

**FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y  
URBANISMO**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA  
MECÁNICA ELÉCTRICA**

**TESIS**

**REDISEÑO DE LA MAZA SUPERIOR DEL MOLINO  
N°1 DE 4 MAZAS DEL ÁREA DE TRAPICHE DE LA  
EMPRESA INDUSTRIAL PUCALÁ S.A.C.**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
MECÁNICO ELECTRICISTA**

**Autor:**

**Bach. Cerna Cabanillas Cesar Aroon**

**<https://orcid.org/0000-0001-6109-1565>**

**Asesor:**

**Mg. Ing. Carlos Alexis Alvarado Silva**

**<https://orcid.org/0000-0002-3588-8869>**

**Línea de Investigación:**

**Infraestructura, tecnología y medio ambiente**

**Pimentel - Perú**

**2021**

**REDISEÑO DE LA MAZA SUPERIOR DEL MOLINO N°1 DE 4 MAZAS DEL  
ÁREA DE TRAPICHE DE LA EMPRESA INDUSTRIAL PUCALÁ S.A.C.**

**Aprobación del jurado**

---

Mg. Vives Garnique Juan Carlos

**Presidente**

---

Mg. Gastiaburú Morales Silvia Yvone  
**Secretario**

---

Mg. Alvarado Silva Carlos Alexis  
**Vocal**

## *DEDICATORIA*

*Dedico mi investigación a Dios por la sensatez, fuerza de voluntad, sabiduría y todos los conocimientos que me brindo para poder culminar con éxito mi carrera universitaria, porque me condujo por el camino indicado llenándome de muchos valores.*

*De la misma manera, dedico esta tesis a mis padres, CESAR FERNANDO CERNA ALEJOS y FLOR ÁNGEL CABANILLAS CABANILLAS que mantuvieron su apoyo de inicio a fin día tras día, les agradezco por la formación en casa que me brindaron y los valores inculcados hacia mi persona, les agradezco porque siempre me brindaron motivación y confiaron siempre.*

*Dedico esta investigación a las personas que formaron parte de todos los años en mi carrera universitaria como mis grandes maestros que me brindaron lo mejor de sus conocimientos día tras día.*

*Dedico también mi investigación a mis grandes amigos que se hicieron hermanos Jhoel Valencia y Eberth Espinoza que estuvieron ahí año tras año motivándome a seguir y concluir con éxito esta hermosa vida universitaria.*

*Atte. Cerna Cabanillas Cesar Aroon*

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecido por todo este maravilloso camino llamado vida universitaria, que me formo como profesional, agradecido con Dios por llenarme de tanta fuerza de voluntad en días duros agradecido porque no me abandono y me dio la sensatez para continuar y lograr así culminar con éxito mi vida universitaria.

Agradecido con mis padres por su apoyo incondicional día tras día, por su protección y paciencia, por su amor y su amistad, agradecido por que gracias a ellos pude continuar este sueño.

Agradezco a mi casa de estudios Universidad Señor De Sipán y toda la plana docente de la escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica por su paciencia y su vocación de enseñanza que hicieron de mi formación profesional muy placentera, así mismo agradezco a esta escuela porque conocí grandes personas, grandes amistades que se hicieron hermanos y me brindaron su apoyo Jhoel y Ebert.

Atte. Cerna Cabanillas Cesar Aroon

# **REDISEÑO DE LA MAZA SUPERIOR DEL MOLINO N°1 DE 4 MAZAS DEL ÁREA DE TRAPICHE DE LA EMPRESA INDUSTRIAL PUCALÁ S.A.C.**

## **REDESIGN OF THE UPPER HUB OF THE MILL N ° 1 OF 4 HAMMERS IN THE TRAPICHE AREA OF EMPRESA INDUSTRIAL PUCALÁ S.A.C.**

Cerna Cabanillas Cesar Aroon<sup>1</sup>

### **Resumen**

*Mediante diversas visitas a la empresa Industrial Pucalá S.A.C. se pudo identificar la problemática que existe en el área de Trapiche de la agroindustria, específicamente en el Molino de 4 mazas N° 1. Las constantes para esta máquina producto de un mal diseño en el mecanismo de molienda afecta la producción generando pérdidas económicas.*

*A través de una entrevista a los trabajadores encargados del área, empleando la técnica de la observación y revisando la diversa bibliografía específica se pudo identificar los sistemas y elementos críticos del mecanismo de molienda del molino de 4 masas N° 1, los cuales fueron la lubricación de los ejes de las masas, el dimensionamiento de la maza superior, que, al variarlo, también variaron las longitudes de las demás mazas y el eje crítico de dicha maza motriz. Se calculó la capacidad del molino (90.42 TCH) para luego proyectar una relación conocida entre el diámetro y la longitud de la masa, que brindo los nuevos valores de la maza superior (0.96 m de diámetro y 1.92 de longitud). Con las nuevas dimensiones se detectaron las cargas presentes a lo largo del eje, hallando un torque total de 35 099.11 Nm se pudo redimensionar los diámetros mínimos para cada tramo del eje, 19 cm para el tramo A (ingreso) con un factor de seguridad 3 y 23 cm para el tramo B (salida) que brindo un factor de seguridad de 2.2. A través de una simulación estática empleando software CAD/CAE se pudo corroborar el FS hallado matemáticamente. El valor encontrado (2.8) confirmo el buen rediseño y análisis que se ejecutó en los elementos críticos del mecanismo de molienda del molino de 4 mazas N° 1.*

*Palabras claves: Molienda, rediseño, mecanismo, molino, dimensiones.*

---

<sup>1</sup> Adscrito a la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Pregrado, Universidad Señor de Sipán, Pimentel, Perú, [ccabanillascesa@crece.uss.edu.pe](mailto:ccabanillascesa@crece.uss.edu.pe) y código ORCID <https://orcid.org/0000-0001-6109-1565>

## **Abstract**

*Through various visits to the company Industrial Pucalá S.A.C. It was possible to identify the problem that exists in the Trapiche area of the agro-industry, specifically in the 4-hammer mill No. 1. The constant stops of this machine, as a result of a bad design in the grinding mechanism, affects production, generating economic losses.*

*Through an interview with the workers in charge of the area, using the observation technique and reviewing the diverse specific bibliography, it was possible to identify the critical systems and elements of the grinding mechanism of the 4-mass mill No. 1, which were lubrication of the hub axes, the dimensioning of the upper hub, which, when varied, also varied the lengths of the other hubs and the critical axis of said driving hub. The mill capacity (90.42 TCH) was calculated to later project a known relationship between the diameter and the length of the hub, which provided the new values for the upper hub (0.96 m in diameter and 1.92 in length). With the new dimensions, the loads present along the axis were detected, finding a total torque of 35 099.11 Nm, it was possible to resize the minimum diameters for each section of the axis, 19 cm for section A (entry) with a safety factor of 3 and 23 cm for section B (exit), which provided a safety factor of 2.2.*

*Through a static simulation using CAD / CAE software, the FS found mathematically could be corroborated. The value found (2.8) confirmed the good redesign and analysis that was carried out on the critical elements of the grinding mechanism of the 4-hammer mill No. 1.*

*Key words: Grinding, redesign, mechanism, mill, dimensions.*

## ÍNDICE

<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>iii</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>iv</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>v</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>vi</b>
I. INTRODUCCIÓN.....	13
1.1. Realidad problemática .....	13
1.2. Antecedentes de Estudio .....	14
1.3. Teorías relacionadas al tema.....	19
1.3.1. Empresa Industrial Pucalá S.A.C.....	19
1.3.2. Proceso de elaboración de azúcar .....	20
1.3.3. Área de Trapiche del proceso de Molienda y Extracción del jugo .....	21
1.3.4. Molino de 4 mazas .....	22
1.3.5. Principio de funcionamiento de un molino de 4 mazas .....	23
1.3.6. Diseño de un molino de 4 mazas .....	24
<b>1.3.6.1. Fuerza de compresión para el molino</b> .....	<b>24</b>
<b>1.3.6.2. Relación de fuerza entre las mazas del molino</b> .....	<b>26</b>
<b>1.3.6.3. Potencia para el funcionamiento del molino</b> .....	<b>26</b>
<b>1.3.6.4. Potencia consumida por la compresión del bagazo</b> .....	<b>27</b>
<b>1.3.6.5. Potencia consumida por la fricción entre los muñones y los cojinetes</b> .....	<b>28</b>
<b>1.3.6.6. Potencia consumida por la fricción entre el bagazo y la cuchilla</b> .....	<b>28</b>
<b>1.3.6.7. Potencia consumida por la fricción de los raspadores y la punta de las             cuchillas con las masas</b> .....	<b>28</b>
<b>1.3.6.8. Potencia consumida por los engranajes</b> .....	<b>29</b>
<b>1.3.6.9. Cálculos de las fuerzas en las masas y engranajes</b> .....	<b>29</b>
<b>1.3.6.10. Factor de seguridad</b> .....	<b>32</b>
1.3.7. Definición de términos .....	33
1.3.8. Software para diseño y simulación .....	34
1.4. Formulación del Problema .....	36
1.5. Justificación e importancia del estudio.....	36
1.5.1. Justificación técnica .....	36
1.5.2. Justificación Económica.....	36
1.5.3. Justificación Social.....	38
1.5.4. Justificación Ambiental.....	38

1.6.	Hipótesis.....	38
1.7.	Objetivos .....	38
1.7.1.	Objetivo General.....	38
1.7.2.	Objetivos Específicos.....	38
II.	MATERIAL Y MÉTODO.....	41
2.1.	Tipo y Diseño de Investigación .....	41
2.2.	Población y muestra .....	41
2.3.	Variables, Operacionalización .....	41
2.3.1.	Caja negra para variables .....	42
2.3.2.	Operacionalización de variables .....	42
2.4.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad.....	45
2.4.1.	Abordaje metodológico.....	45
2.4.1.1.	<b>Analítico.....</b>	<b>45</b>
2.4.1.2.	<b>Deductivo.....</b>	<b>45</b>
2.4.1.3.	<b>Inductivo.....</b>	<b>45</b>
2.4.2.	Técnica de recolección de datos, validez y confiabilidad .....	46
2.4.2.1.	<b>Observación.....</b>	<b>46</b>
2.4.2.2.	<b>Entrevistas .....</b>	<b>46</b>
2.4.2.3.	<b>Información Bibliográfica .....</b>	<b>47</b>
2.4.2.4.	<b>Análisis de documentos .....</b>	<b>47</b>
2.4.3.	Instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad.....	47
2.4.3.1.	<b>Guía de observación .....</b>	<b>47</b>
2.4.3.2.	<b>Cuestionarios .....</b>	<b>47</b>
2.4.3.3.	<b>Entrevistas .....</b>	<b>48</b>
2.4.4.	Procedimientos para la recolección de datos, validez y confiabilidad.....	48
2.5.	Procedimiento de análisis de datos .....	50
2.6.	Criterios éticos.....	51
2.7.	Criterios de Rigor científico .....	52
III.	RESULTADOS .....	54
3.1.	Resultados en tablas y figuras .....	54
3.1.1.	Sistemas y partes críticas del mecanismo de molienda de 4 mazas.....	54
3.1.1.1.	<b>Dimensionamiento de las mazas.....</b>	<b>54</b>
3.1.1.2.	<b>Rediseño del eje de la maza central .....</b>	<b>54</b>
3.1.1.3.	<b>Lubricación en la molienda.....</b>	<b>55</b>
3.1.2.	Cálculos de rediseño empleando software de computación numérica.....	56
3.1.2.1.	<b>Parámetros operacionales actuales .....</b>	<b>56</b>



<b>3.1.2.2. Cálculos de rediseño</b> .....	<b>66</b>
3.1.3. Rediseño del mecanismo de molienda de 4 mazas del Molino N° 1 .....	78
<b>3.1.3.1. Rediseño de la maza principal</b> .....	<b>78</b>
<b>3.1.3.2. Rediseño del eje principal</b> .....	<b>79</b>
3.1.4. Simulación del rediseño del mecanismo de molienda de 4 masas.....	80
3.2. Discusión de resultados .....	83
IV. CONCLUSIONES .....	85
V. RECOMENDACIONES .....	86
<b>REFERENCIAS</b> .....	<b>88</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>92</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>iii</b>
<b>Figura No 1. Instalaciones de la empresa azucarera Industrial Pucalá S.A.C. ....</b>	<b>20</b>
<b>Figura No 2. Área de Trapiche .....</b>	<b>21</b>
<b>Figura No 3. Sistema de transmisión de potencia .....</b>	<b>22</b>
<b>Figura No 4. Molino de 4 masas .....</b>	<b>23</b>
<b>Figura No 5. Partes de un molino de 4 mazas .....</b>	<b>24</b>
<b>Figura No 6. Representación gráfica de la caña de azúcar al entrar por las masas ....</b>	<b>25</b>
<b>Figura No 7. Esquema de fuerzas reactivas de compresión sobre las masas de un molino .....</b>	<b>29</b>
<b>Figura No 8. Esquema de fuerzas radiales y tangenciales sobre los engranajes.....</b>	<b>32</b>
<b>Figura No 9. Logo oficial de SolidWorks .....</b>	<b>34</b>
<b>Figura No 10. Logo oficial de MATLAB.....</b>	<b>35</b>
<b>Figura No 11. Caja negra del Mecanismo de molienda de 4 masas .....</b>	<b>43</b>
<b>Figura No 12. Diagrama del desarrollo de los procedimientos clasificados por etapas</b> <b>50</b>	
<b>Figura No 13. Desgaste en los discos de las mazas .....</b>	<b>55</b>
<b>Figura No 14. Mazas del Molino N°1 del área de Trapiche.....</b>	<b>55</b>
<b>Figura No 15. Esquema de entrada y salida del bagazo en el Molino N°1.....</b>	<b>58</b>
<b>Figura No 16. Esquema de entrada y salida del bagazo en el Molino N°1.....</b>	<b>60</b>
<b>Figura No 17. Esquema de fuerzas reactivas de compresión sobre las masas de un molino .....</b>	<b>62</b>
<b>Figura No 18. Diagrama de fuerzas tangenciales y radiales en un molino de 4 mazas</b>	<b>69</b>
<b>Figura No 19. Diagrama de fuerzas tangenciales y radiales en un engranaje .....</b>	<b>71</b>
<b>Figura No 20. Diagrama de Cuerpo Libre del eje crítico .....</b>	<b>72</b>
<b>Figura No 21. Diagrama de fuerzas cortantes y momentos máximos eje YZ .....</b>	<b>74</b>
<b>Figura No 22. Diagrama de fuerzas cortantes y momentos máximos eje XZ .....</b>	<b>75</b>
<b>Figura No 23. Maza superior.....</b>	<b>78</b>
<b>Figura No 24. Vista lateral de la maza superior .....</b>	<b>79</b>
<b>Figura No 25. Eje de la maza superior .....</b>	<b>79</b>
<b>Figura No 26. Molino de 4 mazas .....</b>	<b>80</b>
<b>Figura No 27. Proyecciones de fuerzas y torque en el eje principal.....</b>	<b>81</b>
<b>Figura No 28. Factor de seguridad del eje crítico.....</b>	<b>82</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla N°1 .....</b>	<b>37</b>
<b>Tabla No 2 .....</b>	<b>44</b>
<b>Tabla No 3 .....</b>	<b>58</b>
<b>Tabla No 4 .....</b>	<b>59</b>
<b>Tabla No 5 .....</b>	<b>60</b>
<b>Tabla No 6 .....</b>	<b>61</b>
<b>Tabla No 7 .....</b>	<b>61</b>
<b>Tabla No 8 .....</b>	<b>63</b>
<b>Tabla No 9 .....</b>	<b>63</b>
<b>Tabla No 10 .....</b>	<b>64</b>
<b>Tabla No 11 .....</b>	<b>65</b>
<b>Tabla No 12 .....</b>	<b>65</b>
<b>Tabla No 13 .....</b>	<b>68</b>
<b>Tabla No 14 .....</b>	<b>68</b>
<b>Tabla No 15 .....</b>	<b>68</b>
<b>Tabla No 16 .....</b>	<b>69</b>

# **Capítulo I**

# **INTRODUCCIÓN**

## I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

La producción mundial de azúcar para la campaña 2018/2019 se estimó con un volumen de 185.6 millones de toneladas. La india posee la mayor producción con un total de 35.8 millones de toneladas, seguido por Brasil con un total de 30.6 millones de toneladas (Ministerio de Agricultura y Riego, 2017).

Se estima que el Perú abarque un 1.3 millones de toneladas de la producción mundial de azúcar para la campaña 2018/2019. De este total se deberá exportar a otros países un total de 60 mil toneladas (Ministerio de Agricultura y Riego, 2017).

En el 2018 la producción de caña de azúcar a nivel nacional alcanzó una cifra récord de 10.3 millones de toneladas, de los cuáles, Lambayeque fue la región destacada teniendo un 13% de la producción nacional, seguido por La libertad con un 3% (Ministerio de Agricultura y Riego, 2017).

El proceso de elaboración de azúcar cruda necesita de un gran cuidado, desde la etapa de cultivo de la caña hasta donde el azúcar comienza con su comercialización. (Luna, 2017). La empresa azucarera Industrial Pucalá S.A.C. posee muchas etapas de procesamiento. El proceso de Molienda y extracción del jugo es uno de los más destacados, aquí se cuenta con un Trapiche que está formado por seis molinos. El molino principal es el Molino N°1, este posee un mecanismo de molienda de 4 masas, hay dos ejemplares más iguales a este.

El funcionamiento en estado óptimo del Molino N°1 es esencial para la empresa, si existe un parón de este molino la empresa no genera producción, ya que es esta máquina la que empieza el proceso de extracción del jugo de la caña que luego pasa a ser azúcar. El Molino N°1 divide el proceso de producción de elaboración de azúcar, antes de entrar a esta máquina, la caña de azúcar aun esta como tal, caña, luego de salir de este molino, pasa a ser sólo una sustancia viscosa.

El Molino N°1 muy aparte de extraer el jugo de la caña de azúcar, también tiene otra función importante para la empresa, producir un bagazo bien molido que tenga una humedad bastante baja. El bagazo es el residuo de materia de caña de azúcar que sirve como biomasa para la generación de vapor en las calderas, si el bagazo tiene una humedad considerable a consecuencia de una mala molienda, no hay buena transferencia de calor, y por ende, un vapor saturado escaso de presión. La empresa Industrial Pucalá S.A.C. genera su propia electricidad a través de este ciclo de generación de vapor que usa como materia prima el bagazo, de allí parte la necesita de no solo genera una buena extracción de jugo si no también brindar una eficiente molienda de bagazo.

El actual proyecto de investigación tiene como objetivo rediseñar el mecanismo de molienda de 4 masas del molino 1 perteneciente al área de Trapiche de la empresa Industrial Pucalá S.A.C., con la finalidad de mejorar el funcionamiento, rendimiento y disminución de fallas a las que pueda estar expuesta cuando realicé su trabajo. Este rediseño será el resultado de los análisis de ingeniería a los que estará el actual diseño de la máquina.

## **1.2. Antecedentes de Estudio**

Coba, C. & Tenorio, C. (2019) diseñaron e implementaron un sistema de monitoreo para el análisis dinámico de un motor eléctrico asíncrono trifásico EM3611T de 3 HP marca Baldor en el Laboratorio de Control Eléctrico de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga, Ecuador. Instauraron un sistema de obtención de datos en dónde pudieron guardar e interpretar señales obtenidas en tiempo real de sensores de velocidad (Encoder), transformadores de potencial (TP) y transformadores de corriente (TC) y la plataforma LabVIEW, además, analizaron mediante aplicaciones de gráficas de ondas programadas (interfaz), la conducta de variables electromecánicas como la corriente de arranque en función de la velocidad, la corriente de arranque en función del tiempo y el torque y la potencia generada en el motor asíncrono. La ejecución de este sistema facilita el análisis del estado dinámico o transitorio del motor en uso, dando gráficas fáciles de leer cuando el motor varía sus parámetros de operación.

Pena, A. (2018) hizo un análisis dinámico, estructural y diseño por simulación informática de una máquina cepilladora en Bilbao, España. La metodología de investigación que empleó se divide en cuatro fases. En la primera fase se realizó un primer diseño de la cepilladora mediante el software Solid Edge. En la segunda fase la máquina pasó por un análisis en el programa Ansys Workbench. Luego de dicho análisis y con los resultados obtenidos se rediseñó la máquina, tercera fase. Y como cuarta y última fase se revisó la mejora del nuevo diseño a través de los mismos análisis por software que se usaron en las primeras fases. En los análisis dinámicos y estructurales llevados a cabo dieron como resultado final que la cepilladora tendrá una fuerza de corte de 100 N y de retorno de 10 N, además, el nuevo diseño de la máquina logra que se evite las exposiciones a contactos críticos por los esfuerzos internos. Se mejoró también las partes más expuestas a deformación, como la biela y la rueda, ambos contaron con una eficacia de mejoras en sus diseños. Los análisis dinámicos y estructurales ayudaron a tener un diseño final óptimo, resistente y eficiente, previniendo que cualquier máquina que pasé por ese análisis fallé por su propio funcionamiento.

Salcedo, E. (2018) realizó el rediseño de un molde formador del núcleo absorbente circular que mejoró la producción de toallas sanitarias en Latacunga, Ecuador. Para este proyecto se empleó softwares CAD/CAM/CAE. Primero se rediseñaron los cascos formadores de toallas por medio de un software CAD en donde se corrigieron la forma, núcleo, volumen, material y demás componentes que poseen los actuales moldes, luego se llevó a cabo un análisis en software CAE, en donde se verificó las propiedades físicas y mecánicas del nuevo material (duraluminio) que formó la estructura de los nuevos moldes, por último, se comprobó la factibilidad del rediseño a través de una manufactura virtual usando un software CAM. Con el rediseño del molde formador del núcleo absorbente circular se redujo el volumen de materia prima en un 37%, además, se aumentó la producción en un 27% a causa del nuevo diseño más eficiente. Con este estudio se comprobó la gran eficacia que tienen los softwares de ingeniería como SolidWorks y MATLAB en este tipo de trabajos, ya que brindaron errores no mayores al 1% en comparación con cálculos experimentales.

