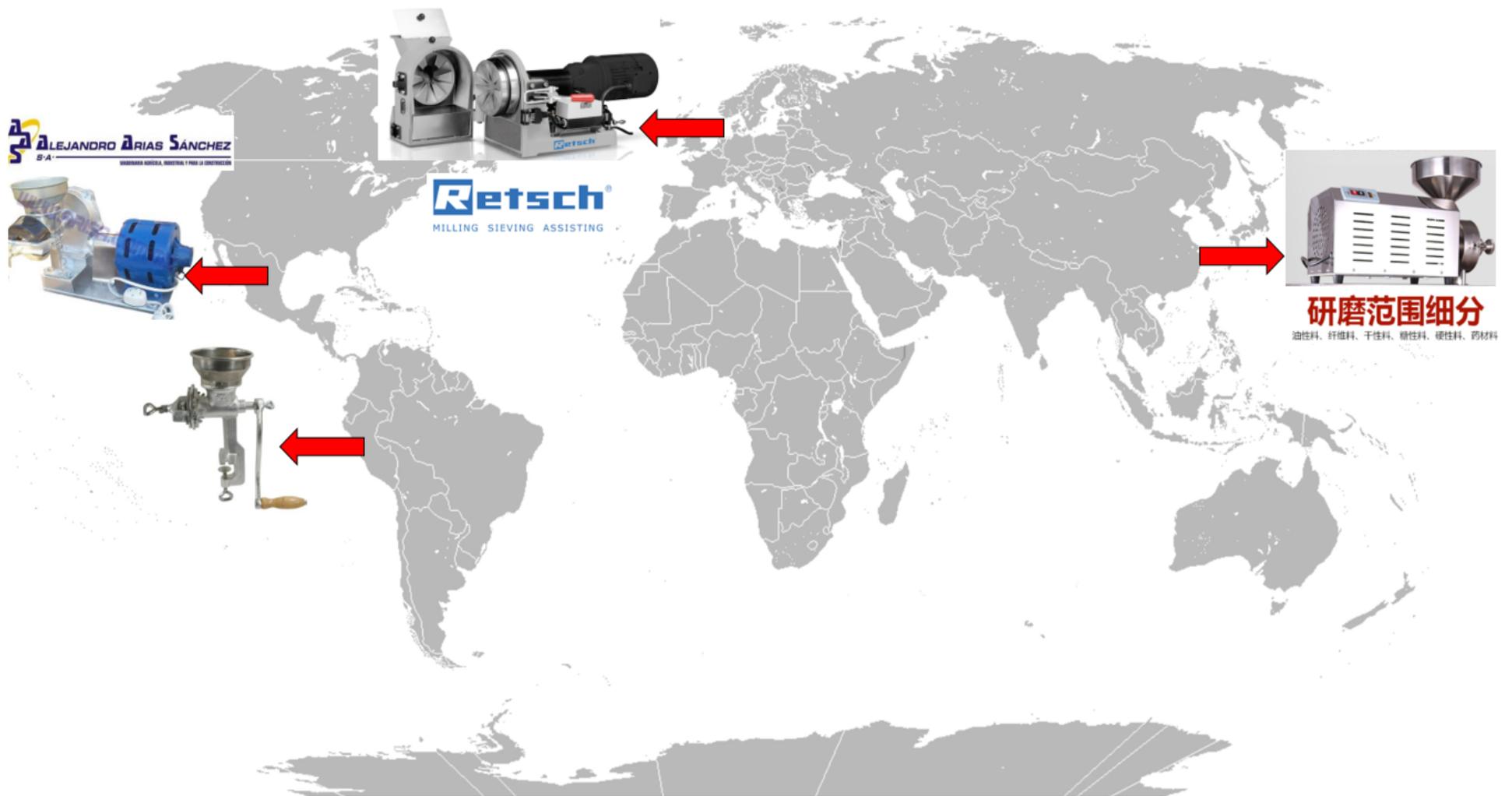
Después de generar y percibir todas las oportunidades posibles, los siguientes pasos corresponden a filtrar y reducir las oportunidades generadas, con la finalidad de establecer los verdaderos requerimientos para el presente trabajo de tesis. Para ello se realizaron los siguientes pasos:

### **Filtrar oportunidades**

Se rechazaron las oportunidades con poca probabilidad de creación de valor, centrando la atención en las que merezcan más investigación (Ver Anexos 5).

### **Desarrollo de oportunidades prometedoras**

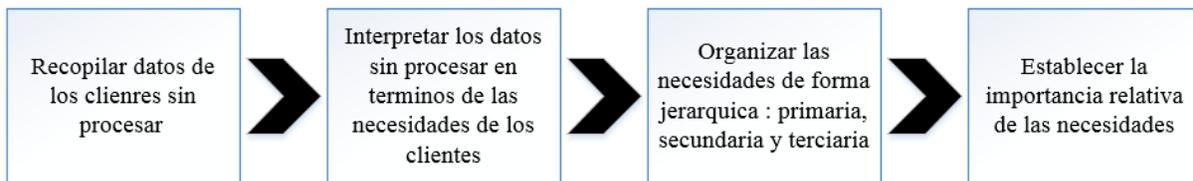
Se investigaron las oportunidades filtradas en base a costos, alcance, investigación de mercado, tecnología existente (Ver Anexo 6).



**Figura 2.4** Fabricantes de molinos a nivel mundial  
Fuente: Elaboración propia

### 2.1.2 Identificación de las necesidades

Para la identificación de las necesidades de los clientes de la máquina moladora de choclo, se realizaron los siguientes pasos: Recopilación de datos de los productores de choclo, interpretación de los datos sin procesar, para luego organizar las necesidades recopiladas de forma jerárquica y finalmente establecer la importancia relativa de las necesidades. [32]



#### Recopilación de datos de los clientes sin procesar

Esta recopilación se dio siguiendo los siguientes pasos:

**Selección de Clientes:** Las necesidades se pueden identificar de manera más eficiente al entrevistar a usuarios líderes y/o usuarios extremos. Los usuarios líderes son los que presentan necesidades con meses o años antes que la mayor parte del mercado. Para el presente trabajo de investigación, los usuarios líderes son los productores de choclo del distrito de Matahuasi que están esperando por mucho tiempo una herramienta o equipo que ayude a moler el choclo de forma rápida. [32]

Los usuarios son los grupos de agricultores y productores de choclo que presentan necesidades básicas como el empleo de herramientas para la producción de sus cultivos. Los minoristas o punto de venta, son los pequeños productores de choclo que podrían adquirir el proyecto como prueba inicial del equipo y así poder ayudar a expandir su negocio. Los centros de venta o servicios, son los productores de choclo que tienen un centro de servicio o venta de sus cultivos y desean darles el valor agregado a sus productos a través de la máquina, por ende, conciernen al proyecto de forma masiva.

Se utilizó una matriz de selección de clientes para planear la exploración de mercado, con estas consideraciones, se estableció un puntaje específico de acuerdo al nivel de relevancia para los tres segmentos de mercado.

	<i>Usuarios Líderes</i>	<i>Usuarios</i>	<i>Minoritas o Punto de venta</i>	<i>Centro de servicio</i>
<i>Empresas productivas del maíz (Masivos y de producción)</i>				
<i>Productores de choclo (Grupales / Comunidades / Distritales)</i>				
<i>Persona común (Personales / Familiares )</i>				

<b>5 : Relevancia Alta</b>	<b>3: Relevante</b>	<b>1: Sin Relevancia</b>
----------------------------	---------------------	--------------------------

**Tabla 2.1** Formato de diagrama matricial de selección de clientes

Fuente: Elaboración Propia

Documentos de la interacción con los clientes: Se entrevistó a cinco principales productores de choclo del distrito de Matahuasi, Provincia de Concepción. En la Tabla 2.2 se muestra el formato de las entrevistas ejecutadas el 12 de agosto del 2017.

<i>Cliente</i>	<i>Liborio Flores Macedo</i>	<i>Entrevistador</i>	<i>Joel Nicolas Guizado Díaz</i>
<i>Dirección</i>	<i>Jr. Amazonas , Referencia Rio Mantaro</i>	<i>Fecha</i>	<i>12 de Agosto,2017</i>
<i>Teléfono</i>		<i>Actualmente usa</i>	<i>Molino Corona</i>
<b><i>Pregunta / Sugerencia</i></b>	<b><i>Enuncia del cliente</i></b>		<b><i>Necesidad Interpretada</i></b>
<i>¿Qué herramienta usa para moler el choclo?</i>			
<i>¿Le gusta la herramienta actual?</i>			
<i>Mejoras Sugeridas</i>			

**Tabla 2.2** Formato de la entrevista a un productor de choclo del Distrito de Matahuasi

Fuente: Elaboración Propia

### Interpretación de los datos sin procesar

Después de obtener las necesidades reales de los productores de choclo, se interpretó la información mediante el formato de la Tabla 2.3 a través de directrices, esta interpretación ayudo a determinar la expresión de necesidad en base a lo que el diseño requería.

<i>Directriz</i>	<i>Frase del Cliente</i>	<i>Enunciado de necesidad (correcta )</i>
<i>"Qué" y no "cómo"</i>		
<i>Especificidad</i>		
<i>Atributo del producto</i>		
<i>Evitar " debería" y " debe"</i>		

**Tabla 2.3** Formato de información filtrada por directriz  
Fuente: Elaboración propia

### Organización de las necesidades de forma jerárquica

Las necesidades por parte de los productores de choclo se organizaron de forma jerárquica con el formato que muestra la Tabla 2.4, para ello se dividieron las necesidades principales en primarias (\*), secundarias (\*\*) y terciarias (\*\*\*)).

<i>La máquina moledora de choclo cuenta con sistema mecánico para moler los granos limpiamente</i>		<i>La máquina moledora está diseñada para trabajar por largas jornadas laborales</i>	
*		*	
**		**	
***		***	
<i>La máquina moledora de choclo es fácil de operar</i>		<i>La máquina moledora de choclo es cómoda para el usuario</i>	
*		*	
**		**	
***		***	

**Tabla 2.4** Formato de jerarquización de necesidades  
Fuente: Elaboración propia

## Establecimiento de la importancia relativa de las necesidades

En esta etapa se realizó una valoración numérica de la importancia de las necesidades, relacionándolas en base a los elementos que estructuran la máquina moladora de choclo.

El motor eléctrico, sistema de transmisión, discos de molienda y eje motriz son los componentes principales de la máquina moladora de choclo. A estos elementos se les asignó de forma numérica el siguiente grado de impacto: “5” para impactos de importancia alta, “3” para impactos de importancia media, “1” para impactos sin importancia.

<i>Número</i>	<i>Elemento</i>	<i>Necesidad</i>	<i>Impacto</i>
1	Discos de molienda	Presenta una geometría para moler granos de choclo	
2	Discos de molienda	Permite regulación entre discos	
3	Discos de molienda	Tiene una tuerca de ajuste	
4	Discos de molienda	Están fabricación de acero inoxidable	
5	Discos de molienda	Es de fácil desmontaje	
6	Discos de molienda	Es de un material pesado	
7	Discos de molienda	No contaminan los granos de choclo	
8	Discos de molienda	Están fabricación de acero inoxidable	

**Tabla 2.5** Importancia de necesidades de los discos de molienda  
Fuente: Elaboración propia

<i>Número</i>	<i>Elemento</i>	<i>Necesidad</i>	<i>Impacto</i>
9	Sistema de transmisión	No presenta grandes pérdidas de rozamiento o fricción	
10	Sistema de transmisión	No tiene un peso elevado	
11	Sistema de transmisión	Los elementos mecánicos están totalmente asegurados por sujetadores	
12	Sistema de transmisión	Es de fácil desmontaje	
13	Sistema de transmisión	No contaminan los granos de choclo	
14	Sistema de transmisión	Su mantenimiento es rápido y fácil	
15	Sistema de transmisión	No producen exceso de fuerza al eje motriz	

**Tabla 2.6** Importancia de necesidades del sistema de transmisión  
Fuente: Elaboración propia

<i>Número</i>	<i>Elemento</i>	<i>Necesidad</i>	<i>Impacto</i>
16	<i>Motor eléctrico</i>	<i>Tiene una conexión monofásica</i>	
17	<i>Motor eléctrico</i>	<i>Tiene un sistema para regular la velocidad</i>	
18	<i>Motor eléctrico</i>	<i>Tiene un sistema de parada de emergencia</i>	
19	<i>Motor eléctrico</i>	<i>Compensa el peso de la máquina</i>	
20	<i>Motor eléctrica</i>	<i>No es muy pesado</i>	
21	<i>Motor eléctrica</i>	<i>Es fácil de desmontar de la máquina</i>	

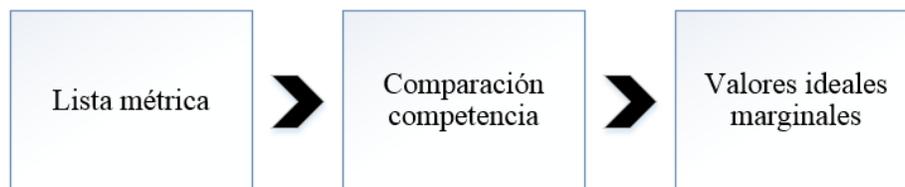
**Tabla 2.7** Importancia de necesidades del motor eléctrica en la máquina  
Fuente: Elaboración propia

<i>Número</i>	<i>Elemento</i>	<i>Necesidad</i>	<i>Impacto</i>
22	<i>Sistema general</i>	<i>Se tiene las dimensiones del eje motriz</i>	
23	<i>Sistema general</i>	<i>Se sabe la geometría de las cuchillas de corte</i>	
24	<i>Sistema general</i>	<i>Tiene un sistema de control</i>	
25	<i>Sistema general</i>	<i>Presenta dos sistemas de corte en serie</i>	
26	<i>Sistema general</i>	<i>Es totalmente desmontable</i>	
27	<i>Sistema general</i>	<i>Es de fácil mantenimiento y recambio de piezas</i>	

**Tabla 2.8** Importancia de necesidades del sistema en general de la máquina moladora  
Fuente: Elaboración propia

### 2.1.3 Especificaciones Objetivo

Se establecieron las especificaciones objetivo en base a tres pasos: elaboración de la lista métrica, comparaciones con la competencia, valores ideales y marginales. En los siguientes párrafos se describe cada paso.



**Figura 2.5** Diagrama para establecer las especificaciones objetivo  
Fuente: Elaboración propia

### 2.1.4 Lista Métrica

Se elaboró una lista con las especificaciones de la máquina moladora de choclo por parte de los productores de choclo del distrito de Matahuasi, con el objetivo de que la máquina satisfaga todas las necesidades del cliente.

### 2.1.5 Comparación con la competencia

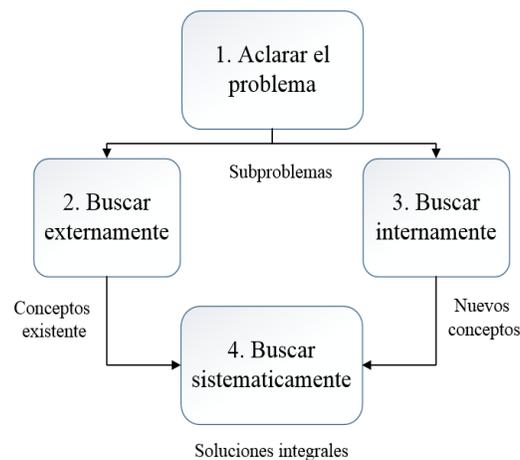
Se desarrolló una tabla de comparación de otros molinos de choclo provenientes de fabricantes y proyectos de investigación. La tabla se enlistó en base a la lista métrica desarrollada y las necesidades de los usuarios.

### 2.1.6 Valores ideales y marginales

Los valores ideales fueron registrados como los mejores resultados posibles que se puede esperar del equipo. Sin embargo, también se registró el valor marginal aceptable que apenas haría viable el equipo desde el punto de vista comercial.

### 2.1.7 Generación de Conceptos

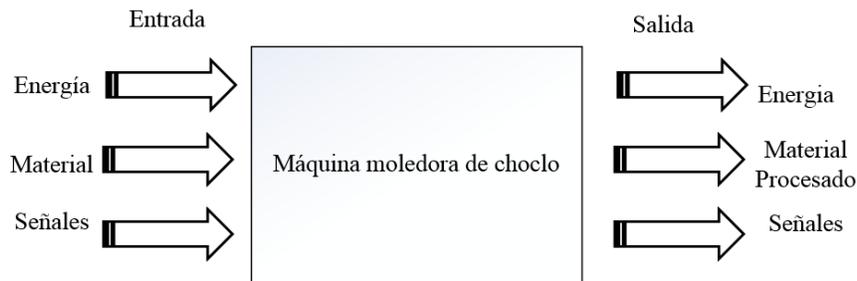
Para poder generar el concepto solución, se realizaron los siguientes pasos: Aclarar el problema, buscar externamente soluciones existentes para moler granos de choclo, buscar internamente nuevos conceptos y buscar de forma sistemática todas las soluciones posibles.



**Figura 2.6** Método de generación de conceptos  
Fuente: Elaboración Propia

## Aclaración del problema

El primer paso que se realizó para aclarar el problema fue descomponerlo a través de una caja negra de flujo del material, energía y señales, conforme al siguiente diagrama.



**Figura 2.7** Caja negra  
Fuente: Elaboración propia

## Búsqueda externa

Se realizó la búsqueda externa de las soluciones existentes al problema general. Las herramientas empleadas en este proyecto de tesis fueron la búsqueda de patentes y entrevistas a los productores de choclo de los distritos de Mito y Matahuasi.

## Búsqueda interna

Este paso corresponde a la búsqueda de las ideas de los productores de choclo, también llamado “lluvia de ideas”, por lo cual se realizó la identificación de las oportunidades y necesidades (ver Anexo 4).

## Exploración sistemática

Este paso corresponde a la búsqueda sistemática de todas las posibles combinaciones asociadas a la estructura de funciones que componen la máquina moledora de choclo.

### 2.1.8 Selección del Concepto

Se seleccionó el concepto a través de seis criterios que fueron desarrollados en base a las necesidades de los productores de choclo. En la que se muestra el formato para la selección del concepto el cual contiene los siguientes criterios.

- Facilidad de operación
- Facilidad de mantenimiento
- Facilidad de montaje y desmontaje
- Facilidad de fabricación
- Facilidad de transmisión de energía
- Portabilidad

Para los conceptos seleccionados se realizó una matriz de evaluación con calificaciones del 1 al 3, para diferentes criterios de selección, donde 1 es “poco importante”, 2 “importante” y 3 “importancia alta”. En la

Tabla *2.10* se muestra el formato de la matriz.

<i><b>Crterios de Selección</b></i>	<i><b>Conceptos Solución</b></i>			
	A MMC1	B MMC2	C MMC3	D MMC4
<i><b>Fácil Operación</b></i>				
<i>Estructura y mecanismo ergonómicamente viable</i>				
<i>Estructura segura</i>				
<i><b>Fácil Mantenimiento</b></i>				
<i>Repuestos comerciales y fácil de fabricar</i>				
<i>Repuestos baratos</i>				
<i>Dimensiones pequeñas de las partes del equipo</i>				
<i><b>Fácil Desmontaje</b></i>				
<i>Piezas pequeñas y ligeras</i>				
<i>Piezas en su mayoría con elementos de ajuste</i>				
<i><b>Facilidad de Fabricación</b></i>				
<i><b>Facilidad de Transmisión de energía</b></i>				
<i><b>Impulsado por un motor eléctrico</b></i>				
<i><b>Portabilidad</b></i>				
<i>Suma +</i>				
<i>Suma 0</i>				
<i>Suma -</i>				
<i>Evaluación neta</i>				
<i>Continua</i>				

**Tabla 2.9** Formato de matriz de evaluación de conceptos solución  
Fuente: Elaboración propia

<i>Criterios de Selección</i>		<i>Conceptos seleccionados</i>			
		<b>MMC 3</b>		<b>MMC 4</b>	
		<i>Calificación</i>	<i>Evaluación Ponderada</i>	<i>Calificación</i>	<i>Evaluación Ponderada</i>
<b><i>Fácil Operación</i></b>	25%				
<i>Estructura y mecanismo ergonómicamente viable</i>					
<i>Estructura segura</i>					
<b><i>Fácil Mantenimiento</i></b>	15%				
<i>Repuestos comerciales y fácil de fabricar</i>					
<i>Repuestos baratos</i>					
<i>Dimensiones pequeñas de las partes del equipo</i>					
<b><i>Fácil Desmontaje</i></b>	20%				
<i>Piezas pequeñas y ligeras</i>					
<i>Piezas en su mayoría con elementos de ajuste</i>					
<b><i>Facilidad de Fabricación</i></b>	10%				
<b><i>Facilidad de Transmisión de energía</i></b>	15%				
<b><i>Impulsado por un motor eléctrico</i></b>	10%				
<b><i>Portabilidad</i></b>	5%				
<i>Total de Puntos</i>	100%				
<i>Continúa</i>		<b>SI</b>		<b>NO</b>	

**Tabla 2.10** Formato matriz de evaluación de conceptos ponderado  
Fuente: Elaboración propia

### 2.1.9 Especificaciones Iniciales

Las especificaciones iniciales para el diseño y construcción de la máquina moledora de choclo se obtuvieron a partir de las necesidades y los requerimientos de los productores de choclo del distrito de Matahuasi, mientras que los costos de fabricación de cada uno de los elementos del prototipo se obtuvieron de las cotizaciones iniciales de tres empresas privadas de Lima.

## 2.2 Diseño de los elementos de máquina

### 2.2.1 Determinación de los requerimientos

#### Tamaño del choclo

Las medidas de longitud, ancho y espesor del choclo fueron realizadas con un calibrador vernier digital en una muestra de 40 mazorcas de choclos. El diámetro promedio aritmético y geométrico fue obtenido a partir de las siguientes fórmulas. [33]

$$D_a = \frac{x + y + z}{3}$$

$$D_g = (x \cdot y \cdot z)^{1/3}$$

**Ecuación 1** . Diámetro promedio aritmético y geométrico

Dónde: x, y, z corresponden a las dimensiones del choclo.

#### Esfuerzo de Corte

El valor del esfuerzo real de corte fue determinado de una muestra de 40 mazorcas de choclos, esta medición se realizó con un equipo de ensayo de corte. El esfuerzo fue medido en la sección menor del choclo.

$$\tau_c = \frac{F_c}{A}$$

**Ecuación 2** . Fórmula del esfuerzo cortante

Donde,  $\tau_c$  es el esfuerzo de corte,  $F_c$  es la fuerza de corte y A es la sección del grano de choclo.

### **Densidad**

Para la medición de densidad se tomó una muestra de 40 mazorcas de choclos, para lo cual se pesó en gramos en una balanza digital de tres cifras sexagesimales. Asimismo, el volumen fue calculado en base a las mediciones de las dimensiones tomadas anteriormente y asumiendo el grano de choclo como un cilindro de sección elipsoidal.

$$\rho = \frac{m}{v}$$

**Ecuación 3.** Fórmula de densidad

$$v = z. (y. x. n)$$

**Ecuación 4.** Fórmula de densidad geométrica

De la Ecuación 4, z es la altura, x e y son las dimensiones de ancho y largo del grano de choclo.

### **2.2.2 Estimación de la potencia consumida**

La estimación de la potencia consumida se dividió en tres partes, la potencia consumida en el tornillo transportador, en las cuchillas y en la cámara de molienda. Sumando el resultado de las tres potencias ese obtuvo la potencia consumida por el sistema. Para efectos de cálculos y diseño, se consideró al grano de choclo como una esfera.

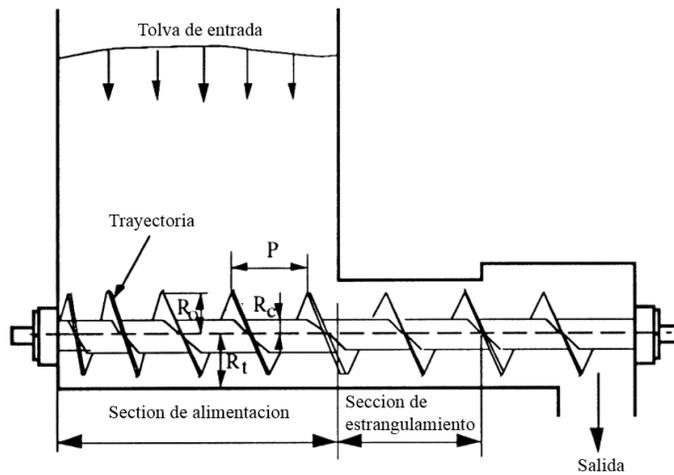
#### **Potencia consumida en el extrusor**

El primer mecanismo de la máquina moladora de choclo es el extrusor que cumple la función de empujar y dirigir los granos de choclo con presión hacia las cuchillas de corte y posteriormente a la cámara de molienda. Para el cálculo de la potencia consumida en el extrusor se tomó como referencia “*Theoretical modelling of torque requirements for single screw feeders*” desarrollado por la Universidad de Wollongong en Australia [34]

Para el diseño del extrusor, el torque requerido es un parámetro importante que está relacionado con la carga a transportar, propiedades del material a granel y la geometría.

### Carga del transportador

En la Figura 2.8 se muestra una forma convencional de una tolva con un tornillo alimentador. La carga que se ejerce sobre un tornillo alimentador por parte del material a granel es variable. Existen dos condiciones principales de carga: condición de llenado inicial, cuando la tolva se llena desde el estado vacío y la condición de flujo cuando se ha producido la descarga.



**Figura 2.8** Forma convencional de una tolva con un tornillo alimentador

Fuente: Y.Yu and P. U. o. W. Arnold, "Theoretical modelling of torque requirements for single screw feeders," *Powder Tecnology*, vol. 1, p. 12, 1997. [34]

La carga de alimentación “ $Q$ ” que actúa en la salida de la tolva está dada por la siguiente ecuación. [35]

$$Q = q\gamma L^{1-m} B^{m+2}$$

#### **Ecuación 5.** Fórmula de carga de alimentación

Fuente: A. Reisner and M. E. Rothe, "Bins and bunkers for handling bulk materials," Tech Publications, Clausthal Zellerfeld, 1971 [35]

De la Ecuación 5, la variable “ $q$ ” es un factor de recarga, “ $m$ ” es un factor de forma de tolvas, se emplea el “ $m=1$ ” para una tolva cónica y “ $m=0$ ” para una tolva en forma de cuña. Las cargas de flujo en los alimentadores del tornillo se determinaron en base al esfuerzo.

El factor de recarga de flujo no dimensional se expresa en la siguiente ecuación.

$$q_{f\sigma_1} = \left(\frac{\pi}{4}\right)^m \frac{Y(1 + \sin\delta)}{2(X - 1) \sin \alpha}$$

**Ecuación 6** . Fórmula del factor de recarga de flujo no dimensional [34]

Fuente: Y.Yu and P. U. o. W. Arnold, "Theoretical modelling of torque requirements for single screw feeders," *Powder Tecnology*, vol. 1, p. 12, 1997

Donde  $\beta$ , se calculó con la siguiente expresión

$$\beta = \frac{1}{2} \left[ \phi_n + \sin^{-1} \left( \frac{\sin \phi_n}{\sin \delta} \right) \right]$$

$$X = \frac{2^m \sin \delta}{1 - \sin \delta} \left[ \frac{\sin (2\beta + \alpha)}{\sin \alpha} + 1 \right]$$

$$Y = \left[ \{2[1 - \cos(\beta + \alpha)]\}^m (\beta + \alpha)^{1-m} \sin \alpha + \sin \beta \sin^{1+m}(\beta + \alpha) \right] \cdot [(1 - \sin \delta) \sin^{2+m}(\beta + \alpha)^{-1}]$$

Se asumió que la carga del tornillo alimentador se distribuye de forma uniforme en la salida de la tolva. El esfuerzo resultante se obtuvo de la siguiente expresión.

$$\sigma_o = \frac{Q}{LB} = q_{f\sigma_1} \gamma B$$

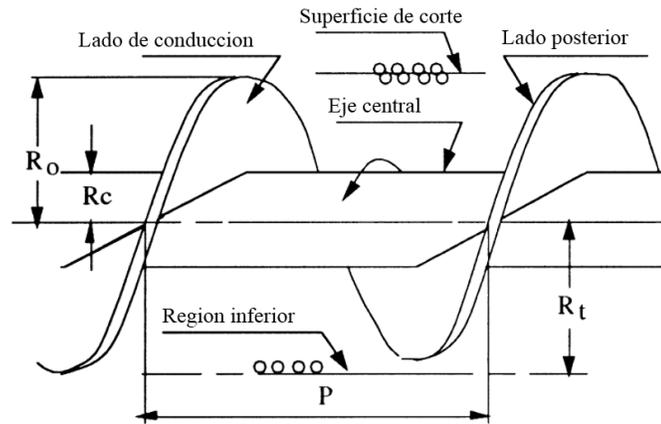
**Ecuación 7**. Esfuerzo resultante

Fuente: Y.Yu and P. U. o. W. Arnold, "Theoretical modelling of torque requirements for single screw feeders," *Powder Tecnology*, vol. 1, p. 12, 1997 [34]

Donde, “ $L$ ” corresponde a la distancia de alimentación en el extrusor, “ $B$ ” corresponde al ancho de la tolva de entrada al extrusor.

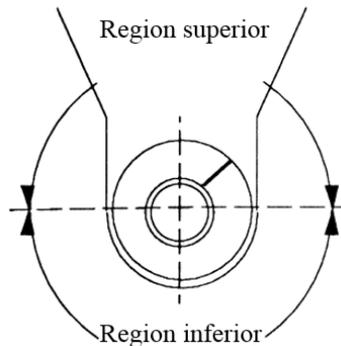
## Presión del material en las superficies

Para el cálculo del material en las superficies, se tomaron en cuenta dos regiones del tornillo transportador, que soportan presión del material a granel. En la región superior existe una superficie de corte entre el material, la cual rodea el tornillo y el material propulsado por el tornillo, en la región inferior el material se mueve en un espacio limitado que comprende superficies rígidas del tornillo y la cámara del tornillo, como se muestra en la Figura 2.10.



**Figura 2.9** Superficie en contacto entre el material y el tornillo transportador

Fuente: Y.Yu and P. U. o. W. Arnold, "Theoretical modelling of torque requirements for single screw feeders," *Powder Technology*, vol. 1, p. 12, 1997 [34]

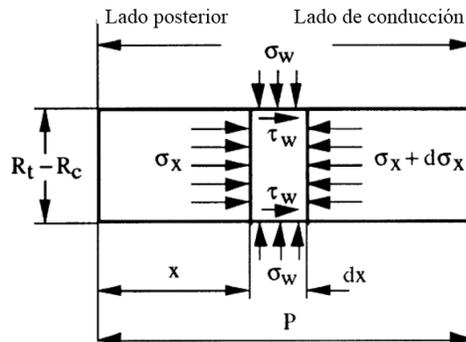


**Figura 2.10** Región superior e inferior en la cámara del tornillo transportador

Fuente: Y.Yu and P. U. o. W. Arnold, "Theoretical modelling of torque requirements for single screw feeders," *Powder Technology*, vol. 1, p. 12, 1997[34]

## Distribución de presión del material en la región inferior

Para la determinación de la distribución de la presión del material en la región inferior, se consideró la sección transversal del material en dicha región, como se muestra en la Figura 2.11. El límite del material en esta región se compone de cuatro lados: Lado de accionamiento del tornillo, lado posterior, superficie interior del tornillo y superficie del eje. Se asumió que este límite es de forma rectangular y de espesor unitario, teniendo en cuenta las fuerzas que actúan sobre el material no se considera la fuerza de gravedad, debido a que la velocidad de rotación es relativamente baja y por ende los efectos centrífugos también se consideran insignificantes.



**Figura 2.11** Esfuerzos en un elemento de la región inferior del tornillo

Fuente: Y.Yu and P. U. o. W. Arnold, "Theoretical modelling of torque requirements for single screw feeders," *Powder Tecnology*, vol. 1, p. 12, 1997[34]

El esfuerzo  $\sigma_w$ , es la presión normal que actúa perpendicularmente a la pared del canal y al eje central, mientras que el esfuerzo de compresión axial se denota como  $\sigma_x$ . La relación entre ambos esfuerzos se conoce como la relación de esfuerzo del material a granel que se desliza sobre las superficies de confinamiento, es decir las superficies del canal del tornillo y el eje central:

$$\lambda_s = \frac{\sigma_w}{\sigma_x}$$

Esta relación se obtuvo mediante la siguiente expresión general.

$$\lambda_s = \frac{\sigma_w}{\sigma_x} = \frac{1}{1 + 2\mu_d^2 + 2[(1 + \mu_d^2)(\mu_d^2 - \mu_w^2)]^{\frac{1}{2}}}$$

**Ecuación 8.** Relación de esfuerzos

Fuente: Y.Yu and P. U. o. W. Arnold, "Theoretical modelling of torque requirements for single screw feeders," *Powder Technology*, vol. 1, p. 12, 1997[34]

Donde,  $\mu_d$  es el ángulo efectivo de fricción interna del material a granel,  $\mu_w$  es el coeficiente de fricción entre el material a granel y una superficie de confinamiento.

Cuando un sólido a granel en movimiento alcanza un estado estable, existe un equilibrio entre la fuerza motriz y la fuerza resistente. Asumiendo que el esfuerzo axial y radial son funciones de "x", como se muestra en la Figura 2.11, el balance de fuerzas que actúan sobre el elemento de longitud  $d_x$  se puede expresar como la siguiente expresión:

$$\frac{2\mu_w\lambda_s}{R_t - R_c}\sigma_x - \frac{d\sigma_x}{dx} = 0$$

**Ecuación 9.** Equilibrio de fuerzas sobre el elemento de longitud dx

Donde, las variables de la Ecuación 9 se definen de la siguiente manera.

$R_t$	<i>Radio interior del canal</i>
$R_c$	<i>Radio del eje motriz</i>
$\sigma_x$	<i>Esfuerzo axial</i>
$\lambda_s$	<i>Relación de esfuerzo del deslizamiento del material a granel en la superficie</i>
$\mu_w$	<i>Coeficiente de fricción del material a granel y la superficie de confinamiento</i>
$c_1$	<i>Constante de integración</i>
$\sigma_o$	<i>Esfuerzo ejercido por el material en la tolva</i>

Una solución para la Ecuación 9 es:

$$\sigma_x = c_1 \exp\left(\frac{2\mu_w\lambda_s}{R_t - R_c} x\right)$$

Donde,  $c_1$  es una constante de integración, c se determina al hacer la siguiente suposición simplificadora con respecto a la condición de frontera.

$$\sigma_x = \sigma_o \quad x = 0$$

$\sigma_o$  es el esfuerzo ejercido sobre el tornillo alimentador por el material a granel en una tolva. La solución a la Ecuación 9 puede ser expresada como:

$$\sigma_x = \sigma_o \exp\left(\frac{2\mu_w \lambda_s}{R_t - R_c} x\right)$$

**Ecuación 10.** Esfuerzo axial expresado en término del esfuerzo ejercido sobre el tornillo

Para simplificar el cálculo se introdujo un esfuerzo radial promedio a lo largo de un paso del tornillo alimentador.

$$\sigma_{wa} = \frac{\lambda_s}{P} \int_0^P \sigma_x dx$$

**Ecuación 11.** Esfuerzo radial promedio

Fuente: Y.Yu and P. U. o. W. Arnold, "Theoretical modelling of torque requirements for single screw feeders," *Powder Technology*, vol. 1, p. 12, 1997[34]

Sustituyendo  $\sigma_x$  de la Ecuación 10, el esfuerzo radial promedio se derivó de la siguiente expresión:

$$\sigma_{wa} = \sigma_o \frac{R_t - R_c}{2\mu_w P} \left[ \exp\left(\frac{2\mu_w \lambda_s P}{R_t - R_c}\right) - 1 \right]$$

**Ecuación 12.** Esfuerzo radial promedio en función del esfuerzo ejercido por el material a granel  
Fuente: [34]

Para simplificar la ecuación, se introdujeron parámetros no dimensionales:

$$c_d = \frac{d}{D} = \frac{R_c}{R_o}$$

$$c_p = \frac{P}{D}$$

$$c_t = \frac{(D + 2c)}{D} = \frac{2R_t}{D}$$

De la Ecuación 12 , puede ser expresado como:

$$\sigma_{wa} = \sigma_o \frac{c_t - c_d}{4\mu_w c_p} \left[ \exp\left(\frac{4\mu_w \lambda_s c_p}{c_t - c_d}\right) - 1 \right]$$

**Ecuación 13** Esfuerzo radial promedio en términos de parámetros no dimensionales

Fuente: Y.Yu and P. U. o. W. Arnold, "Theoretical modelling of torque requirements for single screw feeders," *Powder Technology*, vol. 1, p. 12, 1997[34]

## Fuerzas de resistencia axial

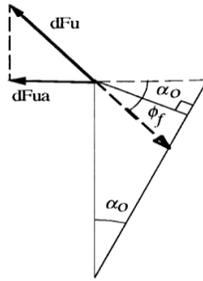
### Fuerzas de resistencia axial en la superficie de corte

La fuerza de resistencia axial que actúa sobre el material a granel en la superficie de corte, viene dada por la siguiente ecuación.

$$dF_{ua} = \mu_c \sigma_o R_o P d\theta \cos(\alpha_o + \phi_f)$$

**Ecuación 14.** Fuerza de resistencia axial

Donde  $\alpha_o$  es el ángulo helicoidal,  $\mu_e$  es el coeficiente de fricción equivalente.



**Figura 2.12** Fuerzas en la superficie de corte

Fuente: Y.Yu and P. U. o. W. Arnold, "Theoretical modelling of torque requirements for single screw feeders," *Powder Tecnology*, vol. 1, p. 12, 1997[34]

La fuerza axial total que actúa sobre una longitud de paso del tornillo se calculó por la siguiente ecuación.

$$F_{ua} = \mu_c \sigma_o R_o P \cos(\alpha_o + \phi_f) \int_0^\pi d\theta$$

**Ecuación 15.** Fuerza axial total en la superficie de corte

Fuente: Y.Yu and P. U. o. W. Arnold, "Theoretical modelling of torque requirements for single screw feeders," *Powder Tecnology*, vol. 1, p. 12, 1997[34]

Donde, las variables de la Ecuación 15 se definen de la siguiente manera.

$\mu_c$	<i>Coeficiente de fricción del material a granel "granos de choclo"</i>
$\sigma_o$	<i>Esfuerzo ejercido por el material en la tolva</i>
$R_o$	<i>Radio exterior del canal espiral</i>
$P$	<i>Longitud de paso del extrusor</i>
$\alpha_o$	<i>Ángulo de hélice en el diámetro exterior del extrusor</i>
$\phi_f$	<i>Ángulo de fricción del material a granel en la superficie de vuelo del canal</i>

Después de la integración, la Ecuación 15 se utilizó para el cálculo de la fuerza axial total.

$$F_{ua} = \frac{\pi}{2} \mu_e c_p \cos(\alpha_o + \phi_f) \sigma_o D^2 = k_u \sigma_o D^2$$

Además,

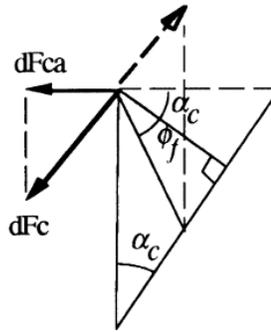
$$k_u = \frac{\pi}{2} \mu_e c_p \cos(\alpha_o + \phi_f)$$

### Fuerzas de resistencia axial en el eje

En la Figura 2.13 se muestra la fuerza de resistencia axial que actúa sobre el elemento del sólido a granel y se expresa como:

$$dF_{ca} = \mu_w \sigma_{wa} R_c P d\theta \cos(\alpha_c)$$

Donde  $\mu_c$  es el coeficiente de fricción de la pared entre el sólido a granel y el eje,  $\alpha_c$  es el ángulo helicoidal del canal en el eje.



**Figura 2.13** Fuerzas en la superficie del eje

La fuerza axial total que actúa sobre una longitud de paso del tornillo se obtuvo con la siguiente expresión.

$$F_{ca} = \mu_w \sigma_{wa} R_c P \sin(\alpha_o) \int_0^{2\pi} d\theta$$

Se calculó la fuerza axial en el eje central a través de la Ecuación 16.

$$F_{ca} = \frac{\pi c_d (c_t - c_d)}{4} \sin \alpha_c \left[ \exp \left( \frac{4 \mu_w \lambda_s c_p}{c_t - c_d} \right) - 1 \right] \sigma_o D^2 = k_c \sigma_o D^2$$

**Ecuación 16** . Fuerza axial total en el eje

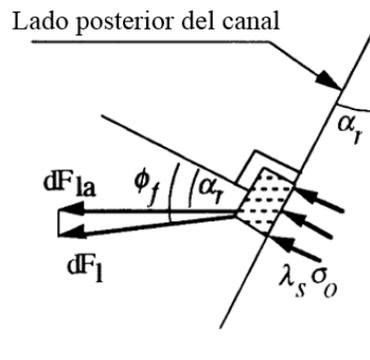
Fuente: Y.Yu and P. U. o. W. Arnold, "Theoretical modelling of torque requirements for single screw feeders," *Powder Tecnology*, vol. 1, p. 12, 1997[34]

Donde, las variables de la Ecuación 16 se definen de la siguiente manera.

$c_d$	Relación de diámetro del eje al diámetro del extrusor
$c_t$	Relación del canal del diámetro del eje al diámetro del extrusor
$\alpha_c$	Ángulo de hélice en el diámetro exterior
$\mu_w$	Coficiente de fricción del material a granel y la superficie de confinamiento
$\lambda_s$	Relación de esfuerzo del deslizamiento del material a granel en la superficie
$c_p$	Relación de paso al diámetro del extrusor
$\sigma_o$	Esfuerzo ejercido por el material en la tolva
$D$	Diámetro del extrusor

### Fuerza de resistencia axial en el lado posterior del canal

En la Figura 2.14 se muestra la fuerza de resistencia axial que actual sobre el lado posterior del canal.



**Figura 2.14** Fuerzas en el lado posterior del canal

Fuente: Y.Yu and P. U. o. W. Arnold, "Theoretical modelling of torque requirements for single screw feeders," *Powder Tecnology*, vol. 1, p. 12, 1997[34]

La fuerza de resistencia axial sobre el lado posterior del canal se expresa como:

$$dF_{ia} = \lambda_s \sigma_o \frac{r dr d\theta}{\cos \alpha_r \cos \phi_f} \cos(\phi_f - \alpha_r) = \lambda_s \sigma_o r dr d\theta (1 + \tan \alpha_r \tan \phi_f)$$

**Ecuación 17.** Fuerza de resistencia axial sobre el lado posterior del canal

Reemplazando  $\tan \alpha_r = P/2\pi r$  y  $\tan \phi_f = \mu_f$  e integrando r desde  $R_c$  a  $R_o$  y para  $\theta$  desde 0 a  $2\pi$  se obtuvo:

$$F_{ia} = \lambda_s \left[ \frac{\pi}{4} (1 - c_d^2) + \frac{\mu_f c_p}{2} (1 - c_d) \right] \sigma_o D^2 = k_l \sigma_o D^2$$

Donde, las variables de la Ecuación 17 se definen de la siguiente manera.

$\lambda_s$	Relación de esfuerzo del deslizamiento del material a granel en la superficie
$c_d$	Relación de diámetro del eje al diámetro del extrusor
$\mu_f$	Coefficiente de fricción entre el sólido a granel y el lado de vuelo del canal
$c_p$	Relación de paso al diámetro del extrusor
$\sigma_o$	Esfuerzo ejercido por el material en la tolva
$D$	Diámetro del extrusor
$k_l$	Factor de cálculo
$r$	Radio de vuelo
$\phi_f$	Ángulo de fricción del material a granel en la superficie de vuelo del canal
$\alpha_r$	Ángulo de hélice

Además, el factor “ $k_l$ ” se calculó con la siguiente expresión.

$$k_l = \lambda_s \left[ \frac{\pi}{4} (1 - c_d^2) + \frac{\mu_f c_p}{2} (1 - c_d) \right]$$

### Fuerza de resistencia axial en la superficie del canal

La fuerza de resistencia axial sobre la superficie del canal se expresa de la siguiente forma.

$$dF_{ta} = \mu_w \sigma_{wa} R_t P d\theta \cos(\alpha_o + \phi_f)$$

**Ecuación 18.** Fuerza de resistencia axial sobre la superficie del canal

Fuente: Y. Yu and P. U. o. W. Arnold, "Theoretical modelling of torque requirements for single screw feeders," *Powder Technology*, vol. 1, p. 12, 1997[34]

Después de integrar para  $r$  desde  $R_c$  a  $R_o$  y para  $\theta$  desde  $0$  a  $\pi$ , la fuerza total axial sobre un paso se obtuvo mediante:

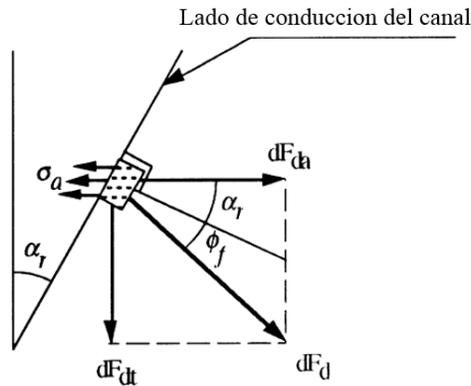
$$F_{ta} = \frac{\pi}{8} c_t (c_t - c_d) \cos(\alpha_o + \phi_f) \left[ \exp\left(\frac{4\mu_w \lambda_s c_p}{c_t - c_d}\right) - 1 \right] \sigma_o D^2 = k_t \sigma_o D^2$$

Además, el factor “ $k_t$ ” se calculó con la siguiente expresión.

$$k_t = \frac{\pi}{8} c_t (c_t - c_d) \cos(\alpha_o + \phi_f) \left[ \exp\left(\frac{4\mu_w \lambda_s c_p}{c_t - c_d}\right) - 1 \right]$$

### Fuerza axial y esfuerzo en el lado de conducción del canal

La fuerza axial que actúa en el lado de conducción del canal se muestra en la Figura 2.15. Esta fuerza debe ser igual a las fuerzas axiales totales que resisten.



**Figura 2.15** Fuerzas en el lado de conducción del canal

Fuente: Y.Yu and P. U. o. W. Arnold, "Theoretical modelling of torque requirements for single screw feeders," *Powder Tecnology*, vol. 1, p. 12, 1997[34]

$$F_{da} = F_{ua} + F_{ca} + F_{la} + F_{ta}$$

**Ecuación 19.** Sumatoria de fuerzas axiales

Se asume que la fuerza total axial se ejerce uniformemente sobre la superficie de conducción. De esta forma, el esfuerzo axial se determinó utilizando la siguiente expresión.

$$\sigma_a = \frac{F_{da}}{\pi(R_o^2 - R_c^2)} = \frac{4(k_u + k_c + k_l + k_t)}{\pi(1 - c_d^2)} \sigma_o = k_\sigma \sigma_o$$

Donde, las variables de la Ecuación 19 se definen de la siguiente manera.

$\sigma_a$	<i>Esfuerzo axial en el lado de conducción del canal espiral</i>
$F_{da}$	<i>Fuerza de resistencia axial en el lado de conducción del canal espiral</i>
$R_o$	<i>Radio exterior de del canal espiral</i>
$R_c$	<i>Radio del eje motriz</i>
$c_d$	<i>Relación de diámetro del eje al diámetro del extrusor</i>
$\sigma_o$	<i>Esfuerzo ejercido por el material en la tolva</i>

Además, el factor “ $k_t$ ” se calculó con la siguiente expresión

$$k_\sigma = \frac{4(k_u + k_c + k_l + k_t)}{\pi(1 - c_d^2)}$$

### **Torque requerido en la sección de alimentación**

El torque requerido se calculó en base a las ecuaciones que propusieron Roberts y Manjunath mediante las fuerzas axiales. [34]

De la Figura 2.15 , la fuerza tangencial en el elemento de material a granel se puede expresar de la siguiente forma.

$$dF_{dt} = \sigma_a d\theta r dr \tan(\alpha_r + \phi_f)$$

**Ecuación 20.** Fuerza tangencial

El torque requerido para girar el tornillo se calcula de la siguiente expresión.

$$T = 2\pi\sigma_a \int_{R_c}^{R_o} r^2 \tan(\alpha_r + \phi_f) dr$$

Simplificado e integrando se obtuvo la siguiente expresión.

$$T = k_s \sigma_a D^3$$

El factor “ $k_t$ ” se calculó con la siguiente expresión

$$k_s = \frac{2\pi}{D^3} \int_{R_c}^{R_o} r^2 \tan(\alpha_r + \phi_f) dr$$

Luego, reemplazando por parámetros no dimensionales, se obtuvo la siguiente expresión.

$$k_s = \pi c_p^3 \left[ \frac{\mu_f}{12c_p^3} (1 - c_d^3) + \frac{1 + \mu_f}{8\pi c_p^2} (1 - c_d^2) + \frac{\mu_f(1 + \mu_f^2)}{4\pi c_p^2} (1 - c_d) - \frac{3\mu_f^2(1 + \mu_f^2)}{8\pi} + \frac{\mu_f^2(1 + \mu_f^2)}{4\pi^3} \ln\left(\frac{\pi - \mu_f c_p}{\pi c_d - \mu_f c_p}\right) \right]$$

Reemplazando  $\sigma_o$ , el torque requerido puede se calculó con la siguiente ecuación.

$$T = k_s k_\sigma \sigma_o D^3$$

**Ecuación 21.** Torque requerido en función del esfuerzo

El torque requerido para paso un paso “i” se calculó con la siguiente expresión.

$$T_{fi} = k_{si} k_{\sigma i} \sigma_o D^3$$

Finalmente, el torque requerido para todos los pasos de la sección de alimentación se calculó mediante:

$$T_{ft} = \sum_{i=1}^{n_f} T_{fi}$$

**Ecuación 22.** Sumatoria de torques con respecto al número de paso del tornillo

Donde,  $n_f$  es el número de pasos de la sección de alimentación.

### **Cálculo de torque en la sección de estrangulación**

En la sección de estrangulación se asumió que el tornillo gira totalmente lleno de material, por lo tanto, en dicha sección se puede reemplazar la siguiente variable.

$$k_{\sigma c} = \frac{4(k_c + k_l + 2k_t)}{\pi(1 - c_d^2)}$$

La expresión general para el torque requerido para un paso en la sección de estrangulamiento se calculó por la Ecuación 22.

$$T_c = k_s k_{\sigma c} \sigma_o D^3$$

Finalmente, el torque requerido en la sección de estrangulación se calculó con la siguiente expresión, donde  $n_c$  es el número de pasos en la sección de estrangulamiento.

$$T_{ct} = n_c T_c$$

**Ecuación 23.** Torque total en función del número de pasos

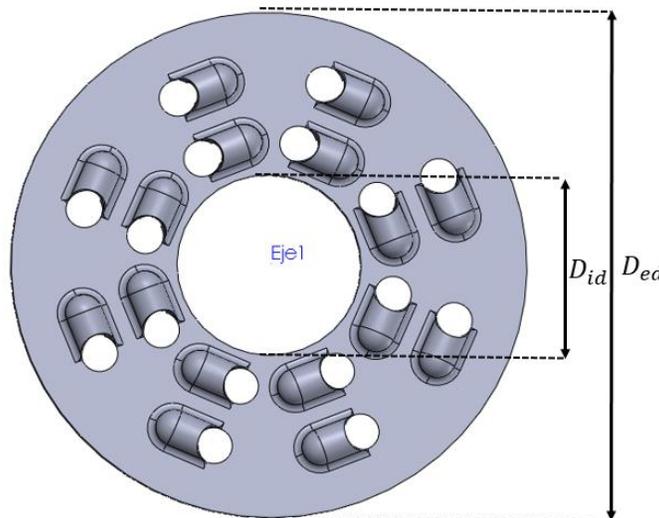
### 2.2.3 Potencia consumida en las cuchillas

La potencia consumida en las cuchillas corresponde al segundo mecanismo de la máquina moladora de choclo. La estimación de la potencia está relacionada con la fuerza de corte " $F_c$ " en un grano de choclo y dimensiones geométricas del disco rallador.

Primero se calculó el área disponible del disco rallador por donde ingresarán los granos partidos producto de la operación de la cuchilla de corte, utilizando la siguiente ecuación:

$$A_d = \frac{\pi(D_{ed}^2 - D_{id}^2)}{4}$$

**Ecuación 24.** Área disponible del disco rallador



**Figura 2.16** Disco rallador

Se asumió para fines de diseño que un giro completo de las cuchillas es equivalente a 2 granos de choclo partidos y que la producción inicial para el diseño está expresada por  $Q_{produccion}$ .

Luego se calculó cuantos granos por minuto se desea moler en la máquina moledora de choclo, a través de la siguiente ecuación:

$$\#_{granos} = Q_{pro} \frac{Kg}{hr} \cdot \frac{hr}{60 min} \cdot \frac{1000 gr}{Kg} \cdot \frac{grano}{P_{gr}}$$

**Ecuación 25.** Fórmula del número de granos a moler

El valor  $P_{gr}$  corresponde al peso en gramos promedio de 1 grano tomada de las 40 muestras medidas.

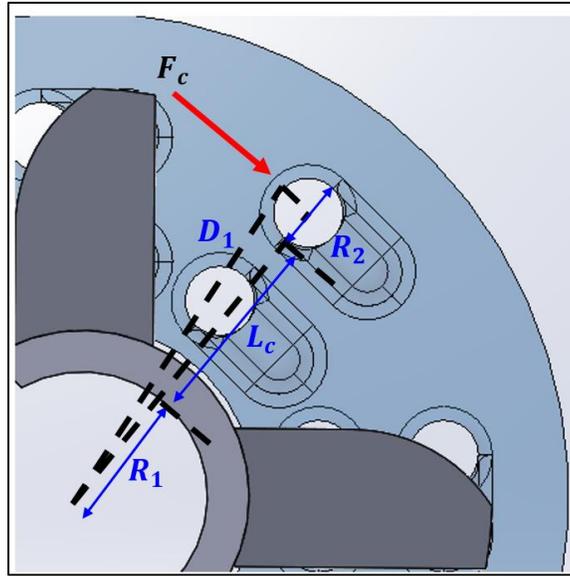
Después, se calculó la fuerza de corte " $F_c$ " requerida para efectuar el arranque del material y formar un material partido para la cámara de molienda empleando:

$$\sigma_c = \frac{F_c}{A}$$

$$F_c(N) = \sigma_c \cdot A$$

**Ecuación 26.** Formula de la fuerza de corte

En la Figura 2.17 se puede observar el segundo mecanismo del sistema que corresponde la cuchilla de corte que va generar la  $F_c$  en el grano de choclo.



**Figura 2.17** Mecanismo de cuchillas y disco rallador

Para poder calcular el torque requerido se calculó primero la distancia  $D_1$ , con la siguiente expresión.

$$D_1 = \sqrt{(R_1 + L_c)^2 - R_2^2}$$

**Ecuación 27.** Distancia entre centros

Reemplazando la Ecuación 26 en la siguiente expresión se obtuvo el torque.

$$\tau(N.mm) = F_c \cdot D_1$$

**Ecuación 28.** Torque requerido en las cuchillas

Donde, las variables se definen de la siguiente manera.

$F_c$	<i>Fuerza de corte</i>
$A_d$	<i>Área disponible del disco rallador</i>
$D_1$	<i>Distancia entre centros del disco y centro de cada grano de choclo</i>
$R_1$	<i>Distancia entre el centro del disco y diámetro interior de la cuchilla</i>
$L_c$	<i>Distancia entre el diámetro exterior del eje motriz y agujero del disco rallador</i>
$R_2$	<i>Diámetro del agujero del disco rallador</i>
$\sigma_c$	<i>Esfuerzo cortante</i>

Debido al diseño del extrusor de doble entrada, el torque se expresó de la siguiente manera.

$$2\tau = F_c \cdot D_1$$

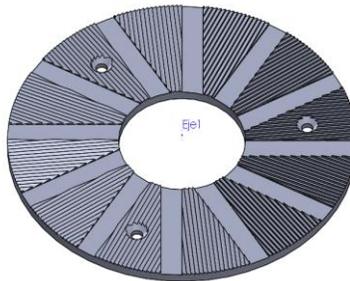
El cálculo de la potencia consumida en las cuchillas se realizó con la siguiente ecuación.

$$P(\text{HP}) = \frac{\text{rpm} \cdot \tau(\text{kg} \cdot \text{m})}{716}$$

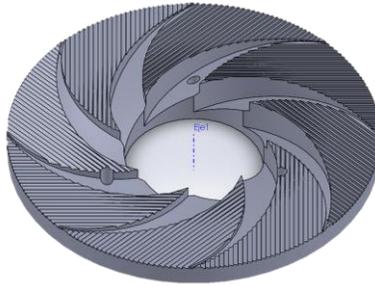
**Ecuación 29.** Potencia consumida en las cuchillas

#### 2.2.4 Potencia consumida en los discos

La máquina moladora de choclo en estudio cuenta con dos discos concéntricos adyacentes un disco fijo y el otro móvil. La geometría de los discos son diferentes, el disco fijo presenta canales radiales con perfil cuadrangular y el disco móvil presenta canales espirales a lo largo de su geometría. Para el cálculo de la potencia consumida por los discos dentro de la cámara de molienda, se realizó un análisis estático de las fuerzas que afectan los granos.

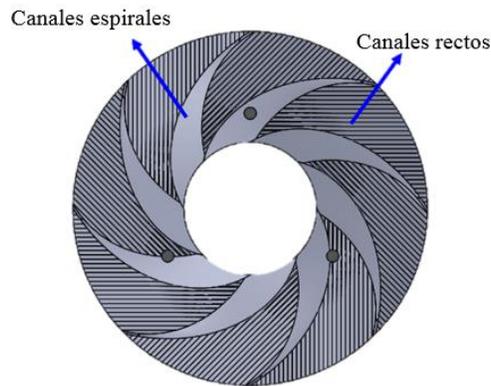


**Figura 2.18** Disco fijo  
Fuente: Elaboración propia



**Figura 2.19** Disco móvil  
Fuente: Elaboración propia

El cálculo de potencia en los discos se dio en dos pasos, primero se realizó el análisis en la zona plana y luego en la zona de los canales espirales.

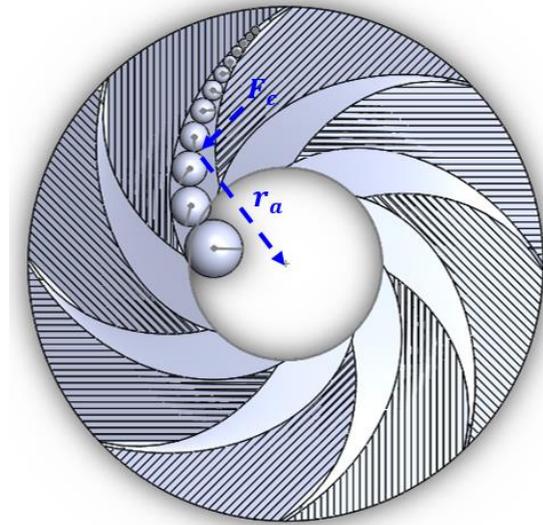


**Figura 2.20** Zonas de canales espirales y canales rectos  
Fuente: Elaboración propia

Para el cálculo de la potencia en los discos se consideran tres importantes datos previos: Distancia entre discos, esfuerzo de corte del grano del choclo y la fuerza de corte.

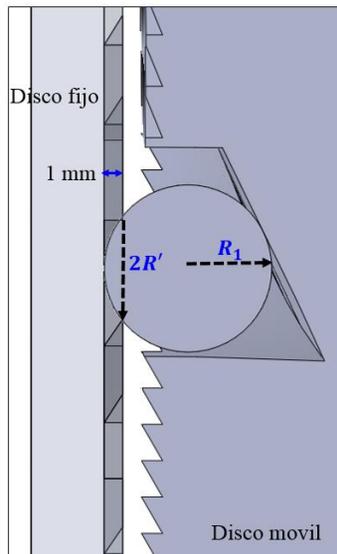
Para el primer valor se considera una distancia entre discos de 1mm, esto debido a que existe un precedente de máquina que trabaja aceptablemente en esas condiciones.

El esfuerzo de corte del choclo esta denotado por  $\sigma_c$ , este valor fue obtenido experimentalmente. En la Figura 2.21 se muestra la distribución de los granos de choclo que se aproximó a partículas de formas esféricas, esto debido a que es más sencillo de trabajar con una forma de geometría regular.



**Figura 2.21** Distribución de granos de choclo en la zona de canales espirales  
Fuente: Elaboración propia

Para poder calcular la potencia, primero hace falta conocer el radio de acción " $r_a$ " y la fuerza de corte " $F_c$ ". El cálculo de la fuerza de corte " $F_c$ " será realizado en base al área de corte " $A_c$ " y al esfuerzo cortante " $\sigma_c$ ". El esfuerzo de corte fue calculado previamente, para el área de corte " $A_c$ " necesitamos conocer el radio de área " $R'$ ".



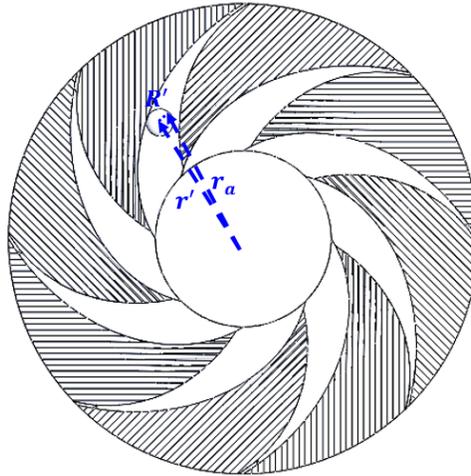
**Figura 2.22** Representación de corte en un canal espiral  
Fuente: Elaboración propia

$$R' = \sqrt{R_1^2 - (R_1 - 1)^2}$$

Con el radio del área de corte  $R'$  y el esfuerzo de corte podemos conocer  $F_c$ , ahora falta conocer  $r_a$ . Para ello usamos  $R'$  y  $r'$  de la Figura

$$r_a = \sqrt{R'^2 + r'^2}$$

Los datos  $R_1$  y  $r'$  son obtenidos del Software SolidWorks.



**Figura 2.23** “ $r'$ ” es la distancia entre centros grano – disco móvil

Fuente: Elaboración propia

La fuerza de corte “ $F_{ic}$ ” se calculó en base al área de corte “ $A_{ic}$ ” y al esfuerzo cortante “ $\sigma_c$ ”, asimismo se declara “ $i$ ” en las variables debido a los resultados de trece granos de choclos calculados.

$$F_{ic}(N) = \left[ \frac{\pi}{4} (\phi_i^2 - (\phi_i - 1)^2) \right] \cdot \sigma_c$$

**Ecuación 30.** Fuerza de corte

El torque generado “ $\tau_{ic}$ ”, se calculó en base al radio de acción “ $r_{ia}$ ” y la fuerza de corte “ $F_{ic}$ ”.

$$\tau_{ic}(N \cdot mm) = \sqrt{r'^2 - \left( \frac{\phi_i^2}{4} \right)} \cdot F_{ic}$$

**Ecuación 31.** Torque generado en base al radio de acción

El torque total para las “n” granos de choclo en los canales espirales se calculó con la siguiente expresión.

$$\sum_i^{12} \tau_{ic} (N. mm) = \sqrt{r'^2 - \left(\frac{\phi_i^2}{4}\right)} \cdot F_{ic}$$

**Ecuación 32.** Sumatoria de torques

El cálculo de la potencia por canal “ $P_c$ ” se calculó con la Ecuación 33, sin embargo la potencia total en los “n” canales del disco móvil se calculó con la Ecuación 34.

$$P_c(Watts) = \left( \sum_i^{12} \tau_{ic} \right) \cdot rpm$$

**Ecuación 33.** Potencia por canal

$$P_{tc}(Watts) = \left( \sum_i^{12} \tau_{ic} \cdot rpm \right) \cdot (N_c)$$

**Ecuación 34.** Potencia en los "n" canales

## 2.3 Selección de los elementos de máquina

### 2.3.1 Transmisión de potencia

La transmisión del motor eléctrico al eje motriz se desarrolló mediante una correa de transmisión o también llamada “faja de transmisión”. Se utilizó el procedimiento de diseño y selección de faja del manual técnico de la empresa “Optibelt”. [36]

Primero seleccionamos el  $C_2$  “Factor de carga” de la Tabla 2.11, este factor tiene en cuenta la duración diaria del funcionamiento el tipo de máquina motriz.

Ejemplos de máquinas de trabajo	Ejemplos de máquinas motrices					
	Factor de carga $c_2$ para funcionamiento diario (horas)			Factor de carga $c_2$ para funcionamiento diario (horas)		
	hasta 10	más de 10 hasta 16	más de 16	hasta 10	más de 10 hasta 16	más de 16
<b>Transmisiones ligeras</b> Bombas centrífugas y compresores, cintas transportadoras (para material ligero), ventiladores y bombas hasta 7,5 kW	1,1	1,1	1,2	1,1	1,2	1,3
<b>Transmisiones medias</b> Cizallas, prensas, transportadoras de cadenas y de cinta (para material pesado), tamices vibratorios, generadores y dinamos, amasadoras, máquinas herramienta (tornos y esmeriladoras), lavadoras, impresoras, ventiladores y bombas de más de 7,5 kW.	1,1	1,2	1,3	1,2	1,3	1,4
<b>Transmisiones pesadas</b> Molinos, compresores de pistón, transportadoras de carga pesada, expulsos (transportadoras helicoidales, de placas, de cangilones, de palas), ascensores, prensas de ladrillos, maquinaria textil, maquinaria de elaboración de papel, bombas de pistones, bombas draga, sierras alternativas, molinos de martillos.	1,2	1,3	1,4	1,4	1,5	1,6
<b>Transmisiones muy pesadas</b> Molinos de carga pesada, trituradoras de piedra, calandrias, mezcladoras, tornos, grúas, dragas, maquinaria pesada para la madera.	1,3	1,4	1,5	1,5	1,6	1,8

**Tabla 2.11.** Selección del Factor de carga

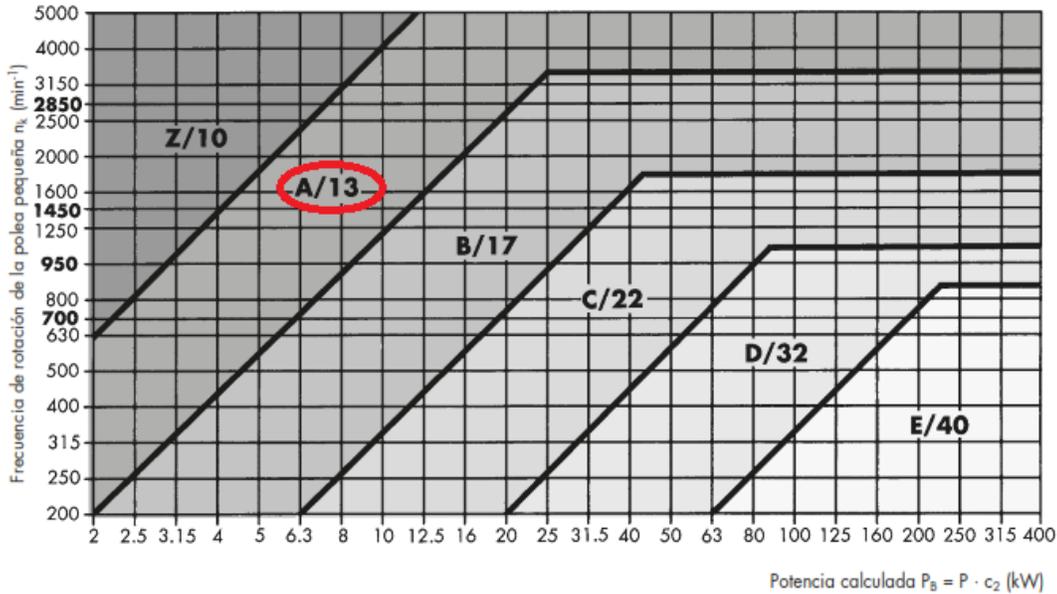
Fuente: *Optibelt, "Manual tecnico Optibelt," Brazil, 2012.* [36]

Segundo, se calculó la potencia calculada “ $P_B$ ” con la siguiente ecuación

$$P_B(Kw) = P_T \cdot c_2$$

**Ecuación 35.** Potencia calculada

Tercero, se selecciona el perfil de la correa con la Tabla 2.12, el aprovechamiento óptimo de la potencia y de la rentabilidad se logra seleccionando el mayor diámetro de polea posible en relación con el correspondiente perfil.



**Tabla 2.12.** Tabla de correas trapezoidales clásicas Optibelt VB  
Fuente: Optibelt, "Manual tecnico Optibelt," Brazil, 2012. [36]

Cuarto, se calculó la relación de transmisión en función a la velocidad de rotación de la polea motriz y polea accionada, asimismo también en base al diámetro de referencia de la polea motriz y la polea accionada.

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{d_{d2}}{d_{d1}}$$

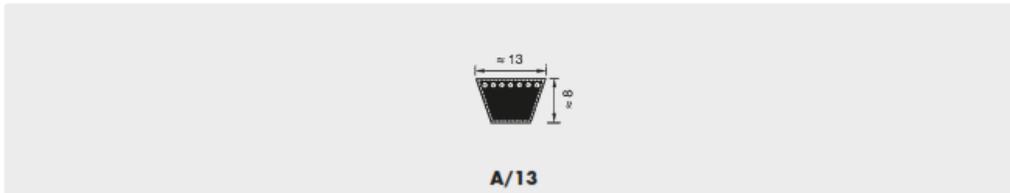
**Ecuación 36.** Relación de transmisión

Quinto, se calculó el diámetro de referencia de las poleas seleccionando el  $d_{d1}$  de la Tabla 2.13, luego se cálculo  $d_{d2}$  con la siguiente ecuación.

$$d_{d2} = d_{d1} \cdot i$$

$$d_{a1} = \frac{d_{a2}}{i}$$

Seleccionamos el valor que más se aproxima al  $d_{a2}$  de la Tabla 2.13.



Perfil A/13											
N° correa	Desarrollo de referencia ISO L <sub>2</sub> (mm)	Desarrollo interior L <sub>1</sub> (mm)	N° correa	Desarrollo de referencia ISO L <sub>2</sub> (mm)	Desarrollo interior L <sub>1</sub> (mm)	N° correa	Desarrollo de referencia ISO L <sub>2</sub> (mm)	Desarrollo interior L <sub>1</sub> (mm)	N° correa	Desarrollo de referencia ISO L <sub>2</sub> (mm)	Desarrollo interior L <sub>1</sub> (mm)
A 16	437	407	A 41	1071	1041	A 69	1780	1750	A 105	2697	2667
A 18	487	457	A 41½	1080	1050	A 70	1805	1775	A 107	2755	2725
A 19	510	480	A 42	1090	1060	A 71	1830	1800	A 108	2773	2743
A 20	538	508	A 42½	1105	1075	A 72	1855	1825	A 110	2830	2800
A 21	565	535	A 43	1130	1100	A 73	1884	1854	A 112	2875	2845
A 22	590	560	A 43½	1135	1105	A 74	1910	1880	A 114	2926	2896
A 23	605	575	A 44	1150	1120	A 75	1930	1900	A 116	2976	2946
A 23½	630	600	A 45	1173	1143	A 76	1960	1930	A 118	3030	3000
A 24	640	610	A 45½	1180	1150	A 77	1986	1956	A 120	3078	3048
A 25	660	630	A 46	1198	1168	A 78	2010	1980	A 124	3180	3150
A 26	680	650	A 46½	1210	1180	A 79	2030	2000	A 128	3280	3250
A 26½	700	670	A 47	1230	1200	A 80	2062	2032	A 132	3380	3350
A 27	716	686	A 47½	1245	1215	A 81	2090	2060	A 136	3484	3454
A 27½	730	700	A 48	1250	1220	A 82	2113	2083	A 140	3580	3550
A 28	740	710	A 48½	1255	1225	A 83	2130	2100	A 144	3688	3658
A 29	760	730	A 49	1280	1250	A 83½	2150	2120	A 148	3780	3750
A 29½	780	750	A 50	1300	1270	A 84	2164	2134	A 158	4030	4000
A 30	797	767	A 51	1330	1300	A 84½	2180	2150	A 167	4280	4250
A 31	805	775	A 52	1350	1320	A 85	2190	2160	A 187	4780	4750
A 31½	830	800	A 53	1380	1350	A 86	2230	2200	A 197	5030	5000
A 32	843	813	A 54	1405	1375	A 87	2240	2210			
A 32½	855	825	A 55	1430	1400	A 88	2270	2240			
A 33	871	841	A 56	1452	1422	A 89	2291	2261			
A 34	880	850	A 57	1480	1450	A 90	2316	2286			
A 34½	905	875	A 58	1505	1475	A 91	2341	2311			
A 35	919	889	A 59	1530	1500	A 92	2367	2337			
A 35½	930	900	A 60	1555	1525	A 93	2390	2360			
A 36	944	914	A 61	1580	1550	A 94	2418	2388			
A 37	955	925	A 62	1605	1575	A 95	2443	2413			
A 37½	980	950	A 63	1630	1600	A 96	2468	2438			
A 38	995	965	A 64	1655	1625	A 97	2494	2464			
A 38½	1005	975	A 65	1680	1650	A 98	2530	2500			
A 39	1030	1000	A 66	1706	1676	A 100	2570	2540			
A 40	1046	1016	A 67	1730	1700	A 102	2621	2591			
A 40½	1060	1030	A 68	1755	1725	A 104	2680	2650			

**Tabla 2.13.** Selección del diámetro de referencia  
Fuente: *Optibelt, "Manual tecnico Optibelt," Brazil, 2012.* [36]

Sexto, se calculó la distancia entre ejes en función a la suma de " $d_{ag}$ " diámetro de referencia de la polea grande y " $d_{ak}$ " diámetro de referencia de la polea pequeña.

$$a > 0.7 (d_{ag} + d_{ak})$$

$$a < 2 (d_{dg} + d_{dk})$$

**Ecuación 37.** Distancia entre ejes

Séptimo, se calculó el desarrollo de referencia de la correa de transmisión “longitud de la correa” con la Ecuación 38 , donde " $\beta$ " es equivalente al ángulo de contacto en la polea pequeña y " $\alpha$ " corresponde al ángulo de inclinación del ramal ( $\alpha = 90 - \frac{\beta}{2}$ )

$$L_{dth} \approx 2a + 1.57(d_{dg} + d_{dk}) + \frac{(d_{dg} - d_{dk})^2}{4a}$$

$$L_{dth} = 2a \cdot \sin \frac{\beta}{2} + \frac{\pi}{2}(d_{dg} + d_{dk}) + \frac{\alpha \cdot \pi}{180}(d_{dg} - d_{dk})$$

**Ecuación 38.** Longitud de referencia de la correa de transmisión

Octavo, se calculó la distancia entre ejes con la Ecuación 39 , donde “ $L_{dst}$ ” corresponde al desarrollo de referencia estándar de la correa trapecial y “ $L_{dth}$ ” al desarrollo de referencia calculado de la correa trapecial, también se denota “ $a_{nom}$ ” a la distancia entre ejes calculada con un desarrollo de correa estándar y “ $a$ ” la distancia entre ejes.

$$(cuando L_{dst} > L_{dth}) a_{nom} \approx a + \frac{L_{dst} - L_{dth}}{2}$$

$$(cuando L_{dst} < L_{dth}) a_{nom} \approx a - \frac{L_{dst} - L_{dth}}{2}$$

Exacto:

$$a_{nom}(mm) = \frac{L_{dst} - \frac{\pi}{2}(d_{dg} + d_{dk})}{4} + \sqrt{\left[ \frac{L_{dst} - \frac{\pi}{2}(d_{dg} + d_{dk})}{4} \right]^2 - \frac{(d_{dg} - d_{dk})^2}{8}}$$

**Ecuación 39.** Distancia entre ejes

Noveno, se calculó la velocidad y frecuencia de flexión de la correa de transmisión con la siguiente ecuación:

$$v\left(\frac{m}{s}\right) = \frac{d_{dk} \cdot n_k}{19100}$$

$$f_b(s^{-1}) = \frac{2.1000 \cdot v}{L_{dst}}$$

**Ecuación 40.** Velocidad y frecuencia de flexión de la correa

Décimo, se calculó el factor de ángulo “C<sub>1</sub>” y ángulo de contacto “B”, el factor de ángulo de contacto corrige la potencia nominal P<sub>N</sub>. Se seleccionó el factor de la Tabla 2.14.

$$\beta, c_1 = \frac{d_{dg} - d_{dk}}{a_{nom}}$$

$\frac{d_{dg} - d_{dk}}{a_{nom}}$	$\beta \approx$	$c_1$
0	180°	1,00
0,05	177°	1,00
0,10	174°	1,00
0,15	171°	1,00
0,20	168°	0,99
<b>0,25</b>	<b>165°</b>	<b>0,99</b>
0,30	162°	0,99
0,35	160°	0,99
0,40	156°	0,99
0,45	153°	0,98
0,50	150°	0,98
0,55	147°	0,98
0,60	144°	0,98
0,65	141°	0,97
0,70	139°	0,97
0,75	136°	0,97
0,80	133°	0,96
0,85	130°	0,96
0,90	126°	0,96
0,95	123°	0,95
1,00	119°	0,94
1,05	115°	0,94
1,10	112°	0,93
1,15	109°	0,93
1,20	106°	0,92
1,25	103°	0,91
1,30	100°	0,91
1,35	96°	0,90
1,40	92°	0,88
1,45	88°	0,87
1,50	84°	0,86
1,55	80°	0,84
1,60	77°	0,83

**Tabla 2.14** Relación de factor de ángulo de contacto  
Fuente: *Optibelt, "Manual tecnico Optibelt," Brazil, 2012.* [36]

Undécimo, se seleccionó el factor de desarrollo “ $c_3$ ” de la Tabla 2.15 , este factor tiene en cuenta la frecuencia de flexión de la correa trapecial utilizada, referida al desarrollo de referencia dependiente del perfil.

Perfil 5*		Perfil Y/6*		Perfil 8		Perfil Z/10, ZX/X10		Perfil A/13, AX/X13		Perfil B/17, BX/X17		Perfil 20	
Desarrollo de referencia (mm)	$c_3$												
172	0,87	280	0,97	299*	0,86	422*	0,86	660	0,80	900	0,81	948	0,75
202	0,91	295	0,99	334*	0,88	447*	0,87	740	0,82	990	0,83	998	0,76
248	0,95	315	1,00	374*	0,91	472*	0,88	780	0,83	1040	0,84	1048	0,77
277	0,97	330	1,01	419*	0,93	497*	0,89	830	0,85	1100	0,85	1168	0,79
292	0,99	350	1,02	444*	0,94	522*	0,90	880	0,86	1140	0,85	1228	0,80
312	1,00	370	1,04	469*	0,95	552*	0,92	930	0,87	1220	0,87	1298	0,81
327	1,01	390	1,05	494*	0,97	582*	0,93	980	0,88	1290	0,88	1368	0,82
334	1,01	415	1,06	549*	0,99	622	0,94	1030	0,89	1360	0,89	1448	0,83
347	1,02	440	1,07	579*	1,00	652	0,95	1090	0,90	1440	0,90	1548	0,85
364	1,03	465	1,09	594*	1,01	692	0,96	1150	0,91	1540	0,92	1648	0,86
387	1,05	490	1,10	619*	1,01	732	0,98	1210	0,92	1640	0,93	1848	0,88
418	1,06	515	1,11	649*	1,02	822	1,00	1280	0,94	1740	0,94	2048	0,91
437	1,07	555	1,13	689*	1,04	847	1,01	1350	0,95	1840	0,95	2168	0,92
487	1,10	615	1,15	729*	1,05	887	1,02	1430	0,96	1940	0,97	2298	0,93
512	1,11	725	1,19	769*	1,06	922	1,02	1530	0,97	2040	0,98	2408	0,94
524	1,11	765	1,20	819*	1,08	947	1,03	1630	0,99	2160	0,99	2548	0,95
542	1,12	865	1,23	869	1,09	997	1,04	1730	1,00	2280	1,00	2698	0,96
566	1,13			894	1,10	1022	1,05	1830	1,01	2400	1,01	2848	0,98
612	1,15			919	1,10	1082	1,06	1930	1,02	2590	1,03	3048	0,99
				969	1,11	1142	1,07	2030	1,03	2690	1,04	3198	1,00
				1019	1,13	1172	1,08	2150	1,05	2840	1,05	3398	1,01
				1139	1,15	1202	1,08	2270	1,06	3040	1,06	3598	1,03
				1269	1,18	1272	1,10	2390	1,07	3190	1,07	3798	1,04
				1339	1,19	1342	1,11	2530	1,08	3390	1,09	4048	1,05
				1419	1,20	1422	1,12	2680	1,10	3590	1,10	4298	1,06
				1519	1,22	1522	1,14	2830	1,11	3790	1,11	4548	1,08
						1622	1,15	3030	1,12	4040	1,13	4798	1,09
								3180	1,14	4290	1,14	5048	1,10
								3380	1,15	4540	1,15	5348	1,11
								3780	1,17	4790	1,17	5648	1,13
								4030	1,19	5040	1,18	6048	1,14
								4530	1,22	5340	1,19	6348	1,15
								5030	1,24	5640	1,20	7148	1,18
										6040	1,22	8048	1,21
										6340	1,23		

**Tabla 2.15** Factor de desarrollo "  $c_3$  "  
Fuente: Optibelt, "Manual tecnico Optibelt," Brazil, 2012. [36]

Duodécimo, se calculó la potencia nominal por correa trapecial “ $P_N$ ”, seleccionado de la Tabla 2.16 en base a los valores de “ $d_{dk}$ ”, “ $i$ ” y “ $n_k$ ”.

Poleas	v [m/s]	n <sub>k</sub> (min <sup>-1</sup> )	Diámetro de referencia de la polea pequeña d <sub>k</sub> (mm)													Incremento por multiplicación (kW) por correa para				
			71	80	90	95	100	106	112	118	125	132	140	150	160	180	1.01 hasta 1.05	1.06 hasta 1.26	1.27 hasta 1.57	> 1.57
Equilibradas e estáticas	②	700	0.52	0.74	0.97	1.09	1.21	1.35	1.48	1.62	1.78	1.94	2.12	2.34	2.56	2.99	0.02	0.08	0.12	0.14
		950	0.63	0.92	1.23	1.38	1.53	1.71	1.89	2.07	2.28	2.49	2.72	3.01	3.29	3.85	0.02	0.10	0.16	0.18
		1450	0.81	1.22	1.67	1.89	2.11	2.37	2.62	2.88	3.17	3.46	3.79	4.19	4.59	5.36	0.03	0.16	0.25	0.28
		2850	1.04	1.75	2.51	2.88	3.25	3.67	4.09	4.50	4.96	5.41	5.90	6.48	7.03	8.03	0.06	0.31	0.49	0.55
		100	0.12	0.16	0.20	0.22	0.24	0.26	0.29	0.31	0.34	0.37	0.40	0.44	0.48	0.55	0.00	0.01	0.02	0.02
		200	0.21	0.28	0.36	0.39	0.43	0.48	0.52	0.57	0.62	0.67	0.73	0.80	0.87	1.02	0.00	0.02	0.03	0.04
		300	0.29	0.39	0.50	0.55	0.61	0.67	0.74	0.80	0.88	0.95	1.03	1.14	1.24	1.45	0.01	0.03	0.05	0.06
		400	0.35	0.48	0.63	0.70	0.77	0.85	0.94	1.02	1.12	1.21	1.32	1.46	1.59	1.86	0.01	0.04	0.07	0.08
		500	0.41	0.57	0.75	0.84	0.92	1.02	1.13	1.23	1.35	1.46	1.60	1.76	1.93	2.25	0.01	0.05	0.09	0.10
		600	0.47	0.66	0.86	0.97	1.07	1.19	1.31	1.43	1.57	1.71	1.86	2.06	2.25	2.63	0.01	0.06	0.10	0.12
		700	0.52	0.74	0.97	1.09	1.21	1.35	1.48	1.62	1.78	1.94	2.12	2.34	2.56	2.99	0.02	0.08	0.12	0.14
		800	0.57	0.81	1.08	1.21	1.34	1.50	1.65	1.81	1.99	2.16	2.36	2.61	2.86	3.34	0.02	0.09	0.14	0.16
		900	0.61	0.88	1.18	1.32	1.47	1.64	1.82	1.99	2.18	2.38	2.60	2.88	3.15	3.69	0.02	0.10	0.16	0.18
		1000	0.65	0.95	1.27	1.44	1.59	1.78	1.97	2.16	2.38	2.59	2.83	3.13	3.43	4.01	0.02	0.11	0.17	0.19
		1100	0.69	1.01	1.37	1.54	1.71	1.92	2.13	2.33	2.56	2.79	3.06	3.38	3.70	4.33	0.02	0.12	0.19	0.21
		1200	0.73	1.08	1.46	1.64	1.83	2.05	2.27	2.49	2.74	2.99	3.28	3.62	3.97	4.64	0.03	0.13	0.21	0.23
		1300	0.76	1.14	1.54	1.74	1.94	2.18	2.42	2.65	2.92	3.19	3.49	3.86	4.22	4.94	0.03	0.14	0.22	0.25
		1400	0.79	1.19	1.63	1.84	2.05	2.30	2.55	2.80	3.09	3.37	3.69	4.08	4.47	5.22	0.03	0.15	0.24	0.27
		1500	0.82	1.24	1.71	1.93	2.16	2.42	2.69	2.95	3.25	3.55	3.89	4.30	4.71	5.50	0.03	0.16	0.26	0.29
		1600	0.85	1.30	1.78	2.02	2.26	2.54	2.82	3.10	3.41	3.73	4.08	4.51	4.94	5.76	0.03	0.17	0.28	0.31
1700	0.88	1.34	1.86	2.11	2.36	2.65	2.95	3.23	3.57	3.90	4.26	4.72	5.16	6.02	0.04	0.18	0.29	0.33		
1800	0.90	1.39	1.93	2.19	2.45	2.76	3.07	3.37	3.72	4.06	4.44	4.91	5.37	6.26	0.04	0.19	0.31	0.35		
1900	0.92	1.44	2.00	2.27	2.54	2.87	3.19	3.50	3.86	4.22	4.62	5.10	5.58	6.49	0.04	0.21	0.33	0.37		
2000	0.94	1.48	2.06	2.35	2.63	2.97	3.30	3.62	4.00	4.37	4.78	5.28	5.77	6.71	0.04	0.22	0.35	0.39		
2100	0.96	1.52	2.12	2.42	2.72	3.06	3.41	3.75	4.13	4.51	4.94	5.46	5.96	6.91	0.05	0.23	0.36	0.41		
2200	0.97	1.55	2.18	2.49	2.80	3.16	3.51	3.86	4.26	4.65	5.09	5.62	6.13	7.10	0.05	0.24	0.38	0.43		
2300	0.99	1.59	2.24	2.56	2.88	3.25	3.61	3.97	4.38	4.79	5.23	5.78	6.30	7.28	0.05	0.25	0.40	0.45		
2400	1.00	1.62	2.30	2.63	2.95	3.33	3.71	4.08	4.50	4.91	5.37	5.93	6.46	7.45	0.05	0.26	0.42	0.47		
2500	1.01	1.66	2.35	2.69	3.02	3.42	3.80	4.18	4.61	5.03	5.50	6.06	6.60	7.60	0.05	0.27	0.43	0.49		
2600	1.02	1.68	2.40	2.75	3.09	3.50	3.89	4.28	4.72	5.15	5.62	6.20	6.74	7.74	0.06	0.28	0.45	0.51		
2700	1.03	1.71	2.45	2.80	3.16	3.57	3.98	4.37	4.82	5.26	5.74	6.32	6.86	7.87	0.06	0.29	0.47	0.53		
2800	1.04	1.74	2.49	2.86	3.22	3.64	4.05	4.46	4.92	5.36	5.85	6.43	6.98	7.98	0.06	0.30	0.48	0.54		
2900	1.04	1.76	2.53	2.91	3.28	3.71	4.13	4.54	5.01	5.45	5.95	6.53	7.08	8.07	0.06	0.31	0.50	0.56		
3000	1.04	1.78	2.57	2.95	3.33	3.77	4.20	4.62	5.09	5.54	6.04	6.63	7.18	8.15	0.06	0.32	0.52	0.58		
3100	1.04	1.80	2.61	3.00	3.38	3.83	4.27	4.69	5.17	5.62	6.12	6.71	7.26	8.21	0.07	0.34	0.54	0.60		
3200	1.04	1.81	2.64	3.04	3.43	3.88	4.33	4.75	5.24	5.70	6.20	6.79	7.33	8.26	0.07	0.35	0.55	0.62		
3300	1.04	1.83	2.67	3.08	3.47	3.93	4.38	4.82	5.30	5.76	6.27	6.85	7.38	8.29	0.07	0.36	0.57	0.64		
3400	1.04	1.84	2.70	3.11	3.51	3.98	4.43	4.87	5.36	5.82	6.32	6.90	7.43	8.30	0.07	0.37	0.59	0.66		
3500	1.03	1.85	2.72	3.14	3.55	4.02	4.48	4.92	5.41	5.87	6.37	6.95	7.46	8.30	0.08	0.38	0.61	0.68		
3600	1.02	1.86	2.74	3.17	3.58	4.06	4.52	4.96	5.45	5.92	6.41	6.98	7.48		0.08	0.39	0.62	0.70		
3700	1.01	1.86	2.76	3.19	3.61	4.09	4.56	5.00	5.49	5.95	6.44	7.00	7.48		0.08	0.40	0.64	0.72		
3800	1.00	1.87	2.78	3.21	3.64	4.12	4.59	5.03	5.52	5.98	6.47	7.01	7.47		0.08	0.41	0.66	0.74		
3900	0.99	1.87	2.79	3.23	3.66	4.15	4.62	5.06	5.55	6.00	6.48	7.01	7.45		0.08	0.42	0.67	0.76		
4000	0.98	1.87	2.80	3.24	3.67	4.17	4.64	5.08	5.57	6.01	6.48	6.99	7.42		0.09	0.43	0.69	0.78		
4100	0.96	1.86	2.81	3.25	3.69	4.18	4.65	5.09	5.58	6.02	6.47	6.97	7.37		0.09	0.44	0.71	0.80		
4200	0.94	1.86	2.81	3.26	3.70	4.19	4.66	5.10	5.58	6.01	6.46	6.93			0.09	0.45	0.73	0.82		
4300	0.92	1.85	2.81	3.26	3.70	4.20	4.66	5.10	5.57	6.00	6.43	6.88			0.09	0.46	0.74	0.84		
4400	0.90	1.84	2.81	3.26	3.70	4.20	4.66	5.10	5.56	5.98	6.39	6.82			0.10	0.48	0.76	0.86		
4500	0.88	1.82	2.80	3.26	3.70	4.19	4.66	5.08	5.54	5.94	6.34	6.74			0.10	0.49	0.78	0.88		
4600	0.85	1.81	2.79	3.25	3.69	4.18	4.64	5.07	5.51	5.90					0.10	0.50	0.80	0.89		
4700	0.83	1.79	2.78	3.24	3.68	4.17	4.62	5.04	5.47	5.85					0.10	0.51	0.81	0.91		
4800	0.80	1.77	2.76	3.22	3.66	4.15	4.60	5.01	5.43	5.79					0.10	0.52	0.83	0.93		
4900	0.77	1.75	2.74	3.20	3.64	4.12	4.57	4.97	5.38	5.72					0.11	0.53	0.85	0.95		
5000	0.73	1.72	2.72	3.18	3.61	4.09	4.53	4.92	5.31	5.64					0.11	0.54	0.87	0.97		
5100	0.70	1.69	2.69	3.15	3.58	4.06	4.48	4.86							0.11	0.55	0.88	0.99		
5200	0.66	1.66	2.66	3.12	3.55	4.01	4.43	4.80							0.11	0.56	0.90	1.01		
5300	0.62	1.63	2.63	3.08	3.51	3.97	4.38	4.73							0.11	0.57	0.92	1.03		
5400	0.58	1.59	2.59	3.04	3.46	3.91	4.31	4.66							0.12	0.58	0.93	1.05		
5500	0.54	1.55	2.55	3.00	3.41	3.86	4.24	4.57							0.12	0.59	0.95	1.07		
5600	0.50	1.51	2.51	2.95	3.36	3.79									0.12	0.61	0.97	1.09		
5700	0.45	1.47	2.46	2.90	3.30	3.72									0.12	0.62	0.99	1.11		
5800	0.40	1.42	2.41	2.84	3.23	3.64									0.13	0.63	1.00	1.13		
5900	0.35	1.37	2.35	2.78	3.16	3.56									0.13	0.64	1.02	1.15		
6000	0.30	1.32	2.29	2.71	3.09	3.47									0.13	0.65	1.04	1.17		

v > 30 m/s,  
Póngase en contacto con  
nuestros ingenieros del  
Departamento de técnica  
aplicada.