Morquecho, F. (2018) efectuó un análisis estructural del Cigüeñal de un Motor MWM Sprint 2.8 L en Autodesk Inventor en la Universidad Internacional del Ecuador. Empleando un método de elementos finitos mediante un modelado paramétrico se llevaron a cabo simulaciones en donde se aplicaron las presiones en distintos puntos específicos. Revisando la literatura específica relacionada al tema, se obtuvieron datos para calcular los esfuerzos de torsión y flexión a los que está normalmente sometido el cigüeñal. Revisando el manual de taller del motor MWM al que pertenece el cigüeñal, se sacaron las dimensiones, se diseñó el sólido, se generó el ensamble y se procedieron con las simulaciones. La máxima deformación hallada en el cigüeñal es de  $1.8901 \times 10^{-4}$  mm, ubicada en los centros de los muñones. El empleo de un software CAD paramétrico como el Autodesk Inventor es muy valioso ya que permite tener datos casi exactos de los puntos en donde se generan deformaciones provocados por los esfuerzos aplicados, evitando así algunas fallas que pueda tener la pieza cuando trabaje en el ambiente real.

Morán, P. (2017) llevo a cabo un estudio dinámico del contacto rueda-carril en la circulación ferroviaria y análisis de defectos del carril en Madrid, España. Empleando un método científico basado en la obtención de conocimientos teóricos, formulación de hipótesis en la compatibilidad de la rueda-carril, elaboración de simulaciones por computadora, confirmación o cambio de las hipótesis de la compatibilidad de la rueda-carril y la obtención de resultados. Se generó el estudio dinámico para el tipo de carril UIC60 y el perfil de rueda S-1002 con el programa Universal Mechanism y los principios establecidos en la norma UNE-EN-13715 (para ruedas) y la norma UNE-EN-13674 (para carriles). El carril y rueda usados en este estudio corrobora la compatibilidad para condiciones que expone la norma (límite de velocidad y desgaste de la vía). Se determinó la importancia de elegir una pareja de perfiles compatibles para evitar desgastes inadecuados que puedan ocasionar fallas, aquí reside la importancia de hacer ensayos como este análisis dinámico.



Aquino, S. & Pozo, E. (2017) realizaron un modelo dinámico de un robot paralelo para rehabilitación de rodilla en Quito, Ecuador. Generaron estudios cinemáticos que permitieron realizar modelos dinámicos por medio de los métodos de Gibbs Apell, potencias virtuales y trabajos virtuales. La formulación de estos tres métodos arrojó resultados parecidos en las gráficas donde se genera la simulación del comportamiento de las fuerzas. La fuerza máxima hallada que desarrolla este robot paralelo es de 1100 N, esta fuerza permite la realización del control dinámico, evitando así la producción de movimientos bruscos que puedan dañar los músculos del paciente. Así mismo con los métodos planteados se establecieron 4 grados de libertad que permitan realizar los movimientos de rehabilitación de la rodilla, 2 de rotación y 2 de traslación. Este modelo dinámico sirve para el dimensionamiento geométrico de los elementos que forman el robot, estableciendo un modelo geométrico adecuado para una rehabilitación de rodilla.

Guzmán, W. & Rojas, H. (2016) rediseñaron una máquina tipo expeller para la extracción de aceite de la semilla de sacha inchi con capacidad de 20 kg/h en Quito. Teniendo como referencia una máquina tipo molino que extrae aceite de chonta con capacidad de 8 kg, generaron un nuevo diseño de este modelo de máquina variando parámetros como la potencia del Motorreductor, rpm, presión, parámetros de extracción de aceite y temperatura. Empleando una metodología de investigación experimental y científica mediante manipulación de variables, mediciones, formulaciones y análisis de ingeniería aumentaron el caudal másico extruido, las rpm, la temperatura de extracción y además, elevaron la producción de la máquina modelo hasta un capacidad de 73.5 kg/h, cumpliendo con el requerido solicitado. La elección del material utilizado para la fabricación de la máquina expeller, fue el acero inoxidable AISI 304, este material cumplía con las características demandadas según los cálculos realizados. Con el rediseño de la máquina extractora de aceite se demostró que la variación de los parámetros correctos en el diseño puede brindar hasta una producción mayor a 500 kg/día.

Abreu, Y., Estrada, R. & Calzadilla, H. (2015) hicieron un análisis dinámico del sistema de dirección del nuevo modelo de cosechadora de caña cubana CCA-5000 en Holguín, Cuba. Empleando una cosechadora de caña anterior, el modelo KTP-23, se realizó un estudio por medio del Método de Elementos Finitos y un estudio basado en cálculos físicos de un análisis dinámico. Con estos análisis se halló la rotura del sistema de bisagra al momento de aparecer esfuerzos de 212 MPa, debido a que dicha tensión es mayor al límite elástico utilizado para su fabricación (Acero CK-22 de 210 MPa). Teniendo esta problemática se llevó a cabo el análisis del nuevo diseño de este elemento y además se compararon resultados de frecuencias de ambos modelos, con la intención de verificar la aparición de grandes amplitudes por el fenómeno de la resonancia. Los estudios brindaron un coeficiente de seguridad de 2,11 y para solucionar la rotura del sistema de bisagra, se reemplazaron las bisagras formadas por barras redondas que se emplean actualmente, por unas de sección rectangular de 80x60x6 mm de acero ST-44.3. Se pudo verificar a través del criterio de Von Mises, que el sistema de bisagras rectangulares usadas en el nuevo modelo de cosechadora de caña afronta esfuerzos máximos de hasta 111,2 MPa, garantizando así la resistencia a cargas dinámicas sin ninguna dificultad.

Rojas, E. (2018) efectuó un estudio sobre la determinación de los parámetros dinámicos para el diseño de una máquina estimuladora de marcha para personas con algún tipo de discapacidad parapléjica en Trujillo, Perú. Usando el software SolidWorks y su complemento, SolidWorks Motion se realizó un análisis cinemático de las partes móviles de la máquina. Se diseñó, creó y ensambló un prototipo de la máquina por medio de SolidWorks tomando una velocidad de 12.56 rad/s en un tiempo de 30 segundos (dato referencial de una investigación previa), con la finalidad de analizar una marcha más apegada a la realidad. Se empleó un motor rotatorio donde se le ingresó una velocidad en cada segundo, llevando la velocidad de 12.56 rad/s en un lapso de 10 segundos después de haber iniciado la marcha. El estudio ejecutado demostró que, si es posible el diseño de un prototipo real de la máquina estimuladora de marcha humana, ya que posee un movimiento continuo y estable a una velocidad considerada de 12 rad/s. Adicionalmente se comprobó que el SolidWorks es un programa de ingeniería que desarrolla de gran manera cualquier tipo de diseño y simulación de piezas, que ahorra tiempo y comprueba hipótesis.

Yupa, R. (2016) ejecuto un análisis estructural y modal de la hélice de un aerogenerador de 3 kW de potencia mediante simulación numérica computacional es Lima, Perú. Sometiendo la hélice a condiciones extremas de operación (14 m/s velocidad del viento y giro de la hélice a 400 rpm), se realizó un estudio del comportamiento estructural y modal de dicha pieza. Luego de modelarse la hélice en un software CAD, se empleó el software ANSYS CFX para llevar a cabo un análisis aerodinámico para calcular las cargas del viento sobre la hélice. Después, empleando el software ANSYS MECHANICAL, se estudió el comportamiento estructural para obtener los esfuerzos, factor de seguridad y desplazamientos. Ambas simulaciones fueron verificadas a través de cálculos de torques, presiones, flujos de aire, campo de velocidad, etc. Los resultados encontrados demostraron que la hélice a estas condiciones de operación trabaja de forma segura con un factor de seguridad de 1.86. Además, se comprobó que la hélice no entra en resonancia, ya que las velocidades críticas son mayores de 450 rpm, siendo el régimen de trabajo máximo de la hélice de 400 rpm, a esta última velocidad el aerogenerador pudo generar hasta 6.86 kW.

### **1.3. Teorías relacionadas al tema**

#### **1.3.1. Empresa Industrial Pucalá S.A.C.**

Industrial Pucalá S.A.C, es una empresa azucarera situada en la parte norte de la costa peruana en el distrito de Pucalá, al este de la provincia de Chiclayo, a 30.1 km de esta ciudad y a 800.1 km de Lima, Perú. Sus coordenadas geográficas son: 6° 35' a 6° 48' latitud sur; y de 79° 21' a 79° 41' latitud oeste. Políticamente pertenece a la provincia de Chiclayo, departamento de Lambayeque (ver *Fig. No 1*).



**Figura No 1. Instalaciones de la empresa azucarera Industrial Pucalá S.A.C.**  
**Fuente: “Manual de operación de fábrica del ingenio Industrial Pucalá S.A.C.”, 2005**

### **1.3.2. Proceso de elaboración de azúcar**

El proceso de la elaboración de azúcar cruda en la empresa Industrial Pucalá S.A.C. empieza en las Labores de campo y cosecha, aquí se cultiva la caña de azúcar para luego ser cortada de manera manual o mecánica empleando parámetros de calidad. Luego de ser cortada y quemada, la caña se transporta a la fábrica en camiones y tractores, ahí empieza el segundo proceso. El Pesado de caña emplea una balanza semiautomática de una capacidad de 60 toneladas tipo FAIRBAKS MORSE. El tercer proceso es la Recepción de la caña. La caña después de ser pesada se descarga en dos mesas receptoras, es ahí mismo donde empieza el proceso cuatro que abarca el Lavado de la caña. Este lavado se genera a través de toberas en la Mesa N° 2 y mediante caídas de agua en cascada en la Mesa N° 1. La preparación de la caña es el proceso número cinco, en esta etapa la caña lavada ingresa a través de tres baterías de machetes en donde es cortada en partes pequeñas y separadas, luego pasa al proceso seis que abarca la Molienda y extracción del jugo. La Purificación del jugo y Evaporación, son el séptimo y octavo proceso respectivamente. Este último tiene como objetivo eliminar el mayor porcentaje de agua presente en el jugo de la caña. El jarabe que sale del octavo proceso, Evaporación, entra a una etapa de cocimiento. El cocimiento es el componente esencial para la preparación de mezclas formadas por cristales de azúcar y mieles. La cristalización es el noveno proceso. El décimo

proceso es la Centrifugación que consiste en la separación de cristales de azúcar, y el onceavo y último proceso es el Almacenamiento, y con esto, la comercialización.

### 1.3.3. Área de Trapiche del proceso de Molienda y Extracción del jugo

El proceso de Molienda y extracción del jugo cuenta con un Trapiche (ver *Fig. No 2*) como ya se ha mencionado, de los 6 molinos que constituyen este sistema, el molino N° 2 es una máquina no operativa. Los molinos N° 1, 4 y 6 son ejemplares iguales, molinos de 4 mazas o de rodillo de acero fundido. Mientras que el molino N° 3 y 5 son molinos de 3 masas extractivas o molinos con rodillo alimentador. Este Trapiche marca SQUIER constituido por molinos son movidos por turbinas de vapor conectadas mediante reguladores con las mazas, y emplea conductores DONELLY o transportadores intermedios formados por tablas de madera o barras de metal sujetadas mediante cadenas (ver *Fig. No 3*). Las materias producidas en el proceso seis o Molienda son el bagazo y jugo mezclado. El jugo mezclado sigue el proceso de elaboración industrial de azúcar, mientras que el bagazo es conducido hacia calderas para su uso como combustible para la generación de vapor.



**Figura No 2. Área de Trapiche**

**Fuente:** “Manuel de operación de fábrica del ingenio Industrial Pucalá S.A.C.”, 2005



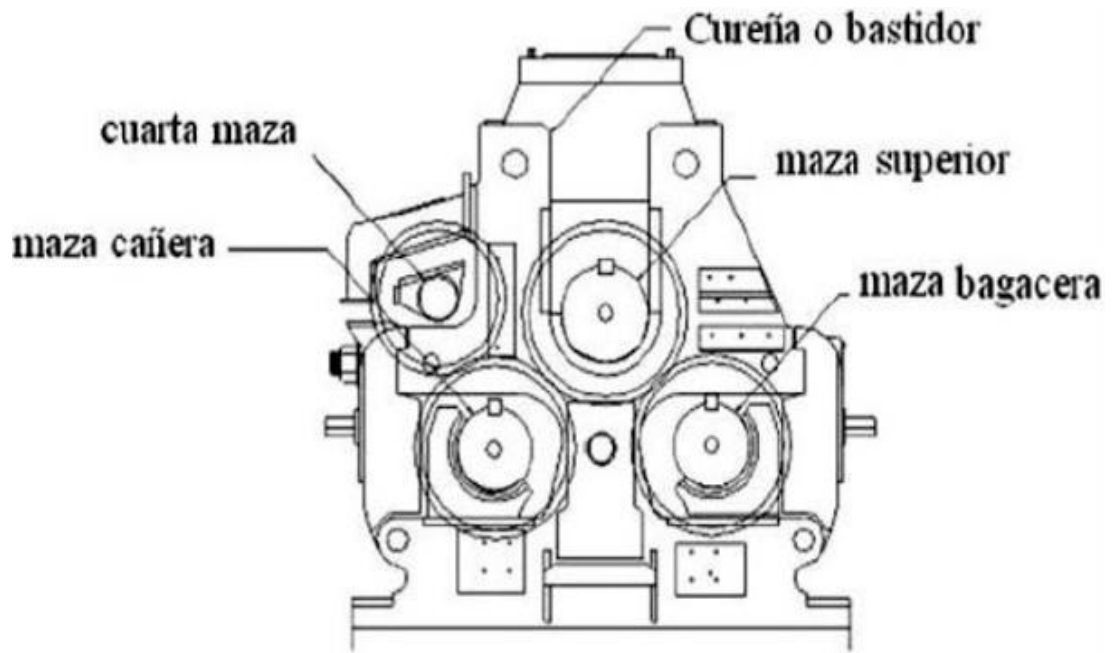
**Figura No 3. Sistema de transmisión de potencia**

**Fuente: “Manuel de operación de fábrica del ingenio Industrial Pucalá S.A.C.”, 2005**

#### **1.3.4. Molino de 4 mazas**

El molino de 4 mazas está formado por cuatro cilindros denominados mazas. La primera maza es la superior, la segunda maza es la cañera, seguido por la bagacera y por último, la maza auxiliar. Estas mazas se encuentran posicionadas de tal forma que permitan extraer el máximo jugo posible de la caña que ingresa al tándem.

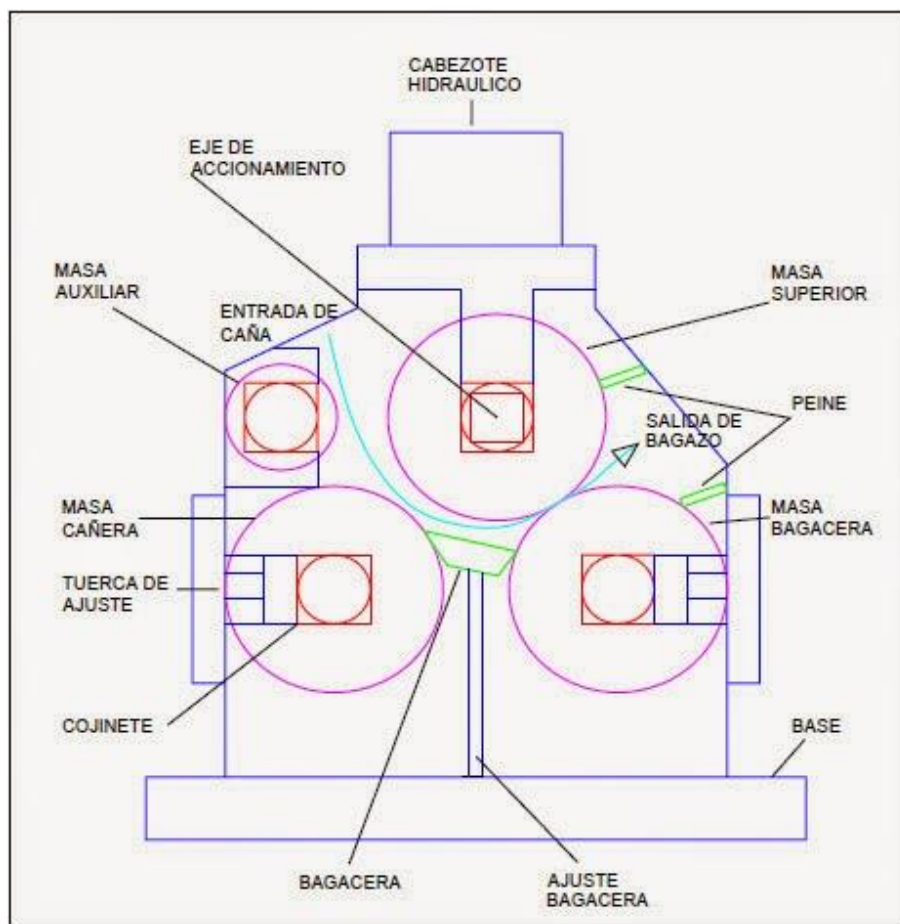
El tamaño de las mazas está relacionado estrechamente con la capacidad del molino. El jugo de caña se extrae por la compresión del colchón de caña al transitar a través de las masas de cada molino. La fuerza para comprimir el colchón se ejerce a la maza superior por medio de cilindros hidráulicos. El movimiento impulsor se aplica sobre la maza superior y esta trasmite el movimiento al resto de las mazas mediante engranajes.



**Figura No 4. Molino de 4 masas**  
**Fuente: Mejía Correa, 2013**

### **1.3.5. Principio de funcionamiento de un molino de 4 masas**

El bagazo baja entre la maza superior y cuarta maza o maza alimentadora, pasando por las tres aberturas que existen entre las masas, donde se lleva a cabo la extracción del jugo. La maza superior es la maza motriz que transmite el torque a las restantes mediante las coronas. Cuando el colchón de bagazo aumenta su espesor, la maza superior se traslada hacia arriba, inclinándose en un determinado ángulo con respecto a la posición horizontal de su eje geométrico y los engranajes amplían su distancia entre centros. La presión hidráulica que actúa en los cilindros de la maza superior equilibra la reacción del bagazo al ser comprimido, la cual se fija para la compresión de bagazo deseada.



**Figura No 5. Partes de un molino de 4 masas**  
**Fuente: Pastor Torín, 2014**

### 1.3.6. Diseño de un molino de 4 masas

Las ecuaciones que se mostraran a continuación sobre el diseño del sistema de molienda de 4 masas de un molino azucarero se extrajeron del texto “Manual para Ingenieros Azucareros” de E. Hugot.

#### 1.3.6.1. Fuerza de compresión para el molino

Como puede observarse en la **Figura No 5**, la caña de azúcar ingresa por la maza superior y genera un par quebrador con la maza cañera, luego, genera un par exprimidor, pero esta vez con la maza bagacera. La fuerza requerida para la compresión en el bagazo se define por la siguiente ecuación:



$$F = \frac{250 L \sqrt{(K)(D)}}{(10^6)(C^6)}$$

Donde:

$F$  = Fuerza de compresión sobre el bagazo (kg)

$L$  = Largo de las mazas (cm)

$D$  = Diámetro de las mazas (cm)

$K$  = Abertura media entre las masas que comprimen el colchón de caña (cm)

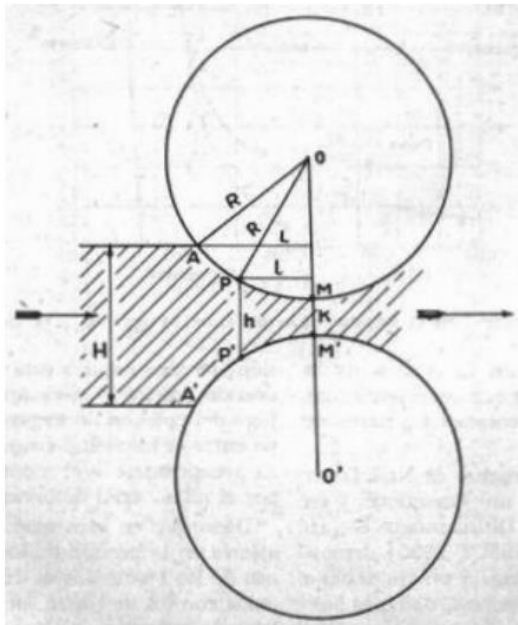
$C$  = Relación de compresión del bagazo en el plano axial de los cilindros (sin unidad)

La relación de compresión del bagazo se halla de la siguiente manera:

$$C = \frac{K}{H}$$

Donde:

$H$  = Espesor del colchón de bagazo que entra al molino (cm)



**Figura No 6. Representación gráfica de la caña de azúcar al entrar por las masas**  
**Fuente: Febles Véliz, 2016**

### 1.3.6.2. Relación de fuerza entre las mazas del molino

Existen reacciones de fuerzas sobre una maza y otra al momento de generar la acción de compresión de la caña de azúcar. Todas las fuerzas están en Newton (N).

- A. Reacción del bagazo comprimido entre la maza superior y la maza bagacera, actuando sobre la maza superior ( $F_S$ )

$$F_S = 0.95 F$$

- B. Reacción del bagazo comprimido entre la maza superior y la maza cañera, actuando sobre la masa superior ( $F_E$ )

$$F_E = \frac{F_S}{20}$$

La siguiente expresión matemática es la representación de la fuerza a la salida, 20 veces mayor que en la entrada del molino.

- C. Reacción del bagazo sobre la maza superior, productor de la influencia de la cuchilla central ( $R_B$ )

$$R_B = 0.2 F$$

Esta fuerza de reacción se calcula que es un 20% de la fuerza total aplicada en la masa superior.

### 1.3.6.3. Potencia para el funcionamiento del molino

La potencia requerida para la función del molino se halla de la siguiente manera:

$$P_T = \frac{(n)(D)}{\varepsilon} \left[ F_C \left( (0.5) \sqrt{\frac{\tau}{(d)(P)}} + 0.05 \right) + 4 L \right]$$

Donde:

$P_T$  = Potencia total consumida por el molino (HP)

$n$  = Velocidad de rotación de las masas (rpm)

$D$  = Diámetro de las masas (m)

$d$  = Densidad del bagazo comprimido ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$\varepsilon$  = Rendimiento de los engranajes

$F_C$  = Fuerza total ejercida sobre el cilindro (toneladas)

$\tau$  = Carga fibrosa específica del molino ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$P$  = Fibra del bagazo saliendo del molino, con relación a la caña de azúcar original que entra en las masas.