**Tabla 2.16** Incrementación de Potencia nominal  
Fuente: *Optibelt, "Manual tecnico Optibelt," Brazil, 2012. [36]*

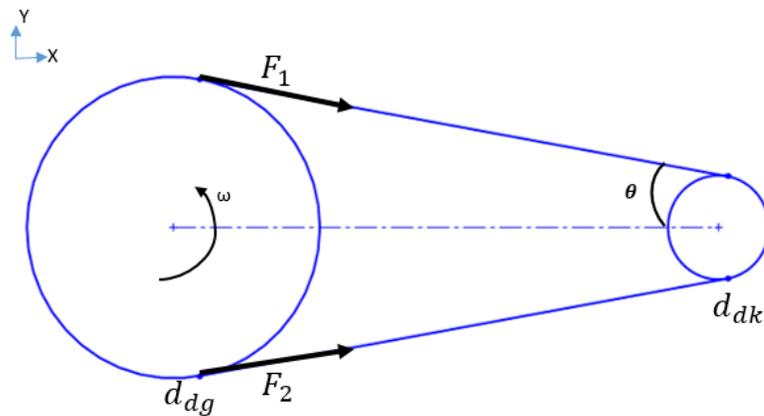
Decimotercero, se calculó el número de correas trapeciales con la Ecuación 41.

$$z = \frac{P \cdot c_2}{P_N \cdot C_1 \cdot C_3}$$

**Ecuación 41** Número de correas trapeciales

### 2.3.2 Cálculo del eje motriz

Después de seleccionar y calcular los parámetros de la correa de transmisión, se realizó el cálculo del eje motriz mediante los siguientes pasos.



**Figura 2.24** DCL del sistema de transmisión faja polea

La relación de tensiones entre el lado tenso y el lado flojo se calculó mediante la Ecuación 42.

$$\frac{F_1}{F_2} = r$$

**Ecuación 42** Relación de tensiones

Teniendo la potencia total “ $P_T$ ” a transmitir y el diámetro de la polea mayor”  $d_{dg}$ ”, se calculó el torque a transmitir mediante la siguiente expresión.

$$T = \frac{Pot}{RPM}$$

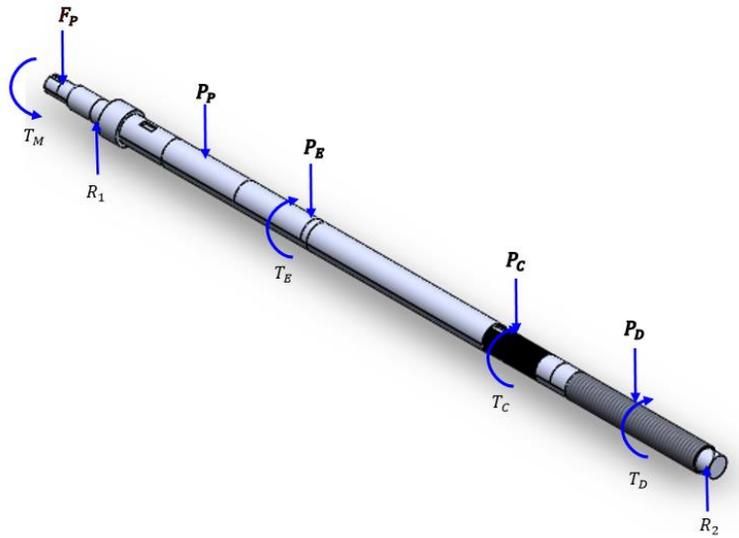
**Ecuación 43** Torque a transmitir

Cálculo de las fuerzas sobre la polea

$$F_1 - F_2 = T / \left( \frac{d_{dg}}{2} \right)$$

Descomponiendo “ $F_1$ ” y “ $F_2$ ” en los ejes x, y.

$$\theta = \sin^{-1} \left( \frac{d_{dg} - d_{dk}}{2a} \right)$$



**Figura 2.25** Diagrama de cuerpo libre en el eje sólido  
Fuente: Elaboración propia

De la Figura 2.25 se puede expresar las siguientes variables tales como:

$R_1$  y  $R_2$ : Reacciones en los apoyos.

$F_p$ : Es la fuerza resultante en la polea mayor.

$T_M$ : Es el torque transmitido por las fajas del motor eléctrico al eje.

$P_P$ : Es el peso del producto debido a la tolva.

$P_E$ : Es el peso del producto debido al extrusor.

$P_C$ : Es el peso del producto debido a las cuchillas.

$P_D$ : Es el peso del producto debido al disco móvil.

Se seleccionó el material del eje “acero inoxidable 304”, teniendo en cuenta las propiedades mecánicas que muestra la Tabla 2.17.

<i>Propiedades del material</i>		
<i>Resistencia ultima a la tracción</i>	$S_u$	$490 \frac{N}{mm^2}$
<i>Resistencia a la fatiga</i>	$S_n$	$200 \frac{N}{mm^2}$
<i>Esfuerzo de fluencia</i>	$S_y$	$216 \frac{N}{mm^2}$

**Tabla 2.17** Propiedades del acero inoxidable 304

La potencia transmitida causa la torsión y las fuerzas transversales sobre los elementos causan flexión. Se calculó los diámetros del eje motriz en base a la Norma ANSI B106.IM-1985 del libro Diseño de elementos de máquinas por Robert.L. Mott mediante la Ecuación 44. [37]

$$D = \left[ \frac{32 \cdot N}{\pi} \sqrt{\left[ \frac{K_t \cdot M}{S'_n} \right]^2 + \frac{3}{4} \left[ \frac{T}{S_y} \right]^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

**Ecuación 44** Diseño de ejes

Fuente: [37]

Donde:

N: Factor de seguridad.

D: Diámetro del eje.

$K_t$  : Factor de concentración de esfuerzos.

M: Momento flector.

$S'_n$ : Esfuerzo a la fatiga modificado.

T: Momento torsor.

$S_y$ : Esfuerzo de fluencia.

### 2.3.3 Selección de rodamientos

Para la selección de los rodamientos del equipo se tomó como referencia el libro “Diseño de elementos de máquinas” de Robert L. Mott. [37]

La selección de un rodamiento considera la capacidad de carga y la geometría del rodamiento, para nuestro diseño del prototipo de la máquina moledora de choclo solo se aplica carga radial en el rodamiento debido a la transmisión mediante la polea y faja.

Primero se calcula la carga equivalente o también llamada carga de diseño sobre el rodamiento “ $P$ ”. [37]

$$P = V \cdot R$$

#### **Ecuación 45** Carga equivalente sobre el rodamiento

Fuente: R. L.Mott and P.E, Diseño de elementos de máquina, Pearson eduacion de Mexico, 2006. [37]

De la Ecuación 45 el “ $V$ ” se denomina factor de rotación y su valor es 1.0, si lo que gira es la pista interior del rodamiento.

Segundo, se debe tener en cuenta el diámetro del eje, “ $\varnothing_{eje}$ ” debido a que esta variable limitara el tamaño de barreno en el rodamiento.

Tercero, seleccionamos el tipo de rodamiento “Rodamiento de una hilera de bolas con ranura profunda”. [37]

Bearing type	Radial load capacity	Thrust load capacity	Misalignment capability
Single-row, deep-groove ball	Good	Fair	Fair
Double-row, deep-groove ball	Excellent	Good	Fair
Angular contact	Good	Excellent	Poor
Cylindrical roller	Excellent	Poor	Fair
Needle	Excellent	Poor	Poor
Spherical roller	Excellent	Fair/good	Excellent
Tapered roller	Excellent	Excellent	Poor

**Figura 2.26** Comparación de los tipos de rodamientos

Fuente: R. L.Mott and P.E, Diseño de elementos de máquina, Pearson eduacion de Mexico, 2006. [37]

Cuarto, se especificó la duración del diseño del rodamiento “ $L_{10}$ ” como 10000 horas.

Application	Design life $L_{10}$ , h
Domestic appliances	1000–2000
Aircraft engines	1000–4000
Automotive	1500–5000
Agricultural equipment	3000–6000
Elevators, industrial fans, multipurpose gearing	8000–15 000
Electric motors, industrial blowers, general industrial machines	20 000–30 000
Pumps and compressors	40 000–60 000
Critical equipment in continuous, 24-h operation	100 000–200 000

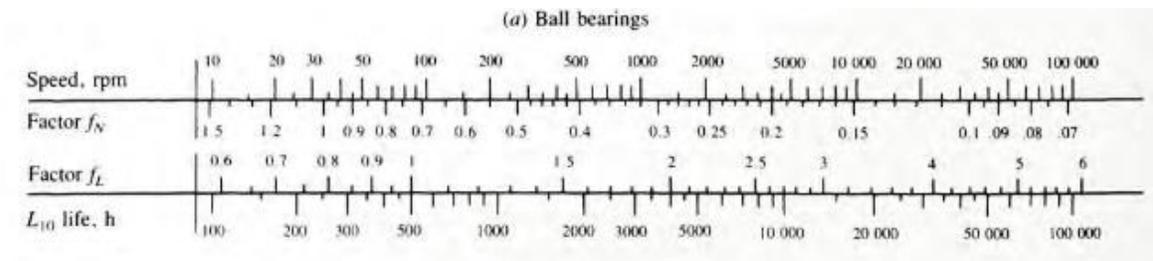
**Figura 2.27** Duración recomendada para rodamientos

Fuente: R. L.Mott and P.E, Diseño de elementos de máquina, Pearson educación de Mexico, 2006. [37]

Quinto, se determinó los factores de velocidad “ $f_N$ ” y duración “ $f_L$ ” de la Figura 2.28 con respecto a la duración del diseño del rodamiento “ $L_{10}$ ” y la velocidad de operación de la máquina.

$$f_N \approx 0.66$$

$$f_L \approx 2.7$$



**Figura 2.28** Factores para rodamientos de bolas

Fuente: R. L.Mott and P.E, Diseño de elementos de máquina, Pearson educación de Mexico, 2006. [37]

Sexto, se calculó la capacidad de carga dinámica “ $C$ ”, la variable “ $P_d$ ” corresponde a la carga que soporta el rodamiento.

$$C = P_d \frac{f_L}{f_N}$$

**Ecuación 46** Capacidad de carga dinámica

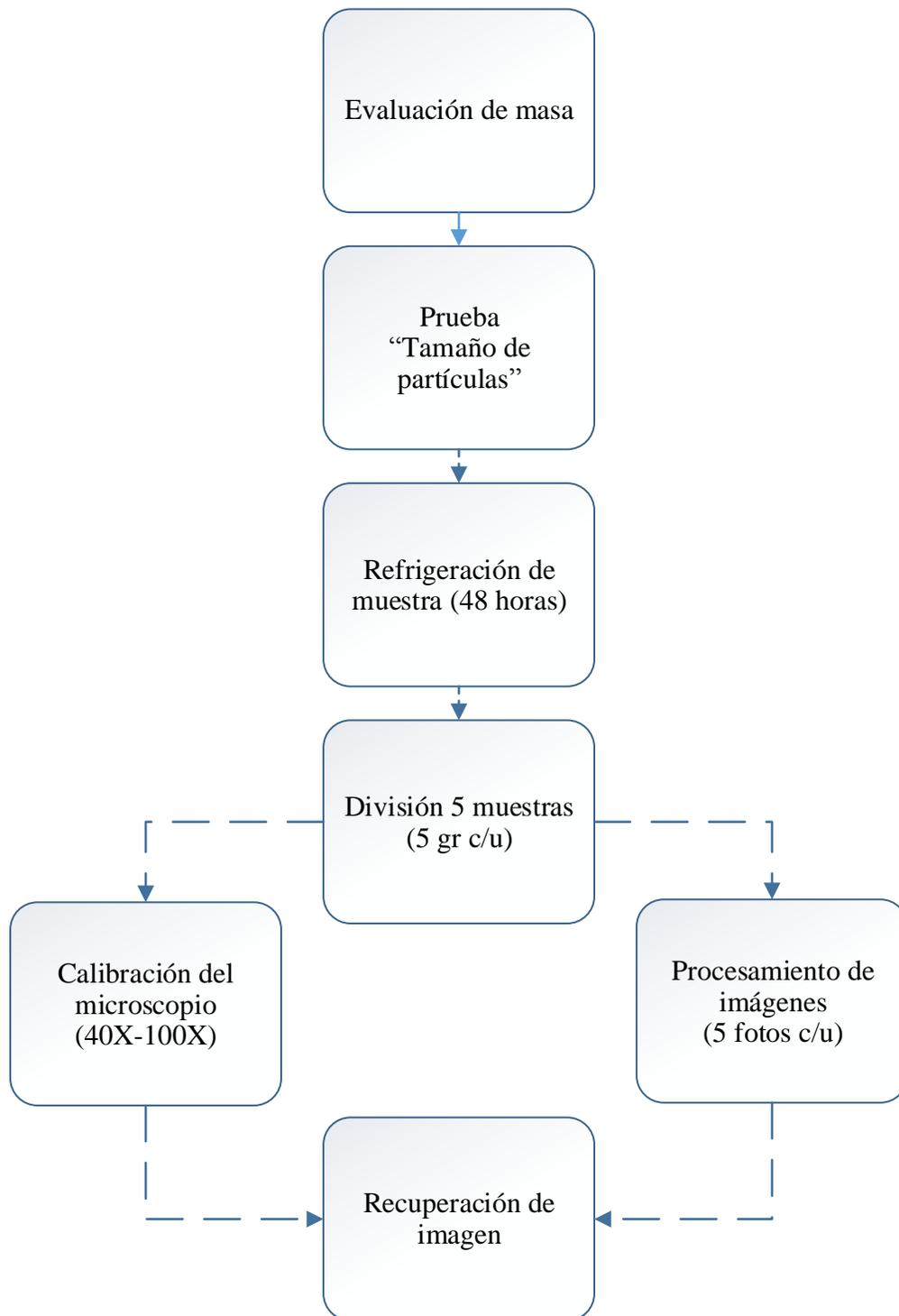
Fuente: R. L.Mott and P.E, Diseño de elementos de máquina, Pearson educación de Mexico, 2006. [37]

#### **2.4 Fabricación del prototipo**

Para la fabricación del prototipo diseñado se realizó utilizando catálogos técnicos de los materiales de acuerdo a la disponibilidad en el mercado nacional. Asimismo, la fabricación completa se llevó a cabo en la empresa C&A Metal mecánica en la provincia regional del Callao.

#### **2.5 Evaluación de la masa de choclo**

La evaluación de la masa de choclo molida se realizó mediante la prueba de “Tamaño de partículas” en los laboratorios de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM). Para esta prueba se utilizó un microscopio “Leica” con un rango de lentes de 40X-100X.



**Figura 2.29** Procedimientos de la evaluación de la masa de chocolate molida

Fuente: [Elaboración propia]

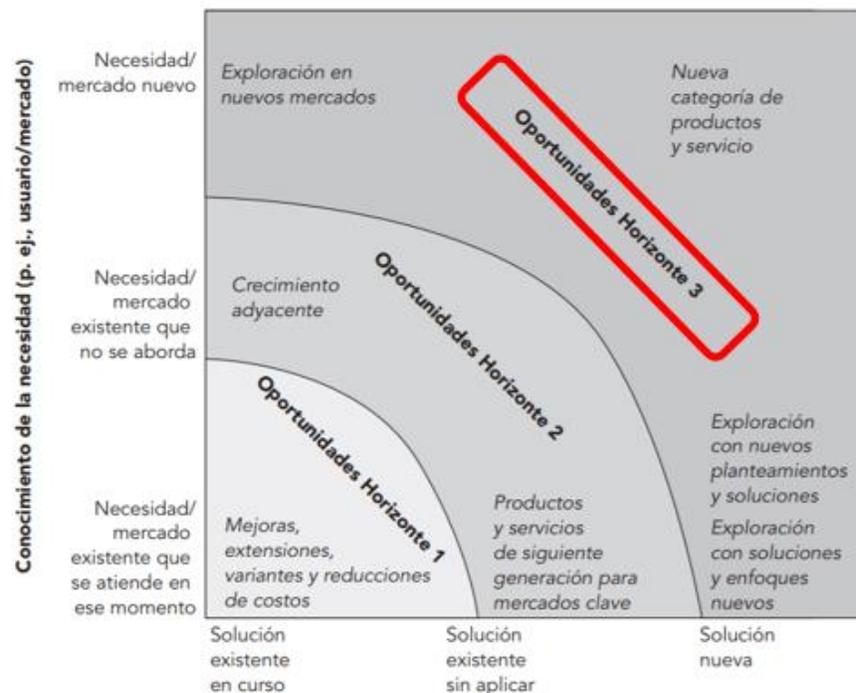
# CAPÍTULO III

## RESULTADOS

### 3.1 Metodología de diseño y desarrollo

#### 3.1.1 Identificación de oportunidades

Se seleccionó del diagrama de identificación de oportunidades las “Oportunidades Horizonte 3”, debido a la exploración con nuevos planteamientos y soluciones para moler los granos de choclo para la zona productiva del distrito de Matahuasi.



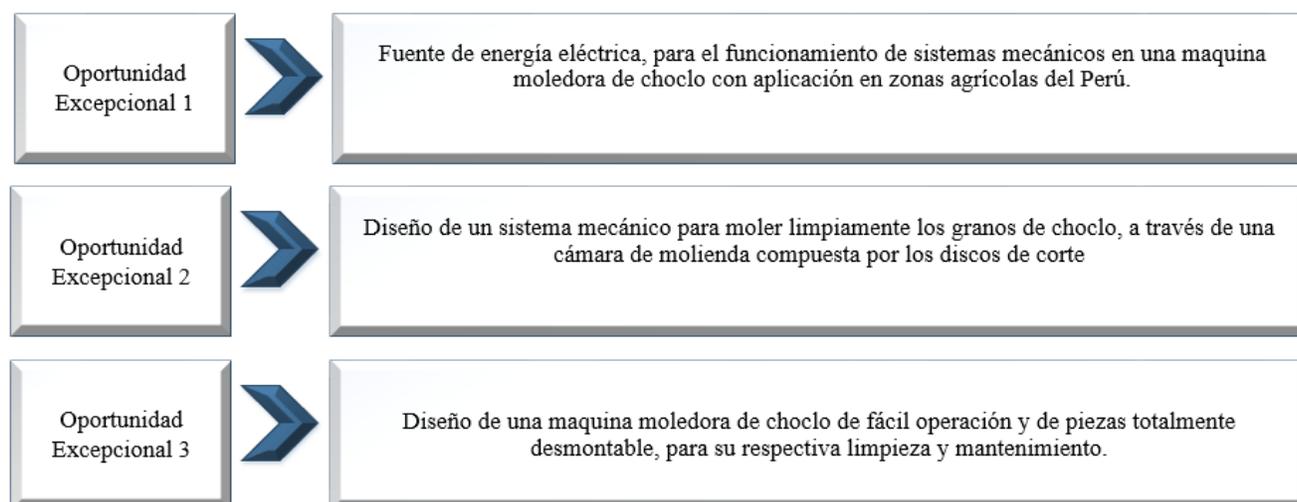
**Figura 3.1** Selección de las oportunidades de horizonte

Fuente: K. T. Ulrich and S. D. Eppinger, Diseño y desarrollo de producto, Mexico D.F: McGraw Hill , 2009.

[32]

Las “Oportunidades Horizonte 3” corresponden en cierta forma a un nuevo diseño de máquina moladora de choclo, conociendo las necesidades de los productores de las zonas agrícolas del distrito de Matahuasi.

Se generaron 19 oportunidades de desarrollo y se redujeron a 3 oportunidades excepcionales, tal como muestra la Figura 3.2 (ver Anexo 4).



**Figura 3.2** Oportunidades de excelencia seleccionadas  
Fuente: Elaboración propia

### 3.1.2 Necesidades Identificadas

#### Selección de clientes

Seleccionamos a los clientes a través del diagrama matricial, obteniendo como resultado a los “Usuarios” los de mayor relevancia con 13 puntos (ver Tabla 3.1). Por ende, se identificaron 16 necesidades en base a la matriz métrica (ver Anexos 7).

	<i>Usuarios Líderes</i>	<i>Usuarios</i>	<i>Minoritas o Punto de venta</i>	<i>Centro de servicio</i>
<i>Empresas productivas del maíz (Masivos y de producción)</i>	3	5	3	5
<i>Productores de choclo (Grupales / Comunidades / Distritales)</i>	5	5	3	1
<i>Persona común (Personales / Familiares )</i>	1	3	5	3

5 : Relevancia Alta	3: Relevante	1: Sin Relevancia
---------------------	--------------	-------------------

**Tabla 3.1** Resultados del diagrama matricial de selección de clientes

## Resultado de las entrevistas con los clientes

Se entrevistó a cinco principales productores de choclo del distrito de Matahuasi, estas personas tienen en promedio de 10 a 15 hectáreas cada una. Liborio Flores Macedo es un productor de choclo de 60 años, actualmente vende sus cultivos al mercado modelo del distrito de Matahuasi. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestra el resultado de la entrevista que se le realizó.

<i>Cliente</i>	<i>Liborio Flores Macedo</i>	<i>Entrevistador</i>	<i>Joel Nicolás Guizado Díaz</i>
<i>Dirección</i>	<i>Jr. Amazonas , Referencia Río Mantaro</i>	<i>Fecha</i>	<i>12 de Agosto, 2017</i>
<i>Teléfono</i>		<i>Actualmente usa</i>	<i>Molino Corona</i>
<b><i>Pregunta / Sugerencia</i></b>	<b><i>Enuncia del cliente</i></b>	<b><i>Necesidad Interpretada</i></b>	
<i>¿Qué herramienta usa para moler el choclo?</i>	<i>A veces chanco los granos con palos de madera y piedra</i>	<i>Herramientas para moler los granos de maíz</i>	
	<i>Chanco con piedras los pequeños costales lleno de maíz</i>		
	<i>A veces usamos el molino corona, pero es muy complicado porque se necesita fuerza</i>	<i>Máquina para moler los granos pero no con esfuerzo físico</i>	
<i>¿Le gusta la herramienta actual?</i>	<i>No, porque produce dolor en mis brazos y a veces los granos se ensucian demasiado.</i>	<i>Ocasiona lesiones en las extremidades de los productores de choclo</i>	
	<i>No, porque hay que estar girando con la manivela para moler los granos</i>	<i>Operación complicada del molino corona</i>	
	<i>No, porque es muy lento el molino corona y se demanda de tiempo para moler</i>	<i>Operación lenta para el funcionamiento del equipo</i>	
<i>Mejoras Sugeridas</i>	<i>Una máquina que no necesite el esfuerzo físico para su funcionamiento</i>	<i>Máquina para moler granos a través de sistema mecánico</i>	
	<i>Una máquina de fácil uso de operación y desmontable</i>	<i>Máquina totalmente desmontable y de piezas pequeñas</i>	
	<i>Una máquina con motor eléctrico</i>	<i>Máquina impulsada por un motor eléctrico monofásico</i>	

**Tabla 3.2** Resultado de la entrevista a un productor de choclo del Distrito de Matahuasi  
Fuente: Elaboración Propia

## Resultado de la interpretación de las necesidades

Los productores de choclo expresaron sus ideas en base a la directriz desarrollada, realizando una crítica constructiva debido a la utilización del molino corona en sus actividades productivas por muchos años.

<i>Directriz</i>	<i>Frase del Cliente</i>	<i>Enunciado de necesidad (correcta )</i>
<i>"Qué" y no "cómo"</i>	<i>Por qué no hicieron una máquina de mayor capacidad para moler mas</i>	<i>La máquina está diseñada para una capacidad específica</i>
<i>Especificidad</i>	<i>El equipo deja de moler si paro de girar la manivela</i>	<i>La máquina no debería parar al dejar la girar la manivela</i>
<i>Atributo del producto</i>	<i>Me gustaría poder cambiar algunas partes de la máquina para su mantenimiento</i>	<i>La máquina está diseñada para ser desmontable y que se pueda limpiar o realizar su mantenimiento</i>
	<i>¿Qué pasa si es muy grande?</i>	<i>La máquina moledora es un equipo ergonómico pensado en la operación de los productores.</i>
	<i>¿Cuánto será su costo para nosotros' productores de choclo'?</i>	<i>La máquina no tendrá un costo elevado, debido a que serán de acero inoxidable las partes en contacto con el alimento</i>
<i>Evitar " debería" y " debe"</i>	<i>" Es incómodo desarmar y limpiar cada una de las partes del molino corona"</i>	<i>Todas las partes de la máquina moledora serán de fácil limpieza y mantenimiento</i>

**Tabla 3.3** Resultados de datos de los clientes filtrados por las directrices  
Fuente: Elaboración propia

### Necesidades organizadas de forma jerárquica

Se organizaron las necesidades principales de las entrevistas según el impacto de manera primaria, secundaria y terciaria, siendo la de mayor impacto la primaria.

<b><i>La máquina molidora de choclo cuenta con sistema mecánico para moler los granos limpiamente</i></b>		<b><i>La máquina molidora está diseñada para trabajar por largas jornadas laborales</i></b>	
*	<i>La máquina puede moler los granos sin atorarse y ensuciar los discos de molienda</i>	*	<i>La máquina mantiene su funcionamiento durante varias horas de operación</i>
**	<i>La máquina puede moler los granos en grandes capacidades en comparación con el molino corona</i>	**	<i>La máquina no presenta daños o desgastes de los elementos que están en contacto con los alimentos</i>
***	<i>La máquina muele los granos de choclo para ser derivados a la industria alimentaria</i>	***	<i>La máquina puede trabajar y moler con diferentes tamaños de discos</i>
<b><i>La máquina molidora de choclo es fácil de operar</i></b>		<b><i>La máquina molidora de choclo es cómoda para el usuario</i></b>	
*	<i>La máquina es de fácil operación, cuenta con un botón de encendido y apagado.</i>	*	<i>La máquina es cómoda aun cuando el usuario tiene que alimentar de forma manual los granos de choclo</i>
**	<i>El usuario puede parar el equipo con una pulsador de parada de emergencia</i>	**	<i>La máquina presenta una tolva de recepción para recoger el grano molido</i>
***	<i>El usuario puede almacenar en gran cantidad los granos de choclo en la tolva de alimentación</i>	***	<i>El producto se mantiene estable en condiciones complicadas de la naturaleza, debido a la tolva de almacenamiento.</i>

**Tabla 3.4** Resultados de las necesidades de forma jerárquica

Fuente: Elaboración propia

### Importancia relativa de las necesidades

Se asignaron a los componentes principales de la máquina moladora de choclo una métrica de impacto en relación a las necesidades de los productores de choclo, “5” para impactos de importancia alta, “3” para impactos de importancia media, “1” para impactos sin importancia.

<i>Número</i>	<i>Elemento</i>	<i>Necesidad</i>	<i>Impacto</i>
1	<i>Discos de molienda</i>	<i>Presenta una geometría para moler granos de choclo</i>	5
2	<i>Discos de molienda</i>	<i>Permite regulación entre discos</i>	5
3	<i>Discos de molienda</i>	<i>Tiene una tuerca de ajuste</i>	3
4	<i>Discos de molienda</i>	<i>Están fabricación de acero inoxidable</i>	5
5	<i>Discos de molienda</i>	<i>Es de fácil desmontaje</i>	3
6	<i>Discos de molienda</i>	<i>Es de un material pesado</i>	1
7	<i>Discos de molienda</i>	<i>No contaminan los granos de choclo</i>	5
8	<i>Discos de molienda</i>	<i>Están fabricación de acero inoxidable</i>	3

**Tabla 3.5** Resultado de impacto de las necesidades con respecto al disco de molienda

Fuente: Elaboración propia

<i>Número</i>	<i>Elemento</i>	<i>Necesidad</i>	<i>Impacto</i>
9	<i>Sistema de transmisión</i>	<i>No presenta grandes pérdidas de rozamiento o fricción</i>	3
10	<i>Sistema de transmisión</i>	<i>No tiene un peso elevado</i>	3
11	<i>Sistema de transmisión</i>	<i>Los elementos mecánicos están totalmente asegurados por sujetadores</i>	5
12	<i>Sistema de transmisión</i>	<i>Es de fácil desmontaje</i>	3
13	<i>Sistema de transmisión</i>	<i>No contaminan los granos de choclo</i>	5
14	<i>Sistema de transmisión</i>	<i>Su mantenimiento es rápido y fácil</i>	3
15	<i>Sistema de transmisión</i>	<i>No producen exceso de fuerza al eje motriz</i>	5

**Tabla 3.6** Resultado de impacto de las necesidades con respecto al sistema de transmisión

Fuente: Elaboración propia

<i>Número</i>	<i>Elemento</i>	<i>Necesidad</i>	<i>Impacto</i>
16	<i>Motor eléctrico</i>	<i>Tiene una conexión trifásica</i>	5
17	<i>Motor eléctrico</i>	<i>Tiene un sistema para regular la velocidad</i>	3
18	<i>Motor eléctrico</i>	<i>Tiene un sistema de parada de emergencia</i>	5
19	<i>Motor eléctrico</i>	<i>Compensa el peso de la máquina</i>	1
20	<i>Motor eléctrica</i>	<i>No es muy pesado</i>	3
21	<i>Motor eléctrica</i>	<i>Es fácil de desmontar de la máquina</i>	3

**Tabla 3.7** Resultado de impacto de las necesidades con respecto al motor eléctrico

Fuente: Elaboración propia

<i>Número</i>	<i>Elemento</i>	<i>Necesidad</i>	<i>Impacto</i>
22	<i>Sistema general</i>	<i>Se tiene las dimensiones del eje motriz</i>	5
23	<i>Sistema general</i>	<i>Se sabe la geometría de las cuchillas de corte</i>	5
24	<i>Sistema general</i>	<i>Tiene un sistema de control</i>	3
25	<i>Sistema general</i>	<i>Presenta dos sistemas de corte en serie</i>	1
26	<i>Sistema general</i>	<i>Es totalmente desmontable</i>	1
27	<i>Sistema general</i>	<i>Es de fácil mantenimiento y recambio de piezas</i>	3

**Tabla 3.8** Resultado de impacto de las necesidades con respecto al sistema general

Fuente: Elaboración propia

### 3.1.3 Especificaciones objetivo

#### Lista Métrica

En la siguiente tabla se presenta la matriz métrica que se desarrolló en base al método “House of Quality” a partir de la cual se obtuvo la lista métrica (ver Anexo 7).

<i>Número de métrica</i>	<i>Necesidades</i>	<i>Métrica</i>	<i>Importancia</i>	<i>Unidad de medida</i>
1	1	Capacidad de la máquina	5	Kg/h
7	3,4,7	Estructura de la máquina	5	m
7	7	Volumen de la tolva de recepción	3	m <sup>3</sup>
2	2	Diámetro de los discos del molino	5	mm
13	1,5	Diámetro máximo del eje motriz	3	mm
4	6,7,9,10	Diámetro de la cámara de molienda	3	mm
15	16	Diámetro de la cámara del extrusor	3	mm
12	15	Masa Total	3	Kg
3	2	Velocidad de giro del eje motriz	5	RPM
10	13	Materiales para la fabricación	5	Lista
16	2	Fuerzas	1	N
10	13	Costos de materia prima y fabricación	3	S/.
1	2,1	Potencia	5	W
17	1,2	Torque generado por la fuerza de corte	5	N.mm

**Tabla 3.9** Lista métrica relacionada a las necesidades

Fuente: Elaboración propia

### 3.1.4 Comparación con la competencia

En la Tabla 3.10 se muestra los resultados de los parámetros de otros proyectos molinos coronas desarrollados en la actualidad.

Número de métrica	Necesidades	Métrica	Importancia	Unidad de medida	Retsch	Molino Corona	Molino UTEC	Molino ARISA
1	1	Capacidad de la máquina	5	Kg/h	150 Kg/h	13 Kg/h	32 Kg/h	60 Kg/h
7	3,4,7	Estructura de la máquina	5	m	0.37x0.38x0.60	0.28x0.24x0.12	0.2x0.68x0.99	0.31x0.24x0.19
7	7	Capacidad de la tolva de recepción	3	m <sup>3</sup>	-	-	-	-
2	2	Diámetro de los discos del molino	5	mm	120 mm	80 mm	120 mm	135 mm
13	1,5	Diámetro máximo del eje motriz	3	mm	-	25 mm	28 mm	25 mm
4	6,7,9,10	Diámetro de la cámara de molienda	3	mm	-	-	-	-
14	2	Diámetro de la cuchilla de corte	3	mm	-	-	-	-
15	16	Diámetro de la cámara del extrusor	3	mm	-	-	-	-
12	15	Masa Total	3	Kg	48 Kg	9.5 Kg	79 Kg	35 Kg
3	2	Velocidad de giro del eje motriz	5	RPM	-	-	-	-
10	13	Materiales para la fabricación	5	Lista	Acero Inoxidable	Aluminio	Hierro	Hierro
16	2	Fuerzas	1	N	-	-	-	-
10	13	Costos de materia prima y fabricación	3	S/.	-	-	-	-
1	2,1	Potencia	5	W	745 W	0 W	1490 W	373 W
17	1,2	Torque generado por la fuerza de corte	5	Nmm	-	-	-	-

**Tabla 3.10** Comparación de parámetros con otros equipos molinos de chocho

Fuente: Elaboración propia

De la Tabla 3.10 el Molino UTEC es la máquina que más asemeje a nuestro prototipo fabricado debido a sus características técnicas y geométricas, sin embargo nuestro prototipo cuenta con un mecánicos de molienda más desarrollado técnicamente.

### 3.1.5 Valores ideales y marginales

En la Tabla 3.11 se muestra los valores ideales y marginales de la máquina moladora de choclo.

<i>Número de métrica</i>	<i>Necesidades</i>	<i>Métrica</i>	<i>Importancia</i>	<i>Unidad de medida</i>	<i>Molino de cholo propuesto</i>	
					<i>Métrica Ideal</i>	<i>Métrica Marginal</i>
1	1	Capacidad de la máquina	5	Kg/h	80 Kg/h	25 Kg/h
7	3,4,7	Estructura de la máquina	5	m	0.53x0.92x0.3	0.2x0.68x0.99
7	7	Capacidad de la tolva de recepción	3	m <sup>3</sup>	-	
2	2	Diámetro de los discos del molino	5	mm	90 mm	120 mm
13	1,5	Diámetro máximo del eje motriz	3	mm	20 mm	25 mm
4	6,7,9,10	Diámetro de la cámara de molienda	3	mm	200 mm	310 mm
14	2	Diámetro de la cuchilla de corte	3	mm	40 mm	60 mm
15	16	Diámetro de la cámara del extrusor	3	mm	60 mm	70 mm
12	15	Masa Total	3	Kg	48 Kg	70 Kg
3	2	Velocidad de giro del eje motriz	5	RPM	-	
10	13	Materiales para la fabricación	5	Lista	Acero Inoxidable	Acero Inoxidable
16	2	Fuerzas	1	N	-	-
10	13	Costos de materia prima y fabricación	3	S/.	-	-
1	2,1	Potencia	5	W	745 W	1490 W
17	1,2	Torque generado por la fuerza de corte	5	Nmm	-	-

**Tabla 3.11** Valores ideales y marginales de la máquina moladora de choclo  
Fuente: Elaboración propia

### 3.1.6 Conceptos solución generados

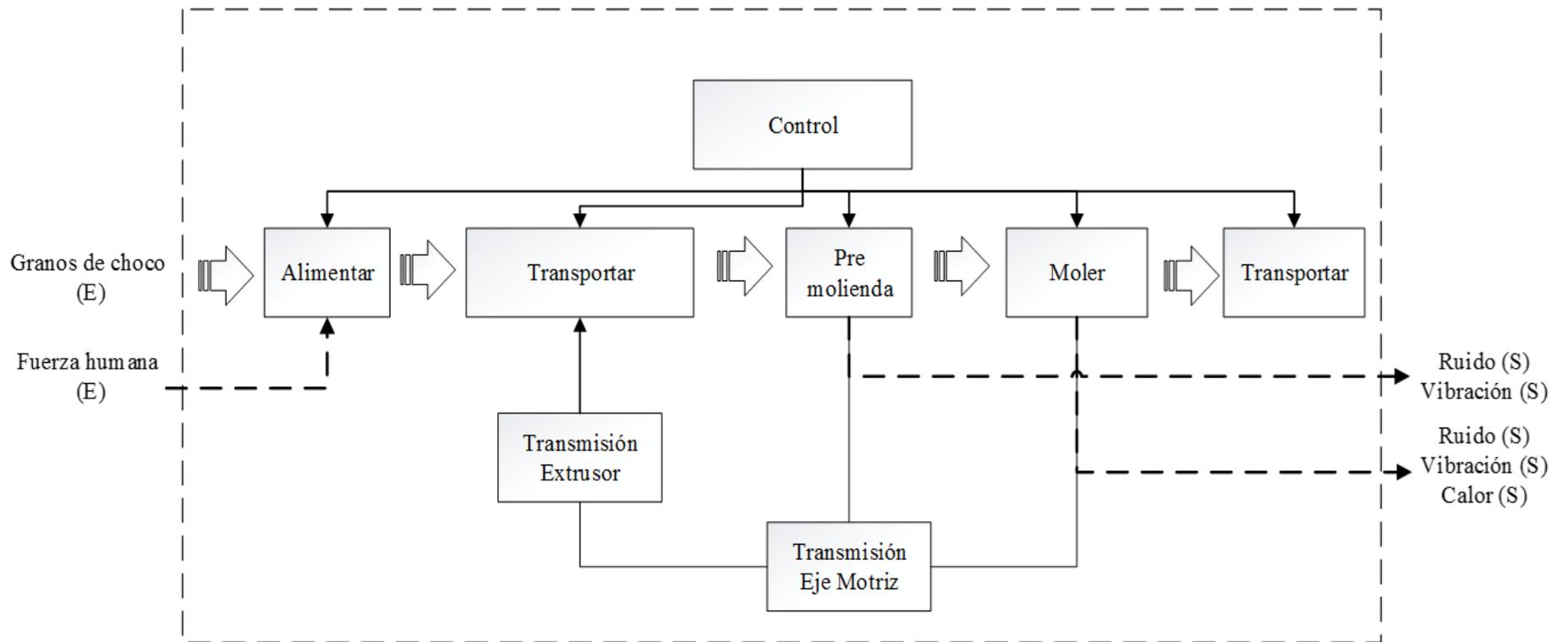
#### Caja Negra

Las entradas y salidas de la máquina moladora de choclo se presentan a continuación:

<i>Entrada</i>		<i>Salida</i>	
<i>Material</i>	<i>Granos de choclo</i>	<i>Material</i>	<i>Masa de choclo</i>
<i>Energía</i>	<i>Fuerza humana</i>	<i>Energía</i>	<i>Calor , sonido</i>
<i>Señales</i>	<i>Tipo Visual</i>	<i>Señales</i>	<i>Tipo Visual</i>

**Tabla 3.12** Parámetros de la caja negra  
Fuente: Elaboración propia

Después de establecer los parámetros de entrada y salida en la caja negra, se desarrolló la estructura de funciones de la máquina moladora de choclo, tal como se puede ver en la Figura 3.3.



**Figura 3.3** Estructura de funciones  
Fuente: Elaboración propia

## Búsqueda externa

Se realizó la búsqueda externa de las soluciones existentes basadas en proyectos de investigación y patentes de molinos de granos. Estas investigaciones apoyaron en el diseño de la solución como referencia.

<i>Patente 1</i>	
	<i>Descripcion : Grain Mill</i>
	<i>Numero de patente: U.S 5,673,862</i> <i>Fecha de publicacion: 7 Octubre de 1997</i>
	<i>Resumen : el mecanismo comprende una camara de trituracion, con dos piedras en forma conica , una de las piedras gira impulsado por un motor electrico. Los rodamientos y la carcasa cooperan para mantener baja la acumulacion de calor de la operacion de rectificacio para no dañar el grano.</i>

**Figura 3.4** Patente 1 “Grain Mill”

Fuente: Elaboración Propia

<i>Patente 2</i>	
	<i>Descripcion : Corn Milling</i>
	<i>Numero de patente: U.S 8,113,447 B1</i> <i>Fecha de publicacion: 14 Febrero del 2012</i>
	<i>Resumen : el mecanismo comprende en fracturar los granos en particulas relativamente grandes y pasar las particulas a traves de un par de rodillos contrarrotatorios, estos rodillos presentan corrugaciones, los rodillos estan separados una distancia para triturar el endospermo.</i>

**Figura 3.5** Patente 2 “Corn Milling”

Fuente: Elaboración Propia

Patente 3	
	<p><i>Descripcion : Grain Milling Degermination Process</i></p>
	<p><i>Numero de patente: U.S 5,250,313 Fecha de publicacion: 5 Octubre de 1993</i></p>
	<p><i>Resumen : el mecanismo comprende discos giratorios con corrugaciones alrededor de la superficie de estas en las cuales los granos se atrapan y se aplastan desde los bordes delgados hacia el centro, la camara de trituracion tiene un disco giratorio curvado que tiene paletas en la parte superior para guiar los granos.</i></p>

**Figura 3.6** Patente 3 “Grain Milling Degermination Process”

Fuente: Elaboración Propia

### Exploración sistemática

Se realizó una matriz morfológica, cuyas columnas corresponden a las posibles soluciones encontradas de la búsqueda interna y externa de la tecnología existente. Los encabezados corresponden a las funciones del diseño a desarrollar tales como: preparar el producto de entrada, alimentar, transmitir, transportar, pre moler, moler y transportar. De todas las combinaciones posibles resultaron cuatro conceptos solución que serán evaluados por seis criterios para seleccionar la posible solución.

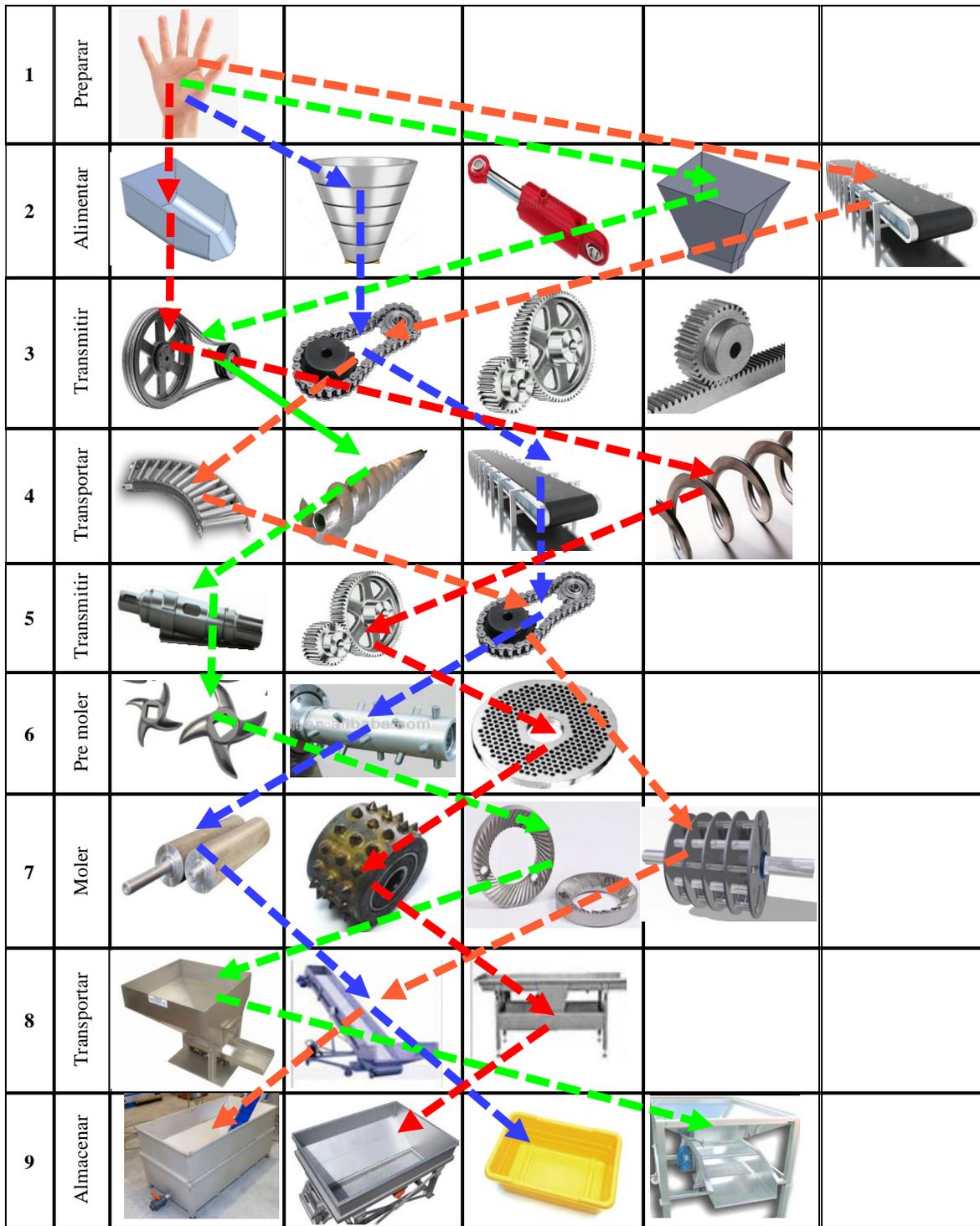


Figura 3.7 Matriz morfológica  
Fuente: Elaboración Propia

### 3.1.7 Selección del concepto

Se elaboró la matriz de selección para cuatro conceptos solución, de los cuales se seleccionaron dos. Se resumió a MMC como “Máquina Moledora de Choclo”. La evaluación de los conceptos solución se realizó a través de la denominación “+” mejor que, “0” igual a, “-” peor que.