$L$  = Largo de las masas (m)

La fuerza total ejercida sobre el cilindro se halla de la siguiente forma:

$$F_C = 2 F$$

La carga fibrosa específica del molino se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$\tau = \frac{q}{D}$$

Donde:

$q$  = Carga fibrosa del molino medida en  $\text{kg}/\text{m}^2$  y se puede hallar con la ecuación:

$$q = (K)(d)(P)$$

Y:

$d$  = Densidad del bagazo comprimido en el plano axial de las masas ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

#### 1.3.6.4. Potencia consumida por la compresión del bagazo

Es la potencia demandada para la caña de azúcar cuando sufre la compresión producto del par quebrados y par exprimidor. La ecuación para la pérdida de potencia viene dada de la siguiente forma:

$$P_{CB} = 0.5 F_C n D \sqrt{\frac{\tau}{(d)(P)}}$$

Donde:

$P_{CB}$  = Potencia consumida por la compresión en el bagazo (HP)

#### **1.3.6.5. Potencia consumida por la fricción entre los muñones y los cojinetes**

Es la potencia que consume los cojinetes al girar los ejes en un molino, viene dada por la siguiente expresión algebraica:

$$P_{CA} = 0.02 F_c n D$$

Donde:

$P_{CA}$  = Potencia consumida en los cojinetes o apoyos de los ejes (HP)

#### **1.3.6.6. Potencia consumida por la fricción entre el bagazo y la cuchilla**

Se expresa de la siguiente manera:

$$P_{CC} = 0.03 F_c n D$$

Donde:

$P_{CC}$  = Potencia consumida por la fricción entre el bagazo y las cuchillas (HP)

#### **1.3.6.7. Potencia consumida por la fricción de los raspadores y la punta de las cuchillas con las masas**

Esta pérdida de halla de la siguiente manera:

$$P_{CR} = 2.1 M n D$$

Donde:

$P_{CR}$  = Potencia consumida por la fricción de los raspadores y de la punta de la cuchilla (HP)

### 1.3.6.8. Potencia consumida por los engranajes

El movimiento de los engranajes consume una potencia, dicho consumo está directamente integrado a la potencia que consume el molino.

$$P_{CE} = P_T - \sum P_{CT}$$

Donde:

$P_{CE}$  = Potencia consumida por el movimiento de los engranajes (HP)

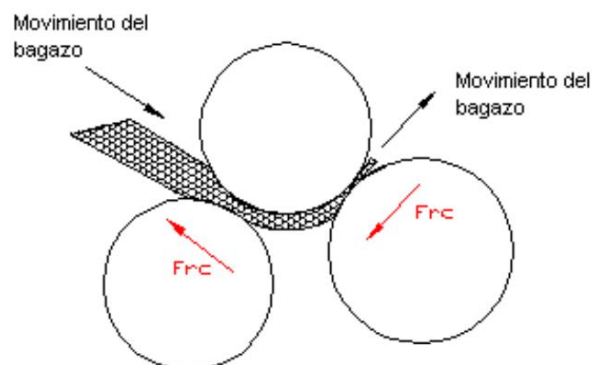
$P_{CT}$  = Total de las potencias consumidas en cada elemento

$$\sum P_{CT} = P_{CR} + P_{CC} + P_{CA} + P_{CB}$$

### 1.3.6.9. Cálculos de las fuerzas en las masas y engranajes

#### A. Fuerza reactiva

Es la fuerza que actúa sobre la masa al momento de ocurrir la acción de compresión en su punto máximo del bagazo, cuando este producto pasa por el plano axial. La fuerza reactiva siempre actúa en dirección opuesta a la dirección del movimiento del bagazo (ver *Figura No 7*).



**Figura No 7. Esquema de fuerzas reactivas de compresión sobre las masas de un molino**  
Fuente: Flórez, Idárraga & Arias, 2011

La fuerza reactiva en la compresión se halla con la siguiente ecuación:

$$F_{TRC} = \frac{T_{RC}}{r_m}$$

Donde:

$F_{TRC}$  = Fuerza total reactiva en la compresión (N)

$T_{RC}$  = Torque reactivo en la compresión (N.m)

$r_m$  = Radio de la masa (m)

El torque reactivo en el proceso de compresión se halla de la siguiente manera:

$$T_{RC} = \frac{P_{CB}}{\omega}$$

Donde:

$\omega$  = Velocidad de rotación de las masas (rad/s)

Como el colchón de caña de azúcar o bagazo tiene dos contactos al entrar y salir de las masas respectivamente, la mitad de la fuerza total reactiva, será la fuerza reactiva en la compresión para el par quebrador. Entonces:

$$F_{RC} = \frac{F_{TRC}}{2}$$

Donde:

$F_{RC}$  = Fuerza reactiva en la compresión para el par quebrador (N)

B. Fuerza tangencial sobre los engranajes del molino

$$F_{TTRE} = \frac{T_{RE}}{r_e}$$

Donde:

$F_{TTRE}$  = Fuerza total tangencial reactiva en los engranajes (N)

$T_{RE}$  = Torque reactivo en los engranajes (N.m)

$r_e$  = Radio primitivo del engranaje (m)

El torque reactivo en los engranajes se halla de la siguiente manera:

$$T_{RE} = \frac{P_{CE}}{\omega_E}$$

Donde:

$\omega$  = Velocidad de rotación de los engranajes (rad/s)

Debido a que se cuenta con dos contactos para la transmisión en el molino, para los pares quebrados se toma la mitad de la fuerza total tangencial reactiva en los engranajes. Entonces:

$$F_{TRE} = \frac{F_{TTRE}}{2}$$

Donde:

$F_{TRE}$  = Fuerza tangencial reactiva en el engranaje (N)

### C. Fuerza radial sobre los engranajes del molino

$$F_{RTE} = (F_{TTRE})(\text{tag } 20^\circ)$$

Donde:

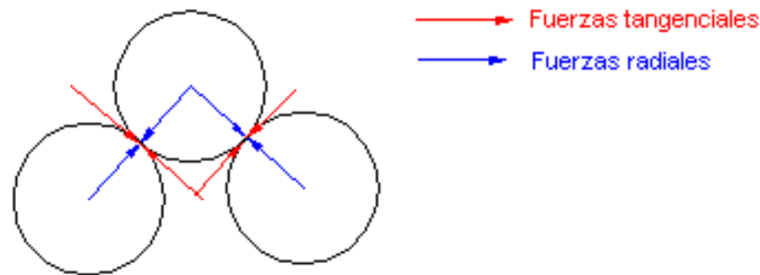
$F_{RTE}$  = Fuerza radial total en los engranajes (N)

De manera similar a los casos anteriores, el valor seleccionado para el par quebrador es la mitad de la fuerza total en los engranajes. Entonces:

$$F_{RE} = \frac{F_{RTE}}{2}$$

Donde:

$F_{RE}$  = Fuerza radial en el engranaje (N)



**Figura No 8. Esquema de fuerzas radiales y tangenciales sobre los engranajes**  
**Fuente: Flórez, Idárraga & Arias, 2011**

### 1.3.6.10. Factor de seguridad

El factor de seguridad de diseño del molino de 4 masas toma en cuenta ciertas características acerca del diseño. Matemáticamente se halla de la siguiente manera:

$$n_s = n_{xx} \cdot n_{yy}$$

Donde:

$n_s$  = Factor de seguridad

$n_{xx}$  = Factor de seguridad de las características A, B y C

$n_{yy}$  = Factor de seguridad que toma las características D y E

El factor de seguridad de las características A, B y C representa lo siguiente:

- A: Calidad de los materiales, destreza, inspección y mantenimiento.
- B: Control sobre la carga que se aplicará.
- C: Cálculos exactos del análisis del esfuerzo, información experimental o experiencia con equipos similares.

El factor de seguridad de las características D y E representa lo siguiente:

- D: Riesgos para el personal.
- E: Inversión económica sobre el diseño.



A, B y C se califican en muy bien (mb), bien (b), regular (r) y pobre (p) mientras que D y E en muy serio (ms), serio (s) y no serio (ns). En el **Anexo N° 1** se encuentran los valores para los factores de seguridad explicados.

### 1.3.7. Definición de términos

**Maza:** esta terminología es otorgada por los diferentes ingenios azucareros a sus mazas pertenecientes a los diferentes modelos de molinos, ya que es una pieza pesada de material muy duro como lo es el hierro fundido, las cuales soportan grandes cargas por la dureza de su material y son muy conocidas en este rubro azucarero, por ser piezas metálicas se les denominó con el término de “MAZA”, en el anexo 7 podremos observar la terminación que se le da a las mazas en los distintos planos que desarrolla la empresa INDUSTRIAL PUCALA SAC.

**Caña:** Caña de tallo leñoso que está lleno de un tejido dulce y esponjoso del que se obtiene el azúcar.

**Trapiche:** Molino para extraer el jugo de algunos agrícolas como la caña de azúcar.

**Tándem:** Unión de dos o más materiales que llevan a cabo una misma actividad en conjunto, o que combinan sus esfuerzos para ejecutar algo.

**Molino:** Equipo mecánico que tiene la función de triturar, moler, laminar o estrujar materiales sólidos, normalmente está formada por dos piezas, una móvil que gira sobre otra pieza fija.

**Masa (masa de colchón de caña):** Mezcla consistente, maleable y homogénea que se consigue deshaciendo sustancias sólidas, pulverizadas o machacadas a sustancias líquidas.

**Colchón:** Cantidad total de masa de caña de azúcar o bagazo que entra con un cierto espesor o altura al área de molinos donde será quebrado, comprimido o exprimido.

**Potencia:** Capacidad para realizar una función o una acción determinada.

**Fuerza:** Capacidad o magnitud física para realizar un trabajo o un movimiento.

### 1.3.8. Software para diseño y simulación

#### SOLIDWORKS

SolidWorks (ver *Fig. No 9*) es un programa destacado en el área de la ingeniería debido a que su diseño 3D puede analizar ensambles de diversas piezas, crear dibujos para fabricación y llevar un historial de las versiones del dibujo realizado. Posee soluciones para industrias de lámina delgada, de plástico, eléctrica y análisis por elementos finitos que al diseñar se puede determinar el impacto ambiental del diseño, simular virtualmente la operación del proyecto en condiciones reales y optimizar su desempeño (3D CAD Portal, 2017).



*Figura No 9. Logo oficial de SolidWorks*  
Fuente: <http://www.solidworks.es/>

#### **Análisis de Elementos Finitos por SolidWorks**

El método de elementos finitos (MEF o FEM en inglés) es un método numérico empleado para la aproximación de soluciones de ecuaciones diferenciales parciales con el objetivo de obtener resultados los más cercanos a la realidad, sin la necesidad de materializar la pieza y someterlo a condiciones reales de operación.

SolidWorks cuenta con un complemento llamado SolidWorks Simulation. Este programa permite conocer el rendimiento de la máquina, producto, pieza o equipo en las primeras fases del proceso de diseño, detecta y corrige problemas antes de llegar a la fabricación, además, reduce el riesgo de que se produzcan problemas tras su puesta en operación. La eficiente visualización de resultados permite estudiar las fuerzas que afectan al diseño, mostrando tensiones, deformaciones o desplazamientos, velocidad del fluido, presiones, temperaturas, etc.

## **MATLAB**

MATLAB (ver *Fig. No 10*) es un lenguaje de alta eficiencia diseñado para hacer cálculos técnicos. MATLAB integra el cálculo, la visualización y la programación en un ambiente sin complejidades, donde los problemas y las soluciones se detallan en una notación numérica. Este software permite resolver diferentes problemas computacionales, especialmente aquellos que involucran matrices y vectores (Esqueda, 2002).

Por ejemplo, en ingeniería eléctrica, MATLAB sirve como un procesador de señales debido a que puede simular algoritmos de detección de colisiones inminentes. Otro claro ejemplo es la rama de la dinámica de fluidos, ya que MATLAB realiza cálculos que describen velocidades de fluidos en diferentes direcciones y campos (Moore, 2017).



**Figura No 10. Logo oficial de MATLAB**  
Fuente: <https://www.mathworks.com/>

## **Análisis de Elementos Finitos por Matlab**

MATLAB es un software de cálculo numérico orientado a matrices con un lenguaje de programación de origen propio (lenguaje M). Su capacidad para manipular matrices y resolver ecuaciones matriciales hace del mismo un instrumento ideal para la implementación y desarrollo de un código de elementos finitos. MATLAB posee un inteligible código capaz de resolver sencillos y complejos problemas estructurales tomando las características más relevantes del Método de Elementos Finitos. MATLAB hace de los dos tipos de elementos finitos más comunes, los campos de desplazamientos y tensiones, un estudio capaz de brindar datos casi exactos como si la pieza estuviera en condiciones reales (Martínez-Pañeda, 2016).

#### **1.4. Formulación del Problema**

¿Cuáles serán las nuevas configuraciones geométricas de la maza superior del mecanismo de molienda de 4 masas del Molino 1 perteneciente al área de Trapiche de la empresa Industrial Pucalá S.A.C.?

#### **1.5. Justificación e importancia del estudio**

##### **1.5.1. Justificación técnica**

La presente investigación mostrara una mejora en el sistema técnico y rendimiento de la máquina principal del área de Trapiche (Molienda y extracción del jugo) de la empresa, disminuyendo en gran forma el índice de fallas cuando la máquina esté en operación.

##### **1.5.2. Justificación Económica**

El rediseño del Molino 1 de 4 masas evitará que la máquina falle a consecuencia de su mecanismo original, al tener un tiempo prolongado en operación generará más ingresos a la empresa, no tendrá paradas no programadas que afecten la producción de azúcar y con esto, pérdidas de dinero.

Por medio de las diferentes formas de recopilación de datos usadas para llevar a cabo mi investigación obtuve datos mediante entrevistas realizadas a las diferentes áreas obteniendo el siguiente dato, el ingenio azucarero INDUSTRIAL PUCALÁ S.A.C. genera diariamente 70 sacos de azúcar en la actualidad, la problemática de las paradas intempestivas genera que la producción de azúcar se detenga en la mayoría de veces semanas, por lo cual realice el siguiente cuadro comparativo en una estimación de las pérdidas económicas que podrían darse mensualmente por situaciones de paradas intempestivas, como sabemos el valor en la actualidad de saco de azúcar de 50 kilogramos bordea los 109.7 soles según el MINAG.

**Tabla N°1**

<b>Producción de Sacos de azúcar</b>		<b>Precio de saco por unidad (soles)</b>	<b>Monto económico de pérdida(soles)</b>
DIARIA	70	109.7	7,630
SEMANAL (L/S)	490		53,753
MENSUAL	1,960		215,012

Como podemos observar nuestro cuadro, podemos darnos cuenta de las grandes sumas de dinero que se pueden perder por un mal rendimiento o funcionamiento óptimo de los molinos del área de Trapiche, por consiguiente, mi investigación tiene como objetivo generar un rendimiento continuo de los molinos y así evitar que se generen estas paradas por semanas y días a la empresa perjudicándola económicamente.

### **1.5.3. Justificación Social**

El Molino 1 de 4 masas al tener más tiempo operando generará también un clima agradable en los trabajadores de la empresa, debido a que dichos colaboradores tienen como único sustento el ingreso económico que recibe por parte de la empresa azucarera. Al haber mayor producción, hay mejores ingresos, pagos puntuales y familias más conformes.

### **1.5.4. Justificación Ambiental**

La operación continua de una de las máquinas principales de la empresa industrial evitara que la masa de caña de azúcar se pierda por no uso. Cuando la masa de caña de azúcar pasa muchas horas fuera del proceso, es una masa que se pierde, dicha masa cuando no puede ser usada para la producción de vapor por calderos es arrojada a los alrededores de la empresa, contaminando el ambiente.

## **1.6. Hipótesis**

No aplicable para este tipo de investigación.

## **1.7. Objetivos**

### **1.7.1. Objetivo General**

Rediseñar la maza superior de un molino de 4 mazas perteneciente al área de Trapiche de la empresa Industrial Pucalá S.A.C. con la finalidad de mejorar el funcionamiento, rendimiento e índice de fallas.

### **1.7.2. Objetivos Específicos**

- Identificar los sistemas y partes críticas del mecanismo de molienda de 4 masas del molino N° 1 del Área de Trapiche.
- Realizar los cálculos correspondientes al rediseño del mecanismo de molienda de 4 masas del Molino N° 1 empleando software de computación numérica.

- Rediseñar el mecanismo de molienda de 4 masas del molino N° 1 con las medidas modificadas en software CAD.
- Preparar una simulación empleando software CAD-CAE del rediseño del mecanismo de 4 masas del Molino N° 1.

# **Capítulo II**

## **MATERIAL Y MÉTODO**



## II. MATERIAL Y MÉTODO

### 2.1. Tipo y Diseño de Investigación

Tipo: Aplicada

Diseño: Investigación cuasi-experimental

Método: Cuantitativa

### 2.2. Población y muestra

La población para esta investigación está dada por los dos modelos de molinos con los que cuenta el área de Trapiche de la empresa Industrial Pucalá S.A.C., el molino de 4 mazas o de rodillo de acero fundido y el molino de 3 masas extractivas o molino con rodillo alimentador, por lo tanto, la muestra sería el Molino de 4 masas. Esta elección se debe a la importancia que tiene este molino, debido a que es en esta máquina en donde se empieza con el proceso de Molienda y Extracción del jugo, es decir, sin esta máquina no habría producción.

### 2.3. Variables, Operacionalización

En el presente proyecto de investigación se muestran dos tipos de variables, las variables independientes y las variables que requieren de un primer dato para desarrollarse, las variables dependientes.

#### **Variables independientes**

Análisis de mecanismo

- Longitudes (m)
- Masas (kg)
- Revoluciones (rpm)

#### **Variables dependientes**

Rediseño del mecanismo de molienda del molino de 4 masas

- Nivel de balance
- Factor de seguridad, FS
- Esfuerzos máximos (MPa)

### **2.3.1. Caja negra para variables**

La caja negra o black box es un método de investigación que no se preocupa por la estructura interna, sino que se centra exclusivamente en el diseño de las entradas y salidas del sistema (Caisa & Semblantes, 2010). Para este presente trabajo de investigación las variables de entrada serán las variables independientes, mientras que las variables dependientes serán las variables de salida

En la *Figura No 11* se muestra el gráfico de la caja negra con nuestras variables planteadas para este trabajo de investigación.

### **2.3.2. Operacionalización de variables**

Y en la **Tabla No 1** se muestran la Operacionalización de las variables que intervienen en el rediseño de molienda de 4 masas del Molino 1 del área de Trapiche.



Figura No 11. Caja negra del Mecanismo de molienda de 4 masas  
Fuente: Propia, 2019

**Tabla No 2**

*Operacionalización de variables*

VARIABLES		DEFINICIÓN	DIMENSIONES E INDICADORES	TÉCNICAS E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS
<b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b>				
Análisis de mecanismo	Longitudes	Son las dimensiones que tienen cada sistema o componente de la máquina.	Metro (m)	“Manual de operación de fábrica del ingenio Industrial Pucalá S.A.C.”, 2005
	Masas	Es el peso de cada componente en donde interviene el tipo de material usado para su fabricación y sus dimensiones.	Kilogramo (kg)	
	Revoluciones	Es la velocidad de giro que los sistemas de rotación de la máquina.	Revoluciones por minutos (rpm)	“Manual para Ingenieros Azucareros” - E. Hugot.
<b>VARIABLE DEPENDIENTE</b>				
Rediseño del mecanismo de molienda de un molino de 4 masas	Nivel de balance	Es el índice que demuestra la posición de la máquina cuando está en operación.		Resistencia de materiales” - Timoshenko.
	Factor de seguridad	Es el cociente entre el valor calculado de la capacidad máxima de un sistema y el valor del requerimiento esperado real a que se verá sometido	Adimensional, FS	
	Esfuerzos Máximos	Son las cargas máximas que pueden soportar sobre su área cada componente de la máquina.	Esfuerzo (Pa)	Cálculo experimental computacional.

## **2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad**

### **2.4.1. Abordaje metodológico**

#### **2.4.1.1. Analítico**

El mecanismo de estudio pasa a separarse por partes iguales con la intención de obtener diferentes problemáticas que se presenten en el proyecto de investigación, para esto es necesario saber acerca de las propiedades y riesgos que implica hacer este tipo de análisis.

En nuestro caso analizaremos el mecanismo de un molino de 4 masas o rodillos de acero fundido para mejorar su funcionamiento, rendimiento y disminución de fallas cuando haga su trabajo.

#### **2.4.1.2. Deductivo**

Se examinará y estudiará los diferentes proyectos de investigación, artículos científicos, revistas científicas, tesis de pregrado y postgrado, etc., que detalle sobre un análisis dinámico de mecanismos parecidos al de un molino de 4 masas.

Se realizará una revisión a detalle sobre la normativa encontrada para este tipo de mecanismos. La situación problemática y los antecedentes elegidos para este proyecto de investigación serán comparados con las elecciones y planteamientos de otros tipos de tesis similares a este.

#### **2.4.1.3. Inductivo**

Con este método de estudio se espera obtener las distintas cargas, presiones, esfuerzos, fuerzas, vibraciones y frecuencias que afectan el mecanismo del molino de 4 masas, con la finalidad de encontrar el método que prevenga las fallas ocasionadas por este tipo de factores de trabajo mecánico.

## **2.4.2. Técnica de recolección de datos, validez y confiabilidad**

Para cumplir los objetivos que se presentan en este proyecto de investigación se emplearán técnicas de recolección de datos que ayudarán a obtener información clara, necesaria y valiosa. Dichas técnicas se mencionan a continuación:

### **2.4.2.1. Observación**

Es una técnica destacable que nos dará la opción de hacer comparaciones, registros, tener conocimientos y describir datos para el proyecto de investigación. Esta técnica consiste en emplear los sentidos necesarios para observar y entender las situaciones, personas haciendo labores de trabajo diarios y con esto, la realidad social.

Con el acceso que se tiene a las instalaciones de la empresa Industrial Pucalá S.A.C. se determinará la problemática actual y necesidad de esta azucarera. Se generará una guía de observaciones continua de todo lo que abarca el proceso de azúcar cruda con la intención de obtener evidencias que muestren las averías o mal funcionamiento del mecanismo del molino de 4 masas.

### **2.4.2.2. Entrevistas**

Esta técnica nos facilitará la obtención de datos experimentales para el proyecto de investigación. Las entrevistas están basadas en preguntas hacia las personas a cargo del área de Molienda o sistema de Trapiche o a los técnicos operarios, debido a que son los que conocen el funcionamiento de cada máquina.

Las preguntas que se harán al personal técnico o encargados del sistema de Trapiche de la empresa azucarera Industrial Pucalá S.A.C. serán fáciles de responder. Dicha entrevista será de vital importancia ya que nos permitirá obtener información y opiniones acerca de la problemática planteada.

### **2.4.2.3. Información Bibliográfica**

Para la obtención de datos se consultarán con diversas fuentes bibliográficas, las cuales tienen origen en libros, tesis de pregrado y postgrado, internet, etc. Esto se hará con el objetivo de ejecutar una evaluación correcta de un análisis dinámico del mecanismo de un molino de 4 masas perteneciente al sistema de Trapiche de la empresa Industrial Pucalá S.A.C.

### **2.4.2.4. Análisis de documentos**

Se empleará esta técnica de recolección de datos para originar un estudio coherente de la documentación hallada en normas, publicaciones, libros, revistas, etc., que nos brinden información correcta y entendimiento acerca de un análisis dinámico de un mecanismo de un molino extractor de jugo.

## **2.4.3. Instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad**

### **2.4.3.1. Guía de observación**

Las guías de observación se emplearán para llevar un orden sobre los datos, documentos e información de interés que se necesitará de la empresa Industrial Pucalá S.A.C., tales como: Carretera que guía hacia la empresa, áreas y sistemas de la empresa, cantidad de trabajadores, labores diarias, producción, etc.

### **2.4.3.2. Cuestionarios**

Se producirán cuestionarios para entrevistar a expertos en temas relacionados al análisis dinámico de mecanismos o estructuras mecánicas.

### **2.4.3.3. Entrevistas**

Se realizarán entrevistas al personal técnico o encargados del área de Molienda o del sistema de Trapiche de la empresa azucarera Industrial Pucalá S.A.C. para identificar la necesidad actual. El modelo de la entrevista puede visualizar en el *Anexo 2*.

### **2.4.4. Procedimientos para la recolección de datos, validez y confiabilidad**

Los procedimientos que se llevarán a cabo para la recolección de datos, validez y confiabilidad se clasificaron por etapas.

#### **Etapa 1: Elaboración de las entrevistas**

Se desarrollará un listado de preguntas para los supervisores del área de Molienda y extracción del jugo y a los técnicos operarios del sistema de Trapiche de la empresa Industrial Pucalá S.A.C. resaltando la data que se necesita para el análisis dinámico del mecanismo del molino de 4 masas.

#### **Etapa 2: Determinación del cronograma de las entrevistas**

Para la realización de las entrevistas a los trabajadores y supervisores del área de Molienda y sistema de Trapiche de la empresa Industrial Pucalá S.A.C., se organizarán las fechas de acuerdo a la disponibilidad de cada miembro de trabajo en un plazo máximo de una semana.

#### **Etapa 3: Identificación del funcionamiento del mecanismo del molino**

Se revisará atentamente el funcionamiento de la máquina para poder tener el conocimiento experimental sobre el estado del mecanismo cuando opera.

#### **Etapa 4: Ejecución de las entrevistas**

Se llevará a cabo las entrevistas con las cuales se espera obtener opiniones acerca del funcionamiento del mecanismo del molino de 4 masas, la existencia de alguna falla o como se puede tener un diseño más eficaz.



### **Etapa 5: Identificación de la necesidad de la empresa**

Se identificará la necesidad del sistema de Trapiche del área de Molienda y extracción del jugo para poder tener un dato importante para el futuro mejoramiento del mecanismo del molino de rodillo de acero fundido.

### **Etapa 6: Evaluación social**

Con el acceso que se tiene a las instalaciones de la empresa Industrial Pucalá S.A.C. se podrá observar la problemática del sistema de Trapiche con respecto al funcionamiento de sus 3 molinos de 4 masas. Así mismo, se espera proponer soluciones a esta necesidad con relación a un futuro diseño más eficaz de la máquina que reduzca las fallas de esta y evite un parón en la producción. Parón de producción que no sólo afecta a la empresa sino también a los trabajadores y familias de estos.

### **Etapa 7: Evaluación del funcionamiento del mecanismo del molino de 4 masas**

Se ejecutará las entrevistas correspondientes a los encargados del área y sistemas donde pertenece este modelo de molinos para tener un dato seguro del funcionamiento en tasas de tiempo y producción de esta máquina. Además, usando los métodos de análisis dinámico por cálculo teórico y software se revisará y simulará el funcionamiento del molino.

### **Etapa 8: Evaluación de un diseño más eficaz del molino de 4 masas**

Se realizará una entrevista a los responsables acerca del tipo de diseño eficaz que se espera obtener del molino de rodillo de acero fundido para la producción de la azúcar cruda. También se identificará el diseño más eficaz para el mecanismo del molino de 4 masas, después del análisis previo sobre su funcionamiento.

En la *Fig. No 12* se muestra un diagrama del desarrollo por etapas de los procedimientos realizados para la recolección de datos, validez y confiabilidad.

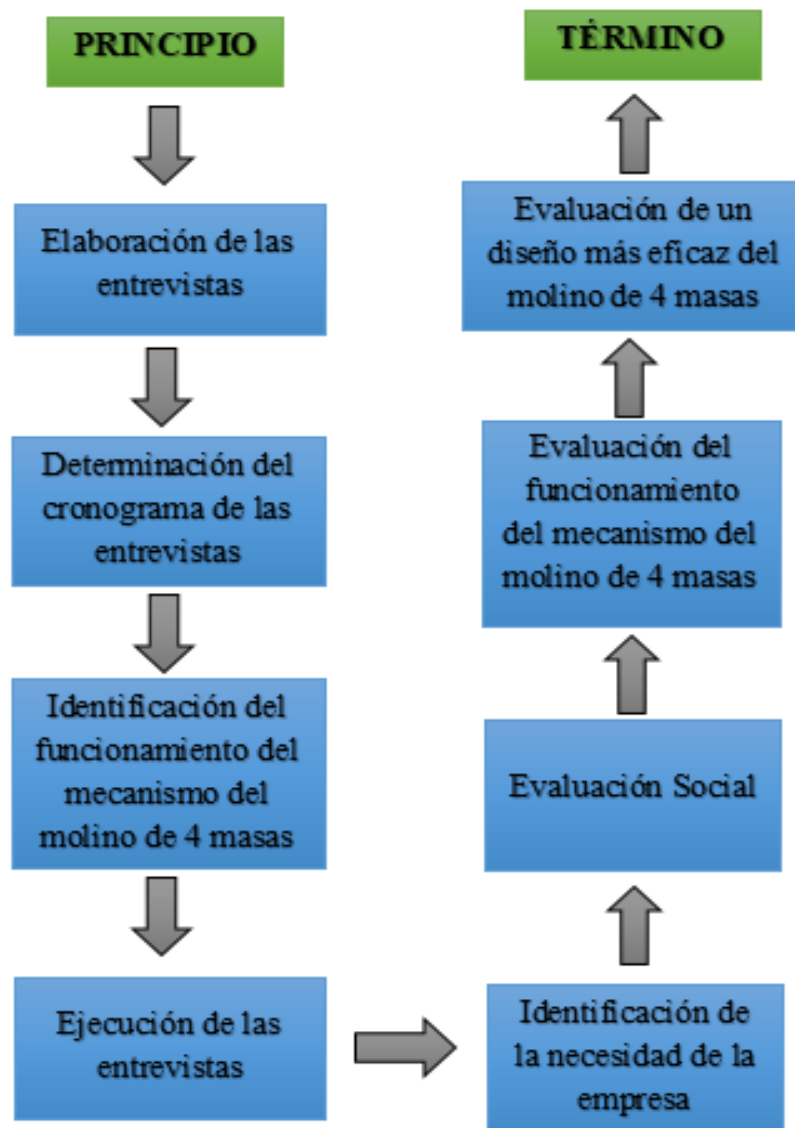


Figura No 12. Diagrama del desarrollo de los procedimientos clasificados por etapas  
Fuente: Propia, 2019

## 2.5. Procedimiento de análisis de datos

Como estudio de análisis de datos se elaborará un organigrama de información obtenida a través de respuestas de las entrevistas llevadas a cabo. Estos datos obtenidos se ordenarán en diagramas de doble entrada que permitan correlacionar las respuestas en cada aspecto con el nombre del entrevistado, esto con el fin de observar tendencias en la información.

## 2.6. Criterios éticos

Para el desarrollo de este proyecto de investigación se tomaron en cuenta los criterios éticos basados en el Código de Ética del Colegio de Ingenieros del Perú (CIP, 1999) y el Código de Ética de Investigación de la Universidad Señor de Sipán (USS, 2017).

### **Código de Ética de Investigación de la Universidad Señor de Sipán (USS)**

El presente código (ver **Anexo No 3**) muestra los pasos a seguir al momento de llevar a cabo investigación universitaria en la USS. A través de este documento se expresan los principios éticos y criterios requeridos para el uso de información, las políticas antiplagio, y con esto, el proceso de sanción respectivos. Debido a lo mencionado sus primeros artículos detallan lo siguiente:

“Art. 1 – finalidad: El Código de Ética de Investigación de la Universidad Señor de Sipán (USS), tiene como finalidad proteger los derechos, la vida, la salud, la intimidad, la dignidad y el bienestar de la(s) persona(s) que participan en una actividad de investigación Científica, Tecnológica e innovación, ciñéndose a los principios éticos acogidos por la normativa nacional e internacional, y los acuerdos suscritos por nuestro país en la materia.”

“Art. 2 – objetivo: El Código de Ética de Investigación de la Universidad Señor de Sipán tiene por objetivo definir los principios éticos que orientan la actividad investigativa, y su gestión, por las autoridades, investigadores, docentes, estudiantes y egresados de la USS.”

### **Código de Ética del Colegio de Ingenieros del Perú (CIP)**

El Código de Ética del CIP (ver **Anexo No 4**) detalla los criterios éticos que debe tener presente un ingeniero para una buena competencia y desenvolvimiento en el ambiente profesional en relación con el ambiente, público, colegas de carrera y la sociedad. Paso siguiente se mostrará los primeros artículos del código en mención:

“Art. 1 – los ingenieros están al servicio de la sociedad. Por consiguiente, tienen la obligación de contribuir al bienestar humano, dando importancia primordial a la seguridad y adecuada utilización de los recursos en el desempeño de sus tareas profesionales.”

“Art. 2 – los ingenieros deben promover y defender la integridad, el honor y la dignidad de su profesión, contribuyendo con su conducta a que el consenso público se forma y mantenga un cabal sentido de respeto hacia ella y sus miembros, baso en la honestidad e integridad con la que la misma se desempeña. Por consiguiente, deben ser honestos e imparciales. Sirviendo con fidelidad al público, a sus empleadores y a sus clientes; deben esforzarse por incrementar el prestigio, la calidad y la idoneidad de la ingeniería y deben apoyar a sus instituciones profesionales y académicas.”

## 2.7. Criterios de Rigor científico

Para este proyecto de investigación se tendrá como base los criterios de validez, generalización, fiabilidad y replicabilidad.

**Validez:** Se hará el análisis adecuado al momento de escoger las variables relativas y relacionadas al problema de investigación.

**Generalización:** Se planeará y ejecutará adecuadamente la información extraída de las entrevistas.

**Fiabilidad:** Cuando se obtengan las medidas se verificará que éstas correspondan a una metodología científica y meticulosa.

**Replicabilidad:** Los protocolos y procedimientos que se llevarán a cabo estarán guiados a simplificar la repetición experiencial con la finalidad de animar la contrastación de resultados en trabajos de investigación posteriores.

# **Capítulo III**

## **RESULTADOS**

### **III. RESULTADOS**

#### **3.1. Resultados en tablas y figuras**

Los resultados que se mostraran a continuación están basados en antecedentes y literatura específica con respecto al diseño de molinos de 4 masas de un Trapiche.

##### **3.1.1. Sistemas y partes críticas del mecanismo de molienda de 4 mazas**

El mecanismo de molienda de un molino perteneciente a un sistema de Trapiche lo comprenden básicamente las mazas que al rozar una con otra se genera la moledura de la caña de azúcar. Los ejes de las mazas se encargan de transmitir el movimiento giratorio que hace posible la molienda y debido a esto es necesario la presencia de lubricación para generar un óptimo roce entre las mazas.

A continuación, se mostrará un detalle de los sistemas y partes críticas del mecanismo de molienda de 4 mazas del Molino N° 1:

##### **3.1.1.1. Dimensionamiento de las mazas**

Actualmente las mazas poseen un diámetro de 0.95 metros y una longitud de 1.98 metros, estas dimensiones varían de acuerdo a la capacidad de producción. Si se requiere generar un rediseño del mecanismo de molienda con la finalidad de mejorar el proceso, es necesario considerar un cambio en las dimensiones de las mazas.

##### **3.1.1.2. Rediseño del eje de la maza central**

Los ejes están ubicados en el centro de cada maza, el eje crítico es el de la Maza 1. Dichos ejes poseen una longitud mayor debido a que están conectados con el mecanismo de soporte del molino y además, reciben la transmisión del engranaje. **Si la longitud de la maza reduce, la longitud del eje también.**



**Figura No 13. Desgaste en los discos de las mazas**  
**Fuente: Propia, 2019**

### **3.1.1.3. Lubricación en la molienda**

La lubricación es una parte deficiente en el mecanismo de Molienda de 4 mazas del Molino N°1, ya que debido a sus escasas se genera fallos en la rotación de las mazas. El eje de las mazas tiene que poseer buena lubricación en sus extremos, justamente donde hacen conexión con los cojinetes y muñones. Debido a que la velocidad de trabajo no es elevada, se puede aplicar grasa alimenticia SKF.



**Figura No 14. Mazas del Molino N°1 del área de Trapiche**  
**Fuente: Propia, 2019**

### 3.1.2. Cálculos de rediseño empleando software de computación numérica

#### 3.1.2.1. Parámetros operacionales actuales

Utilizando los datos técnicos brindados por la empresa Industrial Pucalá S.A.C., y el libro “Manual para Ingenieros Azucareros” de E. Hugot, se encontró los valores actuales de operación y dimensiones de las partes y sistemas del mecanismo de molienda de 4 mazas del Molino N°1. Para obtener datos matemáticos exactos se empleó el software MatLab y se muestran en el **Anexo No 10**.

#### CAPACIDAD DEL MOLINO (C)

$$C = 0.55 \frac{c N L D^2 \sqrt{\#n}}{f}$$

Donde:

C = Capacidad del molino (Toneladas de Caña por Hora – TCH)

c = Coeficiente relativo a los parámetros de preparación: 1.15 (Hugot, 1963)

N = Velocidad de rotación: 5 rpm

L = Longitud de los cilindros: 1.98 m

D = Diámetro de la maza: 0.95 m

#n = Número de mazas del molino: 4

f = Fibra de caña con relación a la unidad: 0.125 (ver **Anexo No 5**)

Entonces:

$$C = 90.42 TCH$$

#### VELOCIDAD DE TRABAJO (V)

$$V = \pi x D x N$$

Donde:

V = Velocidad periférica (m/min)

D = Diámetro de la maza: 0.95 m



N = Velocidad de rotación: 5 rpm

Entonces:

$$V = 14.92 \text{ m/min}$$

### **FUERZA DE COMPRESIÓN SOBRE EL BAGAZO**

$$F = \frac{25 L \sqrt{(K)(D)}}{(10^6)(C^6)}$$

Donde:

F = Fuerza de compresión sobre el bagazo (kg)

K = Abertura media entre las masas que comprimen el colchón de caña (cm)

C = Relación de compresión del bagazo en el plano axial de los cilindros (sin unidad)

L = Longitud de los cilindros: 198 cm

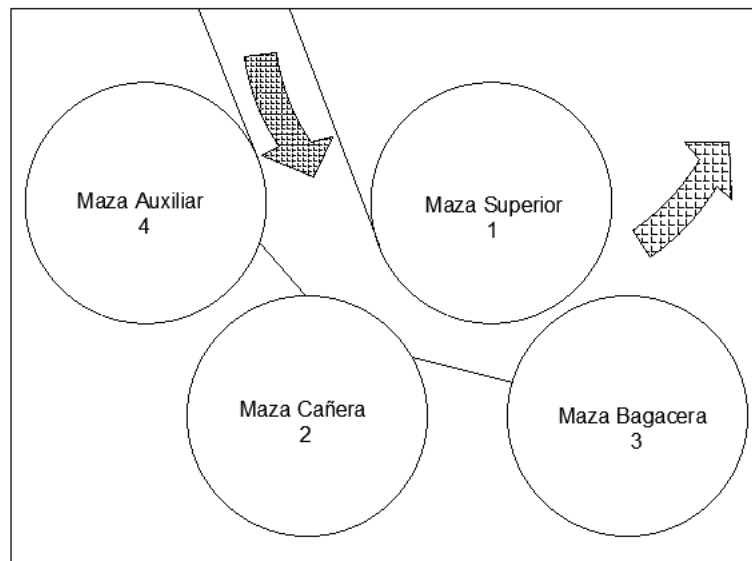
D = Diámetro de la maza: 95 cm

La relación de compresión del bagazo se halla de la siguiente manera:

$$C = \frac{K}{H}$$

Donde H (cm) es la altura o espesor del bagazo que ingresa a la molienda.

A continuación, se halla la fuerza de compresión sobre el bagazo en su tránsito por las 4 mazas.



**Figura No 15. Esquema de entrada y salida del bagazo en el Molino N°1**  
**Fuente: Propia, 2019**

**Tabla No 3**

*Fuerza de compresión sobre el bagazo en su tránsito por las 4 mazas*

<b>Fuerza de compresión sobre el bagazo (kg)</b>					
<b>DATOS</b>	<b>K (cm)</b>	<b>H (cm)</b>	<b>C</b>	<b>F (kg)</b>	<b>F (Ton)</b>
Maza 1-2	1	8	0.125	12647.57	12.65
Maza 1-3	0.7	5	0.1	5361.03	5.36
Maza 1-4	8	20	0.4	33.32	0.033

### **POTENCIAS PRESENTES EN EL MOLINO**

Las potencias que suelen consumir los elementos son los siguientes:

- Potencia consumida por la compresión del bagazo.
- Potencia consumida por la fricción entre el bagazo y la cuchilla.
- Potencia consumida por el movimiento que se da a los conductores intermedios.
- Potencia consumida por la fricción entre los muñones y los cojinetes de los cilindros.
- Potencia consumida por los engranajes.

La presente investigación está centrada en el mecanismo de molienda del molino, por lo tanto, las potencias que se necesitan hallar son las siguientes:

**Potencia total del molino**

$$P_T = 0.18 F_c N D$$

Donde:

$P_T$  = Potencia total consumida por el molino (HP)

$F_c$  = Fuerza total ejercida sobre el cilindro (toneladas) = 2F

N = Velocidad de rotación: 5 rpm

D = Diámetro de la maza: 0.95 m

Entonces:

**Tabla No 4**

*Potencia del molino de 4 mazas*

<b>Potencia de funcionamiento del molino (HP)</b>			
<b>DATOS</b>	F (Ton)	Fc (Ton)	Pt (HP)
Maza 1-2	12.65	25.30	21.62
Maza 1-3	5.36	10.72	9.16
Maza 1-4	0.033	0.066	0.05
<b>TOTAL</b>			30.83

En el **Anexo No 6** se mencionan los factores de corrección para potencias entre 7.5 y 40 kW. Multiplicando la potencia total por el factor de corrección (1.15) se halla una potencia total de **35.45 HP**.

**Potencia consumida por la compresión del bagazo (P1)**

$$P_1 = 0.5 F_c N \sqrt{K D}$$

Donde:

$P_1$  = Potencia consumida por la compresión del bagazo (HP)

D = Diámetro de la maza: 0.95 m

Entonces:

**Tabla No 5**

*Potencia consumida por la compresión del bagazo*

<b>Potencia consumida por la compresión del bagazo (HP)</b>			
<b>DATOS</b>	<b>F<sub>c</sub> (Ton)</b>	<b>K (m)</b>	<b>P1 (HP)</b>
Maza 1-2	25.30	0.01	6.16
Maza 1-3	10.72	0.007	2.19
Maza 1-4	0.067	0.08	0.05
<b>TOTAL</b>			<b>8.4</b>

**Potencia consumida entre el bagazo y la cuchilla (P<sub>2</sub>)**

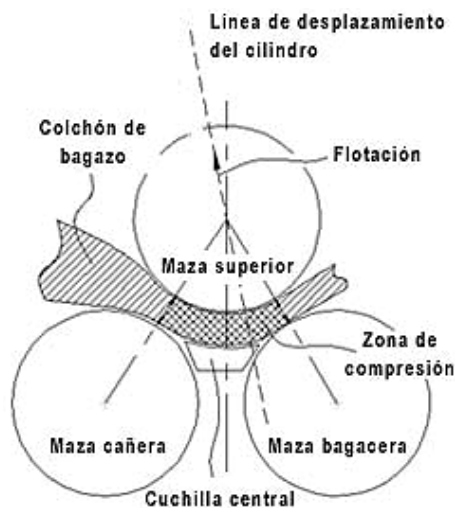
$$P_2 = 0.03 F_c N D$$

$P_2$  = Potencia consumida entre el bagazo y la cuchilla (HP)

D = Diámetro de la maza: 0.95 m

$F_c$  = Fuerza total ejercida sobre el cilindro (toneladas)

El  $F_c$  que se tomará en cuenta para hallar la potencia que consumida el bagazo en su paso por la cuchilla será un promedio de las fuerzas en la Maza 1-2 y Maza 1-3. Dicha fuerza es **18.01 ton**.



**Figura No 16. Esquema de entrada y salida del bagazo en el Molino N°1**  
 Fuente: Ulloa, et al, 2012

Entonces:

**Tabla No 6**

*Potencia consumida entre el bagazo y la cuchilla*

<b>Potencia consumida entre el bagazo y la cuchilla (HP)</b>		
<b>DATOS</b>	Fc (Ton)	P2 (HP)
Maza 1-2	18.01	2.57
Maza 1-3		

**Potencia consumida por la fricción entre los muñones y los cojinetes (P3)**

$$P_3 = 0.02 F_c N D$$

$P_3$  = Potencia consumida entre los muñones y los cojinetes (HP)

$F_c$  = Fuerza total ejercida sobre el cilindro (toneladas)

D = Diámetro de la maza: 0.95 m

N = Velocidad de rotación: 5 rpm

La  $F_c$  para este caso se tomará como la sumatoria de las 3 fuerzas presentes, ya que los muñones y cojinetes soportarán todas estas cargas.

Entonces:

**Tabla No 7**

*Potencia consumida por los muñones y cojinetes*

<b>Potencia consumida por los muñones y cojinetes (HP)</b>		
<b>DATOS</b>	Fc (Ton)	P3 (HP)
Maza 1-2	36.087	3.43
Maza 1-3		
Maza 1-4		

### Potencia consumida por los engranajes (P4)

$$P_4 = P_T - \sum P_{1,2,3}$$

Donde:

$P_T$  = Potencia total (HP)

$\sum P_{1,2,3}$  = Sumatoria de potencias (HP)

$$P_4 = 30.83 - (8.4 + 2.57 + 3.43) = 16.46 \text{ HP}$$

### FUERZAS PRESENTES QUE ACTUAN SOBRE LAS MAZAS

Cuando ocurre la compresión máxima del bagazo en un plano axial, existe una fuerza que actúa sobre la maza, esta fuerza es conocida como la fuerza reactiva (tangencial) y actúa de manera contraria al movimiento del bagazo.