<i>Criterios de Selección</i>	<i>Conceptos Solución</i>			
	A MMC1	B MMC2	C MMC3	D MMC4
<b><i>Fácil Operación</i></b>				
<i>Estructura y mecanismo ergonómicamente viable</i>	0	+	+	0
<i>Estructura segura</i>	+	+	+	+
<b><i>Fácil Mantenimiento</i></b>				
<i>Repuestos comerciales y fácil de fabricar</i>	-	-	+	-
<i>Repuestos baratos</i>	-	-	0	0
<i>Dimensiones pequeñas de las partes del equipo</i>	+	0	+	0
<b><i>Fácil Desmontaje</i></b>				
<i>Piezas pequeñas y ligeras</i>	+	0	+	+
<i>Piezas en su mayoría con elementos de ajuste</i>	0	0	+	0
<b><i>Facilidad de Fabricación</i></b>	0	0	+	0
<b><i>Facilidad de Transmisión de energía</i></b>				
<b><i>Impulsado por un motor eléctrico</i></b>	+	+	+	+
<b><i>Portabilidad</i></b>	0	0	+	+
<i>Suma +</i>	4	3	9	4
<i>Suma 0</i>	4	5	1	5
<i>Suma -</i>	2	2	0	1
<i>Evaluación neta</i>	2	1	9	3
<i>Continua</i>	<b>NO</b>	<b>NO</b>	<b>SI</b>	<b>SI</b>

**Tabla 3.13** Resultados de la evaluación de los conceptos solución

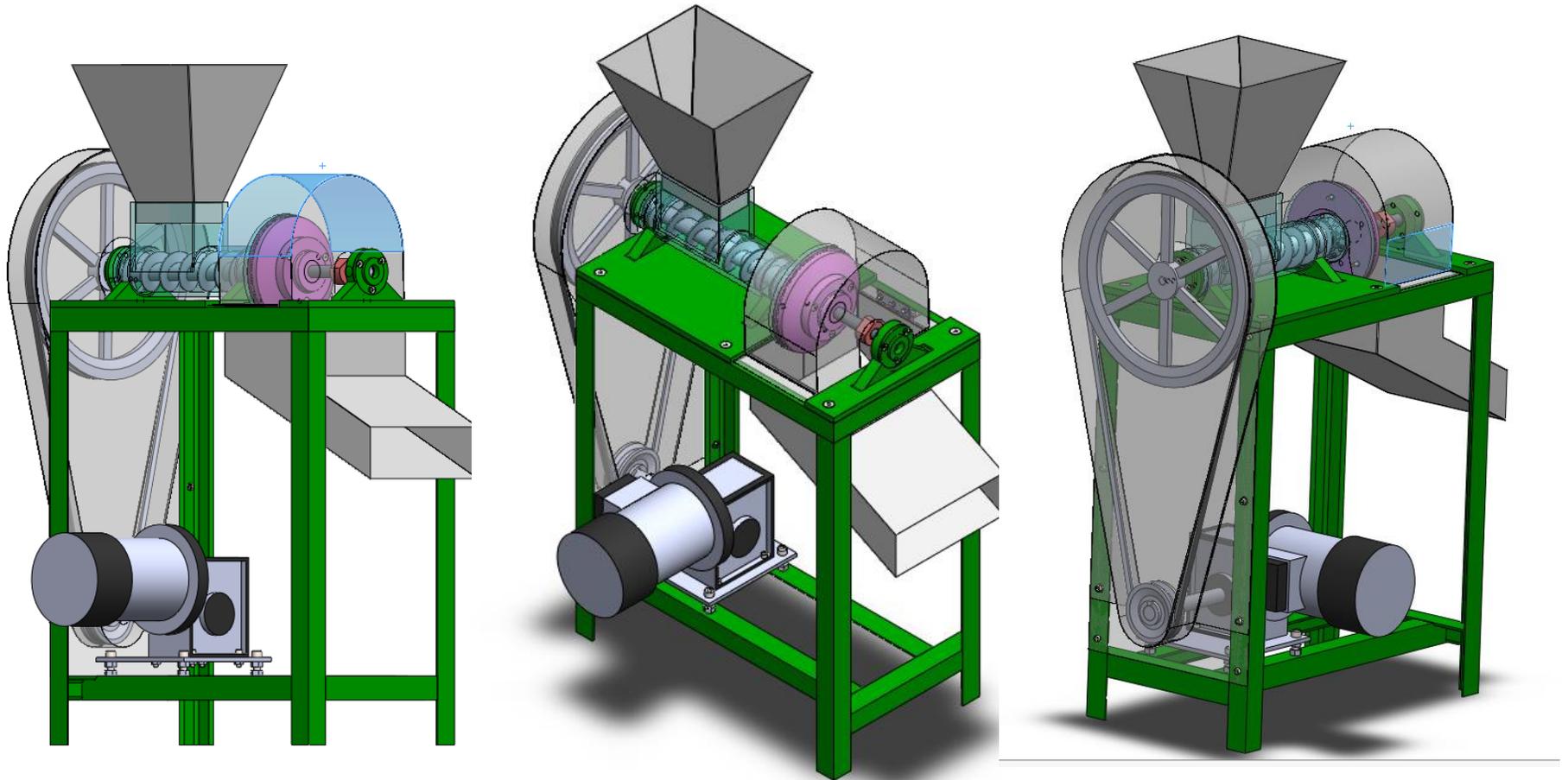
Fuente: Elaboración propia

Después de eliminar al resto de los conceptos solución, se desarrolló una matriz cuantitativa para los dos conceptos solución seleccionados. Se seleccionó “MMC 3” debido al mayor puntaje ponderado en cada uno de los criterios de selección.

<i>Criterios de Selección</i>	Peso (%)	<i>Conceptos seleccionados</i>			
		<b>MMC 3</b>		<b>MMC 4</b>	
		<i>Calificación</i>	<i>Evaluación Ponderada</i>	<i>Calificación</i>	<i>Evaluación Ponderada</i>
<b><i>Fácil Operación</i></b>	25%				
<i>Estructura y mecanismo ergonómicamente viable</i>		3	0.75	2	0.5
<i>Estructura segura</i>		3	0.75	2	0.5
<b><i>Fácil Mantenimiento</i></b>	15%				
<i>Repuestos comerciales y fácil de fabricar</i>		2	0.3	3	0.45
<i>Repuestos baratos</i>		2	0.3	1	0.15
<i>Dimensiones pequeñas de las partes del equipo</i>		3	0.45	1	0.15
<b><i>Fácil Desmontaje</i></b>	20%				
<i>Piezas pequeñas y ligeras</i>		3	0.6	1	0.2
<i>Piezas en su mayoría con elementos de ajuste</i>		2	0.4	1	0.2
<b><i>Facilidad de Fabricación</i></b>	10%	2	0.2	3	0.3
<b><i>Facilidad de Transmisión de energía</i></b>	15%	3	0.45	2	0.3
<b><i>Impulsado por un motor eléctrico</i></b>	10%	3	0.3	3	0.3
<b><i>Portabilidad</i></b>	5%	2	0.1	2	0.1
<i>Total de Puntos</i>	100%	4.6		3.15	
<i>Continua</i>		<b>SI</b>		<b>NO</b>	

**Tabla 3.14** Resultados de la matriz ponderada  
Fuente: Elaboración propia

### Concepto Solución "MMC 3"



**Figura 3.8** Concepto solución seleccionado "MMC 3"  
Fuente: Elaboración propia

### 3.1.8 Especificaciones iniciales

Las especificaciones iniciales para el diseño y construcción de la máquina molidora de choclo se puede ver en la siguiente Tabla 3.15, mientras que los costos de fabricación de cada uno de los elementos del prototipo se pueden observar en la en la Tabla 3.16.

<i>Número</i>	<i>Métrica</i>	<i>Unidades</i>	<i>Valor</i>
1	<i>Capacidad del prototipo</i>	<i>Kg/h</i>	25
2	<i>Diámetro máximo de los discos de moler</i>	<i>mm</i>	160
3	<i>Diámetro máximo del extrusor</i>	<i>mm</i>	90
4	<i>Diámetro máximo del eje motriz</i>	<i>mm</i>	25
5	<i>Velocidad de giro del eje motriz</i>	<i>rpm</i>	300
6	<i>Materiales de la estructura base</i>	<i>Lista</i>	A36
7	<i>Materiales de los elementos en contacto con el producto</i>	<i>Lista</i>	INOX AISI 304
8	<i>Esfuerzo cortante del grano de choclo</i>	<i>N/mm<sup>2</sup></i>	0.32
9	<i>Peso del prototipo</i>	<i>Kg</i>	80
10	<i>Costos de fabricación</i>	<i>USD</i>	700
11	<i>Potencia Consumida</i>	<i>W</i>	1119
12	<i>Potencia Suministrada</i>	<i>W</i>	1492
13	<i>Diámetro máximo de polea</i>	<i>mm</i>	320
14	<i>Base del extrusor y componentes secundarios</i>	<i>Lista</i>	A36
15	<i>Material del eje motriz</i>	<i>Lista</i>	INOX AISI 304L
16	<i>Longitud de la Correa</i>	<i>mm</i>	1622
17	<i>Dimensión de chaveta 1/8X1/8</i>	<i>mm</i>	10
18	<i>Dimensión de chaveta 3/16X1/8</i>	<i>mm</i>	10
19	<i>Material de Guarda para poleas</i>	<i>Lista</i>	Acero al carbono
20	<i>Tornillos y sujetadores</i>	<i>Lista</i>	M8,M5,M10
21	<i>Tipo de correa</i>	<i>Lista</i>	Correa en V -A/13
22	<i>Tipo de Rodamiento</i>	<i>Lista</i>	Bolas 6202

**Tabla 3.15** Especificaciones de la máquina molidora de choclo

Fuente: Elaboración propia

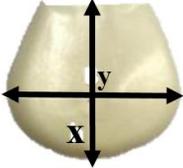
<i>Elemento</i>	<i>Pieza</i>	<i>Descripción</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Empresa 1 (\$ c/u)</i>	<i>Empresa 2 (\$ c/u)</i>	<i>Empresa 3 (\$ c/u)</i>
1	<i>Estructura</i>	<i>Perfil Angular 35x35x5 - A36</i>	1	100	120	70
2	<i>Motor</i>	<i>Motor eléctrico monofásico carcasa 90 L</i>	1	120	100	90
3	<i>Polea 2</i>	<i>Polea de aluminio diámetro 315 mm</i>	1	20	15	7
4	<i>Polea 1</i>	<i>Polea de aluminio diámetro 56 mm</i>	1	12	14	5
5	<i>Base de extrusor 1</i>	<i>A36</i>	1	7.5	8.5	6
6	<i>Base de extrusor 2</i>	<i>A36</i>	1	7.5	8.5	6
7	<i>Cámara de extrusor</i>	<i>INOS AISI 304</i>	1	63	80	40
8	<i>Soporte de cámara de extrusor</i>	<i>A36</i>	3	22.5	25.5	18
9	<i>Eje</i>	<i>INOX AISI 304 L</i>	1	30	35	30
10	<i>Rodamiento</i>	<i>Rodamiento de bolas 6202</i>	2	1.5	2	1.5
11	<i>Brida para caja de rodamiento 1</i>	<i>A36</i>	1	10	12	9
12	<i>Brida para caja de rodamiento 2</i>	<i>A36</i>	1	10	12	9
13	<i>Extrusor</i>	<i>INOX AISI 304 L</i>	1	100	85	59
14	<i>Cuchillas</i>	<i>INOX AISI 304 L</i>	1	20	25	20
15	<i>Disco para cuchillas</i>	<i>INOX AISI 304 L</i>	1	10	15	10
16	<i>Disco fijo</i>	<i>INOX AISI 304</i>	1	120	110	100
17	<i>Disco móvil</i>	<i>INOX AISI 304</i>	1	120	105	100
18	<i>Soporte de disco móvil</i>	<i>INOX AISI 304</i>	1	60	40	20
19	<i>Contratuerca</i>	<i>INOX AISI 304</i>	1	20	15	13
21	<i>Tolva de salida</i>	<i>INOX AISI 304</i>	1	12	13	10
22	<i>Tolva de entrada</i>	<i>A36</i>	1	18	15	14
24	<i>Correa de transmisión</i>	<i>V-Z/10 1622 mm longitud</i>	1	10	10	10
25	<i>Chavetas 1/8 X 1/8</i>	<i>10 mm longitud</i>	1	3	3	3
26	<i>Chavetas 3/16 X 1/8</i>	<i>10 mm longitud</i>	2	6	6	6
27	<i>Tornillo hexagonal cabeza allen</i>	<i>M10X1.5 grado 4,6</i>	4	3	4	3
28	<i>Tornillo hexagonal cabeza allen</i>	<i>M5X0.8 grado 4,7</i>	18	10	9	8
29	<i>Tornillo hexagonal cabeza hexagonal</i>	<i>M8X1.25 grado 4,6</i>	3	3	2.5	2.5
30	<i>Tuerca hexagonal</i>	<i>M8X0.5 grado 4,6</i>	18	10	9	8
<b>Total</b>				<b>\$964.00</b>	<b>\$936.00</b>	<b>\$708.00</b>

**Tabla 3.16** Costos de fabricación de la máquina moladora de choclo  
Fuente: Elaboración propia

### 3.2 Determinación de los requerimientos del diseño

#### 3.2.1 Dimensiones de un grano de choclo

Las medidas promedio de las 40 muestras tomadas de mazorcas de choclo fueron las siguientes:

	x ( Altura) mm	y (Ancho) mm	z (Espesor) mm	Volumen (mm <sup>3</sup> )	Peso ( gramos)
	17.27	15.08	5.66	23885.75	1.07

**Tabla 3.17** . Medidas promedio de las dimensiones de un grano de choclo  
Fuente: Elaboración propia

#### 3.2.2 Esfuerzo cortante

El esfuerzo cortante varía entre  $0.28 \frac{N}{mm^2}$  a  $0.32 \frac{N}{mm^2}$  . Para efectos del diseño se consideró el valor más crítico en término de la potencia consumida.

$$\tau_c = 0.32 \frac{N}{mm^2}$$

### 3.3 Potencia Consumida en el tornillo alimentador

La potencia consumida en el tornillo se calculó en base al torque requerido, este parámetro está relacionado con las cargas del tornillo alimentador, las propiedades del material “granos de maíz” y las dimensiones geométricas del tornillo alimentador.

De la Tabla 3.18 , el resultado "Q" corresponde a la carga de alimentación ejercida por los granos de choclo, además el resultado del esfuerzo radial promedio en la pared “ $\sigma_{wa}$ ”, es la presión normal que actúa perpendicularmente en la pared del canal al eje central. El procedimiento de cálculo se puede ver en Anexos 8.

<i>Carga en el extrusor</i>	$Q$	18.425 N
<i>Esfuerzo ejercido por los granos en la tolva del tornillo</i>	$\sigma_o$	388.717 N/m <sup>2</sup>
<i>Esfuerzo radial promedio en la pared</i>	$\sigma_{wa}$	192.814 N/m <sup>2</sup>
<i>Fuerza de resistencia axial en la superficie de corte del tonrillo</i>	$F_{ua}$	0.028 N
<i>Fuerza de resistencia axial en la superficie del eje</i>	$F_{ca}$	0.076 N
<i>Fuerza de resistencia axial en lado posterior del canal</i>	$F_{la}$	0.391 N
<i>Fuerza de resistencia axial en la superficie del canal</i>	$F_{ta}$	0.015 N
<i>Fuerza de resistencia axial en la lado de conduccion del canal</i>	$F_{da}$	0.550 N
<i>Torque requerido en la seccion de alimentacion</i>	$T_{ft}$	12 N.mm
<i>Torque requerido en la seccion de estrangulamiento</i>	$T_c$	6 N.mm
<i>Potencia en el tornillo</i>	$P_e$	23 kW

**Tabla 3.18** Resultados de parámetros de potencia del tornillo alimentador  
Fuente: Elaboración propia

### 3.4 Potencia consumida en las cuchillas

Se calculó la potencia consumida en las cuchillas de corte, tal como muestra la Tabla 3.19.

$A_d$	2513.27 mm <sup>2</sup>
$F_c$	81.43 N
$\tau$	1544.72 N.mm
$P$	19.412 watts

**Tabla 3.19** Parámetros para la potencia consumida  
Fuente: Elaboración propia

### 3.5 Potencia consumida en los discos

En la Tabla 3.20 se muestra los resultados de los parámetros geométricos para la obtención de la fuerza de corte " $F_c$ " y el " $\tau$ " torque generado por los granos de choclo. Se analizaron 12 granos de choclo por canal espiral en el disco móvil.

Se puede observar que a distancia radial " $r$ " entre centros del grano – disco móvil aumenta en función a la posición del grano en el canal espiral.

Posición	$\Phi_{grano}(mm)$	$r'$ (mm)	$r_a = \sqrt{R'^2 + r'^2}(mm)$
1	18	22.87	21.025
2	11.7	34.58	34.082
3	10.3	42.19	41.874
4	8.7	48.73	48.535
5	7	54.09	53.977
6	6	58.59	58.513
7	5	62.25	62.20
8	4.5	65.21	65.171
9	3.8	67.71	67.683
10	3.2	69.72	69.702
11	2.6	71.5	71.488
12	2.3	73.18	73.171

**Tabla 3.20** Resultados de diámetro de granos y distancia radial entre centro granos – disco móvil “ $r_a$ ”  
Fuente: Elaboración propia

En torque “ $\tau$ ” máximo generado por los granos de choclo se da en la posición inicial “1” debido al incremento del área de corte “ $A_{ic}$ ”.

#	$\Phi_{grano}(mm)$	$A_{ic} = \frac{\pi}{4}(\Phi_i^2 - (\Phi_i - 1)^2)$	$r'$ (mm)	$r_a = \sqrt{R'^2 + r'^2}(mm)$	$F_C(N)$	$\tau$ (N.mm)
1	18	27.49	22.87	21.025	8.70	182.89
2	11.7	17.59	34.58	34.082	5.57	189.74
3	10.3	15.39	42.19	41.874	4.87	203.99
4	8.7	12.88	48.73	48.535	4.08	197.83
5	7	10.21	54.09	53.977	3.23	174.40
6	6	8.64	58.59	58.513	2.73	159.97
7	5	7.07	62.25	62.20	2.24	139.13
8	4.5	6.28	65.21	65.171	1.99	129.58
9	3.8	5.18	67.71	67.683	1.64	111.03
10	3.2	4.24	69.72	69.702	1.34	93.55
11	2.6	3.30	71.5	71.488	1.04	74.62
12	2.3	2.83	73.18	73.171	0.89	65.47

**Tabla 3.21** Resultados de la fuerza de corte “ $F_C$ ” y “ $\tau$ ” torque generado por cada grano de choclo  
Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 3.22 se muestran “ $\tau$ ” los resultados del torque por cada grano en la zona plana del disco móvil. El número de granos de choclo se determinó en base al grano cortado en cada corte realizado en el canal espiral.

Posición	$D_r$ (mm)	$r_a = \sqrt{R'^2 + r'^2}$ (mm)	$\tau$ (N.mm)
1	79.50	79.49	59.13
2	79.26	79.25	58.95
3	80.38	80.37	59.79
4	80.24	80.23	59.68
5	80.15	80.14	59.62
6	80.11	80.10	59.59
7	80.12	80.11	59.59
8	80.18	80.17	59.64
9	80.30	80.29	59.73
10	80.46	80.45	59.85
11	80.68	80.67	60.01
12	80.96	80.95	60.22

**Tabla 3.22** “ $\tau$ ”Torque generado por los granos de choclo en la sección plana del disco móvil  
Fuente: Elaboración propia

Descripción	Variable	rpm	Torque “ $\tau$ ”	Potencia “P”
Tornillo extrusor	$P_{Tt}$	120	18 N.mm	0.226 watts
Cuchillas	$P_{Tc}$	120	1544.72 N.m	19.412 watts
Discos	$P_{Td}$	120	18040.80 N.m	226.710 watts

**Tabla 3.23** Potencia pada cada sistema mecánico  
Fuente: Elaboración propia

$$P_T(\text{Watts}) = \left( \sum_i^{P_{\text{sistema}}} P_{Ti} \right)$$

$$P_T = 246.348 \text{ watts} \langle \rangle 0.33 \text{ HP}$$

Según los catálogos comerciales se considera los siguientes valores de eficiencias en los elementos mecánicos tales como el rodamiento, ajustes y del motor, obteniendo una potencia final “ $P_T$ ”

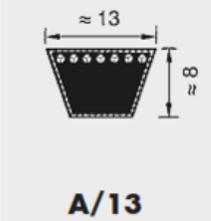
$$n_e = 0.90 \quad n_{\text{motor}} = 0.89$$

$$P_T = 0.41 \text{ HP}$$

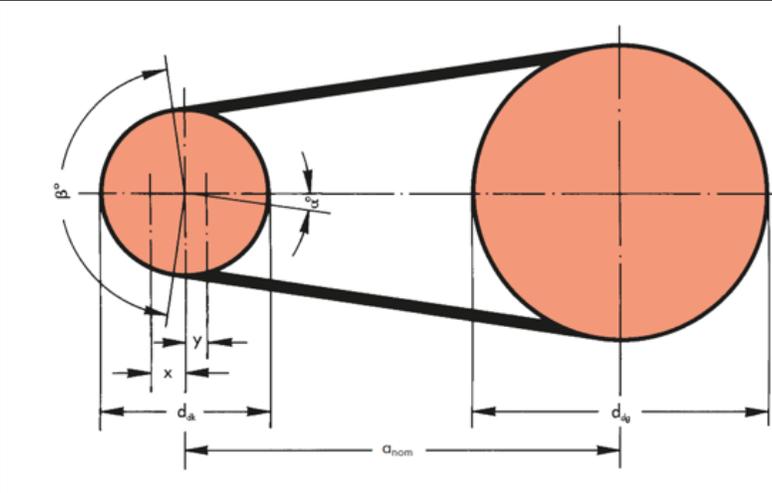
### 3.6 Selección de la correa de transmisión

Se seleccionó el perfil de correa A/13 con número A 45 1/2 del catálogo de correas de transmisión de Optibelt. En la Tabla 3.24 se detallan las características del perfil de la correa seleccionada de acuerdo a los parámetros de la Tabla 3.25.

El procedimiento de cálculo se detalla en Anexos 9: Cálculo de selección de correa de transmisión.

Perfil de la correa	Número de correa
 <p><b>A/13</b></p>	A 45 1/2
	Desarrollo de referencia
	1180 mm
	Potencia nominal por correa
	0.35 kW
	Número de correas trapeciales
Z=1	

**Tabla 3.24** Características del perfil de correa seleccionado  
Fuente: [Elaboración propia]

	Potencia calculada	$P_B$	0.335 kW
	Perfil de la correa	Perfil	A13
	Multiplicación	$i$	2.29
	Diámetros de poleas	$D_{dk}$	67 mm
		$D_{dg}$	160 mm
	Distancia entre ejes	$a$	400 mm
	Desarrollo de referencia	$L_{dth}$	1180 mm
	Recorrido mínimo de ajuste	$x$	20 mm
		$y$	15 mm
	Velocidad	$v$	0.96 m/s
	Frecuencia de flexión	$f_b$	1.62 s <sup>-1</sup>
	Factor de ángulo	$c_1$	0.99
	Ángulo de contacto	$\beta$	165°
	Potencia nominal x correa	$P_N$	0.35 kW
Número de correas trapeciales	Z	1	

**Tabla 3.25** Resultado de los parámetros de diseño de una correa de transmisión  
Fuente: [Elaboración propia]

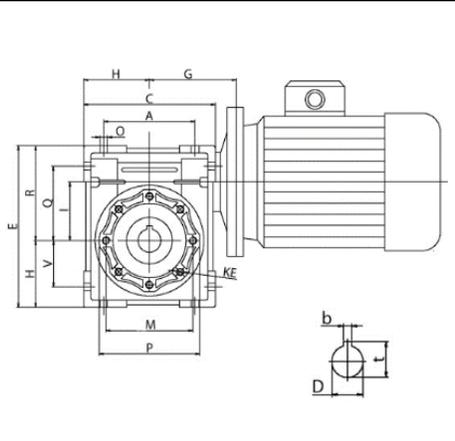
### 3.7 Selección del Moto reductor

Para la selección del moto reductor se utilizó el catálogo técnico de la empresa “α” Alfa Transmisiones Industriales del mercado nacional, el moto reductor seleccionado fue “NMRV-40”. [38]

Se seleccionó el moto reductor mediante el torque total y la velocidad de operación en el eje de salida.

$$\sum_i^{\tau_{\text{sistema}}} \tau_i = 1.99 \text{ Kg.m}$$

NMRV-40	
Potencia "P"	0.5 hp
Torque requerido "τ"	2 Kg.m
Rendimiento mecanico "n"	0.85
Velocidad de salida	200 rpm



I	n2(rpm)		NMRV-25	NMRV-30	NMRV-40	NMRV-50	NMRV-63	NMRV-75	NMRV-90	NMRV-110	NMRV-130
7.5	200	Hp	0.12	0.25	0.5	1	2	4	5.5	10	12.5
		M2	0.14	0.90	2	3.17	6.80	12.51	17.67	32.20	40.28
		η	0.85	0.85	0.89	0.89	0.87	0.87	0.90	0.90	0.90
10	150	Hp	0.12	0.3	0.75	1	2	4	5.5	10	12.5
		M2	0.5	1.17	3.05	4.11	9.02	16.80	23.27	42.47	53.11
		η	0.85	0.82	0.85	0.86	0.87	0.88	0.89	0.89	0.89
15	100	Hp	0.12	0.25	0.5	1	2	3	4	7.5	10
		M2	0.73	1.37	2.84	5.88	11.84	17.78	24.56	46.19	62.3
		η	0.85	0.77	0.79	0.82	0.83	0.83	0.86	0.86	0.87

**Tabla 3.26** Selección del moto reductor NMRV

Fuente: Alfa Transmisiones Industriales, "Reductores y Motoreducers de velocidad," Lima, 2012. [38]

### 3.8 Selección de rodamientos

Para la selección de los rodamientos de la máquina, se utilizó el catálogo técnico de la empresa “SKF” y se seleccionó los rodamientos rígidos de una hilera de bolas con código 6202. Los parámetros que se tomaron en cuenta para la selección fueron: El diámetro del eje motriz “ $\varnothing_{eje}$ ” y el cálculo de la capacidad de carga dinámica “ $C_d$ ”.

El procedimiento de cálculo para la selección del rodamiento se puede ver en Anexos 11.

6202	
$D$ (mm)	35
$d$ (mm)	15
$B$ (mm)	11
$C$ (kN)	8.06

Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga	Velocidades nominales		Masa	Designación
d	D	B	dinámica C	estática C <sub>0</sub>	P <sub>u</sub>	Velocidad de referencia	Velocidad límite		
mm			kN		kN	r. p. m.		kg	-
<b>12</b>	21	5	1,74	0,915	0,039	70 000	43 000	0,0063	61801
	24	6	2,91	1,46	0,062	67 000	40 000	0,011	61901
	28	8	5,4	2,36	0,1	60 000	38 000	0,021	6001
	30	8	5,07	2,36	0,1	60 000	38 000	0,026	16101
	32	10	7,28	3,1	0,132	50 000	32 000	0,037	6201
	37	12	10,1	4,15	0,176	45 000	28 000	0,06	6301
<b>15</b>	24	5	1,9	1,1	0,048	60 000	38 000	0,0065	61802
	28	7	4,36	2,24	0,095	56 000	34 000	0,016	61902
	32	8	5,85	2,85	0,12	50 000	32 000	0,03	16002
	32	9	5,85	2,85	0,12	50 000	32 000	0,03	6002
	35	11	8,06	3,75	0,16	43 000	28 000	0,045	6202
42	13	11,9	5,4	0,228	38 000	24 000	0,082	6302	
<b>17</b>	26	5	2,03	1,27	0,054	56 000	34 000	0,0075	61803
	30	7	4,62	2,55	0,108	50 000	32 000	0,016	61903
	35	8	6,37	3,25	0,137	45 000	28 000	0,038	16003
	35	10	6,37	3,25	0,137	45 000	28 000	0,038	6003

**Tabla 3.27** Selección del rodamiento de bolas del catálogo técnico de SKF.

### 3.9 Diámetros del eje

La Tabla 3.28 detalla los diámetros para cada sección del eje motriz, se consideraron las propiedades mecánicas para el eje de un material “Acero inoxidable 304 ” y otros parámetros tales como el factor de concentración de esfuerzos, resistencia a la fatiga estimada real " $S'_n$ ", resistencia a la fatiga " $S_n$ ", el esfuerzo de fluencia " $S_y$ ".

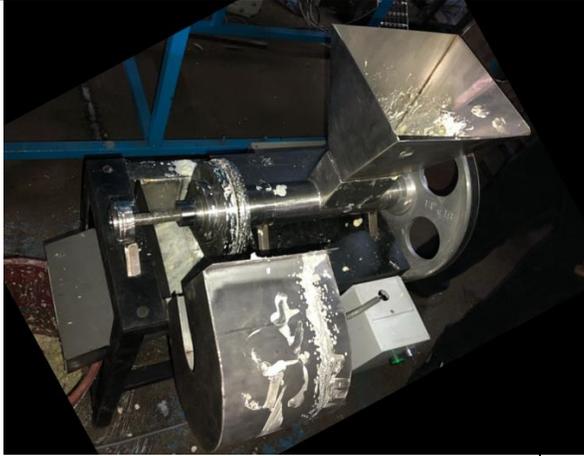


	$N$	$M (N.mm)$	$T(N.mm)$	$S_y(N/mm^2)$	$C_m$	$C_{st}$	$C_s$	$C_r$	$S_n(N/mm^2)$	$S'_n(N/mm^2)$	$K_t$	Valor	Valor seleccionado
$D_1$	2	0	19603.52	216	1	1	1.05	0.81	200	170.3	1.6	11.69 mm	12 mm
$D_2$	1.96	4520.9	19603.52	216	1	1	1.08	0.81	200	170.3	1.6	12.127 mm	12 mm
$D_3$	3.57	15597.105	19603.52	216	1	1	1.08	0.81	200	174.53	1	16.296 mm	16 mm
$D_4$	2.65	15324.7376	19603.52	216	1	1	1.08	0.81	200	174.53	2.5	18.462 mm	19 mm
$D_5$	5.68	14581.9166	19603.52	216	1	1	1.11	0.81	200	179.13	2.5	23.283 mm	23 mm
$D_6$	6.45	13839.0956	19603.52	216	1	1	1.11	0.81	200	179.13	2	22.499 mm	23 mm
$D_7$	7.79	9877.3836	19603.52	216	1	1	1.11	0.81	200	179.13	1	19.676 mm	20 mm
$D_8$	7.92	7280.2066	19603.52	216	1	1	1.11	0.81	200	179.13	1	19.2543 mm	19 mm
$D_9$	6.67	2281.9966	19585.52	216	1	1	1.11	0.81	200	178.07	2.5	17.927 mm	18 mm
$D_{10}$	6.69	2115.3896	19585.52	216	1	1	1.10	0.81	200	178.07	2	17.748 mm	18 mm
$D_{11}$	6.69	2032.0861	19585.52	216	1	1	1.10	0.81	200	178.07	2	17.728 mm	18 mm
$D_{12}$	7.31	461.4589	18040.8	216	1	1	1.10	0.81	200	178.07	3	18.044 mm	18 mm
$D_{13}$	7.33	20.473	0	216	1	1	1.08	0.81	200	174.53	1	9.5697 mm	10 mm

**Tabla 3.28** Resultados de los diámetros para cada sección del eje motriz  
Fuente: Elaboración propia

### 3.10 Máquina moladora de choclo

Se realizó la prueba de obtención de masa de choclo con el prototipo diseñado para lo cual se empleó los siguientes implementos y materiales:

<i>Prototipo fabricado</i>	<i>Elementos</i>	
	<i>Balanza electronica</i>	<i>1</i>
	<i>Producto "Choclo"</i>	<i>4 Kg</i>
	<i>Cronometro</i>	<i>1</i>
	<i>Envases</i>	<i>2</i>

**Tabla 3.29** Materiales utilizados en la prueba de obtención de masa de choclo  
Fuente: [Elaboración propia]

Los resultados de la Tabla 3.30 muestra una aproximación de la cantidad de masa molida de salida una vez pasada por el proceso de molienda en el prototipo, para ello inicialmente se pesó en muestras de 500 gramos divididas en cinco test.

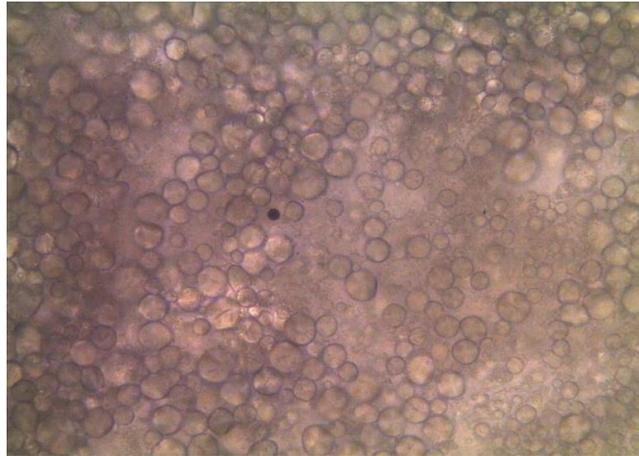
	<i>Entrada (gr)</i>	<i>Salida (gr)</i>	<i>Tiempo (sg)</i>	
<i>Test 1</i>	<i>500</i>	<i>290</i>	<i>47.57</i>	
<i>Test 1</i>	<i>500</i>	<i>304</i>	<i>43.25</i>	
<i>Test 2</i>	<i>500</i>	<i>324</i>	<i>44.12</i>	
<i>Test 3</i>	<i>500</i>	<i>312</i>	<i>44.15</i>	
<i>Test 5</i>	<i>500</i>	<i>315</i>	<i>43.14</i>	

**Tabla 3.30** Resultados de la masa obtenida en función del tiempo  
Fuente: [Elaboración propia]

$$Q_{capacidad} = \frac{309 \text{ gramos}}{\frac{0.74 \text{ min}}{60}} \times \frac{1}{1000} = 25.054 \frac{Kg}{hr}$$

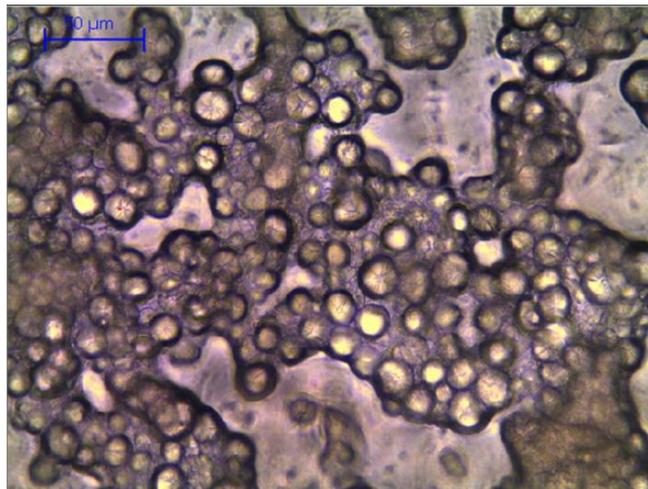
### 3.11 Evaluación de la masa de choclo

La Figura 3.9 muestra el resultado de la captura de masa de choclo molida de nuestro prototipo diseñado.



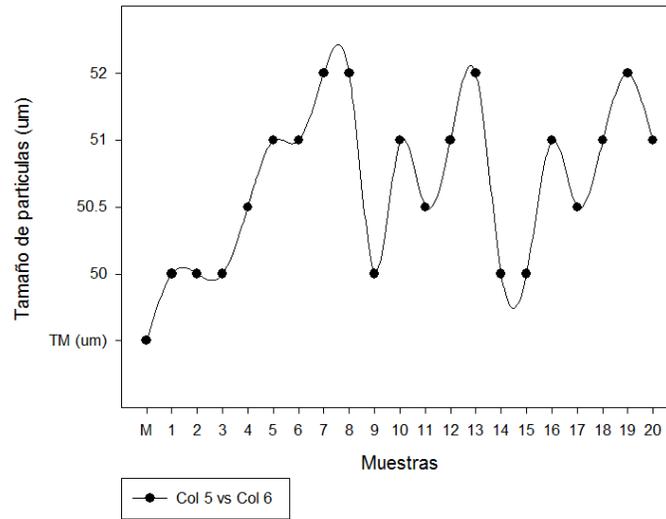
**Figura 3.9** Masa molida de choclo tomada por el microscopio Leica  
Fuente: [Elaboración propia]

En la Figura 3.10 muestra el resultado del procesamiento de imagen de la masa de choclo molida de nuestro prototipo.



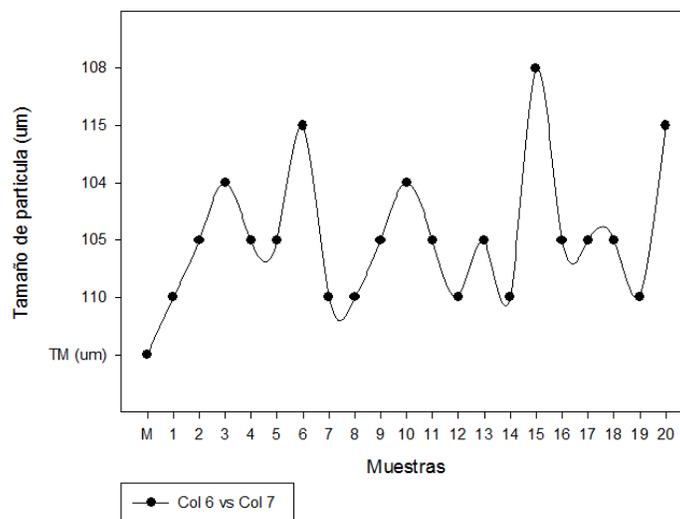
**Figura 3.10** Tamaño de las partículas de la masa molida de choclo 50  $\mu m$   
Fuente: [Elaboración propia]

El tamaño de partículas de nuestra masa molida de choclo con nuestro prototipo de máquina sale un valor aproximado a  $50 \mu m$ , se evaluaron 20 placas de vidrio con la masa obtenida por nuestro prototipo.



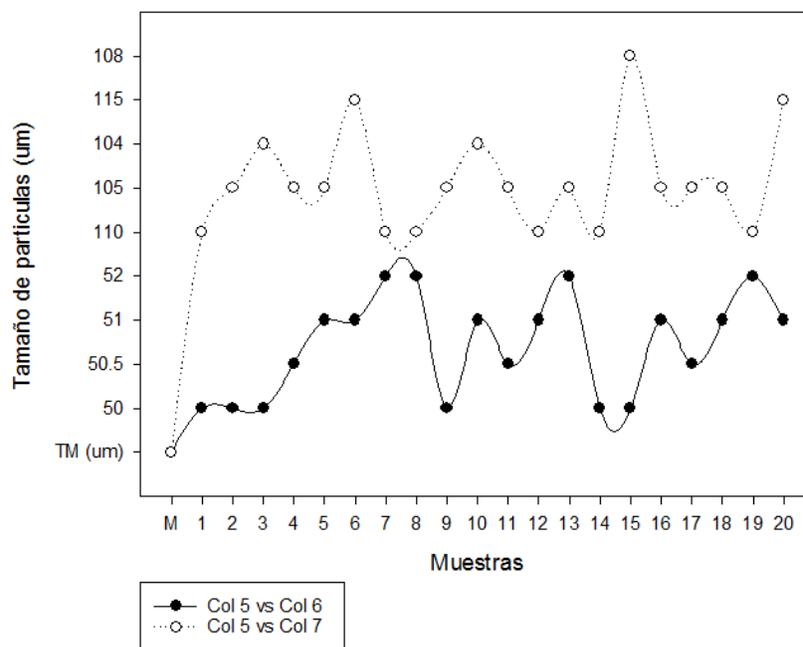
**Figura 3.11** Resultados del tamaño de partículas de la masa molida en nuestro prototipo de máquina  
Fuente: [Elaboración propia]

La masa molida por un molino corona convencional tiene tamaño de partículas aproximado  $104 \mu m$ , es decir un poco más del 50 % que la masa molida por nuestro diseño, por ende la masa no es tan fina como la del prototipo diseñado en la presente tesis.



**Figura 3.12** Resultados del tamaño de partículas de la masa molida por un molino corona  
Fuente: [Elaboración propia]

En la Figura 3.13 se muestra una comparación de los resultados de ambas masas obtenidas por las dos máquinas. La molienda del prototipo fabricado en el presente trabajo de investigación pudo romper las células y dejar libres los gránulos de almidón. La masa obtenida corresponde a las células destruidas también llamadas fibras.



**Figura 3.13** Comparación de resultados de tamaño de partículas  
Fuente: [Elaboración propia]

## **CAPÍTULO IV**

### **CONCLUSIONES**

- 1.** Se diseñó un prototipo de máquina moledora de choclo accionada por un moto reductor eléctrico de 0.5 hp, compuesto por dos mecanismos, el primero un tornillo alimentador o también denominado “extrusor” y el segundo la cámara de molienda a través de un disco radial de 165 mm de diámetro y un disco con canales triangulares de 160 mm de diámetro.
  
- 2.** Se diseñó y seleccionó los elementos que comprenden la máquina tales como una correa de transmisión en V “A13” de la empresa Optibelt, rodamientos de una hilera de bolas con ranura profunda N-6202 de la empresa SKF Rodamientos, el moto reductor de Motores Alfa, para la estructura los perfiles angulares 35X35X5 A36, además de los elementos que se encuentran en contacto con el producto se seleccionó el acero INOX AISI 304 L para la fabricación.
  
- 3.** Se fabricó el diseño de la máquina moledora de choclo, utilizando catálogos técnicos normalizados del mercado nacional, además las pruebas experimentales iniciales ayudaron a hacer modificaciones en el diseño de algunos elementos tales como el tornillo alimentador “extrusor” con respecto a su geometría.
  
- 4.** La máquina diseñada en el presente trabajo de tesis produce una masa de choclo molida  $50 \mu m$  más fina que la de un molino corona utilizado actualmente por los productores de choclo del distrito de Matahuasi.

## **RECOMENDACIONES**

- 1.** Para mejor la calidad del producto final, se recomienda la implementación de nuevos mecanismos de molienda que ayuden a mejorar la calidad de la masa del choclo, superando el tamaño de partículas obtenidos en el presente trabajo.
- 2.** Realizar una verificación y búsqueda de nuevos materiales que se puedan implementar en futuros estudios de la maquina moledora de choclo, para poder reducir el costo de fabricación de la máquina y disminuir en un 40 % el peso total del equipo.
- 3.** Se recomienda estudiar la posibilidad de implementar un mecanismo motriz que no afecte el esfuerzo físico de los usuarios finales, como fuente de energía para la maquina moledora de choclo, debido a que los pobladores de algunas comunidades rurales no cuentan con energía eléctrica en sus chacras.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] INEI, "IV Censo Nacional Agropecuario. Perú, 2012," Insitito Nacional de Estadística e Informática, Lima, 2013.
- [2] BCR, "Síntesis económica de Junín diciembre 2012. Departamentos de estudios económicos del banco central de reserva del Perú.," Junín, 2012.
- [3] MINAG-Junín, "Plan de contingencia para el sector agropecuario 2011-2012," Ministerio de Agricultura, Lima, 2012.
- [4] M. d. Agricultura, "Principales aspectos de la cadena agropecuaria," Dirección de información agraria, Lima, 2012.
- [5] LC, "Lienzo culinario," 11 Marzo 2012. [Online]. Available: <http://www.lienzoculinario.com/2011/03/asi-sabe-mexico-utensilios.html#.Wx8lDe4vypp>. [Accessed 12 Abril 2018].
- [6] J. S. María Martínez, Diseño de máquinas tortilladoras en México, Distrito Federal de México: Universidad Nacional Autónoma de México, 2007.
- [7] J. Saldarriaga, "El Colombiano," 26 Julio 2013. [Online]. Available: [http://www.elcolombiano.com/historico/landers\\_rey\\_de\\_la\\_olla\\_de\\_presion-BCEC\\_252829](http://www.elcolombiano.com/historico/landers_rey_de_la_olla_de_presion-BCEC_252829). [Accessed 12 Marzo 2018].
- [8] D. g. d. c. agraria, "Maíz amiláceo y cadena agroproductiva," Dirección de información agraria, Lima, 2012.
- [9] N. G.E., "Chicha maize types and manufacture in Perú.," in *Economic botanic*, 1960, pp. 290-299.

- [10] S. C., Cultivated plants of South and Central America. Handbook of South American Indians, Smithsonian Institution Bulletin , 1948.
- [11] H. Vines, "Andina," 26 Enero 2017. [Online]. Available: <http://andina.pe/agencia/noticia.aspx?id=397037>. [Accessed 12 Abril 2018].
- [12] C. M. Haros, "Molienda humeda del maiz," Biblioteca Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, 1999.
- [13] W. S.A, "Structure and composition in corn:chemistry and tecnology," American association of cereal chemist, 1987.
- [14] K. N.N, "The geographical distribution of varietal diversity of maize in the world," *Appl.Bot.Gen* , 1929, pp. 506-510.
- [15] V. H. and Montoro, "Biodiversidad, erosion y contaminacion genetica del maiz nativo en america latina," RAAA, Lima, 2011.
- [16] C. H.C., "Races of maize in South America.," in *Botanical Museum Leaflets*, Harvard University , 1946, pp. 254-291.
- [17] Manrique, "El maiz en el Peru," Concytec, Lima, 1997.
- [18] S. M. and Wilfredo, "Diversidad y descripcion de las razas del maiz en el Peru," UNALM, Lima , 2004.
- [19] E. T. Hoopen., M. M and Maiga, "Maize: production and processing," Pro-Agro, Netherlands, 2012.
- [20] P. M. and B. M., "Nutritional perspectives of quality protein maize," in *Quality protein maize* , 1995, pp. 65-78.
- [21] Weber, "Corn lipids," in *Cereal chemistry*, 1978, pp. 572-584.