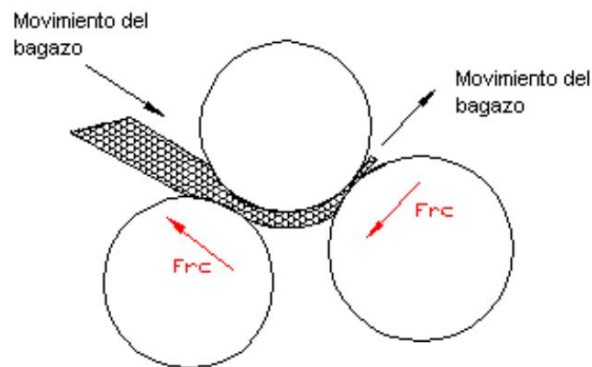


Figura No 17. Esquema de fuerzas reactivas de compresión sobre las masas de un molino  
Fuente: Flórez, Idárraga & Arias, 2011

La fuerza reactiva en la compresión se halla con la siguiente ecuación:

$$F_{TRC} = \frac{T_{RC}}{r_m}$$

Donde:

$F_{TRC}$  = Fuerza total reactiva en la compresión (N)

$T_{RC}$  = Torque reactivo en la compresión (N.m)

$r_m$  = Radio de la masa: 0.475 m

El torque reactivo en el proceso de compresión se halla de la siguiente manera:

$$T_{RC} = \frac{P_1}{\omega}$$

Donde:

$\omega$  = Velocidad de rotación de las masas: 5 rpm = 0.52 rad/s

$P_1$  = Potencia consumida por la compresión del bagazo (W)

Entonces:

**Tabla No 8**

*Torques presentes en el molino de 4 mazas*

<b>Torque reactivo (N.m)</b>			
<b>DATOS</b>	P1 (HP)	P1 (W)	Trc (N.m)
Maza 1-2	6.16	4593.51	8833.68
Maza 1-3	2.19	1633.083	3140.54
Maza 1-4	0.05	37.285	71.70

Con los datos anteriores hallaremos la fuerza reactiva total:

**Tabla No 9**

*Fuerza reactiva total en la compresión del bagazo*

<b>Fuerza reactiva en la compresión (N)</b>		
<b>DATOS</b>	Trc (N.m)	Ftrc (N)
Maza 1-2	8833.68	18597.21
Maza 1-3	3140.54	6611.67
Maza 1-4	71.70	150.95

Como el colchón de caña de azúcar posee dos contactos al entrar y salir de las masas respectivamente, la mitad de la fuerza total reactiva será la fuerza reactiva tangencial en la compresión. Entonces:

$$F_{RC} = \frac{F_{TRC}}{2}$$

Donde:

$F_{RC}$  = Fuerza reactiva tangencial en la compresión (N)

Entonces:

**Tabla No 10**

*Fuerza reactiva tangencial en la compresión del bagazo*

<b>Fuerza reactiva tangencial en la compresión (N)</b>		
<b>DATOS</b>	<b>Ftrc (N)</b>	<b>Frc (N)</b>
Maza 1-2	18597.21	9298.61
Maza 1-3	6611.67	3305.84
Maza 1-4	150.95	75.48

## **FUERZAS PRESENTES EN LOS ENGRANAJES**

Los engranajes generan una fuerza radial y tangencial. Todas las fuerzas se hallarán con respecto al eje de la Maza 1.

Fuerza reactiva:

$$F_{TRCE} = \frac{T_{RCE}}{r_{me}}$$

Donde:

$F_{TRCE}$  = Fuerza reactiva total en los engranes (N)

$T_{RCE}$  = Torque reactivo en los engranes (N.m)



$r_{me}$  = Radio del engrane: 0.460 (d = 36 1/4")

El torque reactivo en los engranes halla de la siguiente manera:

$$T_{RCE} = \frac{P_4}{\omega}$$

Donde:

$\omega$  = Velocidad de rotación: 5 rpm = 0.52 rad/s

$P_4$  = Potencia consumida por los engranes (W)

Como los engranes comparten la misma potencia y la misma velocidad, el torque queda dado de la siguiente manera:

Entonces:

**Tabla No 11**

*Torques presentes en los engranes*

<b>Torque reactivo (N.m)</b>			
<b>DATOS</b>	P4 (HP)	P4 (W)	Trce (N.m)
Engranaje 1-2			
Engranaje 1-3	16.46	12256.18	23569.49
Engranaje 1-4			

Con los datos anteriores hallaremos la fuerza reactiva total:

**Tabla No 12**

*Fuerza reactiva total tangencial en los engranes*

<b>Fuerza reactiva total tangencial en los engranes (N)</b>		
<b>DATOS</b>	Trce (N.m)	Ftrce (N)
Engrane 1-2		
Engrane 1-3	23569.49	51196.49
Engrane 1-4		

La fuerza reactiva tangencial se halla con la siguiente ecuación:

$$F_{RCE} = \frac{F_{TRCE}}{2}$$

Donde:

$F_{RCE}$  = Fuerza reactiva tangencial en los engranes (N)

Entonces:

$$F_{RCE} = \frac{51196.49}{2} = 25598 \text{ N}$$

### 3.1.2.2. Cálculos de rediseño

#### REDIMENSIONAMIENTO DE LAS MAZAS

Ahora que se conoce la capacidad del molino se empleará las mismas ecuaciones matemáticas y el software MatLab (Ver **Anexo No 10**) para hallar las nuevas dimensiones de las mazas. El autor E. Hugot en su libro “Manual para Ingenieros Azucareros” menciona que la longitud de la maza es proporcional al diámetro de la misma, ya que eso generará que haya mejor división de los esfuerzos aplicados, es así como se muestra la siguiente expresión:

$$L = 2D$$

Entonces la formula mencionada en el apartado “3.1.2.1. Parámetros operacionales actuales – CAPACIDAD DEL MOLINO” queda dada de la siguiente forma:

$$C = 0.55 \frac{c N 2 D^3 \sqrt{\#n}}{f}$$

Donde:

C = Capacidad del molino: 90.42 TCH

c = Coeficiente relativo a los parámetros de preparación: 1.15 (Hugot, 1963)

N = Velocidad de rotación: 5 rpm

L = Longitud de los cilindros (m)

D = Diámetro de la maza (m)

#n = Número de cilindros del molino: 4

f = Fibra de caña con relación a la unidad: 0.125 (ver **Anexo No 5**)

Entonces:

$$D = 0.96, \text{ y}$$

$$L = 2 \times 0.96 = 1.92 \text{ m}$$

Con las nuevas dimensiones se recalculará las fuerzas y cargas que soportarán las mazas:

**Tabla No 13**

*Fuerzas presentes en el nuevo diseño de las mazas*

DATOS	Fuerza de compresión sobre el bagazo (kg)						Potencia de funcionamiento del molino (HP)		Potencia consumida por la compresión del bagazo		Fuerza tangencial en las mazas (N)		
	K (cm)	H (cm)	C	F (kgf)	F RADIAL (N)	F (Ton)	Fc (Ton)	Pt (HP)	P2 (HP)	P2 (W)	Torque (N.m)	Ftrc (N)	Frc (N)
Maza 1-2	1	8	0.125	12328.69	120944.4489	12.32869	24.65738	21.479	6.08	4504.028	8661.592308	18044.984	9022.49199
Maza 1-3	0.7	5	0.14	5225.9	51265.6866	5.22586	10.45172	9.105	2.14	1595.798	3068.84	6393.42	3196.71
Maza 1-4	8	20	0.4	32.636	318.6288	0.03248	0.06496	0.057	0.005	37.285	71.10	149.38	74.6895

**Tabla No 14**

*Potencia entre el bagazo y la cuchilla en el nuevo diseño de las mazas*

Potencia entre el bagazo y la cuchilla (P2)		
DATOS	Fc (Ton)	P2 (HP)
Maza 1-2		
Maza 1-3	17.55455	2.5278552

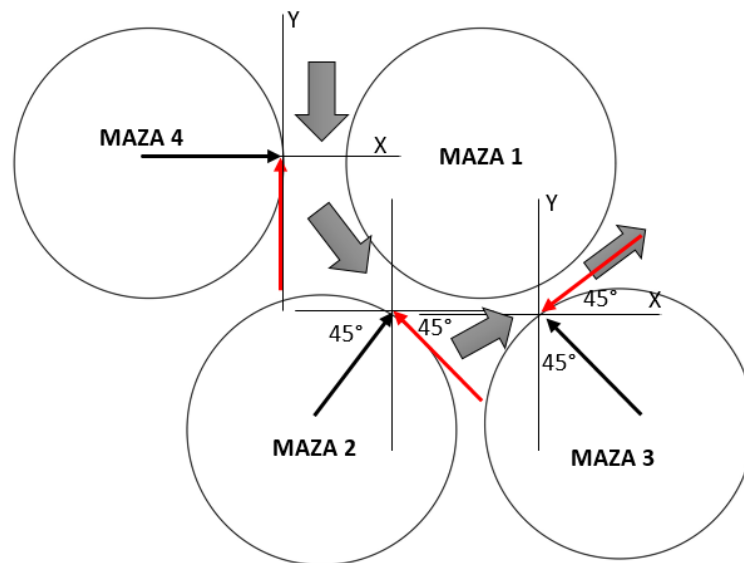
**Tabla No 15**

*Fuerzas presentes en los engranajes con el nuevo diseño de las mazas*

DATOS	Potencia entre los muñones y cojinetes P3)		Potencia engranes (P4)	Potencia engranes (P4)	Fuerza total reactiva tangencial en los engranes (N)		
	Fc (Ton)	P3 (HP)	P4 (HP)	P4 (W)	Torque (N.m)	Ftrce (N)	Frce (N)
Maza 1-2							
Maza 1-3	35.17406	3.37670976	16.245	11420.71991	23296.58	50603.4834	25301.7417
Maza 1-4							

## REDISEÑO DEL EJE CENTRAL

Ahora que tenemos las fuerzas presentes en el mecanismo de molienda, se hará un análisis de fuerzas y momentos para saber si el nuevo diseño del eje central es el adecuado.



**Figura No 18. Diagrama de fuerzas tangenciales y radiales en un molino de 4 mazas**  
Fuente: Propia, 2019

Las fuerzas radiales representadas por una flecha negra son las fuerzas de compresión que se presentan sobre el bagazo en su tránsito por las 4 mazas.

**Tabla No 16**

*Fuerza radiales y tangenciales presentes en los ejes de las mazas*

<b>Fuerza en las mazas</b>			
<b>DATOS</b>	Fuerza radial		Fuerza Tangencial
	Fr (kg-f)	Fr(N)	Frc (N)
Maza 1-2	12328.69	120944.45	9022.49
Maza 1-3	5225.9	51265.69	3196.71
Maza 1-4	32.48	318.63	74.6895

Ahora, se calcula las fuerzas resultantes aplicadas por las otras mazas y los engranajes hacia la maza 1.

Maza 1-4

$$Fr_x = 318.63 \text{ N}$$

$$Ft_y = 74.6895 \text{ N}$$

Maza 1-2

$$Fr_x = 120\,944.45 \times \cos 45^\circ = 85\,520.64 \text{ N}$$

$$Fr_y = 120\,944.45 \times \sen 45^\circ = 85\,520.64 \text{ N}$$

$$Ft_x = -9\,022.49 \times \cos 45^\circ = -6\,379.86 \text{ N}$$

$$Ft_y = 9\,022.49 \times \sen 45^\circ = 6\,379.86 \text{ N}$$

Maza 1-3

$$Fr_x = -51\,265.69 \times \cos 45^\circ = -36\,250.32 \text{ N}$$

$$Fr_y = 51\,265.69 \times \sen 45^\circ = 36\,250.32 \text{ N}$$

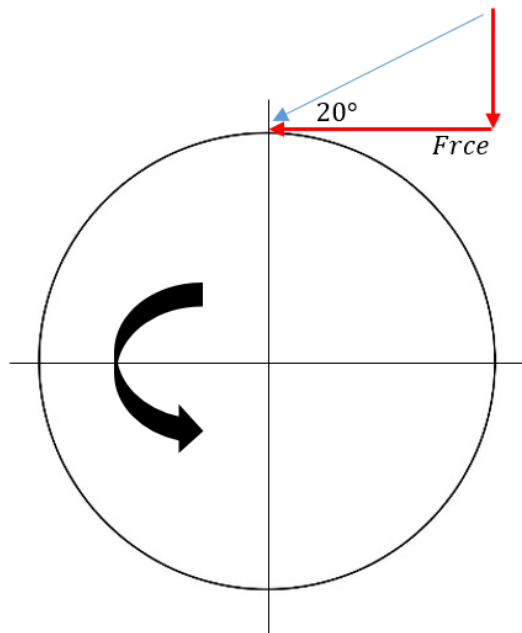
$$Ft_x = -3\,196.71 \times \cos 45^\circ = -2\,260.415 \text{ N}$$

$$Ft_y = -3\,196.71 \times \sen 45^\circ = -2\,260.415 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} \sum F_{XM} &= 318.63 + 85\,520.64 - 6\,379.86 - 36\,250.32 - 2\,260.415 \\ &= 40\,948.675 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum F_{YM} &= 74.6895 + 85\,520.64 + 6\,379.86 + 36\,250.32 - 2\,260.415 \\ &= 125\,965.09 \text{ N} \end{aligned}$$

Las fuerzas que generan los engranajes se resumen en el siguiente gráfico:



**Figura No 19. Diagrama de fuerzas tangenciales y radiales en un engranaje**  
Fuente: Propia, 2019

La fuerza reactiva tangencial ( $F_{rce}$ ) se conoce que es 25301.74 N, para hallar la fuerza radial se aplica la siguiente ecuación trigonométrica:

$$F_{RDE} = tg20^\circ \times 25\,301.74 = 9\,209.08\,N$$

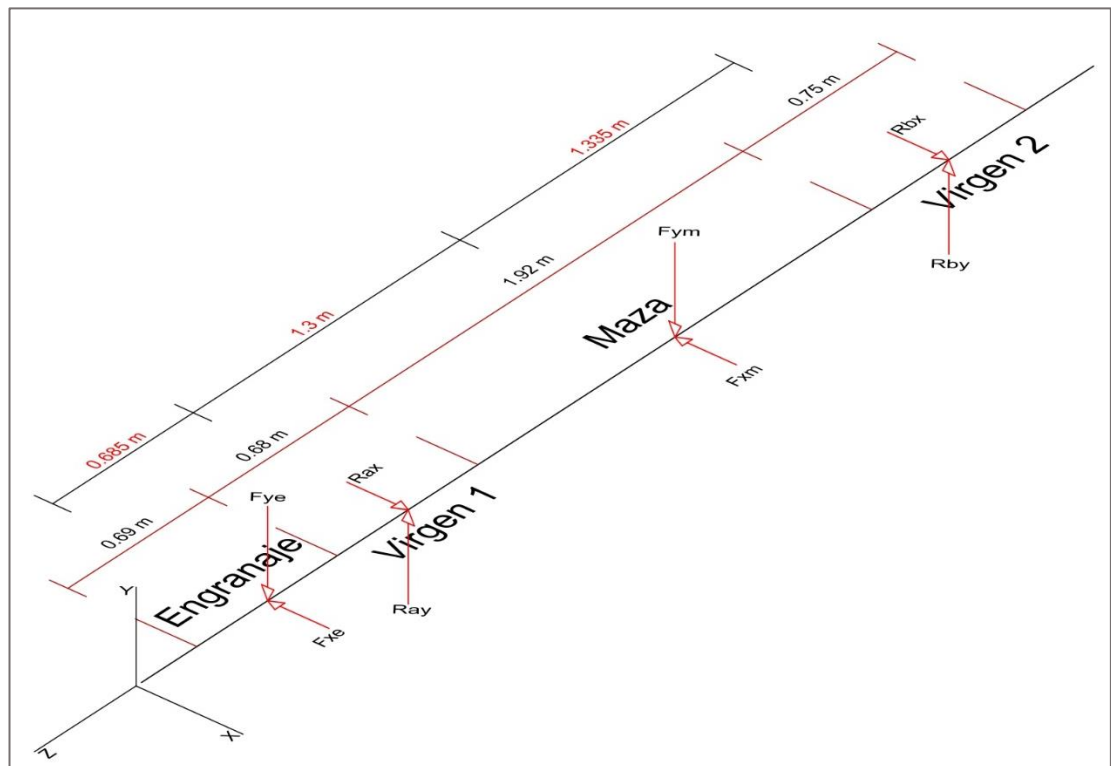
Entonces:

$$F_{XE} = 25\,301.74\,N$$

$$F_{YE} = 9\,209.08\,N$$

Las medidas de las distintas partes del eje crítico se mantendrán, ya que el aumento del diámetro de la maza solo ha sido de 1 cm (1.05%) y por el contrario la longitud de dicha maza ha reducido 6 cm (3.03%). En el **Anexo No 7** se muestra el plano del diseño original de la maza 1 y su eje crítico.

Tomando esa figura se genera un Diagrama de Cuerpo Libre para graficar y verificar las fuerzas que actúan sobre el eje y las reacciones (soportes o vírgenes).



**Figura No 20. Diagrama de Cuerpo Libre del eje crítico**  
Fuente: Propia, 2020

$$\sum F_Y = 0$$

$$-F_{YE} + R_{AY} - F_{YM} + R_{BY} = 0$$

$$-9\,209.08 + R_{AY} - 125\,965.09 + R_{BY} = 0$$

$$R_{AY} + R_{BY} = 135\,174.17 \text{ N... Ec.1}$$

$$\sum F_X = 0$$

$$-F_{XE} + R_{AX} - F_{XM} + R_{BX} = 0$$



$$-25\,301.74 + R_{AX} - 40\,948.675 + R_{BX} = 0$$

$$R_{AX} + R_{BX} = 66\,250.415 \text{ N} \dots \text{Ec.2}$$

$$\sum M_{AY} = 0$$

$$F_{YE}(0.685 \text{ m}) - F_{YM}(1.3 \text{ m}) + R_{BY}(2.635) = 0$$

$$9\,209.08 (0.685) - 125\,965.09(1.3) + R_{BY}(2.635) = 0$$

$$R_{BY} = 59\,751.95 \text{ N}$$

$$\sum M_{AX} = 0$$

$$-F_{XE}(0.685 \text{ m}) - F_{XM}(1.3 \text{ m}) + R_{BX}(2.635) = 0$$

$$-25\,301.74 (0.685) - 40\,948.675(1.3) + R_{BX}(2.635) = 0$$

$$R_{BX} = 26\,591.87 \text{ N}$$

Reemplazamos en la Ec1.

$$R_{AY} + R_{BY} = 135\,174.17 \text{ N}$$

$$R_{AY} = 135\,174.17 - 59\,751.95$$

$$R_{AY} = 75\,422.22 \text{ N}$$

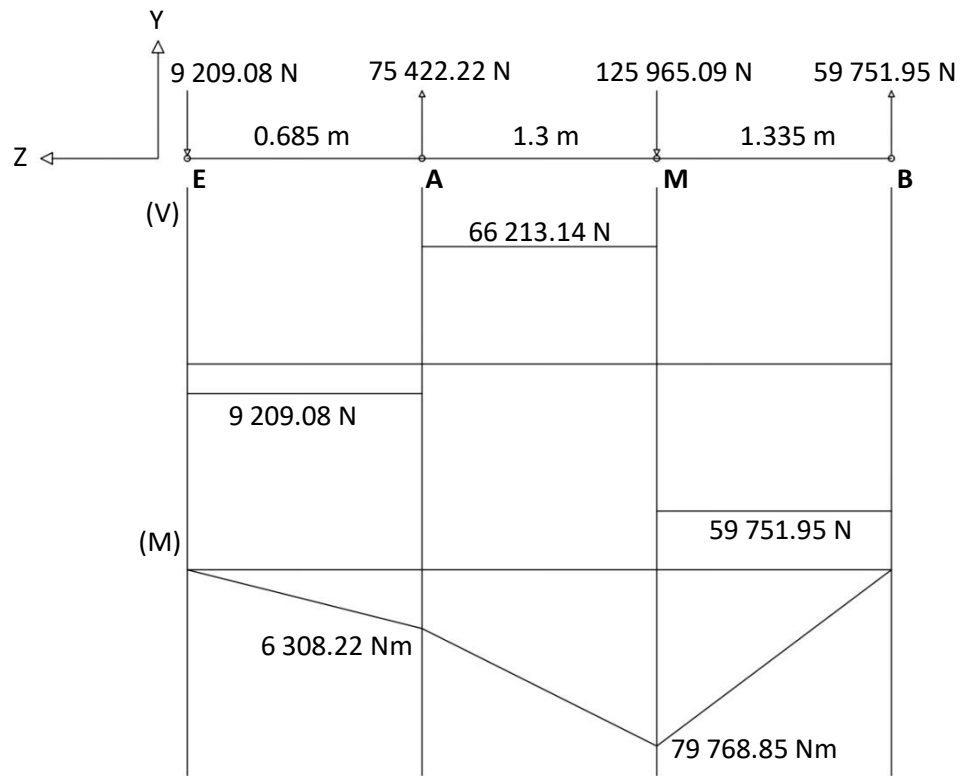
Reemplazamos en la Ec2.

$$R_{AX} + R_{BX} = 66\,250.415 \text{ N}$$

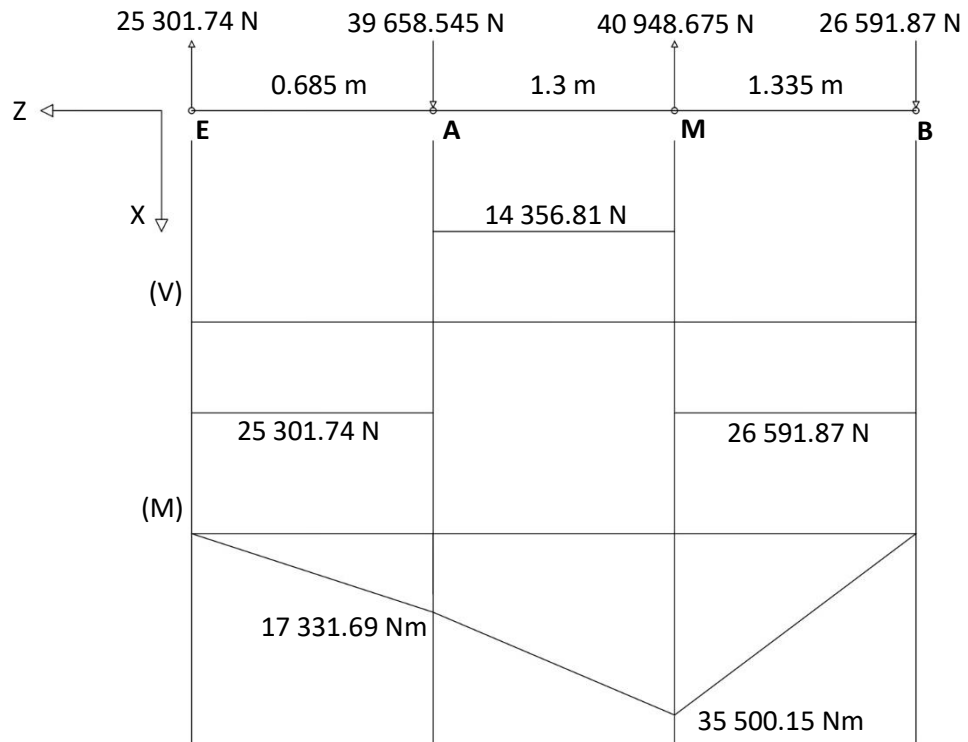
$$R_{AX} = 66\,250.415 - 26\,591.87$$

$$R_{AX} = 39\,658.545 \text{ N}$$

Ahora, para hallar los momentos máximos haremos el gráfico correspondiente de fuerzas cortantes y momentos máximos. Primero se muestra el gráfico YZ y luego el XZ.