- [22] U. P. Beraun, "Fortalecimiento de capacidades para la zonificación ecológica y económica de la región Junín.," Gobierno regional Junín , Junín, 2013.
- [23] V. P. d. Villareal, "Molinos y molinería," España, 1888.
- [24] M. d. nansa, "Maíces del nansa," 22 Febrero 2013. [Online]. Available: <http://maicesdelnansa.blogspot.com/2013/02/las-oloteras-utensilios-para-desgranar.html>. [Accessed 12 Marzo 2018].
- [25] FAM, "Roller mills," Magdeburg, 2018.
- [26] FAM, "Hammer mills," Magdeburg, 2018.
- [27] A. L. and T. O., "Size reduction of solids crushing and grinding equipment," Chapman and Hall , New York, 1997.
- [28] "Easy cencosud," cencosud, [Online]. Available: <https://www.easy.com.co/p/molino-tradicional-114200-granos/>. [Accessed 12 Febrero 2018].
- [29] "Imarca C.A," Distribuidora Imarca , [Online]. Available: <http://www.imarca.com.ve/Molinos-de-carnes.php>. [Accessed 13 Febrero 2018].
- [30] "Arisa," Arisa maquinaria S.A, [Online]. Available: <http://www.arisa.com.mx/molinos.html>. [Accessed 22 Febrero 2018].
- [31] Retsch, "Retsch milling sieving assisting," [Online]. Available: <https://www.retsch.es/es/>. [Accessed 13 Marzo 2018].
- [32] K. T. Ulrich and S. D. Eppinger, Diseño y desarrollo de producto, Mexico D.F: McGraw Hill , 2009.
- [33] M. N.N, Physical properties of plant and animal materials 2nd ed, New York: Gordon and Breach science publisher, 1980.

- [34] Y. Yu and P. U. o. W. Arnold, "Theoretical modelling of torque requirements for single screw feeders," *Powder Technology*, vol. 1, p. 12, 1997.
- [35] A. Reisner and M. E. Rothe, "Bins and bunkers for handling bulk materials," Tech Publications, Clausthal Zellerfeld, 1971.
- [36] Optibelt, "Manual tecnico Optibelt," Brazil, 2012.
- [37] R. L.Mott and P.E, Diseño de elementos de máquina, Pearson educacion de Mexico, 2006.
- [38] Alfa Transmisiones Industriales, "Reductores y Motoreductores de velocidad," Lima, 2012.
- [39] INEI, "IV Censo nacional agropecuario 2012," Punto & Grafica , Lima, 2012.

## ANEXOS

### Anexo 1. Resultados de las mediciones de los granos de choclo

<i>x ( altura) mm</i>	<i>y (ancho) mm</i>	<i>z (espesor) mm</i>	<i>Volumen (mm<sup>3</sup>)</i>	<i>Peso ( gramos)</i>
15.46	14.40	5.86	18610.74	1.03
16.00	15.31	5.73	21945.64	1.07
15.18	15.43	5.42	19735.9	1.11
17.62	14.48	5.49	21685.74	1
15.26	15.08	5.70	19692.44	1.13
15.25	14.13	6.04	17990.93	0.98
18.73	15.20	5.83	27755.92	1.11
17.64	15.98	7.63	35897.73	1.15
17.62	15.02	5.94	25073.44	1.15
17.35	14.20	5.82	21348.76	1.08
14.28	14.23	5.90	16205.22	0.98
16.96	14.89	5.40	21479.1	0.92
18.53	15.85	6.29	31869.64	1.2
16.50	14.59	5.75	20763.95	0.9
17.22	14.75	5.33	21299.63	0.98
19.10	14.80	6.10	28055.63	1.16
19.39	14.33	5.46	24363.25	1.03
17.83	15.97	6.18	30121.69	1.16
15.04	14.03	6.05	17385.77	0.95
19.24	14.92	7.15	33399.95	1.26
18.92	15.22	6.15	29568.3	1.16
18.86	16.15	5.97	32636.16	1.36
18.75	15.35	4.99	25152.78	1.11
13.56	15.23	5.23	15744.82	0.92
18.10	14.10	6.37	24316.58	1.14
18.66	15.53	4.75	24751.55	1
16.93	15.37	5.19	22288.76	1.02
13.89	15.24	4.67	15041.75	0.88
16.37	15.85	4.80	21471.6	0.91
16.53	14.87	5.39	20575.9	1.01
17.01	15.79	5.02	23275.76	1.02
18.64	15.37	4.77	24203.51	1
16.17	14.52	5.97	20593.12	1.08
17.26	15.51	5.53	24588.36	1.04
18.45	16.52	5.67	31878.48	1.24

## Anexo 2. Lista de fallas de un molino corona por los productores de choclo

<i>Lista de Fallas</i>		
<i>Número</i>	<i>Descripción</i>	<i>Deseo / Exigencia</i>
<b><i>Geometría</i></b>		
<i>1</i>	<i>El molino corona presenta una geometría demasiada pequeña de 40 cm de alto y 60 cm de largo.</i>	<i>D</i>
<i>2</i>	<i>De difícil uso de operación</i>	<i>E</i>
<i>3</i>	<i>Poca capacidad de moler choclo</i>	<i>E</i>
<b><i>Ergonomía</i></b>		
<i>4</i>	<i>El molino corona cuenta con una manivela de giro que ayuda a moler los granos de choclo, sin embargo esto es desgastante para los productores debido al esfuerzo físico generado.</i>	<i>E</i>
<b><i>Fabricación</i></b>		
<i>5</i>	<i>En su mayoría está fabricado de aluminio fundido</i>	<i>E</i>
<i>6</i>	<i>No tiene buen acabado de fabricación</i>	<i>E</i>
<i>7</i>	<i>Presenta imperfecciones en las partes de los discos, contamina el producto</i>	<i>E</i>
<b><i>Velocidad</i></b>		
<i>8</i>	<i>El mecanismo del molino corona es lento</i>	<i>D</i>
<i>9</i>	<i>Depende de la fuerza generada por el productor de choclo</i>	<i>E</i>
<b><i>Fuente de energía</i></b>		
<i>10</i>	<i>No está suministrado por un motor eléctrico</i>	<i>E</i>

### Anexo 3. Requerimientos de los productores de choclo

<i>REQUERIMIENTOS DE LA MÁQUINA MOLEDORA DE CHOCLO</i>
<b><i>Función Principal</i></b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>El prototipo de la máquina debe ser capaz de moler los granos de choclo, a través de una herramienta disco de corte. Se requiere el producto final lo más fino posible. Así, se logrará el maíz molido de mejor calidad para sus aplicaciones,</i></li> </ul>
<b><i>Dimensiones</i></b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>El prototipo de la máquina será fabricado de piezas pequeñas y medianas, la parte estructural tendrá una altura de 920 mm, un ancho de 530 mm.</i></li> </ul>
<b><i>Ergonomía</i></b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>El ingreso del material(choclo) debe estar aproximadamente a una altura no mayor a 1000 mm, esto debido a la facilidad de trabajo por parte de los productores.</i></li> </ul>
<b><i>Fabricación</i></b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Se debe asegurar que todos los componentes del prototipo de la máquina sean fácilmente ensamblables y desmontables</i></li> <li>• <i>Todos los materiales empleados para la fabricación de los elementos individuales deben pertenecer al mercado nacional.</i></li> </ul>
<b><i>Fuerza</i></b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>La fuerza de corte generado por los discos del molino debe ser la necesaria para moler de forma adecuada los granos de maíz.</i></li> </ul>
<b><i>Cinemática</i></b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>El mecanismo de molienda debe ser rápido, para aprovechar la oposición de los granos de choclo y así poder moler lo más fino posible.</i></li> </ul>
<b><i>Material</i></b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>El flujo de material son granos de choclo.</i></li> <li>• <i>A la salida de la cadena de proceso el choclo no sufrirá cambios químicos, solo cambios en su forma geométrica.</i></li> </ul>
<b><i>Fuente de energía</i></b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Los mecanismos serán suministrados por energía eléctrica mediante un motor.</i></li> </ul>

## Anexo 4. Generar y percibir oportunidades

<i>Paso 2</i>	<i>Generar y percibir oportunidades</i>	
<i>Implicaciones de Tendencia</i>	<i>Fuente de energía renovables, para el empleo de sistemas mecánicos</i>	1
<i>Implicaciones de Tendencia</i>	<i>Fuente de energía mecánica, para el funcionamiento de sistemas mecánicos</i>	2
<i>Implicaciones de Tendencia</i>	<i>Fuente de energía eléctrica, para el funcionamiento de sistemas mecánicos, en zonas agrícolas del Perú</i>	3
<i>Lista de Fallas</i>	<i>Geometría pequeña del molino corona convencional.</i>	4
<i>Lista de Fallas</i>	<i>Ergonomía complicada, la alimentación de los granos de choclo al molino se ve limitada debido a la tolva de entrada</i>	5
<i>Lista de Fallas</i>	<i>Velocidad dependiente de la fuente de energía, poca velocidad de operación</i>	6
<i>Lista de Fallas</i>	<i>El molino corona no está suministrado por un motor eléctrico</i>	7
<i>Lista de Fallas</i>	<i>Desgastante esfuerzo físico para poner en funcionamiento el molino corona</i>	8

<i>Estudio de Clientes</i>	<i>Requerimiento 1 : Moler limpiamente los granos de choclo, incluido la cascara del grano</i>	9
<i>Estudio de Clientes</i>	<i>Requerimiento 2 : La geometría de la máquina debe ser de piezas pequeñas no mayor a 920 mm de alto y 530 mm de ancho.</i>	10
<i>Estudio de Clientes</i>	<i>Requerimiento 3 : Fácil operación de la máquina , las piezas deben ser desmontables.</i>	11
<i>Estudio de Clientes</i>	<i>Requerimiento 4 : El mecanismo de molienda debe ser de una velocidad alta</i>	12
<i>Estudio de Clientes</i>	<i>Requerimiento 5 : Suministro de energía eléctrica mediante un motor eléctrico.</i>	13
<i>Imitar Mercadotecnia</i>	<i>AAS ubicado en México, fabrica molino de maíz Perú, el molino corona es actualmente comercializado. En Alemania , fabrica molino de la marca Retsch.</i>	14
<i>Oportunidades de las capacidades</i>	<i>Valioso : La cámara de molienda debe ser desmontable y contara con un sistema de pre molienda.</i>	15
<i>Oportunidades de las capacidades</i>	<i>Valioso: Fácil y rápido uso de operación.</i>	16
		17

<i>Oportunidades de las capacidades</i>	<i>Raro: El equipo contara con un sistema único de molienda para triturar hasta la cascara del grano de choclo.</i>	
<i>Oportunidades de las capacidades</i>	<i>Inimitable: La parte geométrica de los discos de molienda.</i>	18
<i>Oportunidades de las capacidades</i>	<i>Insustituible: Los discos de molienda es el elemento principal.</i>	19

## Anexo 5. Lista de filtrar oportunidades

<i>Paso 3</i>	<i>Filtrar oportunidades</i>	
<i>Implicaciones de Tendencia</i>	<i>Fuente de energía eléctrica, para el funcionamiento de sistemas mecánicos, en zonas agrícolas del Perú</i>	3
<i>Lista de Fallas</i>	<i>Geometría pequeña del molino corona convencional.</i>	4
<i>Lista de Fallas</i>	<i>Desgastante esfuerzo físico para poner en funcionamiento el molino corona</i>	8
<i>Estudio de Clientes</i>	<i>Requerimiento 1 : Moler limpiamente los granos de choclo, incluido la cascara del grano</i>	9
<i>Estudio de Clientes</i>	<i>Requerimiento 3 : Fácil operación de la máquina , las piezas deben ser desmontables.</i>	11
<i>Estudio de Clientes</i>	<i>Requerimiento 5 : Suministro de energía eléctrica , motor monofásico</i>	13
<i>Oportunidades de las capacidades</i>	<i>Valioso: Fácil y rápido uso de operación.</i>	16
<i>Oportunidades de las capacidades</i>	<i>Inimitable: La parte geométrica de los discos de molienda.</i>	18

## Anexo 6. Desarrollo de oportunidades prometedoras

<i>Paso 4</i>	<i>Desarrollo de oportunidades prometedoras</i>	
<i>Implicaciones de Tendencia</i>	<i>Fuente de energía eléctrica, para el funcionamiento de sistemas mecánicos, en zonas agrícolas del Perú</i>	3
<i>Estudio de Clientes</i>	<i>Requerimiento 1 : Moler limpiamente los granos de choclo, incluido la cascara del grano</i>	9
<i>Estudio de Clientes</i>	<i>Requerimiento 3 : Fácil operación de la máquina , las piezas deben ser desmontables.</i>	11
<i>Estudio de Clientes</i>	<i>Requerimiento 5 : Suministro de energía eléctrica , motor monofásico</i>	13
<i>Oportunidades de las capacidades</i>	<i>Valioso: Fácil y rápido uso de operación.</i>	16

## Anexo 7. Matriz métrica

		<b>Métrica</b>																
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
<b>Necesidad</b>		<i>Suministrada por un motor eléctrico monofásico</i>	<i>Dímetro máximo de los discos de molienda 16 mm</i>	<i>Velocidad de giro 300 rpm aproximado</i>	<i>Dímetro de la cámara de molienda 230 mm</i>	<i>Tiempo de desensable para mantenimiento</i>	<i>Geometría radial de los discos para moler</i>	<i>Piezas y estructura pequeña</i>	<i>Rango de ajuste de luz en los discos de molienda</i>	<i>Inspira orgullo</i>	<i>Costo unitario de manufactura</i>	<i>Medidas del cabezal protector</i>	<i>Masa total</i>	<i>Dímetro máximo del eje motriz</i>	<i>Medidas de las cuchillas de corte</i>	<i>Medidas de la cámara del extrusor</i>	<i>Fuerzas generadas para moler el choclo</i>	<i>Torque generado por las fuerzas de corte</i>
1	<i>Elimina el esfuerzo físico para la operación del equipo</i>	*																*
2	<i>Permite moler granos de choclo de una manera limpia y a alta velocidad</i>	*		*	*		*		*							*		*
3	<i>Hace posible el control de la operación, mediante el mando de control</i>	*																
4	<i>Permite regular los discos en la cámara de molienda</i>		*		*													
5	<i>Contiene puntos rígidos para la inmovilización de los elementos mecánicos</i>				*									*				
6	<i>La cámara de molienda permite intercambiar diferentes discos de moler</i>		*		*													
7	<i>Es fácil de operar</i>							*										
8	<i>Inspira orgullo</i>									*								
9	<i>Los granos de choclo no se contaminan con las partes del equipo</i>				*													
10	<i>No se contamina con polvo</i>		*															
11	<i>Es de fácil acceso para mantenimiento</i>		*		*													
12	<i>Permite la fácil reposición de piezas desgastadas</i>				*			*										
13	<i>Es accesible para personas de bajos recursos</i>										*							
14	<i>Las partes en movimiento están protegidas</i>										*							
15	<i>Es de peso promedio</i>											*						
16	<i>Permite transportar los granos de choclo a la cámara de molienda</i>															*		

## Anexo 8. Potencia consumida en el extrusor

El resultado "Q" corresponde a la carga de alimentación ejercida por los granos de choclo en la tolva del tornillo.

$$Q = q\gamma L^{1-m} B^{m+2}$$

$$Q = (4.356)(446.187 \frac{N}{m^3})(0.237 m)(0.2 m)^2$$

$$Q = 18.425 N$$

El resultado del "σ<sub>o</sub>" corresponde al esfuerzo ejercido por los granos de choclo en la tolva del tornillo.

$$\sigma_o = \frac{Q}{LB} = q_f \sigma_1 \gamma B$$

$$\sigma_o = \frac{18.425 N}{0.237 m \cdot 0.2 m} = 388.717 \frac{N}{m^2}$$

### Distribución de presión del material en la región inferior

El esfuerzo radial promedio en la pared "σ<sub>wa</sub>"

$$\sigma_{wa} = \sigma_o \frac{c_t - c_d}{4\mu_w c_p} \left[ \exp\left(\frac{4\mu_w \lambda_s c_p}{c_t - c_d}\right) - 1 \right]$$

$$\sigma_{wa} = \left( 388.717 \frac{N}{m^2} \right) \frac{1.034 - 0.345}{4(0.466)(0.345)} \left[ \exp\left(\frac{4(0.466)(0.408)(0.345)}{1.034 - 0.345}\right) - 1 \right]$$

$$\sigma_{wa} = 192.814 \frac{N}{m^2}$$

### Fuerzas de resistencia axial

$$F_{ua} = \frac{\pi}{2} \mu_e c_p \cos(\alpha_o + \phi_f) \sigma_o D^2 = k_u \sigma_o D^2$$

$$F_{ua} = (0.021)(388.717 \frac{N}{m^2})(0.058 m)^2$$

$$F_{ua} = 0.028 N$$

El valor de "F<sub>ca</sub>" corresponde la fuerza de resistencia axial en la superficie del eje

$$F_{ca} = \frac{\pi c_d (c_t - c_d)}{4} \sin \alpha_c \left[ \exp\left(\frac{4\mu_w \lambda_s c_p}{c_t - c_d}\right) - 1 \right] \sigma_o D^2 = k_c \sigma_o D^2$$

$$F_{ca} = (0.058) \left( 388.717 \frac{N}{m^2} \right) (0.058 m)^2$$

$$F_{ca} = 0.076 N$$

El valor de “ $F_{la}$ ” corresponde la fuerza de resistencia axial en el lado posterior del canal

$$F_{la} = \lambda_s \left[ \frac{\pi}{4} (1 - c_d^2) + \frac{\mu_f c_p}{2} (1 - c_d) \right] \sigma_o D^2 = k_l \sigma_o D^2$$

$$F_{la} = (0.299) \left( 388.717 \frac{N}{m^2} \right) (0.058 m)^2$$

$$F_{la} = 0.391 N$$

El valor de “ $F_{ta}$ ” corresponde la fuerza de resistencia axial en la superficie de canal

$$F_{ta} = \frac{\pi}{8} c_t (c_t - c_d) \cos(\alpha_o + \phi_f) \left[ \exp\left(\frac{4\mu_w \lambda_s c_p}{c_t - c_d}\right) - 1 \right] \sigma_o D^2 = k_t \sigma_o D^2$$

$$F_{ta} = (0.011) \left( 388.717 \frac{N}{m^2} \right) (0.058 m)^2$$

$$F_{ta} = 0.015 N$$

El valor de “ $F_{da}$ ” corresponde la fuerza de resistencia axial en el lado de conducción del canal

$$\sigma_a = \frac{F_{da}}{\pi(R_o^2 - R_c^2)} = k_\sigma \sigma_o$$

$$F_{da} = \pi(0.03^2 - 0.01 m^2) \left( 388.717 \frac{N}{m^2} \right) (0.562)$$

$$F_{da} = 0.550 N$$

Torque requerido en la sección de alimentación

$$T = k_s k_\sigma \sigma_o D^3$$

$$T = (0.146)(0.562) \left( 388.717 \frac{N}{m^2} \right) (0.058 m)^3$$

$$T = 6 N \cdot mm$$

El torque requerido para todos los pasos de la sección de alimentación

$$T_{ft} = \sum_{i=1}^{nf} T_{fi}$$

$$T_{ft} = 12 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

Torque requerido en la sección de estrangulamiento

$$T_c = k_s k_{\sigma c} \sigma_o D^3$$

$$T = (0.146)(0.548) \left( 388.717 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right) (0.058 \text{ m})^3$$

$$T = 6 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

Potencia consumida en el extrusor

$$P_e = \frac{18 \text{ N}\cdot\text{mm} \times 120 \text{ rpm} \times 2\pi}{60} = 23 \text{ kW}$$

## Anexo 9. Cálculo de selección de correa de transmisión

Paso 1: Potencia calculada

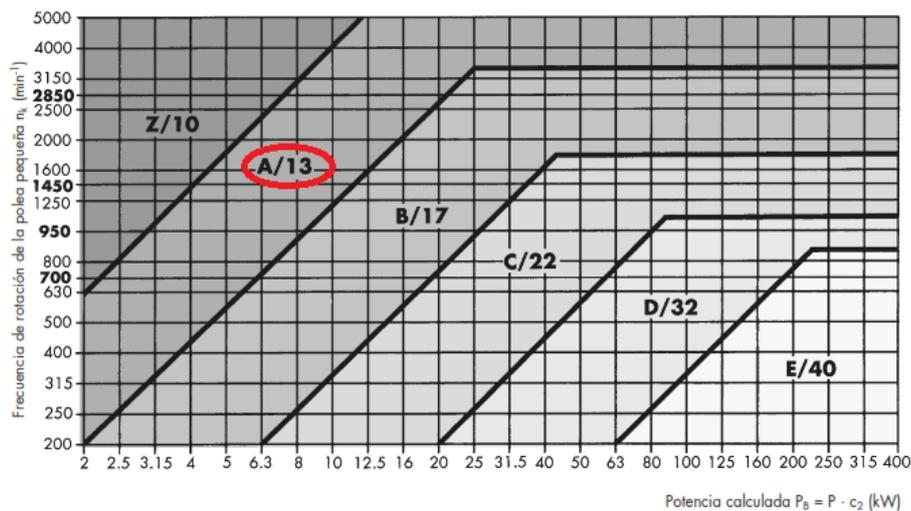
$$P_B(kW) = P_T \cdot c_2$$

$$P_B = 0.305 \times 1.1$$

$$P_B = 0.335 kW$$

Paso 2: Selección del perfil de la correa

Perfil de la correa A/13



Paso 3: Multiplicación

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{d_{d2}}{d_{d1}}$$

$$i = \frac{275}{120} = 2.29$$

Paso 4: Diámetro de referencia de las poleas

$$d_{dk} = 67 mm$$

$$d_{dg} = 67 \times 2.29 = 153.54 mm$$

Se selecciona de la Tabla 10 del catálogo de Optibelt el valor próximo al calculado.

$$d_{d2} = 160 mm$$

Paso 5: Distancia entre ejes

$$a > 0.7 (d_{dg} + d_{dk})$$

$$a > 0.7 (67 + 160)$$

$$a > 158.9$$

$$a < 2 (d_{dg} + d_{dk})$$

$$a < 454$$

Entonces la distancia entre ejes tiene un rango

$$158.9 < a < 454$$

$$a = 400 \text{ mm}$$

Paso 6: Desarrollo de referencia de la correa

$$L_{dth} \approx 2a + 1.57(d_{dg} + d_{dk}) + \frac{(d_{dg} - d_{dk})^2}{4a}$$

$$L_{dth} \approx 2(400) + 1.57(160 + 67) + \frac{(160 - 67)^2}{4(400)}$$

$$L_{dth} \approx 1161.79 \text{ mm}$$

Seleccionamos de la tabla de desarrollo de referencia del catálogo de Optibel

$$L_{dth} = 1180 \text{ mm}$$



A/13

Perfil A/13											
N° correa	Desarrollo de referencia ISO L <sub>d</sub> (mm)	Desarrollo interior L <sub>i</sub> (mm)	N° correa	Desarrollo de referencia ISO L <sub>d</sub> (mm)	Desarrollo interior L <sub>i</sub> (mm)	N° correa	Desarrollo de referencia ISO L <sub>d</sub> (mm)	Desarrollo interior L <sub>i</sub> (mm)	N° correa	Desarrollo de referencia ISO L <sub>d</sub> (mm)	Desarrollo interior L <sub>i</sub> (mm)
A 16	437	407	A 41	1071	1041	A 69	1780	1750	A 105	2697	2667
A 18	487	457	A 41½	1080	1050	A 70	1805	1775	A 107	2755	2725
A 19	510	480	A 42	1090	1060	A 71	1830	1800	A 108	2773	2743
A 20	538	508	A 42½	1105	1075	A 72	1855	1825	A 110	2830	2800
A 21	565	535	A 43	1130	1100	A 73	1884	1854	A 112	2875	2845
A 22	590	560	A 43½	1135	1105	A 74	1910	1880	A 114	2926	2896
A 23	605	575	A 44	1150	1120	A 75	1930	1900	A 116	2976	2946
A 23½	630	600	A 45	1175	1143	A 76	1960	1930	A 118	3030	3000
A 24	640	610	A 45½	1180	1150	A 77	1986	1956	A 120	3078	3048
A 25	660	630	A 46	1198	1168	A 78	2010	1980	A 124	3180	3150
A 26	680	650	A 46½	1210	1180	A 79	2030	2000	A 128	3280	3250
A 26½	700	670	A 47	1230	1200	A 80	2062	2032	A 132	3380	3350
A 27	716	686	A 47½	1245	1215	A 81	2090	2060	A 136	3484	3454
A 27½	730	700	A 48	1250	1220	A 82	2113	2083	A 140	3580	3550
A 28	740	710	A 48½	1255	1225	A 83	2130	2100	A 144	3688	3658
A 29	760	730	A 49	1280	1250	A 83½	2150	2120	A 148	3780	3750
A 29½	780	750	A 50	1300	1270	A 84	2164	2134	A 158	4030	4000
A 30	797	767	A 51	1330	1300	A 84½	2180	2150	A 167	4280	4250
A 31	805	775	A 52	1350	1320	A 85	2190	2160	A 187	4780	4750
A 31½	830	800	A 53	1380	1350	A 86	2230	2200	A 197	5030	5000
A 32	843	813	A 54	1405	1375	A 87	2240	2210			
A 32½	855	825	A 55	1430	1400	A 88	2270	2240			
A 33	871	841	A 56	1452	1422	A 89	2291	2261			
A 34	880	850	A 57	1480	1450	A 90	2316	2286			
A 34½	905	875	A 58	1505	1475	A 91	2341	2311			
A 35	919	889	A 59	1530	1500	A 92	2367	2337			
A 35½	930	900	A 60	1555	1525	A 93	2390	2360			
A 36	944	914	A 61	1580	1550	A 94	2418	2388			
A 37	955	925	A 62	1605	1575	A 95	2443	2413			
A 37½	980	950	A 63	1630	1600	A 96	2468	2438			
A 38	995	965	A 64	1655	1625	A 97	2494	2464			
A 38½	1005	975	A 65	1680	1650	A 98	2530	2500			
A 39	1030	1000	A 66	1706	1676	A 100	2570	2540			
A 40	1046	1016	A 67	1730	1700	A 102	2621	2591			
A 40½	1060	1030	A 68	1755	1725	A 104	2680	2650			

Paso 7: Distancia entre ejes nominal

$$(cuando L_{dst} > L_{dth}) a_{nom} \approx a + \frac{L_{dst} - L_{dth}}{2}$$

$$(cuando L_{dst} > L_{dth}) a_{nom} \approx 400 + \frac{1180 - 1161.79}{2}$$

$$(cuando L_{dst} > L_{dth}) a_{nom} \approx 400 + \frac{1180 - 1161.79}{2}$$

$$(cuando L_{dst} > L_{dth}) a_{nom} \approx 409.10 \text{ mm}$$

Paso 8: Recorrido mínimo de ajuste  $x/y$  de la distancia entre ejes  $a_{nom}$ , se seleccionó de la tabla de las correas trapeciales del catálogo técnico de Optibelt.

$$x = 20 \text{ mm}$$

$$y = 15 \text{ mm}$$

Desarrollo de referencia (mm)	Recorrido mínimo de ajuste x (mm) – para tensado y retensado	Recorrido mínimo de ajuste y (mm) – para montar sin forzar										
		5	Y/6	8	Z/10, ZX/X10	A/13, AX/X13	B/17, BX/X17	20	C/22, CX/X22	25	D/32	E/40
≤ 200	5	10	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
> 200 ≤ 250	5	10	10	–	–	–	–	–	–	–	–	–
> 250 ≤ 315	5	10	10	10	10	–	–	–	–	–	–	–
> 315 ≤ 670	10	–	–	10	10	10	10	–	–	–	–	–
> 670 ≤ 1000	15	–	–	10	15	15	15	–	–	–	–	–
> 1000 ≤ 1250	20	–	–	15	15	15	15	20	20	–	–	–
> 1250 ≤ 1800	25	–	–	15	20	20	20	20	25	25	–	–
> 1800 ≤ 2240	25	–	–	20	20	20	20	25	25	30	35	–
> 2240 ≤ 3000	35	–	–	–	20	20	20	25	30	30	35	40
> 3000 ≤ 4000	45	–	–	–	20	20	20	25	30	30	35	40
> 4000 ≤ 5000	55	–	–	–	20	20	20	30	30	30	35	40
> 5000 ≤ 6300	70	–	–	–	–	20	25	35	35	35	40	45
> 6300 ≤ 8000	85	–	–	–	–	20	25	40	40	40	45	50
> 8000 ≤ 10000	110	–	–	–	–	25	25	40	45	45	45	50
> 10000 ≤ 12500	135	–	–	–	–	–	30	40	45	45	50	55
> 12500 ≤ 15000	150	–	–	–	–	–	40	50	55	55	60	65
> 15000 ≤ 18000	190	–	–	–	–	–	40	50	55	55	60	65

Paso 9: Velocidad y frecuencia de flexión de la correa

$$v\left(\frac{m}{s}\right) = \frac{d_{dk} \cdot n_k}{19100}$$

$$v = \frac{67 \times 275}{19100} = 0.96 \frac{m}{s}$$

$$f_b(s^{-1}) = \frac{2.1000 \cdot v}{L_{dst}}$$

$$f_b(s^{-1}) = \frac{2.1000 \times 0.96}{1180} = 1.62 s^{-1}$$

Paso 10: Factor de ángulo y ángulo de contacto

$$\beta, c_1 = \frac{d_{dg} - d_{dk}}{a_{nom}}$$

$$\beta, c_1 = \frac{160 - 67}{409.10} = 0.22$$

Se seleccionó el ángulo de contacto y el factor de ángulo del catálogo técnico de Optibelt.

$\frac{d_{dg} - d_{dk}}{a_{nom}}$	$\beta \approx$	$c_1$
0	180°	1,00
0,05	177°	1,00
0,10	174°	1,00
0,15	171°	1,00
0,20	168°	0,99
<b>0,25</b>	<b>165°</b>	<b>0,99</b>
0,30	162°	0,99
0,35	160°	0,99
0,40	156°	0,99
0,45	153°	0,98
0,50	150°	0,98
0,55	147°	0,98
0,60	144°	0,98
0,65	141°	0,97
0,70	139°	0,97
0,75	136°	0,97
0,80	133°	0,96
0,85	130°	0,96
0,90	126°	0,96
0,95	123°	0,95
1,00	119°	0,94
1,05	115°	0,94
1,10	112°	0,93
1,15	109°	0,93
1,20	106°	0,92
1,25	103°	0,91
1,30	100°	0,91
1,35	96°	0,90
1,40	92°	0,88
1,45	88°	0,87
1,50	84°	0,86
1,55	80°	0,84
1,60	77°	0,83

Paso 11: Factor de desarrollo

Se seleccionó el factor de desarrollo del catálogo técnico de Optibelt en base al desarrollo de referencia próximo.

$$L_{dth} = 1180 \text{ mm}$$

Perfil 5*		Perfil Y/6*		Perfil 8		Perfil Z/10, ZX/X10		Perfil A/13, AX/X13		Perfil B/17, BX/X17		Perfil 20	
Desarrollo de referencia (mm)	c <sub>3</sub>												
172	0,87	280	0,97	299*	0,86	422*	0,86	660	0,80	900	0,81	948	0,75
202	0,91	295	0,99	334*	0,88	447*	0,87	740	0,82	990	0,83	998	0,76
248	0,95	315	1,00	374*	0,91	472*	0,88	780	0,83	1040	0,84	1048	0,77
277	0,97	330	1,01	419*	0,93	497*	0,89	830	0,85	1100	0,85	1168	0,79
292	0,99	350	1,02	444*	0,94	522*	0,90	880	0,86	1140	0,85	1228	0,80
312	1,00	370	1,04	469*	0,95	552*	0,92	930	0,87	1220	0,87	1298	0,81
327	1,01	390	1,05	494*	0,97	582*	0,93	980	0,88	1290	0,88	1368	0,82
334	1,01	415	1,06	549*	0,99	622	0,94	1030	0,89	1360	0,89	1448	0,83
347	1,02	440	1,07	579*	1,00	652	0,95	1090	0,90	1440	0,90	1548	0,85
364	1,03	465	1,09	594*	1,01	692	0,96	1150	0,91	1540	0,92	1648	0,86
387	1,05	490	1,10	619*	1,01	732	0,98	1210	0,92	1640	0,93	1848	0,88
418	1,06	515	1,11	649*	1,02	822	1,00	1260	0,94	1740	0,94	2048	0,91
437	1,07	555	1,13	689*	1,04	847	1,01	1350	0,95	1840	0,95	2168	0,92
487	1,10	615	1,15	729*	1,05	887	1,02	1430	0,96	1940	0,97	2298	0,93
512	1,11	725	1,19	769*	1,06	922	1,02	1530	0,97	2040	0,98	2408	0,94
524	1,11	765	1,20	819*	1,08	947	1,03	1630	0,99	2160	0,99	2548	0,95
542	1,12	865	1,23	869	1,09	997	1,04	1730	1,00	2280	1,00	2698	0,96
566	1,13			894	1,10	1022	1,05	1830	1,01	2400	1,01	2848	0,98
612	1,15			919	1,10	1082	1,06	1930	1,02	2590	1,03	3048	0,99
				969	1,11	1142	1,07	2030	1,03	2690	1,04	3198	1,00
				1019	1,13	1172	1,08	2150	1,05	2840	1,05	3398	1,01
				1139	1,15	1202	1,08	2270	1,06	3040	1,06	3598	1,03
				1269	1,18	1272	1,10	2390	1,07	3190	1,07	3798	1,04
				1339	1,19	1342	1,11	2530	1,08	3390	1,09	4048	1,05
				1419	1,20	1422	1,12	2680	1,10	3590	1,10	4298	1,06
				1519	1,22	1522	1,14	2830	1,11	3790	1,11	4548	1,08
						1622	1,15	3030	1,12	4040	1,13	4798	1,09
								3180	1,14	4290	1,14	5048	1,10
								3380	1,15	4540	1,15	5348	1,11
								3780	1,17	4790	1,17	5648	1,13
								4030	1,19	5040	1,18	6048	1,14
								4530	1,22	5340	1,19	6348	1,15
								5030	1,24	5640	1,20	7148	1,18
										6040	1,22	8048	1,21
										6340	1,23		

Paso 12: Potencia nominal por correa trapecial, se tienen en cuenta los siguientes factores, se selecciona del catálogo de transmisiones de Optibelt.

$$d_{dk} = 67 \text{ mm}$$

$$i = 2.29$$

$$n_k = 275 \text{ rpm}$$

$$P_N = 0.29 + 0.06 = 0.35 \text{ kW}$$

Paso 13: Número de correas trapeciales

$$z = \frac{P \cdot c_2}{P_N \cdot C_1 \cdot C_3}$$

$$z = \frac{0.305 \times 1.1}{0.35 \times 0.99 \times 0.92} = 1.0524 \approx 1 \text{ correa trapecial}$$

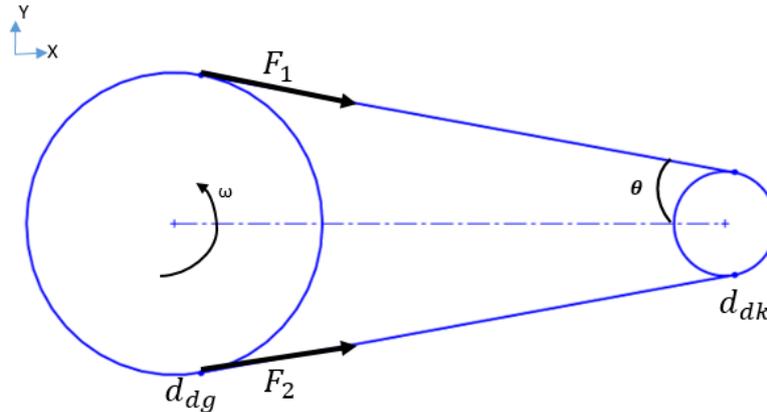
Poleas	v [m/s]	n <sub>s</sub> (min <sup>-1</sup> )	Diámetro de referencia de la polea pequeña d <sub>s</sub> (mm)																Incremento por multiplicación (kW) por correa para			
			71	80	90	95	100	106	112	118	125	132	140	150	160	180	1.01 hasta 1.05	1.06 hasta 1.26	1.27 hasta 1.57	> 1.57		
Equilibradas e estáticamente	20	700	0.52	0.74	0.97	1.09	1.21	1.35	1.48	1.62	1.78	1.94	2.12	2.34	2.56	2.99	0.02	0.08	0.12	0.14		
		950	0.63	0.92	1.23	1.38	1.53	1.71	1.89	2.07	2.28	2.49	2.72	3.01	3.29	3.85	0.02	0.10	0.16	0.18		
		1450	0.81	1.22	1.67	1.89	2.11	2.37	2.62	2.88	3.17	3.46	3.79	4.19	4.59	5.36	0.03	0.16	0.25	0.28		
		2850	1.04	1.75	2.51	2.88	3.25	3.67	4.09	4.50	4.96	5.41	5.90	6.48	7.03	8.03	0.06	0.31	0.49	0.53		
		100	0.12	0.16	0.20	0.22	0.24	0.26	0.29	0.31	0.34	0.37	0.40	0.44	0.48	0.55	0.00	0.01	0.02	0.02		
		200	0.21	0.28	0.36	0.39	0.43	0.48	0.52	0.57	0.62	0.67	0.73	0.80	0.87	1.02	0.00	0.02	0.03	0.04		
		300	0.29	0.39	0.50	0.55	0.61	0.67	0.74	0.80	0.88	0.95	1.03	1.14	1.24	1.45	0.01	0.03	0.05	0.06		
		400	0.35	0.48	0.63	0.70	0.77	0.85	0.94	1.02	1.12	1.21	1.32	1.46	1.59	1.86	0.01	0.04	0.07	0.08		
		500	0.41	0.57	0.75	0.84	0.92	1.02	1.13	1.23	1.35	1.46	1.60	1.76	1.93	2.25	0.01	0.05	0.09	0.10		
		600	0.47	0.66	0.86	0.97	1.07	1.19	1.31	1.43	1.57	1.71	1.86	2.06	2.25	2.63	0.01	0.06	0.10	0.12		
		700	0.52	0.74	0.97	1.09	1.21	1.35	1.48	1.62	1.78	1.94	2.12	2.34	2.56	2.99	0.02	0.08	0.12	0.14		
		800	0.57	0.81	1.08	1.21	1.34	1.50	1.65	1.81	1.99	2.16	2.36	2.61	2.86	3.34	0.02	0.09	0.14	0.16		
		900	0.61	0.88	1.18	1.32	1.47	1.64	1.82	1.99	2.18	2.38	2.60	2.88	3.15	3.69	0.02	0.10	0.16	0.18		
		1000	0.65	0.95	1.27	1.44	1.59	1.78	1.97	2.16	2.38	2.59	2.83	3.13	3.43	4.01	0.02	0.11	0.17	0.19		
		1100	0.69	1.01	1.37	1.54	1.71	1.92	2.13	2.33	2.56	2.79	3.06	3.38	3.70	4.33	0.02	0.12	0.19	0.21		
		1200	0.73	1.08	1.46	1.64	1.83	2.05	2.27	2.49	2.74	2.99	3.28	3.62	3.97	4.64	0.03	0.13	0.21	0.23		
		1300	0.76	1.14	1.54	1.74	1.94	2.18	2.42	2.65	2.92	3.19	3.49	3.86	4.22	4.94	0.03	0.14	0.22	0.25		
		1400	0.79	1.19	1.63	1.84	2.05	2.30	2.55	2.80	3.09	3.37	3.69	4.08	4.47	5.22	0.03	0.15	0.24	0.27		
		1500	0.82	1.24	1.71	1.93	2.16	2.42	2.69	2.95	3.25	3.53	3.89	4.30	4.71	5.50	0.03	0.16	0.26	0.29		
		1600	0.85	1.30	1.78	2.02	2.26	2.54	2.82	3.10	3.41	3.73	4.08	4.51	4.94	5.76	0.03	0.17	0.28	0.31		
		1700	0.88	1.34	1.86	2.11	2.36	2.63	2.95	3.23	3.57	3.90	4.26	4.72	5.16	6.02	0.04	0.18	0.29	0.33		
		1800	0.90	1.39	1.93	2.19	2.45	2.76	3.07	3.37	3.72	4.06	4.44	4.91	5.37	6.26	0.04	0.19	0.31	0.35		
		1900	0.92	1.44	2.00	2.27	2.54	2.87	3.19	3.50	3.86	4.22	4.62	5.10	5.58	6.49	0.04	0.21	0.33	0.37		
		2000	0.94	1.48	2.06	2.35	2.63	2.97	3.30	3.62	4.00	4.37	4.78	5.28	5.77	6.71	0.04	0.22	0.35	0.39		
		2100	0.96	1.52	2.12	2.42	2.72	3.06	3.41	3.75	4.13	4.51	4.94	5.46	5.96	6.91	0.05	0.23	0.36	0.41		
		2200	0.97	1.55	2.18	2.49	2.80	3.16	3.51	3.86	4.26	4.65	5.09	5.62	6.13	7.10	0.05	0.24	0.38	0.43		
		2300	0.99	1.59	2.24	2.56	2.88	3.25	3.61	3.97	4.38	4.79	5.23	5.78	6.30	7.28	0.05	0.25	0.40	0.45		
		2400	1.00	1.62	2.30	2.63	2.95	3.33	3.71	4.08	4.50	4.91	5.37	5.93	6.46	7.45	0.05	0.26	0.42	0.47		
		2500	1.01	1.66	2.35	2.69	3.02	3.42	3.80	4.18	4.61	5.03	5.50	6.06	6.60	7.60	0.05	0.27	0.43	0.49		
		2600	1.02	1.68	2.40	2.75	3.09	3.50	3.89	4.28	4.72	5.15	5.62	6.20	6.74	7.74	0.06	0.28	0.45	0.51		
		2700	1.03	1.71	2.45	2.80	3.16	3.57	3.98	4.37	4.82	5.26	5.74	6.32	6.86	7.87	0.06	0.29	0.47	0.53		
		2800	1.04	1.74	2.49	2.86	3.22	3.64	4.05	4.46	4.92	5.36	5.85	6.43	6.98	7.98	0.06	0.30	0.48	0.54		
		2900	1.04	1.76	2.53	2.91	3.28	3.71	4.13	4.54	5.01	5.45	5.95	6.53	7.08	8.07	0.06	0.31	0.50	0.56		
		3000	1.04	1.78	2.57	2.95	3.33	3.77	4.20	4.62	5.09	5.54	6.04	6.63	7.18	8.15	0.06	0.32	0.52	0.58		
		3100	1.04	1.80	2.61	3.00	3.38	3.83	4.27	4.69	5.17	5.62	6.12	6.71	7.26	8.21	0.07	0.34	0.54	0.60		
		3200	1.04	1.81	2.64	3.04	3.43	3.88	4.33	4.75	5.24	5.70	6.20	6.79	7.33	8.26	0.07	0.35	0.55	0.62		
		3300	1.04	1.83	2.67	3.08	3.47	3.93	4.38	4.82	5.30	5.76	6.27	6.85	7.38	8.29	0.07	0.36	0.57	0.64		
		3400	1.04	1.84	2.70	3.11	3.51	3.98	4.43	4.87	5.36	5.82	6.32	6.90	7.43	8.30	0.07	0.37	0.59	0.66		
		3500	1.03	1.85	2.72	3.14	3.55	4.02	4.48	4.92	5.41	5.87	6.37	6.95	7.46	8.30	0.08	0.38	0.61	0.68		
		3600	1.02	1.86	2.74	3.17	3.58	4.06	4.52	4.96	5.45	5.92	6.41	6.98	7.48	8.30	0.08	0.39	0.62	0.70		
		3700	1.01	1.86	2.76	3.19	3.61	4.09	4.56	5.00	5.49	5.95	6.44	7.00	7.48	8.30	0.08	0.40	0.64	0.72		
		3800	1.00	1.87	2.78	3.21	3.64	4.12	4.59	5.03	5.52	5.98	6.47	7.01	7.47	8.30	0.08	0.41	0.66	0.74		
		3900	0.99	1.87	2.79	3.23	3.66	4.15	4.62	5.06	5.55	6.00	6.48	7.01	7.45	8.30	0.08	0.42	0.67	0.76		
		4000	0.98	1.87	2.80	3.24	3.67	4.17	4.64	5.08	5.57	6.01	6.48	6.99	7.42	8.30	0.09	0.43	0.69	0.78		
		4100	0.96	1.86	2.81	3.25	3.69	4.18	4.65	5.09	5.58	6.02	6.47	6.97	7.37	8.30	0.09	0.44	0.71	0.80		
		4200	0.94	1.86	2.81	3.26	3.70	4.19	4.66	5.10	5.58	6.01	6.46	6.93	7.33	8.30	0.09	0.45	0.73	0.82		
		4300	0.92	1.85	2.81	3.26	3.70	4.20	4.66	5.10	5.57	6.00	6.43	6.88	7.28	8.30	0.09	0.46	0.74	0.84		
		4400	0.90	1.84	2.81	3.26	3.70	4.20	4.66	5.10	5.56	5.98	6.39	6.82	7.23	8.30	0.10	0.48	0.76	0.86		
		4500	0.88	1.82	2.80	3.26	3.70	4.19	4.66	5.08	5.54	5.94	6.34	6.74	7.14	8.30	0.10	0.49	0.78	0.88		
		4600	0.85	1.81	2.79	3.25	3.69	4.18	4.64	5.07	5.51	5.90	6.30	6.70	7.10	8.30	0.10	0.50	0.80	0.89		
		4700	0.83	1.79	2.78	3.24	3.68	4.17	4.62	5.04	5.47	5.85	6.25	6.65	7.05	8.30	0.10	0.51	0.81	0.91		
		4800	0.80	1.77	2.76	3.22	3.66	4.15	4.60	5.01	5.43	5.79	6.19	6.59	7.00	8.30	0.10	0.52	0.83	0.93		
		4900	0.77	1.75	2.74	3.20	3.64	4.12	4.57	4.97	5.38	5.72	6.12	6.52	6.92	8.30	0.11	0.53	0.85	0.95		
		5000	0.73	1.72	2.72	3.18	3.61	4.09	4.53	4.92	5.31	5.64	6.04	6.44	6.84	8.30	0.11	0.54	0.87	0.97		
		5100	0.70	1.69	2.69	3.15	3.58	4.06	4.48	4.86	5.25	5.58	5.98	6.38	6.78	8.30	0.11	0.55	0.88	0.99		
		5200	0.66	1.66	2.66	3.12	3.55	4.01	4.43	4.80	5.19	5.52	5.92	6.32	6.72	8.30	0.11	0.56	0.90	1.01		
		5300	0.62	1.63	2.63	3.08	3.51	3.97	4.38	4.73	5.11	5.44	5.84	6.24	6.64	8.30	0.11	0.57	0.92	1.03		
		5400	0.58	1.59	2.59	3.04	3.46	3.91	4.31	4.66	5.03	5.36	5.76	6.16	6.56	8.30	0.12	0.58	0.93	1.03		
		5500	0.54	1.55	2.55	3.00	3.41	3.86	4.24	4.57	4.93	5.26	5.66	6.06	6.46	8.30	0.12	0.59	0.95	1.07		
		5600	0.50	1.51	2.51	2.95	3.36	3.79	4.19	4.52	4.85	5.18	5.58	5.98	6.38	8.30	0.12	0.61	0.97	1.09		
5700	0.45	1.47	2.46	2.90	3.30	3.72	4.11	4.44	4.77	5.09	5.49	5.89	6.29	8.30	0.12	0.62	0.99	1.11				
5800	0.40	1.42	2.41	2.84	3.23	3.64	4.03	4.36	4.69	5.01	5.41	5.81	6.21	8.30	0.13	0.63	1.00	1.13				
5900	0.35	1.37	2.35	2.78	3.16	3.56	3.95	4.28	4.61	4.93	5.33	5.73	6.13	8.30	0.13	0.64	1.02	1.15				
6000	0.30	1.32	2.29	2.71	3.09	3.47	3.86	4.19	4.52	4.85	5.25	5.65	6.05	8.30	0.13	0.65	1.04	1.17				

v > 30 m/s,  
Póngase en contacto con  
nuestros ingenieros del  
Departamento de técnica  
aplicada.

## Anexo 10. Diseño de eje

Poleas para la correa de transmisión

De la figura, los dos lados de la correa de transmisión están en tensión



La relación de tensiones entre el lado tenso y el lado flojo es de 5

$$\frac{F_1}{F_2} = 5$$

La potencia a transmitir es de 693.8 kW y el diámetro de la polea mayor es de 315 mm, por lo que:

$$T = \frac{Pot}{RPM}$$

$$T = \left( \frac{0.305 \text{ kW} \times 1000}{120 \times \frac{2\pi}{60}} \right) 1000$$

$$T = 24271.12 \text{ Nmm}$$

Cálculo de las fuerzas sobre la polea

$$F_1 - F_2 = T / \left( \frac{d_{dg}}{2} \right)$$

$$5F_2 - F_2 = 24271.12 \text{ Nmm} / \left( \frac{160 \text{ mm}}{2} \right)$$

$$F_2 = 75.84 \text{ N}$$

$$F_1 = 5F_2 = 5 \cdot (75.84) \text{ N}$$

$$F_1 = 379.2 \text{ N}$$

Descomponiendo  $F_1$  y  $F_2$  En los ejes X e Y

$$\theta = \sin^{-1} \left( \frac{d_{dg} - d_{dk}}{2a} \right)$$

$$\theta = \sin^{-1} \left( \frac{160 - 67}{2 \cdot (409.10)} \right)$$

$$\theta = 6.52^\circ$$

Fuerza en el eje Y

$$F_{py} = (F_1 + F_2) \cos \theta$$

$$F_{py} = 452.09 \text{ N}$$

Torque en los discos:  $T_D$

$$T_D = 18040.80 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

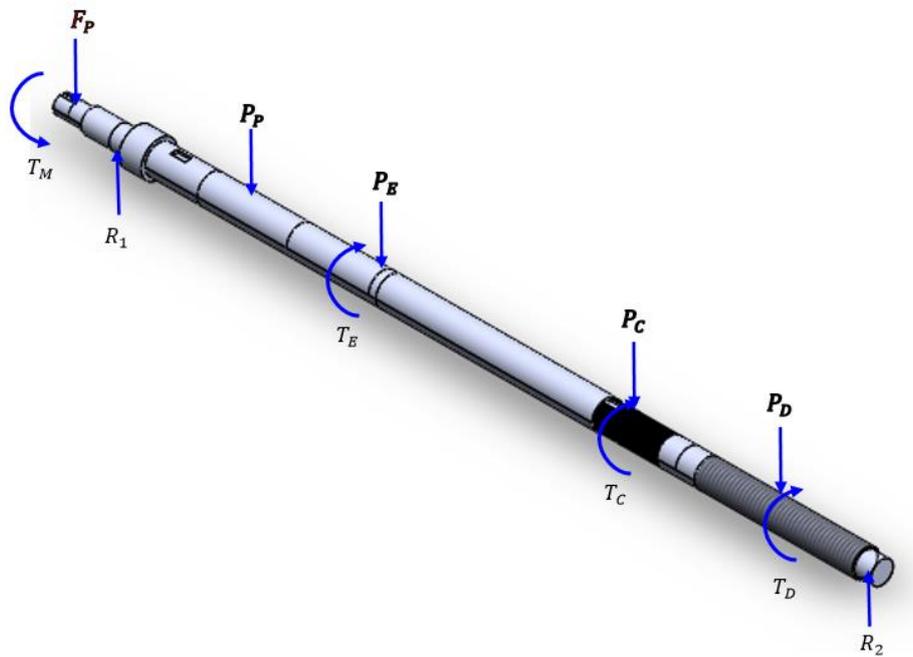
Torque en las cuchillas:  $T_C$

$$T_C = 1544.72 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Torque en el extrusor:  $T_E$

$$T_E = 18 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Diagrama de cuerpo libre en el eje



Donde:

$R_1$  y  $R_2$ : Reacciones en los apoyos.

$F_p$  : Es la fuerza resultante en la polea mayor.

$T_M$  : Es el torque transmitido por las fajas del motor eléctrico al eje.

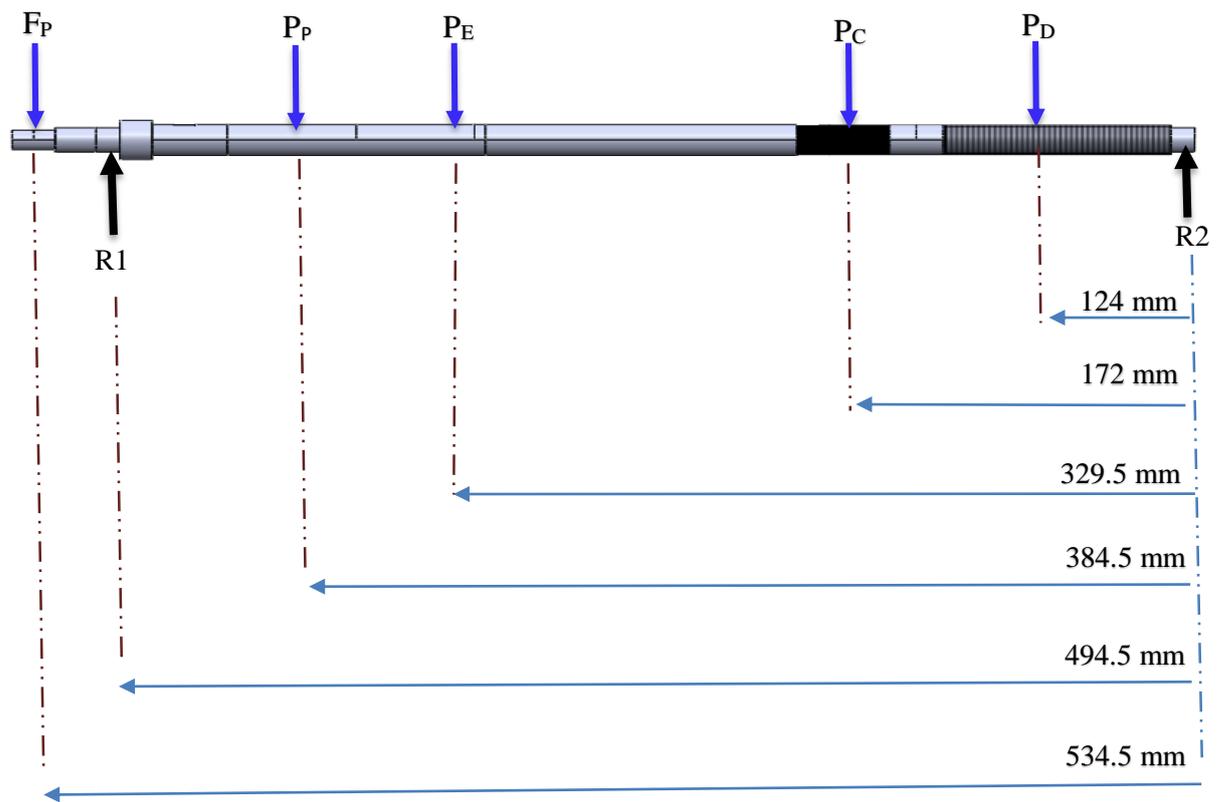
$P_p$  : Es el peso del producto debido a la tolva.

$P_E$  : Es el peso del producto debido al extrusor.

$P_C$  : Es el peso del producto debido a las cuchillas.

$P_D$  : Es el peso del producto debido al disco móvil.

Fuerza resultante en la polea	$F_p$	452.09 N
Peso del producto debido a la tolva	$P_p$	2.3 N
Peso del producto debido al extrusor	$P_E$	13.9 N
Peso del producto debido a las cuchillas	$P_C$	0.6 N
Peso del producto debido al disco móvil	$P_D$	29 N



Aplicamos la primera y segunda condición de equilibrio, para poder obtener las reacciones

$$\sum F_y = 0$$

$$F_p + P_p + P_E + P_C + P_D - R_1 - R_2 = 0$$

$$+ \sum M_B = 0$$

$$+F_p(534.5 \text{ mm}) - R_1(494.5 \text{ mm}) + P_p(384.5 \text{ mm}) + P_E(329.5 \text{ mm}) + P_C(172 \text{ mm}) + P_D(124 \text{ mm}) = 0$$

$$\frac{+F_p(534.5 \text{ mm}) + P_p(384.5 \text{ mm}) + P_E(329.5 \text{ mm}) + P_C(172 \text{ mm}) + P_D(124 \text{ mm})}{494.5 \text{ mm}} = R_1$$

$$R_1 = 501.66 \text{ N}$$

$$R_2 = 3.77 \text{ N}$$

Cálculo del momento flector

Distancia  $0 \leq x \leq 34.5 \text{ mm}$

$$M_x = -452.09(x)$$

Distancia  $34.5 \leq x \leq 150 \text{ mm}$

$$M_x = 49.5214(x) - 17305.5936$$

Distancia  $150 \leq x \leq 205 \text{ mm}$

$$M_x = 47.2214(x) - 16960.5936$$

Distancia  $205 \leq x \leq 362.5 \text{ mm}$

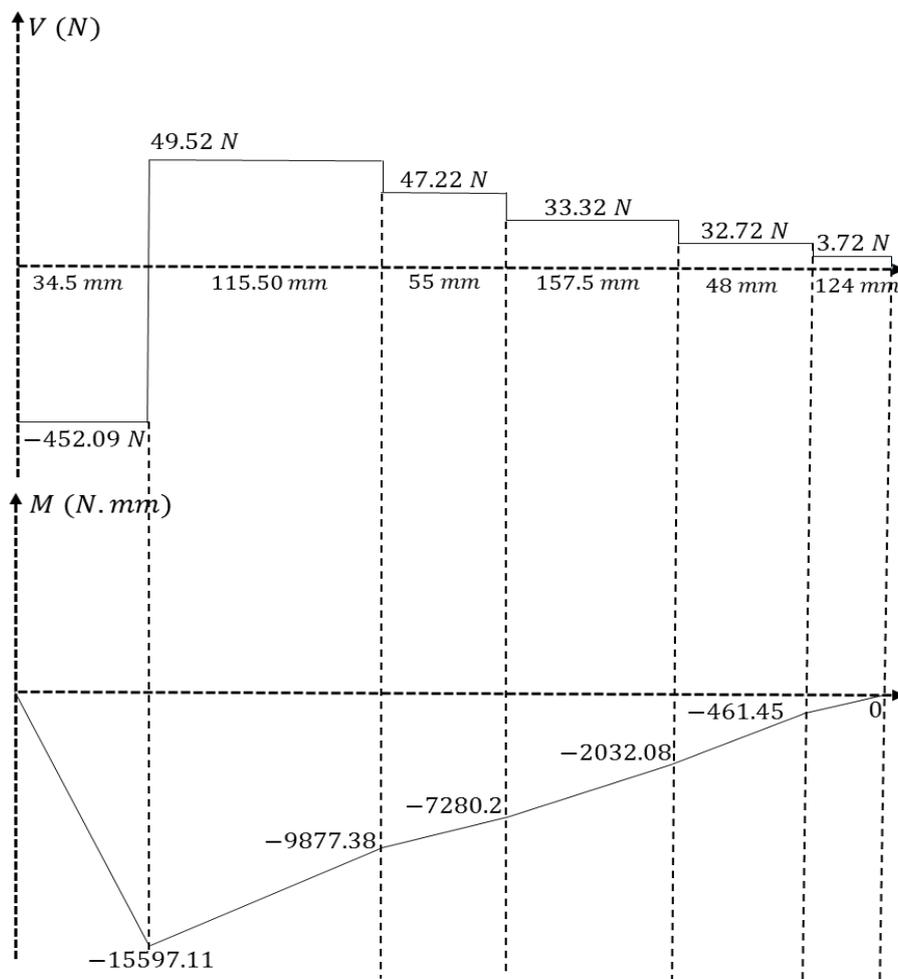
$$M_x = 33.3214(x) - 14111.0936$$

Distancia  $362.5 \leq x \leq 410.5 \text{ mm}$

$$M_x = 32.7214(x) - 13893.5936$$

Distancia  $410.5 \leq x \leq 534.5 \text{ mm}$

$$M_x = 3.7214(x) - 1989.0936$$





	$N$	$M (N.mm)$	$T(N.mm)$	$S_y (N/mm^2)$	$C_m$	$C_{st}$	$C_s$	$C_r$	$S_n (N/mm^2)$	$S'_n (N/mm^2)$	$K_t$	Valor	Valor seleccionado
$D_1$	2	0	19603.52	216	1	1	1.05	0.81	200	170.3	1.6	11.69 mm	12 mm
$D_2$	1.96	4520.9	19603.52	216	1	1	1.08	0.81	200	170.3	1.6	12.127 mm	12 mm
$D_3$	3.57	15597.105	19603.52	216	1	1	1.08	0.81	200	174.53	1	16.296 mm	16 mm
$D_4$	2.65	15324.7376	19603.52	216	1	1	1.08	0.81	200	174.53	2.5	18.462 mm	19 mm
$D_5$	5.68	14581.9166	19603.52	216	1	1	1.11	0.81	200	179.13	2.5	23.283 mm	23 mm
$D_6$	6.45	13839.0956	19603.52	216	1	1	1.11	0.81	200	179.13	2	22.499 mm	23 mm
$D_7$	7.79	9877.3836	19603.52	216	1	1	1.11	0.81	200	179.13	1	19.676 mm	20 mm
$D_8$	7.92	7280.2066	19603.52	216	1	1	1.11	0.81	200	179.13	1	19.2543 mm	19 mm
$D_9$	6.67	2281.9966	19585.52	216	1	1	1.11	0.81	200	178.07	2.5	17.927 mm	18 mm
$D_{10}$	6.69	2115.3896	19585.52	216	1	1	1.10	0.81	200	178.07	2	17.748 mm	18 mm
$D_{11}$	6.69	2032.0861	19585.52	216	1	1	1.10	0.81	200	178.07	2	17.728 mm	18 mm
$D_{12}$	7.31	461.4589	18040.8	216	1	1	1.10	0.81	200	178.07	3	18.044 mm	18 mm
$D_{13}$	7.33	20.473	0	216	1	1	1.08	0.81	200	174.53	1	9.5697 mm	10 mm

## Anexo 11. Selección de rodamientos

Primero se calcula la carga equivalente o también llamada carga de diseño sobre el rodamiento “ $P$ ”

$$P = V \cdot R$$

$$P = 452.09 \text{ N}$$

Segundo, se debe tener en cuenta el diámetro del eje,  $\emptyset_{eje}$

$$\emptyset_{eje} = 15 \text{ mm}$$

Tercero, seleccionamos el tipo de rodamiento “Rodamiento de una hilera de bolas con ranura profunda”

Cuarto, se selecciona la duración del diseño del rodamiento

$$L_{10} = 10000 \text{ horas}$$

Quinto, factor de velocidad y factor de duración

$$f_N \approx 0.66$$

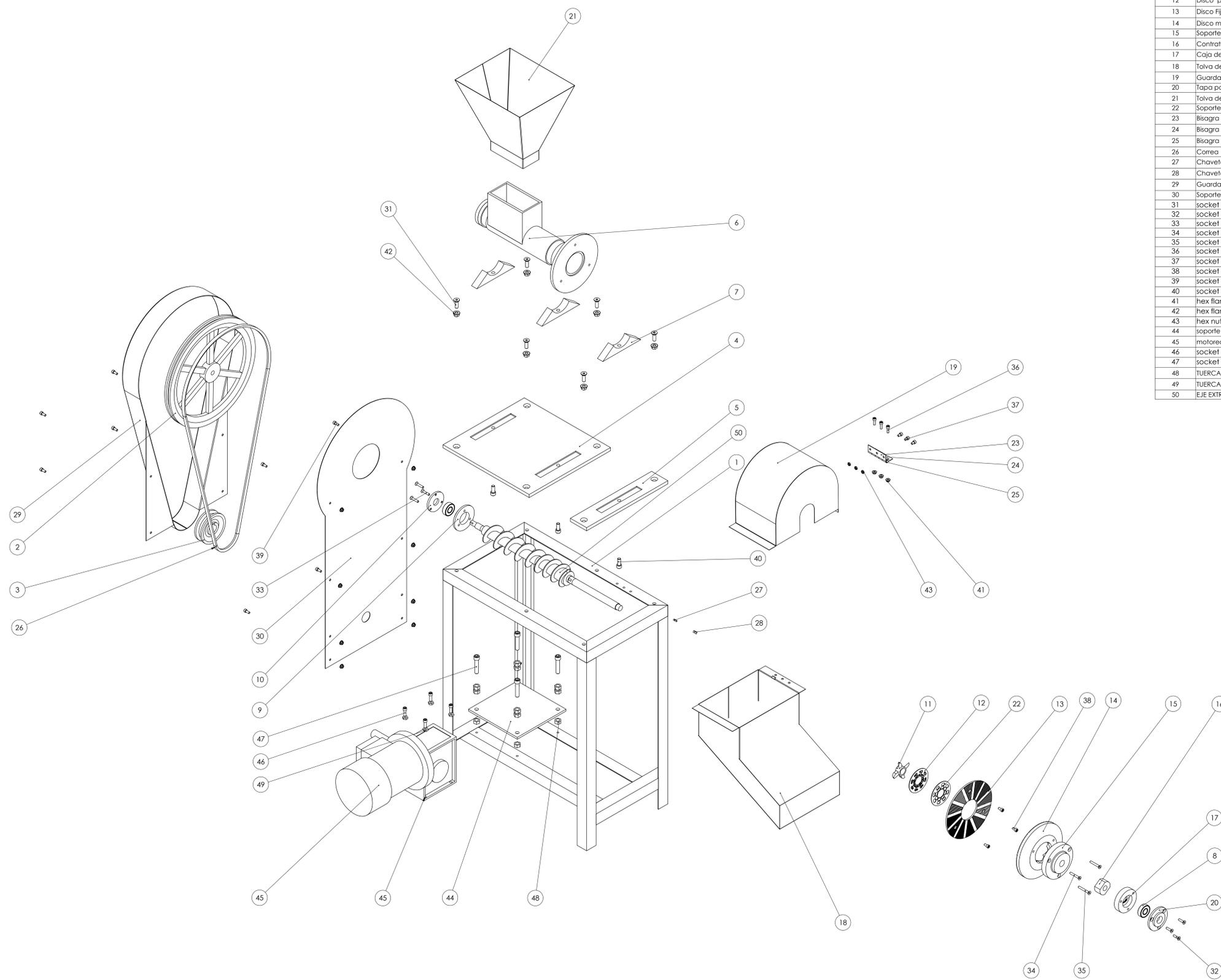
$$f_L \approx 2.7$$

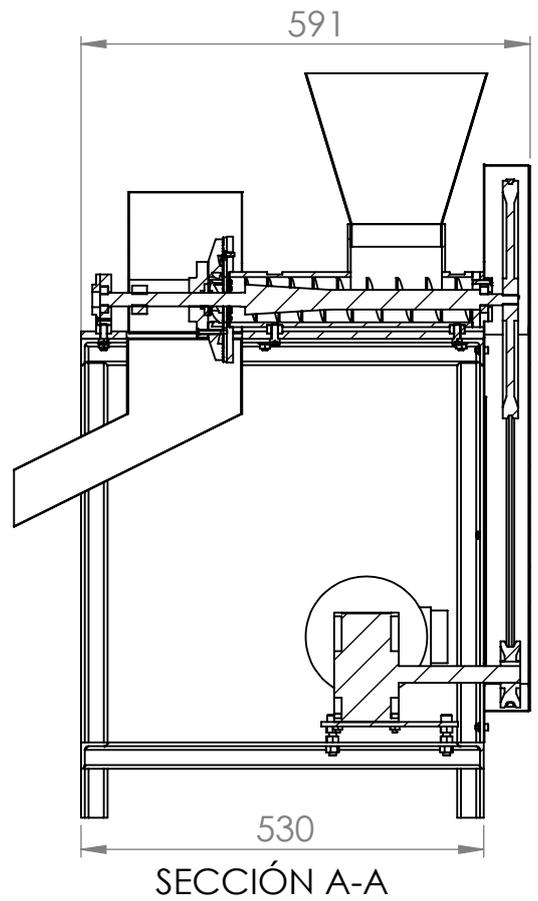
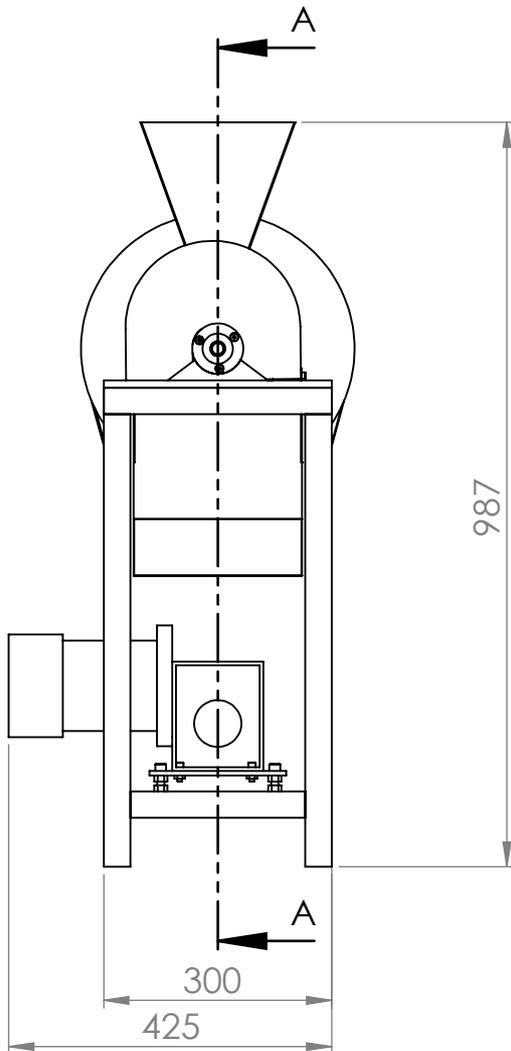
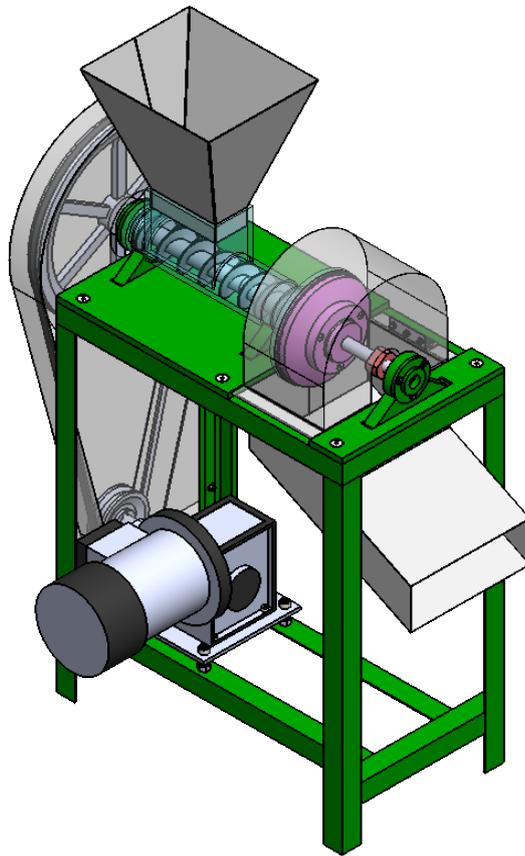
Sexto, cálculo de la capacidad de carga dinámica

$$C = P_d \frac{f_L}{f_N}$$

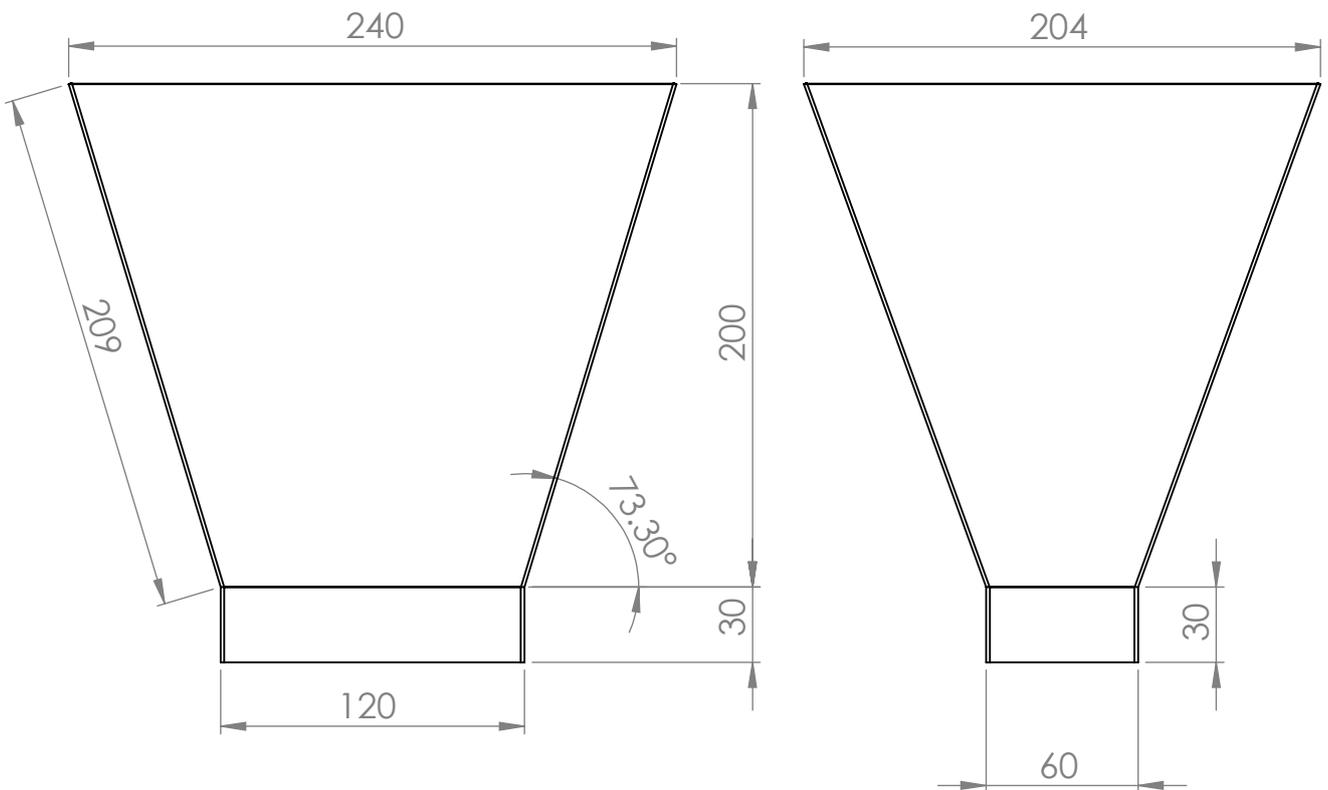
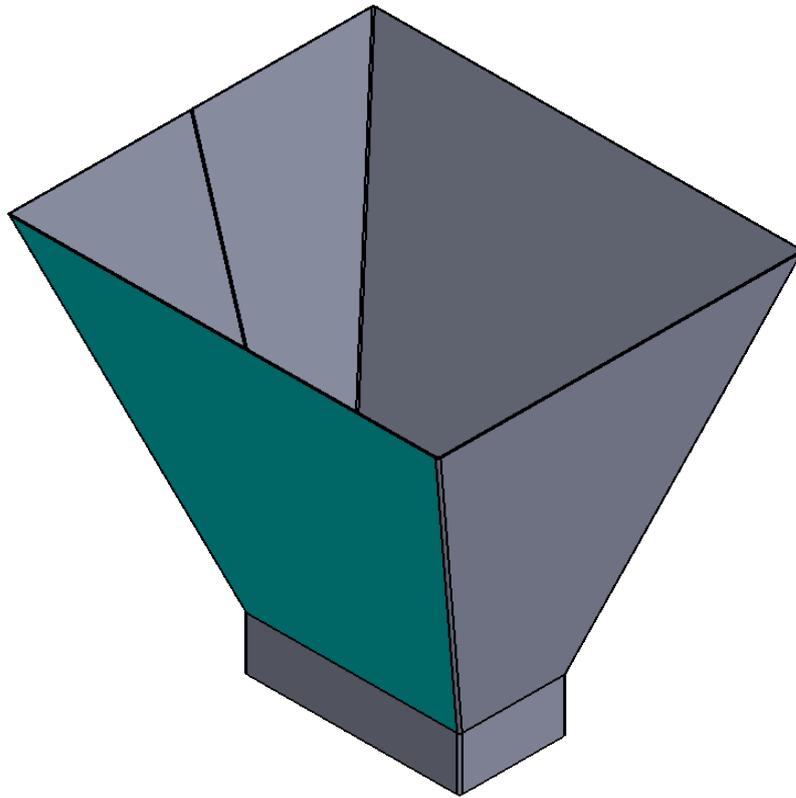
$$C = 452.09 \times \frac{2.7}{0.66} = 1849.45 \text{ N}$$

N.º DE ELEMENTO	PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Estructura	Perfil angular 35x35x5 - A36	1
2	Polea 2	Diametro de 315mm	1
3	Polea 1	Diametro de 74mm	1
4	Base de extrusor 1	A36	1
5	Base de extrusor 2	A36	1
6	Camara de extrusor	INOX AISI 304	1
7	Soporte de camara de extrusor	A 36	3
8	Rodamiento	Rodamiento de bolas 6202	2
9	Brida para caja de rodamiento 1	A 36	1
10	Brida para caja de rodamiento 2	A 36	1
11	Cuchillas	INOX AISI 304L	1
12	Disco para cuchillas	INOX AISI 304L	1
13	Disco Fijo	INOX AISI 304	1
14	Disco movil	INOX AISI 304	1
15	Soporte de disco movil	INOX AISI 304	1
16	Contratuercas	INOX AISI 304	1
17	Caja de rodamiento		1
18	Talva de salida	INOX AISI 304	1
19	Guarda de discos 1	INOX AISI 304	1
20	Tapa para rodamiento	A 36	1
21	Talva de entrada	INOX AISI 304	1
22	Soporte de disco de cuchillas	INOX AISI 304	1
23	Bisagra 1	Acero inox	1
24	Bisagra 3	Acero inox	1
25	Bisagra 2	Acero inox	1
26	Correa	Correa en V - Z/10	1
27	Chaveta 1/8x1/8	Longitud 10mm	1
28	Chaveta 3/16x1/8	Longitud 10mm	2
29	Guarda para poleas	Acero al carbono	1
30	Soporte de guarda para poleas	Acero al carbono	1
31	socket countersunk head screw_am		6
32	socket countersunk head screw_am		3
33	socket countersunk head screw_am		3
34	socket countersunk head screw_am		2
35	socket countersunk head screw_am		1
36	socket head cap screw_am		3
37	socket head cap screw_am		3
38	socket head cap screw_am		3
39	socket head cap screw_am		8
40	socket head cap screw_am		3
41	hex flange nut_am		18
42	hex flange nut_am		6
43	hex nut jam_am		3
44	soporte de motoreductor		1
45	motoreductor 0.5 HP	REDUCCION DE 1680 RPM A 420RPM	1
46	socket head cap screw_ai		4
47	socket head cap screw_ai		4
48	TUERCA 10MM		12
49	TUERCA 5MM		4
50	EJE EXTRUSOR MOLINO 10		1

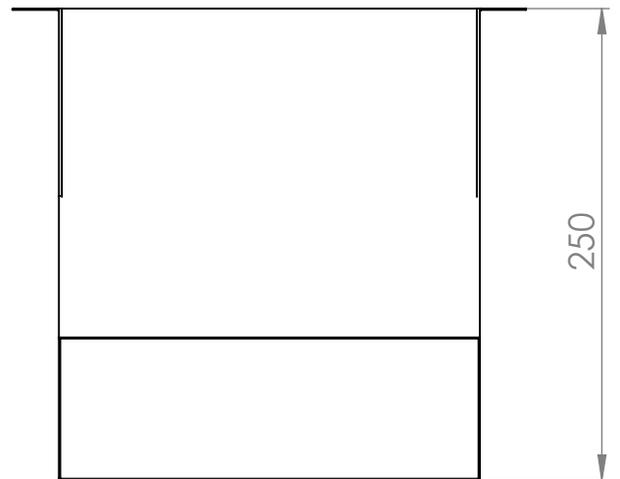
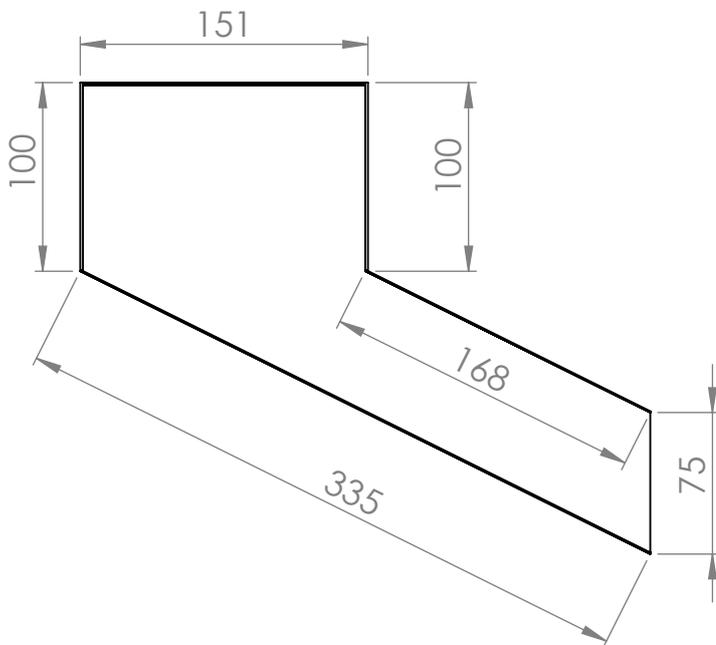
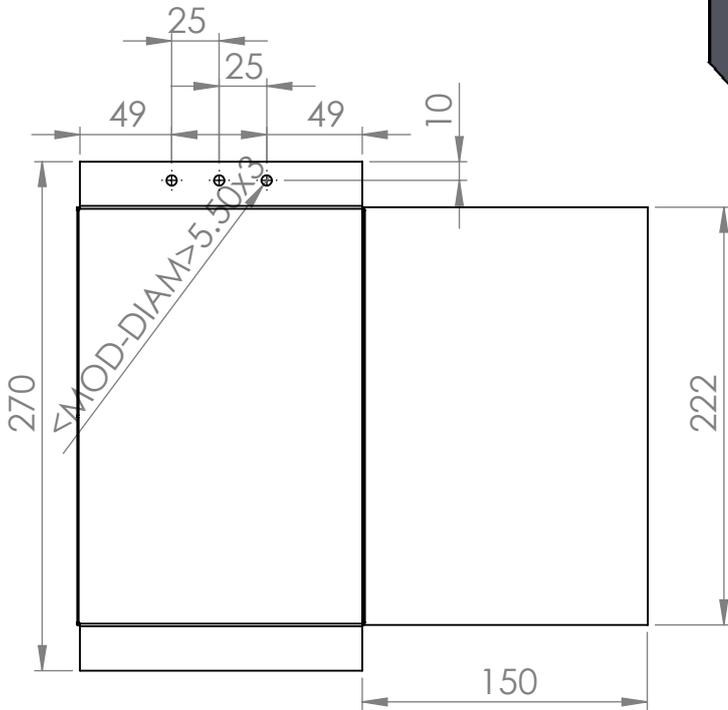
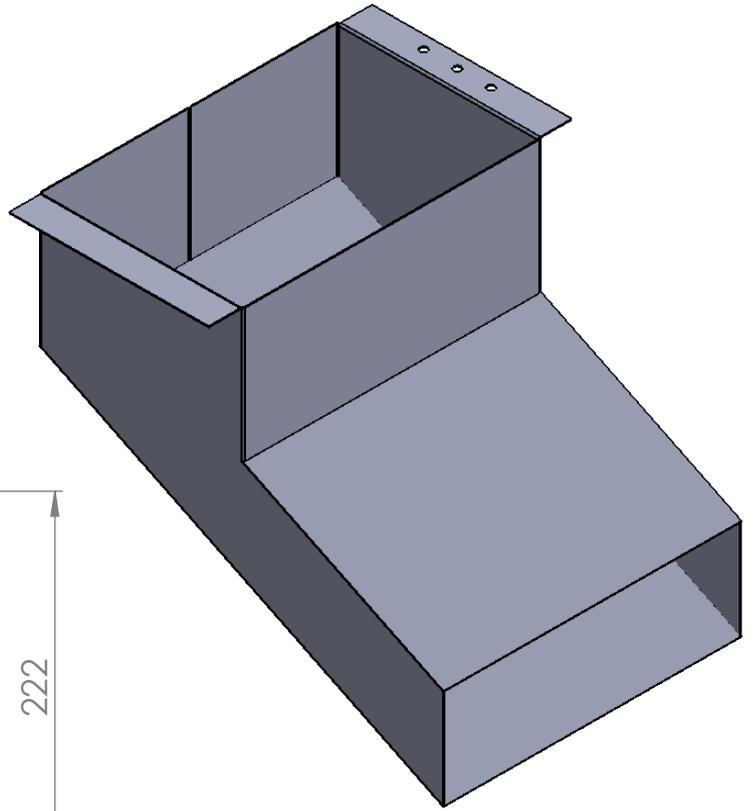




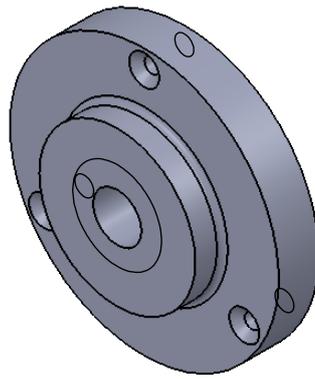
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	A4
UNIVERSIDAD DE INGENIERIA Y TECNOLOGIA		MATERIAL: ----		TÍTULO: Vista de seccion de Molino		N.º DE DIBUJO	
DIBUJ.	JOEL GUIZADO	FIRMA	FECHA	ESCALA:1:10		HOJA 1 DE 1	
VERIF.	J L MANTARI						
APROB.	J L MANTARI						



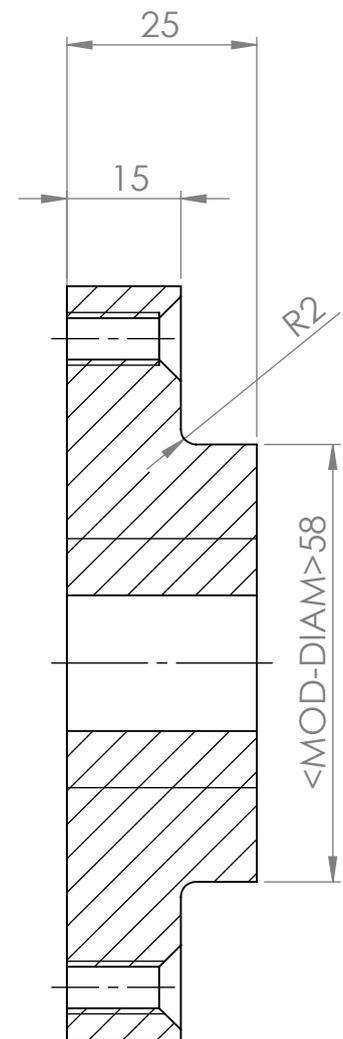
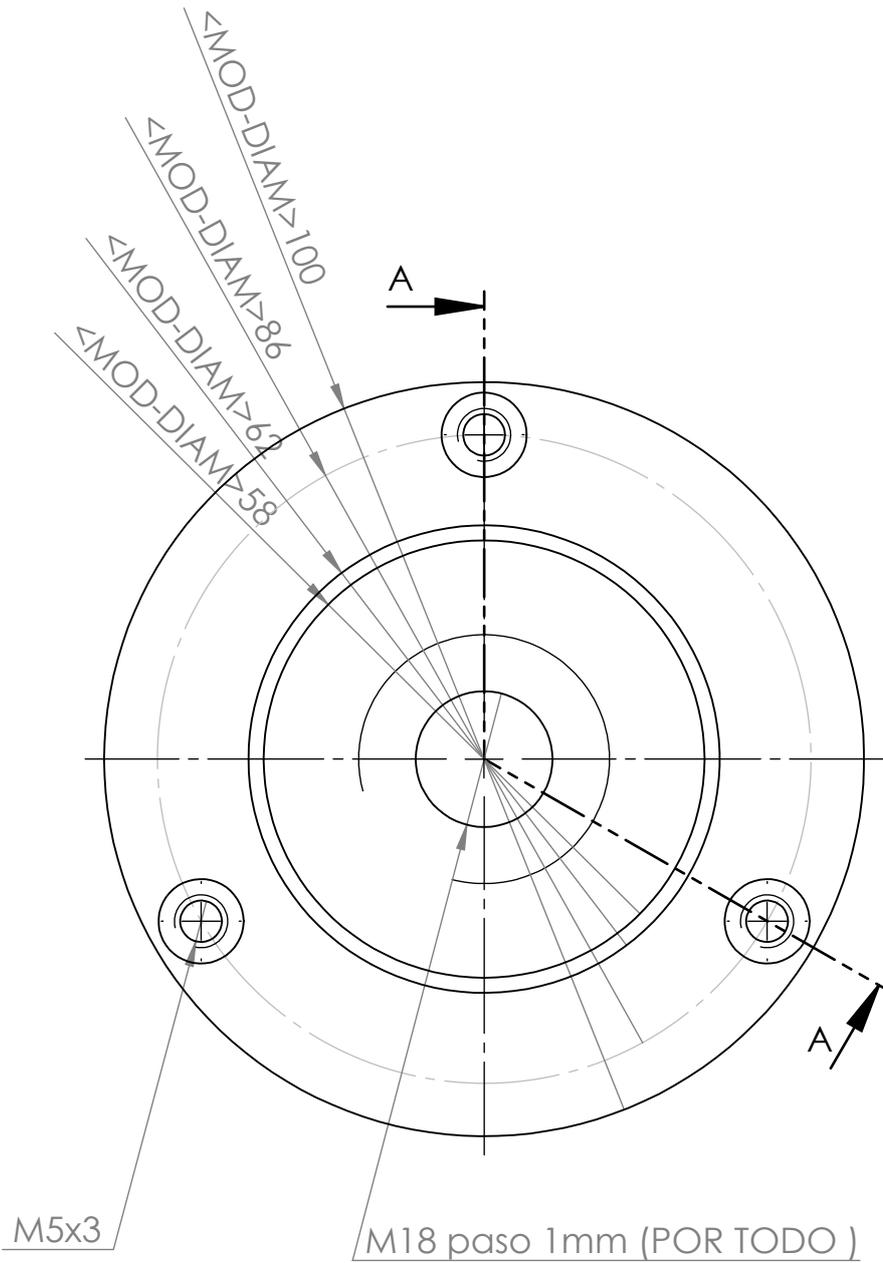
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	A4
				UNIVERSIDAD DE INGENIERIA Y TECNOLOGIA		N.º DE DIBUJO	
DIBUJ.	JOEL GUIZADO	FIRMA	FECHA	MATERIAL:	TÍTULO:	 <b>UTECH</b> INGENIERÍA MECÁNICA	
VERIF.	J L MANTARI			AISI 304L	Tolva de entrada		
APROB.	J L MANTARI						
				ESCALA: 1:3	HOJA 1 DE 1		



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	A4
				UNIVERSIDAD DE INGENIERIA Y TECNOLOGIA		N.º DE DIBUJO	
DIBUJ.	JOEL GUIZADO	FIRMA	FECHA	MATERIAL:	TÍTULO:		
VERIF.	J L MANTARI			AISI 304	Tolva de salida		
APROB.	J L MANTARI				ESCALA:1:4	HOJA 1 DE 1	
						 <b>UTEK</b> INGENIERÍA MECÁNICA	

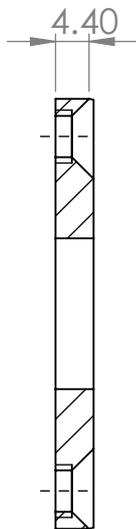
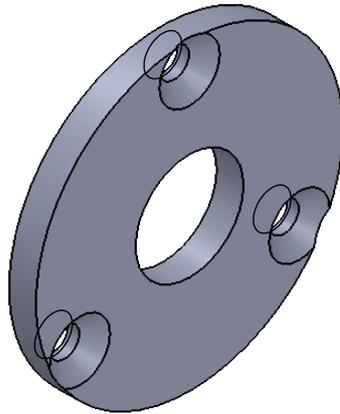