**Figura No 21. Diagrama de fuerzas cortantes y momentos máximos eje YZ**  
**Fuente: Propia, 2020**



**Figura No 22. Diagrama de fuerzas cortantes y momentos máximos eje XZ**  
**Fuente: Propia, 2020**

Se procede a calcular los momentos resultantes máximos:

$$M_{RA} = \sqrt{(M_{AYZ})^2 + (M_{AXZ})^2} = \sqrt{(6\ 308.22)^2 + (17\ 331.69)^2} = 18\ 444\ Nm$$

$$M_{RB} = \sqrt{(M_{BYZ})^2 + (M_{BXZ})^2} = \sqrt{(79\ 768.85)^2 + (35\ 500.15)^2} \\ = 87\ 311.68\ Nm$$

Con los momentos resultantes máximos hallados, se calcula los esfuerzos flectores y torsores.

Esfuerzo flector:

$$\sigma_{flexión} = \frac{M \times r_{eje}}{I}$$

Esfuerzo torsor:

$$\tau_{torsión} = \frac{T \times r_{eje}}{J}$$

Donde:

I: Momento de inercia transversal de un eje ( $m^4$ )

$$I = \frac{\pi \times D_{eje}^4}{64}$$

J: Momento de inercia polar de un eje ( $m^4$ )

$$J = \frac{\pi \times D_{eje}^4}{32}$$

En el **Anexo No 8** se muestra una tabla sobre los momentos de inercia de algunas figuras geométricas.

Entonces reemplazos los momentos de inercia en las ecuaciones de Esfuerzo flector y Esfuerzo torsor:

$$\sigma_{MÁX} = \frac{32 \times M_{MÁX}}{\pi D_{eje}^3}$$

$$\tau_{T MÁX} = \frac{16 \times M_T}{\pi \times D_{eje}^3}$$

Para un mejor análisis hemos tomado 2 secciones, una en el punto de la reacción en A y otra, en el punto de la reacción en B. En la sección A, según el **Anexo No 7**, el diámetro mínimo del eje crítico es 16'' (0.4 m).

### Sección A

$$\sigma_{A MÁX} = \frac{32 \times 18\,444}{\pi (0.4)^3} = 2\,935\,453.77 \text{ Pa} = 3 \text{ MPa}$$

El momento torsor máximo es la suma de todos los torques provocados por los engranajes y las mazas:

$$M_T = 8\,661.59 + 3\,069.84 + 71.10 + 23\,296.58 = 35\,099.11 \text{ Nm}$$

$$\tau_{A T MÁX} = \frac{16 \times 35\,099.11}{\pi \times (0.4)^3} = 2\,793\,098.43 \text{ Pa} = 3 \text{ MPa}$$

En la sección B, según el **Anexo No 7**, el diámetro mínimo del eje crítico es 8'' (0.2 m).

### Sección B

$$\sigma_{B MÁX} = \frac{32 \times 87\,311.68}{\pi (0.2)^3} = 111\,168\,683.7 \text{ Pa} = 111.17 \text{ MPa}$$

$$\tau_{B T MÁX} = \frac{16 \times 35\,099.11}{\pi \times (0.2)^3} = 22\,344\,787.42 \text{ Pa} = 22.34 \text{ MPa}$$

Para verificar el buen diseño de los distintos diámetros mínimos del eje crítico, se halla el factor de seguridad, el cual es la relación del límite de resistencia de fluencia

del material y los esfuerzos flectores y torsores que son generados por las distintas cargas.

$$Fs = \frac{Sy}{\sigma'}$$

El nuevo material elegido para el diseño del eje es el AISI 316L, por ser un acero inoxidable con alta resistencia a la corrosión, y como es de conocimiento, las mazas estarán expuestas al jugo de la caña. El límite de resistencia de fluencia del AISI 316L es de 170 MPa (ver **Anexo No 9**).

Los esfuerzos flectores y torsores que generan las cargas se puede hallar empleando la ecuación planteada por Von Mises, la cual es:

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_x^2 + 3 \tau_{xy}^2}$$

Entonces:

#### Sección A

$$\sigma' = \sqrt{3^2 + 3(3)^2} = 6$$

$$Fs = \frac{170}{6} = 28.3$$

El factor de seguridad en la sección A es muy elevado, eso brinda la opción para reducir el diámetro en esa parte del eje, hasta un valor mínimo de **7 ½” (0.19 m) que brinda un factor de seguridad de 3.**

#### Sección B

$$\sigma' = \sqrt{111.17^2 + 3(22.34)^2} = 117.71 \text{ MPa}$$

$$Fs = \frac{170}{117.71} = 1.4$$

El factor de seguridad en la sección B es muy bajo, debido a eso el diámetro mínimo del eje crítico en esa sección deberá aumentarse. **El diámetro mínimo aceptado**

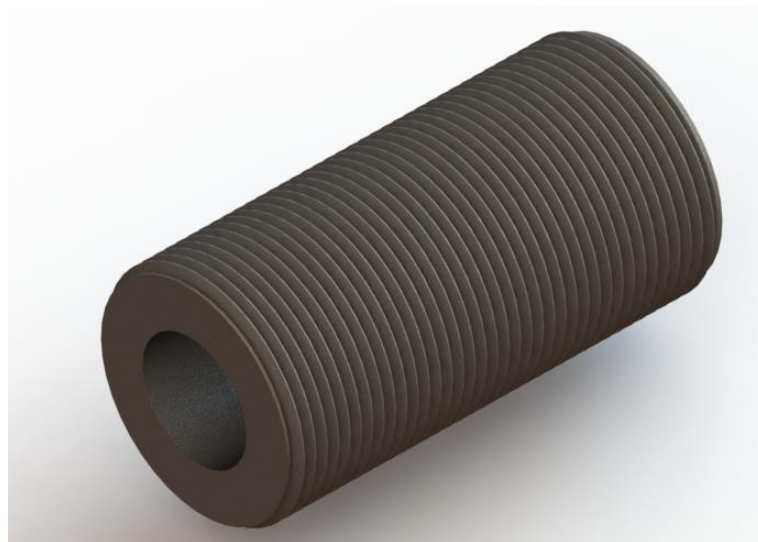
para esa parte del eje es de 9” (0.23 m), ese valor brinda un factor de seguridad de 2.2.

### 3.1.3. Rediseño del mecanismo de molienda de 4 mazas del Molino N° 1

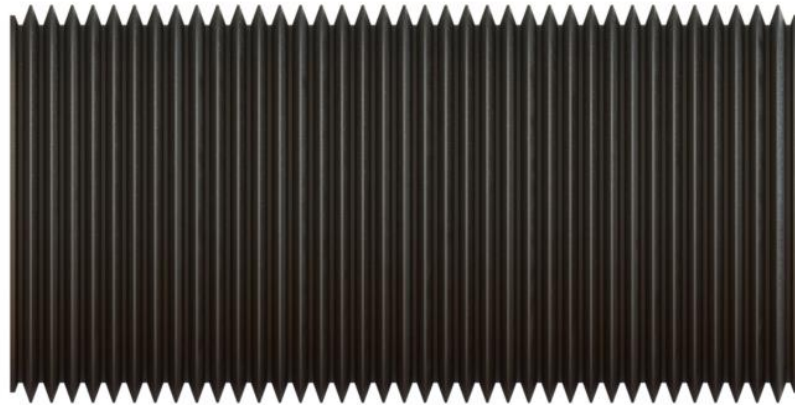
El nuevo diseño del mecanismo de 4 mazas del Molino N°1 del Área de Trapiche se genera empleando el software CAD, SolidWorks.

#### 3.1.3.1. Rediseño de la maza principal

Tomando en cuenta las nuevas dimensiones halladas y el **Anexo No 7** se diseña la maza superior del molino de 4 mazas.



**Figura No 23. Maza superior**  
**Fuente: Propia, 2020**



*Figura No 24. Vista lateral de la maza superior*  
Fuente: Propia, 2020

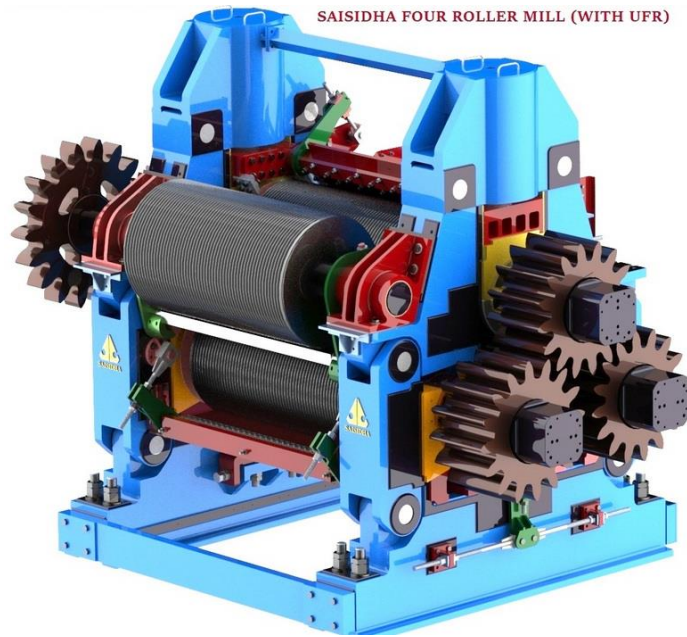
### 3.1.3.2. Rediseño del eje principal

Tomando en cuenta las nuevas dimensiones halladas y el **Anexo No 7** se diseña el nuevo eje principal el mecanismo de molienda perteneciente a la maza superior.



*Figura No 25. Eje de la maza superior*  
Fuente: Propia, 2020

Cabe mencionar que, al variar la longitud de la maza superior, varían de igual manera las longitudes de las demás mazas, ya que todas poseen el mismo largo. Los planos de los nuevos elementos se encuentran en el **Anexo No 11**.



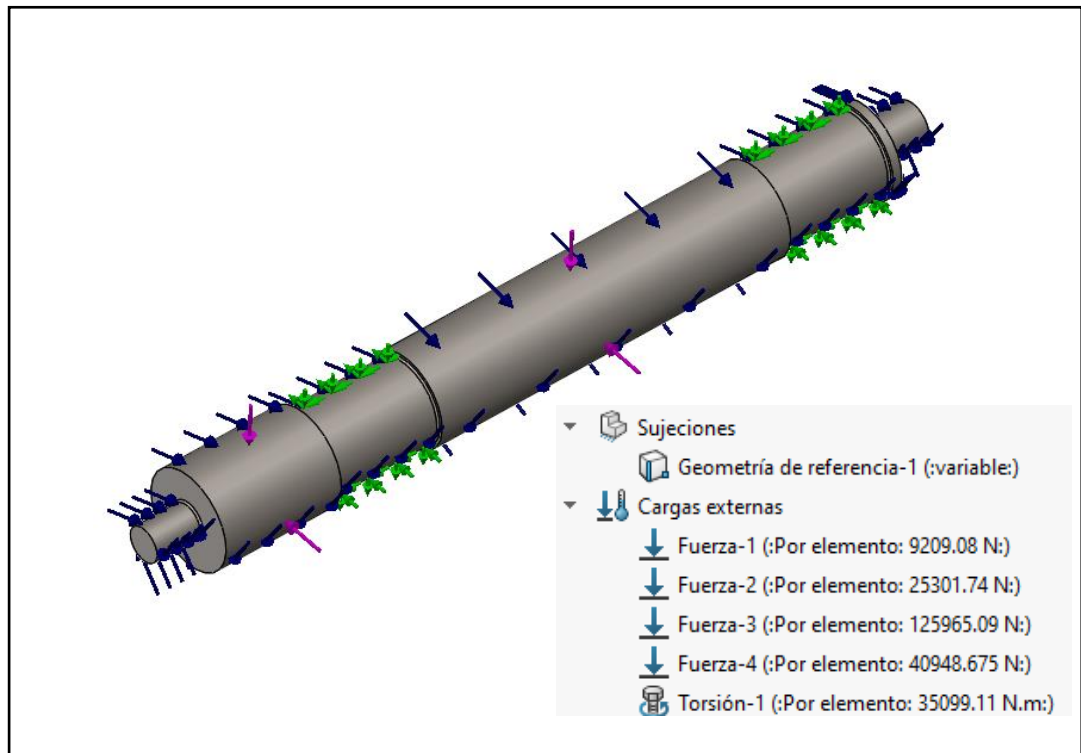
*Figura No 26. Molino de 4 mazas*  
Fuente: Adaptado de Saisidha Sugar, 2017

#### **3.1.4. Simulación del rediseño de la maza superior del mecanismo de molienda de 4 masas**

La simulación se basa en un estudio estático que se aplica al elemento crítico del mecanismo de molienda, el cual corresponde al eje de la maza superior. Tomando como referencia la *Figura No 20*, se genera el análisis.

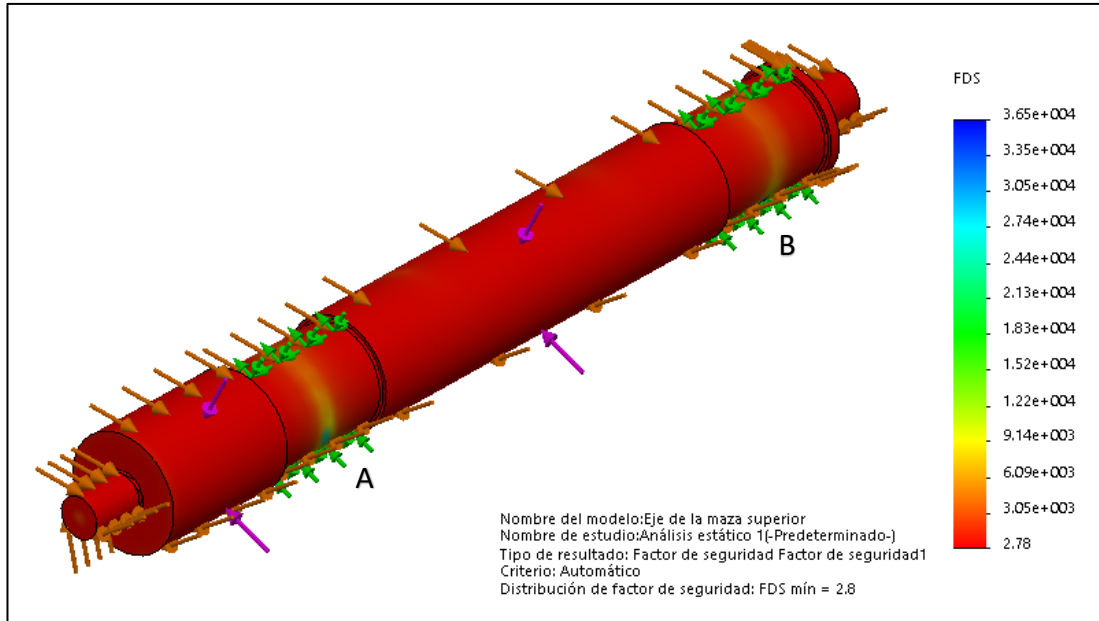
Primero se proyecta las fuerzas, el torque y los soportes. Las fuerzas son las flechas de color rosado, el torque, las flechas de color azul y las flechas de color verde representan los soportes (vírgenes).





**Figura No 27. Proyecciones de fuerzas y torque en el eje principal**  
**Fuente: Propia, 2020**

Luego se ejecuta el estudio para verificar el buen rediseño del eje a través del Factor de Seguridad que arroja el análisis estático.



**Figura No 28. Factor de seguridad del eje crítico**  
**Fuente: Propia, 2020**

Teóricamente se dividió el análisis estático en 2 puntos, punto A y punto B, el FS fue de 3 y 2.2 correspondientemente para cada tramo. El estudio generado en la simulación computarizada arroja un FS promedio en todo el eje de 2.8, solo 0.2 mayor que el FS promedio hallado matemáticamente.

### 3.2. Discusión de resultados

- En un principio se pensó tomar como capacidad del molino de 4 mazas el dato brindado por el personal de la empresa Industrial Pucalá S.A.C., pero debido a la inseguridad de este dato, se calculó el valor obteniendo un dato de 90.42 TCH.
- La relación entre diámetro y longitud fue el fundamento para recalcular las dimensiones y hallar las fuerzas que soportará el nuevo eje, el cual varió al variar la longitud (1.92 m) de la maza superior. La maza superior recibe directamente la potencia, las longitudes de las demás mazas dependen de esta maza matriz.
- Existen fórmulas matemáticas específicas para calcular la potencia en un sistema de engranajes, sin embargo, el dato hallado (16.46 HP) mediante la diferencia de la potencia total (30.83 HP) con las potencias que consume cada elemento del molino también arroja un dato cercano al real.
- Fue necesario dividir el análisis estático teórico en 2 tramos, justamente en los puntos de apoyo o soporte (vírgenes), para un mejor entendimiento de las fuerzas que actual sobre el largo del eje. Este estudio permite identificar cual es el diámetro mínimo para cada parte del eje.
- El Factor de Seguridad hallado (2.8) mediante la simulación estática computarizada es un promedio de todos los Factores de Seguridad presentes en cada tramo del eje. En dicha simulación también se puede dividir el análisis en planos (plano XZ y YZ), pero al calcular una resultante el valor será el mismo.

**Capítulo IV**

**CONCLUSIONES Y**

**RECOMENDACIONES**

#### IV. CONCLUSIONES

- Se logró identificar los sistemas y partes críticas del mecanismo de moliendo del molino de 4 mazas N° 1 a través de la entrevista y charlas que se tuvo con el personal del área, además de observar continuamente el funcionamiento de esta máquina. Las partes críticas halladas fueron la lubricación de los ejes del molino, las dimensiones del diseño antiguo de las mazas y el eje crítico del molino.
- Los datos de las nuevas dimensiones del mecanismo de molienda de 4 mazas del molino N° 1 se lograron calcular una vez que se conoció la capacidad de la máquina (90.42 TCH). Con este valor se procedió a proyectar una relación conocida entre el diámetro y la longitud de la maza, la cual brindó los nuevos valores de la maza superior, 0.96 m para el diámetro y 1.92 para su longitud. Con las nuevas dimensiones se calcularon las cargas presentes a lo largo del eje, hallando un torque total de 35 099.11 Nm se pudo redimensionar los diámetros mínimos para cada tramo del eje, 19 cm para el tramo A (ingreso) con un factor de seguridad 3 y 23 cm para el tramo B (salida) con un factor de seguridad de 2.2.
- Para el rediseño del nuevo mecanismo de molienda de 4 masas solo se tomó en cuenta los elementos principales del molino, los cuales son la maza superior y el eje de dicha maza. Empleando un software de ingeniería se dibujó en 3D dichas piezas. Cabe mencionar que, al variar la longitud de la maza superior, varía su eje y, también el largo de las demás mazas con sus respectivos ejes.
- La simulación estática computarizada del elemento crítico del mecanismo de molienda del molino de 4 mazas N° 1 arrojó un Factor de Seguridad promedio de 2.8. Comparando ese resultado con el Factor de Seguridad promedio hallado matemáticamente (2.6) se pudo comprobar el buen rediseño dimensional de los elementos del mecanismo de molienda.

## V. RECOMENDACIONES

- Cuando se trabaja el rediseño de cualquier mecanismo de una máquina existente es necesario consultar con la bibliografía adecuada, ya que eso asegura la confiabilidad de los resultados de cada cálculo físico y matemático, que al final se convierten en datos reales a través de nuevas dimensiones o nuevas características.
- Es importante que los elementos de un mecanismo de molienda cuenten con una lubricación correcta para evitar el desgaste u otros problemas ocasionados por la fricción entre componentes. Cuando se trabaja con alimentos es obligatorio el empleo de un lubricante certificado como la grasa alimenticia SKF.
- Tener en cuenta que, al modificar las dimensiones de la maza superior, se tendrán que recalcular las dimensiones de las otras mazas, ya que es esta maza el elemento principal de un molino de 4 mazas y todo está sujeto al diámetro y longitud de la maza motriz.
- El material con el que se fabrique un eje es esencial para el soporte de cargas y torque. Un acero con buena resistencia de fluencia asegura un Factor de Seguridad confiable. En esta presente investigación se seleccionó el Acero AISI 316L que posee un gran esfuerzo de fluencia de 170 MPa, además de tener una alta resistencia a la corrosión.
- Una simulación CAD/CAE sirve de gran apoyo para cualquier elemento o sistema mecánico que esté sometido a cargas externas, debido que brinda resultados viables para comprobar un buen diseño o en todo caso, un mal diseño.

# **REFERENCIAS**

## REFERENCIAS

- Guanochanga, C., Andrés, C., & Tenorio Chango, C. M. (2019). Diseño e implementación de un sistema de monitoreo, para el análisis dinámico de un motor eléctrico asíncrono trifásico de 3 HP, en el Laboratorio de Control Eléctrico de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga (Bachelor's thesis, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga. Carrera de Ingeniería Electromecánica.).
- Pena Villalobos, A. (2018). Diseño y análisis dinámico y estructural por simulación informática de una limadora.
- Sambachi, S., & Rafael, E. (2018). *Rediseño de un molde formador del núcleo absorbente circular para mejorar la producción de toallas higiénicas mediante la utilización de software CAD/CAM/CAE* (Bachelor's thesis, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga. Carrera de Ingeniería Electromecánica.). Andrade, F. L. M. (2018). Análisis Estructural del Cigüeñal de un Motor MWM Sprint 2.8 L en Autodesk Inventor. *INNOVA Research Journal*, 1-16.
- Morán Jurdado, P. (2017). Estudio dinámico del contacto rueda-carril en la circulación ferroviaria y análisis de defectos del carril.
- Brito, G., Freddy, W., & Rojas Pacheco, H. E. (2016). *Rediseño de una máquina tipo expeller para extracción de aceite de la semilla de sachá inchi con capacidad de 20 kilogramos/hora* (Bachelor's thesis). Aquino Arroba, S. M., Safla, P., & Rodolfo, E. (2017). *Modelo dinámico de un robot paralelo para rehabilitación de rodilla* (Master's thesis, Quito, 2017.).
- Abreu Ricardo, Y., Estrada Cingualbres, R. A., & Calzadilla Dubrás, H. (2015). Análisis dinámico del sistema de dirección de la cosechadora de caña cubana CCA-5000. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 24(1), 5-13.
- Rojas Amaya, E. E. (2018). Determinación de los parámetros dinámicos para el diseño de una máquina estimuladora de marcha para personas con algún tipo de discapacidad parapléjica.