ESCALA 1 : 2

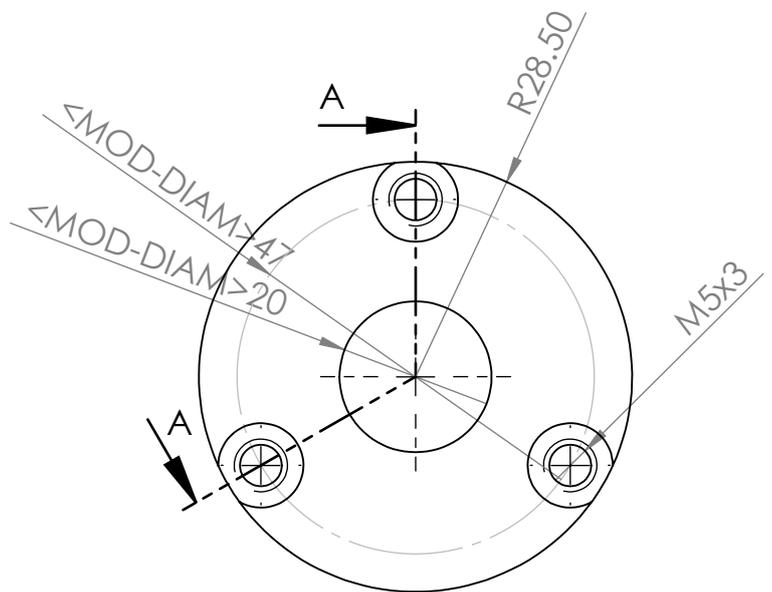


SECCIÓN A-A

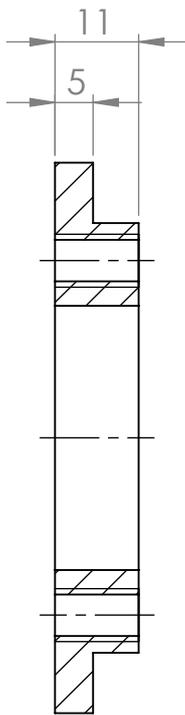
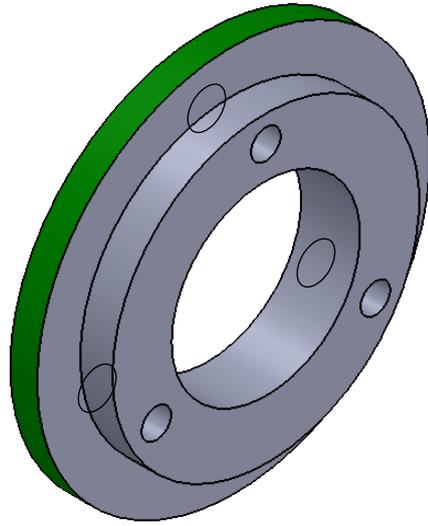
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	A4
UNIVERSIDAD DE INGENIERIA Y TECNOLOGIA		MATERIAL:		TÍTULO:		N.º DE DIBUJO	
DIBUJ.	JOEL GUIZADO	FIRMA	FECHA	AISI 304	Soporte para disco movil		
VERIF.	J L MANTARI						
APROB.	J L MANTARI						
				ESCALA:1:1	HOJA 1 DE 1		



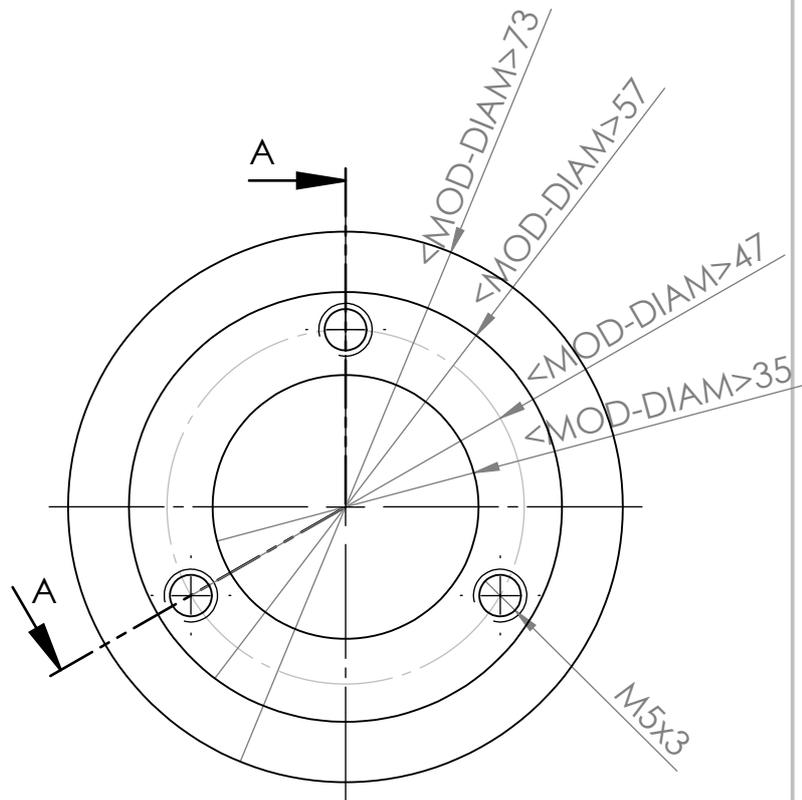
SECCIÓN A-A



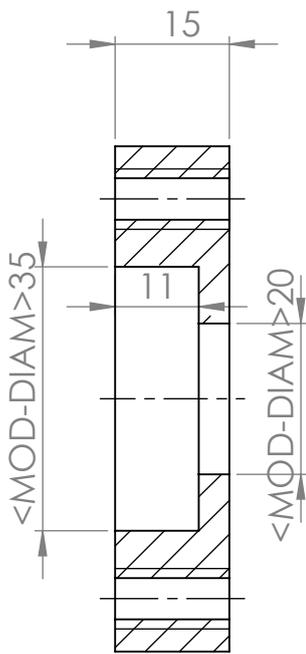
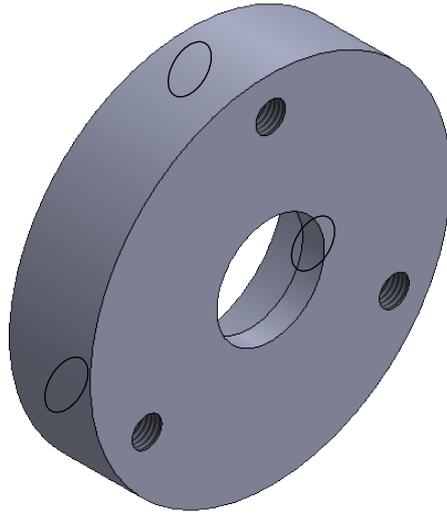
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	A4
UNIVERSIDAD DE INGENIERIA Y TECNOLOGIA		N.º DE DIBUJO		MATERIAL: <b>Acero al carbono</b>		TÍTULO: <b>Tapa para rodaje</b>	
DIBUJ.	JOEL GUIZADO	FIRMA	FECHA	ESCALA:1:1		HOJA 1 DE 1	
VERIF.	J L MANTARI						
APROB.	J L MANTARI						



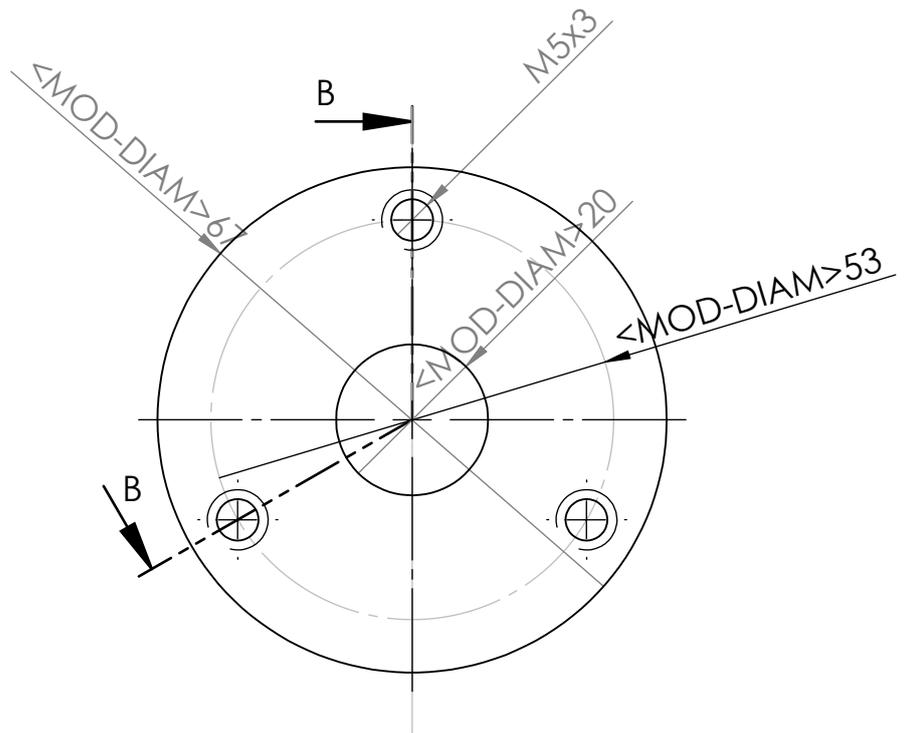
SECCIÓN A-A



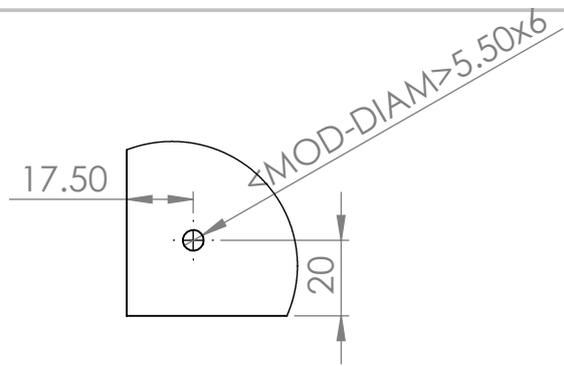
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	A4
UNIVERSIDAD DE INGENIERIA Y TECNOLOGIA		MATERIAL:		TÍTULO:		N.º DE DIBUJO	
DIBUJ.	JOEL GUIZADO	FIRMA	FECHA	A 36	Brida para caja de rodamiento 2	UTEC INGENIERÍA MECÁNICA	
VERIF.	J L MANTARI				ESCALA:1:1	HOJA 1 DE 1	
APROB.	J L MANTARI						



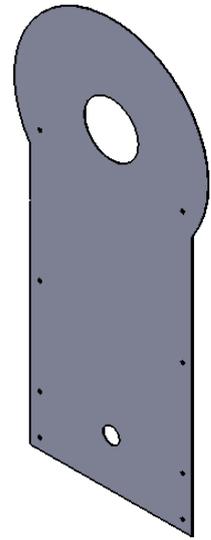
SECCIÓN B-B



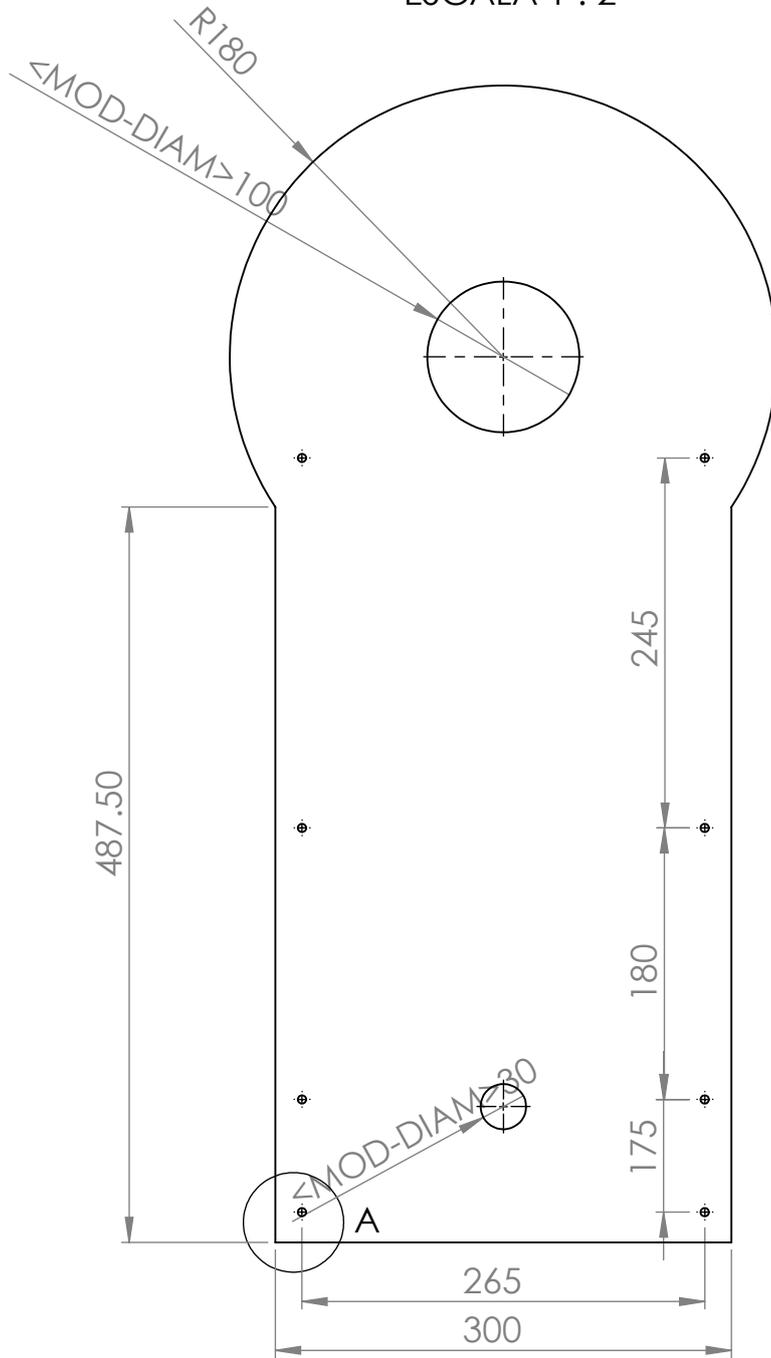
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	A4
UNIVERSIDAD DE INGENIERIA Y TECNOLOGIA		MATERIAL:		TÍTULO:		N.º DE DIBUJO	
DIBUJ.	JOEL GUIZADO	FIRMA	FECHA	A 36	Caja de rodamiento		
VERIF.	J L MANTARI						
APROB.	J L MANTARI						
				ESCALA:1:1	HOJA 1 DE 1		



DETALLE A  
ESCALA 1 : 2



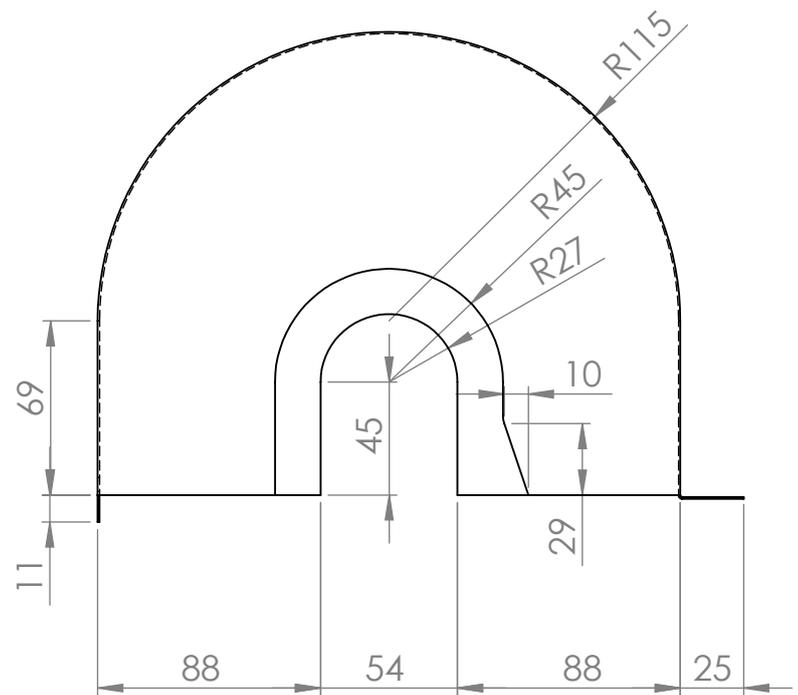
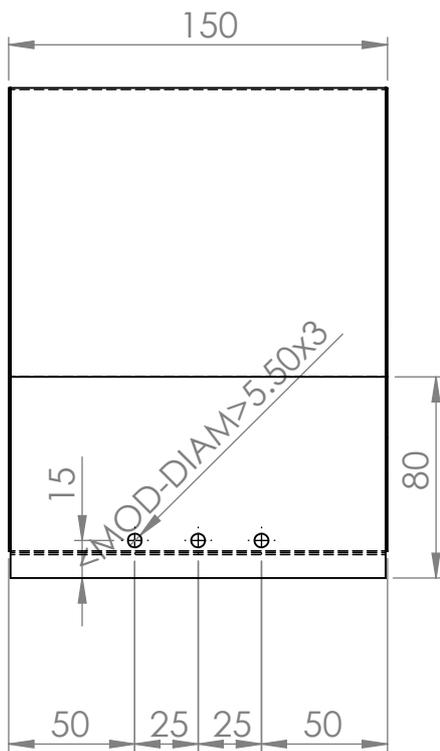
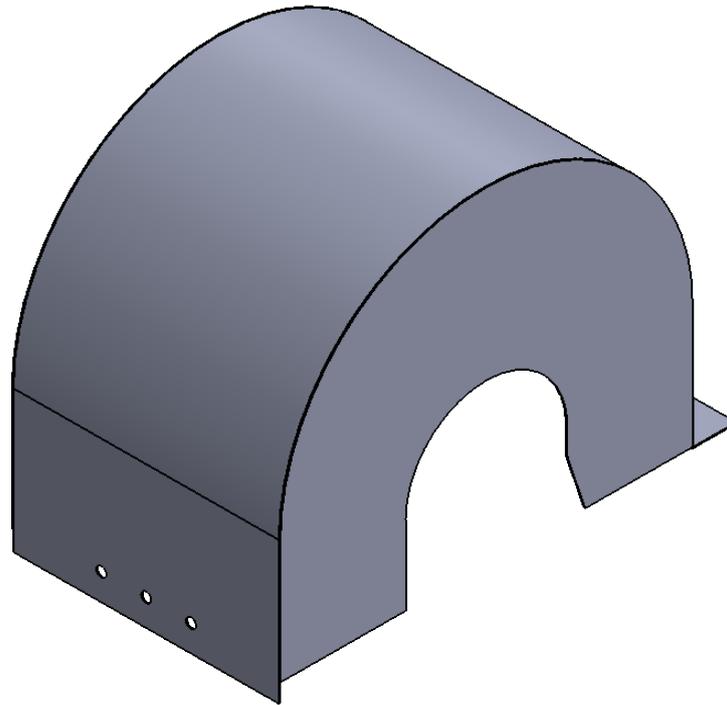
ESCALA 1 : 10



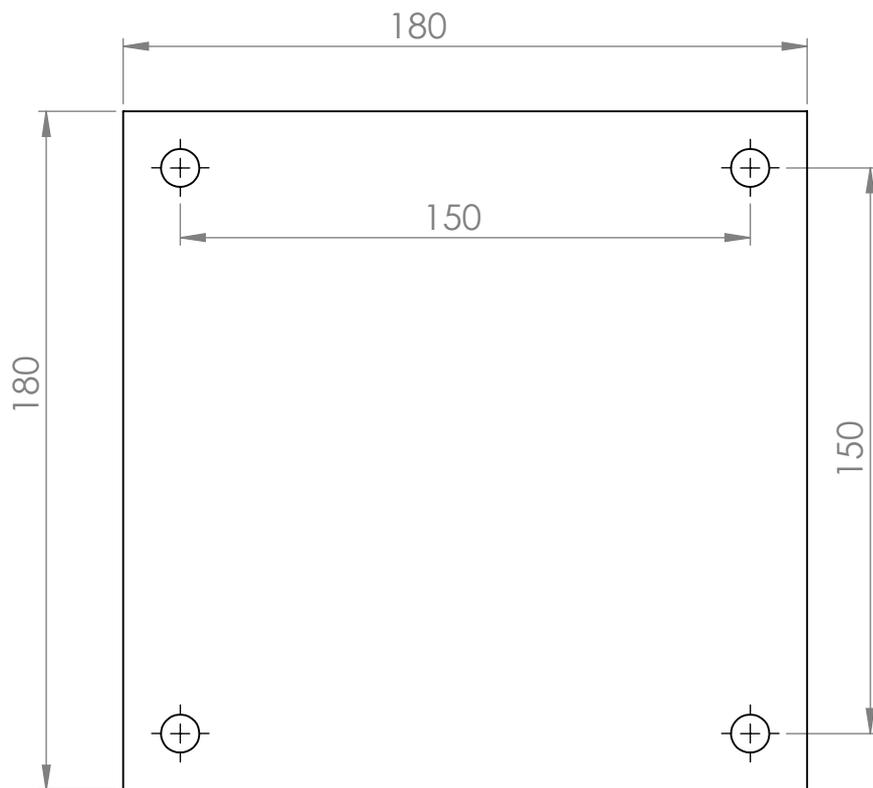
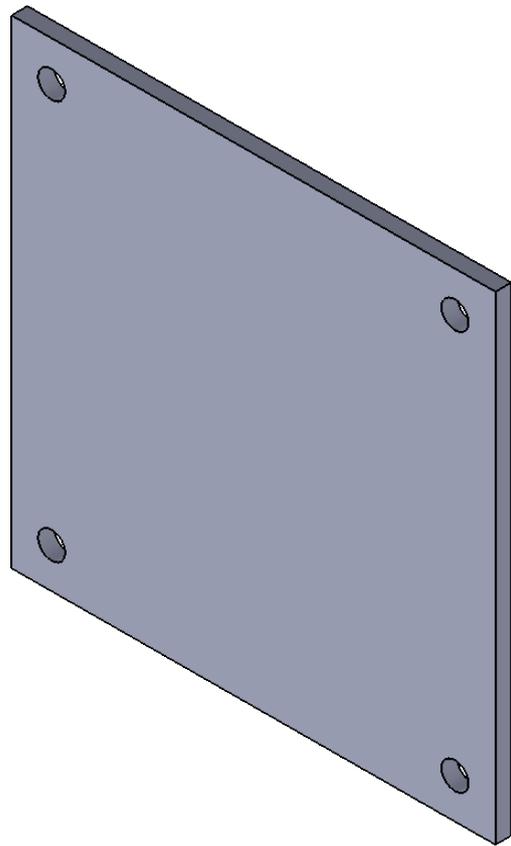
Espesor 1mm

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	A4
NOMBRE		FIRMA	FECHA	UNIVERSIDAD DE INGENIERIA Y TECNOLOGIA		N.º DE DIBUJO	
DIBUJ.	JOEL GUIZADO			MATERIAL: <b>Acero al carbono</b>		TÍTULO: <b>Soporte de guarda para poleas</b>	
VERIF.	J L MANTARI						
APROB.	J L MANTARI						
				ESCALA: 1:5		HOJA 1 DE 1	





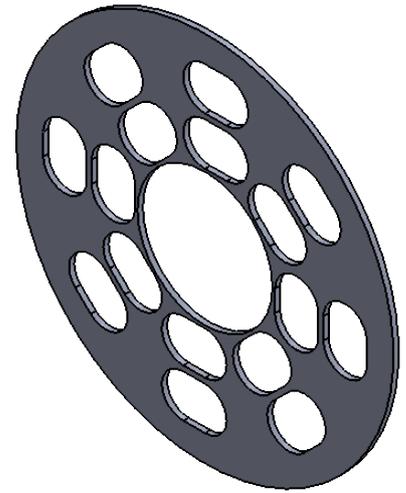
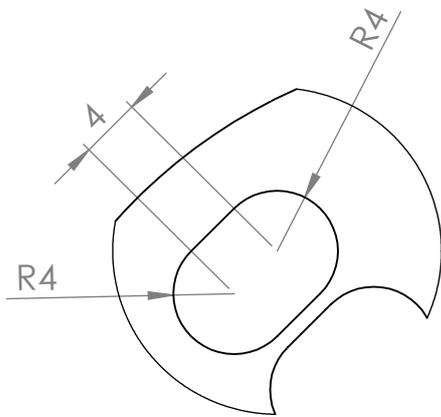
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	A4
UNIVERSIDAD DE INGENIERIA Y TECNOLOGIA		MATERIAL: AISI 304		TÍTULO: GUARDA DE DISCOS 1		N.º DE DIBUJO	
DIBUJ.	JOEL GUIZADO	FIRMA		ESCALA: 1:3	HOJA 1 DE 1		
VERIF.	J L MANTARI	FECHA					
APROB.	J L MANTARI						



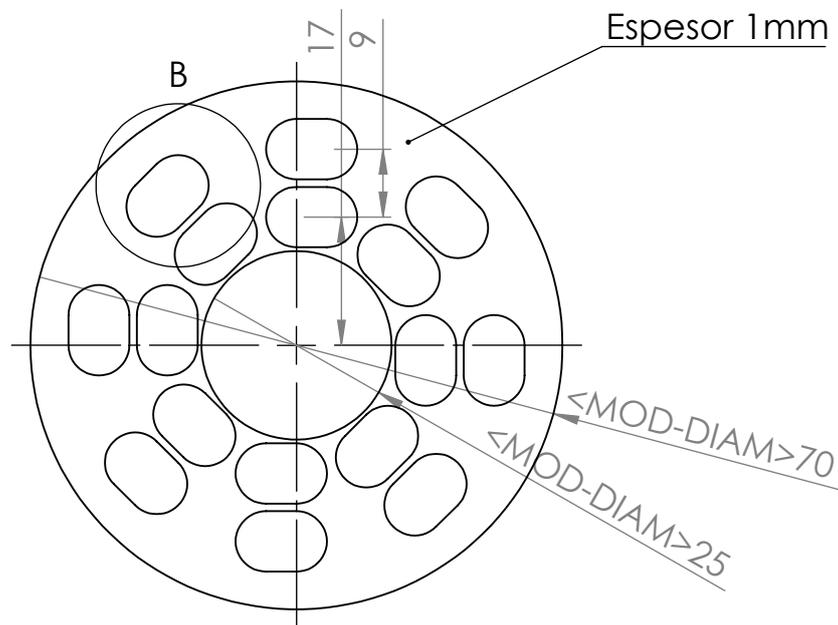
ESPESOR 1/4 PULGADA

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	A4
UNIVERSIDAD DE INGENIERIA Y TECNOLOGIA		MATERIAL:		TÍTULO:		N.º DE DIBUJO	
DIBUJ.	JOEL GUIZADO	FIRMA	FECHA				
VERIF.	J L MANTARI						
APROB.	J L MANTARI						
				ESCALA:1:2		HOJA 1 DE 1	

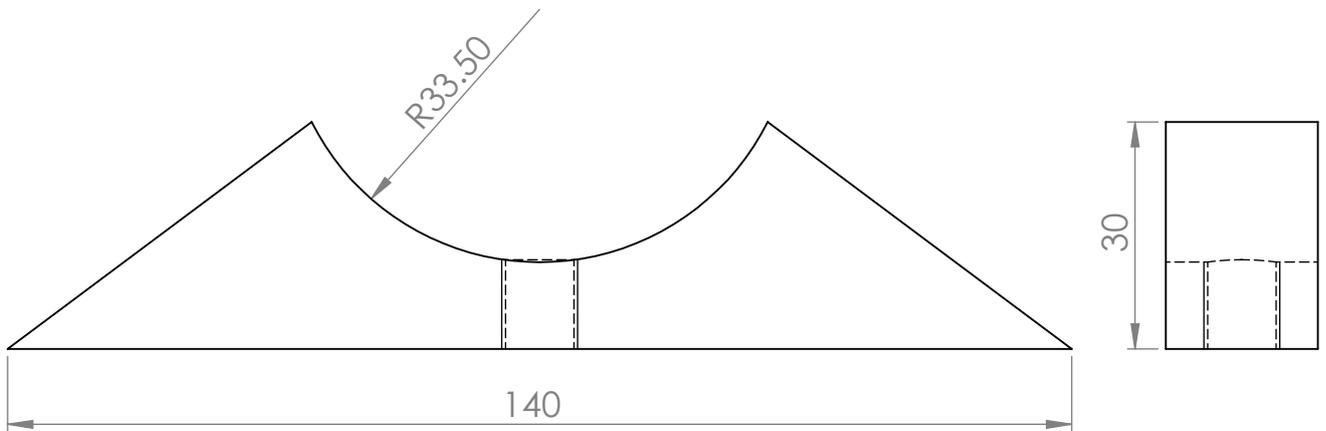
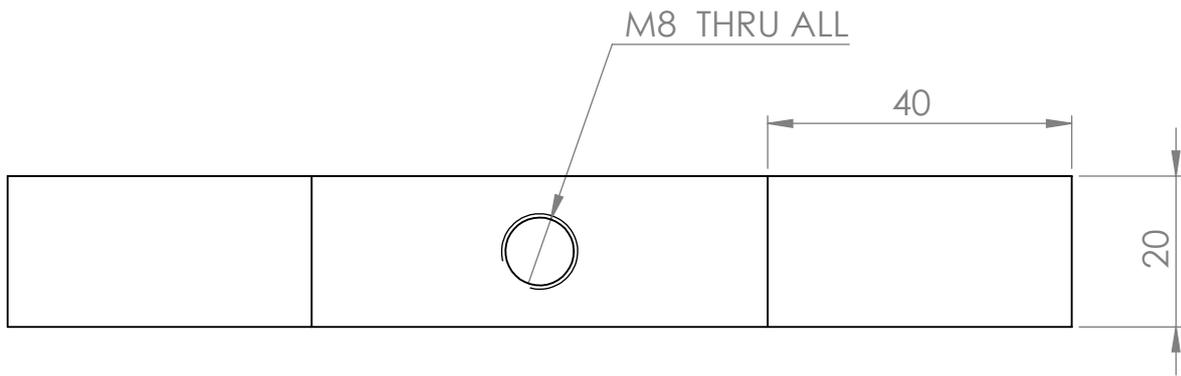
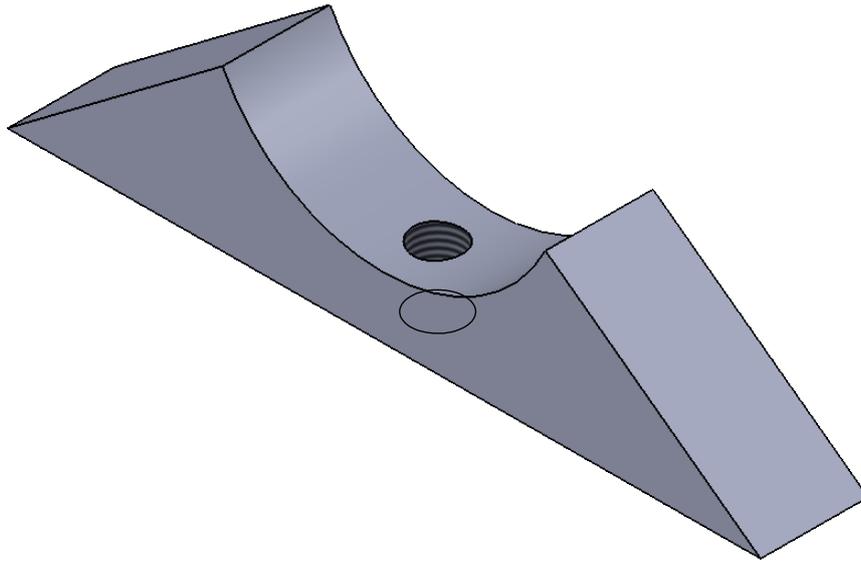




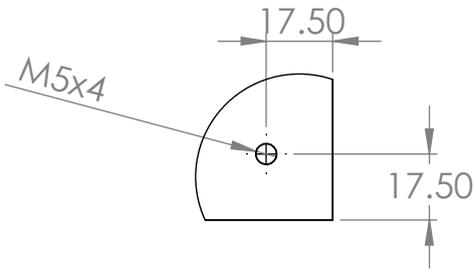
DETALLE B  
ESCALA 2 : 1



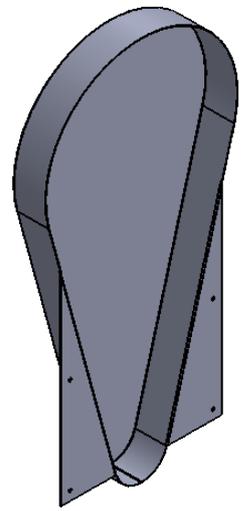
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	A4
UNIVERSIDAD DE INGENIERIA Y TECNOLOGIA		N.º DE DIBUJO		MATERIAL: AISI 304		TÍTULO: Soporte de discos de cuchillas	
DIBUJ.	JOEL GUIZADO	FIRMA	FECHA	ESCALA:1:1		HOJA 1 DE 1	
VERIF.	J L MANTARI						
APROB.	J L MANTARI						



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	A4
UNIVERSIDAD DE INGENIERIA Y TECNOLOGIA		MATERIAL:		TÍTULO:		N.º DE DIBUJO	
DIBUJ.	JOEL GUIZADO	FIRMA	FECHA	A 36	Soporte de camara de extrusor	UTEC INGENIERÍA MECÁNICA	
VERIF.	J L MANTARI				ESCALA:1:1	HOJA 1 DE 1	
APROB.	J L MANTARI						

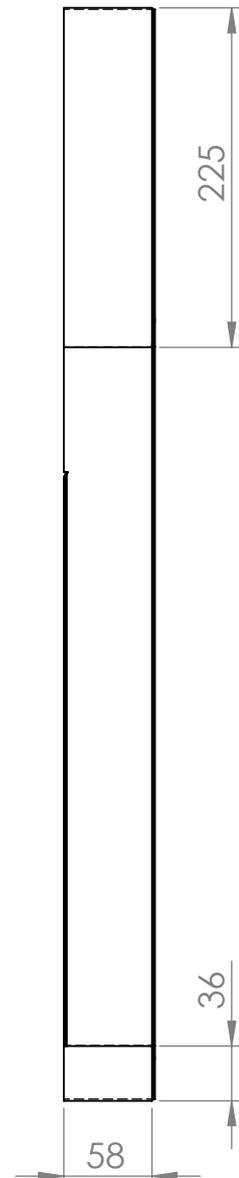
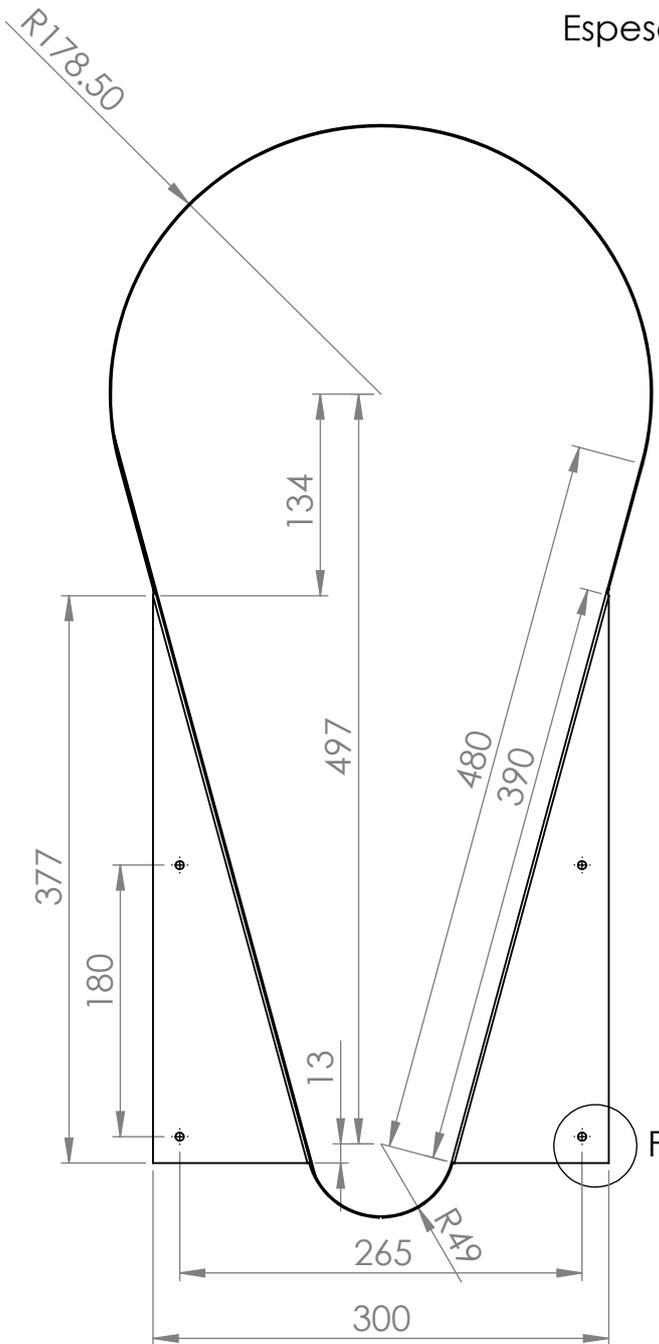


DETALLE F  
ESCALA 1 : 2

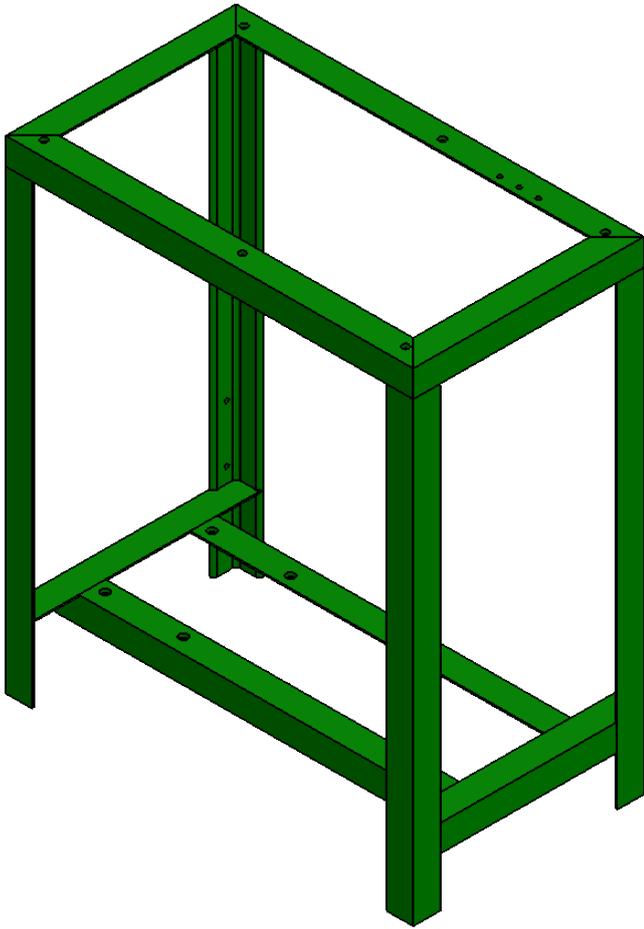


ESCALA 1 : 10

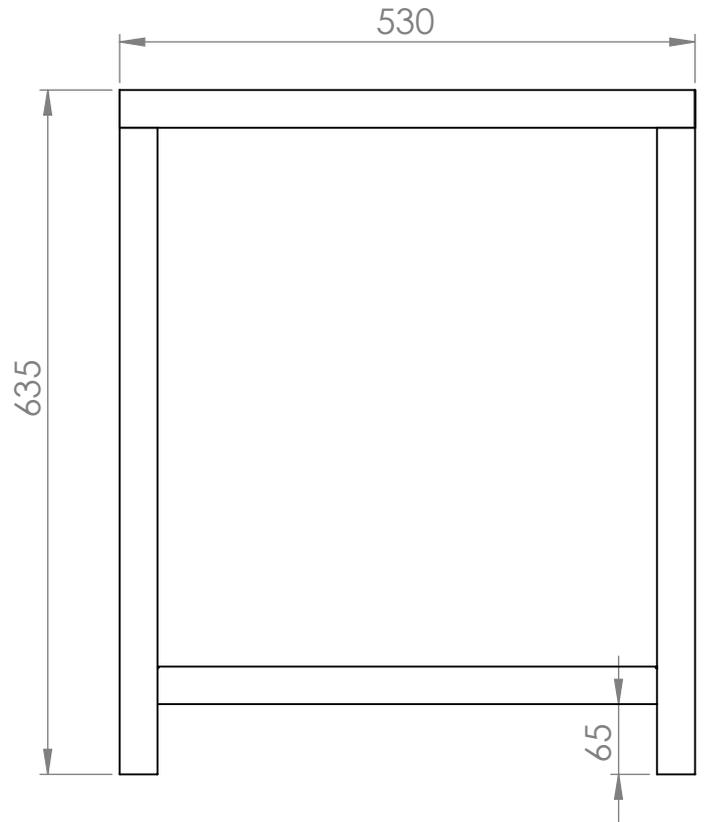
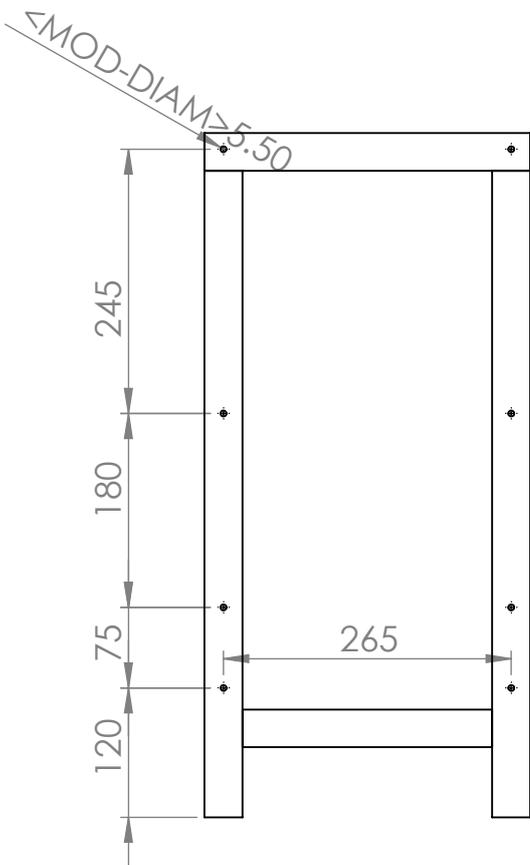
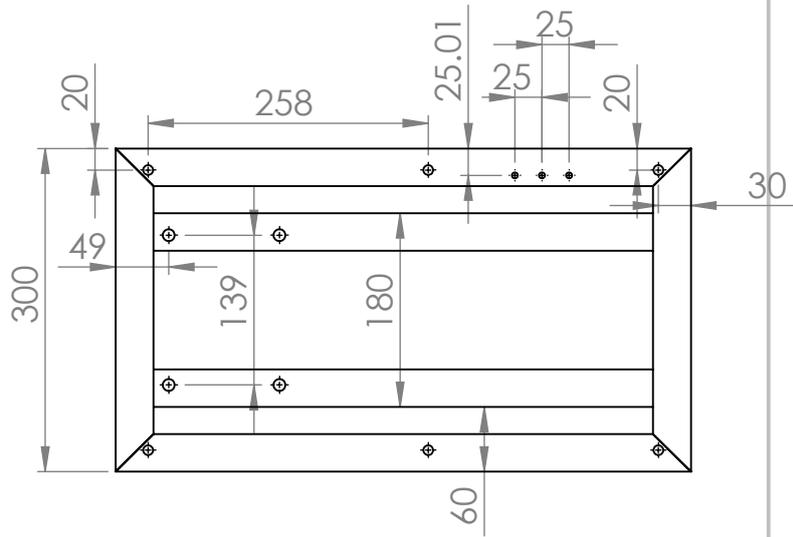
Espesor 1mm



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	A4
				UNIVERSIDAD DE INGENIERIA Y TECNOLOGIA		N.º DE DIBUJO	
DIBUJ.	JOEL GUIZADO	FIRMA	FECHA	MATERIAL:	TÍTULO:		
VERIF.	J L MANTARI			Acero al carbono	Guarda para poleas		
APROB.	J L MANTARI						
				ESCALA: 1:5	HOJA 1 DE 1		



Perfil angular 35x35x5



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:  
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM

REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

A4

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	JOEL GUIZADO		
VERIF.	J L MANTARI		
APROB.	J L MANTARI		

MATERIAL:

A 36

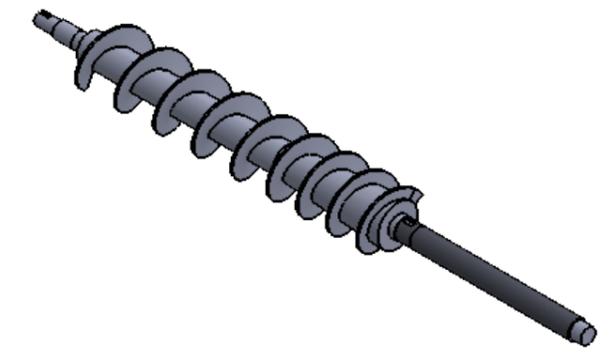
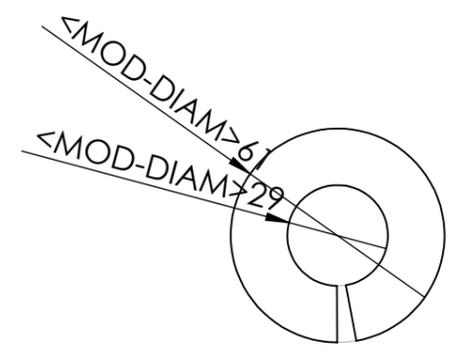
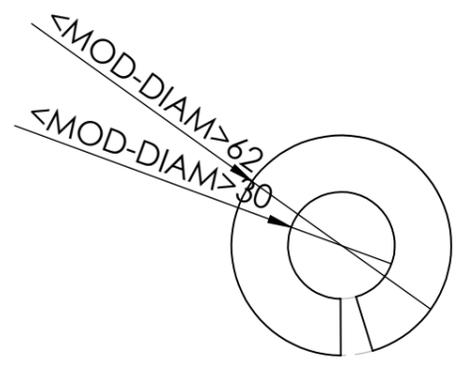
TÍTULO:

ESTRUCTURA

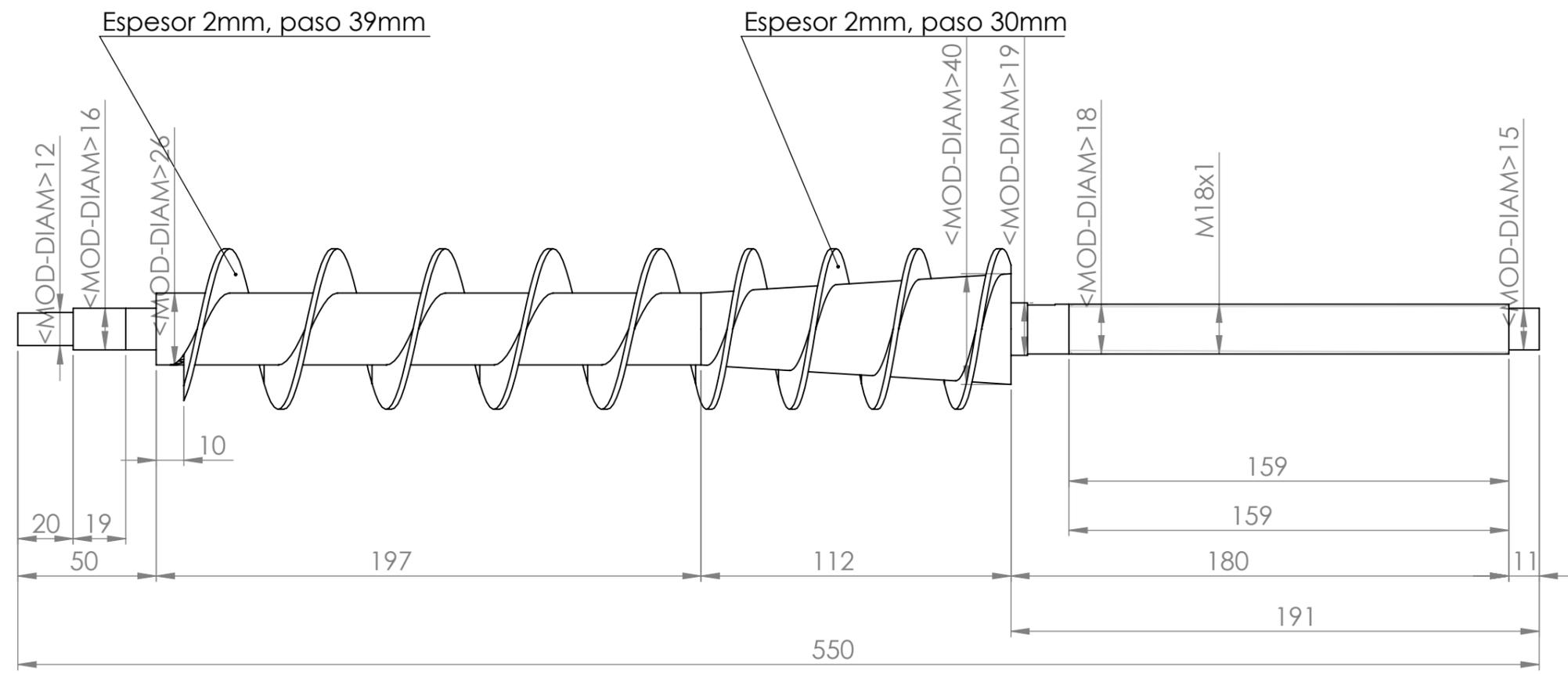
ESCALA:1:7

HOJA 1 DE 1



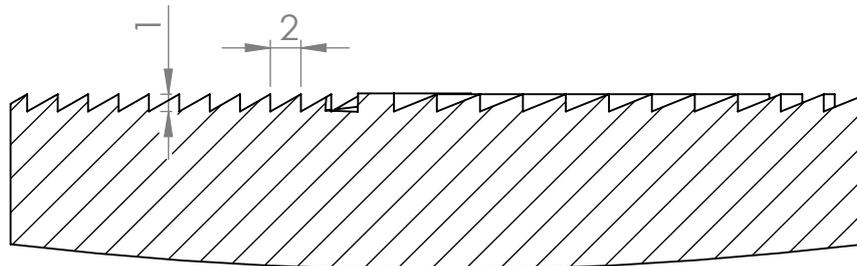
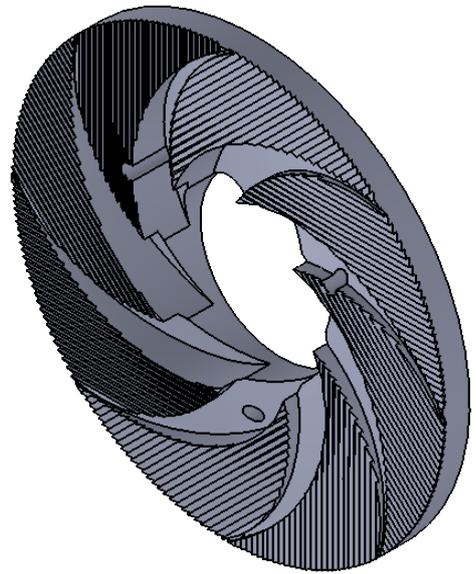


ESCALA 1 : 5

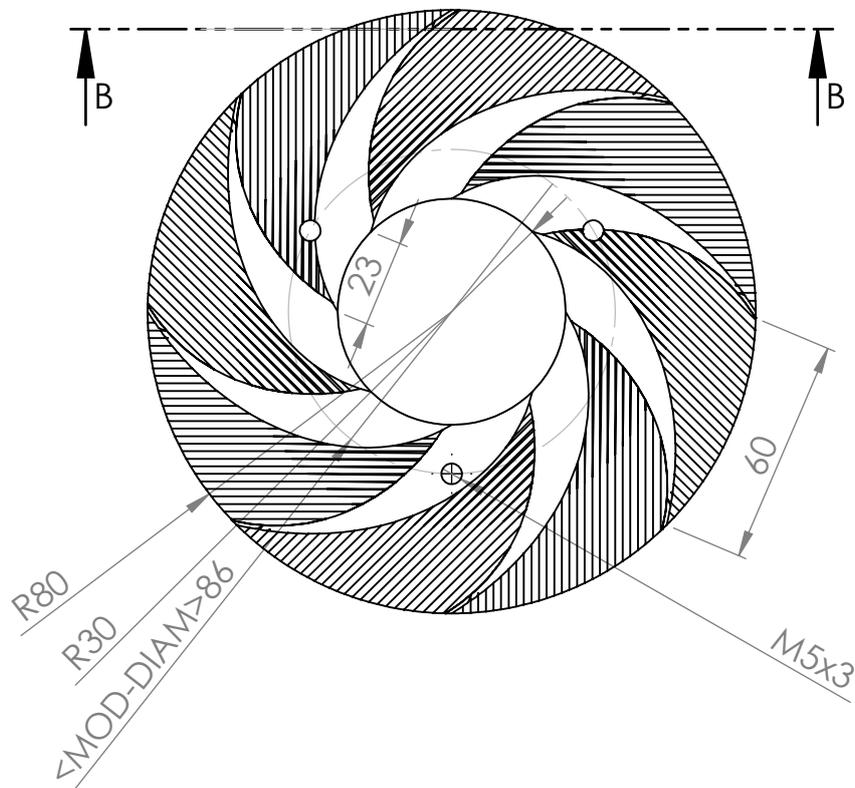


SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	A4
				UNIVERSIDAD DE INGENIERIA Y TECNOLOGIA		N.º DE DIBUJO	
DIBUJ.	JOEL GUIZADO	FIRMA	FECHA	MATERIAL:	TÍTULO:	EJE -EXTRUSOR	
VERIF.	J L MANTARI					ESCALA:1:2	
APROB.	J L MANTARI					HOJA 1 DE 1	



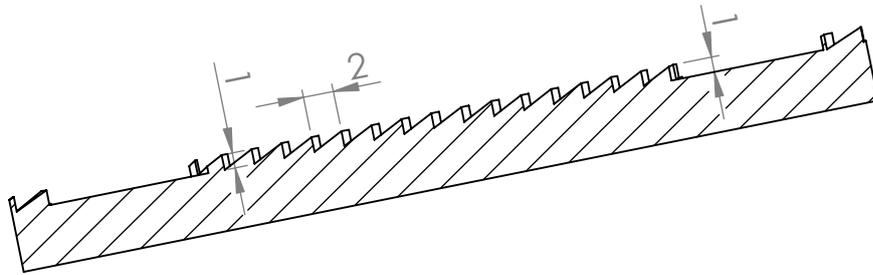


SECCIÓN B-B  
ESCALA 2 : 1

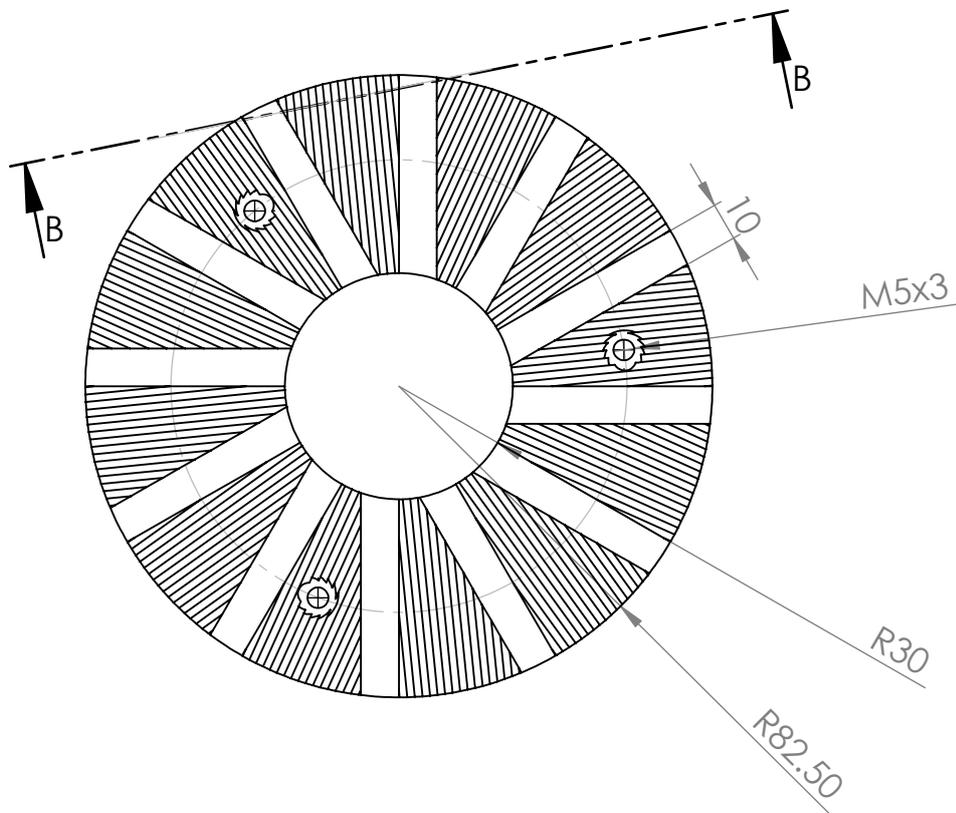
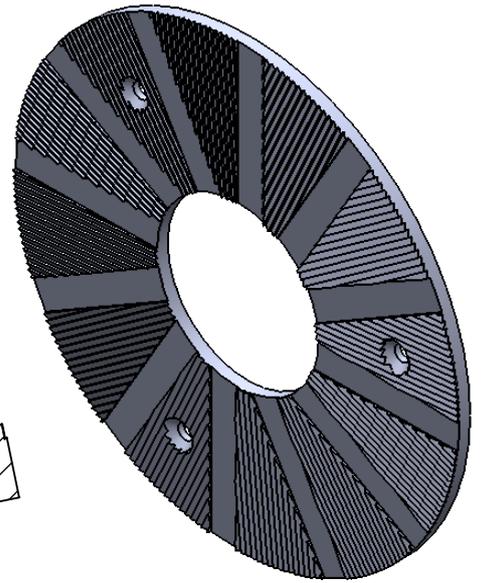


SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	A4
				UNIVERSIDAD DE INGENIERIA Y TECNOLOGIA		N.º DE DIBUJO	
DIBUJ.	JOEL GUIZADO	FIRMA	FECHA	MATERIAL:	TÍTULO:		
VERIF.	J L MANTARI			AISI 304	Disco movil		
APROB.	J L MANTARI				ESCALA:1:2	HOJA 1 DE 1	

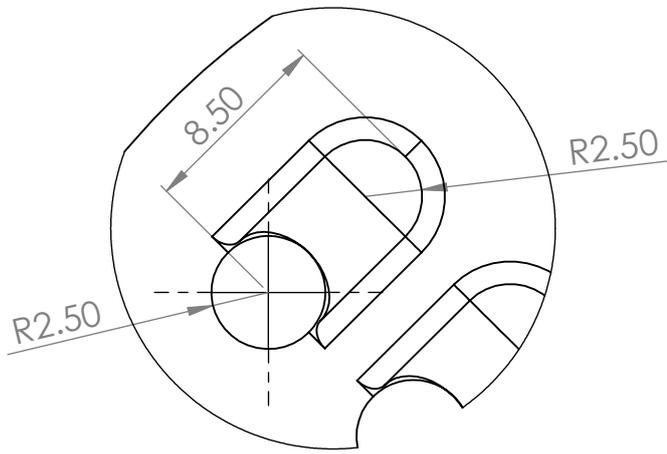




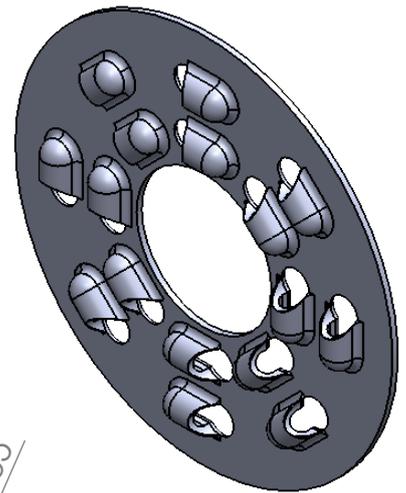
SECCIÓN B-B  
ESCALA 2 : 1



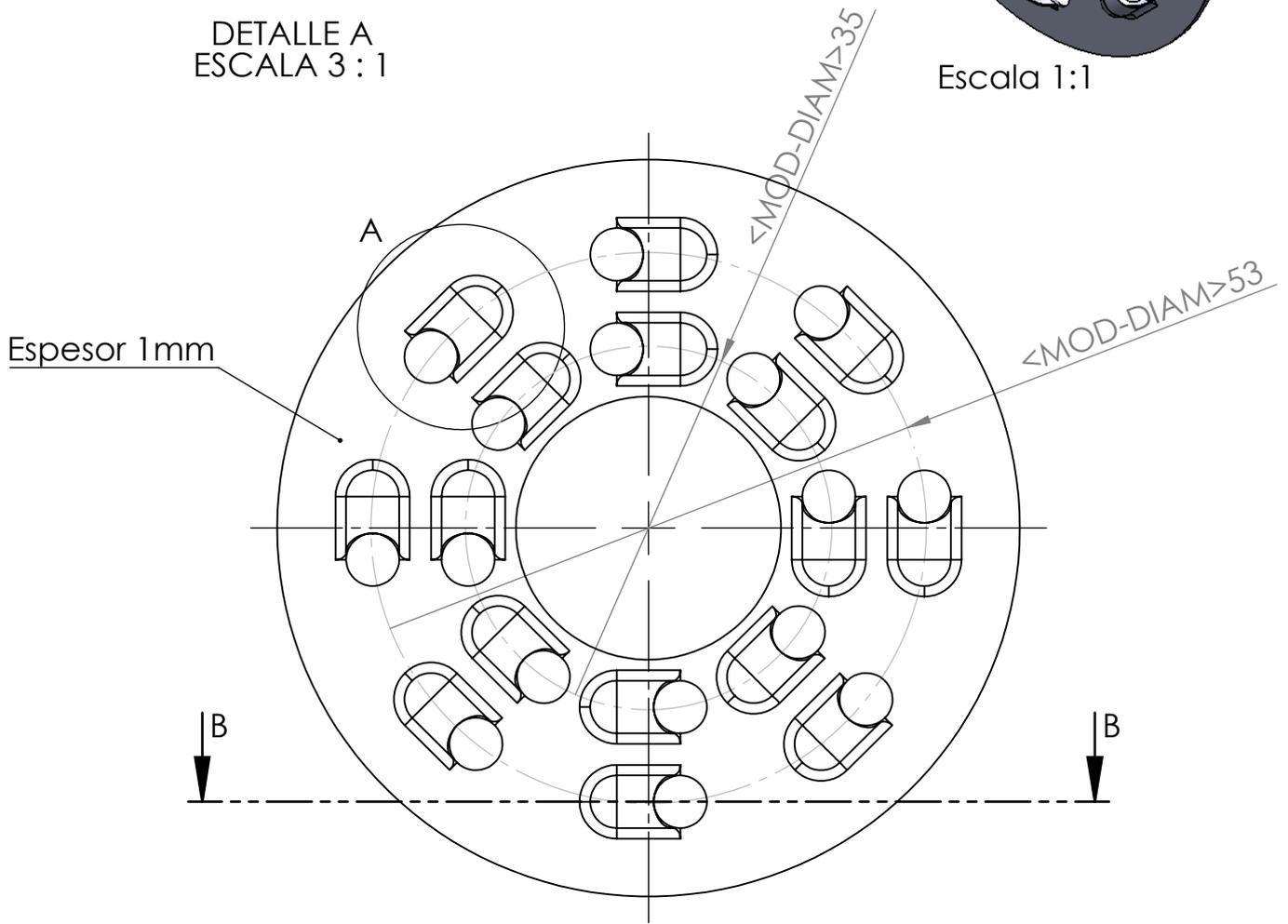
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	A4
UNIVERSIDAD DE INGENIERIA Y TECNOLOGIA		MATERIAL:		TÍTULO:		N.º DE DIBUJO	
DIBUJ.	JOEL GUIZADO	FIRMA	FECHA	AISI 304	DISCO FIJO		
VERIF.	J L MANTARI						
APROB.	J L MANTARI						
				ESCALA:1:2	HOJA 1 DE 1		



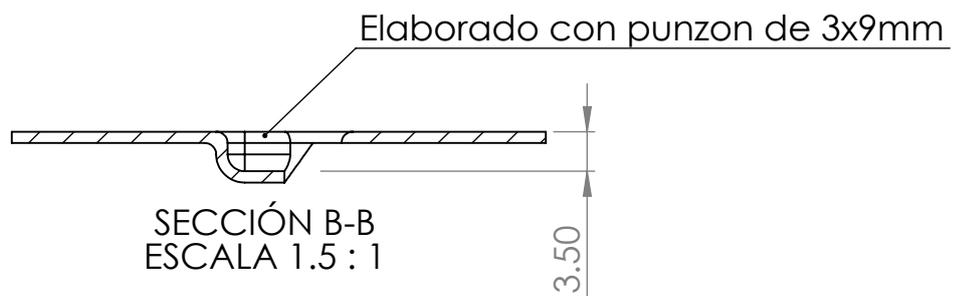
DETALLE A  
ESCALA 3 : 1



Escala 1:1

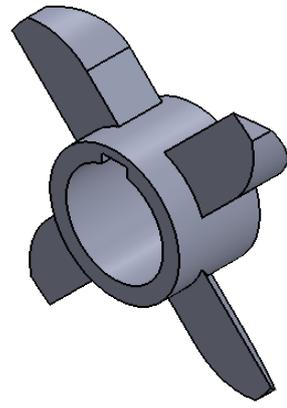


ESCALA 1.5 : 1

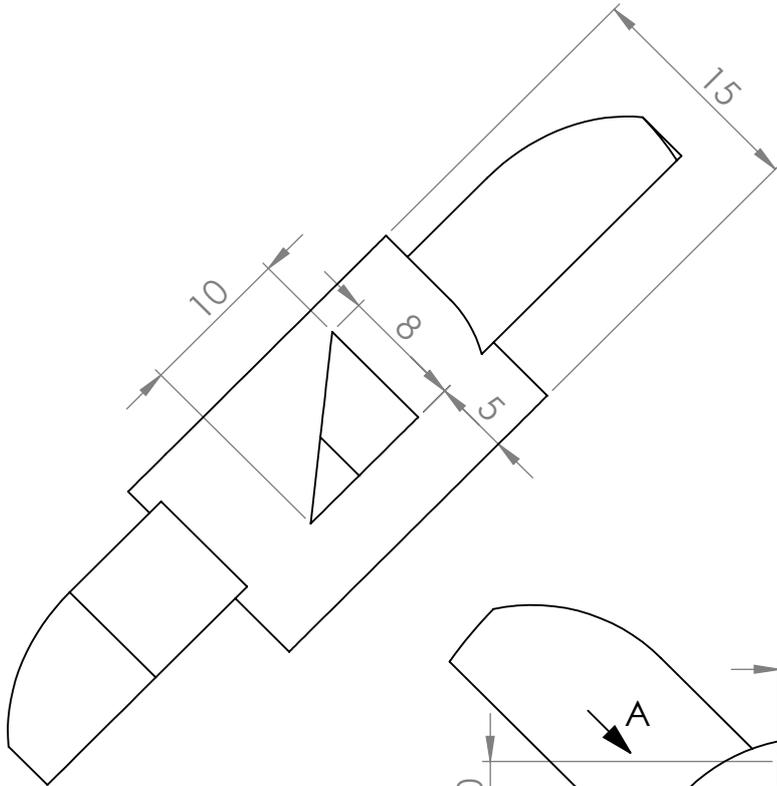


SECCIÓN B-B  
ESCALA 1.5 : 1

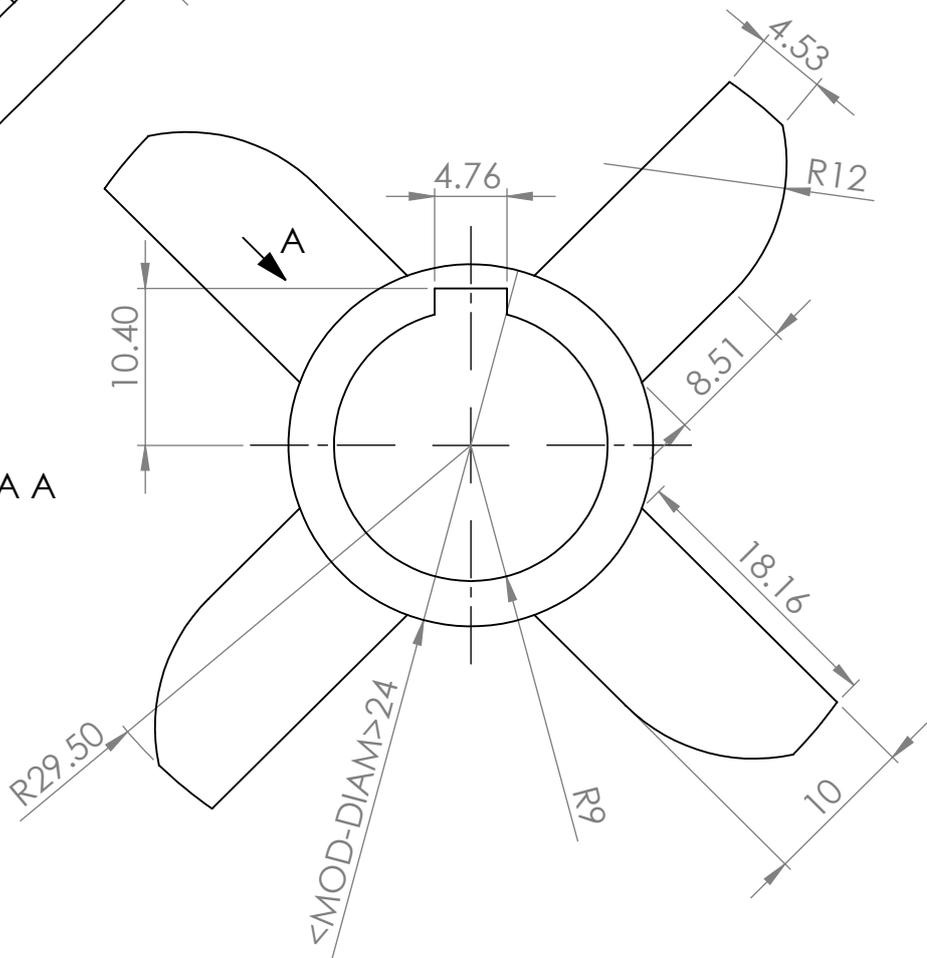
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	A4
NOMBRE		FIRMA	FECHA	UNIVERSIDAD DE INGENIERIA Y TECNOLOGIA		N.º DE DIBUJO	
DIBUJ.	JOEL GUIZADO			MATERIAL: AISI 304		TÍTULO: Disco para cuchillas	
VERIF.	J L MANTARI					ESCALA:1:1	
APROB.	J L MANTARI					HOJA 1 DE 1	



ESCALA 1 : 1

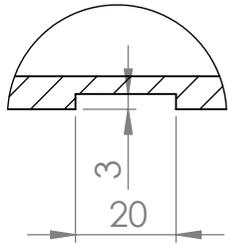


VISTA A

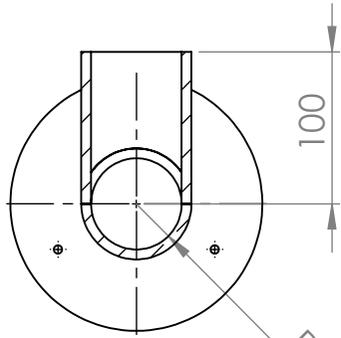


SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	A4
UNIVERSIDAD DE INGENIERIA Y TECNOLOGIA		MATERIAL:		TÍTULO:		N.º DE DIBUJO	
DIBUJ.	JOEL GUIZADO	FIRMA	FECHA	AISI 304		CUCHILLAS	
VERIF.	J L MANTARI						
APROB.	J L MANTARI						
				ESCALA:1:0.5		HOJA 1 DE 1	

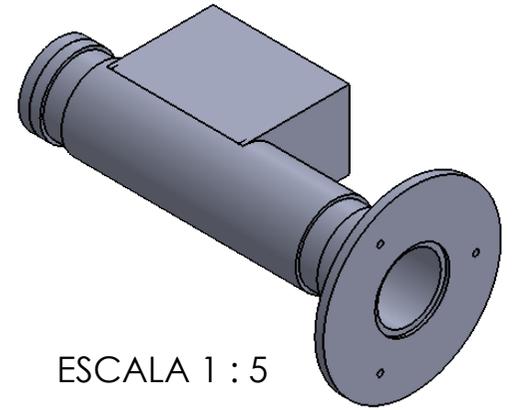




DETALLE D  
ESCALA 2 : 3

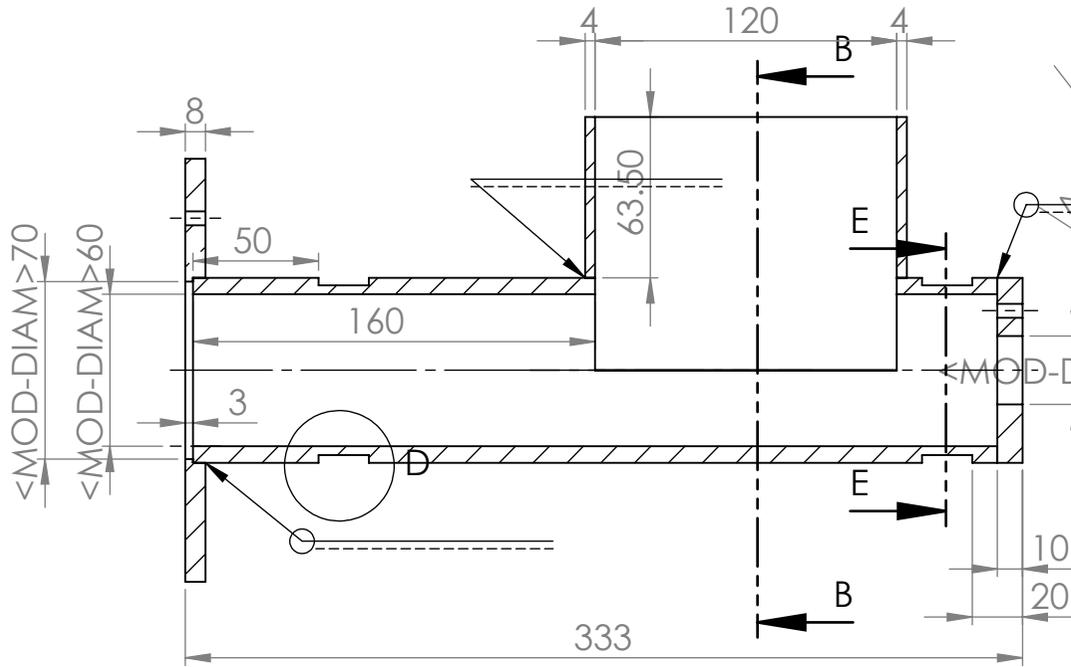
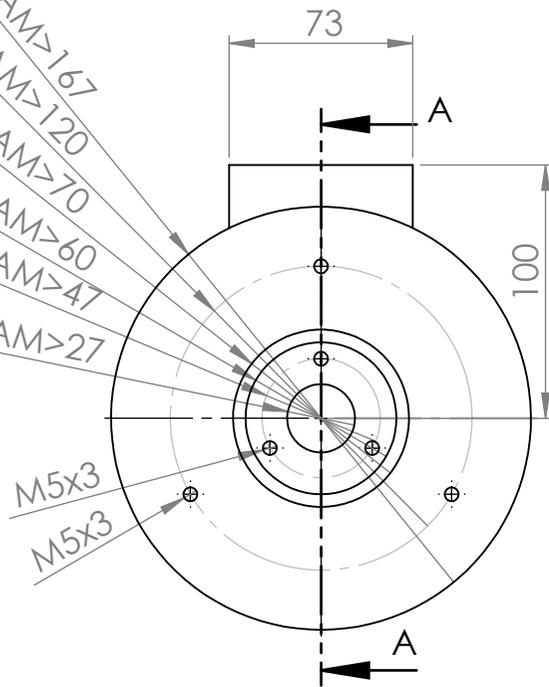


SECCIÓN B-B  
ESCALA 1 : 5

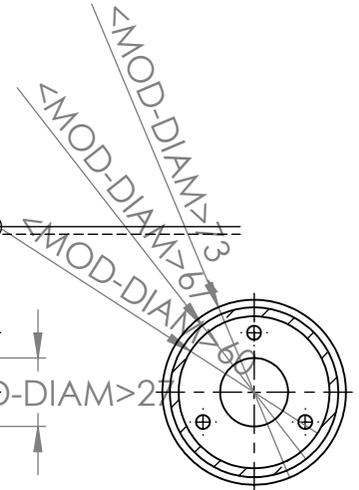


ESCALA 1 : 5

<MOD-DIAM>167  
<MOD-DIAM>120  
<MOD-DIAM>70  
<MOD-DIAM>60  
<MOD-DIAM>47  
<MOD-DIAM>27

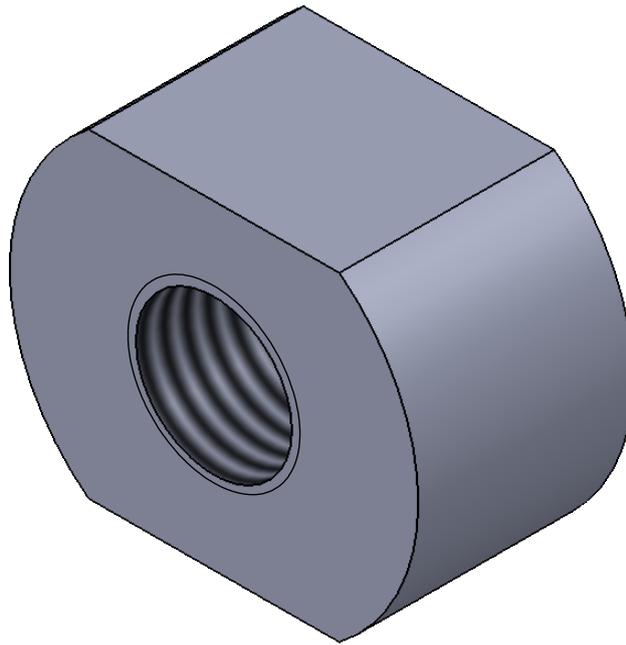


SECCIÓN A-A

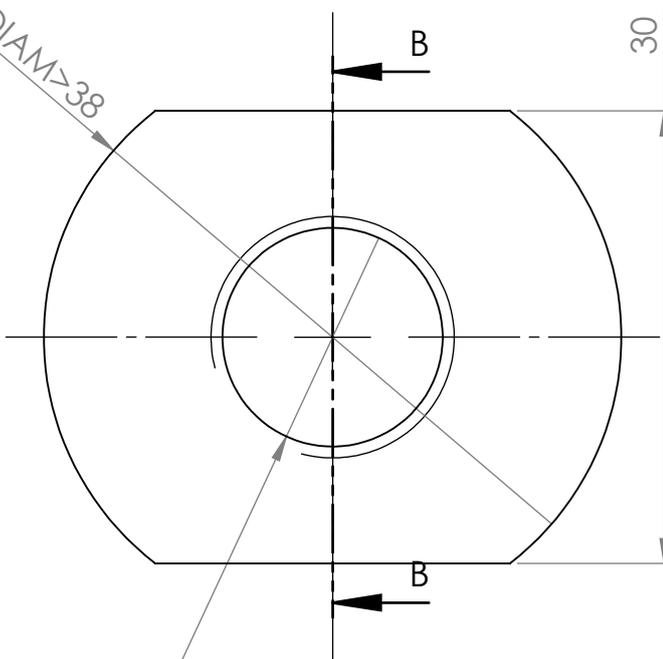


SECCIÓN E-E

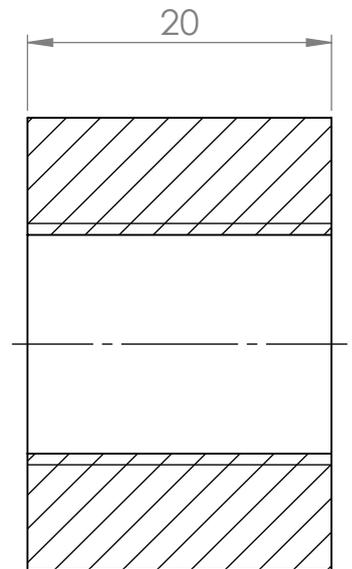
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	A4
NOMBRE		FIRMA	FECHA	UNIVERSIDAD DE INGENIERIA Y TECNOLOGIA		N.º DE DIBUJO	
DIBUJ.	JOEL GUIZADO			MATERIAL: A 304L		TÍTULO: Camara de extrusor	
VERIF.	J L MANTARI			ESCALA:1:3		HOJA 1 DE 1	
APROB.	J L MANTARI						



<MOD-DIAM>38

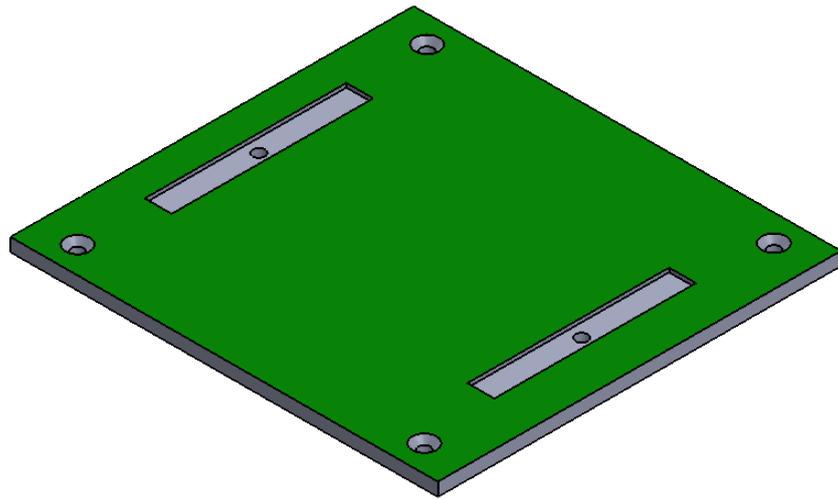


M18x1mm de paso

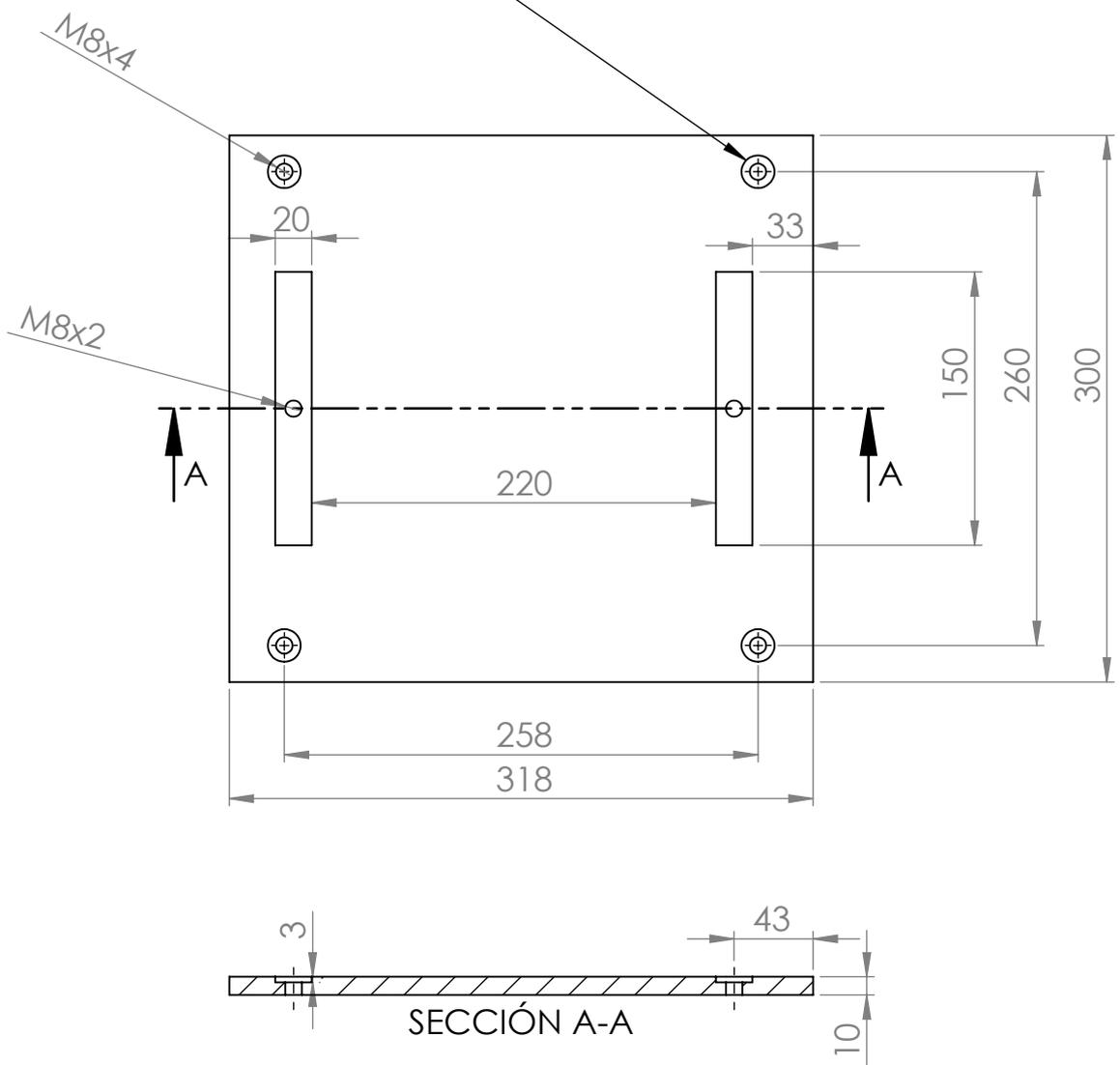


SECCIÓN B-B

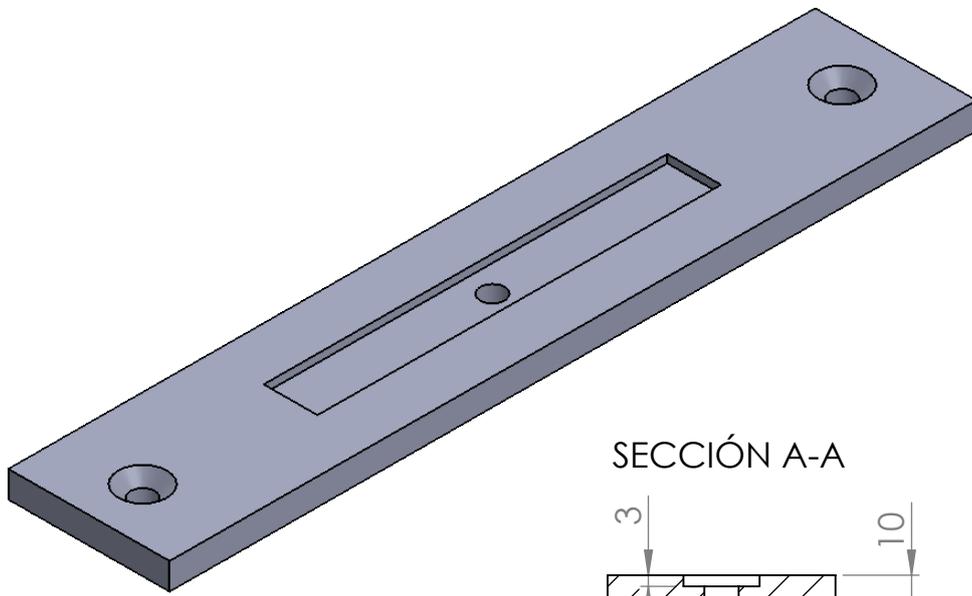
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	A4
UNIVERSIDAD DE INGENIERIA Y TECNOLOGIA		MATERIAL:		TÍTULO:		N.º DE DIBUJO	
DIBUJ.	JOEL GUIZADO	FIRMA	FECHA	AISI 304	Contratuera		
VERIF.	J L MANTARI						
APROB.	J L MANTARI						
				ESCALA:2:1	HOJA 1 DE 1		



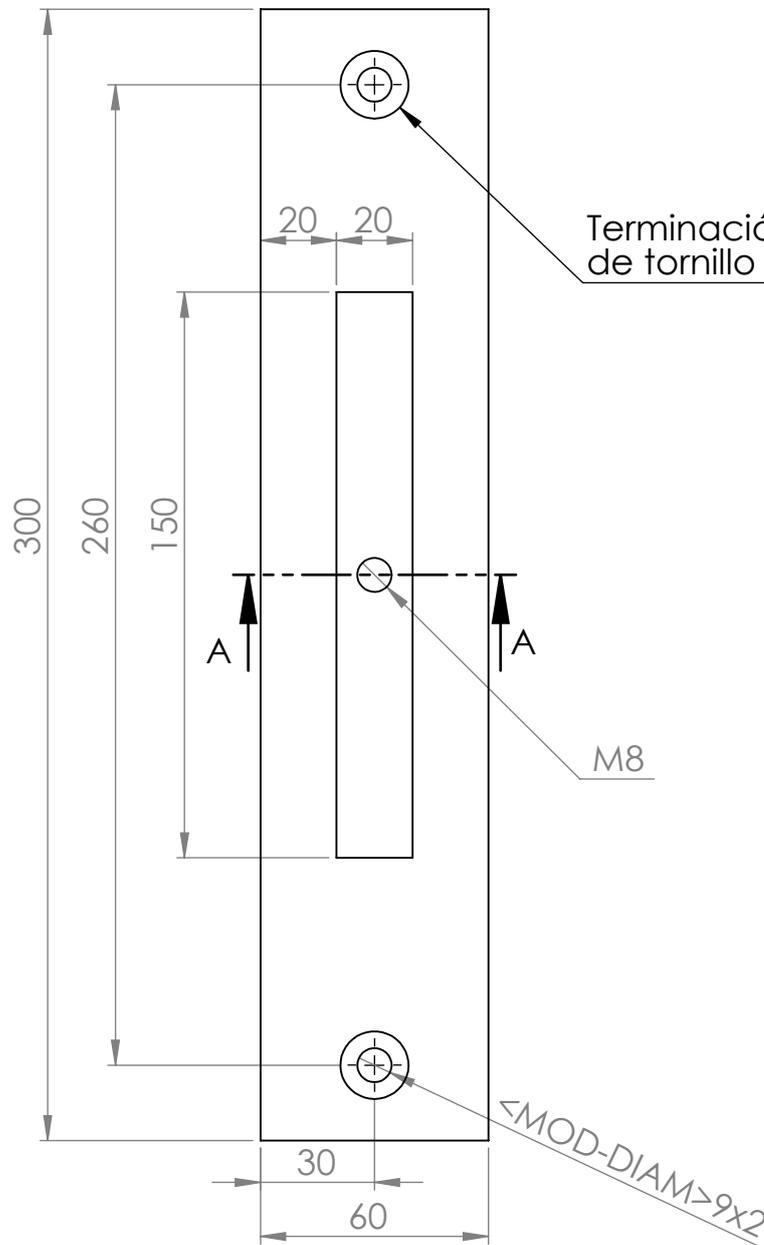
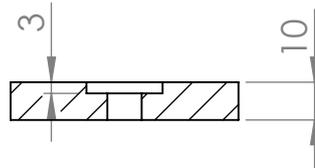
Terminación para cabeza de tornillo avellanada



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	A4
UNIVERSIDAD DE INGENIERIA Y TECNOLOGIA		MATERIAL:		TÍTULO:		N.º DE DIBUJO	
DIBUJ.	JOEL GUIZADO	FIRMA	FECHA	A 36	Base de extrusor 1		
VERIF.	J L MANTARI						
APROB.	J L MANTARI						
				ESCALA:1:4	HOJA 1 DE 1		



SECCIÓN A-A



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	A4
UNIVERSIDAD DE INGENIERIA Y TECNOLOGIA		MATERIAL:		TÍTULO:		N.º DE DIBUJO	
DIBUJ.	JOEL GUIZADO	FIRMA	FECHA	A 36	Base de extrusor 2		
VERIF.	J L MANTARI						
APROB.	J L MANTARI						
				ESCALA: 1:2	HOJA 1 DE 1		