- Villanueva, Y., & Marcello, R. (2016). Análisis estructural y modal de la hélice de un aerogenerador de 3kW de potencia mediante simulación numérica computacional.
- Luna Portilla, J. (2017). Diseño de calentador de jugo clarificado para la mejora de la eficiencia de evaporación en el ingenio Industrial Pucalá S.A.C.
- Febles Véliz, M. Á. (2016). *Lubricación hidrodinámica en los apoyos de los árboles de los molinos de caña* (Doctoral dissertation, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial. Departamento de Ingeniería Mecánica).
- Hugot, E. (1963). *Manual para ingenieros azucareros* (No. 664.1 H83Y).
- Timoshenko, S. (1976). *Resistencia de Materiales, 2 vol.* Espasa calpe.
- Orrego, D. A. F., Alarcón, G. A. I., & Ramírez, W. A. REDISEÑO DE UN TRAPICHE PANELERO DE 4 MAZAS ACCIONADO CON MOTOR.
- Martínez-Pañeda, E. (2016). MATLAB: Una herramienta para la didáctica del Método de los Elementos Finitos. *UNIÓN, Revista Iberoamericana de Educación Matemática*, (45), 242-268.
- MINAGRI (2019). Observatorio de commodities: Azúcar 2019. Lima, Perú.: Ministerio de Agricultura y Riego. Recuperado de: <http://www.minagri.gob.pe/portal/analisis-economico/analisis-2017?download=11375:boletin-produccion-de-cana-de-azucar>
- 3D CAD Portal (2017-2019). SolidWorks. Monterrey, México: 3D CAD Portal, 1er Portal CAD CAM CAE en Español. Recuperado de <http://www.3dcadportal.com/solid-works.html>.
- Esquena, J. J. (2002). *Matlab e Interfaces Gráficas*. México
- Moore, H. M. (2007). *MATLAB para ingenieros*. Pearson.
- Guayta, C., Jimena, C., Chicaiza, S., & Vanessa, L. (2011). Implementación de Pruebas Caja Negra y Caja Blanca aplicables al Sistema Escolástico del Colegio Nacional “Primero de Abril” de la Ciudad de Latacunga Provincia de Cotopaxi” en el periodo Octubre 2008–Noviembre 2009.

Hernández, L. E. B. (1985). Las fallas en los engranajes. *Ingeniería e Investigación*, (12), 40-52.

Cabello-Ulloa, M. J., Cabello-Eras, J. J., Moya-Rodríguez, J., Goytisoló-Espinosa, R., Velásquez-Pérez, J. A., & Mestizo-Cerón, J. R. (2012). Modelación matemática de la flotación de la maza superior de los molinos de caña de azúcar. *Ingeniería Mecánica*, 15(1), 44-53.

# **ANEXOS**

## ANEXOS

### Anexo No 1

#### Factores de seguridad según sus características

Característica		B =			
		mb	B	r	p
A = mb	C = mb	1,1	1,3	1,5	1,7
	C = b	1,2	1,45		1,95
	C = r	1,3	1,6	1,9	2,2
	C = p	1,4	1,75	2,1	2,45
A = b	C = mb	1,3	1,55	1,8	2,05
	C = b	1,45	1,75	2,05	2,35
	C = r	1,6	1,95	2,3	2,65
	C = p	1,75	2,15	2,55	2,95
A = r	C = mb	1,5	1,8	2,1	2,4
	C = b	1,7	2,05	2,4	2,75
	C = r	1,9	2,3	2,7	3,1
	C = p	2,1	2,55	3,0	3,45
A = p	C = mb	1,7	2,15	2,4	2,75
	C = b	1,95	2,35	2,75	3,15
	C = r	2,2	2,65	3,1	3,55
	C = p	2,45	2,95	3,45	3,95

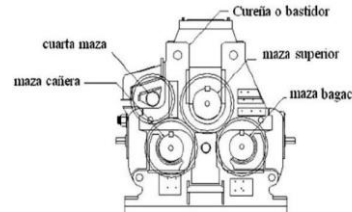
Característica	D =		
	ns	S	ms
E = ns	1,0	1,2	1,4
E = s	1,0	1,3	1,5
E = ms	1,2	1,4	1,6

Anexo No 2

**Modelo de entrevista que se le aplicará al personal técnico o encargados del área de Trapiche del jugo de la empresa Industrial Pucalá S.A.C.**

Dirigida al personal técnico y encargados del área de Trapiche de la empresa Industrial Pucalá S.A.C.

**REDISEÑO DE LA MAZA SUPERIOR DEL MOLINO N°1 DE 4 MAZAS DEL ÁREA DE TRAPICHE DE LA EMPRESA INDUSTRIAL PUCALÁ S.A.C.**



Fecha: ...../...../.....

Nombre del Entrevistado: .....

Cargo u ocupación: .....

**FINALIDAD DE ENTREVISTA:**

Indagar acerca de las fallas presentes en el mecanismo de molienda de 4 masas del molino 1 del área de Trapiche.

**PREGUNTAS:**

1. ¿Cuáles son las fallas más comunes que se presentan en la operación de molienda de 4 masas del molino 1 del área de Trapiche?

---

---

---

---

2. Habiendo respondido la pregunta anterior, ¿Cuáles cree usted que son los factores causantes de estas fallas?

---

---

---

3. Según usted, ¿Es de mucha importancia para la empresa que este Molino 1 del área de Trapiche trabaje según lo requerido sin tener parones por falla en su mecanismo?

4. ¿En qué afectaría el parón por más de 24 de esta máquina para la producción de la empresa Industrial Pucalá S.A.C.?

5. Según su criterio, ¿Qué aspectos del mecanismo de molienda de 4 masas del molino 1 del área de Trapiche mejoraría para reducir fallas del equipo?

6. ¿Cree usted que el rediseño del mecanismo de molienda de 4 masas del molino 1 del área de Trapiche de la empresa Industrial Pucalá S.A.C. sería la solución a la problemática de las fallas de la máquina?

Entrevistador: .....

Escuela profesional: .....

Universidad: .....

ELABORADO POR: **Cerna Cabanillas, César Aroon**

## Anexo No 3

### Código de Ética de Investigación de la Universidad Señor de Sipán (USS)



[www.ucc.edu.pe](http://www.ucc.edu.pe)

# CÓDIGO DE ÉTICA DE INVESTIGACIÓN DE LA USS

VERSIÓN 03

RATIFICADO POR ACUERDO DE CONSEJO UNIVERSITARIO CON RESOLUCIÓN  
RECTORAL N° 0851-2017/USS

CHICLAYO - PERÚ

Versión: 03	Código: VRI-CE	F. Implementación:	Página 1 de 29
Elaborado por: Dirección de Investigación	Revisado por: Planificación y Desarrollo Institucional – Asesoría Legal		Ratificado con Resolución Rectoral N° 0851- 2017/USS

### Anexo No 3

## Código de Ética de Investigación de la Universidad Señor de Sipán (USS) - Continuación

### TITULO I. GENERALIDADES

#### ART. 1º: Finalidad

El Código de Ética de investigación de la Universidad Señor de Sipán (USS), tiene como finalidad proteger los derechos, la vida, la salud, la intimidad, la dignidad y el bienestar de la(s) persona(s) que participan en una actividad de investigación Científica, Tecnológica e innovación, ciñéndose a los principios éticos acogidos por la normativa nacional e internacional, y los acuerdos suscritos por nuestro país en la materia.

#### ART. 2º: Objetivo

El Código de ética de Investigación de la Universidad Señor de Sipán tiene por objetivo definir los principios éticos que orientan la actividad investigativa y su gestión, por las autoridades, investigadores, docentes, estudiantes y egresados de la USS.

#### ART. 3º: Alcance

El presente código de ética de investigación es de cumplimiento obligatorio para todas las autoridades académicas, administrativas, docentes, estudiantes, egresados y administrativo de la Universidad Señor de Sipán.

#### ART. 4º: Base Legal

Versión: 03	Código: VRI-CE	F. implementación:	Página 3 de 29
Elaborado por: Dirección de Investigación	Revisado por: Planificación y Desarrollo Institucional – Asesoría Legal		Ratificado con Resolución Rectoral N° 0851- 2017/USS



Anexo No 4

Código de ética del Colegio de ingenieros del Perú (CIP)



**CÓDIGO DE ETICA DEL CIP**

**APROBADO EN LA III SESIÓN ORDINARIA DEL CONGRESO NACIONAL DE CONSEJOS  
DEPARTAMENTALES DEL PERÍODO 1998 - 1999  
EN LA CIUDAD DE TACNA 22, 23 Y 24 ABRIL 1999**

## Anexo No 4

### Código de Ética del Colegio de Ingenieros del Perú (CIP) - Continuación

## TITULO I

### DE LA RELACIÓN CON LA SOCIEDAD

- Art. 4.-** Los ingenieros reconocerán que la seguridad de la vida, la salud, los bienes y el bienestar de la población y del público en general, así como el desarrollo tecnológico del país dependen de los juicios, decisiones incorporados por ellos o por su consejo, en dispositivos, edificaciones, estructuras, maquinas, productos y procesos. Por ninguna razón pondrán sus conocimientos al servicio de todo aquello que afecta la paz y la salud.
- Art. 5.-** Los ingenieros cuidarán que los recursos humanos, económicos, naturales y materiales, sean racional y adecuadamente utilizados, evitando su abuso o dispendio, respetarán y harán respetar las disposiciones legales que garanticen la preservación del medio ambiente.
- Art. 6.-** Los ingenieros ejecutarán todos los actos inherentes a la profesión de acuerdo a las reglas técnicas y científicas procediendo con diligencia; autorizaran planos, documentos o trabajos solo cuando tengan la convicción de que son idóneos y seguros, de acuerdo a las normas de ingeniería.
- Art. 7.-** Los ingenieros que adviertan hechos o condiciones que en su opinión puedan poner en peligro la vida, la salud, la seguridad o la propiedad, deberán llamar la atención de ello directamente o a través del CIP a quienes sean responsables para que cumplan con su deber, advirtiendo a las autoridades competentes.
- Art. 8.-** Si el juicio profesional es negado o contradicho y como consecuencia de ello, a juicio del mismo, resultara en peligro la seguridad, el ingeniero deberá informar a su cliente o empleador de las posibles consecuencias, sin perjuicio de dar aviso a la autoridad competente.
- Art. 9.-** Los ingenieros están obligados a cuidar el territorio de trabajo de la ingeniería peruana de acuerdo al Art. 1.05 del Estatuto del CIP, y fomentar el desarrollo tecnológico del Perú "

#### ESTATUTO DEL CIP

##### Sección Primera: De la Ingeniería.

*Art. 1.05.- La ingeniería es ejercida en el Perú exclusivamente por los ingenieros titulados universitarios, miembros habilitados del Colegio de Ingenieros del Perú. Los ingenieros colegiados están al servicios de la sociedad.*

- Art. 10.-** Son actos contrarios a la ética profesional
- a) Faltar a cualquiera de las normas establecidas en este titulo
  - b) Ejecutar actos reñidos con la buena técnica o incurrir en omisiones culposas, aún cuando fuere en cumplimiento de ordenes de autoridades superiores

### Anexo No 5

#### Porcentaje de fibra de caña

Caña (gr)	Bagazo (gr)	Fibra f (%)
500	134	13
500	135	13,1
500	117	11,3
500	136	13,2

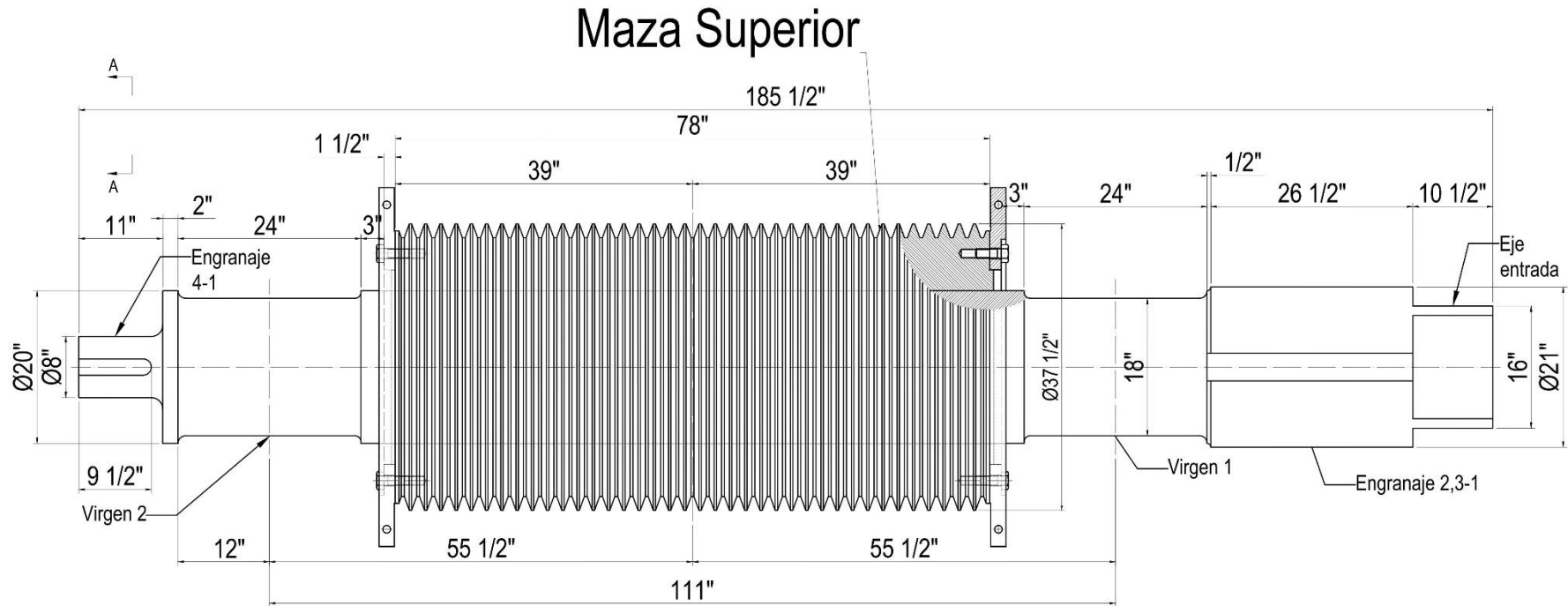
### Anexo No 6

#### Factor de corrección de potencia

<b>Pb</b>	<b>Factor</b>
Menor de 1,5 kW	1,50
De 1,5 kW a 4 kW	1,25
De 4 kW a 7,5 kW	1,20
De 7,5 kW a 40 kW	1,15
Mayor de 40 kW	1,10

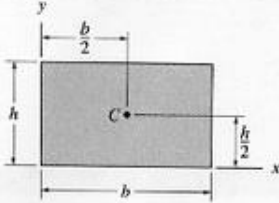
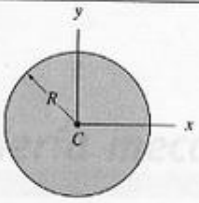
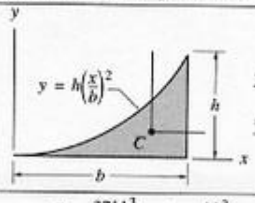
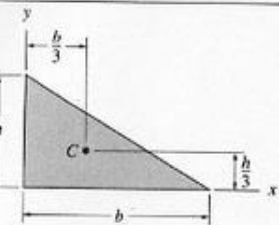
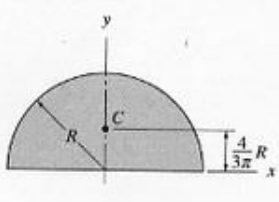
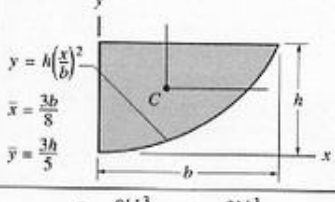
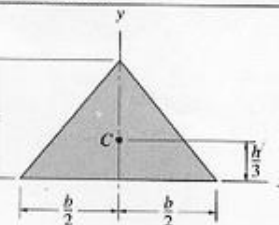
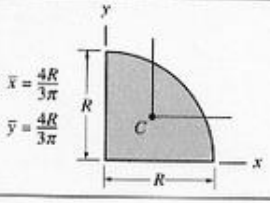
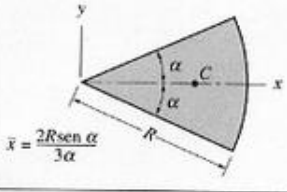
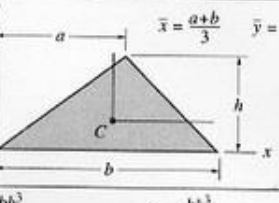
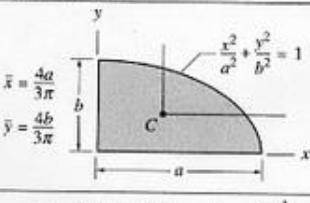
Anexo No 7. Podemos observar la terminología Maza en los planos oficiales de la Empresa

Diseño del eje principal y la maza 1 – Industrial Pucalá S.A.C.



## Anexo No 8

### Momento de inercia de algunas figuras geométricas

<i>Área momento de inercia</i>		
<p><b>Rectángulo</b></p>  <p><math>\bar{x} = \frac{b}{2}</math>, <math>\bar{y} = \frac{h}{2}</math></p> <p><math>\bar{I}_x = \frac{bh^3}{12}</math>, <math>\bar{I}_y = \frac{b^3h}{12}</math>, <math>\bar{I}_{xy} = 0</math></p> <p><math>I_x = \frac{bh^3}{3}</math>, <math>I_y = \frac{b^3h}{3}</math>, <math>I_{xy} = \frac{b^2h^2}{4}</math></p>	<p><b>Círculo</b></p>  <p><math>I_x = I_y = \frac{\pi R^4}{4}</math>, <math>I_{xy} = 0</math></p>	<p><b>Media parabólica complementaria</b></p>  <p><math>\bar{x} = \frac{3b}{4}</math>, <math>\bar{y} = \frac{3h}{10}</math></p> <p><math>\bar{I}_x = \frac{37bh^3}{2100}</math>, <math>I_x = \frac{bh^3}{21}</math></p> <p><math>\bar{I}_y = \frac{8b^3h}{80}</math>, <math>I_y = \frac{b^3h}{5}</math></p> <p><math>\bar{I}_{xy} = \frac{b^2h^2}{120}</math>, <math>I_{xy} = \frac{b^2h^2}{12}</math></p>
<p><b>Triángulo rectángulo</b></p>  <p><math>\bar{x} = \frac{b}{3}</math>, <math>\bar{y} = \frac{h}{3}</math></p> <p><math>\bar{I}_x = \frac{bh^3}{36}</math>, <math>\bar{I}_y = \frac{b^3h}{36}</math>, <math>\bar{I}_{xy} = -\frac{b^2h^2}{72}</math></p> <p><math>I_x = \frac{bh^3}{12}</math>, <math>I_y = \frac{b^3h}{12}</math>, <math>I_{xy} = \frac{b^2h^2}{24}</math></p>	<p><b>Semicírculo</b></p>  <p><math>\bar{x} = \frac{4R}{3\pi}</math></p> <p><math>\bar{I}_x = 0.1098R^4</math>, <math>\bar{I}_{xy} = 0</math></p> <p><math>I_x = I_y = \frac{\pi R^4}{8}</math>, <math>I_{xy} = 0</math></p>	<p><b>Media parábola</b></p>  <p><math>\bar{x} = \frac{3b}{8}</math>, <math>\bar{y} = \frac{3h}{5}</math></p> <p><math>\bar{I}_x = \frac{8bh^3}{175}</math>, <math>I_x = \frac{2bh^3}{7}</math></p> <p><math>\bar{I}_y = \frac{19b^3h}{480}</math>, <math>I_y = \frac{2b^3h}{15}</math></p> <p><math>\bar{I}_{xy} = \frac{b^2h^2}{60}</math>, <math>I_{xy} = \frac{b^2h^2}{6}</math></p>
<p><b>Triángulo isósceles</b></p>  <p><math>\bar{x} = \frac{b}{2}</math>, <math>\bar{y} = \frac{h}{3}</math></p> <p><math>\bar{I}_x = \frac{bh^3}{36}</math>, <math>\bar{I}_y = \frac{b^3h}{48}</math>, <math>\bar{I}_{xy} = 0</math></p> <p><math>I_x = \frac{bh^3}{12}</math>, <math>I_{xy} = 0</math></p>	<p><b>Cuarto de círculo</b></p>  <p><math>\bar{x} = \frac{4R}{3\pi}</math>, <math>\bar{y} = \frac{4R}{3\pi}</math></p> <p><math>\bar{I}_x = \bar{I}_y = 0.05488R^4</math>, <math>I_x = I_y = \frac{\pi R^4}{16}</math></p> <p><math>\bar{I}_{xy} = -0.01647R^4</math>, <math>I_{xy} = \frac{R^4}{8}</math></p>	<p><b>Sector circular</b></p>  <p><math>\bar{x} = \frac{2R \text{sen } \alpha}{3\alpha}</math></p> <p><math>I_x = \frac{R^4}{8}(2\alpha - \text{sen } 2\alpha)</math></p> <p><math>I_y = \frac{R^4}{8}(2\alpha + \text{sen } 2\alpha)</math></p> <p><math>I_{xy} = 0</math></p>
<p><b>Triángulo</b></p>  <p><math>\bar{x} = \frac{a+b}{3}</math>, <math>\bar{y} = \frac{h}{3}</math></p> <p><math>\bar{I}_x = \frac{bh^3}{36}</math>, <math>I_x = \frac{bh^3}{12}</math></p> <p><math>\bar{I}_y = \frac{bh}{36}(a^2 - ab + b^2)</math>, <math>I_y = \frac{bh}{12}(a^2 + ab + b^2)</math></p> <p><math>\bar{I}_{xy} = \frac{bh^2}{72}(2a - b)</math>, <math>I_{xy} = \frac{bh^2}{24}(2a + b)</math></p>	<p><b>Cuarto de elipse</b></p>  <p><math>\bar{x} = \frac{4a}{3\pi}</math>, <math>\bar{y} = \frac{4b}{3\pi}</math></p> <p><math>\bar{I}_x = 0.05488ab^3</math>, <math>I_x = \frac{\pi ab^3}{16}</math></p> <p><math>\bar{I}_y = 0.05488a^3b</math>, <math>I_y = \frac{\pi a^3b}{16}</math></p> <p><math>\bar{I}_{xy} = -0.01647a^2b^2</math>, <math>I_{xy} = \frac{a^2b^2}{8}</math></p>	

## Anexo No 9

### AISI 316L



#### PLANCHAS DE ACERO INOXIDABLE

##### AISI 316 L



**Fabricado Bajo Norma:** ASTM A240 / A480  
**Terminaciones Superficiales Disponibles:** 2B y N°1

#### Estado de Suministro

Laminado

#### Características

Acero inoxidable austenítico aleado al Cromo-Níquel-Molibdeno. La adición de Molibdeno le confiere una alta resistencia a la corrosión por picado (pitting). No es templeable ni magnético. Gran resistencia a la acción corrosiva de reactivos químicos (en especial al ácido sulfúrico) y a la atmósfera marina. Su aplicación es frecuente en la industria alimenticia, papelera y construcción.

El grado 316L, tiene un más bajo contenido de carbono, lo cual aumenta la temperatura de resistencia a la corrosión intergranular, además de mejorar su soldabilidad.

#### Aplicaciones

Es utilizado en refinerías, en la Industria alimenticia, minera, pesquera, química, farmacéutica y en la agroindustria. Algunos usos son silos de almacenamiento de pulpa y cemento, estanques para ácido sulfúrico y combustibles. Estanques para fermentación y sistemas de drenaje. Pasarelas, plataformas, escaleras, barriles, ciclones y sistemas de filtración de aire. Ductos y spools de grandes diámetros. Equipos hospitalarios.

#### Propiedades Mecánicas

Esfuerzo Fluencia (mín.) (Mpa)	Esfuerzo Tracción (mín.) (Mpa)	Elongación (mín.) %	Dureza (máx.) Brinell (HB)
170	485	40	217

#### Composición Química

AISI	% C (máx.)	% Mn (máx.)	% Si (máx.)	% Cr	% Ni	% Mo	% P (máx.)	% S (máx.)
316L	0,03	2,00	0,75	16,00 - 18,00	10,00 - 14,00	2,00 - 3,00	0,045	0,03



Los valores de las tablas son referenciales.  
**Santiago:** Fray Camilo N° 781, Santiago. T: (02) 889 6000. -Av. 10 de Julio N° 202, Santiago. T: (02) 889 6140. -Panamericana Norte N° 6080, Quilicura. T: (02) 889 6080. -Traslavina N° 1516, San Miguel. T: (02) 889 6170.  
**Antofagasta:** Av. Pedro Aguirre Cerda N° 7277. T: (05) 682 500. **Vía del Mar:** Quillota N° 636. T: (32) 269 8823. **Concepción:** Paicavi N° 2677. T: (41) 226 2700. **Puerto Montt:** Ruta 5 Sur N° 552, Camino Pargua. T: (65) 483 300.

## Anexo No 10

### Cálculo matemático en MatLab

#### Actual Diseño

```

c=1.15;
N=5;
L=1.98;
D=0.95;
n=4;
f=0.125;
C=(0.55)*((c*N*L*(D^2)*sqrt(n))/(f))
%C, es la Capacidad del molino
%Ahora se calcula la velocidad de trabajo, V
V=pi*D*N
%Fuerza de compresión sobre el bagazo
%Fuerza de la Maza 1 con respecto a la Maza 2, con los valores:
K12=1;
H12=8;
C12=K12/H12
F12=(25*L*100*(sqrt(K12*D*100)))/(10^6*C12^6)
%Fuerza de la Maza 1 con respecto a la Maza 3, con los valores:
K13=0.7;
H13=5;
C13=K13/H13
F13=(25*L*100*(sqrt(K13*D*100)))/(10^6*C13^6)
%Fuerza de la Maza 1 con respecto a la Maza 4, con los valores
K14=8;
H14=20;
C14=K14/H14
F14=(25*L*100*(sqrt(K14*D*100)))/(10^6*C14^6)
%POTENCIAS PRESENTES EN EL MOLINO
%Potencia total del molino
%Potencia de la Maza 1 con respecto a la Maza 2
PT12=0.18*2*(F12/1000)*N*D
%Potencia de la Maza 1 con respecto a la Maza 3
PT13=0.18*2*(F13/1000)*N*D
%Potencia de la Maza 1 con respecto a la Maza 4
PT14=0.18*2*(F14/1000)*N*D
PT=PT12+PT13+PT14
%Potencia consumida por la compresión del bagazo
%Potencia de la Maza 1 con respecto a la Maza 2
PI12=0.5*2*(F12/1000)*N*sqrt((K12/100)*D)
%Potencia de la Maza 1 con respecto a la Maza 3
PI13=0.5*2*(F13/1000)*N*sqrt((K13/100)*D)
%Potencia de la Maza 1 con respecto a la Maza 4
PI14=0.5*2*(F14/1000)*N*sqrt((K14/100)*D)
%Potencia consumida entre el bagazo y la cuchilla
PII=0.03*2*((F12/1000)+(F13/1000))/2)*N*D
%Potencia consumida por la fricción entre los muñones y los cojinetes
PIII=0.02*2*((F12/1000)+(F13/1000)+(F14/1000))*N*D
%Potencia consumida por los engranajes
PIV=PT-((PI12+PI13+PI14)+PII+PIII)
%FUERZAS SOBRE LAS MAZAS
%Fuerza reactiva en la compresión de la Maza 1 con respecto a la Maza 2
%Torque reactivo en la compresión de la Maza 1 con respecto a la Maza 2
Trc12=(PI12*745.7)/((N*2*pi())/60)

```

```

Ftrcl2=(Trcl2)/((D/2))
%Fuerza reactiva en la compresión de la Maza 1 con respecto a la Maza 3
%Torque reactivo en la compresión de la Maza 1 con respecto a la Maza 3
Trcl3=(PI13*745.7)/((N*2*pi())/60)
Ftrcl3=(Trcl3)/((D/2))
%Fuerza reactiva en la compresión de la Maza 1 con respecto a la Maza 4
%Torque reactivo en la compresión de la Maza 1 con respecto a la Maza 4
Trcl4=(PI14*745.7)/((N*2*pi())/60)
Ftrcl4=(Trcl4)/((D/2))
%Fuerzas reactivas tangenciales en la compresión del bagazo
Frc12=Ftrcl2/2
Frc13=Ftrcl3/2
Frc14=Ftrcl4/2
%FUERZAS PRESENTES EN LOS ENGRANAJES
%Torque reactivo en los engranajes
Trce=(PIV*745.7)/((N*2*pi())/60)
re=0.460;
%Fuerza reactiva total tangencial en los engranajes
Ftrce=Trce/re
%Fuerza reactiva tangencial en los engranajes
Frce=Ftrce/2

```

C =

90.4197

V =

14.9226

C12 =

0.1250

F12 =

1.2648e+004

C13 =

0.1400

F13 =

5.3610e+003

C14 =



0.4000

F14 =

33.3159

PT12 =

21.6273

PT13 =

9.1674

PT14 =

0.0570

PT =

30.8517

PI12 =

6.1637

PI13 =

2.1859

PI14 =

0.0459

PII =

2.5662

PIII =

3.4280

PIV =

16.4620

Trc12 =

8.7782e+003

Ftrc12 =

1.8480e+004

Trc13 =

3.1131e+003

Ftrc13 =

6.5539e+003

Trc14 =

65.4025

Ftrc14 =

137.6895

Frc12 =

9.2402e+003

Frc13 =

3.2770e+003

Frc14 =

68.8447

Trce =

2.3445e+004

Ftrce =  
5.0967e+004

Frce =  
2.5484e+004

## Rediseño

```
C=90.4197;
c=1.15;
N=5;
n=4;
f=0.125;
%Díámetro de la maza
D=((C*f)/(0.55*c*N*2*sqrt(n)))^(1/3)
%Nueva Longitud de la maza
L=2*D
%FUERZA DE COMPRESIÓN SOBRE EL BAGAZO (FUERZA RADIAL)
%Fuerza de la Maza 1 con respecto a la Maza 2
K12=1;
H12=8;
C12=K12/H12
F12=(25*L*100*(sqrt(K12*D*100)))/(10^6*C12^6)
%Fuerza de la Maza 1 con respecto a la Maza 3
K13=0.7;
H13=5;
C13=K13/H13
F13=(25*L*100*(sqrt(K13*D*100)))/(10^6*C13^6)
%Fuerza de la Maza 1 con respecto a la Maza 4
K14=8;
H14=20;
C14=K14/H14
F14=(25*L*100*(sqrt(K14*D*100)))/(10^6*C14^6)
%POTENCIAS PRESENTES EN EL MOLINO
%Potencia total del molino
%Potencia de la Maza 1 con respecto a la Maza 2
PT12=0.18*2*(F12/1000)*N*D
%Potencia de la Maza 1 con respecto a la Maza 3
PT13=0.18*2*(F13/1000)*N*D
%Potencia de la Maza 1 con respecto a la Maza 4
PT14=0.18*2*(F14/1000)*N*D
PT=PT12+PT13+PT14
%POTENCIA CONSUMIDA POR LA COMPRESIÓN DEL BAGAZO
%Potencia de la Maza 1 con respecto a la Maza 2
PI12=0.5*2*(F12/1000)*N*sqrt((K12/100)*D)
%Potencia de la Maza 1 con respecto a la Maza 3
PI13=0.5*2*(F13/1000)*N*sqrt((K13/100)*D)
%Potencia de la Maza 1 con respecto a la Maza 4
PI14=0.5*2*(F14/1000)*N*sqrt((K14/100)*D)
%POTENCIA CONSUMIDA ENTRE EL BAGAZO Y LA CUCHILLA
PII=0.03*2*((F12/1000)+(F13/1000))/2)*N*D
%POTENCIA CONSUMIDA POR LA FRICCIÓN ENTRE LOS MUÑONES Y LOS COJINETES
PIII=0.02*2*((F12/1000)+(F13/1000)+(F14/1000))*N*D
%POTENCIA CONSUMIDA POR LOS ENGRANAJES
PIV=PT-((PI12+PI13+PI14)+PII+PIII)
```

```

%FUERZAS SOBRE LAS MAZAS
%Fuerza reactiva en la compresión de la Maza 1 con respecto a la Maza 2
%Torque reactivo en la compresión de la Maza 1 con respecto a la Maza 2
Trcl2=(PI12*745.7)/((N*2*pi())/60)
Ftrcl2=(Trcl2)/((D/2))
%Fuerza reactiva en la compresión de la Maza 1 con respecto a la Maza 3
%Torque reactivo en la compresión de la Maza 1 con respecto a la Maza 3
Trcl3=(PI13*745.7)/((N*2*pi())/60)
Ftrcl3=(Trcl3)/((D/2))
%Fuerza reactiva en la compresión de la Maza 1 con respecto a la Maza 4
%Torque reactivo en la compresión de la Maza 1 con respecto a la Maza 4
Trcl4=(PI14*745.7)/((N*2*pi())/60)
Ftrcl4=(Trcl4)/((D/2))
%Fuerza reactivas tangenciales en la compresión del bagazo
Frc12=Ftrcl2/2
Frc13=Ftrcl3/2
Frc14=Ftrcl4/2
%FUERZAS PRESENTES EN LOS ENGRANAJES
%Torque reactivo en los engranajes
Trce=(PIV*745.7)/((N*2*pi())/60)
re=0.460;
%Fuerza reactiva total tangencial en los engranajes
Ftrce=Trce/re
%Fuerza reactiva tangencial en los engranajes
Frce=Ftrce/2

```

D =

0.9632

L =

1.9263

C12 =

0.1250

F12 =

1.2389e+004

C13 =

0.1400

F13 =

5.2516e+003

C14 =  
0.4000

F14 =  
32.6360

PT12 =  
21.4792

PT13 =  
9.1046

PT14 =  
0.0566

PT =  
30.6403

PI12 =  
6.0795

PI13 =  
2.1560

PI14 =  
0.0453

PII =  
2.5486

PIII =  
3.4045

PIV =

16.4064

Trc12 =

8.6583e+003

Ftrc12 =

1.7979e+004

Trc13 =

3.0706e+003

Ftrc13 =

6.3762e+003

Trc14 =

64.5095

Ftrc14 =

133.9553

Frc12 =

8.9896e+003

Frc13 =

3.1881e+003

Frc14 =

66.9776

Trce =

2.3366e+004

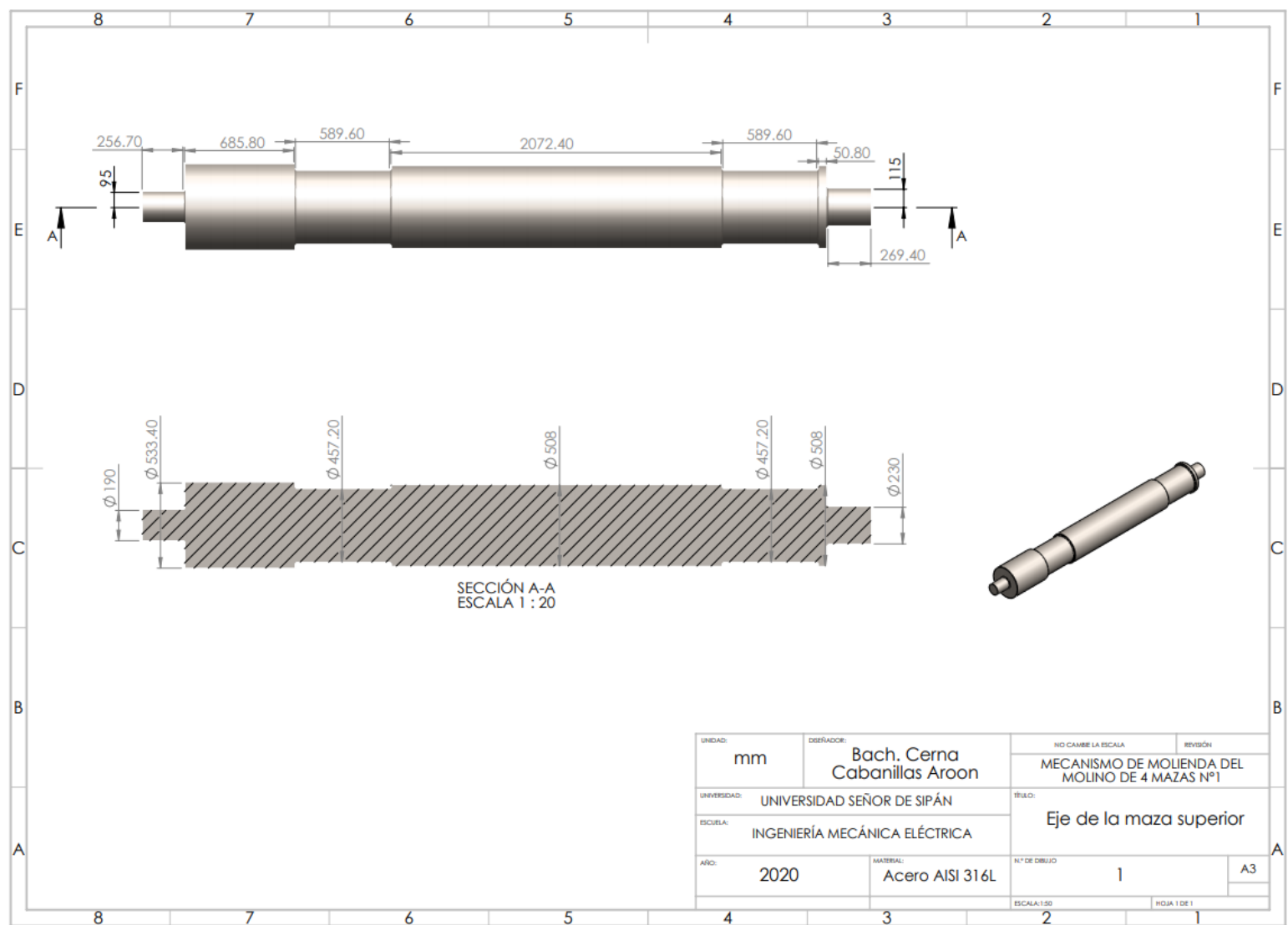
Ftrce =

5.0795e+004

Frce =

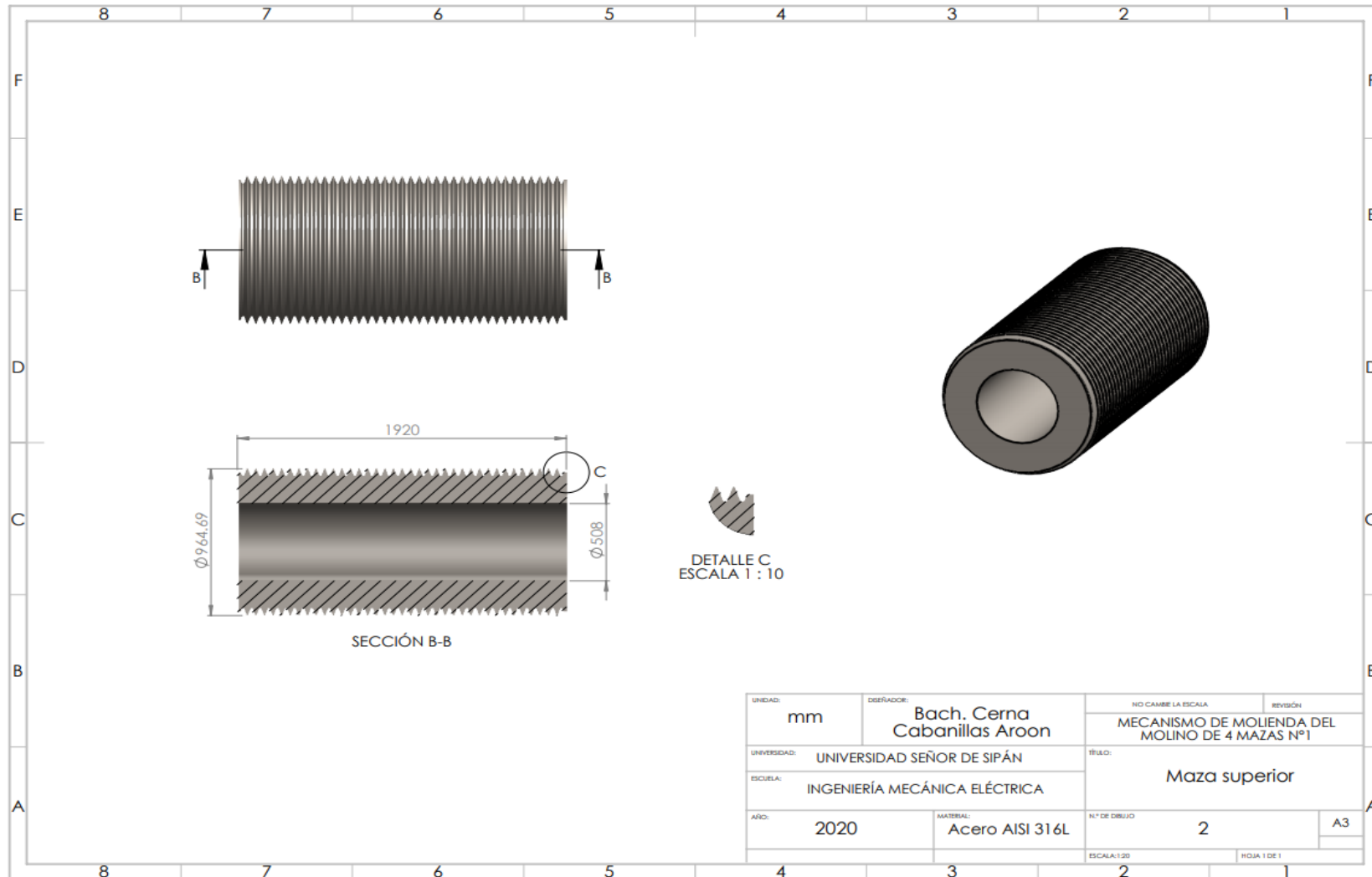
2.5397e+004

**Anexo N°11. EJE DE LA MAZA SUPERIOR.**





**Anexo N° 12. CASCO DE LA MASA SUPERIOR.**



**Anexo N° 13. Autorización para el uso de información de la empresa INDUSTRIAL PUCALA S.A.C.**



Pucalá  
Chiclayo  
RUC 20437281648

"AÑO DEL BICENTENARIO DEL PERÚ: 200 AÑOS DE INDEPENDENCIA"

**LA GERENCIA DE RECURSOS HUMANOS DE LA EMPRESA INDUSTRIAL PUCALA S.A.C. QUE SUSCRIBE EMITE LA PRESENTE:**

**AUTORIZACIÓN PARA EL USO DE INFORMACIÓN**

Por el presente se autoriza para que el Sr. CERNA CABANILLAS CESAR AROON, identificado con DNI N° 73471756, a solicitud formal de la Universidad "Señor de Sipán – Pimentel, estudiante de la Escuela Académico Profesional de INGENIERÍA MECANICA ELECTRICA, y autor del trabajo de Investigación denominado "REDISEÑO DEL MECANISMO DE MOLIENDA DE 4 MAZAS DEL MOLINO N° 1 DEL AREA DE TRAPICHE DE LA EMPRESA INDUSTRIAL PUCALÁ S.A.C. al uso de dicha información que conforma el expediente técnico, así como hojas de memorias, planos entre otros para efectos exclusivamente académicos de la elaboración de tesis de "REDISEÑO DEL MECANISMO DE MOLIENDA DE 4 MAZAS DEL MOLINO N° 1 DEL AREA DE TRAPICHE DE LA EMPRESA INDUSTRIAL PUCALÁ S.A.C.

Se expide la presente AUTORIZACIÓN, a solicitud del interesado a fin de que se garantice la absoluta confidencialidad de la información obtenida para los fines consiguientes.

Pucalá, 05 de Mayo del 2021



INDUSTRIAL PUCALÁ S.A.C.  
GERENCIA DE RESTRUCURACIÓN  
*Alberio Edgardo Carlos*  
GERENTE DE RR.HH.